

УДК 621.396

А.А. Головин, Я.А. Мишин

О ЗАДАЧЕ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА ТЕЛЕ С МАГНИТО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОКРЫТИЕМ

Воронежский институт высоких технологий

В работе рассматриваются вопросы, связанные с рассеянием электромагнитных волн на теле с магнито-диэлектрическим покрытием.

Ключевые слова: электромагнитная волна, рассеяние, поглощение.

Введение. Работы по анализу различных технических объектов, которые связаны с тем, что рассеиваются электромагнитные волны, демонстрируют, что они в большинстве случаев построены на основе сложных структур [1-6]. Проведение процессов, связанных с анализом и синтезом таких структур необходимо осуществлять на основе привлечения моделей и подходов, которые позволяют быстро проводить вычисления, но при этом мы имеем небольшие ошибки [7-11].

В современных условиях для эффективного проектирования комплексных электродинамических объектов используются системы автоматизированного проектирования (САПР) [12-15]. На их основе возникают возможности значительного расширения классов объектов, по которым происходит формулировка и решение разных задач, которые связаны с особенностями рассеяния электромагнитных волн [16-25].

Для того, чтобы получать соответствующие эффекты, важные с точки зрения практики, на поверхности технических объектов могут быть размещены магнито-диэлектрические материалы. Они заметным образом влияют на структуру рассеянного электромагнитного поля. [26].

Данная работа посвящена рассмотрению особенностей рассеяния электромагнитных волн на объектах, содержащих подобные материалы.

Цель данной работы заключается в проведении исследований характеристик рассеяния электромагнитных волн на объектах, имеющих сложную форму с магнито-диэлектрическими материалами и выдаче предложений по структуре элементов САПР, позволяющих проектировать соответствующие объекты.

Методика. Рассмотрим рассеяние электромагнитной волны на двумерном объекте сложной формы, который на своей поверхности имеет слой магнито-диэлектрического материала, который характеризуется постоянной толщиной (Рис.1).

Мы будем считать, что значение электрического поля (для случая Е-поляризации) в любой выбранной точке наблюдения - это $E(x_0, y_0)$.

Рассматриваемая точка (x_0, y_0) размещается нами в сечении S взятого магнито-диэлектрического материала, ее мы можем помещать и на металлическом контуре.

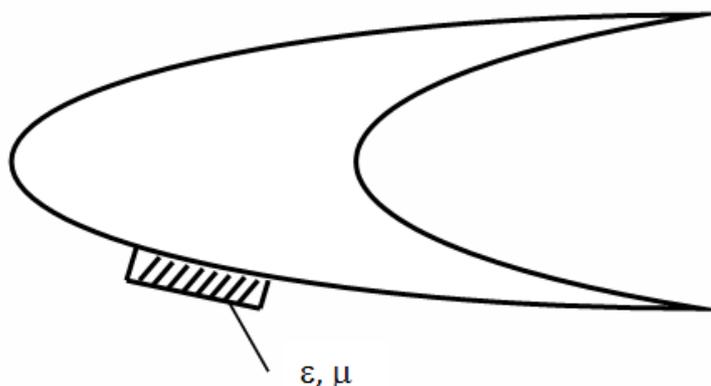


Рис 1. Схема рассеяния электромагнитных волн на двумерном объекте, имеющем слой магнитодиэлектрического материала на своей поверхности

Исходя из того, что применяются граничные условия, то получается система интегральных уравнений. Мы рассматриваем систему уравнений Фредгольма 1-го рода [27, 28].

$$\begin{aligned}
 E_0(x_0, y_0) + \int_{\substack{L_m \\ \in L_x}} s_1(\varepsilon) M_1(r) x(\varepsilon) d\varepsilon + \int_{L_{mater}} f_1(\varepsilon) M_1(r) x(\varepsilon) d\varepsilon = 0, (x_0, y_0) \\
 \int_{L_m} s_2(\varepsilon) M_2(r) x(\varepsilon) d\varepsilon + \int_{L_{mater}} f_2(\varepsilon) M_2(r) x(\varepsilon) d\varepsilon = 0, \text{ для } (x_0, y_0) \in L_x \\
 - \int_{L_{mater}} f_1(\varepsilon) M_1(r) x(\varepsilon) d\varepsilon \\
 + \int_{L_{mater}} f_2(t) M_2(r) x(\varepsilon) d\varepsilon - \int_{L_m} s_1(\varepsilon) M_1(r) x(\varepsilon) d\varepsilon + \\
 + \int_{L_m} s_2(\varepsilon) M_2(r) x(\varepsilon) d\varepsilon = E_0(x_0, y_0), (x_0, y_0) \in L_{mater} \\
 - \frac{1}{2} f_1(\rho) - \frac{1}{2} f_2(\rho) \\
 + \int_{L_{mater}} f_1(\varepsilon) \frac{\partial M_1(r)}{\partial n} x(\varepsilon) d\varepsilon - \int_{L_{mater}} f_2(\varepsilon) \frac{\partial M_2(r)}{\partial n} x(\varepsilon) d\varepsilon -
 \end{aligned}$$

$$-\frac{i}{4} \int_{L_m} s_1(\varepsilon) \frac{\partial M_1(r)}{\partial n} x(\varepsilon) d\varepsilon - \int_{L_m} s_2(\varepsilon) \frac{\partial M_2(r)}{\partial n} x(\varepsilon) d\varepsilon = \frac{E_0(x_0, y_0)}{\partial n},$$

$(x_0, y_0) \in L_{mater}.$

Здесь s_1, f_1 – описывают то, какова плотность потенциалов по внешним сторонам контуров L_m (металл) и L_{mater} (слой магнетодиэлектрического материала) соответственно; s_2, f_2 – описывают плотность потенциала для внутренних сторон контура, $E_0(x_0, y_0)$ – обозначает падающую плоскую электромагнитную волну (рис. 1)), $M_1(r)$ – это двумерная функция Грина, которую ставят в соответствие бесконечной области, есть стандартное обозначение волнового числа $k=2\pi/\lambda$, где λ – это длина волны, соответствующая свободному пространству, $M_2(r)$ – это двумерная функция Грина, для которой волновое число равно $k=(2\pi/\lambda)\sqrt{\varepsilon\mu}$, r – соответствует расстоянию, которое будет между исходными точками и точками наблюдения, x – дает обозначение коэффициента Ламе по соответствующему контуру.

Для того, чтобы рассчитать рассеянное электромагнитное поле, требовалось использовать соответствующие формулы [28].

Проводились расчеты диаграмм обратного рассеяния как для выпуклых тел, так и для тел, которые содержали полые структуры на основе рассмотренного подхода. Сравнение с результатами, полученными на основе метода физической оптики, дало ошибку, не превышающую нескольких дБ.

Заключение. Таким образом, рассмотренный в работе подход говорит о том, что он будет полезен при осуществлении проектирования объектов, которые содержат на поверхности покрытия, поглощающие радиоизлучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жулябин Д.Ю. Оценка и подавление импульсного шума в OFDM / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 73-80.
2. Сапрыкин А.А. Характеристики высокочастотных MESH-сетей / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 116-118.
3. Моргунов В.С. Современные методы расчета распространения радиосигналов в помещениях / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 136-139.
4. Данилова А. В., Юрочкин А. Г. Характеристики методов трассировки лучей / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 13. С. 27-29.
5. Данилова А. В., Юрочкин А. Г. Возможности использования импедансных структур для управления излучением антенн / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 13. С. 30-33.

6. Преображенский А. П. О возможности построения объектов с заданными требованиями на характеристики рассеяния / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 13. С. 38-39
7. Болучевская О.А., Горбенко О.Н. Свойства методов оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн / Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2013. № 3. С. 4.
8. Ерасов С.В. Оптимизационные процессы в электродинамических задачах / Вестник воронежского института высоких технологий, 2013, №10, с.20-26.
9. Преображенский А.П. Моделирование и алгоритмизация анализа дифракционных структур в САПР радиолокационных антенн / Воронеж, 2007.Издательство Научная книга. - 248 с.
10. Чопоров О.Н., Преображенский А.П., Хромых А.А. Анализ затухания радиоволн беспроводной связи внутри зданий на основе сравнения теоретических и экспериментальных данных / Информация и безопасность. 2013. Т. 16. № 4. С. 584-587.
11. Львович Я.Е., Львович И.Я., Преображенский А.П. Решение задач оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн на дифракционных структурах при их проектировании / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2010. № 6. С. 255-256.
12. Львович И.Я., Преображенский А.П., Родионова К.Ю. Разработка подсистемы САПР для проектирования средних характеристик рассеяния объектов / Фундаментальные исследования. - 2013. № 4-4. С. 823-826.
13. Львович И.Я., Преображенский А.П., Юров Р.П., Чопоров О.Н. Программный комплекс для автоматизированного анализа характеристик рассеяния объектов с применением математических моделей / Системы управления и информационные технологии. 2006. № 2 (24). С. 96-98.
14. Преображенский А.П. О возможностях ускорения вычислений при решении задач / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 67-68.
15. Преображенский А.П. О применении комбинированных подходов для оценки характеристик рассеяния объектов / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 69-70.
16. Преображенский А. П. Об оценке характеристик беспроводной связи в помещении / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 13. С. 40-41
17. Милошенко О. В., Головин А. А. О проектировании антенн на основе планарных диэлектрических волноводов / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 13. С. 42-44

18. Секушина С. А., Сапрыкин А. А. Характеристики способов проектирования радиоэлектронных устройств / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 13. С. 96-98
19. Секушина С. А., Сапрыкин А. А., Аббас Джасем Хуссей. Возможности исследования характеристик рассеяния объектов на основе метода конечных разностей / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 13. С. 99-101
20. Данилова А. В., Юрочкин А. Г. Характеристики методов трассировки лучей / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 13. С. 113-115.
21. Блохина Т.В., Аббас Д.Х. Возможности определения параметров объектов на основе расчетно-экспериментального подхода / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 39-42.
22. Блохина Т.В., Андерсон Д. Прогнозирование характеристик рассеяния электромагнитных волн для тетраэдра / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 43-46.
23. Блохина Т.В., Ружицки Е. Исследование рассеяния электромагнитных волн на объекте при условии помех / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 47-50.
24. Пронских Н.И. Применение эвристических методов при решении задач рассеяния электромагнитных волн / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 51-53.
25. Преображенский А.П. О применении расчетно-экспериментального подхода при исследовании распространения волн WI-FI внутри помещения / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 71-72.
26. Рючин А.С. О применении радиопоглощающих материалов // Вестник Воронежского института высоких технологий, 2013. - № 10. - С. 185-188.
27. Панасюк В. В., Саврук М. П., Назарчук З. Т. Метод сингулярных интегральных уравнений в двумерных задачах дифракции. - К.: Наук. думка, 1984. - 344 с.
28. Захаров Е. В. Пименов Ю.В. Численные методы решения задач дифракции. М.: Радио и связь, 1986. 184 с.

A.A. Golovin, Y.A.Mishin

ABOUT THE PROBLEM OF SCATTERING OF ELECTROMAGNETIC WAVES ON THE BODY WITH MAGNETO-DIELECTRIC COATING

Voronezh Institute of High Technologies

The paper discusses the issues associated with the scattering of electromagnetic waves on the body with magneto-dielectric coating.

Keywords: electromagnetic wave, scattering, absorption.