

21世纪高职高专规划教材 电气、自动化、应用电子技术系列

朱小祥 游家发 主编

EDA技术与应用

清华大学出版社

21世纪高职高专规划教材 电气、自动化、应用电子技术系列

EDA技术与应用

朱小祥 游家发 主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书从应用的角度出发,首先介绍了 EDA 技术的基本概念、应用特点、可编程逻辑器件、硬件描述语言 VHDL 及常用逻辑单元电路的 VHDL 编程技术;然后以 EDA 应用为目的,通过 EDA 实例详细介绍了 EDA 技术的开发过程、开发工具软件 Quartus II 的使用、EDA 工程中典型的设计实例;最后介绍了 EDA 最小系统板的设计,使读者对其硬件有一个较充分的认识。本书各章节均配有习题及设计实例练习,便于读者学习和教学使用。书中程序考虑学生学习的多样性,在不同的 EDA 开发板上通过验证调试。

本书注重精讲多练,先进实用,可作为高职高专院校应用电子技术、电子信息技术等专业的教材,也可作为相关技术人员的设计参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

EDA 技术与应用/朱小祥,游家发主编. —北京:清华大学出版社,2012.7

(21 世纪高职高专规划教材. 电气、自动化、应用电子技术系列)

ISBN 978-7-302-28695-0

I. ①E… II. ①朱… ②游… III. ①电子电路—电路设计—计算机辅助设计—高等职业教育—教材 IV. ①TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 084700 号

责任编辑:刘青

封面设计:傅瑞学

责任校对:刘静

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:三河市君旺印装厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:18 字 数:412 千字

版 次:2012 年 7 月第 1 版 印 次:2012 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:36.00 元

产品编号:042392-01

出版说明

高职高专教育是我国高等教育的重要组成部分,担负着为国家培养并输送生产、建设、管理、服务第一线高素质技术应用型人才的重任。

进入 21 世纪后,高职高专教育的改革和发展呈现出前所未有的发展势头,学生规模已占我国高等教育的半壁江山,成为我国高等教育的一支重要的生力军;办学理念上,“以就业为导向”成为高等职业教育改革与发展的主旋律。近两年来,教育部召开了三次产学研交流会,并启动四个专业的“国家技能型紧缺人才培养项目”,同时成立了 35 所示范性软件职业技术学院,进行两年制教学改革试点。这些举措都表明国家正在推动高职高专教育进行深层次的重大改革,向培养生产、建设、管理、服务第一线真正需要的应用型人才的方向发展。

为了顺应当前我国高职高专教育的发展形势,配合高职高专院校的教学改革和教材建设,进一步提高我国高职高专教育教材质量,在教育部的指导下,清华大学出版社组织出版了“21 世纪高职高专规划教材”。

为推动规划教材的建设,清华大学出版社组织并成立了“高职高专教育教材编审委员会”,旨在对清华版的全国性高职高专教材及教材选题进行评审,并向清华大学出版社推荐各院校办学特色鲜明、内容质量优秀的教材选题。教材选题由个人或各院校推荐,经编审委员会认真评审,最后由清华大学出版社出版。编审委员会的成员皆来自教改成效大、办学特色鲜明、师资实力强的高职高专院校、普通高校以及著名企业,教材的编写者和审定者都是从事高职高专教育第一线的骨干教师和专家。

编审委员会根据教育部最新文件和政策,规划教材体系,比如部分专业的两年制教材;“以就业为导向”,以“专业技能体系”为主,突出人才培养的实践性、应用性的原则,重新组织系列课程的教材结构,整合课程体系;按照教育部制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”,教材的基础理论以“必要、够用”为度,突出基础理论的应用和实践技能的培养。

本套规划教材的编写原则如下:

- (1) 根据岗位群设置教材系列,并成立系列教材编审委员会;
- (2) 由编审委员会规划教材、评审教材;
- (3) 重点课程进行立体化建设,突出案例式教学体系,加强实训教材的出版,完善教学服务体系;
- (4) 教材编写者由具有丰富的教学经验和多年实践经历的教师共同组成,建立“双师型”编者体系。

本套规划教材涵盖了公共基础课、计算机、电子信息、机械、经济管理以及服务等大类的主要课程,包括专业基础课和专业主干课。目前已经规划的教材系列名称如下:

• 公共基础课

公共基础课系列

• 计算机类

计算机基础教育系列

计算机专业基础系列

计算机应用系列

网络专业系列

软件专业系列

电子商务专业系列

• 电子信息类

电子信息基础系列

微电子技术系列

通信技术系列

电气、自动化、应用电子技术系列

• 机械类

机械基础系列

机械设计与制造专业系列

数控技术系列

模具设计与制造系列

• 经济管理类

经济管理基础系列

市场营销系列

财务会计系列

企业管理系列

物流管理系列

财政金融系列

国际商务系列

• 服务类

艺术设计系列

本套规划教材的系列名称根据学科基础和岗位群方向设置,为各高职高专院校提供“自助餐”形式的教材。各院校在选择课程需要的教材时,专业课程可以根据岗位群选择系列;专业基础课程可以根据学科方向选择各类的基础课系列。例如,数控技术方向的专业课程可以在“数控技术系列”选择;数控技术专业需要的基础课程,属于计算机类课程的可以在“计算机基础教育系列”和“计算机应用系列”选择,属于机械类课程的可以在“机械基础系列”选择,属于电子信息类课程的可以在“电子信息基础系列”选择。依此类推。

为方便教师授课和学生学习,清华大学出版社正在建设本套教材的教学服务体系。本套教材先期选择重点课程和专业主干课程,进行立体化教材建设:加强多媒体教学课件或电子教案、素材库、学习盘、学习指导书等形式的制作和出版,开发网络课程。学校在选用教材时,可通过邮件或电话与我们联系获取相关服务,并通过与各院校的密切交流,使其日臻完善。

高职高专教育正处于新一轮改革时期,从专业设置、课程体系建设到教材编写,依然是新课题。希望各高职高专院校在教学实践中积极提出意见和建议,并向我们推荐优秀选题。反馈意见请发送到 E-mail: gzgz@tup. tsinghua. edu. cn。清华大学出版社将对已出版的教材不断地修订、完善,提高教材质量,完善教材服务体系,为我国的高职高专教育出版优秀的高质量的教材。

高职高专教育教材编审委员会

前言

EDA 技术与应用

EDA(Electronic Design Automation)即电子设计自动化,是以可编程逻辑器件(PLD)为载体,以计算机为工作平台,以 EDA 工具软件为开发环境,以硬件描述语言(HDL)为电子系统功能描述方式,以电子系统设计为应用方向的电子设计自动化,已经发展成为电子系统设计者完成电子系统设计的重要工具。

EDA“自顶向下”的系统设计理念,使设计人员摆脱了电路细节的束缚,可以直接针对设计目标进行功能描述,并进行功能框图的划分和结构设计,而且能在框图一级进行仿真、纠错、验证,从而避免了浪费,提高了一次设计的成功率,降低了系统开发的风险。EDA 可编程逻辑器件设计,使设计人员在完成版图设计后,能在实验室内烧制芯片,大大缩短了系统的开发周期。EDA 硬件描述语言是一种用于设计硬件电子系统的计算机语言。它通过软件编程来描述电子系统的逻辑功能、电路结构和连接形式,灵活方便,简洁明确,而且便于设计结果的交流、保存和重用;同时,用 EDA 硬件描述语言描述的设计不依赖于特定的器件,方便了工艺的转换,可移植性好,更利于系统智能化程度的提高。随着 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凸显。

