

УДК 621.396

А.П. Преображенский
**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА
ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ КАК БАЗОВОГО МЕТОДА В
СИСТЕМАХ САПР АНТЕНН**

Воронежский институт высоких технологий

В статье рассматриваются особенности метода интегральных уравнений, на основе которого можно проводить электродинамическое моделирование дифракционных структур, входящих в состав антенно-фидерных устройств. Указаны критерии, на основе которых можно оценить эффективность методов. Отмечена возможность использования метода интегральных уравнений для проектирования магнито-диэлектрических антенн.

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

Среди тех задач, которые связаны с процессами разработки современных технических объектов, следует выделить связанные с использованием процессов дифракции и рассеяния электромагнитных волн [1-4].

Компоненты, которые входят в состав объектов, характеризуются различными формами и размерами. Если компонента выпуклая, то будет небольшое число переотражений, а для определения поверхностных токов и в дальнейшем рассеянного электромагнитного поля, обычно используют или метод физической оптики в комбинации с методом краевых волн, или метод интегральных уравнений.

Если компонентами являются полые структуры, размеры которых находятся в резонансной области (когда характерные размеры входных отверстий полых структур будут от одной до десяти длин волн), то тогда можно применять два подхода: волноводный и дифракционный.

В первом подходе характерно то, что полые структуры представляют как участок волновода (такие участки могут соединяться между собой). Подобные структуры могут быть в составе разных цепей питания в антенно-фидерных трактах, СВЧ-устройствах и так далее. Происходило развитие теории, связанной с регулярными и нерегулярными волноводами как самостоятельной дисциплины в рамках прикладной электродинамики, вследствие того, что была практическая необходимость в том, чтобы построить линии передач, относящиеся к СВЧ-диапазону и, соответственно, разрабатывалась радиолокационная техника [5, 6].

Когда осуществлялось построение элементной базы в радиосистемах, то применялись те исследования, касающиеся волноводных линий передач, результаты по которым были получены уже более полувека назад. С привлечением математического моделирования

есть возможности учета особенностей распространения электромагнитных волн внутри антенно-фидерных трактов, с учетом их изгибов и отражений электромагнитных волн от тел, которые могут быть внутри волноводов. Например, в волноводах можно помещать разные диафрагмы, зонды, щели. Математические методы, которые применяются для проведения расчетов волноводов разных видов, изложены в обширной литературе.

При решении задач существуют возможности для того, чтобы использовать метод интегральных уравнений при определении модальных коэффициентов волн, которые распространяются внутри полых структур, и рассчитываются их собственные числа (решается внутренняя электродинамическая задача).

Вследствие сложности форм структур, математические модели дают возможности для получения той информации, которую весьма сложно увидеть на экспериментах, или получить с привлечением приближенных методов.

При решении задач следует ориентироваться на некоторые критерии, позволяющие оценить эффективность применяемых подходов:

1. Максимальная погрешность для данного метода при использовании его для расчета характеристик объекта с произвольной формой;
2. Возможность расчета с приемлемым уровнем точности характеристик рассеяния объекта для передней полусферы для небольшого сектора наблюдения;
3. Наличие компьютерных программ, дающих возможности оценки характеристик подобных объектов;
4. Погрешность расчета токов на поверхности объекта.

Решение задач должно быть направлено на использование декомпозиционного подхода, когда тело сложной формы разбивается на совокупность относительно простых частей. Если рассматривать структуры, которые являются телами вращения, то весьма удачным будет соблюдение сочетания методов интегральных уравнений и собственных функций [7]. При этом основная роль отводится угловой, или азимутальной координате ϕ . Относительно такой координаты искомые поля, подобно тому, как это делают при использовании метода собственных функций, разлагают в ряды Фурье, и для полей отдельных гармоник вследствие условия ортогональности будет условие независимости. Указанное обстоятельство дает возможности для каждой из азимутальных гармоник сделать построение сравнительно простого интегрального уравнения, которое будет затем решаться численным образом.

При этом происходит уменьшение размерности решаемых электродинамических задач и происходит уменьшение требований к тому, какая должна быть величина машинной памяти и время расчетов на ЭВМ.

Если объекты не являются телами вращения и имеют сложные формы, то тогда требуется осуществлять решения интегральных уравнений при учете особенностей того, как изменяется каждый из участков поверхности структур. При этом можно наблюдать существенное возрастание и время расчетов, и объемов необходимой машинной памяти. Но при таком подходе можно увидеть определенные достоинства:

1. На основании разработанных методик появляются возможности проведения моделирования рассеяния ЭМВ на объектах с разными формами, в том числе и имеющих магнито-диэлектрические включения.
2. Можно оценить характеристики рассеяния практически для любого из углов наблюдения.
3. Для одного элемента возможна оценка характеристик рассеяния при имеющихся машинных ресурсах, а затем элементы на основе принципа суперпозиции объединяются. То есть, интегральные уравнения для одного элемента обобщаются на систему объектов. При этом область интегрирования и область, которая относится к изменению точек наблюдения, в таких случаях мы понимаем поверхность не для одного, а для множества объектов.

В том случае, когда структуры являются периодическими, то применяют теорию периодических структур. При этом есть возможности для уменьшения размерности задач. Вследствие комбинации метода интегральных уравнений и теории периодических структур возникают возможности проведения расчетов для характеристик, относящихся к двумерно-периодичным гребенкам, имеющих диэлектрический волновод. Например, можно применять такие структуры для того, чтобы делать формирование плоских СВЧ антенн дифракционного типа, имеющих электронное управление поляризацией [8-15]. Существуют возможности расчетов таких структур с привлечением приближенных или эвристических подходов, но при этом нельзя гарантировать, что они будут хорошо работать для широкого класса подобных структур или широкого диапазона частот.

