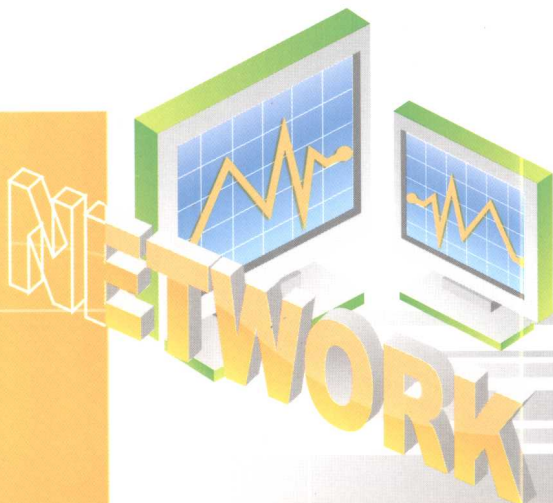




21st CENTURY
实用规划教材

21世纪全国应用型本科 电子通信系列 实用规划教材



EDA技术基础

主 编 赵明富 李立军
副主编 石新锋 沈献博



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材

EDA 技术基础

主 编 赵明富 李立军
副主编 石新锋 沈献博
参 编 张晓莉 李小进



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

EDA 技术是把计算机技术应用于电子电路设计过程的一门新技术,给电子产品的设计、开发带来了革命性的变化。本书以可编程逻辑器件应用为主线,全面介绍了 EDA 技术,内容包括了 EDA 技术概述、可编程逻辑器件、MAX+plus II 软件操作、VHDL 程序设计基础和电路设计实践。本书知识面广、实用性强、重点突出。

本书可作为应用型本科院校电子类、电气类、通信类专业学生的教材或课程设计、毕业设计、科技创新实践的指导用书,也可作为职业技术教育、技术培训及电子产品研发人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

EDA 技术基础/赵明富,李立军主编. —北京:北京大学出版社,2007.6

(21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-11503-9

I. E… II. ①赵… ②李… III. 电子电路—电路设计:计算机辅助设计—高等学校—教材 IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 162674 号

书 名: EDA 技术基础

著作责任者: 赵明富 李立军 主编

策划编辑: 徐 凡

责任编辑: 周宏钦 孙哲伟

标准书号: ISBN 978-7-301-11503-9/TN·0042

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 世界知识印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.5 印张 378 千字

2007 年 6 月第 1 版 2007 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 22.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》

专家编审委员会

主 任 殷瑞祥

顾 问 宋铁成

副主任 (按拼音顺序排名)

曹茂永 陈殿仁 李白萍 王霓虹

魏立峰 袁德成 周立求

委 员 (按拼音顺序排名)

曹继华 郭 勇 黄联芬 蒋学华 蒋 中

刘化君 聂 翔 王宝兴 吴舒辞 阎 毅

杨 雷 姚胜兴 张立毅 张雪英 张宗念

赵明富 周开利

丛书总序

随着招生规模迅速扩大,我国高等教育已经从“精英教育”转化为“大众教育”,全面素质教育必须在教育模式、教学手段等各个环节进行深化改革,以适应大众化教育的新形势。面对社会对高等教育人才的需求结构变化,自20世纪90年代以来,全国范围内出现了一大批以培养应用型人才为主要目标的应用型本科院校,很大程度上弥补了我国高等教育人才培养规格单一的缺陷。

但是,作为教学体系中重要信息载体的教材建设并没有能够及时跟上高等学校人才培养规格目标的变化,相当长一段时间以来,应用型本科院校仍只能借用长期存在的精英教育模式下研究型教学所使用的教材体系,出现了人才培养目标与教材体系的不协调,影响着应用型本科院校人才培养的质量,因此,认真研究应用型本科教育教学的特点,建立适合其发展需要的教材新体系越来越成为摆在广大应用型本科院校教师面前的迫切任务。

2005年4月北京大学出版社在南京工程学院组织召开《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》编写研讨会,会议邀请了全国知名学科专家、工业企业工程技术人员和部分应用型本科院校骨干教师共70余人,研究制定电子信息类应用型本科专业基础课程和主干专业课程体系,并遴选了各教材的编写组成人员,落实制定教材编写大纲。

