

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ,
СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»
(СПбГУТ)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

д.т.н., доцент

Рабин Алексей Владимирович

Юридический адрес: набережная реки Мойки,
д. 61, литера А, Санкт-Петербург, 191186

Почтовый адрес: пр. Большевиков, д. 22, корпус 1,
Санкт-Петербург, 193232

Тел.(812) 3263156, Факс: (812) 3263159
http://sut.ru

E-mail: rector@sut.ru

ОКПО 01179934 ОГРН 1027809197635

ИНН 7808004760 КПП 784001001

ОКТМО 40909000



«27» 05 2026 г.

27.05.2026 № 90-2/54-99

на № _____ от _____

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о диссертационной работе Фам Дык Хи «Обработка радиосигналов при обнаружении объектов с квадратичной вольтамперной характеристикой для инженерной робототехники», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Фам Дык Хи посвящена решению актуальной научно-технической задачи, связанной с повышением эффективности функционирования нелинейных радиотехнических систем (РТС) при обнаружении радиосигнала второй гармоники, рассеянного нелинейным объектом (НО) с квадратичной вольтамперной характеристикой (ВАХ).

Актуальность темы исследования определяется необходимостью развития радиотехнических методов дистанционного обнаружения и локализации объектов, содержащих электронные изделия и полупроводниковые компоненты с р-п переходом. С точки зрения технической электродинамики такие объекты представляют собой точечные электрические неоднородности, обладающие

Вход. № 137/26
«08» 06 2026 г.
ПОДПИСЬ

нелинейными электромагнитными свойствами, которые проявляются при воздействии на них СВЧ-сигнала определенной интенсивности. В указанных условиях особое значение приобретает регистрация рассеянного сигнала на второй гармонике, позволяющая обнаружить НО на фоне отражений линейного характера.

Значимость выполненного исследования усиливается тем, что существующие методы и средства поиска неоднородностей, включая магнитометрические, индукционные, механические и газоаналитические методы, имеют ряд ограничений, связанных с дальностью поиска, влиянием укрывающих сред, сложностью условий распространения радиоволн, а также малым размером полупроводниковых неоднородностей в составе обнаруживаемых объектов. В связи с этим развитие нелинейных РТС, предназначенных для обнаружения и пространственной локализации объектов с квадратичной ВАХ, является перспективным направлением радиотехники и инженерной робототехники.

Особую практическую значимость имеет предложенная в диссертации ориентация результатов на создание мобильной нелинейной РТС, размещаемой на специализированном транспортном средстве типа «безопасная машина». Такое решение направлено на повышение безопасности оператора, обеспечение дистанционного мониторинга местности и расширение возможностей робототехнических комплексов при поиске объектов с электроникой.

Таким образом, тема диссертационной работы Фам Дык Хи является актуальной, соответствует современным направлениям развития радиотехнических систем обнаружения, обработки радиосигналов и инженерной робототехники, а также имеет существенное значение для развития теории и практики нелинейных РТС.

Конкретное личное участие автора в получении результатов диссертации заключается в постановке и решении научной задачи, разработке математической и имитационной моделей нелинейной РТС, выводе расчетных соотношений для радиолинии второго рода с НО, введении и обосновании коэффициентов K_1 и K_2 , выполнении численных расчетов и экспериментальных исследований с

использованием спиральных антенн, а также в разработке алгоритма обработки принимаемых радиосигналов второй гармоники. Все основные результаты, составляющие содержание диссертации, получены автором самостоятельно и отражены в его опубликованных работах.

Научная новизна результатов проведенного исследования

Анализ новизны проведенных исследований показывает, что автором получены результаты, развивающие известные положения теории нелинейного рассеяния радиоволн и методов расчета нелинейных РТС. Ранее в научной литературе были известны общие принципы построения нелинейных радиосистем, основанных на регистрации гармонических составляющих, а также отдельные уравнения радиолинии второго рода для идеализированных условий. Вместе с тем вопросы учета экранирующих факторов, поляризационного рассогласования, влияния параметров антенной системы и вероятностной оценки обнаружения сигналов второй гармоники применительно к объектам с квадратичной ВАХ были исследованы недостаточно полно.

