

УДК 621.396.6

ЗАДАЧИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ С ИЗВЕСТНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА ПО ПОВЕРХНОСТИ ЭКРАНА

Д. В. Комнатный

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Миниатюризация электронной аппаратуры, снижение уровней полезных сигналов обострили проблему электромагнитной совместимости микроэлектронного и микропроцессорного оборудования систем управления технологическими процессами. Одним из методов повышения помехоустойчивости и помехозащищенности электронных технических средств является экранирование. В частности, возникает задача экранирования электростатического и электрического полей.

При конструировании экранов для указанных типов полей широко используется метод интегральных уравнений, в котором основной подлежащей определению величиной является плотность электрического заряда, распределенного на поверхностях экранов и других конструктивных элементов электронного технического средства. Решение соответствующих интегральных уравнений в практических задачах может быть выполнено численными методами.

Однако имеются достаточно часто возникающие в практике конструирования задачи расчета экранов, для решения которых можно использовать заранее известные из курсов теории электромагнитного поля распределения плотности электрических зарядов по некоторым поверхностям. Распределения записываются в аналитической форме. Использование аналитической формы записи существенно облегчает конструкторско-технические расчеты, сокращает объем вычислений и затраты времени. Поэтому в настоящем докладе описывается постановка и решение таких задач экранирования электростатического поля.

Первая задача – задача о проникновении через щель в заземленном плоском экране электрического поля, созданного тонким цилиндрическим заряженным проводником. Предполагается, что проводник проложен параллельно щели и расположен на некотором расстоянии от ее края. Также предполагается, что размеры экрана и проводника таковы, что поле в электродинамической системе можно считать плоскопараллельным.

Для оценки влияния поля, проникшего через щель в пространство за экраном, требуется вычислить модуль вектора напряженности электростатического поля в точке расположения рецептора помех. Поле, проникающее через щель, при инженерных расчетах считается созданным зарядом, противоположным по знаку заряду, индуцированному на экране зарядом проводника в случае отсутствия щели. Но тогда не выполняется граничное условие на экране. Для удовлетворения граничному условию предполагается, что со стороны экрана на уровне его поверхности в щели расположен слой зарядов, индуцированный проводником, а со стороны рецептора – слой зарядов противоположного знака. Тогда граничное условие удовлетворяется на средней линии экрана, что является допустимым в силу малой толщины экрана. По теореме единственности таким способом получается верное решение.

Известно, что поверхностная плотность заряда в случае отсутствия щели вычисляется по формуле

$$\sigma(x) = \frac{2\varepsilon_a U h}{(h^2 + x^2) \ln \frac{H+h}{r}};$$

$$h = \sqrt{H^2 - r^2},$$

где σ – поверхностная плотность заряда, Кл/м; x – координата, м; ϵ_a – диэлектрическая проницаемость среды, Ф/м; U – напряжение на проводнике, В; H – расстояние от проводника до экрана, м; r – радиус проводника, м.

Тогда по известному решению для поля двухпроводной линии составляющие вектора напряженности электростатического поля в точке наблюдения за экраном могут быть найдены по формулам:

$$E_y = \int_{c_1}^{c_2} \frac{Uh}{\pi(h^2 + x^2) \ln \frac{H+h}{r}} \left[\frac{y_M - \frac{d}{2}}{(x - x_M)^2 + \left(y_M - \frac{d}{2}\right)^2} - \frac{y_M + \frac{d}{2}}{(x - x_M)^2 + \left(y_M + \frac{d}{2}\right)^2} \right] dx;$$

$$E_x = \int_{c_1}^{c_2} \frac{Uh}{\pi(h^2 + x^2) \ln \frac{H+h}{r}} \left[\frac{x - x_M}{(x - x_M)^2 + \left(y_M - \frac{d}{2}\right)^2} - \frac{x - x_M}{(x - x_M)^2 + \left(y_M + \frac{d}{2}\right)^2} \right] dx,$$

где c_1 и c_2 – координаты щели, м; d – ширина щели, м; x_M и y_M – координаты точки наблюдения, м.

Вторая задача – задача об оценке экранирующих свойств круглого дискового радиатора охлаждения электронного прибора. Если представить прибор в виде электрического диполя, то плотность электрического заряда, индуцированная одним зарядом диполя на поверхностях диска (1 – к заряду, 2 – от заряда), рассчитывается по формуле

$$\sigma_{1,2}(r) = \frac{-qh}{2\pi^2(h^2 + r^2)^{3/2}} \left\{ \arctg \sqrt{\frac{r_d^2 - r^2}{h^2 + r^2}} + \sqrt{\frac{h^2 + r^2}{r_d^2 - r^2}} \pm \frac{\pi}{2} \right\},$$

где q – заряд в составе диполя, Кл; h – расстояние от заряда до диска, м; r – радиальная координата на поверхности диска, м; r_d – радиус диска, м.

Из приведенной формулы следует, что распределение плотности заряда на диске в случае осесимметричного расположения деталей рассматриваемой электродинамической системы зависит только от радиальной координаты на диске. Поэтому на основании принципа суперпозиции потенциал электростатического поля в точке наблюдения M рассчитывается как сумма потенциала диполя и потенциалов от зарядов, индуцированных на поверхностях диска положительным и отрицательным зарядами диполя отдельно.

Если разделить поверхность диска на элементарные полоски радиуса r_i , то поверхностная плотность заряда в пределах полоски остается постоянной. Тогда потенциал от диска может быть вычислен как сумма потенциалов, созданных отдельными полосками. Потенциал, созданный зарядом полоски, рассчитывается по известной формуле для потенциала заряженного тонкого кольца:

$$\varphi_i = \frac{\sigma(r_i)}{4\pi\epsilon_a} \int_0^{2\pi} \frac{d\theta}{\sqrt{z^2 + \rho^2 + r_i^2 - 2r_i\rho \cos \theta}},$$

где z , ρ , θ – цилиндрические координаты точки наблюдения в системе координат, связанной с центром диска.

Поскольку решение показанных задач не требует применения численных методов, то допустим вывод, что анализ и расчет рассмотренных конструкций экранов электростатического поля существенно упрощается и может быть без вычислительных трудностей реализован на компьютере. Это, в свою очередь, ускоряет и упрощает конструирование микроэлектронных систем управления и контроля.