

## ОТЗЫВ

научного консультанта д.т.н., профессора, заведующего кафедрой МАИ Воскресенского Д.И. на диссертацию Добычиной Елены Михайловны «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»

*Актуальность* данной работы обусловлена необходимостью перехода к цифровым антенным системам, которые должны обладать высоким энергетическим потенциалом, работать в многолучевом режиме, иметь гибкое управление своими ресурсами и динамически адаптироваться в условиях пассивных и активных помех в изменяющейся электромагнитной обстановке.

*Целью работы* является разработка принципов построения и схемотехнической реализации бортовой цифровой антенной решетки многофункциональной радиоэлектронной системы, а также моделей и путей создания новых устройств, в том числе цифровых приемопередающих модулей, позволяющих повысить энергетический потенциал, уменьшить уровень боковых лепестков, снизить энергопотребление, минимизировать массогабаритные характеристики системы за счет использования высокоэффективных технологий, методов расчета и моделирования.

В работе в соответствии с поставленной целью сформулированы *основные задачи* – разработка путей построения и схемотехнической реализации цифровой антенной решетки бортовой радиоэлектронной системы, работающей в условиях ограниченного энергопотребления, имеющей минимальные массу и размеры; анализ и количественная оценка энергетических характеристик бортовой ЦАР и сравнение их с АФАР традиционной архитектуры; разработка методологии построения и схемотехнической реализации передающего тракта ППМ для цифровой антенной решетки БРЭС на активных элементах с высокими уровнями выходной мощности, КПД и коэффициентом усиления по мощности, стабильной амплитудно-фазовой характеристикой в широкой полосе частот, низким уровнем фазовых шумов, а также разработка методики его проектирования с учетом минимизации массы, габаритов, стоимости; развитие метода моделирования нелинейных процессов в мощных многосекционных псевдоморфных СВЧ транзисторах для цифровых ППМ на основе интерпретации результатов их экспериментальных исследований; развитие метода и разработка устройства калибровки для прецизионного управления амплитудно-фазовым распределением в раскрыве многоканальной ЦАР; разработка имитационных моделей ЦАР, экспериментальное исследование примеров цифрового диаграммообразования и точностных характеристик калибровки ЦАР.

*Научная новизна* обусловлена предложенным техническим решением для создания нового класса приемо-передающих антенных решеток с цифровым диаграммообразованием без

применения аналоговых фазовращателей и распределительной системы СВЧ сигнала. Разработан цифровой приемопередающий модуль, позволяющий снизить энергопотребление, массу и габариты бортовой ЦАР за счет размещения в нем высокостабильного источника СВЧ сигнала с фазовой автоподстройкой от единого для всей ЦАР опорного сигнала. Предложена методика определения элементов эквивалентной электрической схемы мощного АЭ на плате, позволяющая увеличить точность определения его параметров по сравнению с существующими методиками.

Разработан и апробирован принцип построения экспериментального стенда для исследования возможностей цифрового диаграммообразования в антенном измерительно-вычислительном комплексе на базе безэховой камеры, созданной в научно-производственном центре радиоинформационной метрологии (НПЦ РИМ) факультета «Радиоэлектроники ЛА» МАИ.

Результаты диссертационного исследования, оформленные в виде *актов о внедрении*, связанные с организацией процедуры калибровки, в соответствии с предложенным в работе алгоритмом были использованы при выполнении работ по перенацеливанию станций спутниковой связи на предприятии АО «ВИСАТ-ТЕЛ». Научные результаты диссертационной работы были использованы на предприятии АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга» в разработке гибридно-интегральных GaN усилителей мощности сантиметрового диапазона длин волн, что позволило повысить их КПД и коэффициент усиления по мощности.

В Научном центре специальных радиоэлектронных систем и менеджмента МАИ (НЦ СРМ МАИ) нелинейная модель мощного псевдоморфного СВЧ транзистора была использована при разработке усилителя мощности для многофункциональной бортовой радиолокационной системы (МБРЛС), тема 450-10/41360-15550. Представленные в диссертационной работе научные и практические результаты внедрены в учебный процесс на кафедре «Радиофизика, антенны и микроволновая техника» МАИ.

Основные полученные автором результаты, сформулированные в виде положений, выносимых на защиту, свидетельствуют о высоком профессиональном уровне и существенном научном потенциале. Публикации в достаточной степени отражают результаты диссертационной работы, а автореферат ей соответствует.

Оценивая работу в целом, считаю, что диссертация является законченным самостоятельным научным трудом, посвященным **решению важной научной проблемы**, внесшим вклад в исследование и разработку нового класса антенных систем – цифровых антенных решеток, предназначенных для бортовых радиоэлектронных комплексов, позволяющих повысить их энергетический потенциал за счет оптимизации режима работы высокоэффективных активных устройств и обеспечения высокой точности формирования АФР с помощью устройства калибровки.

Диссертационная работа полностью **соответствует требованиям** «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.12.07 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии», а её автор – Е.М. Добычина заслуживает присвоения ей искомой степени.

Доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой «Радиофизика, антенны и микроволновая техника»

Д.И. Воскресенский

Подпись профессора Воскресенского Д.И. заверяю.

Директор института «Радиоэлектроника,

инфокоммуникации и информационная безопасность» МАИ



В.В. Кирдяшкин