Отзыв

на автореферат диссертации Козлова Романа Викторовича «Оптимизация энергомассовых характеристик системы электропитания геостационарного космического аппарата», представленной на соискание степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы»

Разработка систем электропитания (СЭП) космических аппаратов (КА) осуществляется по критерию экстремума энергомассовых характеристик. Это условие предполагает, что при заданной мощности полезной нагрузки и служебных систем и определённых факторах космического пространства на интервале активного существования КА масса СЭП должна быть минимальной.

Максимальная масса космического аппарата, которую возможно вывести на целевую орбиту, обратно пропорциональна высоте этой орбиты. Поэтому стоимость вывода КА на геостационарную орбиту (36 тыс. км) является весьма значительной по сравнению со стоимостью вывода на более низкие орбиты. Современные СЭП КА обладают удельной мощностью на уровне от 25 до 32 Вт/кг, что при мощности полезной нагрузки 10 кВт даёт массу системы 400 кг. При этом повышение удельной мощности СЭП дает синергетический эффект, когда одновременно высвобождаются ресурсы и массы, и мощности для установки на борт КА дополнительной полезной нагрузки. Поэтому при разработке СЭП, в особенности для геостационарных КА, наибольшее внимание уделяется поиску способов повышения энергомассовых характеристик СЭП.

В состав современных СЭП геостационарных КА входят: батарея солнечная (БС), комплект аккумуляторных батарей (АБ), прибор контроля и защиты АБ (ПКЗ АБ), а также системообразующий элемент СЭП – энергопреобразующая аппаратура (ЭПА).

В настоящее время наблюдается рост научно-технического интереса к разработкам ЭПА с применением мостовых резонансных инверторов импульсных преобразователей. К преимуществам таких СЭП, которые позволяют улучшить её энергомассовые характеристики, относят: снижение уровня генерируемых помех, уменьшение массы выходных фильтров преобразователей за счет повышения частоты коммутации ключевых элементов, исключение силовых коммутаторов подключения БС и АБ и т.д. Наряду с этими преимуществами открываются новые возможности в части повышения удельных энергомассовых характеристик СЭП КА путём изменения параметров межблочного силового интерфейса СЭП, например, варьированием диапазонами рабочих напряжений АБ и БС.

Поэтому теоретические исследования в направлении улучшения энергомассовых характеристик СЭП на базе мостовых резонансных инверторов, а

также разработка практических рекомендаций по их оптимизации является актуальной научно-технической задачей. Работа написана на актуальную тему.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

- предложена структура СЭП на основе мостовых резонансных инверторов с гальванической трансформаторной развязкой АБ и БС от нагрузки, обеспечивающих возможность независимого варьирования в некоторых пределах диапазонами рабочих напряжений БС и АБ с сохранением параметров энергетической и энергомассовой эффективности;

- разработана методика оценки энергетической эффективности энергопреобразующей аппаратуры, позволяющая представить нелинейную зависимость КПД от выходной мощности в виде линейной функции зависимости выходной мощности от входной с двумя константами – коэффициентом передачи мощности и собственным потреблением;

- создана имитационная модель СЭП геостационарного КА в статических режимах работы, реализующая функцию экстремального регулирования мощности БС, заряда АБ в квази-потенциостатическом режиме, с возможностью масштабирования для требуемого количества последовательно соединенных ФП в БС и аккумуляторов в АБ необходимой емкости;

- предложена методика оптимизации энергомассовых характеристик СЭП, обеспечивающая достижение её максимальной удельной мощности в заданном диапазоне изменения количества последовательно соединенных фотопреобразователей в БС и аккумуляторов в АБ.

Научная новизна работы в целом не вызывает сомнений. Выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, судя по автореферату, достаточно обоснованы. Полученные в работе аналитические формулы обладают достаточной общностью и могут быть использованы для исследования и проектирования систем электропитания космических аппаратов. Основные положения диссертации достаточно полно отражены в работах, опубликованных в изданиях из перечня ВАК и входящих в международную базу SCOPUS.

По автореферату можно сделать следующие замечания и задать вопросы.

1. Работа посвящена исследованию численного имитатора СЭП. Проверка адекватности имитационной модели проводилась в наземных условиях (на производственной базе АО «Сатурн», г. Краснодар). Из автореферата неясно, проводилась ли верификация имитационной модели по результатам реальной лётной эксплуатации геостационарного КА? Учитывалась ли в имитационной модели деградация электрических характеристик компонентов СЭП в результате воздействия ионизирующих излучений космического пространства (ИИКП), которые особенно сильно проявляются на геостационарных орбитах?

2. При создании СЭП для КА с приемлемым сроком активного существования (обычно не менее 5 лет) необходимо защищать её от ИИКП: путём их экранирования (в том числе, элементами конструкции КА), выбора радиационно-стойкой электронной компонентной базы, а также специальных схемных и программных решений и др. Из автореферата неясно, учитывалась ли при оптимизации энергомассоваых характеристик СЭП масса экранирующих кожухов? Учитывалась ли при разработке схем СЭП необходимость резервирования её компонентов и возможность оперативного переключения между полукомплектами СЭП?

Сделанные замечания не снижают общего положительного впечатления от работы. Судя по автореферату, диссертационная работа «Оптимизация энерго-массовых характеристик системы электропитания геостационарного космического аппарата» является законченной научно-квалификационной работой и представляет собой комплекс научно-обоснованных технических решений, необходимых для улучшения энергомассовых характеристик СЭП КА. Работа 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 её автор, Козлов Роман Викторович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании отдела № 18 от 15.10.2021г. протокол № 10.

Доктор технических наук, доцент Захаренко Андрей Борисович, начальник отдела общих научно-технических исследований (№18) АО «Корпорация «ВНИИЭМ».

Кандидат технических наук Надкин Александр Каренович, научный сотрудник АО «Корпорация «ВНИИЭМ».

Доктор технических наук, доцент А.Б. Захаренко

Кандидат технических наук А.К. Надкин

Подписи Захаренко А.Б. и Наткина А.К. удостоверяю.

Учёный секретарь АО «Корпорация ВНИИЭМ»

кандидат военных наук, доцент А.В. Пинчук

107078, РФ, г. Москва, Хоромный тупик, дом 4, строение 1, АО «Корпорация «ВНИИЭМ», тел. (495) 366 26 44, e-mail: otdel18@mcc.vniiem.ru.

18 октября 2021 г.