



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

电子科学与技术

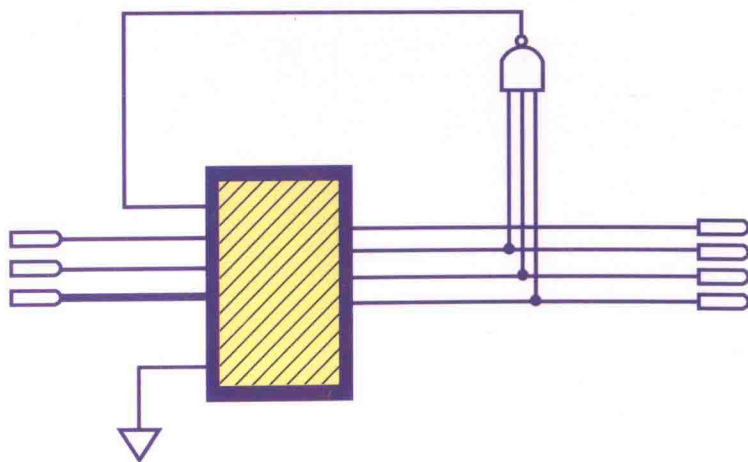
EDA技术及应用

主 编 张 瑾

Zhang Jin

副主编 李泽光

Li Zeguang



清华大学出版社



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

EDA技术及应用

主 编 张 瑾

Zhang Jin

副主编 李泽光

Li Zeguang

参 编 韩 睿

Han Rui

常州大学图书馆
藏书章

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统地介绍电子系统设计的主流技术——EDA 技术。全书共 8 章,分别为概述、CPLD/FPGA 结构与工作原理、VHDL 结构与要素、Quartus II 应用指南、VHDL 基本语句、VHDL 设计、EDA 技术应用实例、EDA 技术设计实验项目。本书的目标是使读者掌握应用 EDA 技术设计电子系统的方法,形成 EDA 设计能力。

本书避免对不常用语法的说明,安排了大量例题、习题以及应用实例,其中每个设计都提供了完整的程序代码,程序均经过仿真验证。第 7 章介绍了 4 个综合系统的设计实例,所有设计均完成硬件电路并且测试成功。

本书可作为高等院校计算机类、通信电子类、自动化类以及相关专业的本科或研究生 EDA 课程教材,也可作为教师以及广大科技工作者的参考用书。

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 技术及应用/张瑾主编. —北京:清华大学出版社,2018

(高等学校电子信息类专业系列教材)

ISBN 978-7-302-48855-2

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 287735 号

责任编辑:王 芳 战晓雷

封面设计:李召霞

责任校对:时翠兰

责任印制:李红英

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

印装者:三河市铭诚印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:15

字 数:356 千字

版 次:2018 年 3 月第 1 版

印 次:2018 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~1500

定 价:49.00 元

产品编号:072967-01

高等学校电子信息类专业系列教材

一 顾问委员会

谈振辉	北京交通大学（教指委高级顾问）	郁道银	天津大学（教指委高级顾问）
廖延彪	清华大学（特约高级顾问）	胡广书	清华大学（特约高级顾问）
华成英	清华大学（国家级教学名师）	于洪珍	中国矿业大学（国家级教学名师）
彭启琮	电子科技大学（国家级教学名师）	孙肖子	西安电子科技大学（国家级教学名师）
邹逢兴	国防科学技术大学（国家级教学名师）	严国萍	华中科技大学（国家级教学名师）

