

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КІЛЬЦЕВИХ АНТЕННИХ РЕШІТОК НА ОСНОВІ НИЗЬКОПРОФІЛЬНИХ ВИПРОМІНЮВАЧІВ НАД ЦИЛІНДРИЧНОЮ ПОВЕРХНЕЮ

У статті розкрито особливості розрахунку зовнішніх характеристик кільцевих антенних решіток на основі низькопрофільних випромінювачів над циліндричною поверхнею. Розглянуто вирішення задачі про розрахунок характеристики направленості в азимутальній площині даної антенної решітки. Наведено приклади розрахунку двох- та трьохелементної антенної решітки. Досліджено практичне значення представленої кільцевої антенної решітки.

Ключові слова: цифрове телебачення, низькопрофільна антена, кільцева решітка, характеристика направленості, антени базових станцій.

Постановка проблеми

Використання низькопрофільних випромінювачів над циліндричною поверхнею при створенні антен базових станцій (БС) для різноманітних систем мобільного радіозв'язку надає розробникам антенної техніки досить широкі можливості щодо створення оптимальних технічних рішень. Одним з напрямків розробок є унікальна властивість низькопрофільних випромінювачів змінювати геометричні розміри за рахунок введення діелектрика в об'єм між екраном та верхньою пластиною в $1/\sqrt{\epsilon'}$ разів (де ϵ' – відносна діелектрична проникність матеріалу заповнювача). Тоді з'являється практична можливість на фіксованій за діаметром циліндричній поверхні розмістити по периметру N – випромінювачів, тобто відповідно реалізувати в азимутальній площині задану характеристику направленості, починаючи з секторної (потрібної ширини) і закінчуючи всенаправленою.

Крім того при переході на кільцеве розміщення випромінювачів низькопрофільних випромінювачів над циліндричною поверхнею, а по суті на кільцеві антенні решітки (КАР), отримуємо можливість реалізації схемно-просторового способу складання НВЧ сигналів чи розділення між собою приймально-передаючих трактів. КАР відносяться до класу багатовходових антен, які дозволяють суттєво збільшити каналну ємність радіотехнічної системи, зменшити масо-габаритні показники антенно-фідерного пристрою базової станції в цілому і які досить детально описані в роботах [1, 2].

Аналіз отриманих результатів

У відповідності з результатами, отриманими в [3], КАР на низькопрофільних випромінювачах можливо представити як сукупність синфазних поперечних щілин, які розташовані на металевому циліндрі через рівні кутові проміжки.

Структурна схема такої випромінюючої системи подана на рис. 1, де введені такі позначення: 1 – випромінюючий елемент; 2 – циліндрична поверхня; a – радіус циліндра; φ_n – кутова різниця між випромінювачами.

Характеристика направленості (ХН) в азимутальній площині такої антени визначається виразом:

$$f_N(\varphi) = \sum_{n=1}^N f_n(\varphi + \varphi_n) e^{ikac \cos(\varphi + \varphi_n)} \quad f_N(\varphi) = F(m_i), \quad (1)$$

де $f_n(\varphi + \varphi_n)$ – характеристика направленості одиночної поперечної щілини на циліндрі.

$$\varphi_n = \frac{2(n-1)\pi}{N} \text{ - кутова різниця між щілинами.}$$

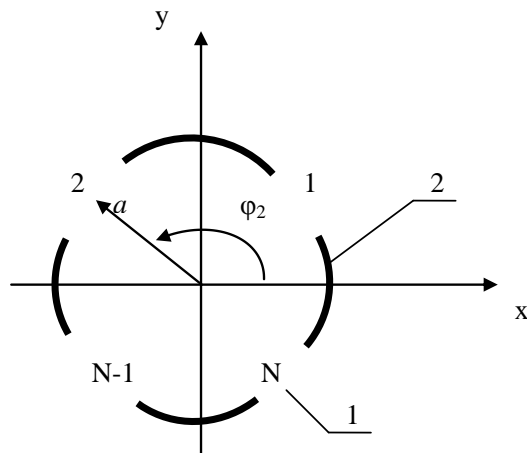


Рис. 1. Структурна схема кільцевої антенної решітки

На першому етапі рішення задачі про поле випромінювання КАР на щілинних випромінюючих елементах доцільно розглянути найбільш загальний випадок – формування ненаправленого випромінювання в азимутальній площині.

