

- тонкие части структуры, приводящие к острому резонансу с соответствующими проявлениями на резонансных частотах
- большие щели, приводящие к широкому резонансу и воздействию в широком диапазоне частот на ЭМС.

4. В случае проведения исследований в достаточно широком диапазоне частот, следует ожидать увеличения сложности модели в связи с разным поведением на разных частотах и необходимостью поиска резонансов в отдельных частях структуры.

5. В случае сомнений при преобразовании реальной системы в модель, нужно получить чувствительность допускаемых упрощений и увеличения детализации, требуемой в модели для выполнения изменения параметров.

Важность применения средств и методов вычислительной техники для решения задач электромагнетизма вообще и обеспечения ЭМС в частности не вызывает сомнений. Однако применение современной вычислительной техники не отменяет необходимость знания пользователем основ теории поля и антенн при анализе электромагнитных полей. Эти знания необходимы для формирования модели, но еще в большей степени для осуществления оценки и проверки результатов. Продолжительное использование программных средств позволяет пользователю детально знать его сильные и слабые стороны, а также ситуации, в которых результат нуждается в проверке путем изменения параметров.

Хорошо отработанные процедуры и физические условия могут быть использованы для того, чтобы проверить результаты или провести проверку достоверности. Эти методики способствуют увеличению доверия и уверенности в получаемых результатах. Приведены названия методик и краткая суть, без подробного описания.

1. Баланс мощности $\sum P_i = 0$.
2. Обратимость параметров портов $Z_{12} = Z_{21}$.
3. Закон Ампера $H_\varphi = \frac{I}{2\pi r}$ (глобально).
4. Закон Ампера (локально) $\vec{S} = \vec{n} \times \vec{H}$.
5. Стремящееся к нулю тангенциальное поле $E_{tan} = 0$.
6. Соответствие математическим и физическим законам $[Z] \cdot [Z]^{-1} = [E]$, $\tau_{12} = \frac{s_2 - s_1}{c}$.

Список литературы

1. Ромащенко М. А. Основные процедуры и программа планирования обеспечения ЭМС при разработке электронной аппаратуры // Радиотехника. 2013. № 2.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ НАКОПЛЕННОЙ ДОЗЫ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОМ УЗЛЕ

М. А. Арtyухова, В. В. Жаднов (научный руководитель)

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
109028, г. Москва, Большой Трехсвятительский пер., д. 3
E-mail: maya.artukhova@gmail.com*

Излучения низких энергий (частицы энергий до 1 МэВ) приводят к радиационным эффектам от накопленной дозы – параметрическим и функциональным отказам элементов вследствие деградации материалов. Это делает актуальным создание метода проведения оптимизации конструирования функциональных узлов на ранних этапах проектирования.

Вопрос улучшения надёжности электронных средств, чувствительных к радиации, касается многих областей, в которых они применяются: космические системы, атомная промышленность, медицина. Воздействие низкоинтенсивного излучения (частица с энер-

гией до 1 МэВ) вызывает изменение параметров электронной компонентной базы (ЭКБ) вследствие деградации материалов. Экранирование бортовой радиоэлектронной аппаратуры (БРЭА) позволяет существенно снизить уровень накопленной дозы. На рис. 1 приведен вид зависимости уровня накопленной дозы от величины массовой защиты – с увеличение защиты уровень накопленной дозы падает по экспоненциальному закону.

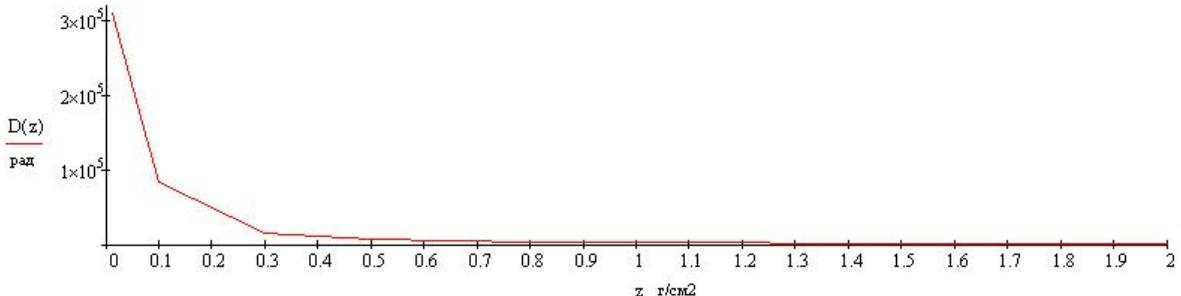


Рис. 1. Вид зависимости уровня накопленной дозы от величины массовой защиты

Однако, современные концепция конструирования БРЭА космических аппаратов (КА) направлена на уменьшение массо-габаритных характеристик и создание унифицированных негерметизированных платформ [1, 2]. Второе направление – это стремление, как правило, все задачи БРЭА выполнять при помощи цифровых схем, зачастую более чувствительных к воздействию радиации.

