

Государственная корпорация по космической деятельности  
«РОСКОСМОС»

Акционерное общество

«Научно-производственный центр «Полюс»

(АО «НПЦ «Полюс»)

Кирова пр., 56 «в», г. Томск, Российская Федерация, 634050

тел: (382-2) 55-46-94, факс: (382-2) 55-77-66.

E-mail: info@polus-tomsk.ru, http://www.polus-tomsk.ru

ОГРН 1077017004063, ИНН 7017171342



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального

директора по научной работе,

главный конструктор

кандидат технических наук

Русановский С.А.

« 16 » 11 2023 г.



**ОТЗЫВ**

ведущей организации на диссертационную работу

Рекутова Олега Геннадьевича

«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

**1 Актуальность темы исследования**

В состав большинства систем электроснабжения (СЭС) космических аппаратов (КА) входят солнечные (СБ) и аккумуляторные (АБ) батареи. При наземных испытаниях КА использование штатных батарей нецелесообразно, поскольку их условия функционирования (особенно СБ) существенно отличаются от условий окружающей среды. В то же время создание для наземных испытаний среды, полностью соответствующей штатной эксплуатации, весьма затратно как финансово, так и технически.

Именно поэтому в качестве источников энергии для СЭС КА при наземных испытаниях используются имитирующие электротехнические комплексы: имитаторы аккумуляторной (ИАБ) и солнечной (ИБС) батарей, а также имитатор нагрузки.

Соответствие параметров ИБС характеристикам реальных СБ позволяет повысить эффективность наземных испытаний КА, в связи с чем тема диссертационной работы является современной и актуальной.

## **2 Краткий обзор содержания диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка из 125 наименований и двух приложений.

**Во введении** сформулированы актуальность, цель и задачи исследования, показаны практическая значимость работы и личный вклад автора.

**В первой главе** сформулированы требования к ИБС, выполнена классификация принципов их проектирования, проанализированы достоинства и недостатки существующих ИБС. Автором предложена структура ИБС с обводным каналом, позволяющая представить ИБС как малоинерционный источник тока.

**Во второй главе** приведены результаты разработки математической модели ИБС в среде MatLab/Simulink. Выполнено сравнение вольт-амперной характеристики (ВАХ) моделей ИБС и промышленной СБ, а также приведены результаты верификации математической модели ИБС.

**Третья глава** посвящена разработке систем управления (СУ) силового модуля (СМ). Показаны способы увеличения скорости реакции СУ СМ на возмущающее воздействие нагрузки. Приведено сравнение исследуемого ИБС с его аналогами при динамическом режиме работы нагрузки. Разработана цифровая СУ и рассмотрена ее работа.

**В четвертой главе** приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающих соответствие ИБС предъявляемым требованиям. Получены частотные характеристики модуля импеданса ИБС при работе на участках тока и напряжения ВАХ. Предложен способ определения емкости выхода ИБС и получены фактические значения ряда емкостей. Проведены характерографические исследования работы СМ ИБС и определена статическая точность ВАХ ИБС.

**В заключении** представлены основные выводы по результатам исследований.

## **3 Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности 2.4.1 – Теоретическая и прикладная электротехника**

Диссертационная работа содержит результаты исследований по развитию и совершенствованию теоретической и технической базы устройств прикладной электротехники и соответствует формуле и пунктам 1, 2, 4, 6, 7, 9, 10 направлений исследования паспорта научной специальности 2.4.1 – Теоретическая и прикладная электротехника по техническим наукам.

## **4 Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

## **5 Основные результаты и их научная и практическая значимость**

1) Предложена новая структурная схема ИБС, позволяющая за счет наличия обводного контура в схеме стабилизатора тока обеспечить повышение точности воспроизведения заданной ВАХ СБ.

2) В пакете прикладных программ MatLab и MathCad разработаны математические модели ИБС с модифицированными СУ СМ, позволяющие исследовать статические и динамические процессы в разомкнутой и замкнутой системах при различных режимах работы ИБС.

3) Разработана цифровая СУ СМ ИБС, дающая возможность за счет специального программного обеспечения осуществлять быструю настройку необходимых параметров и алгоритмов работы ИБС, что значительно сокращает время и стоимость их создания.

4) Разработаны и внедрены в промышленную эксплуатацию опытные образцы ИБС мощностью 3,6; 4,9 и 4,3 кВт.

## **6 Степень обоснованности и достоверности полученных теоретических и практических результатов**

Достоверность основных научных и практических результатов подтверждается использованием научно обоснованных методов исследований, сходимостью экспериментальных и расчетных данных, принятыми допущениями, охраняемыми документами на результаты интеллектуальной деятельности.

Результаты, полученные при проведении экспериментальных испытаний, подтверждают справедливость научных положений и применимость предложенных методов, технических решений и выводов.

## **7 Публикация основных результатов диссертации в научной печати**

Результаты исследования изложены в 24 печатных работах, включая 7 статей в изданиях, входящих в перечень периодических изданий ВАК, 5 статей в сборниках всероссийских и международных конференций, 3 статьи в изданиях, входящих в систему цитирования Scopus, 2 патента на изобретение, 5 патентов на полезную модель, 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

## **8 Рекомендации по использованию результатов исследования**

Результаты диссертационного исследования рекомендуется использовать в организациях, занимающихся проектированием и производством электротехнического оборудования для наземной экспериментальной отработки космических аппаратов (ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», АО «РЕШЕТНЁВ», АО «НПЦ «Полюс» и др.), а также в учебном процессе при подготовке

специалистов, бакалавров и магистров в вузах по направлениям силовой электроники и систем управления энергопреобразующей аппаратуры.

## 9 Замечания по диссертации

1) Используемая в диссертации и автореферате классификация СЭС КА отличается от общепринятой в РФ.

2) Из текста диссертации не следует однозначная зависимость мощности ИБС от количества каналов (в тексте диссертации указано, что одноканальный ИБС имеет мощность 3,6 кВт, четырехканальный ИБС – 4,9 кВт, девятиканальный ИБС – 4,3 кВт).

3) Представленный в диссертации и автореферате алгоритм работы СУ СМ, при условии устранения влияния помех на работу релейного регулятора, является верным только для одного тактового интервала, а не для периодической работы.

4) В тексте диссертации и автореферата говорится, что имитаторы солнечных батарей с импульсным принципом работы силового модуля находятся на начальном этапе развития; однако в АО «НПЦ «Полус» в период с 2002 по 2004 г. разработан имитатор ИБС-100/60 с силовыми модулями на основе импульсных преобразователей напряжения. В связи с этим утверждение автора требует пояснения.

5) В диссертации приведена апробация исследований для ИБС, предназначенных для малых КА (с напряжением холостого хода не более 60 В), однако в настоящее время основные СЭС КА работают с СБ при напряжении холостого хода до 250 В. Из текста диссертации не следует возможность интерполяции полученных результатов для подобных высоковольтных ИБС.

6) Ни в автореферате, ни в диссертации не отмечен ряд российских ученых и ведущих специалистов, внесших существенный вклад в создание СЭС КА.

Однако, приведенные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Рекутова О.Г.

## 10 Заключение

Диссертационная работа Рекутова О.Г. является самостоятельным научным исследованием. Полученные результаты являются новыми и имеют существенное значение для развития методов разработки, структурного синтеза силовых модулей ИБС, а также разработки алгоритмов эффективного управления этими модулями.

Диссертация является законченной квалификационной работой, обладает практической ценностью для науки и производства и полностью соответствует критериям, установленным пп. 9–14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а ее автор, Рекутов Олег Геннадьевич, заслуживает присуждения ученой

степени кандидата технических наук по специальности 2.4.1 – Теоретическая и прикладная электротехника.

Отзыв на диссертационную работу Рекутова О.Г. обсужден на заседании структурного подразделения АО «НПЦ «Полус» – отделения автономной энергетики и преобразовательной техники, основным направлением деятельности которого являются исследования и разработки СЭС для космической и иной специальной техники (протокол № 11 от 8 ноября 2023 г.).

Отзыв составил:

Начальник лаборатории  
отдела автономной  
энергетики, канд. техн. наук



---

Апасов  
Владимир  
Иванович

Наименование организации	Акционерное общество «Научно-производственный центр «Полус»
Почтовый адрес	634050, г. Томск, пр. Кирова 56 «в»
E-mail	info@polus-tomsk.ru
Телефон	(3822) 608-566
Ф. И. О.	Апасов Владимир Иванович
Должность, степень	Начальник лаборатории, канд. техн. наук