УДК 621.396

ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕШЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Филимонова Ю.Е.

Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, e-mail: dzhuliafilimon@yandex.ru

Данная статья посвящена анализу возможностей использования метода интегральных уравнений для оценки характеристик рассеяния объектов, имеющих сложную форму. Даются предложения по тому, чтобы вместо использования классического метода моментов при решении интегрального уравнения, применять комплексный мультипольный лучевой способ, базирующийся на введении совокупности лучей, которые представляются как функция Габора по границам рассеивателей, при этом уменьшается размер анализируемой матрицы импедансов. Когда проводится моделирование рассеяния радиоволн на объектах с использованием метода интегральных уравнений, то возможно использование двух способов: на основе метода простейших компонентов и дифракционного. Первый подход связан с тем, что объект может быть представлен в виде совокупности компонентов, имеющих простые формы. Когда используется дифракционный подход, то объект рассматривают как тело, имеющее сложную форму, на нем идет рассеяние радиоволны.

Ключевые слова: рассеяние радиоволн, интегральное уравнение, дифракция

THE CHARACTERISTICS OF SOLUTIONS OF INTEGRAL EQUATIONS

Filimonova Yu.E.

Voronezh institute of high technologies, Voronezh, e-mail: dzhuliafilimon@yandex.ru

This paper analyzes the possibilities of using the method of integral equations for the estimation of scattering characteristics of objects having complex shape. Proposals are given that instead of using the classical method of moments solution of integral equations, applied complex multipole beam method based on the introduction of a set of rays, which are presented as a function of the Gabor at the borders of the lens while decreasing the size of the analyzed matrix of impedances. When the modeling of radio wave scattering on objects is considered the method of integral equations can be used in two methods: a method based on the simplest components and diffraction. The first approach is that an object can be represented as a set of components having simple shapes. When using a diffraction approach, the object is considered as a body having a complex shape, it is the scattering of radio waves.

Keywords: scattering of radio waves, integral equation, diffraction

Уравнения Максвелла применяли уже достаточно давно для решения разных практических задач и их можно рассматривать для общего случая как одни из подходов, которые используются в процессах обучения студентов основам электродинамических методов, которые направлены на анализ радиоволн и особенностей того, как они взаимодействуют с произвольными телами. Необходимо отметить, при этом, что во всех современных пакетах программного обеспечения, которые связаны с осуществлением электромагнитного моделирования входят соответствующие наборы выражений.

Исходя из вышесказанного, большое множество приложений определяется непосредственным применением таких уравнений или упрощенными подходами, которые дают возможности для ускорения вычислений, но действует определенное число ограничений. Подобные приложения содержат в себе модули для проектирования антенн [5, 6], анализа распространения радиоволн [8, 9], оценки характеристик систем связи, радаров, бортовых антенных систем, инфракрасного анализа, проектирования обтекателей и др.

В практической вычислительной электродинамике часто используют метод моментов, его можно вывести из уравнений Максвелла. На основе того, что дифференциальным образом представляют такие выражения, применяют простые векторные формулы и вводят скалярные и векторные электрические и магнитные потенциалы, затем делают вывод уравнений, содержащих потенциалы.

Мы можем использовать граничные условия с тем, чтобы вывести интегральные уравнения, описывающие электрические и магнитные поля.

Важно понимать, что метод моментов в обычном его применении не всегда эффективен при процессах моделирования электрически средних или больших тел, поскольку нам необходимо, чтобы хранилась полная матрица импедансов, описывающая объект.

Кроме того, необходимо хранить информацию о базисных функциях. Поэтому применение обычного метода моментов будет невозможно.

Во многих случаях в решения входят лишь только члены, которые описывают ближнюю зону, мы исходим при этом, что

значение максимального расстояния, которое будет разделять базисные и пробные функции, составляет порядка $1/4$ длины волны.

Другие подходы, в которых рассматривают преимущества по эффективным оценкам при проведении быстрых матрично-векторных вычислений, связаны с использованием комплексного мультипольного лучевого способа, базирующегося на введении совокупности лучей, которые представляются как функция Габора по границам рассеивателей, при этом уменьшается размер анализируемой матрицы. Существует также комбинация комплексного лучевого источника и метода моментов, что ведет к быстрым матрично-векторным вычислениям на основе направленных характеристик исходных лучей.

Формирование множества макробазисных функций идет таким образом: мы изучаем блок изолированным методом от остальных компонентов тел, и определенные источники, располагают вокруг такого блока.

Когда проводится моделирование рассеяния радиоволн на объектах с использованием метода интегральных уравнений, то возможно применение двух подходов: на основе метода простейших компонентов и дифракционного.

Первый подход связан с тем, что объект может быть представлен в виде совокупности компонентов, имеющих простые формы. Это могут быть пластины, параллелепипеды, эллипсоиды, участки волноводов, входящих в состав разных цепей питания в антенно-фидерных трактах, СВЧ-устройств и др. [7, 4]. На основе математического моделирования можно рассматривать характеристики распространения волн внутри антенно-фидерных трактов, при учете их изгибов и отражений радиоволн от объектов, которые размещаются во внутренней области волновода. Например, в волноводе можно помещать разные диафрагмы, зонды, щели.

Существуют возможности для применения метода интегральных уравнений при определении модальных коэффициентов волн, которые распространяются во внутренних областях полых структур, и расчетов их собственных чисел (когда решается внутренняя электродинамическая задача).

Можно отметить некоторые критерии для того, чтобы определить применимость действующих методов при решении задач рассеяния радиоволн на волноводах, ха-

рактеризующимися разными поперечными сечениями и формами:

1. Эффективность использования способа для волновода, имеющего произвольную форму;

2. Наличие способа, позволяющего вычислять первые нескольких мод, кроме основной моды;

3. Наличие способа вычисления распределения электромагнитных полей, а также критических волновых чисел в волноводе;

4. Точность способа;

5. Наличие функционирующих компьютерных программ.

Если провести анализ соответствующей литературы, то можно убедиться, что метод интегральных уравнений в очень большом числе случаев можно считать удовлетворяющим указанным критериям, этим можно объяснить его активное использование при процессах моделирования разных антенно-фидерных устройств.

Когда используется дифракционный подход, то объект рассматривают как тело, имеющее сложную форму, на нем идет рассеяние радиоволны [2]. Метод интегральных уравнений при анализе сложных объектов, является довольно громоздким подходом, в нем требуются большие ресурсы. Если проводить рассмотрение структур, представляющих собой тела вращения [10], то довольно удачным можно считать комбинацию метода интегральных уравнений и собственных функций [10]. Основная особенность при этом связана с угловой или азимутальной координатой φ . С использованием такой координаты идет разложение искомых полей, как и при использовании метода собственных функций по рядам Фурье, и получается независимость полей отдельных гармоник в силу ортогональности. Это дает возможности для каждой из азимутальных гармоник сделать построение сравнительно простого интегрального уравнения, которое решают численным образом. При этом идет уменьшение размерности рассматриваемой электродинамической задачи и происходит уменьшение требований к размерам машинной памяти и времени расчетов на компьютере.

Список литературы

1. Аббас Д.Х. Разработка подсистемы САПР для проведения анализа рассеивающих свойств объектов с поглощающими покрытиями на основе фасетной модели / Д.Х. Аббас, А.П. Преображенский / Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2017. № 2(17). С. 10.

2. Баутин И.А. Модели распространения радиосигнала Wi-Fi / И.А. Баутин, А.Г. Юрочкин // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2017. № 2 (21). С. 107-112.
3. Гащенко И.А. О моделировании в сотовых системах связи / И.А. Гащенко // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 3-2. С. 222-223.
4. Кульнева Е.Ю. О характеристиках, влияющих на моделирование радиотехнических устройств / Е.Ю. Кульнева, И.А. Гащенко // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-2. С. 50.
5. Львович И.Я. Разработка информационного и программного обеспечения САПР дифракционных структур и радиолокационных антенн / И.Я. Львович, А.П. Преображенский // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2006. Т. 2. № 12. С. 63-68.
6. Львович И.Я. Разработка принципов построения САПР дифракционных структур и радиолокационных антенн / И.Я. Львович, А.П. Преображенский // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2006. Т. 2. № 12. С. 125-127.
7. Мишин Я.А. О системах автоматизированного проектирования в беспроводных сетях / Я.А. Мишин // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 153-156.
8. Преображенский А.П. Методы прогнозирования характеристик рассеяния электромагнитных волн / А.П. Преображенский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2014. № 1 (4). С. 3.
9. Преображенский А.П. Моделирование характеристик рассеяния объектов, в состав которых входят кромки / А.П. Преображенский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2016. № 2(13). С. 7.
10. Шутов Г.В. Характеристики методов трассировки лучей / Г.В. Шутов // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 3-2. С. 238-239.