

ИЗМЕРЕНИЕ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕНН В ПЛАНАРНОМ СКАНЕРЕ БЕЗ ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗЫ

Ю.Н.Калинин

Научно-производственное предприятие "ТРИМ" СШП Измерительные системы"
г.Санкт-Петербург, т.8(812)319-00-50,
kalinin@trimcom.ru

Рассматриваются алгоритмы обработки, позволяющие при измерениях антенн в ближней зоне с помощью планарного сканера получить диаграмму направленности без непосредственного измерения фазового распределения поля. Фазовое распределение поля восстанавливается по результатам измерений только амплитудного распределения на двух параллельных плоскостях. Приводятся результаты экспериментальных исследований.

В настоящее время широко распространен метод измерений антенн в ближнем поле с помощью планарного сканера. Современные антенные измерительно-вычислительные комплексы (АИВК) ближнего поля характеризуются большими размерами области сканирования (десятки метров) и широким частотным диапазоном (более 50 ГГц). При создании таких комплексов возникает ряд технических проблем, обусловленных применением протяженных высокочастотных трактов, а именно: высокое затухание сигналов и фазовый дрейф, вызванный колебаниями температуры в ходе продолжительных многочасовых измерений больших антенн.

Применение длинных кабельных линий обусловлено необходимостью использования для измерения фазового распределения поля ответвленного опорного сигнала генератора. Преобразование частоты, применяемое в векторных анализаторах цепей, принципиально не решает проблемы, поскольку в этом случае проблема ослабления и фазового дрейфа возникает для сигнала гетеродина. В некоторых случаях это является препятствием для реализации технических требований, предъявляемых к АИВК.

В связи с этим является актуальным исследование возможных путей получения диаграмм направленности антенн без непосредственного измерения фазового распределения поля.

В докладе рассматривается итерационный алгоритм восстановления фазового распределения по результатам измерений только амплитудного распределения поля на двух соседних параллельных плоскостях вблизи раскрыва антенны. В основе данного алгоритма лежит алгоритм преобразования амплитудно-фазового распределения (АФР) поля с одной параллельной плоскости на другую параллельную плоскость, находящуюся на расстоянии нескольких длин волн. Преобразование поля осуществляется как в направлении распространения электромагнитной волны, так и в направлении раскрыва антенны.

Если известно поле на некоторой плоскости, то поле на параллельной ей плоскости, находящейся на расстоянии d , может быть получено [1], как

$$E_{x,y}(x, y, z = d) = \mathfrak{T}^{-1} \left\{ \mathfrak{T} \{ E_{x,y}(x, y, z = 0) \} e^{-jk_z d} \right\} \quad (1)$$

Соотношение (1) является основой алгоритма восстановления фазы.

Пусть имеем два измерения амплитудного распределения $|E_1(x, y, 0)|$ и $|E_2(x, y, d)|$ на плоскостях 1 и 2 (рис.1). Итерационный алгоритм восстановления фазы [2, 3] состоит из следующих шагов:

1. Установка начального (нулевого) приближения фазового распределения на плоскости 1:

$$\hat{\phi}_1(x, y, 0) = 0. \quad (2)$$

2. Расчет АФР на плоскости 2 (обозначения координат в аргументах функций опускаем):

$$\hat{E}_2 = \mathfrak{F}^{-1} \left\{ \mathfrak{F} \left\{ E_1 \right\} e^{j\hat{\phi}_1} \right\} e^{-jk_z d}. \quad (3)$$

3. Замена оценки амплитудного распределения, полученной на шаге 2, измеренным амплитудным распределением на плоскости 2:

$$|\hat{E}_2| \rightarrow |E_2|. \quad (4)$$

4. Расчет АФР на плоскости 1 по измеренному амплитудному распределению на плоскости 2 и оценке фазового распределения на плоскости 2, полученной на шаге 2:

$$\hat{E}_1 = \mathfrak{F}^{-1} \left\{ \mathfrak{F} \left\{ E_2 \right\} e^{j\hat{\phi}_2} \right\} e^{jk_z d}. \quad (5)$$

5. Замена оценки амплитудного распределения, полученной на шаге 4, измеренным амплитудным распределением на плоскости 1:

$$|\hat{E}_1| \rightarrow |E_1|. \quad (6)$$

6. Повторение шагов 2–5, пока оценка амплитудного распределения на плоскости 1 (или плоскости 2) не будет совпадать с результатом измерения по некоторому заданному критерию:

$$\left\| |E_{1(2)}| - |\hat{E}_{1(2)}| \right\| \leq \varepsilon. \quad (7)$$

После получения оценки фазового распределения расчет поля антенны в дальней зоне производится известными методами [2, 4].

