

Моей семье, Дженнифер, Абрахаму, Сэмюелю и Бенджамину
– DMH

Ивану и Окаану, бросающим вызов логике
– SLH

Оглавление

Похвальные отзывы на книгу «Цифровая схемотехника и архитектура компьютера»	15
Об авторах	17
Предисловие к изданию на русском языке	18
Благодарности участникам проекта	22
Предисловие	24
Особенности книги	24
Материалы в Интернете	26
Как использовать программный инструментарий в учебном курсе	27
Опечатки	28
Признательность за поддержку	28
Глава 1 От нуля до единицы	31
1.1. План игры	31
1.2. Искусство управления сложностью	32
1.2.1. Абстракция	33
1.2.2. Конструкторская дисциплина	35
1.2.3. Три базовых принципа	36
1.3. Цифровая абстракция	38
1.4. Системы счисления	40
1.4.1. Десятичная система счисления	40
1.4.2. Двоичная система счисления	41
1.4.3. Шестнадцатеричная система счисления	43
1.4.4. Байт, полубайт и «весь этот джаз»	45
1.4.5. Сложение двоичных чисел	46
1.4.6. Знак двоичных чисел	47
1.5. Логические элементы	53
1.5.1. Логический вентиль НЕ	53
1.5.2. Буфер	54
1.5.3. Логический вентиль И	54
1.5.4. Логический вентиль ИЛИ	54
1.5.5. Другие логические элементы с двумя входными сигналами	55
1.5.6. Логические элементы с количеством входов больше двух	56
1.6. За пределами цифровой абстракции	57
1.6.1. Напряжение питания	57
1.6.2. Логические уровни	57
1.6.3. Допускаемые уровни шумов	58
1.6.4. Передаточная характеристика	59
1.6.5. Статическая дисциплина	60
1.7. КМОП-транзисторы	62
1.7.1. Полупроводники	63

1.7.2. Диоды	64
1.7.3. Конденсаторы	64
1.7.4. п-МОП- и р-МОП-транзисторы.....	65
1.7.5. Логический вентиль НЕ на КМОП-транзисторах	69
1.7.6. Другие логические вентили на КМОП-транзисторах	69
1.7.7. Передаточный логический вентиль	72
1.7.8. Псевдо п-МОП-логика	72
1.8. Потребляемая мощность.....	73
1.9. Краткий обзор главы 1 и того, что нас ждет впереди	75
Упражнения	77
Вопросы для собеседования	89

Глава 2 Проектирование комбинационной логики 91

2.1. Введение	91
2.2. Булевы уравнения.....	95
2.2.1. Терминология	95
2.2.2. Дизъюнктивная форма	96
2.2.3. Конъюнктивная форма	98
2.3. Булева алгебра	99
2.3.1. Аксиомы	100
2.3.2. Теоремы одной переменной	100
2.3.3. Теоремы с несколькими переменными	102
2.3.4. Правда обо всем этом	104
2.3.5. Упрощение уравнений.....	105
2.4. От логики к логическим элементам	106
2.5. Многоуровневая комбинационная логика	110
2.5.1. Минимизация аппаратуры.....	111
2.5.2. Перемещение инверсии.....	112
2.6. Что за X и Z?.....	115
2.6.1. Недопустимое значение: X	115
2.6.2. Третье состояние: Z.....	116
2.7. Карты Карно	118
2.7.1. Думайте об овалах.....	119
2.7.2. Логическая минимизация на картах Карно.....	120
2.7.3. Безразличные переменные	124
2.7.4. Подводя итоги	124
2.8. Базовые комбинационные блоки.....	125
2.8.1. Мультиплексоры	125
2.8.2. Дешифраторы	129
2.9. Временные характеристики	131
2.9.1. Задержка распространения и задержка реакции	131
2.9.2. Импульсные помехи	136
2.10. Резюме	139
Упражнения	140
Вопросы для собеседования	147

