

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОСТРОЕНИЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ КА

К.Е. Воронов, А.М. Телегин, Г.И. Леонович, А.А. Артюшин
«Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королёва», г. Самара

Ключевые слова: электризация, космический аппарат, заряд.

При взаимодействии космического аппарата (КА) с окружающей его во время полета плазмой, возникают различные физические явления, которые образуются в связи с различными внешними факторами, зависящими как от параметров плазмы, так и от параметров КА, в первую очередь – от материалов, находящихся на его поверхности, и от конструкции аппарата. К таким явлениям относятся: образование электрического заряда на поверхности КА, распыление материалов, свечение на поверхности и вблизи нее, возбуждение колебаний в плазме и некоторые другие [1].

Образование заряда на поверхности КА (электризация) – наиболее острая проблема, которая оказывает значительное влияние на работу КА. Знак и величина этого заряда зависит от соотношения различных составляющих суммарного электрического тока, протекающего по поверхности КА. Основными составляющими этого тока являются электронный и ионный токи окружающей плазмы, вторично-эмиссионные токи, обусловленные первичными плазменными токами, и фотоэлектронный ток, возникающий под действием коротковолнового излучения Солнца. Дополнительные составляющие могут создаваться некоторыми видами бортового оборудования КА: электронными двигателями, испускающими при работе плазменные струи, электронными или ионными пушками, используемыми в научных экспериментах и т.п.

При электризации КА между его поверхностью и окружающей плазмой возникает разность потенциалов. Установившийся потенциал поверхности, отсчитываемый относительно потенциала невозмущенной плазмы, определяется условием динамического равновесия. Условие динамического равновесия определяется суммарным током, протекающим через поверхность КА и равным нулю.

Поверхность современных КА на 80-90% покрыта диэлектрическими материалами - терморегулирующими покрытиями, которые в подавляющем большинстве являются непроводящими, защитными стеклами солнечных батарей и т.д. В связи с этим, потенциалы отдельных участков поверхности и элементов конструкции могут быть различными из-за отличия условий

попадания потоков первичных частиц на эти участки и условий их освещения, а также из-за отличия эмиссионных свойств материалов поверхности. Поэтому потенциалы освещенных и неосвещенных поверхностей КА не выравниваются. Происходит так называемая дифференциальная зарядка поверхности, в отличие от которой, зарядка КА как единого проводящего тела называется общей зарядкой.

Характерное время общей зарядки КА обычно не превышает 0,3 с, а время дифференциальной зарядки может составлять единицы и даже десятки минут, что обусловлено медленным перераспределением зарядов на диэлектрических поверхностях и зарядкой емкостей, образованных этими поверхностями с металлическим корпусом. Стационарное состояние при дифференциальной зарядке может не достигаться, если параметры окружающей плазмы меняются достаточно быстро.

Возникающие при дифференциальной зарядке большие разности потенциалов между отдельными участками поверхности и элементами конструкции КА могут вызвать электрические разряды, создающие электромагнитные, световые и акустические помехи для электронного и оптического оборудования КА.

В момент магнитосферных возмущений диэлектрические материалы геостационарных КА приобретают избыточный поверхностный заряд от потока электронов с энергией до 100 кэВ, который затем может релаксировать в виде первичного триггерного разряда на электрические контакты солнечного элемента. Эти разряды в свою очередь могут инициировать вторичные устойчивые электрические дуги и даже «закоротить» линейки солнечных элементов СБ с различными потенциалами.

Для измерения поверхностного потенциала и распределения объемного заряда в толще диэлектрика разработаны и активно используются следующие методы [2].

1. Методы, основанные на измерении изменении напряжения на образце или протекающего тока при активном, часто импульсном, воздействии на образец изменяющимся температурным полем, акустическим полем, импульсом переменного давления, вызываемого импульсом лазерного излучения, пьезоэлектрическим источником, высоковольтным импульсом, разрядом:

- Термические методы. Термоимпульсные методы (ТПМ). Метод модуляции интенсивности лазера (ЛИММ).

- Методы импульсного давления (РРМ). Метод лазерно-индуцированного импульсного давления (ЛИПД). Термоупруго генерируемый ЛИПП. Пьезоэлектрически индуцированный импульс давления (ПИПД). Метод неструктурированных акустических импульсов (NSAPM). Метод акустических импульсов, генерируемых лазером. Метод механического акустического зондирования.