一 编审委员会

主 任	吕志伟	哈尔滨工业大学		
副主任	刘 旭	浙江大学	王志军	北京大学
	隆克平	北京科技大学	葛宝臻	天津大学
	秦石乔	国防科学技术大学	何伟明	哈尔滨工业大学
	刘向东	浙江大学		
委 员	王志华	清华大学	宋 梅	北京邮电大学
	韩 焱	中北大学	张雪英	太原理工大学
	殷福亮	大连理工大学	赵晓晖	吉林大学
	张朝柱	哈尔滨工程大学	刘兴钊	上海交通大学
	洪 伟	东南大学	陈鹤鸣	南京邮电大学
	杨明武	合肥工业大学	袁东风	山东大学
	王忠勇	郑州大学	程文青	华中科技大学
	曾 云	湖南大学	李思敏	桂林电子科技大学
	陈前斌	重庆邮电大学	张怀武	电子科技大学
	谢 泉	贵州大学	卞树檀	火箭军工程大学
	吴 瑛	解放军信息工程大学	刘纯亮	西安交通大学
	金伟其	北京理工大学	毕卫红	燕山大学
	胡秀珍	内蒙古工业大学	付跃刚	长春理工大学
	贾宏志	上海理工大学	顾济华	苏州大学
	李振华	南京理工大学	韩正甫	中国科学技术大学
	李 晖	福建师范大学	何兴道	南昌航空大学
	何平安	武汉大学	张新亮	华中科技大学
	郭永彩	重庆大学	曹益平	四川大学
	刘缠牢	西安工业大学	李儒新	中科院上海光学精密机械研究所
	赵尚弘	空军工程大学	董友梅	京东方科技集团
	蒋晓瑜	装甲兵工程学院	蔡 毅	中国兵器科学研究院
	仲顺安	北京理工大学	冯其波	北京交通大学
	黄翊东	清华大学	张有光	北京航空航天大学
	李勇朝	西安电子科技大学	江 毅	北京理工大学
	章毓晋	清华大学	张伟刚	南开大学
	刘铁根	天津大学	宋 峰	南开大学
	王艳芬	中国矿业大学	靳 伟	香港理工大学
	苑立波	哈尔滨工程大学		
丛书责任编辑	盛东亮	清华大学出版社		

序

FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 12 万亿元,行业收入占工业总体比重已经超过 9%。电子信息产业在工业经济中的支撑作用凸显,更加促进了信息化和工业化的高层次深度融合。随着移动互联网、云计算、物联网、大数据和石墨烯等新兴产业的爆发式增长,电子信息产业的发展呈现了新的特点,电子信息产业的人才培养面临着新的挑战。

(1) 随着控制、通信、人机交互和网络互联等新兴电子信息技术不断发展,传统工业设备融合了大量最新的电子信息技术,它们一起构成了庞大而复杂的系统,派生出大量新兴的电子信息技术应用需求。这些“系统级”的应用需求,迫切要求具有系统级设计能力的电子信息技术人才。

(2) 电子信息系统设备的功能越来越复杂,系统的集成度越来越高。因此,要求未来的设计者应该具备更扎实的理论基础知识和更宽广的专业视野。未来电子信息系统的设计越来越要求软件和硬件的协同规划、协同设计和协同调试。

(3) 新兴电子信息技术的发展依赖于半导体产业的不断推动,半导体厂商为设计者提供了越来越丰富的生态资源,系统集成厂商的全方位配合又加速了这种生态资源的进一步完善。半导体厂商和系统集成厂商所建立的这种生态系统,为未来的设计者提供了更加便捷却又必须依赖的设计资源。

教育部 2012 年颁布了新版《高等学校本科专业目录》,将电子信息类专业进行了整合,为各高校建立系统化的人才培养体系,培养具有扎实理论基础和宽广专业技能的、兼顾“基础”和“系统”的高层次电子信息人才给出了指引。

传统的电子信息学科专业课程体系呈现“自底向上”的特点,这种课程体系偏重对底层元器件的分析与设计,较少涉及系统级的集成与设计。近年来,国内很多高校对电子信息类专业课程体系进行了大力度的改革,这些改革顺应时代潮流,从系统集成的角度,更加科学合理地构建了课程体系。

为了进一步提高普通高校电子信息类专业教育与教学质量,贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《教育部关于全面提高高等教育质量若干意见》(教高【2012】4 号)的精神,教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会开展了“高等学校电子信息类专业课程体系”的立项研究工作,并于 2014 年 5 月启动了《高等学校电子信息类专业系列教材》(教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)的建设工作。其目的是为推进高等教育内涵式发展,提高教学水平,满足高等学校对电子信息类专业人才培养、教学改革与课程改革的需要。

