

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Гарганеева Александра Георгиевича
на диссертационную работу Кабировва Вагиза Александровича
«Энергопреобразующий комплекс с резервированной цифровой системой
управления для высоковольтных систем электропитания космических
аппаратов» по специальности

2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы

Актуальность темы исследования

При разработке оборудования космических аппаратов (КА), функционирующих автономно в условиях космоса в течение длительного времени (10 – 15 лет), существует необходимость в тщательной проработке выбранных технических решений перед началом производства. Задача тщательной проработки особенно важна на этапе проектирования системы электропитания (СЭП) КА, поскольку при ее некорректной работе или отказе высок риск потери всего КА. СЭП разрабатываются непосредственно исходя из состава и мощности полезной нагрузки КА. Разработка таких систем и КА в целом является отдельной научно-исследовательской опытно-конструкторской работой, требующей больших временных и финансовых затрат.

Одним из путей сокращения расходов на разработку, сборку и испытания КА является унификация узлов и модулей, входящих в состав СЭП КА. Это позволяет также отладить выбранные технические решения в серийном производстве и повысить качество и надежность СЭП. В связи с этим, выбранная соискателем тема исследования является актуальной.

Соответствие диссертации представленной специальности

В работе предложена новая структурная схема энергопреобразующего комплекса (ЭПК) и разработана его имитационная модель. Проведено испытание алгоритма работы комплекса в различных режимах на имитационной модели. Показано, что внедрение комплексов, основанных на автономных унифицированных модулях, способствует уменьшению времени производства СЭП в независимости от области применения. Это достигается за счёт сокращения разнообразия используемых типов модулей. В диссертации представлен алгоритм работы цифрового широтно-импульсного модулятора (ЦШИМ), позволяющий улучшить динамические свойства контуров управления. Это приводит к снижению требований к выходным фильтрам импульсных преобразователей, используемых в энергетических системах, что, в свою очередь, способствует увеличению удельных характеристик комплекса в целом.

Представленная к оппонированию диссертация соответствует паспорту специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы», пункты 1, 2, 3, 4.

Содержание диссертационной работы

В состав диссертации входят: введение, 4 главы, заключение, список литературы из 154 наименований и 4 приложения. Объем основной части диссертации – 191 с., в том числе 121 рисунок и 27 таблиц.

Целью работы является разработка и исследование ЭПК с цифровой резервированной системой управления для высоковольтных систем электропитания космических аппаратов, позволяющего повысить технические характеристики и ускорить процесс проектирования и производства ЭПК для космических платформ с различной мощностью полезной нагрузки.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи работы, описаны методы исследований, изложены сведения о научной новизне и практической значимости, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен обзор ЭПК, применяемых в системах электропитания крупных спутниковых платформ, используемых в современных спутниках. Исследование выявило, что все существующие ЭПК опираются на несколько унифицированных типов модулей и имеют схожую структуру систем автоматического регулирования. Для создания ЭПК автором предложена новая конфигурация системы автоматического регулирования на основе стабилизации напряжения с цифровым управлением и использованием унифицированных модулей. Новая конфигурация позволяет снизить издержки производства, улучшить технические и удельные показатели, а также повысить надежность и глубину резервирования ЭПК.

Во второй главе приведена структурная схема ЭПК, основанного на автономных унифицированных модулях стабилизации напряжения. Установлена математическая зависимость между величиной емкости выходного фильтра, частотой работы импульсного преобразователя, его выходным импедансом и фазовым запасом контура обратной связи по напряжению. Также предложен и реализован быстродействующий многоканальный элемент выбора медианного сигнала на имитационной модели и аппаратном макете.

Проведено исследование, показывающее возможность замены ЦШИМ в структурной схеме систем автоматического регулирования импульсных преобразователей напряжения на звено чистого запаздывания с переменным временем запаздывания, зависящим от положения рабочей точки системы. Кроме того, предложен цифровой широтно-импульсный модулятор, способный снизить максимальное время запаздывания, внесенное модулятором.

В третьей главе проведен синтез корректирующих звеньев зарядно-разрядного канала и канала регулирования солнца в ЭПК. Экспериментом на имитационной модели была проверено соответствие частотных характеристик разомкнутых контуров регулирования теоретическим параметрам и подтверждено выполнение требований к выходному импедансу. Было обоснованно упрощено представление импульсных моделей ЭПК путём приведения их к форме нелинейных непрерывных моделей. Экспериментально демонстрировалась сходимость результатов моделирования между нелинейными непрерывными и импульсными моделями преобразователей энергии. Предоставлено описание полной имитационной модели ЭПК, состоящей из семи модулей стабилизации напряжения.

