

При подлете микрочастицы к острию илы напряженность электростатического поля на поверхности частицы возрастает, что приводит к возникновению автоэлектронной эмиссии (холодная эмиссия) с поверхности, подлетающей частицы.

Плотность тока автоэлектронной эмиссии сильно зависит от напряженности электрического поля на поверхности частицы и описывается уравнением Фаулера-Нордгейма [2]:

$$j_s = \frac{1,54 \cdot 10^{-6}}{t^2(y)} E^2 \Phi^{-1} \exp \left[ \frac{6,83 \cdot 10^9 \Phi^{1,5}}{E} \Theta(y) \right] \left( \frac{A}{M^2} \right),$$

где  $\Theta(y)$  – функция Нордгейма;  $E$  – напряженность поля (В/м);  $\Phi$  – работа выхода материала (эВ);  $y = 3,79 \cdot 10^{-5} E^{-0,5} \Phi^{-1}$ ;  $t(y) = 1,041 - 1,095y$ ;  $\Theta(y) = 0,93 - 0,966 \cdot y^2$ .

С помощью программного пакета Matlab были рассчитаны значения напряженности на поверхности проводящей алюминиевой частицы в зависимости от расстояния до иглы и потенциала на частице при условии, что на зарядный электрод подано напряжение 25 кВ.

Список использованных источников

1 Сёмкин, Н. Д., Пияков А. В., Погодин А. П. Эволюция и перспективы развития устройств для моделирования микрометеоритов в лабораторных условиях // Прикладная физика. 2008. №4. С. 153 -163.

2 Месяц Г.А., Проскуровский Д.И. Импульсный электрический разряд в вакууме. Новосибирск: Наука, 1984. 256с.

УДК 621.78: 621.311: 621.317.1: 629.7.05

## **МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ ОТ ПОМЕХ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА**

А.В. Костин

г. Самара, «Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский  
университет)»

Рассматривая результаты ранее проведённых экспериментов можно сформулировать научно-обоснованные рекомендации по конструкционным методам защите БА КА от ЭМП, вызванного ЭСР. Они приведены ниже в порядке убывания целесообразности их применения:

– Трассировка печатных проводников и раскладка жгутов должна выполняться таким образом, чтобы прямой и возвратный проводник располагались как можно ближе друг к другу. В этом плане наиболее перспективными являются многослойные печатные платы, в которых прямой и возвратный провода расположены максимально близко друг к другу. Эта рекомендация вытекает из закона Фарадея. При проведении экспериментов с макетом прибора с прямоугольными соединителями этот эффект также наблюдался. Для приборов с объёмным монтажом необходимо применять двухпроводные экранированные и неэкранированные или коаксиальные линии. При выполнении этого требования необходимо учесть, что быстроедействие цифровых схем может ухудшиться из-за повышения ёмкости между проводами. Этот метод практически не удорожает БА, не усложняет конструкцию, не ухудшает технологичность и массогабаритные показатели.

– Находить зоны внутри корпусов БА КА с наименьшими напряжённостями ЭМП, вызванного ЭСР, и располагать там узлы, наиболее чувствительные к последнему. Это сопряжено с некоторыми трудностями, связанными с неизвестностью точного места возникновения ЭСР; но пути протекания токов по корпусу БА всё же можно прогнозировать, так как известны точки металлизации сборных корпусов.

– Экраны из металлизированных тканей являются технологичными и лёгкими, занимают немного места. Последние два преимущества очень важны для БА КА. Отдельно необходимо сказать про маты ЭВТИ. Поскольку металлизированная ткань ослабляет ЭМП, вызванное ЭСР, то можно сделать вывод, что и сами маты ЭВТИ будут дополнительно выполнять эту функцию.

– Необходимо обеспечить целостность экранирования БА КА. Это подразумевает исключение всех неоднородностей (отверстий, щелей, плохих контактов между элементами конструкции корпуса БА КА). Этот метод весьма эффективен, но делает БА КА нетехнологичной, неремонтопригодной, кроме того может увеличить габариты и массу. Поэтому целесообразно рассмотреть применение местных экранов для защиты наиболее чувствительных узлов БА КА от ЭМП, вызванного ЭСР. Возможно, эти экраны должны быть магнитными.

Рассматривая результаты проведённых экспериментов можно сформулировать рекомендации по применению схемотехнических и программных методов защиты БА КА от помех в бортовой кабельной сети, вызванных ЭМП ЭСР. Они приведены ниже в произвольном порядке:

– Защита низкоскоростных шин и цепей питания при помощи низкочастотных фильтров. Причём эти фильтры должны обеспечивать фильтрацию помехи во всём её весьма широком частотном диапазоне.

– Применение диодных ограничителей для исключения возможности выхода из строя ЭРИ БА КА.

– Защита высокоскоростных линий при помощи помехозащищённых кодов или сигналов, пропуск которых не приведёт к серьёзным последствиям. Формирование и анализ таких сигналов может быть обеспечен аппаратно или программно.

По сути, сама БКС от ЭМП, вызванного ЭСР, пострадать не может, но от помех, наведённых в БКС, может пострадать БА, к которой они подключены. По этой причине следует сказать несколько слов о БКС. Для разработчика схем БА важно знать характеристики импульсов помех в БКС. Эти данные необходимо приводить в технических заданиях на БА КА, хотя бы типовые значения. Схемотехнические методы защиты от помех в БКС усложняют БА и могут привести к увеличению её габаритов и массы. Самым эффективным способом защиты линий передачи электрических сигналов от ЭМП, вызванного ЭСР, является применение экранированных линий. Результаты измерений показывают, что эффективность экранирования может достигать 30 дБ. Однако, экран увеличивает массу БКС, поэтому необходимо проводить расчёты на предмет того, что более критично, усложнение БА КА или увеличение массы БКС. Наиболее перспективным здесь является применение волоконно-оптических линий, которые невосприимчивы к ЭМП. Но они выполнены из диэлектрических материалов. Диэлектрики, как было отмечено ранее, накапливают заряды и могут стать средой, в которой происходит ЭСР. В результате ЭСР диэлектрики разрушаются [1]. По этой причине при применении волоконно-оптических кабелей на борту КА необходимо обратить внимание на возможность их электризации.

#### Список использованных источников

1 Акишин А.И. Космическое материаловедение: Методическое и учебное пособие. – М.: НИЯФ МГУ, 2007. – 209 с.