

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Кафедра электронных вычислительных средств

УДК 621.396.67

Конопелько
Ярослав Денисович

Формирование диаграммы направленности цифровой фазированной
антенной решетки

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-40 80 01 – Элементы и устройства вычислитель-
ной техники и систем управления

Научный руководитель
А.Л. Матюшков, кандидат тех-
нических наук, доцент
кафедры ИРТ БГУИР

Минск, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.....	4
1 КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.....	5
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	8
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ.....	9

Библиотека БГУИР

ВВЕДЕНИЕ

История фазированных антенных решеток (ФАР) насчитывает уже много лет. С момента своего создания они прошли долгий путь развития и находят обширное применение в различных сферах, таких как радиосвязь, радиолокация, радионавигация, радиоастрономия. Раньше создание таких систем требовало применение большого количества устройств, по этой причине ФАР использовались исключительно в больших стационарных радарх. Достижения в разработке элементной базы дали возможность широкого внедрения в различные радиотехнические системы и комплексы. ФАР входят в состав различных подвижных и стационарных, корабельных, космических и авиационных систем, обеспечивающих обнаружение и сопровождение как воздушных, так и наземных типов целей. Несмотря на все это практический интерес к ним не ослабевает и на сегодняшний день.

В настоящее время антенна превращается из устройства в сложную систему. Способы ее классификации и построения меняются коренным образом. Становится необходимым подходить к развитию антенн, как к совершенствованию целой радиосистемы, включающей в себя не только устройства излучения и приема электромагнитных колебаний, но и устройства генерирования, формирования, а зачастую и обработки сигналов. Характерной тенденцией развития современных многофункциональных радиолокационных систем является постепенный переход к цифровым фазированным решеткам (ЦФАР).

Плотность электромагнитного окружения возрастает с количественным ростом случайных и преднамеренных помех. В связи с этим от радиолокационных систем требуют большей информативности и конкретности. В такой ситуации еще больше представляет интерес цифрового формирования диаграммы направленности фазированной антенной решетки, необходимого для повышения тактико-технических характеристик РЛС.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Развитие теории и техники ФАР в настоящий момент идет по следующим наиболее важным вопросам:

1 Использование в перспективных радиотехнических устройствах активных ФАР с большим количеством элементов новых типов.

2 Разработка и внедрение новых методов построения ФАР с раскрытием больших размеров.

3 Разработка и совершенствование радиотехнических элементов и методов, позволяющих ослабить взаимодействие между элементами ФАР.

4 Развитие методов синтеза ФАР и автоматизации их проектирования.

5 Разработка и внедрение методов обработки информации, принятой элементами ФАР, обеспечивающих, например, управление формой диаграммы направленности и автоматического фазирования элементов ФАР.

6 Разработка методов управления независимым движением отдельных лучей в многолучевых ФАР.

Поэтому целью данной магистерской диссертации выбрана тема «Формирование диаграммы направленности цифровой фазированной антенной решетки». Согласно техническому заданию, необходимо сформировать диаграмму направленности на прием для радиолокационной станции кругового обзора. Для достижения поставленной цели необходимо:

1 Провести обзор принципов функционирования фазированных антенных решеток и существующих решений вопроса формирования их диаграммы направленности.

2 Разработать алгоритм и структурную схему работы диаграммообразующей схемы.

3 Разработать математическую модель и провести ее исследование.

4 Проанализировать полученные результаты.

1 КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Принцип действия фазированной антенной решетки представлен на примере линейной ФАР на рисунке 1.

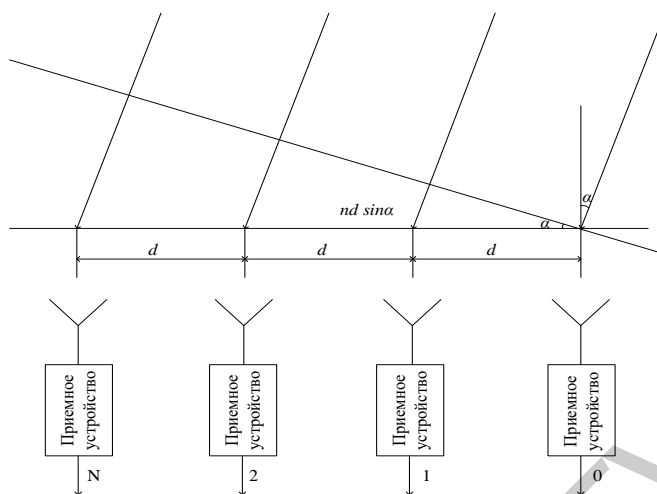


Рисунок 1 – Принцип действия линейной фазированной антенной решетки

Если расстояние между элементами равно d и фронт волны распространяется под углом α , то при длине волны λ 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 β , получим количество лучей k равное S/β . Для луча с максимумом ε_{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 ε_{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. Минимизация разброса между каналами производится путем соответствующей подстройки весового коэффициента, который приводит к минимальной ошибке $\dot{\Delta}_{min}$:

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

где \dot{U}_0 – комплексная амплитуда сигнала на входе опорного канала;

w – весовой поправочный коэффициент;

\dot{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:

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

где k – номер канала;

M – количество дискретов, используемых для вычисления весового коэффициента;

α_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;

На рисунке 2 показаны амплитуда входного сигнала на всех приемных каналах в дБ (слева) и амплитуды сигналов после применения алгоритма коррекции (справа).

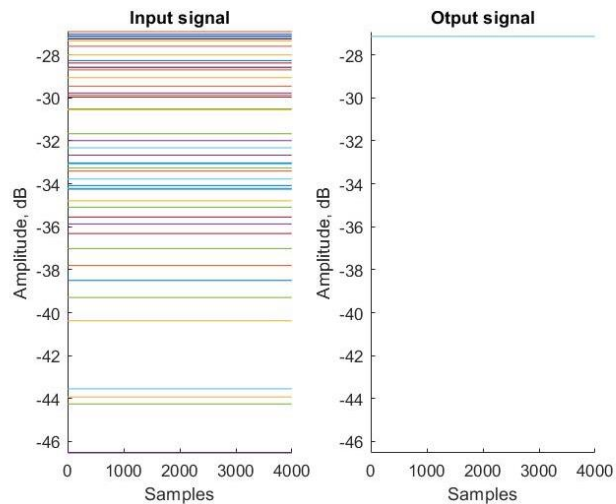


Рисунок 2 – Амплитудная коррекция каналов

На рисунке 3 изображены фазы входного сигнала в радианах до применения (слева) и после (справа) алгоритма коррекции.

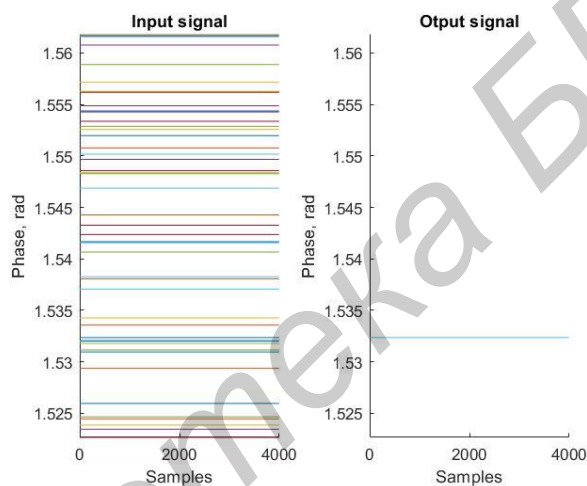


Рисунок 3 – Фазовая коррекция каналов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате теоретического исследования рассмотрен вопрос формирования диаграммы направленности фазированной антенной решетки в угломестной плоскости радиолокационной станции кругового обзора, а также действие дестабилизирующих факторов, влияющих на эффективность диаграммообразования.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. Проведен обзор принципов функционирования фазированных антенных решеток и существующих решений вопроса формирования их диаграммы направленности.
2. На основании анализа методов и средств цифрового формирования диаграммы направленности разработана структура алгоритма диаграммообразования
3. Разработан алгоритм и структурная схема работы диаграммообразующей схемы.
4. Разработана математическая модель и проведено ее исследование.

В результате математического моделирования, проведенного в среде MathWorks MATLAB для количества элементов антенной решетки $N = 48$, шириной диаграммы направленности $S = 55^\circ$ и шириной луча $\varepsilon_{0.5P} = 2.4^\circ$ были получены диаграммы направленности для 23 лучей. Так же было проведено математическое моделирование алгоритма расчета весовых подстрочных коэффициентов, позволяющих скорректировать амплитудно-фазовое рассогласование приемных каналов. Полученная модель в дальнейшем может быть использована для расчетов ФАР с различным количеством элементов, сектором и шириной луча.

Результаты моделирования показали актуальность цифрового формирования диаграммы направленности фазированной антенной решетки с точки зрения практической реализации, т.к. дает возможность формировать адаптивную диаграмму направленности нужной формы. Например, для формирования нуля диаграммы направленности в направлении источника активной шумовой помехи или для изменения формы диаграммы направленности при работе по различным типам целей.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

- [1] Конопелько, Я.Д. Формирование диаграммы направленности цифровой фазированной антенной решетки/ Я.Д. Конопелько, А.В. Егоров // 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»: материалы конференции по направлению: встраиваемые вычислительные системы реального времени, 21-24 апреля 2020/ Минск – 2020.
- [2] Егоров, А.В. Адаптивная фильтрация при обработке сигналов в трактах РЛС / А.В. Егоров, Я.Д. Конопелько // 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»: материалы конференции по направлению: встраиваемые вычислительные системы реального времени, 21-24 апреля 2020/ Минск – 2020.