УДК 621.78:621.311:621.317.1:629.7.05

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПОМЕХ В ЦЕПЯХ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, ВЫЗВАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА

© 2015 А.В. Костин, М.Н. Пиганов

Самарский государственный аэрокосмический университет имени акад. С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 24.03.2015

В статье приводится описание эксперимента по измерению помех в цепях бортовой аппаратуры космических аппаратов, вызванных электромагнитным полем электростатического разряда. Приводятся результаты этого эксперимента. По результатам эксперимента сделаны выводы.

Ключевые слова: бортовая аппаратура, космический аппарат, электромагнитное поле, помеха, электростатический разряд, осциллограммы, макет

Космическая техника развивается в сторону увеличения срока активного существования, расширения функциональных возможностей, снижения габаритов и массы. Такая тенденция привела к необходимости применения полупроводниковых приборов с высоким быстродействием. В отличие от электромагнитных реле, программных механизмов и полупроводниковых приборов с низких быстродействием они более чувствительны к помехам, вызванным различными явлениями (как природными, так и антропогенного характера). Одним из таких явлений природы является электризация космического аппарата (КА). В результате электризации неметаллизированные элементы конструкции заряжаются таким образом, что между ними образуются разности потенциалов [1-4]. Эти разности потенциалов достигают значений 20 кВ [3]. Последнее приводит к возникновению электростатических разрядов (ЭСР). ЭСР порождают импульсное электромагнитное поле (ЭМП), которое воздействует как на бортовую кабельную сеть (БКС), так и на бортовую аппаратуру (БА), вызывая наводки. Наводки могут привести не только к сбоям, но и к необратимым отказам. Необратимый отказ БА может привести к потере КА. В настоящее время для определения необходимости и достаточности принятых мер по защите бортовой аппаратуры космических аппаратов от факторов электростатического разряда

Костин Алексей Владимирович, аспирант. E-mail: kipres@ssau.ru на этапе её проектирования применяется теоретическая оценка [5]. Для подтверждения устойчивости бортовой аппаратуры космических аппаратов к факторам электростатического разряда проводятся наземные отработочные испытания [6]. Исследованию помех, наведённых в БКС, посвящено очень много научных работ. Исследованию помех, наведённых в цепях БА КА, посвящено гораздо меньше научных работ. Но пагубное влияние помех, наведённых в последней, не меньше.

Цель работы: разработка методики экспериментального исследования помех, наведённых в цепях БА КА.

Для проведения эксперимента использовался специально изготовленный макет. Макет представлял собой один типовой блок в виде рамки, закрытый сверху крышкой. Блок был установлен на основание. Общий вид макета приведён на рис. 1. Посередине рамки находится пластина (см. рис. 1), на которой в реальных приборах располагаются печатные платы, электрорадиоизделия (ЭРИ) и жгуты. Пластина является единым целым с рамкой. В макете на эту пластину были уложены провода, при помощи которых имитировались цепи БА КА. На неё также были установлены имитаторы заполнения прибора, макеты ЭРИ и плат, а также коммутатор (назначение которого указано ниже). Пластина не являлась сплошной, а имела множество отверстий различной формы и размеров. Рамка, крышка и основания были изготовлены из сплава АМгб.

Провода внутри макета представляют собой антенны. Имеются рамочные и вибраторные

Пиганов Михаил Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств. E-mail: piganov@ssau.ru

антенны (приёмники магнитного и электрического поля соответственно). Антенны подключаются к высокочастотному соединителю со значением волнового сопротивления 50 Ом через коммутатор, каждая по отдельности. Коммутатор выполнен на основе электромагнитных реле. Им управлял оператор, производивший измерения через специальный пульт, который подключался к макету. Через высокочастотный соединитель к антеннам подключался цифровой осциллограф с помощью специального кабеля. Значение волнового сопротивления кабеля 50 Ом. Длина кабеля составляла 1 м. Для осциллографирования использовался прибор DPO 4104 фирмы Tektronix со значением полосы пропускания 1 ГГц. Схема установки для измерения напряжения помех в антеннах представлена на рис. 2. В макете было 12 антенн. Был получен огромный массив данных. Привести его в настоящей статье не представляется возможным. Рассмотрим только 5 антенн из 12. Конфигурации рассматриваемых антенн приведены в табл. 1.