Очевидно, що ХН такої антенної решітки в азимутальній площині буде в першу чергу залежати від N – числа випромінюючих елементів, $2a$ – діаметра циліндра, амплітудно-фазового збудження кожного випромінювача, а також форми ХН кожного окремого випромінювача.

Для відносно невеликих діаметрів циліндричної поверхні ($ka=1$) формування ненаправленої ДН за допомогою низькопрофільних випромінювачів є задачею вирішеною [3]. Одинарний випромінювач довжиною в півхвилі утворює поле випромінювання, вигляд якого зображено на рис. 2.

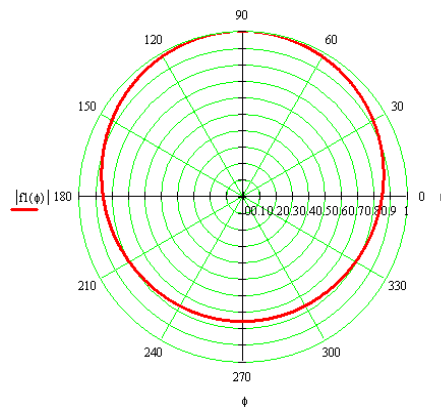


Рис. 2. Поле випромінювання одинарного випромінювача при $ka = 1$

З цих теоретичних результатів робимо висновок, що для відносно невеликих діаметрів циліндричної поверхні ($ka \leq 1$) одинарний низькопрофільний випромінювач дозволяє формувати в азимутальній площині квазіненаправлене випромінювання з припустимим коефіцієнтом нерівномірності.

При збільшенні діаметра (проявляється екрануючий ефект циліндра) характеристика направленості (ХН) одиначного випромінювача в силу відомих причин зазнає «спотворень». Виходячи із вимог, які пред'явлені до антен базових станцій щодо забезпечення кругової характеристики направленості (ХН) в азимутальній площині, логічно зауважити, що необхідну ДН можливо створити за допомогою антенної решітки низькопрофільних випромінювачів над циліндричною поверхнею.

Для оцінки рівномірності ХН в азимутальній площині вводиться параметр $SF\%$ - коефіцієнт рівномірності, який визначається виразом:

$$SF\% = \frac{f_{\min}(\varphi)}{f_{\max}(\varphi)} \cdot 100, \quad (2)$$

де $f_{\min}(\varphi)$, $f_{\max}(\varphi)$ - мінімальне й максимальне значення ХН в азимутальній площині.

В [4] були проведені ретельні дослідження про вплив діаграми направленості одинарного випромінювача на $SF\%$ КАР в азимутальній площині. Було встановлено, що $SF\%$ буде мінімальним, якщо ширина ДН одинарного випромінювача на рівні -6 dB буде пов'язана з N – кількістю випромінювачів наступним співвідношенням:

$$2\Delta\varphi_{-6\text{dB}} = \frac{2\pi}{N} \quad (3)$$

Це означає, що для КАР з $N=2$ ширина ДН одинарного випромінювача на рівні -6 dB повинна дорівнювати 180° , для $N=3$ $2\Delta\varphi_{-6\text{dB}}=120^\circ$, а для $N=4$ $2\Delta\varphi_{-6\text{dB}} = 90^\circ$,

На рис. 3 представлена залежність ширини ДН одинарної поперечної щілини на циліндричній поверхні від діаметру цієї поверхні.

