

УДК 621.396.6

АЛГОРИТМ БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕНН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ НА СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ

М.С. Шкуркин

ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл., shkurkin@vniiftri.ru

Показаны основные практические аспекты, позволяющие эффективно восстановить характеристики излучения антенн по результатам измерений амплитудно-фазового распределения тангенциальных компонент электромагнитного поля на сферической поверхности в ближней зоне.

The article presents the main practical aspects that allow the radiation characteristics of antennas to be effectively recovered from the results of measurements of the amplitude-phase distribution of the tangential components of the electromagnetic field on a spherical surface in the near field.

Ключевые слова: алгоритм, характеристики направленности антенн, сферическая поверхность, ближняя зона.

Особое место среди средств измерений характеристик антенн методом ближней зоны занимают измерительные комплексы со сферическим принципом сканирования, предназначенные для измерений характеристик, в основном слабонаправленных антенн и антенных систем, например, навигационных антенн, антенн связного назначения, ФАР с диаграммами специальных форм, испытаний на электромагнитную совместимость и оценки свойств объектов в части радиолокационной заметности.

Подобные комплексы отличаются сложностью кинематической системы взаимного перемещения испытываемой антенны и измерительного зонда, относительной сложностью математического аппарата для восстановления характеристик антенн по результатам измерений амплитудно-фазового распределения поля в ближней зоне.

В состав подобных комплексов помимо указанной кинематической системы, включающей, как правило, сканер и позиционер с минимум двумя степенями свободы, входят комплект антенн-зондов на соответствующий поддиапазон частот, векторный анализатор цепей и ПЭВМ для управления элементами комплекса и обработки результатов измерений (рис. 1).

Практические основы измерений методом ближней зоны со сферическим сканированием сводятся к необходимости инструментальной оценки двух компонент поля испытываемой антенны на поверхности сканирования в заданном угловом секторе с шагом, не превышающем отношения длины волны к диаметру минимальной сферы, в которую может быть вписана испытываемая антенна.

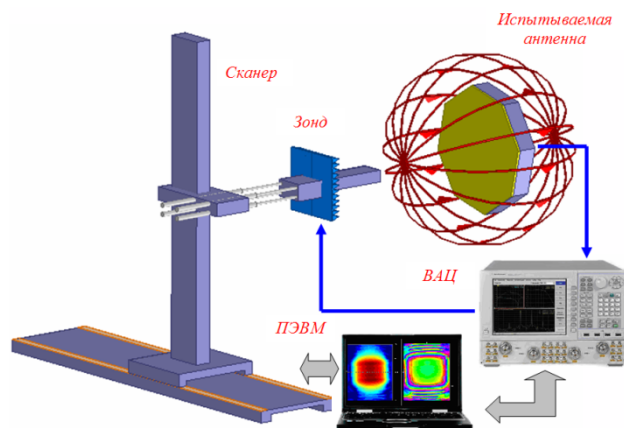


Рис. 1. Основные элементы типового измерительного комплекса ближней зоны со сферическим принципом сканирования

При этом важно, что диаметр этой сферы меньше, чем диаметр сферы, по поверхности которой выполняют сканирование (рис. 2). Радиус первой, т.е. наименьшей сферы, определяет порядок сферических гармоник, о которых будет идти речь ниже.

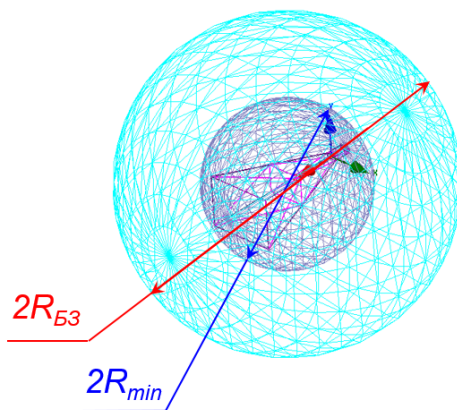


Рис. 2. Соотношение размеров сфер и антенны при реализации измерений и расчетов

Физическая возможность реализации метода измерений характеристик антенн в ближней зоне со сферическим принципом сканирования основана на математическом представлении функции в виде равномерно сходящегося ряда сферических гармоник, являющихся решениями векторного волнового уравнения Гельмгольца.

В практических случаях указанный ряд заменяется конечной взвешенной суммой присоединенных полиномов Лежандра. При этом значения весовых

коэффициентов могут быть определены путем двумерного интегрирования соответствующих векторных сферических гармоник, определенных на поверхности сканирования. Применительно к рассматриваемому случаю поле излучения антенны в дальней зоне определяется суммой соответствующих векторных сферических гармоник:

$$\vec{E}(r, \theta, \phi) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n A_{nm} \vec{M}_{nm} + B_{nm} \vec{N}_{nm}, \quad (1)$$

где A_{nm}, B_{nm} - комплексные коэффициенты;

$\vec{M}_{nm}, \vec{N}_{nm}$ - векторные сферические гармоники.

Решение этой задачи на практике связано с определенными трудностями. Если использовать известные [1, 2] подходы, то интегральные преобразования по угловой координате θ , необходимые для расчета соответствующих комплексных коэффициентов, не могут быть сведены к эффективным алгоритмам, в отличие от преобразований по координате ϕ , которые сводятся к преобразованию Фурье и эффективно решаются быстрыми алгоритмами (БПФ).

Также стоит отметить, что решить задачу восстановления поля в дальней зоне по измеренному на сфере АФР по классическим [1] соотношениям на практике невозможно. Для практической реализации этих алгоритмов необходимо определить пределы суммирования по переменной n , а при расчете сферических гармоник переменную m необходимо брать по модулю.

Исходя из этого, задача исследований была сформулирована в виде необходимости разработки эффективного алгоритма преобразований результатов измерений в ближней зоне на сфере в характеристики направленности антенны в дальней зоне с применением быстрых преобразований.

Предлагаемый алгоритм расчета характеристик антенн по результатам измерений на сфере в ближней зоне основан на [1], но позволяет реализовать быстрые преобразования Фурье как по координате ϕ , так и по координате θ , за счет возможности разложения присоединенных полиномов Лежандра $P_n^{|m|} \cos(\theta)$, используемых в расчетах, в конечный ряд Фурье с постоянными коэффициентами и сведения их к БПФ [3, 4].

На основе этого в среде объектового программирования LabView был реализован алгоритм восстановления характеристик направленности антенн, основанный на быстрых преобразованиях сферических гармоник. Внешний вид рабочего окна программы показан на рис. 3 и включает меню для загрузки результатов измерений, задания начальных условий, настроек визуализации.