Глава 3	Проектирование последовательной логики	149
3.1.	Введение	149
3.2.	Защелки и триггеры	150
3.2.1.	RS-триггер	151
3.2.2.	D-защелка	154
3.2.3.	D-Триггер	155
3.2.4.	Регистр	156
3.2.5.	Триггер с функцией разрешения	156
3.2.6.	Триггер с функцией сброса	158
3.2.7.	Проектирование триггеров и защелок на транзисторном уровне	159
3.2.8.	Общий обзор	160
3.3.	Проектирование синхронных логических схем	161
3.3.1.	Некоторые проблемные схемы	161
3.3.2.	Синхронные последовательные схемы	163
3.3.3.	Синхронные и асинхронные схемы	166
3.4.	Конечные автоматы	166
3.4.1.	Пример проектирования конечного автомата	167
3.4.2.	Кодирование состояний	173
3.4.3.	Автоматы Мура и Мили	176
3.4.4.	Декомпозиция конечных автоматов	180
3.4.5.	Восстановление конечных автоматов по электрической схеме	182
3.4.6.	Обзор конечных автоматов	185
3.5.	Синхронизация последовательных схем	185
3.5.1.	Динамическая дисциплина	187
3.5.2.	Временные характеристики системы	188
3.5.3.	Расфазировка тактовых сигналов	194
3.5.4.	Метастабильность	197
3.5.5.	Синхронизаторы	199
3.5.6.	Вычисление времени разрешения	201
3.6.	Параллелизм	205
3.7.	Резюме	209
	Упражнения	210
	Вопросы для собеседования	218
Глава 4	Языки описания аппаратуры	221
4.1.	Введение	221
4.1.1.	Модули	222
4.1.2.	Происхождение языков SystemVerilog и VHDL	222
4.1.3.	Симуляция и Синтез	224
4.2.	Комбинационная логика	226
4.2.1.	Битовые операторы	227
4.2.2.	Комментарии и пробелы	229
4.2.3.	Операторы сокращения	230
4.2.4.	Условное присваивание	230
4.2.5.	Внутренние переменные	233
4.2.6.	Приоритет	235
4.2.7.	Числа	235

4.2.8. Z-состояние и X-состояние	237
4.2.9. Манипуляция битами	239
4.2.10. Задержки	239
4.3. Структурное моделирование	241
4.4. Последовательностная логика	245
4.4.1. Регистры	245
4.4.2. Регистры со сбросом	245
4.4.3. Регистры с сигналом разрешения	248
4.4.4. Группы регистров	249
4.4.5. Защелки	250
4.5. И снова комбинационная логика	251
4.5.1. Операторы case	254
4.5.2. Операторы if	256
4.5.3. Таблицы истинности с незначащими битами	259
4.5.4. Блокирующие и неблокирующие присваивания	260
4.6. Конечные автоматы	264
4.7. Типы данных	268
4.7.1. SystemVerilog	268
4.7.2. VHDL	269
4.8. Параметризованные модули	272
4.9. Среда тестирования	275
4.10. Резюме	280
Упражнения	281
Вопросы для собеседования	291

Глава 5 Цифровые функциональные узлы 293

5.1. Введение	293
5.2. Арифметические схемы	294
5.2.1. Сложение	294
5.2.2. Вычитание	302
5.2.3. Компараторы	303
5.2.4. АЛУ	304
5.2.5. Схемы сдвига и циклического сдвига	306
5.2.6. Умножение	308
5.2.7. Деление	309
5.2.8. Дополнительная литература	311
5.3. Представление чисел	311
5.3.1. Числа с фиксированной точкой	311
5.3.2. Числа с плавающей точкой	312
5.4. Функциональные узлы последовательностной логики	317
5.4.1. Счетчики	317
5.4.2. Сдвигающие регистры	318
5.5. Матрицы памяти	321
5.5.1. Обзор	321
5.5.2. Динамическое ОЗУ (DRAM)	324
5.5.3. Статическое ОЗУ (SRAM)	325

5.5.4. Площадь и задержки.....	326
5.5.5. Регистровые файлы	327
5.5.6. Постоянное запоминающее устройство.....	327
5.5.7. Реализация логических функций с использованием матриц памяти.....	330
5.5.8. Языки описания аппаратуры и память.....	331
5.6. Матрицы логических элементов	332
5.6.1. Программируемые логические матрицы	333
5.6.2. Программируемые пользователем матрицы логических элементов	335
5.6.3. Схемотехника матриц.....	340
5.7. Резюме.....	342
Упражнения	343
Вопросы для собеседования	353

Глава 6 Архитектура 355

6.1. Предисловие	355
6.2. Язык ассемблера	357
6.2.1. Инструкции	358
6.2.2. Операнды: регистры, память и константы	360
6.3. Машинный язык	367
6.3.1. Инструкции типа <i>R</i>	368
6.3.2. Инструкции типа <i>I</i>	369
6.3.3. Инструкции типа <i>J</i>	371
6.3.4. Расшифровываем машинные коды.....	371
6.3.5. Могущество хранимой программы	372
6.4. Программирование	373
6.4.1. Арифметические / логические инструкции.....	374
6.4.2. Переходы.....	378
6.4.3. Условные операторы	381
6.4.4. Зацикливаемся	383
6.4.5. Массивы.....	385
6.4.6. Вызовы функций.....	390
6.5. Режимы адресации.....	400
6.6. Камера, мотор! Компилируем, ассемблируем и загружаем	404
6.6.1. Карта памяти	404
6.6.2. Трансляция и запуск программы	406
6.7. Добавочные сведения	409
6.7.1. Псевдокоманды	410
6.7.2. Исключения.....	411
6.7.3. Команды для чисел со знаком и без знака.....	413
6.7.4. Команды для работы с числами с плавающей точкой	415
6.8. Живой пример: архитектура x86.....	417
6.8.1. Регистры x86	418
6.8.2. Операнды x86	418
6.8.3. Флаги состояния	420
6.8.4. Команды x86.....	421
6.8.5. Кодировка команд x86	423
6.8.6. Другие особенности x86	425

