

ОТЗЫВ

официального оппонента на автореферат и диссертацию **Корсакова Сергея Сергеевича** выполненную на тему «**Моделирование свойств помеховых нелинейных рассеивателей**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Среди большого количества побочных электромагнитных излучений и помех при решении проблемы обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств рассматриваются и побочные электромагнитные излучения, которые появляются в результате нелинейного преобразования облучающего сигнала объектами, содержащими радиоэлектронные компоненты, находящимися в зоне облучения. Такие объекты получили название нелинейных рассеивателей.

Появление этих побочных электромагнитных излучений связано с эффектом нелинейного рассеяния радиоволн, который исследуется с 40-х годов прошлого столетия. В случае их попадания в полосу пропускания приемных устройств, эти излучения можно считать специфической нелинейной помехой.

Степень разработанности темы исследования. Качественное описание данного явления достаточно просто и связано с искажением формы наведенного электрического тока при прохождении через нелинейные цепи. В результате в спектре переотражённого сигнала появляются побочные компоненты на гармониках и комбинационные составляющие спектра облучающего сигнала.

С количественным описанием указанного типа помех дело обстоит значительно хуже, хотя работы по данной тематике публикуются с 80-х годов 20-го века. С. С. Корсаков в своем диссертационном исследовании приводит их анализ. Основные проблемы известных подходов заключаются в том, что объекты, способные к переотражению компонент полученных в результате нелинейного преобразования облучающего сигнала, полностью характеризуются нелинейной поверхностью рассеяния. Ее можно вычислить, решая соответствующие интегро-дифференциальные уравнения. Другой

возможностью оценки уровня побочных компонент является предположение, что ток, наведенный в антенне, протекает через нелинейный элемент, и зная вольтамперную характеристику этого нелинейного элемента можно вычислить указанную выше нелинейную поверхность рассеяния.

Эти подходы были важным шагом в развитии теории эффекта нелинейного рассеяния радиоволн, однако они не учитывали того, что процессы нелинейного рассеяния идут и на частоте облучающего сигнала и на частотах переотраженного, на его гармониках, которые могут существенно отличаться. Кроме того, при таком анализе не рассматривался процесс взаимодействия нелинейной нагрузки и антенны. В указанных подходах не ставилась задача вычисления входного сопротивления нелинейной нагрузки.

Новый подход был предложен в работах руководителя диссертанта Н. Ю. Бабанова, которым было предложено при решении задачи нелинейного рассеяния использовать процессную модель, последовательно описывающую все процессы, протекающие при взаимодействии облучающего сигнала с нелинейным рассеивателем.

Н. Ю. Бабановым, вместе с учениками, указанная модель была использована для описания и оптимизации конструкций нелинейных радиоответчиков, в частности параметрических рассеивателей.

Основная идея диссертации. В диссертационном исследовании С. С. Корсакова процессная модель используется для описания процессов нелинейного рассеяния на источниках побочных радиоизлучений, представляющих собой антенны с нелинейной нагрузкой. Новизна постановки задачи исследования прежде всего связана с тем, что в общем виде рассмотрен нелинейный рассеиватель в виде диполя произвольной длины, нагруженный на нелинейную нагрузку, которая задается вольтамперной и вольтфарадной характеристиками. При этом учитывается уровень согласования импедансов антенной части и нелинейной нагрузки.

Актуальность данного исследования состоит в том, что указанный подход позволяет корректно решить задачу количественного определения параметров формируемого помехового сигнала при облучении рассмотренного типа источников нелинейных помех.

Таким образом, предметом исследований являются процессы нелинейного рассеяния, протекающие в нелинейном рассеивателе находящемся в поле облучения при формировании поля побочного излучения, возникающего в результате нелинейного преобразования облучающего сигнала.

Объектом исследований являются пассивные нелинейные рассеиватели в виде различных антенн с нелинейной нагрузкой.

Как наиболее интересные новые научные результаты, представленные в диссертации С. С. Корсакова можно отметить следующие:

1. Получены аналитические выражения, позволяющие провести аппроксимацию нелинейных характеристик импульсных, туннельных и обращённых полупроводниковых диодов, применимые для выполнения численного моделирования;
2. Разработана методика определения уровня поля побочного электромагнитного излучения, переизлучаемого нелинейным рассеивателем в произвольном направлении на частотах гармоник облучающего сигнала;
3. Представлена модель широкополосного нелинейного рассеивателя радиоволн и определены амплитудные характеристики источника нелинейных помех построенного на основе биконического диполя, нагруженного на импульсный диод;
4. Показано, что нелинейная антенна в виде биконического или плоского диполя с плечами в виде треугольников, нагруженная на туннельный диод может быть использована в качестве широкополосного эталона для калибровки измерительных стендов при определении параметров нелинейных рассетивателей;
5. Подтверждена возможность корректного расчета характеристик такого широкополосного эталонного нелинейного рассеивателя;
6. Предложены численные модели узкополосных источников побочного электромагнитного излучения на частотах гармоник облучающего сигнала, рассеивающая часть которых характеризуется частотно зависимыми реактивной и активной составляющими импеданса, а

нелинейная часть представлена в виде импульсного диода и колебательного контура;

7. Представлена методика построения диаграмм обратного нелинейного рассеяния, позволяющих оценивать уровень рассеянного побочного излучения на гармониках облучающего сигнала в произвольном направлении при заданных параметрах, характеризующих ориентацию диполя относительно фронта волны облучающего сигнала.

Наиболее значимым научным результатом диссертации является решение задачи определения характеристик нелинейного рассеяния для антенн с нелинейной нагрузкой. Представленные методики позволяют на основе учета всех процессов, протекающих в антенне с нелинейной нагрузкой при ее облучении узкополосным сигналом, определять амплитудно-частотные и пространственные характеристики рассеянного сигнала. При этом антенная часть задается частотно-зависимыми диаграммами излучения и значением импеданса в заданной полосе частот. Эти параметры могут быть определены экспериментально, так и расчетным методом. Нелинейная нагрузка задается при помощи ее эквивалентной схемы, параметры которой известны включая вольтамперные и вольт-фарадные характеристики нелинейных элементов.

Наиболее важными **результатами для практики** являются предложения автора по конструкции эталонного широкополосного нелинейного рассеивателя, методики расчета его нелинейных характеристик и калибровки стендов для измерения характеристик нелинейных рассеивателей.

Говоря о **степени обоснованности и достоверности** научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, следует отметить ее преемственность с научными результатами, полученными другими исследователями, прежде всего, учениками Н. Ю. Бабанова.

Принципы моделирования, использованные в диссертации, опираются на признанные научной общественностью рекомендации профессора Н.Д. Бирюка по моделированию нелинейных и параметрических цепей.

При разработке моделей нелинейных рассеивателей корректно использованы положения математического анализа и теории дифференциальных уравнений.

Кроме того, результаты численного моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными приведенными в публикациях других авторов, прежде всего профессора С.В. Ларцова.

Научные результаты, содержащиеся в диссертации и публикациях С.С.Корсакова целесообразно использовать при анализе электромагнитной совместимости различных радиоэлектронных приборов и устройств, в частности при их компактном расположении, например для подвижного носителя. при анализе возможности формирования технических каналов утечки информации за счет перехвата излучений на гармониках.

Говоря о замечаниях к диссертационной работе следует отметить следующее:

- 1) Определенный дискуссионный момент вызывает введенный автором термин «помеховый нелинейный рассеиватель». Как правило, о помехе говорят, когда определен объект ее воздействия, например приемное устройство. В то же время, предложенный термин достаточно компактен, более точный термин «нелинейный рассеиватель, являющийся источником побочных электромагнитных излучений» более длинный. Автору нужно было более четко определить рамки использования предложенного термина;
- 2) Имеются орфографические ошибки:
 - на странице 10 написано «по средствам» вместо «посредством», "... методика, позволяющая ...", ошибки в написании слов "рассеиватель";
 - нарушена нумерация рисунков на стр.16 и на стр.18 и др.;
- 3) Автором использована среда проектирования виртуальных приборов LabVIEW, в которой применен один из возможных методов численного решения дифференциальных уравнений - метод Рунге-Кутты, однако не представлено обоснование такого выбора;
- 4) В методике определения уровня побочного электромагнитного излучения, переизлучаемого на частотах гармоник облучающего сигнала нелинейным рассеивателем в произвольном направлении использована

формула Введенского, справедливая для дальней зоны. Не обсуждено, как выполнить расчет для меньших расстояний.

- 5) Было бы интересно рассмотреть возможность использования для моделирования исходных параметров нелинейных нагрузок, результаты их измерений при помощи современной измерительной аппаратуры (измерителей импедансов и нелинейных параметров двухполюсников и четырехполюсников).

Отмеченные замечания не снижают научной ценности и практической значимости диссертационного исследования, представленного С. С. Корсаковым к защите.

Основные положения диссертационной работы представлялись, докладывались и обсуждались на 6-ти научно-технических конференциях.

Представленная работа подтверждает, что ее автор С. С. Корсаков обладает необходимой квалификацией как научный работник способный самостоятельно вести научные исследования. выполнять теоретические расчеты и проводить численное моделирование.

Основные результаты работы изложены в шести публикациях в журналах, включенных в перечень изданий, рекомендованных ВАК для опубликования результатов диссертационных работ, получен один патент на изобретение.

Общее заключение по диссертации:

Диссертация соответствует требованиям п.9-14 "Положения о присуждении учёных степеней", утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842.

Диссертация соответствует паспорту специальности 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Таким образом, диссертация Корсакова Сергея Сергеевича «Моделирование свойств помеховых нелинейных рассеивателей» является завершённой научно-квалификационной работой и имеет внутреннее единство, в которой на основании выполненных автором исследований, содержится решение задачи, имеющей существенное значение для

радиотехники – задачи моделирования амплитудных, частотных и пространственных характеристик побочного электромагнитного излучения – пассивных полупроводниковых нелинейных рассеивателей, которое в определенных условиях может быть помехой для систем радиоприёма, а её автор Корсаков Сергей Сергеевич достоин присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 –Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Официальный оппонент

Доцент кафедры радиотехники радиофизического факультета ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»
кандидат технических наук, доцент

Клюев Виктор Федорович

5 декабря 2019 г.

Почтовый адрес: 603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23; тел. 8-831-462-32-60;
e-mail: klyuev@rf.unn.ru

Подпись В.Ф. Клюева заверяю Учёный секретарь
ННГУ им. Н.И. Лобачевского



Л.Ю.Черноморская