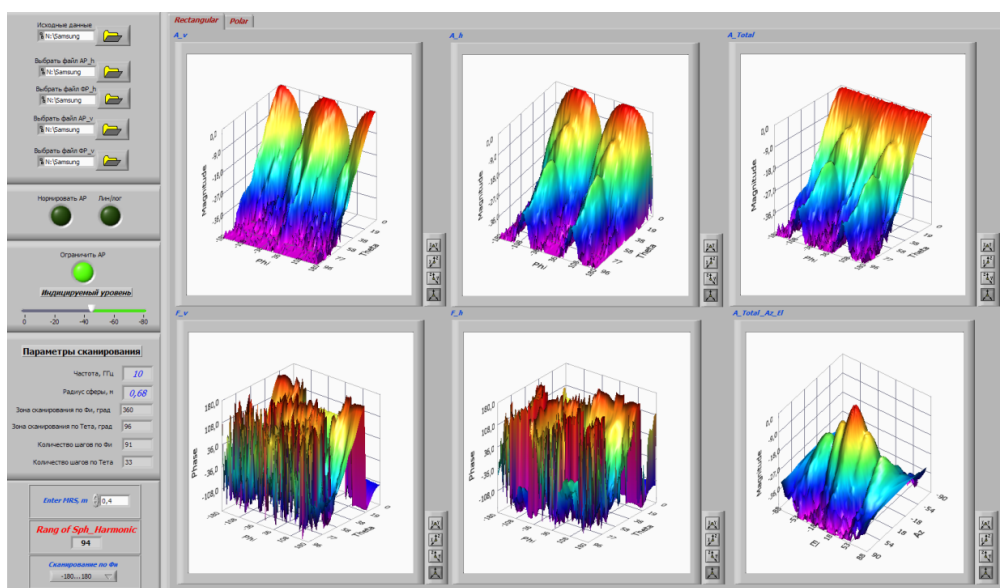


Рис. 3. Внешний вид окна программы для обработки АФР, измеренного на сфере

Эффективность предлагаемого подхода показана на основе результатов расчета двух главных сечений амплитудной диаграммы направленности пирамидального рупора, восстановленных двумя методами при равных начальных условиях. Расчеты проведены на типовой ПЭВМ. Время решения задачи быстрым алгоритмом снизилось практически в два раза в сравнении с классическим подходом, даже при расширении матрицы АФР в четыре раза. Также можно наблюдать повышение информативности результатов измерений, в частности, ярко выражены боковые лепестки и нули диаграммы направленности (рис. 4).

Таким образом, можно сделать вывод, что предлагаемый подход к преобразованиям распределения поля в ближней зоне на основе быстрых алгоритмов позволяет повысить эффективность существующих (классических) выражений для восстановления характеристик направленности антенн при сферическом сканировании.

Была показана его эффективность и хорошая сходимость с результатами строгих расчетов характеристик излучения пирамидального рупора, полученными в среде Ansoft HFSS.

Начальные условия:

$f = 10$ ГГц
 $R_{\min} = 0,3$ м
 $R_{\text{БЗ}} = 0,5$ м
 АФР = [30 x 60]

ПЭВМ:

Intel Core 2 Duo CPU
 3 GHz, 2 Gb ОЗУ

Время решения:

18 сек

**Время решения
 быстрыми алгоритмами:**

8 сек при АФР = [120 x 240]

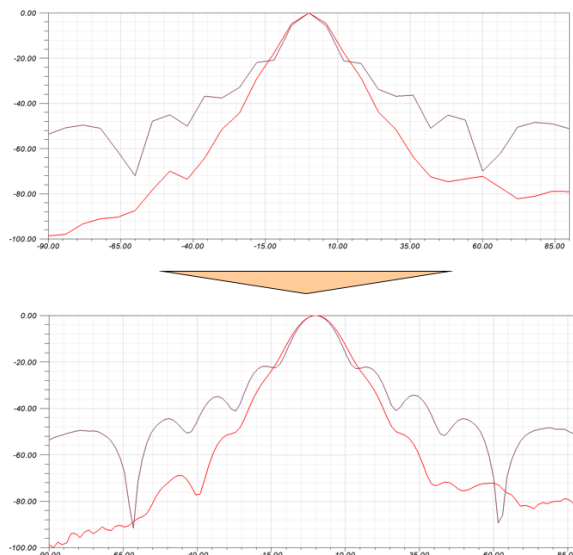


Рис. 4. Сравнение результатов расчетов с применением традиционных (верхний график) и быстрых (нижний график) алгоритмов

Литература

1. Бахрах Л.Д., Кременецкий С.Д., Курочкин А.П. Методы измерений параметров излучающих систем в ближней зоне. – Л.: Наука, 1985.
2. Захарьев Л.Н., Леманский А.А., Турчин В.И. и др. под редакцией Цейтлина Н.М. Методы измерения характеристик антенн СВЧ. – М.: Радио и связь, 1985.
3. Янке Е., Эмде Ф., Лёш Ф. Специальные функции. – М.: Наука, 1977.
4. Rokhlin V., Tygert M. Fast algorithms for spherical harmonic expansions. SIAM// J. Sci. Comput., vol. 27, № 6, p. 1903 – 1928.