

# ОТЗЫВ

*официального оппонента на диссертационную работу*

*Васенина Ивана Андреевича*

*на тему*

*«Элементы ПЛИС с использованием комбинированного кодирования»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.3.2. Вычислительные системы и их элементы*

## **1. Актуальность темы диссертации**

Развитие техники и технологий в первой половине XXI века открывает пути к реализации высокоуровневых и сложных вычислительных устройств и систем, позволяющих увеличить степень автоматизации технологических процессов и производств. Роль человека во многих задачах становится менее значимой и даже сводится к наблюдению за протекающими процессами с возможностью оперативного вмешательства в работу. Можно привести множество примеров и из области авиации, и из области железнодорожного транспорта, и сельского хозяйства и др. От релейной техники, активно используемой с 20-х годов прошлого столетия, осуществляется постепенный переход к использованию элементов и устройств вычислительных систем с более высокой плотностью интеграции элементов, меньшими габаритами, особыми свойствами для выполнения более сложных задач. Одной из таких элементных баз является программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС). Данные устройства широко распространены в практике, применяются повсеместно и позволяют решать различные задачи по управлению. Развитие данной элементной базы, в том числе, в условиях

технологического суверенитета и быстро меняющейся экономики страны, – крайне важный аспект для создания функциональных компонентов будущих интеллектуальных высоконадежных систем автоматического управления. Именно этой задаче и посвящена работа соискателя. В ней он предлагает новые методы и алгоритмы синтеза ПЛИС с использованием комбинированного кодирования, позволяющие синтезировать высокоэффективные дискретные устройства.

## **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Достоверность результатов соискателя подтверждается корректным использованием математического аппарата соответствием теоретических результатов и результатов экспериментального анализа, выполненного с использованием двух сред моделирования (Multisim и Microwind), при этом была показана корректность функциональных возможностей разработанных автором устройств. Расчеты оценок сложности проводились с помощью системы Mathcad.

## **3. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

Научная новизна представленной диссертационной работы состоит в следующем:

1. Разработана математическая модель программируемого элемента, которая описывает комбинированные варианты, использующие позиционное и унитарное кодирования, а также универсальный элемент с настраиваемым типом кодирования.
2. Предложен метод синтеза элементов с комбинированным и универсальным кодированием, позволяющий реализовывать дискретные устройства с наилучшими характеристиками быстродействия при допустимом увеличении показателей сложности технической реализации.
3. Получены математические выражения оценок сложности новых элементов



с комбинированным кодированием.

4. Разработан алгоритм синтеза элементов с комбинированным кодированием для обеспечения требуемых соединений по заданным параметрам.

5. С помощью топологического моделирования получены следующие показатели эффективности реализации устройств: временная задержка снижается более, чем на 15 %, а также снижаются и аппаратурные затраты более, чем на 20 % в зависимости от разрядности унитарной и позиционной части.

Совокупность полученных И. А. Васениным результатов может быть квалифицирована, как диссертационное исследование.

#### **4. Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов**

В диссертации изложены научно-обоснованные решения для синтеза элементов ПЛИС путем разработки модели, метода, алгоритма и оценок сложности элемента с комбинированным кодированием переменных.

Практическая значимость результатов диссертационной работы состоит в разработке нового, запатентованного элемента ПЛИС с комбинированным кодированием переменных, обладающего лучшими характеристиками, чем существующие. Разработаны электрические функциональные и принципиальные, а также топологии новых элементов и программа их синтеза. Временная задержка снижается более, чем на 15%, а также в ряде случаев снижаются и аппаратурные затраты более, чем на 20% в зависимости от разрядности унитарной и позиционной части.

#### **5. Оценка содержания диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, имеющего 103 наименования, и 3 приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 211 страниц, включая приложения.

Во введении автор приводит стандартные разделы для краткого пояснения сути диссертационного исследования.

Первая глава диссертации посвящена обсуждению актуальности использования ПЛИС в современной науке и технике. Автор делает упор на детальном описании структуры ПЛИС и типового элемента в ней – мультиплексора с одним управляющим входом. Использование таких элементов позволяет реализовать более сложный компонент LUT (Look Up Table), представляющий из себя бинарное дерево передающих транзисторов. Суть работы с ПЛИС при реализации каких-либо устройств как раз состоит в настройке работы LUT стандартными методами. Логические элементы в ПЛИС соединяются с помощью коммутаторов в матрицах межсоединений. Автор подробно описывает варианты коммутирующих устройств в ПЛИС. В первой главе также дается анализ числа публикаций в сфере ПЛИС и отмечается направление создания элементов с комбинированным кодированием переменных. Показаны преимущества таких элементов перед иными. В конце первой главы поставлена основная задача диссертации, связанная с разработкой и исследованием нового элемента программируемой логики, обладающего свойствами минимизации временной задержки сигнала и объема конфигурационной памяти для использования.

Вторая глава связана с разработкой LUT с использованием комбинированного кодирования. Автор предлагает разбивать переменные на две группы при реализации функций, либо комбинировать соединения унитарной и позиционной моделей. В данной главе также разработан метод синтеза ПЛИС с использованием комбинированного кодирования, основанный на синтезе унитарных блоков, позиционных блоков, а также их определенном соединении. В главе приведены блок-схемы алгоритмов. Во второй главе внимание уделено и разработке универсальных элементов с конфигурируемым кодированием переменных.

Третья глава связана с разработкой электрических функциональных схем предлагаемых автором элементов. Автор диссертации приводит как структуры LUT, так и примеры их настройки. Важной частью главы являются примеры ре-



ализации булевых функций на ПЛИС с использованием комбинированного кодирования. Здесь автор синтезирует конечные автоматы и демонстрирует особенности приведенного способа реализации LUT. В третьей главе можно также найти электрические схемы элементов на полевых транзисторах.

Четвертая глава посвящена моделированию разработанных схем устройств. Автор использует Multisim для проведения моделирования. Результаты моделирования совпадают с теоретическими. Кроме обозначенного моделирования соискатель в четвертой главе проводит моделирование в Microwind для определения особенностей реализации булевых функций с помощью разработанного им элемента. Даны топологии различных элементов LUT и временные диаграммы их работы.

Пятая глава повествует об оценке технологической эффективности разработанного соискателем ученой степени элемента. Найдены оценки сложности реализации систем функций в зависимости от их количества и числа аргументов. Даются различные оценки сравнения разных вариантов реализации функций на разных элементах. Показаны преимущества того или иного способа реализации, а также отмечены некоторые недостатки. В пятой главе также дается оценка числа связей и конфигурационной памяти. Завершается глава сравнительными таблицами для полученных показателей разработанных топологий элементов для вычисления различных булевых функций.

Заключение завершает работу.

## **6. Соответствие паспорту специальности**

Тема диссертации соответствует паспорту специальности 2.3.2. Вычислительные системы и их элементы по пунктам 2 «Разработка принципиально новых методов анализа и синтеза вычислительных систем и их элементов с целью улучшения технических характеристик, включая новые процессорные элементы, сложно-функциональные блоки, системы и сети на кристалле, квантовые компь-

ютеры» и 6 «Разработка научных подходов и методов, архитектурных и структурных решений, обеспечивающих эффективную техническую реализацию аппаратно-программных систем и комплексов за счет оптимизации применяемой электронной компонентной базы, элементов вычислительных систем и встраиваемого программного обеспечения».

## **7. Соответствие текста диссертации и автореферата требованиям нормативных документов**

Диссертация и автореферат по структуре и принципам оформления соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». – М.: Стандартинформ, 2012 г.

Текст автореферата отражает основную суть диссертации и полностью ей соответствует.

