

ОТЗЫВ официального оппонента

доктора технических наук Гизатуллина Зиннура Марселевича
на диссертационную работу Глотова Вадима Валерьевича «Методика анализа
электромагнитной совместимости печатного модуля с помощью
эквивалентного дипольного моделирования», представленную на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.2.13 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Бурный рост количества разнообразных радиотехнических средств, используемых в настоящее время во всех областях человеческой деятельности, одновременно порождает большое количество проблем. Одной из них является проблема обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС), которая проявляется, начиная от больших радиосистем и заканчивая компонентами на печатных платах. Любой объект, в котором протекают электрические токи, потенциально может выступать как излучающая антенна, воздействующая на другие объекты и мешая их работе.

В результате приходится решать проблему ЭМС на всех уровнях обеспечения, включая внутриаппаратурный уровень. Важным еще является учет необходимых условий эксплуатации еще на стадии проектирования изделий, так как это помогает правильно решать оптимизационные задачи по размещению компонентов схемы. Как известно, свойства электромагнитного излучения различаются в дальней и ближней зонах. В связи с тесным размещением радиодеталей в современных печатных платах все они, как правило, находятся в ближней зоне относительно друг друга.

Взаимное расположение элементов в современных конструкциях представляет собой сложный проект, и непосредственный расчет полей в таких случаях достаточно затруднителен. В связи с этим эффективно использовать моделирование, когда модель описывает явления, аналогичные протекающим в реальной схеме – эквивалентное моделирование. Этой тематике посвящена

рассматриваемая диссертационная работа Глотова В.В., что указывает на ее *актуальность и практическую ценность*.

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» и состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Введение носит постановочный характер. Обуславливается актуальность работы, поставленные цели позволяют обрисовать набор задач, требующих решения для достижения этих целей. Намечены пути решения этих задач.

В первой главе анализируются проблемы, возникающие при необходимости обеспечения ЭМС. Так же анализируются используемые средства для исследования ЭМС внутри печатного модуля.

Анализ электромагнитного поля в ближней зоне печатного модуля позволяет выявить опасные места и принять меры к устранению нежелательных ситуаций. Использование сканеров ближнего поля дает возможность оптимального выбора конструкции и путей ее изготовления.

Для повышения удобства исследований и их эффективности предлагается использовать методику эквивалентного моделирования, когда источник излучения заменяется эквивалентными магнитными токами с помощью набора диполей. Такой подход позволяет проанализировать поля внутри исследуемого объекта в ближней зоне.

Вторая глава посвящена описанию разработанного метода эквивалентного моделирования. Основной принцип здесь заключается в том, что реальная конструкция заменяется эквивалентной ей моделью. Метод допускает упрощение модели за счет объединения диполей и позволяет учитывать влияние близлежащих объектов. Точность модели определяется частотой расположения диполей. Предложен алгоритм использования методики анализа электромагнитной совместимости печатного модуля с помощью эквивалентной дипольного моделирования.

Приводятся результаты исследования описываемого метода на тестовом образце печатного модуля.

В третьей главе приведено описание аппаратно-программного комплекса для сканирования ближнего электромагнитного поля образцов

электронных устройств. Пробники дают возможность сканировать магнитную составляющую ближнего поля. Описывается программное обеспечение, необходимое для работы комплекса. Выбираются рекомендуемые параметры для адаптивного перемещения сканеров. Подробно описывается алгоритм сбора данных.

Четвертая глава посвящена описанию экспериментальных результатов по исследованию эффективности предложенной методики. Для построения модели тестового модуля использована специализированная САПР. Была построена карта распределения магнитного поля и изготовлен натурный образец печатной схемы. Программно-аппаратный комплекс привлекался для локализации слабого места в отношении ЭМС и поиска топологических участков, чувствительных к помехам. Приводятся таблицы с численными результатами измерений.

Сопоставление данных, полученных из проведенных экспериментов и с использованием моделирования, показали хорошее согласование параметров, позволяющее прогнозировать результаты предсертификационных испытаний.

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается сопоставлением экспериментальных исследований и исследований с помощью предлагаемой методики, а также широким обсуждением на конференциях различного уровня.

Автореферат написан лаконично, однако позволяет в необходимом объеме составить мнение о выполненной работе.

Необходимо выделить следующие основные теоретические и практические результаты, полученные автором лично:

- *в теоретической части* – разработка методик оценки электромагнитной совместимости в ближней зоне печатного модуля и ее экспериментальная проверка;

- *в практической части* – предложенные методики дают возможность значительно сократить сроки и сложность исследований аппаратуры на выполнение требований на ЭМС.

Следует отметить некоторые *замечания* по работе.

1. Следовало бы обсудить ограничения при использовании предложенной методики, которые обычно бывают в любом предлагаемом методе.

2. В описании отсутствует информация о плоскости заземления печатного модуля - оно учитывается в качестве важнейшего элемента модели или нет.

3. Отсутствуют рекомендации по дальнейшему продолжению исследований в данном направлении.

4. В автореферате не описан метод подбора, которым автор пользуется при выборе шага накладываемой сетки на печатный модуль.

Тем не менее, *в заключение* стоит отметить, что указанные выше критические замечания не влияют на общую оценку диссертационной работы в целом. Диссертация является законченной работой, содержит обоснованные теоретические и практические решения проблемы обеспечивает ЭМС в ближней зоне печатных модулей. Таким образом, диссертация является законченной научно-квалифицированной работой, в которой разработаны и представлены новые научно обоснованные технические решения.

По теме диссертационного исследования опубликована 31 научная работа, из них 9 статей в ведущих рецензируемых научных журналах из Перечня ВАК, 4 статьи, индексируемые в базе данных Scopus, 4 зарегистрированных программы для ЭВМ и один патент на полезную модель.

Диссертационное исследование соответствует следующим пунктам области исследования паспорта специальности 2.2.13 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»: п.7 «Разработка и исследование методов обеспечения электромагнитной совместимости радиотехнических систем и устройств, включая радиосистемы телевидения и связи, методов разрушения и защиты информации в этих системах» и п.16. «Разработка научных и технических основ проектирования, конструирования, технологии производства, испытания, и сертификации радиотехнических устройств и систем, включая черно-белые, цветные, спектрональные, инфракрасные, терагерцовые и многоракурсные телевизионные системы, пассивные и активные системы объемного телевидения, в том числе голографические».

Считаю, что представленная диссертация *полностью отвечает* необходимым критериям «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, а ее автор Глотов Вадим Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Официальный оппонент,
Гизатуллин Зиннур Марселевич,
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры систем
автоматизированного проектирования
Казанского национального
исследовательского технического
университета им. А.Н. Туполева-КАИ
(г. Казань)



«07» 03. 2023 г.

420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10
Служеб. тел. +7 (843) 231- 00 -81
e-mail: zmgizatullin@kai.ru

Подпись Гизатуллин З.
заверяю. Начальник управлен
делопроизводства и контро

