

РОЗРАХУНОК АНТЕННОЇ РЕШІТКИ СУПУТНИКОВИХ АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Вступ. Актуальність питань дослідження впливу завад та підвищення завадостійкості апаратури супутникової навігації стає все більш значною по мірі розширення сфери застосування супутникових технологій. Особлива увага їй приділяється при використанні глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS) в авіації.

Різноманіття джерел завад обумовлює цілий ряд напрямів боротьби з ними.

Найбільш дієвим способом усунення завад на сьогоднішній день визнано застосування адаптивних антенних решіток (ААР).

Проводяться інтенсивні дослідження і є в наявності кінцеві розробки за кордоном.

Інтерес до розширення проблеми завадостійкості GNSS шляхом використання адаптивних антен проявили і в Україні, але широкомасштабних розробок по цій тематиці в Україні поки що не проводилось.

Аналіз літератури показав, що не існує методик розрахунків ААР для GNSS. Всі методики розрахунків відносяться до області радіолокації і зв'язку для фазованих антенних решіток, де основні вимоги - вузький промінь і мінімальний рівень бічних пелюсток. Вимоги до антен GNSS це широка діаграма спрямованості $0 - 180^\circ$ і повна відсутність бічних пелюсток [1].

Мета. Метою розрахунків є визначення координат випромінювачів решітки, або відношення d/λ для створення діаграми спрямованості (ДС) з параметрами: ширина головного пелюстка в вертикальній площині – 164° , ширина головного пелюстка в горизонтальній площині – 360° , мати мінімальний рівень $P_{бпл}$ (дБ), або відсутність бічних пелюсток, мінімальний рівень заднього випромінювання $P_{зд}$ (дБ).

Вирішення поставленого завдання. Антенний пристрій в значній мірі визначає ефективність роботи GNSS. Для реалізації вимог пропонованих до антенних пристроїв GNSS [1] необхідно отримати параметри, за якими можна конструктивно створити антену.

До параметрів плоскої антени відносяться параметри діаграми спрямованості, крок решітки d – відстань між випромінювачами антенної решітки (АР), відношення d/λ – кроку решітки до довжині хвилі.

Одним з методів розрахунків є отримання конструктивних параметрів антени за заданою формою діаграми спрямованості АР [2]. В якості розрахованих величин виступають N комплексних амплітуд струмів збудження $\{F_n\}$ випромінювачів антени і координати N елементів решітки.

Проведемо розрахунок АР за заданою ДС, яка описується виразом $D(\theta) = \cos\theta$ (рис. 1) у площинах XOZ і YOZ .

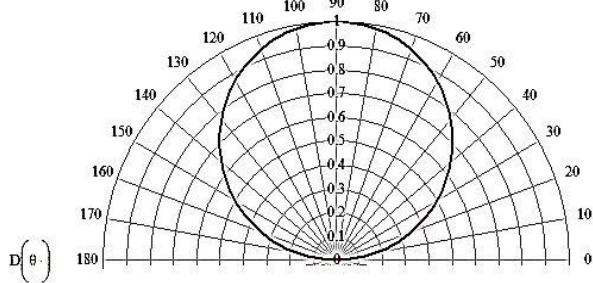


Рис. 1. Задана діаграма спрямованості

Випромінювачі розташовані на площині і утворюють ортогональну решітку (рис. 2). Число випромінювачів, розташованих в одному рядку $N_1 = 2n + 1$, а число випромінювачів в одному стовпці $N_2 = 2m + 1$. Всього в решітці буде $N = N_1 N_2$ елементів.

Для розрахунку покладемо, що поле, випромінюване елементами решітки, лінійно поляризоване. Розглядати будемо не діаграму спрямованості, а множник решітки.

$$\frac{D(\theta, \varphi)}{D_1(\theta, \varphi)} = \sum_{n=1}^N F_n \exp[ik \sin(x_n \cos \varphi + y_n \sin \varphi)]. \quad (1)$$

Прийемо $dy=dx=d$, AP квадратна. Перетворимо вираз множника решітки (1).

Розташуємо систему координат так, щоб абсиси двох крайніх точок системи були рівними $-l_1/2$ та $l_1/2$, а ординати двох крайніх точок були рівними $-l_2/2$ та $l_2/2$ (рис. 2).

