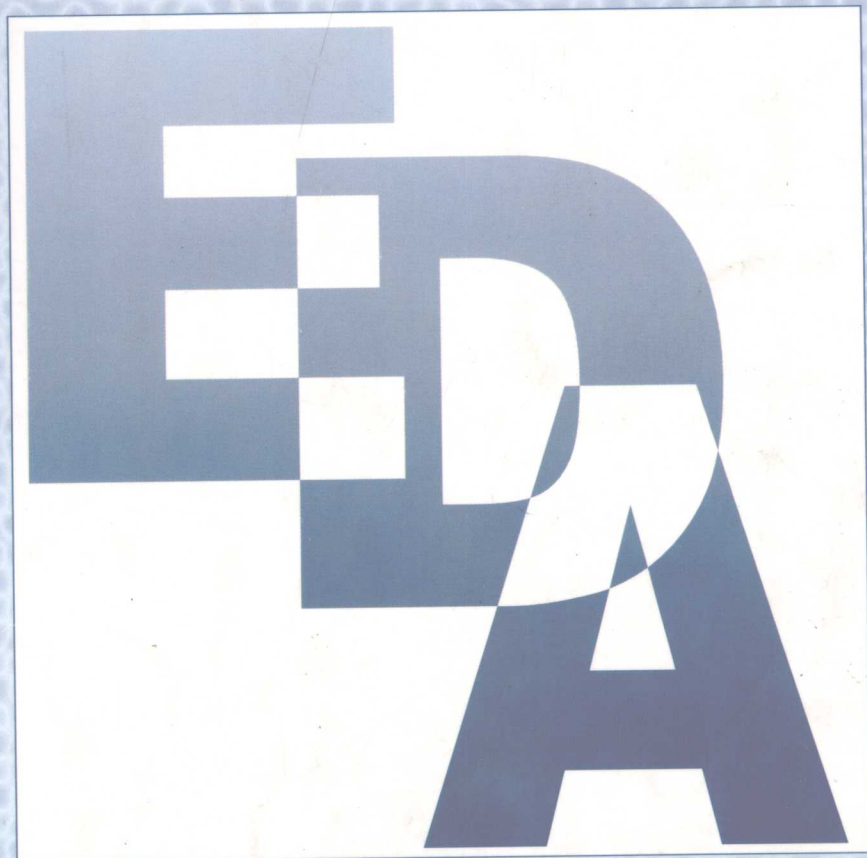


21世纪高等院校教材

EDA技术 实用教程

(第二版)

潘松 黄继业 编著



科学出版社

www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材

EDA 技术实用教程

(第二版)

潘 松 黄继业 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书根据课堂教学和实验操作的要求,以提高实际工程设计能力为目的,深入浅出地对 EDA 技术及相关知识作了系统和完整的介绍,使读者通过本书的学习并完成推荐的实验,能初步了解和掌握 EDA 的基本内容及实用技术。

全书共 12 章,包括四部分内容。第一部分对 EDA 的基本知识、常用的 EDA 工具使用方法和目标器件的结构原理做了介绍;第二部分以向导的形式和实例为主的方法介绍了三种不同的设计输入方法;第三部分对 VHDL 的设计优化做了介绍;第四部分详述了基于 EDA 技术的典型设计项目。各章都安排了习题和针对性较强的实验与设计。书中列举的 VHDL 设计实例和实验示例,都经由 EDA 工具编译通过,并在 EDA 实验系统上通过了硬件测试,可直接使用。

本书可作为高等院校电子工程、通信、工业自动化、计算机应用技术、电子对抗、仪器仪表、数字信号或图像处理等学科的本科生或研究生的电子设计或 EDA 课程的教材及实验指导书,也可作为相关专业技术人员的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

EDA 技术实用教程/潘松,黄继业编著. —2 版. —北京:科学出版社, 2005

(21 世纪高等院校教材)

ISBN 7-03-014790-1

I. E… II. ①潘… ②黄… III. 电子电路-电路设计:计算机辅助设计-教材 IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 136592 号

责任编辑:赵卫江/责任校对:耿耘

责任印制:吕春珉/封面设计:王浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002 年 10 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2005 年 2 月第 二 版 印张: 26 1/4

2005 年 4 月第 14 次印刷 字数: 606 000

印数: 49 001—54 000

定价: 33.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈双青〉)

前 言

随着基于 PLD 的 EDA 技术的发展和应用领域的扩大与深入,EDA 技术在电子信息、通信、自动控制及计算机应用等领域的重要性日益突出。随着技术市场与人才市场对 EDA 的需求不断提高,产品的市场需求和技术市场的要求也必然会反映到教学和科研领域中来。

以全国大学生电子设计竞赛为例,早在 1997 年第二届竞赛中的个别赛题就已包括了需要用 EDA 技术才能圆满完成的赛题。此后这方面的内容逐届增加,直到上届赛事中,需要使用 EDA 技术的赛题超过全部赛题的三分之一,其中有的赛题达到了如果没有 EDA 技术,将无从下手的程度。事实上,电子设计竞赛赛题的内容既是市场产品要求和技术进步的一种反映,也是对高校相关教学实验内容改革的要求和促进。对美国一些著名大学本科电子与计算机实验室建设情况的调研结果表明,许多著名院校基于 PLD 的 EDA 技术在本科教学中有两个明显的特点:一是各专业中 EDA 教学实验课程的普及性,即在电子通信、工控乃至生物医学工程、计算机等非电类专业都包含了 EDA 技术的教学试验内容;二是在实验中 EDA 试验成为主流,大部分传统的实验如数字电路、计算机组成、接口、通信、处理器等实验内容,都融入了 EDA 实验,并更多地注重创新性实验。这显然是科技发展和市场需求的结果。

为了适应 EDA 技术的发展和 EDA 技术教学实验的要求,更加突出实验中 EDA 技术的实用性,以及面向工程实际的特性和电子设计的创新性,本书第二版在实验类型和内容上都有所增加,每一实验的层次性更加清楚,并注重学生设计能力和创新能力的培养,以及与工程实际相结合的动手能力的培养。另一方面,在实验内容的选择上,更突出 EDA 技术的特点和优势,所以将原来的“实验”改为“实验与设计”。在章节的安排上也作了调整,为了突出硬件描述语言的重要性及其在教学上的重要地位,第二版在输入方法和设计技术章节中,将原来首先出现的原理图输入设计移到第六章,而将 VHDL 设计章节提到了第四章、第五章。另外,在原来的第七章中加入了详细的 LPM 宏模块应用的说明,从而使许多相关的实验可以提前。

在实验项目上也增加和扩充了不少与全国大学生电子设计竞赛典型赛题相关的内容,如电机控制、存储示波器、相位测量仪、移相信号发生器、多功能测试仪、VGA 显示控制等。对于比较典型的等精度频率计的设计原理给出了更为详尽的说明。

在本书的编写过程中,我们力求解决教学中的几个关键问题。

首先是教学实践的内容,对此如果要分层次的话,从实现的方法和内容上去分比从

实现的工具和工艺上去分更为合理。例如可以将逻辑行为的实现作为最低层次,即用 EDA 工具完成数字电路实验中的部分内容,如红绿灯控制、数码译码显示、逻辑表决、数字钟表、普通频率计等纯逻辑行为实现方面的电路设计,其特点是工作频率低,非 EDA 技术及相关器件也能实现,无法体现 EDA 技术的优势,只能作为初学者的过渡;将控制与信号传输功能的实现作为第二层次,如 A/D 高速采样、自动化控制、逻辑分析仪、存储示波器、虚拟仪表、接口与通信模块的设计等,其特点是必须使用 EDA 技术才能实现,能体现 EDA 技术的优势,是电子设计竞赛赛题最有可能出题的范围;而将算法的实现作为最高层次,如 FIR、FFT、CPU、软核嵌入式系统乃至 SOPC 的设计开发等,这个层次的最大特点是设计对象上升到系统级,设计技术突破了一般的 EDA 技术而涵盖更广更多的其他学科分支的理论和技術。这种分类方法将使教学更好地反映 EDA 技术最本质的内容。

其次是改善教学方法。考虑到目前的本科课程门类已大为增加,任何一门非公共课的学时都不会很多。显然,突出要点才能有效控制学时。建议本门课可安排 50 学时左右,并以实验实践课为主,这就要求以引导性教学为主。例如对 VHDL 的教学就不能像 C 或汇编语言那样逐条语句讲授,而是应结合具体实例讲解最基本的语句现象及其使用方法。