Среди основных задач при проектировании дифракционных структур и радиолокационных антенн можно выделить такие:

- определяются требования по дифракционным структурам, с точки зрения функциональных возможностей и необходимых уровней отраженного электромагнитного поля, для которых в ряде случаев достигают определенные компромиссы среди функциональных

возможностей и тем, как обеспечивается необходимый уровень по отраженному электромагнитному полю;

- делается выбор по оптимальной форме дифракционных структур и их составу (металлы, диэлектрики и т.д.) вследствие алгоритмов, минимизирующих уровень характеристик рассеяния, анализирующих их с точки зрения тестопригодности;
- проводится логическая верификация и процессы моделирования характеристик рассеяния для основных дифракционных структур и затем, обобщая их в группу, определяются характеристики рассеяния антенных устройств при учете реальных значений характеристик применяемых антенн, для разных режимов их работы, оценивается адекватность по рассматриваемым моделям и алгоритмам.

Для того, чтобы решать такие задачи необходимо разрабатывать методику, позволяющую автоматизировать проектирование дифракционных компонентов и радиолокационных антенн, в которой можно осуществлять формирование требований к элементарным компонентам таким образом, чтобы были возможности для расчетов характеристик при проведении проектирования объектов с высокой точностью.

Основные этапы этой методики такие:

- проведение анализ по основным характеристикам базовых элементов антенны;
- проведение синтеза антенн;
- проведение анализа по основным характеристикам антенн;
- принятие проектных решений.

Указанная методика имеет отличия, тем, что формируются требования к основным дифракционным компонентам на ранних стадиях проектирования при учете максимума коэффициентов корреляции по параметрам выбранных базовых компонентов и режимов работы антенн, а также по стоимостным характеристикам антенн с необходимыми характеристиками в техническом задании на автоматизированное их проектирование.

Может быть использован входной язык для того, чтобы описывать базовые элементы по всем уровням проектирования. Его строят исходя из модульного многоуровневого принципа - типовые элементы представляют как совокупность из более простых конструктивных компонентов, причем это происходит как для одних уровней иерархии проектирования, так и при осуществлении прямых и обратных переходов с уровня на уровень.

В результате, можно наблюдать иерархический процесс проектирования, который дает возможности для того, чтобы реализовать принцип непрерывности.

При реализации в системах проектирования модули должны содержать описание геометрических моделей дифракционных элементов, описания по функционально-логическим и электродинамическим характеристикам, символьному представлению геометрических моделей. Библиотеку модулей можно расширять.

Во входном языке применяют буквы алфавита и набор по ключевым командным словам, их делят на две группы - для того, чтобы описывать начало и конец записей, и имена атрибутов по остальным записям.

В качестве основной структурной единицы в языке описания модулей мы будем считать запись. Для тела записи есть ограничение между теми ключевыми словами, которые относятся к началу и концу и запись содержит набор атрибутов, их значения.

Лингвистические средства содержат созданный язык, для того, чтобы описывать входные воздействия (определенные значения, относящиеся к параметрам электромагнитных волн) и задание на проектирования.

Указанный язык дает возможности использования как символьных, так и графических способов описания, применения как сокращенных, так и командных способов и проведения автоматического создания тех данных, которые наиболее объемны, а также создаются рациональные процедуры для того, чтобы манипулировать данными.

При проектировании можно решать не только прямые задачи (при которых определяются характеристики рассеяния объектов), но и определяются характеристики объектов (например, мы говорим об электродинамических характеристиках материалов объектов), которые позволяют получать определенные уровни для рассеянных электромагнитных полей. С целью сокращения времени расчетов можно использовать метод краевых волн также можно применять для того, чтобы экономить время при расчетах.

При создании антенн с необходимыми характеристиками важно осуществлять разработку необходимых математических моделей и алгоритмов анализа комплексных дифракционных структур, которые входят в состав антенн.

Практическая значимость для исследований дифракции электромагнитных волн на объекте, представляющем собой отражательную гребенку с двойной периодичностью, которая накрыта слоем диэлектрика, связана с возможностями формирования плоских СВЧ-антенн дифракционного типа, имеющих электронное управление поляризационной чувствительностью. В гребенке есть ортогонально расположенные друг относительно друга пазы, что дает возможности проведения поляризационной селекции. Такие пазы будут поляризационно-избирательными элементами, вследствие того, что когда совпадают направления по поляризациям и направлениям пазов

дифракционной решетки (ДР) в последних будет возбуждение стоячих волн, имеющих большую интенсивность. Пазы, которые будут расположены параллельно к другим координатным осям, будут являться запредельными по отношению к данной поляризации.

Поляризационная развязка может использоваться для того, чтобы исключить такой недостаток поляризационных антенн, как узкополосность. Такую задачу можно решать на примере антенн, которые состоят из дифракционных решеток, которые накрыты диэлектрическим волноводом. Анализ процессов в решетке может быть осуществлен на основе применения метода интегральных уравнений, и ее в рамках теории периодических структур.

Вывод: Метод интегральных уравнений позволяет проводить анализ широкого класса дифракционных структур, в том числе, входящих в состав антенн. Указанный метод может быть использован в модулях математического обеспечения САПР антенн.

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 натурных 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.

A.P. Preobrazhensky

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

Voronezh Institute of High Technologies

The paper discusses the features of the method of integral equations, which can be performed for electrodynamic modeling of diffraction-governmental agencies included in the antenna-feeder devices. The criteria are specified on which to evaluate the effectiveness of the methods. The possibility is noted of using the method of integral equations for the design of magneto-dielectric antennas.

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