

УДК 621.3.049.77
ББК 32.844-02
С79

С79 Стешенко В.Б.

ПЛИС фирмы Altera: элементная база, система проектирования и языки описания аппаратуры. — М.: ДМК Пресс, — 574 с.

ISBN 978-5 97060-342-0

В книге рассмотрены вопросы практического применения ПЛИС фирмы «Altera» при разработке цифровых устройств. Приведены краткие сведения об особенностях архитектуры и временных параметрах устройств. Рассмотрены САПР MAX+PLUS II и Quartus, языки описания аппаратуры AHDL, VHDL, VERILOG HDL. Приводятся примеры описания цифровых устройств на языках высокого уровня, а также примеры реализации некоторых алгоритмов. Приведены сведения о современных интерфейсах передачи данных, даны рекомендации по разработке печатных плат.

Цель книги — помочь начинающему разработчику в выборе элементной базы и дать представление о технологии проектирования устройств на ПЛИС.

УДК 621.3.049.77
ББК 32.844-02

ISBN 978-5 94120-112-9
ISBN 978-5 97060-342-0

© Стешенко В.Б.
 © Макет, Издательский дом «Додэка-XXI»
 © Издание, ДМК Пресс, 2016

Все права защищены. Никакая часть этого издания не может быть воспроизведена в любой форме или любыми средствами, электронными или механическими, включая фотографирование, ксерокопирование или иные средства копирования или сохранения информации, без письменного разрешения издательства.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	13
ГЛАВА 1. ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА	19
1.1. Семейство MAX3000	19
1.2. Семейство FLEX6000	33
1.3. Семейство MAX7000	46
1.4. Семейство FLEX8000	53
1.5. Семейство MAX9000	58
1.6. Семейство FLEX10K	65
1.7. Семейство APEx20K	78
1.8. Семейство Mercury	85
1.9. Семейство ACEX	102
1.10. Конфигурационные ПЗУ	104
1.11. Программирование и реконфигурирование в системе	110
ГЛАВА 2. СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ MAX+PLUS II	115
2.1. Общие сведения	115
2.2. Процедура разработки проекта	121
2.3. Редакторы MAX PLUS II	140
2.4. Процесс компиляции	154
2.5. Верификация проекта	162
ГЛАВА 3. ЯЗЫК ОПИСАНИЯ АППАРАТУРЫ AHDL	167
3.1. Общие сведения	167
3.2. Использование чисел и констант в языке AHDL	171
3.2.1. Использование чисел	171
3.2.2. Использование констант	171
3.3. Комбинационная логика	172

3.3.1.	Реализация булевых выражений и уравнений	172
3.3.2.	Объявление NODE (узел)	173
3.3.3.	Определение групп	173
3.3.4.	Реализация условной логики	174
3.3.5.	Описание дешифраторов	177
3.3.6.	Использование для переменных значений по умолчанию	180
3.3.7.	Реализация логики с активным низким уровнем	182
3.3.8.	Реализация двунаправленных выводов	183
3.4.	Последовательностная логика	184
3.4.1.	Объявление регистров	184
3.4.2.	Объявление регистровых выходов	186
3.4.3.	Создание счетчиков	186
3.5.	Цифровые автоматы с памятью (state mashine)	187
3.5.1.	Реализация цифровых автоматов (state machine)	188
3.5.2.	Установка сигналов Clock, Reset и Enable	189
3.5.3.	Задание выходных значений для состояний	189
3.5.4.	Задание переходов между состояниями	190
3.5.5.	Присвоение битов и значений в цифровом автомате	190
3.5.6.	Цифровые автоматы с синхронными выходами	191
3.5.7.	Цифровые автоматы с асинхронными выходами	193
3.5.8.	Восстановление после неправильных состояний	194
3.6.	Реализация иерархического проекта	196
3.6.1.	Использование макрофункций системы MAX+PLUS II фирмы «Altera»	196
3.6.2.	Создание и применение пользовательских макрофункций	199
3.6.3.	Определение пользовательской макрофункции	199
3.6.4.	Импорт и экспорт цифровых автоматов (state machine)	201
3.7.	Управление синтезом	203
3.7.1.	Реализация примитивов LCELL и SOFT	203
3.7.2.	Значения констант по умолчанию	205
3.7.3.	Присвоение битов и значений в цифровом формате	205
3.8.	Элементы языка AHDL	205
3.8.1.	Зарезервированные ключевые слова	205
3.8.2.	Символы	207
3.8.3.	Имена в кавычках и без кавычек	208
3.8.4.	Группы	209
3.8.5.	Числа в языке AHDL	211
3.8.6.	Булевы выражения	211
3.8.7.	Логические операторы	212
3.8.8.	Выражения с оператором NOT	213

