СТАТИСТИКА ПОЛЯ ЛИНЕЙНОЙ СЕКЦИОННОЙ АНТЕННЫ

Я. С. Шифрин, Л. Г. Корниенко

Харьков

Постановка задачи. Основные допущения. Влияние случайных ошибок в амплитудно-фазовом распределении источников является существенным ограничением при построении антенн больших габаритов с высококачественными показателями.

Использование секционных антенн больших габаритов позволяет устранить некоторые трудности. Секционными антеннами назовем антенны, состоящие из ряда идентичных секций, размеры которых достаточно велики по сравнению с длиной волны. Эти антенны занимают как бы промежуточное место между непрерывными системами и решетками.

Изучение ряда вопросов статистики поля секционной антенны составляет содержание настоящей статьи.

Итак, рассматривается линейная антенна, состоящая из N секций (рис. 1). Ограничимся изучением системы с равномерным амплитудным распределением и случайными фазовыми ошибками. Последние примем в виде

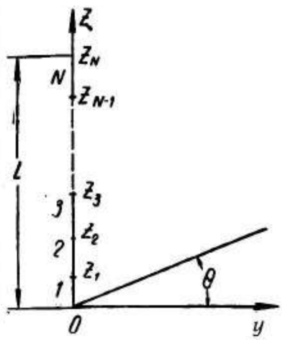

Рис. 1

$$\Phi_k(z) = \varphi_k(z) + \delta_k. \qquad (1)$$

Здесь $\Phi_k(z)$ — суммарная случайная фаза в k-той секции;

$\varphi_k(z)$ — случайная функция координаты z;

δ_k — величина, изменяющаяся случайным образом от секции к секции.

Запись ошибок в форме (1) предполагает, что в системе действует как минимум два механизма ошибок, один из которых порождает непрерывное случайное распределение фазы, а второй дает случайный скачок фазы от секции к секции.

Так, для системы из N линейных зеркальных антенн (рис. 2) под $\varphi_k(z)$ можно понимать ошибки, обусловленные неточностью изготовления зеркала или деформацией зеркал, а в качестве δ_k рассматривать ошибки, порожденные в фидерных узлах. Можно привести целый ряд других примеров, в которых имеет место ситуация, отражаемая соотношением (1).

Будем считать случайные функции $\varphi_k(z)$ и случайные величины δ_k независимыми, распределенными нормально со средними значениями, равными нулю $\overline{\varphi_k(z)} = 0$, $\overline{\delta_k} = 0$, дисперсиями $\overline{\varphi_k^2(z)} = \sigma_\varphi^2$, $\overline{\delta_k^2} = \sigma_\delta^2$ (равномерно распределенные ошибки) и коэффициентами корреляции

$$r_{\varphi_k\varphi_l}(z, \quad z_1) = \frac{\overline{\varphi_k(z)\,\varphi_l(z_1)}}{\sigma_\varphi^2} = \begin{cases} e^{-\frac{(z-z_1)^2}{\rho^2}}, & k = l, \\ 0, & k \neq l, \end{cases} \tag{2}$$

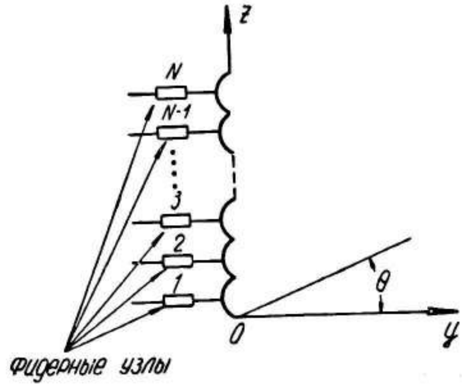

Рис. 2

$$r_{\delta_k\delta_l} = \frac{\overline{\delta_k\delta_l}}{\sigma_\delta^2} = \begin{cases} 1, & k = l, \\ 0, & k \neq l, \end{cases} \tag{3}$$

где ρ — радиус корреляции ошибок. Величину ρ в различных секциях считаем одинаковой.

