

ОТЗЫВ

официального оппонента **Балзовского Евгения Владимировича** на диссертационную работу **Паршина Юрия Николаевича** «Печатные многолучевые антенные решётки с модифицированными фазовращателями и излучателями дипольного вида» по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии» на соискание ученой степени кандидата технических наук

Актуальность темы. Многолучевые антенные решётки находят применение в системах связи различного назначения, от построения локальной беспроводной сети малого офиса до формирования рабочей зоны геостационарных спутников, ориентированных на задачи широкополосного доступа. Сложность и громоздкость диаграммообразующих схем многолучевых антенн с использованием зеркальных или линзовых антенн ограничивает их практическое применение. Проектирование печатных диаграммообразующих схем на основе матриц Баттлера позволяет сделать их более компактными при возможности параллельного формирования нескольких лучей диаграммы направленности, однако многие вопросы создания печатных многолучевых антенных решеток остаются нерешенными. Необходимо развитие методов оптимизации возможных вариантов построения и совершенствование элементной базы таких антенн. Научная задача, решаемая в диссертации Паршина Ю. Н. и направленная на разработку методов широкополосного диаграммоформирования, компоновки направленных ответвителей, фазовращателей и излучателей при печатном исполнении их на единой диэлектрической подложке несомненно является актуальной.

Анализ содержания работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 113 наименований и трёх приложений, в которых приведены изображения топологии разработанных

печатных устройств, представлены акты внедрения результатов диссертационной работы Паршина Ю. Н. и документы, подтверждающие право на интеллектуальную собственность. Основной текст диссертации изложен на 153 страницах и содержит 150 рисунков и 10 таблиц. Результаты работы опубликованы в 7 научных статьях, в том числе в 6 статьях в журналах, входящих в перечень ВАК и журнале *Microwave and Optical Technology Letters*, входящем в ядро базы данных *Web of Science*. Результаты были представлены в сборниках трудов 13 российских и международных конференций, имеется два патента на изобретение.

Во введении определена цель исследования, сформулированы научные положения, отмечены новизна, научная ценность, практическая значимость проведенных исследований, отмечена апробация полученных результатов, их внедрение.

В первой главе рассмотрены вопросы формирования максимумов диаграммы направленности в заданных направлениях, проведен обзор подходов к реализации многолучевых антенных решеток на основе матриц Баттлера различных печатных исполнений, а также проведен обзор существующих конструкций печатных фазовращателей.

Вторая глава посвящена описанию печатного фазовращателя на связанных линиях новой конструкции на основе П-образного отрезка микрополосковой линии, над которым расположен замкнутый О-образный печатный элемент. Приведены расчетные соотношения с привлечением аппарата матриц рассеяния восьмиполосников, результаты численного моделирования и натурных испытаний изготовленных образцов. Достоинством предложенной конструкции является широкая рабочая полоса, достигающая 70%, а также малая неравномерность коэффициента передачи.

Третья глава посвящена обоснованию выбора излучающего элемента. Проведено сравнение печатного диполя с традиционным питанием плеч в центре и дипольной антенны новой конструкции, развиваемой при научном

руководстве д.т.н. А.П.Горбачева, в которой диполь запитывается с дальних от центра концов. Предложенная Ю. Н. Паршиным модификация диполя в виде набора параллельно соединенных проводников обладает широкой полосой согласования и выраженными направленными свойствами, что подтверждено результатами численного моделирования.

Четвертая глава посвящена синтезу и оптимизации геометрии печатных матриц Баттлера размером 4x4 и 8x8 входов-выходов, включающей в себя предложенные фазовращатели. Приведены частотные зависимости коэффициента передачи и фазовых сдвигов в каждом канале, подтверждающие возможность работы предложенных диаграммообразующих схем в широкой полосе частот.

В пятой главе приведены результаты моделирования и измерения коэффициентов отражения и диаграмм направленности шести вариантов многолучевых антенных решеток, изготовленных автором: а) матрица Баттлера 4x4 с классическими направленными ответвителями на связанных линиях с излучателями с центральным питанием; б) три решетки на матрицах Баттлера 4x4 с модифицированными фазовращателями и излучателями с центральным питанием, концевым питанием и концевым питанием с увеличенной шириной плеч; в) две матрицы 8x8 с модифицированными фазовращателями и излучателями с концевым питанием и концевым питанием с увеличенной шириной плеч.