本书根据不断发展的 EDA 技术以及编者多年的教学经验和工程实践,并在参阅同类教材和相关文献的基础上编写完成。本书在内容结构、基本概念、应用实例等方面的安排和取舍上,既考虑了 EDA 技术理论的系统性、完整性和简洁性,又注重了 EDA 技术教学的可操作性和实践性,尽量做到用理论指导电子设计实践,用设计实例验证理论技术,实现了理论与实践的有机结合,并利用多块不同的 EDA 开发板验证设计,使学生从不同的角度进行设计验证。

本书共有 8 章,第 1 章对 EDA 技术的基本知识、常用的 EDA 软件开发工具及其使用方法等进行简要介绍;第 2 章按照可编程逻辑器件的发展历程对其结构原理进行简要介绍;第 3 章以实例为主介绍 VHDL 的语法要素、描述方式以及利用 VHDL 设计逻辑电路的基本思想方法;第 4 章以图形说明、实例佐证的方式对 EDA 工具软件 Quartus II 的使用方法进行较详尽的介绍;第 5 章以实例为主介绍用 VHDL 实现常用逻辑电路的设计;第 6 章通过实例介绍有限状态机的 VHDL 设计;第 7 章通过工程实例介绍 EDA 技术的典型工程应用设计;第 8 章针对笔者多年的教学及实践,较详细地介绍 EDA 最小开发系统的实物设计,从而使读者初步了解其 EDA 设计的硬件知识。本书在取材和编

排上,由浅入深,循序渐进,便于读者学习和教学使用。各章节中所列举的 VHDL 设计实例都经由 EDA 工具 Quartus II 编译通过,并在 EDA 开发系统上进行了硬件测试,可直接使用或稍做修改用于相关系统的设计。

本书由朱小祥、游家发担任主编,张成军、高锋参编。其中,第 1 章、第 5 章、第 6 章由游家发编写;第 2 章由高锋编写;第 4 章由张成军编写;第 3 章、第 7 章、第 8 章由朱小祥编写。朱小祥负责全书统筹设计,朱小祥、游家发负责上机验证并制作教材配套视频。

由于作者水平有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,敬请广大读者和专家批评指正。

编 者

2012 年 3 月

目 录

EDA 技术与应用

第 1 章 绪论	1
1.1 EDA 技术的发展.....	1
1.2 EDA 技术的内容.....	4
1.3 EDA 设计流程.....	6
1.4 EDA 设计方法.....	8
1.5 习题.....	10
第 2 章 可编程逻辑器件	11
2.1 可编程逻辑器件基本结构.....	11
2.2 PAL 和 GAL 器件.....	14
2.2.1 PROM 和 PLA.....	14
2.2.2 PAL 器件基本结构.....	16
2.2.3 GAL 器件基本结构.....	17
2.3 CPLD 基本结构.....	19
2.3.1 CPLD 基本结构.....	19
2.3.2 CPLD 典型器件.....	21
2.4 FPGA 基本结构.....	24
2.4.1 FPGA 基本结构.....	24
2.4.2 FPGA 典型器件.....	32
2.5 习题.....	34
第 3 章 VHDL 硬件描述语言	35
3.1 VHDL 简介.....	35
3.1.1 VHDL 的发展及特点.....	36
3.1.2 传统设计与 VHDL 设计对照.....	36
3.2 VHDL 程序的基本结构.....	37
3.2.1 VHDL 程序的基本单元与构成.....	37