Рассмотренный алгоритм позволяет восстановить фазовое распределение с точностью до некоторой постоянной составляющей. Поэтому с его помощью нельзя получить фазовый сдвиг между отдельными ортогональными компонентами E_x и E_y и, соответственно, измерить характеристики антенны, связанные с векторным характером поля (коэффициент эллиптичности, угол наклона поляризационного эллипса, уровень кроссполяризационной развязки и др.).

На рис.2 показаны амплитудные распределения ФАР X -диапазона размером порядка 30λ , измеренные на расстояниях $z=0.1$ м и $z=0.398$ м от апертуры. Расстояние между измерительными плоскостями составило примерно 9λ . Измерение фазового распределения не проводилось. Амплитудные распределения получены при использовании векторного анализатора цепей в режиме измерения абсолютной мощности (в стандартном случае – при измерении комплексного АФР – векторный анализатор цепей используется в режиме измерения параметра S_{21} или S_{12}).

В результате обработки этих амплитудных распределений с помощью рассмотренного итерационного алгоритма была получена оценка фазового распределения на плоскости $z=0.1$ м. На основе этой оценки фазового распределения и реальных измерений амплитудного распределения была рассчитана диаграмма направленности ФАР. Для сравнения диаграмма направленности была рассчитана также на основе непосредственных измерений амплитудного и фазового распределений на плоскости $z=0.1$ м (рис.3). Результат получен при использовании $n=5000$ итераций алгоритма восстановления фазового распределения.

В качестве критерия сходимости алгоритма использовалась нормированная сумма квадратов разностей измеренного и рассчитанного амплитудных распределений на плоскости $z=0.1$ м:

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum_x \sum_y [|E_1(x, y)| - |\hat{E}_1(x, y)|]^2}{\sum_x \sum_y |E_1(x, y)|^2}}. \quad (8)$$

Литература

1. Kerns D.M., Plane-Wave Scattering-Matrix Theory of Antennas and Antenna-Antenna Interactions. National Bureau of Standards, Monograph 162, Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1981.
2. Gregson S., McCormic J., Parini C. Principles of Planar Near-Field Antenna Measurements (Electromagnetic waves series, v.53). –Institution of Engineering and Technology, London, 2007.
3. S.F.Razavi, Y.Rahmat-Samii. Phaseless techniques in antenna near-field measurements: algorithms, simulations and experiments. / Прикладная радиоэлектроника, 2010, том 9, № 1.
4. Методы измерений параметров излучающих систем в ближней зоне/ Бахрах Л.Д. и др. – Л.: Наука, 1985.

