

Антенна техніка телекомунікаційних мереж

**Апертурні антени.
Загальні відомості**

Загальні положення

Апертурні антени – антени, у яких випромінювання відбувається через розкриття, який називають апертурою (від лат. aperture – отвір).

До класу апертурних антен відносять хвилеводні, рупорні, рефлекторні (дзеркальні) та лінзові антени.

Апертурні антени використовують переважно на НВЧ і за площі апертури S_A відношення S_A/λ^2 можна отримати дуже велике. Якщо використовувати визначення КСД $D = 4\pi S_{ef}/\lambda^2$, то легко переконатись, що **КСД таких антен досягає сотень тисяч – мільйони.**

Друга відмінна риса апертурних антен: у них розподілено процеси перетворення енергії струмів ВЧ в енергію електромагнітних хвиль та процеси спрямованого випромінювання цих хвиль. Першу функцію в апертурній антені виконує опромінювач, а другу – рупор, лінза, рефлектор.

Третя відмінна риса апертурних антен: її елементи збуджуються паралельно. Це сприяє розширенню їхньої смуги пропускання.

Загальні положення

КСД таких антен:

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} S_{ef} = \left[\nu = \frac{S_{ef}}{S_A} \right] = \frac{4\pi}{\lambda^2} S_A \nu.$$

Коефіцієнт використання поверхні (КВП):

$$\nu = \frac{S_{ef}}{S_A},$$

S_{ef} - ефективна поверхня антени;

S_A - геометрична площа розкриву.

$\nu \leq 1$, причому коефіцієнт використання поверхні залежить від виду амплітудно-фазового розподілу (АФР) та інших факторів.

Особливості методів аналізу апертурних антен

Методи розрахунку апертурних антен відрізняються від методів розрахунку дротяних антен.

Поле випромінювання апертурних антен можна, як і для дротяних антен, також **визначити через струми, що протікають по поверхні антени**. Проте у таких антен характер розподілу струму зазвичай складний і його потрібно попередньо знайти. У більшості випадків його знаходять приблизно, використовуючи, наприклад, закони геометричної оптики. Потім провідну поверхню розбивають на елементарні площадки зі своєю густиною струму. Після цього поле випромінювання апертурної антени визначають як суперпозицію елементарних полі, створюваних цими елементарними площадками.

Другий спосіб – через поле у її розкриві. Для цього спочатку знаходять розподіл поля у її розкриві. Кожен елемент цієї площі розглядають як елемент Гюйгенса, який створює деяку напруженість поля у точці спостереження. Результируючу напруженість поля знаходять шляхом підсумовування полів, створюваних у точці спостереження всіма елементами поверхні розкриву

Випромінювання прямокутної та круглої площадок для різних амплітудних розподілів поля

Прямокутна площадка, амплітуда поля постійна $E_s = E_0 = const.$

Напруженість електричного поля у площині магнітного вектора (у дальній зоні):

$$E_H = AE_0 \int_{-b/2}^{b/2} dy' \int_{-a/2}^{a/2} \exp(ikx' \sin \theta) dx' = ASE_0 \frac{\sin\left(\frac{ka}{2} \sin \theta\right)}{\frac{ka}{2} \sin \theta},$$

$$\text{де } A = i \frac{1 + \cos \theta}{2\lambda} \frac{e^{-ikr}}{r}; \quad S = ab;$$

a, b - розміри сторін площадки.

Напруженість електричного поля у площині електричного вектора:

$$E_E = AE_0 \int_{-a/2}^{a/2} dx' \int_{-b/2}^{b/2} \exp(iky' \sin \theta) dy' = ASE_0 \frac{\sin\left(\frac{kb}{2} \sin \theta\right)}{\frac{kb}{2} \sin \theta}.$$

Випромінювання прямокутної та круглої площадок для різних амплітудних розподілів поля

Прямокутна площадка, амплітуда поля уздовж осі x змінюється за косинусоїдальним законом $E_S = E_0 \cos(\pi x'/a)$.

$$E_H = AE_0 \int_{-b/2}^{b/2} dy' \int_{-a/2}^{a/2} \cos\left(\frac{\pi x'}{a}\right) \exp(ikx' \sin \theta) dx' = \frac{2}{\pi} ASE_0 \frac{\cos\left(\frac{ka}{2} \sin \theta\right)}{1 - \left(\frac{2a}{\lambda} \sin \theta\right)^2}.$$

Порівняно з попереднім виразом, результат зовсім інший.

$$E_E = AE_0 \int_{-a/2}^{a/2} \cos\left(\frac{\pi x'}{a}\right) dx' \int_{-b/2}^{b/2} \exp(iky' \sin \theta) dy' = \frac{2}{\pi} ASE_0 \frac{\sin\left(\frac{kb}{2} \sin \theta\right)}{\frac{kb}{2} \sin \theta}.$$

Відрізняєть від попереднього виразу лише множником $2/\pi$.

**Випромінювання прямокутної та круглої площадок
для різних амплітудних розподілів поля**

Кругла площадка, амплітуда поля постійна $E_s = E_0 = const.$

Внаслідок осьової симетрії:

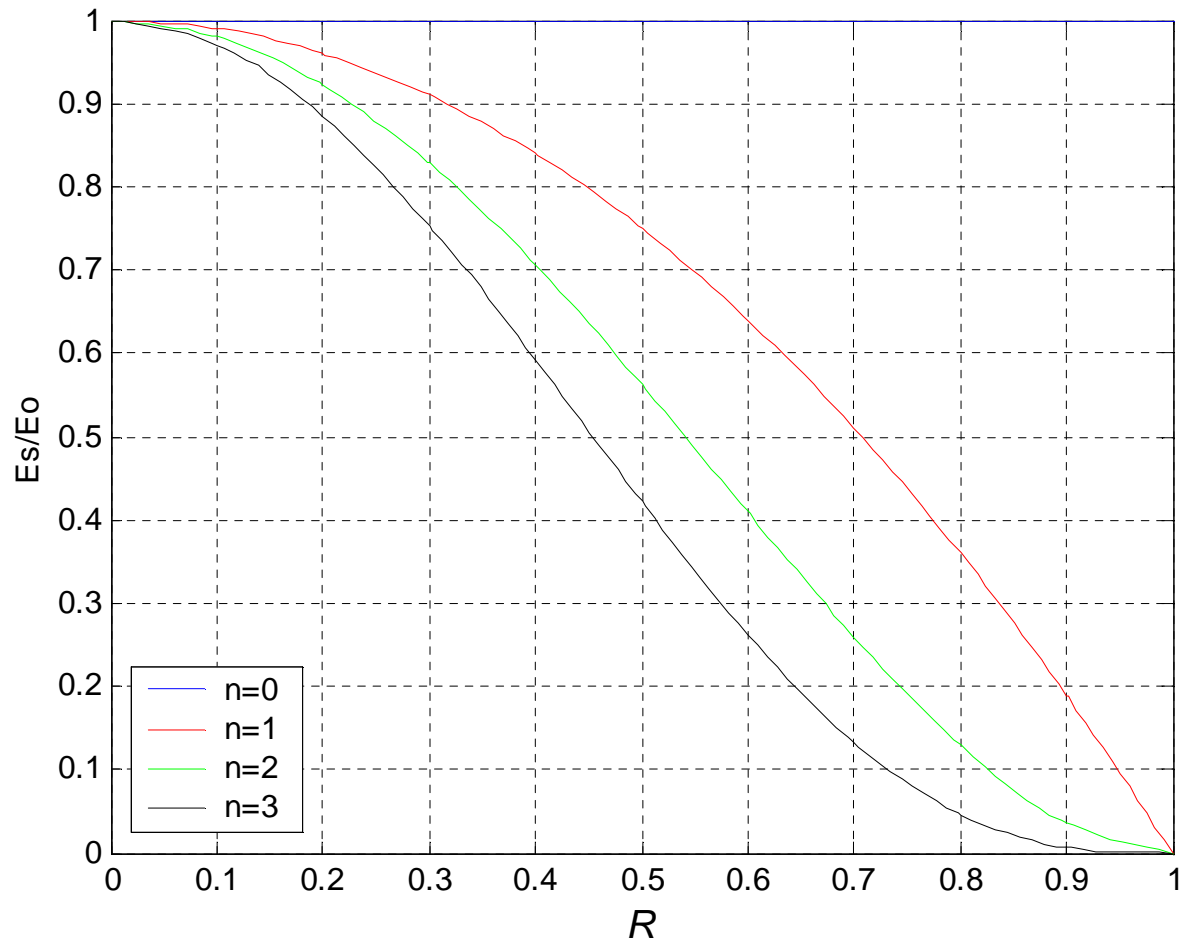
$$\begin{aligned} E = E_E = E_H &= Aa^2 E_0 \int_0^1 R dR \int_0^{2\pi} \exp\left(iR \frac{kd}{2} \sin \theta \cdot \cos(\varphi - \varphi')\right) d\varphi = \\ &= 2\pi Aa^2 E_0 \int_0^1 R J_0\left(R \frac{kd}{2} \sin \theta\right) dR = ASE_0 \frac{2J_1\left(\frac{kd}{2} \sin \theta\right)}{\frac{kd}{2} \sin \theta}, \end{aligned}$$

де $d = 2a$ - діаметр площадки; $R = \rho/a$; ρ - радіальна координата.

Випромінювання прямокутної та круглої площадок для різних амплітудних розподілів поля

Кругла площадка, амплітуда поля спадає до країв площадки за законом

$$E_s = E_0 (1 - R^2)^n, \text{ де } n = 0, 1, 2, 3, \dots$$



Випромінювання прямокутної та круглої площадок для різних амплітудних розподілів поля

Кругла площадка, амплітуда поля спадає до країв площадки за законом

$$E_s = E_0 (1 - R^2)^n, \text{ де } n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Внаслідок осьової симетрії:

$$\begin{aligned} E = E_E = E_H &= 2\pi a^2 A E_0 \int_0^1 (1 - R^2)^n J_0 \left(R \frac{kd}{2} \sin \theta \right) R dR = \\ &= A S E_0 \frac{\Lambda_{n+1} \left(\frac{kd}{2} \sin \theta \right)}{n+1}, \end{aligned}$$

$$\text{де } \Lambda_n(u) = \frac{n!}{(u/2)^2} J_n(u) - \text{ лямбд - функція.}$$

ДН прямокутної та круглої площадок для різних амплітудних розподілів поля

Отримані вирази для поля випромінювання дозволяють легко отримати кінцевий результат.

Ввівши з цією метою допоміжні змінні

$$u = \begin{cases} \frac{ka}{2} \sin \theta & \text{для прямокутної площадки,} \\ \frac{kb}{2} \sin \theta & \text{для прямокутної площадки,} \\ \frac{kd}{2} \sin \theta & \text{для круглої площадки,} \end{cases}$$

ДН прямокутної та круглої площадок для різних амплітудних розподілів поля

отримаємо вирази ДН цих площадок:

1) прямокутна площадка з $E_s = E_0 = const$:

$$F(\theta) = \frac{1 + \cos \theta}{2} \frac{\sin u}{u};$$

2) прямокутна площадка з $E_s = E_0 \cos(\pi x'/a)$:

$$F(\theta) = \frac{1 + \cos \theta}{2} \frac{\cos u}{1 - \left(\frac{2}{\pi}u\right)^2};$$

3) кругла площадка з $E_s = E_0 = const$:

$$F(\theta) = \frac{1 + \cos \theta}{2} \frac{2J_1(u)}{u};$$

4) кругла площадка з $E_s = E_0 (1 - R^2)^n$:

$$F(\theta) = \frac{1 + \cos \theta}{2} \Lambda_{n+1}(u).$$

ДН прямокутної та круглої площадок для різних амплітудних розподілів поля

Всі **отримані вирази складаються з двох множників:**

- 1) ДН елементарної площадки (джерела Гюйгенса);
- 2) “множник решітки”, який визначає властивості спрямованості системи випромінювачів (у даному випадку – елементарних площадок), розглядуваних як неспрямованих.

Зміною першого множника, особливо у межах невеликих змін кута, можна знехтувати, оскільки він змінюється дуже повільно порівняно зі зміною другого множника.

З отриманих формул випливає, що **максимум випромінювання збуджених синфазно площадок буде у напрямку нормалі до них, тобто при $u=0$.**

Основні параметри прямокутної та круглої площадок для різних амплітудних розподілів поля

Отримані вирази справедливі для наближення $a \gg \lambda; d \gg \lambda$.

Тип площадки	Розподіл поля по площадці	Ширина ДН по половинній потужності	Амплітуда 1-ї бічної пелюстки		КВП
			%	дБ	
Прямокутна	$E_s = E_0 = const$	$51 \frac{\lambda}{a}$	21	-13,5	1,00
Прямокутна	$E_s = E_0 \cos(\pi x'/a)$	$68 \frac{\lambda}{a}$	7	-23,1	0,81
Кругла	$E_s = E_0 = const$	$60 \frac{\lambda}{d}$	13	-17,1	1,00
Кругла	$E_s = E_0 (1 - R^2)$	$73 \frac{\lambda}{d}$	6	-24,6	0,75
Кругла	$E_s = E_0 (1 - R^2)^2$	$84 \frac{\lambda}{d}$	3	-30,6	0,56

Основні параметри прямокутної та круглої площадок для різних амплітудних розподілів поля

З наведеної таблиці випливають такі **результати**:

- 1) При синфазному збудженні площадок максимум випромінювання буде уздовж нормалі до них.
- 2) ДН залежить від відношення ширини площадки до довжини хвилі. Для розглянутих форма площадок на ДН впливає лише той розмір площадки, який лежить у площині визначення ДН.
- 3) Для великих (порівняно з довжиною хвилі) площадок ширина ДН прямо пропорційна відношенню довжини хвилі до відповідного розміру площадки.
- 4) Зменшення амплітуди поля до країв площадки спричиняє зменшення амплітуди бічних пелюсток з одночасним розширенням головної пелюстки.
- 5) Зменшення амплітуди поля до країв площадки також спричиняє зменшення коефіцієнта використання площі розкриву.