第三就是注重教学实效。数字电路与 EDA 技术课程的侧重点不同,前者侧重于逻辑行为的认知和验证;后者则侧重于实用电子系统的设计,因为 EDA 课程具有很强的实践性。针对性强的实验应该是教学的重要环节,EDA 实验更应注重实验的质量,而绝非仅仅使用了什么 EDA 软件。在初级阶段,用 EDA 工具重复一些数字电路课中的实验是必需的,但这远非 EDA 实验的全部。因为数字电路实验的重点是逻辑行为和功能的验证,因而可用手工插线方式来完成“设计”,而不涉及任何技术指标和规模。众所周知,电子系统技术指标是十分重要的,这包括速度、面积(芯片资源)、可靠性、容错性、电磁兼容性等。有时指标要求往往决定了所使用的技术,指标要求推动技术的发展。全国大学生电子设计竞赛题中从来不提使用何种工具或技术来完成赛题,但参赛者不得不根据给出的技术指标做出选择。因此,EDA 课程的实验,除了必须完成的基础性项目外,还引导学生完成一些传统电子设计技术(包括单片机)不能实现的内容,从而突出这一现代电子设计技术的优势。例如 UART、PS/2 接口的设计突出了自主知识产权的概念;VGA 显示器的控制或状态机控制 A/D 采样突出了高速性能指标的实现;FIR 设计表现了基于 EDA 技术特有的 IP 应用技术;纯硬件奏乐电路的设计体现了 EDA 工具面对复杂逻辑电路设计的突出优势等。这些实践过程会使学生发现,诸如 ISP 下载方式、FPGA、ASIC 乃至 EDA 软件等设计手段本身都成了配角,而唯有为更高质量地完成实验项目而不懈追求的设计能动性和创造性成了主角,从而有效地提高这门以培养学生工程实践能力为主的课程的教学效果。

基于以上的认识，我们对本书各章节做了相应的安排。本书具有如下三个特点。

1. 注重实践与实用

在各章中都安排了许多习题。除第1章、第2章外，其他各章都安排了针对性较强的实验与设计，使学生对每一章的课堂教学效果能及时通过实验得到强化。第3章除对FPGA、CPLD器件结构原理做了一般性介绍外，还介绍了与开发相关的内容；第10章介绍了EDA工具的优化技术；第11章以EDA工具间的接口方法为读者展示了典型的EDA设计流程中十分重要和实用的环节；第12章更具体地介绍了一个典型电子设计竞赛的课题。

各章设置的大部分实验除给出详细的实验目的、实验原理、实验思考题和实验报告要求外，还包含2~4个实验项目（层次），即：第一实验项目（层次）是与该章内容相关的验证性实验，课本提供了详细的并被验证的设计程序和实验方法，学生只需将提供的设计程序输入计算机，并按要求进行编译仿真，在实验系统上实现即可；第二实验项目（层次）是在第一实验项目基础上作进一步的发挥；第三、四实验项目（层次）属于自主设计或创新性质的实验。教师可以根据实验学时数和教学实验的要求布置不同层次的实验项目。

2. 注重速成

一般认为EDA技术的难点和学习费时的根源在于VHDL语言。对此，全书做了有针对性的安排：根据电子类专业的特点，放弃流行的计算机语言的教学模式，打破目前VHDL教材通用的编排形式，以电子线路设计为基点，从实例的介绍中引出VHDL语句语法内容。在典型示例的说明方面，本书也颇具独到之处：示例说明中，除给出完整并被验证过的VHDL描述外，还给出其综合后的RTL电路图，以及表现该电路系统功能的时序波形图；对于容易出现的设计错误或理解歧义的示例，将给出正误示例的比较和详细说明。通过一些简单、直观、典型的实例，将VHDL中最核心、最基本的内容解释清楚，使读者在很短的时间内就能有效地把握VHDL的主干内容，而不必花费大量的时间去“系统地”学习语法。书中以第4章为基点，包括第5章和第7章中的主要内容，集中体现了这一教学思想和教学方法，一般读者可直接进入这些章节的学习，迅速掌握要点，并能顺利地进行相关习题的解答和实验，为进一步的学习与实践奠定一个良好的基础。

通常，这些内容可分别在约8个授课学时加8个实验学时，即约三个整天的时间内完成。其显著的教学效果在过去与许多高校联合举办的EDA研习班上已得到了充分的证明。

3. 注重系统性、完整性与独立性相结合

全书力争在不增加课时的情况下保持内容的系统性和完整性,使读者通过本书的学习和推荐的实验,初步掌握 EDA 技术最基本的内容。另一方面,书中大部分章节具有相对独立性,读者可根据自己的情况有针对性地选读某一章或几章,这有利于学时的安排和不同专业或学制的选用。如第 6 章以向导性方式,通过介绍几个典型实用示例的设计,使读者在只有数字电路基础知识的条件下即能迅速学会使用原理图或波形输入设计方法和学会利用大规模可编程逻辑器件完成较复杂的数字系统的设计实验,该章内容也适合于普通数字电路课程中关于可编程逻辑器件章节的实验指导。第 8 章、第 9 章对实用 VHDL 的语句与语法规则做了概括。

