

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕННЫХ СИСТЕМ АМПЛИТУДНЫМИ МЕТОДАМИ

В.А. Усин¹, В.А. Ковальчук²

¹ Харьковский национальный университет радиоэлектроники,

² Харьковский университет Воздушных Сил им. И.Кожедуба)

В работе показано, что требования к условиям измерений параметров антенн амплитудным методом и голографическим методом близки между собой, что позволяет применять известную методика для их оценки.

амплитудный метод, погрешность восстановления

Постановка проблемы. Разрабатываемые в настоящее время антенные системы (АС) весьма сложны и дороги, а требования к их характеристикам очень высоки. Поэтому в процессе разработки, настройки и эксплуатации АС очень важной является задача измерения (контроля) характеристик антенн с заданной точностью.

Наиболее перспективными в настоящее время представляются методы измерений, основанные на измерении поля антенны в ближней зоне и последующем пересчете результатов измерений в дальнюю зону.

Среди этих методов наиболее изученным является голографический метод, основанный на измерении амплитуд и фаз тангенциальных компонент ближнего поля $\vec{E}_\tau, \vec{H}_\tau$ на некоторой поверхности, охватывающей антенну [1]. Подобные измерения требуют наличия высокостабильного источника опорного сигнала и в ряде случаев трудновыполнимы. Трудности существенно возрастают в сантиметровом и особенно миллиметровом диапазонах волн. Поэтому перспективными представляются методы, позволяющие только по измерениям амплитуды ближнего поля восстановить диаграмму направленности антенны и оценить ее характеристики [2, 3].

Внедрение ближнезонных измерений требует проведения детального анализа точностных характеристик методов определения параметров по измерениям ближнего поля. Детерминированные и случайные погрешности голографического метода рассмотрены в ряде работ, например, в [1].

В настоящей работе проведено рассмотрение погрешностей амплитудного метода определения параметров антенн.

Алгоритмы определения параметров антенн по измерениям амплитуды поля в ближней зоне. С точки зрения теории электромагнитного поля задача восстановления поля антенны в дальней зоне по известному ближнему полю на поверхности, охватывающей антенну, относится к краевым задачам электродинамики. Возможность ее решения следует из теории краевых задач и теоремы эквивалентности.

В наиболее простом случае измерений поля на плоскости P_1 , отстоящей от антенны на расстоянии z_1 , измеренное амплитудно-фазовое распределение (АФР) \dot{E}_{z1} и поле в дальней зоне связаны (с точностью до несущественных множителей) преобразованием Фурье.

Обработка результатов амплитудных измерений в ближней зоне более сложная, поскольку требуется восстановить информацию о фазе ближнего поля (решить «фазовую проблему»). Одним из методов ее решения является увеличение объема исходной информации и использование априорных данных об антенне.

Суть этого метода рассмотрим на примере определения характеристик линейной антенны длиной L .

Будем считать, что измерены амплитудные распределения ближнего поля антенны E_{z1} и E_{z2} на плоскостях P_1 и P_2 , отстоящих на расстояниях z_1 и z_2 соответственно (рис. 1). Размеры области измерений D (обычно $D \geq L$). Поле $E_{z1}(x)$ связано с АФР в раскрыве антенны $\dot{A}_{z0}(x)$ некоторым линейным преобразованием [2]

$$\dot{E}_{z1}(x) = G\{z_0; z_1; \dot{A}_{z0}(x)\}, \quad (1)$$

где $G\{z_0; z_1; \dot{A}_{z0}(x)\}$ – оператор, описывающий преобразование поля $\dot{A}_{z0}(x)$ при распространении его от плоскости z_0 до плоскости P_1 ($z = z_1$).