Задача обеспечения радиационной стойкости БРЭА КА осложняется еще и тем, что применяемая ЭКБ иностранного производства (ИП) довольно часто имеют показатели уровней стойкости к накопленной дозе, граничащие с установленным минимальным уровнем стойкости для конкретной БРЭА. Это делает необходимым с наибольшей точностью оценивать прогнозируемую величину накопленной дозы для каждого конкретного элемента в каждом конкретном устройстве.

В работе предлагается метод оптимизации размещения элементов ЭКБ на функциональных узлах из состава БРЭА в процессе проектирования путем использования модели построения поля распределения накопленной дозы на уровне функционального узла. Такое поле позволит непосредственно разработчикам БРЭА получить наглядное представление о прогнозируемой стойкости элементов и, при необходимости, провести мероприятия по улучшению показателей радиационной стойкости БРЭА на ранних этапах проектирования.

Метод основан на учете в оценке величины накопленной дозы влияния «теневой» защиты – защиты создаваемой взаимной экранировкой элементов и элементами конструкции аппаратуры. На рис. 2 приведена функциональная модель учета теневой защиты.

Перечень предварительной элементной базы формируется на основе принципиальной электрической схемы и ограничений, налагаемых требованиями ТЗ по стойкости аппаратуры к воздействиям ИИ КП (устойчивость к внешним воздействующим факторам (ВВФ)) и характеристиками радиационной обстановки на орбите функционирования БРЭА.

На основе Блока (1) и входных данных (принципиальной электрической схемы), разработчики производят предварительную разводку печатной платы (Блок (2)), ориентируясь на массогабаритные ограничения и конструктивное исполнения БРЭА.

Из Блока (2) мы имеем все необходимые данные для Блока (3): габариты печатной. Строим сетку дискретизации ПУ.

В Блоке (4) строится поле распределения накопленной дозы на ПУ. Следующим шагом сопоставляется схема разведенного ПУ (местоположения элементов на плате) и поле распределения накопленной дозы. Полученная в результате информация, является исходной для проведения оптимизации компоновки элементов на ПУ.

Проиллюстрируем влияние эффекта взаимного экранирования элементами. На рис. 3 приведена 3D модель печатного узла с двухсторонним монтажом. ПУ помещен в корпус, обеспечивающий величину массовой защиты с каждой из шести сторон равную 1 г/см².

Возьмем за отправную точку сторону ПУ, показанную на рис. 3 и построим поле распределения уровней накопленной дозы для обратной стороны (графическое представление поля на рис. 4). Использована цветовая индикация сравнительно благоприятных и критичных областей. Как видно, область окрашенная зеленым цветом и соответствующая минимальной накопленной дозе, соответствует положению *DC-DC* преобразователя на плате.



Рис. 2. Функциональная модель учета теневой защиты

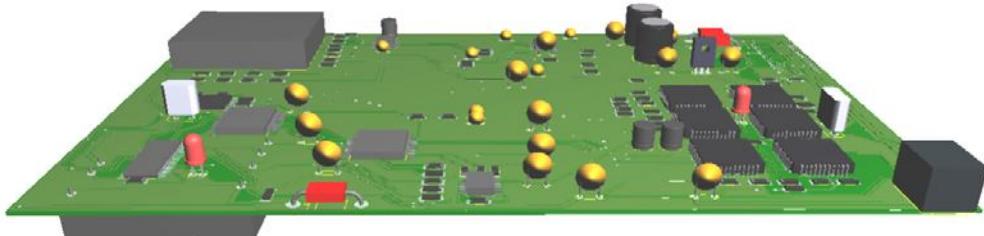


Рис. 3. 3D модель печатного узла

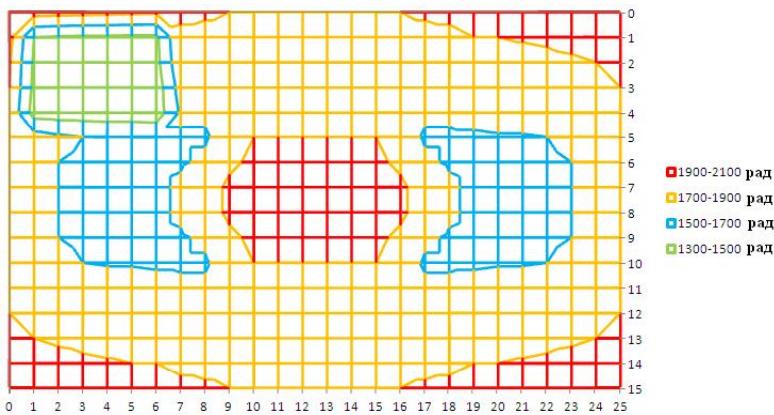


Рис. 4. Графическое представление поля распределения накопленной дозы

Сопоставляя физическое поле распределения накопленной дозы и схему размещения элементов на печатном узле, разработчик имеет необходимые данные для:

1. Расчета ожидаемой стойкости каждого элемента с учетом его положения.
2. Оптимизации конструкции ФУ в процессе проектирования.
3. Оптимизация размещения элементов на плате, с целью увеличения минимального значения коэффициента запаса.