

УДК 621.369.218
ББК 32.884.1

Бабак В. П., Корченко А. Г., Тимошенко Н. П., Филоненко С. Ф.
Б12 **VHDL: Справочное пособие по основам языка.** — М.: ДМК
Пресс, 2020. — 216 с: ил. (Серия Программируемые системы).

ISBN 978-5-97060-826-5

Представляет собой вводный курс в язык VHDL и предназначена для быстрого ознакомления с базовыми концептуальными положениями этого языка. В данной книге приводятся базовые принципы параллельного программирования, положенные в основу языка VHDL, а также принципы организации VHDL-проекта и взаимосвязь компонентов проекта с физическими процессами, протекающими в реальных цифровых устройствах. Содержит многочисленные практические примеры проектирования цифровых устройств, в частности цифровых устройств специального назначения (криптопроцессоров).

Расчитана на студентов, изучающих язык VHDL, в том числе и в рамках учебных курсов, посвященных проектированию устройств защиты информации.

УДК 621.369.218
ББК 32.884.1

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.

ISBN 978-5-97060-826-5

© Макет, «Додэка-XXI»
® Серия «Программируемые системы»
© Издание, «ДМК Пресс», 2020

Оглавление

Принятые сокращения	8
Глава 1. Введение	9
1.1. Современные языки проектирования цифровых устройств	9
1.2. Краткая характеристика языка VHDL	10
1.3. Этапы проектирования с использованием VHDL	13
Глава 2. Уровни представления и формы абстракции цифровых систем	14
Глава 3. Базовая структура VHDL-файла	18
3.1. Общие сведения	18
3.2. Объявление интерфейса	22
3.3. Архитектура проекта	26
3.3.1. Архитектура проекта в поведенческой форме	26
3.3.2. Архитектура проекта в структурной форме	29
3.4. Библиотеки и пакеты	33
Глава 4. Лексические элементы языка VHDL	37
4.1. Идентификаторы	37
4.2. Ключевые слова	38
4.3. Резервированные слова	39
4.4. Числа	40
4.5. Символы, строки и битовые строки	41

Глава 5. Программные элементы данных: константы, переменные и сигналы	42
5.1. Константы	42
5.2. Переменные	43
5.3. Сигналы	44
Глава 6. Типы данных	47
6.1. Встроенные типы данных пакета STANDARD	47
6.2. Пользовательские типы и подтипы	49
6.2.1. Физические типы	50
6.2.2. Перечислимые типы	51
6.2.3. Композитные пользовательские типы	54
6.3. Преобразование типов	61
6.4. Атрибуты	64
6.4.1. Атрибуты сигналов	64
6.4.2. Скалярные атрибуты	65
6.4.3. Атрибуты массивов	68
Глава 7. Операции и символы операций	69
7.1. Логические операции	70
7.2. Операции отношений	70
7.3. Операции сдвига	71
7.4. Операции сложения	72
7.5. Унарные операции	73
7.6. Операции умножения	73
7.7. Вспомогательные операции	74
7.8. Символы комментария	75
7.9. Математические выражения	77
Глава 8. Поведенческая форма проекта: явно заданный оператор Process	79
8.1. Явно заданный оператор PROCESS	79
8.2. Оператор условной передачи управления If	84
8.3. Оператор выбора CASE	86
8.4. Оператор цикла LOOP	89
8.4.1. Базовая форма цикла	89
8.4.2. Итерационная форма цикла WHILE ... LOOP	91
8.4.3. Итерационная форма цикла FOR ... LOOP	92
8.4.4. Операторы NEXT и EXIT	92

8.5. Оператор ожидания WAIT93
 8.6. Оператор NULL94
 8.7. Пример VHDL-проекта95

Глава 9. Поведенческая форма проекта: неявно заданный оператор PROCESS 97

9.1. Простая параллельная установка значений сигналов98
 9.2. Условная установка значения сигнала100
 9.3. Селективная установка значений сигналов102

Глава 10. Структурная форма проекта 105

10.1. Оператор COMPONENT106
 10.2. Оператор PORT MAP107

Глава 11. Примеры VHDL-проектов ЦУ различного назначения 115

11.1. Проекты ЦУ общего назначения 115
 11.1.1. Логический элемент AND на 4 входа 115
 11.1.2. Логический элемент OR на 2 входа 116
 11.1.3. Логический элемент OR на 4 инверсных входа 117
 11.1.4. Логический элемент NOR на 3 входа 119
 11.1.5. Логический элемент XOR на 2 входа 120
 11.1.6. 4-битный буфер — логический усилитель 121
 11.1.7. 8-битный буфер с тремя состояниями без обратной связи 122
 11.1.8. 4-канальный мультиплексор 4×1
 с сигналом разрешения выбора номера канала 122
 11.1.9. Демultipлексор 1×4 123
 11.1.10. 4-битный последовательный сумматор с фиксированной точкой .. 124
 11.1.11. 8-битный сумматор с ускоренным переносом 125
 11.1.12. 4-битный каскадный вычитатель с фиксированной точкой 126
 11.1.13. 8-битный сумматор со сквозным переносом с учетом знаков битов 127
 11.1.14. Универсальный параллельный арифметический процессор 129
 11.1.15. 4-битный компаратор с анализом знаков сравниваемых чисел
 и выбором режимов сравнения 130
 11.1.16. 8-битный контроллер четности 131
 11.1.17. Простой D-триггер, переключаемый передним фронтом тактового
 импульса 132
 11.1.18. D-триггер с асинхронным сбросом 132
 11.1.19. D-триггер с асинхронной предустановкой 133
 11.1.20. D-триггер с асинхронным сбросом и асинхронной предустановкой 134
 11.1.21. D-триггер с синхронным сбросом 134
 11.1.22. D-триггер с синхронной предустановкой 135

11.1.23. D-триггер с синхронным сбросом и сигналом, разрешающим приход очередного тактового импульса	136
11.1.24. D-триггер-защелка	137
11.1.25. D-триггер-защелка со стробирующим сигналом	137
11.1.26. 8-битный накапливающий счетчик со счетным входом и асинхронным сбросом	138
11.1.27. 8-битный накапливающий счетчик с синхронной загрузкой и асинхронным сбросом	139
11.1.28. 8-битный накапливающий/вычитающий счетчик с выбором направления счета	140
11.1.29. N-битный накапливающий счетчик со счетным входом, синхронной загрузкой и асинхронным сбросом	141
11.1.30. Синхронный 4-битный циклический сдвиговый регистр вправо с параллельным входом и выходом	142
11.1.31. Универсальный синхронный 4-битный сдвиговый регистр вправо с параллельным входом и выходом	144
11.1.32. Расширитель разрядности шины знаковыми разрядами	145
11.1.33. VHDL-проект расширителя разрядности шины нулями	147
11.1.34. 8-битная двунаправленная шина с тремя состояниями	148
11.1.35. Процессор возведения в степень N	149
11.1.36. Процессор нахождения факториала	149
11.1.37. Процессор нахождения натурального логарифма	150
11.1.38. Процессор нахождения квадратного корня	152
11.1.39. Процессор, конвертирующий 16-ричные значения в данные типа <code>std_logic_vector</code>	153
11.2. Проекты ЦУ специального назначения	154
11.2.1. Генератор тактовых импульсов с периодом следования 100 нс и скажностью 50%	154
11.2.2. Комбинированный генератор псевдослучайных чисел с выходными значениями разных типов	154
11.2.3. Многофункциональный конвертер типов данных	156
11.2.4. Целочисленный мультипликативный криптопроцессор	157
11.2.5. Символьный аддитивный криптопроцессор	158
11.2.6. Подстановочный символьный криптопроцессор	161
11.2.7. Перестановочный битовый криптопроцессор	163
11.2.8. Криптопроцессор на базе сдвиговых операций	166
11.2.9. Криптопроцессор с многоуровневой системой шифрования, формульный метод	168
11.2.10. Криптопроцессор, реализующий метод эллиптических кривых	170
11.3. Проекты ЦУ специального назначения повышенного уровня сложности	177
11.3.1. Файловый криптопроцессор циклического сдвига	177
11.3.2. Файловый RSA-криптопроцессор	184

11.3.3. Файловый криптопроцессор Вижинера. 192

Приложение. Основы языка VHDL в реферативном изложении 199

П.1. Язык VHDL как универсальный язык проектирования ЦУ 199

П.2. Концептуальные положения языка VHDL. 201

П.3. Объявление интерфейса проекта 204

П.4. Программные элементы данных языка VHDL 206

П.5. Поведенческая форма проекта на основе явно заданного оператора PROCESS 210

П.6. Поведенческая форма проекта на основе неявно заданного оператора PROCESS. 212

П.7. Структурная форма проекта. 214