



ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОННЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ МАШИН им. И.С. Брука»
(ПАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука»)

119334, Москва, ул. Вавилова, 24 тел. (499) 135-33-21, 135-33-49, 135-40-79, 135-54-32
ineum@ineum.ru факс (499) 135-89-49
www.ineum.ru

ОКПО 11494554
ОГРН 1027700297426
ИНН/КПП 7736005096/773601001

№ _____ от _____ 20 г.
на № _____ от _____ 20 г.

УТВЕРЖДАЮ

Научный руководитель Института
д.т.н., профессор, заслуженный
деятель науки и техники РФ



Прохоров Н.Л.

« _____ » _____ 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Сорокина Сергея Александровича
«Разработка и исследование методов и алгоритмов проектирования линий
связи печатных плат высокопроизводительных вычислительных
комплексов»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной
техники и систем управления

Актуальность темы исследования. В настоящее время технические и эксплуатационные характеристики высокопроизводительных вычислительных комплексов во многом определяются конструкцией и технологией изготовления многослойных печатных плат (МПП). МПП являются основным несущим и коммутирующим элементом современных вычислительных комплексов. Повышение интеграции, увеличение тактовой частоты и требований к целостности сигналов и электромагнитной совместимости, внедрение но-

вых технологий производства печатных плат, глобализация баз данных и диверсификация проектирования и изготовления – все это предъявляет повышенные требования к средствам проектирования печатных плат. Выход в более высокий частотный диапазон повлек выявление новых физических причин искажения сигналов, таких как интерференция, скин-эффект, диэлектрические потери. Основной временной характеристикой интерфейсов стал разброс фаз фронтов сигналов. Учет этих факторов и необходимость максимального использования скоростных свойств логических элементов субнаносекундного диапазона вынуждает разработчиков постоянно совершенствовать методы проектирования и оптимизации построения вычислительных устройств для обеспечения качества (целостности) и высоких характеристик передаваемых цифровых сигналов.

Проблема разработки и применения математических моделей для совершенствования проектирования линий связи печатных плат современных вычислительных устройств в направлении обеспечения качества (целостности) передаваемых информационных сигналов является современной научно-технической проблемой, а актуальность ее решения определила выбор темы данного диссертационного исследования.

Целью диссертационной работы является совершенствование методологии проектирования высокопроизводительных вычислительных комплексов на основе применения разработанных методов и алгоритмов моделирования линий связи печатных плат с оптимизацией топологических характеристик, параметров помехоустойчивости и обеспечением целостности передачи логических сигналов субнаносекундного диапазона.

Для достижения поставленной цели в работе сформулированы и решены следующие **новые научные задачи**:

1. Проведен анализ современного состояния, методов, результатов и основных тенденций в области проектирования линий связи для МПП элементов вычислительной техники.

2. Сформирована концепция комплексного подхода к решению задач оптимизации электрических и конструктивных параметров линий связи высокопроизводительных вычислительных комплексов на основе разработки технологии моделирования.

3. Разработан графоаналитический метод моделирования процессов передачи сигналов субнаносекундного диапазона в меандровых линиях задержки многослойных печатных плат высокопроизводительных вычислительных комплексов с учетом параметров перекрестных помех.

4. Усовершенствован модифицированный частотный метод исследования трансформаций высокочастотных импульсных сигналов в линиях связи с потерями применительно к элементам вычислительной техники в виде многослойных печатных плат, базирующийся на использовании аппарата интегральных преобразований.

5. Разработана и реализована концепция создания программного обеспечения для компьютерного моделирования линий связи гибкой топологии в МПП высокопроизводительных вычислительных комплексов субнаносекундного диапазона с применением предложенной технологии, обеспечивающего высокие показатели целостности высокочастотных логических сигналов, передаваемых по линиям связи печатных плат.

Объектом исследования являются линии связи МПП высокопроизводительного вычислительного устройства.

Практическая ценность результатов представленных в работе исследований определяется их использованием при разработке программного приложения ТороR для компьютерного моделирования и проектирования линий связи МПП высокопроизводительных вычислительных комплексов субнаносекундного диапазона, обладающего конкурентными преимуществами по обеспечению целостности высокочастотных логических сигналов, передаваемых по уплотненным линиям связи. Разработки выполнены при непосредственном участии и под руководством автора в ЗАО «НПФ «ДОЛОМАНТ» компании «Эремекс» и подтверждены актами внедрения.

Достоверность выводов и рекомендаций подтверждается использованием в исследованиях апробированных математических методов и моделей электрофизических процессов; корректностью применяемых математических преобразований; отсутствием противоречий с известными теоретическими положениями; согласованностью результатов, получаемых для предельных частных случаев, с представленными в научной литературе результатами других исследований и опытными данными.

Область исследования. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления» по следующим областям исследований:

1. Разработка научных основ создания и исследования общих свойств и принципов функционирования элементов, схем и устройств вычислительной техники и систем управления.

2. Теоретический анализ и экспериментальное исследование функционирования элементов и устройств вычислительной техники и систем управления в нормальных и специальных условиях с целью улучшения технико-экономических и эксплуатационных характеристик.

3. Разработка научных подходов, методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих надежность, контроль и диагностику функционирования элементов и устройств вычислительной техники и систем управления.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения (136 стр.). Список литературы 107 наименований.

В первой главе проведен анализ современного состояния и тенденции инновационных разработок в проектировании линий связи печатных плат.

Показано, что математические функциональные модели представляют собой алгоритм вычисления выходных сигналов Y , линий связи МПП по известным входным сигналам X , и импульсных параметров характеристик фильтра исследуемой структуры. Предлагаемые математические модели, параметры трасс (линий связи) проводников МПП, планирование определения параметров перекрестных помех, а также сравнительный подход к выбору

оптимальной технологии моделирования позволяют сформировать комплексную технологию моделирования линий связи печатных плат. Указанная модель опирается на разработанную автором концепцию комплексного подхода к решению задач оптимизации электрических и конструктивных параметров линий связи вычислительных комплексов. В концепции представлена методика выбора сечения линий связи в ЭВМ (объемные показатели), что позволяет ориентироваться в тактике выбора сечения проводников и шага линий связи во всем диапазоне их длин.

Описана структура комплексной технологии моделирования, показаны способы и механизмы практической реализации разработанных автором алгоритмов и методов при проектировании МПП вычислительных устройств.

Применительно к линиям связи МПП в высокопроизводительных вычислительных устройствах субнаносекундного диапазона сформирован комплекс расчетных соотношений технологии моделирования, описывающих процессы распространения сигнальных импульсов по длинным линиям связи с учетом специфики и полноты согласования, наличия потерь, выраженной неоднородности по длине, наличия отводов, влияния формы сечений проводников и ряда других факторов.

Во второй главе разработан графоаналитический метод моделирования переходных процессов в меандровых линиях задержки с анализом и оценкой перекрестных помех в цепях печатных плат. Разработан алгоритм реализации метода в зависимости от геометрии и количества секций. Разработанные модели описаны в работе с использованием амплитудного и частотного методов, предпочтение отдано частотному методу.

Разработана теоретическая методика оценки частотной границы допустимого использования приближенных моделей линий передачи при анализе цепей печатных плат. На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований сделано заключение об эффективности предложенных методик для определения значений реальной форсированной за-

держки в линиях передачи МПП для вычислительных устройств субнаносекундного диапазона.

В третьей главе представлены научные материалы по исследованию изменения формы импульсных сигналов при распространении по линиям связи с потерями. Результаты представленных в главе исследований относятся к методам анализа и синтеза элементов вычислительной техники с улучшенными характеристиками по параметрам быстродействия и получены в форме, адаптированной для разработки компьютерных алгоритмов и программных приложений для поддержки конструкторских решений в области проектирования конструкций многослойных печатных плат вычислительных комплексов.

