

УДК 621.396.67

К ВОПРОСУ О ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ В ЕЕ БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ В ШИРОКОМ СЕКТОРЕ УГЛОВ

А. Л. Фогель

Рассматривается задача определения диаграммы направленности линейной антенны по измерениям поля в ближней зоне в широком секторе углов. Исследована возможность восстановления диаграммы направленности в результате сочетания амплифазометрических вблизи главного максимума и амплитудных в области боковых лепестков измерений поля. Приведены результаты измерений диаграммы направленности линейной антенной решетки.

Основной трудностью использования амплифазометрического метода для определения диаграмм направленности антенн в широких угловых секторах, особенно для электрически больших антенн ($D \gg \lambda$, где D — размер раскрыва, λ — длина волны), является необходимость измерения амплитудно-фазового распределения ближнего поля в большом числе точек [1, 2]. Это существенно усложняет как сам процесс измерений, так и последующую обработку данных на ЭВМ.

Существует, однако, достаточно очевидная возможность преодоления этой трудности, заключающаяся в том, что амплифазометрические измерения ближнего поля проводятся только в секторе углов, необходимым для восстановления главного максимума и первых боковых лепестков диаграммы направленности. Остальные боковые лепестки измеряются непосредственно в ближней зоне и калибруются по восстановленным в области главного максимума значениям диаграммы направленности (см., например, [3]).

Возможность таких измерений основана на том, что боковое излучение большинства антенн с близким к равномерному фазовому распределением поля в раскрыве формируется в основном на расстоянии R , значительно меньшем условной границы дальней зоны $2D^2/\lambda$. Для практической реализации этой возможности требуется уточнение некоторых соотношений и экспериментальная проверка, что и является целью настоящего сообщения.

На основе геометрической теории дифракции в работах [4-7] показано, что боковое излучение апертурной антенны вне области «проекторного» луча и некоторой переходной области «свет — тень» определяется преимущественно краевыми волнами кромок апертуры*. Условие для расстояния R , на котором соответствующий данному направлению θ боковой лепесток можно считать сформировавшимся, определяется границей переходной области и имеет вид

$$R[\sqrt{1 + D^2/4R^2} - (D/R)\sin\theta - \cos\theta] \geq c/k, \quad (1)$$

* Здесь присутствуют также поля, рассеянные на элементах конструкции антенны, например тягах, облучателе и т. п., но точка наблюдения обычно находится в дальней зоне по отношению к этим элементам.

где $k = 2\pi/\lambda$ — волновое число, а $c \approx 2 \div 3$ — числовой параметр, характеризующий ширину переходной области. Условие (1) позволяет измерять боковые лепестки на расстоянии R , значительно меньшем (особенно для антенн с $D \gg \lambda$), чем \tilde{R} , определяемом физически очевидным условием

$$\tilde{R} \geq (2D^2/\lambda) \cos^2 \theta'. \quad (2)$$

Причина различия оценок (1) и (2) заключается в том, что измеренный на расстоянии R под углом θ боковой лепесток на бесконечности расположен под углом θ' , равным углу наклона асимптоты гиперболы данного лепестка в ближней зоне. Для определения истинного положения максимумов боковых лепестков следует выполнить преобразование угловой координаты по формуле

$$\operatorname{tg} \theta = \operatorname{tg} \theta' \sqrt{1 + \alpha^2/[1 - (\lambda n/2R)^2]}, \quad (3)$$

где $\alpha = D/2R < 1$, n — номер измеряемого бокового лепестка. Поле излучения линейного источника размера D с точностью до коэффициента можно представить в обычном виде [8]*:

$$E(R, \theta) = \cos \theta / D \int_{-D/2}^{D/2} g(x) e^{-ikRS(R, \theta, x)} dx, \quad (4)$$

где $S(R, \theta, x) = (1 + x^2/R^2 - 2(x/R) \sin \theta)^{1/2}$, а $g(x)$ — распределение поля в раскрыве. В области бокового излучения $\sin \theta > D/2R$ главный член асимптотического разложения интеграла (4) определяется суммой вкладов от границ интегрирования и имеет вид

$$E(R, \theta) = \frac{\cos \theta}{kRD} \left\{ \frac{g(D/2)}{s'(D/2)} e^{-ikRS(D/2)} - \frac{g(-D/2)}{s'(-D/2)} e^{-ikRS(-D/2)} \right\} + O(kR)^{-2}. \quad (5)$$

Боковые лепестки диаграммы направленности $E^\infty(\theta) = \lim_{R \rightarrow \infty} RE(R, \theta)$ асимптотически могут быть представлены выражением [9]

$$E^\infty(\theta') = e^{-ikR} \cos \theta' \frac{\sin((kD/2) \sin \theta')}{(kD/2) \sin \theta'} + O\left(\frac{1}{kD}\right). \quad (6)$$

Если потребовать, чтобы зависимость от угла θ бокового излучения в ближней зоне $E(R, \theta)$ совпадала с диаграммой направленности (6), нетрудно получить соотношение для пересчета угловой координаты, эквивалентное (3), когда θ и θ' — координаты максимумов боковых лепестков**:

$$\sin \theta' = \sin \theta (1 - (\alpha^2/2) \cos^2 \theta) + O(\alpha^4). \quad (7)$$

Для величин максимумов боковых лепестков можно получить приближенное соотношение вида

$$E_{\max}(R) = E_{\max}^\infty \frac{1 + \alpha^2 \cos^2 \theta}{1 + \alpha^2 \cos \theta}. \quad (8)$$

* Хотя высказанные выше замечания справедливы и для апертурных антенн, анализ бокового излучения в этом случае существенно более сложен.

** В [3] для случая измерений в зоне Френеля получено аналогичное (1) условие для минимального угла θ_{\min} , начиная с которого боковые лепестки могут быть измерены непосредственно:

$$\theta_{\min} = D/2R + \sqrt{\lambda/2R}.$$

Выражение (8) может быть использовано для коррекции отнормированных измеренных значений боковых лепестков.

Можно приближенно оценить значение нормировочного множителя до проведения измерений, если вычислить отношение максимальных значений поля исследуемой антенны в ближней и дальней зонах. В случае измерений в зоне Френеля для линейной антенны с равномерным распределением амплитуды и фазы в раскрыве нормировочный множитель имеет вид

$$E_{\max}^{\infty}/E_{\max}(R) = D/\sqrt{\pi R/k}.$$

Для проверки рассмотренных выше соотношений было выполнено математическое моделирование ближнего поля и диаграммы направленности линейной антенной решеткой, а также проведены полигонные измерения этих характеристик. Исследовалась решетка равномерно расположенных излучателей длиной D ($D/\lambda \approx 28$), установленная на опорно-поворотном устройстве. При ее вращении относительно вертикальной оси в результате сканирования излучателя, расположенного на расстоянии R от антенны, осуществлялось измерение амплитудно-фазового распределения ближнего поля на линии, лежащей на цилиндрической поверхности радиуса R ($R/\lambda \approx 55$). Измерения диаграммы направленности проводились обычным способом с помощью излучателя, расположенного в дальней зоне исследуемой антенны. Вычисленная математическая модель соответствовала условиям измерений.

На рис. 1 изображены рассчитанные на ЭВМ диаграмма направленности модели линейной антенной решетки и амплитудное распределение ее ближнего поля, отнормированное и преобразованное по угловой координате в соответствии с (7).

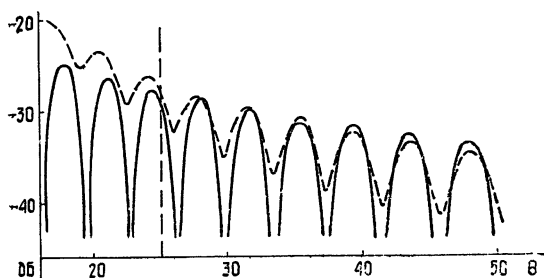


Рис. 1. Сплошная кривая — диаграмма направленности; штриховая — распределение амплитуды ближнего поля.

Как видно из рис. 1, начиная с угла θ , определяемого условием (1), наблюдается хорошее соответствие боковых лепестков, сформировавшихся в ближней и дальней зонах антенны.

Результаты измерений диаграммы направленности линейной антенной решеткой в дальней зоне и амплитудометрических измерений на линии, расположенной на цилиндрической поверхности радиуса R , приведены на рис. 2. Здесь изображены половина центрального «узкого» сечения диаграммы направленности, измеренной в дальней зоне, восстановленной по измеренным значениям ближнего поля, и распределение амплитуды поля в ближней зоне после проведения нормировки и угловой коррекции. Вертикальной линией отмечена угловая граница, определяемая условием (1).

В отличие от хорошо совпадающего бокового излучения рассчитанной модели (рис. 1) положение и форма боковых лепестков, измеренных в дальней и ближней зонах, существенно расходятся (см. рис. 2).

Это объясняется значительными трудностями точного измерения дальнего бокового излучения из-за наличия переотражений от Земли и местных предметов (данные соответствующих измерений приведены, например, в [10]). Уменьшить переотражения можно за счет работы

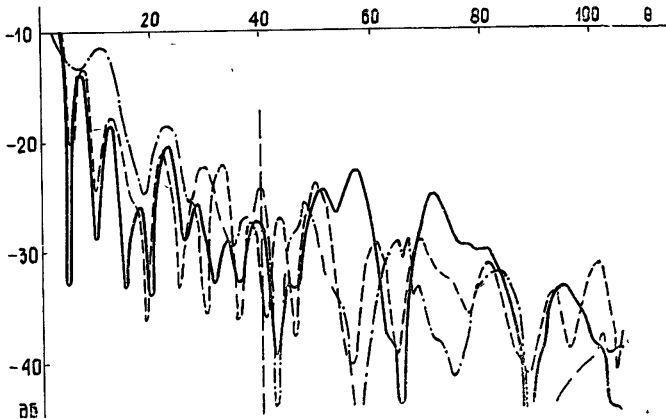


Рис. 2. Сплошная кривая — диаграмма направленности, измеренная в дальней зоне; штриховая кривая — диаграмма направленности, восстановленная по результатам измерения ближнего поля; штрихпунктирная кривая — распределение амплитуды ближнего поля.

в безэховых камерах, покрытия отражающих поверхностей поглотителем, выбором соответствующих углов обзора и т. п., но снизить их до допустимого уровня достаточно трудно. Поэтому в большинстве случаев приходится ограничиваться определением огибающих дальних боковых лепестков диаграммы направленности, которые, как видно из рис. 2, практически совпадают.

Автор благодарит Ю. А. Кравцова за ряд полезных замечаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахрах Л. Д., Курочкин А. П. — ДАН СССР, 1966, 171, № 6, с. 1309.
2. Турчин В. И., Цейтлин Н. М. — Радиотехника и электроника, 1979, 24, № 12, с. 2381.
3. Курочкин А. П., Усин В. А. — Вопросы радиоэлектроники. Сер. Общетехническая, 1980, вып. 1, с. 51.
4. Кинбер Б. Е., Цейтлин В. Б. — Радиотехника и электроника, 1964, 9, № 9, с. 1581.
5. Боровиков В. А., Кинбер Б. Е. — Радиотехника и электроника, 1976, 21, № 5, с. 997.
6. Боровиков В. А., Кинбер Б. Е. Геометрическая теория дифракции. — М.: Связь, 1978.
7. Кинбер Б. Е. — В сб.: Обратные задачи теории рассеяния и теории статистически нерегулярных траектор. — М.: ИРЭ АН СССР, 1979, с. 143.
8. Сканирующие антенные системы СВЧ. Ч. 1. / Под ред. Г. Т. Маркова, В. Ф. Чаплина. — М.: Сов. радио, 1966. — С. 38.
9. Копсон Э. Т. Асимптотические разложения. — М.: Мир, 1966, с. 47.
10. Pratt T., Claydon B. — Marconi Rev., 1971, 34, 180, p. 1.

Научно-исследовательский
радиофизический институт

Поступила в редакцию
8 октября 1980 г.

TO THE PROBLEM OF PRACTICAL REALIZATION OF POSSIBILITIES FOR MEASUREMENT OF THE ANTENNA DIRECTIVITY PATTERN IN ITS NEAR ZONE IN A WIDE SECTOR OF ANGLES

A. L. Fogel'

A problem is considered for definition the directivity pattern of a linear antenna over measurements of the field in the near zone in a wide sector of angles. A possibility is studied for restoration of the directivity pattern due to the combination of amphiphometric measurements close to the principal maximum and amplitude ones in the region of side lobes of the field measurements. Measurement results of the directivity pattern of the linear antenna lattice are presented.