

## ОЦЕНКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МЕХАНИЗМАХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОШИБОК АФР

Усин В.А.<sup>1</sup>, Анохин Р.А.<sup>1</sup>, Сергеев В.М.<sup>1</sup>, Усина А.В.<sup>2</sup>, Помазанов С.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
пр. Ленина 14, Харьков, 61166, Украина

тел: +38(057)7021430, e-mail: [usin\\_va@rambler.ru](mailto:usin_va@rambler.ru)

<sup>2</sup> Харьковский государственный университет питания и торговли  
ул. Клочковская 333, Харьков, 61051, Украина

<sup>3</sup> Антрацитовский техникум радиоэлектронного приборостроения  
ул. Ленина 26, Антрацит, 94631, Украина

In the given work offers using modern personal computer's facilities for getting phased array antennas statistics with join action of different factors which destabilize amplitude-phase distribution in antenna's aperture.

**Введение.** Современные антенны являются сложными и дорогостоящими системами практически любого радиотехнического комплекса (РТК). От параметров антенных систем (АС) существенно зависят основные качественные и количественные характеристики РТК — дальность действия, помехозащищенность, разрешающая способность по угловым координатам и др.

В силу ряда причин (несовершенство конструкции ФАР, погрешности систем разводки СВЧ-сигналов, ошибки отработки управляющих воздействий фазовращателями, аттенуаторами и др.) АФР в раскрытие антенны является случайным. Поэтому параметры АС также являются случайными.

Свойства антенн со случайными источниками изучает статистическая теория антенн (СТА), основы которой изложены в [1]. Вместе с тем в большинстве работ, в которых рассматриваются различные аспекты СТА (например, в [2 ... 4]), речь идет, как правило, о малых ошибках и отдельных факторах, которые являются источниками ошибок. Это связано с рядом математических сложностей при получении аналитических выражений при наличии ряда совместно действующих причин, приводящих к ошибкам реализации АФР. В частности, для случая малых ошибок амплитуды и фазы получены выражения для статистических параметров линейных и апертурных антенн в [2], случай малых ошибок рассмотрен при решении прямых и обратных задач статистической теории антенных измерений (СТАИ) [4].

Поэтому актуальной является задача оценки статистических характеристик ФАР при воздействии ряда источников ошибок и их произвольной величине. **Целью** исследований является анализ возможностей применения современных персональных компьютеров для получения указанных характеристик, что позволит в итоге сформулировать обоснованные требования к элементам антенн, их надежности, оценить потенциальные возможности ФАР различных типов в различных условиях эксплуатации, обосновать требования к точности измерений ближнего поля при реализации голографических и амплитудных методов определения параметров антенн [4,5].

**Основная часть.** В работе рассматривается ФАР произвольной конфигурации, состоящая из одинаковых и одинаково ориентированных излучателей. Сделанное предположение позволяет не учитывать далее векторную структуру поля и при слабой направленности излучателя рассматривать только множитель решетки, который представим в виде

$$f_i(\theta, \varphi) = \sum_i \dot{A}_i e^{jk\vec{\rho}_i \vec{i}_p}, \quad (1)$$

где  $k=2\pi/\lambda$ ;  $\dot{A}_i = A_i e^{j\varphi_i}$  — относительная амплитуда и фаза тока  $i$ -го излучателя;  $\vec{\rho}_i$  — радиус-вектор положения излучателя;  $\vec{i}_p$  — орт направления на точку наблюдения.

Выражение для  $\vec{A}_i$  представим в виде

$$\vec{A}_i = [A_{i,0}(1 + \mu_i) + \alpha_i] e^{j(\varphi_{i,0} + \delta\varphi_i)} \vec{a}_i. \quad (2)$$

В выражении (2)  $A_{i,0}$ ,  $\varphi_{i,0}$  — амплитуда и фаза  $i$ -го излучателя без ошибок;  $\mu_i$ ,  $\alpha_i$  — мультипликативные и аддитивные ошибки амплитуды;  $\delta\varphi_i$  — фазовые ошибки;  $\varepsilon_i$  — величина, принимающая с вероятностью  $p$  значения 1 или 0 и позволяющая моделировать выход из строя излучателей антенны.

Положение излучателя зададим в виде

$$\vec{\rho}_i = \vec{\rho}_{i,0} + \delta\vec{\rho}_i, \quad (3)$$

где  $\delta\vec{\rho}_i = \vec{x}^0\delta x_i + \vec{y}^0\delta y_i + \vec{z}^0\delta z_i$  — случайная ошибка размещения  $i$ -го излучателя в антенне.

Моделирование ФАР по соотношениям (1)...(3) позволяет в результате обработки получать статистические характеристики параметров антенн для ряда практически важных ситуаций.

В работе моделировались линейные и квадратные ФАР с числом излучателей  $N=32$  и  $N=32 \times 32$ , шаг решетки был выбран  $d=\lambda/2$ , амплитудное распределение было выбрано равномерным и дольф-чебышевским с уровнем боковых лепестков -30дБ. Все источники ошибок считались независимыми и некоррелированными в излучателях. Это соответствует малым радиусам корреляции [1] и приводит к постоянному добавочному фону в средней ДН по мощности.

В работе рассматривались статистические характеристики средней нормированной амплитудной ДН  $\bar{R}(u) = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^T R_t(u) / R_{t,max}$ ,  $R_t(u) = |f_t(u)|$ , где  $T$  — число усредняемых реализаций;  $u = \sin\theta$ ,  $\theta$  — угол, отсчитываемый от нормали к полотну антенны ( $T=700$ ).

Приведем некоторые результаты.

На рис.1 представлена гистограмма распределения уровня первого бокового лепестка (УБЛ) линейной антенны с равномерным АР при 10% выходов из строя излучателей.

На рис.2 приведена эмпирическая функция распределения уровня первого бокового лепестка, совмещенная с нормальной функцией распределения, с теми же параметрами (средним значением и дисперсией) что и получены в расчетах. Как видно из этих рисунков распределение УБЛ хорошо аппроксимируется нормальным законом. Величина  $m_i$  на рис.1 представляет частоту попадания  $|F_{\delta l}|$  в соответствующий интервал.

Совместное действие ряда источников ошибок на параметры ФАР иллюстрируется рис. 3,4.

На рис.3 показана зависимость среднеквадратичного отклонения (СКО) уровня 1-го БЛ от амплитудных и фазовых ошибок. Как отмечено в [2], эти ошибки в равной степени влияют на УБЛ. На рис.4 показана динамика изменений СКО от отказов элементов и фазовых ошибок. Как видно из рисунка, влияние отказавших элементов (в процентах) на дисперсию УБЛ эквивалентно увеличению фазовых ошибок (в градусах).

Статистическое моделирование позволяет предъявить требования и к точности измерения ближнего поля антенны при определении ДН голографическим и амплитудным методом.

Как известно [4], требуемую точность измерений амплитуды и фазы (или только амплитуды) ближнего поля можно определить по заданному значению разностного функционала  $P_{R \text{ разн}}$ , т.е. вероятности того, что огибающая восстановленной ДН находится в заданных пределах относительно истинной ДН. Методика расчета  $P_{R \text{ разн}}$  приводится в [4] и требует знания корреляционных свойств ДН в различных угловых направлениях.

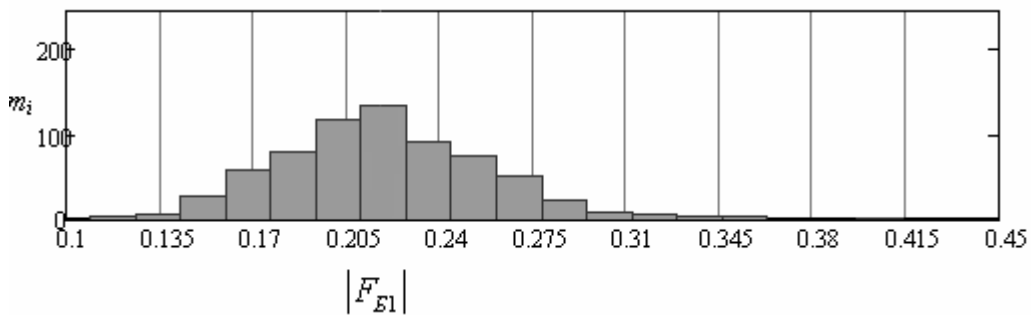


Рис. 1

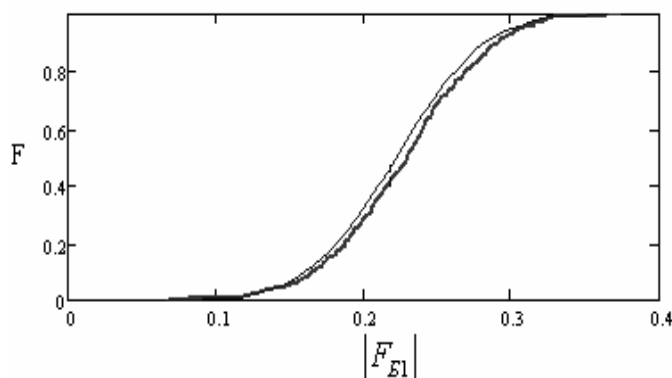
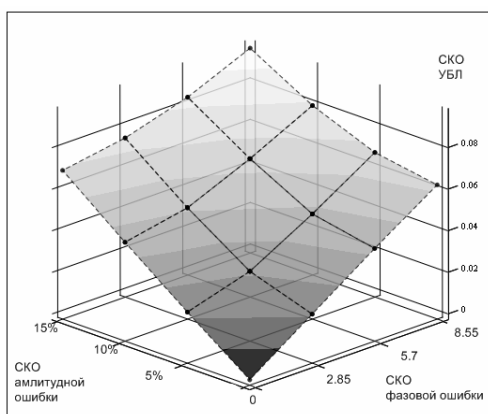
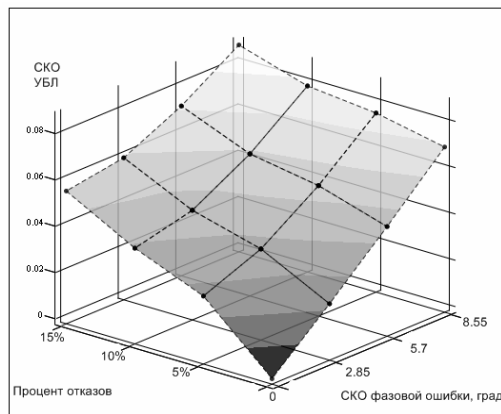


Рис. 2



М

Рис. 3



М

Рис. 4

На рис. 5...7 приведены результаты расчета разностного функционала квадратной ФАР с дольф-чебышевским АР. Графики построены для восстановления ДН в направлении первого бокового лепестка (кривая 1), для пары симметричных боковых лепестков (кривая 2) и в угловом секторе, включающем две пары ближайших к главному боковых лепестков (кривая 3). На рис.5 показан график  $P_{R \text{ разн}}$  когда ошибки измерения амплитуды отсутствуют ( $\sigma_\varphi = 5^\circ, \sigma_x = \sigma_a = 0$ ); рис. 6 — отсутствуют фазовые ошибки ( $\sigma_x = 9\%, \sigma_\varphi = \sigma_a = 0$ ); рис.7 — дисперсии ошибок измерения амплитуды и фазы одинаковы ( $\sigma_x = 6\%, \sigma_\varphi = 3.5^\circ, \sigma_a = 0$ ). Расчеты проведены при условии, что суммарные

ошибки измерения амплитуды и фазы постоянные ( $\sigma_a^2 + \sigma_\alpha^2 + \sigma_\mu^2 = const$ ). По оси абсцисс на рис. 5...7 показан интервал  $\Delta F$  (дБ), в пределах которого находятся уровни двух первых боковых лепестков с вероятностью  $P_{R\text{разн}}$ . Совпадение кривых 1 и 2 на рис.6 объясняется тем, что при малых амплитудных ошибках коэффициент корреляции флуктуаций амплитуд симметричных боковых лепестков примерно равен единице. Как видно из графиков наиболее неблагоприятной ситуацией является случай наличия в измерениях одновременно амплитудных и фазовых ошибок.

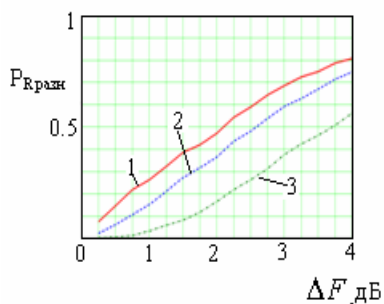


Рис. 5

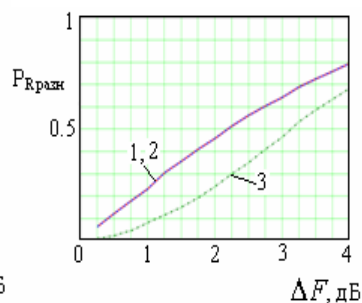


Рис. 6

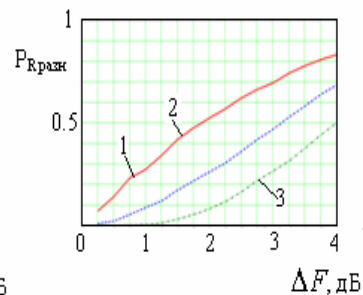


Рис. 7

Численная оценка требований к точности измерений ближнего поля особенно актуальна применительно к амплитудному методу, поскольку получение аналитических выражений для функционалов распределения восстановленной ДН весьма сложно.

**Заключение.** Применение современных средств вычислительной техники для оценки статистических характеристик ФАР позволяет существенно облегчить решение ряда прикладных задач антенной техники и сформулировать обоснованные требования к элементам ФАР и к точности измерений ближнего поля при решении прямых и обратных задач СТАИ.

#### Литература

1. Шифрин Я.С. Вопросы статистической теории антенн – М.:Сов. Радио, 1970.
2. Шифрин Я.С., Усин В.А. Об уровне бокового излучения антенн со случайными амплитудными и фазовыми ошибками. Ч.II – Радиотехника, вып. 42, Харьков, 1977.
3. Рабинович В.С. О ДН антенны с заданным числом неисправных элементов. – Радиотехника и электроника. 1973. - №4. – С. 713-716.
4. Shifrin Ya.S., Usin V.A. Statistic theory of antenna measurements. – Telecommunications and Radio Engineering, 2002, v.58, №8. Pp. 34-83.
5. Усин В.А., Ковальчук В.А., Марков В.И., Филоненко А.Б. Комбинированный метод измерения характеристик антенн. – Успехи современной радиоэлектроники, №5, 2005, С. 65-71.