Отзыв

на автореферат диссертации Брянцева Андрея Анатольевича
«Разработка и исследование микропроцессорного имитатора литий-ионной аккумуляторной батареи космического аппарата», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

Актуальность темы исследования

Условия и особенности эксплуатации литий-ионных аккумуляторных батарей (ЛИАБ) предполагают использование имитаторов таких источников тока при наземных испытаниях энергопреобразующей аппаратуры (ЭПА) систем электропитания (СЭП) космических аппаратов (КА).

Имитация основных частей ЭПА СЭП КА является важнейшим этапом, от надежного и успешного выполнения которого в полной мере зависит конечный результат тестирования электронной аппаратуры и блоков – как отдельных функциональных узлов, так и целых комплексов. Выполнение таких работ, как квалификационные испытания блоков конкретной ЭПА СЭП и отработка технических решений ее составных элементов требует создания специализированных имитаторов ЛИАБ (ИЛИАБ).

Разработкам ИЛИАБ различного исполнения посвящены многие научные исследования российских организаций: АО «Информационные Спутниковые Системы» имени академика М.Ф. Решетнева», АО «Ракетно-космический центр «Прогресс», АО «Научно-производственный центр «Полюс», НИИ автоматики и электромеханики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, АО «Авиационная электроника и коммуникационные системы», ООО «Фирма «Информтест» и др. Работы по созданию ИЛИАБ также ведутся известными зарубежными фирмами: Digatron Power Electronics, Arbin Instruments, Energy Solutions, Eiffage Clemessy, Erzia, Ametek и др.

Исследованию специализированных ИЛИАБ посвящены работы таких отечественных ученых, как А.А. Камусин, Ю.Т. Котов, Е.А. Мизрах, А.В. Михайлов, В.Н. Мишин, В.О. Эльман, А.Г. Юдинцев и др. В этой области также известны работы зарубежных ученых: H. Biechl, W.Y. Chang, Y.P. Chen, L.A. Dessaint, D. Feng, V. Ramadesigan, J. Sun, O. Tremblay и др.

Для тестирования СЭП КА необходимо выполнить набор функций в различных режимах – от выдачи телеметрии о значениях напряжения и температуры батареи до автоматического определения параметров отдельных аккумуляторов, свойства которых изучены недостаточно, что значительно затрудняет создание ИЛИАБ. Принципы построения и конфигурация промышленно выпускаемых ИЛИАБ не позволяют в полной мере выполнить наземные испытания СЭП с учетом воспроизведения индивидуальных характеристик каждого аккумулятора батареи.

Успешность выполнения наземных испытаний СЭП в значительной степени зависит от полноценной имитации отдельных литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) и возможности автоматизации процесса тестирования ЭПА. Поэтому теоретические исследования и вопросы разработки имитатора ЛИАБ актуальны и имеют большую практическую ценность.

В работе поставлена и решена важная **научно-техническая задача** обеспечения требуемого качества имитации характеристик ЛИАБ в режиме ее заряда или разряда.

Объектом исследования является ЛИАБ в режиме ее заряда или разряда.

Предмет исследования: модели ЛИА и ЛИАБ, схемотехнические и алгоритмические решения имитатора батареи.

Новизна исследований и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

1) Разработана математическая модель ЛИА, учитывающая изменяемый характер ЭДС и поляризационной составляющей внутреннего сопротивления аккумулятора и обеспечивающая исследование зависимости выходного напряжения от емкости в статических и динамических режимах работы.

2) Предложен алгоритм определения параметров модели ЛИА, повышающий точность воспроизведения зависимости выходного напряжения от емкости за счет введения эмпирических коэффициентов, определенных при приемо-сдаточных испытаниях.

3) Разработана имитационная модель ЛИАБ, включающая модели аккумуляторов, байпасных переключателей коммутационного типа, датчика температуры и позволяющая обеспечить максимальное соответствие электрических характеристик реальной батареи.

4) Предложена структура ИЛИАБ, обеспечивающая высокую функциональную эффективность тестирования ЭПА СЭП путем агрегирования требуемого количества имитаторов ЛИА (ИЛИА).

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Достоверность научных результатов подтверждается строгим обоснованием расчетных методик и принимаемых допущений, корректным использованием современных методов научных исследований, а также проведением экспериментов на макетных и опытно-промышленных образцах. Все разделы диссертационной работы логически взаимосвязаны, а выводы и рекомендации органично вытекают из теоретических и экспериментальных материалов работы.

