

УДК 621.396

С.С.Щербатых

МЕТОД ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ КАК ОСНОВНОЙ СПОСОБ АНАЛИЗА В САПР АНТЕНН

Воронежский институт высоких технологий

В статье рассматриваются особенности метода интегральных уравнений, на основе которого целесообразно проводить электродинамическое моделирование дифракционных структур, входящих в состав антенно-фидерных устройств. Указаны критерии, на основе которых можно оценить эффективность используемых методов. Продемонстрированы преимущества метода интегральных уравнений при анализе объектов, имеющих сложную форму. Показаны достоинства использования метода интегральных уравнений для проектирования магнито-диэлектрических антенн.

Ключевые слова: распространение электромагнитных волн, антенны, метод интегральных уравнений.

Во многих задачах, которые касаются процессов разработок различных электродинамических технических объектов, необходимо отметить те, которые связаны с эффективным использованием способов анализа особенностей дифракции и рассеяния электромагнитных волн [1-4]. Выбор эффективного метода является непростой задачей и требует соответствующего обоснования.

Целью данной работы является описание возможностей метода интегральных уравнений в современных САПР при создании дифракционных структур и металлодиэлектрических антенн.

Для компонентов, которые являются составляющими разных объектов, можно сказать, что они характерны тем, что имеют разные формы и размеры. В том случае, когда компонента имеет выпуклую форму, то будет наблюдаться практически малое число переотражений, и для того, чтобы найти поверхностные токи и потом рассеянное электромагнитное поле, в большинстве случаев применяют или метод, базирующийся на физической оптике вместе с методом краевых волн, или подход, использующий интегральные уравнения.

В тех случаях, когда компоненты представляют собой полые структуры, у которых размеры относятся к резонансной области (то есть, для размеров апертур полых структур диапазон относится к интервалу от одной до нескольких длин волн прибегают к тому, что используют два способа: базирующийся на волноводных методах и на дифракционных методах.

Для первого подхода характерным является то, что дифракционные полые структуры рассматриваются в виде участка волновода, (причем эти участки можно соединять между собой). Указанные структуры могут входить в состав различных антенно-фидерных трактов, СВЧ-устройств, цепей, связанных с питанием объектов и др. Практическая необходимость

развития теории, которая была связана с регулярными и нерегулярными волноводами, определялась тем, что требовалось осуществлять построение линий передач, которые относятся к СВЧ-диапазону и, поэтому, проводилась разработка радиолокационной техники [5, 6].

В то время, когда происходило формирование элементной базы для радиосистем, использовались исследования, связанные с волноводными линиями передач, результаты по ним получали уже довольно давно. На основе привлечения математического моделирования существуют возможности по учету характеристик движения электромагнитных волн по антенно-фидерным трактам, при учете того, каковы их изгибы и отражения волн от объектов, размещаемых во внутренней области волновода. Например, волноводы могут быть связаны с различными диафрагмами, зондами, щелями. Применяемые математические методы, которые полезны для того, чтобы проводить расчеты волноводов различных типов, излагаются в разной литературе.

При осуществлении решения задач могут возникнуть возможности для того, чтобы применять методы, основанные на интегральных уравнениях когда определяются модальные коэффициенты волн, распространяющихся по внутренним областям полых структур, и идет расчет их собственных чисел (проводится решение внутренней электродинамической задачи).

Поскольку структуры в ряде случаев имеют сложные формы, то на основе математических моделей возникают возможности для того, чтобы получать ту информацию, которую довольно трудно встретить при проведении экспериментов, или получать на основе привлечения приближенных способов.

Когда проводится решение задач, на основе метода интегральных уравнений, то необходимо проводить ориентацию по некоторым критериям, позволяющим дать оценку эффективности используемых способов:

1. Какую максимальную погрешность мы можем достичь в данном способе при привлечении его для расчетов характеристик объектов, имеющих произвольную форму, как соотносится эта погрешность с экспериментальными данными;
2. Какие возможности проведения расчетов для приемлемого уровня точности получения характеристик рассеяния объектов в областях, относящимся к передней полусфере при небольшом секторе наблюдения;
3. Существование работающих компьютерных программ, которые дают возможности для оценок характеристик таких объектов;

4. Получение значения погрешности для оценки токов на поверхностях объектов.