3.2.2	实体	39
3.2.3	结构体	42
3.2.4	库、程序包和配置	44
3.3	VHDL 的语法要素	53
3.3.1	VHDL 的文字规则	53
3.3.2	VHDL 的数据对象	56
3.3.3	VHDL 的数据类型	61
3.3.4	运算操作符	76
3.4	VHDL 结构体的描述方式	82
3.5	顺序描述语句	87
3.5.1	赋值语句	87
3.5.2	流程控制语句	90
3.5.3	wait 语句	96
3.5.4	子程序调用语句	97
3.5.5	返回语句(return)	99
3.5.6	空操作语句(null)	99
3.5.7	断言语句(assert)	100
3.6	并行描述语句	100
3.7	属性描述语句	108
3.8	习题	110
第 4 章	EDA 开发工具	114
4.1	Quartus II 设计向导	114
4.2	Quartus II 设计输入	122
4.2.1	原理图设计输入	122
4.2.2	文本设计输入	128
4.2.3	混合输入	130
4.3	Quartus II 设计编译	131
4.3.1	设计综合	131
4.3.2	认识编译器窗口	132
4.3.3	编译选项设置	132
4.3.4	全编译	135
4.4	Quartus II 设计仿真	136
4.4.1	创建波形文件	136
4.4.2	仿真参数设置	139
4.4.3	波形仿真	141
4.4.4	应用 RTL 电路图观察器	143
4.4.5	引脚分配	144

4.5	器件编程	145
4.6	技能训练	147
4.7	习题	150
第 5 章	基本逻辑电路 VHDL 设计	152
5.1	组合逻辑电路设计	152
5.1.1	基本逻辑门电路设计	152
5.1.2	编码器设计	153
5.1.3	译码器设计	154
5.1.4	数据选择器设计	156
5.1.5	三态门电路设计	157
5.1.6	加法器电路设计	158
5.2	时序逻辑电路设计	161
5.2.1	触发器设计	161
5.2.2	移位寄存器设计	164
5.2.3	计数器设计	165
5.2.4	分频器设计	167
5.3	习题	170
第 6 章	有限状态机 VHDL 设计	172
6.1	有限状态机概述	172
6.2	有限状态机 VHDL 设计	172
6.3	Moore 型状态机设计	174
6.4	Mealy 型状态机设计	176
6.5	基于 Quartus II 状态机的设计	179
6.5.1	建立工程文件	179
6.5.2	输入状态机	179
6.6	有限状态机应用实例——循环彩灯控制器	186
6.7	习题	188
第 7 章	数字系统 VHDL 设计	190
7.1	篮球 24s 倒计时器设计	190
7.1.1	工程说明	190
7.1.2	设计方案	190
7.1.3	工程实现	195
7.1.4	EPM240CPLD 开发板验证	198
7.2	4 路抢答器设计	203
7.2.1	工程说明	203

7.2.2	设计方案	203
7.2.3	工程实现	209
7.3	音乐发生器设计	211
7.3.1	工程说明	211
7.3.2	设计方案	211
7.3.3	工程实现	213
7.4	流水灯 ROM 定制设计	218
7.4.1	工程说明	218
7.4.2	设计方案	221
7.4.3	工程实现	221
7.5	8×8 点阵文字滚动设计	227
7.5.1	项目说明	227
7.5.2	设计方案	227
7.5.3	项目实现	236
7.6	数字频率计设计	237
7.6.1	项目说明	237
7.6.2	设计方案	239
7.6.3	项目实现	239
7.7	习题	247
第 8 章	EDA 最小系统板设计	249
8.1	设计概述	249
8.1.1	电路图设计	251
8.1.2	电路板设计	256
8.2	FPGA 最小系统板数码管译码设计	259
8.2.1	动态 7 段数码管的硬件描述	259
8.2.2	构建 SOPC 系统	265
8.2.3	编写 Nios 软件程序	267
8.3	正弦波信号发生器设计	269
	参考文献	276

绪 论

EDA(Electronic Design Automation)技术是近几年飞速发展起来的计算机软件、硬件和微电子交叉的现代电子设计学科,是现代电子工程领域的一门新技术。本章通过 EDA 技术的发展、EDA 技术的内容、EDA 设计流程以及 EDA 设计方法等几个方面的介绍,使大家对 EDA 技术有一个初步的了解和较为完整的认识。

1.1 EDA 技术的发展

EDA 技术是以可编程逻辑器件(PLD)为物质基础,以计算机为工作平台,以 EDA 工具软件为开发环境,以硬件描述语言(HDL)作为电子系统功能描述的主要方式,以电子系统设计为应用方向的电子产品自动化设计过程。EDA 技术的出现,极大地提高了电路设计的效率和可行性,减轻了设计者的劳动强度。

1. EDA 技术的特点

利用 EDA 技术设计电子系统具有以下几个特点。

(1) 在电子系统设计中所使用的 EDA 软件基本都符合“自顶向下”的设计流程的理念。

(2) 通过使用相应的电路分析和设计软件,完成电子系统部分或者整体的设计。

(3) 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。

(4) 设计过程中可用相关软件进行各种仿真。

(5) 系统可现场编程,在线升级。

(6) 整个系统可集成在一个芯片上,体积小、功耗低、可靠性高。

2. EDA 技术的发展阶段

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, CAD)、计算机辅助工程设计(Computer Assist Engineering, CAE)和电子设计自动化(Electronic Design Automation, EDA)3 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,硬件设计进入发展的初级阶段,初级阶段的硬件设计大量选用中小规模集成电路,人们将这些器件焊接在电路板上,做成板级电子系

统,对电子系统的调试是在组装好的印制电路板(Printed Circuit Board,PCB)上进行的。与分立元件为基础的早期设计阶段不同,初级阶段硬件设计的器件选择是各种逻辑门、触发器、寄存器和编码译码器等集成电路,设计师只要熟悉各种集成电路制造厂商提供的标准电路产品说明书,并掌握 PCB 布图工具和一些辅助性的设计分析工具,就可从事设计活动。

传统的手工布线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。EDA 技术发展初期,PCB 布图布线工具受到计算机工作平台的制约(计算机性能的限制),能支持的设计工作有限且性能比较差,效率较低。

(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、集成几十万直到上百万存储单元的随机存取存储器(RAM)和只读存储器(ROM)。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。

20 世纪 80 年代初的 EDA 工具主要以逻辑模拟、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验等问题。到了后期,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。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重复劳动,那么 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设计工作,为成功开发电子产品创造了有利条件。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) 20 世纪 90 年代电子设计自动化(EDA)阶段。为了满足不同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,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 工具的发展,又为设计师提供了全线电子系统设计自动化工具。这个阶段发展起来的 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由工具来做,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,利用微电子厂家提供的设计库完成数万门专用集成电路(ASIC)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(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(如 VHDL、AHDL 或 Verilog-HDL),同时含有各种工艺标准元件库。只有具有上述功能的 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。

(4) 进入 21 世纪后 EDA 技术的发展趋势。随着新一代 FPGA 芯片工艺和设计方法的进步及新的应用领域和市场需求的变化,EDA 技术也有突飞猛进的发展,总的趋势可以概括为:跨越器件组,甚至公司界限,越来越人性化的设计,越来越高的优化水平,越来越快的仿真速度,越来越高的仿真精度以及完备的分析验证手段。

① 一体化工具和 IP 是发展方向。一体化工具使用户受益于一个统一的用户界面,避免了在不同的工具间进行数据转换等烦琐的操作。目前,各大 EDA 工具供应商分别推出了集成众多工具在内的一体化设计工具,同时也在分别推出各自的标准数据库,以进一步简化设计流程。未来先进的 IC 设计平台将整合各个公司的众多工具,覆盖了从设计编译、布局编译、物理编译、DFT 编译以及硅片制造的全部流程。同时还在内部集成了向第三方开放的数据库,将不同设计阶段中的数据、时序、计算以及种种约束条件协调起来,将集成新的模拟和混合信号设计工具,加强利用 EDA 工具进行模拟电路设计的能力。

IP 的合理应用是加速产品设计流程的一个有效途径。按照美国 EDA 联盟(The EDA Consortium)的统计数据表明,IP 产品的销售额是全球 EDA 工业中增加最快的一个领域。IP 应用是 IC 设计业中绝对的发展趋势。