2005年8月在北京召开了《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》审纲会,广泛征求了用人单位对应用型本科毕业生的知识能力需求和应用型本科院校教学一线教师的意见,对各本教材主编提出的编写大纲进行了认真细致的审核和修改,在会上确定了32本教材的编写大纲,为这套系列教材的质量奠定了基础。

经过各位主编、副主编和参编教师的努力,在北京大学出版社和各参编学校领导的关心和支持下,经过北大出版社编辑们的辛苦工作,我们这套系列教材终于在2006年与读者见面了。

《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》涵盖了电子信息、通信等专业的基础课程和主干专业课程,同时还包括其他非电类专业的电工电子基础课程。

电工电子与信息技术越来越渗透到社会的各行各业,知识和技术更新迅速,要求应用型本科院校在人才培养过程中,必须紧密结合现行工业企业技术现状。因此,教材内容必须能够将技术的最新发展和当今应用状况及时反映进来。

参加系列教材编写的作者主要是来自全国各地应用型本科院校的第一线教师和部分工业企业工程技术人员,他们都具有多年从事应用型本科教学的经验,非常熟悉应用型本科教育教学的现状、目标,同时还熟悉工业企业的技术现状和人才知识能力需求。本系列教材明确定位于“应用型人才”培养目标,具有以下特点:

(1) **强调大基础:**针对应用型本科教学对象特点和电子信息学科知识结构,调整理顺了课程之间的关系,避免了内容的重复,将众多电子、电气类专业基础课程整合在一个统

一的大平台上,有利于教学过程的实施。

(2) **突出应用性:**教材内容编排上力求尽可能把科学技术发展的新成果吸收进来、把工业企业的实际应用情况反映到教材中,教材中的例题和习题尽量选用具有实际工程背景的问题,避免空洞。

(3) **坚持科学发展观:**教材内容组织从可持续发展的观念出发,根据课程特点,力求反映学科现代新理论、新技术、新材料、新工艺。

(4) **教学资源齐全:**与纸质教材相配套,同时编制配套的电子教案、数字化素材、网络课程等多种媒体形式的教学资源,方便教师和学生的教学组织实施。

衷心感谢本套系列教材的各位编著者,没有他们在教学第一线的教改和工程第一线的辛勤实践,要出版如此规模的系列实用教材是不可能的。同时感谢北京大学出版社为我们广大编著者提供了广阔的平台,为我们进一步提高本专业领域的教学质量和教学水平提供了很好的条件。

我们真诚希望使用本系列教材的教师和学生,不吝指正,随时给我们提出宝贵的意见,以期进一步对本系列教材进行修订、完善。

《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》

专家编审委员会

2006 年 4 月

前 言

进入 21 世纪以来,人类全面进入了信息时代。作为信息技术的硬件载体——电子信息产品,正在朝着功能越来越复杂、上市时间越来越紧迫、开发风险性越来越大、集成化智能化程度越来越高的趋势发展。所有这些,给电子系统设计师带来了前所未有的压力,面对技术进步的压力,电子系统设计师需要熟练掌握电子设计自动化(EDA)技术。

EDA 技术是现代各种高新技术和理论发展的必然结果。它的出现,标志着人类在微电子技术领域取得了重大突破。EDA 技术极大地促进了信息技术的发展,加快了人类社会信息化的进程。有专家预言,21 世纪将是 EDA 技术快速发展的时期,它将成为对本世纪产生重大影响的十大科学技术之一。

EDA 技术是指借助计算机在 EDA 软件平台上完成电子产品的电路设计、仿真分析以及印制板设计的全过程。对于较复杂的电路,可利用可编程逻辑器件实现。EDA 技术不仅能对电子电气类基础课程的实验进行仿真和分析,解决实验室在元器件品种、规格和数量上不足的限制,而且能避免学生在实验中损坏元件和仪器,激发其学习兴趣,培养其分析、设计和开发电子产品的能力。

对于电气信息类专业的学生而言,EDA 技术是一项必备的工作技能。为了帮助读者尽快掌握该技术,本书详细介绍了利用 MAX+plus II 和 VHDL 这两种 EDA 工具进行可编程逻辑器件开发的过程。读者通过本书的学习,能掌握最基本的 EDA 技能,为以后走上工作岗位打下坚实基础。

