

УДК 614.842.83

Каркоця А.В., Яценко І.П., Гненний О.П.,
Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФАЗОВАНИХ АНТЕННИХ РЕШІТОК ДЛЯ СИСТЕМ УКХ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ОРС ЦЗ УКРАЇНИ

В роботі розглядається проблема дослідження характеристик фазованих антенних решіток, які використовуються в радіолокації, радіонавігації та в авіаційних системах зв'язку, а також можливість застосування такого типу антен в системах радіозв'язку оперативно-рятувальної служби, як одного з шляхів підвищення ефективності таких систем.

Ключові слова: антенні решітки, адаптивні антени, діаграма направленості.

Актуальність роботи. Діяльність ОРС ЦЗ пов'язана з виконанням широкого спектру задач, які вимагають відповідного технічного та інформаційного забезпечення. Необхідно відмітити, що технічне оснащення та рівень організації зв'язку в ДСНС України знаходиться далеко не в найкращому стані. Особливо ця проблема стає дуже актуальною в останні роки, коли значно погіршилась радіоелектронна обстановка. Велика кількість радіоперешкод в ефірі практично паралізує канали радіозв'язку. Така ситуація пояснюється, перш за все, наявністю величезної кількості радіоелектронних засобів, велика частина яких експлуатується безконтрольно. В зв'язку з цим перед розробниками засобів радіозв'язку для відомчих організацій постає задача завадозахищеності каналів зв'язку. Одним із перспективних напрямків вирішення таких задач є розробка адаптивних антен, які являють собою фазовані антенні решітки. Така антена, маючи гостру діаграму направленості, здійснює механічне сканування простору в заданому просторовому куті та вибирає оптимальний напрямок на кореспондента. В цьому напрямку коефіцієнт підсилення антени буде максимальним, а в напрямках на перешкоди – мінімальним. На сьогоднішній день всі підрозділи ДСНС України для зв'язку на ультракоротких хвилях використовують найпростіші антени з круговою діаграмою направленості, які приймають корисні сигнали та сигнали перешкод з однаковим коефіцієнтом підсилення, що абсолютно не дозволяє зменшити рівень перешкоди. Запропонований тип антен з керованою діаграмою направленості не застосовується ні в одному підрозділі ДСНС України.

Постановка задачі. Сьогодні технічне вирішення антени з гострою діаграмою направленості являє собою антенну решітку, в вузлах якої розміщені найпростіші випромінювачі електромагнітної енергії. Кола живлення цих випромінювачів організовані так, що випромінювання кожного елемента когерентне з випромінюванням всіх елементів, в той час як фаза змінюється по заданому закону. Зміна розподілу фаз на елементах дозволяє зформувати діаграму направленості в заданому напрямку.

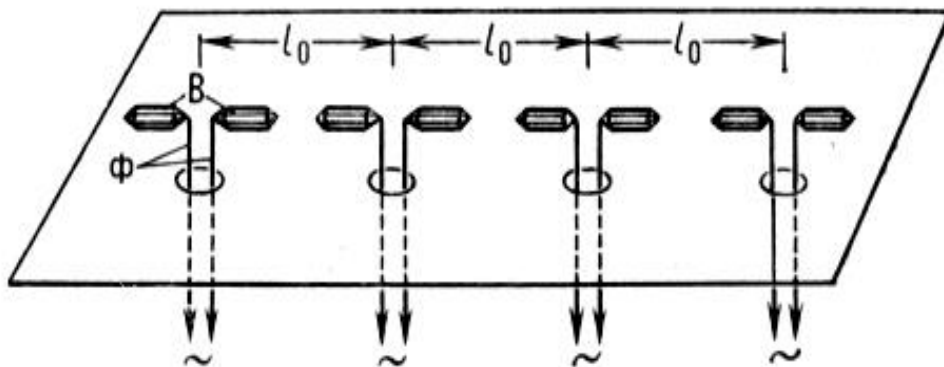


Рисунок 1 – Схема антенної решітки.

Оскільки радіозв'язок оперативно-рятувальної служби України здійснюється між радіостанціями, які розміщені на площині земної поверхні, тому діаграма направленості антени повинна переміщуватись в одній площині. Вхід антени може з'єднуватись з радіостанцією коаксіальним кабелем. Вібратори V розміщені на одній прямій, відстань між ними l_0 . (рис.1). В практичних конструкціях ця відстань, зазвичай, дорівнює довжині хвилі, або її половині. Між входом антени та виходом передавача розміщується фідер Φ [1,2]. Метою даної статті є аналіз характеристик фазованих антенних решіток для можливого подальшого застосування такого типу антен в підрозділах МНС України, що дозволить значно підвищити ефективність та надійність каналів УКХ зв'язку.