本系列教材定位于高等学校电子信息类专业的专业课程,适用于电子信息类的电子信

息工程、电子科学与技术、通信工程、微电子科学与工程、光电信息科学与工程、信息工程及其相近专业。经过编审委员会与众多高校多次沟通,初步拟定分批次(2014—2017年)建设约100门课程教材。本系列教材将力求在保证基础的前提下,突出技术的先进性和科学的前沿性,体现创新教学和工程实践教学;将重视系统集成思想在教学中的体现,鼓励推陈出新,采用“自顶向下”的方法编写教材;将注重反映优秀的教学改革成果,推广优秀的教学经验与理念。

为了保证本系列教材的科学性、系统性及编写质量,本系列教材设立顾问委员会及编审委员会。顾问委员会由教指委高级顾问、特约高级顾问和国家级教学名师担任,编审委员会由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会委员和一线教学名师组成。同时,清华大学出版社为本系列教材配置优秀的编辑团队,力求高水准出版。本系列教材的建设,不仅有众多高校教师参与,也有大量知名的电子信息类企业支持。在此,谨向参与本系列教材策划、组织、编写与出版的广大教师、企业代表及出版人员致以诚挚的感谢,并殷切希望本系列教材在我国高等学校电子信息类专业人才培养与课程体系建设中发挥切实的作用。

吕志伟 教授

前言

PREFACE

近年来,随着 EDA 技术的快速发展和日臻完善,信息电子类高新技术项目的开发与设计越来越广泛地采用 EDA 技术。EDA 技术中,软件设计方案落实到硬件系统的环节由专用工具自动完成,这使设计人员从繁重的手工设计中解脱出来,得以将更多精力投入设计优化、性能提高方面。在基于 EDA 技术的产品设计中,可以在设计过程中的多个阶段进行仿真,现场编程修改、升级系统设计,在完成硬件系统后,还能对系统中的目标器件进行边界扫描测试,进一步确认设计的正确性,大大降低了设计成本,缩短了设计周期。另外,由于承载设计方案的核心器件是大规模可编程逻辑器件,它的高密度、低功耗、高速稳定的特性造就了以此为核心的电子系统在体积、功耗、速度、稳定性方面优越的性能。同时,EDA 技术采用的“自顶向下”的设计思想和方法使得设计过程中不必因为某个层级出现了问题而将底层的设计全部推翻重做,这样将使复杂设计的成功率更高。

EDA 技术的巨大优势与广泛应用使得越来越多的人希望迅速掌握 EDA 设计的方法和应用技巧。目前各高校信息电子类专业普遍开设 EDA 课程,旨在培养 EDA 技术方面的专业人才,然而高校 EDA 课程大都存在信息量大与学时少的矛盾。本书结合作者多年的教学与科研经验,遵循学生的认知规律,摒弃了在内容阐述上片面追求面面俱到的做法,对 EDA 技术的内容进行了精简,对内容的顺序安排做出了调整,力求重点突出,言简意赅,便于初学者在较短时间内把握 EDA 设计要领。

本书的总体编写思路是,保留完成设计必不可少的最基础、最常用、最高效可行的设计方法,删减操作困难、使用烦琐、语义晦涩的语句和流程,使得初学者有信心,易上手。在内容组织上做了如下安排:先介绍 EDA 技术的概况,使读者对 EDA 技术有基本了解;然后简要介绍 EDA 设计的重要载体 CPLD/FPGA 的内部结构和工作原理,使学习者能够基于 CPLD/FPGA 的特性进行有效设计;在介绍了编程语言和编程规则后,介绍 EDA 软件工具操作办法,至此,学习者已经能够独立完成一个简单的设计。在此基础上,介绍 VHDL 语法与设计技巧,并通过较为复杂的综合系统设计实例使学习者形成并提升设计能力。