需要说明的是,本书插图中二进制逻辑元件的图形符号仍延用 MAX+plus II 软件所使用的图形符号,即未按国家标准给予修订,以便于读者对照学习,也保持了原软件的风格。

参加本书编写、举例程序调试的教师具有丰富的教学 and 实践经验。其中:沈献博编写了第 1 章和第 4 章的 4.1~4.3,李立军编写了第 2 章,李小进编写了第 3 章,张晓莉编写了第 4 章的 4.4~4.6,赵明富编写了第 5 章的 5.1~5.4,石新锋编写了第 5 章的 5.5~5.10;赵明富和李立军任主编并负责全书的统稿工作,石新锋和沈献博任副主编。

由于 EDA 技术发展迅速,加之作者水平有限,书中难免存在疏漏之处,敬请读者批评指正,并提出修改意见。

编 者

2007 年 3 月

目 录

第 1 章 EDA 技术概述	1
1.1 EDA 技术的含义	1
1.2 EDA 技术的发展概况	2
1.3 EDA 技术的主要内容	3
1.4 EDA 技术的设计流程	4
1.5 EDA 技术的应用展望	6
1.6 数字系统的设计	7
1.6.1 数字系统的设计模型	7
1.6.2 数字系统的设计方法	8
1.6.3 数字系统的设计步骤	8
小结	9
习题	10
第 2 章 可编程逻辑器件	11
2.1 可编程逻辑器件概述	11
2.1.1 PLD 的发展历程	11
2.1.2 PLD 的种类及分类方法	12
2.2 复杂可编程逻辑器件	14
2.2.1 CPLD 的基本结构	14
2.2.2 Altera 公司的器件产品	20
2.3 现场可编程门阵列	34
2.3.1 FPGA 器件的结构	35
2.3.2 配置模式	48
2.3.3 器件性能比较	53
2.4 在系统可编程逻辑器件	55
2.4.1 ispLSI/pLSI 逻辑器件	56
2.4.2 ispLSI/pLSI 1000/E、2000 和 3000 系列逻辑器件	60
2.4.3 ispLSI 5000V、6000 和 8000 系列逻辑器件	62
2.5 FPGA 和 CPLD 的开发应用选择	69
小结	72
习题	73
第 3 章 MAX+plus II 软件操作	74
3.1 概述	74
3.1.1 功能介绍	74

3.1.2	软件安装	75
3.2	MAX+plus II 操作指南	78
3.2.1	基本操作	78
3.2.2	应用实例	89
3.2.3	MAX+plus II 与常见的第三方 EDA 工具的接口	92
3.3	Quartus II 操作指南	93
3.3.1	基本操作	94
3.3.2	应用实例	105
3.3.3	MAX+plus II 设计转换成 Quartus II 设计	109
3.4	系统设计	110
3.4.1	Nios 系统设计简介	110
3.4.2	DSP Builde 设计简介	112
	小结	114
	习题	114
第 4 章	VHDL 程序设计基础	116
4.1	概述	116
4.1.1	常用硬件描述语言简介	116
4.1.2	VHDL 的特点	117
4.1.3	VHDL 程序设计约定	117
4.2	VHDL 程序结构	118
4.2.1	实体	118
4.2.2	结构体	120
4.2.3	库、程序包及配置	122
4.3	VHDL 语言要素	128
4.3.1	VHDL 文字规则	128
4.3.2	VHDL 数据对象	130
4.3.3	VHDL 数据类型	132
4.3.4	运算操作符	143
4.4	VHDL 功能描述方法	147
4.4.1	VHDL 顺序语句	147
4.4.2	VHDL 并行语句	171
4.5	VHDL 描述风格	192
4.5.1	行为描述	192
4.5.2	数据流描述	193
4.5.3	结构描述	194
4.6	状态机的 VHDL 设计	195
4.6.1	状态机的基本结构和功能	195
4.6.2	一般状态机的 VHDL 设计	196

