

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям

Пермского национального

исследовательского

политехнического университета

доктор технических наук, профессор

Коротаев В.Н.

— 2019 г.



федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования

«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертационная работа Вихорева Р.В. *«Логические элементы ПЛИС FPGA для реализации систем функций»* выполнена на кафедре «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

В период подготовки диссертации соискатель Вихорев Руслан Владимирович работал в научно-техническом центре ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания» в должности инженера-конструктора 2 категории (с 2014 г. по настоящее время), ассистентом (по совместительству) на кафедре «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

В 2014 году Вихорев Р.В. закончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», в 2018 году окончил аспирантуру очной формы обучения федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (период обучения - 01.10.2014г. - 31.08.2018г.).

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Тюрин Сергей Феофентович, работает профессором кафедры «Автоматика и телемеханика»

Пермского национального исследовательского политехнического университета.

По итогам обсуждения диссертационной работы *«Логические элементы ПЛИС FPGA для реализации систем функций»* принято следующее заключение.

1. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в следующем:

- разработал усовершенствованный метод реализации логических функций в СДНФ предложив дешифрацию входного набора дерева транзисторов с обеспечением ортогональности по каждой переменной ветви дерева логического элемента. Для настройки разработал блок дизъюнкций конститuent нуля.

- разработал усовершенствованный метод реализации логических функций в ДНФ предложив программирование значений конъюнкций взамен загрузки значений таблицы истинности.

- смоделировал в системе схемотехнического моделирования NI Multisim модели логических элементов. Разработал топологии логических элементов, реализующих системы логических функций в Microwind для технологии 32 нм. С помощью моделирования получил значения сложности, энергопотребления, площади кристалла и максимальной задержки.

- Разработал алгоритм оптимизации набора логических элементов в среде программирования Python в котором предлагается решение венгерским методом по нескольким параметрам w с последующим построением из частных оптимальных решений множеств Парето, в котором выбираются варианты при заданных ограничениях.

2. Научная новизна диссертационного исследования заключается в нахождении оптимального набора логических элементов АЛМ ПЛИС FPGA для реализации систем логических функций, что представлено совокупностью следующих результатов:

- предложен усовершенствованный метод реализации логических функций в СДНФ на основе соответствующего адаптивного логического элемента, отличающийся тем, что в зависимости от настройки возможна реализация либо стандартного логического элемента, либо дешифратора для реализации систем логических функций;

- предложен усовершенствованный метод реализации систем логических функций в ДНФ, отличающийся тем, что использовано оригинальное кодирование

конъюнкций ДНФ, обеспечивающее формирование значения конъюнкции;

- получены оценки сложности реализации систем логических функций на основе разработанных логических элементов, отличающиеся декомпозицией, учитывающей ограничения Мида-Конвей;

- выполнена оптимизация набора логических элементов ПЛИС FPGA на основе комбинирования ЛЭ, вычисляющих функции в СДНФ, и ЛЭ, вычисляющих функции в ДНФ, отличающаяся тем, что для этих целей модифицирован венгерский метод.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций, предложенных в работе Вихорева Р.В., не противоречат теоретическим положениям, известным из научных публикаций отечественных и зарубежных исследователей, и подтверждаются результатами апробации и внедрения предложенных в диссертации методов, моделей и алгоритма оптимизации.

4. Практическая значимость научных результатов

заключается в снижении аппаратных затрат на реализацию систем логических функций за счет применения алгоритма нахождения оптимального набора логических элементов на основе разработанных усовершенствованных методов реализации систем логических функций.

Основные качественные показатели эффективности использования научных результатов подтверждены актами внедрения:

- в перспективные разработки элементов Института проблем информатики Федерального исследовательского центра "Информатика и управление" Российской академии наук;

- в блок БПИ-002 производства ПАО «ПНППК» алгоритм оптимизации позволил снизить аппаратные затраты на реализацию систем логических функций.

5. Ценность научных работ и полнота изложения материала

По теме диссертационной работы Вихорева Р.В. опубликовано более 21 научных работ, в том числе 5 – в ведущих рецензируемых научных изданиях, 2 – в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Web of Science и/или Scopus, получены 3 патента на изобретение и 1 свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. Основные положения и

результаты работы отражены в следующих научных публикациях в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий:

1. Тюрин, С.Ф. Усовершенствованный метод реализации в FPGA систем логических функций, заданных в СДНФ [Электронный ресурс] / С.Ф. Тюрин, **Р.В. Вихорев** // Инженерный вестник Дона. - 2017. - № 1. - 10 с. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4044>.

В работе рассматриваются логические элементы программируемых логических интегральных схем, называемые LUT. Подробно анализируется простейший LUT на одну переменную. Предлагается схемотехническое решение, называемое DC-LUT. Приводится подробное описание DC-LUT. Рассматривается реализация DC-LUT с большим числом переменных.

2. Вихорев Р.В. Программируемые логические элементы ПЛИС FPGA для реализации систем логических функций / **Р.В. Вихорев**, С.Ф. Тюрин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления.- 2017. - № 23. - С. 133-145.

