

УДК 629.78+621.049.77

ОСОБЕННОСТИ НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, РАБОТАЮЩЕЙ В ВАКУУМЕ, НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ФАКТОРОВ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ

© 2014 А.В. Костин

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва

Поступила в редакцию 24.11.2014

В работе рассматриваются особенности наземных испытаний бортовой аппаратуры космических аппаратов на устойчивость к факторам электростатического разряда. Приводятся некоторые рекомендации для проведения наземных испытаний.

Ключевые слова: *бортовая аппаратура, космический аппарат, электростатический разряд, испытание, электромагнитное поле, электрический излучатель*

Бортовая аппаратура (БА) космических аппаратов (КА) развивается в сторону внедрения цифровых технологий, повышения тактовых частот обработки информации, расширения спектра обрабатываемых сигналов. Одновременно минимизируются массогабаритные параметры аппаратуры, увеличивается плотность ее компоновки в объеме КА. Все это создает сложную обстановку с позиций электромагнитной совместимости (ЭМС) приборов и узлов БА. Особую роль при этом играют процессы электризации поверхности КА, вызывающие электростатические разряды (ЭСР). ЭСР, возникающие вследствие дифференциальной зарядки КА, являются источниками электромагнитных помех (ЭМП), воздействующих на отдельные элементы, устройства и бортовые системы в целом.

В связи с бурной эволюцией электроники (применением полупроводниковой техники с высокой степенью интеграции) вновь остро встал вопрос о защите бортовой аппаратуры КА от воздействий ЭСР. Классической мерой является исключение разности потенциалов между электропроводящими элементами конструкции, все они соединяются между собой (металлизируются). Все электроизоляционные материалы тоже металлизуются путём нанесения токопроводящих покрытий. Металлизировать все элементы конструкции КА удаётся не всегда, и возникают ЭСР, которые создают электромагнитные поля (ЭМП), воздействующие на БА, они могут вызвать сбой последней или даже

отказы. Для исключения воздействия ЭМП приходится экранировать БА. Экранирование подразумевает использование электропроводных корпусов без щелей и отверстий, электропроводных (экранированных) соединителей. Если имеются отверстия в корпусах приборов, то они должны быть выполнены в виде лабиринтов, пройдя через которые ЭМП существенно ослабляются.

Особенности наземных испытаний. В настоящее время для определения необходимости и достаточности принятых мер по защите БА КА от факторов ЭСР на этапе её проектирования применяется теоретическая оценка [1]. Адекватность результатов оценки сильно зависит от точности математического описания экранирующего эффекта корпусов и электромагнитных экранов БА КА. Электромагнитный экран является достаточно сложной электродинамической системой, и его расчёт является непростой задачей. Тем более эта задача осложняется, если экран является многосекционным, то есть содержит перегородки. В статье [2] был проведен конечно-элементный анализ многосекционных экранов без неоднородностей в виде отверстий и щелей. Результаты анализа позволяют судить о том, что перегородки внутри электромагнитных экранов оказывают существенное влияние на эффективность экранирования в диапазоне частот, излучаемых ЭСР, и пренебрегать перегородками при оценке воздействия РЭС на БА КА нежелательно. Однако при самой грубой оценке можно пренебречь перегородкой. Для подтверждения

Костин Алексей Владимирович, аспирант. E-mail: kipres@ssau.ru

устойчивости БА КА к факторам ЭСР проводят наземные отработочные испытания [3]. В рамках последних проводятся испытания на устойчивость к воздействию дуги ЭСР. При проведении этих испытаний дуга ЭСР генерируется разрядником в непосредственной близости от корпуса БА. Эти испытания имитируют ЭСР в непосредственной близости от БА. Такие испытания проводятся, чаще всего, в нормальных условиях, то есть в воздухе при нормальном атмосферном давлении. Однако если БА устанавливается в негерметичных отсеках КА и ЭСР возникает в вакууме, то такие испытания нельзя считать адекватными. Конечно, с точки зрения воздействия ЭМП, созданного ЭСР на БА, разницы нет, но физика разрядов в вакууме и газе отличается.

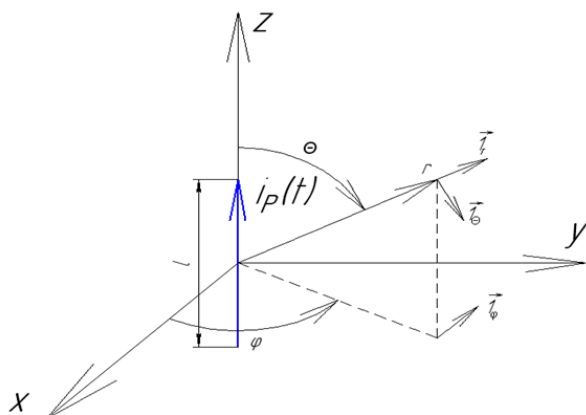


Рис. 1. Расположение элементарного электрического излучателя в сферической системе координат

Рассмотрим ЭСР в вакууме и воздухе при нормальном атмосферном давлении при одинаковой разности потенциалов между разноимённо заряженными элементами конструкции КА. Излучателем переменного электромагнитного поля является плазменный канал разряда [4]. При оценке воздействия ЭМП, вызванного ЭСР, последнее можно представить в виде элементарного электрического излучателя (диполя Герца) [4]. Выражения для поля элементарного электрического излучателя имеют вид [5]:

$$\dot{E}_r = \frac{\dot{I}_P \cdot l \cdot \cos(\theta)}{j2\pi\epsilon_0\omega r^3} e^{-j\gamma r} (1 + j\gamma r) ; \quad (1)$$

$$\dot{E}_\theta = \frac{\dot{I}_P \cdot l \cdot \sin(\theta)}{j4\pi\epsilon_0\omega r^3} e^{-j\gamma r} (1 + j\gamma r - \gamma^2 r^2) ;$$

$$\dot{H}_\varphi = \frac{\dot{I}_P \cdot l \cdot \sin(\theta)}{4\pi r^2} e^{-j\gamma r} (1 + j\gamma r),$$

