

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЙНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА СЛОЖНОМ ОБЪЕКТЕ

© 2016 Н. В. Мурашкин, А. Г. Юрочкин

*Воронежский институт высоких технологий
Воронежский филиал Российской Академии государственной службы
при Президенте Российской Федерации*

В статье проводится анализ рассеяния электромагнитных волн на сложном объекте. Решение задачи проводится на основе метода интегральных уравнений. Приведена зависимость характеристики рассеяния от угла падающей электромагнитной волны.

Ключевые слова: рассеяние электромагнитных волн, интегральные уравнения, импульс.

Многие рассеиватели радиолокационных сигналов, относящиеся к радиолокационным целям, объектам техники, преобразователям энергии электромагнитных волн, антенным устройствам в СВЧ и КВЧ диапазонах волн, во многих случаях имеют достаточно большие электрические размеры, сложную геометрию, иногда в их состав входят поглощающие элементы. Проведение анализа и синтеза подобных электродинамических объектов с использованием грубых представлений о том, какие протекают в них физические процессы, определяет возможные опасности возникновения заметных погрешностей. Также их трудно контролировать, оценивать основные характеристики, которые, в большинстве случаев весьма быстро меняются по мере того, как меняется частота, вид поляризации и угол падения электромагнитных волн.

Следует отметить особый класс проблем – изучение процессов рассеяния электромагнитных волн на сложных структурах, имеющих разные размеры и характеристики, и входящие в состав объектов техники как элементы конструкций или компоненты антенно-фидерных устройств. При этом, если говорить о практической стороне решения прикладных задач, то необходимо строить такие алгоритмы расчетов характеристик рассеяния электромагнитных волн, которые позволяют наилучшим образом описать физические процессы рассеяния. Довольно сложными с точки зрения численного анализа являются такие сложные структуры, у которых размеры относятся к резонансной области.

Когда мы используем дифракционный подход, то подобную структуру рассматрива-

ем в виде объекта со сложной формой, на нем осуществляется рассеяние электромагнитных волн. По методу интегральных уравнений, когда рассматриваются сложные структуры, можно сказать, что он довольно громоздкий, во многих случаях требуются большие ресурсы, но это относится и к другим численным методам. Например, при рассмотрении структур, представленных как тела вращения, достаточно удачным можно считать комбинацию метода интегральных уравнений и собственных функций. Основная роль при анализе относится к угловой, или азимутальной координате φ . По такой координате рассматриваемые поля, как и когда используется метод собственных функций, разлагают в ряды Фурье, при этом для полей, относящимся к отдельным гармоникам вследствие ортогональности мы наблюдаем независимость. Тогда возникают возможности по каждой из азимутальной гармоник сделать построение сравнительно простого интегрального уравнения, которое решают численным методом. Как результат происходит уменьшение размерности решаемых электродинамических задач и требования к величинам машинной памяти и временам расчетов ЭВМ также уменьшаются.

Однако для многих случаев сложные структуры нельзя рассматривать как тела вращения, они характеризуются сложными формами. В таких случаях важно осуществлять решение интегрального уравнения с учетом того, какие особенности по изменению каждого из участков поверхности структур. Несомненно, существенным образом возрастают и время расчета, и объемы необходимой машинной памяти. Но в таком подходе есть и свои достоинства:

1. На основе рассмотренных методик возникают возможности проведения моделирования рассеяния электромагнитных волн на сложных структурах, имеющих раз-

Мурашкин Никита Витальевич – ВИВТ АНОО ВО, студент, e-mail: murashvv4_6@yandex.ru
Юрочкин Анатолий Геннадьевич – РАНХиГС (ВФ), д. т. н., профессор, e-mail: kafec@vrn.ganepa.ru

личные формы, поперечные сечения, а также имеющих магнитодиэлектрические включения в своей структуре.

2. В отличие от используемых стандартных методов можно проводить анализ электромагнитного поля, на основе комбинированных методов.

3. Размер структур может оказаться таким, что для одного элемента может оказаться достаточным машинных ресурсов, но потом могут быть применены способы, которые позволяют сделать оценку характеристик по нескольким таким элементам, которые объединены в группу.

Для низкочастотной области, в которой рассматривают сложные структуры, имеющих размеры апертуры $\sim \lambda$, можно применить строгий метод – метод интегральных уравнений. В таких случаях необходимо привлечь не очень большое число машинных ресурсов. В тех случаях, когда сложные структуры с характерными размерами, составляющих несколько длин волн, в определенных условиях удобным является использование высокочастотной аппроксимации. Среди разных высокочастотных методов для анализа можно отметить лучевой метод.

Целью работы является исследование рассеяния сигналов сложной формы на сложных структурах.

Мы рассматривали рассеяние электромагнитных волн на сложном объекте, который изображен на рисунке 1.

На рисунке 2 приведена электромагнитная волна (импульс), которая падает на апертуру сложной структуры.

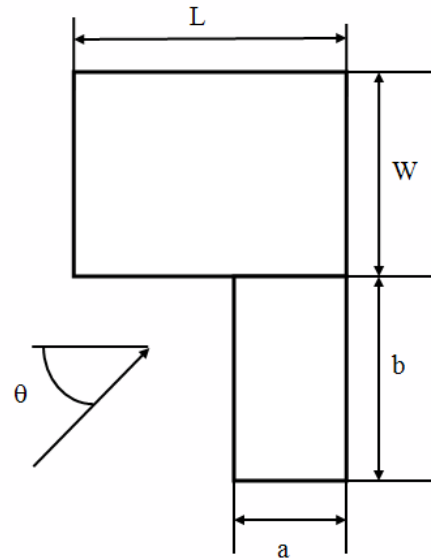


Рис. 1. Рассеяние импульса электромагнитной волны на сложном объекте

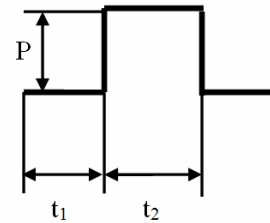


Рис. 2. Пример импульса, падающего на сложный объект

Записывается интегральное уравнение для электрического тока из граничных условий на поверхности рассматриваемой структуры E-поляризации падающей ЭМВ (рис. 2):

$$J_z(u_2, t) + 2 \int_{\ell} [J_z(u_2, t) \frac{\partial G}{\partial u_{1p}} + \frac{1}{j\omega\mu} \frac{\partial^2 G}{\partial u_2 \partial u_{2p}}] dl = -2\vec{n} \times \vec{H}^i, \quad (1)$$

где \vec{H}^i – вектор падающей ЭМВ,

$G = (1/4j) H_0^2(kR)$ – двумерная функция Грина для свободного пространства [27, 60],

H_0^2 – функция Ханкеля второго рода нулевого порядка [1, 40],

$R = \sqrt{(x_s - x')^2 + (y_s - y')^2}$ – расстояние между точкой наблюдения и точкой интегрирования;

ℓ – контур интегрирования для искомым и сторонних токов;

u_2 и u_2' – координаты точки определения тока и точки переменной интегрирования;

$\partial G / \partial u_{1p}$, $\partial G / \partial u_{2p}$ – производные по нормали и по касательной функции Грина на контуре ℓ_s ;

$\partial G / \partial u_2$ – производная по нормали функции Грина в точке определения тока.

Решая интегральное уравнение на основе метода моментов, мы затем проводили определение нормированной эффективной площади рассеяния.

На рисунке 3 приведены результаты моделирования для следующих исходных данных: $b=3\lambda$, $a=2\lambda$, $W=5\lambda$, $L=4\lambda$, $t_1=10^{-9}$ с, $t_2=3 \cdot 10^{-9}$ с, $P=3$.

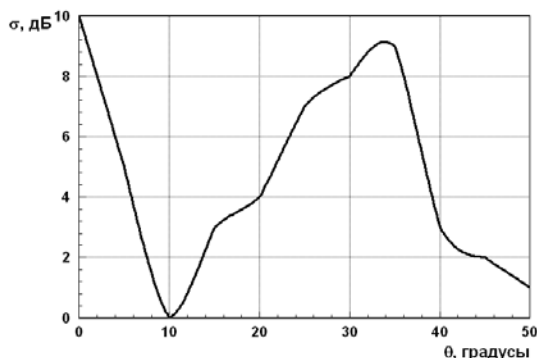


Рис. 3. Результаты расчетов нормированной эффективной площади рассеяния для сложной структуры

С использованием вышеуказанного подхода существуют возможности анализа характеристик рассеяния для большого числа интересующих частот.

В данной работе проведено моделирование рассеяния электромагнитных волн на сложных структурах. Показано, что для падающих сигналов со сложной формой можно анализировать характеристики рассеяния на заданных частотах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максимова А. А. Оптимизация беспроводных сетей связи на основе методов искусственного интеллекта / А. А. Максимова, В. Н. Кострова, А. А. Андросов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2016. – № 2. – С. 8.
2. Бокова О. И. Повышение быстродействия устройств аналогоцифрового приема и обработки сигналов широкополосных комплексов пеленгования / О. И. Бокова, Д. А. Жайворонок, О. С. Сладникова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2016. – № 2. – С. 9.
3. Юрочкин А. Г. Анализ приближенной модели для оценки средних характеристик рассеяния дифракционной структуры / А. Г. Юрочкин, А. В. Данилова, И. А. Гусарова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2016. – № 2. – С. 10.

4. Глотова Т. В. Модификация метода моментов в задачах рассеяния электромагнитных волн / Т. В. Глотова, Т. В. Мельникова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2016. – № 2. – С. 11.

5. Юрочкин А. Г. Возможности использования итерационного метода при расчетах характеристик рассеяния комбинированных объектов / А. Г. Юрочкин, А. В. Данилова, И. А. Гусарова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2016. – № 2. – С. 13.

6. Щербатых С. С. Метод интегральных уравнений как основной способ анализа в САПР антенн / С. С. Щербатых // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2016. – № 1. – С. 10.

7. Максимова А. А. Характеристики двумерно-периодичных гребенок с диэлектрическим волноводом / А. А. Максимова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2016. – № 1. – С. 12.

8. Милошенко О. В. Методы оценки характеристик распространения радиоволн в системах подвижной радиосвязи / О. В. Милошенко // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2012. – № 9. – С. 60-62.

9. Мишин Я. А. О системах автоматизированного проектирования в беспроводных сетях / Я. А. Мишин // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2013. – № 10. – С. 153-156.

10. Косилов А. Т. Методы расчета радиолокационных характеристик объектов / А. Т. Косилов, А. П. Преображенский // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2005. – Т. 1. – № 8. – С. 68-71.

11. Преображенский А. П. САПР современных радиоэлектронных устройств и систем / А. П. Преображенский, Р. П. Юров // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2006. – Т. 2. – № 3. – С. 35-37.

MODELLING OF SCATTERING OF ELECTROMAGNETIC WAVES ON COMPLEX OBJECT

© 2016 N. V. Murashkin, A. G. Yurochkin

Voronezh institute of high technologies
The Voronezh branch of the Russian Academy of state service
when the President of the Russian Federation

The analysis of the scattering of electromagnetic waves by complex objects is given. The solution to the problem is based on the method of integral equations is demonstrated. The dependence of the dispersion characteristics of the angle of the incident electromagnetic wave is given.

Keywords: electromagnetic wave scattering, integral equations, impuls.