

УДК 621.396.677

Г. В. Єрмаков, І. М. Майборода, О. В. Стаховський, О. В. Ченикаєв

**ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИЛІНДРИЧНИХ
ФАЗОВАНИХ АНТЕННИХ РЕШІТОК ДЛЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО УРАЖЕННЯ
НАЗЕМНИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ**

Проаналізовано просторово-часові та енергетичні характеристики циліндричних фазованих антенних решіток, призначених для функціонального ураження наземних станцій радіозв'язку. Отримані залежності для розрахунку напруженості електричного поля сформованого багаточастотного просторово-часового сигналу дозволяють запропонувати алгоритм фазування циліндричних фазованих антенних решіток.

К л ю ч о в і с л о в а: циліндрична фазована антенна решітка, багаточастотний просторово-часовий сигнал.

Постановка проблеми. В силу специфіки застосування радіорелейних ліній (РРЛ) створення завод радіорелейним станціям (РРС) є складною задачею, оскільки їх антенні системи відвернуті в напрямку своїх командних пунктів. У цьому випадку завада може бути створена або диверсійною групою шляхом закидування передавача завод, або по дальніх бокових чи задній пелюстках діаграми спрямованості антенної системи [1]. Діапазон частот, що використовується для зв'язку в сучасних цифрових РРС, наприклад, “Діамант”, складає 2, 4, 6, 8 ГГц. Режими роботи “Широкосмуговий сигнал” і “ППРЧ” покращують заводо захищеність РРС без застосування додаткових засобів радіомаскування хвиль.

Одним з можливих способів протидії РРС у широкій смузі частот є їхнє функціональне ураження (ФУ) з використанням потужних електромагнітних імпульсів, що випромінюють засоби ФУ наземного (мобільні комплекси) або повітряного (безпілотні літальні апарати) базування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні проведені глибокі теоретичні дослідження щодо розроблення багатофункціональних радіотехнічних засобів (РТЗ) з передавальними фазованими антенними решітками, що забезпечують фокусування електромагнітного імпульсу (ЕМІ) в задану точку простору в зоні Фраунгофера. Відомо, що у разі використання плоских фазованих антенних решіток (ФАР) у випадку відхилення діаграми спрямованості від напрямку нормалі виникають її спотворення, що призводить до зміни структури сформованого багаточастотного просторово-часового сигналу (БЧ ПЧС). Цих недоліків позбавлені циліндричні ФАР (ЦФАР), що мають низку переваг над плоскими ФАР: більшу смугу пропускання, можливість супроводження декількох цілей [2].

Якщо виконуються умови ФУ, то повинні бути висунуті певні вимоги до часових і енергетичних параметрів сигналу ураження. Обґрунтовано, що з урахуванням характерного часу релаксації теплових процесів τ_T , який для напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем складає $\geq 10 \dots 100$ нс, і часу спрацьовування захисних пристроїв 10 нс доцільно використовувати послідовність сфокусованих ЕМІ з такими параметрами: тривалість одиночного імпульсу $\tau_{ПВС} \leq 5$ нс, період слідування $T_{ПВС} = 250$ нс, сквапність $Q = 50$, тривалість пачки $\tau_{р\sigma} = 255$ мкс [3].

Визначено, що реалізація внутрішньосмугового режиму роботи засобу ФУ РРС для деградації мікрохвильових діодів та інтегральних схем потребує потужності на вході радіотехнічних систем, що уражаються, 0,006 ... 0,4 Вт, а для деградації комутуючих діодів і малопотужних транзисторів 0,06 ... 9,5 Вт [4].

Метою статті є аналіз просторово-часових і енергетичних характеристик ЦФАР для ФУ РРС.

Виклад основного матеріалу. З урахуванням потужності, необхідної для ФУ входних каскадів РРС, визначено, що за умови відсутності дифракційних пелюсток на максимальній відстані фокусування $R_\phi = 5000$ м загальна кількість випромінювачів дорівнює 260; робоча зона циліндричної ФАР для конформного сканування складає 2,54 м уздовж напрямної. При довжині твірної $L_{обр} = 0,5$ м робоча площа становить 1 м². Для кроку решітки вздовж напрямної $d_x = 1,0\lambda = 3$ см, за умови обмеження розмірів сектора випромінювання циліндричної ФАР за кутом місця до 55°, крок уздовж

твірної решітки дорівнюватиме $d_z = 0,8\lambda = 2,4$ см; кількість випромінювачів, що формують поле, буде $N = (M_x = 88) \times (N_z = 20) = 1760$; коефіцієнт спрямованої дії антени 40 дБ. Для досягнення внутрішньосмугового ФУ на відстані 5000 м потужність, що підводиться до окремого елемента ФАР, з урахуванням втрат на розузгодження ширини спектра сигналу із смугою пропускання радіотехнічної системи (-15 дБ) та можливостей приймання сигналів по боковій пелюстці антени РРС (-13 дБ), складає $P_{\text{випр1}} = 110$ Вт [5].