В работе предлагается усовершенствованный метод реализации в field programmable gate array систем логических функций, заданных в совершенной дизъюнктивной нормальной форме, основанный на передаче сигнала в другом направлении. Для реализации функций большого числа переменных предлагается новый ДНФ-LUT. Описывается усовершенствованная структура нового ДНФ-LUT, модификация которого заключается в том, что выполнена адаптация к уровню передающих транзисторов, используемых в LUT, и применено оригинальное кодирование конъюнкций в дизъюнктивной нормальной форме.

3. Вихорев Р.В. Моделирование и оптимизация инновационных логических элементов ПЛИС./ **Р.В. Вихорев**, А.С. Прохоров, С.Ф. Тюрин, А.С. Никитин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. - 2017. - № 24. - С. 192-208.

Предложены элементы, реализующие системы логических функций, элементы, обладающие отказо- и сбоеустойчивостью. В статье анализируются результаты моделирования и оптимизации этих элементов в системе схемотехнического моделирования NI Multisim 10 firm National Instruments Electronics Workbench Group по энергопотреблению и задержке. Делается вывод о возможности их применения в ПЛИС.

4. Тюрин С.Ф. Адаптивный логический модуль ПЛИС с архитектурой FPGA. / С.Ф. Тюрин, Р.В. Вихорев // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. - 2018. - №63. - С.69-76.

Рассматривается разработка усовершенствованных устройств программируемой логики. Предлагается новая реализация адаптивного логического модуля с реализацией систем логических функций как в совершенной дизъюнктивной нормальной форме (СДНФ), так и в дизъюнктивной нормальной форме (ДНФ).

5. Вихорев Р.В. Топологическое моделирование логических элементов нейронных сетей / Р.В. Вихорев, М.С. Никитин, С.Ф. Тюрин // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. - 2019. - № 73. - С. 45-55

Данная статья рассматривает построение топологии классического LUT, и предлагаемой DC-LUT. Произведено моделирование предложенных логических ячеек DC-LUT для реализации систем логических функций в системе топологического моделирования Microwind для технологии 32нм. Моделирование подтверждает эффективность предложенных технических решений и уточнило результаты полученные в NI Multisim.

6. **Vikhorev R.** Universal logic cells to implement systems functions. / R. Vikhorev // Proceedings of the 2016 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, EIConRusNW-2016, 2016 - PP. 404-406. (Scopus).

Данная статья рассматривает сложность классической LUT, по сравнению с DC-LUT. Произведено статическое моделирование предложенных логических ячеек DC-LUT для реализации систем логических функций в системе моделирования электронных схем Ni Multisim. Моделирование подтверждает эффективность предложенных технических решений.

7. **Vikhorev R.** Improved FPGA logic elements and their simulation. / R. Vikhorev // Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus - 2018 - PP. 275-280. (Scopus).

Рассматривается разработка перспективных логических элементов программируемых логических интегральных схем. Предложена новая реализация адаптивных логических модулей на основе DC-LUT для реализации систем в СДНФ и в ДНФ. Выполнено SPICE моделирование предложенных решений в системе схемотехнического моделирования Ni Multisim 14 фирмы National instruments Electronics Workbench Group. Проведена сравнительная оценка сложности,

производительности и энергоэффективности предложенной реализации с другими вариантами программируемой логики.

6. Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите

По поставленной цели, задачам исследования и основному содержанию диссертационная работа Вихорева Р.В. соответствует формуле научной специальности **05.13.05** – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления: посвящена нахождению оптимального набора логических элементов АЛМ ПЛИС FPGA для реализации систем логических функций. Диссертационная работа соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 05.13.05: **п. 3** «Разработка принципиально новых методов анализа и синтеза элементов и устройств вычислительной техники и систем управления с целью улучшения их технических характеристик».

7. Соответствие диссертационной работы требованиям, установленным п. 12 Порядка присуждения ученых степеней в ПНИПУ.

Соискатель, Вихорев Р.В., в тексте диссертационной работы корректно ссылается на авторов и(или) источники заимствования материалов, в том числе при использовании результатов научных работ, выполненных им лично или в соавторстве.

По итогам заседания принято следующее заключение:

Диссертационная работа Вихорева Р.В. выполнена на хорошем уровне, имеет теоретическое и практическое значение и по актуальности, содержанию, научному уровню и полученным теоретическим и практическим результатам удовлетворяет требованиям Порядка присуждения ученых степеней в ПНИПУ, утвержденного Приказом ректора ПНИПУ от 9 января 2019 г. № 842: является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные теоретические, технические и технологические решения, внедрение которых позволит повысить качественные и эксплуатационные показатели элементов и устройств систем управления за счет применения оптимизированного набора логических элементов ПЛИС FPGA основанных на предложенных усовершенствованных методах реализации систем логических функций в ДНФ и СДНФ.

Диссертационная работа Вихорева Руслана Владимировича «Логические элементы ПЛИС FPGA для реализации систем логических функций» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

Заключение обсуждено и принято на заседании кафедры «Автоматика и телемеханика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» 23 сентября 2019 г. Результаты голосования: присутствовало 34 чел., «за» – 34 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Заведующий кафедрой
«Автоматика и телемеханика»
доктор технических наук,
профессор

А.А. Южаков /

Контактная информация об организации:

Адрес: 614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29

Телефон/факс: +7 (342) 219-80-67, 212-39-27

E-mail: rector@pstu.ru