$2\Delta\varphi_{-6\text{dB}}$, град

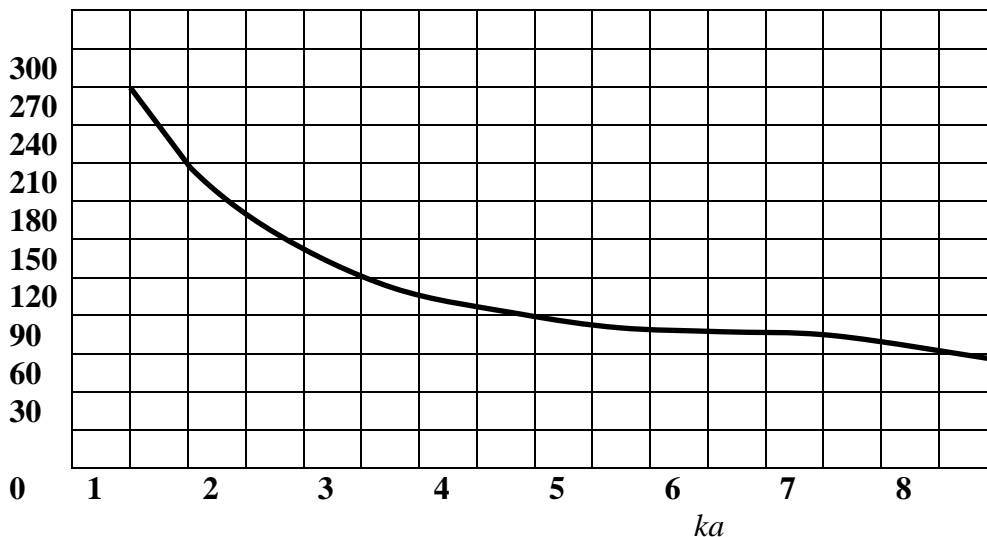


Рис. 3. Графік залежності ширини ДН одинарної поперечної щілини на циліндричній поверхні від діаметру цієї поверхні

Отримані результати дозволяють сформулювати рекомендації з компоновки кільцевої антенної решітки на низькопрофільних випромінювачах, а саме – яку кількість N випромінювачів слід вибирати при заданому (фіксованому) діаметрі циліндра для формування ненаправленого випромінювання в азимутальній площині з прийнятним $SF\%$ - коефіцієнтом рівномірності. Мається на увазі те, що для циліндричної поверхні діаметром $ka \approx 2,2$ число випромінювачів (N) для формування ненаправленого випромінювання в азимутальній площині повинно дорівнювати 2; для $ka \approx 4$; $N=3$, для $ka \approx 8$; $N=4$. В якості приклада наведено теоретичний аналіз ХН КАР для $N=2$ при $ka \approx 2$ і для $N=3$ при $ka \approx 5$.

Користуючись результатами розрахунків, які викладені в [4] та застосовуючи формулу (1) поле випромінювання КАР буде дорівнювати:

$$E_2(\phi) = \frac{U}{\pi} \frac{e^{-jkR}}{R} \sum_{p=1}^2 \left[\frac{e^{\frac{j\pi}{2}}}{2 \cdot k \cdot H_n^{(2)}(0, ka \cos(\frac{\pi}{2.1}))} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{\frac{j(n+1)\pi}{2}} \Phi_2(\phi)}{H_n^{(2)}(0, ka \cos(\frac{\pi}{2.1})) \cdot n} \right] \cdot e^{ika \cos(\phi + \frac{2\pi(p-1)}{2})}$$

