

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАДИОГЛОГРАФИЧЕСКОГО АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА СО СФЕРИЧЕСКИМ СКАНИРОВАНИЕМ

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

Научно-исследовательского учреждения «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета», Минск, Республика Беларусь

Практически реализуемые радиоголографические измерительно-вычислительные комплексы используют сканирование по плоскости, цилиндру или сферической поверхности [1]. Измерения по плоскости и цилиндру имеют ограничения по типам измеряемых антенн. Способ сканирования по сфере является универсальным, не накладывает никаких ограничений на вид поля и размеры антенной системы и может использоваться для измерения характеристик слабонаправленных антенн, систем антенна-обтекатель, имеющих значительное удлинение и др.

Структурная схема радиоголографического измерительного комплекса со сферическим сканированием приведена на рис. 1.

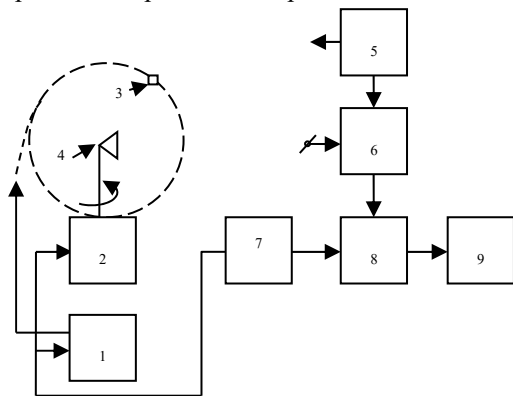


Рисунок 1: 1 – поворотное устройство сканирования по координате θ ; 2 – поворотное устройство сканирования по координате φ . 3 – зонд; 4 – исследуемая антенна; 5 – СВЧ-генератор; 6 – измерительный приемник; 7 – контроллер управления сканирующими устройствами; 8 – контроллер ввода данных; 9 – компьютер

Структурно и идеологически представляемый комплекс аналогичен планарным измерительным комплексам [2]. Однако сферическое сканирование имеет свою специфику как в аппаратной, так и в алгоритмической и программной областях. В частности, в отличие от восстановления характеристик по измерениям на планарной и цилиндрической поверхностях, где используются эффективные алгоритмы БПФ, обработка результатов измерения на сферической поверхности требует традиционного интегрирования с привлечением присоединенных функций Лежандра и сферических функций Ханкеля. Решение уравнения Максвелла в сферической системе координат для комплексных амплитуд тангенци-

альных составляющих вектора электрического поля позволяет представить электромагнитное поле $\vec{E}_r(\theta, \varphi, r)$ на поверхности сферы радиуса r , охватывающей излучающую систему в виде разложения по векторным сферическим функциям (гармоникам) [3]:

$$\vec{E}_r(\theta, \varphi, r) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=-n}^{+n} A_{mn} \cdot \vec{M}_{mn} + B_{mn} \cdot \vec{N}_{mn}$$

Векторные сферические функции $\vec{M}_{mn}, \vec{N}_{mn}$ и комплексные коэффициенты A_{mn}, B_{mn} выражаются через полиномы Лежандра $P_n^m(\theta)$, сферические функции Ханкеля $Z_n(kz)$ и тангенциальные составляющие вектора E на сферической поверхности радиуса r_0 (r_0 – радиус сферы, на которой производится измерение) [4]. Число N определяется радиусом минимальной сферы, охватывающей измеряемый объект. Тангенциальные составляющие поля E_φ, E_θ на сфере любого радиуса (как больше, так и меньше r_0) рассчитываются по формулам, содержащим Фурье преобразование по координате φ . В тоже время полиномы Лежандра $P_n^m(\cos\theta)$ можно представить в виде конечного ряда Фурье:

$$P_n^m(\cos\theta) = \frac{(2n)!}{2^n n! (n-m)!} e^{-j\frac{\pi}{2}m} \sum_{k=0}^n C_k^{mn} e^{j(n-2k)\theta}$$

где C_k^{mn} – постоянные коэффициенты, являющиеся результатом алгебраических процедур. Таким образом, интегрирование по координате θ также сводится к преобразованию Фурье, что позволяет использовать при расчетах тангенциальных составляющих поля на поверхности произвольного радиуса эффективный алгоритм БПФ.

