

# ФОРМИРОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ЦИФРОВОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Конопелько Я.Д., Егоров А.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Матюшков А.Л. – к.т.н., доцент

В работе рассматриваются основные принципы функционирования фазированных антенных решеток и методы формирования диаграммы направленности. Рассматриваются алгоритмы формирования лучей диаграммы направленности, коррекции межканального рассогласования приемных каналов в цифровой антенной решетке. А также решается задача построения алгоритма, структурной схемы и математической модели диаграммообразующей схемы РЛС кругового обзора.

Применение фазированных антенных решеток в радиолокационных системах имеет многолетнюю историю, однако развитие элементной базы позволяет расширить область их применения. Раньше создание таких систем требовало применение большого количества устройств, по этой причине ФАР использовались исключительно в больших стационарных радарх. Достижения в методах проектирования ФАР дали возможность широкого внедрения в различные радиотехнические системы и комплексы. Принцип действия фазированной антенной решетки представлен на примере линейной ФАР на рисунке 1.

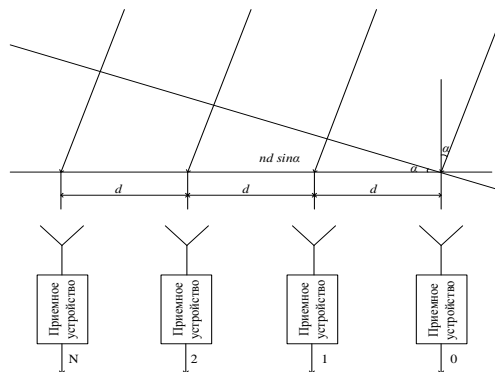


Рисунок 1 – Принцип действия линейной фазированной антенной решетки

Если расстояние между элементами равно  $d$  и фронт волны распространяется под углом  $\alpha$ , то при длине волны  $\lambda$  относительная фаза на элемент  $n$  равна  $(2\pi nd \sin(\alpha)/\lambda)$  [1]. Сигналы от  $N$  элементов складываются без какого-либо взвешивания и описываются формулой:

$$\dot{Y} = \sum_{n=1}^N \dot{X}_n e^{-i \frac{2\pi nd \sin \alpha}{\lambda}} \quad (1)$$

Из выражения (1) с учетом межканального рассогласования приемных каналов РЛС в общем виде формула формирования луча имеет вид:

$$\dot{B}_r = \sum_{n=1}^N \dot{A}_n \dot{P}_n \dot{C}_n \quad (2)$$

где  $\dot{A}_k$  – комплексный сигнал от  $n$ -ого элемента;  
 $\dot{P}_k$  – комплексная функция луча;  
 $\dot{C}_k$  – комплексный коэффициент коррекции амплитудно-фазовых характеристик антенной решетки.

При равномерном распределении лучей в секторе обзора по углу места  $S$  и шириной луча  $\beta$ , получим количество лучей  $k$  равное  $S/\beta$ . Для луча с максимумом  $\varepsilon_{max}$  с учетом относительной фазы на элементах ФАР комплексная функция луча представляет собой:

$$\dot{P}_k = |P_k| \left( \cos\left(\frac{2\pi \sin(\varepsilon_{max})d}{\lambda}\right) - i \sin\left(\frac{2\pi \sin(\varepsilon_{max})d}{\lambda}\right) \right) \quad (3)$$

где  $\varepsilon_{max}$  – максимум луча ДН  
 $|P_k|$  – амплитуда (при равно амплитудном суммировании равняется 1).

Стабильность параметров лучей диаграммы направленности, а следовательно, и точности измерения угла во многом зависят от идентичности амплитудно-фазовых характеристик приемного тракта. На практике сигнал при прохождении через приемный тракт РЛС подвергается различным дестабилизирующим факторам. Цифровой метод формирования ДН дает возможность компенсировать межканальное рассогласование приемных каналов [2]. Минимизация разброса между каналами производится путем соответствующей подстройки весового коэффициента, который приводит к минимальной ошибке  $\hat{\Delta}_{min}$ :

$$\hat{\Delta}_{min} = \hat{U}_0 - w\hat{U}_k \quad (4)$$

где  $\hat{U}_0$  – комплексная амплитуда сигнала на входе опорного канала;  
 $w$  – весовой поправочный коэффициент;  
 $\hat{U}_k$  – напряжение сигнала на выходе регулируемого сигнала

Комплексный весовой подстроечный коэффициент рассчитывается для всех  $N$  приемных каналов относительно одного из приемных каналов в режиме калибровки (на все приемные элементы подается равноамплитудный когерентный сигнал с частотой  $f$ ) и имеет следующий вид:

$$\hat{W}_k = \frac{\alpha_k \sum_{n=1}^N (x_0(n)x_k(n) - y_0(n)y_k(n))}{M} + j \frac{\alpha_k \sum_{n=1}^N (x_0(n)x_k(n) - y_0(n)y_k(n))}{M} \quad (5)$$

где  $k$  – номер канала;  
 $M$  – количество дискретов, используемых для вычисления весового коэффициента;  
 $\alpha_k$  – корректирующий множитель;  
 $x_0, y_0$  – действительная и мнимая части соответственно сигнала основного канала;  
 $x_k, y_k$  – действительная и мнимая части соответственно сигнала настраиваемого канала;

В результате моделирования, проведенного в среде MathWorks MATLAB для  $N=48$ ,  $S = 55^\circ$  и шириной луча  $\varepsilon_{0.5p} = 2.4^\circ$  получили диаграммы направленности для 23 лучей. Так же было проведено математическое моделирование алгоритма расчета весовых подстроечных коэффициентов позволяющих скорректировать амплитудно-фазовое рассогласование приемных каналов.

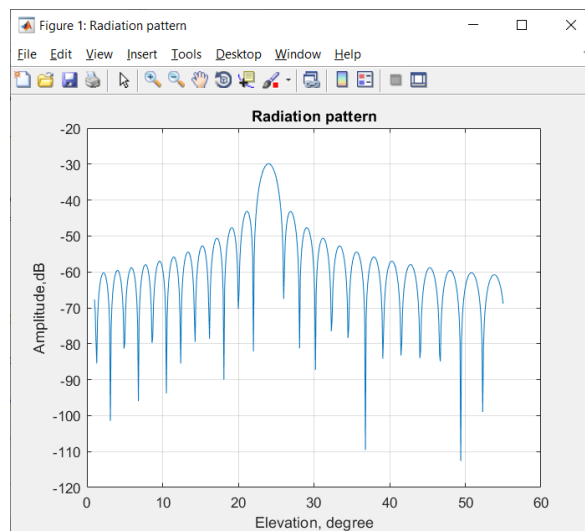


Рисунок 2 – Диаграмма направленности для луча  $r=10$  ( $\varepsilon_{max} = 24^\circ$ )

**Список использованных источников:**

1. Григорьев, Л.Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках/ Л.Н. Григорьев. – М.: Радиотехника, 2010 – 144 с.
2. Активные фазированные антенные решетки/ Под ред. Д.И. Воскресенского и А.И. Канащенкова. – М.: Радиотехника, 2004. – 408с.