

КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СВОЙСТВ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЁТОК

к.т.н. Г.В. Ермаков, Г.С. Антонов, В.Ф. Шеянов
(представил д.т.н., проф. В.Д. Карлов)

Проведён качественный анализ свойств сверхширокополосных антенных решёток с использованием спектрального подхода. Представлены диаграммы направленности четырёхэлементной решетки. Приведен сравнительный анализ пространственных характеристик.

Несмотря на довольно развитый математический аппарат для расчета узкополосных антенных решеток (АР), расчет решеток, состоящих из излучателей сверхширокополосных (СШП) сигналов, представляет собой отдельную серьезную научно - техническую задачу. В литературе имеется лишь незначительное количество публикаций, посвященных расчету пространственных характеристик СШП АР. Однако эти работы связаны с практическими измерениями [2] или с модельными расчетами [1, 3, 4]. Поэтому целью данной статьи является получение аналитических выражений для пространственных характеристик излучателя и их качественный анализ.

Необходимо отметить, что при использовании СШП сигналов классические определения пространственных характеристик в целом теряют смысл, поскольку в этом случае форма излученного сигнала меняется при изменении положения точки наблюдения. Поэтому для описания направленных свойств излучателей необходимо использовать другие определения [3 - 5]. При использовании СШП сигналов используют понятие пиковой диаграммы направленности (ДН) – зависимость амплитуды поля от пространственных координат. Однако, при таком определении сказывается сильное влияние формы излученного сигнала на форму ДН. Чтобы уменьшить это влияние, используют понятие энергетической ДН. В этом случае оцениваются интегральные характеристики поля. Поскольку, как было указано выше, пространственные характеристики при излучении СШП сигналов зависят от временной формы импульса тока, возбуждающего антенну, то можно использовать понятие ДН формы излученного поля.

Следуя [5], можно найти аналитическое выражение для пиковой, энергетической и ДН формы четырехэлементной АР, состоящей из вибраторов, возбуждаемых прямоугольными видеоимпульсами тока.

Для расчета характеристик АР используем спектральный подход, суть которого состоит в следующем. Представим поле, точнее одну из его компонент, импульса в момент времени t под углом Θ в виде

$$E(t, \Theta) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} E(\omega, \Theta) \exp(-j\omega t) d\omega. \quad (1)$$

Частотная характеристика АР, состоящей из 4 элементов, имеет вид

$$\Phi(\omega, \Theta) = \cos \frac{kd \sin \Theta}{2} \cdot \cos \frac{kd \sin \Theta}{2}, \quad (2)$$

где d – расстояние между элементами; k – волновое число; Θ – угол места.

В этом случае

$$E(\omega, \Theta) = E(\omega, 0) \cdot \Phi(\omega, \Theta), \quad (3)$$

где $E(\omega, 0) = \frac{\sin\left(\frac{\omega \tau}{2}\right)}{\frac{\omega \tau}{2}}$ – спектр прямоугольного видеоимпульса;

τ – длительность импульса.

Выражение (1) с учетом (2) и (3) примет вид

$$\begin{aligned} E(t, \Theta) &= \frac{2 \cos \Theta}{\tau} \int_0^{\infty} \frac{\sin(\omega \tau) \cos^2\left(\frac{kd \sin \Theta}{2}\right) \cos(\omega t)}{\omega \tau} d\omega = \\ &= \frac{2 \cos \Theta}{\tau} \left[\begin{cases} \pi/2, & t < \tau/2 \\ \pi/4, & t = \tau/2 \\ 0, & t > \tau/2 \end{cases} \begin{cases} \pi/2, & d \sin \Theta / c < t < d \sin \Theta / c + \tau \\ \pi/4, & t = d \sin \Theta / c + \tau \\ 0, & t > d \sin \Theta / c + \tau \end{cases} \right] + \\ &+ \frac{2 \cos \Theta}{\tau} \times \left[\begin{cases} \pi/2, & 2d \sin \Theta / c < t < 2d \sin \Theta / c + \tau \\ \pi/4, & t = 2d \sin \Theta / c + \tau \\ 0, & t > 2d \sin \Theta / c + \tau \end{cases} \right] + \\ &+ \left[\begin{cases} \pi/2, & 3d \sin \Theta / c < t < 3d \sin \Theta / c + \tau \\ \pi/4, & t = 3d \sin \Theta / c + \tau \\ 0, & t > 3d \sin \Theta / c + \tau \end{cases} \right], \quad (4) \end{aligned}$$

где c – скорость света.

Как видно из (4), ДН формы АР существенно зависит от пространственных координат (рис. 1 - 3). На рис. 1 - 3 представлена ДН формы СШП сигнала при различных углах Θ и расстоянием между элементами решетки $d=1.5c\tau$ ($c\tau$ - пространственная длительность импульса, составляет 0,3 м). Из рис. 1 - 3 видно, что от угла Θ зависит запаздывание импульса, излучаемого одним вибратором, относительно импульса, излучаемого другим. Это за-

паздывание соседних излучателей равно $\frac{d}{c} \sin \Theta$. В результате сложения запаздывающих импульсов суммарный импульс в дальней зоне при различных углах Θ будет иметь разную длительность, и, что более важно, разную и весьма сложную форму. Из рис. 1 - 3 можно сделать еще один важный вывод. Увеличение энергии, излучаемой решеткой за счет суммирования полей возможно только в пределах главного лепестка ДН.

