

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Шабалина С.А. «Разработка и исследование способов построения фазированных антенных решеток миллиметрового диапазона для радиолокационных систем интеллектуальных транспортных средств», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

Одним из важнейших направлений развития технологий проектирования и производства приемо-передающих устройств и антенн является освоение все более высоких частотных диапазонов. Это обусловлено, с одной стороны развитием мощных систем автоматизированного проектирования, позволяющих вести расчет и моделирование сложных электродинамических структур, включая многоэлементные миниатюрные антенные решетки миллиметрового диапазона, с другой – развитием технологий производства многоканальных интегральных приемо-передающих модулей, что позволяет реализовывать сложные методы формирования и обработки сигналов в одном кристалле. Все это открывает новые возможности для создания компактных радиолокационных систем (РЛС) которые могут использоваться для обеспечения безопасности движения транспортных средств. Такие РЛС, в том числе, являются важнейшей составляющей систем помощи водителю, обеспечивают безопасность полета и посадки летательных аппаратов малой и беспилотной авиации, безопасность движения на сложных транспортных развязках и узлах, включая железнодорожные переезды.

Диссертационная работа Шабалина С.А. посвящена исследованию вопросов построения антенных решеток для РЛС, работающих в сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн, которые обеспечивают ключевые характеристики соответствующих радаров в части дальности обнаружения объектов, разрешающей способности по угловым координатам, точности определения координат.

Краеугольным камнем, определяющим конкурентоспособность малогабаритных радаров на рынке компонентов для построения интеллектуальных систем транспортных средств является высокое разрешение и точность при минимально возможном числе физических передающих и приемных каналов, а также возможность обзора в широком секторе углов с высоким разрешением. Общепринятым способом достижения этих показателей является применение технологии ММО (multiple input – multiple output), что позволяет строить антенные решетки с числом виртуальных каналов, равным произведению числа реальных передающих и приемных антенных элементов. При этом антенные решетки являются разреженными, что снижает их энергетическую эффективность при обнаружении объектов на удалении. Дальность обнаружения объектов также является важнейшим показателем. Кроме того, в случае использования ММО подхода остро стоит вопрос о выборе метода разделения

ортогональных сигналов – временное (TD) и кодовое разделение. Временное разделение приводит к дополнительным энергетическим потерям, поскольку на обзор той же зоны пространства требуется большее время. Кодовое разделение сигналов приводит к проблеме неоднозначного определения скорости цели. Все перечисленные проблемы, а также некоторые другие, при практической реализации ММО антенн не имеют абсолютного решения и ведут к ряду ограничений по функционалу радаров. В связи с этим по-прежнему остается актуальной проблема создания антенных решеток для малогабаритных радаров миллиметрового и сантиметрового диапазонов, которые свободны от упомянутых ограничений, обеспечивают высокую энергетическую эффективность, имеют минимальное число каналов при высоком разрешении и точности.

Актуальность темы диссертации определяется возможностью создания новых технических решений в области фазированных антенных решеток, которые позволят решить упомянутую проблему и оснастить радары, применяемые в транспортных системах, антенными решетками, обеспечивающими достижение требуемых параметров при конкурентоспособной стоимости системы.

Диссертантом решен ряд практически важных и значимых для науки задач. Среди них следует отметить следующие.

1. Предложен способ построения антенной решетки для автомобильного радара диапазона 24,05...24,25 и 76...77 ГГц, основанный на применении передающих и приемных подрешеток, размеры и взаимное расположение которых рассчитывается так, чтобы обеспечить управляемый компромисс между дальностью обнаружения объектов и разрешением по угловой координате. Расстояния между фазовыми центрами подрешеток вычисляются таким образом, чтобы обеспечить максимальное подавление интерференционных максимумов результирующей диаграммы направленности. Предложенный в диссертации Шабалина С.А. способ построения АР использован при разработке и изготовлении опытных образцов автомобильных радаров, созданных при выполнении НИОКР совместно с АО «ПКК «Миландр», о чем свидетельствует акт внедрения от этой организации.

2. Разработана архитектура антенной решетки для радара, применяемого в составе системы безопасности железнодорожного переезда, обеспечивающая широкий сектор обзора ($\pm 45^\circ$) при высоком разрешении (5°). Это обеспечивается за счет формирования гребенки интерференционных максимумов диаграммы направленности передающей антенны при размещении передающих подрешеток на краях физической апертуры антенны. Формируются два набора лучей – при поочередном синфазном и противофазном включении передающих подрешеток. Однозначность измерения азимута обеспечивается за счет селекции лучей передающей антенны лучами «расшитой» приемной антенной решетки. Для повышения точности измерения азимута цели используется обужение луча за счет формирования суммарно-разностной диаграммы направленности.

Разработанная архитектура антенной решетки была использована при создании макета радара для системы безопасности железнодорожного переезда. Работа проводилась в рамках НИР, выполняемой по заказу АО НПП «Салют» (Нижний Новгород), о чем свидетельствует представленный этой организацией акт внедрения.

3. Разработана архитектура фазированных антенных решеток для радаров, предназначенных для обеспечения безопасности полета и посадки малых вертолетов и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) вертолетного типа. Концепция построения архитектуры полетного и посадочного радаров базируется на получении высокого углового разрешения приемной антенной решетки, составленной из подрешеток, в пределах переключаемых секторов облучения передающей решетки. Поочередная работа в секторах передающей решетки позволяет обеспечить однозначность измерения угловых координат несмотря на наличие интерференционных максимумов в диаграмме направленности приемной антенны. В САПР ADS разработаны топологии передающей и приемной антенных решеток, проведено электродинамическое моделирование спроектированных антенн, получены оценки диаграмм направленности антенн. Решение данной задачи крайне актуально для импортозамещения радиолокационных средств БПЛА, в частности, посадочных радаров с функцией построения профиля высот поверхности.

4. Предложен способ применения метода обнаружения сигнала, рассеиваемого целью в прямом направлении (рассеяние вперед), известного как метод обнаружения «на просвет», для повышения эффективности обнаружения объектов в зоне железнодорожного переезда. Актуальность данного метода применительно к железнодорожным переездам обусловлена жесткими требованиями стандартов на системы, используемые на железнодорожном транспорте. Особенностью конструкции антенных решеток, используемых на передающей и приемной позициях, является весовая обработка, обеспечивающая формирование нулей диаграмм направленности в направлении вдоль линии базы. Тем самым обеспечивается подавление прямого сигнала передатчика в приемном тракте приемной позиции, чем достигается возможность обнаружения не только движущихся, но и неподвижных объектов не только на значительном удалении от линии базы, что присуще традиционным просветным радарам, но и в окрестности линии базы.

Результаты диссертации опубликованы в 16 работах, среди которых 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 10 статей в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования (WoS и Scopus). Результаты диссертации апробированы на пяти международных конференциях.

В целом диссертация С.А. Шабалина представляет собой решение задачи, имеющей существенное значение для теории и техники антенн. Результаты диссертации применены в опытных и экспериментальных образцах радаров, выпущенных в рамках выполнения НИОКР с

предприятиями радиоэлектронной промышленности (АО ПКК «Миландр», АО НПП «Салют»), а полученные акты внедрения свидетельствуют о высокой практической значимости.

В процессе работы над диссертацией С.А. Шабалин проявил высокую степень самостоятельности и настойчивость при получении результатов, способность быстро повышать свою квалификацию и осваивать новые области знаний.

Научную работу диссертант сочетал с педагогической работой. С.А. Шабалин участвовал в модернизации существующих и разработке новых лабораторных работ для студентов, обучающихся по направлению «Радиотехника» и специальности «Радиоэлектронные системы и комплексы». Им разработан и реализуется лабораторный практикум по новому курсу «Проектирование приемно-передающих модулей миллиметрового диапазона» для магистрантов, обучающихся по направлению «Радиотехника».

В настоящее время С.А. Шабалин является зрелым научно-педагогическим работником, способным проводить самостоятельные научные исследования, учебную и учебно-методическую работу.

Считаю, что диссертация С.А. Шабалина удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии.

Научный руководитель
д.т.н., доцент

А.В. Мякинков

Личную подпись доцента А.В. Мякинкова заверяю.

Ученый секретарь Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева

к.т.н., доцент



И.Н. Мерзляков

С содержанием отзыва научного руководителя ознакомлен.

С.А. Шабалин