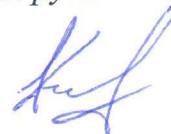


На правах рукописи



Киселев Павел Валерьевич

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
РАСЧЕТОВ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ
ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание

степени магистра по направлению Системный анализ и управление (220100.68)
магистерская программа – Системное проектирование космических аппаратов
(220100.68.05)

Красноярск 2014

Работа выполнена на Межвузовской базовой кафедре «Прикладная физика и космические технологии» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель:

Почебут Дмитрий Владимирович, кандидат технических наук, ведущий инженер отдела бортовых систем электропитания космических аппаратов ОАО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнева.

Рецензент:

Балашов Сергей Владимирович, начальник сектора аппаратуры мониторинга факторов космического пространства, факторов техногенного характера, электростатического разряда и плазмы стационарного плазменного двигателя отдела электромагнитной совместимости, электростатического разряда и факторов космического пространства ОАО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнева

Защита диссертации состоится «8» июля 2014 г. в 16:00 часов в ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» по адресу:
662971, Железногорск, ул. Кирова 12А

С авторефератом магистерской диссертации можно ознакомиться на сайте СФУ <http://edu.sfu-kras.ru/engineering> и в архиве открытого доступа:
<http://elib.sfu-kras.ru>

Руководитель магистерской программы:

доктор технических наук,
профессор



В. Е. Чеботарев

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Под действием потоков плазмы, космический аппарат (КА) приобретает некоторый электрический заряд и обусловленный им электрический потенциал относительно окружающей плазмы.

Разные участки поверхности КА могут заряжаться неодинаково: из-за различных условий воздействия внешних факторов на эти участки, из-за различий в электрофизических свойствах находящихся на них материалов. Происходит так называемое дифференциальное заряджение, при котором между отдельными участками поверхности КА появляются электрические напряжения. В некоторых случаях возникающие на КА потенциалы могут измеряться киловольтами и могут приводить к электрическим разрядам на поверхности КА и солнечной батареи (БС).

БС представляет собой планарную конструкцию. Плюсовые и минусовые выводы генераторов пространственно-разнесены. При выполнении монтажа электрического интерфейса существенная его часть остается неэкранированной. Развязывающее устройство генераторов БС находится в непосредственной близости от неэкранированной части кабельной сети. От выходных соединителей створок БС до поворотного устройства БС и далее до входных соединителей комплекса энергопреобразующего (КЭП) кабельная сеть имеет сплошное экранирование.

С этой точки зрения данные неэкранированные участки кабельной сети БС, находящиеся в непосредственной близости от диэлектрической поверхности защитных стекол фотопреобразователей (ФП), являются наиболее вероятными объектами воздействия электростатического разряда. Данное воздействие может привести к деградации или выходу из строя электрорадиоизделий, входящих в состав элементов системы электропитания (СЭП) КА.

Объектом исследования является СЭП КА «Экспресс-АМ5».

Предметом исследования являются переходные процессы по току и напряжению в СЭП КА.

Целью работы является оценка влияния переходных процессов по току и напряжению, возникающих в системе электропитания КА от воздействия электростатического разряда, на неэкранированные участки электрического интерфейса БС.

В процессе исследования необходимо оценить влияние электростатического разряда на различные точки электрической схемы СЭП. При этом наибольший интерес представляют процессы на входе и выходе КЭП. На основании данной оценки будет приниматься решение о целесообразности введения схем парирования воздействий ЭСР.

Научная новизна. Все результаты диссертации являются новыми.

Местом выполнения диссертации являлся отдел бортовых СЭП КА ОАО «ИСС» имени академика М.Ф. Решетнева.

Место международной стажировки – Институт аэронавтики и космоса, г.Тулуза, Франция.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель исследования, выделена практическая значимость полученных результатов.

В первой главе приведена блок-схема СЭП КА с последующим определением эквивалентных электрических схем для каждого ее блока.

Упрощенный вид СЭП КА отображен на блок-схеме, показанной на рисунке 1.



