

УДК 621.396.67

К ВОПРОСУ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

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

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

В общем виде любой радиоголографический измерительный комплекс (ИВК) включает зондовую антенну, сканирующее устройство с драйвером управления, которые обеспечивают перемещение зондовой антенны по заданной поверхности, измерительно-регистрирующую аппаратуру, включая и питающий генератор, и канализирующие линии, обеспечивающие подачу на измеряемую антенну и зонд сигналов генератора и передачу измеряемого сигнала на измерительную аппаратуру. Каждый из перечисленных блоков вносит свою составляющую погрешности. В результате общая погрешность измерения амплитудно-фазового распределения (АФР) поля (или восстановления характеристик измеряемой антенны расчетным путем) является суперпозицией погрешностей от нескольких источников, механизмы их возникновения имеют различную природу, различные временные характеристики и различные степени влияния на конечный результат.

Задачей проведенных исследований являлась разработка наиболее общих подходов к оценке погрешностей восстановления характеристик измеряемой антенны вне зависимости от конкретной конструкции измерительного комплекса.

Представим АФР поля, измеренного на некоторой поверхности в ближней зоне антенны в виде:

$$U(i,j) = U_0(i,j) + \Delta U(i,j), \quad (1)$$

где $U(i, j)$ – измеренное АФР поля; $U_0(i, j)$ – истинное АФР поля; $\Delta U(i,j)$ – погрешности измерения АФР поля, i, j – номера отсчетов по каждой координате.

Тогда восстановленная диаграмма направленности (ДН) $F(\varphi, \theta)$ описывается выражением:

$$F(\varphi, \theta) = F_0(\varphi, \theta) + \Delta F(\varphi, \theta), \quad (2)$$

где $F_0(\varphi, \theta)$ – истинная ДН; $\Delta F(\varphi, \theta)$ – погрешности восстановления ДН, φ, θ – угловые координаты (азимут и угол места).

Используя свойство аддитивности интегральных преобразований из ближней зоны в дальнюю, будем считать, что ΔF (2) есть интегральное преобразование ΔU (1), которое представляет собой угловое распределение ошибок восстановления ДН исследуемой антенны.

Для любой конструкции измерительного комплекса величины i, j (номера отсчетов) однозначно определяют пространственное положение измерительного зонда. Таким образом, структура погрешностей $\Delta U(i, j)$ состоит из погрешностей измерения амплитуды и фазы, вы-

званных погрешностями измерительной аппаратуры и погрешностей, вызванных погрешностями позиционирования, т. е. распределенных по пространству в пределах области измерений.

Априори будем считать, что каждая составляющая погрешностей имеет систематическую и случайную компоненты. В данной работе рассматривается влияние случайных компонентов погрешностей. В качестве методологической основы проведенной работы использовались подходы статистической теории антенн. Сложность рассматриваемой ситуации заключается еще и в том, что для анализа нам доступны только информация об измеренном поле (со всеми ошибками измерения) и результаты расчета диаграммы направленности (также со всеми ошибками). Истинной или эталонной ДН просто физически нет, поскольку нет эталонной антенны, а значит, нет и эталонного поля. Измерительные антенны типа П6-23, П6-140 и др. имеют слишком малые габариты по сравнению с размерами области измерений, чтобы рассматриваться как источники эталонного поля для нашей задачи.

Влияние случайных погрешностей измерительно-регистрирующей аппаратуры

В режиме неподвижного зонда регистрируется массив данных (амплитуда A и фаза Φ или квадратичные компоненты поля $A \sin \Phi$ и $A \cos \Phi$) размером $N \times M$ (N и M – число отсчетов по каждой из координат). При этом объем массива и темп измерений выбираются соответствующими реальным измерениям. Далее рассчитываются средние значения и СКО измеренных величин, коэффициенты и радиусы автокорреляции, а также коэффициенты их взаимосвязи.

Указанная процедура проводится в нескольких точках динамического диапазона исследуемого комплекса. Полученные результаты позволят определить реальный динамический диапазон измерительной аппаратуры, а корреляционный анализ – наличие или отсутствие дрейфовых компонент погрешностей.

Для определения погрешностей восстановления ДН формируется массив средних значений $V_{cp} W_{cp}$ размером $N \times M$ и в соответствии с выбранными интегральными преобразованиями рассчитывается поле в дальней зоне от сформированного массива (считая его истинной ДН F_0) и от реально измеренного массива (считая его ДН с погрешностями F). Проведя вычитание $F_0 - F$, получают пространственное распределение и относительная величина погрешностей восста-

новления ΔF (2). При желании, комбинируя массивы средних значений и отклонений от среднего для компонент V и W , возможно отдельно проанализировать влияние, например, амплитудных и фазовых погрешностей.