Поле, возбуждаемое секционной антенной, определяется множителем системы, равным

$$f(\theta) = \sum_{n=1}^{N} \int_{z_{n-1}}^{z_n} e^{j[kz\sin\theta + \Phi_n(z)]}\,dz. \tag{4}$$

Заменой переменных $x = \frac{2z}{L}$, $\psi = \frac{\pi L}{\lambda}\sin\theta$ приведем выражение (4) к следующему виду:

$$f(\psi) = \frac{L}{2}\sum_{n=1}^{N}\int_{x_{n-1}}^{x_n} e^{j[\psi x + \Phi_n(x)]}\,dx. \tag{5}$$

Здесь $x_0 = 0$, $x_N = 2$.

При фиксированном ψ функция $f(\psi)$ является комплексной случайной величиной. В отсутствие ошибок множитель системы не зависит от числа секций и равен множителю системы непрерывной линейной синфазной антенны

$$f_0(\psi) = \frac{L}{2}\sum_{n=1}^{N}\int_{x_{n-1}}^{x_n} e^{j\psi x}dx = L\,\frac{\sin\psi}{\psi}\,e^{j\psi}. \tag{6}$$

Диаграмма направленности по мощности при наличии фазовых ошибок и в отсутствие их определяется соответственно формулами

$$|f(\psi)|^2 = \frac{L^2}{4}\sum\sum_{n,\ m=1}^{N}\int_{x_{n-1}}^{x_n}\int_{x_{m-1}}^{x_m} e^{j\psi(x-x_1)}e^{j[\Phi_n(x)-\Phi_m(x_1)]}\,dx dx_1, \tag{7}$$

$$|f_0(\psi)|^2 = \frac{L^2}{4}\sum\sum_{n,\ m=1}^{N}\int_{x_{n-1}}^{x_n}\int_{x_{m-1}}^{x_m} e^{j\psi(x-x_1)}\,dx dx_1 = L^2\,\frac{\sin^2\psi}{\psi^2}. \tag{8}$$

Полученные выражения являются исходными для дальнейшего анализа.

Средняя диаграмма направленности по мощности. Усредняя соотношение (7) и используя выражение для характеристической функции суммы двух нормально распределенных случайных величин [1], получим для средней диаграммы направленности следующее выражение:

$$\overline{|f(\psi)|^2} = \frac{L^2}{4} \sum_{n,\ m=1}^{N}\sum \int_{x_{n-1}}^{x_n} \int_{x_{m-1}}^{x_m} e^{j\psi(x-x_1)} e^{-\sigma_\varphi^2[1-r_{\varphi_n\varphi_m}(x,\ x_1)]-\sigma_\delta^2[1-r_{\delta_n\delta_m}]}\, dx dx_1. \tag{9}$$

Учитывая соотношения (2) и (3), находим

$$\overline{|f(\psi)|^2} = \frac{L^2}{4}\left\{\sum_{n=1}^{N} \iint_{x_{n-1}}^{x_n} e^{j\psi(x-x_1)}\left[e^{-\sigma_\varphi^2\left[1-e^{-\frac{(x-x_1)^2}{c^2}}\right]} - \right.\right.$$

$$\left.\left. - e^{-\sigma_\varphi^2-\sigma_\delta^2}\right] dx dx_1 + e^{-\sigma_\varphi^2-\sigma_\delta^2} \sum_{n,\ m=1}^{N}\sum \int_{x_{n-1}}^{x_n}\int_{x_{m-1}}^{x_m} e^{j\psi(x-x_1)}\, dx dx_1\right\}, \tag{10}$$

где $c = \frac{2\rho}{L}$ — радиус корреляции в относительных единицах. Вычислим слагаемые, входящие в соотношение (10).