Напруженість електричного поля, що створюється ЦФАР у заданій точці спостереження або в заданий момент часу, розраховувалась за формулою:

$$\dot{E}(P_\phi, t) = \sum_{m=1}^{M_x} \sum_{n=1}^{N_z} \frac{\dot{F}_{mn}(\beta_\phi, \alpha_\phi)}{R_{mn}} \sqrt{60 P_{mn} G_{\text{max}mn}} \cdot \exp \left\{ j \left[2\pi f_{0mn} \left(t - \frac{R_{mn}}{c} \right) + \phi_{0mn} \right] \right\}, \quad (1)$$

де m і n — індекси, що визначають номер випромінювача; M_x, N_z — кількість елементів, що випромінюють вздовж напрямної і твірної; $\dot{F}_{mn}(\beta_\phi, \alpha_\phi)$ — векторна комплексна нормована діаграма спрямованості випромінювача ЦФАР; R_{mn} — відстань від випромінювача решітки до точки фокусування; P_{mn} — потужність, що підводиться до mn елемента ФАР; $G_{\text{max}mn}$ — коефіцієнт підсилення одиночного випромінювача; f_{0mn}, ϕ_{0mn} — частота і початкова фаза спектральної складової БЧ сигналу, що підводиться до елемента ВФАР; t — момент часу спостереження.

Для визначення напруженості електричного поля в точці фокусування $P_\phi(x_\phi, y_\phi, z_\phi)$ для mn випромінювача необхідно розрахувати координати x_{mn}, y_{mn}, z_{mn} розташування джерела в заданій системі координат:

$$d_x = \frac{2\pi R_y}{M_x}, \quad \alpha_{mn} = 2\arcsin\left(\frac{2R_y}{d_x}\right), \quad d_z = \frac{L_z}{N_z}.$$

Для зазначених умов координати mn випромінювача будуть:

$$x_{mn} = R_y \cos \alpha_{mn}, \quad y_{mn} = R_y \sin \alpha_{mn}, \quad z_{mn} = n d_z.$$

У випадку, що розглядається, для ФУ РРС використовується пачка з N імпульсів. Поле в області точки фокусування P_ϕ являтиме послідовність БЧ ПЧС, де кожний сигнал з пачки формується в точці P_ϕ з урахуванням періоду надходження імпульсів.

Конструкція ЦФАР з пірамідальними випромінювачами має кругову поляризацію. В цьому випадку врахуємо, що поляризаційна діаграма спрямованості не залежатиме від положення окремого випромінювача.

З урахуванням кривизни поверхні уздовж твірної закон розподілу частот mn випромінювачів по апертурі ЦФАР за просторово-фазо-частотного управління має вигляд:

$$f_{0mn} = f_0 + m \Delta F_x + F_{\text{дон}}, \quad (2)$$

де f_0 — несуча частота центрального випромінювача; ΔF_x — величина зміни частоти вздовж осі OY ; $n \in \left[-\frac{N_y - 1}{2}; \dots, 0; \dots, \frac{N_y - 1}{2} \right]$; $F_{\text{дон}} = \frac{c}{2\pi R_y [1 - \cos(m\delta\alpha)]}$ — додаткова частота, що дозволяє

забезпечити синфазність плоского еквівалентного розкриву; $\delta\alpha = \alpha_{mn} - \alpha_{mn-1}$ — кутова дискрета.

На рис. 1 наведено розподілення несучих частот, обчислене за формулою (1). Розподілення вздовж твірної є лінійним. Розподілення вздовж напрямної відрізняється від лінійного і залежить від радіуса циліндра.

На рис. 2 наведено нормоване значення напруженості електричного поля, що випромінюється ЦФАР у напрямку нормалі до площини розкриву $E_n = E(x_\phi, y_\phi, z_\phi, t) / E_{\text{max}}$ для відстані $R = 5000$ м, обчислене за формулою (2) з рівномірним амплітудним розподіленням.

