

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Проскурякова Владимира Борисовича «Оптимизация инфокоммуникационной системы на основе управляемых рассеивателей при различных видах модулирующих воздействий» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика»

Актуальность темы диссертации. Совершенствование технологий снижения радиолокационной заметности, способов поиска и наблюдения целей в условиях интенсивных фоновых отражений связано с развитием методических основ исследования вторичного излучения объектов с нелинейными электромагнитными свойствами.

За счет увеличения доли энергии поля, рассеиваемого на гармониках и комбинационных частотах, уменьшается радиолокационная контрастность объекта на частоте облучающей волны. Поэтому отражатели с нагрузками в виде полупроводниковых элементов могут применяться в качестве базовых компонентов радиопоглощающих управляемых покрытий, имитаторов ложных целей и средств постановки пассивных помех диапазонным радиолокационным станциям, в том числе с широкополосными и многочастотными сигналами.

Вместе с тем, вторичные электромагнитные излучения на частотах, отсутствующих в спектре зондирующего волнового процесса, являются демаскирующими признаками для обнаружения и распознавания искусственных объектов. Радиолокаторы с приемными трактами на гармониках и комбинационных частотах облучающих радиоволн применяются для поиска радиоуправляемых минно-взрывных устройств, встроенной в предметы интерьера аппаратуры несанкционированного перехвата данных (сведений) в акустических и электроакустических каналах. Параметрические рассеиватели в виде антенн с полупроводниковыми нагрузками применяются в радиомаяках навигационных систем, средствах радиомаркировки и радиочастотной идентификации объектов.

Методической основой для исследования и создания указанных средств являются математические модели рассеивателей, отраженных сигналов и алгоритмы приема и обработки радиоизлучений с трансформируемыми спектрами при определенном наборе априорных данных.

В работах Горбачева А.А., Заборонковой Т.М., Неганова В.А., Штейншлейгера В.Б. построены модели и исследованы характеристики резонансного рассеяния поля линейными антеннами, нагруженными на полупроводниковые элементы, на гармониках и комбинационных частотах падающей волны. Исследованы зависимости интенсивности вторичного излучения от параметров нагрузок, типа

и электрических размеров антенн; определены условия минимизации потерь энергии сигналов, поступающих на нелинейные элементы, за счет рационального выбора нагрузок и их согласования с приемоизлучающими структурами в диапазоне частот.

В трудах Авдеева В.Б., Михайлова Г.Д., Панычева С.Н., Петрова Б.М., Семеновичиной Д.В. исследованы возможности управления характеристиками и определены предельные уровни вторичного поля антенных систем с нелинейными нагрузками; на основе решения обратных задач возбуждения рассеивателей найдены параметры модуляции возбуждающих воздействий, соответствующие требуемым характеристикам вторичного поля.

В работах Вернигорова Н.С., Колданова А.П., Ларцова С.В., Лихачева В.П. построены алгоритмы оптимального обнаружения сигналов, рассеянных объектами с нелинейными электромагнитными свойствами на гармониках облучающего волнового процесса, на фоне собственных шумов приемников.

Однако перечисленные выше исследования выполнены применительно к узкополосным сигналам; модели рассеивателей получены в монохроматическом приближении возбуждающих воздействий; в алгоритмах обнаружения объектов не учтено влияние пространственно-коррелированных помех, в том числе обусловленных излучениями, когерентными с информационными сигналами.

В этой связи тема диссертации Проскурякова В.Б. «Оптимизация инфокоммуникационной системы на основе управляемых рассеивателей при различных видах модулирующих воздействий», посвященной определению путей повышения электромагнитной доступности рассеивающих структур «диод-диполь» за счет увеличения глубины модуляции отраженных сигналов и применения оптимальных приемников-обнаружителей, функционирующих в условиях воздействия фоновых помех, является актуальной.

Степень обоснованности научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. В диссертации решена научная задача увеличения дальности обнаружения рассеивателей за счет повышения глубины модуляции и разработки оптимальных алгоритмов приема отраженных сигналов, имеющая важное значение для изучения нелинейных процессов рассеяния и создания новых электродинамических систем и устройств формирования и передачи радиосигналов.

Содержание работы, раскрывающее суть полученных соискателем результатов, сформулированные на их основе выводы и рекомендации изложены в трех главах.

В первой главе диссертации приведены математические модели и эквивалентные схемы рассеивающих структур «диод-диполь». Предложен способ исследования модуляции рассеянного поля на основе радиофизического подхода,

базирующегося на аналитическом решении задачи возбуждения вибратора с сосредоточенной нелинейной нагрузкой плоской монохроматической волной и расчете токов нагрузки путем анализа ее эквивалентной схемы.

Показано, что импеданс управляющего элемента диода зависит от направления его смещения, а также структуры р-п-перехода. За счет изменения положения рабочей точки диода может осуществляться модуляция сигнала, отраженного структурой «диод-диполь», глубина которой определяется максимальным изменением импеданса диода при подаче управляющего напряжения. Для повышения дальности радиолокационного обнаружения структуры «диод-диполь» требуется обеспечить наибольшее различие максимального и минимального значений ее эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) путем определения соответствующих параметров амплитудной модуляции отраженного сигнала.

Во второй главе диссертации представлены уравнения передачи-приема сигналов в радиоканале с рассеянием на объектах с нелинейными электромагнитными свойствами и оценки дальности обнаружения целей по вторичному излучению на гармониках зондирующего сигнала.

Установлено, что для формирования детерминированного квазигармонического и стохастического модулирующего напряжения в структуре «диод-диполь» может применяться модулятор, собранный по схеме Колпитца. При его использовании спектр отраженного сигнала обогащается высшими гармониками вследствие нелинейной передаточной функции диода.

В третьей главе диссертации выполнен синтез оптимальных приемников-обнаружителей сигналов, отраженных структурой «диод-диполь», при различных видах модулирующих воздействий и наборах априорных данных. Проанализированы показатели эффективности оптимального обнаружения сигналов при гармонической и стохастической амплитудной модуляции, априори неизвестной и произвольной формой огибающей.

Показано, что при оптимальном приеме сигналов с гармонической модуляцией и априори неизвестными амплитудными и фазовыми соотношениями осуществляется накопление энергии боковых гармоник. При известных фазовых соотношениях может быть синтезирован приемник с когерентным накоплением сигнала. Отсутствие априорных данных об эквивалентной полосе частот стохастического сигнала приводит к существенному снижению эффективности его обнаружения при большом отношении максимального значения спектра к спектральной плотности мощности шума приемника.

Тематика диссертации Проскурякова В.Б. соответствует п. 2 (в части изучения нелинейных процессов рассеяния электромагнитных волн в естественных средах) и п. 3 (в части разработки, исследования и создания новых электродинамических систем и устройств формирования и передачи радиосигналов) раз-

дела «Области исследований» паспорта научной специальности 01.04.03 – «Радиофизика».

К числу наиболее значимых научных результатов, полученных соискателем, на наш взгляд, относятся следующие.

1. Модель широкополосного сигнала, отраженного структурой «диод-диполь», позволяющая исследовать закономерности изменения глубины его модуляции от параметров диода.

2. Алгоритмы оптимального приема сигналов, отраженных структурой «диод-диполь» на гармониках облучающей электромагнитной волны.

3. Предложения по повышению дальности обнаружения рассеивателей на базе структуры «диод-диполь» при использовании широкополосных, в том числе стохастических, возбуждающих воздействий.

Высокая степень обоснованности научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, определяется тем, что они получены с использованием современных методов исследований в области физики волновых процессов, теории цепей, статистической радиофизики и математического моделирования радиофизических устройств.

Достоверность и новизна научных результатов, выводов и рекомендаций.
Достоверность научных результатов, выводов и рекомендаций диссертации подтверждается обоснованными допущениями и ограничениями при постановке задач; соответствием полученных результатов общим физическим закономерностям; совпадением расчетных данных с экспериментальными, а в предельных и частных случаях, используемых для тестирования моделей, – с результатами, приведенными в используемых литературных источниках.

Представленные в работе выводы и рекомендации базируются на ясной физической трактовке закономерностей рассеивающих свойств структур «диод-диполь» при различных видах возбуждающего воздействия и характеристик обнаружения сигналов для фиксированного набора априорных данных. Результаты выполненной автором экспериментальной проверки глубины модуляции сигнала, отраженного структурой «диод-диполь», приведены с подробным описанием технических характеристик измерительной установки, условий получения и алгоритмов статистической обработки экспериментальных данных.

Новизна научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных по выполненным исследованиям, связана с развитием способов исследования нелинейных процессов рассеяния, а также создания новых электродинамических систем и устройств формирования и передачи радиосигналов, включая широкополосные и многочастотные сигналы.

Все предложенные соискателем решения строго аргументированы и оценены в сравнении с известными аналогами.

Теоретическая значимость работы определяется совершенствованием методик и алгоритмов исследования нелинейных процессов рассеяния электромагнитных волн в естественных средах, а также создания новых электродинамических систем и устройств формирования и передачи радиосигналов. Реализация полученных соискателем результатов позволит расширить область применения рассеивающих структур «диод-диполь» вследствие увеличения дальности их действия и повышения эффективности обработки сигналов при ограничениях отношения сигнал-шум на входах приемников.

Основные результаты диссертации апробированы на международных и всероссийских научно-технических конференциях по тематике исследований и достаточно полно опубликованы в 12 научных работах, включая 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

Ценность работы для практики заключается в том, что приведенные в ней результаты, выводы и рекомендации определяют технические пути создания средств формирования и передачи радиосигналов современных инфокоммуникационных систем с повышенной дальностью действия. Этот факт подтверждается реализацией модели модуляции и алгоритмов оптимального приема сигналов рассеивающей структуры «диод-диполь» при выполнении научно-исследовательских работ по совершенствованию инфокоммуникационных систем и способов передачи информации с применением рассеивающих структур «диполь-диод».

Замечания и недостатки диссертации. К сожалению, диссертация имеет ряд замечаний и недостатков.

1. Название работы целесообразно конкретизировать путем уточнения типа инфокоммуникационной системы, от которого зависят целевая функция и внешнесистемные ограничения оптимизационной задачи, а также методических аспектов выполняемой оптимизации.

2. Автором выполнена декомпозиция процесса оптимизации инфокоммуникационной системы с определением параметров модуляции вторичного поля структуры «диод-диполь», при которых достигается требуемая дальность обнаружения, и синтезом оптимальных алгоритмов обнаружения сигналов на фоне когерентных мешающих излучений и собственных шумов приемника. Однако при таком подходе необходимо привести обобщенный показатель и результирующие значения степени повышения эффективности системы в целом.

3. В работе рассмотрены модели идеализированных рассеивателей с точечными нелинейными нагрузками без учета влияния разрывов для подключения диодов на уменьшение эффективных излучающих поверхностей вибраторов. Вместе с тем, даже при малой (порядка $0,02 \dots 0,03$ длины облучающей волны) ширине зазора действительная часть входного сопротивления диполя уменьшает-

ся в 1,3...1,8 раза, а его мнимая часть изменяется на 35...50%, что может приводить к нарушению условий согласования антенны с нагрузкой в полосе частот.

4. Используемая соискателем относительная ЭПР структуры «диод-диполь» корректно может быть определена только для ЭПР, усредненных в секторах углов наблюдения, поскольку при подключении диодов с различными величинами сопротивления р-п-перехода, емкости корпуса и индуктивности контактов изменяется положение главного максимума диаграммы рассеяния диполя. При этом, как следует из выражения (1.3.11), ЭПР структуры «диод-диполь» вычислялась для фиксированного значения угла места.

5. Радиофизический метод анализа эквивалентных схем структуры «диод-диполь», как правило, применяется только при функционировании диода в квазилинейном режиме. Его использование для исследования характеристик рассеяния в условиях приближения диода по свойствам к идеальному замыкателю может сопровождаться вычислительными погрешностями. Для подтверждения точности выполненных расчетов целесообразно провести их сравнение со значениями, полученными методом баланса мощностей.

6. Нелинейная ЭПР объекта в уравнениях (2.4.21) и (2.4.22) задана как некоторая постоянная величина, в то время как, согласно определению, ее величина на n -й гармонике пропорциональна плотности потока мощности облучающего поля в степени $(n-1)$. В этой связи необходимо указать, что в приведенных выражениях подразумевается закономерность изменения мощности информационного сигнала пропорционально мощности зондирующего излучения в степени n .

7. При формировании отраженного сигнала не учитываются переходные процессы возбуждения структуры «диод-диполь», которые при использовании широкополосных облучающих волновых процессов и стохастических модулирующих воздействий будут носить нестационарный характер.

Вместе с тем, отмеченные недостатки не снижают общего позитивного впечатления от работы и не ставят под сомнение ее положительную оценку.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации. В нем в лаконичной форме ясно изложены основные идеи и выводы по работе, показаны определяющий вклад соискателя в проведенные исследования, степень новизны и практическая значимость результатов.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней. На основе анализа диссертации Проскуракова В.Б. «Оптимизация инфокоммуникационной системы на основе управляемых рассеивателей при различных видах модулирующих воздействий» можно сделать выводы.

1. Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на