Здесь и далее будем считать, что секции равной длины, т. е.

$$z_n = n\frac{L}{N} \quad \text{и} \quad x_n = \frac{2n}{N}.$$

Разлагая экспоненциальную функцию в ряд Тейлора, имеем

$$e^{-\sigma_\varphi^2} \sum_{n=1}^{N} \iint_{x_{n-1}}^{x_n} e^{j\psi(x-x_1)} e^{\sigma_\varphi^2 e^{-\frac{(x-x_1)^2}{c^2}}} dx dx_1 =$$

$$= e^{-\sigma_\varphi^2} \sum_{n=1}^{N}\left\{\iint_{x_{n-1}}^{x_n} e^{j\psi(x-x_1)}\, dx dx_1 + \sum_{m=1}^{\infty}\frac{\sigma_\varphi^{2m}}{m!}\iint_{x_{n-1}}^{x_n} e^{-\frac{(x-x_1)^2}{c^2}m} \times\right.$$

$$\left. \times\, e^{j\psi(x-x_1)}\, dx dx_1\right\}. \tag{10a}$$

Вводя обозначение $c_m = \frac{c}{\sqrt{m}}$ и используя замену переменных

$$\begin{aligned} y &= \left(x - \frac{x_n + x_{n-1}}{2}\right)\frac{2}{x_n - x_{n-1}}, \\ y_1 &= \left(x_1 - \frac{x_n + x_{n-1}}{2}\right)\frac{2}{x_n - x_{n-1}}, \end{aligned} \tag{11}$$

преобразуем правую часть (10a) к виду

$$e^{-\sigma_\varphi^2}\left\{\frac{4N}{\psi^2}\sin^2\frac{\psi}{N} + \frac{1}{N}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{\sigma_\varphi^{2m}}{m!} I\left(c_m N,\ \frac{\psi}{N}\right)\right\},$$

где

$$I\left(c_m N,\ \frac{\psi}{N}\right) = \iint_{-1}^{1} e^{-\frac{(y-y_1)^2}{c_m^2 N^2} + j\frac{\psi}{N}(y-y_1)}\, dy dy_1.$$

Интеграл $I\left(c_m N,\ \frac{\psi}{N}\right)$, весьма распространенный в статистике антенн, вычислен и подробно протабулирован в табл [2]. Приведем его выражение

$$I(c,\ \psi)=\sqrt{\pi}c^2e^{-\frac{\psi^2c^2}{4}}\operatorname{Re}\left[\left(\frac{2}{c}-j\frac{\psi c}{2}\right)\Phi\left(\frac{2}{c}-j\frac{\psi c}{2}\right)\right]-$$

$$-c^2\left[1-\psi cF\left(\frac{\psi c}{2}\right)-e^{-\frac{4}{c^2}}\cos 2\psi\right], \tag{12}$$

где $\Phi(z)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int\limits_0^z e^{-t^2}dt$ — интеграл вероятности;

$$F(z)=e^{-z^2}\int\limits_0^z e^{t^2}dt.$$

Окончательное выражение для средней диаграммы направленности имеет следующий вид:

$$\overline{|f(\psi)|^2}=L^2e^{-\sigma_\varphi^2}\left\{e^{-\sigma_\delta^2}\frac{\sin^2\psi}{\psi^2}+\frac{1}{N}\frac{\sin^2\frac{\psi}{N}}{\left(\frac{\psi}{N}\right)^2}\left(1-e^{-\sigma_\delta^2}\right)+\right.$$

$$\left.+\frac{1}{4N}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{\sigma_\varphi^{2m}}{m!}I\left(c_mN,\ \frac{\psi}{N}\right)\right\}. \tag{13}$$

Выражение (13) справедливо для произвольных значений дисперсии ошибок, любого радиуса корреляции фазовых ошибок и произвольного числа секций.

Рассмотрим некоторые частные случаи соотношения (13).

1) $N=1$. В этом случае выражение

$$\overline{|f(\psi)|^2}=L^2e^{-\sigma_\varphi^2}\left\{\frac{\sin^2\psi}{\psi^2}+\frac{1}{4}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{\sigma_\varphi^{2m}}{m!}I(c_m,\ \psi)\right\} \tag{14}$$

описывает среднюю диаграмму направленности линейной системы непрерывно распределенных источников при наличии случайных фазовых ошибок. Соотношение (14) было получено и детально проанализировано в монографии [2].

2) $N\gg 1$. Полагая $\frac{\psi}{N}\ll 1,\ cN\gg 1$, имеем

$$\frac{\sin\frac{\psi}{N}}{\frac{\psi}{N}}\simeq 1,\quad I\left(c_mN,\ \frac{\psi}{N}\right)\simeq 4\frac{\sin^2\frac{\psi}{N}}{\left(\frac{\psi}{N}\right)^2}\simeq 4.$$

Отсюда средняя диаграмма направленности, отнесенная к максимуму интенсивности поля в отсутствие ошибок,

$$\frac{1}{L^2}\overline{|f(\psi)|^2}=e^{-\sigma_\varphi^2-\sigma_\delta^2}F_0^2(\psi)+\frac{1}{N}\left[1-e^{-\sigma_\varphi^2-\sigma_\delta^2}\right], \tag{15}$$

где

$$F_0^2(\psi)=\frac{\sin^2\psi}{\psi^2}.$$

Выражение (15) для средней диаграммы направленности секционной антенны при $N\gg 1$ имеет точно такую же структуру, как и выражение для средней диаграммы направленности линейной решетки излучателей с фазовыми ошибками, характеризуемыми дисперсией $\sigma_\Phi^2 = \sigma_\varphi^2 + \sigma_\delta^2$.

Действительно, диаграмма направленности эквидистантной решетки из N ненаправленных излучателей при наличии фазовых ошибок

$$|f(\psi_1)|^2 = \left|\sum_{n=0}^{N-1} e^{j2n\psi_1 + j\Phi_n}\right|^2, \tag{16}$$

где $\psi_1 = \frac{\pi d}{\lambda}\sin\theta$; d — расстояние между соседними излучателями.

Считая фазовые ошибки Φ_n распределенными по нормальному закону со средним значением $\overline{\Phi_n} = 0$, дисперсией $\overline{\Phi_n^2} = \sigma_\Phi^2$ и коэффициентом корреляции $r_{nm} = \begin{cases} 1, & n = m, \\ 0, & n \neq m, \end{cases}$ после усреднения (16) и нормировки получим

$$\frac{1}{N^2}\overline{|f(\psi_1)|^2} = \frac{1}{N^2}\overline{\left|\sum_{n=0}^{N-1} e^{j2n\psi_1 + j\Phi_n}\right|^2} =$$

$$= F_0^2(\psi_1)e^{-\sigma_\Phi^2} + \frac{1}{N}\left(1 - e^{-\sigma_\Phi^2}\right), \tag{17}$$

где

$$F_0^2(\psi_1) = \frac{\sin^2 N\psi_1}{N^2 \sin^2\psi_1}.$$

Рассмотренные случаи (секционная антенна и решетка) отличаются лишь невозмущенной диаграммой направленности $F_0^2(\psi)$. Для достаточно больших N (при фиксированной длине антенны) эти различия исчезают, так как $\psi_1 \ll 1$, $N\psi_1 \simeq \psi$ и

$$F_0^2(\psi_1) \simeq \frac{\sin^2 N\psi_1}{N^2\psi_1^2} \simeq F_0^2(\psi).$$

3). Ошибки малы.

Полагая ошибки φ_k и δ_k одного порядка малости, находим из (13)

$$\overline{|f(\psi)|^2} = L^2\left\{(1 - \sigma_\varphi^2 - \sigma_\delta^2)F_0^2(\psi) + \frac{\sigma_\delta^2}{N}\frac{\sin^2\frac{\psi}{N}}{\left(\frac{\psi}{N}\right)^2} + \frac{\sigma_\varphi^2}{4N} I\left(cN, \frac{\psi}{N}\right)\right\} \tag{18}$$

Отличие средней диаграммы направленности от диаграммы в отсутствие ошибок характеризуется тремя членами.

Первый $(-\sigma_\varphi^2 - \sigma_\delta^2)\frac{\sin^2\psi}{\psi^2}$ пропорционален диаграмме в отсутствие ошибок. Остальные два характеризуют искажение формы диаграммы при наличии ошибок. «Вклад» фазовых ошибок $\varphi_k(z)$ и δ_k в искажение диаграммы определяется весовыми функциями $\frac{1}{4N} I\left(cN, \frac{\psi}{N}\right)$ и $\frac{\sin^2\frac{\psi}{N}}{\left(\frac{\psi}{N}\right)^2}$ соответственно.

