

Каирланов Рустам Рахулаевич,

курсант

4 курс, факультет «Радиотехнических комплексов»

Ярославское Высшее Военное Училище ПВО

Россия, г. Ярославль.

Кибальский Виктор Михайлович,

курсант

4 курс, факультет «Радиотехнических комплексов»

Ярославское Высшее Военное Училище ПВО

Россия, г. Ярославль.

Кондратенко Анатолий Сергеевич,

курсант

4 курс, факультет «Радиотехнических комплексов»

Ярославское Высшее Военное Училище ПВО

Россия, г. Ярославль.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РЛС С ЦИФРОВОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ

Аннотация: Статья посвящена главным преимуществам ФАР перед другими типами антенн является осуществление электронного сканирования диаграммы направленности (ДН) антенны по заданному алгоритму, которое позволяет быстро и с высокой точностью изменять не только положение ДН в пространстве, но и ее форму. Скоростное электронное сканирование существенно улучшает технические характеристики радиолокационных систем, расширяет их функциональные возможности и позволяет создавать многоцелевые РЛС.

Ключевые слова: радиолокационная станция, фазированная антенная решетка, диаграмма направленности, аналого-цифровой преобразователь, цифро-аналоговый преобразователь

Annotation: the Article is devoted to the main advantages of HEADLIGHTS over other types of antennas is the implementation of electronic scanning of the radiation pattern (DN) of the antenna according to a given algorithm, which allows you to quickly and accurately change not only the position of the bottom in space, but also its shape. High-speed electronic scanning significantly improves the technical characteristics of radar systems, expands their functionality and allows you to create multi-purpose radar.

Key words: radar station, phased array antenna, polar pattern, analog-to-digital Converter, digital-to-analog Converter.

Проанализировав все современные локальные войны и военные конфликты, мы можем утверждать, что без средств воздушно-космического нападения не одно столкновения не обходиться.

В связи с этим возникает вопрос о защите от этих средств нападения. На современном этапе средства воздушного нападения летят на больших сверхзвуковых скоростях, это вынуждает искать новые решения, позволяющие за короткое время произвести обнаружение, захват и сопровождение цели.

В связи с этим актуальным является вопрос построения радиолокационных средств, которые были бы свободны от недостатков, свойственных РЛС с электромеханическим вращением антенных систем.

Цель статьи – рассмотреть антенны с электрическим сканированием пространства. Они могут обеспечить малое время обзора заданного сектора и высокий темп сопровождения, кроме того, они обладают зависимостью характеристик обнаружения и точности измерения угловых координат от угла отклонения луча от направления нормали плоской ФАР по азимуту.

Основой перспективных радиолокационных и радиоинформационных комплексов являются адаптивные антенные системы на базе ФАР, позволяющие создавать многолучевые приемные структуры, гибкие в управлении своими режимами работы и хорошо адаптирующиеся в условиях различного рода помех и изменяющейся электромагнитной обстановки. Кроме того, в таких антенных системах одновременно может производиться обработка сложных широкополосных сигналов. В зарубежной литературе такие антенные системы получили название «интеллектуальные антенны» («intelligentantennas»)

Радиолокационные и радиоинформационные системы будущего должны создаваться на основе интеллектуальных ФАР с более эффективными техническими и экономическими характеристиками, обладающими следующими преимуществами:

- замена громоздкой, тяжелой, нестабильной аналоговой диаграмм образующей схемы с управляемыми аналоговыми фазовращателями на высокоточные цифровые диаграмм образующие схемы;
- возможность электрически управлять в реальном масштабе времени не только фазовым распределением в раскрыве антенной решетки (что является также свойством обычных аналоговых ФАР), но и аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП), максимально приближенным к полю излучателей, осуществлять быстрое управление АФР в раскрыве как приемной, так и передающей ФАР;
- использование выходов и входов АЦП и ЦАП для полной цифровой обработки и формирования сложных широкополосных сигналов (фильтрация, модуляция,

демодуляция, кодирование, декодирование, маршрутизация информационных потоков).

Современный принцип построения ЦФАР рассмотрим на примере построения бортового ретранслятора.

Ниже рассмотрены принципы построения ЦФАР для бортового ретранслятора. Возможные варианты ее построения базируются как на основе существующей наиболее современной (первый вариант), так и предлагаемой перспективной (второй вариант) элементной базы техники АЦП и ЦАП цифровой обработки и формирования пространственно-временных сигналов. Оба варианта имеют одинаковую структуру построения, но существенно отличаются по конструктивной компоновке, массогабаритным характеристикам и потребляемой мощности, и, естественно, второй вариант обладает в этой части более высокими характеристиками, чем первый.



Рис. 1 Обобщенная схема ЦФАР (второй вариант)

Обобщенная структурная схема ЦФАР представлена на рис. 1. Компоненты структурных схем передающей и приемной частей подключаются к элементам антенного полотна (излучателям) через переключатели «Прием-Передача». Независимо от варианта построения ЦФАР антенное полотно имеет одинаковую структуру, определяемую характеристиками направленности и его конструктивной компоновкой.

Антенное полотно. Структурная схема антенного полотна представлена на рис. 2, а его топология - на рис. 3. Антенная решетка разбита на $N_{\Pi} = 256$ подрешеток, каждая из которых содержит $N_{\text{ЭП}} = 16$ элементов, так что общее число элементов решетки $N = N_{\text{ЭП}} N_{\Pi} = 4096$. Размер подрешетки по каждой координате (L_x или L_y) и соответственно число элементов $N_{\text{ЭП}}$ определяется, исходя из минимально допустимой ширины луча $\theta_{\Pi} = 30^\circ$ подрешетки, которая определяется угловыми размерами Земли при наблюдении ее с орбиты космического аппарата,

$$\theta_{\Pi} = \lambda / L_x,$$

где $\lambda = 4$ - длина волны в диапазоне рабочих частот ретранслятора;

$$L_x = N_{\text{ЭП}} d_x;$$

$d_x = \lambda/2$ шаг излучателей в решетке; $N_{\text{ЭП}}$ и $N_{\text{ЭП}}$ - число элементов подрешетки вдоль координаты x и y соответственно.

Легко убедиться, что выбор ; $N_{\text{ЭП}} = N_{\text{ЭП}} = 4$ обеспечивает требуемую ширину луча $\theta_{\Pi} = 30^\circ$ подрешетки.

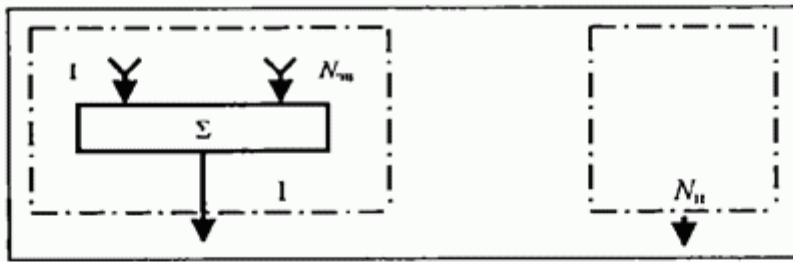


Рис. 2 Схема антенного полотна $N_{\text{ан}}=16$; $N_{\text{п}}=256$; $N=N_{\text{ан}} N_{\text{п}}=4096$

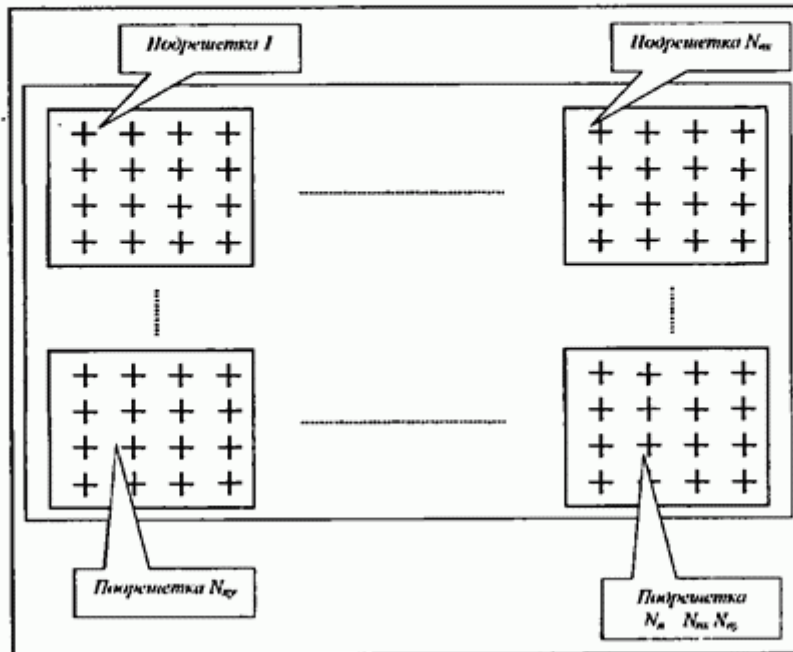


Рис. 3 Топология антенного полотна

Приемная часть. В ее состав входят:

- комплекс приема и цифрового преобразования, содержащий $N_2 = 64$ блоков приема и цифрового преобразования сигналов;
- блок предварительной частотно-временной обработки сигналов (ПЧВО), содержащий $N_2 = 64$ сигнальных процессоров ПЧВО;
- блок пространственной обработки сигналов (ПО);
- блок вычисления весовых векторов пространственной и предварительной частотно-временной обработки.

Комплекс приема и цифрового преобразования содержит $N_2 = 64$ блоков приема и цифрового преобразования сигналов, каждый из которых, в свою очередь, содержит $N_1 = 4$ пространственных каналов

и мультиплексор, их объединяющий для обработки в одном сигнальном процессоре ПЧВО.

Каждый пространственный канал содержит тракт приема и АЦП сигналов. Субблок приема и усиления сигналов одного пространственного канала занимает объем $35 - 60 \text{ см}^3$ при потребляемой мощности порядка $0,4-0,6 \text{ Вт}$. Перенос спектра ВЧ-сигналов выполняется с одним или двумя преобразованиями. Конструктивно субблок выполнен в виде ВЧ-модуля.

Блок предварительной частотно-временной обработки сигналов. Содержит $N_2 = 64$ сигнальных процессора ПЧВО. В каждом сигнальном процессоре ПЧВО для каждого из $N_1 = 4$ пространственных каналов производится предварительная частотно-временная обработка сигналов, заключающаяся в:

1. формировании $N_f = 6$ частотных каналов с полосой $\Delta f_1 = 64$ каждый в общей полосе частот $\Delta f = 30 \text{ МГц}$;
2. прореживании (децимации) выборок в каждом из $N_f = 6$ частотных каналов с полосой $\Delta f_1 = 5 \text{ МГц}$ в 8 раз.

Выходная информация каждого процессора НЧ содержит прореженные (следующие с частотой 5 МГц) выборочные значения $N_f = 24$ пространственных и узкополосных частотных каналов и $N_1 = 4$ пространственных широкополосных каналов (следующие с частотой 40 МГц)

Блок пространственной обработки сигналов. Он состоит из:

- блока формирования узкополосных лучей $N_y = 30$;
- блока формирования широкополосных лучей ($N_{ш} = 2$), обеспечивающие формирование 30-ти узкополосных лучей (с полосой $\Delta f_1 = 5 \text{ МГц}$);
- двух широкополосных лучей, при этом если для формирования одного луча достаточно 1-2 чипов, то для 30 лучей требуется (30-60) чипов, а для формирования двух широкополосных лучей - 20 чипов.

Передающая часть состоит из:

- блока цифрового формирования и усиления сигналов;
- блок-формирования цифрового пространственного сигнала.

Блок цифрового формирования и усиления сигналов содержит два квадратурных канала цифро-аналогового преобразования сигнала, каждый из которых состоит из собственно ЦАП и модулятора.

Блок-формирование цифрового пространственного сигнала. В цифровом виде формирует пространственную функцию модуляции излучаемого вектора входных сигналов $S(t)$, как суперпозицию векторов излучаемых сигналов $S_k(t)$ ($k=1,2,\dots,K$, $K=32$ луча)

Блок вычисления весовых векторов пространственного сигнала на передачу и на прием производит вычисления матриц Φ^+ и $W_{\text{прм}}$ на основе процедур, совпадающих или аналогичных процедуре псевдо обращения матрицы Φ волновых фронтов полезного и мешающих сигналов.

Проведенный анализ принципов построения цифровых адаптивных антенных решеток позволил определить основные технические решения ЦИФАР и возможные приложения в области радиолокационных и телекоммуникационных систем. Определены требования к трактам приема и аналого-цифрового преобразования сигналов. Рассмотрены алгоритмы цифровой обработки сигналов, позволяющие эффективно реализовать цифровую пространственно-частотно-временную обработку сигналов в крупноапертурных крупномодульных ЦИФАР на современной элементной базе. Важным аспектом обеспечения возможности организации такой обработки является организация двухэтапной процедуры пространственной обработки сигналов, при которой на первом этапе - внутри модульной обработке, организуется оптимальная адаптивная процедура подавления источников помех, воздействующих на боковые лепестки ДН-модуля, а на втором - межмодульной обработке. производится также адаптивное подавление источников помех, расположенных в главном луче ДН-модуля.

Это дает возможность выделять полезный сигнал в условиях большого числа помех без использования громоздкой процедуры пространственно-временной обработки сигналов. Для обеспечения высокой эффективности двухэтапной процедуры пространственной обработки сигналов предлагается условие выбора геометрических размеров и числа излучателей антенного модуля.

Использованные источники:

1. Воскресенский Д.И., Канащенков А.И. (ред.) «Активные фазированные антенные решетки», Москва: Радиотехника, 2004. - 488 с;
2. Гостюхин В.Л., Трусов В.Н., Гостюхин А.В. « Активные фазированные антенные решетки», Радиотехника, 2011. - 304 с.