

ОТЗЫВ **официального оппонента**

доктора технических наук доцента Неровного Валерия Владимировича
на диссертационную работу Васильченко Дмитрия Владимировича
«Методика анализа влияния электромагнитных помех на
радиоэлектронные модули с применением нейросетей»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 2.2.13 Радиотехника, в том числе системы и устройства
телевидения

1. Актуальность темы диссертационной работы

Современные радиоэлектронные устройства используются во многих сферах, включая телекоммуникации, транспорт, промышленную автоматизацию и медицину, что требует высокой надёжности их работы в условиях сложной и насыщенной электромагнитной обстановки (ЭМО). В условиях роста количества источников электромагнитных помех (ЭМП), вызванного активным внедрением новых технологий и увеличением плотности размещения электронных компонентов, возрастает риск отказов, снижения производительности и деградации качества связи. Эти угрозы обуславливают необходимость разработки методов и средств, обеспечивающих электромагнитную совместимость (ЭМС) радиоэлектронных модулей (РЭМ) на различных уровнях их конструкции и функционирования.

Традиционные методы защиты радиоэлектронных модулей от ЭМП, такие как экранирование, заземление и фильтрация, часто оказываются недостаточно эффективными. Это связано с тем, что современные электронные устройства имеют высокую плотность компоновки, работают в широких диапазонах частот и подвергаются воздействию широкого спектра внешних помех. Эти факторы усложняют применение стандартных защитных мер, делая их менее гибкими и зачастую требующими значительных ресурсов для адаптации к новым условиям эксплуатации.

В последнее время активно развиваются подходы к диагностике и прогнозированию устойчивости РЭМ к ЭМП с использованием методов

машинного обучения и искусственного интеллекта. Эти подходы позволяют автоматизировать процесс анализа и значительно повысить точность прогнозов возможного воздействия ЭМП на системы. Особенно перспективно применение нейронных сетей, способных обрабатывать большие объёмы данных, учитывать сложные взаимосвязи между элементами конструкции и адаптироваться к изменяющимся условиям. Однако использование нейросетевых моделей в задачах обеспечения ЭМС требует значительных доработок и адаптации под специфику анализа электромагнитных воздействий.

Диссертационная работа Васильченко Дмитрия Владимировича нацелена на создание методики анализа воздействия ЭМП на РЭМ с применением графовых нейронных сетей (ГНС). ГНС позволяют представить структуру РЭМ в виде графа, что делает возможным анализ топологических и схемотехнических особенностей устройства для точного прогнозирования уязвимых узлов. Такой подход позволит повысить скорость и качество оценки РЭМ в процессе проектирования в части обеспечения ЭМС разрабатываемого устройства.

2. Оценка достоверности полученных результатов и новизны диссертационного исследования

Методы, использованные в диссертационной работе, включают теорию графов, принципы машинного обучения, электродинамику и теорию ЭМС. Достоверность результатов подтверждена экспериментами и их апробацией на научных конференциях, а также внедрением в научно-исследовательские работы и учебный процесс ВГТУ.

Научная новизна работы заключается в разработке подхода, использующего графовые нейронные сети для анализа устойчивости РЭМ к ЭМП. Это позволяет учитывать сложные взаимодействия компонентов и структуры модуля, что способствует более точному прогнозированию уязвимых зон. Основные научные результаты работы:

- Создание математической модели оценки воздействия ЭМП, основанной на графах, с учетом топологии РЭМ.
- Разработка алгоритма преобразования данных в векторное представление для последующего использования в нейронной сети.

– Предложение методики анализа ЭМП, интегрированной в процесс проектирования РЭМ, с применением графовых нейронных сетей внимания.

Практическая значимость работы подтверждается успешным внедрением разработанной методики в производственные процессы АО НВП «ПРОТЕК», что подчёркивает её ценность для промышленного использования. Разработанная методика, основанная на использовании нейронных сетей для анализа влияния ЭМП позволяет повысить эффективность диагностики устойчивости устройств к помехам ещё на этапе проектирования. Благодаря такому подходу уязвимости выявляются на ранней стадии, что даёт возможность своевременно устранить потенциальные проблемы, минимизируя риски сбоев в процессе эксплуатации.

Интеграция нейросетевых алгоритмов в цикл разработки РЭМ позволяет не только автоматизировать анализ, но и сократить ресурсы, которые обычно требуются для традиционных методов моделирования и тестирования. Подход, использующий графовые нейронные сети, обеспечивает детализированное рассмотрение топологических и конструктивных особенностей РЭМ, что даёт более точные результаты и позволяет учесть влияние различных конструктивных решений на устойчивость к ЭМП.

В результате, методика позволяет снизить затраты на дальнейшее тестирование и доработку изделий, а также способствует повышению общей производственной эффективности.

3. Оценка содержания диссертации, степени её завершенности, подтверждение публикаций автора

Структура диссертации соответствует теме и цели исследования и включает введение, четыре главы, заключение, список литературы из 52 наименований и два приложения. Общий объем работы составляет 108 страниц, включает 38 рисунков и 4 таблицы. Имеет список сокращений и условных обозначений.

Во **введении** обоснована актуальность исследования, продиктованная необходимостью повышения электромагнитной совместимости РЭМ в условиях возрастающих помех и сложных условий эксплуатации. Автор формулирует

цель работы, которая состоит в разработке методики анализа влияния ЭМП на РЭМ с использованием нейронных сетей, и определяет задачи, направленные на достижение этой цели. Во введении также представлена научная новизна, практическая значимость работы и подтверждены результаты её апробации.

Первая глава посвящена анализу влияния ЭМП на РЭМ и описанию существующих методов обеспечения электромагнитной совместимости. Автор рассматривает основные виды помех, их источники и влияние на радиоэлектронные устройства, выделяя недостатки традиционных методов прогнозирования поведения РЭМ в различных условиях внешних помех. В результате автор обосновывает необходимость применения машинного обучения, особенно графовых нейронных сетей, для более точного прогнозирования помехоустойчивости радиоэлектронных модулей, что открывает перспективы для создания новой методики.

Во **второй** главе описывается подход к представлению структуры РЭМ в виде графов, где компоненты и их электрические соединения описаны вершинами и рёбрами с соответствующими атрибутами. Преобразование топологии печатной платы в графовую структуру позволяет применять графовые методы для анализа устойчивости к ЭМП. Автор описывает использование алгоритмов графовых нейронных сетей, таких как сети внимания, для выявления уязвимых узлов и оптимизации конструкции РЭМ, что значительно расширяет возможности традиционного анализа и моделирования.

В **третьей** главе изложена методика анализа воздействия ЭМП на РЭМ с использованием графовых нейронных сетей. Описывается процесс создания обучающего датасета на основе графовых представлений компонентов РЭМ, включая предварительную обработку данных и моделирование различных конструкций. Автор приводит архитектуру предложенной графовой нейронной сети и алгоритм её обучения. Также автор показывает, что разработанная сеть позволяет прогнозировать устойчивость радиоэлектронных модулей к внешним электромагнитным воздействиям, обеспечивая более точные результаты по сравнению с традиционными методами.

Четвертая глава посвящена экспериментальной проверке разработанной методики на тестовом радиоэлектронном модуле, моделирование которого

проводилось с использованием программного обеспечения CST Studio. Экспериментальные исследования, включающие анализ резонансных эффектов на разных частотах, подтвердили эффективность методики для выделения уязвимых зон конструкции и оптимизации топологии РЭМ. Результаты моделирования и тестирования демонстрируют высокую практическую значимость методики и её потенциал для промышленного внедрения в процесс проектирования радиоэлектронных систем.

В **заключении** обобщены результаты диссертации, подчеркнуты научная новизна и практическая значимость работы, сделаны выводы о достижении поставленных целей и решении поставленных задач. Результаты исследования нашли отражение в 15 научных публикациях, включая 9 статей в ведущих рецензируемых журналах из Перечня ВАК и 6 тезисов на международных и всероссийских научно-технических конференциях (две статьи включены в базу данных Scopus), что подтверждает высокую значимость и уровень апробации научных результатов.

4. Соответствие содержания автореферата диссертации

Автореферат четко и полно отражает основные положения диссертации, раскрывая её научную новизну и практическую значимость. В нем последовательно изложены цели, задачи, методы исследования, а также основные результаты работы, что позволяет получить полное представление о проведенном исследовании.

5. Замечания по диссертационной работе

Несмотря на высокую значимость исследования, отмечены некоторые замечания:

1. В работе не указаны ограничения применяемой методики для различных типов РЭМ.
2. Не представлены альтернативные подходы к моделированию структуры РЭМ, отличные от графовых методов.
3. При проведении эксперимента в качестве электромагнитной помехи использовался только синусоидальный сигнал и не рассмотрены другие виды

сигналов (импульсные сигналы, модулированные сигналы, широкополосный гауссовский шум).

4. Хотелось бы видеть рекомендации по дальнейшему развитию предложенных алгоритмов для сложных многослойных плат.

6. Заключение

Диссертация Васильченко Дмитрия Владимировича «Методика анализа влияния электромагнитных помех на радиоэлектронные модули с применением нейросетей» представляет собой завершенное и актуальное научное исследование, содержащее значительные научные и практические результаты. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Васильченко Д.В. заслуживает присуждения данной учёной степени по специальности 2.2.13 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

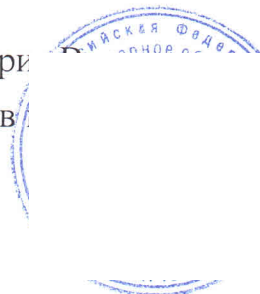
ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕТ

Ведущий научный сотрудник отдела перспективных технологий и разработок акционерного общества Научно-внедренческое предприятие «ПРОТЕК» (Российская Федерация, 394028, Воронежская обл., г. Воронеж., ул. Базовая, 6. Тел.: 8 (951) 553-11-91. Эл. адрес: valery.km@yandex.ru)
доктор технических наук, доцент

Неровный Валерий Владимирович

«21» ноября 2024 г.

Подпись Неровного Валери
Начальник отдела кадров



я заверяю.
сонала

И.Г. Орловская

«21» 11 2024 г.