К числу результатов, впервые полученных автором на момент их опубликования в научных работах по теме диссертации, следует отнести следующие:

1. Предложен усовершенствованный подход к построению и верификации модели нелинейной РТС в условиях свободного пространства. В отличие от известных моделей, в предложенном подходе последовательно учитываются физические и радиотехнические процессы нелинейного рассеяния радиоволн СВЧ-диапазона объектами с квадратичной ВАХ, что позволило уточнить описание радиолинии второго рода и расчет дальности обнаружения сигналов второй гармоники.

2. Введены и обоснованы корректирующие коэффициенты, учитывающие реальные условия функционирования нелинейной РТС. Коэффициент K_1 характеризует влияние экранирующих свойств корпуса электронного изделия и

укрывающей среды, а коэффициент K_2 учитывает несовпадение поляризаций зондирующего и отраженного сигналов, включая направление вращения вектора электрического поля. Введение этих коэффициентов отличает предложенную модель от ранее известных идеализированных соотношений и повышает ее физическую адекватность.

3. Установлены новые закономерности влияния мощности СВЧ-излучения, уровня шума приемного устройства, дальности до НО, экранирующих факторов и поляризационного рассогласования на вероятность правильного обнаружения сигнала второй гармоники. Полученные зависимости позволяют количественно оценивать эффективность обнаружения объектов с квадратичной ВАХ и определять требования к радиопередающему и радиоприемному трактам нелинейной РТС.

4. Получены результаты исследования методов угловой локализации НО, включая анализ амплитудных и фазовых методов. Автором обоснована возможность применения суммарно-разностного метода обработки сигналов для разделения близко расположенных НО, находящихся в пределах одного телесного угла главного лепестка диаграммы направленности передающей антенны.

5. Определены технические характеристики и конструктивно-компоновочные решения мобильной нелинейной РТС, предназначенной для установки на специализированное транспортное средство. В работе научно обоснованы такие параметры системы, как рабочие частоты 2,4/4,8 ГГц, импульсная мощность передатчика 100–200 Вт, разнесенное размещение приемных антенн и применение широкополосной спиральной антенны в передающем тракте.

Таким образом, научная новизна диссертационной работы состоит не в повторении известных положений нелинейной радиолокации, а в их развитии применительно к задаче обнаружения объектов с квадратичной ВАХ с учетом реальных физических факторов, влияющих на формирование, распространение и прием сигнала второй гармоники.

Достоверность и обоснованность полученных результатов

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений, сформулированных в диссертации, определяется корректной постановкой научной задачи, использованием положений технической электродинамики, теории распространения радиоволн, антенно-фидерных устройств, теории радиотехнических систем, а также методов математического и имитационного моделирования и цифровой обработки радиосигналов.

Обоснованность научных положений, выносимых на защиту, подтверждается совокупностью теоретических, расчетных, имитационных и экспериментальных результатов.

Усовершенствованная модель слабоконтрастной электрической неоднородности с квадратичной ВАХ и методы расчета дальности ее обнаружения на частоте второй гармоники обоснованы последовательным выводом расчетных соотношений для радиолинии второго рода, анализом процессов нелинейного преобразования сигнала, проверкой физических размерностей и согласованностью полученных выражений с известными уравнениями РТС.

Положение о влиянии основных технических параметров нелинейной РТС на вероятность правильного обнаружения и вероятность ложной тревоги подтверждено численными расчетами и имитационным моделированием. В работе показано влияние мощности излучения, уровня входного шума приемника, дальности до объекта, экранирования и поляризационного рассогласования на отношение «сигнал/шум» и характеристики обнаружения, что подтверждает корректность предложенных расчетных зависимостей.

Результаты, связанные с эффективным разделением близко расположенных электрических неоднородностей с квадратичной ВАХ, обоснованы сравнительным анализом амплитудных и фазовых методов угловой локализации, а также исследованием суммарно-разностной обработки сигналов в двух разнесенных приемных радиоканалах. Это позволяет считать предложенный подход

обоснованным для решения задачи пространственного разделения сигналов, отраженных от НО.