Виберемо масштаб для випромінювачів системи так, щоб випромінювачі розташовувалися в квадраті зі сторонами, рівними 2π . Для цього покладемо

$$\frac{2\pi}{l_1} x_n = \mu_n, \quad \frac{2\pi}{l_2} y_n = \nu_n.$$

Крім того позначимо

$$z_1 = \frac{l_1}{\lambda} \sin \theta \cos \varphi, \quad z_2 = \frac{l_2}{\lambda} \sin \theta \sin \varphi,$$

$$\frac{D(\theta, \varphi)}{D_1(\theta, \varphi)} = R_1(z_1, z_2).$$

Тобто зробимо перехід від полярних координат, до декартових.

Тоді множник решітки прийме вигляд

$$R(z_1, z_2) = \sum_{p=-n}^n \sum_{q=-m}^m F_{p,q} \exp[i(\mu_n z_1 + \nu_n z_2)]. \quad (2)$$

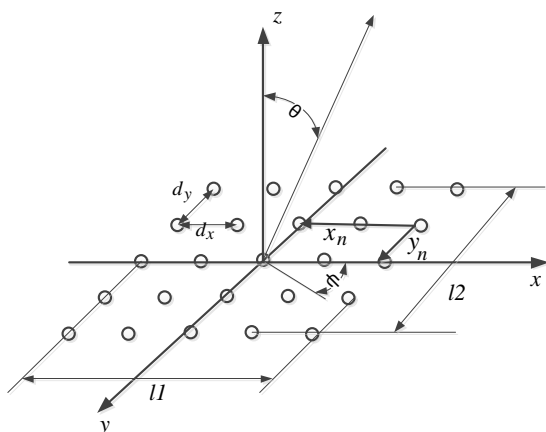


Рис. 2. Антенна решітка

Введемо позначення

$$u_1 = 2\pi \left(\frac{d_x}{\lambda} \right) \sin \theta \cos \varphi,$$

$$u_2 = 2\pi \left(\frac{d_y}{\lambda} \right) \sin \theta \sin \varphi.$$

При цьому $\mu_p z_1 = pu_1$ и $\nu_q z_2 = qu_2$.

Отже,

$$R_1(u_1, u_2) = \sum_{p=-n}^n \sum_{q=-m}^m F_{p,q} \exp[i(pu_1 + qu_2)]. \quad (3)$$

Рішення будемо шукати у вигляді (розд. 4.4 [2])

$$F_{p,q} = \sum_{k=0}^{2n} \sum_{l=0}^{2m} A_{k,l} \exp \left[-i \left(k \frac{2\pi p}{N_1} + l \frac{2\pi q}{N_2} \right) \right]. \quad (4)$$

Підставивши (4) у (3) і спростивши вираз, отримуємо

$$R_1(u_1, u_2) = \sum_{k=0}^{2n} \sum_{l=0}^{2m} A_{k,l} \frac{\sin N_1 \left(\frac{u_1}{2} - \frac{k\pi}{N_1} \right)}{-N_1 \sin \left(\frac{u_1}{2} - \frac{k\pi}{N_1} \right)} \times \frac{\sin N_2 \left(\frac{u_2}{2} - \frac{l\pi}{N_2} \right)}{-N_2 \sin \left(\frac{u_2}{2} - \frac{l\pi}{N_2} \right)}. \quad (5)$$

Враховуючи (4.13) [2] отримаємо

$$F_{p,q} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{2n} \sum_{l=0}^{2m} R_1 \left(k \frac{2\pi}{N_1}, l \frac{2\pi}{N_2} \right) \exp \left[-i \left(k \frac{2\pi}{N_1} p - l \frac{2\pi}{N_2} q \right) \right]. \quad (6)$$

Вираз (6) є двовимірне дискретне перетворення Фур'є від ДС АР і повністю визначає систему випромінювачів для створення заданої діаграми спрямованості, модуль (6) визначає значення струмів в випромінювачах, а точки в яких аргумент (6) робить стрибки, відповідає точкам розташування випромінювачів (координати) [2].