Комплексный анализ влияния случайных погрешностей

Для экспресс оценки предлагается провести анализ результатов, полученных при измерениях P раз одного сечения АФР (например, одной строки и одного столбца для измерений по плоскости) в средней части АФР исследуемой антенны. В результате получаются массивы данных размером $N \times P$ и $M \times P$, т. е. P реализаций одномерных массивов размерностью N и M . Статистическая и корреляционная обработка проводится в соответствии с алгоритмом, приведенном выше, но параметры определяются не по всему массиву, а лишь по P реализациям каждого отсчета.

Финальной процедурой оценки погрешности восстановления ДН антенн с использованием данного конкретного радиоголографического комплекса является определение границ разброса восстанавливаемых ДН. Для этого рассчитываются P одномерных реализаций ДН, и для каждого отсчета (углового значения ДН) выбираются средние значения, формирующие среднюю (истинную) ДН, а также максимальные и минимальные значения. По результатам таких измерений строятся кривые, определяющие границы разброса восстанавливаемых ДН для нескольких типов наиболее часто встречаемых АФР полей – синфазных равноамплитудных, со спадающим амплитудным распределением, формирующих разностный канал для монопольных режимов и др.

Анализ влияния канализирующих линий передачи сигналов на исследуемую антенну и зонд требует индивидуального подхода не только к каждому конкретному измерительному комплексу, но даже и при измерениях антенных систем различных типов на одном и том ИВК. В этих случаях возможна максимальная оценка за счет создания режимов измерения, при которых априори предполагаются максимальные искажения измеряемых значений амплитуды и фазы. Например, если конструкция ИВК предполагает использование гибких кабелей, то максимальные искажения возникнут при максимальных размерах области сканирования. Очевидно, что вносимые этим механизмом погрешности будут содержать компоненты, которые не могут рассматриваться как случайные и требуют другого алгоритма оценки.

Практическая реализация такого подхода возможна при замене исследуемой антенны и радиоканала исследуемая антенна – измерительный зонд отрезком кабеля, максимально иден-

тичного штатному по электрическим параметрам, длине и форме изгиба. В такой аппаратной конфигурации проводится цикл измерения при максимально возможной области сканирования. Обработка полученных результатов позволит определить пространственное распределение вносимых кабелем затухания и фазового сдвига.

Комплексную оценку погрешностей восстановления характеристик исследуемой антенны на данном ИВК возможно получить по результатам анализа N последовательно измеренных двумерных массивов АФР поля и рассчитанных ДН. Приняв в качестве начального первый измеренный массив (и, соответственно, первую рассчитанную ДН) путем последовательного сравнения можно выделить дрейфовую составляющую погрешностей измерения АФР и ее влияние на точность восстановления ДН.

Практическая реализация предложенных алгоритмов измерения и обработки полученных результатов проводилась на экспериментальном образце ИВК с планарным сканированием, функционирующем в лаборатории прикладной электродинамики НИИПФП БГУ и подробно описанном в [1]. В докладе приводятся конкретные результаты измерения и обработки по всем рассмотренным выше составляющим погрешностей.

Выводы:

- отличительной особенностью предложенной комплексной оценки погрешностей является использование только экспериментальных результатов, полученных на данном ИВК, что не накладывает никаких предварительных ограничений на величины и законы распределения погрешностей;

- в предложенной оценке максимально учтены все механизмы формирования погрешностей, причем оценка дается в комплексе, а не по отдельным параметрам (например, погрешность позиционирования или отклонения от поверхности измерения);

- предложенная оценка позволяет реально оценить динамический диапазон восстанавливаемых дальнезонных характеристик при заданной величине погрешности;

- предложенная оценка по величине минимальных границ разброса восстановленных ДН может рассматриваться как наиболее объективная оценка пространственно-амплитудных погрешностей восстановления ДН для данной конкретной антенны.

Литература

Будай. А.Г. Практическая реализация аппаратно-программного комплекса для планарных измерений характеристик антенн в ближней зоне / А.Г. Будай, А.П. Гринчук, А.В. Громько // Приборы и методы измерений. – 2017. – № 4. – С. 334–343.