6.8.7. Оглядываясь назад	425
6.9. Резюме	426
Упражнения	427
Вопросы для собеседования	437
Глава 7 Микроархитектура	439
7.1. Введение	439
7.1.1. Архитектурное состояние и система команд	440
7.1.2. Процесс разработки	441
7.1.3. Микроархитектуры MIPS	443
7.2. Анализ производительности	444
7.3. Однотактный процессор	446
7.3.1. Однотактный тракт данных	446
7.3.2. Однотактное устройство управления	452
7.3.3. Дополнительные команды	456
7.3.4. Анализ производительности	458
7.4. Многотактный процессор	460
7.4.1. Многотактный тракт данных	460
7.4.2. Многотактное устройство управления	467
7.4.3. Дополнительные команды	474
7.4.4. Анализ производительности	478
7.5. Конвейерный процессор	479
7.5.1. Конвейерный тракт данных	482
7.5.2. Конвейерное устройство управления	484
7.5.3. Конфликты	484
7.5.4. Дополнительные команды	496
7.5.5. Анализ производительности	496
7.6. Пишем процессор на HDL	498
7.6.1. Однотактный процессор	499
7.6.2. Универсальные строительные блоки	504
7.6.3. Тестовое окружение	506
7.7. Исключения	510
7.8. Улучшенные микроархитектуры	513
7.8.1. Длинные конвейеры	514
7.8.2. Предсказание условных переходов	516
7.8.3. Суперскалярный процессор	518
7.8.4. Процессор с внеочередным выполнением команд	521
7.8.5. Переименование регистров	524
7.8.6. SIMD	525
7.8.7. Многопоточность	526
7.8.8. Симметричные мультипроцессоры	528
7.8.9. Гетерогенные мультипроцессоры	529
7.9. Живой пример: микроархитектура x86	532
7.10. Резюме	539
Упражнения	541
Вопросы для собеседования	546

Глава 8 Иерархия памяти и подсистема ввода-вывода	549
8.1. Введение	549
8.2. Анализ производительности систем памяти	554
8.3. Кэш-память	556
8.3.1. Какие данные хранятся в кэш-памяти?	557
8.3.2. Как найти данные в кэш-памяти?	558
8.3.3. Какие данные заместить в кэш-памяти?	567
8.3.4. Улучшенная кэш-память	569
8.3.5. Эволюция кэш-памяти процессоров MIPS	573
8.4. Виртуальная память	573
8.4.1. Трансляция адресов	576
8.4.2. Таблица страниц	578
8.4.3. Буфер ассоциативной трансляции	580
8.4.4. Защита памяти	582
8.4.5. Стратегии замещения страниц	583
8.4.6. Многоуровневые таблицы страниц	584
8.5. Системы ввода-вывода	586
8.6. Ввод-вывод во встроенных системах	588
8.6.1. Микроконтроллер PIC32MX675F512H	589
8.6.2. Цифровой ввод-вывод общего назначения	594
8.6.3. Последовательный ввод-вывод	596
8.6.4. Таймеры	610
8.6.5. Прерывания	612
8.6.6. Аналоговый ввод-вывод	614
8.6.7. Другие внешние устройства микроконтроллера	621
8.7. Интерфейсы ввода-вывода персональных компьютеров	644
8.7.1. USB	646
8.7.2. PCI и PCI Express	647
8.7.3. Память DDR3	648
8.7.4. Сеть	648
8.7.5. SATA	649
8.7.6. Подключения к ПК	649
8.8. Живой пример: системы памяти и ввода-вывода семейства x86	652
8.8.1. Системы кэш-памяти процессоров семейства x86	652
8.8.2. Виртуальная память x86	655
8.8.3. Программируемый ввод-вывод x86	656
8.9. Резюме	656
Эпилог	657
Упражнения	658
Вопросы для собеседования	665
Приложение А Реализация цифровых систем	667
А.1. Введение	667
А.2. Логические микросхемы серии 74xx	668
А.2.1. Логические элементы	668
А.2.2. Другие логические функции	669

А.3. Программируемая логика.....	671
А.3.1. PROM.....	672
А.3.2. Блоки PLA.....	673
А.3.3. FPGA.....	673
А.4. Заказные специализированные интегральные схемы.....	676
А.5. Работа с документацией.....	677
А.6. Семейства логических элементов.....	682
А.7. Корпуса и монтаж интегральных схем.....	685
А.8. Линии передачи.....	690
А.8.1. Согласованная нагрузка.....	691
А.8.2. Нагрузка холостого хода.....	693
А.8.3. Нагрузка короткого замыкания.....	694
А.8.4. Рассогласованная нагрузка.....	695
А.8.5. Когда нужно применять модели линии передачи.....	697
А.8.6. Правильное подключение нагрузки к линии передачи.....	698
А.8.7. Вывод формулы для Z_0	700
А.8.8. Вывод формулы для коэффициента отражения.....	701
А.8.9. Подводя итог.....	702
А.9. Экономика.....	704

Приложение В Инструкции архитектуры MIPS 707

Приложение С Программирование на языке Си 713

С.1. Введение.....	713
С.2. Добро пожаловать в язык Си.....	716
С.2.1. Структура программы на языке СИ.....	716
С.2.2. Запуск Си-программы.....	717
С.3. Компиляция.....	718
С.3.1. Комментарии.....	719
С.3.2. #define.....	719
С.3.3. #include.....	720
С.4. Переменные.....	721
С.4.1. Базовые типы данных.....	722
С.4.2. Глобальные и локальные переменные.....	724
С.4.3. Инициализация переменных.....	725
С.5. Операции.....	726
С.6. Вызовы функций.....	729
С.7. Управление последовательностью выполнения действий.....	731
С.7.1. Условные операторы.....	731
С.7.2. Циклы.....	733
С.8. Другие типы данных.....	736
С.8.1. Указатели.....	736
С.8.2. Массивы.....	738
С.8.3. Символы.....	743
С.8.4. Строки символов.....	744
С.8.5. Структуры.....	745

С.8.6. Оператор typedef.....	747
С.8.7. Динамическое распределение памяти.....	748
С.8.8. Связные списки.....	749
С.9. Стандартная библиотека языка С.....	752
С.9.1. stdio.....	753
С.9.2. stdlib.....	757
С.9.3. math.....	759
С.9.4. string.....	760
С.10. Компилятор и опции командной строки.....	760
С.10.1. Компиляция нескольких исходных С-файлов.....	761
С.10.2. Опции компилятора.....	761
С.10.3. Аргументы командной строки.....	762
С.11. Типичные ошибки.....	762
Литература для дальнейшего изучения	769
Дополнительная информация	771
Предметный указатель	772

Похвальные отзывы на книгу «Цифровая схемотехника и архитектура компьютера»

Авторы книги вывели преподавание предмета на качественно иной уровень, создав более доступный для понимания и наглядный учебник, чем «Устройство и проектирование компьютеров» («Computer Organization and Design»), и описав в нем в деталях, как спроектировать микропроцессор архитектуры MIPS с помощью языков SystemVerilog и VHDL. Текст окажется особенно полезным для студентов, которые в процессе обучения столкнутся с разработкой больших цифровых систем на современных ПЛИС.

Дэвид А. Паттерсон, Калифорнийский Университет в Беркли¹

Книга дает свежий взгляд на старую дисциплину. Многие учебники напоминают неухоженные заросли кустарника, но авторы данного учебника сумели отстричь засохшие ветви, сохранив основы и представив их в современном контексте. Эта книга поможет студентам справиться с техническими испытаниями завтрашнего дня.

Джим Френзел, Университет Айдахо

Книга написана в информативном приятном для чтения стиле. Материал представлен на хорошем уровне для введения в проектирование компьютеров и содержит множество полезных диаграмм. Комбинационные схемы, микроархитектура и системы памяти изложены особенно хорошо.

Джеймс Пинтер-Люк, Колледж им. Дональда Маккенны, Клермонт

Харрис и Харрис написали очень ясную и легкую для понимания книгу. Упражнения хорошо разработаны, а примеры из реальной практики являются замечательным дополнением. Длинные и вводящие в заблуждение объяснения, часто встречающиеся в подобных книгах, здесь отсутствуют. Очевидно, что авторы посвятили много времени и усилий созданию доступного текста. Я настоятельно рекомендую книгу.

Пейи Чжао, Университет Чепмена

Харрис и Харрис написали первую книгу, которая успешно совмещает проектирование цифровых систем и архитектуру компьютеров. Книга – долгожданное учебное пособие, в котором подробно рассматривается проектирова-

¹ Дэвид Паттерсон – соавтор вышеупомянутого учебника «Устройство и проектирование компьютеров». – Прим. перевод

ние цифровых систем и в фантастических деталях объясняется архитектура MIPS. Я настоятельно рекомендую эту книгу.