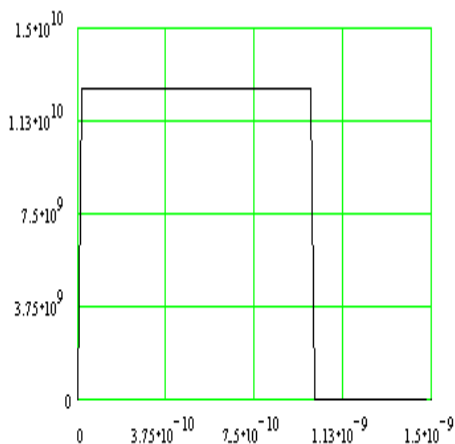


Рис. 1. ДН формы ($\Theta = 0^\circ$)

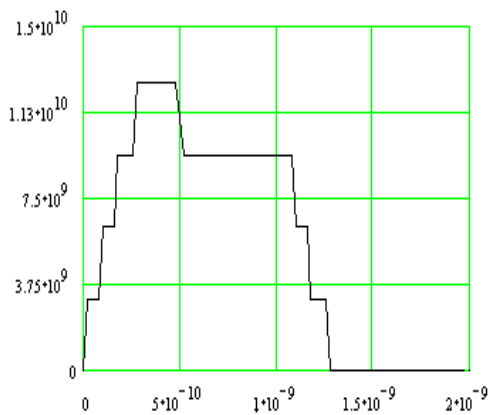


Рис. 2. ДН формы ($\Theta = 10^\circ, d < c\tau_n / \sin \Theta$)

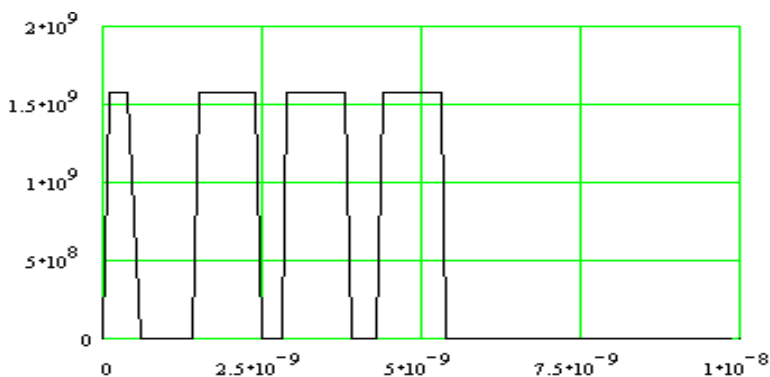


Рис. 3. ДН формы ($\Theta = 70^\circ, d > c\tau_n / \sin \Theta$)

На рис. 4 представлены пиковая (кривая 1) и энергетическая (кривая 2) ДН, определенные выше для той же четырехэлементной решетки. Из рис. 4

видно, что энергетическая ширина ДН составляет порядка 10^0 , а ширина пиковой ДН – 20^0 при расстоянии между вибраторами $d = 1,5\sigma_{\text{н}}$.

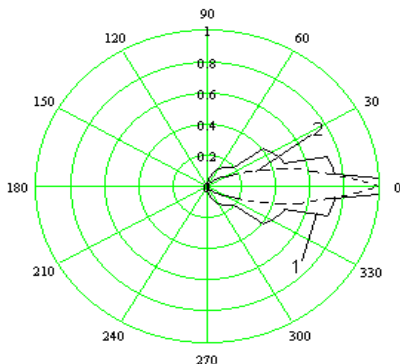


Рис. 4. ДН четырехэлементной АР
(1 – пиковая,
2 – энергетическая)

Различен у них также и боковой фон, который значительно больше у пиковой ДН. Это еще раз подчеркивает необходимость использования одновременно нескольких пространственных характеристик при описании свойств СШП излучателей.

Расчет характеристик АР, полученный аналитически при возбуждении вибраторов прямоугольными видеоимпульсами, позволяет качественно определить общие свойства, характерные для СШП АР. Однако, такой подход не позволяет выявить свойства АР, состоящей из конкретных излучателей, поскольку в выражении (4) фигурирует только множитель системы и не учитывается форма излучателя СШП сигналов. Для точного анализа необходимо использовать интегральные уравнения, вытекающие непосредственно из уравнения Максвелла и учитывающие геометрию антенны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Borysenko A., Borysenko E., Ivashchuk V., Prohorenko V. Transmitter / Receiver Pulse – Driven Antenna Array With Near – Field Beam – Forming For UWB Subsurface Imaging Radar // Proceedings of 2000 Antenna Applications Symposium IL. –2000. –P. 55 - 82.
2. Baum C., Farr E., Giri D. Review Of Impulse – Radiating Antennas // The Review Of Radio Science 1969 - 1999. – Oxford University Press. – 1999. – P. 403 - 439.
3. Хармут Х.Ф. Несинусоидальные волны в радиолокации и радиосвязи: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1985. – 376 с.
4. Hussain M.G.M. A Self–Sterring Array For Nonsinusoidal Waver // IEEE Tr. On Electromagn. Compat. –1986. –Vol. EMC-28. – №2. – P.96 - 104.
5. Воскресенский Д.И., Овчинникова Е.В. Характеристики сканирующих антенн сверхкоротких импульсов, основанные на спектральном анализе // Антенны. – 2000. – Вып.3(46). – С. 17 - 26.

Поступила в редколлегию 22.06.2001