## **8. Полнота публикаций основных результатов**

Автор диссертации опубликовал 11 печатных работ по теме своего исследования, среди которых имеется 4 статьи в журналах, включенных в Перечень ВАК РФ по специальности 2.3.2, 2 статьи в изданиях, индексируемых в международную наукометрическую базу Scopus, а также имеется 2 патента на изобретения. Автор участвовал в большом количестве международных научных конференций, где апробировал полученные им результаты. Это полностью характеризует доступность представленных в диссертации результатов для изучения научным сообществом.



## 9. Замечания по диссертационной работе

По диссертации и автореферату И. А. Васенина имеются следующие недостатки, замечания, рекомендации:

1. Выводы к главам диссертации содержат местами очевидные тезисы, которые можно было бы сделать и без проведения исследования. В дальнейших исследованиях рекомендуется в выводах давать оценку полученных результатов.
2. Не ясно, почему автор делит множество аргументов именно на два подмножества и как он определяет мощности этих подмножеств? Почему-то нет исследования разделения аргументов, например, на число подмножеств, равное степени двойки.
3. Не даны оценки трудоемкости разработанных автором алгоритмов, что не позволяет оценить их применимость на практике при большом объеме входных данных (см. главу 2).
4. Результаты временного моделирования требуют уточнения в рамках современных проектных норм (менее 10 нанометров) для транзисторов типа Tri-Gate и др.
5. Примеры реализации различных булевых функций в пятой главе следовало бы расширить, например, использовать стандартные наборы комбинационных схем из университета Калифорнии, находящиеся в открытом доступе, и обладающие различными особенностями структур. Их использование позволило бы продемонстрировать особенности применения тех или иных конфигураций элементов, а также дать рекомендации по применению их на практике.
6. Отсутствуют оценки тестопригодности разработанных элементов программируемой логики, а также не обсуждаются вопросы тестового и рабочего диагностирования в процессе эксплуатации.
7. Интересно было бы увидеть распространение результатов автора на реализацию устройств многозначной логики (как чисто многозначной, так и псевдо — с использованием бинарных элементов), что как раз связано с особенностями разбиения аргументов и применения типовых компонентов и будет востребовано

при повышении сложности реализации дискретных устройств.

8. Интересным развитием для практики является также создание функционально безопасного программируемого элемента для использования в критических приложениях, чего нет в диссертации.

Представленные замечания на ценность научных и практических результатов, полученных автором диссертации, не влияют.

## 10. Заключение

Диссертация Ивана Андреевича Васенина на тему «Элементы ПЛИС с использованием комбинированного кодирования», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.2. Вычислительные системы и их элементы соответствует всем критериям, установленным в Положении о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 (ред. от 16.10.2024) "О порядке присуждения ученых степеней" (вместе с "Положением о присуждении ученых степеней") (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025), является завершенной научно-квалификационной работой и содержит решение важной научной задачи, связанной с совершенствованием элементной базы вычислительных систем. Иван Андреевич Васенин за работу «Элементы ПЛИС с использованием комбинированного кодирования» заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.2. Вычислительные системы и их элементы.

Официальный оппонент,  
Профессор Высшей школы транспорта  
Института машиностроения, материалов  
и транспорта ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский  
политехнический университет Петра Великого»,



доктор технических наук, профессор,  
действительный член  
Международной Академии транспорта,  
член Института инженеров электротехники и электроники

Ефанов Дмитрий Викторович

«04» мая 2025 г

Подпись Ефанова Д. В. заверяю:

ФИО оппонента: Ефанов Дмитрий Викторович

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: профессор



**Полное название организации, являющейся основным местом работы оппонента:** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

**Должность:** Профессор Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта

**Адрес:** 195251, Российская Федерация,  
Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Академическое,  
ул. Политехническая, д. 29, лит. Б

**Сайт** <https://www.spbstu.ru/>, **email:** office@spbstu.ru, **телефон:** +7 (812) 775-05-30.

**Наименование научной специальности, по которой была защищена докторская диссертация:** 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (транспорт)