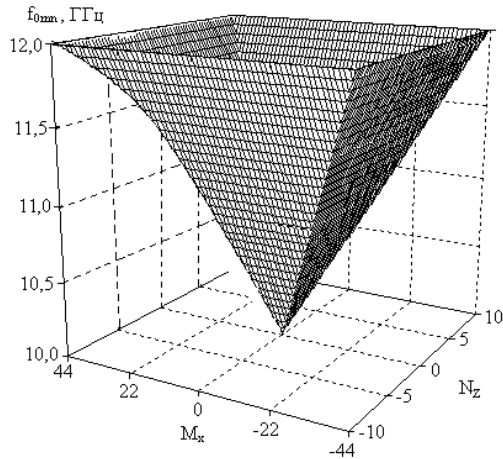


Рис. 1. Розподілення несучих частот по апертурі циліндричної ФАР

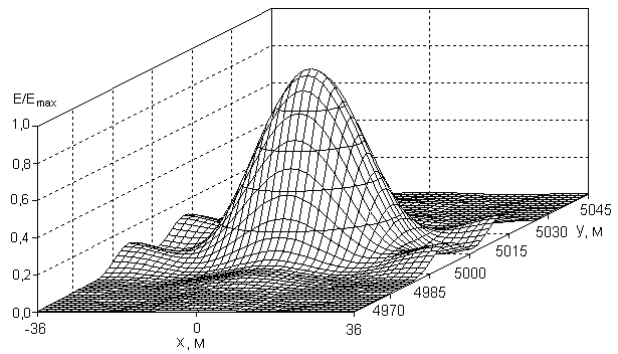


Рис. 2. БЧ ПЧС у напрямку нормалі до циліндричної ФАР у дальній зоні

З рис. 2 випливає, що крутизна переднього фронту 1,5 нс, рівень першої бічної пелюстки -10 дБ, тривалість одиночного імпульсу 5 нс, що відповідає вимогам, визначеним вище. Очевидно, що сформований БЧ ПЧС у випадку зміни азимута точки фокусування змінюватись не буде.

Як видно з рис. 2, часова структура сформованого сигналу така, що частина потужності “перетікає” у бокові пелюстки. Результати розрахунків показали, що пікове значення поля одиночного сигналу дорівнює 63 В/м. Якщо зіставити ці дані з напруженістю поля, достатньою для ФУ діодів, з урахуванням втрат ($E=70$ В/м; потужність, що випромінюється робочою зоною ЦФАР, $P_{випр.} > 0,2$ МВт), то можна уточнити потужність, яка підводиться до антени. Враховуючи, що на основну пелюстку сигналу припадає близько 90 % випроміненої потужності, та з урахуванням втрат у лініях передачі, загальна потужність, яка підводиться до всіх випромінювачів робочої зони ЦФАР, дорівнюватиме $P_{випр} = 0,25$ МВт або для одного випромінювача $P_{випр1} = 142$ Вт.

Висновки

Проаналізовано просторово-часові та енергетичні характеристики ЦФАР, призначених для ФУ наземних станцій радіозв’язку. Отримані залежності для розрахунку напруженості електричного поля БЧ ПЧС дозволили запропонувати алгоритм фазування ЦФАР.

Список використаних джерел

1. Связь в общевойсковом бое и армейских операциях [Текст]. – М. : Воениздат, 1985. – 237 с.
2. Воскресенский, Д. И. Выпуклые сканирующие антенны (основы теории и методы расчета) [Текст] / Д. И. Вознесенский, Л. И. Пономарев, В. С. Филиппов. – М. : Сов. радио, 1978. – 304 с.
3. Фокусировка электромагнитного излучения и ее применение в радиоэлектронных средствах СВЧ [Текст] / А. В. Гомозов, В. И. Гомозов, Г. В. Ермаков, С. В. Титов; под ред. В. И. Гомозова. – Х. : Городская типография, 2011. – 330 с.
4. Панов, В. В. Некоторые аспекты проблемы создания СВЧ-средств функционального поражения [Текст] / В. В. Панов, А. Н. Саркисян // Зарубежная радиоэлектроника. – 1993. – № 10–12. – С. 3–11.
5. Ясечко, М. Н. Излучение последовательностей многочастотных пространственно-временных сигналов цилиндрическими антенными решетками с заданными характеристиками [Текст] / М. Н. Ясечко, Г. В. Ермаков // Збірник наукових праць ХУПС. – Х. : ХУПС, 2011. – № 1 (27). – С. 119–122.

Стаття надійшла до редакції 19.02.2013 р.