本书共 8 章。第 1 章概括介绍 EDA 技术的含义、发展状况、主要内容、设计流程与工具;第 2 章介绍大规模可编程器件 CPLD 和 FPGA 的结构和工作原理,并对二者的性能特点进行对比;第 3 章介绍 VHDL 语言的结构与要素,阐述运用 VHDL 语言应遵循的基本规则;第 4 章介绍 EDA 开发软件工具 Quartus II 的应用方法;第 5 章介绍 VHDL 常用语句,包括顺序语句和并行语句;第 6 章介绍基本电路设计方法以及应用于较复杂电路设计的两种方法——状态机设计法和 LPM 定制法;第 7 章详细介绍 4 个综合性较强的设计项目,包括设计要求、设计方案、源代码、仿真分析与电路 RTL 图;第 8 章为基于 EDA 课程的实验项目。

全书由张瑾统稿,李泽光校审,第1章、第4~7章由张瑾编写,第2章、第3章由李泽光编写,第8章由韩睿编写。在本书编写过程中,戴文季、侯海鹏、杨腾、李雅丽、许莹红、李学芳、罗钰杰、石娅等同学在程序调试与硬件测试中做了很多工作,同时本书的编写也参考了很多专家与学者的文献,在此深表感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在错误和疏漏之处,恳请广大读者和同行专家批评指正!

编 者

2017年7月于大连

目录

CONTENTS

第 1 章 概述	1
1.1 EDA 技术及其发展	1
1.1.1 EDA 技术的含义	1
1.1.2 EDA 技术的优势	1
1.1.3 EDA 技术的发展历程	3
1.2 EDA 技术四要素	3
1.2.1 软件开发工具	3
1.2.2 硬件描述语言	5
1.2.3 大规模可编程逻辑器件	8
1.2.4 实验开发系统	11
1.3 EDA 流程及工具	11
1.3.1 源程序的编辑和输入	12
1.3.2 逻辑综合和优化	13
1.3.3 目标器件的布线/适配	13
1.3.4 目标器件的编程/下载	13
1.3.5 设计过程中的仿真	13
1.3.6 硬件仿真/硬件测试	14
1.4 IP 核	14
1.4.1 软核	14
1.4.2 硬核	14
1.4.3 固核	15
1.5 EDA 技术应用展望	15
1.5.1 EDA 技术应用于科研和新产品的开发	15
1.5.2 EDA 技术应用于专用集成电路的开发	16
习题	16
第 2 章 CPLD/FPGA 结构与工作原理	17
2.1 CPLD	17
2.1.1 CPLD 的基本结构	17
2.1.2 CPLD 实现逻辑的基本原理	18
2.2 FPGA	19
2.2.1 主要内部资源	19
2.2.2 FPGA 的供电机制	21
2.2.3 FPGA 的配置	22

2.2.4 器件的标识方法说明	23
2.3 CPLD 和 FPGA 的比较	23
习题	24
第3章 VHDL 结构与要素	25
3.1 VHDL 概述	25
3.1.1 一个设计实例	25
3.1.2 设计实例的说明与分析	28
3.2 VHDL 结构	28
3.2.1 库、程序包和配置	28
3.2.2 实体	31
3.2.3 结构体	32
3.3 端口模式	33
3.4 数据类型	35
3.4.1 VHDL 的预定义数据类型	35
3.4.2 IEEE 预定义标准逻辑位与标准逻辑矢量	37
3.4.3 其他预定义标准数据类型	38
3.4.4 自行定义的数据类型	38
3.5 数据对象	40
3.5.1 常量	40
3.5.2 变量	40
3.5.3 信号	41
3.5.4 常量、变量、信号的比较	42
3.5.5 进程中的信号赋值与变量赋值	43
3.6 操作符	49
3.6.1 并置连接操作符	50
3.6.2 逻辑操作符	51
3.6.3 关系操作符	52
3.6.4 算术操作符	53
3.6.5 重载操作符	56
3.7 文字规则	57
3.7.1 基本规则	57
3.7.2 数字型文字	57
3.7.3 字符串型文字	58
3.7.4 标识符	58
3.7.5 下标名及下标段名	59
3.7.6 关键词	59
习题	59
第4章 Quartus II 应用指南	61
4.1 VHDL 文本输入设计流程	61
4.1.1 建立工程文件夹和编辑文本	61
4.1.2 创建工程	62
4.1.3 全程编译	64
4.1.4 时序仿真	65

