

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора

Габриэльяна Дмитрия Давидовича

на диссертацию Алшимайсае Ихсана Абдлкарема А. Лмунема, выполненную на тему «Разработка антенн для систем 5G», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

Актуальность темы. Стратегия развития систем связи определяется необходимостью расширения используемого диапазона, требованиями увеличения скорости и уменьшения времени задержки передачи данных. В условиях повышения требований к скорости и качеству беспроводной связи, внедрения сетей пятого поколения 5G технология MIMO совместно с новыми стандартами связи играет ключевую роль в обеспечении высокоскоростной и стабильной передачи данных. Технология MIMO основана на методе множественного приёма-передачи радиосигнала, благодаря чему существенно увеличивается пропускная способность канала связи и повышается эффективность передачи данных.

Антенна в радиотехнических системах, в том числе системах связи представляет собой один из ключевых элементов, от которого зависит эффективность передачи и приёма сигналов, стабильность и качество связи. Объективная необходимость перехода в миллиметровый диапазон систем связи 5G требует новых методов проектирования антенн для систем мобильных и базовых станций.

Для достижения требуемых характеристик антенных систем при повышении рабочей частоты возможно уменьшение геометрических размеров антенных систем, что позволяет использовать многоэлементные антенные решетки с обработкой сигнала, реализующие технологию MIMO. Однако с ростом частоты наблюдается значительное увеличение потерь на трассе распространения, которое может быть скомпенсировано более высоким коэффициентом усиления антенны.

Необходимо отметить, что выполненный автором подробный анализ существующих вариантов построения антенн для сетей 5G, показал, что многие имеющиеся технические решения не удовлетворяют в полной мере системным требованиям, предъявляемым к антеннам в сетях 5G. Таким образом, развитие систем связи, включая развитие сетей связи 5G, определяет актуальность работы соискателя Алшимайсае Ихсана Абдлкарема А. Лмунема «Разработка антенн для систем 5G».

С учетом проведенного обоснования актуальности **целью работы** является разработка антенн для систем 5G и модернизация конструкций антенн 4G до уровня систем 5G.

Достижение сформулированной цели связано с решением следующих **задач исследования**:

- проведение сравнительного анализа существующих антенн для 4G и 5G систем связи;
- исследование распределения полей в ближней зоне антенн систем связи 4G для выявления источников, влияющих на их характеристики;
- разработка антенны для систем связи 5G с улучшенными характеристиками;
- модификация антенны 4G до уровня требований систем связи 5G за счет использования дополнительных конструктивных элементов на основе диэлектрических и радиопоглощающих структур;
- исследование влияние импедансных структур на характеристики антенн с целью доведения с их помощью параметров антенн 4G до уровня 5G;
- формулировка рекомендаций по использованию диэлектрических, поглощающих и импедансных структур в качестве дополнительных конструктивных элементов антенн, улучшающих их характеристики.

Объектом исследования является антенные системы для связи 4G, 5G.

Предметом исследования разработка конструкций антенн на основе полноволнового моделирования с использованием специализированных САПР СВЧ.

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, полученных в работе результатов, подтверждается верификацией полученных результатов с отдельными данными из публикаций других авторов, полученных с использованием различных методов. Результаты работы не противоречат полученным и опубликованным ранее в литературе результатам других авторов.

Научная новизна исследования определяется:

- разработанной электродинамической моделью и предложенной новой конструкцией антенны для систем связи и результатами проведенных её численных исследований, показавших, что предложенная конструкция обеспечивает улучшенные характеристики в диапазонах волн систем связи 2G - 5G;
- разработанной электродинамической моделью и результатами проведенных исследований электромагнитного поля широкополосной антенны 2×2 MIMO для систем связи GSM/3G/LTE/5G в ближней зоне с целью выявления возможных путей улучшения их характеристик;

- результатами исследований влияния диэлектрических экранов и радиопоглощающих покрытий и импедансных структур на характеристики излучения антенн;

- предложенными конструктивными элементами для антенн 4G на основе диэлектрических призм, радиопоглощающих плоских покрытий и цилиндрических экранов, позволивших улучшить эффективность антенн;

- предложенной электродинамической моделью резистивного импедансного покрытия, установленного на поверхности вибратора антенны 2×2 MIMO для систем связи GSM/3G/LTE/5G и предложенными вариантами резистивных покрытий на конструктивных элементах антенны 4G, обеспечивающими наилучшие характеристики антенны по КСВН в диапазоне частот систем 5G без ухудшения КУ и эффективности излучения;

- предложенной модернизацией антенн 4G, обеспечивающей характеристики, приемлемые для использования в системах связи 5G.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в том, что получены новые знания о распределениях ближних полей (полей рассеяния, наводимых поверхностных токов) и механизмах взаимодействия близко расположенных антенн.

Предложены новые конфигурации антенн за счет введения дополнительных радиопоглощающих и импедансных конструктивных элементов, позволивших увеличить рабочую полосу и расширить возможность использования антенн 4G для эффективной работы в системах 5G.

Разработаны две новые малогабаритные патч-антенны для работы на частотах 5G на основе ранее разработанных антенн 4G.