② 系统级、行为验证级硬件描述语言的出现(如 System C)。描述语言一直是 EDA 产业中重要的一环,VHDL 和 Verilog 目前是中国的主流设计语言。然而,随着 IC 复杂度的不断提高,高级语言将成为 FPGA 开发的利器,使复杂电子系统的设计和验证趋于简单,总体而言从更高层次入手对系统进行描述是描述语言未来的发展方向。

③ ESL 将撑起 EDA 产业大旗。ESL 指的是电子级系统设计。软件挑战是 ESL 身后的关键推动力。多处理器系统级芯片必须并行编程,ESL 的目标是单一高级别模型的协同软、硬件设计。未来几年全球 ESL 工具营业收入将显著增长,将与 RTL 工具持平。3 种主要的 ESL 方法学分别围绕算法、处理器与存储器、控制逻辑。它们均包含行为级与架构级设计,分别面向不同的工具及供应商。

④ Linux 提速进入 EDA 领域。随着 EDA 技术在全球范围内的飞速发展,业界都在翘首以待基于 Linux 环境的 EDA 技术成为电路设计领域的主流。首先,由于 Linux 费用很低,源代码开放,这使得 EDA 软件的前期开发费用很低,而且运行维护的成本也很低,同时大大方便了工程师的设计工作。而 Linux 工作站的费用也要比 UNIX 工作站便宜很多。此外,Linux 的成本大约是 UNIX 以及 Windows 的 1/15~1/10,但是效能并不比后者差,甚至运行速度要更快一些。现在业界普遍的看法就是预计在未来的 5 年内, Linux 将成为 EDA 的主角。可以预见, Linux 的普及只是时间问题。

⑤ 模块化、增量式设计成为主流。模块化设计适用于团队开发设计内部关系易于划分、模块间连接较少的项目。模块化设计先进行整体设计,各模块使用黑盒子代替,只指明模块间的连接(使用“伪逻辑”(pseudo logic)连接)和整体设计的外部端口,并约束各模

块在 FPGA 芯片内部的区域位置和时序、外部端口引脚。之后依据约束并行地完成各自的模块设计,最后提交到一起进行整体的组合(assembly)。增量式设计是一种能在小范围改动情况下节约综合、实现时间并集成以往设计成果的设计手段,包括增量综合和增量实现两个层次的含义。

1.2 EDA 技术的内容

EDA 技术内容丰富,涉及面广,但从教学和应用的角度出发,应了解和掌握印制电路板图设计,可编程逻辑器件的原理、结构及应用,EDA 工具软件的使用,硬件描述语言(HDL),如 VHDL。

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。也就是说,设计师用硬件描述语言(HDL)描绘出硬件的结构和硬件的行为,用设计工具将这些描述综合映射成与半导体工艺有关的硬件工艺文件,半导体器件 FPGA、CPLD 等则是这些硬件工艺文件的载体。

1. 可编程逻辑器件

可编程逻辑器件(Programmable Logic Devices,PLD)是一种用户根据需要而自行构造逻辑功能的数字集成电路。它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,最后再由编程器或下载电缆,下载到目标器件中去。

这种利用 PLD 内建逻辑结构,由用户配置来实现任何组合逻辑和时序逻辑功能的器件,最初被视为分立逻辑电路和中小规模集成电路的替代物,随着设计技术和制造工艺的完善,器件性能、集成度、工作频率等指标不断提高,PLD 的应用范围越来越广,目前它已成为 ASIC 设计的主流。

可编程逻辑器件,特别是现场可编程门阵列(FPGA)和复杂可编程逻辑器件(CPLD),是新一代的数字逻辑器件,也是近几年来集成电路中发展最快的品种之一。这种器件具有高集成度、高速度、高可靠性等最明显的特点,其时钟延迟可达纳秒级,结合其并行工作方式,在超高速应用领域和实时测控方面有非常广阔的应用前景。在高可靠应用领域,如果设计合理,将不会存在类似于 MCU 的复位不可靠和 PC 可能跑飞等问题。

FPGA/CPLD 的高可靠性还表现在几乎可将整个系统下载于同一芯片中,实现所谓由大规模 FPGA 构成的片上系统 SOPC(System On Programmable Chip),从而大大缩小了体积,易于管理和屏蔽。

由于 FPGA/CPLD 的集成规模非常大,可利用先进的 EDA 工具进行电子系统设计和产品开发。由于开发工具的通用性,设计语言的标准化,以及设计过程几乎与所用器件的硬件结构没有关系,所以设计成功的各类逻辑功能块软件有很好的兼容性和可移植性,它几乎可用于任何型号和规模的 FPGA/CPLD 中,从而使产品设计效率大幅度提高,在很短时间内即可完成十分复杂的系统设计,这正是产品快速进入市场最宝贵的特征。美

国 TI 公司认为,一个 ASIC 80% 的功能可用 IP(Intelligence Property)核等现成逻辑合成。而未来大系统的设计仅仅是各类再应用逻辑与 IP 核(core)的拼装,设计周期将更短。

与 ASIC 设计相比,FPGA/CPLD 显著的优势是开发周期短,投资风险小,产品上市速度快,市场适应能力强和硬件升级回旋余地大,而且当产品定型和产量扩大后,可将在生产中达到充分检验的 VHDL 设计,迅速实现 ASIC 投产。

2. 硬件描述语言

硬件描述语言(HDL)是各种描述方法中最能体现 EDA 优越性的描述方法。所谓硬件描述语言,实际就是一个描述工具,其描述的对象就是待设计电路系统的逻辑功能、实现该功能的算法、选用的电路结构以及其他各种约束条件等。通常要求 HDL 既能描述系统的行为,又能描述系统的结构。

HDL 的使用与普通的高级语言相似,编制的 HDL 程序也需要首先经过编译器进行语法、语义的检查,并转换为某种中间数据格式。但与其他高级语言相区别的是,用硬件描述语言编制程序的最终目的是要生成实际的硬件,因此 HDL 中有与硬件实际情况相对应的并行处理语句。此外,用 HDL 编制程序时,还需注意硬件资源的消耗问题(如门、触发器、连线等的数目),有的 HDL 程序虽然语法、语义上完全正确,但并不能生成与之相对应的实际硬件,其原因就是要实现这些程序所描述的逻辑功能,消耗的硬件资源将十分巨大。目前主要有以下两种 HDL。

(1) Verilog-HDL。Verilog-HDL 语言是在 1983 年由 GDA (Gateway Design Automation)公司首创的,主要用于数字系统的设计。设计者可以用它来进行各种级别的逻辑设计,也可以用它进行数字逻辑系统的仿真验证、时序分析、逻辑综合等。它是目前应用最广泛的硬件描述语言之一。其最大优点是工艺无关性,这使得工程师在功能设计、逻辑验证阶段可以不必过多考虑门级电路及其工艺实现的具体细节,只需要利用系统设计时对芯片的要求,施加不同的约束条件,即可设计出实际电路。实际上,这是利用 EDA 工具,把逻辑验证与具体工具库匹配,把布线及延时计算由计算机自动完成,从而减轻了设计者的劳动。

Verilog-HDL 把数字系统当做一组模块来描述,每一个模块具有模块接口以及关于模块内容的描述,一个模块代表一个逻辑单元,这些模块用网络相互连接,相互通信。由于 Verilog-HDL 是标准化的,所以能把完成的设计移植到不同厂家的不同芯片中去。又由于 Verilog-HDL 设计的信号位数很容易改变,所以可以通过对信号位数的修改,来适应不同的硬件规模,而且在仿真验证时,仿真测试用例可以用同一种描述语言来完成。