4.1.5 应用网表观察器	70
4.1.6 引脚锁定	71
4.1.7 基于 USB Blaster 编程下载器的配置文件下载	73
4.2 原理图输入设计方法	75
4.2.1 输入设计项目和存盘	75
4.2.2 将底层设计设置成可调用的元件	77
4.2.3 全加器设计——顶层设计	78
4.2.4 原理图设计中总线的应用	78
习题	80
第 5 章 VHDL 基本语句	83
5.1 顺序语句	83
5.1.1 顺序赋值语句	83
5.1.2 IF 语句	84
5.1.3 CASE 语句	89
5.1.4 LOOP 语句	91
5.1.5 NEXT 语句	93
5.1.6 EXIT 语句	94
5.1.7 WAIT 语句	95
5.2 并行语句	96
5.2.1 并行信号赋值语句	97
5.2.2 进程语句	99
5.2.3 元件例化语句	103
5.2.4 生成语句	105
习题	111
第 6 章 VHDL 设计	115
6.1 基于 CPLD/FPGA 的数字电路设计中的几个问题	115
6.1.1 建立和保持时间	115
6.1.2 竞争和冒险	115
6.1.3 复位与置位	117
6.1.4 关于延时	118
6.1.5 VHDL 语言应用技巧	119
6.2 VHDL 描述风格	121
6.2.1 结构描述	121
6.2.2 数据流描述	122
6.2.3 行为描述	123
6.3 组合逻辑电路设计	124
6.3.1 门电路	125
6.3.2 译码器	126
6.3.3 全加器	128
6.3.4 数据选择器	130
6.3.5 比较器	130
6.3.6 总线缓冲器	131
6.4 时序逻辑电路设计	132

6.4.1	触发器	132
6.4.2	数码寄存器和移位寄存器	135
6.4.3	计数器	136
6.4.4	m 序列发生器	139
6.5	状态机的 VHDL 设计	141
6.5.1	状态机设计法的优势	142
6.5.2	状态机的形式	143
6.5.3	状态机的基本结构	144
6.5.4	一般状态机的 VHDL 设计	146
6.5.5	一个状态机的设计实例	151
6.6	LPM 定制	152
6.6.1	定制 ROM	152
6.6.2	定制 PLL	160
6.6.3	定制 RAM	162
	习题	163
第 7 章	EDA 技术应用实例	166
7.1	温湿度自动监控系统设计	166
7.1.1	系统设计方案	166
7.1.2	温湿度数据采集的控制——DHT11 的驱动	166
7.1.3	BCD 十六进制译码器设计	172
7.1.4	液晶显示器的驱动	174
7.1.5	系统时钟信号与液晶使能信号的产生	178
7.1.6	系统顶层设计	180
7.2	电机传动控制模拟系统设计	181
7.2.1	设计方案一	181
7.2.2	设计方案二	184
7.3	自动售货机控制系统设计	187
7.3.1	系统设计要求	187
7.3.2	系统分析	188
7.3.3	秒脉冲的产生	188
7.3.4	自动售货机主控模块设计	188
7.3.5	显示模块设计	196
7.3.6	系统顶层设计	197
7.4	多功能音乐播放器设计	198
7.4.1	系统设计方案	198
7.4.2	分频模块	199
7.4.3	选曲模块设计	200
7.4.4	地址发生器设计	202
7.4.5	定制简谱数据的 ROM	204
7.4.6	简谱转换成分频数	205
7.4.7	数控分频和占空比调整设计	206
7.4.8	基于点阵显示屏的曲名显示	207
7.4.9	系统顶层设计	211

