

Отзыв официального оппонента

Мельцова Василия Юрьевича на диссертационную работу
Скорняковой Александры Юрьевны «Конфигурируемые логические элементы
для самосинхронных схем», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства
вычислительной техники и систем управления.

Актуальность темы

Одной из IT сфер, активно развивающихся в последнее время, безусловно является микроэлектроника и, в частности, нанoeлектроника. Именно в этой области наиболее чётко проявляются недостатки синхронного подхода при разработке и эксплуатации сверхбольших интегральных схем (СБИС), вызванные влиянием квантовых эффектов. Обычно в синхронной схемотехнике аномалии динамического поведения (соствязания и риски) маскируются с помощью тактового генератора. Однако при проектировании и производстве СБИС практически невозможно обеспечить глобальную синхронизацию огромного числа компонентов. Потенциальным решением данной проблемы могли бы стать самосинхронные схемы, в которых каждый блок сам синхронизирует взаимодействие с другими узлами за счет фиксации окончания переходного процесса. Однако синтезировать самосинхронные схемы сложнее, поэтому в большинстве случаев они ориентированы на заказную и полузаказную реализацию, что сдерживает масштабы использования данной элементной базы. В диссертационной работе Скорняковой А.Ю. «Конфигурируемые логические элементы для самосинхронных схем» решаются задачи по разработке конфигурируемых самосинхронных логических элементов. Результаты указанного направления исследований позволяют не только проектировать подобные схемы, но и при необходимости переконфигурировать их. Следовательно, поставленная в работе цель - решение научно-технической задачи разработки методов синтеза конфигурируемых логических элементов для самосинхронных схем является актуальной, а результаты исследования имеют большое научное и научно-практическое значение.

Научная новизна полученных результатов

Несомненной новизной обладают следующие результаты, полученные автором при разработке методов синтеза конфигурируемых логических элементов для самосинхронных схем:

– получен новый метод проектирования конфигурируемых строго самосинхронных схем для реализации функций. В качестве базиса использован элемент 2И-2ИЛИ-НЕ, который входит в состав библиотеки элементов САПР «Ковчег». Новизна метода, заключается в том, что для применения этого базового элемента в самосинхронных схемах осуществлена оригинальная подача данных на

его входы. Настройка требуемой функции выполняется константами или используются ячейки памяти на двух входах из четырех. Принцип парафазности реализован двойственностью каналов (второй канал настраивается инверсными значениями);

– получен новый метод проектирования конфигурируемых строго самосинхронных схем для реализации функций, с использованием в качестве базиса дерева передающих транзисторов, известного как Look Up Table (LUT). Подобная техника применяется для вычисления функций в синхронных программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС типа FPGA). Для использования данного подхода в самосинхронных схемах в древовидную структуру была введена дополнительная ветвь передающих транзисторов, которая активируется только в фазе спейсера. Настройка функции происходит традиционным способом. Двойственный канал реализован так же, как и в первом методе;

– получен новый метод проектирования конфигурируемых строго самосинхронных схем для реализации функций, заданных в СДНФ. Впервые в качестве базиса для проектирования самосинхронных схем использован дешифратор LUT. Изменение структуры выполнено с помощью дополнительного поддерева передающих транзисторов, которые используются для реализации фазы спейсера. Настройка функции выполняется с помощью отдельных блоков настройки, подключённых к выходам элемента. Стоит отметить важную особенность дешифратора LUT – на нем можно вычислять сразу несколько логических функций, если использовать несколько блоков настройки. В отличие от предыдущих методов, двойственный канал в данном случае реализован с помощью подачи инверсного сигнала и на вход дерева, и на истоки транзисторов, обеспечивающих ортогональность;

– получены новые методы проектирования конфигурируемых строго самосинхронных элементов для реализации функций, заданных в ДНФ. Новизна заключается в использовании блоков конъюнкций в качестве базиса. Автором предлагается ввести в состав блока дополнительные транзисторы, которые активируются в фазе спейсера. Для настройки логической функции имеются специальные блоки настройки. Используя данный метод для проектирования схем, можно вычислять на одном блоке конъюнкций сразу несколько логических функций, заданных в ДНФ;

– на основе оценок сложности и результатов моделирования выполнена оптимизация наборов логических элементов и систем логических функций, заданных разработчиком. Отличительной особенностью разработанного алгоритма является определение Парето-оптимальных наборов для выбранных параметров схемотехнического решения, что позволяет выполнить многокритериальную оптимизацию.

Достоверность и обоснованность

Достоверность и обоснованность выдвинутых автором положений и сформулированные выводы не противоречат теоретическим основам, известным из научных публикациях отечественных и зарубежных исследователей, а также подтверждаются практическими результатами, полученными в ходе моделирования. Предлагаемые методы нашли свое применение в разработках семейства потоковых самосинхронных процессоров и средств проектирования ИПИ РАН и в учебном процессе кафедры АТ ПНИПУ. Положительный эффект от внедрения подтверждается соответствующими актами внедрения.

Оценка структуры и содержания работы, соответствие автореферата

Диссертационная работа Скорняковой А.Ю. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка терминов и сокращений, списка использованной литературы и приложений.

Во введении автором раскрыта актуальность выбранной темы, определены объект, предмет, цель и задачи исследования, указывается новизна полученных результатов и практическая значимость, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, приводится информация об апробации работы.

В первой главе представлены определения основных терминов, описываются преимущества самосинхронных схем, приводится анализ существующих методов и средств синтеза самосинхронных схем, дается детальный анализ существующих асинхронных программируемых логических интегральных схем. Выполнено обоснование использования специализированной САПР для анализа методов. В конце первой главы выполнена постановка задачи исследования. В результате автором сделан вывод о перспективности направления исследований в области модификации синхронных элементов, адаптации их к условиям работы в самосинхронных схемах, с возможностью программирования на них логических функций.

Во второй главе диссертационной работы представлены четыре новых, разработанных автором, метода проектирования конфигурируемых строго самосинхронных элементов для реализации логических функций и систем логических функций. Первый метод основан на стандартных КМОП элементах и ориентирован на БМК. Второй метод основан на LUT и ориентирован на совмещение самосинхронного подхода и технологий программируемой логики. Третий метод основан на дешифраторе LUT и ориентирован на проектирование и реализацию нескольких логических функций, заданных в совершенной дизъюнктивной нормальной форме на одном дешифраторе LUT с использованием дополнительных блоков настройки. Четвертый метод основан на блоках конъюнкций и ориентирован на совмещение самосинхронного подхода и технологий программируемой логики: проектирование и реализация нескольких логических функций выполняется на одном блоке конъюнкций. Стоит отметить, что для разработки четвертого метода предлагается три разных блока конъюнкций. Все предложенные методы проектирования самосинхронных схем разработаны

впервые. Автором, на основе анализа полумодулярности для всех разработанных элементов, приводятся доказательства, что предложенные методы являются самосинхронными.

В третьей главе выполнено моделирование предлагаемых самосинхронных элементов и приведено описание результатов схемотехнического моделирования в САПР «Ковчег» и «Multisim» и топологического проектирования в САПР «Microwind». Проанализированы результаты реализаций логических функций при использовании различных настроек. Стоит отметить, что автором реализовано восстановление уровня сигнала в схемах LUT и DC LUT, для которых характерно наличие сквозного тока на выходе дерева, что снижает помехоустойчивость схемы в целом. Решение данного вопроса крайне важно при проектировании устройств на базе ПЛИС.

В четвертой главе автором выполнена оценка эффективности реализации логических элементов, таких как, самосинхронный генератор функций (ГФ), самосинхронный LUT (LUT ST), самосинхронный дешифратор LUT (DC LUT ST), самосинхронный блок конъюнкций DNF, для всех трёх вариантов. В качестве основных технических параметров выбраны: сложность реализации элемента (количество транзисторов), быстродействие элемента, занимаемая им площадь кристалла, энергопотребление. На основании полученных данных, автором сделан вывод о том, что самосинхронный блок конъюнкций, построенный на основе блока конъюнкций с транзисторами ортогональности, имеет преимущество перед двумя другими вариантами. Данная информация используется в разработанном автором алгоритме выбора оптимального набора (из разработанных элементов) при реализации схемотехнических модулей с заданными характеристиками. На основе проведённых экспериментов автор делает вывод, что при небольшом числе переменных и функций в исходной задаче лучше использовать элементы ГФ и LUT ST. И наоборот, если нужно синтезировать схемы с большим числом функций и большим числом переменных, то лучше использовать DC LUT ST и самосинхронный блок конъюнкций.

В заключении приводятся основные выводы по результатам диссертационных исследований.

