

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГАОУ ВО

«Сибирский федеральный
университет»

Барышев Руслан Александрович



«*12*» декабря 2019 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертация «Широкополосные антенные решётки с применением структур из искусственного неоднородного диэлектрика» выполнена на кафедре «Радиотехника».

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

В 2009 г. окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» с присуждением степени магистра по направлению «Радиотехника». В настоящее время обучается в очной аспирантуре при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский федеральный университет».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2019 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 Александрина Антона Михайловича является научно-квалификационной работой, в которой решаются задачи по исследованию антенных решеток с применением линз из неоднородного диэлектрика (ЛНД), возможности реализации цилиндрической ЛНД, прототипом которой является линза Микаеляна, а также по исследованию работы цилиндрической ЛНД в широкой полосе частот.

В результате проведенных автором исследований получены результаты, заключающиеся в следующем: разработаны порядок проектирования цилиндрической ЛНД из однородного диэлектрического материала и модели для формирования геометрии ЛНД в САПР; установлено, что параметры ДН цилиндрической плоскостойкой ЛНД из искусственного диэлектрика соответствуют аналогичным параметрам классической линзы Микаеляна; показано, что цилиндрическая ЛНД работает в широкой полосе частот с высокой эффективностью, а ее использование в составе АР в сочетании с гибридной ДОС повышает КИП АР – все это имеет значение для технических наук.

Актуальность темы

В настоящее время происходит интенсивное освоение миллиметрового диапазона длин волн, направленное на развитие широкополосных средств связи, радиолокации, увеличение пропускной способности каналов передачи информации. Активно развиваются программы широкополосного доступа в

Интернет в *Ka*-диапазоне. Расширяется необходимость в использовании широкополосных средств радиомониторинга и радиоизмерений. Эффективность таких систем не в последнюю очередь определяется антеннами, используемыми в них.

Широкое распространение систем связи, радиомониторинга и радиолокации предъявляет определённые требования к их антенным устройствам, которые должны быть широкополосными, компактными, быть пригодными для использования в мобильных системах, иметь низкую стоимость. Требования компактности, широкой полосы частот и высокой пространственной направленности в известной мере противоречивы:

- широкополосные узконаправленные антенны на основе зеркальных и линзовых систем имеют выносные элементы и, соответственно, значительные продольные размеры;

- компактные антенные решётки (АР), выполненные по печатной технологии, работают, как правило, в узкой полосе частот и зачастую имеют очень сложную диаграммообразующую схему с высокими потерями;

- некоторые типы широкополосных и компактных антенн (например, логопериодические) удовлетворяя части вышеописанных требований, не обеспечивают, высокой направленности, а их использование в составе АР увеличивает габариты.

Антенны квазиоптического типа занимают особое место среди антенн СВЧ диапазона. Применение ЛНД, с увеличением рабочих частот приёмо-передающих систем, становится все более актуальным вследствие необходимости использования антенн с высоким коэффициентом усиления с менее жесткими допусками на изготовление.

Для решения вышеописанных проблем предлагается использование АР, содержащих дополнительные элементы из искусственного неоднородного диэлектрика фокусирующие излучение элементов АР. Указанные элементы представляют собой линзы, с помощью которых достигается сужение ДН антенного элемента решётки и таким образом обеспечивается работа в широкой

полосе частот за счёт эффективного подавления дифракционных лепестков.

Всё вышеизложенное обуславливает **актуальность** работ, связанных с исследованием методов создания малогабаритных широкополосных направленных антенн и АР с использованием искусственного неоднородного диэлектрика, обладающих компактными размерами.

Личное участие автора в получении результатов

Основные исследования, результаты которых представлены в диссертационной работе, были выполнены автором лично. Совместно с научным руководителем предложена структура цилиндрической линзы из искусственного неоднородного диэлектрика, обсуждались цели и задачи исследований, а также результаты работы. Личный вклад автора включает: создание программ для расчёта эффективной диэлектрической проницаемости неоднородного диэлектрика методом разложения по плоским волнам, разработку моделей для электродинамического расчета в САПР как параметров профильной слоистой среды, так и ЛНД, выполнение исследований зависимости характеристик ЛНД от параметров пространственной дискретизации профиля цилиндрической ЛНД, выполнение экспериментальных исследований и обработку экспериментальных данных.

Степень достоверности результатов

Результаты диссертационной работы подтверждаются:

- корректным применением аналитических и численных методов расчета;
- корректным применением электродинамических САПР;
- использованием апробированных экспериментальных методик и высокоточного современного оборудования;
- воспроизводимостью и проверяемостью полученных данных, количественным и качественным совпадением результатов моделирования, экспериментальных исследований и данных, известных из литературы.

Новизна результатов

В работе получены следующие новые результаты:

1) Предложен простой метод реализации радиально-неоднородного искусственного диэлектрика, позволяющий изготавливать линзовые антенны на его основе (получен патент РФ);

2) Предложен метод создания широкополосных АР с гибридной ДОС, использующий структуры из искусственного неоднородного диэлектрика и позволяющий обеспечить работу АР в широкой полосе частот, достичь высоких значений КИП при компактной плоской форме антенной системы.

3) Обнаружен эффект периодической зависимости КИП ЛНД от ширины диэлектрической оправы, в которой размещена линза. Установлено, что период данной зависимости определяется значением диэлектрической проницаемости материала оправы и не зависит от радиуса и материала линзы.

4) Установлена гиперболическая зависимость положения максимума КИП от диэлектрической проницаемости материала оправы ЛНД.