第 8 章 EDA 技术设计实验项目	214
设计一 8 位数码扫描显示电路	214
一、设计目的	214
二、设计内容及要求	214
三、设计原理	214
四、思考	216
设计二 直流电机的 PWM 控制	216
一、设计目的	216
二、设计内容及要求	216
三、设计原理	217
四、思考	218
设计三 基于 VHDL 状态机的 A/D 采样控制电路设计	219
一、设计目的	219
二、设计内容及要求	219
三、设计原理	219
四、思考	220
设计四 硬件乐曲演奏电路及扩展设计——音乐播放器	221
一、设计目的	221
二、设计内容及要求	221
三、设计原理	222
四、思考	222
设计五 四人抢答电路与八路彩灯控制器	223
一、设计目的	223
二、设计内容及要求	223
三、设计原理	223
四、思考	224
设计六 交通灯控制系统设计	224
一、设计目的	224
二、设计内容及要求	224
三、设计原理	224
四、思考	224
参考文献	226

1.1 EDA 技术及其发展

1.1.1 EDA 技术的含义

EDA(Electronic Design Automation, 电子设计自动化)技术是一门迅速发展的现代电子设计技术,它打破了传统的学科界限,融合了众多领域的最新成果和最新技术而成了功能强大的综合性技术。EDA 技术的发展得益于微电子技术的发展以及电子技术、仿真技术、设计技术、测试技术同最新计算机技术的融合,是现代电子设计技术的核心。

EDA 技术依托功能强大的计算机,用软件工具来自动化地验证、设计电子系统,具有明显的设计自动化的特征。符合这一特征的技术有很多,如 PSPICE、EWB、MATLAB 等计算机辅助分析技术和 Protel、OrCAD 等印刷电路计算机辅助设计技术,但是它们设计的载体不是可编程逻辑器件,不具有对设计进行逻辑综合和逻辑适配等环节,所以将这样的电子设计自动化技术归于广义 EDA 技术。

相对于广义 EDA 技术,狭义 EDA 技术指的是在计算机平台上利用 EDA 软件工具,以硬件描述的方式对大规模可编程器件进行设计,自动地完成逻辑编译、综合、布局布线以及仿真测试,从而达到电子系统功能要求的设计技术。

本书讨论的内容是狭义 EDA 技术。

1.1.2 EDA 技术的优势

EDA 技术与传统数字电子系统或 IC 设计技术相比有着显著的提升,具体表现如下。

(1) EDA 技术用软件工具自动化地设计硬件电路,使设计更加快捷、高效。

传统的数字电路设计的流程是根据电子系统的功能要求,首先对系统进行功能划分,然后针对每个子模块展开设计,包括真值表表达、卡诺图化简、推出输出与输入之间的逻辑关系、得到逻辑电路图,进而选择元器件、设计电路板,最后进行电路实测与调试,不但工作量巨大,而且开发周期长,很难满足当今电子产品迅速更迭对产品研发周期提出的更高要求,造成市场竞争力低下。而 EDA 技术中,软件设计方案落实到硬件系统的环节由专用工具自动完成,这一进步将设计人员从繁重的手工设计中解脱出来,得以将更多精力投放到设计优化、性能提高方面。

(2) 可以在设计过程中的多个阶段进行仿真,能够现场编程修改、升级系统设计。

传统设计方法对于复杂系统的调试和纠错、修改设计十分不便。完成设计形成硬件系统后,PCB 的结构特性以及硬件器件封装的局限决定了测试与重新修改硬件电路都困难重重。其根本原因是传统设计无法在错误出现之初进行系统仿真,而是在形成硬件电路之后通过硬件测试才能发现问题,这样无论在时间上和资金上都会造成浪费。相比之下,EDA 技术可以在电子设计的各个阶段、各个层次进行仿真验证,保证了设计的正确性。在完成硬件系统后,还能对系统上的目标器件进行边界扫描测试,进一步确认设计的正确性,大大降低了设计成本,缩短了设计周期。

由于 EDA 技术一般针对可编程器件进行系统设计,可编程器件的任意可编程性决定了系统功能即使在形成硬件系统以后仍然可以轻松修改,只要将新的设计在软件平台上重新编译综合,下载到器件中,就可以实现功能修改与升级。

(3) 基于 EDA 技术设计的系统,集成度更高,速度更快。

由于承载设计方案的核心器件是大规模可编程逻辑器件,它的高密度、低功耗、高速稳定的特性造就了以此为核心的电子系统在体积、功耗、速度、稳定性方面优越的性能。

数字系统在使用 EDA 工具进行硬件描述时,系统的行为功能往往被划分为若干进程,这些进程并行工作,而每个进程在运算与控制方面的工作都可以与 CPU 相当。一个设计实体中可以包含多个这样的进程,这个实体的功能就相当于多个并行工作的 CPU,尽管这里的每个进程工作的速度可能不如一个 CPU 快,但是多个可编程器件的多个进程共同工作,带来的效率可能超过一个高速 CPU。

(4) “自顶向下”设计方法使复杂的设计成功率更高。

以往电子系统的设计一般采用“自底向上”的设计方法,即先分析系统设计要求,确定系统的底层电路结构,在集成电路厂商提供的标准通用集成电路芯片中选型,组成各子功能模块,如接口模块、数据采集模块、控制与数据处理模块等,然后由它们组建更高一级的子系统,逐层递推,最终完成整个系统设计。这种设计方法带来的问题是,如果设计中某个层级出现了问题,那么这个层级以下的所有设计都要重新审视,最底层的电路结构乃至芯片选型都有可能推翻重做。另外,系统设计将在最初的底层设阶段就要考虑很多因素,甚至与设计无关的因素都能影响设计进程,比如供货问题、价格问题等。

从 20 世纪 90 年代起,随着 EDA 技术的快速发展,“自顶向下”的设计方法在业界逐渐推广。这种设计方法不要求设计人员过早考虑具体的电路、元器件的参数以及在细节上倾注过多精力,而是做好在系统顶层进行模块划分和结构设计的工作,并且用硬件描述语言对系统级的设计进行行为描述和功能验证,最后再考虑每个功能模块具体由什么电路和器件加以实现。这一设计方法的广泛应用是以强大的 EDA 工具、硬件描述语言和先进的 ASIC 制造工艺与开发技术为前提的。

(5) 对设计者硬件知识和经验要求低。

电子设计人员在研发中除需要具备电子技术理论和软件工具应用能力外,一般都必须熟练掌握目标器件的内部结构、功能特性、封装特性、电气特性,才能通过编程设计加以有效控制 and 利用,比如单片机技术和 DSP 技术中的单片机和 DSP 器件。然而设计人员成熟的硬件经验是需要在大量的开发实践中磨炼总结的,所以具有硬件经验的人才的培养更需要时间与资金的支持。EDA 技术的设计语言、设计平台、设计载体决定了基于 EDA 技术完成的设计对设计者的硬件知识和经验要求较低,使得设计者能够更多地关注产品性能和成本。

1.1.3 EDA 技术的发展历程

EDA 技术的发展与微电子技术、计算机技术、设计工艺的发展息息相关。从 20 世纪 60 年代中期开始,EDA 技术的应用领域从 PCB 设计延伸到电子线路和集成电路设计;直至整个电子系统的设计,一般认为,EDA 技术发展大致分为 3 个阶段。

1. 20 世纪 70 年代的计算机辅助设计阶段

硬件设计进入到发展的初级阶段,计算机辅助设计(Computer Aided Design,CAD)使得 PCB 布局布线、IC 版图编辑等手工操作被软件程序取代,为电子系统和集成电路设计效率的提高做出了贡献,计算机辅助设计开始进入人们视线。该阶段由于受到软件功能、计算和绘图速度的限制,使得 CAD 能够处理的电路规模并不是很大,电子设计的工作效率仍然比较低。

2. 20 世纪 80 年代的计算机辅助工程设计阶段

伴随着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(Computer Aided Engineering,CAE)阶段。与初级阶段的 CAD 相比,这一阶段的 CAE 工具除了能够进行图形编辑外,又增加了逻辑模拟、定时分析、故障仿真、自动布局和布线等电路功能和结构设计功能,并且将二者结合起来进一步实现工程设计。利用这些工具,设计人员能在设计方案形成产品之前预知产品的功能与性能。

