



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
«ВЕКТОР»

ПРЕДПРИЯТИЕ КОНЦЕРНА «ВЕГА»

ОКПО 07525192 ОГРН 1117847020400
ИНН 7813491943 КПП 781301001
ул. Академика Павлова, д. 14а,
Санкт-Петербург, 197376
Тел: +7 (812) 295-10-97, факс: +7 (812) 591-72-74
E-mail: nii@nii-vektor.ru, web: www.nii-vektor.ru



УТВЕРЖДАЮ

Врио генерального директора

К.Л. Чужбовский

«16» сентября 2021 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Ерохина Алексея Александровича «Методы цифрового диаграммоформирования
для широкополосных антенных решеток», представленную на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-
устройства и их технологии»

Актуальность темы диссертационной работы. Как известно, в современных радиотехнических системах применяются цифровые антенные решетки. При этом, существует тенденция увеличения рабочей полосы частот, для повышения скорости передачи информации. На текущем этапе развития цифровых антенных решеток достаточно хорошо проработаны задачи узкополосного диаграммоформирования, методы решения которых значительно отличаются от методов широкополосного диаграммоформирования.

Широкополосные сигналы, а вместе с тем и широкополосные цифровые антенные решетки, используются во множестве областей радиотехники, таких как дистанционное зондирование трехмерных структур, системах радиолокации, радионавигации, радиотомографии, связи и др. В ряде областей применения широкополосных цифровых антенных решеток актуальной задачей является поддержание формы диаграммы направленности неизменной в полосе частот (так называемая частотно-независимая диаграмма). Это необходимо, например, при проектировании многолучевых решеток, а также при их использовании в системах пеленгации и сопровождения целей по направлению.

На реализацию частотно-независимых диаграмм направлены методы широкополосного цифрового диаграммоформирования в основе которых лежат

численные методы, что требует на их выполнение больших временных затрат.

Все вышеизложенное обуславливает актуальность работ по разработке методов частотно-независимого цифрового диаграммоформирования с низкой вычислительной сложностью.

Содержание диссертации. Во *введении* приведено обоснование актуальности темы диссертационного исследования, сформулированы цели и задачи исследования, отмечена теоретическая и практическая значимости работы, приведены сведения о внедрении результатов работы, сформулированы положения, выносимые на защиту, показаны научная новизна и сведения об апробации работы, кратко описана структура диссертации.

В *первой главе* приводятся сведения о способах формирования частотно-независимых диаграмм направленности. Показано, что диаграмма направленности адаптивной антенной решетки представима в виде суммы парциальных диаграмм этой же решетки. Рассмотрены методы цифрового диаграммоформирования, позволяющие располагать «нули» диаграммы в требуемых направлениях. Сделаны выводы об ограниченной применимости методов узкополосного диаграммоформирования.

Вторая глава посвящена разработке методов цифрового диаграммоформирования и математических моделей частотно-независимых антенных решеток. Разработан метод в основе которого лежит применение линий с временной задержкой. Коэффициенты линий, полученные таким методом, являются действительными. Также разработан метод диаграммоформирования в основе которого лежит применение линий с пространственной задержкой. При использовании такого метода требуется только один весовой коэффициент для каждого канала решетки. Предложены структурные схемы широкополосных цифровых антенных решеток.

В *третьей главе* рассмотрен узкополосный метод синтеза «нулей» в диаграмме направленности цифровой антенной решетки. Сделан вывод о том, что положение фазового центра диаграммы с «нулями» в заранее выбранных положениях сохраняет свое положение относительно исходной диаграммы. Рассмотренный узкополосный метод расширен на случай частотно-независимых антенных решеток.

Четвертая глава содержит результаты проведенных численных и натурных экспериментов. Исследованы характеристики цифровых частотно-независимых антенных решеток с применением разработанных методов диаграммоформирования. Приведены результаты и для других известных методов частотно-независимого диаграммоформирования. Дана оценка

производительности разработанных методов. С помощью статистической теории антенн проведен численный эксперимент по исследованию влияния случайных флуктуаций амплитудно-фазового распределения и ошибок позиционирования элементов на параметры диаграммы направленности. Проведено экспериментальное исследование метода синтеза «нулей» в диаграмме направленности узкополосной цифровой антенной решетки.