где $\dot{I}_P$ – комплексная амплитуда тока в вибраторе; r, θ, φ – координаты сферической системы координат (рис.1); γ – комплексный коэффициент распространения; l – длина вибратора (длина дуги разряда); ϵ_0 – диэлектрическая постоянная; ω – угловая частота; $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица.

Как видно из (1), комплексные амплитуды составляющих поля прямо пропорциональны длине вибратора l , то есть длине канала. Поскольку амплитуды составляющих поля прямо пропорциональны l , худший вариант будет при максимальной длине дуги. Из физики разряда известно, что существует максимальное расстояние между двумя точками, при котором возможен разряд при определённом напряжении между ними. Для газовой среды эту величину можно определить из закона Пашена [6]. Кривая Пашена для воздуха представлена на рис. 2.

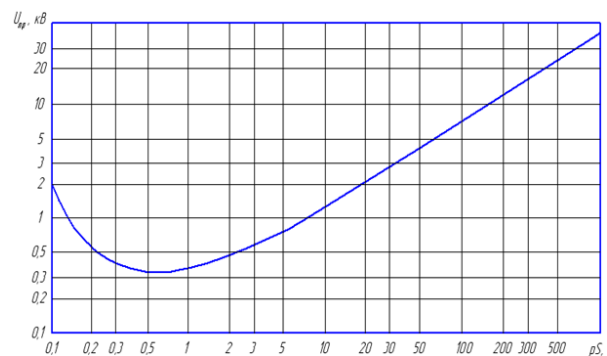


Рис. 2. Кривая Пашена

Напряжение ЭСР может достигать 20 кВ [4]. По кривой Пашена определим максимальный промежуток, при котором может произойти разряд при разности потенциалов 20 кВ. Найденное значение и будет являться l . В нормальных условиях атмосферное давление составляет от 630 до 800 мм рт. ст. При меньшем давлении значение l будет больше. При давлении 630 мм рт. ст. $l=0,63$ см. В вакууме закон Пашена не действует, но аналогичные кривые имеются и для Вакуума [7] (рис.3). Из рис. 3 видно, что при напряжении 20 кВ максимальная l будет около 0,6 мм.

Таким образом, длина канала ЭСР в воздухе на порядок больше чем, в вакууме. Тогда напряжённости электрического и магнитных полей тоже будут отличаться на порядок. В процессе наземных испытаний в условиях нормального атмосферного давления это необходимо учитывать, иначе есть риск переиспытать БА. Конечно, можно спроектировать БА с запасом и провести испытания, но любой чрезмерный запас ведёт к удорожанию БА.

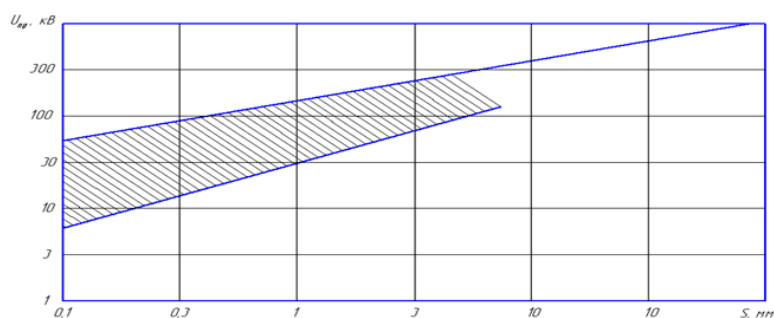


Рис. 3. Зависимость пробивного напряжения $U_{пр}$ от межэлектродного расстояния для вакуумной изоляции

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. 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.
2. 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. – Выпуск 1. Том 9. – Одесса: Купrienko С.В., 2014. С. 66-72.
3. 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: Купrienko С.В., 2012. С. 74-78.
4. Соколов, А.Б. Обеспечение стойкости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов к воздействию электростатических разрядов. Диссерт. на соиск. уч. степ. доктора техн. наук. – М., МИЭМ, 2009. 42 с.
5. Фёдоров, Н.Н. Основы электродинамики: Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1980. 399 с.
6. Техника высоких напряжений. Курс лекций для бакалавров направления 140200 «Электроэнергетика». Каф. ТЭВН ЭЛТИ ТПУ. – Томск 2005. 132 с.
7. Сливков, И.Н. Электроизоляция и разряд в вакууме. – М.: Атомиздат, 1972. 304 с.

FEATURES OF THE ONBOARD EQUIPMENT LAND TESTS OF SPACECRAFTS, OPERATING IN VACUUM, ON RESISTANCE TO INFLUENCE OF ELECTROSTATIC DISCHARGES

© 2014 A.V. Kostin

Samara State Aerospace University named after the Academician S.P. Korolyov

In work features of the onboard equipment land tests of spacecrafts for resistance to factors of the electrostatic discharges are considered. Some recommendations for carrying out land tests are provided.

Key words: *onboard equipment, spacecraft, electrostatic discharge, test, electromagnetic field, electric radiator*