4.6.3 摩尔型有限状态机的设计.....	199
4.6.4 米立型状态机的 VHDL 设计.....	205
小结.....	206
习题.....	207
第 5 章 电路设计实践.....	208
5.1 8 位加法器.....	208
5.1.1 设计原理.....	208
5.1.2 程序设计.....	209
5.1.3 编译、仿真.....	210
5.1.4 下载验证.....	210
5.2 8×8 乘法器.....	211
5.2.1 设计原理.....	211
5.2.2 程序设计.....	212
5.2.3 编译、仿真.....	215
5.2.4 下载验证.....	216
5.3 同步清零的可逆计数器.....	216
5.3.1 设计原理.....	216
5.3.2 程序设计.....	217
5.3.3 编译、仿真.....	218
5.3.4 下载验证.....	218
5.4 可预置、可同步清零的 8 位双向循环移位寄存器设计.....	219
5.4.1 设计原理.....	219
5.4.2 程序设计.....	219
5.4.3 编译、仿真.....	220
5.4.4 下载验证.....	220
5.5 电子琴硬件电路设计.....	221
5.5.1 设计原理.....	221
5.5.2 程序设计.....	222
5.5.3 编译、仿真.....	224
5.5.4 下载验证.....	224
5.6 交通灯控制器设计.....	225
5.6.1 设计原理.....	225
5.6.2 程序设计.....	226
5.6.3 编译、仿真.....	227
5.6.4 下载验证.....	227
5.7 8 位十进制数字频率计.....	228
5.7.1 设计原理.....	228
5.7.2 程序设计.....	230

5.7.3 编译、仿真	232
5.7.4 下载验证	233
5.8 串行数据检测器	235
5.8.1 设计原理	235
5.8.2 程序设计	235
5.8.3 编译、仿真	236
5.8.4 下载验证	237
5.9 智能函数信号发生器	237
5.9.1 设计原理	237
5.9.2 程序设计	238
5.9.3 编译、仿真	242
5.9.4 下载验证	243
5.10 秒表	243
5.10.1 设计原理	243
5.10.2 程序设计	244
5.10.3 编译、仿真	247
5.10.4 下载验证	248
小结	248
习题	248
参考文献	250

第 1 章 EDA 技术概述

教学提示: 电子设计自动化(EDA)技术是计算机软件技术在电子工程技术领域的一项重要应用。

教学要求: 本章主要让学生了解 EDA 技术的内涵及特点,了解 EDA 技术的设计流程和发展状况。学习重点为 EDA 技术的设计方法。

1.1 EDA 技术的含义

EDA 技术即电子设计自动化技术(Electronics Design Automatic)是在电子电路 CAD 技术的基础上发展起来的计算机软件系统,它是计算机软件技术、信息技术、计算机辅助制造(CAD)、计算机辅助测试(CAT)等多种技术发展到一定阶段的产物。EDA 技术的内涵是指以大规模可编程逻辑器件为设计载体,以硬件描述语言为系统逻辑描述的主要表达方式,以计算机、大规模可编程逻辑器件的开发软件及实验开发系统为设计工具,通过有关的开发软件,自动完成用软件方式设计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、逻辑布局布线、逻辑仿真,直至对于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的一门新技术。

作为提高国际竞争力的一种重要手段,利用 EDA 技术进行电子系统的设计,具有以下几个重要的特点:

- (1) 用编写程序的方式描述设计对象的功能,从而实现硬件设计。
- (2) 用软件方式设计的系统到硬件系统的转换是由有关的开发软件自动完成的。
- (3) 设计过程中可用有关软件进行各种仿真。
- (4) 系统可现场编程,在线升级。
- (5) 整个系统可集成在一个芯片上,具有体积小、功耗低、可靠性高等特点。

EDA 技术的出现和不断的发展,使得设计者可以利用可编程逻辑器件供应的软件平台,在自己的实验室或工作室里定做出有着自主知识产权的集成电路芯片,而不需要再到半导体加工企业进行流片工艺,大大提高了设计的灵活性,缩短了产品开发周期。

21 世纪的电子工程师,如果不会 EDA 技术,那就像 20 世纪 80 年代的电子工程师不会利用 protel 制板一样,空有满腹数字系统设计妙想,却无法迅速地付诸实施。

大力普及 EDA 技术的应用,是提高我国自主创新能力、实现由“中国制造”向“中国创造”跨越的需要,同时也是提高电子产品智能化水平和全社会信息化水平,节约社会资源,提高生产效率的需要。

1.2 EDA 技术的发展概况

自 20 世纪 80 年代计算机辅助设计技术问世以来,其伴随着计算机技术、集成电路技术、电子系统设计技术的发展,经历了计算机辅助设计(Computer Assist Design, CAD)、计算机