(2) VHDL。VHDL 是美国国防部于 20 世纪 80 年代后期,出于军事工业的需要开发的,1984 年 VHDL 被 IEEE 确定为标准化的硬件描述语言。1993 年 IEEE 对 VHDL 进行了修订,增加了部分新的 VHDL 命令与属性,增强了对系统的描述能力,并公布了新版本的 VHDL,即 IEEE 标准的 1076—1993 版本。现在,VHDL 已经成为系统描述的国际公认标准,得到众多 EDA 公司的支持,越来越多的硬件设计者使用 VHDL 描述数字系统。

VHDL 涵盖面广,抽象描述能力强,支持硬件的设计、验证、综合与测试。VHDL 能

在多个级别上对同一逻辑功能进行描述,如可以在寄存器级别上对电路的组成结构进行描述,也可以在行为描述级别上对电路的功能与性能进行描述。无论哪种级别的描述,都可以利用综合工具将描述转化为具体的硬件结构。VHDL 的基本结构包含有一个实体和一个结构体,而完整的 VHDL 结构还包括配置、程序包与库。各种硬件描述语言中,VHDL 的抽象描述能力最强,因此运用 VHDL 进行复杂电路设计时,往往采用“自顶向下”结构化的设计方法。

相比较而言,VHDL 语言是一种高级描述语言,适用于电路高级建模,综合的效率和效果较好。Verilog-HDL 语言是一种低级描述语言,适用于描述门级电路,容易控制电路资源,但其对系统的描述能力不如 VHDL。

3. EDA 开发工具

EDA 工具在 EDA 技术应用中占据极其重要的位置,EDA 的核心是利用计算机完成电子设计全程自动化,因此,基于计算机环境的 EDA 软件的支持是必不可少的。

EDA 的整个设计过程需要经过多个不同的技术环节,每个环节都要用到专门的 EDA 工具来处理。例如,设计输入时要用到设计输入编辑器,对设计做功能模拟时要用到仿真器,对 VHDL 的行为描述进行逻辑综合时要用到 HDL 综合器,把由综合器产生的网表文件转换成与指定的目标器件相适应的 JEDEC 文件时要用到适配器,最后还需要用到下载器,将 JEDEC 文件下载或配置到 CPLD、FPGA 中。

现在,有多种支持 CPLD 和 FPGA 的设计软件,有的设计软件是由芯片制造商提供的,如 Altera 公司开发的 MAX + plus II 和 Quartus II 软件包,Xilinx 公司开发的 Foundation 软件包和 ISE,Lattice 公司开发的用于 ispLSI 器件的 ispEXPERT System 软件包;有的是由专业 EDA 软件商提供的,称为第三方设计软件,例如 Cadence、Mentel、Symopsys 和 DATA I/O 公司的设计软件。第三方软件往往能够开发多家公司的器件。

在用第三方软件设计具体型号的器件时,需要器件制造商提供器件库和适配器(Fitter)软件。

本书主要介绍 Altera 公司的 Quartus II 工具软件,它是一种集成的开发环境,是当今 EDA 领域比较流行的工具软件。

4. EDA 实验开发系统

实验开发系统提供芯片下载电路及 EDA 实验/开发的外围资源(类似于用于单片机开发的仿真器),以供硬件验证用。一般包括:①实验或开发所需的各类基本信号发生模块,包括时钟、脉冲、高低电平等;②FPGA/CPLD 输出信息显示模块,包括数码显示、发光管显示、声响指示等;③监控程序模块,提供“电路重构软配置”;④目标芯片适配座以及上面的 FPGA/CPLD 目标芯片和编程下载电路。

1.3 EDA 设计流程

完整地了解 EDA 技术的设计流程,有助于初学者从整体把握 VHDL 设计的方法,更快地建立 EDA 设计的基本架构。对于目标器件为 FPGA 和 CPLD 的 VHDL 设计,其工程设计流程一般分为 5 个部分,图 1-1 是一般 EDA 的工程设计流程图。下面先对流程图