В направлении главного максимума $\psi = 0$ и

$$\overline{|f(0)|^2} = L^2\left\{1 - \sigma_\varphi^2\left[1 - \frac{1}{4N} I(cN, 0)\right] - \sigma_\delta^2\left[1 - \frac{1}{N}\right]\right\}. \tag{19}$$

Как видно из (19), с увеличением N величина $\overline{|f(0)|^2}$ уменьшается. При любых N величина $1-\frac{1}{4N}I(cN,\ 0)$ больше или равна $1-\frac{1}{N}$, так как $I(cN,\ 0)\leqslant 4$.

Отсюда следует, что вклад ошибок $\varphi_k(z)$ в уменьшение средней мощности, излучаемой в направлении главного максимума, больше, чем вклад ошибок δ_k (при одинаковой дисперсии этих ошибок).

Средний к. н. д. Будем считать, что ошибки малы, и полная излучаемая мощность при наличии ошибок равна мощности излучения в отсутствие их. При этом снижение к. н. д. в направлении главного максимума Δ:

$$\Delta=\frac{D_0}{\overline{D}}-1=\frac{|f_0(0)|^2}{\overline{|f(0)|^2}}-1, \tag{20}$$

где D_0 и $\overline{D}$ — к. н. д. и средний к. н. д. в отсутствие ошибок и при наличии их.

Подставляя в (20) выражение (19), имеем

$$\Delta=\sigma_\varphi^2\left[1-\frac{1}{4N}I(cN,\ 0)\right]+\sigma_\delta^2\left(1-\frac{1}{N}\right). \tag{21}$$

Таким образом, при малых ошибках снижение к. н. д. равно сумме дисперсий фазовых ошибок σ_φ^2 и σ_δ^2, взятых с весовыми функциями $1-\frac{1}{4N}I(cN,\ 0)$ и $1-\frac{1}{N}$ соответственно. С увеличением числа секций N весовые функции растут.

При $cN\gg 1$ $I(cN,\ 0)\simeq 4$ и

$$\Delta=(\sigma_\varphi^2+\sigma_\delta^2)\left(1-\frac{1}{N}\right). \tag{22}$$

Максимальное значение снижения к. н. д. равно дисперсии фазовых ошибок $\Phi_k(z)$, т. е. $\Delta_{\text{макс}}=\sigma_\varphi^2+\sigma_\delta^2=\sigma_\Phi^2$.

Флуктуации направления главного максимума. При наличии фазовых ошибок направление главного максимума диаграммы направленности уходит.

Исходным для определения величины ухода является выражение (7). Полагая ошибки малыми, ограничимся в этом выражении членами второго порядка малости

$$|f(\psi)|^2=\frac{L^2}{4}\sum\sum_{n,\ m=1}^{N}\int\limits_{x_{n-1}}^{x_n}\int\limits_{x_{m-1}}^{x_m}\left\{\cos\psi(x-x_1)\left[1-\frac{(\Phi_n(x)-\Phi_m(x_1))^2}{2}\right]-\right.$$
$$\left.-\sin\psi(x-x_1)\left[\Phi_n(x)-\Phi_m(x_1)\right]\right\}dx\,dx_1. \tag{23}$$

При малых ошибках уход направления главного максимума также мал $\psi_{\text{макс}}\ll 1$, поэтому

$$\cos\psi(x-x_1)\simeq 1-\frac{\psi^2(x-x_1)^2}{2},$$
$$\sin\psi(x-x_1)\simeq\psi(x-x_1).$$

Приравнивая далее производную $\frac{d\,|f(\psi)|^2}{d\psi}$ нулю, найдем величину ухода направления главного максимума

$$\psi_{\text{макс}}=-\frac{\sum\sum\limits_{n,\ m=1}^{N}\int\limits_{x_{n-1}}^{x_n}\int\limits_{x_{m-1}}^{x_m}(x-x_1)\left[\Phi_n(x)-\Phi_m(x_1)\right]dx\,dx_1}{\sum\sum\limits_{n,\ m=1}^{N}\int\limits_{x_{n-1}}^{x_n}\int\limits_{x_{m-1}}^{x_m}(x-x_1)^2\,dx\,dx_1}. \tag{24}$$

Учитывая, что

$$\sum\sum_{n,\ m=1}^{N} \int_{x_{n-1}}^{x_n} \int_{x_{m-1}}^{x_m} (x - x_1)^2\, dx dx_1 = \frac{8}{3},$$

$$\sum\sum_{n,\ m=1}^{N} \int_{x_{n-1}}^{x_n} \int_{x_{m-1}}^{x_m} (x - x_1)\,[\Phi_n(x) - \Phi_m(x_1)]\, dx dx_1 = 4 \sum_{n=1}^{N} \int_{x_{n-1}}^{x_n} (x - 1)\,\Phi_n(x)\, dx,$$

преобразуем выражение (24)

$$\psi_{\text{макс}} = -\frac{3}{2} \sum_{n=1}^{N} \int_{x_{n-1}}^{x_n} (x - 1)\,\varphi_n(x)\, dx - \frac{3}{N^2} \sum_{n=1}^{N} \delta_n (2n - 1 - N). \quad (25)$$

Случайная величина $\psi_{\text{макс}}$ распределена нормально со средним значением $\overline{\psi_{\text{макс}}} = 0$ и дисперсией, определяемой в силу независимости ошибок $\varphi_{\text{к}}(z)$ и $\delta_{\text{к}}$ выражением

$$\overline{\psi^2_{\text{макс}}} = \frac{9}{4} \sum\sum_{n,\ m=1}^{N} \int_{x_{n-1}}^{x_n} \int_{x_{m-1}}^{x_m} (x - 1)(x_1 - 1)\,\overline{\varphi_n(x)\,\varphi_m(x_1)}\, dx dx_1 +$$

$$+ \frac{9}{N^4} \sum\sum_{n,\ m=1}^{N} \overline{\delta_n \delta_m}\,(2n - 1 - N)(2m - 1 - N). \quad (26)$$

Используя (2) и (3), имеем

$$\overline{\psi^2_{\text{макс}}} = \frac{9}{4} \sigma_\varphi^2 \sum_{n=1}^{N} \iint_{x_{n-1}}^{x_n} (x - 1)(x_1 - 1)\, e^{-\frac{(x-x_1)^2}{c^2}}\, dx dx_1 + \frac{3(N^2 - 1)}{N^3} \sigma_\delta^2. \quad (27)$$

Вычислим первое слагаемое выражения (27).

Заменой переменных (11) приведем его к виду

$$\frac{9}{4N^4} \sigma_\varphi^2 \sum_{n=1}^{N} \iint_{-1}^{1} (y + 2n - 1 - N)(y_1 + 2n - 1 - N)\, e^{-\frac{(y-y_1)^2}{c^2N^2}}\, dy dy_1 =$$

$$= \frac{9}{4N^3} \sigma_\varphi^2 \left\{ \iint_{-1}^{1} y y_1 e^{-\frac{(y-y_1)^2}{c^2N^2}}\, dy dy_1 + \frac{N^2 - 1}{3} \iint_{-1}^{1} e^{-\frac{(y-y_1)^2}{c^2N^2}}\, dy dy_1 \right\}.$$

Интеграл

$$Y(cN) = \iint_{-1}^{1} y y_1 e^{-\frac{(y-y_1)^2}{c^2N^2}}\, dy dy_1 = \frac{2}{3} \sqrt{\pi}\, cN \Phi\left(\frac{2}{cN}\right) + \frac{c^4N^4}{6} \left(1 - e^{-\frac{4}{c^2N^2}}\right) -$$

$$- c^2N^2 \left(1 - \frac{1}{3} e^{-\frac{4}{c^2N^2}}\right)$$

вычислен в монографии [2]. Значения его при разных cN даны в таблице.

cN	$Y(cN)$	cN	$Y(cN)$	cN	$Y(cN)$
0,1	0,108	0,7	0,377	2,5	0,118
0,2	0,197	1	0,346	3	0,087
0,3	0,266	1,4	0,264	4	0,051
0,4	0,317	1,8	0,195	5	0,034
0,5	0,351	2	0,168	6	0,024

Окончательное выражение для дисперсии ухода направления главного максимума имеет следующий вид:

$$\overline{\psi^2_{\text{макс}}} = \frac{9}{4N^3}\sigma^2_\varphi\left\{Y(cN) + \frac{N^2-1}{3}I(cN,\ 0)\right\} + \frac{3(N^2-1)}{N^3}\sigma^2_\delta. \tag{28}$$