辅助工程设计(Computer Aided Engineering, CAE)和电子设计自动化(Electronic Design Automation, EDA)三个发展阶段,其中 CAD 和 CAE 技术只能算是简单的计算机辅助设计,而 EDA 技术才真正反映了这个时代电子设计自动化技术的核心和实质。

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,即硬件的设计大量选用中、小规模标准集成电路。而且电子系统硬件设计的自动化、智能化程度都很低,电子 CAD 系统功能比较简单。经过一段时间的发展,其功能大幅度上升,除了纯粹的图形绘制功能外,还把电路的功能设计和结构设计通过电气连接网络表结合在一起,实现了工程设计,这就是 CAE 的概念。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。

伴随着微电子技术的进步,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 $0.13\mu\text{m}$,并还在不断地缩小;在硅片单位面积上,集成了更多的晶体管。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。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,以软件编程和程序下载的方式实现电子系统功能。由于专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit, ASIC)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 技术。而到了 20 世纪 90 年代后期,随着硬件描述标准化得到进一步的确立,计算机辅助工程、辅助分析、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也不断提高,从而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进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 工具已经能够进行设计描述、综合与优化和设计结果验证等工作。EDA 工具的发展,又为设计师提供了全线 EDA 工具,目的是在设计前期将设计师从事的许多高层次设计工作由工具来完成,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。在 EDA 平台上,依赖功能强大的计算机,对以硬件描述语言(Hardware Description Language, HDL)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、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,直至实现既定的电子线路系统硬件功能。这就使得设计师逐步从使用电子元器件设计电路,转向直接设计构成电子系统的硬件。这时的 EDA 工具不仅具有电子系统设计的能力,而且能够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 和 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,才可能使电子系统工程在不熟悉各种半导体工艺的情况下,完成电子系统的设计。

进入 21 世纪后, EDA 技术得到了更大的发展, 突出表现在:

(1) 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(IP 即 Intellectual Property, 即知识产权的简称), 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) 电子技术全方位纳入 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, 比如软件无线电技术的崛起、模拟电路系统硬件描述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施方案的普遍接受、软硬件技术的进一步融合等。

(3) EDA 使得电子领域各学科的界限更加模糊, 更加互为包容, 比如模拟与数字、软件与硬件、系统与器件、ASIC 与 FPGA、行为与结构等。

(4) 基于 EDA 工具的 ASIC 设计标准单元已涵盖大规模电子系统及 IP 核模块。

(5) SoC 高效低成本设计技术的成熟。

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, 严格地说, EDA 技术应该是微电子技术和现代电子设计技术的结合。微电子技术代表了物理层在广度和深度上硬件电路实现的发展, 现代电子设计技术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。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(Very-High-Speed Integrated Circuit Hardware Description Language)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, EDA 技术将是 21 世纪产生重大影响的技术之一。

1.3 EDA 技术的主要内容

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、数字信号处理设计、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, 纵观许多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, 或某种新的技术, 应该是一门综合性学科。它融合了多学科于一体, 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, 可大致将 EDA 技术的发展分为三个

阶段。

20 世纪 70 年代, 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, 集成电路设计制作进入了 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。在 80 年代末, 出现了现场可编程门阵列(Field Programmable Gate Array, FPGA), 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出现、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。

1.4 EDA 技术的设计流程

电子系统的设计就像建造一栋楼房一样, 也需要进行对用户进行调查、综合设计、仿真、制造成电子电路、检测、直至最后成为电子产品。传统的电子系统设计技术通常是自底向上的, 即首先确定构成系统的最底层的电路模块或元件的结构和功能, 然后根据主系统的功能要求, 将它们组合成更大的功能块, 使它们的结构和功能满足高层系统的要求, 以此流程, 逐步向上递推, 直至完成整个目标系统的设计, 最后搭建电路、检测测试, 直到符合设计要求。

对于一般的数字系统的设计, 如果采用自底向上的设计方法, 必须首先根据设计者的要求决定使用什么器件类别和规格, 比如 74 系列的器件、某种门电路、某种 RAM 和 ROM、某类单片机以及某些专用功能芯片等; 然后根据设计要求构成多个具体功能模块, 如信号系统模块、数据采集控制模块、信号处理模块、数据存储和数据交换的接口模块等, 直至最后利用这些功能模块完成整个系统的设计。在这个过程中, 任何一级发生问题, 通常都不得不返工重来。

可见自底向上的设计方法的特点是必须首先关注并致力于解决系统最底层硬件的可获得性, 以及它们的功能特性方面的诸多细节问题; 而且要始终顾及具体目标器件的技术细节。在这个设计过程中的任一时刻, 最底层目标器件的更换, 或某些技术参数不满足总体要求, 或缺货, 或由于市场竞争的变化, 临时提出降低系统成本, 提高运行速度等不可预测的外部因素, 都将可能使前面的工作前功尽弃, 工作又得从新开始。

实际上, 在某些情况下, 自底向上的设计方法是一种低效、低可靠性、费时费力且成本高昂的设计方法。

对于目标器件为 FPGA 和 CPLD 的 VHDL 设计, 其设计方法采用自顶向下的设计方法。因为, 自顶向下设计方法的有效应用必须基于功能强大的 EDA 工具、具备集系统描述、行为描述和结构描述功能为一体的 VHDL, 以及先进的 ASIC 制造工艺和 FPGA 开发技术。这些工具和先进的开发技术, 在目前都已经开始运用, 并且逐步走向成熟。所以在现在, 自顶向下的设计方法已经是 EDA 的首选设计方法, 是 ASIC 或 FPGA 开发的主要设计手段。

应用 VHDL 进行自上而下的设计,就是使用 VHDL 模型在所有综合级别上对硬件设计进行说明、建模和仿真测试。自顶向下的设计方法能使系统被分解为各个模块的集合之后,可以对设计的每个独立模块指派不同的工作小组。这些小组可以工作在不同地点,甚至可以分属不同的单位,最后将不同的模块集成为最终的系统模型,并对其进行综合测试和评价。

自顶向下设计流程,包括如下设计阶段:

(1) 提出设计说明书。即用自然语言表达系统项目的功能特点和技术参数等。

(2) 建立 VHDL 行为模型。就是用一定的逻辑手段将设计说明书表达出来,即转化为 VHDL 行为模型。结合到 VHDL 行为模型描述,就是要进行源程序的编辑和编译。在这一项目的表达中,可以使用 IEEE 标准的 VHDL 的所有语句而不必考虑可综合性。这一建模行为的目的是通过 VHDL 仿真器对整个系统进行系统行为仿真和性能评估。利用 EDA 技术进行一项工程设计,首先需要利用 EDA 工具的文本编辑器或图形编辑器将它用文本方式或图形方式表达出来,进行排错编译,变成 VHDL 文件格式,为进一步的逻辑综合做准备。

源程序输入方式常用的有 4 种:

① 原理图输入方式。利用 EDA 工具提供的图形编辑器以原理图的方式进行输入。原理图输入方法比较容易掌握,而且直观方便,所画的电路原理图与传统的元器件连接方式完全一样。在编辑器中有许多现成的单元器件可以利用,自己也可以根据需要设计元件。但是原理图输入法有它的优点的同时也有它的缺点:伴随着设计规模的增大,原理图设计的易读性很差,对于图中密密麻麻的电路边线,极难搞清电路的实际功能;一旦完成,电路结构的改变将是十分的困难,因而没有可再利用的设计模块;移植困难、交流困难、设计交付困难,因为不存在一个标准化的原理图编辑器。

② 状态图输入方式。以图形的方式表示状态图进行输入。当填好时钟信号名、状态转换条件、状态机类型等要素后,就可以自动生成 VHDL 程序。这种设计方式可以简化状态机的设计。

③ VHDL 软件文本输入方式。最一般化、最具普遍性的输入方法,任何支持 VHDL 的 EDA 工具都支持文本的编辑和编译。文本的输入方式,完全克服了原理图输入方式的缺点,便于修改,便于阅读,很容易移植,设计模块可以再利用,而且都完全遵循 IEEE 的标准。

④ 波形图输入方式。是以电路的时序图的方式表示电路的结构流程。

在行为模型的建立过程中,如果最终的系统中包括目标 ASIC 或 FPGA 以外的电路器件,如 RAM、ROM、接口器件或某种单片机,也同样能建立一个完整统一的系统行为模型而进行整体仿真。这是因为可以根据这些外部器件的功能特性设计出 VHDL 的仿真模型;然后将它们并入主系统的 VHDL 模型中。现有的 PCI 总线模型大多是既可仿真,又可综合的。

