

расчетах различного количества сферических гармоник.

Последовательно решая задачу обратной дифракции путем пересчета структуры поля свободной антенны и системы антенна – обтекатель на сферы меньшего диаметра получаем, что основное рассеянное поле формируется в области носика обтекателя.

Как и ранее, на сферической поверхности радиусом 50 см были выполнены измерения АФР полей свободной антенны и системы антенна-обтекатель. Сравнение показало, что амплитудные распределения полей свободной антенны и системы антенна – обтекатель отличаются незначительно, стенки обтекателя вносят фазовый сдвиг. Далее была выполнена процедура пересчета полей с поверхности измерения на сферическую поверхность радиуса 30 см (в область носика обтекателя). При пересчете поля свободной антенны использовались 30 сферических гармоник, системы антенна – обтекатель – 45. Также была рассчитана структура поля, формируемого гармониками 31–45. Последняя представляет собой четкую интерференционную картину, в то время

как все остальные показывают плавную эволюцию структуры полей при изменении расстояния от поверхности измерения. Подобным образом ведет себя и структура поля на значительном удалении от антенной системы в дальней зоне.

Выводы:

– предложена методика вычисления разностного поля для анализа системы антенна - обтекатель, которая практически может быть использована для анализа влияния обтекателя на характеристики антенны;

– наиболее перспективной с точки зрения практического применения являются метод радиологических измерений на сферической поверхности и обработка результатов с использованием анализа по сферическим гармоникам.

Работа выполнена в рамках задания ГПНИ «Электроника и фотоника 2.2.02» «Разработка и создание компактного полигона для измерения амплитудно – фазовых распределений и анализа характеристик излучения приема – передающих модулей в сантиметровом диапазоне волн».

УДК 621.396.67

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПАКТНОГО ПОЛИГОНА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕННЫХ СИСТЕМ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ

Гринчук А.П., Громыко А.В., Кучинский П.В.

*Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» БГУ
Минск, Республика Беларусь*

В отличие от обычных антенных полигонов, где измерения диаграмм направленности (ДН) антенн проводятся в дальней зоне (на значительных расстояниях, связанных с электрическими размерами антенны следующим соотношением:

$$L_{дз} \geq 2(D/\lambda)D,$$

где $L_{дз}$ – расстояние между зондовой и измеряемой антенной, D – максимальный линейный размер апертуры измеряемой антенны, λ – длина волны, на которой проводится измерение, D/λ – электрический размер антенны), компактный антенный полигон предназначен для измерения характеристик антенных систем на малых расстояниях. В этом случае используются специальные методы измерений, основанные на том, что интенсивность поля излучения антенной системы и его структура на различных расстояниях от излучающей апертуры однозначно математически связаны, то есть по измеренному полю на некотором расстоянии возможно расчетным путем восстановить структуру поля на любом расстоянии от антенны. При этом структура поля на значитель-

ном расстоянии от антенны (в дальней зоне) определяет ДН. Эти методы измерений называются ближнезонными или радиологическими.

Теоретически было показано, что измерения поля излучения антенн в ближней зоне возможно на нескольких типах поверхностей: плоской, цилиндрической и сферической. Для каждого типа поверхности были предложены уравнения, связывающие структуру полей в ближней и дальней зонах. При этом выбор той или иной поверхности определялся конструкцией антенны и структурой поля излучения.

Для выполнения измерений в ближней зоне необходимы механические сканирующие устройства, обеспечивающие перемещение зондовой антенны по выбранной поверхности, измерительный приемник для измерения амплитуды и фазы СВЧ поля в заданных точках указанной поверхности, обеспечивающий необходимый динамический диапазон и требуемые точности измерений в заданном частотном диапазоне, контроллер ввода цифровых данных в компьютер и программное обеспечение для проведения математических рас-

четов, визуализации и хранения результатов. Требования к параметрам поверхности измерения, величинам расстояний между отсчетами (дискретам) и др. теоретически определены (см. например [1, 2]). Кроме того, измерения необходимо проводить в специальных помещениях, обеспечивающих высокий уровень безэховости (экранированных безэховых камерах).