В четвертой главе приведены примеры цифровых интерфейсов, используемых для взаимосвязи между модулями стабилизации напряжения, а также функциональных блоков, управляющих выполнением команд на включение и выключение. Представлены схемы организации электропитания управляющих цепей ключевых элементов силовых преобразователей. Приведена практическая реализация, данных технических решений.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна полученных результатов

Соискателем определены следующие формулировки научной новизны:

1. Предложена структурная схема системы автоматического регулирования ЭПК, отличающаяся тем, что для каждого канала преобразования энергии реализован независимый контур обратной связи по выходному напряжению, а единый сигнал управления для подчиненного контура регулирования каждого канала выбирается многоканальными элементами выбора медианного сигнала, что позволяет создавать ЭПК из автономных унифицированных модулей стабилизации напряжения и ступенчато наращивать его выходную мощность параллельным включением модулей, обеспечивая многократное резервирование функциональных узлов ЭПК.

2. Установлена количественная связь величины емкости выходного фильтра с частотой работы импульсного преобразователя, его выходным импедансом и запасом по фазе контура обратной связи по напряжению.

3. Предложен алгоритм ЦШИМ и его схемотехническое решение, в котором реализовано асинхронное изменение содержимого регистра сравнения, с частотой, превышающей частоту работы модулятора, что позволяет кратно снизить максимальное время чистого запаздывания, вносимое в контур регулирования, и повысить быстродействие цифровой системы управления.

Практическая значимость результатов работы

Практическая значимость результатов работы заключена в разработке новой структурной схемы системы автоматического регулирования ЭПК с модульной структурой, разработке быстродействующего ЦШИМ, позволяющего исключить фазовые задержки, разработке нового безынерционного многоканального элемента выбора медианного сигнала с реализацией на ПЛИС, разработке быстродействующего (850 МБод) резервированного цифрового интерфейса связи.

Важным свидетельством практической значимости проведенных диссертантом исследований является Акты о внедрении, полученный от АО «ИСС» и ТУСУР, приложенные к работе.

Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных результатов обеспечена строгостью выполнения используемых методов моделирования в инструментальной среде MATLAB, непротиворечивостью с результатами и выводами других разработок и исследований по обозначенным проблемам.

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, опубликованы в 27 печатных работах, из них 2 в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК. Все представленные на защиту результаты получены автором лично и обсуждались на научных конференциях и семинарах.

Считаю, что основное содержание диссертации, её основные научные положения и практические результаты достаточно полно отражены в публикациях и докладах автора.

Замечания по диссертационной работе

1. На стр. 52 диссертации автор утверждает о достижении предельно возможного показателя надежности ЭПК на основе предложенных им технических решений. Подобное утверждение требует, как минимум, разъяснения, а, как максимум, доказательства с помощью расчета надежности.

2. Требуется разъяснения утверждение автора о том, что предложенные схемотехнические и алгоритмические решения обеспечивают минимальное количество зарядно-разрядных циклов аккумуляторной батареи (АБ). Оппоненту представляется, что количество зарядно-разрядных циклов АБ в первую очередь определяется количеством циклом «Тень» – «Свет» при движении КА по орбите.

3. Термин «равномерность тока заряда (разряда) АБ» представляется оппоненту не очень удачным.

Заключение

Отмеченные недостатки не снижают качество исследования и не влияют на полученные конечные результаты диссертационной работы. Диссертация Кабирова Вагиза Александровича представляет собой законченную квалификационную работу, в которой достигнуты важные научные и практические результаты.

Работа отвечает требованиям п. 9 Положения (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, 824) о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор - Кабиров Вагиз Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент
профессор Инженерной школы энергетики
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»,
доктор технических наук, профессор

 Гарганеев Александр Георгиевич

30 ноября 2023 года

634050, Россия, г. Томск, проспект Ленина, д. 30
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»
Тел. +7 (3822) 60-63-33, +7 (913) 107-35-28,
e-mail: garganeev@rambler.ru

 Е.А. Кулинич

*Отзыв на диссертацию 01.12.2023
из Дирекции МА*

*с отзывом ознакомлен
05.12.2023*