Степень обоснованности научных положений, выводов и результатов. Научные положения, выводы и результаты, представленные в работе, основаны на корректном использовании численных и аналитических методов при расчетах характеристик антенных решеток. Достоверность полученных результатов подкреплена согласованностью результатов аналитических расчетов, компьютерного моделирования и экспериментальных исследований.

Научная новизна работы: Предложена методика синтеза широкополосных печатных дифференциальных фазовращателей на П-образных отрезках связанных линий с дополнительным кольцевым проводником.

Теоретическая значимость работы. В рамках использования метода наводимых ЭДС аналитически получены импедансные характеристики многоэлементного дипольного излучателя с концевым питанием.

Практическая значимость работы. Предложена методика проектирования и разработаны образцы 4- и 8-элементных многолучевых антенных решеток S-диапазона, в которых диаграммообразующая схема, симметрирующие устройства и антенные элементы выполнены печатным способом на одной пластине диэлектрика. Разработанные антенные решетки при минимальных доработках пригодны к использованию для широкополосных систем связи и радиомониторинга.

Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, научные положения и выводы достаточно обоснованы. Полученные оригинальные результаты имеют научную и практическую значимость в области проектирования многолучевых антенных решёток. Материал диссертации изложен грамотно, автореферат отражает существо диссертации. Содержание, основные выводы и практические рекомендации представленной работы соответствуют паспорту специальности 2.2.14 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Замечания по работе

1. Скрыта суть синтеза дифференциального фазовращателя: решены уравнения в матричной форме, найдены коэффициенты связи, а как от них перешли к геометрии микрополосковой структуры – нет данных. Не указаны границы применимости методики синтеза: сохранится ли справедливость методики при переходе в другие частотные диапазоны и на подложки с другой диэлектрической проницаемостью.

2. Во втором защищаемом положении не указано, по сравнению с какой антенной увеличивается коэффициент усиления, а в четвертом – на сколько децибел и с чем сравнивается.

3. Утверждение, что отсутствие соединительных кабелей дает положительный эффект в виде дополнительных степеней свободы при компоновке антенны решеток, спорно, так как при этом невозможно ни изменить расстояние между излучателями, ни заменить антенные элементы.

4. Слабо обоснован выбор многоэлементного излучателя, состоящего из пяти пар полосок: при увеличившемся продольном размере относительная полоса согласования у такой антенны 6.9%, тогда как у одноэлементного, но с дополнительным директором (Д. А. Бухтияров, кандидатская диссертация, 2018 г.) полоса согласования 13%, при близких (разница 0.23 дБ) значениях коэффициента усиления.

5. Оформление надписей на рисунках в разных стилях и на разных языках; отсутствует рис. 5.4б; громоздкий стиль изложения – при описании результатов многократно повторяются одни и те же фразы; спорное применение терминов: статический фазовращатель, максимально широкополосный фазовращатель на полуволновых отрезках линий.

Тем не менее, отмеченные недостатки не снижают ценности диссертационного исследования Ю. Н. Паршина и не снижают общего положительного впечатления о диссертационной работе.

Заключение

Диссертационная работа Ю. Н. Паршина «Печатные многолучевые антенные решётки с модифицированными фазовращателями и излучателями дипольного вида» является законченной научно-квалификационной работой, в которой предложены методики формирования диаграммы направленности многолучевых антенных решеток с диаграммобразующими схемами на основе матриц Баттлера с фазовращателями новой конструкции.

Считаю, что диссертационная работа полностью соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением №842 от 24.09.2013 Правительства Российской Федерации, а её автор, Паршин Юрий Николаевич, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Кандидат физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник,
заведующий лабораторией высокочастотной электроники
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт
сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии
наук (ИСЭ СО РАН)

2 сентября 2022 г.

Балзовский Евгений Владимирович

634055, г. Томск, пр. Академический, д. 2/3, ИСЭ СО РАН

тел. (3822) 49-19-00, +79069486174, e-mail: bev@lhfe.hcei.tsc.ru

Подпись Балзовского Е. В. удостоверяю,
заместитель директора ИСЭ СО РАН по научной работе, к.ф.-м.н.



Батраков Александр Владимирович