Из приведенного описания следует, что с точки зрения аппаратной реализации ближнезонные измерения значительно сложнее, чем прямые измерения в дальней зоне [3], требуют сложной и дорогостоящей измерительной аппаратуры и оборудования. Поэтому предложения по оптимизации структуры измерительных комплексов являются актуальными.

Задавшись максимально возможными масштабами размерами исследуемых антенных систем, а также частотным диапазоном, в котором предполагается проводить измерения (X диапазон, 8.5-9.5 ГГц), в лаборатории прикладной электродинамики НИИПФП создан компактный полигон, в состав которого включены экспериментальные образцы универсальных измерительных комплексов (ИВК) модульной конструкции, реализующие способы сканирования по плоской и сферической поверхности.

С целью определения метрологических характеристик созданных ИВК был проведен комплексный анализ влияния случайных погрешностей по разработанной методике [4]. Анализ включает оценку влияния случайных погрешностей измерительно – регистрирующей аппаратуры, сканирующих устройств, канализирующих линий передачи сигналов на исследуемую антенну и зонд, а также учет дрейфовых компонент погрешностей. В докладе приводятся конкретные результаты измерения и обработки по всем рассмотренным выше составляющим погрешностей.

Сравнительные измерения диаграмм направленности различных типов антенн на изготовленных экспериментальных образцах измерительных комплексов компактного полигона.

Для проведения сравнительных измерений были выбраны различные типы антенн: открытые концы прямоугольного и круглого волноводов, прямоугольные рупорные антенны, печатный вибратор, линейки на основе печатных вибраторов и монополей; апертурная моноимпульсная антенна.

Для каждой антенны проведена серия измерений на стендах с плоским и сферическим сканированием, что позволило рассчитать их пространственные ДН, а также измерены главные сечения ДН прямыми измерениями в дальней зоне. Выбор такого количества типов антенн позволит оценить

возможности различных методов измерения в зависимости от формы излучающей апертуры и вида диаграммы направленности.

Учет влияния характеристик зонда при расчете пространственных диаграмм направленности по результатам измерений на плоскости.

В процессе перемещения зонда при сканировании по плоскости постоянно меняется взаимное угловое положение виртуальной линии, соединяющей фазовые центры исследуемой антенны и зонда. Со стороны зонда это приводит к тому, что рассчитанная ДН измеряемой антенны в дальней зоне представляет собой произведение истинной ДН антенны и диаграммы направленности зонда. Физически зонд выступает как пространственный фильтр, у которого частотная характеристика описывается диаграммой направленности. Для восстановления истинной диаграммы необходимо измеренную диаграмму разделить на диаграмму направленности зонда. Эта процедура известна и описана в литературе. Однако приводимые в литературе примеры ограничивались только главными сечениями диаграмм, поскольку получить пространственную диаграмму зонда было достаточно сложно. В состав разработанного и изготовленного антенного полигона входит стенд со сферическим сканированием, что позволяет измерить пространственную ДН зонда с необходимой точностью. Следует отметить, что при сферическом сканировании эффекта влияния диаграммы зонда не наблюдается, поскольку плоскость раскрыва зонда при любом положении перпендикулярна к радиусу сферы измерения. В качестве зонда в изготовленном экспериментальном образце измерительного комплекса с планарным сканированием используется открытый конец прямоугольного волновода, пространственные характеристики которого практически измерены с помощью ИВК со сферическим сканированием. Разработано ПО для корректировки рассчитанных пространственных характеристик измеряемых антенн с учетом пространственной ДН зонда. В докладе приводятся конкретные результаты измерения АФР и рассчитанные ДН для всех типов антенн и способов сканирования.

Основные выводы:

- создан компактный полигон в составе экспериментальных образцов ИВК с плоским и сферическим сканированием, позволяющий проводить измерения характеристик широкого круга антенн.
- наиболее приемлемым способом измерения является сферическое сканирование для любых типов антенн.

Преимущества:

- компактность (геометрические размеры измеряемого объекта могут составлять до 0.8 от радиуса сферы измерения);

– минимальные влияния паразитных рассеяний, канализирующих линий, погрешностей позиционирования зонда (следствие компактности);
– нет зависимости от ДН зонда.

Работа выполнена в рамках задания ГПНИ «Электроника и фотоника 2.2.02» «Разработка и создание компактного полигона для измерения амплитудно – фазовых распределений и анализа характеристик излучения приема – передающих модулей в сантиметровом диапазоне волн».

Литература

1. Курочкин А.П. Теория и техника антенных измерений. Антенны, № 7, 2009г. – С. 39–45.

2. Бахрах Л.Д., Кременецкий С.Д., Курочкин А.П. Методы измерения излучающих систем в ближней зоне. – Л. – 1985 г. – 272 с.

3. Будаи А.Г. Разработка концепции построения аппаратно-программного комплекса модульной конструкции для определения характеристик антенных систем по измерениям в ближней зоне / А.Г. Будаи, А.П. Гринчук, А.В. Громыко // Приборы и методы измерений. – 2017. – № 2. – С. 151–159.

4. Будаи А.Г. К вопросу комплексной оценки метрологических характеристик радиолокационных измерительных комплексов./ А.Г. Будаи, А.П. Гринчук, А.В. Громыко // Материалы 10-ой Международной научно – технической конференции «Приборостроение – 2017». Минск. БНТУ 2018. – С.121–123.

УДК 621.396.67

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБРАТНОЙ ДИФРАКЦИИ

Будаи А.Г., Гринчук А.П., Громыко А.В.

*Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» БГУ
Минск, Республика Беларусь*

В приложении к измерениям характеристик антенных систем задача обратной дифракции в общем виде может быть сформулирована следующим образом: в заданной области пространства расположен излучающий или рассеивающий объект (в последнем случае объект облучается падающей волной). На некотором расстоянии от объекта в направлении распространения излученной или падающей волны расположена поверхность, на которой измерено амплитудно – фазовое распределение (АФР) поля (изображение объекта). Необходимо определить процедуру обработки измеренных данных для визуализации объекта.

Решение этой задачи заложено в интегральных уравнениях, положенных в основу радиолокационных методов измерения. Как известно [1], существуют уравнения, определяющие структуру поля электромагнитных волн на плоскости, цилиндрической и сферической поверхности на любом удалении от излучающей апертуры. Таким образом, по измеренным данным на некотором расстоянии от антенны, или объекта, возможно математически рассчитать структуру поля как в сторону распространения волны с увеличением расстояния от антенны, так и в сторону уменьшения этого расстояния (обратно к излучающей апертуре).

В лаборатории прикладной электродинамики НИИПФП БГУ создан универсальный компактный антенный полигон для измерения характеристик различных типов антенных систем, включающий в себя экспериментальные образцы аппаратно – программных комплексов для измерения в ближней зоне на плоскости и сферической поверхности. В состав программного обеспечения

этих комплексов входят и программы для решения указанной выше задачи. Эта программа условно названа программой локализации.

– экспериментальное решение задачи обратной дифракции для излучающих систем.

Для проверки корректности работы программы локализации проведена обработка экспериментально измеренных АФР полей различных типов антенн. Как правило, излучающая апертура исследуемой антенны располагалась на расстоянии 3-4 длины волны от плоскости измерения для минимизации взаимовлияния антенны и зонда. Применение программы локализации позволяло пересчитать поле на указанное расстояние в сторону исследуемой антенны, т.е. восстановить структуру поля излучения в непосредственной близости от апертуры. Получено, поля локализуются, более четко очерчивая границы излучающих объектов.

Несколько другие результаты получаются при применении методики локализации при сферическом сканировании. Дело в том, что при решении задачи обратной дифракции для сферических измерений, пересчет распределений поля проводится также для сферической поверхности, но меньшего диаметра. Физически диаметр такой сферы не может быть меньше максимальных геометрических размеров объекта, а, значит, для объектов с плоской излучающей апертурой в этом случае невозможно получить распределение поля непосредственно в апертуре. При приближении к объекту поле заполняет больший угловой сектор. Это объясняется тем, что геометрическая проекция апертуры исследуемой антенны на сферу меньшего диаметра стягивается дугой больших