Практическая значимость диссертации и использование полученных результатов

1. Предложен простой и эффективный способ создания радиально-неоднородного диэлектрика, заключающегося в том, что он позволяет изготавливать неоднородный диэлектрик путём его набора из тонких слоёв однородного диэлектрика, вырезанных специальным образом. Операция вырезки осуществляется за простой операцией, например, лазерной резкой или штамповкой;

2. Предложена конструкция линзы с диэлектрической оправой, в которой отсутствует ухудшение КИП за счёт резонансных эффектов в оправе, что достигается выбором необходимой ширины оправы.

3. Одиночная ЛНД может быть использована в качестве самостоятельной антенной системы при небольших продольных размерах и отсутствии фазовых искажений в раскрыве;

4. Предложен способ построения апертурных антенн и АР с гибридной волноводно-полосковой ДОС, обладающих высокой направленностью,

компактностью и широкополосностью, что может быть использовано в антеннах для широкополосных систем связи и радиомониторинга.

Ценность научных работ соискателя

Новизна и ценность исследований Александрина А.М. подтверждается получением патента Российской Федерации на изобретение. Результаты исследований использованы в НИОКР, проводимых в НИИ радиотехники и телекоммуникаций СПбГЭТУ (ЛЭТИ) и в ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», о чём свидетельствуют акты внедрения. Результаты работы докладывались и обсуждались на пяти 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 Александрина Антона Михайловича соответствует специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии в области «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 получен патент РФ на изобретение, опубликовано 12 научных работ, включая 6 статей в рекомендованных ВАК РФ изданиях, 2 статьи в сборниках публикаций, индексируемых в наукометрической базе Scopus.

Статьи в журналах из перечня ВАК

1. Александрин А. М. Исследование квазиоптических структур из искусственного диэлектрика в СВЧ-диапазоне / А. М. Александрин, Р. О. Рязанцев, Ю. П. Саломатов // Вестник Сибирского гос. аэрокосмического унив. им. Ак. М. Ф. Решетнёва, выпуск 6 (32), 2010. С. 15—18.

2. Александрин А. М. Широкополосная антенная решётка с использованием структур из искусственного неоднородного диэлектрика / А. М. Александрин, Ю. П. Саломатов // Доклады ТУСУР. – 2012. – № 2(26). – Ч. 1. – С. 7–10.

3. Александрин А. М. Построение плоских апертурных антенн с использованием структур из искусственного неоднородного диэлектрика / А. М. Александрин, Ю. П. Саломатов // Вестник Сибирского гос. аэрокосмического унив. им. ак. М. Ф. Решетнёва, выпуск 6 (46), 2012. С. 8—10.

4. Александрин А. М. Реализация радиально-неоднородного диэлектрика и создание апертурных антенн на его основе [электронный ресурс] / Александрин А. М., Гафаров Е. Р., Лемберг К. В., Панько В. С., Поленга С. В., Рязанцев Р. О., Саломатов Ю. П. // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6; URL: www.science-education.ru/113-10789.

5. Александрин А. М. Влияние наличия оправы на характеристики линзовых антенн из неоднородного диэлектрика / А. М. Александрин, Ю. П. Саломатов // Доклады ТУСУР. – 2019. – Т. 22, № 2. – С. 7–11. DOI: 10.21293/1818-0442-2019-22-2-7-11.

6. Александрин А. М. Экспериментальное исследование широкополосной антенной решетки К-диапазона с использованием структур из искусственного неоднородного диэлектрика / А. М. Александрин, Ю. П. Саломатов // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2019. Т. 22, № 5. С. 33–41. DOI: 10.32603/1993-8985-2019-22-5-33-41.

Патент:

1. Цилиндрическая линза: пат. 2504056 Российская Федерация: МПК H01Q 15/08 19/08 / Александрин А. М., Саломатов Ю. П.; патентообладатель СФУ (RU) № 2012126433/08; заявл. 25.06.2012; опубл. 10.01.2014 Бюл. №1.

Доклады в трудах конференций

1. Александрин А. М. Влияние параметров облучателей на характеристики линзовых антенн из неоднородного диэлектрика / А. М. Александрин, Р. О. Рязанцев, Ю. П. Саломатов // Изв. вузов. Физика. Издание Томского Государственного Университета – 2012. – 9/2. – С. 93-94.

2. Александрин А. М. Линза из неоднородного диэлектрика [электронный ресурс] // Сборник докладов конференции «Микроэлектроника СВЧ» 2012. URL:<http://mwelectronics.ru/2012/index.html>.

3. Александрин А. М. Плоская гибридная антенная решётка проходного типа. / А. М. Александрин, Ю. П. Саломатов // Труды 67-й научно-технической конференции, посвященной Дню радио. 12—27 апреля 2012 г., Санкт-Петербургская организация «Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи имени А. С. Попова» (СПб НТОРЭС), с.14—15.

4. A. M. Alexandrin. Implementation of a Radially Inhomogeneous Medium and Construction of the Aperture Antennas on its Basis // 2013 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. – Krasnoyarsk: Siberian Federal University. Russia, Krasnoyarsk, September 12–13, 2013. IEEE Catalog Number: CFP13794-CDR. ISBN: 978-1-4799-1060-1.

5. Alexandrin A. M. Numerical optimization of the discrete Mikaelian lens / A. M. Alexandrin, R. O. Ryazantsev ; Y. P. Salomatov // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2016 – Proceedings. 14 June 2016, Article number 7491859.

Диссертация «Широкополосные антенные решётки с применением структур из искусственного неоднородного диэлектрика» Александрина Антона Михайловича 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 - 22 чел. С правом решающего голоса – 14 чел. Результаты голосования «за» — 14 чел., «против» — нет, «воздержалось» — нет, протокол № 2 от 10.12.2019 г.

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