3.8.9. Выражения с операторами AND, NAND, OR, XOR, & XNOR	213
3.8.10. Арифметические операторы	214
3.8.11. Компараторы (операторы сравнения)	215
3.8.12. Приоритеты в булевых уравнениях	216
3.8.13. Примитивы	216
3.8.14. Порты	226
3.9. Синтаксис языка AHDL	229
3.9.1. Лексические элементы	229
3.9.2. Основные конструкции языка AHDL	230
3.9.3. Синтаксис объявления названия	233
3.9.4. Синтаксис оператора включения	233
3.9.5. Синтаксис задания константы	233
3.9.6. Синтаксис прототипа функции	233
3.9.7. Синтаксис оператора вариантов	234
3.9.8. Синтаксис секции подпроекта Subdesign	236
3.9.9. Синтаксис секции переменных	236
3.9.10. Синтаксис объявления цифрового автомата	237
3.9.11. Синтаксис объявления псевдонима цифрового автомата	237
3.9.12. Синтаксис логической секции	238
3.9.13. Синтаксис булевых уравнений	238
3.9.14. Синтаксис булевых уравнений управления	238
3.9.15. Синтаксис оператора CASE	238
3.9.16. Объявление по умолчанию	238
3.9.17. Синтаксис условного оператора IF	239
3.9.18. Синтаксис встроенных (in-line) ссылок на макрофункцию или примитив	239
3.9.19. Синтаксис объявления таблицы истинности	239
3.9.20. Синтаксис порта	239
3.9.21. Синтаксис группы	240
3.9.22. Синтаксические группы и списки	241
ГЛАВА 4. ЯЗЫК ОПИСАНИЯ АППАРАТУРЫ VHDL	243
4.1. Общие сведения	243
4.2. Алфавит языка	246
4.2.1. Комментарии	247
4.2.2. Числа	247
4.2.3. Символы	248
4.2.4. Строки	248
4.3. Типы данных	248

4.3.1. Простые типы	248
4.3.2. Сложные типы	249
4.3.3. Описание простых типов	250
4.4. Операторы VHDL	261
4.4.1. Основы синтаксиса	261
4.4.2. Объекты	262
4.4.3. Атрибуты	263
4.4.4. Компоненты	263
4.4.5. Выражения	264
4.4.6. Операторы	265
4.5. Интерфейс и тело объекта	266
4.5.1. Описание простого объекта	270
4.5.2. Объявление объекта проекта F	270
4.5.3. Поведенческое описание архитектуры	270
4.5.4. Поточковая форма	271
4.5.5. Структурное описание архитектуры	273
4.6. Описание конфигурации	274
4.7. Векторные сигналы и регулярные структуры	275
4.8. Задержки сигналов и параметры настройки	277
4.9. Атрибуты сигналов и контроль запрещенных ситуаций	279
4.10. Алфавит моделирования и пакеты	280
4.11. Описание монтажного «ИЛИ» и общей шины	283
4.12. Синтезируемое подмножество VHDL	285
4.12.1. Общие сведения	285
4.12.2. Переопределенные типы (Redefined types)	286
4.12.3. Методика верификации синтезируемого описания (Verification methodology)	286
4.12.4. Моделирование элементов аппаратуры (Modeling hardware elements)	288
4.12.5. Директивы компилятора (псевдокомментарии, Pragmas)	295
4.12.6. Синтаксис синтезируемого подмножества VHDL	297
4.13. Краткое описание синтаксиса синтезируемого подмножества VHDL	343
ГЛАВА 5. ЯЗЫК ОПИСАНИЯ АППАРАТУРЫ VERILOG HDL	363
5.1. Общие сведения	363
5.2. Операторы	365
5.3. Числа в Verilog	365
5.3.1. Целые числа (Integers)	365
5.3.2. Неопределенное и высокоимпедансное состояния (x and z values)	366