Работа обладает внутренним единством, содержит новые научные, научно-практические результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты. По всему тексту диссертации имеются ссылки на авторов и источники заимствований материала. Содержание диссертации соответствует цели и задачам исследования. Автореферат полностью отражает основное содержание выполненной работы.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Теоретическая значимость диссертации состоит в том, что в ней разработаны новые методы реализации конфигурируемых самосинхронных логических элементов.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработаны новые методы проектирования настраиваемых самосинхронных схем можно использовать для проектирования высоконадёжных устройств на базе ПЛИС. Разработаны и запатентованы технические решения для реализации систем логических функций в самосинхронных схемах. Разработанные топологии имеют самостоятельную практическую значимость.

Апробация и публикации

Основные положения диссертационной работы изложены в 8 научных публикациях в ведущих рецензируемых научных изданиях, в том числе 5 статей в изданиях, включенных в перечень ВАК, и 3 статьи в изданиях, индексируемых в МБД Scopus. Получено 3 патента на изобретение и 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Результаты работы обсуждались на научно-технических конференциях российского и международного уровня.

Замечания по диссертационной работе

1. Хотя автор в начале диссертации чётко обозначил область применения разрабатываемых методов – строго самосинхронные схемы с парафазным представлением сигнала, на базе элемента 2И-2ИЛИ-НЕ, хотелось бы уточнить:

– применимы ли данные методы для других подклассов самосинхронных схем – QDI, DI, BD (по классификации В.Б. Мараховского);

– можно ли в качестве базового элемента использовать, например, элемент 2ИЛИ-2И-НЕ, также входящий в ряд известных библиотек;

– как влияет поведение внешней среды на модулярность разрабатываемых схем?

2. Из диссертации неясно, почему при проектировании топологий элементов автор ориентируется на проектные нормы 90 нм?

3. В последней главе представлен алгоритм выбора оптимального комплекта конфигурируемых ССС элементов. Неясно, почему для оптимизации набора логических элементов выбрана достаточно трудоёмкая методика с формированием Парето-оптимальных множеств и не рассмотрены другие методы оптимизации.

4. Также в последней главе проводится сравнение трёх реализации блока конъюнкций и показаны конечные результаты численных экспериментов с выигрышем варианта ДНФ ST на основе блока конъюнкций с транзисторами ортогональности. Для более наглядного представления результатов экспериментов желательно привести подробные графики по каждому сравниваемому параметру схемотехнических реализаций.

5. В приложении 1 диссертации приведён исходный код программы выбора оптимального набора ССС ЛЭ, в соответствии с разработанным алгоритмом из

раздела 4.5. Для удобства чтения и понимания программы необходимо добавить более чёткие и подробные комментарии (ГОСТ Р 51904-2002).

Перечисленные выше замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение

Диссертационная работа Скорняковой Александры Юрьевны «Конфигурируемые логические элементы для самосинхронных схем» является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном и техническом уровне.

Диссертационная работа соответствует специальности 05.13.05, требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а также требованиям п. 9-12 «Порядка присуждения ученых степеней в ПНИПУ», а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

Официальный оппонент:

кандидат технических наук,

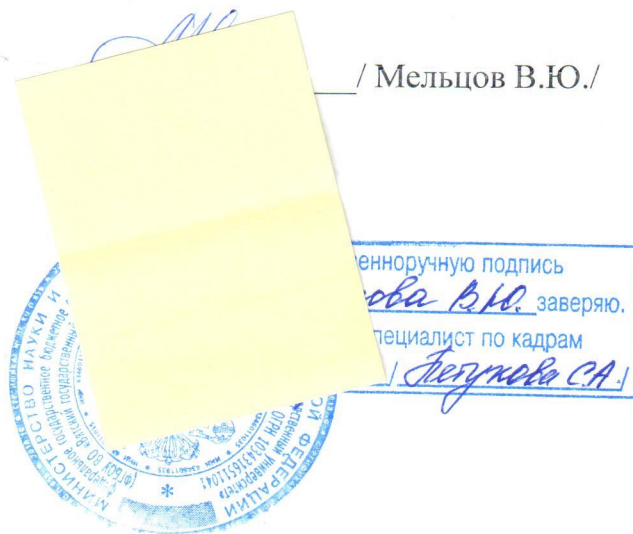
доцент кафедры «Электронные вычислительные
машины» Вятского государственного

университета

«21» ноября 2020 г.

/ Мельцов В.Ю./

Подпись Мельцова В.Ю. заверяю.



Мельцов Василий Юрьевич

ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», каф. ЭВМ

610000, г. Киров, ул. Московская, дом 36

Телефон: +79127112345

E-mail: meltsov@vyatsu.ru

Кандидатская диссертация защищена по специальности (05.13.13 –
Вычислительные машины, комплексы, системы и сети)