Значимость для науки и практики результатов, полученных автором диссертации

1) Создан программный продукт в пакете MatLab Simulink, реализующий имитационную модель ЛИАБ и позволяющий исследовать динамические процессы в аккумуляторах с возможностью прогноза изменения параметров ЛИАБ при решении задач балансировки, дозаряда или исключения неисправного аккумулятора из состава батареи.

2) Разработана программа работы контроллера ИЛИА, позволяющая осуществить управление, контроль состояния силовой части имитатора с отображением 5 информации на персональном компьютере для решения задач автоматизации процессов при наземных испытаниях ЭПА СЭП КА.

3) Разработан и внедрен в промышленную эксплуатацию имитатор ЛИАБ, обеспечивающий рекуперацию энергии при тестировании ЭПА СЭП в режиме заряда и дозаряда батареи.

Общая оценка диссертационной работы (с замечаниями)

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Работа изложена на 129 страницах основного текста, содержит 9 таблиц, 63 рисунка, библиографический список из 136 наименований.

По теме диссертации опубликовано 15 работ, из которых 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, 4 патента РФ, в материалах конференций опубликовано 9 работ.

При этом, по автореферату и диссертации имеется ряд замечаний.

1. В работе сказано, что на рисунке 6 полевой транзистор работает в активном линейном режиме, стабилизируя протекание тока величиной 30 А. Даже если предположить, что используется современный полевой транзистор с сопротивлением открытого канала R_{dson} = 80 мОм, то тепловые потери на этом транзисторе составят 72 Вт! Отведение количества тепла, при таких потерях мощности, представляется затруднительным. Если предполагается использование 10 имитаторов ЛИА, то суммарные потери составят соответственно 720 Вт. Не приходится говорить ни о какой энергетической эффективности.
2. В автореферате утверждается о снижении тепловых потерь более чем в три раза, за счёт работы силового преобразователя (рис. 6) на противо-ЭДС – выход другого источника постоянного напряжения. Данный способ нельзя назвать рекуперацией, т.к. рекуперация – это передача энергии в питающую сеть при помощи топологий зависимых инверторов. В данном случае осуществляется просто сброс энергии в ёмкость выходного фильтра источника питания, с соответствующими тепловыми потерями на подводящих проводах. Поэтому снижение тепловых потерь с помощью данного способа более чем в три раза, представляется сомнительным.
3. В выводах к 4-й главе сказано, что метрологические и технические характеристики разработанного ИЛИА превосходят характеристики известных аналогов, приведенных в таблице 1. Данное сравнение не является корректным, т. к. БИАБ-200ЛИ и БИАБ-100ЛИ являются полностью автономными аппаратно-программными комплексами со встроенным промышленным компьютером, с «горячим» резервированием силовых модулей (без выключения основного питания) суммарной мощностью 10 кВт, с полностью физической имитацией режимов Заряд и Разряд АБ в широком диапазоне токов и напряжений, с рекуперацией потребляемой энергии в режиме Заряд АБ в 3-х фазную сеть с помощью зависимого инвертора, обладающие комплексной системой защиты и ведением протоколирования испытаний, с поэлементной имитацией датчиков температуры аккумуляторных элементов, с возможностью объединения в испытательное рабочее место как для ЭПА, так и КА в целом, и т. д.

Заключение

Тем не менее, приведенные замечания не снижают научный уровень и практическую ценность рассматриваемой работы. Диссертация написана грамотным научно-техническим языком.

Автореферат и опубликованные статьи в полной мере отражают содержание диссертации. Актуальность темы, степень обоснованности выводов и научных положений работы, достоверность и новизна результатов позволяют заключить, что диссертация Брянцева Андрея Анатольевича «Разработка и исследование микропроцессорного

имитатора литий-ионной аккумуляторной батареи космического аппарата», представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи, имеющей важное значение для космической промышленности.

Диссертационная работа «Разработка и исследование микропроцессорного имитатора литий-ионной аккумуляторной батареи космического аппарата» соответствует требованиям п.п. 8-10 нормативного документа «Порядок присуждения учёных степеней Национального исследовательского Томского политехнического университета, (приказ №66/од от 28 августа 2019 г.)», предъявляемым к защищаемым диссертациям, а ее автор, Брянцев Андрей Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Кандидат технических наук,
директор Научно-исследовательского
института автоматики и электромеханики
Томского государственного университета
систем управления и радиоэлектроники
(НИИ АЭМ ТУСУР)
А. Г. Юдинцев «19» 10 2021 г.

Тел. 8-(3822)-55-61-96
e-mail: yag@niiaem.tomsk.ru

Учёный секретарь Томского государственного
университета систем управления
и радиоэлектроники (ТУСУР)
Е. В. Прокопчук «10» 10 2021 г.

М.П.