5.3.3. Отрицательные числа (Negative numbers)	366
5.3.4. Подчеркивание (Underscore)	366
5.3.5. Действительные числа (Real)	366
5.3.6. Строки (Strings)	367
5.4. Цепи в Verilog (Nets)	367
5.5. Регистры (Registers)	367
5.6. Векторы (Vectors)	369
5.7. Массивы (Arrays)	370
5.8. Регистровые файлы (Memories)	370
5.9. Элементы с третьим состоянием (Tri-state)	370
5.10. Арифметические операторы (Arithmetic operators)	372
5.11. Логические операторы (Logical operators)	373
5.12. Операторы отношения (Relational operators)	374
5.13. Операторы эквивалентности (Equality)	374
5.14. Поразрядные операторы (Bitwise operators)	375
5.15. Операторы приведения (Reduction operator)	376
5.16. Операторы сдвига (Shift operator)	377
5.17. Конкатенация (объединение, Concatenation)	377
5.18. Повторение (Replication)	378
5.19. Системные директивы (System tasks)	378
5.19.1. Директивы вывода результатов моделирования (Writing to standard output)	379
5.19.2. Контроль процесса моделирования (Monitoring a simulation)	380
5.19.3. Окончание моделирования (Ending a simulation)	382
5.20. Проектирование комбинационных схем, пример проектирования мультиплексора 4 в 1	382
5.20.1. Реализация на уровне логических вентилях (Gate level implementation)	382
5.20.2. Реализация мультиплексора с помощью логических операторов (Logic statement Implementation)	384
5.20.3. Реализация с помощью оператора выбора (CASE statement implementation)	385
5.20.4. Реализация с использованием условного оператора (Conditional operator Implementation)	387
5.20.5. Тестовый модуль (The stimulus module)	387
5.21. Модули проекта (Design blocks modules)	390
5.21.1. Тестирование	392
5.22. Порты (Ports)	393
5.23. Правила соединения (Connection rules)	394

5.23.1. Входы (inputs)	394
5.23.2. Выходы (outputs)	394
5.23.3. Двухнаправленные выходы (inouts)	394
5.23.4. Соответствие портов (Port matching)	394
5.23.5. Присоединение портов (Connecting ports)	394
5.24. Базовые блоки (Basic blocks)	395
5.24.1. Инициализация (Initial block)	395
5.24.2. Конструкция Always (Always block)	395
5.25. Пример проектирования последовательностного устройства: двоичный счетчик	396
5.25.1. Поведенческая модель счетчика (Behavioural model)	400
5.26. Временной контроль (Timing Control)	402
5.26.1. Задержки (delay)	402
5.26.2. Событийный контроль (event-based control)	403
5.27. Защелкивание (triggers)	403
5.28. Список сигналов возбуждения (sensitivity list)	404
5.29. Задержка распространения в вентиле (Gate delays)	404
5.30. Операторы ветвления (Branch statements)	404
5.30.1. Оператор IF (IF statement)	404
5.30.2. Оператор выбора (CASE statement)	406
5.30.3. Оператор ветвления (Conditional operator)	406
5.31. Циклы (Looping constructs)	407
5.31.1. Цикл WHILE (WHILE LOOP)	407
5.31.2. Цикл FOR (FOR LOOP)	408
5.31.3. Цикл REPEAT (REPEAT LOOP)	408
5.31.4. Вечный цикл (FOREVER LOOP)	409
5.32. Файлы в Verilog	409
5.32.1. Открытие файла (Opening a file)	409
5.32.2. Запись в файл (Writing to a file)	410
5.32.3. Закрытие файла (Closing a file)	410
5.32.4. Инициализация регистровых файлов (памяти) (Initialising memories)	410
5.33. Задание векторов входных сигналов для моделирования (Verilog input vectors)	412
5.34. Список операторов Verilog	414
5.35. Приоритет операторов	415
5.36. Ключевые слова (keywords)	415
5.37. Директивы компилятора	416
5.38. Типы цепей (Net types)	416

ГЛАВА 6. ПРИМЕРЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКОВ ОПИСАНИЯ АППАРАТУРЫ VHDL И VERILOG	417
6.1. Общие сведения	417
6.2. Триггеры и регистры	418
6.2.1. Триггеры, тактируемые передним фронтом (Rising Edge Flipflop)	419
6.2.2. Триггеры, тактируемые передним фронтом, с асинхронным сбросом (Rising Edge Flipflop with Asynchronous Reset) . . .	420
6.2.3. Триггеры, тактируемые передним фронтом, с асинхронной предустановкой (Rising Edge Flipflop with Asynchronous Preset)	421
6.2.4. Триггеры, тактируемые передним фронтом, с асинхронным сбросом и предустановкой (Rising Edge Flepfplop with Asynchronous Reset and Preset)	422
6.2.5. Триггеры, тактируемые передним фронтом, с синхронным сбросом (Rising Edge Flipflop with Synchronous Reset) . . .	424
6.2.6. Триггеры, тактируемые передним фронтом, с синхронной предустановкой (Rising Edge Flipflop with Synchronous Preset)	425
6.2.7. Триггеры, тактируемые передним фронтом, с асинхронным сбросом и разрешением тактового сигнала (Rising Edge Flipflop with Asynchronous Reset and Clock Enable)	426
6.2.8. Защелка с разрешением выхода (D-Latch with Data and Enable)	427
6.2.9. Защелка с входом данных с разрешением (D-Latch with Gated Asynchronous Data)	428
6.2.10. Защелка с входом разрешения (D-Latch with Gated enable) . .	429
6.2.11. Защелка с асинхронным сбросом (D-Latch with Asynchronous Reset)	430
6.3. Построение устройств потоковой обработки данных (Datapath logic)	431
6.4. Счетчики	439
6.5. Арифметические устройства	443
6.6. Конечные автоматы (Finite state machine)	449
6.7. Элементы ввода-вывода	459
6.8. Параметризация	464
6.9. Специфика проектирования устройств с учетом архитектурных особенностей ПЛИС	466
6.10. Совместное использование ресурсов	468

6.11. Дублирование регистра	473
6.12. Создание описаний с учетом особенностей архитектуры ПЛИС (Technology Specific Coding Techniques)	476

ГЛАВА 7. ПРИМЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ ЦОС НА ПЛИС

485

7.1. Реализация цифровых фильтров на ПЛИС семейства FLEX фирмы «Altera»	485
7.2. Реализация цифровых полиномиальных фильтров	491
7.3. Алгоритмы функционирования и структурные схемы демодуляторов	495
7.4. Реализация генератора ПСП на ПЛИС	500
7.5. Примеры описания цифровых схем на VHDL	506
7.6. Реализация нейрона на AHDL	516
7.7. Построение быстродействующих перемножителей	529

Приложение 1. Система проектирования Quartus	535
---	-----

Приложение 2. Интерфейсы передачи данных и сопряжение устройств	537
---	-----

Приложение 3. Практические рекомендации по разработке печатных плат	568
---	-----

Литература	572
-------------------------	-----