

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук, доцента

Звездиной Марины Юрьевны

на диссертацию Во Ба Ау, выполненную на тему «РАЗРАБОТКА НИЗКОПРОФИЛЬНОЙ АНТЕННЫ СИСТЕМ СВЯЗИ», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Актуальность темы диссертационных исследований. Широкое внедрение беспроводных систем связи в различные области народного хозяйства сделали возможным переход к цифровой трансформации экономики. Для покрытия больших территорий Земли в настоящий момент создаются единые наземно-воздушные космические мобильные сети 5G/6G (гибридные орбитально-наземные системы связи), основной акцент в которых делается на высокоомобильных абонентов, перемещающихся со скоростями до 250 км/ч. При размещении антенн на таких абонентских пунктах особое внимание необходимо уделять сохранению их аэродинамических свойств, т.е. конструкция антенн должна быть низкопрофильной. Кроме того, для обеспечения высокой пропускной способности радиоканала антенна должна обеспечивать функционирование в широкой полосе частот (200 МГц в технологии 5 G и до 1-2 ГГц в технологии 6G), а также должна обладать возможностью адаптации к изменяющимся условиям распространения сигнала (режим beamforming). Известные в настоящее время конструкции антенн не в полной мере удовлетворяют данным требованиям. В связи с этим цель диссертационных исследований Во Ба Ау, заключающаяся в разработке и оптимизации конструкций низкопрофильных антенн для применения в современных системах связи с обеспечением широкополосности, высокой эффективности и компактности, является актуальной.

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена созданием электродинамических моделей антенн, максимально соответствующих физическим моделям, численным моделированием с помощью программного обеспечения ANSYS HFSS, проведением эксперимента и совпадением результатов численных и экспериментальных данных.

Научная новизна результатов работы состоит в следующем:

1. Разработан метод обеспечения широкой полосы пропускания в низкопрофильной антенной решётке с круговой поляризацией на основе структуры сильносвязанных диполей.
2. Предложена новая конструкция симметрирующего устройства, обеспечивающая снижение профиля антенны базовой станции без ухудшения её характеристик.

3. Разработана конструкция низкопрофильной плоской широкополосной антенной решётки с применением модифицированного симметрирующего устройства.

Теоретическая значимость проведенного исследования заключается:

1. Разработан способ увеличения полосы пропускания путём создания ёмкостной связи между диполями.

2. Предложена конструкция симметрирующего трансформатора, позволяющая снизить высоту профиля антенной решетки для различных систем связи.

3. Исследованы параметры низкопрофильной антенн и оценены предельные возможности по всем параметрам, таким как КСВН, коэффициенту эллиптичности и характеристикам по размерам.

Практическая значимость результатов диссертационной работы, выражается в следующем:

1. Использование ёмкостной связи между диполями позволяет расширить полосу пропускания антенны с типичных 5-10 % до 96,3 % (диапазон 0,7-2,0 ГГц), что делает антенну широкополосной для работы в многодиапазонных системах связи.

2. Оптимизация формы и размеров симметрирующего устройства между диполем и отражателем позволила сократить высоту антенны базовой станции на 30 %.

3. Разработана конструкция низкопрофильной плоской сверхширокополосной антенной решетки с применением модифицированного симметрирующего устройства, которая обеспечивает полосу частот в 2,6 раза шире при уменьшении высоты на 35 % по сравнению с прототипом.

4. По результатам разработки низкопрофильной антенной решётки для базовой станции была подана заявка на патент на изобретение.

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

1. Метод введения ёмкостной связи между диполями позволил расширить рабочую полосу частот (не менее 90 % от центральной частоты) антенного элемента.

2. Процесс параметризации формы и габаритов симметрирующего устройства, размещённого между диполем и отражателем, позволил существенно снизить высоту конструкции антенны базовой станции до 30 %.

3. Модифицированное симметрирующее устройство позволило создать низкопрофильную антенную решетку (высота $0,18\lambda$) с улучшением характеристик излучения (коэффициент перекрытия 4,2:1).

Апробация диссертации

Результаты диссертационной работы были обсуждены в ходе конференции 2022 IEEE 8th All-Russian Microwave Conference (RMC).

