

КРАТКИЕ
СООБЩЕНИЯ

УДК 621.396.677

АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫЙ СИНТЕЗ АКУСТИЧЕСКОЙ
АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ НА КРУГОВОМ ЦИЛИНДРЕ

© 1995 г. Д. Д. Габриэльян, С. Е. Мищенко

Ростовское высшее военное командно-инженерное училище ракетных войск
344027 Ростов-на-Дону, РВВКИУ, НИО

Поступила в редакцию 06.06.94 г.

Задача синтеза как акустических, так и электромагнитных антенных решеток (АР) на телах сложной формы по заданной комплексной диаграмме направленности (ДН) могут рассматриваться как формальные задачи аппроксимации [1]. При этом парциальные ДН излучателей АР определяются в результате экспериментальных исследований или описываются зависимостями, не в полной мере учитывающими заданные граничные условия [1, 2]. В то же время решение таких задач в строгой постановке представляет интерес как в научном, так и практическом плане.

Цель настоящей работы – получение аналитических соотношений, позволяющих решить задачу амплитудно-фазового синтеза дуговой волноводной АР, расположенной на поверхности кругового цилиндра.

Рассмотрим размещенную на цилиндре радиуса a M -элементную дуговую АР волноводных излучателей, угловые положения и размеры которых определяются параметрами φ_m и $\Delta\varphi$ соответственно ($m = 1, \dots, M$). Геометрия задачи приведена на рис. 1. Множитель $\exp(-i\omega t)$, описывающий зависимость звукового давления от времени, опущен.

Диаграмма направленности $F(\varphi)$ возбуждаемого АР скалярного поля u определяется соотношением

$$F(\varphi) = \sum_{m=1}^M J_m \mu_m^\omega(\varphi), \quad (1)$$

где J_m – комплексная амплитуда колебательной скорости; $\mu_m^\omega(\varphi)$ – ДН m -го излучателя (парциальная ДН).

На основе работ [3, 4] для $\mu_m^\omega(\varphi)$ могут быть записаны следующие соотношения:

$$\mu_m^D(\varphi) = \sum_{p=0}^{\infty} \epsilon_p i^p \cos(p\Delta\varphi/2) \cos(p\psi_m) \times \{ H_p^{(2)}(ka) [(\pi/\Delta\varphi)^2 - p^2] \}^{-1}, \quad \omega = D \quad (2)$$

для граничных условий $u|_L = 0$ и

$$\mu_m^N(\varphi) = \sum_{p=0}^{\infty} \epsilon_p i^p \cos(p\Delta\varphi/2) \cos(p\psi_m) \times \{ H_p^{(2)'}(ka) \}^{-1}, \quad \omega = N \quad (3)$$

для граничных условий $\partial u / \partial n|_L = 0$. Здесь L – контур цилиндра; $\partial / \partial n$ – производная по нормали к контуру L ; $\psi_m = \varphi_m - \varphi + \Delta\varphi/2$; ϵ_p – числа Неймана; $H_p^{(2)}(\cdot)$, $H_p^{(2)' }(\cdot)$ – функция Ганкеля p -го порядка второго рода и ее первая производная соответственно, k – волновое число.

Решение задачи амплитудно-фазового синтеза АР вариационным методом по известной комплексной ДН $F(\varphi)$ позволяет представить искомое распределение в виде [1]

$$J_m = J_m^{(0)} + (\beta_1 + i\beta_2) J_m^{(1)} + \beta_3 J_m^{(2)}, \quad m = 1, \dots, M. \quad (4)$$

В соотношении (4) $J_m^{(i)}$ ($i = 0, 1, 2$) определяются из решения соответствующих систем уравнений:

$$\alpha J_m^{(0)} + \sum_{r=1}^M J_m^{(0)} S_{mr}^\omega = \eta_m^\omega, \quad m = 1, \dots, M, \quad (5)$$

$$\alpha J_m^{(1)} + \sum_{r=1}^M J_m^{(1)} S_{mr}^\omega = -\mu_m^{\omega*}(\varphi_0), \quad m = 1, \dots, M, \quad (6)$$

$$\alpha J_m^{(2)} + \sum_{r=1}^M J_m^{(2)} S_{mr}^\omega = -d\mu_m^{\omega*}(\varphi) / d\varphi|_{\varphi=\varphi_0}, \quad m = 1, \dots, M, \quad (7)$$

в которых $\eta_m^\omega = \int_{-\pi}^{\pi} F(\varphi) \mu_m^{\omega*}(\varphi) d\varphi$; $S_{mr}^\omega = \int_{-\pi}^{\pi} \mu_m^\omega(\varphi) \mu_r^{\omega*}(\varphi) d\varphi$; φ_0 – угловое положение главного максимума ДН; * – знак комплексного