Если эти критерии выполняются, то использование метода интегральных уравнений оправдано.

При решении задач необходимо ориентироваться на декомпозиционный подход, когда объект, имеющий сложную форму мы разбиваем на множество довольно простых компонентов. В тех случаях, когда рассматриваются структуры, представленные в виде тел вращения, то тогда можно провести комбинацию метода интегральных уравнений, а также способа, базирующегося на собственных функциях [7].

Важное внимание необходимо уделить поведению угловой, или азимутальной координаты ϕ . Если рассматривать то, как ведут себя рассматриваемые поля по такой координате, то существует аналогия с разложением в ряды Фурье, и поля, относящиеся к отдельным гармоникам исходя из того, что требуется выполнение условий ортогональности, связаны с условием независимости. При указанном обстоятельстве мы можем по каждой из азимутальных гармоник осуществить формирование довольно простого интегрального уравнения, проводить решение которого затем мы будем делать на основе численного способа.

За счет использования указанных подходов идет уменьшение размерности рассматриваемых электродинамических задач и наблюдается ослабление требований по величине машинной памяти и временам счета на ЭВМ.

В тех случаях, когда анализируемые объекты не будут иметь осей вращения и представляются в виде сложных форм, то в этом случае важно проводить решение интегральных уравнений с учетом характеристик того, как происходит изменение по каждому из участков на поверхности объектов. Если разбиение было выбрано неверно, то мы можем увидеть заметное увеличение по времени расчетов, и объемам требуемой машинной памяти. Однако, если рассматривается подобный подход, то в нем мы имеем возможности наблюдать определенные достоинства:

1. Исходя из созданных методик, возникают возможности по проведению моделирования рассеяния волн для объектов, имеющих разные формы, в том числе и с магнито-диэлектрическими включениями.
2. Мы можем сделать оценку по характеристикам рассеяния, вообще говоря, для любых углов наблюдения.
3. В случае одного элемента можно проводить оценку характеристик рассеяния для существующих машинных ресурсов, а потом проводить объединение элементов, базируясь на принципе суперпозиции. Другими словами, происходит объединение интегральных уравнений по одному элементу для системы

элементов. Тогда областями интегрирования и которые принадлежат изменению точек наблюдения, в таких случаях мы считаем поверхности не по одному, а по множеству объектов.

В тех случаях, когда структуры будут периодические, используют теорию периодических структур. Возникают условия для того, чтобы уменьшить размерность рассматриваемых задач. Поскольку происходит комбинация способа, базирующегося на интегральных уравнениях, а также теории периодических структур, то будут возможности достижения расчетов для данных, которые связаны с двумерно-периодичными гребенками, имеющими диэлектрические волноводы. Например, можно использовать подобные структуры для того, чтобы осуществлять построение плоских СВЧ антенн с дифракционным типом, которые имеют электронное управление поляризацией [8-15]. На настоящий момент созданы возможности для того, чтобы рассчитывать такие структуры на основе приближенных или эвристических подходов, однако мы при этом не можем утверждать, что работа их будет хорошей широкого класса таких структур или в широком диапазоне частот.

Среди многих задач, с которыми мы можем столкнуться при осуществлении проектирования дифракционных структур и антенных систем следует отметить такие [16-19]:

- происходит определение требований для дифракционных структур, относительно того, какие функциональные возможности и необходимые уровни отраженных электромагнитных полей, в которых при определенных условиях происходит достижение некоторых компромиссов по рабочим характеристикам и тем, как идет обеспечение необходимого уровня для отраженного электромагнитного поля;
- производится выбор для того, какова оптимальная форма дифракционных структур и их состав (металл, диэлектрик и др.), поскольку в зависимости от этого можно применять соответствующие алгоритмы, которые минимизируют уровни характеристик рассеяния, проводящих анализ их по тестопригодности;
- производится процедура логической верификации и осуществляются процессы, связанные с моделированием характеристик рассеяния по основным дифракционным структурам и потом, путем обобщения их в группу, происходит определение характеристик рассеяния антенных систем с учетом того, каковы реальные значения в характеристиках используемых антенн, при различных

режимов их функционирования, происходит оценка адекватность для рассматриваемых моделей и алгоритмов.

С целью, решения подобных задач требуется проводить разработку методики, которая позволяет осуществлять автоматизирование проектирования дифракционных объектов и радиолокационных систем, в ней можно проводить создание требований по тому, какие элементарные компоненты таким образом, чтобы обеспечить возможность для осуществления расчетов данных для процессов проектирования исследуемых систем с высокой точностью.

Среди основных этапов такой методики можно отметить следующие:

- проводится анализ для базовых характеристик основных элементов антенных систем;
- проводятся процессы синтеза антенных систем;
- проводится анализ для ключевых характеристик антенных систем;
- проводится принятие проектных решений.

Для указанной методики можно выделить отличительные черты, состоящие в том, что происходит формирование требований по базовым дифракционным компонентам для ранних стадий проектирования при учетом максимумов коэффициента корреляции. При этом анализ проводится для параметров отобранных основных элементов и режимов работы антенных систем, а также с точки зрения стоимостных характеристик антенных систем, которые имеют с необходимыми характеристиками в техническом задании на проведение автоматизированного их проектирования.

Мы можем применять входной язык с тем, чтобы проводить описание основных элементы для всех уровней проектирования. Производят его построение, основываясь на модульном многоуровневом принципе – происходит представление типовых элементов в виде совокупностей из более простых, с точки зрения конструкции компонентов, при этом мы наблюдаем это как по одним уровням иерархии в проектировании, так и когда осуществляются прямые и обратные переходы с уровня на уровень.

Как результат, мы имеем возможности наблюдения иерархического процесса проектирования, который предоставляет возможности для реализации принципа непрерывности.

Когда методы интегральных уравнений реализовываются в системах проектирования в соответствующих модулях, то требуется предусмотреть описание того, какие геометрические модели этих дифракционных элементов, как идет описание с точки зрения функционально-логических и электродинамических характеристик, символьных представлений геометрических моделей.

Для входного языка используют буквы алфавита и наборы для ключевых командных слов, их разделяют по двум группам – с тем, чтобы делать описание начала и конца записей и имен атрибутов для оставшихся записей.

Как основная структурная единица в языках описания модулей нами рассматривается запись. В теле записи существует ограничение среди тем набором ключевых слов, которые связаны с началом и концом и запись имеет набор атрибутов, их значения.

В лингвистических средствах есть сформированный язык, позволяющий проводить описание входных воздействий (определенных значений, относящихся к характеристикам электромагнитных волн) и задания по проектированию.

Такой язык предоставляет возможности применения как символьных, так и графических подходов описания, использования и сокращенных, и командных приемов и осуществления автоматического формирования таких данных, которые будут наиболее объемными, и еще происходит создание рациональных процедур с тем, чтобы осуществлять манипулирование данными.

При проведении проектирования мы можем проводить решение не только прямых задач (в них осуществляется определение характеристик рассеяния исследуемых объектов), но и определять параметры объектов (например, мы рассматриваем электродинамические характеристики материалов объектов), на основе которых можно получить заданные уровни по рассеянным электромагнитным полям. С тем, чтобы сократить время расчетов можно применять метод краевых волн.

Вывод: Метод интегральных уравнений дает возможности для проведения анализа по широкому классу дифракционных структур, в том числе, входящих в состав антенных систем. Такой метод можно применять в модулях математического обеспечения САПР антенн и дифракционных структур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ваганов Р. Б., Каценеленбаум Б. З. Основы теории дифракции / М.: Наука, 1982. - 272 с.
2. Кобак В. О. Радиолокационные отражатели / М.: Сов. радио, 1972. - 248 с.
3. Гордиевская К.Ю. О методе конечных разностей во временной области / Международный студенческий научный вестник. 2015. № 3-3. С. 363-364.

4. Шутов Г.В. Вопросы распространения радиоволн через растительные покровы / Международный студенческий научный вестник. 2015. № 3-3. С. 384-385.
5. Вольман В. И., Пименов Ю.В. Техническая электродинамика / М.: Связь, 1971. - 487 с.
6. Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ / М.: Высшая школа, 1970. - Т. 1. - 439 с.
7. Васильев Е. Н. Возбуждение тел вращения / М.: Радио и связь, 1987. - 270 с.
8. Кульнева Е.Ю. Об использовании импедансных структур для управления излучением антенн / Международный студенческий научный вестник. 2015. № 3-3. С. 369.
9. Кульнева Е.Ю. Вопросы проектирования антенн на основе планарных диэлектрических волноводов / Международный студенческий научный вестник. 2015. № 3-3. С. 369-370.
10. Рожкова А.А. Проблемы рассеяния электромагнитных волн на телах с магнито-диэлектрическим покрытием / Международный студенческий научный вестник. 2015. № 3-3. С. 378-379.
11. Ашихмин А.В., Пастернак Ю.Г., Рембовский Ю.А. Моделирование "виртуальной" антенной решетки мобильного радиопеленгатора с использованием данных натуральных измерений электромагнитного поля / Системы управления и информационные технологии. 2007. Т. 27. № 1.3. С. 313-317.
12. Пастернак Ю.Г., Рембовский Ю.А. Структура поля в области расположения кольцевой антенной решетки мобильного базирования / Антенны. 2007. № 1. С. 30-34.
13. Климов А.И., Меркулов К.Б., Останков А.В., Пастернак Ю.Г., Юдин В.И. Экспериментальные исследования антенных характеристик гребенки с двумя пазами и со слоем диэлектрика / Приборы и техника эксперимента. 1999. Т. 42. № 4. С. 113-116.
14. Ашихмин А.В., Пастернак Ю.Г., Попов И.В., Рембовский Ю.А. Амплитудно-фазовое пеленгование источников СВЧ-радиоизлучения с произвольной поляризацией с помощью кольцевой антенной решетки ИЗ ТЕМ-рупоров и антенн Вивальди / Антенны. 2008. № 3. С. 44-49.
15. Ашихмин А.В., Пастернак Ю.Г., Рембовский Ю.А. Исследование возможностей совершенствования точностных и энергетических характеристик мобильных радиопеленгаторов путем оптимизации структуры и параметров их антенных систем / Системы управления и информационные технологии. 2007. Т. 28. № 2.1. С. 113-118.
16. Львович Я.Е. Решение задач оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн на дифракционных структурах при их

- проектировании / Я.Е.Львович, И.Я.Львович, А.П.Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2010. № 6. С. 255-256.
17. 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.
18. Преображенский А.П. Оценка возможностей комбинированной методики для расчета ЭПР двумерных идеально проводящих полостей / А.П.Преображенский // Телекоммуникации. 2003. № 11. С. 37-40.
19. 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.

S.S. Scherbatyh

**THE POSSIBILITY OF USING THE METHOD OF INTEGRAL
EQUATIONS AS THE BASIC APPROACH IN CAD SYSTEMS
ANTENNAS**

Voronezh Institute of High Technologies

The paper discusses the features of the method of integral equations on the basis of which it is expedient to conduct electrodynamic modelling of diffractive structures that are part of antenna-feeder devices. The criteria are specified on which to evaluate the effectiveness of the methods used. The advantages of the method of integral equations for analysis of objects with complex shapes are given. The advantages of using the method of integral equations for the design of magneto-dielectric antennas are considered.

Keywords: electromagnetic wave propagation, antennas, method of integral equations.