Выберем некоторое начальное фазовое приближение $\varphi_1^{(0)}$ к измеренному распределению амплитуды E_{z1} и пересчитаем полученное АФР на плоскость раскрыва $z = z_0$

$$\dot{A}_1^{(0)}(x) = G^{-1}\left\{z_1; z_0; E_{z1} e^{j\varphi_1^{(0)}}(x)\right\}, \quad (2)$$

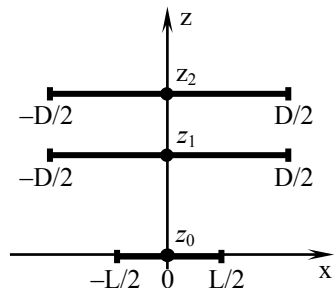


Рис. 1. Геометрия планарных измерений ДН линейной антенны амплитудным методом

где G^{-1} – оператор, обратный G .

Учтем геометрию исследуемой антенны, полагая

$$\dot{A}_{01}^{(0)}(x) = \dot{A}_1^{(0)}(x)\Pi(x),$$

где $\Pi(x) = \begin{cases} 1, & |x| \leq L/2 \\ 0, & |x| > L/2 \end{cases}$ – оператор усечения.

Далее выполняют операции с массивами измерений на плоскости P_2 :

$$\dot{R}_{z2}(x) = G\{z_0; z_1; \dot{A}_{01}(x)\} = R_{z2}(x)e^{j\varphi_2^{(0)}(x)};$$

$$\dot{A}_2^{(0)}(x) = G^{-1}\left\{z_2; z_0; E_{z2}e^{j\varphi_2^{(0)}(x)}\right\};$$

$$\dot{A}_{02}^{(0)}(x) = \dot{A}_2^{(0)}(x)\Pi(x);$$

$$\dot{R}_{z1}(x) = G\{z_0; z_1; \dot{A}_{02}(x)\} = R_{z1}(x)e^{j\varphi_1^{(1)}(x)}.$$

Фазовое распределение $\varphi_1^{(1)}(x)$ является следующим приближением к фазовому распределению на плоскости z_1 . Далее итерационный процесс циклически продолжается до выполнения критерия

$$\|E_{z1} - R_{z1}\| + \|E_{z2} - R_{z2}\| \leq \varepsilon,$$

где $\|E_{z1} - R_{z1}\| + \|E_{z2} - R_{z2}\|$ – норма функции в какой-либо метрике; ε – величина, которая характеризует степень отличия соответствующих функций и должна учитывать точность измерений распределений E_{z1} и E_{z2} .

Близким по сути является и алгоритм восстановления АФР по амплитудным измерениям амплитудного распределения ближнего поля на цилиндрических поверхностях P_1, P_2 , охватывающих антенну [3].

Оценка точности амплитудных методов определения параметров антенн. Погрешности определения параметров антенн по измерениям амплитуды поля в ближней зоне можно разделить на три большие группы: методические, инструментальные и погрешности обработки.

Погрешности обработки обусловлены принятыми алгоритмами преобразований результатов измерений, которые должны быть достаточно строгими и эффективными, и способами реализаций этих алгоритмов. Фактически погрешности обработки определяются только возможностями вычислительных средств и при использовании современных ЭВМ ими можно пренебречь. Так, реализация описанного выше алгоритма на ЭВМ позволила восстановить значения ДН на уровне -30 дБ с погрешностью $0,1$ дБ и на уровне -60 дБ с точностью 1 дБ.

Поэтому основное значение приобретают методические и инструментальные погрешности восстановления ДН.

Методические погрешности обусловлены ограничением области измерения ближнего поля и дискретизацией измерений (т.е. выполнением измерений с шагом Δx на плоскостях P_1 и P_2).

Источниками *инструментальных ошибок* являются практически все элементы, участвующие в процессе измерения амплитуды ближнего поля: генераторы, линии передач, механизмы, осуществляющие взаимное перемещение зонда и антенны, измерители и т.д. Ошибки измерений амплитуды ближнего поля в результате пересчета приводят к инструментальным погрешностям восстановления ДН. Именно случайные ошибки измерений определяют потенциальные возможности амплитудных методов.

