

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора

Габриэльяна Дмитрия Давидовича

на диссертацию Мигалина Михаила Михайловича, выполненную на тему «ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОСТРОЕНИЯ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Актуальность темы диссертационных исследований. Широко используемыми технологиями повышения скорости обмена данными в современных телекоммуникационных системах является расширение спектра передаваемых сигналов и их пространственное мультиплексирование. Реализация данных направлений требует создания широкополосных антенных систем и антенных решеток, функционирующих по технологии Multiple Input, Multiple Output (MIMO).

Многоэлементные антенные системы позволяют наряду с технологиями time division multiple access (TDMA), frequency division multiple access (FDMA) использовать технологию spatial division multiple access (SDMA), обеспечивающую динамическое формирование диаграммы направленности (ДН) с нулями в направлении помех, а максимумами – в направлении абонентских терминалов, а также обеспечивают пространственное мультиплексирование в системах MIMO.

Однако при управлении лучами ДН могут проявляться нежелательные эффекты, такие как:

- появление «нулей» ДН, вызванное эффектом «ослепления» решетки;
- рост уровня боковых лепестков (УБЛ) и искажение ДН.

Все это приводит к деградации производительности телекоммуникационной системы или полному нарушению обмена данными с абонентскими терминалами. Кроме того, из-за роста связи между приемопередающими антеннами систем MIMO растет и корреляция каналов связи, что снижает спектральную эффективность системы и ведет к уменьшению скорости обмена данными.

Большое число систем связи, работающих в дециметровом и сантиметровом диапазонах длин волн, обуславливает освоение более высокочастотных диапазонов, в частности, мм-диапазона длин волн. В антенных системах мм-диапазона волн широкое применение в качестве составных элементов находят печатные структуры, характеристики которых в значительной степени определяются параметрами фольгированных диэлектриков, которые используются при создании антенных элементов мм-

диапазона волн. Однако наиболее полная реализация технологий TDMA, FDMA и SDMA возможна только при реализации требуемых характеристик направленности и излучения антенных элементов, что достигается только при наличии точных данных о частотных свойствах диэлектрической подложки. В то же время используемые технологические процессы не обеспечивают соблюдения требуемых параметров фольгированных диэлектриков при их производстве. Использование существующих методов измерения параметров диэлектриков также не обеспечивает требуемой точности. В частности, классические резонансные методы неприменимы из-за малых размеров опытных образцов и фидерных систем.

В указанных условиях проектирование и производство широкополосных АР связано с решением задач конструктивного синтеза. В отечественной и иностранной литературе известны работы по проектированию антенн мм-диапазона и разработке подходов к их синтезу, в которых процесс синтеза антенн имеет эвристический характер. Основой решения задачи конструктивного синтеза в указанных работах, как правило, являются:

- системы автоматизированного проектирования (САПР), такие как Altair FEKO, Ansys Electronics Desktop или CST Studio Suite, позволяющие проводить анализ исследуемых устройств, но в которых автоматическая обработка большого числа антенных конструкций затруднительна;

- пакеты прикладных математических программ, такие как Mathematica, MATLAB и Mathcad, в которых исследователи математически описывали решаемую задачу, а результатом её решения были размеры синтезируемой структуры, но не геометрическая модель устройства для производства.

Комбинирование возможностей математических пакетов и САПР позволяет создавать новые инструменты для разработчиков антенн и устройств СВЧ, что может ускорить решение частных инженерных проблем, препятствующих освоению мм-диапазона длин волн в системах связи. Таким образом, тема диссертации Мигалина Михаила Михайловича «Исследование особенностей построения антенных решеток миллиметрового диапазона длин волн» является актуальной.

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена согласованностью экспериментально полученных данных и результатов моделирования антенн в САПР. Результаты определения относительной диэлектрической проницаемости исследованного фольгированного диэлектрика в мм-

диапазоне длин волн соотносятся с данными производителя для более низких частот.

Научная новизна результатов диссертации состоит в следующем:

1. Решена задача автоматического конструктивного синтеза печатных излучателей в соответствии с требуемыми направленными и частотными свойствами излучателей.

2. В автоматическом режиме решена задача синтеза печатных развязывающих устройств, обеспечивающих требуемый уровень развязки в заданной полосе частот.

3. Получены численные и экспериментальные результаты исследования синтезированных структур.

4. Исследовано влияние производственных погрешностей на параметры печатных антенн и развязывающих устройств.

5. Отработана методика определения свойств фольгированных диэлектриков в мм-диапазоне с помощью одномодовых SIW-резонаторов; проведено численное и экспериментальное исследование фольгированного диэлектрика.

Практическая значимость результатов диссертационной работы, выражается в следующем:

1. Создан инструмент для разработчиков антенн в виде программы, комбинирующей возможности численных методов оптимизации и электродинамического моделирования современных конструкций антенных систем.

2. В автоматическом режиме разработан ряд конструкций излучателей и развязывающих устройств по предложенной методике конструктивного синтеза. Экспериментально показано увеличение полосы согласования синтезированной микрополосковой антенны в 5,2 раза относительно базовой конструкции антенны, а также увеличение полосы развязки печатных излучателей на 19% относительно базовой конструкции двухэлементной антенной решетки.

3. Разработана и апробирована методика измерения диэлектрической проницаемости материала подложки для СВЧ – устройств миллиметрового диапазона длин волн в диапазоне от 30 до 170 ГГц.

4. Выработаны рекомендации по применению генетического алгоритма при решении задач конструктивного синтеза антенн и развязывающих устройств.

На основе полученных результатов, отражающих научную новизну и практическую значимость, автор правомерно сформулировал следующие **положения, выносимые на защиту:**

1. Подход к автоматическому конструктивному синтезу широкополосных печатных антенн путем оптимального размещения квадратных проводящих пластин на поверхности диэлектрической подложки, а также квадратных вырезов в проводящем экране, подтвержденный результатами расчетов и экспериментальными данными.

2. Методика увеличения развязки между печатными излучателями путем оптимального размещения квадратных проводящих пластин на поверхности диэлектрической подложки, а также квадратных вырезов в проводящем экране, подтвержденная результатами расчетов и экспериментальными данными.

3. Методика учета влияния технологических погрешностей на результаты синтеза МПА на основе оптических измерений.

4. Модифицированная резонаторная методика определения свойств фольгированных диэлектриков в мм-диапазоне длин волн, подтвержденная результатами расчетов и экспериментальными данными.

Апробация диссертации

Результаты диссертационной работы были обсуждены в ходе следующих конференций:

1. 34-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2024).

2. Международная научная конференция «Излучение и Рассеяние Электромагнитных волн «ИРЭМВ-2023».

3. Международная научная конференция российских молодых исследователей в области электротехники и электроники (ElConRus 2023).

4. Международная научная конференция «Излучение и Рассеяние Электромагнитных волн «ИРЭМВ-2021».

5. Всероссийская научно-техническая конференция «Антенны и распространение радиоволн» (АРР 2018).

Публикации

По материалам диссертационной работы опубликовано 14 работ, в том числе 7 статей в изданиях, входящих в перечень ВАК и 7 в сборниках научных трудов российских и международных научных конференций, выполненных в соавторстве.

Автореферат достаточно полно отражает содержание и основные положения представленной диссертационной работы.

Замечания и рекомендации

Несмотря на достаточно высокий уровень исследований, можно отметить ряд замечаний:

1. Формула (2.1) определяет целевую функцию, имеющую «релейный» характер. Независимо от величины превышения установленного значения K $H(f_i)$ принимает значения $H(f_i)=1$ при $|S_{11}(f_i)| \leq K$ и $H(f_i)=0$ в противном случае. Однако превышение 0,01 дБ и на 1 дБ приводят к совершенно различным характеристикам антенной решетки. Более правомерным было бы представление $H(f_i)$ в виде степенной функции от величины превышения установленного порога K .

Кроме того, в тексте диссертации в явном виде не оговаривается выбор значения ξ в формуле (2.1). Возможным вариантом явилось бы представление целевой функции CF как снижение коэффициента усиления (КУ) в направлении θ_0 .

2. В материалах второго и третьего разделов приведены результаты синтеза микрополосковых антенн. Однако приведенные результаты не позволяют в полной мере оценить достижение глобального экстремума целевой функции. Здесь было бы необходимо представить ряд двумерных зависимостей, характеризующих достижение глобального экстремума при изменении параметров антенны.

Оценка диссертации в целом.

Диссертационная работа Мигалина Михаила Михайловича является последовательным, завершённым научным исследованием, посвящённым решению актуальной научной задачи, содержит новые научные результаты, имеет несомненную практическую значимость. Новизна, обоснованность и достоверность научных достижений, выводов и рекомендаций подтверждаются полученными результатами. Следует отметить, что высокий уровень исследований определяется взаимоувязанными результатами теоретических исследований, численного моделирования и экспериментальных исследований.

Отмеченные замечания не носят определяющего характера и, в целом, не ставят под сомнение достоверность, научную и практическую значимость полученных результатов.

Заключение

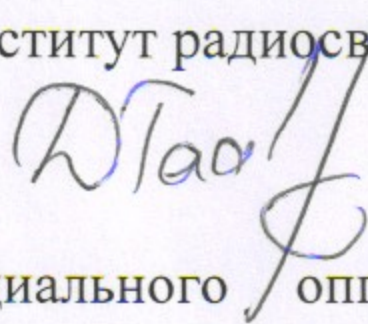
Считаю, что Мигалин Михаил Михайлович достиг поставленной цели диссертационных исследований. Основные результаты проведённой работы имеют несомненную научную новизну и практическую значимость.

Диссертация «Исследование особенностей построения антенных решеток миллиметрового диапазона длин волн» является завершённым научным трудом и удовлетворяет требованиям, установленным Положением «О присуждении учёных степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет», предъявляемым к кандидатским диссертациям. В диссертации решены поставленные автором задачи, направленные на разработку и исследование алгоритмов синтеза и оптимизации микрополосковых антенн миллиметрового диапазона волн.

Диссертант Мигалин Михаил Михайлович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор, заместитель начальника научно-технического комплекса по науке ФГУП «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи» (г. Ростов-на-Дону)



Габриэлян Дмитрий Давидович

Подпись официального оппонента доктора технических наук, профессора, заместителя начальника научно-технического комплекса по науке ФГУП «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи» (г. Ростов-на-Дону) Габриэльяна Дмитрия Давидовича
ЗАВЕРЯЮ:

Начальник отдела кадров Федерального государственного унитарного предприятия «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи»

Е.С. Букарева

«20» августа 2025 года

Адрес: 344038, г. Ростов-на-Дону, ул. Нансена, 130

Телефон: +7 (863) 250-89-85

E-mail: d.gabrieljan2011@yandex.ru