Рис. 1. Общий вид макета



Таблица 1. Конфигурации рассматриваемых антенн

Поле ЭСР создавалось специальным генератором электростатического разряда (ГЭР). Форма импульса создаваемого ГЭР представлена на рис. 3. Значение длительности фронта разрядного импульса составляет 13,8 нс. Значение длительности импульса по уровню 0,5 составляет 117,9 нс.

На макет воздействовали полем, созданным ёмкостной антенной и разрядным наконечником из комплекта ГЭР. Экспериментально было выявлено, что такие воздействия ЭСР вызывают самые большие помехи. Макет был установлен на пластину из АМг6. Закрепление производилось винтами через виброизоляторы, входящие в состав макета. Такой способ установки применяется достаточно часто для БА КА. Цель его – защита БА от механических воздействий. Макет металлизировался к пластине через клемму металлизации (см. рис. 1) при помощи перемычки. Сопротивление цепи металлизации не превышало 2 мОм (согласно ГОСТ 19005-81). Указанные виброизоляторы изготовлены из металла и являются проводниками. Можно сказать, что макет был дополнительно металлизирован в точках закрепления. Заземляющий провод ГЭР был подключен к пластине. Пластина была заземлена в двух точках. Антенна располагалась напротив незадействованных соединителей. Плоскость антенны располагалась параллельно плоскости панели. Значение расстояния между антенной и верхней крышкой макета 30 мм. При измерении применялось усреднение по 32 периодам. Измерения производились при воздействии импульса ЭСР с амплитудой напряжения 20 кВ.





Рис. 3. Осциллограмма импульса тока ГЭР

т 🖌	•	n				U		
Гаодица	1.	значения	амплитул	і импульсов	ппи	возлеиствии	пазпялным	наконечником
гаотица		Sind termin	uning 11 yr	(mining side ob	mpm	возденетвии	разрядным	manone minitom

№ антенны	1	2	3	4	5
значение амплитуды	170	300	130	180	130
импульса в антенне					
без нагрузки, В					
значение амплитуды	120	120	90	110	95
импульса в антенне с					
нагрузкой, В					

Таблица 3. Значения амплитуд импульсов при воздействии ёмкостной антенны

№ антенны	1	2	3	4	5
значение амплитуды	80	100	130	96	135
импульса в антенне					
без нагрузки, В					
значение амплитуды	92	92	96	96	100
импульса в антенне с					
нагрузкой, В					

В результате экспериментов были получены осциллограммы напряжения в антеннах в условиях воздействия ЭМП, вызванного ЭСР. Поскольку все осциллограммы даже для рассматриваемых антенн привести в настоящей статье не представляется возможным, то ограничимся лишь типовыми, а для остальных укажем только амплитуды импульсов напряжения. На рис. 4-7 представлены осциллограммы импульсов напряжения, наведённых в приёмной антенне 1. В табл. 2 и 3 представлены значения амплитуд импульсов напряжения, наведённых в рассматриваемых антеннах. Если сравнивать рисунки и таблицы, то можно увидеть в последних, что амплитуда импульсов в 100 раз больше. Это из-за того, что кабель, соединяющий макет и осциллограф, подключался к последнему через делитель, уменьшающий напряжение сигнала в 100 раз.



Рис. 4. Осциллограмма импульса напряжения, вызванного воздействием поля ёмкостной антенны (приёмная антенна без нагрузки)



Рис. 5. Осциллограмма импульса напряжения, вызванного воздействием поля ёмкостной антенны (приёмная антенна с нагрузкой)



Рис. 6. Осциллограмма импульса напряжения, вызванного воздействием поля, созданного разрядным наконечником (приёмная антенна без нагрузки)



Рис. 7. Осциллограмма импульса напряжения, вызванного воздействием поля, созданного разрядным наконечником (приёмная антенна с нагрузкой)

Выводы:

1. Под действием ЭМП ЭСР в цепях БА КА могут наводиться импульсы напряжения существенной величины. Такие импульсы могут привести не только к ложному переключению ключей интегральных схем, но и необратимому отказу. Таким образом, существует реальная опасность, вызванная воздействием ЭМП ЭСР на БА КА.

2. Нагрузка, включенная в цепи БА КА, существенно влияет на напряжение помехи и даже его форму.

3. Моделью холостого хода может служить цепь, нагруженная на функциональный узел с большим входным сопротивлением, или интегральную схема с входом в высокоимпедансном состоянии. Нагрузка, в основном, снижает амплитуду импульса напряжения помехи. Это связанно с шунтированием выхода приёмной антенны. Вообще, осциллограммы импульсов напряжения представляют собой сложный, затухающий колебательный процесс. Скорее всего, он является результатом свободных колебаний в сложной резонансной системе, состоящей как из емкости, индуктивности и активного сопротивления антенны, коммутатора, кабеля, делителя и осциллографа (измерительного тракта), так и тех же параметров самого корпуса, как сложного объёмного резонатора.

4. Сравнивая напряжения в антеннах можно сказать, что не во всех рамочных антеннах с большей площадью амплитуда напряжения больше, хотя ЭДС, наводимая в токовом контуре, пропорциональна магнитному потоку через площадь этой рамки. Но силовые линии магнитного поля, пронизывающие токовый контур, не везде могут быть сонаправленными. В некоторых местах они могут быть направлены противоположно. Магнитный поток через больший контур, охватывающий такие зоны, может быть меньше магнитного потока через меньший контур, охватывающий зоны с более однородным полем. Таким образом, поле внутри БА КА при воздействии ЭСР сильно неоднородно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- 1. NASA-HDBK-4002A Mitigating in-space charging effects guideline. NASA. 2011.
- Новиков, Л.С. Взаимодействие космических аппаратов с окружающей плазмой: Учебное пособие. М.: Университетская книга, 2006. 120 с.
- Соколов, А.Б. Обеспечение стойкости бортовой аппаратуры космических аппаратов к воздействию электростатических разрядов. Дисс. на соиск. уч. степ. д.т.н. – М.: МИЭМ, 2009. 236 с.
- 4. Костин, А.В. Влияние перегородок внутри электромагнитных экранов на эффективность экранирования бортовой аппаратуры космических аппаратов от электромагнитного поля, вызванного электростатическим разрядом / А.В. Костин, М.Н. Пиганов // Сборник научных трудов Sworld. – Одесса: Куприенко С. В. 2014. Вып.1. Т. 9. С. 66-72.
- 5. Костин, А.В. Расчет помех в цепях бортовой аппаратуры космических аппаратов, вызванных электростатическими разрядами / А.В. Костин, М.Н. Пиганов // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14, №4(5). С. 1376-1379.
- Костин, А.В. Рекомендации по проведению испытаний бортовой аппаратуры космических аппаратов на устойчивость к факторам электростатического разряда / А.В. Костин, М.Н. Пиганов // Сборник научных трудов SWorld. Мат-лы межд. науч.практ. конф. «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2012». Выпуск 2. Том 5. Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. С. 74-78.

TECHNIQUE OF NOISE MEASUREMENT IN CHAINS OF SPACECRAFT ONBOARD EQUIPMENT CALLED BY ELECTROMAGNETIC FIELD OF ELECTROSTATIC DISCHARGES

© 2015 A.V. Kostin, M.N. Piganov

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University)

In article the description of experiment on measurement of noise in chains of spacecraft onboard equipment called by electromagnetic field of electrostatic discharge is provided. Results of this experiment are given. By results of experiment conclusions are made.

Key words: onboard equipment, spacecraft, electromagnetic field, noise, electrostatic discharge, oscillograms, model

Aleksey Kostin, Post-graduate Student. E-mail: kipres@ssau.ru Mikhail Piganov, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Design and Technology of Electronic Systems and Devices. E-mail: piganov@ssau.ru