为了方便本课程的授课和实验指导,同时将推出与本书各章节内容完全对应的 CAI 教学软件。

现代电子设计技术是发展的,相应的教学内容和教学方法也应不断改进,其中一定有许多问题值得深入探讨,也包括以上提出的有关 EDA 教学的一家之言。我们真诚地欢迎读者对书中的错误与偏颇之处给予批评指正 (E-mail: span88@mail.hz.zj.cn, 网址: www.kx-soc.com)。

作者

2004 年 11 月于杭州电子科技大学

目 录

32	3.2.1 可编程逻辑器件	32
33	3.2.2 PLD	33
33	3.2.3 PAL	33
36	3.2.4 CPLD	36
37	3.2.5 FPGA	37
	第 1 章 概述	1
44	1.1 EDA 技术及其发展	1
44	1.2 EDA 技术实现目标	3
44	1.3 硬件描述语言 VHDL	4
49	1.4 VHDL 综合	5
49	1.5 基于 VHDL 的自顶向下设计方法	7
50	1.6 EDA 与传统电子设计方法的比较	10
52	1.7 EDA 的发展趋势	12
54	习题	14
	第 2 章 EDA 设计流程及其工具	15
55	2.1 FPGA / CPLD 设计流程	15
57	2.1.1 设计输入 (原理图 / HDL 文本编辑)	15
60	2.1.2 综合	17
60	2.1.3 适配	17
60	2.1.4 时序仿真与功能仿真	17
59	2.1.5 编程下载	18
60	2.1.6 硬件测试	18
60	2.2 ASIC 及其设计流程	18
60	2.2.1 ASIC 设计方法	19
60	2.2.2 一般 ASIC 设计的流程	20
60	2.3 常用 EDA 工具	22
60	2.3.1 设计输入编辑器	22
60	2.3.2 HDL 综合器	23
60	2.3.3 仿真器	24
60	2.3.4 适配器 (布局布线器)	25
60	2.3.5 下载器 (编程器)	25
60	2.4 MAX+plus II 概述	25
60	2.5 IP 核	27
60	习题	29
	第 3 章 FPGA / CPLD 结构与应用	30
60	3.1 概述	30
68	3.1.1 可编程逻辑器件的发展历程	30
68	3.1.2 可编程逻辑器件的分类	31
68	3.2 简单 PLD 原理	32

3.2.1	电路符号表示	32
3.2.2	PROM	33
3.2.3	PLA	35
3.2.4	PAL	36
3.2.5	GAL	37
3.3	CPLD 结构与工作原理	40
3.4	FPGA 结构与工作原理	44
3.4.1	查找表	44
3.4.2	FLEX10K 系列器件	44
3.5	FPGA/CPLD 测试技术	49
3.5.1	内部逻辑测试	49
3.5.2	JTAG 边界扫描测试	50
3.5.3	嵌入式逻辑分析仪	53
3.6	FPGA/CPLD 产品概述	54
3.6.1	Lattice 公司 CPLD 器件系列	54
3.6.2	Xilinx 公司的 FPGA 和 CPLD 器件系列	55
3.6.3	Altera 公司 FPGA 和 CPLD 器件系列	57
3.6.4	Actel 公司的 FPGA 器件系列	60
3.6.5	Altera 公司的 FPGA 配置方式与器件系列	60
3.7	CPLD 和 FPGA 的编程与配置	61
3.7.1	CPLD 的 ISP 方式编程	62
3.7.2	使用 PC 并行口配置 FPGA	63
3.7.3	使用专用配置器件配置 FPGA	65
3.7.4	使用单片机配置 FPGA	67
3.7.5	使用 CPLD 配置 FPGA	68
	习题	68
	实验与设计	69
3-1	单片机或 CPLD 及 EPROM 配置 FPGA 电路设	69
第 4 章	VHDL 设计初步	70
4.1	多路选择器 VHDL 描述	70
4.1.1	2 选 1 多路选择器的 VHDL 描述	70
4.1.2	VHDL 相关语法说明	72
4.1.3	VHDL 设计的基本概念和语句小节	76
4.2	寄存器描述及其 VHDL 语言现象	77
4.2.1	D 触发器的 VHDL 描述	77
4.2.2	D 触发器 VHDL 描述的语言现象说明	78
4.2.3	实现时序电路的 VHDL 不同表达方式	82
4.2.4	异步时序电路设计	85
4.3	1 位二进制全加器的 VHDL 设计	86

