

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Коноваленко Максима Олеговича

«Гибридная система питания антенных решёток для
малогабаритных радиолокационных станций»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Актуальность темы исследования

В условиях современных тенденций построения антенн и СВЧ устройств требования к электрическим параметрам и массогабаритным показателям разрабатываемых систем ужесточаются в соответствии с интенсивным путём их совершенствования. Изыскиваются новые возможности и конструктивно-компоновочные схемы их реализации с целью повышения эффективности излучения и лучшей адаптации к сложным посадочным местам объектов установки, позволяющие воспроизводить высокую повторяемость достигаемых результатов без дополнительных настроек и регулировок, снижающих производственную и эксплуатационную технологичность.

В диссертационной работе М. О. Коноваленко решается *актуальная задача* повышения уровня коэффициента усиления антенных решёток, изготавливаемых по технологии полосковых печатных плат и пригодных к использованию в серийном производстве радиолокаторов, требующих максимизацию энергетического потенциала, в том числе для актуальных задач обнаружения малоразмерных целей с малой радиолокационной заметностью, а также в применении к охранам радиоконкомплексам слежения и обеспечения безопасности народно-хозяйственных объектов различных форм собственности.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 133 наименования, четырех приложений и содержит 151 страницу.

Целью диссертационной работы является разработка гибридной системы питания планарных широкополосных антенных решёток с повышенным уровнем коэффициента усиления и значением первого бокового лепестка не более -25 дБ, пригодных для использования в малогабаритных РЛС микроволнового диапазона.

Во введении обосновывается актуальность, определяется направление исследований и последующей технической проработки вопросов, формулируется общая цель, перечисляются основные задачи, подлежащие решению, и излагаются научные положения, выносимые на защиту. Также приводятся сведения, характеризующие достоверность и апробацию полученных результатов.

Первая глава носит обзорно-аналитический характер и посвящена ретроспективному анализу на предмет выявления достоинств и недостатков известных подходов построения высокочастотных трактов питания антенных решёток, отличия их диапазонных и направленных свойств. Также в отдельный подраздел вынесен ряд аспектов в отношении зеркальных антенн, потому что уровень их диссипативных потерь весьма низок при всех остальных схожих параметрах с пассивными решётками. Представлена научно-техническая разработка сверхширокополосного активного облучателя круговой поляризации АО «НПФ «Микран», в реализации которой активное участие принимал соискатель. Кроме того, представлена сравнительная таблица, содержащая электрические характеристики и характер исполнения современных антенных систем для малогабаритных РЛС различного назначения. В заключение главы подводятся итог и сформулирована задача диссертационной работы в отношении гибридной системы питания.

Вторая глава посвящена системному подходу в проектировании гибридной системы питания, где сформулированы пять существенных признаков и охарактеризованы соответствующие иерархические уровни, каждый из которых раскрыт в главе. Примером служит широкополосная антенная система X-диапазона для нового доплеровского радиолокатора, массогабаритные параметры которого, в наибольшей степени определяемые её геометрическими размерами и используемыми технологиями производства, позволили создать мобильную версию. Достаточно подробно освещен вопрос реализации излучающей части, где предложено использовать коллинеарные щелевые структуры, позволяющие упростить не только систему питания, но и увеличить коэффициент усиления. Приведены результаты аналитического расчёта и численного моделирования с описанием технических особенностей, с которыми пришлось столкнуться в процессе проектирования и реализации.

В третьей главе рассмотрен способ построения неравновесного делителя с улучшенными диапазонными свойствами в виде системы волноводных направленных ответвителей, выход которых инвертирован относительно прямого и побочного канала. Главным достоинством является повышенная стабильность разности фаз коэффициентов передачи по диапазону частот. Приведены сравнительные результаты расчёта и лабораторных измерений. Даны приёмы улучшения массогабаритных показателей, в частности уделено внимание спроектированной балластной нагрузке резонансного типа и исполнения СВЧ перехода с выхода делителя на печатную структуру, при этом с графическими пояснениями изложена специфика технической реализации соединительных узлов.

Четвёртая глава содержит описание методики измерений характеристик направленности антенной решётки и параметров рассеяния реализованной антенной системы. На построенных графиках отображены сравнительные результаты расчёта и экспериментальных исследований в дальней зоне, полученных путём прямых измерений в полевых условиях, и в ближней зоне, полученных на основе амплитудно-фазовых соотношений и теории реконструктивных антенных измерений. Проанализированы результаты, а на страницах номер 124, 125 охарактеризованы полные потери на двух технически разделённых участках гибридной системы питания и достигнутое значение КПД, способ повышения которого стал ключевым предметом исследования. Показана эффективность применения предложенной гибридной схемы питания с демонстрацией соответствующих фотоизображений реальных образцов, в том числе в составе мобильной радиолокационной системы контроля и охраны периметра «Hunter» производства АО «НПФ «Микран».

Основные результаты исследований и их научная новизна

Научная новизна представленной диссертационной работы заключается в следующем:

- Переход от линейной микрополосковой излучающей структуры к коллинеарной щелевой излучающей структуре позволяет увеличить коэффициент усиления такой системы на 3 дБ.
- Использование в распределительной системе волноводного направленного ответвителя с инвертированными прямым и побочным каналами позволяет добиться неравномерности частотной зависимости амплитудного взвешивания не более 0,3 дБ и стабильности разности фаз коэффициентов передачи не хуже $\pm 3,0^\circ$ в полосе 300 МГц, занимаемой спектром радара.

- Гибридная система питания позволяет обеспечить полосу пропускания антенной решётки с КПД не менее 0,7 для малогабаритных радаров, использующих широкополосные зондирующие сигналы.

Обоснованность и достоверность результатов диссертации

В работе прослеживается три научных положения, каждое из которых имеет теоретическое и экспериментально подтверждённое обоснования.

Достоверность *первого научного* положения доказана результатами расчётов, численного моделирования и экспериментальных исследований.

Второе научное положение подтверждено совпадением заданной реализации амплитудного распределения и рассчитанной путём численного моделирования. Измеренная диаграмма направленности повторяет форму и хорошо согласуется по своим числовым параметрам с теоретической диаграммой во всей рабочей полосе частот, присущей исследуемой гибридной системе питания решётки.

Третье научное положение базируется на результатах измерений диапазонных и направленных свойств разработанной по предложенной соискателем методике антенной системы X-диапазона, предназначенной для малогабаритной РЛС.

Все результаты, полученные в ходе работы, объединены рядом теоретических оценок и вполне строгих расчётов, полученных аналитическими и численными методами соответственно, а также измеренными параметрами в дальней и ближней зонах.

Опираясь на защищаемые научные положения и вторую и третью главы, соискатель фактически представил теоретическое описание и ряд ключевых практических рекомендаций для успешной реализации антенной решётки с гибридной системой питания.

Целесообразно отметить, что основные результаты работы внедрены в серийное производство фирмы АО «НПФ «Микран». Представленная антенная решётка в совокупности с волноводными СВЧ фильтрами образует приёмопередающую систему из двух антенн для мобильного радиолокатора «Hunter» с квазинепрерывным сигналом, что подтверждено двумя актами внедрения. Результаты работы также использованы в двух ПНИЭР, выполненных ФГБОУ ВО ТУСУР, начиная с 2016 года.

Оформление диссертации и автореферата вполне соответствует требованиям ВАК Российской Федерации. Текст, как диссертации, так и автореферата, позволяет сформировать цельное взаимосвязанное представление по каждой главе, что является показателем адекватного изложения научно-

технического материала и профессионализма соискателя в области техники сверхвысоких частот.

Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при проектировании антенных устройств с целью существенного снижения общих диссипативных потерь, определяющих значение КПД, технология производства которых подразумевает применение печатного исполнения на диэлектрических подложках вплоть до К-диапазона микроволновых частот.

Замечания по диссертационной работе

1. Как-то не смотрится, когда в разделе, посвященном анализу технических решений для антенных решёток, включено около десяти страниц классическими положениями теории зеркальных антенн.

2. Неодинаковость глубины проработки вопросов. Так, например, соотношение длины и ширины излучающей щели (стр. 65) составляет $1/3 \div 1/4$ и можно ожидать, что появится заметная кроссполяризованная компонента поля, однако в работе поляризационные свойства антенной решётки освещены слабо.

3. В тексте, к сожалению, встречаются стилистические погрешности и не общепринятые термины (жаргон), например:

... улучшить диапазонные свойства можно путем параметров линии ... (стр. 62);

... позволяет дополнительно регулировать наклон амплитуды между параллельными точками питания ... (стр. 86);

... удовлетворяют нижезаписанным равенствам ... (стр. 103);

... последовательных участков неотвешенных плеч ... (стр. 108);

... отличие стабильности формы ДН с более короткой последовательной апертурой ... (стр. 122).

Заключение

Сделанные замечания касаются формы представления результатов, не затрагивают существа работы и не снижают её общей положительной оценки. Можно с уверенностью поддержать данную диссертационную работу, которая является самостоятельно выполненным и качественным научно-

квалификационным трудом на актуальную тему, а результаты и выводы подтверждены и обоснованы.

Представленная диссертационная работа вполне отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям (см. пункты 9 – 14 «Положения» о порядке присуждения ученых степеней Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, №824; редакция от 28.08.2017, № 1024), а её автор Коноваленко Максим Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Официальный оппонент,

доктор технических наук (05.12.21 по номенклатуре 1999 года), доцент по кафедре «Конструирование и технология радиоэлектронных средств»,
и.о. профессора по кафедре «Радиоприёмные и радиопередающие устройства» Новосибирского государственного технического университета

А.П. Горбачев

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».

630073, Новосибирск, проспект Карла Маркса, дом 20, корпус 4.

Телефон: +7 (383) 346-15-46.

E-mail: gorbachev@corp.nstu.ru

Подпись и.о. профессора А. П. Горбачева заверяю.

Начальник отдела кадров НГТУ

Пустовалова Ольга Константиновна



» ноября 2019 года.