для двох випромінюючих елементів,
де

$$\Phi_2(\phi) = \left[\left(\sin(\frac{3}{4}\pi n) - \sin(\frac{1}{4}\pi n) \right) \cos \left[n \left(\phi - \frac{\pi}{2} + \frac{2\pi(p-1)}{2} \right) \right] + \left(\cos(\frac{1}{4}\pi n) - \cos(\frac{3}{4}\pi n) \right) \sin \left[n \left(\phi - \frac{\pi}{2} + \frac{2\pi(p-1)}{2} \right) \right] \right]$$

$$E_3(\phi) = \frac{U}{\pi} \frac{e^{-jkR}}{R} \sum_{p=1}^3 \left[\frac{e^{\frac{j\pi}{2}}}{2 \cdot k \cdot H_n^{(2)}(0, ka \cos(\frac{\pi}{2.1}))} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{\frac{j(n+1)\pi}{2}}}{H_n^{(2)}(n, ka \cos(\frac{\pi}{2.1})) \cdot n} \cdot \Phi_3(\phi) \right] \cdot e^{ika \cos(\phi + \frac{2\pi(p-1)}{3})}$$

для трьох випромінюючих елементів,
де

$$\Phi_3(\phi) = \left(\sin(\frac{2}{3}\pi n) - \sin(\frac{1}{3}\pi n) \right) \cos \left[n \left(\phi - \frac{\pi}{2} + \frac{2\pi(p-1)}{3} \right) \right] + \left(\cos(\frac{1}{3}\pi n) - \cos(\frac{2}{3}\pi n) \right) \sin \left[n \left(\phi - \frac{\pi}{2} + \frac{2\pi(p-1)}{3} \right) \right]$$

Побудовані за допомогою програми *Mathcad* графіки ДН для різних значень *ka* представлені на рис.4а і 4б.

Для двох розглянутих варіантів КАР на низькопрофільних випромінювачах був проведений розрахунок *SF%* - коефіцієнта нерівномірності в залежності від співвідношення $\frac{a}{\lambda}$.

На рис.5 представлено залежності коефіцієнта нерівномірності від радіуса циліндричної поверхні для КАР з різною кількістю випромінюючих елементів. Побудовані графіки дозволяють оцінити, в яких межах потрібно обирати радіус циліндра для створення антенної системи у вигляді кільцевої решітки з заданою величиною коефіцієнта рівномірності.

Схематично антенні решітки з кількістю низькопрофільних випромінювачів $N=2$, та $N=3$ представлені на рис. 6а і 6б .

Підводячи підсумки, слід зауважити, що в даній роботі ми розглянули можливість створення всенаправленого випромінювання електромагнітного поля в азимутальній площині за допомогою антен, створених на основі низькопрофільних випромінювачів над циліндричною поверхнею.

Для антен, створених на відносно тонких трубах (циліндричних поверхнях), за допомогою одного випромінювача утворюється майже рівномірна ХН, вигляд якої подано на рис. 2.

Але при збільшенні параметру *ka* (тобто при переході на товсті труби) рівномірність випромінювання забезпечити вдається лише шляхом збільшення числа *N* – елементарних випромінювачів навколо циліндра. Іншими словами створенням кільцевої антенної решітки.

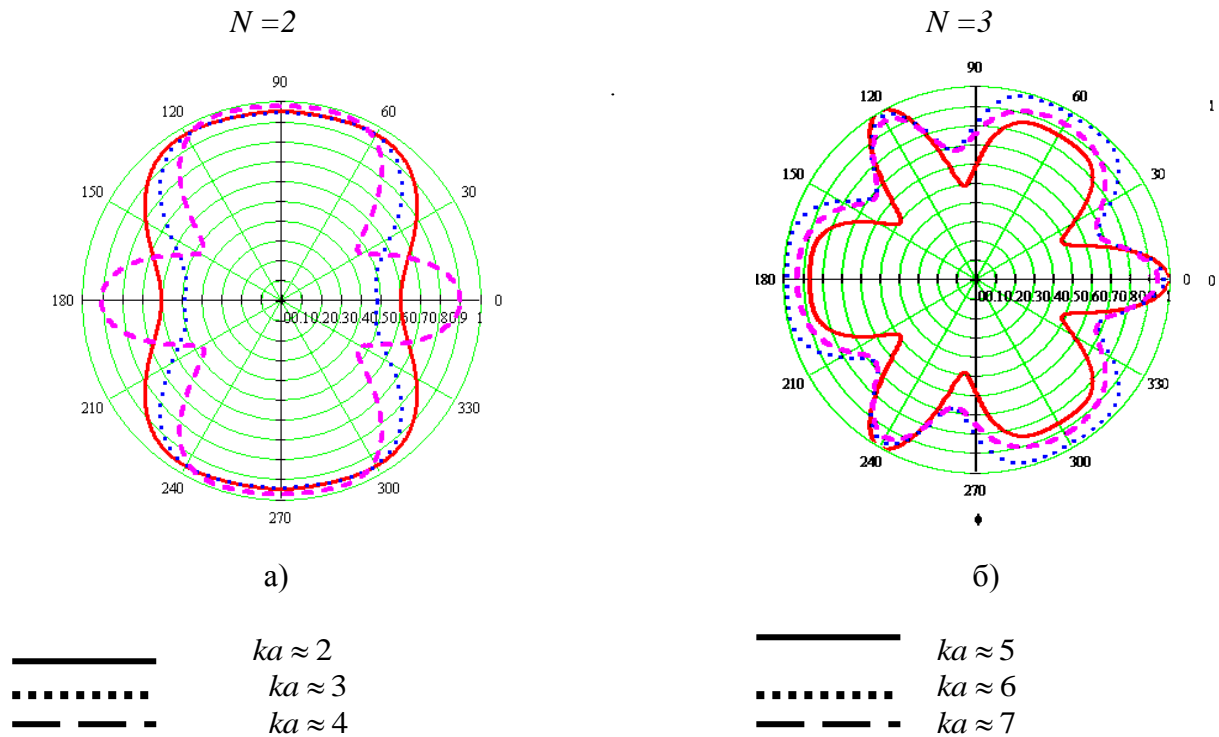


Рис.4. Діаграма направленості кільцевої антенної решітки (а – двохелементної; б - трьохелементної).

SF, %

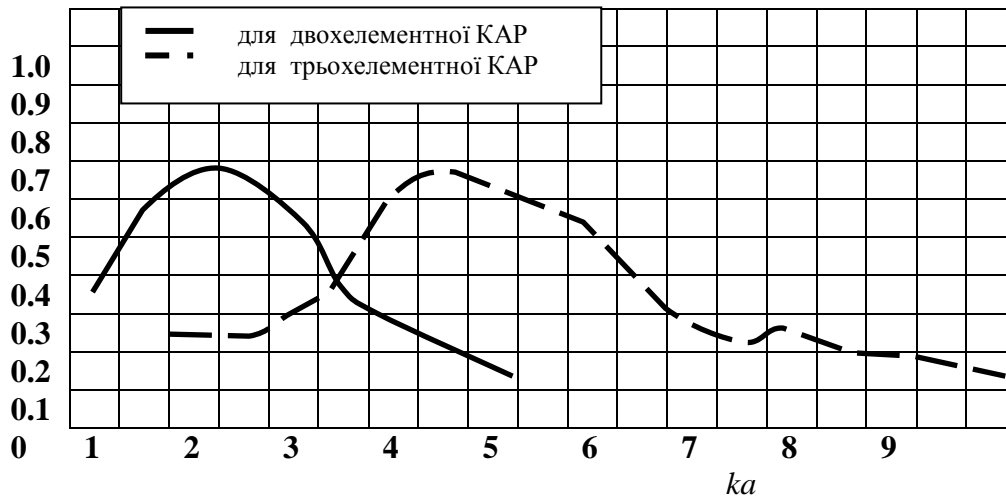


Рис. 5. Графік залежності коефіцієнта нерівномірності для двох – та трьохелементної КАР від діаметру цієї поверхні

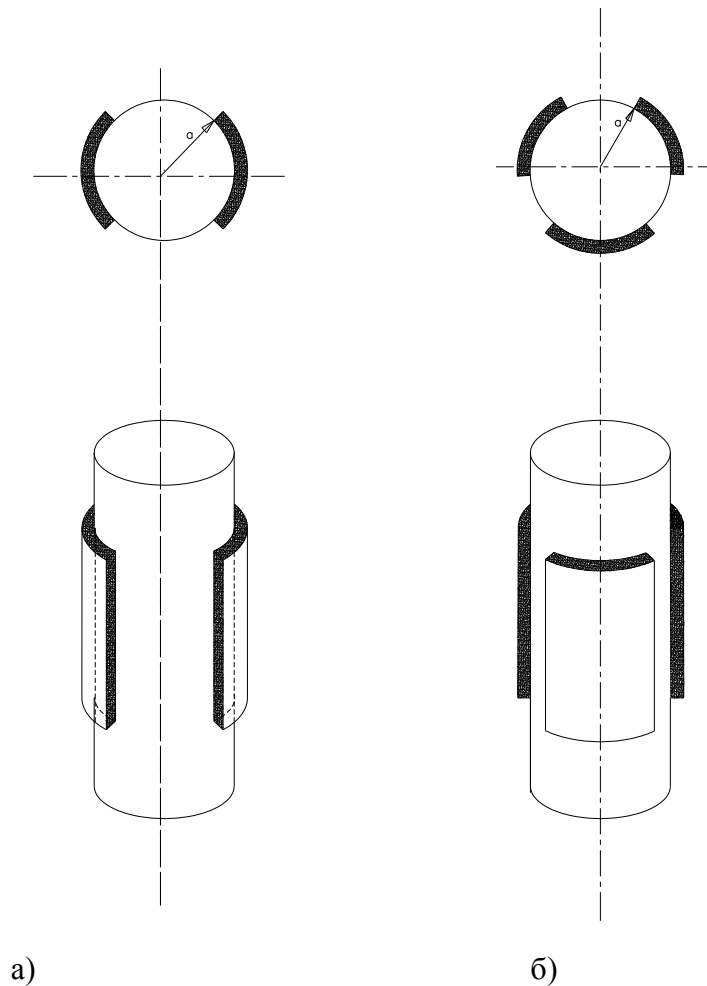


Рис. 6. Кільцева АР (а - з двома випромінювачами; б) – з трьома випромінювачами

Висновки

Особливість вибору кількості випромінювачів та залежність коефіцієнта нерівномірності було досліджено та представлено в даній статті.

Таким чином показано, що за допомогою низькопрофільних антен можливо створювати антенні системи базових станцій з всенаправленим випромінюванням в азимутальній площині в досить широкому діапазоні частот.

Література

1. Панченко Б.И. Нефедов Е.И. Микрополосковые антенны. М.: Радио и связь. - 1986.
2. Кузнецов В.Д, Носов Ю.Н. Уменьшение числа вибраторов в кольцевой антенной решетке. М.: Радиотехника. 1989 г.
3. Цыбизов К.Н. Ильинов М.Д. Микрополосковые антенны. Киев, «Знание». - 1990.
4. Шередько Е.Ю. Антенна центральной станции системы «Алтай- 3М» М. Радио и связь.-1991.
5. Ільїнов М.Д., Перегудов Д.О., Жиров Г.Б., Мацаєнко А.М. Перспективи застосування низькопрофільних антен в системах рухомого зв'язку // Збірник наукових праць ВІКНУ ім. Тараса Шевченка - Київ, 2007 р.– вип. 7, С.38-42.
6. *Luc Kuai-man, Lee Kai-Fang, Dashele J.S.* Analysis of the cylinder-rectangular patch Antenna. IEEE Trans on Antennas and Propagations. – 1989 – № 2. P. 143-147.
7. Резников Г.Б. Антенны летательных аппаратов.– М. Сов. Радио,1967 – 415 с.

Надійшла 05.07.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Петров О.С.