(3) 逻辑仿真。逻辑仿真分为行为仿真、VHDL-RTL 级建模、前端功能仿真。VHDL 行为仿真这一阶段可以利用 VHDL 仿真器(如 ModelSim)对顶层系统的行为模型进行仿真测试,检查模拟结果,继而进行修改和完善。这一过程与最终实现的硬件没有任何关系,也不考虑硬件实现中的细节,测试结果主要是对系统纯功能行为的考察,其中许多 VHDL 的语句表达主要是为了解系统各种条件下的功能特性,而不可能用真实的硬件来实现。

(4) 逻辑综合。使用逻辑综合工具将 VHDL 行为级描述转化为结构化的门级电路。在

ASIC 设计中, 门级电路可以由 ASIC 库中的基本单元组成。

(5) 测试向量生成。对 ASIC 的测试向量文件是综合器结合含有版图硬件特性的工艺库后产生的, 用于对 ASIC 的功能测试。

(6) 功能仿真和结构综合。利用获得的测试向量对 ASIC 的设计系统的子系统的功能进行仿真。综合产生表达逻辑连接关系的网表文件, 结合具体的目标硬件进行标准单元调用、布局、布线和满足约束条件的结构优化配置。

(7) 时序仿真。在计算机上了解更接近硬件目标器件工作的功能时序。对于 ASIC 设计, 被称布局后仿真。在这一步, 将带有从布局布线得到的精确时序信息映射到门级电路重新进行仿真, 以检查电路时序, 并对电路功能进行最后检查。

(8) 硬件测试。所谓的硬件测试, 就是 FPGA 或 CPLD 直接用于应用系统的设计中, 将下载文件下载到 FPGA 后, 对系统的设计进行的功能检测的过程。这是对最后完成的硬件系统(如 ASIC 或 FPGA)进行检查和测试。

与其他的硬件描述语言相比, VHDL 具有较强的行为仿真级与综合的建模功能, 这种能远离具体硬件, 基于行为描述方式的硬件描述语言恰好满足典型的自顶向下设计方法, 因而能顺应 EDA 技术发展的趋势, 解决现代电子设计应用中出现的各类问题。

1.5 EDA 技术的应用展望

随着市场对 EDA 技术需求的高速增长, 集成电路工艺技术水平的可行性以及计算机自动设计技术的不断提高, 促使系统集成芯片成为 IC 设计的发展方向。因此市场对电子产品也提出了更高的要求, 如必须降低电子系统的成本, 减小系统的体积等, 从而对系统的集成度不断提出更高的要求; 高性能的 EDA 工具得到长足的发展, 其自动化和智能化程度不断提高, 为嵌入式系统设计提供了功能强大的开发环境; 计算机硬件平台性能大幅度提高, 为复杂的 SoC 设计提供了物理基础, 从而促使了 EDA 技术的高速发展和应用。

1. EDA 技术将广泛应用于专用集成电路的开发

社会的需求和 EDA 技术的进一步发展, 促使了可编程芯片如 FPGA/CPLD 的制造厂家能够按照一定的规格以通用器件形式大量生产, 用户按照自己的需求从市场上选购这些通用器件, 然后按照自己的要求通过系统级设计语言、电路行为级的硬件描述语言编程下载实现专用集成电路的功能。目前, 我国的集成电路制造技术与世界先进的集成电路制造技术尚有一定的差距, 开发自主知识产权的专用集成电路, 已经成为相关专业技术人员的重要任务。

2. EDA 技术将广泛应用于具有自主知识产权的新产品的开发中

随着微电子技术更进一步的发展, 可编程逻辑器件性能价格比也在不断的提高, EDA 技术开发软件的功能也在不断的完善。而 EDA 技术具有用软件的方式设计硬件的特点, 所以可用有关软件进行各种仿真, 还有系统可现场编程、在线升级, 能够使得整个系统集成在一个芯片上等特点, 这将使得 EDA 技术广泛应用于具有自主知识产权的新产品的开发工作中。如: 我国具有自主知识产权的龙芯一号、龙芯二号的 CPU 设计, 就是采用了 EDA 技术中的 FPGA 芯片, 并通过硬件描述语言的编程下载, 实现了该电路的设计生产。