

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Нгуен Ван Кыонг «Обнаружение СВЧ-сигналов, рассеянных коррозионно-разрушенными объектами, в условиях ландшафтно-почвенных зон Вьетнама», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности

2.2.13 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

Актуальность диссертационной работы

В нелинейных радиотехнических системах (РТС), предназначенных для мониторинга местности и обнаружения коррозионно-разрушенных объектов, формирование нелинейного отклика определяется наличием в зоне действия аппаратуры металлических (с коррозионными дефектами) и полупроводниковых элементов.

В реальных условиях эксплуатации, особенно в природно-почвенных зонах Вьетнама, параметры среды распространения радиоволн (влажность грунта, растительность, рельеф) существенно изменяются. Это приводит к дополнительным потерям сигнала и снижает эффективность обнаружения объектов нелинейной РТС.

Существующие методы и модели распространения и рассеяния СВЧ-сигналов ориентированы на обнаружение полупроводниковых деталей с квадратичной вольт-амперной характеристикой (ВАХ) электронно-дырочного перехода. Однако процессы формирования и приёма сигналов на третьей гармонике для объектов с металлической эрозией, имеющих кубическую ВАХ, изучены недостаточно. В современных подходах к проектированию нелинейных РТС не в полной мере учитываются влияние поверхностных радиоволн, а также интерференционные и поляризационные эффекты, что приводит к потерям при распространении сигнала вдоль земной поверхности и через растительность.

В связи с этим возникает необходимость разработки новых математических моделей и методов расчёта дальности и вероятности обнаружения коррозионных разрушений на металлических поверхностях. Особое значение приобретает повышение энергетической эффективности радиолинии второго рода на частоте третьей гармоники. Это достигается за счёт оптимизации параметров излучаемого СВЧ-сигнала, выбора поляризации, подбора ширины диаграммы направленности антенны и применения импульсных режимов работы РТС.

Таким образом, кандидатская диссертация Нгуен Ван Кыонга, посвящённая разработке моделей, методов и технических решений для совершенствования способов обнаружения СВЧ-сигналов, рассеянных коррозионно-разрушенными объектами в условиях Вьетнама, является актуальной. Работа имеет важное научное и практическое значение для развития нелинейных РТС мониторинга местности.

Автореферат и публикации по теме диссертации соответствуют основным положениям, выносимым на защиту. Диссертационная работа представлена на 131 странице, содержит 2 таблицы, 39 рисунков, список сокращений, список цитируемых литературных источников из 71 наименования.

Текстовая часть диссертационной работы включает введение, 3 раздела, заключение, список литературы и приложения.

Во введении диссертации корректно обоснована актуальность темы применительно к задачам радиотехнического мониторинга местности. Сформулированы цель, задачи работы, изложены научная новизна и основные положения, выносимые на защиту. Определены объект и предмет исследования, описаны использованные методы. Подчёркивается достоверность полученных результатов, раскрыта их практическая значимость и приведены сведения о внедрении в учебный процесс МТУСИ. Отражён личный вклад соискателя, представлены данные об апробации результатов и список публикаций по теме диссертации, дана общая характеристика её структуры.

Первый раздел посвящён анализу проблемы обнаружения коррозионно-разрушенных объектов в условиях ландшафтно-почвенных зон Вьетнама. Систематизированы основные формы таких объектов (сферическая, цилиндрическая, прямоугольная) и исследован механизм формирования их нелинейного отклика. Показано, что он обусловлен наличием МОМ-контактов при воздействии внешнего поля СВЧ. На основе анализа обоснована целесообразность использования нелинейных радиотехнических методов для регистрации рассеянных СВЧ-сигналов.

Во втором разделе представлена математическая модель радиолинии второго рода на частоте третьей гармоники. Получены аналитические зависимости мощности принимаемого сигнала от параметров нелинейного объекта с МОМ-контактами, характеристик антенн и условий распространения радиоволн.

Введён коэффициент нелинейного рассеяния для адекватного описания вторичного СВЧ-излучения коррозионно-разрушенных объектов на гармониках высшего порядка. Проведён анализ интегрального коэффициента передачи сигнала F , учитывающего интерференционные, поверхностные и поляризационные эффекты. Показано его влияние на дальность обнаружения нелинейной РТС, особенно при распространении СВЧ-сигнала вблизи земной

поверхности с различной степенью влажности, где существенен вклад поверхностной волны.

Обоснован выбор импульсного режима работы РТС как способа повышения энергетической эффективности радиолинии и увеличения отношения «сигнал/шум». Установлено, что регулирование коэффициента заполнения и длительности импульсов оказывает существенное влияние на характеристики обнаружения СВЧ-сигнала.

Важным результатом является предложенный подход к управлению параметрами облучающего сигнала с учётом взаимного положения антенн и условий распространения. Рассмотрены принципы адаптации коэффициента заполнения и длительности сигнала в зависимости от угла наклона луча, параметров подстилающей поверхности и растительного покрова. Это позволяет поддерживать стабильный уровень плотности потока мощности СВЧ-сигнала и повышать устойчивость работы нелинейной РТС в ландшафтно-почвенных зонах Вьетнама.

В третьем разделе изложены результаты численного моделирования и экспериментальных исследований. Установлены количественные зависимости интенсивности рассеяния третьей гармоники от формы объектов и угла падения радиоволны. Показано, что коэффициент нелинейного рассеяния лежит в диапазоне 10^{-10} – 10^{-12} м⁶/Вт², что обеспечивает обнаружение объектов с МОМ-контактами на расстояниях до 20 м.

