БудайА.Г., Гринчук А.П., ГромыкоА.В.

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕННЫХ СИСТЕМ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета. Минск, Республика Беларусь. anatbudai@gmail.com

В докладе рассмотрены теоретические основы расчета пространственной диаграммы направленности антенной системы по результатам измерения амплитудно-фазового распределения поля излучения антенны на плоскости в ближней зоне. Представлено описание экспериментального образца аппаратного – программно комплекса для ближнезонных измерений и приведены примеры практических результатов.

Диаграммы направленности (ДН) антенных систем, входящих в состав различных комплексов (локации, наведения, связи и др.), во многом определяют технические параметры комплексов в целом, поэтому измерения ДН и связанных с ней параметров антенн (коэффициента усиления, уровня боковых лепестков и др.) является актуальной задачей. В силу большого разнообразия типов антенных систем различных диапазонов, их практического применения в различных комплексах в антенных измерениях практически нет типовых задач и подходов. Измерение параметров каждой конкретной антенны требует индивидуального подхода, в ряде случаев разработки уникальной оснастки и методики измерений.

Известны два основных подхода к измерению параметров антенн: измерения в дальней зоне и измерения в ближней зоне. Измерения в дальней зоне достаточно просты, не требуют сложной аппаратуры, однако обладают рядом недостатков:

- значительные расстояния между исследуемой и зондовой антенной, что предполагает проведений измерений вне помещений;

- существенное влияние окружающих предметов и подстилающей поверхности;

- зависимость от погодных условий;

- невозможность обеспечения скрытности измерений;

- невозможность измерения пространственной ДН (как правило, измеряют некоторые сечения).

Измерения в ближней зоне свободны от этих недостатков. Методологической основой этих измерений являются прямые измерения амплитудно-фазового распределения (АФР) поля антенной системы на некоторой поверхности в непосредственной близости от излучающей апертуры. Так как интенсивность поля излучения антенной системы и его структура на различных расстояниях от излучающей апертуры однозначно математически связаны, то по измеренному полю на некотором расстоянии возможно расчетным путем восстановит структуру поля на любом расстоянии от антенны. При этом структура поля на значительном расстоянии от антенны (в дальней зоне) определяет диаграмму направленности, а на малых расстояниях позволяет проанализировать влияние отдельных конструктивных и диаграммообразующих элементов.

Теоретические основы такого методологического подхода заложены в классических работах по электродинамике и теории антенн [1,2], а их практическое приложение непосредственно к антенным измерениям началось в конце прошлого века [3-5]. 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 антенн с плоским излучающим раскрывом, позволяющим расположить плоскость измерения в непосредственной близости от него преимущества имеют измерения на плоской поверхности [6]. Введем декартову систему координат О*ху*z (рисунок 1). Исследуемая антенна 1 находится в плоскости z = 0, а плоскость измерения 2 расположена параллельно исследуемой антенне на некоторой высоте Z₁. Измерения и расчеты определяют поле в верхней полусфере z > 0.



Рисунок 1 – Система координат при измерениях характеристик антенн в ближней зоне. 1 – исследуемая антенна; 2 – плоскость измерения.

Определим волновой вектор k:

 $\mathbf{k} = \mathbf{i}_{\mathbf{x}} k_{\mathbf{x}} + \mathbf{i}_{\mathbf{y}} k_{\mathbf{y}} + \mathbf{i}_{\mathbf{z}} k_{\mathbf{z}},$

где i_x , i_y , i_{z-} орты декартовой системы координат.

Также определим сферическую систему координат, в которой угол ϕ (азимутальный угол) – угол между осью *x* и проекцией волнового вектора **k** на измеряемую поверхность, угол θ (угол места) – угол между осью *z* вектором **k**. Тогда

 $k_x = k \sin\theta \cos\varphi; \quad k_y = k \sin\theta \sin\varphi; \quad k_z = k \cos\varphi.$

Компоненты вектора Е в дальней зоне могут быть представлены в виде [1]:

$$E_{\varphi}(k_{x}, k_{y}) = A \sqrt{k^{2} - k_{x}^{2} - k_{y}^{2}} S_{x}(k_{x}, k_{y});$$

$$E_{\theta}(k_{x}, k_{y}) = A \sqrt{k^{2} - k_{x}^{2} - k_{y}^{2}} S_{y}(k_{x}, k_{y});$$

$$A = j e^{jkR} / \pi R.$$

Функции $S_{x,y}(k_x, k_y)$ определяются выражением:

$$S_{x,y}(k_x, k_y) = \int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} E_{xy}(x, y) \cdot e^{-j(k_x x + k_y y)} \mathrm{d}x \mathrm{d}y,$$

где $E_{x,y}(x, y)$ – тангенциальные составляющие вектора электрического поля, измеренного на плоскости. В случае, если измеряемое поле излучения линейно поляризовано, ориентацией системы координат возможно одну из составляющих E_x или E_y сделать равной нулю.

