

中国电子教育学会高教分会推荐
高等学校应用型本科“十三五”规划教材



- 降低难度、精炼内容，拓宽知识面
- 实例丰富、针对性强，提供代码

EDA技术与应用

何春燕 刘毓 黄颖 李生好 高飞 编著

内 容 简 介

中国电子教育学会高教分会推荐

高等学校应用型本科“十三五”规划教材

EDA 技术与应用

何春燕 刘 毓 黄 颖

李生好 高 飞

编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是电子设计自动化(EDA)技术的基础教材。全书共7章,主要包括:EDA技术概述与可编程逻辑器件、工具软件 MAX + plus II / Quartus II、工具硬件 SOPC 简介、Verilog HDL 硬件描述语言、VHDL 硬件描述语言、程序设计实例、EDA 实验及课程设计。

本书作为电子信息类专业 EDA 技术基础教材,以基础知识适度与结构体系鲜明为编写原则,注意了各部分知识的活化联系,重点突出,难度适中。考虑到应用型本科院校的特点和实际情况,对例题与习题做了精选,在保证必要的基本训练的基础上,适当降低其难度,努力拓宽知识面,尽量反映最新科技发展概况。

本书适合作为高等院校电子信息类专业相关课程的教材,也可作为高职高专院校电子设计自动化课程的教材或参考书,还可作为自学考试或函授教材。

★ 本书作者精心制作了配套课件与课程资源可供老师选用(在出版社网站下载)。

图书在版编目(CIP)数据

EDA 技术与应用/何春燕等编著. — 西安:西安电子科技大学出版社,2017.6

高等学校应用型本科“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-4544-5

I. ① E… II. ① 何… III. ① 电子电路—电路设计—计算机辅助设计 IV. ① TN702.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 094017 号

策划编辑 李惠萍

责任编辑 李惠萍

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 wmcuit@cuit.edu.cn

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2017年6月第1版 2017年6月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 14.5

字 数 339千字

印 数 1~3000册

定 价 27.00元

ISBN 978-7-5606-4544-5/TN

XDUP 4836001-1

***** 如有印装问题可调换 *****

前 言

本书内容符合教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的基本要求,是编者在总结教学实践经验的基础上,为高等工科院校电子信息类专业编写的 EDA 课程(或可编程逻辑器件设计课程)教材。本书内容包括 EDA 技术概述与可编程逻辑器件、工具软件 MAX + plus II / Quartus II、工具硬件 SOPC 简介、Verilog HDL 硬件描述语言、VHDL 硬件描述语言、程序设计实例、EDA 实验及课程设计,主要介绍常见的可编程逻辑器件、常用的设计软件 MAX + plus II / Quartus II、硬件描述语言 Verilog HDL 和 VHDL 以及 EDA 技术的实际应用。

本书由三所高校的教师在四年教学改革的基础上,总结、提炼、丰富、改编现有教材而完成,目的就是帮助读者学会设计数字系统的硬件描述语言,并熟悉工具软件 MAX + plus II 和 Quartus II。在编写过程中我们力求突出以下特点:

- (1) 有关 EDA 技术及可编程逻辑器件只做简单的介绍,因为有大量的资料可以供读者参考,只是出于完整性的考虑在教材中适当体现。
- (2) 语言通俗易懂,内容力求精练,避免晦涩难懂的叙述。
- (3) 教材中涉及的实例力求简单明了,针对性强。

当然,要想达到很高的设计水平,还需要读者进行更专业的培训和训练。一本教材不能解决所有的问题,本书仅供读者入门学习之用,能起到抛砖引玉之功效是作者的心愿。

本书是面向电子信息类专业的教材,根据我们教学的实践,建议理论授课学时数为 32 学时,实践课程为 16 学时,课程设计为 16 学时。不同院校可以根据自身的实际需求对书中内容加以取舍。当然,不仅仅局限于本书给出的实验和设计题目,根据学生掌握的难易程度,教师也可以自行设计其他题目。

本书由三所高校老师联合编写,重庆邮电大学移通学院何春燕老师编写第

2 章、第 5 章，重庆三峡学院电子与信息工程学院刘毓副教授编写第 4 章、第 7 章，重庆邮电大学移通学院黄颖老师编写第 1 章，重庆工程职业技术学院电气工程学院李生好副教授编写第 3 章，重庆邮电大学移通学院高飞副教授编写第 6 章。全书由何春燕老师统稿、定稿。

由于编者水平有限，书中难免有不足和考虑不周之处，敬请使用本书的师生与其他读者批评指正，以便修订时改进。

非常感谢所有关心本书编写的学校领导、同事给予我们的支持与帮助。

编 者

2017 年 5 月

目 录

第1章 EDA技术概述与可编程逻辑器件.....	1
1.1 EDA技术.....	1
1.1.1 EDA技术的含义.....	1
1.1.2 EDA技术的发展历程.....	1
1.1.3 EDA的应用.....	2
1.1.4 EDA技术的发展趋势.....	3
1.2 EDA软件系统的构成.....	3
1.2.1 电子电路设计与仿真工具.....	4
1.2.2 PCB设计软件.....	4
1.2.3 IC设计软件.....	5
1.2.4 PLD设计工具.....	6
1.2.5 其他EDA软件.....	7
1.3 硬件描述语言.....	7
1.3.1 HDL的发展历程.....	7
1.3.2 HDL的特点.....	8
1.3.3 VHDL系统设计的特点及优势.....	8
1.3.4 Verilog HDL的优点.....	9
1.4 可编程逻辑器件.....	9
1.4.1 可编程逻辑器件概述.....	9
1.4.2 PLD的分类.....	10
1.4.3 PLD产品介绍.....	11
1.4.4 PLD的配置.....	12
1.4.5 可编程逻辑器件的发展历史及未来趋势.....	14
第2章 工具软件MAX + plus II /Quartus II	16
2.1 常用软件.....	16
2.2 MAX + plus II 软件的使用.....	16
2.3 MAX + plus II 原理图输入使用示例.....	20
2.3.1 建立文件.....	20
2.3.2 编译环节.....	21
2.3.3 功能仿真设计文件.....	23
2.3.4 编程下载设计文件.....	26
2.4 Quartus II 软件的使用.....	31
2.4.1 建立工程.....	31

2.4.2	设计输入	35
2.4.3	电路仿真	37
第3章	工具硬件SOPC简介	41
3.1	EDA/SOPC开发系统	41
3.2	硬件使用验证示例	43
3.2.1	建立工程	44
3.2.2	选择器件	44
3.2.3	新建VHDL文件	46
3.2.4	编译环节	48
3.2.5	仿真功能设计文件	48
3.2.6	编程下载文件	50
3.2.7	硬件结果观察	52
第4章	Verilog HDL硬件描述语言	53
4.1	Verilog的基本语法	53
4.1.1	简单的Verilog HDL模块	53
4.1.2	数据类型及其常量、变量	55
4.1.3	Verilog HDL操作符	59
4.1.4	过程语句	66
4.1.5	赋值语句	67
4.1.6	块语句	69
4.1.7	条件语句	72
4.1.8	选择语句	74
4.1.9	循环语句	77
4.2	Verilog HDL的描述风格	79
4.2.1	结构型描述	79
4.2.2	数据流型描述	83
4.2.3	行为型描述	83
4.3	Verilog HDL的任务与函数	84
4.3.1	任务(Task)	84
4.3.2	函数(Function)	86
4.3.3	任务和函数的联系与区别	87
4.3.4	系统自定义任务和函数	88
第5章	VHDL硬件描述语言	94
5.1	VHDL 程序结构	94
5.1.1	库(LIBRARY)	94
5.1.2	程序包(PACKAGE)	96
5.1.3	实体(ENTITY)	98

5.1.4	结构体(ARCHITECTURE).....	100
5.1.5	块语句结构(BLOCK)	102
5.1.6	进程(PROCESS).....	103
5.1.7	子程序(SUBPROGRAM)	105
5.1.8	配置(CONFIGURATION).....	107
5.2	VHDL语言要素	108
5.2.1	VHDL文字规则	108
5.2.2	VHDL数据对象	110
5.2.3	VHDL数据类型	113
5.2.4	VHDL操作符	117
5.3	VHDL顺序语句	119
5.3.1	赋值语句	119
5.3.2	流程控制语句	120
5.3.3	WAIT语句	126
5.3.4	子程序调用语句.....	126
5.3.5	返回语句(RETURN).....	128
5.3.6	空操作语句(NULL)	129
5.4	VHDL并行语句	129
5.4.1	进程语句	130
5.4.2	块语句	131
5.4.3	并行信号赋值语句.....	131
5.4.4	并行过程调用语句.....	133
5.4.5	元件例化语句	134
5.4.6	类属映射语句	135
5.4.7	生成语句	135
5.5	VHDL描述风格	136
5.5.1	行为描述	136
5.5.2	数据流描述	138
5.5.3	结构描述	138
5.6	仿真.....	140
5.6.1	VHDL仿真	141
5.6.2	VHDL系统级仿真	142
5.7	综合	143
5.7.1	VHDL综合	143
5.7.2	优化技术	143
5.7.3	调度和分配	144
5.7.4	综合器	144
第6章	程序设计实例	146
6.1	Verilog程序实例	146

6.1.1	常见组合逻辑电路的设计	146
6.1.2	常见时序逻辑电路的设计	157
6.1.3	Verilog综合设计实例	165
6.2	VHDL程序实例	185
第7章	EDA实验及课程设计	198
7.1	课程实验部分	198
7.1.1	MAX + plus II/Quartus II 软件图形设计	198
实验一	MAX + plus II/Quartus II 软件应用	198
实验二	奇偶检测电路设计	199
实验三	同步计数器74161的应用	199
实验四	数据选择器74151的应用	200
实验五	3-8译码器	200
7.1.2	MAX + plus II/Quartus II 软件VHDL设计	201
实验六	VHDL软件设计	201
实验七	编码器	202
实验八	数据比较器	203
实验九	组合逻辑电路的VHDL描述	204
实验十	计数器	206
实验十一	数字时钟	206
7.2	课程设计部分	208
设计一	BCD码加法器	208
设计二	四位全加器	209
设计三	出租车计费器	209
设计四	数字秒表	211
设计五	交通灯控制器	212
设计六	四人抢答器	214
设计七	四位并行乘法器	215
设计八	步长可变的加减法计数器	215
设计九	VGA彩条发生器	216
附录	试验箱接口资源I/O对照表	218
参考文献		223

第1章 EDA 技术概述与可编程逻辑器件

数字电子技术的发展,有力地推动了社会生产力的发展和社会信息化的提高。大规模集成电路加工技术的进步是现代数字电子技术发展的基础,现代电子产品在性能提高、复杂度增加的同时,价格却一直呈下降趋势,而且产品更新换代的步伐也越来越快。当前集成电路正朝着速度快、容量大、体积小、功耗低的方向发展。

1.1 EDA 技术

1.1.1 EDA 技术的含义

EDA(Electronic Design Automation),即电子设计自动化,是随着集成电路和计算机技术飞速发展而产生的一种快速、有效、高级的电子设计自动化工具。EDA 是以计算机为工作平台,融合应用电子技术、计算机技术、智能化技术的最新成果而研制成的电子 CAD 通用软件包,主要功能是可以辅助进行三方面的设计工作:集成电路(Integrated Circuits, IC)设计、电子电路设计、印刷电路板(Printed Circuits Board, PCB)设计。

狭义的 EDA 技术是指以计算机为工作平台,以 EDA 软件工具为开发环境,以大规模可编程逻辑器件为设计载体,以硬件描述语言(Hardware Description Language, HDL)为系统逻辑描述的主要方式,自动地完成用软件方式描述的电子系统到硬件系统的逻辑编译、逻辑化简、逻辑分割、逻辑综合及优化、布局布线、逻辑仿真,以及特定目标芯片的适配编译、逻辑映射、编程下载等工作,最终形成集成电子系统或专用集成芯片。

广义的 EDA 实际上是 EDA 工程所涉及的范围,包括半导体工艺设计自动化、可编程器件设计自动化、电子系统设计自动化、印刷电路板设计自动化、电子电路仿真与测试、电子产品故障诊断自动化、形式验证自动化等方面的内容。

在现代电子设计领域,EDA 技术已经成为电子系统设计的重要手段。利用 EDA 工具,电子设计师可以从概念、算法、协议等开始设计电子系统,并可以将电子产品从电路设计、性能分析到设计出 IC 版图或 PCB 版图的整个过程在计算机上自动处理完成,极大地提高了设计效率,减少了设计周期,节省了设计成本。

1.1.2 EDA 技术的发展历程

从 20 世纪 70 年代起,人们就不断开发出各种计算机辅助设计工具来帮助设计人员进行集成电路和电子系统的设计,集成电路技术的不断发展对 EDA 技术提出了新的要求,

并促进了 EDA 技术的发展。EDA 技术具有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。回顾过去几十年电子设计技术的发展历程,可将 EDA 技术的发展分为三个阶段。

1. CAD 阶段

20 世纪 70 年代,电子线路的计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)是 EDA 发展的初级阶段。这一阶段的主要特征是利用计算机辅助进行 IC 版图编辑和 PCB 布局布线,使得设计师从传统的高度重复、繁杂的绘图劳动中解脱出来,产生了计算机辅助设计的概念。

2. CAE 阶段

20 世纪 80 年代,计算机辅助工程(Computer Aided Engineering, CAE)的概念出现。与 CAD 相比,除了纯粹的图形绘制功能外,该阶段已具备了设计自动化的功能,主要是具备了自动布局布线和电路的计算机仿真、分析与验证功能。

3. EDA 阶段

20 世纪 90 年代至今,出现了以高级语言描述、系统仿真和综合技术为特征的 EDA 阶段。采用“自顶向下”的设计顺序和“并行工程”的设计方法,设计师只需要准确定义所要设计的系统,由 EDA 系统去完成电子产品的系统级到物理级的设计,就可以进行该系统的芯片设计与制造。

进入 21 世纪后,全定制和半定制专用集成电路正成为新的发展热点,专用集成电路的设计与应用必须依靠专门的 EDA 工具,因此 EDA 技术在功能仿真、时序分析、集成电路自动测试、高速印刷电路板设计及操作平台的扩展等方面都面临着新的巨大的挑战。

1.1.3 EDA 的应用

EDA 在教学、科研、产品设计与制造等方面都发挥着巨大的作用。

在教学方面,几乎所有理工科(特别是电子信息)类的高校都开设了 EDA 课程,主要目的是让学生了解 EDA 的基本概念和基本原理,掌握 HDL 语言编写规范,掌握逻辑综合的理论和算法,使用 EDA 工具进行电子电路课程的实验并从事简单系统的设计,一般性地学习电路仿真工具(如 EWB、PSPICE)和 PLD 开发工具(如 Altera/Xilinx 的器件结构及开发系统),为今后工作打下基础。

科研方面主要利用电路仿真工具(EWB 或 PSPICE)进行电路设计与仿真,利用虚拟仪器进行产品测试,将 CPLD(Complex Programmable Logic Device, 复杂可编程逻辑器件)和 FPGA(Field Programmable Gate Array, 现场可编程门阵列)器件实际应用到仪器设备中,从事 PCB 设计和 ASIC(Application Specific Integrated Circuits, 专用集成电路)设计等。

在产品设计与制造方面,EDA 技术包括前期的计算机仿真,产品开发中的 EDA 工具应用、系统级模拟及测试环境的仿真,生产流水线的 EDA 技术应用、产品测试等各个环节,如 PCB 的制作、电子设备的研制与生产、电路板的焊接、ASIC 的流片过程等。

从应用领域来看,EDA 技术已经渗透到各行各业,如前文所说,包括机械、电子、通信、航空航天、化工、矿产、生物、医学、军事等各个领域,都有 EDA 的应用。另外,

EDA 软件的功能日益强大,原来功能比较单一的软件,现在增加了很多新用途,如 AutoCAD 软件可用于机械及建筑设计,也可扩展到建筑装潢及各类效果图绘制、汽车和飞机的模型设计、电影特技等领域。

1.1.4 EDA 技术的发展趋势

从目前的 EDA 技术来看,其发展趋势是政府重视、使用普及、应用广泛、工具多样、软件功能强大。

中国 EDA 市场已渐趋成熟,不过大部分设计工程师面向的是 PC 主板和小型 ASIC 领域,仅有小部分(不足 20%)的设计人员在研发复杂的片上系统器件。为了与台湾和美国的设计工程师形成更有力的竞争,中国的设计队伍有必要采用一些最新的 EDA 技术。

在信息通信领域,要优先发展高速宽带信息网、深亚微米集成电路、新型元器件、计算机及软件技术、新一代移动通信技术、信息管理、信息安全技术,积极开拓以数字技术、网络技术为基础的新一代信息产品,发展新兴产业,培育新的经济增长点。要大力推进制造业信息化,积极开展计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工程(CAE)、计算机辅助工艺(CAPP)、计算机辅助制造(CAM)、产品数据管理(PDM)、制造资源计划(MRP II)及企业资源管理(ERP)等。有条件的企业可开展“网络制造”,便于合作设计、合作制造,参与国内和国际竞争;开展“数控化”工程和“数字化”工程。自动化仪表技术的发展趋势是测试技术、控制技术与计算机技术、通信技术进一步融合,形成测量、控制、通信与计算机(M3C)一体化结构。在 ASIC 和 PLD(Programmable Logic Device, 可编程逻辑器件)设计方面,向超高速、高密度、低功耗、低电压方向发展。

外设技术与 EDA 工程相结合的市场前景看好,如组合超大屏幕的相关连接、多屏幕技术也有所发展。

中国自 1995 年以来加速开发半导体产业,先后建立了几所设计中心,推动系列设计活动以应对亚太地区其他 EDA 市场的竞争。

EDA 软件开发目前主要集中在美国。但各国也正在努力开发相应的工具。日本、韩国都有 ASIC 设计工具,但不对外开放。中国华大集成电路设计中心也提供 IC 设计软件,但性能不是很强。相信在不久的将来会有更多更好的设计工具在各地开花并结果。据最新统计结果显示,中国和印度正在成为电子设计自动化领域发展最快的两个市场,年复合增长率分别达到了 50%和 30%。

随着科学技术的飞速发展和市场需求的不断增长,EDA 开发工具将得到进一步发展,EDA 技术将朝着 ESDA(Electronic System Design Automation, 电子设计系统自动化)和 CE(Concurrent Engineering, 并行设计工程)的方向发展,并促使 ASIC 和 FPGA 逐步走向融合。

1.2 EDA 软件系统的构成

EDA 工具层出不穷,目前进入我国并具有广泛影响的 EDA 软件有 Altium Designer、OrCAD、PCAD、Protel、Multisim12(原 EWB 的最新版本)、Mentor、Quartus II、MATLAB、

LSIlogic、Cadence、MicroSim 等。这些工具都有较强的功能，一般可用于几个方面，例如很多软件都可以进行电路设计与仿真，同时也可以进行 PCB 自动布局布线，可输出多种网表文件与第三方软件接口。下面按主要功能或主要应用场合，将这些 EDA 工具分为电路设计与仿真工具、PCB 设计软件、IC 设计软件、PLD 设计工具及其他 EDA 软件进行简单介绍。

1.2.1 电子电路设计与仿真工具

电子电路设计与仿真工具包括 SPICE/PSPICE、Multisim、MATLAB、SystemView、MMICAD 等。下面简单介绍前三个软件。

(1) SPICE(Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)软件。这是由美国加州大学推出的电路分析仿真软件，是 20 世纪 80 年代世界上应用最广的电路设计软件，1998 年被定为美国国家标准。1984 年，美国 MicroSim 公司推出了基于 SPICE 的微机版 PSPICE(Personal-SPICE)。现在用得较多的是 PSPICE 9.1，可以说在同类产品中，它是功能最为强大的模拟和数字电路混合仿真 EDA 软件，在国内被普遍使用。最新推出的 PSPICE 17.2 版本，可以进行各种各样的电路仿真、激励建立、温度与噪声分析、模拟控制、波形输出、数据输出，并在同一窗口内同时显示模拟与数字的仿真结果。使用该软件无论对哪种器件、哪些电路进行仿真，都可以得到精确的仿真结果，并可以自行建立元器件及元器件库。

(2) Multisim 软件。这是美国国家仪器(NI)有限公司推出的电子电路仿真与设计的 EDA 工具软件。作为 Windows 下运行的个人桌面电子设计工具，Multisim 是一个完整的集成化设计环境。其最新版本为 Multisim 14，目前普遍使用的是 Multisim 10.0。Multisim 的仿真分析功能中，有一种与真实实验完全类似的方式，就是从仪器工具栏中提取各种虚拟仪器，采用与真实仪器相同的使用方法，连接于创建的电路。然后，打开仿真开关，即可进行各种特定功能的仿真分析。这是它与其他 EDA 软件最大的区别，也是它最受教育界推崇的特点。

(3) MATLAB 产品族。这类软件的一大特性是有众多的面向具体应用的工具箱和仿真块，包含了完整的函数集，用来对图像信号处理、控制系统设计、神经网络等特殊应用进行分析和设计。它具有数据采集、报告生成和 MATLAB 语言编程产生独立 C/C++ 代码等功能。MATLAB 产品族具有下列功能：数据分析，数值和符号计算，工程与科学绘图，控制系统设计，数字图像信号处理，财务工程，建模、仿真、原型开发，应用开发，图形用户界面设计等。MATLAB 产品族被广泛地应用于信号与图像处理、控制系统设计、通信系统仿真等诸多领域。开放式的结构使 MATLAB 产品族很容易针对特定的需求进行扩充，从而在不断深化对问题的认识的同时，提高自身的竞争力。

1.2.2 PCB 设计软件

PCB 设计软件种类很多，如 Protel、Altium Designer、OrCAD、ViewLogic、PowerPCB、Cadence PSD、Mentor Graphics 的 Expedition PCB、Zuken CadStar、Winboard/Windraft/Ivex-SPICE，以及 PCB Studio、TANGO 等。

目前在我国用得最多的应属 Protel，下面仅对此软件作一介绍。

Protel 是 Altium 公司在 20 世纪 80 年代末推出的 CAD 工具,是 PCB 设计者的首选软件。它较早在国内使用,普及率最高,有些高校的电路专业还专门开设 Protel 课程,几乎所有的电路公司都要用到它。早期的 Protel 主要作为印刷板自动布线工具使用,其最新版本是 Altium Designer 16,现在普遍使用的是 Protel 99SE。它是个完整的全方位电路设计系统,包含了电原理图绘制、模拟电路与数字电路混合信号仿真、多层印刷电路板设计(包含印刷电路板自动布局布线)、可编程逻辑器件设计、图表生成、电路表格生成、支持宏操作等功能,并具有 Client/Server(客户/服务器)体系结构,同时还兼容一些其他设计软件的文件格式,如 ORCAD、PSPICE、Excel 等。Protel 使用多层印刷电路板的自动布线,可实现高密度 PCB 的 100%布通率。Protel 软件功能强大、界面友好、使用方便,但它最具代表性的是电路设计和 PCB 设计。

1.2.3 IC 设计软件

IC 设计工具很多,按市场所占份额排行,前三名为 Cadence、Mentor Graphics 和 Synopsys。这三家都是 ASIC 设计领域相当有名的软件供应商。其他公司的软件相对来说使用者较少。中国华大公司也提供 ASIC 设计软件(熊猫 2000);另外近来出名的 Avanti 公司,是原来在 Cadence 的几个华人工程师创立的,他们的设计工具可以全面和 Cadence 公司的工具相抗衡,非常适用于深亚微米的 IC 设计。下面按用途对 IC 设计软件作一介绍。

(1) 设计输入工具。这是任何一种 EDA 软件必须具备的基本功能,像 Cadence 的 Composer, ViewLogic 的 Viewdraw。硬件描述语言 VHDL、Verilog HDL 是主要设计语言,许多设计输入工具都支持 HDL。另外像 Active-HDL 和其他的设计输入方法,包括原理和状态机输入方法,设计 CPLD/FPGA 的工具大都可作为 IC 设计的输入手段,如 Xilinx、Altera 等公司提供的开发工具及 Modelsim FPGA 等。

(2) 设计仿真工具。我们使用 EDA 工具的一个最大好处是可以验证设计是否正确,几乎每个公司的 EDA 产品都有仿真工具。Verilog-XL、NC-verilog 用于 Verilog 仿真,Leapfrog 用于 VHDL 仿真,Analog Artist 用于模拟电路仿真。Viewlogic 的仿真器有 Viewsim 门级电路仿真器、Speedwave VHDL 仿真器、VCS-verilog 仿真器。Mentor Graphics 有其子公司 Model Tech 出品的 VHDL 和 Verilog 双仿真器 ModelSim。Cadence、Synopsys 用的是 VSS(VHDL 仿真器)。现在的趋势是各大 EDA 公司都逐渐用 HDL 仿真器作为电路验证的工具。

(3) 综合工具。综合工具可以把 HDL 变成门级网表。这方面 Synopsys 工具占有较大的优势,它的 Design Compile 是进行综合的工业标准,它还有另外一个产品叫 Behavior Compiler,可以提供更高级的综合。随着 FPGA 设计的规模越来越大,各 EDA 公司又开发了用于 FPGA 设计的综合软件,比较有名的有 Synopsys 的 FPGA Express、Cadence 的 Synplity、Mentor 的 Leonardo,这三家的 FPGA 综合软件占据了市场的绝大部分。

(4) 布局和布线。在 IC 设计的布局布线工具中,Cadence 软件的功能是比较强的,它包含很多产品,可应用于标准单元、门阵列,且已实现交互布线,其中最有名的是 Cadence Spectra。Cadence Spectra 原来应用于 PCB 布线,后来 Cadence 用它来进行 IC 的布线。Cadence Spectra 中的主要工具有 Cell3, Silicon Ensemble——标准单元布线器, Gate Ensemble——

门阵列布线器, Design Planner——布局工具。其他各 EDA 软件开发公司也提供各自的布局布线工具。

(5) 物理验证工具。物理验证工具包括版图设计工具、版图验证工具、版图提取工具等。这方面 Cadence 也是很强的, 其 Dracula、Virtuoso、Vampire 等物理工具有很多的使用者。

(6) 模拟电路仿真器。前面讲的仿真器主要是针对数字电路的, 模拟电路的仿真工具普遍使用 SPICE, 这是唯一的选择, 只不过是选择不同公司的 SPICE 而已, 像 MicroSim 的 PSPICE、Meta Soft 的 HSPICE 等。HSPICE 现在被 Avanti 公司收购了。在众多的 SPICE 中, HSPICE 作为 IC 设计, 它的模型最多, 仿真的精度也最高, 颇受青睐。

1.2.4 PLD 设计工具

PLD(Programmable Logic Device)是一种由用户根据需要自行构造逻辑功能的数字集成电路。PLD 目前主要有两大类型: CPLD(Complex PLD)和 FPGA(Field Programmable Gate Array)。它们的基本设计方法是借助于 EDA 软件, 用原理图、状态机、布尔表达式、硬件描述语言等方法, 生成相应的目标文件, 最后用编程器或下载电缆, 由目标器件实现。生产 PLD 的厂家很多, 但最有代表性的 PLD 厂家为 Altera、Xilinx 和 Lattice 公司。

PLD 的开发工具一般由器件生产厂家提供, 但随着器件规模的不断增加, 软件的复杂度也随之提高, 目前由专门的软件公司与器件生产厂家合作, 推出功能强大的设计软件。下面介绍主要器件生产厂家和开发工具。

(1) Altera。Altera 在 20 世纪 90 年代以后发展很快。主要产品有 MAX3000/7000、FELX6K/10K、APEX20K、ACEX1K、Stratix 等。其开发工具——MAX + plus II 是较成功的 PLD 开发平台, 最新又推出了 Quartus II 开发软件。Altera 公司提供较多形式的设计输入手段, 绑定第三方 VHDL 综合工具, 例如综合软件 FPGA Express、Leonard Spectrum, 以及仿真软件 ModelSim。

(2) Xilinx。Xilinx 是 FPGA 的发明者。Xilinx 产品种类较全, 主要有 XC9500/4000、Coolrunner(XPLA3)、Spartan、Vertex 等系列, 其中的 Vertex-II Pro 器件已达到 800 万门。Xilinx 推出的开发软件有 Foundation 和 ISE。通常来说, 在欧洲用 Xilinx 产品的人较多, 在日本和亚太地区用 Altera 产品的人多, 在美国则是平分秋色。全球 PLD/FPGA 产品 60% 以上是由 Altera 和 Xilinx 提供的。可以讲 Altera 和 Xilinx 共同决定了 PLD 技术的发展方向。

(3) Lattice-Vantis。Lattice 是 ISP(In-System Programmability)技术的发明者, ISP 技术极大地促进了 PLD 产品的发展。与 Altera 和 Xilinx 相比, Lattice 的开发工具比 Altera 和 Xilinx 的略逊一筹, 其中小规模 PLD 比较有特色, 但大规模 PLD 的竞争力还不够强(Lattice 没有基于查找表技术的大规模 FPGA)。1999 年 Lattice 推出可编程模拟器件, 1999 年 Lattice 收购 Vantis(原 AMD 子公司), 成为第三大可编程逻辑器件供应商。2001 年 12 月 Lattice 收购 Agere 公司(原 Lucent 微电子部)的 FPGA 部门, Lattice 的主要产品有 ispLSI 2000/5000/8000、MACH4/5 等。

(4) Actel。Actel 是反熔丝(一次性烧写)PLD 的领导者, 由于反熔丝 PLD 抗辐射、耐高低温、功耗低、速度快, 所以在军品和宇航级市场上有较大优势。Altera 和 Xilinx 则一般不涉足军品和宇航级市场。

(5) QuickLogic。QuickLogic 是专业 PLD/FPGA 公司, 以生产一次性反熔丝工艺产品为主, 在中国地区销售量不大。

(6) Lucent。Lucent 的主要特点是有不少用于通信领域的专用 IP 核, 但 PLD/FPGA 不是 Lucent 的主要业务, 其产品在中国地区使用的人很少。

(7) Atmel。该公司的中小规模 PLD 做得不错。Atmel 也做了一些与 Altera 和 Xilinx 产品兼容的芯片, 但在品质上与原厂家的还是有一些差距, 在高可靠性产品中使用较少, 多用在低端产品上。

(8) Clear Logic。该公司生产与一些著名 PLD/FPGA 大公司兼容的芯片, 这种芯片可将用户的设计一次性固化, 不可编程, 批量生产时的成本较低。

(9) WSI。WSI 生产 PSD(单片机可编程外围芯片)产品。这是一种特殊的 PLD, 如最新的 PSD8xx、PSD9xx 集成了 PLD、EPROM、Flash, 并支持 ISP(在线编程), 集成度高, 主要用于配合单片机工作。

PLD(可编程逻辑器件)是一种可以完全替代 74 系列及 GAL、PLA 的新型电路, 只要有数字电路基础, 并会使用计算机, 就可以进行 PLD 的开发。PLD 的在线编程能力和强大的开发软件, 使工程师在几天, 甚至几分钟内就可完成以往几周才能完成的工作, 并将数百万门的复杂设计集成在一颗芯片内。PLD 技术在发达国家已成为电子工程师必备的技术。

1.2.5 其他 EDA 软件

(1) VHDL, 即超高速集成电路硬件描述语言(VHSIC Hardware Description Language), 是 IEEE 的一种标准设计语言。它源于美国国防部提出的超高速集成电路(Very High Speed Integrated Circuit, VHSIC)计划, 是 ASIC 设计和 PLD 设计的一种主要输入工具。

(2) Verilog HDL, 这是 Verilog 公司推出的硬件描述语言, 在 ASIC 设计方面与 VHDL 平分秋色。

(3) 其他 EDA 软件如专门用于微波电路设计和电力载波的工具、PCB 制作和工艺流程控制等领域的工具等, 在此就不作介绍了。

1.3 硬件描述语言

硬件描述语言(Hardware Description Language, HDL)是一种用于设计硬件电子系统的计算机语言, 是 EDA 技术中的重要组成部分。它用软件编程的方式来描述电子系统的逻辑功能、电路结构和连接形式。与传统的门级描述方式相比, HDL 更适合大规模系统的设计。

1.3.1 HDL 的发展历程

常用的硬件描述语言有 ABEL、VHDL 和 Verilog HDL, 而 VHDL 和 Verilog HDL 是当前最流行的, 并成为 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)标准的硬件描述语言。下面简单介绍一下这几种语言的发展历史。

(1) VHDL, 1982 年由美国国防部推出。1987 年, IEEE 将 VHDL 确定为标准, 称为 IEEE 1076-1987。自 IEEE 公布了 VHDL 的标准版本后, 各 EDA 公司相继推出了自己的 VHDL 设计环境, 或宣布自己的设计工具可以和 VHDL 接口。此后, VHDL 在电子设计领域得到了广泛的应用, 并逐步取代了原有的非标准的硬件描述语言。1993 年, IEEE 公布了 VHDL 的新版本 VHDL 1164, 其中增加了一些新的命令和属性。1996 年, IEEE 1076.3 成为 VHDL 的综合标准。

(2) Verilog HDL, 由 GDA(Gateway Design Automation)公司的 Philip Moorby 在 1983 年末首创, 最初只是设计了一个仿真与验证工具, 之后又陆续开发了相关的故障模拟与时序分析工具。1985 年, Moorby 推出了第三个商用仿真器 Verilog-XL, 从而使 Verilog HDL 迅速得到推广应用。1995 年 12 月, IEEE 制定了 Verilog HDL 的标准 IEEE 1364-1995。2000 年, IEEE 公布了 Verilog 2001 标准, 该标准大幅度地提高了系统级和可综合性能。

(3) ABEL(Advanced Boolean Equation Language, 先进的布尔方程语言), 由美国 DATA/O 公司于 1983—1988 年推出, 用来描述逻辑函数, 可方便设计者使用 PLD 来实现函数功能。它支持各种行为的输入方式, 包括布尔方程、真值表、状态机等表达方式。

1.3.2 HDL 的特点

(1) HDL 支持数字电路的设计、验证、综合和测试, 可以在行为域和结构域对数字系统建模, 并支持这两个域的所有描述层次。

(2) HDL 既是包含一些高级程序设计语言的结构形式, 又是兼顾描述硬件电路连接的具体构件。

(3) HDL 是并发的, 即具有在同一时刻执行多任务的能力。通常, 程序设计语言是串行的, 但在实际硬件中许多操作都是在同一时刻发生的, 所以 HDL 语言具有并发的特征。

(4) HDL 有时序的概念。一般来说, 程序设计语言是没有时序概念的, 但在硬件电路中, 从输入到输出总是有延时存在。为描述这些特征, HDL 需要建立时序的概念。因此, 使用 HDL 除了可以描述硬件电路的功能外, 还可以描述其时序要求。

1.3.3 VHDL 系统设计的特点及优势

作为 IEEE 的一种工业标准, VHDL 具有很多其他硬件描述语言所不具备的优势。其特点如下:

(1) 功能强大, 设计灵活。VHDL 拥有强大的语言结构, 可以用简洁的程序描述复杂的逻辑控制。为了有效地控制设计的实现, 它具有多层次的设计描述功能, 支持设计库和可重复使用的元件生成; 支持层次化设计和模块化设计; 支持各种设计方法, 如自底向上的设计和自顶向下的设计。同时, VHDL 还支持同步、异步和随机电路的设计, 这是其他硬件描述语言难以比拟的。

(2) 与具体器件无关。设计人员采用 VHDL 设计硬件电路时, 并不需要首先确定设计采用哪种器件, 也不需要特别熟悉器件的内部结构。

(3) 很强的移植能力。VHDL 是一种标准的硬件描述语言, 同一个设计的程序可以被不同的工具所支持, 使得设计描述的移植成为可能。

(4) 强大的硬件描述能力。VHDL 具有多层次的设计描述功能, 既可以描述系统级电