

Льницький Л.Я., д-р техн. наук  
Щербина О.А., канд. техн. наук  
Михальчук І.І.

## АНТЕННА РЕШІТКА ОБЕРТОВОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЇ З КЕРОВАНОЮ ДІАГРАМОЮ СПРЯМОВАНОСТІ

Институт електроніки и систем управління  
Национального авиационного университета

*Розглянуто принцип дії малоелементної антенної решітки обертової поляризації з керованою діаграмою спрямованості, яка може бути використана для мобільних систем зв'язку на терміналах, що встановлюються на рухомих об'єктах, при вирішенні задачі вимірювання напруженості електромагнітного поля. В результаті використання фазового керування діаграмою спрямованості антенної решітки значно підвищується точність пеленгації та швидкодія процесу*

### Вступ

Ефективність використання частотного ресурсу в значній мірі залежить від характеристик антен. Це такі параметри та характеристики як коефіцієнт спрямованої дії, ширина діаграми спрямованості, коефіцієнт підсилення, робоча смуга частот і т.ін.

Найпростіші антени: симетричні та несиметричні вібратори, спіральні ненапружені антени, вібраторні решітки з малою кількістю елементів (директорна, логоперіодична), прості щілинні антени і т.п. мають далеко не оптимальні характеристики. Але їх часто використовують, особливо на мобільних об'єктах, оскільки їх габарити найбільш задовольняють вимоги щодо розмірів випромінюючих систем.

До антен мобільних станцій радіомоніторингу висувають також і вимоги щодо можливості зміни положення площини поляризації у просторі, електроного керування напрямками нулів і максимумів діаграми спрямованості та жорсткості і простоти конструкції, щоб антена під час руху станції не створювала додаткової завади, обумовлених вібрацією пристрою. Зрозуміло, що у широкому частотному діапазоні задовольнити висунуті вимоги практично неможливо, але якщо обмежитися діапазонами ультрависоких і надвисоких частот, то синтезувати антенні при-

строї з задовільними характеристиками цілком можливо.

### Постановка задачі

Відомо [1], що антена яка виконана у вигляді симетричного або несиметричного вібратора, плоскої спіралі, або одиночної щілини, має досить низький коефіцієнт спрямованої дії. Триелементна директорна антена, а також логоперіодична антена мають трохи більші коефіцієнти спрямованої дії і в багатьох випадках задовільну діаграму спрямованості. Але вони ефективно працюють з хвилями лінійної поляризації. Отже, ефективність таких антен суттєво погіршується при поляризаційному неузгодженні. Можливі навіть випадки повної поляризаційної розв'язки, що недопустимо при оперативних процесах моніторингу. Тому бажано створити таку антенну систему, яка б мала дещо більший коефіцієнт спрямованої дії, чим симетричний вібратор, більшу робочу смугу частот і працювала б в такому поляризаційному базисі, при якому розв'язка з лінійно поляризованою хвилею була б неможлива.

З такої постановки завдання випливає, що антенний пристрій повинен будуватися на засадах антенних решіток з коловою поляризацією, на випромінюючих елементах з широкими смугами робочих частот. Такими елементами можуть бути кільцеві антени, що працюють в режимі бігучої хвилі струму при довжині кільце-



$$\dot{E}_\varphi = -i\dot{E}_{\max} [J_0(\sin\theta) - J_2(\sin\theta)] \quad (3)$$

$$\text{де } \dot{E}_{\max} = \frac{30\pi I_{1,2}}{r} = \frac{30\pi \dot{I}_{1,2}}{r};$$

$J_0(\sin\theta), J_1(\sin\theta), J_2(\sin\theta)$  – функції Бесселя нульового, першого та другого порядку;

$\theta$  – меридіальний кут сферичної системи координат, що відраховується від полярної осі, паралельній осям кілець 1 і 2;

$I_{1,2}$  – амплітуда струму біжучої хвилі, що протікає у першому 1 або другому 2 кільці;

$r$  – відстань від антени до точки спостереження;

$\Psi_{1,2}$  – фаза струму, що протікає через затискач  $a$  першого 1 або другого 2 кільця;

$k = 2\pi/\lambda$  – хвильове число.

Елементи решітки живляться дво-проводною лінією, в яку включені два шлейфи в точках  $c, d$  і  $g, h$ . Якщо короткозамикач КЗ<sub>1</sub> першого шлейфу встановити так, щоб його довжина  $l_1$  дорівнювала  $\lambda/2$  або нулю, а довжина  $l_2$  другого шлейфа за допомогою короткозамикача КЗ<sub>2</sub> встановити рівною нулю, то схема матиме симетрію відповідно до вертикальної осі і кільця 1 і 2 будуть збуджуватись синфазно, тобто

$$\Psi_2 - \Psi_1 = \pi.$$

Кількість витків у кожному кільці 1 і 2 беруть за умови, щоб в лінії 3 існував режим біжучої хвилі, тобто сума опорів випромінювання кілець 1 і 2 повинна дорівнювати хвильовому опору двопроводної лінії. В цьому випадку складові напруженості електричного поля меридіальні і азимутальні будуть знаходитись у фазі і діаграма спрямованості буде у своєму складі мати множник:

$$F_c(\theta) = \cos\left(\frac{1}{2}(kd \sin\theta - \psi)\right), \quad (4)$$

де  $d$  – відстань між центрами кілець 1 і 2.

Для зміни напрямку максимального випромінювання вводиться фазовий зсув  $\psi$ , який визначається як:

$$\psi = \psi_2 - \psi_1. \quad (5)$$

Значення  $\psi$  залежать від довжини шлейфів 4  $l_1$  і 5  $l_2$ . Довжина  $l_1$  знаходиться в межах  $0,25\lambda \leq l_1 \leq 0,5\lambda$ , а довжина  $l_2$  в межах  $0 \leq l_2 \leq 0,25\lambda$ .

Довжини  $l_1$  і  $l_2$  змінюються одночасно таким чином, щоб сума вхідних опорів  $X_1$  і  $X_2$  реактивних шлейфів 4 і 5 дорівнювала нулю:

$$X_1 + X_2 = 0. \quad (6)$$

Розкриваючи значення  $X_1$  і  $X_2$ , знаходимо, що

$$\begin{aligned} X_1 &= W \operatorname{tg} k l_1, \\ X_2 &= W \operatorname{tg} k l_2, \end{aligned} \quad (7)$$

де  $W$  – хвильовий опір відрізків  $l_1$  і  $l_2$ .

Враховуючи різницю між довжинами шлейфів 4 і 5, можна записати, що

$$\operatorname{tg} k l_1 = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} + k\Delta l\right) = -\operatorname{ctg} k\Delta l, \quad (8)$$

де  $\Delta l = l_1 - 0,25\lambda$ .

Отже, довжина шлейфів 4 і 5 для забезпечення певного фазового зсуву знаходиться з рівняння

$$\operatorname{tg} k l_2 - \operatorname{ctg} k\Delta l = 0. \quad (9)$$

При такому виборі довжин шлейфів 4 і 5 не порушується режим біжучої хвилі в антенній системі і напрям максимуму визначається з формули

В випадку коли кільця розміщуються співвісно множник система матиме вигляд:

$$F_c(\theta) = \cos\left(\frac{1}{2}(kd \cos\theta - \psi)\right). \quad (10)$$

Напрямок максимального випромінювання визначається як

$$\sin \theta_{\max} = \frac{\psi}{kd}. \quad (11)$$

У випадку, коли кільця розміщуються співвісно, множник системи матиме вигляд

$$F_C = \cos\left(\frac{1}{2}(kd \cos \theta - \psi)\right). \quad (12)$$

Поляризація електромагнітної хвилі залежить від напрямку протікання струму. Отже, використовуючи перемикач, який буде змінювати напрямок протікання струму, тобто для правого кільця від положення, що зображено на рис.1, верхній кінець лінії приєднуватимемо до точки  $a$ , а нижній – до точки  $b$ , змінюватимемо напрямок обертання вектора напруженості електричного поля – переходити від правого напрямку обертання до лівого напрямку обертання.

Опір випромінювання одного кільця знаходимо за відомою формулою [3]:

$$R_{\Sigma} = \frac{E_{\max}^2 r^2}{W_c I_a^2} \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} F^2(\theta) \sin \theta d\theta d\varphi. \quad (13)$$

Використовуючи значення модуля  $\dot{E}_{\max}$  отримуємо

$$R_{\Sigma}^0 = 60\pi^2 \int_0^{\pi} [ctg\theta J_1(\sin\theta)]^2 \sin \theta d\theta, \quad (14)$$

$$R_{\Sigma}^{\phi} = 15\pi^2 \int_0^{\pi} [J_0(\sin\theta) - J_2(\sin\theta)]^2 \sin \theta d\theta. \quad (15)$$

В результаті чисельного інтегрування знаходимо, що опір випромінювання кільця дорівнює:

$$\begin{aligned} R_{\Sigma} &= R_{\Sigma}^0 + R_{\Sigma}^{\phi} = 89,392 + 175,774 = \\ &= 265,166 \approx 256 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Оскільки коефіцієнт корисної дії антени в діапазонах метрових та дециметрових хвиль наближається до одиниці,

то вхідний опір кільця практично дорівнюватиме опору випромінювача.

### Висновки

В результаті дослідження синтезованої антени визначені діаграма спрямованості і способи керування діаграмою спрямованості малоелементної антенної решітки. Обчислено вхідні опори кільцевих антен, що обтікаються біжучою хвилею струму.

В синтезованій антенній решітці використано два кільця, тому навантаження на двопровідну лінію становитиме 530 Ом, що добре узгоджуватиметься зі стандартною двопровідною лінією передачі з хвильовим опором 600 Ом. При використанні решітки з чотирьох кілець необхідно кільця розташовувати над екраном, що суттєво знижуватиме вхідний опір окремого кільця.

### Список літератури

1. Ільницький Л.Я., Савченко О.Я., Сібрин Л.В. Антени та пристрої надвисоких частот. Підручник для ВНЗ / За ред. Л.Я. Ільницького. – К.: Укртелеком, 2003. – 496 с.
2. Патент на корисну модель № 44847 Україна. Малоелементна антенна решітка обертової поляризації з керованою діаграмою спрямованості / Ільницький Л.Я., Щербина О.А., Михальчук І.І. – Опубл. 12.10.2009, Бюл. №19.
3. Дробиш А.Л., Зузенко В.Л. Антенно-фидерні устроїства. – М.: Сов. радио, 1961. – 816 с.

Подано до редакції 19.01.10