ЭСР – схема имитации электростатического разряда,
ХКЛ1 – клемма для связи шины «минус» КЭП с корпусом КА

Рисунок 1 – Блок-схема СЭП КА

Для определения амплитуды переходных процессов по току и напряжению в различных точках схемы и уровня воздействий на ЭРИ бортовой аппаратуры СЭП и кабельную сеть потребовалось провести математическое имитационное моделирование воздействия ЭСР на схему СЭП.

Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

- определены эквивалентные электрические схемы составляющих СЭП согласно рисунку 1;
- смоделирована работа эквивалентных электрических схем каждой из составляющих блок-схемы рисунка 1 в системе динамической симуляции;
- определены уровни воздействия на точки электрической схемы, представляющие наибольший интерес (входные и выходные соединители КЭП, узлы КЭП, развязывающие диоды БС).

Путем анализа в качестве наиболее вероятных точек воздействия ЭСР были выбраны электропроводящие элементы КА.

Отрицательный электрический заряд, скопившийся на поверхности защитного стекла ФП БС, может вызвать электростатическое воздействие на следующие электропроводящие элементы КА:

- в неэкранированную шину «плюс» или шину «минус» кабеля БС;
- в корпус КА через магнитосферную плазму.

Воздействие ЭСР на эти точки было рассмотрено в данной работе.

Итогом первой главы является эквивалентная электрическая схема рассматриваемой части СЭП КА (см. рисунок 1).

Во второй главе приведены результаты моделирования переходных процессов по току и напряжению на элементах схемы и произведен анализ полученных результатов. Также был оценен эффект от применения схем защиты для снижения амплитуды переходных процессов при воздействии ЭСР.

Для моделирования переходных процессов по току и напряжению на элементах схемы СЭП от воздействия ЭСР была использована система динамической симуляции Simulink программного пакета MATLAB 7.10.

Анализ полученных результатов моделирования показал превышение допустимых значений напряжений и токов на ЭРИ КЭП. Максимальные переходные процессы имеют место при воздействии ЭСР на неэкранированную плюсовую шину кабеля БС. В этом случае напряжение на выходе БС изменяется в диапазоне от минус 2400 В до плюс 1210 В, ток достигает значения 118 А. На входе в шунтовой стабилизатор (ШС) КЭП напряжение изменяется в диапазоне от минус 1880 В до плюс 200 В. Наиболее значительную часть воздействия на вход КЭП принимают на себя входные диоды ШС КЭП. Напряжение на входных диодах достигает значения минус 655 В в прямом направлении, что может привести к пробое диода.

Для снижения воздействий на ЭРИ бортовой аппаратуры СЭП и кабельную сеть были предложены следующие варианты простейших схем защиты:

- установка на входе ШС КЭП диода между плюсовой шиной кабельной сети БС и корпусом КА по направлению к плюсовой шине;
- установка на входе ШС КЭП диода между минусовой шиной кабельной сети БС и корпусом. При этом для шины минус были рассмотрены варианты установки диода как в прямой, так и в обратной полярности;
- введение в схему на входе ШС КЭП элементов, изменяющих магнитную связь между плюсовой и минусовой шинами (трансформатора).

Также оценивалось влияние от введения магнитной связи вместе с диодами схемы защиты на уровень воздействия на ЭРИ от воздействия ЭСР.

Анализ полученных результатов влияния схем защиты для снижения амплитуды переходных процессов при воздействии ЭСР на неэкранированную шину кабеля БС показал следующее:

- практически во всех случаях применения схем защиты происходит снижение амплитуды воздействий на кабельную сеть БС и на вход ШС КЭП;
- наилучшие результаты по снижению амплитуды переходных процессов были достигнуты при введении в схему магнитной связи вместе с диодами. Полярность установки диода между минусовой шиной и корпусом КА значение не имела;
- влияние схем защиты на диапазоны изменения напряжений остальных участков незначительно.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Первый опыт математического моделирования воздействия ЭСР в силовые цепи контура БС кабельная сеть – КЭП привёл к неожиданным результатам. С одной стороны, реальные технические образцы демонстрируют в полёте работу без сбоев и деградации. С другой стороны, моделирование показало наличие воздействий на элементы силовых цепей по току и, особенно, по напряжению, значения которых существенно превышают допустимые пределы для обеспечения их нормальной работоспособности.

