

ОТЗЫВ
официального оппонента доктора физико-математических наук
Табакова Дмитрия Петровича на диссертацию
Лысенко Николая Александровича «Пространственно-временной
метод расчёта импульсной характеристики для анализа
электромагнитного поля апертуры при излучении
сверхширокополосных импульсных сигналов» на соискание
учёной степени кандидата физико-математических наук по
специальности 01.04.03 – «Радиофизика»

Актуальность темы диссертации

Применение сверхширокополосных (СШП) импульсных сигналов получает все большее распространение в системах передачи информации. Для их излучения и приёма в основном используют апертурные излучатели. Существует разработанный метод анализа электромагнитных полей во временной области, основанный на апертурной теории и физической оптике, который предполагает синтез импульсных характеристик апертуры в любой точке пространства перед излучателем. Используя операцию свёртки сигнала в апертуре с импульсной характеристикой, можно получить временной отклик излучения апертурой. Этот метод исследовался и применялся в России и за рубежом в основном для анализа круглых апертур параболических излучателей. При этом были получены обобщения основных принципов на прямоугольную и произвольную апертуры. Метод расчёта импульсных характеристик является аналитическим, а результаты расчета позволяют получить реализацию полей в ближней и дальней зонах излучения. Несмотря на это, его корректное использование для анализа конкретных апертурных излучателей требует исследования и определения критерия применимости.

Одним из наиболее изученных и простых в изготовлении апертурных излучателей является ТЕМ-рупор, который широко применяется для излучения и приёма различных электромагнитных сигналов, в частности, сверхкоротких импульсов. Его преимущество заключается в малых габаритах, а

также в обеспечении достаточно широкой полосы рабочих частот. Прямоугольные апертуры, частным случаем которых является ТЕМ-рупор, до сих пор не были подробно исследованы методом расчёта импульсных характеристик.

Для анализа апертурных излучателей больших волновых размеров практически всегда используют численное моделирование, требующее в данном случае больших вычислительных и временных затрат. В основном современные численные методы основаны на решении системы уравнений Максвелла в дискретной форме. При этом точность такого расчета зависит от шага пространственной дискретизации. Кроме этого, в данном случае при незначительном изменении геометрии необходимо проводить расчёт заново. Таким образом, развитие аналитических методов определения характеристик апертурных излучателей при их возбуждении СШП нано- и субнаносекундными импульсными сигналами, представляется актуальной задачей.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

При описании теории метода расчёта импульсных характеристик автором используются известные положения физической оптики, апертурной теории, обоснованные физические модели, а также корректное применение математического аппарата. Проведена экспериментальная проверка и сравнительный анализ с результатами исследований, полученными другими методами.

Диссертация содержит прекрасно оформленный иллюстративный материал в количестве 88 рисунков. По результатам диссертации опубликовано 19 работ, в том числе, 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, два авторских свидетельства. Результаты работы докладывались на 14 конференциях. Все защищаемые научные положения и выводы диссертации в достаточной степени имеют теоретическое и экспериментальное обоснование в работе.

Достоверность полученных в работе результатов и выводов определяется использованием обоснованных физических моделей и строгих математических методов решения поставленных задач, экспериментальной проверкой и сравнительным анализом с численными и теоретическими моделями.

Следует отметить, что качественное совпадение результатов показало состоятельность аналитических выражений, а количественное отклонения результатов имеют корректное обоснование. Достоверность также подтверждается опубликованными научными работами и их апробацией на научных конференциях, семинарах.

Научная новизна результатов диссертационной работы

В диссертации применена теория излучения сверхкоротких импульсов апертурными излучателями. Предложена модификация метода расчёта пространственно-временной структуры полей широкополосных апертурных излучателей во временной области, позволяющая уточнить результаты анализ электромагнитных полей при излучении субнаносекундных сигналов.

На основе сравнения выявлена граница применимости исследуемого метода. Предложена выражение для описания зависимости поляризационного множителя от положения точки наблюдения, а также для описания зависимости спадающего к краям апертуры ТЕМ-рупора распределения мгновенных значений напряжённости поля.

Разработана модель СШП канала связи, позволяющая рассчитывать характеристики сигнала на выходе приёмного тракта с учётом выявленных аналитических выражений. Предложена экспериментальная установка и проведены измерения импульсного сигнала на выходе СШП канала связи, подтверждающие теоретическую модель. Показано, что при излучении и приёме СШП импульсного сигнала субнаносекундной длительности электромагнитное поле определяется суперпозицией прямой волны, излучённой апертурой, и противофазной волны, связанной с отражением от границ апертуры.

Значимость для науки и практики полученных результатов

Научная значимость определяется детальным исследованием и модификацией описанного метода расчёта пространственно-временных зависимостей полей сверхширокополосных апертурных излучателей для полупространства перед антенной. Предложенные зависимости позволяют уточнить расчёты электромагнитных полей для большого количества задач теории апертурных антенн. Также доказано, что метод расчёта импульсных характеристик

существенно ускоряет анализ при больших для апертур больших волновых размеров.

Практическая значимость определяется эффективностью и точностью анализа особенностей апертурных антенн во временной области в полупространстве перед апертурой аналитическим методом. Таким образом, для определённого класса задач отпадает необходимость в проведении численного или физического эксперимента.

Работа выполнена при поддержке программы «У.М.Н.И.К.» Фонда содействия инновациям (договоры №5349ГУ1/2014 от 24.03.2015 и №10478ГУ2/2016 от 25.08.2016), премии Молодёжного правительства Воронежской области (2015 г.), грантов Президента для молодых докторов наук (договоры №МД-6872.2018.9, № МД-7902.2016.9), ФЦП «Разработка методов выявления латентных технологических дефектов полупроводниковой элементной базы приёмопередающей электронной аппаратуры на основе сверхширокополосных импульсных сигналов» (Соглашение № 14.514.11.4079), ФЦП «Разработка сверхширокополосных импульсных систем связи для обеспечения помехозащищённого доступа к широкополосным мультимедийным услугам» (Соглашение №14.B37.21.0620).

Автор имеет 2 зарегистрированных патента на полезную модель, а также принимал участие в 14 международных и всероссийских конференциях с публикацией докладов.

Оценка содержания и оформления диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав и заключения. Объём диссертации составляет 150 страниц машинописного текста, включая 88 рисунков и список литературы, содержащий 160 наименований. Оформление диссертации и автореферата выполнено согласно всем правилам и требованиям, предъявляемым к работам данного вида.

В первой главе диссертации приведено описание теоретического метода расчёта полей апертурных излучателей во временной области для круглой апертуры. Приведены выражения поляризационного множителя и сделано предположение о равномерном распределением поля по апертуре. Показана методика вычисления временных откликов электромагнитного поля. Проведено численное моделирование, на основе которого рассчитаны импульсные

характеристики и проведено из сравнение с теорией. Также проведено сравнение откликов, полученных аналитически и численно. По результатам сравнения уточнён критерий применимости аналитического метода. Проведено сравнение сложности численного и теоретического методов расчёта.

Во второй главе рассмотрен и обобщен поляризационный множитель, который представляет из себя диаграмму направленности элементарного излучателя на поверхности апертуры в методе расчёта импульсных характеристик. Показано, что полученное выражение поляризационного множителя увеличивает сходимость численного и теоретического расчётов электромагнитного поля основной волны в 1.5 раза.

В третьей главе исследуется метод расчёта импульсных характеристик для прямоугольных апертур. В качестве такой апертуры автор рассматривает раскрыв ТЕМ-рупора с неоднородным диэлектрическим заполнением для минимизации разности фаз. Эффективность такого подхода подтверждена экспериментально. С использованием ранее введённых зависимостей распределения мгновенных значений напряжённости по круглой плоской апертуре предложено спадающее к краям распределение для прямоугольной апертуры. На основе результатов сравнения предложенной аналитической зависимости, численной модели и экспериментального измерения поля ТЕМ-рупора в раскрыве показана корректность полученного выражения. Далее, используя предложенную форму распределения, теоретически были рассчитаны отклики электромагнитного поля ТЕМ-рупора на нескольких расстояниях. Показано, что в рамках критерия применимости форма и задержка откликов поля совпадает с результатами численного моделирования.

В четвертой главе диссертации разработана модель СШП канала связи, в который входят передающий и приёмный излучатели и свободное пространство, а также проведено экспериментальное исследование модели для сравнения результатов расчёта сигнала на выходе различными методами. В качестве моделей излучателей использовались ТЕМ-рупоры, описанные в третьей главе. Численное моделирование СШП канала связи для поиска сигнала на выходе приёмной антенны для различных расстояний между апертурами методом конечных интегралов показало те же результаты, что и аналитические вычисления с учётом введённых зависимостей распределения напряжённо-

сти и поляризационного множителя. При этом, импульсные характеристики ТЕМ-рупоров получались с помощью регуляризации по Тихонову.

Разработана экспериментальная установка для измерения сигнала на выходе СШП канала связи. В качестве возбуждающего импульса использовался двуполярный гауссовский импульс с частотами от 1 ГГц до 6 ГГц. Этот же импульс использовался в качестве входного импульса в аналитическом методе расчёта. Время задержки и время максимумов, а также форма импульсов совпали. Сделан вывод о том, что предложенная модель позволяет описывать СШП канал связи с использованием аналитического метода расчёта импульсных характеристик при выполнении критерия применимости.

Диссертационная работа выполнена автором самостоятельно и на высоком теоретическом уровне. По теме работы опубликовано 19 печатных работ, включая публикацию в журнале «IEEE Antennas and wireless propagation letters».

Исследованный и модифицированный в диссертации Н.А. Лысенко метод расчёта пространственно-временных импульсных характеристик апертурных антенн может применяться в организациях, занимающихся разработкой и измерениями апертурных антенн для систем радиолокации и связи.

Автореферат отражает основные идеи, обсуждения и результаты по диссертации. В нём в лаконичной форме корректно представлено содержание диссертации.

Замечания по диссертации и автореферату

1. Во второй главе аналитически был получен поляризационный коэффициент основной волны (внутри прожекторного луча), который, однако, описывает граничные волны неточно. Следует отметить, что автором не было дано достаточно полное объяснение, почему новый поляризационный множитель некорректен для описания граничных и краевых волн.
2. В диссертации проведено достаточно большое количество численных экспериментов для получения откликов электромагнитного поля при излучении круглой и прямоугольной апертурами. Точечные зонды электрического поля при этом расставлялись на разных расстояниях и име-

ли направление поляризации, совпадающей с линейной поляризацией излучаемой волны. Было бы интересно увидеть результаты откликов поля на зондах с перпендикулярной поляризацией.

3. В третьей главе при описании проведения измерений поля в раскрыве реализованного лабораторного образца ТЕМ-рупора до конца осталось не ясной методика измерений программно-аппаратным комплексом ЕМ-Scan.
4. Также в работе недостаточно уделяется внимания вопросу частотной зависимости предложенного распределения мгновенных значений напряжённости поля в апертуре. Отмечено лишь то, что на основании совпадения характера одночастотных зависимостей и теоретической зависимости можно пренебречь влиянием выбора частотной области.

Тем не менее, отмеченные замечания не являются критическими и не ставят под сомнение общую **положительную оценку** диссертации.

Заключение

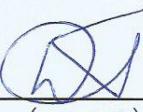
Диссертация Н.А. Лысенко представляет собой законченную квалификационную научную работу, в которой автором проведён теоретический анализ и совершенствование метода расчёта импульсных характеристик, основанного на апертурной теории во временной области, а также проведены численные и экспериментальные исследования для проверки результатов, полученных аналитически.

Результаты работы могут быть использованы для синтеза сверхшироко-полосных апертурных антенн и анализа их электромагнитного поля. Диссертационная работа вносит важный вклад в теорию и методологию расчета апертурных антенн. Ее результаты могут быть полезны на практике при разработке широко используемых антенн указанного типа. Диссертация соответствует пунктам 2, 3 и 7 паспорта специальности «01.04.03 - Радиофизика».

По объёму выполненных исследований, новизне, научной и практической значимости, важности полученных результатов, содержанию и оформлению работа полностью удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических

наук, и Положению о присуждении учёных степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Лысенко Николай Александрович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности «01.04.03 - Радиофизика».

Профессор кафедры радиоэлектронных систем ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»,
д.ф.-м.н.


(подпись)

Д.П. Табаков

«19»  Июль

2019 г.

Подпись Табакова Д.П. заверяю:

Ученый секретарь Ученого совета
ФГБОУ ВО «ПГУТИ»




(подпись)

О.В. Витевская

2019 г.

Табаков Дмитрий Петрович, доктор физико-математических наук (научная специальность: 01.04.03 – Радиофизика), профессор кафедры радиоэлектронных систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (ФГБОУ ВО ПГУТИ)

Служебный адрес: 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого, д. 23

Тел. раб.: (846) 332-58-53

e-mail: illuminator84@yandex.ru