В четвертой главе представлены материалы по разработке компьютерных алгоритмов и программных приложений для реализации предпроектного моделирования линий связи МПП высокопроизводительных вычислительных комплексов.

На основании анализа функциональных характеристик зарубежных программных приложений для автоматизированного проектирования печатных плат дана детальная характеристика приоритетных эффективных решений, обеспечивающих конкурентные преимущества разработанного с использованием предложенной технологии моделирования САПР-приложения ТороR.

Показано, что разработанная методология синтеза гибкой топологической схемы линий связи обеспечивает оптимизацию показателей электромагнитной совместимости и помехоустойчивости проектируемых МПП, улучшение качества целостности сигналов за счет достижения усредненной изотропии трассировки, минимизации длины проводников и числа межслойных переходов, что обеспечивает оптимизированные конкурентные характеристики спроектированных плат по электромагнитной совместимости и помехоустойчивости.

Реализация и внедрение результатов работы. В качестве основного объекта для формирования задач, апробации и практического применения результатов диссертации взят отечественный САПР ТороR, где автор является главным конструктором этого продукта.

Наиболее **существенными результатами** выполненных научных исследований по диссертации являются:

- предложенная концепция комплексного подхода к решению задач оптимизации электрических и конструктивных параметров линий связи высокопроизводительных вычислительных комплексов. В ее теоретическую базу включены расчетные схемы определения функциональных характеристик линий связи, задаваемые международными и отечественными стандартами; предложенные новые модели анализа переходных процессов в печатных соединениях МПП с учетом помех отражения и перекрестных помех в реальных демпфированных линиях связи и меандровых линиях задержки, а также требований сохранения целостности сигналов;

- разработанные автором методы и алгоритмы описания переходных процессов в меандровых линиях связи, позволяющие определить значение реальной форсированной задержки в печатных линиях передачи. Предложенная автором программа анализа перекрестных помех в цепях линий связи печатных плат дает возможность произвести оценку частотной границы допустимого использования приближенных моделей линий передачи при анализе цепей печатных плат;

- представленные исследования искажения импульсных сигналов в линиях связи МПП с потерями; предложенные математические модели переходных процессов с использованием амплитудного и частотного методов. Предпочтение отдано частотному моделированию с использованием метода Фурье, который позволяет решить задачу выделения аддитивных компонент сигналов (фильтрации) и синтеза сигналов, обладающих максимальной/минимальной концентрацией энергии в заданном наборе частотных интервалов;

- эффективная реализация (с помощью отечественного программного обеспечения) разработанных автором методов, аналитических зависимостей и алгоритмов технологии моделирования. Предложенные методы и алгоритмы моделирования прохождения сигналов в линиях связи МПП, являющиеся математической основой решения проблемы обеспечения целостности (качества) сигналов в печатных линиях связи МПП, реализованы в отечественной системе проектирования ТороR компании «Эремекс» при непосредственном участии автора.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследований.

По работе имеются следующие **замечания**:

1. Автореферат избыточен по объему и может быть сокращен без существенного ущерба информативности.

2. Полученные научно-практические результаты дают возможность сформулировать практическую значимость диссертационной работы более конкретно и четко, чем это указано в автореферате.

3. Значительное количество теоретических методик приведено в общем изложении, что затрудняет оценку их применимости в конкретных схемах.

Отмеченные недостатки не снижают качество изложения результатов исследований и не влияют на главные теоретические и прикладные результаты диссертации.

Заключение

Диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и практики. В целом работа удовлетворяет требованиям ВАК, а ее автор Сорокин Сергей Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

Отзыв на диссертацию обсужден и одобрен на семинаре отделения разработки вычислительных комплексов и систем и утвержден на заседании Ученого совета ПАО «Институт электронных управляющих машин им. И.С. Брука», протокол № 7 от 10 июня 2016 г.

Главный научный сотрудник
д.т.н., профессор, лауреат
Ленинской и Государственной премий



Ю.С. Рябцев

Ведущий инженер
к.т.н.



В.В. Воробушков