УДК 621.396.67

ПОЗДОВЖНІЙ РОЗПОДІЛ ПОЛЯ У ЗОНІ ФРЕНЕЛЯ ПРЯМОКУТНОЇ СФОКУСОВАНОЇ АПЕРТУРИ

Горелов О.Ю.
e-mail: oleksandr.horelov@nure.ua
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІРТЗІ
м. Харків, Україна

In this paper the axial intensity field distribution of a relatively large rectangular focused aperture is investigated. Graphical dependencies for the shift of the maximum intensity relative to the focal point, the focusing gain, and the focusing depth as functions of the focusing distance are obtained. The presented data allow us to determine the values of the parameters mentioned above for any values of the axial coordinate of the focal point, whether it lies in the Fresnel zone or in the far zone.

У літературі опубліковано вже чимало робіт, присвячених дослідженню особливостей поля антен у зоні Френеля [1–3]. Однак у більшості з них наведено результати стосовно антен із круглою апертурою, що не повною мірою задовольняє практичні потреби.

У роботі розглядається плоска прямокутна апертура з початком координат, що розміщується у центрі апертури (рис. 1)

Припускається, що електричне поле в апертурі є лінійно поляризованим у напрямку x. Тоді x-та компонента напруженості електричного поля у точці $P(r,\theta,\phi)$ зони Френеля великих апертур визначається за формулою Френеля – Кірхгофа [4]:

$$E(P)=\frac{1}{4\pi}\int_S E(x_1,y_1)\frac{e^{-ikr}}{r}\left[\left(ik+\frac{1}{t}\right)\overrightarrow{\iota_Z}\cdot\overrightarrow{r_1}+ik\overrightarrow{\iota_Z}\cdot\vec{s}\right]dx_1dy_1 \qquad (1)$$

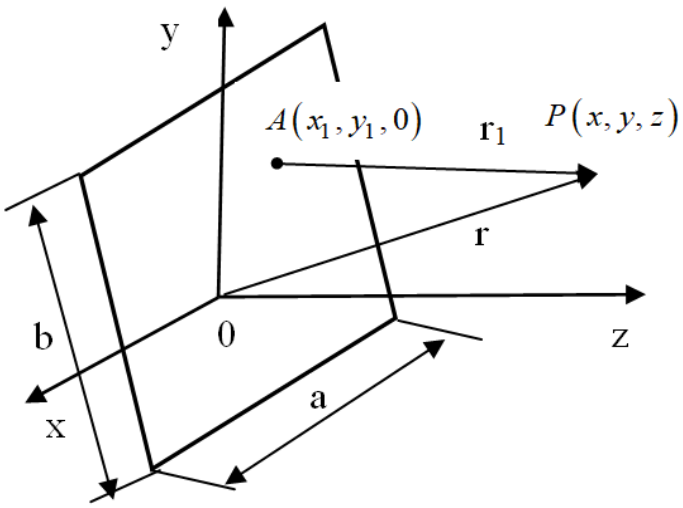

Рис.1. Геометрія антени та система координат

Під час обчислення поля у зоні Френеля використовують такі наближення:

1. $(1/r_1) \approx (1/r)$

2. Зміною $\overrightarrow{\iota_Z} \cdot \overrightarrow{r_1}$ на апертурі нехтують и вважають що $\overrightarrow{\iota_Z} \cdot \overrightarrow{r_1} \approx \overrightarrow{\iota_Z} \cdot \vec{r}$.

3. У фазовому множнику можна записати

$$r \approx z + \frac{(x - x_1)^2}{2z} + \frac{(y - y_1)^2}{2z} = z + r_a.$$

Вираз (1) з урахуванням зроблених припущень набуває вигляду

$$E(P) = \frac{i}{2\lambda}\frac{e^{ikr}}{r}\int\limits_S E(x_1, y_1)e^{-ikr_a}\,[\cos(\theta) + i_Z \cdot \vec{s}]dx_1 dy_1 \qquad (2)$$

Припускаючи, що розподіл амплітуди поля по апертурі є сталим, та вводячи фокусувальний множник

$$\phi(x_1, y_1) = k\frac{x_1^2 + y_1^2}{2z_f},$$

де z_f – координата точки фокуса на фокальній осі, отримуємо такий вираз для напруженості поля на фокальній осі сфокусованої прямокутної апертури:

$$E = \frac{i}{\lambda}\frac{e^{i\frac{2\pi r}{\lambda}}}{r}\int\limits_{-a/2}^{a/2}\int\limits_{-b/2}^{b/2}\exp\left[i\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)\frac{x_1^2 + y_1^2}{2z_f}\right]\exp\left[-i\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)\left(\frac{x_1^2 + y_1^2}{2z}\right)\right]dxdy\,.$$

Для характеристики поздовжнього розподілу поля антен у зоні Френеля використовують наступні параметри: зміщення максимуму інтенсивності, глибина фокусування та посилення фокусування [1–3].

Зміщення максимуму (Focal Shift – FS) – це відхилення поздовжньої координати максимуму інтенсивності поля від координати фокуса. Глибина фокусування (Depth of Focusing – DoF) визначається як відстань між точками на фокальній осі, що розташовані по обидва боки від фокуса і в яких інтенсивність дорівнює –3 дБ відносно максимуму. Посилення фокусування (Focusing Gain – FG) визначається як відношення інтенсивності сфокусованої антени в максимумі на фокальній осі до інтенсивності поля на межі дальньої зони за умови, що антена є рівномірно збудженою та синфазною.

Результати розрахунків перелічених вище параметрів було порівняно з результатами, отриманими для круглої апертури, що наведені у [3].

З'ясовано, що характер залежностей усіх параметрів від нормованої відстані фокусування $\chi = z_f/L_{\text{дз}}$ є якісно однаковим для обох апертур. Проте існують кількісні відмінності.

Значення FS для двох форм апертури практично збігаються при малих значеннях фокусної відстані, нормованої на відстань дальньої зони $\chi = z_f/L_{\text{дз}} \leq 0.05$, однак, у міру збільшення нормованої відстані фокусу-

вання від 0.05 до 1, FS для квадратної апертури стають меншими, ніж для круглої апертури.

Значення зміщення максимуму відносно фокуса DoF для двох форм апертури практично однакові при малих відстанях фокусування $\chi = z_f / L_{дз} \leq 0.1$. Зі збільшенням фокусної відстані значення глибини фокусування DoF для квадратної апертури стають більшими, ніж для круглої.

Величина посилення фокусування FG для квадратної апертури є меншою, ніж для круглої, за всіх значень відстані фокусування.

Результати роботи будуть корисними під час розрахунку поля апертурних антен у вигляді прямокутної сфокусованої апертури, а також сфокусованих антенних решіток, що працюють у зоні Френеля.

Список використаних джерел

1. R. C. Hansen, Microwave Scanning Antennas, Volume 1: Apertures, New York, Academic Press, 1964.

2. R. C. Hansen, Focal Region Characteristics of Focused Array Antennas, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, AP-33, 12, December 1985, pp 1328-1337.

3. W. Wang, H. Gao, Y. Wu, Y. Liu. “Impact on Focal Parameters for Near-field-focused Aperture Antennas”, Int J Numer Model. 2018; e2510, P 1-13. https://doi.org/10.1002/jnm.2510.

4. Silver S. Microwave Antenna Theory and Design. McGraw-Yill, New York, 1949. 312 p.