Джеймс Э. Стайн, Мл., Университет Оклахомы

Это великолепная книга. Авторы органично связывают все важные в проектировании микропроцессоров элементы – транзисторы, схемы, логические элементы, конечные автоматы, память, арифметические блоки – и получают компьютерную архитектуру. Этот текст является незаменимым руководством для понимания, как последовательно разрабатывать сложные системы.

Джеха Ким, Рамбус Инк

Это очень хорошо написанная книга, которая будет полезна как молодым инженерам, изучающим предмет впервые, так и опытным инженерам, которые смогут использовать ее в качестве справочника. Я настоятельно рекомендую ее.

А. Утку Дирил, Корпорация Энвидиа

Об авторах

Дэвид Мани Харрис (David Money Harris) – доцент в колледже им. Харви Мадда (Harvey Mudd College). Он получил ученую степень кандидата наук по электронике в Стэнфордском университете и степень магистра по электронике и информатике в Массачусетском технологическом институте (MIT). Перед Стэнфордом он работал в компании Интел (Intel) в качестве схемотехника и разработчика логики для процессоров Итаниум и Пентиум 2 (Itanium and Pentium II). Впоследствии он работал консультантом в Сан Майкросистемз (Sun Microsystems), Хьюлетт-Паккард (Hewlett-Packard), Эванс энд Сазерленд (Evans & Sutherland) и других компаниях.

Увлечения Дэвида включают в себя преподавание, разработку чипов и активный отдых на природе. В свободное от работы время он занимается пешим туризмом, скалолазанием и альпинизмом. Особенно он любит длинные прогулки с сыном Абрахамом, который родился, когда Дэвид начал работать над этой книгой. Дэвид имеет более десяти патентов и является автором трех других учебников по проектированию чипов, а также двух путеводителей по горам Южной Калифорнии.

Сара Л. Харрис (Sarah L. Harris) – доцент в колледже им. Харви Мадда (Harvey Mudd College). Она получила степени магистра и кандидата наук по электронике в Стэнфордском университете и степень бакалавра по электронике и вычислительной технике в университете Брайама Янга (Brigham Young University). Сара также работала в компаниях Хьюлетт-Паккард, Суперкомпьютерном Центре Сан-Диего (San Diego Supercomputer Center), Энвидиа (Nvidia) и исследовательском отделе компании Майкрософт (Microsoft Research) в Пекине.

Интересы Сары не ограничиваются преподаванием, изучением и разработкой новых технологий, она также любит путешествовать, увлекается виндсерфингом, скалолазанием и игрой на гитаре. Среди ее недавних начинаний можно отметить исследования в области интерфейсов, позволяющих проектировать цифровые электрические схемы простыми рисунками от руки, работу в качестве научного корреспондента для филиала Национального Общественного Радио (National Public Radio) и обучение кайтсерфингу. Сара говорит на четырех языках и собирается изучить еще несколько в ближайшем будущем.

Предисловие к изданию на русском языке

История развития вычислительной техники в СССР насчитывает практически столько же лет, как и в США, так как разработка быстродействующих компьютеров являлась неотъемлемой частью технологического соперничества двух сверхдержав. Вскоре после разработки первого американского компьютера общего назначения ENIAC (1943–1947), в СССР была разработана МЭСМ (Малая электронная счетная машина, 1947–1950), самый быстрый компьютер в континентальной Европе того времени.

С развалом СССР для вычислительной техники наступили трудные времена, когда всем новым государствам она оказалась практически не нужна. Рыночные реформаторы считали, что все проблемы можно решить закупками на мировом рынке и современная электронная промышленность является излишней обузой для страны в условиях перестройки экономики.

Компьютерная и электронная инженерия оказались невостребованными в отечественной промышленности и устойчиво деградировали с 1990-х и до середины 2000-х годов, когда руководителям страны стала очевидной невозможность решения проблем информатизации страны за счет импорта без угрозы полной потери технологического суверенитета, совмещенной с возможным подрывом национальной безопасности.

Разработка собственных архитектур электронно-вычислительных машин (ЭВМ) и микропроцессоров были практически остановлены, и немногочисленные выжившие конструкторско-технологические структуры занимались, в основном, клонированием микропроцессоров ведущих мировых производителей в пределах выделенных весьма ограниченных бюджетов. Чудесным исключением можно назвать микропроцессоры с отечественной архитектурой «Эльбрус», которые разрабатывают и развивают ОАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука» и фирма «МЦСТ».

Разумеется, это привело к сужению сферы применения современной компьютерной инженерии в рамках этого круга предприятий, которым были доступны лицензии на производство и соответствующие инструментальные средства. Кроме того, такое состояние сказалось на вкладе отечественной электроники в мировую индустрию. Стал актуальным вопрос: есть ли в России электроника?

Если сравнивать с Россией 1913 года, то электроника в стране, безусловно, была. Но если сравнивать с мировой индустрией – то ее практически не было. Общий объем производства электроники в России в 2008 году составлял восемь миллиардов долларов (данные ассоциации производителей электронной продукции РФ), то есть всего 0.4% от мирового рынка, объем которого составлял более двух триллионов долларов. Население России (142 млн.) составляло тогда 2.14% населения планеты, то есть уровень развития электроники был в пять раз ниже «порога самоуваже-

ния нации» ($2.14/0.4 = 5.35$). И это происходило при наличии кадрового корпуса инженеров и работающей высшей инженерной школе.

Начиная с середины 2000-х годов начали издаваться большие учебники по компьютерной архитектуре (архитектуре микропроцессоров), которые являлись переводами популярных американских или европейских университетских учебников. Например, издательство «Питер» уже издало, по крайней мере, два таких учебника:

- ▶ Паттерсон Д., Хеннеси Дж. Архитектура компьютера и проектирование компьютерных систем. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2012. – ISBN 978-5-459-00291-1;
- ▶ Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. – СПб.: Питер, 2014. – ISBN 978-5-496-00337-7 (а также предыдущие издания).

К общим недостаткам этих популярных книг относится их описательный характер по отношению к архитектуре микропроцессоров, также как и невозможность спроектировать и построить собственный микропроцессор, базируясь на изучении материала, представленного в этих учебниках. К недостаткам русскоязычных изданий относятся ошибки в переводе специальной терминологии и частая потеря технического смысла в предложениях, также как и относительно небольшой тираж в 2000 экземпляров, обусловленный ограничениями приобретенной издательством лицензии.

Издательство «Техносфера» при поддержке ОАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука» готовит перевод еще одного учебника:

- ▶ Хеннеси Д. Л., Паттерсон Д. Компьютерная архитектура. Количественный подход / перевод с англ. под ред. к.т.н. А. К. Кима.

Это хорошо известный и популярный учебник для старших курсов и магистерских программ, но он начинается именно там, где заканчивается «Архитектура компьютера и проектирование компьютерных систем» Паттерсона и Хеннеси. Понимание и освоение материала из этого учебника практически невозможно без освоения материала из предшествующих книг.

Отечественная учебная литература по архитектурам ЭВМ и микропроцессоров представлена книгами:

- ▶ Жмакин А. П. Архитектура ЭВМ. 2-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – ISBN 978-5-9775-0550-5;
- ▶ Орлов С. А., Цилькер Б. Я. Организация ЭВМ и систем. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2011. – ISBN: 978-5-49807-862-5.

Эти учебники в еще большей степени носят описательный характер способов построения различных микропроцессоров на основе зарубежных публикаций и могут рассматриваться как справочники по данному предмету, хотя содержат далеко не всю информацию об архитектурах. Они также непригодны для практической разработки и построения собственного микропроцессора и нуждаются в специальном лабораторном практикуме. Кроме этих книг, имеются многочисленные методические пособия, изданные в разных университетах, курсы и конспекты лекций по предмету, доступные через Интернет. К сожалению, ни один из них не может использоваться в качестве массового учебника для студентов, как младших, так и старших курсов.

Прогресс полупроводниковых технологий и инструментальных средств проектирования цифровых систем в 1990–2000-е годы вывел на первый план языки описания аппаратуры System Verilog и VHDL, которые практически вытеснили традиционное схемотехническое проектирование электронных устройств, включая блоки микропроцессоров. Создание сложных систем на кристалле, объединяющих несколько различных типов микропроцессоров, стало возможным только при использовании средств проектирования, моделирования и верификации ультра-больших интегральных схем, поставляемых фирмами Cadence, Synopsys и Mentor Graphics.

Кроме того, появились доступные по цене средства моделирования и макетирования в виде конструкторских плат, использующих FPGA (Field Programmable Gate Array), называемых в России ПЛИС (Программируемая логическая интегральная схема). Такие платы могут быть приобретены любым учебным центром или даже частным лицом. Используя языки описания аппаратуры и предоставленные производителем FPGA инструментальные средства от вышеупомянутых фирм, любой грамотный студент в состоянии самостоятельно спроектировать и построить сложную цифровую систему, включая микропроцессор.

К сожалению, массовых учебных пособий, позволяющих изучать архитектуру микропроцессоров с практическим уклоном, в том числе и студентам младших курсов, до последнего времени просто не было. В том числе и в США, где основным учебником оставался вышеупомянутый учебник Паттерсона и Хеннесси «Архитектура компьютера и проектирование компьютерных систем», который впервые был издан в начале 1990-х годов, когда современные инструментальные средства еще не были массово доступны.

Поэтому изданный в 2012 году во второй раз учебник Дэвида Харриса и Сары Харрис «Digital Design and Computer Architecture» стал крайне популярным в США, включая Калифорнийский университет в Беркли, в котором работает профессором Д. Паттерсон. С одной стороны, он базируется на классическом материале из учебника Паттерсона и Хеннесси, с другой стороны, добавляет все уровни проектирования цифровых блоков на языках описания аппаратуры System Verilog и VHDL, позволяющей практическую реализацию методов построения блоков микропроцессоров на платах FPGA. Кроме того, он содержит интенсивный практикум программирования на языке ассемблера популярного микропроцессора MIPS. Все детали подготовки этой книги и мотивацию вы можете прочитать в предисловии авторов к американскому изданию.

Традиционный подход к русскоязычному изданию такого учебника привел бы к аналогичным результатам, полученным издательством «Питер» – малому тиражу и ограниченной доступности для студентов младших курсов и техникумов, где эта книга могла бы принести наибольшую пользу. Поэтому, для того, чтобы сделать русскоязычное издание этого учебника массово доступным, его нужно было сделать в электронной версии, загружаемой через Интернет без оплаты или за минимальную плату. Кроме того, нужно было найти спонсора, который бы оплатил стоимость лицензии у издательства «Elsevier» и подготовку перевода этой книги наряду с необходимой версткой и подготовкой текста к электронному изданию. Решение всех этих вопросов выглядело крайне проблематичным.

Дальнейшие события, связанные с этим проектом, можно отнести к категории мистического совпадения многих случайностей, которые предопределили дальнейшую судьбу проекта. Первым и главным фактором стала личная инициатива Юрия Панчула, разработчика микропроцессоров MIPS, инициатора перевода на русский язык второго издания учебника «Digital Design and Computer Architecture», который он активно пропагандировал в университетах США, России и Украины.

До включения компании MIPS в структуру британской корпорации Imagination Technologies перспективы издания учебника на русском языке были достаточно прозрачны ввиду отсутствия значимых бизнес-проектов MIPS в России. Поэтому вторым фактором был приход британских управленцев в подразделение MIPS в составе Imagination Technologies, которые начали интенсивную экспансию на российский рынок при активной помощи Юрия Панчула и российской компании «Наутех». Сложилась ситуация, когда появилась реальная необходимость в массовом учебнике, в котором в деталях рассматривается архитектура микропроцессоров MIPS и его практическое применение для построения современных систем на кристалле для растущего российского рынка.

Третьим фактором стал приход в Imagination Technologies нового менеджера по мировым образовательным программам Роберта Оуэна (Robert Owen), который предложил спонсировать электронное издание русского перевода учебника и лицензировать право на перевод у издательства «Elsevier». Главным условием являлось бесплатное распространение русскоязычной версии учебника с образовательного портала Imagination Technologies.

Четвертым фактором, сделавшим возможным успех проекта, стал энтузиазм и пассионарность русскоязычных инженеров мировой электронной индустрии как в США, так и в России, взявшихся за перевод глав и разделов учебника методом краудсорсинга при активной координации Юрия Панчула. Перевод и редактирование многих глав и разделов, а также полная верификация перевода и синхронизация технических терминов были бы невозможны без активного участия профессоров, доцентов, стажеров и аспирантов из университетов России и Украины, также присоединившихся к проекту.

Пятым фактором можно назвать активную помощь издательских структур и сотрудников Imagination Technologies и корпорации Роснано, которая также активно включилась в проект по изданию учебника в рамках поддержки развития электронной инженерии и разработки наноэлектроники в России.

Шестым и последним фактором явилась заинтересованность издательства «ДМК Пресс» выпустить бумажную версию книги. При этом макет был полностью переверстан из планшетного (электронного) варианта в печатный по образцу оригинала, выпущенного издательством «Elsevier». Также для печатной версии книги были переведены на русский язык все рисунки и программные листинги.

Надеемся, что этот проект получит дальнейшее продолжение в виде создания портала поддержки развития электронной инженерии в странах русскоязычного мира. Такой портал необходим для консолидации учебных и научных ресурсов, которые помогут университетам и колледжам всегда «быть на острие прогресса» электронных технологий и инструментальных средств.

Благодарности участникам проекта

Перевод второго издания учебника Дэвида Харриса и Сары Харрис «Digital Design and Computer Architecture» на русский язык был осуществлен в рекордные сроки – всего за четыре месяца. Перевод и редактирование выполнила команда из полусотни энтузиастов, заинтересованных в том, чтобы в русскоязычных странах (России, Украине, Беларуси, Казахстане и других) возникла твердая основа преподавания современной цифровой электроники на основе системного подхода, с одновременным введением в разработку аппаратуры и низкоуровневого программного обеспечения.