Вирішення задачі. Згідно з законами дифракції електромагнітних хвиль ширина діаграми антени визначається відношенням довжини хвилі до розміру антени:

$$\Delta\theta \cong \frac{\lambda}{L}, \quad (1)$$

де $\Delta\theta$ - ширина діаграми направленості, λ - довжина хвилі, L - розмір антени, [2].

Припустимо, лінійка випромінювачів складається із N вібраторів, d – відстань між сусідніми вібраторами. Тоді, щоб забезпечити нахил фазового фронту на кут θ_k , фазовий зсув між сусідніми вібраторами повинен бути

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta_k. \quad (2)$$

Різниця фаз між сусідніми випромінювачами повинна бути в межах:

$$-\pi < \Delta\varphi < \pi. \quad (3)$$

Якщо фазовий зсув виходить за визначені межі то це приведе до неоднозначності положення діаграми антени. Співставляючи формули (2) та (3) находимо межі коливання променя:

$$\theta_{k \min} = -\arcsin\left(\frac{\lambda}{2d}\right), \quad \theta_{k \max} = \arcsin\left(\frac{\lambda}{2d}\right) \quad (4)$$

Тепер можна визначити ширину сектора сканування променя:

$$\Delta\theta_k = \theta_{k \max} - \theta_{k \min} = 2\arcsin\left(\frac{\lambda}{2d}\right). \quad (5)$$

В разі $d \gg \lambda$ формула (5) набуває спрощеного вигляду:

$$\Delta\theta_k = \frac{\lambda}{d}. \quad (6)$$

При $d > \frac{\lambda}{2}$ за межами сектора коливання виникнуть додаткові дифракційні максимуми і діаграма антени перестане бути одно направленою. Разом з тим ці максимуми можна подавити, якщо вибрати елементарні випромінювачі такими, щоб індивідуальна діаграма направленості кожного елементарного випромінювача забезпечувала подавлення випромінювання за межами вибраного сектора коливання променя всієї антени в цілому.

Знайдемо відношення сектору коливання променя до ширини самого променя лінійки випромінювачів:

$$\frac{\Delta\theta_k}{\Delta\theta} = \frac{L}{d} = N, \quad (7)$$

де N – число випромінювачів антени.

Формула (7) визначає число елементів, з яких повинна складатись антена. Кожний елемент складається з випромінювача, або вібратора, фазообертача та кіл управління фазообертачем. Так, наприклад, антена з гострою діаграмою направленості повинна мати ширину променя $\Delta\theta = 1^\circ$. Якщо ж $\Delta\theta_k = 90^\circ$, тоді $N=90$, тобто конструкція лінійки вібраторів стає достатньо габаритною, а при використанні низькочастотних каналів зв'язку така антена може займати площу в декілька гектарів [3]. Сьогодні системи ультракороткохвильового зв'язку ДСНС України в основному переведені в частотний діапазон 430-450 МГц, що відповідає довжині хвилі 70см. Довжина одиночного найпростішого вібратора для такої довжини хвилі дорівнює 35 см, а площа антени для розрахованої вище кількості вібраторів дорівнює приблизно 10м^2 , що для антени стаціонарної радіостанції є доволі прийнятним.

В загальному випадку при збудженні антенних решіток амплітуда збудження елементів вибирається таким чином, щоб огинаюча співпадала з розподілом збудження відповідного безперервного розкриття. Можливо показати, що отримані при цьому діаграми направленості практично співпадають. Розглянемо можливість еквівалентності діаграм таких систем та необхідні для цього умови.

Позначимо $F(u)$ діаграму направленості лінійного вібратора, де $u = \pi \sin \theta$, а $\Phi(u)$ – діаграма направленості лінійної решітки. В цьому випадку, якщо $f(p)$ ($p = \frac{2x}{\lambda}$ – просторова координата) – безперервна функція, яка створює $F(u)$, то тоді:

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(p) e^{ipu} dp. \quad (8)$$

Звідки:

$$f(p) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(u) e^{-ipu} du. \quad (9)$$

Якщо врахувати, що $F(u)=0$ при $|u| > \pi$, то отримаємо:

$$f(p) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} F(u) e^{-ipu} du. \quad (10)$$

Діаграма направленості дискретної решітки, яка складається з $2N+1$ одиночних вібраторів, які знаходяться на відстані $\lambda/2$ один від одного має вид:

$$\Phi(u) = \sum_{-N}^N A_N e^{-inu}. \quad (11)$$

Оскільки функції $e^{-i\omega t}$ ортогональні на інтервалі $(-\pi, \pi)$, то:

$$A_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \Phi(u) e^{-inu} du. \quad (12)$$

Цей вираз співпадає з (10), якщо замінити p на n . Тому при $F(u)=\Phi(u)$ на інтервалі $(-\pi, \pi)$ маємо:

$$A_n = f(n). \quad (13)$$

Таким чином, рівняння $F(u)=\Phi(u)$ буде мати місце в тому випадку, коли перетворення Фур'є від $F(u)$ є огинаючою коефіцієнтів Фур'є функції $\Phi(u)$. Умова $f(p)=0$ при $|p|>M$ є також необхідною для того, щоб $F(u)=\Phi(u)$. Допустимо, що на інтервалі $-\pi \leq u \leq \pi$ визначена ортонормована система функцій $\{f_n(u)\}$ і $F(u)$ задовольняє початковим умовам. Тоді:

$$\sum \Upsilon_n f_n(u) \Rightarrow F(u), \text{ якщо } \Upsilon_n = \int_{-\pi}^{\pi} F(u) f_n(u) du. \quad (14)$$

Оскільки функції $\frac{e^{\pm inu}}{2\pi}$ при $n \rightarrow \infty$ створюють повну ортонормовану систему, то:

$$F(u) = \sum_{-\infty}^{+\infty} A_n e^{inu}, \quad A_n = \frac{\Upsilon_n}{\sqrt{2\pi}}. \quad (15)$$

При $|n|>M$ $A_n = 0$ тому:

$$F(u) = \sum_{-\infty}^{+\infty} A_n e^{inu} = \Phi(u). \quad (16)$$

Рівнянням (16) $F(u)$ визначено тільки для $|u| \leq \pi$ і дискретна решітка із $2M+1$ елементів відтворює діаграму $F(u)$ тільки на цьому інтервалі. За межами інтервалу реальних кутів рівність функцій $F(u)$ та $\Phi(u)$ порушується, що пов'язано з різницею між рядом та інтегралом Фур'є. Крім того, неможливо добитися, щоб за межами інтервалу реальних кутів $F(u)$ та $\Phi(u)$ зменшувались однаковим чином. Дійсно, діаграма решітки через свою періодичність взагалі не зменшується. На практиці внаслідок направленості випромінювачів решітки різниця між $F(u)$ та $\Phi(u)$ зменшується.

Висновки. Таким чином, дифракція хвиль при великому числі елементів фазованої антенної решітки формує головний промінь антени, який визначає той напрямок, в якому антена забезпечує максимум випромінювання, або найбільше підсилення при прийманні. Крім цього, діаграма направленості кожної антени має напрямки де її підсилення дорівнює нулю. Міняючи розподіл фаз на елементах антени, ми маємо можливість керувати напрямком нульового приймання. Тому фазована антена решітка може бути налаштована на максимум підсилення в потрібному напрямку та на нульове підсилення в напрямку на перешкоду. Використання таких антен суттєво підвищує надійність функціонування кожної радіотехнічної системи, в тому числі і системи зв'язку. Переведення системи ультракороткохвильового зв'язку оперативно-рятувальної служби з діапазону 148 МГц на більш високочастотний діапазон 450 МГц дозволяє розробити фазовану антенну решітку порівняно невеликих розмірів, яка може значно підвищити ефективність діючих систем зв'язку ДСНС України.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Воскресенский Д.И. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток. – М.: Радио и связь, 1994. – 592с.
2. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. Введение в теорию. –М.: Радио и связь, 1986.-448с.
3. Ротхаммель К. Антенны: Пер.с нем. -3-е изд., доп. – М: Энергия, 1979. -320с.
4. Настанова по службі зв'язку і АСУ пожежної охорони МВС України (додаток №2 до наказу №755 МВС України від 9.06.1992р)
5. Бурляй І.В., Орел Б.Б., Джулай О.М. Системи радіозв'язку та їх застосування оперативно-рятувальною службою. Учебний посібник. 2007р. -288с.