Такое несоответствие может быть вызвано комбинацией следующих факторов:

- математическое описание элементов не полностью соответствует физическим характеристикам объектов контура БС – кабельная сеть – КЭП;
- заданные уровни воздействий от ЭСР существенно превышают реально существующие уровни воздействий;
- фактические уровни воздействия от ЭСР не приводят к необратимым отказам элементов за счёт их конструктивных запасов;
- элементы силового контура теряют работоспособность во время воздействия ЭСР и восстанавливают её после воздействия. При этом сбоев бортовой аппаратуры не наблюдается из-за фильтрующих свойств КЭП и кратковременности воздействия.

В данной ситуации представляется целесообразным выполнить дальнейшее аналитическое и экспериментальное исследование этого явления. Данное исследование необходимо провести по следующим направлениям предварительного плана:

1) Аналитическое исследование:

- совместный анализ параметров и структуры математических моделей элементов;
- совместный анализ параметров и уровней математических моделей ЭСР;
- формирование предложений по уточнению параметров и структуры математических моделей и повторные вычислительные эксперименты.

Результатом работ должно быть формирование исходных данных для эксперимента и уточнённая модель.

2) Экспериментальное исследование.

В наличии имеется необходимая материальная часть:

- представительная для эксперимента тестовая панель БС;
- макет входных цепей КЭП;
- силовая кабельная сеть;
- аппаратура генерации ЭСР и измерения помех.

При необходимости могут быть собраны макеты схем защиты. Испытания предлагается провести на базе лаборатории отдела бортовых СЭП КА ОАО «ИСС».

Результатами экспериментального этапа должны быть:

- измеренные параметры помех;
- уточнённая и верифицированная модель;
- предложения по введению, при необходимости, средств защиты от помех.

В случае принятия решения о необходимости введения средств защиты представляется целесообразным определить место размещения устройства защиты.

Во время стажировки в компании Thales Alenia Space (г.Тулуза, Франция) были получены знания по общему проектированию КА. Посещение цехов изготовления и испытаний космических аппаратов позволило провести научную дискуссию с французскими коллегами по теме диссертации.

СПИСОК РАБОТ, В КОТОРЫХ ОПУБЛИКОВАНЫ ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

1. Киселев П.В. Разработка программы и методики определения технического уровня энергопреобразующей аппаратуры системы электропитания космического аппарата с целью сравнения различных энергопреобразующих аппаратур для достижения максимальной эффективности системы электропитания космического аппарата / Интеллект и наука : труды XIII Междунар. молод. науч. конф. / отв. ред. А. В. Хныкин ; Железногор. филиал СФУ. – Железногорск, 2013. – С. 30–32.

2. Kiselev, P.V. Development of the program and estimation procedure for electrical power convert equipment technical rate of spacecraft electrical power subsystem to compare the different electrical power convert equipment for maximum efficiency of spacecraft electric power subsystem // Специальное инженерное образование – подготовка современных инженерных кадров : тезисы [первой] региональной научно-технической конференции магистрантов 19 ноября 2013 года / Сиб. федерал. ун-т; отв. за вып. Е. А. Шипилова. – 2013. – С. 13-14.

3. Почебут Д.В., Киселев П.В. Моделирование работы электрической схемы системы электропитания космического аппарата для проведения расчетов переходных процессов токов и напряжений при воздействии электростатического разряда / Интеллект и наука : труды XIV Всеросс. молод. науч. конф. с междунар. уч. / отв. ред. А. В. Хныкин ; Железногор. филиал СФУ. – Железногорск, 2014. – С. 138–139.

4. Почебут Д.В., Киселев П.В. Моделирование работы электрической схемы системы электропитания космического аппарата для проведения расчетов переходных процессов токов и напряжений при воздействии электростатического разряда // Исследования наукограда. 2014. № 2. С. 8-12.