В группу переводчиков вошли преподаватели российских и украинских университетов, сотрудники институтов Российской академии наук, инженеры ведущих российских, американских и западноевропейских компаний. Это позволило воспроизвести устойчивую терминологию, пригодную не только для этого проекта, но и для будущих книг по цифровой схемотехнике, языкам описания аппаратуры, компьютерной архитектуре и микроархитектуре, разработке систем на кристалле, использованию программируемых логических интегральных схем и микроконтроллеров.

Инициаторами проекта выступили:

- ▶ Юрий Панчул, старший инженер по разработке аппаратуры компании Imagination Technologies, группа разработки микропроцессора MIPS I6400;
- ▶ Тимур Палташев, старший менеджер группы компьютерной графики компании Advanced Micro Devices;
- ▶ Роберт Оуэн, консультант по образовательным программам, менеджер мировых образовательных программ Imagination Technologies.

Хотелось бы особо отметить следующих участников, которые отличились объемом, скоростью и качеством перевода:

- ▶ Валерий Казанцев, старший инженер по применению процессорных ядер ARC компании Synopsys, Санкт-Петербург, Россия;
- ▶ Александр Барабанов, доцент кафедры компьютерной инженерии факультета радиофизики, электроники и компьютерных систем Киевского национального университета имени Тараса Шевченко;
- ▶ Группа переводчиков в Самарском государственном аэрокосмическом университете имени академика С. П. Королёва (СГАУ), руководитель группы – декан радиотехнического факультета Илья Александрович Кудрявцев.

Также хотелось бы поблагодарить коллектив компании АНО «eNano», созданной фондом инфраструктурных образовательных программ ОАО «РОСНАНО», за высококачественную работу по форматированию и верстке книги. «eNano» организовали оперативный и слаженный процесс работы над изданием, который существенно облегчил выход книги в свет. Окончательную версию книги помог создать отдел Creative Services компании Imagination Technologies.

31 декабря 2014 года

Тимур Палташев, Advanced Micro Devices, Sunnyvale, California, USA

Юрий Панчул, Imagination Technologies, Santa Clara, California, USA

Роберт Оуэн, Imagination Technologies, Hertfordshire, United Kingdom

Переведено командой из компаний и университетов России, Украины, США и Великобритании

Александр Барабанов	доцент Киевского КНУ
Александр Биргер	на пенсии, ранее в Cadence Design Systems
Александр Леденев	Apple, OS X
Александр Телешов	Модуль
Александра Богданова	МИФИ
Алексей Евгеньевич Платунов	профессор ИТМО
Алексей Лавров	аспирант Принстона
Алексей Фрунзе	Imagination Technologies
Андрей Лихолит	eASIC
Андрей Терехов	директор НИИ информационных технологий СПбГУ
Анна Степашкина	Самарский СГАУ
Антон Моисеев	НГТУ им Р. Е. Алексеева, ФИВТ МФТИ
Валерий Казанцев	Synopsys, процессоры ARC
Виктория Ведица	Imagination Technologies
Владимир Рытиков	Apple
Владимир Серяпов	RusBITech
Владимир Хаханов	декан Харьковского НУ радиоэлектроники
Григорий Жихарев	МЦСТ
Денис Хартиков	NVidia
Дмитрий Миронов	Runtime Design Automation
Екатерина Степанова	Самарский СГАУ
Иван Графский	выпускник МИФИ
Илья Александрович Кудрявцев	декан Самарского СГАУ
Константин Евтушенко	Модуль
Константин Петров	НИИСИ РАН
Константин Пылаев	Компания БиДжи
Леонид Брухис	Synopsys, группа по эмуляторам
Леонид Егошин	Imagination Technologies
Линк Джепсон	Imagination Technologies
Максим Горбунов	НИИСИ РАН
Максим Матуско	МИФИ
Максим Парфенов	Marvell Semiconductor, документация
Михаил Барских	НИИСИ РАН
Нина Захарчук	корректор
Павел Валерьевич Кустарев	доцент ИТМО
Петр Чибисов	НИИСИ РАН
Роберт Оуэн	Imagination Technologies
Руслан Тихонов	amperka.ru
Сергей Аряшев	заведующий отделом НИИСИ РАН
Сергей Чураев	AMD, ИТМО
Симон Атанасян	Imagination Technologies
Тимур Палташев	старший менеджер AMD, ИТМО
Эдуард Стародубцев	доцент ИТМО
Юрий Панчул	Imagination Technologies, MIPS processors
Юрий Холопов	кафедра МФТИ в ИТМиВТ
Юрий Шейнин	СПб ГУА

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru