

УДК 681.3
ББК 32.852.3
С60

Рецензенты:

Институт информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (ректор *А. Г. Якубенко*); лаборатория логического проектирования Национальной академии наук Беларуси (зав. лабораторией профессор *П. Н. Бибило*); кафедра Вычислительных машин и систем Пензенской государственной технологической академии (зав. кафедрой доктор техн. наук *И. И. Сальников*); кафедра Электроники и микроэлектроники Магнитогорского государственного технического университета (зав. кафедрой профессор *И. А. Селиванов*); кафедра Информатики и математического обеспечения Петрозаводского государственного университета (зав. кафедрой *Ю. А. Богоявленский*).

Соловьев В. В., Климович А.

С60 Логическое проектирование цифровых систем на основе программируемых логических интегральных схем. – 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 376 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0474-3.

Книга посвящена проблемам логического проектирования отдельных цифровых устройств на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Показано место логического проектирования в общем процессе разработки цифровой системы, отмечаются особенности логического проектирования на основе ПЛИС. Предложены методы синтеза комбинационных схем, конечных и микропрограммных автоматов, позволяющие эффективно использовать архитектурные особенности ПЛИС, а также учитывать системные требования. Представлены новые модели конечных автоматов, позволяющие значительно снизить стоимость реализации и повысить быстродействие последовательностных устройств, а также учитывать местоположение конечного автомата в цифровой системе. Рассмотрены также вопросы верификации результатов синтеза и выбора наиболее эффективного метода синтеза. Описан пакет ZUBR, в котором реализованы предложенные методы синтеза. Изложение материала сопровождается большим количеством практических примеров. Преимущество предлагаемых методов синтеза подтверждено результатами экспериментальных исследований.

Для специалистов – разработчиков цифровых систем, будет полезно в качестве учебного пособия для студентов и аспирантов.

ББК 32.852.3

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Предисловие

Широкое внедрение электроники и автоматики во все сферы человеческой деятельности, наблюдаемое в настоящее время, предъявляет все более жесткие требования к изделиям электронной техники. Это связано, с одной стороны, с возрастанием важности и сложности решаемых задач, а с другой стороны, необходимостью улучшения таких характеристик, как быстродействие, надежность, потребляемая мощность, габариты, стоимость и др. Одним из путей решения данной проблемы является широкое использование программируемых логических интегральных схем (ПЛИС – Programmable Logic Devices – PLDs).

ПЛИС представляют собой новую элементную базу, обладающую гибкостью заказных БИС и доступностью традиционной «жесткой» логики. Главным отличительным свойством ПЛИС является возможность их настройки на выполнение заданных функций самим пользователем. Современные ПЛИС характеризуются низкой стоимостью, высоким быстродействием, значительными функциональными возможностями, многократностью перепрограммирования, низкой потребляемой мощностью и др. При этом время разработки на основе ПЛИС даже достаточно сложных проектов может составлять всего несколько часов. По существу, разработка устройств на основе ПЛИС представляет собой новую технологию проектирования электронных схем, включая их изготовление и сопровождение. Доказательством перспективности новой элементной базы служит ежегодное появление новых, имеющих более совершенную архитектуру поколений ПЛИС, а также постоянно растущий объем выпуска ПЛИС. В настоящее время также наблюдается тенденция использования ПЛИС для выполнения функций микроконтроллеров и микропроцессоров, в том числе и специализированных, например для цифровой обработки сигналов.

При разработке сложных цифровых систем на ПЛИС проектировщику часто приходится сталкиваться с проблемой необходимости проектирования оригинальных (определяющих особенности каждого проекта) цифровых устройств: комбинационных схем, конечных автоматов, устройств логического управления и др. Использование для этого средств, имеющихся в промышленных пакетах автоматизированного проектирования, часто бывает неэффективно. Данная ситуация объясняется целым рядом причин:

- ограниченным временем разработки программных средств, предназначенных сопровождать новое семейство ПЛИС (главной задачей промышленного пакета является программное сопровождение нового семейства ПЛИС, а не реализация оригинальных методов синтеза);
- использование в промышленных пакетах преимущественно традиционных методов логического проектирования;
- отсутствие у разработчиков промышленного пакета необходимого опыта в области логического проектирования.

По сравнению с монографией [Соловьев В.В. «Проектирование цифровых систем на основе программируемых логических интегральных схем»], которая была посвящена достаточно широкому кругу вопросов проектирования цифровых систем на ПЛИС, в данную книгу вошли только те темы, которые касаются именно логического проекти-

рования цифровых систем. После издания упомянутой монографии многие из описываемых в ней алгоритмов логического синтеза были запрограммированы и исследованы. Поэтому в настоящую книгу включены только наиболее эффективные методы и алгоритмы. Кроме того, был разработан ряд новых методов синтеза, а также модифицированы ранее предложенные методы. Эффективность предлагаемых в настоящей книге методов синтеза подтверждается приводимыми результатами экспериментальных исследований.

В первой главе рассматриваются основные этапы проектирования цифровых систем вне зависимости от используемой элементной базы. Показано место логического проектирования в общем процессе разработки цифровой системы. Приводится классификация современных ПЛИС, описываются основные архитектуры ПЛИС. Отмечаются особенности проектирования цифровых систем на основе ПЛИС.

Вторая глава посвящена методам синтеза комбинационных схем на основе ПЛИС. Предлагаются методы синтеза одноуровневых, двухуровневых и многоуровневых комбинационных схем. Отмечаются особенности применения методов для каждого класса ПЛИС.

Традиционно при синтезе конечных автоматов используются только две модели: автомат типа Мили и автомат типа Мура. В третьей главе приводится новая классификация конечных автоматов. В результате определяются 6 основных и 4 совмещенных классов конечных автоматов, на основании которых строятся 50 структурных моделей конечных автоматов, допускающих эффективную реализацию на ПЛИС. Приводится исследование новых моделей конечных автоматов с точки зрения сложности реализации и быстродействия, а также возможности использования в различных цифровых системах.

В четвертой главе описываются методы синтеза на ПЛИС конечных автоматов. При этом рассматриваются как традиционные модели конечных автоматов, так и новые классы конечных автоматов, описанные в третьей главе.

Пятая глава посвящена методам синтеза устройств логического управления и микропрограммных автоматов. Описываются методы синтеза оригинальной одноуровневой схемы с распределенной памятью, двухуровневой схемы, а также многоуровневых иерархических схем последовательных и параллельных микропрограммных автоматов. Кроме того, приводятся методы синтеза специальных структур аperiodических устройств логического управления: с различным временем выполнения микрокоманд и различным временем выполнения микроопераций.

В шестой главе описывается научно-исследовательский пакет ZUBR, в котором реализовано большинство из предлагаемых методов синтеза.

Изложение материала сопровождается большим количеством примеров, способствующих пониманию сути предлагаемых методов. В начале каждой главы описываются методы верификации результатов синтеза и алгоритмы выбора наиболее эффективных методов синтеза. Приводится анализ традиционных методов синтеза на основе ПЛИС и дается характеристика предлагаемых методов. В конце каждой главы, описывающей методы синтеза, приводится обширный обзор литературы, посвященной соответствующим методам синтеза цифровых устройств.

В основу книги положены курсы лекций, неоднократно читаемые студентам Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (БГУИР), Белостокского технического университета (Польша), а также профессиональным проектировщикам цифровой аппаратуры – на специальных технических школах-семинарах. Параграфы 2.3, 2.5, 2.9, 4.3, 4.6 и 4.7, а также гл. 6 написаны совместно с А. Климовичем. Остальная часть книги написана В.В. Соловьевым.

Книга предназначена для преподавателей, студентов старших курсов и аспирантов соответствующих специальностей вузов. Материал книги может быть использован преподавателями для чтения лекций и проведения практических занятий. Сформулированные в конце каждой главы вопросы и задания предназначены для лучшего усвоения материала и более глубокого понимания сути предлагаемых подходов. Отдельные задания, отмеченные звездочкой, могут служить темами курсовых и дипломных проектов. Некоторые из заданий являются достаточно сложными, требующими дальнейших исследований. Такие задания могут быть интересны аспирантам.

Для понимания материала, излагаемого в книге, не требуются дополнительные знания, поэтому книга может также служить широкому кругу специалистов в области вычислительной техники, автоматики и электроники в качестве пособия для самостоятельного изучения вопросов логического проектирования цифровых систем на основе ПЛИС. Приводимые в книге методы и алгоритмы достаточно просты и могут применяться при ручном проектировании инженерами-практиками. Отдельные методы и алгоритмы могут также использоваться разработчиками программных средств в пакетах автоматизированного проектирования.

Авторы искренне благодарны рецензентам: сотрудникам кафедры микропроцессорных систем Института информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, ректору Института информационных технологий Александру Георгиевичу Якубенко, а также кандидату технических наук, доценту Валерию Николаевичу Мухаметову; заведующему лабораторией логического проектирования Объединенного института проблем информатики Национальной академии наук Беларуси доктору технических наук, профессору П.Н. Бибило, кандидату технических наук, старшему научному сотруднику Н.А. Коротаяеву; заведующему кафедрой Вычислительных машин и систем Пензенской государственной технологической академии, доктору техн. наук И. И. Сальникову; заведующему кафедрой Электроники и микроэлектроники Магнитогорского государственного технического университета, доктору техн. наук, проф. И.А. Селиванову, а также канд. техн. наук, доценту К.Э. Одинцову; заведующему кафедрой Информатики и математического обеспечения Петрозаводского государственного университета, канд. техн. наук, доценту Ю.А. Богоявленскому за внимательное прочтение рукописи и важные замечания, которые позволили улучшить качество книги и устранить ряд неточностей, ошибок и опечаток.

Научные исследования, результаты которых вошли в данную книгу, частично финансировались грантом W/W1/9/03 Белостокского технического университета (Польша).