- Способ электроакустического импульсного воздействия. Метод ступенчатого давления, генерируемый пьезоэлектрическим способом.

2. Метод основанный на изменении (расщеплении) спектра излучения при его поглощении исследуемым образцом

- Метод фотопроводимости.

3. Методы основанные на взаимодействии электрического поля (заряда) с оптическим излучением приводящие к изменению свойств (поляризации) оптического излучения:

- Эффект Погкельса – это линейный электрооптический эффект, часто наблюдаемый в кристаллических материалах.

- Эффект Керра является квадратичным электрооптическим эффектом.

4. Методов полевого зондирования, основанных на взаимодействии поверхностного или объемного заряда с подвижным электродом. Эта группа методов основана на принципе емкостной связи.

- Детектор статического заряда.
- Способ динамического измерения тока.
- Датчик поверхностного потенциала.

5. Зондовые измерения.

- Зонд Ленгмюра

К сожалению, большая часть из них применима только для экспериментального исследования образцов диэлектриков и не применимы для использования в условиях космического пространства для проведения исследования процесса образования поверхностного и объемного заряда на диэлектрических элементах поверхности КА.

В большей степени это обусловлено:

1. Наличием экстремального воздействия на экспериментальный образец, приводящий к его разрушению.

2. Введением дополнительных электродов и источников электрического заряда искажающих реальную картину возникновения поверхностных потенциалов на экспериментальных образцах.

3. Невозможность встраивания в штатную систему КА.

Часть методов, группа 4 и 5, получило распространение в практике космического приборостроения для исследования эволюции заряда на поверхности КА при воздействии на него совокупности факторов космического пространства в процессе орбитального полета. Частично это обусловлено целевой задачей - измерение поверхностного потенциала, общего заряда КА. Так как именно поверхностный заряд, дифференциальная зарядка элементов поверхности служат источниками высоковольтных пробоев и разрядов приводящих к нарушению штатной работы систем КА.

В институте космического приборостроения, начиная с 2002 года, были разработаны, изготовлены и проведены космические эксперименты на КА Фотон-М №1, Фотон-М №2, Аист 1-Т, Аист 1Л, с использованием датчиков определения общего потенциала КА, датчик электризации выносной ДЭВ, поверхностных датчиков электризации ДЭ 1, 2,3,4 (датчики потока заряженных частиц на поверхность КА). На рисунках 1-3 приведены примеры указанных датчиков [3].

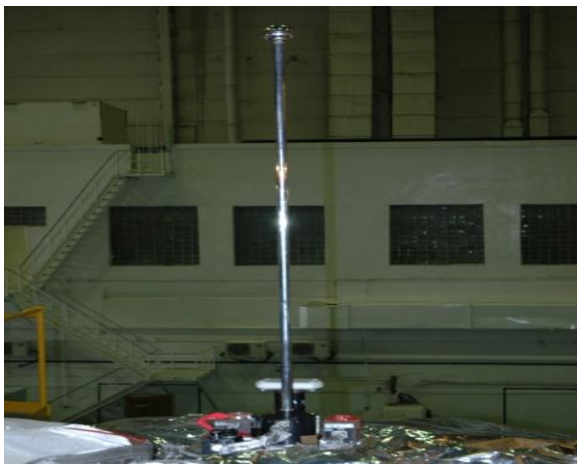


Рисунок 1 - Выносной датчик электризации на борту КА



Рисунок 2 - Датчик электризации на борту КА

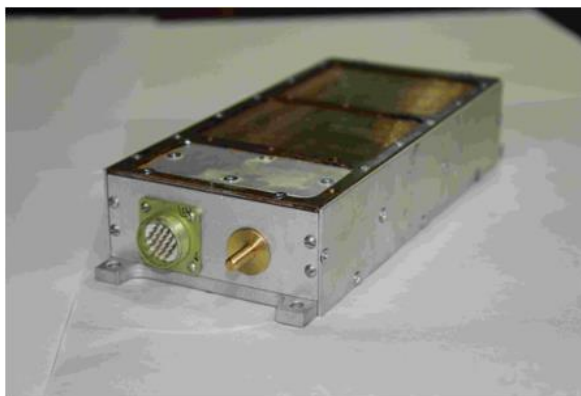


Рисунок 3 – Многопараметрический датчик для КА «Аист»

Однако увеличивающиеся сроки функционирования КА, увеличивающиеся требования надежности РЭА, переход к высоковольтным системам питания КА вызывают необходимость создания новых систем контроля и управления поверхностным потенциалом на больших диэлектрических поверхностях (например, солнечных батареях). Так как при этом достигается повышение срока службы солнечных батарей за счет контроля их состояния и выбора эффективного способа их эксплуатации. С учетом того, что солнечные батареи являются первичным источником энергии на космическом аппарате, отказ в системе электропитания приводит к частичному или полному отказу всего спутника в целом. А стоимость потери или снижения функциональности космического аппарата высока (прямые расходы включают стоимость изготовления, вывода, введение в эксплуатацию и т.д.).

Одним из подходов, с нашей точки зрения, позволяющим обеспечить независимость функционирования штатной системы электропитания КА и контроля образования поверхностного заряда на ФЭПах солнечной батареи, является построение измерительных систем с использованием оптоволоконных датчиков на решетках Брэгга [4, 5].

Предлагаемая структура измерительной системы (рисунок 4) содержит перестраиваемый импульсный источник когерентного излучения (лазер) 1, поляризатор 2, циркуляторы, измерительную и опорную линейки с решетками Брэгга, делитель оптической мощности 3, сумматор оптической мощности 4, управляемую линию задержки для электронной подстройки начальной фазы сигнала 5, детектор оптического излучения (лавинный фотодиод), схема сбора и обработки первичной информации 6, усилитель с лавинного фотодиода 7.

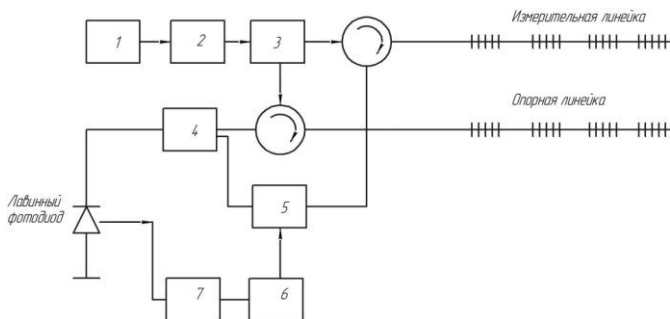


Рисунок 4 –Распределенная оптоволоконная измерительная система

Представленная на рисунке 4 оптоволоконная система измерения электризации обладает рядом преимуществ по сравнению с электрическими датчиками: стойкостью к воздействию радиации и электромагнитного излучения, небольшой массой (все датчики монтируется на одно оптоволокно), отсутствие необходимости подвода питающего напряжения к датчикам.

Список использованных источников

1. Акишин А. И., Новиков Л. С. Воздействие окружающей среды на материалы космических аппаратов. – М.: Знание, 1983. – 64 с

2. Charge Detection Methods for Dielectrics – Overview/Dr. Maciej A. Noras//Trek Application Note. 2013. - №3005.

3. Электризация поверхности низкоорбитального малого космического аппарата "АИСТ"/Сёмкин Н.Д., Брагин В.В., Пияков А.В., Телегин А.М., Рязанов Д.М., Матвиец М.Г.//Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2015. Т. 14. № 1. С. 46-57.

4. Распределенные волоконно-оптические измерительные системы / Ю. Н. Кульчин. - Москва : Физматлит, 2001. - 272 с.

5. Сенсорная система на основе внутриволоконных брэгговских решеток и интеррогатора со спектрально-временным разделением каналов/ Борисенков И.Л., Воронов К.Е., Леонович Г.И., Калаев М.П., Телегин А.М.//Нано- и микросистемная техника. 2021. Т. 23. № 5. С. 247-254.

Воронов Константин Евгеньевич, к.т.н., доцент каф. радиотехники, директор института космического приборостроения, voronov.ke@ssau.ru.

Телегин Алексей Михайлович, к.ф.-м.н., доцент каф. КТЭСиУ, talex85@mail.ru.

Леонович Георгий Иванович, д.т.н., профессор каф. радиотехники, leogi1@mail.ru.

Артюшин Андрей Алексеевич, инженер-конструктор института космического приборостроения, andrey.artushin@gmail.com.