4.3.1	半加器描述和 CASE 语句	88
4.3.2	全加器描述和例化语句	90
4.3.3	VHDL 设计基本概念和语言现象小节	92
4.4	VHDL 文本输入设计方法初步	92
4.4.1	编辑输入并保存 VHDL 源文件	92
4.4.2	将当前设计设定为工程和选定目标器件	94
4.4.3	选择 VHDL 文本编译版本号和排错	95
4.4.4	时序仿真	96
4.4.5	设计项目的其他信息和资源配置	100
4.4.6	引脚锁定	101
4.4.7	编程下载和测试	102
4.4.8	设计流程归纳	103
4.4.9	MAX+plus II 在 Windows 2000/XP 上的安装设置	104
	习题	105
	实验与设计	106
4-1	简单组合电路的设计	106
4-2	简单时序电路的设计	107
第 5 章	VHDL 设计进阶	108
5.1	4 位加法计数器的 VHDL 描述	108
5.1.1	4 位加法计数器	108
5.1.2	整数、自然数和正整数数据类型	109
5.1.3	4 位加法计数器的另一种表达方式	110
5.2	不同工作方式的时序电路设计	112
5.2.1	相关语法	112
5.2.2	带有复位和时钟使能的十进制计数器	113
5.2.3	带有并行置位的移位寄存器	115
5.3	数据对象 DATA OBJECTS	116
5.3.1	常数 (CONSTANT)	117
5.3.2	变量 (VARIABLE)	117
5.3.3	信号 (SIGNAL)	118
5.3.4	进程中的信号与变量赋值语句	119
5.4	双向电路和三态控制电路设计	127
5.4.1	三态门设计	127
5.4.2	双向端口设计	128
5.4.3	三态总线电路设计	130
5.4.4	顺序条件语句 IF 语句	132
5.5	进程语句结构	135
5.5.1	进程语句格式	135
5.5.2	PROCESS 组成	136

88	5.5.3 进程要点	136
90	5.6 仿真延时	139
99	5.6.1 固有延时	139
99	5.6.2 传输延时	140
99	5.6.3 仿真 δ	140
100	习题	141
20	实验与设计	142
30	5-1 设计含异步清零和同步时钟使能的加法计数器	142
99	5-2 7 段数码显示译码器设计	142
101	5-3 8 位数码扫描显示电路设计	144
99	5-4 数控分频器的设计	146
101	5-5 8 位十六进制频率计设计	147
101	5-6 32 位并进/并出移位寄存器设计	151
	第 6 章 原理图输入设计方法	152
99	6.1 原理图方式设计初步	152
99	6.2 较复杂电路的原理图设计	156
99	6.2.1 设计有时钟使能的 2 位十进制计数器	156
80	6.2.2 频率计主结构电路设计	158
80	6.2.3 测频时序控制电路设计	159
80	6.2.4 频率计顶层电路设计	160
99	6.3 参数可设置 LPM 宏功能块应用	161
99	6.3.1 基于 LPM_COUNTER 的数控分频器设计	161
99	6.3.2 基于 LPM_ROM 的 4 位乘法器设计	162
99	6.4 波形输入设计方法	165
99	习题	166
99	实验与设计	167
99	6-1 用原理图输入法设计 8 位全加器	167
99	6-2 用原理图输入法设计较复杂数字系统	167
99	6-3 LPM 模块使用	168
	第 7 章 有限状态机设计与 LPM 应用	169
99	7.1 一般有限状态机的设计	169
99	7.1.1 用户自定义数据类型定义语句	169
99	7.1.2 为什么要使用状态机	171
99	7.1.3 一般有限状态机的设计	172
99	7.2 Moore 型有限状态机的设计	175
99	7.2.1 多进程有限状态机	176
99	7.2.2 单进程 Moore 型有限状态机	180
99	7.3 Mealy 型有限状态机的设计	182
99	7.4 状态编码	185

7.4.1	状态位直接输出型编码	185
7.4.2	顺序编码	187
7.4.3	一位热码编码 (One-Hot Encoding)	188
7.5	状态机剩余状态处理	189
7.6	LPM 模块的 VHDL 文本方式调用	191
7.6.1	A/D 采样系统顶层电路设计	191
7.6.2	编辑定制 LPM_RAM 模块	192
7.6.3	双口 RAM 定制	194
7.6.4	正弦信号发生器设计与 LPM ROM 定制	195
7.6.5	编辑定制 LPM_FIFO 模块	199
7.6.6	LPM_FIFO 定制文件的仿真测试	201
	习题	202
	实验与设计	204
7-1	用状态机实现序列检测器的电路设计	204
7-2	用状态机实现对 ADC0809 的采样控制电路	204
7-3	波形发生与扫频信号发生器电路设计	205
7-4	简易存储示波器设计	206
7-5	用比较器和 D/A 器件实现 A/D 转换功能的电路设计	209
第 8 章	VHDL 结构与要素	211
8.1	实体	211
8.1.1	实体语句结构	211
8.1.2	GENERIC 类属说明语句	211
8.1.3	类属映射语句	213
8.1.4	PORT (端口) 说明	214
8.2	结构体	214
8.3	子程序	215
8.3.1	函数 (FUNCTION)	216
8.3.2	重载函数 (OVERLOADED FUNCTION)	218
8.3.3	过程 (PROCEDURE)	221
8.3.4	重载过程 (OVERLOADED PROCEDURE)	222
8.4	VHDL 库	223
8.4.1	库的种类	224
8.4.2	库的用法	225
8.5	VHDL 程序包	225
8.6	配置	228
8.7	VHDL 文字规则	229
8.7.1	数字	229
8.7.2	字符串	229
8.7.3	标识符	230

281	8.7.4 下标名	230
281	8.8 数据类型	231
881	8.8.1 VHDL 的预定义数据类型	231
081	8.8.2 IEEE 预定义标准逻辑位与矢量	233
101	8.8.3 其他预定义标准数据类型	234
101	8.8.4 数组类型	235
001	8.9 VHDL 操作符	237
801	8.9.1 逻辑操作符	237
201	8.9.2 关系操作符	239
001	8.9.3 算术操作符	241
100	习题	244
200	实验与设计	245
400	8-1 移位相加 8 位硬件乘法器电路设计	245
400	8-2 乐曲硬件演奏电路设计	250
400	8-3 乒乓球游戏电路设计	255
	第 9 章 VHDL 基本语句	262
800	9.1 顺序语句	262
000	9.1.1 赋值语句	262
110	9.1.2 IF 语句	262
110	9.1.3 CASE 语句	263
110	9.1.4 LOOP 语句	266
110	9.1.5 NEXT 语句	267
010	9.1.6 EXIT 语句	268
010	9.1.7 WAIT 语句	269
010	9.1.8 子程序调用语句	272
010	9.1.9 返回语句 (RETURN)	274
010	9.1.10 空操作语句 (NULL)	275
810	9.2 VHDL 并行语句	275
100	9.2.1 并行信号赋值语句	276
000	9.2.2 块语句	279
000	9.2.3 并行过程调用语句	281
000	9.2.4 元件例化语句	282
000	9.2.5 生成语句	283
000	9.3 属性描述与定义语句	288
000	习题	291
000	实验与设计	293
000	9-1 VGA 彩条信号显示控制器设计	293
000	9-2 VGA 图像显示控制器设计	298
000	9-3 循环冗余校验 (CRC) 模块设计	300

9-4	EDA 技术在步进电机细分驱动控制中的应用	302
9-5	直流电机 PWM 控制的 FPGA 实现	308
第 10 章	设计优化和设计方法	311
10.1	面积优化	311
10.1.1	资源共享	311
10.1.2	逻辑优化	313
10.1.3	串行化	314
10.2	速度优化	317
10.2.1	流水线设计	317
10.2.2	寄存器配平	320
10.2.3	关键路径法	320
10.3	使用 MAX+plus II 优化设计	321
10.3.1	全局逻辑综合选项	321
10.3.2	时间需求选项	323
10.3.3	打包	325
10.3.4	局部逻辑综合选项	327
10.3.5	探针的使用	329
10.4	其他设置	330
10.4.1	Slow Slew Rate 设置	331
10.4.2	FPGA 配置器件设置与编程	331
10.4.3	编程文件转换	333
10.4.4	手工分配逻辑宏单元 LC	333
	习题	334
	实验与设计	336
10-1	采用流水线技术设计高速数字相关器	336
10-2	线性反馈移位寄存器 (LFSR) 设计	337
10-3	直接数字式频率合成器 (DDS) 设计	338
10-4	数控移相正弦信号发生器设计	344
第 11 章	EDA 工具软件接口	346
11.1	EDA 软件接口流程	346
11.2	Synplify 与 MAX+plus II 的接口	347
11.3	ModelSim 与 MAX+plus II 的接口	352
	习题	360
	实验与设计	360
11-1	EDA 工具接口实验	360
11-2	采用高速 ADC TLC5510 的简易存储示波器设计	360
第 12 章	电子系统设计实践	368
12.1	等精度频率计设计	368
12.1.1	主系统组成	368

306	12.1.2 测频原理	369
308	12.1.3 FPGA/CPLD 开发的 VHDL 设计	370
312	12.1.4 测试与设计步骤	374
316	12.1.5 相位测试	375
318	12.2 使用 IP Core 设计 FIR 滤波器	376
319	习题	380
319	实验与设计	381
319	12-1 多功能测试仪设计	381
319	12-2 FIR 滤波器设计	381
320	附录	382
320	附录 1 部分习题参考答案	382
321	附录 2 EDA 实验开发系统使用介绍	398
321	主要参考文献	406
322	10.3.2 时间常数	
322	10.3.3 抖动	
322	10.3.4 抖动容限	
329	10.3.5 抖动容限的使用	
330	10.4 其他设置	
331	10.4.1 Slow Slew Rate 设置	
331	10.4.2 FPGA 配置器件设置与编程	
333	10.4.3 编辑文件名称	
333	10.4.4 手工分配逻辑器件单元 I/O	
334	习题	
336	实验与设计	
336	10-1 采用流水触发器设计高速计数器	
337	10-2 线性反馈移位寄存器 (LFSR) 设计	
338	10-3 直接数字频率合成器 (DDS) 设计	
344	10-4 数字移相正弦信号发生器设计	
346	第 11 章 EDA 工具软件接口	
346	11.1 EDA 软件接口流程	
347	11.2 Synplify 与 MAX+plus II 的接口	
352	11.3 ModelSim 与 MAX+plus II 的接口	
360	习题	
360	实验与设计	
360	11-1 EDA 工具接口实验	
360	11-2 采用高速 ADC TLC2310 的峰值检测器设计	
368	第 12 章 电子系统设计实验	
368	12.1 等精度频率分频器设计	
368	12.1.1 主频分频器	

第 1 章 概 述

1.1 EDA 技术及其发展

20 世纪末,电子技术获得了飞速的发展,在其推动下,现代电子产品几乎渗透了社会的各个领域,有力地推动了社会生产力的发展和社会信息化程度的提高,同时也使现代电子产品性能进一步提高,产品更新换代的节奏也越来越快。

微电子技术的进步表现在大规模集成电路加工技术,即半导体工艺技术的发展上。表征半导体工艺水平的线宽已经达到 90nm (2004 年),并还在不断地缩小;在硅片单位面积上集成更多的晶体管,集成电路设计在不断地向超大规模、极低功耗和超高速的方向发展;专用集成电路 ASIC (Application Specific Integrated Circuit) 的设计成本不断降低,在功能上,现代的集成电路已能实现单片电子系统 SoC (System on a Chip) 的功能。

现代电子设计技术的核心是 EDA (Electronic Design Automation) 技术。EDA 技术就是依赖功能强大的计算机,在 EDA 工具软件平台上,对以硬件描述语言 HDL (Hardware Description Language) 为系统逻辑描述手段完成的设计文件,自动地完成逻辑编译、逻辑化简、逻辑分割、逻辑综合、结构综合(布局布线),以及逻辑优化和仿真测试,直至实现既定的电子线路系统功能。EDA 技术使得设计者的工作仅限于利用软件的方式,即利用硬件描述语言和 EDA 软件来完成对系统硬件功能的实现。

从另一方面看,在现代高新电子产品的设计和生产中,微电子技术和现代电子设计技术是相互促进、相互推动又相互制约的两个技术环节。前者代表了物理层在广度和深度上硬件电路实现的发展,后者则反映了现代先进的电子理论、电子技术、仿真技术、设计工艺和设计技术与最新的计算机软件技术有机的融合和升华。因此,严格地说,EDA 技术应该是这两者的结合,是这两个技术领域共同孕育的奇葩。

EDA 技术在硬件实现方面融合了大规模集成电路制造技术、IC 版图设计技术、ASIC 测试和封装技术、FPGA/CPLD 编程下载技术、自动测试技术等;在计算机辅助工程方面融合了计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助测试(CAT)、计算机辅助工程(CAE)技术以及多种计算机语言的设计概念;而在现代电子学方面则容纳了更多的内容,如电子线路设计理论、数字信号处理技术、数字系统建模和优化技术及长线技术理论等。因此 EDA 技术为现代电子理论和设计的表达与实现提供了可能性。在现代技术的所有领域中,得以飞速发展的科学技术多为计算机辅助设计,而非自动化设计。显然,最早进入设计自动化的技术领域之一是电子技术,这就是为什么电子技术始终处于所有科学技术发展最前列的原因之一。不难理解,EDA 技术已不是某一学科的分支,或某种新的技能技术,它应该是一门综合性学科。它融合多学科于一体,又渗透于各学科之中,打破了软件和硬件间的壁垒,使计算机的软件技术与硬件实现、设计效率和产品性能合二为一,它代表了电子设计技术和应用技术的发展方向。

正因为 EDA 技术丰富的内容以及与电子技术各学科领域的相关性,其发展的历程同大规模集成电路设计技术、计算机辅助工程、可编程逻辑器件,以及电子设计技术和工艺的发展是同步的。就过去近 30 年电子技术的发展历程,大致可以将 EDA 技术的发展分为三个阶段。

20 世纪 70 年代,在集成电路制作方面 MOS 工艺已得到广泛的应用。可编程逻辑技术及其器件已经问世,计算机作为一种运算工具已在科研领域得到广泛应用。而在后期,CAD 的概念已见雏形。这一阶段人们开始利用计算机取代手工劳动,辅助进行集成电路版图编辑、PCB 布局布线等工作。

20 世纪 80 年代,集成电路设计进入了 CMOS (互补场效应管) 时代。复杂可编程逻辑器件已进入商业应用,相应的辅助设计软件也已投入使用。而在 80 年代末,出现了 FPGA (Field Programmable Gate Array), CAE 和 CAD 技术的应用更为广泛,它们在 PCB 设计方面的原理图输入、自动布局布线及 PCB 分析,以及逻辑设计、逻辑仿真、布尔方程综合和化简等方面担任了重要的角色,特别是各种硬件描述语言的出现及其在应用和标准化方面的重大进步,为电子设计自动化必须解决的电路建模、标准文档及仿真测试奠定了基础。

进入 20 世纪 90 年代,随着硬件描述语言的标准化得到进一步的确立,计算机辅助工程、辅助分析和辅助设计在电子技术领域获得更加广泛的应用,与此同时电子技术在通信、计算机及家电产品生产中的市场需求和技术需求,极大地推动了全新的电子设计自动化技术的应用和发展。特别是集成电路设计工艺步入了超深亚微米阶段,百万门以上的大规模可编程逻辑器件的陆续面世,以及基于计算机技术的面向用户的低成本大规模 ASIC 设计技术的应用,促进了 EDA 技术的形成。更为重要的是各 EDA 公司致力于推出兼容各种硬件实现方案和支持标准硬件描述语言的 EDA 工具软件的研究,都有效地将 EDA 技术推向成熟。

EDA 技术在进入 21 世纪后,得到了更大的发展,突出表现在以下几个方面:

- (1) 使电子设计成果以自主知识产权的方式得以明确表达和确认成为可能。
- (2) 在仿真和设计两方面支持标准硬件描述语言的功能强大的 EDA 软件不断推出。
- (3) 电子技术全方位进入 EDA 领域,除了日益成熟的数字技术外,传统的电路系统设计建模理念发生了重大的变化:软件无线电技术的崛起,模拟电路系统硬件描述语言的表达和设计的标准化,系统可编程模拟器件的出现,数字信号处理和图像处理的全硬件实现方案的普遍接受,软硬件技术的进一步融合等。
- (4) EDA 使得电子技术领域各学科的界限更加模糊,更加互为包容:模拟与数字、软件与硬件、系统与器件、ASIC 与 FPGA、行为与结构等。
- (5) 更大规模的 FPGA 和 CPLD (Complex Programmable Logic Device) 器件的不断推出。
- (6) 基于 EDA 工具、用于 ASIC 设计的标准单元已涵盖大规模电子系统及复杂 IP 核模块 (IP 即 Intellectual Property,即知识产权的简称,往往指一个公司出售给另一个公司的硬件设计包)。
- (7) 软硬件 IP 核在电子行业的产业领域、技术领域和设计应用领域得到进一步确认。