Ввиду сложности получения аналитических выражений для оценок точности определения отдельных параметров антенн целесообразно проводить численные расчеты. Они позволяют оценить влияние различных факторов на точность определения характеристик антенн.

Приведем некоторые результаты.

1. *Влияние ограничения области измерений амплитуды и дискретизации* на точность определения уровней первых трех боковых лепестков ДН и ширины главного лепестка ДН анализировались для двух видов амплитудного распределения: равномерного $\dot{A}_{z0}(x)=1$ (рис. 2, а) и косинусного $\dot{A}_{z0}(x)=\cos(\pi x/L)$ (рис. 2, б) при условиях $L=14\lambda$, $z_1=12,5\lambda$, $z_2=25\lambda$ и $\Delta x=\lambda/2$. Расчеты показали, что приемлемая точность определения боковых лепестков (~ 1 дБ) на уровне значений ДН – (25...30) дБ получается при незначительном превышении области измерения над размерами антенны ($D \geq L + 8\lambda$).

Максимально допустимая величина дискрета, позволяющая пренебречь ошибками за счет дискретизации, составляет $\Delta x = \lambda/2$, что совпадает с требованиями к голографическому методу [1].

Имея набор графиков, соответствующим различным значениям L , D , z_1 , z_2 , Δx , можно обоснованно выбрать условия измерений для восстановления ДН антенны с требуемой точностью.

2. *Влияние случайных ошибок измерений* оценивали путем численного моделирования. Были проанализированы зависимости среднеквадратических отклонений ширины и направления главного максимума восстановленной ДН от среднеквадратических значений мультипликатив-

ных σ_{μ} ошибок измерений амплитуд E_{z1} и E_{z2} . Расчеты показывают, что полученные значения дисперсий близки к величинам, характерным для голографических измерений, если дисперсии ошибок измерений амплитуды поля на плоскостях P_1 и P_2 положить равными дисперсиям ошибок измерений амплифазных компонент ближнего поля.

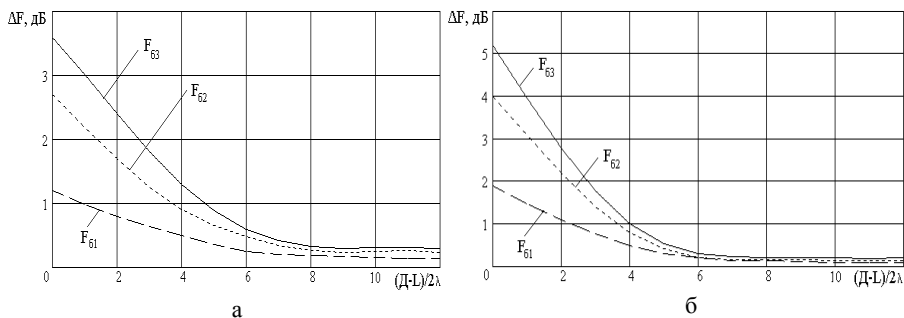


Рис. 2. Зависимость точности восстановления ДН от размеров области измерений

Вывод. Погрешности определения параметров антенн амплитудным и голографическим методами близки между собой. Одинаковый характер носит зависимость погрешностей от условий и ошибок измерений. Это позволяет применять развитую в [1] методику для оценки требований к точности измерений ближнего поля и к выбору условий измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы измерений параметров излучающих систем в ближней зоне / Л.Д. Бахрах и др. – Л.: Наука, 1985. – 272 с.
2. D'Elia G., Leone G., Pierri R. Far field reconstruction from only modulus near field data. – U.R.S.I. Int. Symp. Electromagn. Theory, Budapest, 1986. – P. 767-769.
3. D'Elia G., Leone G., Pierri R., Selirizini G. Far field transformation by only amplitude measurements: cylindrical scanning. Antennas and Propag.: Int. Symp. Dig, Blacksburd, 1987. – Vol. A. – P. 166-169.

Поступила 27.03.2006

Рецензент: доктор технических наук, доцент П.Л. Токарский,
Харьковский национальный университет радиоэлектроники.