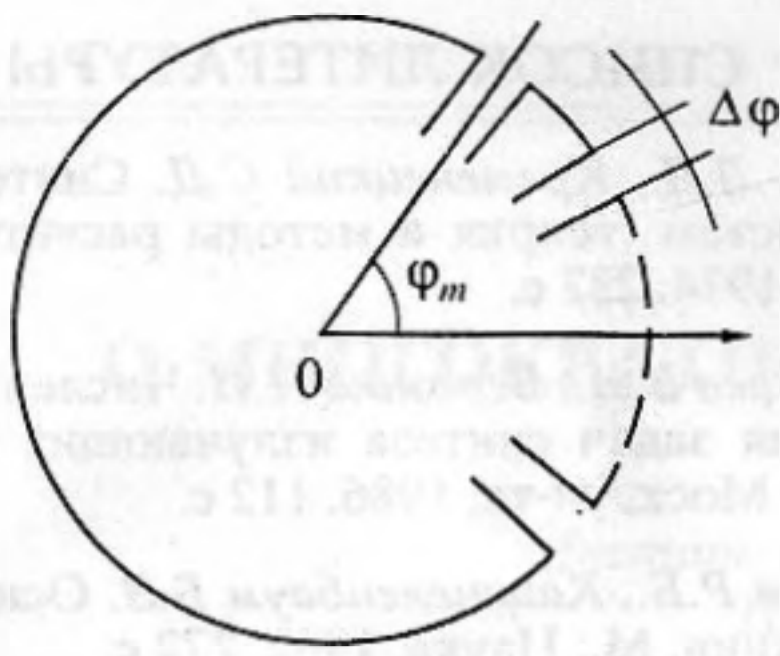


Рис. 1. Геометрия задачи.

сопряжения. Методика определения параметров α , β_1 , β_2 и β_3 изложена в [1].

С учетом выражений (2) и (3) коэффициенты S_{mr}^ω могут быть легко получены и записываются в виде

$$S_{mr}^D = \pi \sum_{p=0}^{\infty} \epsilon_p^3 \cos^2(p\Delta\phi/2) \cos [p(\phi_m - \phi_r)] \times \{H_p^{(2)}(ka) H_p^{(2)*}(ka) [(\pi/\Delta\phi)^2 - p^2]^2\}^{-1}, \quad \omega = D, \quad m, r = 1, \dots, M; \quad (8)$$

$$S_{mr}^N = \pi \sum_{p=0}^{\infty} \epsilon_p^3 \cos^2(p\Delta\phi/2) \cos [p(\phi_m - \phi_r)] \times \{H_p^{(2)'}(ka) H_p^{(2)'}(ka)\}^{-1}, \quad \omega = N, \quad m, r = 1, \dots, M. \quad (9)$$

Правые части третьей системы уравнений также могут быть записаны аналитически на основе выражений (2) и (3)

$$d\mu_m^{D*}(\phi)/d\phi|_{\phi=\phi_0} = - \sum_{p=0}^{\infty} \epsilon_p (-i)^p p \cos(p\Delta\phi/2) \times \sin [p(\phi_m - \phi_0 + \Delta\phi/2)] \times \{H_p^{(2)}(ka) [(\pi/\Delta\phi)^2 - p^2]\}^{-1}, \quad \omega = D; \quad (10)$$

$$d\mu_m^{N*}(\phi)/d\phi|_{\phi=\phi_0} = - \sum_{p=0}^{\infty} \epsilon_p (-i)^p p \cos(p\Delta\phi/2) \times \sin [p(\phi_m - \phi_0 + \Delta\phi/2)] \{H_p^{(2)'}(ka)\}^{-1}, \quad \omega = N. \quad (11)$$

Простая зависимость парциальных ДН по ϕ позволяет для любой аналитически заданной функции $F(\phi)$ найти коэффициенты η_m^ω .

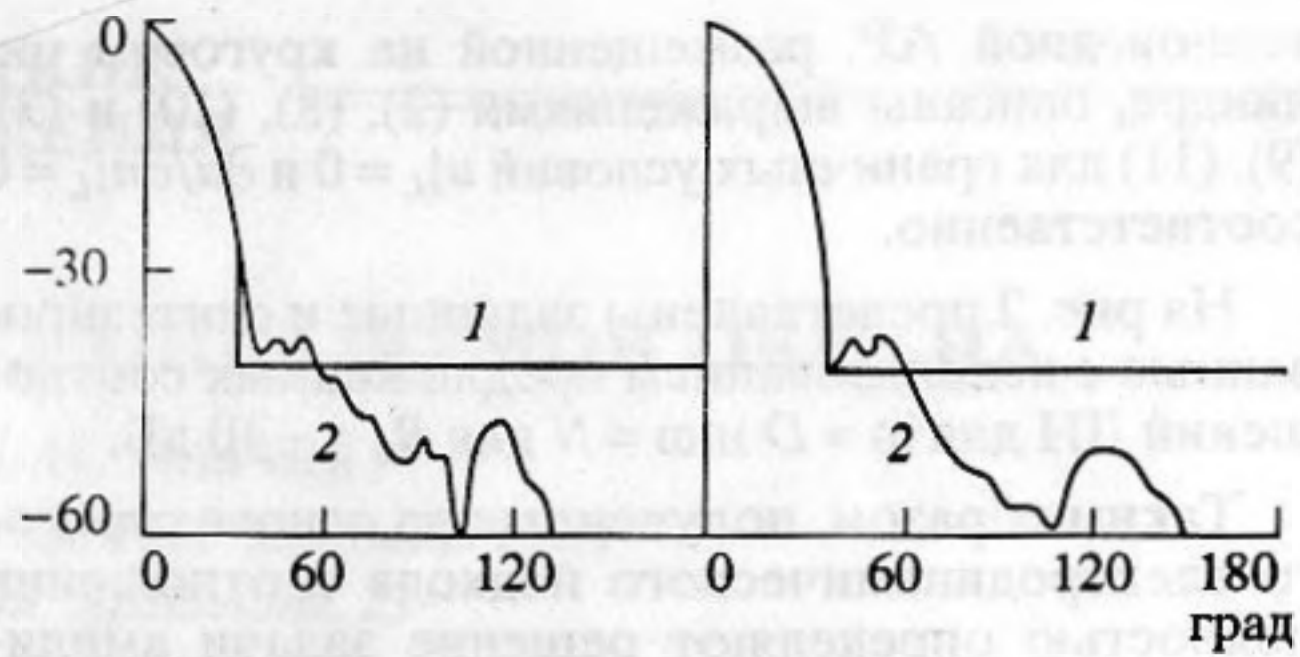


Рис. 2. Заданные (1) и синтезированные с использованием предложенных соотношений (2) диаграммы направленности. а - $\omega = D$, б - $\omega = N$.

Полученные в явном виде выражения для коэффициентов систем уравнений (5), (6) и (7) могут быть использованы при составлении вычислительного алгоритма решения задачи амплитудно-фазового синтеза дуговой волноводной АР, расположенной на поверхности кругового цилиндра.

В качестве примера рассмотрим решение задачи амплитудно-фазового синтеза безлепестковой ДН вида

$$F(\phi) = \begin{cases} \cos(g\phi), & -20^\circ \leq \phi \leq 20^\circ \\ R_6, & -180^\circ \leq \phi \leq -20^\circ, \\ & 20^\circ \leq \phi \leq 180^\circ, \end{cases} \quad (12)$$

где $g = \arccos(R_6)/20^\circ$, R_6 - уровень бокового излучения дуговой АР, состоящей из $M = 28$ волноводов, расположенной на цилиндре радиуса $a = 5\lambda$.

Для данной ДН аналитическое представление коэффициентов η_m^ω может быть записано в виде:

$$\eta_m^D = 2g \sum_{p=0}^{\infty} \epsilon_p (-i)^p \cos(p\Delta\phi/2) \sin(\pi g) \times \cos [p(\phi_m + \Delta\phi/2)] \times \{H_p^{(2)*}(ka) [(\pi/\Delta\phi)^2 - p^2] (g^2 - p^2)\}^{-1}, \quad \omega = D, \quad m, r = 1, \dots, M; \quad (13)$$

$$\eta_m^N = 2g \sum_{p=0}^{\infty} \epsilon_p (-i)^p \cos(p\Delta\phi/2) \sin(\pi g) \times \cos [p(\phi_m + \Delta\phi/2)] \times \{H_p^{(2)'}(ka) (g^2 - p^2)\}^{-1}, \quad \omega = N, \quad m, r = 1, \dots, M. \quad (14)$$

Остальные коэффициенты, определяющие решение задачи амплитудно-фазового синтеза дуговой

волноводной АР, размещенной на круговом цилиндре, описаны выражениями (2), (8), (10) и (3), (9), (11) для граничных условий $u|_L = 0$ и $\partial u/\partial n|_L = 0$ соответственно.

На рис. 2 представлены заданные и синтезированные с использованием предложенных соотношений ДН для $\omega = D$ и $\omega = N$ для $R_0 = -40$ дБ.

Таким образом, полученные на основе строгого электродинамического подхода соотношения полностью определяют решение задачи амплитудно-фазового синтеза дуговой волноводной АР, расположенной на поверхности кругового цилиндра, и позволяют построить эффективный вычислительный алгоритм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахрах Л.Д., Кременецкий С.Д. Синтез излучающих систем (теория и методы расчета). М.: Сов. радио, 1974. 232 с.
2. Дмитриев В.И., Березина Н.И. Численные методы решения задач синтеза излучающих систем. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 112 с.
3. Ваганов Р.Б., Каценеленбаум Б.З. Основы теории дифракции. М.: Наука, 1982. 272 с.
4. Габриэльян Д.Д., Звездина М.Ю. Излучение поверхностных антенн на теле сложной формы больших волновых размеров. // Акуст. журн. 1993. Т. 39. № 6. С. 1030 - 1036.