Технический облик мобильной нелинейной РТС подтвержден результатами моделирования и расчетным обоснованием основных частотных, энергетических и антенных параметров системы. Экспериментальные исследования с использованием спиральных антенн подтверждают возможность применения предложенных технических решений при формировании и регистрации гармонических сигналов.

Апробация работы подтверждает высокий уровень выполненных исследований. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на всероссийских и международных научно-технических конференциях. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, в том числе 5 работ в изданиях, входящих в перечень ВАК, 1 работа индексируется в базах Web of Science и Scopus, получены 2 патента на изобретение и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Результаты диссертации внедрены в учебный процесс МТУСИ, что подтверждено соответствующим актом.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования

Теоретическая значимость работы заключается в дальнейшем развитии теории нелинейного рассеяния радиоволн и методов обработки радиосигналов, рассеянных НО с квадратичной ВАХ. В диссертации предложены математические модели, описывающие процессы формирования и приема сигналов второй гармоники от объектов, содержащих p - n переходы, а также выявлены и количественно описаны зависимости вероятности правильного обнаружения таких объектов от физических и геометрических параметров нелинейной РТС.

Практическая значимость работы состоит в том, что полученные автором результаты могут быть использованы при проектировании мобильных нелинейных РТС инженерной робототехники, предназначенных для дистанционного обнаружения и угловой локализации объектов с нелинейными электромагнитными

свойствами. Предложенные инженерные формулы позволяют оценивать эффективность проектируемой системы, выбирать параметры основания спиральной антенны, режимы приема и передачи СВЧ-сигналов, а также проводить оценку эксплуатационных характеристик мобильной нелинейной РТС.

Замечания по диссертационной работе

В целом положительно оценивая диссертационную работу Фам Дык Хи, следует отметить ряд замечаний:

1. В диссертации значительное внимание уделено моделированию радиолинии второго рода в условиях свободного пространства. Вместе с тем было бы целесообразно более подробно рассмотреть особенности применения предложенных расчетных соотношений при наличии подстилающей поверхности и растительности для реальных условий эксплуатации нелинейной РТС.

2. В работе введены коэффициенты K_1 и K_2 , однако практические способы их экспериментального определения для различных объектов и сред не раскрыты, что оставляет их в статусе абстрактных величин. Это снижает прикладную ценность модели, поскольку без методики калибровки предложенные расчеты невозможно напрямую использовать для инженерных задач.

3. При рассмотрении мобильной нелинейной РТС «безопасной машины» автором обоснованы основные частотные, энергетические и антенные параметры системы. Вместе с тем вопросы электромагнитной совместимости аппаратуры, размещаемой на мобильной платформе, а также влияние элементов конструкции транспортного средства на характеристики приема сигнала второй гармоники требуют дальнейшего исследования.

4. В диссертационной работе показана перспективность применения суммарно-разностного метода для угловой локализации НО. Однако в дальнейшем было бы полезно расширить сравнительный анализ указанного метода с фазовыми и другими амплитудными методами при различном взаимном расположении нескольких близко находящихся нелинейных объектов.

5. Представленные в работе результаты моделирования и экспериментальных исследований подтверждают основные научные положения диссертации. Вместе с тем отдельные положения, касающиеся практической реализации системы в составе инженерного робототехнического комплекса, могли бы быть дополнены более подробными рекомендациями по аппаратной реализации и эксплуатационным ограничениям.

Указанные замечания носят рекомендательный характер, не снижают общей высокой оценки диссертационной работы и не влияют на достоверность полученных автором научных результатов.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Диссертационная работа имеет как теоретическое, так и прикладное значение, что позволяет рекомендовать ее результаты к дальнейшему использованию в научных, образовательных и опытно-конструкторских работах радиотехнического профиля.

Разработанные Фам Дык Хи математические и имитационные модели, расчетные соотношения и алгоритмы целесообразно использовать при проектировании и исследовании нелинейных РТС, предназначенных для обнаружения объектов с квадратичной ВАХ по сигналам второй гармоники. Предложенные подходы позволяют моделировать процессы нелинейного рассеяния радиоволн, оценивать энергетические характеристики радиолинии второго рода, рассчитывать вероятность обнаружения сигналов на фоне шумов и обоснованно выбирать режимы обработки принимаемых СВЧ-сигналов.

Результаты диссертационного исследования рекомендуется использовать в ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики» при развитии учебных курсов и научных исследований по радиотехнике и распространению радиоволн; в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича» при выполнении исследований в области радиотехнических систем и обработки

сигналов; в ФГБУН «Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН» при проведении научных работ по нелинейному рассеянию электромагнитных волн; а также в ФГАОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» при разработке и моделировании радиотехнических систем обнаружения.

Практическое использование результатов возможно также в научно-исследовательских и проектных организациях, занимающихся разработкой радиотехнических средств обнаружения, программно-алгоритмического обеспечения обработки радиосигналов, имитационных моделей радиоканалов и мобильных нелинейных РТС инженерной робототехники. В качестве дальнейшего внедрения целесообразно проведение расширенных экспериментальных исследований предложенных моделей и алгоритмов в условиях, приближенных к реальной эксплуатации.

Заключение

Диссертационная работа является законченной и выполнена автором самостоятельно на достаточном научном уровне. Работа написана литературным языком, грамотно, стиль изложения доказательный. Диссертационная работа содержит достаточное количество исходных данных, имеет пояснения, рисунки, графики, примеры, подробные расчёты. По каждой главе и работе в целом имеются выводы. Основные этапы работы, выводы и результаты представлены в автореферате. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Следует отметить умение соискателя структурно и содержательно оформить результаты проведенного исследования: по каждому разделу сформулированы выводы, отражающие достигнутые научные и практические результаты, а заключение диссертации согласовано с поставленными задачами и положениями, выносимыми на защиту. В работе приведены необходимые исходные данные, расчетные соотношения, графики, результаты моделирования и

экспериментальные данные, подтверждающие результативность выполненного исследования.

Диссертационная работа Фам Дык Хи на тему «Обработка радиосигналов при обнаружении объектов с квадратичной вольтамперной характеристикой для инженерной робототехники» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной задачи повышения эффективности функционирования нелинейной радиотехнической системы при обнаружении объектов с квадратичной вольтамперной характеристикой на частоте второй гармоники, имеющей значение для развития радиотехники, систем обработки радиосигналов и инженерной робототехники.

Работа соответствует паспорту научной специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения в части пунктов: п. 1. «Исследование процессов и явлений в радиотехнике, позволяющих повысить эффективность радиотехнических устройств и систем», п. 2 «Исследование методов и алгоритмов обработки радиосигналов, учитывающих эффекты их рассеяния и отражения при прохождении через различные среды распространения», п. 3 «Разработка и исследование радиотехнических устройств и систем, обеспечивающих улучшение характеристик точности, быстродействия и помехоустойчивости».

В работе задачи, решенные диссертантом (подготовленные им разработки), имеют существенное значение для радиотехнической отрасли, в том числе для решения важных прикладных задач обнаружения объектов с нелинейными электромагнитными свойствами, моделирования РТС и обработки радиосигналов.

По своей актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости, достоверности полученных результатов и объему выполненных исследований диссертационная работа Фам Дык Хи соответствует требованиям пп. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Автор диссертации,

Фам Дык Хи, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на заседании кафедры сетей связи и передачи данных 12 мая 2026 года протокол № 7.

Доктор технических наук, заведующий кафедры Сетей связи и передачи данных, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича»


А.Е. Кучерявый

Доктор технических наук, профессор кафедры Сетей связи и передачи данных, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича»


С.С. Владимиров

Почтовый адрес: 193232, г. Санкт-Петербург, проспект Большевиков, д. 22, корп. 1

Телефон: +7 (812) 305-12-00

Адрес электронной почты: rector@sut.ru

Организация - место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», web-сайт организации: sut.ru.