

Для проверки этих соображений были проведены эксперименты с гиротроном диапазона сантиметровых волн. Рабочей модой гиротрона являлась мода TE_{011} . Генератор работал в импульсном режиме при напряжении пучка, равном 40 кВ. Предельный ток пучка I_{\max} , ограниченный увеличением разброса скоростей электронов при повышении плотности пространственного заряда в инжекторе пушки, составлял примерно 10 А.

В экспериментах с резонаторами традиционного типа (рис. 1 а) по мере укорочения длины резонатора КПД монотонно падал, а максимальная мощность сначала росла и достигала максимума 70 кВт, а затем также снижалась. Зависимость выходной мощности от тока в гиротроне, имевшем максимальную мощность при использовании резонаторов обычного типа, приведена на рис. 2 (кривая а).

Выходная мощность гиротрона с резонатором ступенчатого профиля достигала 110 кВт, причем максимум КПД (45%) имел место при токе $\sim 3,5$ А (рис. 2, кривая б). Довольно высокий КПД (2~30%) сохранялся до токов 7—8 А, а при дальнейшем повышении тока, как и при использовании обычных резонаторов, рост мощности прекращался. Резкое снижение КПД гиротрона с приближением рабочего тока к предельному I_{\max} было отчасти обусловлено увеличением разброса скоростей электронов. Кроме того, было установлено, что уменьшение выходной мощности при дальнейшем увеличении тока пучка связано с конкуренцией мод в резонаторе. Конкурирующим типом колебания являлась мода TE_{011} , возбуждавшаяся на 2-й гармонике гирочастоты в обращенной к катоду части резонатора.

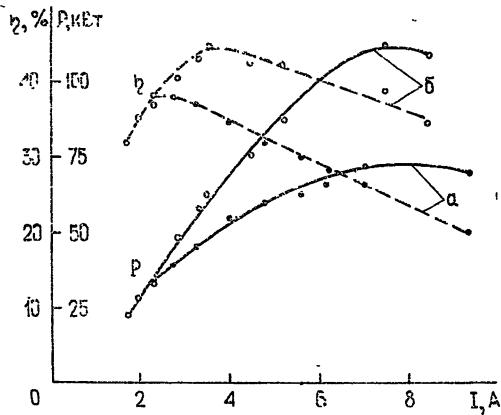


Рис. 2.

Авторы выражают благодарность М. И. Петелину за постоянное внимание к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Гапонов, А. Л. Гольденберг, Д. П. Григорьев, Т. Б. Панкратова, М. И. Петелин, В. А. Флягин, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 18, № 2, 280 (1975).
2. С. Н. Власов, Г. М. Жислин, И. М. Орлова, М. И. Петелин, Г. Г. Рогачева, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 12, № 8, 1236 (1969).
3. В. Л. Братман, М. А. Моисеев, М. И. Петелин, Р. Э. Эрм, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 16, № 4, 622 (1973).
4. А. В. Гапонов, М. И. Петелин, В. К. Юлпатов, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 10, № 9—10, 1414 (1967).
5. М. А. Моисеев, Г. Г. Рогачева, В. К. Юлпатов, Тезисы докладов сессии НТОРЭС им. Попова, 1968, стр. 68.
6. Г. С. Нусинович, Р. Э. Эрм, Электронная техника, серия 1, Электроника СВЧ, вып. 8, 55 (1972).
7. И. С. Ковалев, А. А. Кураев, Е. М. Демидович, Ф. Г. Шевченко, Докл. АН БССР, № 4 (1973).

Научно-исследовательский радиофизический институт

Поступила в редакцию 10 октября 1974 г.

УДК 621.396 67

К ВОПРОСУ О ВОССТАНОВЛЕНИИ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ, ИСКАЖЕННОЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ЗА СЧЕТ УГЛОВОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ ИСТОЧНИКА

В. Т. Ермолаев, А. Г. Флакман

Процесс измерения диаграммы направленности (ДН) антенны описывается линейным интегральным уравнением:

$$\tilde{F}(\theta) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\theta') G(\theta - \theta') d\theta', \tag{1}$$

где $F(\theta)$, $\tilde{F}(\theta)$ — соответственно истинная и измеренная ДН по мощности, $G(\theta)$ — функция источника. Решение этого уравнения можно представить в виде [1]

$$F(\theta) = \tilde{F}(\theta) + \delta \tilde{F}(\theta); \quad (2)$$

$$\delta \tilde{F}(\theta) = \int_{-s_r}^{s_r} \tilde{\Phi}(s) (B^{-1}(s) - 1) \exp(2\pi i \theta s) ds = \int_{-s_r}^{s_r} \Phi(s) (1 - B(s)) \exp(2\pi i \theta s) ds, \quad (3)$$

где $\Phi(s)$, $\tilde{\Phi}(s)$, $B(s)$ — соответственно спектры функций $F(\theta)$, $\tilde{F}(\theta)$, $G(\theta)$, s_r — граничная частота пространственного спектра ДН антенны. Будем считать, что $s_r < s_0$ (s_0 — первый нуль функции $B(s)$).

В [2] отмечалось, что функция ошибки $\delta \tilde{F}(\theta)$ обладает неравномерным спектром. Действительно, на малых частотах источник практически не искажает ДН, поскольку здесь $B(s) \approx 1$, а на частотах, близких к s_r , функция $\Phi(s)$ мала. Поэтому спектр $\Phi(s)(1 - B(s))$ имеет максимум на некоторой частоте $s = s_1$. Однако это обстоятельство не использовалось при восстановлении истинной ДН. Решение уравнения (3) было получено путем разложения функции $B^{-1}(s) - 1$ в тригонометрический ряд:

$$B^{-1}(s) - 1 \approx \sum_{m=-N}^N b_m \exp(2\pi i m \alpha s), \quad (4)$$

и имело следующий вид:

$$F_N(\theta) \approx \tilde{F}(\theta) + \sum_{m=-N}^N b_m \tilde{F}(\theta + \alpha m). \quad (5)$$

Выражения для b_m приведены в [2].

Уменьшение ошибки восстановления при одном и том же N можно получить, добываясь хорошего приближения функции $B^{-1}(s) - 1$ тригонометрическим рядом (4) лишь в области максимума спектра функции ошибки. Для этого в (4) введем погонянный множитель q :

$$B^{-1}(s) - 1 \approx q \sum_{m=-N}^N b_m \exp(2\pi i m \alpha s). \quad (6)$$

Вместо (5) будем иметь

$$F_N(\theta) \approx \tilde{F}(\theta) + q \sum_{m=-N}^N b_m \tilde{F}(\theta + \alpha m). \quad (7)$$

Систематическая ошибка σ_N^2 , которая определяется выражением

$$\sigma_N^2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} |F_N(\theta) - F(\theta)|^2 d\theta}{\int_{-\infty}^{\infty} |F(\theta)|^2 d\theta}, \quad (8)$$

где $F(\theta)$ — точное решение уравнения (1) ($N = \infty$), будет равна

$$\sigma_N^2(s_r, q) = \frac{\int_0^{s_r} |\Phi(s)|^2 \left| B(s) \left[1 + q \sum_{m=-N}^N b_m \exp(2\pi i m \alpha s) \right] - 1 \right|^2 ds}{\int_0^{s_r} |\Phi(s)|^2 ds}, \quad (9)$$

Выражение для q найдем из условия минимума $\sigma_N^2(s_r, q)$:

$$q(s_r) = \frac{\int_0^{s_r} (\Phi(s))^2 (1 - B(s)) B(s) \sum_{m=-N}^N b_m \exp(2\pi i \alpha ms) ds}{\int_0^{s_r} (\Phi(s))^2 (B(s))^2 \left[\sum_{m=-N}^N b_m \exp(2\pi i \alpha ms) \right]^2 ds} \quad (10)$$

Коэффициент q допускает простую интерпретацию. Если $\Phi(s)$ имеет максимум в точке $s = s_1$, то

$$q \approx \frac{B^{-1}(s_1) - 1}{\sum_{m=-N}^N b_m \exp(2\pi i m \alpha s_1)} \quad (11)$$

т. е. q определяется отношением функции $B^{-1}(s) - 1$ к аппроксимирующему ее ряду (6) в максимуме спектра функции ошибки

В качестве примера рассмотрим систематическую ошибку, возникающую при измерении ДН антенны типа интерферометра за счет угловой протяженности источника. В этом случае

$$\Phi(s) = \begin{cases} 1 - \frac{\lambda}{D} s & \left(0 < s < \frac{D}{\lambda} \right) \\ 0 & \left(\frac{D}{\lambda} \leq s < \frac{d}{\lambda} - \frac{D}{\lambda} \right) \\ \frac{1}{2} \left(1 - \frac{d}{D} + \frac{\lambda}{D} s \right) & \left(\frac{d}{\lambda} - \frac{D}{\lambda} \leq s < \frac{d}{\lambda} \right) \\ \frac{1}{2} \left(1 + \frac{d}{D} - \frac{\lambda}{D} s \right) & \left(\frac{d}{\lambda} \leq s < \frac{d}{\lambda} + \frac{D}{\lambda} \right) \\ 0 & \left(s \geq \frac{d}{\lambda} + \frac{D}{\lambda} = s_r \right) \end{cases} \quad (12)$$

где D — диаметр антенны, d — база интерферометра, λ — длина волны. Если можно считать, что источник имеет прямоугольное распределение радиояркости, то

$$B(s) = \frac{\sin \pi \frac{s}{s_0}}{\pi \frac{s}{s_0}} \quad (13)$$

($s_0 = 1/\varphi_0$, φ_0 — угловой размер источника).

На рис. 1 приведены графики систематической ошибки $\sigma_d(s_r/s_0)$ при $q \equiv 0$ (нет коррекции), $q \equiv 1$, коэффициенте q , рассчитанном согласно (10) (соответственно кривые 1, 2, 3). При численных расчетах предполагалось, что $\alpha = 16'$, $N = 4$, $D/\lambda = 10$, а коэффициенты b_m взяты из [2].

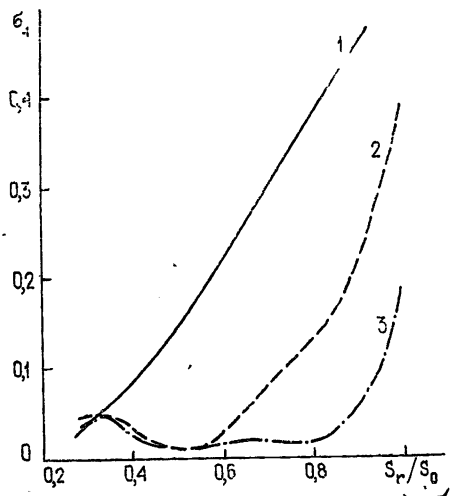


Рис. 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Г. Раутиан, УФН, 6, 475 (1958).
 2. В. Т. Ермолаев, А. Г. Флакман, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 18, № 3, 410 (1975).

Поступила в редакцию
 31 октября 1974 г.