Из приведенных выражений следует, что составляющие векторов электрического поля представляют собой спектры плоских волн в виде линейной комбинации преобразований Фурье от функций распределения компонент тангенциальных составляющих вектора электрического поля, измеренного на плоской поверхности [6,7].

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 расчетов, визуализации и хранения результатов. В лаборатории прикладной электродинамики НИИ ПФП реализован экспериментальный образец аппаратно – программного комплекса для измерений по плоскости, структурная схема которого представлена на рисунке 2... Следует отметить, что исследуемая антенна и измерительный зонд могут работать как в режиме излучения, так и в режиме приема (попарно).



Рисунок 2 – Структурная схема аппаратно – программного комплекса для измерений по плоскости 1 – устройство сканирования по координате Y; 2 – устройство сканирования по координате X; 3 – зонд; 4- исследуемая антенна; 5 – СВЧ генератор; 6 – измерительный приемник; 7 – контроллер управления сканирующими устройствами; 8 – контроллер ввода данных; 9 – компьютер.

Исследуемая антенна неподвижна и устанавливается таким образом, чтобы апертура антенны располагалась в непосредственной близости от плоскости сканирования и параллельно ей. Плоскость сканирования ориентируется таким образом, что ось x располагается горизонтально, ось y – вертикально. Размеры области сканирования выбираются таким образом, чтобы значения амплитуды поля на краю области сканирования были максимально малы. Практика показывает, что эта величина должна быть не менее -40 дБ. Зонд перемещается вдоль двух направляющих по X иY координатам возвратно поступательно, сканируя всю область. Отсчеты значений АФР поля, измеренные приемником, выполняются в дискретных точках, линейные расстояния между которыми в строке (по оси X) и по столбцам (по оси Y) составляют величину половину длины волны λ , на которой производится измерение. Процесс измерения построен таким образом, что зонд пробегает всю строку по координате X, затем следует перемещение по координате Y на величину $\lambda/2$, затем опять по координате X в обратном направлении. Для формирования запускающих импульсов для измерительного приемника используются перфорированные координатные линейки.

Программное обеспечение измерительного комплекса обеспечивает ввод измеренных данных, решение приведенных выше уравнений, визуализацию результатов в виде одномерных результатов. Измеренные данные и результаты расчетов представляются в виде двумерных массивов размерностью NЧM (где N и M – количества отсчетов по каждой из координат). Использование процедуры стандартного быстрого преобразования Фурье требует размерности массива по каждой из координат, кратной 2^N , где N – размерность массива (количество отсчетов) по каждой координате.

В качестве иллюстраций приведены изображения измеренного амплитудного распределения поля антенны П6-23М размерностью 64х64 отсчета (рис. 3) и восстановленной пространственной ДН (рис.4) на частоте 9.4ГГц.



Рисунок 3 – Вид амплитудного распределения поля антенны Пб-23М, измеренного в ближней зоне.



Рисунок 4 – Вид пространственной диаграммы направленности антенны Пб-23М, восстановленной по результатам измерения в ближней зоне.

Список литературы

1. Кюн, Р. Микроволновые антенны. – Л. – 1967.-518с.

2. Никольский, В.В.Электродинамика и распространение радиоволн.-М.-1978.-544с.

3. R.C. Johnson, H.A. Ecker, J.S.Hollis. Determination of Far-Field Antenna Patterns from Near-Field Measurements. IEEE Trans. Antennas Propagat.vol.20, 1973.pp.1668-1694.

4. Захарьев Л.Н., Турчин В.И., Цейтлин Н.М. и др. Методы измерения характеристик антенн СВЧ. – М. – 1985г. - 368с.

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

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

7. Васендин С.В., Кирпанев А.В. Исследование антенн и характеристик рассеяния радиолокационных объектов по планарным измерениям в ближней зоне. Успехи современной радиоэлектроники № 2. 2013 г.С.63-68.