

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Добычиной Елены Михайловны

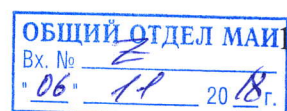
на тему: «Цифровые антенные решетки радиоэлектронных бортовых систем», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.12.07 – "Антенны, СВЧ устройства и их технологии".

1. Актуальность темы диссертации

В традиционных активных фазированных антенных решетках (АФАР) формирование одно- или многолучевой диаграммы направленности (ДН) выполняется на несущей частоте при помощи диаграммо-образующей схемы (ДОС), состоящей из таких СВЧ устройств, как делители-сумматоры мощности (ДСМ), фазовращатели (ФВ), аттенюаторы (АТ) и линии задержки (ЛЗ). Многолучевое диаграммо-образование обеспечивается также и при использовании специальных многовходовых ДОС – матриц Бласса и Батлера, а также устройств оптического типа – линз Ротмана и Климова.

Самые очевидные недостатки традиционных АФАР состоят в том, что используемые в них ДОС конструктивно сложны, обладают большими габаритными размерами и массой, а также вносят существенное затухание в проходящий сигнал. Кроме того, при наличии в решетке N парциальных антенных элементов при помощи ДОС происходит преобразование N -мерного пространства излучаемых/принимаемых сигналов в M -мерное пространство парциальных лучей. А для однолучевых АФАР, вообще, $M=1$. Тем самым уменьшается исходная информационная емкость сигнала, принимаемого решеткой.

Другая ситуация возникает при создании полностью цифровых антенных решеток (ЦАР). В них сигналы, излучаемые/принимаемые всеми антенными элементами, преобразуясь в цифровой формат, обрабатываются при помощи цифровых процессоров с сохранением информационной емкости. В режиме приема ЦАР обладает следующими преимуществами.



- Улучшенным адаптивным подавлением сигналов множественных помех путем глубокого обнуления уровня ДН на угловых направлениях их прихода.
- Реализация режима углового сверхразрешения целей при больших уровнях полезного сигнала.
- Многолучевое диаграммо-образование при малом угловом разнесении парциальных ДН.
- Коррекция ДН парциальных излучателей в составе решетки.
- Гибкое управление во времени излучаемой мощностью и параметрами ДН.
- Возможность выполнения калибровки в процессе штатной эксплуатации аппаратуры.

В этой связи диссертационная работа Добычиной Е.М., посвящённая решению **научной проблемы** разработки принципов построения и схемотехнической реализации бортовой цифровой антенной решетки, является важной и актуальной.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В диссертации сформулировано четыре научных положения, выносимых на защиту, и каждое из них детально обосновано. Первое и третье – патентами на изобретения Российской Федерации, а также результатами моделирования. Второе и четвертое – результатами моделирования и экспериментальных измерений.

Обоснованность рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждена внедрением результатов работы на предприятиях АО «ВИСАТ-ТЕЛ», АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга», а также в учебный процесс на кафедре «Радиофизика, антенны и микроволновая техника» МАИ.

3. Достоверность и новизна научных положений, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Новизна научных результатов диссертационной работы подтверждается 3 патентами Российской Федерации, успешной апробацией материалов на 26 международных научно-технических конференциях и 5 всероссийских и других научно-технических конференциях.

Достоверность полученных результатов подтверждена результатами моделирования на ЭВМ характеристик элементов ЦАР с использованием современных программных продуктов, а также полученными многочисленными наглядными графическими зависимостями и хорошим совпадением теоретических выводов с результатами экспериментальных исследований.

4. Значимость для науки и практики полученных автором результатов

Значимость для науки и практики полученных автором результатов состоит в следующем. Глубокий аналитический обзор современного состояния разработки схем ЦАР и параметров элементной базы, а также принципов их функционирования позволил сформировать обобщенное, научно обоснованное концептуальное видение процесса разработки антенных решеток нового типа. Полезны расчетные методики и отдельные соотношения, в том числе для анализа энергетического потенциала ЦАР, моделирования характеристик приемо-передающих модулей, мощных транзисторов и усилителей, реализованных на их основе.

5. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы для использования на профильных предприятиях, занимающихся разработкой: самолетных и космических систем дистанционного зондирования Земли; аппаратуры радио-мониторинга эфира и пеленгации целей; адаптивных

компенсаторов помех в приемниках сигналов глобальных навигационных спутниковых систем.

6. Оценка содержания диссертации, ее завершенности

Диссертация состоит из 4 глав. В первой из них дан обзор малогабаритных бортовых радиолокационных систем для средневысотных беспилотных летательных аппаратов и перечислены основные черты потенциального истребителя шестого поколения. Показано, что установленная на нем антенная система должна обладать высокой степенью интеграции в информационные сети и выполнять исключительно чувствительные обзорные функции. Фактически ее реализация подразумевает создание ЦАР. Далее, проанализированы проблемы и особенности использования цифровых решеток на борту летательных аппаратов. Предложены и описаны схемы построения приемо-передающих трактов ЦАР. Дан сравнительный анализ потреблений по цепям питания традиционных АФАР и ЦАР. Этот вводный, но при этом наполненный глубоким аналитическим содержанием материал может считаться оригинальным, поскольку в литературе впрямую он отсутствует.

Вторая глава целиком посвящена анализу приемо-передающих трактов цифровых антенных решеток. Здесь приведены структурные схемы передающего и приемного трактов, описан принцип их функционирования, предложен алгоритм нелинейного моделирования мощного СВЧ активного элемента, разработана также эквивалентная электрическая схема мощного антенного элемента на плате. Модель приспособлена для включения ее в состав современных машинных сред проектирования нелинейных систем с использованием метода гармонического баланса. Материалы этого раздела диссертации могут быть признаны, как оригинальными, так и обладающими высокой практической полезностью

Методы калибровки цифровых антенных решеток на борту летательных аппаратов изложены в третьей главе работы. Автором

предложено оригинальное устройство калибровки, защищенное патентом. Разработаны также математическая и имитационная модели системы калибровки с учетом ошибок в управлении и дискретизации. Рассмотрены примеры реализации предложенных процедур. Полагаю, что этот материал может быть напрямую использован при создании и эксплуатации ЦАР.

Наконец, в четвертой главе приведены результаты экспериментального исследования элементов ЦАР и возможностей цифрового диаграммообразования. При проведении экспериментов автором использовано предложенное им и запатентованное устройство калибровки многолучевой антенны, что свидетельствует о реальной практической пользе материалов диссертационной работы.

В целом следует признать, что диссертация представляет собой законченный, хорошо оформленный и тщательно отредактированный научно-исследовательский труд. Содержание автореферата соответствует сути работы и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к таковым.

Основные положения диссертации опубликованы в 13 монографиях, учебниках и учебных пособиях, 13 публикациях в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 26 материалах международных научно-технических конференций и 5 материалах всероссийских и других научно-технических конференций

7. Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации, мнение о научной работе соискателя в целом

Полагаю, что одним из главных достоинств диссертационной работы является представленный в ней глубокий аналитический обзор современного состояния множества взаимосвязанных вопросов, возникающих при проектировании ЦАР. Детально проанализирована элементная база цифровых антенных решеток. Точно обозначены трудности, возникающие при практической реализации аппаратуры. Очень хорошо написан текст диссертации, понятным, грамотным языком. Приведены многочисленные

схемы, графические иллюстрации и полезные формулы. Тема диссертации соответствует заявленной научной специальности.

Необходимо отметить и недостатки диссертационной работы, которые заключаются в следующем:

1. Не рассмотрено влияние погрешностей формирования управляющего напряжения ЦАП (джиттер опорного сигнала, ошибки квантования и дискретизации) на амплитудно-фазовые ошибки квадратурного модулятора в передающем тракте.
2. Отсутствует подробное описание процесса разработки мощного СВЧ активного элемента на тестовой плате, а также условия измерения его характеристик.
3. Отсутствуют требования к системе синхронизации цифровых модулей, производительности микроконтроллера и цифрового сигнального процессора.

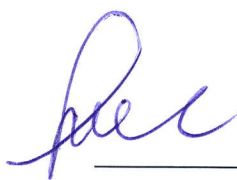
Оценивая работу в целом, считаю, что диссертация является законченной самостоятельной квалификационной работой, посвященной решению актуальной прикладной научной задачи.

8. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Диссертационная работа Добычиной Елены Михайловны «Цифровые антенные решетки радиоэлектронных бортовых систем» представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема, имеющая значение при разработке нового класса антенных систем – цифровых антенных решеток, заключающаяся в повышении их энергетического потенциала за счет оптимизации режима работы активных устройств передающего тракта и точности формирования амплитудно-фазового распределения в раскрыве решетки с помощью устройства калибровки.

Работа по своей научной новизне и практической значимости удовлетворяет критериям, которым должна соответствовать диссертация на соискание ученой степени доктора наук, «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а автор, Добычина Е.М., заслуживает присуждения ей ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.07 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Официальный оппонент
доктор технических наук,
профессор,
главный научный сотрудник
АО "Научно-производственное
объединение им. С.А.Лавочкина",



Петров Александр Сергеевич

«01» 11 2018 г.

Полное название организации: Акционерное общество "Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина"
Почтовый адрес: 141402, Московская область, г. Химки,
Ленинградская ул., д. 24
Телефон: +7 (495) 573-56-75
E-mail: npol@laspaces.ru

Подпись доктора технических наук, профессора А.С. Петрова заверяю:

И.О. Заместителя генерального
директора по персоналу



 Н.П. Перевозчиков

«01» 11 2018 г.