Публикации

По материалам диссертационной работы опубликовано 4 работы, в том числе 3 статьи в изданиях, входящих в перечень ВАК и 1 в сборниках научных трудов Всероссийской научной конференции, входящей в базу данных Web of Science и Scopus.

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) Не совсем понятно, почему для научно-квалификационной работы уровня кандидатской диссертации сформулирована не научная задача, а проблема.
- 2) На с.20 в первом абзаце словесно указывает на условие увеличения паразитного излучения (порог поверхностных волн), связанного с размерами антенны, но не приводится его математическая запись или ссылка на литературный источник.
- 3) На с. 40 приводится ошибочное утверждение, что коаксиальные кабели имеют одно волновое сопротивление 50 Ом. Несомненно, указанный номинал является одним из распространенных. Однако наряду с ним применяются и коаксиальные кабели другого номинал, в частности, RG-59, RG-6 на 75 Ом, на 100 Ом. Кабели на 200 Ом, хотя и применяются в несколько других областях, также существуют.
- 4) Не понятно, чем отличаются конструкции антенн, приведенные на рисунках 1.17 и 2.1?
- 5) Утверждение на с.49 (первый абзац) о том, что широкополосные антенны могут снизить влияние многолучевого распространения радиоволн сомнительно. Традиционно для устранения данного эффекта применяются антенны ММО.
- 6) Не совсем понятным является пример использования разработанного способа к элементам панельной антенны Kathrein для расширения полосы частот нижней границы диапазона, используемого для передачи голосовых сообщений в технологии GSM. Целесообразно было бы рассмотреть вариант расширения частотного диапазона в технологии 4G для передачи данных, т.е. в диапазоне 2,6 ГГц.
- 7) На с.87 непонятна формула, определяющая величину k . Какая именно функция задействована: гиперболический тангенс?
- 8) На с.100 (последний абзац) не понятно сформулирована проведения экспериментальных исследований. Как понимается, должно быть «

- Верификация исходных данных разработанной модели для подтверждения результатов вычислительного эксперимента»?
- 9) Чем отличается прототип на рисунке 4.1,*a* от прототипа, приведенного на рисунке 4.18? К чему фотография известного прибора измерения ZVA40: его панель чем-то отличается от традиционной?
 - 10) Ссылки в тексте на рисунки 1.2, 1.3, 1.6, 1.7, 1.8, 1.10, 1.11, 1.14, 1.16, 1.17, 1.19-1.23 отсутствуют, как и их описание.
 - 11) Не вполне понятно, зачем на рисунок 4.20 вынесены зависимости КВСН, полученные для портов 2-4 для других неопределенных нагрузок, если осуществляется сравнение результатов моделирования и данных измерений? Остальные графики просто «зашумляют» рисунок.

Оценка диссертации в целом.

Диссертационная работа Во Ба Ау 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 Во Ба Ау достиг поставленной цели диссертационных исследований. Основные результаты проведённой работы имеют несомненную научную новизну и практическую значимость.

Полученные автором новые научные результаты свидетельствуют о вкладе автора в науку, соответствуют пунктам специальности 2.2.14 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии:

- исследование характеристик антенн и микроволновых устройств для их оптимизации и модернизации, что позволяет осваивать новые частотные диапазоны, обеспечивать электромагнитную совместимость, создавать высокоэффективную технологию и т.д.;
- исследование и разработка новых антенных систем, активных и пассивных микроволновых устройств, в том числе управляющих, фазирующих, экранирующих и других, с существенно улучшенными параметрами.

Диссертация «Разработка низкопрофильной антенны систем связи» 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 оптимизацию конструкций низкопрофильных антенн для применения в современных системах связи с обеспечением широкополосности, высокой эффективности и компактности.

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

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук, доцента, ведущего научного сотрудника ФГУП «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи» (г. Ростов-на-Дону)

Звездина Марина Юрьевна

Подпись официального оппонента доктора физико-математических наук, доцента, ведущего научного сотрудника ФГУП «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи» (г. Ростов-на-Дону) Звездиной Марины Юрьевны ЗАВЕРЯЮ:

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

Е.С. Букарева

« 18 » августа 2025 года

Адрес: 344038, г. Ростов-на-Дону, ул. Нахичеванская, 130
Телефон: +7 (863) 250-89-85
E-mail: zvezdina_m@mail.ru