Разработана 2×2 MIMO-антенна, имеющая широкую полосу пропускания, включая диапазон 5G и обеспечивающая низкие значения КСВН, на основе конструкции антенны, предназначенной для 4G. Разработаны две 2×2 MIMO-антенны, имеющие широкую полосу пропускания, включая диапазон 5G, с уменьшенным значением КСВН, путем использования дополнительных конструктивных элементов на основе РПМ.

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

1. Разработана конструкция двухдиапазонной микрополосковой патч-антенны для устройств связи 5G диапазонов волн 2,3046 – 2,5103 ГГц и 3,1969 – 3,6618 ГГц, результаты численного моделирования.

2. Разработана конструкция трехдиапазонной микрополосковой патч-антенны для устройств связи 5G диапазонов волн 0,4 – 3,4096 ГГц, 43,5 – 64

ГГц и 81 – 95 ГГц; результаты проведенных численных экспериментов и анализа характеристик антенны.

3. Получены новые результаты исследований ближних электромагнитных полей ММО-антенн систем связи 4G с целью усовершенствования их характеристик до требований систем 5G.

4. Получены новые результаты исследований влияния диэлектрических конструкций и радиопоглощающих материалов на характеристики модернизированной антенны 4G ММО 2×2 TONGYU. Результаты численного анализа её характеристик излучения, направленных на определение возможности их применения в системах связи 5G.

5. Разработана конструкция модернизированной антенны 4G ММО 2×2 TONGYU с резистивными импедансными покрытиями на нижних сторонах плеч вибраторов, улучшивших характеристики антенны до уровня систем 5G. Результаты численного анализа характеристик антенны.

6. Получены новые результаты анализа ближних полей трехдиапазонной двухэлементной антенной решетки ММО 2×2.

7. Разработана конструкция модернизированной антенны с включенными конструктивными элементами из РПМ. Результаты численного анализа характеристик антенны.

Апробация диссертации

Результаты диссертационной работы были обсуждены в ходе следующих конференций:

- Технологические инновации и научные открытия : сборник научных статей по материалам XVI Международной научно-практической конференции, 14 ноября 2024 г. – Уфа: НИЦ Вестник науки, 2024. – С. 24-28.

- Инновации в науке и практике : сборник научных статей по материалам XVI Международной научно-практической конференции, 10 декабря 2024 г. : в 3 ч. Ч. 1. – Уфа: НИЦ Вестник науки, 2024. – С. 51-55.

- Journal of Physics: Conference Series: Imam Al-Kadhumi International Conference for Modern Applications of Information and Communication Technology (MAICT), 4-5 December 2019, Baghdad, IRAQ. – 2020. – Vol. 1530, No. 1. – Art. No 012077.

Публикации

По результатам диссертационных исследований опубликовано 7 научных работ. Из них в перечне рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России для публикации материалов диссертаций на соискание учёных степеней кандидата и доктора технических наук, опубликовано 3 статьи. В изданиях, реферируемых в базе данных «SCOPUS», опубликована 1 статья. В трудах международных научных конференций опубликовано 3 статьи.

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

Сведения о личном вкладе автора подтверждают самостоятельность выполнения работы соискателем.

Результаты исследований по теме диссертации получили хорошую апробацию и опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России для публикации материалов диссертаций на соискание учёных степеней кандидата и доктора технических наук, а также в изданиях, реферируемых в базе данных «Scopus».

Замечания и рекомендации

Несмотря на достаточно высокий, судя по материалам автореферата, уровень исследований, можно отметить ряд замечаний:

1. Для приведенная на рисунке 2.7 конструкции многодиапазонной микрополосковой патч-антенны не определены геометрические размеры вырезов, которые определяют полосы рабочих частот. В этом случае представление конструкции является неполным.

2. Для представленных на рисунке 2.11 диаграмм направленности не объяснено наличие несимметричного характера зависимостей от угла θ .

3. При обсуждении результатов, представленных в таблице 2.2, автор утверждает, что спроектированная антенна [119] имеет наибольший КПД. Однако, как определяется КПД по данным, приведенным в этой таблице, нигде не оговаривается.

4. При анализе результатов на рисунке 3.6 автор использует понятие медианного значения. Однако такое понятие используется, как правило, в теории вероятностей. Что означает этот термин в данном случае, не совсем ясно.

5. С методической точки зрения исследования распределения полей в ближней зоне, приведенное на рисунке 3.55, после того как рассмотрены основные интегральные характеристики антенн, не имеет смысла. С анализа этого распределения должно начинаться рассмотрение влияния параметров конструктивных элементов на характеристики антенн.

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

Оценка диссертации в целом.

Диссертационная работа Алшимаеве Ихсана Абдлкарема А. Лмунема 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 Алшимайсаве Ихсан Абдлкарем А. Лмунем достиг поставленной цели диссертационных исследований. Основные результаты проведённой работы имеют несомненную научную новизну и практическую значимость. Диссертация «**Разработка антенн для систем 5G**» 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 для систем связи 5G.

Диссертант Алшимайсаве Ихсан Абдлкарем А. Лмунем 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)

Д. Габриэльян

Габриэльян 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
Е.С. Букарева

«20» августа 2025 года

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

Телефон: +7 (863) 250-89-85

E-mail: d.gabrieljan2011@yandex.ru

