

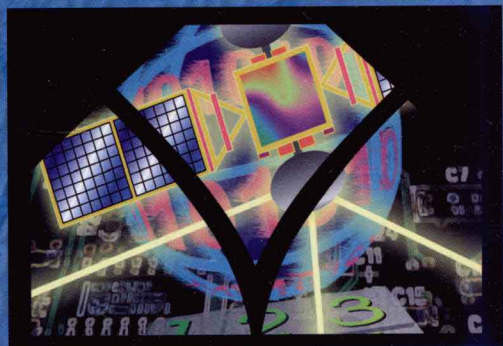


21 世纪信息学科立体化系列教材

EDA技术

● 刘江海 主编 ● 孙俊逸 主审

E D A J i s h u



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

EDA 技术

王 健 编



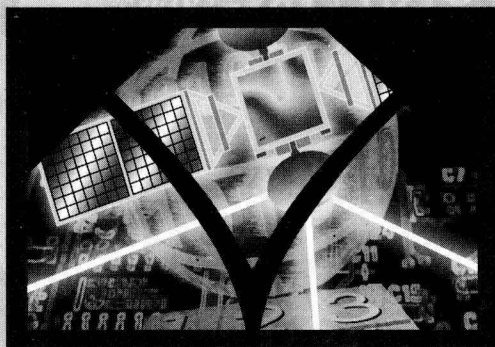


21 世纪信息学科立体化系列教材

EDA技术

EDA Jishu

主 审 孙俊逸
主 编 刘江海
副主编 涂传威 郭松梅 黎 曦
常 虹 陈 荣
参 编 曾 婷 熊才高 陈 玮
桂 伟 吴 奎



华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

EDA 技术/刘江海 主编. —武汉:华中科技大学出版社, 2009 年 8 月
ISBN 978-7-5609-5357-1

I. E… II. 刘… III. 电子电路-计算机辅助设计-应用软件 IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 084135 号

EDA 技术

刘江海 主编

策划编辑:曾 光

封面设计:刘 卉

责任编辑:史永霞

责任校对:汪世红

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录排:武汉星明图文制作有限公司

印刷:武汉首壹印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:22.25

字数:496 000

版次:2009 年 8 月第 1 版

印次:2009 年 8 月第 1 次印刷

定价:36.00 元

ISBN 978-7-5609-5357-1/TN·143

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行科调换)

内 容 简 介

本书系统地介绍了基于 FPGA/CPLD 应用开发的 EDA 技术和硬件描述语言 VHDL, 将 VHDL 的基础知识、编程技巧和使用方法与实际工程开发技术在先进的 EDA 设计平台 Quartus II 上很好地结合起来, 读者能通过本书的学习迅速地了解并掌握 EDA 技术的基本理论和工程开发实用技术, 并为后续的深入学习和发展打下坚实的理论与实践基础。

本书符合高校课堂教学和实验操作的规律与要求, 并以提高学生的实际工程设计能力为目的。全书主要内容依次为 EDA 技术与 VHDL 的基本知识、FPGA/CPLD 目标器件的结构原理、VHDL 的使用方法和设计深入、原理图的输入方法、状态机设计、Verilog HDL、Protel 99 SE 使用基础、PCB 设计基础, 其中 EDA 技术综合设计与典型应用介绍了 IP 核的应用、电子设计竞赛项目开发、频率计设计、数字钟设计等。各章都安排了相应的习题和针对性强的实验和设计示例。书中列举的 VHDL 示例, 都经编译通过或经硬件测试。

本书通俗易懂, 条理清晰, 既有对菜单命令的详细讲解, 又有精选例题和练习供读者上机实训, 重点培养读者的“概念驱动工程”电路设计理念, 尽量减轻初学者的学习负担, 达到快速入门的目的。

本书主要面向高等院校本专科开设的 EDA 技术和 VHDL 语言基础课程, 可作为电子工程、通信、自动化、计算机、信息工程、仪器仪表等学科专业的课堂授课教材或实验指导课的主要参考书, 同时也可作为电子设计竞赛、FPGA 开发应用的自学参考书。

序

20世纪90年代出现的EDA技术是电子设计的重要工具,其核心是利用计算机完成电路设计的全程自动化。EDA技术应用于芯片设计和系统设计,极大地提高了电路设计的效率和可靠性,节省了设计成本,减轻了设计人员的劳动强度。

EDA技术是高等院校电气与电子信息类专业知识结构的重要组成部分。在独立学院相关专业中开设EDA课程,一是要根据学生的基础知识水平及实践技能的要求,科学地选取教学内容,向学生传授基本知识的同时,注重介绍更多更新的技术和动向,以便学生通过系统的学习和实践,初步掌握EDA技术并具备一定的可编程逻辑芯片的开发能力,真正做到学以致用。二是要根据专业培养目标的要求,切实改进教学方法,在课堂教学时要注意从应用的角度引导学生提高学习兴趣,初步掌握基本设计工具和设计方法,在实践教学中,以训练学生的设计思想、创新思维及创造能力,力求提高学生的工程实践能力和自主创新能力。

参加本教材编写的老师多次讲授EDA技术课程,对课程的内容和教学方法有较深入的研究和探讨,对学生的基础和学习能力有较全面的了解。在编写教材时特别注意到:①学习、借鉴普通高等院校正在使用的EDA技术教材,针对独立学院学生的特点,删减部分较难理解和掌握的内容,同时对技术要求较高而又能回避的部分内容采取适当的方法进行处理,让不同层次的学生都能顺利地学习;②选用的设计实例具有较强的实用性和针对性,便于自主学习,学生只要能认真听课和按要求做实验,就能做到理论与实践的结合。本教材适当地选用了大学生电子设计竞赛的内容,并对例题进行了详细的分析,既能开拓视野,又能兼顾学生的创新能力。

进入21世纪,EDA技术发展得更快,这给EDA技

术课程内容的更新提出了更高的要求,希望本教材的作者密切关注 EDA 技术发展的动态,不断修订教材中的相关内容,同时与从事 EDA 技术的同行加强联系,开展交流和研讨,不断提高教学水平和教学质量,努力在探索独立学院学科建设方面取得新的进展。

孙俊逸

2009 年 5 月

前言

EDA 技术是 20 世纪 90 年代随电子信息技术发展而发展起来的杰出成果,EDA 技术的应用水平已成为一个国家电子信息工业现代化的重要标志之一。EDA 技术伴随着计算机、集成电路、电子系统设计的发展,经历了计算机辅助设计(computer assist design,简称 CAD)、计算机辅助工程设计(computer assist engineering design,简称 CAE)和电子设计自动化(electronic design automation,简称 EDA)三个发展阶段。

1) 20 世纪 70 年代的计算机辅助设计 CAD 阶段

早期的电子系统硬件设计采用的是分立元件,随着集成电路的出现和应用,硬件设计进入到发展的初级阶段。初级阶段的硬件设计大量选用中小规模标准集成电路,人们将这些器件焊接在电路板上,做成初级电子系统,电子系统的调试是在组装好的 PCB(printed circuit board)板上进行的。

由于设计师对图形符号的使用数量有限,传统的手工布图方法无法满足产品复杂性的要求,更不能满足工作效率的要求。这时,人们开始将产品设计过程中高度重复性的繁杂劳动,如布图布线工作,用二维图形编辑与分析的 CAD 工具替代,最具代表性的产品就是美国 ACCEL 公司开发的 Tango 布线软件。20 世纪 70 年代,是 EDA 技术发展的初期,由于 PCB 布图布线工具受到计算机工作平台的制约,其支持的设计工作有限且性能比较差。

2) 20 世纪 80 年代的计算机辅助工程设计 CAE 阶段

初级阶段的硬件设计是用大量不同型号的标准芯片实现电子系统功能的。随着微电子工艺的发展,相继出现了集成上万只晶体管的微处理器、集成几十万甚至上百万存储单元的随机存储器和只读存储器。此外,支持定制单元电路设计的硅编辑、掩膜编程的门阵列,如标准单元的半定制设计方法及可编程逻辑器件(PAL 和 GAL)等一系列微结构和微电子学的研究成果都为电子

系统的设计提供了新天地。因此,可以用少数几种通用的标准芯片实现电子系统的功能。

伴随着计算机和集成电路的发展,EDA 技术进入到了计算机辅助工程设计阶段。20 世纪 80 年代初推出的 EDA 工具以逻辑模拟、定时分析、故障仿真、自动布局和布线为核心,重点解决电路设计没有完成之前的功能检测等问题。利用这些工具,设计师能在产品制作之前预知产品的功能与性能,能生成产品制造文件,在设计阶段对产品性能的分析前进了一大步。

如果说 20 世纪 70 年代的自动布局布线的 CAD 工具代替了设计工作中绘图的重复劳动,那么,到了 20 世纪 80 年代出现的具有自动综合能力的 CAE 工具则代替了设计师的部分工作,对保证电子系统的设计、制造出最佳的电子产品起着关键的作用。到了 20 世纪 80 年代后期,EDA 工具已经可以进行设计描述、综合与优化和设计结果验证了,CAE 阶段的 EDA 工具不仅为成功开发电子产品创造了有利条件,而且为高级设计人员的创造性劳动提供了方便。但是,大部分从原理图出发的 EDA 工具仍然不能适应复杂电子系统的设计要求,而且具体化的元件图形制约着优化设计。

3) 20 世纪 90 年代电子设计自动化 EDA 阶段

为了满足千差万别的系统用户提出的设计要求,最好的办法是由用户自己设计芯片,让他们把想设计的电路直接设计在自己的专用芯片上。微电子技术的发展,特别是可编程逻辑器件的发展,使得微电子厂家可以为用户提供各种规模的可编程逻辑器件,使设计者通过设计芯片实现电子系统功能。EDA 技术的发展,又为设计师提供了全新的 EDA 工具。这个阶段发展起来的 EDA 工具的主要任务是在设计前期将设计师从事的许多高层次设计由工具来完成,如可以将用户要求转换为设计技术规范,有效地处理可用的设计资源与理想的设计目标之间的矛盾,按具体的硬件、软件和算法分解设计等。由于电子技术和 EDA 工具的发展,设计师可以在不太长的时间内使用 EDA 工具,通过一些简单标准化的设计过程,利用微电子厂家提供的设计库来完成数万门 ASIC 和集成系统的设计与验证。

20 世纪 90 年代,设计师逐步从使用硬件转向设计硬件,从单个电子产品开发转向系统级电子产品开发(即片上系统集成,system on a chip)。因此,EDA 工具是以

系统级设计为核心,包括系统行为级描述与结构综合,系统仿真与测试验证,系统划分与指标分配,系统决策与文件生成等一整套的电子系统设计自动化工具。这时的 EDA 工具不仅具有电子系统设计的能力,而且能提供独立于工艺和厂家的系统级设计能力,具有高级抽象的设计构思手段。例如,提供方框图、状态图和流程图的编辑能力,具有适合层次描述和混合信号描述的硬件描述语言(如 VHDL、AHDL 或 Verilog HDL),同时含有各种工艺的标准元件库。只有具备上述功能的 EDA 工具,才可能使电子工程师在不熟悉各种半导体工艺的情况下,完成电子系统的设计。

未来的 EDA 技术将向广度和深度两个方向发展,EDA 将会超越电子设计的范畴进入其他领域,随着基于 EDA 的 SOC(单片系统)设计技术的发展、软硬核功能库的建立,以及基于 VHDL 所谓自顶向下设计理念的确立,未来的电子系统的设计与规划将不再是电子工程师们的专利。有专家认为,21 世纪将是 EDA 技术快速发展的时期,并且 EDA 技术将是对 21 世纪产生重大影响的十大技术之一。

EDA 技术是以计算机为工作平台,以硬件描述语言(VHDL/Verilog HDL)为设计语言,以可编程器件(CPLD / FPGA)为实验载体,以 ASIC / SOC 芯片为目标器件,进行必要的元件建模和系统仿真的电子产品自动化设计过程。它是一种高级、快速、有效的电子设计自动化工具。掌握 EDA 技术是培养高素质、高技能电子产品设计人才的需要,是现代集成电路和电子整机系统设计,以及科技创新和产业发展的需要。

EDA 技术,是走向市场、走向社会、走向国际的基本技能。开展“EDA 技术与应用”教学,适应电子系统日趋数字化、复杂化和大规模集成化发展的需要,满足社会对高技能人才日益增长的需求,为创新型人才的培养打下良好基础已迫在眉睫。

EDA 技术涉及面广,内容丰富,从教学和实用的角度看,究竟应掌握些什么内容呢?我们认为,主要应掌握如下四个方面的内容:① 大规模可编程逻辑器件;② 硬件描述语言;③ 软件开发工具;④ 实验开发系统。其中,大规模可编程逻辑器件是利用 EDA 技术进行电子系统设计的载体,硬件描述语言是利用 EDA 技术进行电子系统设计的主要表达手段,软件开发工具是利用

EDA 技术进行电子系统设计的、智能化的自动化设计工具,实验开发系统则是利用 EDA 技术进行电子系统设计的下载工具及硬件验证工具。

本书由刘江海任主编,涂传威、郭松梅、黎曦、常虹、陈荣任副主编。各章编写分工为:第 1 章由陈荣编写,第 2 章由陈玮、吴奎编写,第 3 章由常虹、曾婷编写,第 4、5 章由黎曦编写,第 6 章由桂伟、熊才高编写,第 7、8、9 章由刘江海编写,第 10 章由涂传威编写,第 11、12 章由郭松梅编写。

本书由湖北省高教学会高校计算机教学专业委员会主任、湖北工业大学计算机学院孙俊逸教授主审。刘江海、曾婷、涂传威、郭松梅、黎曦、桂伟、熊才高为湖北工业大学商贸学院教师,陈玮为武汉市第二职业教育中心学校教师,陈荣为中国地质大学江城学院教师,常虹为武汉工业学院工商学院教师,吴奎为郧阳师范高等专科学校教师。湖北工业大学商贸学院机电工程系主任吴家声教授,副主任张胜利教授;刘智强副教授、吴昊副教授、刘辉、鞠剑平等在本书编写过程中给予了大力支持,并提出了宝贵的意见,编者谨致谢意。

编 者

2009 年 6 月

目 录

第 0 章	绪论	/1
0.1	传统设计方法与 EDA 设计方法的区别	/2
0.2	常用硬件描述语言	/3
0.2.1	VHDL	/4
0.2.2	Verilog HDL 语言	/4
0.3	Protel 99 SE	/6
第 1 章	EDA 工具软件 Quartus II 6.0	/7
1.1	安装 Quartus II 6.0 软件	/7
1.1.1	PC 机系统配置要求	/7
1.1.2	Quartus II 6.0 软件安装方法	/7
1.1.3	安装 license	/11
1.2	Quartus II 6.0 软件应用向导	/12
1.2.1	Quartus II 6.0 软件的主界面	/12
1.2.2	建立工作库文件夹和编辑设计文件	/12
1.2.3	创建工程	/13
1.2.4	编译前设置	/15
1.2.5	全程编译	/16
1.2.6	时序仿真	/17
1.2.7	引脚锁定设置和下载	/21
1.2.8	配置文件下载	/23
1.2.9	AS 模式和 JTAG 间接模式编程配置器件	/24
1.3	嵌入式逻辑分析仪的使用方法	/26
1.4	原理图输入设计方法	/29
	习题	/32

第2章 大规模可编程逻辑器件 /33

- 2.1 可编程逻辑器件概述 /33
 - 2.1.1 可编程逻辑器件的发展进程 /33
 - 2.1.2 可编程逻辑器件的基本结构 /35
 - 2.1.3 可编程逻辑器件的分类方法 /35
 - 2.1.4 PLD的电路表示法 /36
- 2.2 复杂可编程逻辑器件 /37
 - 2.2.1 复杂可编程逻辑器件的基本结构 /37
 - 2.2.2 Altera公司的器件产品 /43
- 2.3 现场可编程门阵列 /50
 - 2.3.1 FPGA器件的结构 /51
 - 2.3.2 FPGA器件的配置模式 /60
- 2.4 CPLD和FPGA器件的编程与配置 /64
 - 2.4.1 CPLD和FPGA器件的下载接口 /64
 - 2.4.2 CPLD器件的下载接口及其连接 /65
 - 2.4.3 使用配置器件配置(重配置)FPGA器件 /65
- 2.5 FPGA/CPLD器件的测试技术 /65
 - 2.5.1 内部逻辑测试 /65
 - 2.5.2 JTAG边界测试技术 /66
- 2.6 FPGA和CPLD器件的开发应用选择 /67
- 习题 /69

第3章 VHDL基本结构 /70

- 3.1 VHDL概述 /70
 - 3.1.1 VHDL程序设计举例 /70
 - 3.1.2 VHDL程序的基本结构 /72
- 3.2 设计实体 /73
- 3.3 结构体 /75
- 3.4 VHDL结构体的子结构 /78
 - 3.4.1 块语句结构 /78
 - 3.4.2 进程语句结构 /80
- 3.5 子程序结构 /82
 - 3.5.1 过程 /83
 - 3.5.2 函数 /84
- 3.6 库和程序包 /85
 - 3.6.1 库 /85
 - 3.6.2 程序包 /86

3.7 配置	/88
习题	/89
第4章 VHDL 语言要素	/90
4.1 VHDL 数据对象	/90
4.2 VHDL 数据类型	/94
4.3 VHDL 操作符	/100
习题	/104
第5章 VHDL 顺序语句	/105
5.1 赋值语句	/105
5.1.1 变量赋值语句	/105
5.1.2 信号赋值语句	/106
5.2 流程控制语句	/108
5.2.1 IF 语句	/108
5.2.2 CASE 语句	/112
5.2.3 LOOP 语句	/117
5.2.4 NEXT 语句	/120
5.2.5 EXIT 语句	/120
5.3 WAIT 语句	/121
5.4 ASSERT(断言)语句	/124
5.5 RETURN 返回语句	/124
5.6 NULL 空操作语句	/125
习题	/125
第6章 VHDL 并行语句	/128
6.1 进程语句	/128
6.2 块语句	/132
6.3 并行信号赋值语句	/134
6.3.1 简单信号赋值语句	/134
6.3.2 条件信号赋值语句	/135
6.3.3 选择信号赋值语句	/136
6.4 子程序和并行过程调用语句	/137
6.4.1 过程调用语句	/137
6.4.2 函数调用语句	/139
6.5 元件例化语句	/140
6.6 生成语句	/145
习题	/152

第 7 章 组合逻辑电路模块	/154
7.1 门电路	/154
7.1.1 二输入与非门电路	/154
7.1.2 二输入或非门电路	/156
7.1.3 二输入异或门电路	/157
7.2 编码器、译码器、选择器电路	/158
7.2.1 8-3 线优先编码器设计	/158
7.2.2 3-8 线译码器	/161
7.2.3 4 选 1 数据选择器 VHDL 语言描述	/163
习题	/165
第 8 章 时序逻辑电路设计	/166
8.1 触发器	/166
8.1.1 D 触发器的设计	/166
8.1.2 T 触发器的设计	/170
8.1.3 RS 触发器的设计	/172
8.2 寄存器	/174
8.2.1 串入-串出寄存器	/174
8.2.2 串入-并出寄存器	/176
8.3 计数器	/178
8.3.1 三进制计数器	/178
8.3.2 同步计数器	/179
8.4 有限状态机	/181
8.5 有限状态机的基本描述	/186
8.6 MOORE 型状态机	/188
8.7 MEALY 型状态机	/191
8.8 MEALY 和 MOORE 型状态机的变种	/193
8.9 异步状态机	/198
习题	/200
第 9 章 EDA 技术的综合应用	/203
9.1 显示电路设计	/203
9.1.1 二输入或门输出显示	/203
9.1.2 三进制计数器的输出显示	/204
9.1.3 二十四进制计数器的输出显示	/206
9.2 多路彩灯控制器的设计	/213
9.2.1 多路彩灯控制器的设计要求	/213

9.2.2	多路彩灯控制器的设计方案	/213
9.2.3	多路彩灯控制器各模块的设计与实现	/213
9.3	智力抢答器的设计	/216
9.3.1	抢答器的设计要求	/217
9.3.2	抢答器的设计方案	/217
9.3.3	抢答器各模块的设计与实现	/217
9.4	量程自动转换数字式频率计的设计	/224
9.4.1	频率计的设计要求	/224
9.4.2	频率计的设计方案	/224
9.4.3	频率计各模块的设计与实现	/225
9.5	用8*8行共阴、列共阳双色点阵发光器件显示汉字	/232
9.5.1	发光器件显示汉字的设计要求	/232
9.5.2	发光器件显示汉字的设计方案	/232
9.5.3	发光器件显示汉字的设计与实现	/233
9.6	音乐发生器的设计	/249
9.6.1	音乐发生器的设计要求	/249
9.6.2	音乐发生器的设计方案	/249
9.6.3	音乐发生器的VHDL源代码	/249
习题		/254
第10章	Verilog HDL	/255
10.1	Verilog HDL 程序模块结构	/255
10.2	Verilog HDL 的词法	/257
10.2.1	空白符和注释	/257
10.2.2	常数	/257
10.2.3	字符串	/257
10.2.4	标识符	/257
10.2.5	关键字	/258
10.2.6	操作符	/258
10.2.7	Verilog HDL 数据对象	/260
10.3	Verilog HDL 的语句	/262
10.3.1	赋值语句	/262
10.3.2	条件语句	/263
10.3.3	循环语句	/265
10.3.4	结构声明语句	/266
10.4	不同抽象级别的 Verilog HDL 模型	/269
10.4.1	Verilog HDL 门级描述	/269

10.4.2	Verilog HDL 的行为级描述	/270
10.4.3	用结构描述实现电路系统设计	/271
	习题	/273
第 11 章	Protel 99 SE 使用基础	/274
11.1	Protel 99 SE 的简介	/274
11.1.1	Protel 99 SE 的主要功能模块	/274
11.1.2	Protel 99 SE 的组成	/274
11.2	Protel 99 SE 的使用基础	/275
11.2.1	设计数据库文件的建立	/275
11.2.2	设计数据库文件的打开和关闭	/277
11.2.3	设计数据库的界面介绍	/278
11.2.4	文件管理	/281
11.3	电路原理图的设计步骤	/283
11.3.1	电路原理图设计的一般步骤	/283
11.3.2	图纸设置	/283
11.4	电路原理图设计	/289
11.4.1	原理图编辑器界面介绍	/289
11.4.2	加载原理图元件库	/295
11.4.3	绘制电路原理图	/297
11.5	报表文件生成和原理图打印	/306
11.5.1	网络表的生成	/306
11.5.2	生成元件引脚列表	/308
11.5.3	生成元件清单	/308
11.5.4	打印原理图	/311
	习题	/313
第 12 章	印刷电路板设计基础	/314
12.1	印刷电路板基础	/314
12.1.1	印刷电路板的结构	/314
12.1.2	元件的封装	/315
12.1.3	焊盘与过孔	/316
12.1.4	铜膜导线	/316
12.1.5	安全间距	/317
12.1.6	PCB 设计流程	/317
12.2	PCB 编辑器	/318
12.2.1	PCB 编辑器的启动与退出	/318
12.2.2	PCB 编辑器的画面管理	/320