

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Корсакова Сергея Сергеевича «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

### **Актуальность темы диссертации**

В своем диссертационном исследовании С. С. Корсаков обращается к теме анализа одного из видов нелинейных помех – помех, вызванных нелинейными источниками в зоне облучения мощных передатчиков.

Как справедливо отмечает автор, данное научное направление долгое время оставалось слабо проработанным, хотя в рамках проблемы электромагнитной совместимости, данный класс помех всегда упоминался. Это связано с тем, что пока еще недостаточно разработана теория их расчета. Кроме того, количество источников нелинейных помех – помеховых нелинейных рассеивателей в терминологии автора еще достаточно невелико. В то же время сегодня наблюдается бурный рост как количества, так и типов полупроводниковых радиоэлектронных устройств, которые могут попадать в поле достаточно сильных источников электромагнитного радиоизлучения. Кроме того, растет и число указанных источников электромагнитного излучения. Эти обстоятельства приводят к тому, что рассматриваемый автором диссертации механизм возникновения нелинейных помех становится типичным, а диссертационное исследование, выполненное С. С. Корсаковым – актуальным.

В рамках затронутой проблемы автор рассматривает три важных аспекта:

- как рассчитать в произвольной точке величину вторичного поля, переизлучённого в результате облучения помехового нелинейного рассеивателя сигналом от мощного передатчика;
- как вычислить нелинейные характеристики помехового нелинейного рассеивателя, если известны его конструктивные параметры;
- как организовать измерения нелинейных характеристик помеховых нелинейных рассеивателей.

### **Степень разработанности темы и основная идея диссертации**

Научное направление, связанное с изучением переизлучения вторичных электромагнитных сигналов от объектов, содержащих нелинейные включения – эффектом нелинейного рассеяния радиоволн, развивается с 80-х годов 20-го столетия. При этом количество публикаций не очень велико. Автором выполнен обзор научных источников по данной тематике, который указывает, что в данном научном направлении работают исследователи в Нижнем Новгороде, Воронеже, Москве, Томске, Таганроге.

Естественно возникает вопрос о месте научных исследований С. С. Корсакова в общем объеме исследований пассивных нелинейных рассеивателей.

В качестве ответа на данный вопрос можно сказать, что им развивается научная идея, выдвинутая его руководителем Н. Ю. Бабановым, а именно поиск решения указанных выше задач на основе использования процессной модели нелинейного рассеивателя.

В то же время, следует отметить, что тема диссертационного исследования С. С. Корсакова существенно шире задач, решенных при анализе нелинейных пассивных радиоответчиков, рассмотренных в диссертациях Н. Ю. Бабанова и его ученика А. В. Клюева.

В частности, была поставлена задача рассмотреть результат нелинейного рассеяния от помехового нелинейного рассеивателя на частотах гармоник облучающего сигнала в произвольном направлении. При этом помеховый нелинейный рассеиватель представляет собой произвольный излучатель, нагруженный на произвольный нелинейный элемент. Излучатель задается внешними параметрами – диаграммой направленности и внутренними параметрами – импедансом с известными активной и реактивной компонентами. Нелинейный элемент в его нагрузке задается вольтамперной и вольтфарадной характеристиками.

Следует отметить, что задачу нелинейного рассеяния от антенны с нелинейной нагрузкой рассматривали и другие исследователи, при этом применялись существенные упрощения. В основном эти упрощения связаны с тремя аспектами: считалось, что антенная часть всегда чисто-резистивная и имеет постоянное для всех частот входное сопротивление; считалось, что нелинейный элемент чисто резистивный и, соответственно, безинерционный; считалось, что нелинейный элемент и антенная часть идеально согласованы.

Указанные допущения С. С. Корсаков не использует, что и придает новизну и актуальность его диссертационному исследованию.

Приступая к характеристике результатов, полученных С. С. Корсаковым, следует, прежде всего, отметить последовательность рассмотренных в диссертации задач. Материал организован так, что постоянно растет сложность задачи, при этом постоянно уделяется внимание практическому аспекту полученного результата.

**Новыми научными результатами, полученными С. С. Корсаковым, являются:**

Предложена методика расчета пространственных характеристик нелинейной помехи от помехового нелинейного рассеивателя, находящегося в поле облучения мощного источника электромагнитного сигнала;

На основе моделирования процессов взаимодействия помехового нелинейного рассеивателя с электромагнитным сигналом найдены амплитудные характеристики помеховых нелинейных рассеивателей в широкой полосе частот облучающего сигнала для:

- широкополосного нелинейного рассеивателя с резистивным импедансом, нагруженного на импульсный полупроводниковый диод;

- широкополосного нелинейного рассеивателя с резистивным импедансом, нагруженного на туннельный полупроводниковый диод;
- широкополосного нелинейного рассеивателя с резистивным импедансом, нагруженного на узкополосный колебательный контур и импульсный полупроводниковый диод;
- дипольного нелинейного рассеивателя произвольной длины с импедансом, имеющим активную и реактивную часть и нагруженного на импульсный полупроводниковый диод, заданный вольтамперной и вольтфарадной характеристикой.

**Наиболее значимым научным результатом диссертации** следует признать, что решена задача моделирования амплитудно-частотно-пространственных свойств помеховых нелинейных рассеивателей, которые могут быть представлены в виде антенны с нелинейной нагрузкой, у которой известны параметры излучателя (диаграммы направленности в диапазоне частот и комплексный импеданс) и параметры нелинейной нагрузки в виде электрической схемы с известными параметрами элементов, включая вольтамперные и вольтфарадные характеристики нелинейных элементов.

**Наиболее важным результатом для практики** является предложение по конструкции и методике расчета характеристик эталонного нелинейного рассеяния. Этот результат открывает возможность выполнять измерения параметров нелинейного рассеяния помеховых нелинейных рассеивателей и нелинейных пассивных радиоответчиков методом реального эталона в широкой полосе частот облучающих сигналов.

Говоря о **степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**, сформулированных в диссертации, следует отметить ее целостность и логичность. При анализе методов, развиваемых другими авторами, сделан вывод, что основная причина плохого согласования результатов анализа с экспериментальными данными, связана с отсутствием учёта рассогласования между линейной частью и нелинейным элементом нелинейного рассеивателя. В методике, рассмотренной С.С. Корсаковым, этот процесс учитывается. Кроме того, корректными являются модели нелинейных элементов, учитывающие тип проводимости и направление тока через полупроводниковый элемент.

Достоверность полученных результатов подтверждается так же тем, что полученные аналитические результаты хорошо совпадают с известными публикациями других авторов.

**Достоверность выполненного моделирования** подтверждается научной методологией исследования, выбором и реализацией комплекса методов, адекватных цели, задачам и логике исследования, данными компьютерного моделирования с использованием широко известных алгоритмов решения системы дифференциальных уравнений (Рунге-Кутта), выполненными для предложенных численных моделей проверочными расчётами, результаты которых, как частные случаи, согласуются с известными результатами исследований в смежных научных и технических задачах.

Диссертация содержит 131 с. основного текста, приложение на 1 с., список литературы из 134 наименований.

По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, из них – 6 в рецензируемых изданиях по списку ВАК, в которых материалы диссертации отражены достаточно полно, и один патент на изобретение.

Автореферат с достаточной полнотой отражает основные положения и выводы диссертации.

В работе можно отметить следующие недостатки:

1. Не освещено современное состояние исследований по теме диссертации, проводимых за рубежом.
2. Не ясно, почему исследования проводятся только в низкой части СВЧ-диапазона? Проблема актуальна для всего сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн.
3. Обсуждая известные публикации по теме диссертации, автор отмечает несоответствие результатов расчета экспериментальным данным в количественном отношении, и разработанная им методика п.1 «Положений, выносимых на защиту» призвана устранить это несоответствие, но как это проверить без эксперимента?
4. В методике определения уровня поля нелинейной помехи, переизлучаемой в произвольном направлении, рассматривается случай расположения помехового нелинейного рассеивателя, источника, облучающего его поля, и точки, в которой находится уровень помехового сигнала на одной высоте, что далеко не всегда выполняется.
5. При моделировании биконического нелинейного рассеивателя считается, что его импеданс постоянный и чисто активный. В реальности в полосе частот наблюдаются флуктуации этого импеданса около некоторой постоянной величины. Было бы целесообразно сделать оценку, насколько данные колебания сказываются на результатах уровня нелинейного рассеяния.
6. В тексте работы присутствуют незначительные неточности, например:
  - в «Положениях, выносимых на защиту» п.2 и п.4 (стр.10) имеются опечатки;
  - в подписях к рисунку 26 (стр.64) и на странице 65 неверно посчитана частота разностного сигнала ( $f_1 - f_2 = 250$  МГц, а должно быть 150 МГц);
  - у рисунков 89, 90 (стр.114) и рисунков 91, 92 (стр.115) одинаковые подрисуночные подписи;
  - в некоторых случаях неверно указана размерность физических величин (рис.62, стр.95 эффективная поверхность рассеяния приведена в «дБ», рис.66-79, стр.101-103 мощность рассеянного сигнала приведена в «дБ»);
  - для графиков рисунка 44 и рисунка 45 (стр.88) не указана частота или длина волны;
  - автор часто употребляет выражение «достаточно широкая полоса частот» (стр.31, 56 и др.), при этом не указывая, какова она в процентном отношении и для чего достаточна?

7. Было бы интересно обсудить возможное развитие моделей помеховых нелинейных рассеивателей, в частности, возможно ли применение рассмотренных методов для излучателей, подключенных к нескольким нелинейным нагрузкам. Такие помеховые нелинейные рассеиватели ближе к реальным объектам, вызывающим нелинейные помехи данного типа.

Отмеченные недостатки не снижают общего высокого научно-технического уровня работы и ее практической пользы, поэтому на основании изложенного можно сделать следующее заключение.

**Общее заключение по диссертации:**

Диссертация Корсакова Сергея Сергеевича соответствует специальности 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, имеет внутреннее единство и является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение задачи моделирования амплитудных, частотных и пространственных свойств источников нелинейных помех – пассивных полупроводниковых нелинейных рассеивателей, имеющей существенное значение для такой отрасли знаний как радиотехника.

Диссертация соответствует требованиям п.9 "Положения о присуждении учёных степеней" постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор Корсаков Сергей Сергеевич достоин присуждения учёной степени кандидата технических наук.

**Официальный оппонент** доктор  
технических наук, главный  
научный сотрудник  
Нижегородского филиала  
Акционерного общества «Научно-  
производственная фирма  
«Техноякс», Лауреат Премии  
Совета Министров СССР

Щитов Аркадий Максимович

6.12.2019г.

Подпись А.М. Щитова заверяю.  
Директор НФ АО «НПФ «Техноякс»



В.А. Максимов