При $N = 1$

$$\overline{\psi^2_{\text{макс}}} = \frac{9}{4}\sigma^2_\varphi Y(c). \tag{29}$$

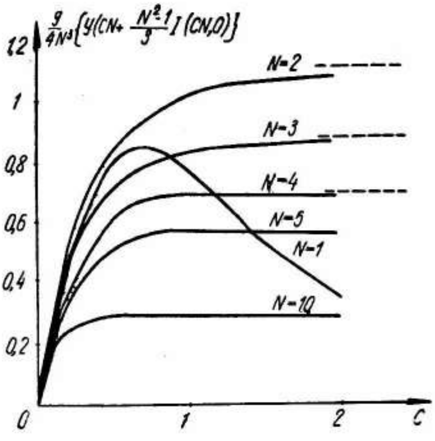

Рис. 3

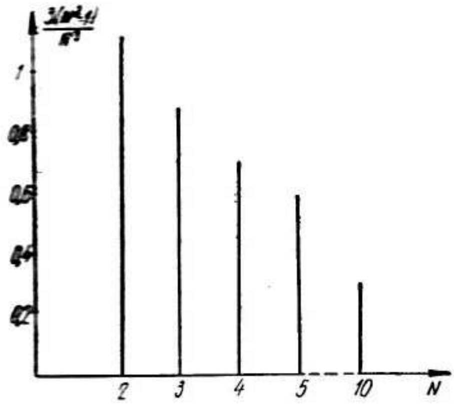

Рис. 4

Величина $\overline{\psi^2_{\text{макс}}}$ не зависит, естественно, от ошибок $\delta_\text{к}$. Формула (29), ранее полученная в [2], определяет флуктуации направления главного максимума для линейной системы непрерывно распределенных источников.

При $N >> 1$

$$Y(cN) \simeq \iint\limits_{-1}^{1} yy_1\left[1 - \frac{(y-y_1)^2}{c^2N^2}\right]dydy_1 = \frac{8}{9c^2N^2};$$

$$I(cN,\ 0) \simeq 4 - \frac{8}{3c^2N^2}$$

и

$$\overline{\psi^2_{\text{макс}}} \simeq \frac{3(N^2-1)}{N^3}\left(\sigma^2_\varphi + \sigma^2_\delta\right) \simeq \frac{3}{N}\left(\sigma^2_\varphi + \sigma^2_\delta\right). \tag{30}$$

Используя (16), можно показать, что выражение (30) описывает также флуктуации направления главного максимума многоэлементной эквидистантной решетки с фазовыми ошибками.

Как видно из соотношения (28), ошибки $\varphi_\text{к}(z)$ и $\delta_\text{к}$ влияют по разному на величину $\overline{\psi^2_{\text{макс}}}$. Зависимости весовых коэффициентов ошибок от радиуса корреляции и числа секций представлены на рис. 3, 4. Из рисунка видно, что весовая функция ошибок $\varphi_\text{к}(z)$ при $N \geqslant 2$ монотонно растет с увеличением c. При $c \to \infty$

$$Y(c\ N) \to 0,\ \ I(cN,\ 0) \to 4 \ \text{ и } \frac{9}{4N^3}\left[Y(cN) + \frac{N^2-1}{3}I(cN, 0)\right] \to \frac{3(N^2-1)}{N^3}.$$

Таким образом, вклад ошибок $\varphi_к(z)$ в величину ухода направления главного максимума меньше (в пределе при $c \to \infty$ равен) вкладу ошибок $\delta_к$.

Весовые функции достигают наибольшего значения при $N = 2$. При дальнейшем увеличении N весовые функции уменьшаются. При $N = 1$ направление главного максимума флуктуирует только за счет ошибок $\varphi_к(z)$. Кривая весовой функции $\frac{9}{4} Y(c)$ в зависимости от c носит резонансный характер с максимумом при $c \approx 0{,}8$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Р. Левин. Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике. Изд-во «Советское радио», 1957.
2. Я. С. Шифрин. Статистика поля линейной антенны. АРТА, 1962.