Разработанное на основании представленного алгоритма программное обеспечение позволяет, используя результаты измерений на сферической поверхности радиуса r_0 , рассчитывать поле в векторном виде на сферической поверхности произвольного радиуса R . При $R \gg \lambda$ амплитуда рассчитанного поля определяет пространственную диаграмму направленности исследуемого объекта.

В лаборатории прикладной электродинамики НИИПФП БГУ изготовлен экспериментальный образец радиоголографического стенда со сферическим сканированием. Внешний вид сканирующих устройств приведен на рис. 2. На крепежном

кронштейне азимутального сканирующего устройства закреплён исследуемый объект – антенна под носовым обтекателем, а устройства сканирования по углу места – измерительный зонд – открытый конец волновода. Такая конфигурация сканирующих устройств позволяет существенно упростить конструкцию поворотных устройств, сделать их более универсальными, упростить процедуру совмещения центров вращения с фазовыми центрами исследуемых антенн различной формы и снизить стоимость измерительного комплекса. В комплексе выбрана привычная с точки зрения представления измеренных результатов т. н. экваториальная компоновка расположения зондовой антенны и исследуемого объекта.



Рисунок 2 – Сканирующие устройства установлены в безэховой камере, выполненной из поглощающего материала «ТОРА 25»

Максимально достижимые геометрические параметры:

- радиус сферической поверхности – 120 см.;
- угол поворота в азимутальной плоскости – 0-330 град.;
- угол поворота в угломестной плоскости – 0-180 град.

Выбранные размеры позволяют измерять параметры широкого круга изделий, функционирующих в трехсантиметровом диапазоне длин волн. Конкретные размеры области сканирования устанавливаются для конкретной измеряемой антенной системы.

В отличие от планарного сканирования, где достаточно просто решается вопрос поляризационного базиса, а также возможен экспресс анализ по измерениям одной строки и одного столбца в центральной области измеряемой апертуры (что,

несомненно, является существенным преимуществом измерений на плоскости), при сферическом сканировании для получения полной информации требуется измерение на двух ортогональных поляризациях, что усложняет конструкцию узла зондовой антенны. В реализованном экспериментальном образце проводится последовательное измерение двух массивов отдельно на каждой поляризации. После обработки процесса измерения и алгоритмов обработки, зондовый узел будет доработан и измерения двух ортогональных поляризаций будет проводиться последовательно при каждом угловом положении зонда, что, естественно, повысит точность измерений.

Контроллер управления обеспечивает как независимое перемещение по каждой угловой координате, так и последовательное сканирование по двум координатам в автоматическом режиме: – поворот исследуемого объекта в азимутальной плоскости в пределах выбранного углового сектора, перемещение зондовой антенны на выбранный угловой дискрет, затем опять поворот в азимутальной плоскости в обратном направлении. Ввод данных в компьютер в виде двумерных массивов и графическое представление результатов измерения и расчетов аналогичны описанным в [2].

Литература

1. 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.
2. Будаи. А.Г. Практическая реализация аппаратно-программного комплекса для планарных измерений характеристик антенн в ближней зоне / А.Г. Будаи, А.П. Гринчук, А.В. Громыко // Приборы и методы измерений. – 2017. – № 4. – С. 334–343
3. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн. – М. – 1978.
4. Арфкен Г. Математические методы в физике. – М. – 1970.

УДК 006.91

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА ИЗМЕРЕНИЙ В РАМКАХ СМК

Гуревич В.Л., Разумный А.И.

Белорусский государственный институт метрологии, Минск, Республика Беларусь

Согласно новой версии СТБ ISO 9001, системы менеджмента измерений – это набор взаимосвязанных или взаимодействующих элементов, необходимых для достижения метрологического подтверждения и управления процессами изме-

рений. Как видно из определения, понятие системы менеджмента измерений достаточно органично сочетается с понятием менеджмента качества и в новой редакции международного стандарта устанавливаются требования, в том числе к