

СТАТИСТИЧЕСКИЙ ФАЗОВЫЙ СИНТЕЗ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Е.Д. Прилепский

(Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба)

Статья посвящена задаче формирования диаграммы направленности антенной решетки за счет регулировки фаз на ее элементах. Используется статистический метод синтеза, который допускает дискретную регулировку фаз.

статистический фазовый синтез, антенная решетка

Постановка проблемы и анализ литературы. Основная задача, решаемая с помощью фазированной антенной решетки (ФАР) – электрическое безинерционное управление положением луча в пространстве [1]. Однако в ФАР имеется возможность электрическим путем управлять не только положением луча, но и формой диаграммы направленности (ДН) антенны. Это позволяет с помощью ФАР решать широкий круг радиолокационных задач. Отметим, в качестве примера, возможность ослабления боковых лепестков диаграммы направленности передающего канала активной ФАР, которая в режиме передачи имеет равномерное амплитудное возбуждение по раскрытию и, как следствие этого – большие лепестки, т.е. большой уровень мощности обратного рассеяния от подстилающей поверхности.

Задача формирования ДН антенных решеток за счет целенаправленной регулировки фаз на их элементах – это задача фазового синтеза [2 – 5].

Отметим возникающие здесь трудности: во-первых, нелинейная зависимость ДН от фаз токов возбуждения; во-вторых, невозможность в некоторых случаях распространить решения, полученные для непрерывной регулировки фаз, на дискретную регулировку и, наконец, для реализации фазового синтеза нужно обеспечить предельное уменьшение объема запоминаемой информации в вычислителе, что возможно при переходе к бинарнофазовым решениям задачи синтеза, когда фаза принимает два значения.

Целью настоящей статьи является развитие статистического метода фазового синтеза в классе бинарнофазовых возбуждений ФАР.

Основные соотношения и формулировки. Будем считать, что диаграмма направленности антенных элементов ФАР изотропны с незави-

сящей от углов поляризаацией. При этом ДН линейной эквидистантной ФАР из N элементов описывается выражением

$$F(\nu) = \sum_n I_n \exp(in \nu + i\varphi_n), \quad (1)$$

где I_n и φ_n – амплитуда и фаза тока n -го антенного элемента соответственно; n – дискретная переменная; $\nu = 2\pi d \lambda^{-1} \sin \theta$ – обобщенная переменная; d – расстояние между элементами; θ – угол, отсчитываемый от нормали к оси решетки; λ – длина волны.

Предположим, что фазы φ_n могут принимать только два значения: 0 и π . Они выбираются случайно и описываются статистикой:

$$\varphi_n = \begin{cases} 0 & \text{с вероятностью } p_n; \\ \pi & \text{с вероятностью } q_n = (1 - p_n). \end{cases}$$

Тогда среднее значение $F(\nu)$ запишется так:

$$\langle F(\nu) \rangle = \sum_n I_n (2p_n - 1) \exp(in \nu). \quad (2)$$

Для уменьшения уровня боковых лепестков синтезируемой ФАР выберем эталонную ДН с низким уровнем боковых лепестков

$$F^0(\nu) = \sum_n I_n^0 \exp(in \nu + i\varphi_n^0), \quad (3)$$

где I_n^0 и φ_n^0 – заданные амплитуда и фаза тока n -го антенного элемента, причем амплитудное распределение I_n^0 имеет более сложный для реализации вид, чем распределение I_n синтезируемой ФАР.

Воспользуемся вариантом фазового синтеза (токовое приближение), который сводится к выполнению условия:

$$I_n^0 = I_n (2p_n - 1), \quad n = 1, 2, \dots, N. \quad (4)$$

Заметим, что в результате синтеза получаем реализацию синтезируемой ДН $F(\nu)$, совпадающей с эталонной с точностью до случайной части диаграммы, дисперсия которой тем меньше, чем больше число элементов ФАР.

Пусть у синтезируемой ФАР будет равноамплитудное токовое возбуждение $I_n = I$.

Сделаем в выражении (4) замену $A_n = I_n^0 / I$. Тогда вероятность того, что фаза n -го элемента равна 0 есть $p_n = 0,5(1 + A_n)$, а вероятность того,

что фаза равна $\pi - q_n = (1 - p_n) = 0,5(1 - A_n)$. Разместим элементы ФАР на оси x так, что центр ФАР находится в точке $x = 0$, а общая длина решетки равна L .

Далее будем рассматривать ФАР с симметричным распределением амплитуд и фаз, что позволяет ограничиться областью $0 \leq x \leq L/2$. Понятно, что плотность распределения элементов синтезируемой ФАР с фазой π равна: $q(x) = LN^{-1}dn/dx$.