Научная новизна полученных автором результатов, выводов и рекомендаций. Научная новизна результатов, полученных автором, состоит в следующем:

– получены аналитические выражения для расчёта весовых коэффициентов линий с пространственной задержкой для частотно-независимого диаграммоформирования, обеспечивающие выполнение синтеза коэффициентов без численных методов;

– получены аналитические выражения для расчета параметров частотно-независимых цифровых антенных решеток с пространственной задержкой сигналов, выражения для выбора размеров и коррекции фазового распределения в раскрыте частотно-независимой антенной решетки;

– метод синтеза «нулей» в диаграмме направленности узкополосной цифровой антенной решетки расширен на частотно-независимый случай с использованием временных задержек.

Значимость и достоверность результатов работы. Диссертационная работа имеет высокую практическую значимость. Основные результаты выполнения диссертационной работы, получены при выполнении опытно-конструкторских работ в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (г. Санкт-Петербург), АО «ИСС» имени академика М. Ф. Решетнёва» (г. Железногорск), ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (г. Красноярск), что подтверждается актами внедрения.

Диссертационная работа основывается на корректном применении численных и аналитических методов, использовании апробированных САПР при расчетах характеристик ЦФАР, соответствием полученных при исследовании результатов с результатами, опубликованными в литературе, результатами компьютерного моделирования, экспериментальных исследований. Результаты работы являются воспроизводимыми, наблюдается совпадение результатов моделирования и экспериментальных исследований.

Материалы диссертационного исследования опубликованы в 13 научных работах, из них 8 статей в изданиях из перечня ВАК, 4 в сборниках публикаций,

индексируемых в наукометрической базе Scopus, получены 3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Замечания по работе.

В ходе обсуждения работы выявились следующие недостатки:

1. Во второй главе диссертации, а именно в разделе 2.1.2.3, для уменьшения разброса характеристик частотно-независимых антенных решеток предложено использование весовых окон Кайзера. Не ясным остается вопрос о применении других типов окон.

2. В работе отсутствует описание, того как получен рисунок 2.24. Кроме того, название рисунка – «АФР в эквивалентной линейной АР», хотя на этом рисунке показано только амплитудное распределение.

3. Не рассмотрены вопросы, связанные с работоспособностью методов синтеза «нулей» ДН при действительных коэффициентах линий с временной задержкой.

4. Экспериментальное исследование метода синтеза «нулей» ДН проведено только с узкополосным сигналом.

5. Проблема взаимного влияния антенных элементов выходит за рамки данной работы. Однако, следовало бы наметить пути её решения. Важно понимать, что калибровка не позволяет решить эту проблему, поскольку взаимное влияние изменяется при сканировании луча.

6. Много внимания уделено стабильности положения фазового центра АР, однако актуальность этого параметра не обоснована.

7. По тексту диссертации встречаются опечатки и пунктуационные неточности.

Заключение

Диссертационная работа соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения» о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, №842 (ред. от 28.08.2017, №1024), является законченной самостоятельной научно-квалификационной работой, содержащей варианты решения актуальной задачи разработки методов частотно-независимого цифрового диаграммоформирования.

Учитывая вышеизложенное, считаем, что Ерохин Алексей Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Диссертационная работа заслушана и одобрена на заседании Центра перспективных научных исследований и подготовки высококвалифицированных

специалистов в области радиоэлектроники АО “НИИ “Вектор” (протокол № 18 от “16” сентября 2021г.)

Начальник Центра перспективных научных исследований и подготовки высококвалифицированных специалистов в области радиоэлектроники

А. Ю. Тараканов_

Отзыв подготовили:

Генеральный конструктор АО “НИИ “Вектор”,
кандидат технических наук, доцент

Олег Гергардович Петкау

Научный сотрудник
Центра перспективных научных исследований
и подготовки высококвалифицированных
специалистов в области радиоэлектроники,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Александр Иванович Румянцев

Подписи О. Г. Петкау, А. И. Румянцева, А. Ю. Тараканова заверяю,

Руководитель Управления по работе с персоналом



Е. А. Валькова

Наименование
организации
Почтовый адрес

Акционерное общество “Научно-исследовательский институт “Вектор”
Российская Федерация, 197376, г. Санкт-Петербург,
ул. Академика Павлова, дом 14-а

E-mail
Телефон

nii@nii-vektor.ru
+7(812)295-10-97