Проведено сравнение теоретических и экспериментальных данных, которое продемонстрировало хорошее совпадение (расхождение не превышает 3 дБ). Кроме того, обоснован выбор антенн с эллиптической поляризацией. В разделе также представлена разработанная автором структурная схема мобильной нелинейной РТС мониторинга местности с тремя гармоническими каналами обнаружения СВЧ-сигнала.

В заключении работы приведен перечень основных научных результатов, сформулированы рекомендации по применениям разработанных моделей и алгоритмов, обсуждены перспективы дальнейшей разработки темы.

В приложениях приведены акт о внедрении в учебный процесс МТУСИ, копии 2 патентов на изобретение, а также копия свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Научная новизна заключается в следующем:

1. Разработана усовершенствованная модель слабоконтрастной электрической неоднородности с кубической ВАХ и предложен метод расчета дальности ее обнаружения на частоте третьей гармоники СВЧ-сигнала с учетом потерь при распространении в растительном покрове и вдоль поверхности грунта.

2. Установлена зависимость интегрального коэффициента передачи СВЧ-сигнала от условий возбуждения поверхностной радиоволны при обнаружении нелинейных объектов с МОМ-контактами, укрытых в приповерхностном слое, и показано существование оптимального диапазона углов поляризации сигнала, обеспечивающего устойчивое обнаружение объектов.

3. Теоретически обосновано преимущество импульсного режима работы нелинейной РТС с регулируемым коэффициентом заполнения, позволяющего повысить энергетическую эффективность и увеличить отношение «сигнал–шум» на входе приемного устройства.

4. Экспериментально подтверждены закономерности рассеяния СВЧ-сигнала на частоте третьей гармоники, включая зависимость интенсивности отклика от геометрии объекта и угла падения радиоволны, а также определены характерные значения коэффициента нелинейного рассеяния, обеспечивающие обнаружение объектов на дистанциях до 20 м.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии моделей нелинейного рассеяния радиоволн и радиолиний второго рода применительно к гармонике третьего порядка. Установлены закономерности влияния поляризации и импульсного режима зондирования на энергетические характеристики системы и отношение «сигнал–шум».

Практическая значимость работы определяется возможностью применения её результатов при создании нелинейных РТС мониторинга местности. Разработаны инженерные методы расчёта дальности обнаружения и

параметров системы, реализована программная модель радиолинии второго рода для третьей гармоники. Подтверждено внедрение научных результатов в учебный процесс.

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечивается корректным использованием математического аппарата, методов статистической радиотехники и имитационного моделирования. Подтверждением служат хорошее совпадение теоретических расчётов, данных моделирования и экспериментальных исследований.

Апробация работы и публикации

Основные результаты диссертационной работы были апробированы на 5 всероссийских и международных научно-технических и научно-практических конференциях. Опубликовано 12 работ по теме диссертации, в том числе: 6 научных статей в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК, 2 публикации в сборниках всероссийских и международных конференций, 1 научная статья, проиндексированная в базах данных Web of Science и Scopus, 2 патента на изобретение и 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Замечания и рекомендации по диссертации

По диссертационной работе имеются следующие замечания и рекомендации, которые не снижают общей положительной оценки и носят рекомендательный характер, направленный на дальнейшее совершенствование исследований.

1. По экспериментальной методике (раздел 3.1). Измерения ЭПР на третьей гармонике выполнены, однако в тексте не приведены подробности калибровки измерительного тракта и отсутствует оценка суммарной погрешности полученных значений коэффициента нелинейного рассеяния. Рекомендуется при последующей разработке аппаратуры дополнить методику калибровкой по эталонному нелинейному отражателю, что позволит оценить абсолютные значения КНРО.

2. По модели распространения (раздел 2.3). Разработанная автором модель распространения радиоволн с учётом поверхностной волны,

растительности и поляризации является важным теоретическим вкладом. Вместе с тем её верификация выполнена только косвенно — через сопоставление расчётной и измеренной дальности обнаружения. Целесообразно в дальнейших исследованиях провести прямые натурные измерения интегрального коэффициента передачи F на реальных трассах Вьетнама для различных типов почв и растительности.

3. По импульсному режиму (раздел 2.4). Показанное энергетическое преимущество импульсного режима с регулировкой коэффициента заполнения $D(i)$ является убедительным. Однако в работе не рассмотрены практические ограничения, а именно при очень малых $D < 0,001$ могут возникнуть сложности синхронизации приёма из-за многолучевого расширения импульса, также возрастают требования к фазовой стабильности генератора. В порядке рекомендации автору можно дополнить анализ требованиями к системе синхронизации и минимальной длительности импульса, обеспечивающей устойчивую работу на предельных дальностях.

4. В тексте автореферата и диссертационной работы встречаются отдельные стилистические неточности и опечатки.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не ставят под сомнение основные результаты диссертации.

Заключение

Отмеченные недостатки не носят критического характера и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная научно-техническая задача разработки моделей и методов обнаружения СВЧ-сигналов, рассеянных коррозионно-разрушенными объектами, с учетом влияния подстилающей поверхности и условий распространения радиоволн.

Диссертационная работа Нгуен Ван Кыонг соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее

