

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГАОУ ВО «Сибирский
Федеральный Университет»
Барышев Руслан Александрович



«04» 03 2021 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Сибирский федеральный университет»

Диссертация «Методы цифрового диаграммоформирования для широкополосных антенных решеток» выполнена на кафедре «Радиотехника».

В период подготовки диссертации соискатель Ерохин Алексей Александрович обучался в очной аспирантуре Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет», кафедра «Радиотехника».

В 2012 г. окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» с присуждением степени магистра по направлению «Радиотехника». В 2016 г. окончил очную аспирантуру при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский федеральный университет».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2021 г. Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Сибирский федеральный университет».

Научный руководитель — Саломатов Юрий Петрович, профессор, кандидат технических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», кафедра «Радиотехника», заведующий кафедрой.

Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация Ерохина Алексея Александровича является научно-квалификационной работой, в которой решаются задачи по исследованию методов цифрового диаграммоформирования (ЦДФ) для цифровых фазированных антенных решеток (ЦФАР), по разработке методов частотно-независимого ЦФД, методов синтеза диаграммы направленности (ДН) ЦФАР с «нулями» в заданных направлениях, имеющих небольшую вычислительную сложность, по исследованию характеристик ЦФАР, в которых используются разработанные методы частотно-независимого ЦДФ.

В проведенных автором исследованиях получены следующие результаты: разработаны методы формирования частотно-независимой ДН ЦФАР с помощью временных и пространственных задержек, не требующие больших вычислительных затрат; получены аналитические выражения для расчёта весовых коэффициентов фильтров с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтров) для частотно-независимого ЦДФ с временной задержкой сигналов; получены аналитические выражения для расчета параметров частотно-независимых ЦФАР с пространственной задержкой сигналов; разработаны программы для ЭВМ – все это имеет значение для технических наук.

Актуальность темы

Использование цифровой обработки сигналов в фазированных антенных решетках позволяет реализовать цифровое формирование ДН различных форм, осуществлять их пространственное сканирование, вследствие чего стало возможным создание ЦФАР, получающих в настоящее время все более широкое применение в телекоммуникационных,

навигационных и радиолокационных системах, а также в системах радиомониторинга.

В зависимости от ширины полосы частот обрабатываемых сигналов ЦДФ может быть разделено на узкополосное и широкополосное ЦДФ, методы решения которых существенно различаются. В широкополосном ЦДФ можно выделить класс ЦФАР с частотно-независимыми ДН в широкой полосе частот. Частотно-независимой считают ДН, которая не изменяется в широкой полосе частот (с коэффициентом перекрытия диапазона частот более двух), формы главного и боковых лепестков ДН такой ЦФАР постоянны.

При работе в сверхширокой полосе частот необходимы цепи, обеспечивающие очень высокие скорости передачи и обработки данных, для реализации методов частотно-независимого ЦДФ. Применение существующих методов является вычислительно сложной задачей, особенно при большом количестве антенных элементов в ЦФАР и элементов линий с временной или пространственной задержками.

Таким образом, исследование путей решения задач широкополосного диаграммоформирования при помощи ЦФАР в настоящее время является актуальным.

Личное участие автора в получении результатов

Основные исследования, результаты которых представлены в диссертационной работе, были выполнены автором лично. Совместно с научным руководителем предложена структура ЦФАР с пространственной и временной задержками сигналов, обсуждались цели и задачи исследований, а также результаты работы. Личный вклад автора включает: разработку метода частотно-независимого ЦДФ с применением временных задержек, не требующего больших вычислительных затрат; расширение метода синтеза «нулей», с представлением результирующей ДН в виде суммы «парциальных» ДН на случай частотно-независимых ЦФАР; разработку

модели частотно-независимых ЦФАР, с применением временных задержек; разработку модели частотно-независимых ЦФАР, с применением пространственных задержек; выполнение численных и натуральных экспериментов по исследованию характеристик частотно-независимых ЦФАР.

Степень достоверности результатов

Результаты диссертационной работы Ерохина А.А. подтверждаются:

- корректным применением численных и аналитических методов;
- применением апробированных САПР при расчетах характеристик ЦФАР;
- использованием апробированных экспериментальных методик и высокоточного оборудования;
- соответствием полученных при исследовании результатов с результатами, опубликованными в литературе, результатами компьютерного моделирования и экспериментальных исследований.

Новизна результатов

В работе получены следующие новые результаты:

1. Реализован с новым качеством относительно ранее известных метод частотно-независимого ЦФД на основе временных задержек, при этом получены аналитические выражения для расчёта весовых коэффициентов КИХ-фильтров, обеспечивающие выполнение синтеза их коэффициентов без использования вычислительно-сложных процедур.
2. Усовершенствован относительно ранее известного метод частотно-независимого ЦФД на основе линий с пространственной задержкой, при этом получены аналитические выражения для расчета параметров логопериодических антенных решеток, выражения для выбора размеров АР, а также для коррекции фазового распределения в раскрыве такой АР.

3. Метод синтеза «нулей» в ДН узкополосной ЦФАР усовершенствован путем его расширения на случай частотно-независимой ЦФАР с использованием временных задержек. Предложены два способа реализации такого метода.

Практическая значимость диссертации и использование полученных результатов

1. Показано что, положение фазового центра (ФЦ) ДН ЦФАР с «нулями», в заданных направлениях, а также в случае адаптации с линейными ограничениями, сохраняет свое положение в заданном частотном диапазоне;

2. Статистическая теория антенн применена к ЦФАР для оценки средних характеристик ДН.

3. Разработаны методы формирования частотно-независимой ДН ЦФАР с помощью временных и пространственных задержек, не требующие больших вычислительных затрат;

4. Разработаны программы для ЭВМ, предназначенные для:

– синтеза ДН частотно-независимых ЦФАР, содержащих КИХ-фильтры;

– расчета коэффициентов КИХ-фильтров, по известному и предложенным методам, обеспечивающих реализацию необходимых частотных характеристик для получения глубоких провалов («нулей») в ДН ЦФАР;

– синтеза ДН дуговой частотно-независимой ЦФАР, составленной из логопериодических антенных решеток.

Ценность научных работ соискателя

Новизна и ценность исследований Ерохина А. А. подтверждается полученными свидетельствами о регистрации программ ЭВМ. Результаты исследований использованы в НИОКР, выполненных в ФГАОУ ВО

«Сибирский федеральный университет», АО «ИСС» имени академика М. Ф. Решетнёва», НИИ радиотехники и телекоммуникаций СПбГЭТУ (ЛЭТИ), о чём свидетельствуют соответствующие акты внедрения. Результаты работы докладывались и обсуждались на восьми российских и международных конференциях.

Соответствие требованиям пункта 14 Положения ВАК

Требования, установленные пунктом 14 Положения ВАК, выполнены: в диссертации автор ссылается на источники заимствования материалов, во Введении автор отметил, что часть результатов получена совместно с соавторами научных публикаций и в каждом оригинальном разделе диссертации привёл ссылки на работы.

Специальность, которой соответствует диссертация

Диссертация Ерохина Алексея Александровича соответствует специальности 05.12.07 «Антенны, СВЧ устройства и их технологии» в области исследования «Исследование и разработка новых антенных систем, активных и пассивных устройств СВЧ, в том числе управляющих, фазирующих, экранирующих и других, с существенно улучшенными параметрами» по п. 3 паспорта специальности.

Полнота изложенных материалов в печатных работах, опубликованных автором

По результатам исследований получены 3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ и опубликовано 13 научных работ, включая 8 статей в рекомендованных ВАК РФ изданиях, 4 в сборниках публикаций, индексируемых в наукометрической базе Scopus.

Статьи в журналах из перечня ВАК

1. Ерохин А.А., Саломатов Ю.П. Применение метода амплитудно-фазового синтеза диаграммы направленности для пространственного подав-

ления помех // Успехи современной радиоэлектроники, Т. 11, 2016. С. 38-42.

2. Ерохин А.А., Саломатов Ю.П. Цифровые антенные решетки с частотно-независимой диаграммой направленности // Известия высших учебных заведений. Физика. 2015. Т. 58. № 8-3. С. 68-70.

3. Ерохин А.А., Панько В.С., Саломатов Ю.П., Сугак М.И. Модель дуговой широкополосной антенной решетки КВ диапазона // Известия вузов. Физика. 2012. Т. 55. № 9-2. С. 64-65.

4. Ерохин А.А., Панько В.С., Саломатов Ю.П. Дуговая антенная решетка с постоянной формой диаграммы направленности в диапазоне частот 3-30 МГц // Радиотехника. 2013. № 6. С. 26-29.

5. Ерохин А.А., Саломатов Ю.П. Кольцевые антенные решетки с пространственной селекцией помех // Известия высших учебных заведений. Физика. 2013. Т. 56. № 8-2. С. 122-124.

6. Ерохин А.А., Саломатов Ю.П., Тараненко А.Ю. Фазовая характеристика направленности антенной решетки при пространственном подавлении помех // Успехи современной радиоэлектроники. 2015. № 10. С. 70-72.

7. Ерохин А.А., Гафаров Е.Р., Саломатов Ю.П. Частотно-независимое управление главным лепестком диаграммы направленности на основе КИХ-фильтров // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 2020. Т. 63. № 10. С. 608-619.

8. Ерохин А.А., Синтез "нулей" в диаграмме направленности частотно-независимой антенной решетки // Письма в журнал технической физики. 2021. Т. 47. № 7. С. 35-37.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020615187. Компьютерная модель дуговой частотно-независимой АР с использованием ЛПА / А.А. Ерохин, Е.Р. Гафаров – Заявка №2020613658. Дата поступления 27 марта 2020 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 18 мая 2020 г.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020618717. Программа для расчета характеристик частотно-независимых АР с КИХ-фильтрами / А.А. Ерохин – Заявка №2020617956. Дата поступления 20 июля 2020 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 4 августа 2020 г.

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020619579. Синтез нулей ДН частотно-независимой АР в заданных направлениях / А.А. Ерохин – Заявка №2020617955. Дата поступления 20 июля 2020 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 18 августа 2020 г.

Доклады в трудах конференций

12. Erokhin A.A., Gafarov E.R., Salomatov Yu.P. Frequency-Invariant Beamforming with Real FIR-filters // Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW). Divnomorskoe, Russia. 2019. pp. 132-135.

13. Erokhin A.A., Panko V. S., Salomatov Yu. P., Sugak M. I. System of Equations for Antenna Array Beam Pattern Nulling // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Moscow: National Research University "Higher School of Economics", Russia. 2016. pp. 1-4.

14. Erokhin A.A., Gafarov E.R., Salomatov Yu.P., Ushakov V.N. Simple pre-steering constraints for wideband LCMV-beamformer // 2019 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Tomsk, Russia. 2019. pp. 1-4.

15. Андреев А.Г., Ерохин А.А., Саломатов Ю.П., Штро П.В. Формирование «нулей» в диаграмме направленности антенной решетки // Электронные средства и системы управления: Материалы докладов X международной научно-практической конференции. Октябрь 2014. С. 132-136.

16. Erokhin A.A., Salomatov Yu.P. Statistical analysis of the power pattern of an adaptive antenna array // IEEE International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. Omsk, Russia. May 2015. pp. 21-23.

Диссертация «Методы цифрового диаграммоформирования для широкополосных антенных решеток» Ерохина Алексея Александровича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 — «Антенны, СВЧ устройства и их технологии».

Заключение принято на расширенном заседании научного семинара кафедры «Радиотехника».

Присутствовало на заседании – 23 чел. С правом решающего голоса – 12 чел. Результаты голосования «за» – 12 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 1 от 16.02.2021 г.

Патрин Геннадий Семёнович
Доктор физ.-мат. наук, профессор,
директор института инженерной физики
и радиоэлектроники.


