



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电子设计自动化应用技术 —FPGA应用篇

路而红 主编



高等教育出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电子设计自动化应用技术 —FPGA应用篇

路而红 主编



高等教育出版社

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是北京市精品课程“EDA 技术”多年的教学建设和教师们教学实践的成果。

全书以 FPGA 应用为主线,全面介绍 FPGA 应用中涉及的器件、开发工具、软件语言、应用等相关问题。编者力求用简洁的语言,向读者展示什么是 FPGA, FPGA 如何工作,面对众多型号的 FPGA 如何选择。应用中如何使用硬件描述语言,以及如何使用工具对 FPGA 设计进行验证、仿真和综合。全书从实际应用的角度出发,通过不同领域的应用实例,论述使用 FPGA 器件解决实际问题的方法,突出实用性。

本书可作为高等学校计算机、电子类专业的本科生教材,也可供从事电子设计的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子设计自动化应用技术——FPGA 应用篇/路而红

主编.北京:高等教育出版社,2009.11

ISBN 978-7-04-028050-0

I. 电… II. 路… III. 可编程序逻辑器件-系统设计-高等学校-教材 IV. TP332.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 181695 号

策划编辑 李 慧 责任编辑 魏 芳 封面设计 赵 阳 版式设计 范晓红
责任校对 刘 莉 责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京人卫印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 14
字 数 310 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2009 年 11 月第 1 版
印 次 2009 年 11 月第 1 次印刷
定 价 22.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 28050-00

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所以培养应用型人才为主的高等院校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高校应用型人才工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面

临的十分重要的任务。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入,特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施,具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

前言

近年来,电子设计自动化(EDA)技术的发展给数字系统设计带来了革命性的变化。EDA应用技术包含的内容有:EDA软件工具、硬件描述语言、可编程逻辑器件(PLD)。这些技术的发展已经使EDA应用技术走向普及。

全书根据EDA应用技术,特别是结合FPGA应用领域包含的主要内容编写。全书由四个主要部分组成:一是FPGA器件的结构组成原理,通过Altera公司的FPGA芯片,介绍FPGA的工作原理以及FPGA的编程方法。二是FPGA开发工具的构成,利用开发工具QuartusII,介绍FPGA的开发流程。三是硬件描述语言,通过VHDL语言介绍电子系统的描述方法。四是通过具体实例的分析,介绍FPGA在不同领域中的应用,通过设计、仿真、综合,实现设计方案。

究竟什么是FPGA?为什么要使用FPGA?使用FPGA应当具备什么条件?本书在第1章概述中为初学者解答FPGA应用的基本问题。

第一部分,关于FPGA器件,由第2章FPGA设计综述和第3章FPGA器件原理组成。编者力求从EDA技术发展和系统构成出发,介绍专用FPGA开发工具、FPGA设计资源以及FPGA的应用系统,为读者建立FPGA应用开发的整体概念。接着从PLD、ASIC和FPGA各个侧面,介绍FPGA器件设计成本、开发使用等优势,介绍FPGA如何工作、如何选择FPGA器件、FPGA器件如何编程等方面的问题。

第二部分,关于FPGA开发工具,由第4章介绍。书中选择Altera公司的QuartusII 8.0开发工具进行重点介绍,介绍主要功能及其使用。编者按照FPGA的开发流程,并通过一个实例介绍工具中各功能模块的使用,使读者更容易学习并掌握FPGA开发工具的使用。

第三部分,关于硬件描述语言VHDL,由第5章介绍。硬件描述语言越来越受到从事硬件设计,特别是从事数字系统设计人们的关注,书中详细介绍了国际标准化硬件描述语言VHDL及其应用实例,编者对每个应用实例都做了仿真和综合,确保程序的准确无误。

第四部分,关于FPGA应用,由第6章~第8章组成。第6章介绍FPGA单元电路设计,选取了组合逻辑电路、时序逻辑电路、状态机和存储器等方面17个完整设计样例。第7章介绍FPGA系统电路设计,从信号产生、信号测量、算法实现、接口电路等不同类型的应用中选择了4个实例,系统翔实地介绍了系统电路的设计原理、完整描述及其仿真综合,通过这些应用实例使读者了解应用FPGA器件解决实际问题的方法。第8章介绍SOPC设计应用,结合SOPC的硬件设计、软件设计、自定义指令等多个方面,介绍操作步骤和 workflows,使读者建立SOPC应用的基本概念。

书中更多资源请访问北京电子科技学院北京市精品课程“EDA 技术”网站: www.besti.edu.cn/精品课程/北京市精品课程/EDA 技术。

本书第 1 章和第 3 章由路而红编写,第 4 章和第 5 章由高献伟编写,第 6 章由李莉编写,李莉和李雪梅共同编写第 7 章,第 8 章由董秀则编写,全书由路而红教授负责统稿。

本书的写作与出版得到了普通高等教育“十一五”国家级规划教材项目和高等教育出版社的资助。特别感谢本书审稿人李哲英教授认真的审阅以及对书稿的修改建议。在本书的编写过程中,参考了一些学者的著作和论文中的研究成果,在书中的参考文献中一一列出,在这里向他们表示衷心的感谢。同时,还得到了北京电子科技学院周玉坤副教授和电子信息工程系蔡耀华、余跃、文斌等学生的帮助和支持,在此表示感谢。编者对高等教育出版社李慧编辑对书稿的建议和辛勤的工作表示由衷的感谢。

由于 EDA 技术发展快,各种 FPGA 器件的产品更新更快,加之编者水平有限,难免有疏漏或错误之处,真诚地希望广大读者提出批评和建议。联系 E-mail: luerhong@besti.edu.cn。

编者

2009 年 3 月于北京

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 什么是 FPGA	1
1.2 为什么用 FPGA	2
1.3 使用 FPGA 的条件	2
1.4 本书包括哪些内容	2
第 2 章 FPGA 设计综述	4
2.1 EDA 技术发展	4
2.2 EDA 系统构成	6
2.3 专用 FPGA 开发工具	7
2.3.1 Altera 公司工具	7
2.3.2 Xilinx 公司工具	9
2.3.3 Lattice 公司工具	10
2.4 FPGA 设计资源	11
2.5 FPGA 应用系统举例	12
思考题和习题	17
第 3 章 FPGA 器件原理	18
3.1 PLD 概述	18
3.1.1 PROM 工作原理	19
3.1.2 PLA 工作原理	21
3.1.3 PAL 和 GAL 工作原理	21
3.1.4 CPLD 工作原理	22
3.2 ASIC 概述	24
3.3 FPGA 器件结构	25
3.3.1 FPGA 框架结构	25
3.3.2 Xilinx 公司 FPGA	27
3.3.3 Altera 公司 FPGA	28
3.3.4 Cyclone 系列 FPGA	29

3.4 FPGA 器件选择	34
3.5 FPGA 器件编程	40
3.5.1 ByteBlasterMV 配置	42
3.5.2 MasterBlaster/USB 配置	45
3.5.3 JTAG 配置	47
3.5.4 CPU 配置	48
思考题和习题	50
第 4 章 FPGA 开发工具使用	51
4.1 QuartusII 概述	51
4.2 QuartusII 使用	52
4.2.1 设计输入	53
4.2.2 设计处理	58
4.2.3 波形仿真	60
4.2.4 器件编程	64
4.3 原理图文件输入	65
4.4 参数化模块库使用	70
4.5 层次化设计流程	75
4.6 嵌入式逻辑分析仪使用	77
思考题和习题	81
第 5 章 硬件描述语言 VHDL	82
5.1 VHDL 程序结构	82
5.1.1 entity 实体	83
5.1.2 architecture 结构体	85
5.1.3 library 库	86
5.1.4 子程序	87
5.2 VHDL 语法规则	88
5.2.1 数据对象	88
5.2.2 数据类型	90

5.2.3 属性	93	第 7 章 FPGA 系统电路设计	136
5.2.4 基本运算符	94	7.1 信号发生器设计实现	136
5.3 VHDL 并行语句	95	7.1.1 信号发生器设计原理	136
5.3.1 信号赋值语句	96	7.1.2 信号发生器设计实现	142
5.3.2 process 进程语句	97	7.1.3 信号发生器综合仿真	149
5.3.3 block 块语句	98	7.2 数字电压表设计实现	152
5.3.4 component 元件语句	99	7.2.1 数字电压表原理	152
5.3.5 generate 生成语句	101	7.2.2 数字电压表设计	155
5.4 VHDL 顺序语句	102	7.2.3 数字电压表参考程序	159
5.4.1 变量赋值语句	102	7.2.4 数字电压表综合仿真	163
5.4.2 if 语句	102	7.3 液晶显示接口电路设计	
5.4.3 case 语句	103	实现	165
5.4.4 loop 语句	104	7.3.1 液晶显示接口电路原理	165
5.4.5 null 语句	105	7.3.2 液晶显示接口电路设计	173
思考题和习题	106	7.3.3 液晶显示接口参考程序	177
第 6 章 FPGA 单元电路设计	108	7.3.4 液晶显示接口综合仿真	179
6.1 组合逻辑电路设计举例	108	7.4 RC6 算法设计实现	180
6.1.1 优先编码器设计	108	7.4.1 RC6 算法基本原理	180
6.1.2 译码器设计	110	7.4.2 RC6 算法设计实现	182
6.1.3 数据选择器设计	111	7.4.3 RC6 算法综合仿真	191
6.1.4 运算器设计	112	思考题和习题	192
6.1.5 比较器设计	113	第 8 章 SOPC 设计应用	193
6.1.6 求补器设计	114	8.1 SOPC 技术概述	193
6.1.7 单向总线缓冲器设计	115	8.1.1 SOC 技术	193
6.1.8 双向总线缓冲器设计	116	8.1.2 SOPC 技术	193
6.2 时序逻辑电路设计举例	117	8.1.3 Nios II 处理器	194
6.2.1 锁存器和触发器设计	118	8.2 SOPC 系统设计实例	195
6.2.2 移位寄存器设计	120	8.2.1 SOPC 系统设计流程	195
6.2.3 计数器设计	122	8.2.2 SOPC 系统硬件设计	197
6.2.4 分频器设计	123	8.2.3 SOPC 系统软件开发	203
6.3 有限状态机设计举例	125	8.2.4 Nios II 自定义指令逻辑	209
6.3.1 Moore 型状态机设计	126	思考题和习题	213
6.3.2 Mealy 型状态机设计	128	主要参考文献	214
6.4 存储器设计举例	130		
思考题和习题	132		

第1章 概述

传统数字集成电路规模小,逻辑功能固定,缺乏灵活性;专用集成电路虽然规模大,可以按照用户需求设计,但设计周期长,成本很高,一旦设计完成不可修改。设计工程师们希望有一种数字集成电路,允许在自己的实验室里自行设计,随时修改,既具有设计的灵活性,又具备充足的逻辑资源。

1984年,美国 Xilinx 公司开发了一种新型的数字集成电路,称为现场可编程门阵列 FPGA。FPGA 内部含有大量的逻辑资源,具有灵活的可编程性,伴随计算机技术的发展,FPGA 的开发和使用非常便利,已经达到在自己的实验室里自行设计的目标。本章将向读者介绍一些关于 FPGA 的基本概念:什么是 FPGA、为什么要用 FPGA;还将介绍本书包括的主要内容,读者可以从书中获得哪些信息。

1.1 什么是 FPGA

FPGA 是 Field Programmable Gate Array 的缩写,译为现场可编程门阵列,是一种数字集成电路。FPGA 芯片内部有大量的逻辑块,这些逻辑块是可以编程的,逻辑块之间的连接称为互连资源,这些互连资源也是可以编程的。通过对逻辑块以及互连资源的编程可以实现各种数字电路、数字系统的设计。

实际中设计师们对 FPGA 有各种不同的需求,因此对 FPGA 的编程有各种不同的实现方式。有的 FPGA 只能实现一次编程,编程后形成的电路不可修改,这类 FPGA 器件称为一次性编程 OTP (One Time Programmable) 器件。另外一类 FPGA 可以实现多次编程,编程后形成的电路功能可以多次修改,在实验室就可以实现修改,使用起来更加方便。由于容易修改设计方案,所以设计前期投资小。

OTP 器件有熔丝编程和反熔丝编程两种工艺,早期 OTP 器件多为熔丝编程工艺,反熔丝编程 OTP 器件集成度、工作频率和可靠性很高。目前,Actel 公司生产的一次性编程 FPGA 产品采用了反熔丝编程工艺。

多次编程的 FPGA 有多种工艺,无论哪种工艺,共同特点是可以对器件进行重复擦除和编程操作,使修改设计变得非常方便。由于编程工艺不同,有的 FPGA 器件是非易失性的,关闭电源后,FPGA 的编程信息仍然存在;而有的 FPGA 则是易失性的,关闭电源后,FPGA 的编程信息丢失。例如,Xilinx 公司的 spartan 系列和 virtex 系列、Altera 公司的 stratix 系列和 cyclone 系列 FPGA 器件均是易失性器件;Actel 公司的 FPGA 产品采用 Flash 编程工艺,是一种非易失性的可重复编程器件。

1.2 为什么用 FPGA

前面曾经提到：传统数字集成电路规模小、缺乏灵活性；专用集成电路虽然规模大，但设计周期长、成本很高。这是设计师选用 FPGA 的重要原因。

数字集成电路有很多类型，但都是一些固定逻辑功能的单元电路，如编码器、译码器、数据选择器、运算单元、触发器、寄存器、计数器、存储器，等等。这些器件已经具有特定的逻辑功能，不可修改，设计师用这些固定功能的电路设计实现其他功能的电路，由于单元电路的资源有限，它们可以实现的电路功能单一且相对简单。

专用集成电路 ASIC 拥有数百万计的逻辑门，在逻辑门数量、逻辑复杂性和性能实现方面都具有最佳的性能，用 ASIC 可以实现难以置信的复杂逻辑功能，但是，实现 ASIC 的设计是一个非常耗费时间、付出昂贵代价的过程，且最后设计结果是固定的，不可修改。

使用FPGA有很多的优势，例如，可以在实验室里随时对 FPGA 进行编程，比数字集成电路使用灵活，因此在设计灵活性方面 FPGA 具有很强的吸引力。由于 FPGA 的逻辑资源多，可以代替 ASIC 实现非常复杂的逻辑功能，开发 FPGA 需要的设计成本很低，因此在逻辑资源和设计成本方面 FPGA 具有很强的吸引力。目前，使用 FPGA 进行电子系统设计的设计师已越来越多。

1.3 使用 FPGA 的条件

若要使用 FPGA 开展数字系统设计，必须具备如下几个基本物质条件：计算机、FPGA开发工具、FPGA 芯片开发平台。学习硬件描述语言、FPGA 芯片基本原理、FPGA 开发工具的使用。具备上述条件，可以尝试完成一些小系统的设计，有了一定的经验积累之后，就可以实现大系统的设计了。

1.4 本书包括哪些内容

目前在市场上看到的 FPGA 内部逻辑门的数量少则几万门，多则几百万门，型号多样，各成体系，且没有统一的规范。设计工具更是令人眼花缭乱。本书通过有限的篇幅，向读者呈现 FPGA 开发流程及在实际系统设计中如何使用 FPGA。

本书由四个主要部分组成。一是介绍 FPGA 的结构组成原理，通过 Altera 公司的一个实际 FPGA 芯片的讨论，了解 FPGA 的工作原理，了解 FPGA 的编程方法。二是介绍FPGA 开发工具的组成原则，通过一个具体的开发工具 QuartusII 的介绍，学习 FPGA 的开发流程。三是介绍硬件描述语言，通过 VHDL 语言的学习，掌握电子系统的描述方法。四是通过实例的分析，掌握 FPGA 的设计、验证、综合和实现。

FPGA 应用市场变化迅速，可能读者读到本书时，技术又发展了，FPGA 又有了新产

品, FPGA 开发软件又升级了。书中将会列出一些 FPGA 开发中有用的网络资源, 编者希望本书对读者了解 FPGA 的芯片、开发、应用有所帮助, 通过学习, 当读者再使用其他新器件、新工具时, 不会感觉陌生。

1.5 本书的写作背景

自英特尔公司推出第一代微处理器以来, 微处理器的发展日新月异。从最初的 4004 到现在的 Pentium 4, 微处理器的性能得到了飞速的提升。在微处理器发展的同时, 可编程逻辑器件 (PLD) 和现场可编程门阵列 (FPGA) 也得到了广泛的应用。FPGA 是一种特殊的集成电路, 它可以在制造完成后, 通过编程来改变其内部的结构, 从而实现各种不同的逻辑功能。FPGA 具有体积小、功耗低、集成度高、灵活性强等优点, 广泛应用于通信、计算机、工业控制等领域。随着 FPGA 技术的不断发展, 其在各个领域的应用也越来越广泛。本书旨在为读者提供关于 FPGA 的入门知识, 包括其基本原理、开发流程、常用器件以及应用案例等。通过本书的学习, 读者可以了解 FPGA 的基本概念, 掌握其开发方法, 并能够将其应用于实际工程中。本书适合从事电子工程、计算机科学与技术等相关工作的技术人员阅读, 也适合作为高等院校相关专业课程的教材。

1.6 本书的写作风格

本书力求做到通俗易懂, 深入浅出。在编写过程中, 参考了大量的相关资料, 力求做到内容准确、数据可靠。本书采用图文并茂的形式, 力求做到图文并茂、生动形象。本书采用循序渐进的编写方式, 力求做到循序渐进、由浅入深。本书采用案例驱动的教学方式, 力求做到案例驱动、学以致用。本书采用通俗易懂的语言, 力求做到通俗易懂、深入浅出。本书采用简洁明了的图表, 力求做到简洁明了、一目了然。本书采用清晰明了的目录, 力求做到清晰明了、一目了然。本书采用规范的参考文献, 力求做到规范、准确。

1.7 本书的版权声明

本书版权归作者所有, 未经许可, 不得擅自复制或传播。如有侵权, 必究。

第2章 FPGA 设计综述

1984年, Xilinx公司开发了一种新型的集成电路芯片, 称为现场可编程逻辑器件FPGA。FPGA既克服了传统数字IC规模小、缺乏灵活性的缺点, 又克服了专用集成电路ASIC设计周期长、成本高的不足。FPGA有大量的逻辑资源, 伴随EDA技术的发展, FPGA的开发和使用越来越便利。

电子设计自动化, 简称EDA, 即英文Electronic Design Automation的缩写。EDA是一门迅速发展起来的新技术, 涉及面广, 内容丰富, 目前尚无统一严格的定义。

从理论角度理解EDA技术, 可以认为EDA技术是以计算机和微电子技术为先导, 汇集了数据库、计算机图形学、图论与拓扑逻辑、计算数学、优化理论以及微电子工艺与结构学等多种学科最新成果的先进技术。

从技术应用角度理解EDA技术, 可以认为EDA技术是以大规模集成电路为设计载体, 以硬件描述语言为描述系统的主要表达方式, 以计算机为设计环境, 利用软件开发工具自动完成设计系统的编译、化简、综合、仿真、布局布线、优化, 直至完成对特定芯片的适配、映射、编程下载, 最终将设计系统集成到特定的芯片中, 如FPGA。也就是说, 如果要完成FPGA设计, 设计者只需借助EDA技术, 用硬件描述语言完成对系统的描述, 其他工作都交给计算机及其软件开发工具完成。

本章首先介绍EDA技术的发展和系统构成, 然后介绍在FPGA设计开始阶段如何选择开发工具, FPGA在一个实际电子系统中究竟承担什么任务, 在电子系统中如何使用FPGA。

2.1 EDA 技术发展

EDA技术伴随着计算机、集成电路、电子系统设计的发展, 经历了三个发展阶段:

20世纪60年代中期—20世纪80年代初期的计算机辅助设计CAD (Computer Assist Design)。

20世纪80年代初期—20世纪90年代初期的计算机辅助工程设计CAED (Computer Assist Engineering Design)。

20世纪90年代以来的电子系统设计自动化ESDA (Electronic System Design Automation)。

1. 计算机辅助设计CAD阶段

随着集成电路的出现和应用, 电子系统设计进入到发展的初级阶段, 人们选用大量中

小规模标准集成电路, 根据集成电路的摆放位置以及它们之间的连接关系进行布局布线, 设计出 PCB (Printed Circuit Board) 板, 再将这些器件焊接在 PCB 板上, 做成电子系统, 电子系统的调试是在组装好的 PCB 板上进行的。人们将产品设计过程中高重复性的繁杂劳动, 如布局布线工作用二维图形编辑与分析的 CAD 工具替代, CAD 阶段最具代表性的产品就是美国 ACCEL 公司开发的 Tango 布线软件。在 EDA 技术发展初期, PCB 布局布线工具受到计算机工作平台的制约, 能支持的设计工作有限且性能比较差。

20 世纪 80 年代初, 随着集成电路规模的增大, EDA 技术有了较快的发展, 许多软件公司如 Mentor、Logic System 等进入市场, 开始出现带电路图编辑工具和逻辑模拟工具的 EDA 软件, 每个软件只能完成其中的一项工作。在产品开发的阶段分别使用不同的开发软件, 当时的 EDA 软件工具由于缺乏系统级的设计考虑, 不能提供系统级的仿真与综合。

2. 计算机辅助工程设计 CAED 阶段

初级阶段的硬件设计使用大量不同型号的标准芯片实现电子系统设计, 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、集成几十万至上百万存储单元的存储器, 此外, 支持定制单元电路设计的硅编辑、掩模编程的门阵列以及可编程逻辑器件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。伴随计算机和集成电路的发展, EDA 技术进入到计算机辅助工程设计 CAED 阶段。如果说 CAD 阶段的自动布局布线工具代替了设计工作中绘图的重度劳动, 那么, 20 世纪 80 年代 CAED 阶段的 EDA 工具则代替了设计师的部分设计工作, 在电子系统的设计、制造最佳的电子产品方面起到关键作用。

20 世纪 80 年代计算机的发展, 使得以科学计算为主的计算机步入辅助工程设计的工作站阶段。工作站平台不单只是计算机计算能力的增强, 更重要的是人机图形界面标准的发展, 三维图形造型、窗口技术、UNIX 操作系统、网络上的数据交换、数据库以及进程管理等一系列计算机科学最新成果的引入, 到了 20 世纪 80 年代中期工作站以每年性能提高一倍而价格下降一半的速度飞速发展, 为 EDA 技术的不断改进提供了舞台。20 世纪 80 年代后期, EDA 的相关工具已经可以进行设计描述、综合与优化和设计结果验证, 由于采用了统一数据管理技术, 因此, 能将各个软件工具集成为一个 CAED 系统, 实现从设计输入到版图输出的全程设计自动化。

CAED 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设计的要求, 而且具体化的元件图形制约着优化设计。

3. 电子系统设计自动化 ESDA 阶段

为了满足千差万别的系统设计提出的要求, 最好的办法是由设计者自己设计芯片, 允许他们把想设计的电路直接设计在芯片上, 实现专用集成电路的设计。随着微电子技术的发展, 特别是可编程逻辑器件的发展, 微电子厂家为设计者提供各种规模的可编程逻辑器件, 通过设计芯片实现系统功能已经成为可能。

EDA 软件工具的进一步发展, 为设计师提供了全线系统设计工具。这个阶段发展起

来的 EDA 工具, 将设计前期设计师从事的许多设计工作都交给工具完成, 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。由于微电子技术和 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, 利用已有的设计库完成数万门 FPGA 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, 从电路级电子产品开发转向系统级电子产品开发, 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级综合、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。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 VHDL 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, 才有可能使电子系统工程师在不熟悉各种半导体厂家和各种半导体工艺的情况下, 完成电子系统的设计。这个阶段的 EDA 技术的主要特征如下:

① 采用硬件描述语言: 形成了两种标准化的硬件描述语言 VHDL 和 Verilog-HDL, 支持不同层次的描述, 使设计描述更加规范化, 便于传递、交流、保存、修改以及重复利用。

② 采用高层次综合: 设计层次提高到系统级, 或称为行为级, 并划分为逻辑综合与测试综合。逻辑综合是对不同层次的设计描述进行转换, 将电子系统的描述转换到底层硬件描述及其物理实现, 使设计人员不必了解具体的逻辑器件, 从而把精力集中到系统行为建模上。测试综合是以设计结果的性能, 如时序特性、功耗、电磁辐射和负载能力等为目的的测试方法, 保证系统设计结果稳定可靠地工作。

③ 建立并行设计框架: 使用统一的数据库管理系统与完善的通信管理系统, 共享数据库和知识库, 并行进行设计。

④ 软硬件协调设计与验证: 弥补了软件设计与硬件设计之间的空隙, 保证了软硬件之间的同步协调工作。

2.2 EDA 系统构成

EDA 技术研究的对象是电子设计的全过程, 有系统级、电路级和物理级各个层次的设计; 涉及的电子系统从低频、高频到微波, 从线性到非线性, 从模拟到数字, 从通用集成电路到专用集成电路构造的电子系统, 因此 EDA 技术研究的范畴相当广泛。

从 FPGA 开发与应用角度看, EDA 系统应当包含以下子模块: 设计输入子模块、设计数据库子模块、分析验证子模块、综合仿真子模块、布局布线子模块等。

1. 设计输入子模块

该模块接受用户的设计描述, 进行语义正确性、语法规则的检查, 检查通过后, 将用户的设计描述数据转换为 EDA 软件系统的内部数据格式, 存入设计数据库被其他子模块

调用。设计输入子模块不仅能接受图形描述、硬件描述语言 (HDL) 描述, 还能接受图文混合描述。设计输入子模块一般包含针对不同描述方式的编辑器, 如图形编辑器、文本编辑器等, 同时包含对应的分析器。

2. 设计数据库子模块

该模块存放系统提供的库单元以及用户的设计描述和中间设计结果。

3. 分析验证子模块

该模块包括各个层次的模拟验证、设计规则的检查、故障诊断等。

4. 综合仿真子模块

该模块包括各个层次的综合工具, 理想的情况是: 从高层次到低层次的综合仿真全部由 EDA 工具自动实现。

5. 布局布线子模块

该模块实现由逻辑设计到物理实现的映射, 因此与物理实现的方式密切相关。例如, 最终的物理实现可以是门阵列、可编程逻辑器件等, 由于对应的器件不同, 因此各自的布局布线工具会有很大的差异。

全球提供 EDA 软件工具的厂商有近百家之多, 可以分为两大类: 一类是 EDA 专业软件公司开发的通用 EDA 软件工具, 另一类是半导体器件厂商, 为了销售公司产品开发的专用 EDA 软件工具。

通用 EDA 软件工具具有良好的标准化和兼容性, 与半导体器件厂商无关。通用 EDA 软件工具对硬件环境要求高, 一般运行平台要求是工作站, 操作系统要求也比较高, EDA 软件工具资金投入比较多。这些工具功能齐全、性能优良, 涉及电子设计的许多领域, 如数字电路设计、模拟电路设计、数模混合设计、通信系统设计、自动测试向量生成、仿真综合、仿真验证、电磁兼容设计、IC 设计等。比较著名的 EDA 专业软件公司有 Cadence Design Systems、Mentor Graphics Corp.、Synopsys Inc.、Altium Ltd. 等。

世界上比较著名的 PLD 器件厂商有 Altera、Xilinx、Lattice、Actel、AMD 等。这些器件公司开发的 EDA 软件工具, 只能用来开发本公司的 PLD 器件, 这些工具一般都具有前面提到的 5 个基本模块, 操作简单, 对硬件环境要求低, 运行平台是 PC 机、Windows 或 Windows NT 操作系统, EDA 软件工具资金投入少。由于器件厂商是针对自己的器件开发的 EDA 软件工具, 因此, 可以针对公司器件的特点进行优化设计, 在资源利用率、降低功耗、改善性能等方面都有优势, 非常适合科研产品开发和学校教学使用。

2.3 专用 FPGA 开发工具

全球专用 EDA 工具很多, 这里只介绍目前设计师常用、FPGA 器件厂商提供的、针对 FPGA 开发的专用工具。

2.3.1 Altera 公司工具

Altera 公司提供的软件工具有: MAX + plusII 和 QuartusII, 这些工具易学易用, 具有

可视化界面、集成化设计环境、具有工业标准的 EDA 工具接口等。设计人员无需精通器件的内部原理,只需运用自己熟悉的输入方法进行设计,通过 MAX + plusII 和 QuartusII 把设计转换为器件下载所需要的文件格式。

1. MAX + plusII

MAX + plusII 是 Multiple Array Matrix and Programmable Logic Use System 的缩写,是 Altera 公司的 PLD 软件开发工具。MAX + plusII 可以运行在多种操作平台上,设计人员使用 MAX + plusII 开发工具进行设计,通过设计软件提供的多种输入方式,编译、仿真和综合,最终将设计方案转化为 PLD 器件所需要的文件格式。MAX + plusII 支持 Altera 公司的部分 PLD 系列器件的编程,如 Classic 系列、MAX 系列、FLEX 系列和 ACEX1K 系列等。

使用 MAX + plusII 软件进行 PLD 的设计开发过程主要有四个阶段:设计输入、设计处理、设计校验和器件编程。

设计输入: MAX + plusII 提供了多种输入方式,如原理图输入、硬件描述语言输入、波形图输入、底层输入和层次输入,设计者可以根据实际需要从中选择输入方式对应的编辑器。

设计处理: MAX + plusII 提供的编译器,可以对设计进行全方位的处理。如逻辑设计的化简/优化、设计仿真和测试、自动布局布线、产生编程文件等。

设计校验: 包括仿真分析和定时分析。仿真分析就是根据输入激励进行分析,仿真结果可以直接在波形编辑器中看到。定时分析可以确定器件引脚上的建立时间和保持时间、计算器件的最高工作频率、计算器件引脚之间的延时等。

器件编程: 利用编程文件,通过编程器或编程电缆对 PLD 器件进行编程。编程过程中还可以对其进行校验、检查等。

2. QuartusII

Altera 公司最新推出的 QuartusII 设计软件支持 APEX 系列、Cyclone 系列、Stratix 系列和 Excalibur 系列等新型系列器件的开发。为了缩短开发周期、降低设计复杂程度,QuartusII 除含有 MAX + plusII 已有的功能外,还集成了逻辑分析仪、EDA 工具集成、多过程支持、增强重编译和 IP 集成等特性。

目前,Altera 公司已经推出了 QuartusII 8.0,与早期版本相比较,高版本具有更强的设计能力和更快的编译速度。QuartusII 8.0 设计软件通过增强层次 LogicLock 模块级设计算法,将性能平均改善了 15%;设计软件增加了一个新的快速适配编译选项,选择该选项,将保留最佳性能的设置,加快编译过程,比缺省设置缩短 50% 的编译时间;QuartusII 8.0 设计软件还支持高速 I/O 设计。

使用 QuartusII 进行软件设计的过程是:设计输入、设计编译、设计仿真、器件编程。

设计输入: QuartusII 支持多种设计输入方法,包括原理图输入、文本输入,如 AHDL、VHDL、Verilog-HDL 文本文件,第三方 EDA 工具输入文件,如 EDIF、HDL、VQM 文件。

设计编译: QuartusII 编译器的功能包括设计错误检查、逻辑综合、Altera 适配器件、仿真/定时分析以及产生下载编程的输出文件。