Для проведення подальших розрахунків координат випромінювачів обчислимо максимальну довжину антени. Скористаємося виразом (4.29) [2]

$$l_{\max} \geq \frac{\max |D(\theta)|}{\left(\frac{\pi}{\lambda}\right) \cos \theta} \quad (7)$$

Тут θ – кут, для якого $D(\theta)$ приймає максимальне значення. Діаграма спрямованості нормована до 1, отже, $\max |D(\theta)| = 1$, $\theta = 90^\circ$. Підставивши дані в (7) остаточно отримуємо $l_{\max} \geq 0.318\lambda$.

Обчислимо координати випромінювачів АР, користуючись виразом (6) для діапазону L1 GPS, результати розрахунку зведемо таблицю (всі розрахунки проводилися для отримання діаграми спрямованості без бічних пелюсток).

$\lambda = 0,19042541036675934$ м			
N	$l_1=l_2=l_{\max}$	d/λ розрахункова	d/λ конструктив
2×2	0.375λ	0.25	0.25
2×2	0.75λ	0.5	0.25 ÷ 0.5
3×3	0.625λ	0.25	0.25
3×3	λ	0.23	0.25
4×4	1.25λ	0.21	0.2 ÷ 0.25
5×5	1.25λ	0.2	0.2
6×6	1.25λ	0.2	0.2

Розрахований модуль діаграми спрямованості для АР 2×2 за виразом (6) в площинах XOZ і YOZ представлений на рис. 3.

З рис. 3 видно, що діаграма спрямованості синтезованої АР відповідає вимогам, що пред'являються до антен системи GPS [1].

За розрахованими координатами випромінювачів, відношення d/λ таблиці проведемо математичне моделювання ДС плоскої АР. Діаграма спрямованості плоскої АР обчислюється за формулою

$$D(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^{N_x} \sum_{m=1}^{N_y} e^{j(n-1)\psi_x} e^{j(m-1)\psi_y} \quad (8)$$

де $\psi_x = 2\pi \left(\frac{d_x}{\lambda}\right) \sin \theta \cos \varphi$, $\psi_y = 2\pi \left(\frac{d_y}{\lambda}\right) \sin \theta \sin \varphi$.

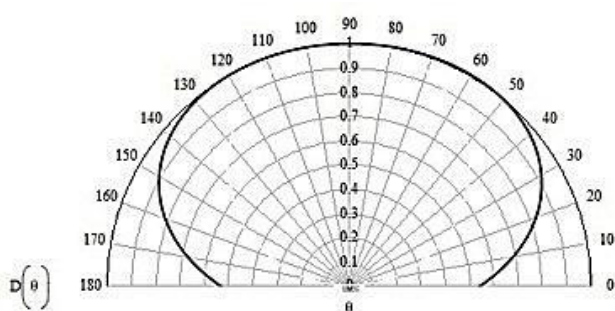


Рис. 3. Розрахований модуль діаграми спрямованості

Умова моделювання відсутність бічних пелюсток в ДС. Мета моделювання підтвердити результати розрахунків АР.

З результатів моделювання можна зробити наступні висновки:

– оптимальним можна вважати те відношення d/λ , при якому різниця між рівнем основної пелюстки і рівнем бічних пелюсток буде максимальна або повна відсутність бічних пелюсток у діаграмі спря-

мованості АР;

– оптимальним відношенням d/λ можна вважати значення від 0.2 до 0.25, при цих умовах різниця $P_{max}-P_{бпл}$ має максимальне значення, а в діаграмі спрямованості відсутні бічні пелюстки.

Висновки. Проведено розрахунок координат випромінювачів АР за заданою формою діаграми спрямованості. В результаті розрахунків отримані координати випромінювачів АР. Дані розрахунків перевірялися моделюванням, що показало збіг заданої і розрахованої діаграми спрямованості. Даною методикою можна користуватися для розрахунку АР GNSS.

Список літератури: 1. Авиационная электросвязь. Том 1 Радионавигационные средства. Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации. – М.: Международная организация гражданской авиации – 2006. с. – 598. 2. Зелкин Е. Г. Методы синтеза антенн: Фазированные антенные решетки и антенны с непрерывным раскрытием / Е. Г. Зелкин, В. Г. Соколов. – М.: Сов. радио, 1980. – с. 296.

Національний авіаційний університет

Надана до редколегії