Отсюда число элементов с фазой π на интервале $(0, x)$ равно

$$n(x) = \frac{N}{L} \int_0^x q(x) dx = \frac{N}{2L} \int_0^x [1 - A(x)] dx, \quad (5)$$

где $A(x)$ – непрерывный аналог A_n .

Рассмотрим пример фазового синтеза. Выберем в качестве эталонного амплитудного распределения

$$A(x) = (1 - a) + a \cos(2\pi L^{-1}x). \quad (6)$$

Для этого распределения число элементов синтезируемой ФАР с фазой π на интервале $(0, x)$ равно

$$n(x) = \frac{Na}{2L} \int_0^x [1 - \cos(2\pi L^{-1}x)] dx = \frac{Na}{2L} \left(x - \frac{L}{2\pi} \sin \frac{2\pi x}{L} \right). \quad (7)$$

Полное число переворотов фазы на половине длины ФАР получится при $x = L/2$ и равно $n_0 = Na/4$. Чтобы найти положение элементов с фазой π , нужно решить уравнения:

$$n(x) = [n_0], n(x) = [n_0 - 1], \dots, n(x) = 1,$$

где $[z]$ – целая часть z .

Решение этих уравнений x_i дает номера элементов с фазой π , считая от середины решетки: $n_i = Nx_i / L, i = 1, 2, \dots, [n_0]$.

Для иллюстрации на рис. 1 приведена ДН синтезированной ФАР при $N = 128$; $a = 0,2$; $d = \lambda/2$; $n_i = 30, 39, 46, 52, 57, 62$ с уровнем первого бокового лепестка – 19,36 дБ (уровень этого лепестка у синфазной равноамплитудной ФАР – 13,26 дБ).

При этом увеличение ширины основного лепестка составляет 17% по сравнению с равноамплитудной ФАР.

Выводы. Отметим, что когда для реализации фазового синтеза используется постоянная память вычислителя фаз, для предельного уменьшения объема запоминаемой информации целесообразно использовать рассмотренные в данной работе бинарнофазовые распределения

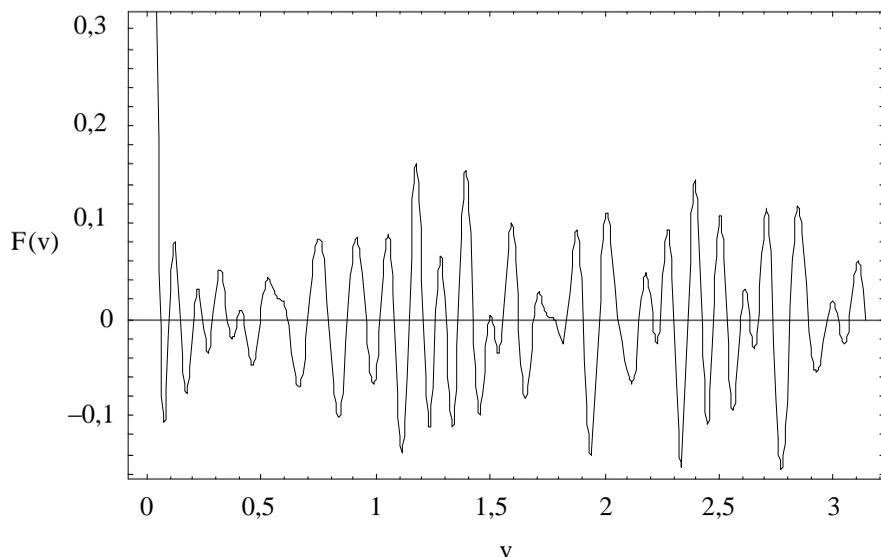


Рис. 1. Синтезированная диаграмма направленности антенной решетки с бинарнофазовым токовым возбуждением

со значениями 0 и π . Кроме того, решение задачи фазового синтеза фактически не требует случайного поиска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенберг Т.З. Антенны ультракоротких волн. – М.: Связьиздат, 1957. – 384 с.
2. Бахрах Л.Д., Кременецкий С.Д. Синтез излучающих систем. Теория и методы расчета. – М.: Сов. радио, 1974. – 232 с.
3. Залкин Е.Г., Соколов В.Г. Методы синтеза антенн. – М.: Сов. радио, 1980. – 285 с.
4. Кашин В.А. Статистический синтез антенных решеток // Радиотехника и электроника. – 1971. – Т. 16, № 11. – С. 2082-2090.
5. Кашин В.А. Методы фазового синтеза антенных решеток // Зарубежная радиоэлектроника: успехи современной радиоэлектроники. – 1997. – № 1. – С. 47-60.

Поступила 12.01.2006

Рецензент: доктор технических наук, профессор А.И. Стрелков,
Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба.