

## ОТЗЫВ

### официального оппонента

о диссертации Р.Ю.Малахова «Модуль бортовой цифровой антенной решётки», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемых сокращений и списка литературы. Она изложена на 144 страницах основного текста. Список литературы содержит 96 наименований (9 страниц).

### Актуальность темы диссертационной работы

Использование цифрового формирования диаграмм направленности в активных фазированных антенных решетках (АФАР) многофункциональных бортовых радиоэлектронных систем (РЭС) существенно расширяет возможности получения и обработки информации об окружающей среде с помощью таких систем.

В то же время при разработке таких объективно более сложных РЭС обостряются научно-технические проблемы, связанные с поиском структур, которые при заданных требованиях к основным рабочим характеристикам имели бы минимальное и приемлемое для бортовых систем энергопотребление.

При использовании традиционной структуры приёмно-передающего модуля (ППМ) АФАР, в которой для формирования диаграмм направленности используются управляемые фазовращатели и аттенюаторы в сочетании с СВЧ распределительной системой, возможности достижения приемлемых энергетических характеристик систем с цифровым управлением диаграммами направленности весьма ограничены.

Переход к цифровому диаграммообразованию, при котором решётка становится цифровой (ЦАР), открывает новые возможности снижения энергопотребления таких решёток, которые в настоящее время исследованы недостаточно и исследование которых весьма *актуально*.

Наибольший вклад в энергопотребление всех видов АФАР вносят оконечные усилители мощности ППМ. Поэтому весьма *актуальна* также задача поиска путей повышения их КПД за счёт использования новой элементной базы и оптимизации режимов этих усилителей.

Решению именно этих задач посвящена диссертация Р.Ю.Малахова.

### Основные научные результаты, степень их обоснованности, достоверность и новизна

Основные новые результаты работы заключается в разработке новых научно-обоснованных технических решений позволивших:



1. Снизить энергопотребление бортовой антенной решетки с цифровым формированием диаграммы направленности за счет использования в каждом ППМ синтезатора сетки частот с цифровым кольцом ФАПЧ и управления диаграммой направленности ЦАР при помощи квадратурных модуляторов, входящих в состав ППМ;
2. Разработать нелинейные модели ряда мощных СВЧ полевых транзисторов, позволившие уточнить результаты моделирования устройств, в которых используются такие приборы, а также повысить КПД и уровень выходной мощности усилителей, разработанных на их основе.;
3. Разработать образцы мощных СВЧ усилителей сантиметрового диапазона длин волн, а также тестовую плату, позволяющую проводить измерения характеристик СВЧ транзисторов в режиме большого сигнала вплоть до 20 ГГц и определять параметры разработанных моделей этих транзисторов.

Степень обоснованности представленных в работе результатов можно считать весьма высокой.

Корректность исходных положений, использование широко известного и апробированного программного обеспечения при моделировании СВЧ устройств, согласование теоретических результатов с результатами экспериментов также обеспечивают надёжность полученных результатов и сделанных в диссертационной работе выводов.

Тема диссертации соответствует заявленной научной специальности.

К числу достоинств диссертации следует отнести *комплексный подход* к решению проблемы улучшения энергетических характеристик бортовых антенных решеток, в котором сочетаются как целенаправленные изменения структуры ППМ, так и в новый подход к моделированию оконечных СВЧ усилителей мощности, вносящих существенный вклад в энергетические характеристики модуля.

### **Внедрение**

Результаты диссертационной работы были использованы на предприятии ФГУП «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга», в НЦ СРМ МАИ при разработке многофункциональной бортовой радиолокационной системы, а также в Московском авиационном институте при чтении лекций, проведении семинаров, курсовых и дипломных работ.

### **Публикации**

Результаты диссертационной работы были опубликованы в 18 печатных трудах, из них 6 научных статей в журналах из перечня ВАК, 11 тезисов докладов и одно учебное пособие. Содержание диссертации соответствует содержанию опубликованных работ.

### **Недостатки диссертации**

1. Неясны источники информации о спектральной плотности мощности



фазовых шумов генератора несущей (рис.2.12), методика получения распределения вероятности фазовой ошибки (рис.2.13) и место этой составляющей фазовой ошибки в оценке её общей величины.

2. Эквивалентная электрическая схема рис. 3.9 (в диссертации) по сравнению с другими более простыми моделями (например, с моделью Ангелова) не может быть непосредственно использована при моделировании в программных средах. Это затрудняет использование этой схемы потенциальными пользователями. Неясно также, каково физическое происхождение внутренних резонансных контуров предложенной модели.

3. Не доказана обоснованность применения полиномиальных функций при описании номиналов элементов эквивалентной схемы транзистора, а также критерия смешанной корреляции для оценки сходимости полученных зависимостей к искомому.

### Заключение

Оценивая диссертацию Р.Ю.Малахова в целом, считаю, что отмеченные недостатки не затрагивают основного её содержания и не снижают ценности основных результатов. Рецензируемая диссертация является законченной научно-квалификационной работой, результаты которой могут послужить основой для разработки перспективных бортовых АФАР с цифровым формированием диаграмм направленности.

Диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Малахов Роман Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Автореферат правильно отражает основное содержание диссертации.

Официальный оппонент  
доктор технических наук, профессор

В.Н.Кулешов  
6.05.15

Подпись д.т.н. профессора В.Н.Кулешова заверяю.

Начальник управления кадров НИУ МЭИ

06.05.2015

Адрес: 111250, Россия, г. Москва,  
Красноказарменная улица, дом 14  
Контактный телефон: 8-916-539-17-87  
Адрес электронной почты: vnk37@mail.ru



Е.Ю.Баранова