

АНАЛИЗ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ОЦЕНКА ЕЁ СТОЙКОСТИ К ФАКТОРАМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА

А.В. Костин

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Установлено, что во время полета на космических аппаратах (КА) накапливаются электрические заряды. Опыт эксплуатации отечественных и американских геостационарных спутников показал, что в работе бортовой аппаратуры наблюдаются аномалии и сбои [1].

Так, на искусственном спутнике Земли (ИСЗ) DSCS-2 имели место самопроизвольные срабатывания генераторов напряжения логических схем блоков управления. На ИСЗ «Интелсат-3» возникали сбои в системах управления антенной. На ИСЗ «Радуга» происходили нарушения в работе электроники датчика системы ориентации инфракрасного построителя местной вертикали. Известны и другие случаи нарушения нормальной работы бортовых систем ИСЗ, большая часть которых эксплуатировалась на геостационарных и высоких эллиптических орбитах.

Электростатический заряд на изделиях РКТ возникает не только при движении КА на геостационарной орбите, но и в первые минуты старта, когда КА находится на начальном участке траектории, т.е. в плотных слоях атмосферы.

В результате изучения и анализа причин наблюдавшихся нарушений и сбоев в работе бортовой аппаратуры КА было установлено, что причиной этих нарушений является образование электростатических зарядов на поверхности КА и возникновение электростатических пробоев между внешними элементами КА, что приводит к сбоям в работе аппаратуры. В дальнейшем были поставлены специальные исследования электризации на ИСЗ ATS-5 и ATS-6 и было экспериментально показано, что на КА действительно возникают электростатические заряды с разностью потенциалов до 20 кВ. Из анализа имеющихся в литературе данных следует, что космические аппараты заряжаются статическим электричеством практически на всей траектории полета.

Для исключения 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 удастся не всегда и ЭСР возникают. Кроме того, ЭСР могут возникать между элементами конструкции КА и окружающей плазмой. ЭСР могут возникать как между элементами конструкции, находящимися в непосредственной близости от корпуса БА (непрямой ЭСР), так и между

металлизированным корпусом БА и неметаллизированным элементом конструкции КА (прямой ЭСР). ЭСР создают электромагнитные поля (ЭМП), которые воздействуют на БА и могут вызвать сбой последней или даже отказы. Для исключения воздействия ЭМП и ЭСР в электрические цепи (лучше прямой разряд в корпус, чем в электрические цепи) приходится экранировать БА. Экранирование подразумевает использование электропроводных корпусов, электропроводных (экранированных) соединителей.

Но вопрос о необходимости и достаточности принятых мер по защите от ЭСР остаётся открытым на этапе проектирования БА и подтвердить правильность выбранных конструктивных решений можно только при натурных испытаниях системы. Если на этом этапе будет получен отрицательный результат, то возникнет необходимость доработки БА. Такие доработки вызывают дополнительные затраты и могут даже задержать сдачу изделия. Другое дело, если меры, принятые для защиты от ЭСР, избыточные. Это ведёт к удорожанию приборов, увеличению их массы и габаритов.

Всё это имеет место, так как отсутствует теоретическая методика оценки воздействия ЭСР на БА. В настоящее время в СГАУ, совместно с предприятиями космической отрасли, разворачиваются работы по исследованию влияния факторов ЭСР на БА КА. На основании результатов исследований разрабатывается методика теоретической оценки стойкости БА к факторам ЭСР, а также рекомендации по применению оптимальных методов защиты. Рассмотрим кратко основные идеи разрабатываемой методики.

Для оценки воздействия полей ЭСР и БА рассматриваются как единая система. Анализируется результат воздействия как прямого, так и непрямого ЭСР. Схема воздействия ЭМП ЭСР на БА представлена на рис. 1.

Исходными данными для расчёта являются: известная зависимость разрядной силы тока от времени, расстояние от места возникновения ЭСР, длина дуги ЭСР, конструкция БА. Расчёт проводится в несколько этапов:

1. Априори определяются функциональные узлы БА, чувствительные к ЭМП, вызванному ЭСР.
2. Рассчитывается ЭМП ЭСР и картина растекания токов на внешней поверхности корпуса БА при прямом разряде.
3. Рассчитывается поле внутри корпуса прибора и внутри локальных экранов (ослабленное поле).
4. Определяется ЭДС помехи в приёмнике.
5. Определяется реакция функциональных узлов БА на ЭДС помехи.

По результатам расчёта принимается решение о работоспособности БА в условиях воздействия ЭМП, вызванного ЭСР.

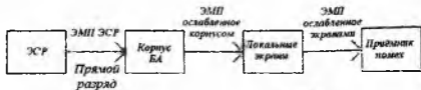


Рис 1. Схема воздействия ЭМП ЭСР на БА

Для определения ЭМП прямого ЭСР, последний представляется в виде элементарного электрического излучателя (диполя Герца). При расчёте следует рассматривать только ближнюю зону, и только направление максимума диаграммы направленности. В этой части пространства поле будет максимальным (худший вариант).

Корпуса БА изготавливаются, как правило, из электропроводящих материалов или покрываются ими (с целью металлизации) и являются электромагнитными экранами. Функциональные узлы, особо чувствительные к ЭМП, могут помещаться в отдельные локальные экраны.

Поле внутри экрана будет являться суперпозицией двух составляющих. Условно назовём их диффузионной и дифракционной [3]. Диффузионная составляющая вызвана проникновением внешнего поля внутрь сквозь стенки. Дифракционная – вызвана проникновением через неоднородности (отверстия и щели), которые полностью исключить не удастся.

Методика, применяемая для расчёта электромагнитного поля внутри экрана при непрямом разряде в настоящей статье не приводится, так как достаточно сложна и громоздка. Подробно с ней можно ознакомиться в [4]. Эта методика также позволяет определить поле внутри многослойного экрана. Отметим, что диффузионная и дифракционная составляющие поля рассчитываются отдельно. Результирующее поле определяется как суперпозиция (векторная сумма) этих двух составляющих. Эксперименты показывают, что предлагаемая в [4] методика даёт погрешность в пределах 30%, что приемлемо для проведения оценочных расчётов.

В процессе прямого ЭСР по корпусу БА текут токи. Определив эти токи, можно найти поле внутри корпуса. Для получения картины растекания токов по корпусу БА от ЭСР целесообразно использовать модель сосредоточенных элементов.

Суть модели заключается в том, что составляются эскизные чертежи мозаики внешней поверхности корпуса БА. При необходимости проводится кусочно-линейная аппроксимация реальных поверхностей корпусов БА сложной формы. Затем корпус разбивается на элементарные геометрические фигуры.

Набор элементарных фигур преобразуется в поверхностную сетку: совокупность связанных узлов. При этом каждая связь (ветвь) представляется в виде элементов электрической цепи, номиналы которой рассчитываются с учетом геометрии данного элемента и его материала, образующих в целом эквивалентную электрическую схему поверхности БА. Таким способом проводится синтез структурной электрофизической модели. Значения токов, текущих по корпусу, рассчитываются методом теории цепей. Затем определяются плотности этих токов и далее (по закону Ома в дифференциальной форме $\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}$) напряженности электрических полей. Для определения диффузионной составляющей поля внутри экрана необходимо найти поле на внутренней поверхности материала экрана. Для этого необходимо воспользоваться теорией поверхностного эффекта. Процессы, протекающие при этом, описаны достаточно подробно в литературе, например в [2]. Для определения дифракционной составляющей целесообразно воспользоваться методикой, приведенной в [4].

По рассчитанному полю внутри экрана определяются ЭДС помех, наводимых в приёмниках. Приёмниками помех являются токовые контуры, состоящие из источников сигналов нагрузок, сигнальных и общих проводов. ЭДС помех определяется по закону Фарадея [5]

$$e(t) = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} d\vec{S} = -\mu_0 \frac{d}{dt} \int_S \vec{H} d\vec{S}, \quad (1)$$

где \vec{B} - магнитная индукция, \vec{H} - напряженность электрического поля μ - относительная магнитная проницаемость, t - время, S - площадь, ограниченная контуром. Нагрузкой в этих контурах являются функциональные узлы, чувствительные к ЭМП, вызванному ЭСР, определённые на этапе I расчёта.

Для оценки реакции функциональных узлов БА на ЭДС помехи используют либо найденный спектр помехи, либо зависимость ЭДС помехи от времени, которая находится при помощи обратного преобразования Фурье. При оценке анализируются комплексные воздействия полезных сигналов и помех на вход функциональных узлов БА. По результату принимается решение о стойкости функционального узла и всей БА в условиях воздействия факторов ЭСР, и необходимости дополнительной защиты.

Список использованных источников

1. Manoranjan R. J. Aeronaut. Soc. India, 1976, 28, №4, p.431-434.
2. Шагино Д.Н. Электромагнитное экранирование: Научное издание. Долгосрочный: Издательский Дом «Интеллект», 2010.- 120 с.
3. Мырова Л.О. Анализ стойкости систем связи к воздействию излучений/Л.О. Мырова, В.Д. Попов, В.И. Верхотуров. Под ред. К.И. Кукка. - М.: Радио и связь, 1993. - 268 с

4. Кокшаров А.М. Импульсные электромагнитные поля внутри неоднородных экранов. Монография. -М.: ВА РВСН им. Петра Великого, 1998.-312 с.
5. Фёдоров Н.Н. Основы электродинамики: Учебное пособие для вузов. -М.: Высшая школа, 1980.-399 с.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ВИДЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ГРАФИКА ПРИ ПОМОЩИ MATHCAD

А.В. Костин

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

В работе рассматриваются вопросы представления процессов распространения электромагнитных волн в виде динамического графика при помощи программы MathCAD. Поля электромагнитных волн представляются в виде векторов напряжённости электрического и магнитного полей, которые образуют силовые линии. Представление электромагнитного поля в виде силовых линий общепринято в электродинамике. Современные программные средства, позволяющие рассчитывать электромагнитные поля, не дают наглядного представления как о структуре поля, так и его изменении во времени. Однако, это важно. Зная структуру поля и его изменение во времени можно исключить паразитные связи и восстановить необходимые. В антенно-фидерных устройствах есть способ селекции сигналов, основанный на поляризации, т. е. ориентации векторов напряжённости полей в пространстве. Изложенная в докладе методика может быть особо полезной в учебном процессе при изучении распространения электромагнитных волн в свободном пространстве, направляющих системах, средах и др.

Для представления процесса распространения электромагнитных волн в виде динамического графика используется модуль программы MathCAD, позволяющий создавать анимации [1]. Задаётся векторное поле как функция от четырёх переменных, трёх координат и времени t . Переменная t заменяется на переменную $FRAME$ следующим образом

$$t = \frac{FRAME}{f \cdot n \cdot \Delta t}$$

где f – частота электромагнитной волны, n – число кадров в секунду, Δt – интервал времени, за который волна должна пройти расстояние, равное длине волны (волноводной длине волны для направляющих систем). Например, для полого металлического волновода волноводная длина волны составляет v_{ϕ}/f . v_{ϕ} – фазовая скорость волны в волноводе. Более подробно этот вопрос