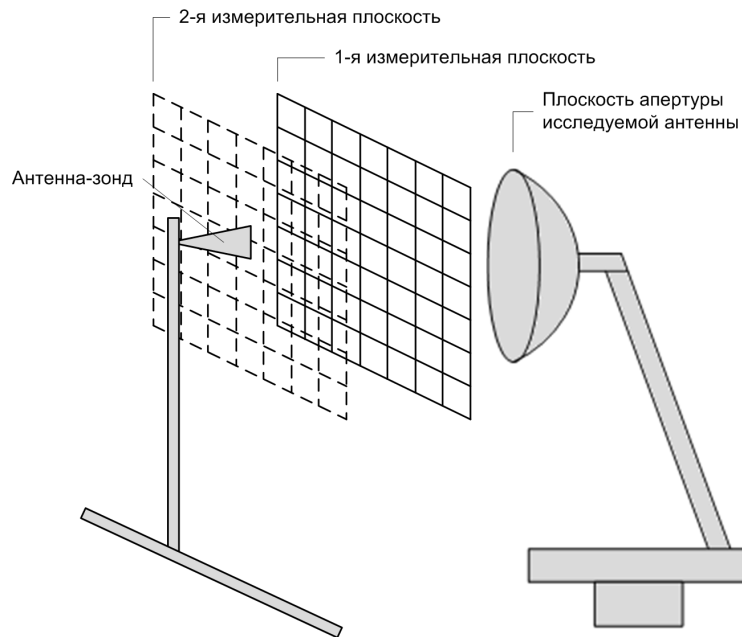


Рис.1. Конфигурация измерений для алгоритма восстановления фазового распределения.

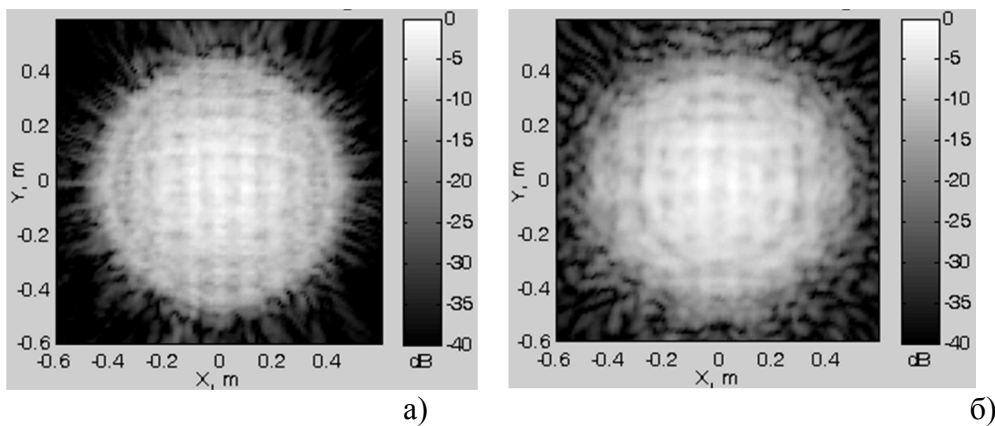


Рис.2. Амплитудные распределения ФАР, измеренные на расстояниях $z=0.1$ м (а) и $z=0.398$ м (б) от апертуры.

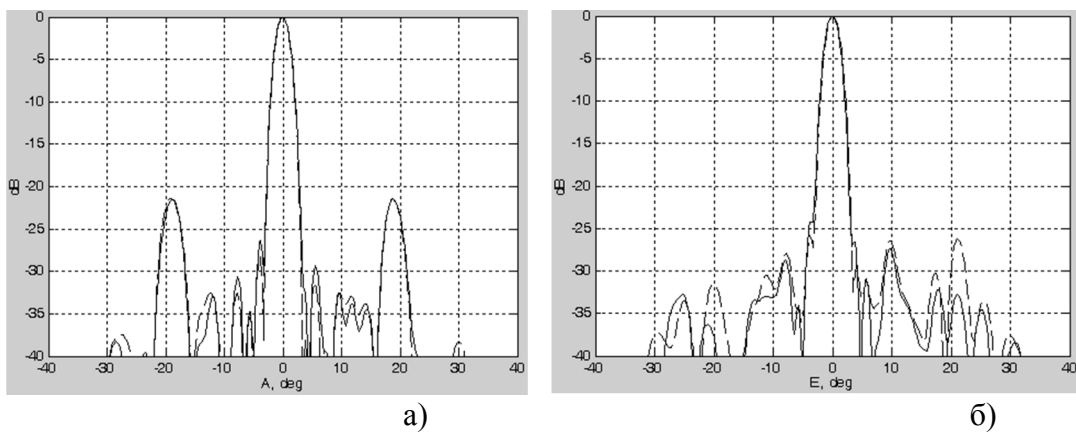


Рис.3. Сравнение сечений диаграммы направленности ФАР по азимуту (а) и углу места (б), полученных по непосредственным измерениям АФР (—) и с помощью итерационного алгоритма восстановления фазового распределения (-----).