3. 20 世纪 90 年代以来电子系统设计自动化阶段

随着电子技术的进步,电子系统功能更多,速度更快,更加智能,这些系统对 IC 芯片的要求也更高,随之而来的是 EDA 技术水平的进一步提升。在这个阶段,系统的高层次描述与设计可以由 EDA 工具直接进行综合和处理,自动布局布线后形成 IC 版图的设计和验证,并且通过工具能够完成面积、延时等优化处理,这些工作所用时间较以往大大缩短。

微电子技术的高速发展使得大规模可编程逻辑器件无论种类、数量还是性能都得到极大的丰富,用户能够自己设计芯片,自由地在可编程芯片上实现对系统的设想,满足了用户千差万别的设计要求。

1.2 EDA 技术四要素

EDA 技术需要在软件开发环境下,以硬件描述语言为工具,以大规模可编程逻辑器件为设计载体,通过实验开发平台的测试来完成电子系统设计,由此 EDA 技术主要涉及 4 个要素:软件开发工具、硬件描述语言、大规模可编程逻辑器件、实验开发系统。

1.2.1 软件开发工具

软件开发工具对器件世界的理解比设计者更深入。软件开发工具就是把编程设计的逻辑语言转换为可编程器件能够理解和执行的语言与命令,使器件按照设计者的要求去工作。首先,软件开发工具会把设计师的逻辑思路转变成电路,但是这个电路仅停留在网表文件层面,并不是实际元器件的连接。然后软件开发工具会做第二件事情:对照可编程器件自有的资源把设计中涉及的器件找出来,放置到相应位置上,然后连接起来。这样,设计者的思想就在硬件上面完美地体现出来了,同样,这些信息仍然被保存成文件而不是实际电路。

这一切工作都由软件工具自动完成,但是为了让软件工具的工作完成得更精准,设计者可以提出很多约束条件,并且可以通过仿真来了解自己的设计是不是真的可以实现。最后将这些设计思想付诸实际电路的工作也是由软件工具完成的。

目前比较流行的主流 EDA 软件工具有 Altera 公司的 MAX+plus II、Quartus II、Lattice 公司的 ispEXPERT、Xilinx 公司的 Foundation Series、ISE/ISE WebPACK Series 等。这些软件工具面向的目标器件不一样,性能各有优劣。

1. MAX+plus II

MAX+plus II 是 Altera 公司推出的第三代工具软件,具有完全集成化的 EDA 设计开发环境,它界面友好,使用便捷,被誉为最易上手的 EDA 工具软件。它支持原理图、文本文件(VHDL、Verilog 语言和 Altera 公司自己制定的 Altera HDL 语言)以及波形文件作为设计输入,并且支持这些文件的混合设计。它可以进行功能仿真和时序仿真,能够产生精确的仿真结果。

MAX+plus II 支持主流的第三方 EDA 工具,支持除 APEX20K 系列之外的所有 Altera 公司的 FPGA/CPLD 大规模逻辑器件。

2. Quartus II

Quartus II 是 Altera 公司提供的 FPGA/CPLD 开发集成环境,是 MAX+plus II 的升级产品。在 Quartus II 上能够完成设计输入(Design Entry)、综合(Synthesis)、适配布线(Fitter)、时序分析(Timing Analysis)、仿真(Simulation)、编程和配置(Programming & Configuration)等 EDA 设计的完整流程。

其中,设计输入是使用 Quartus II 软件的文本输入、图形输入、波形输入、状态输入等方式来表达设计者对电路的设想,同时使用分配编辑器(Assignment Editor)来设置初始设计的约束条件。

综合是将人类能够理解的逻辑语言转换成器件能够理解的语言的过程,即将文本、原理图等设计输入翻译成由与/或/非门、触发器等基本逻辑单元组成的逻辑连接(网表),并且输出 edf 或 vqm 等标准格式的网表文件,供布局布线器进行实现。综合除了可以用 Quartus II 软件的 Analysis & Synthesis 命令外,也可以使用第三方综合工具,生成与 Quartus II 软件配合使用的 edf 或 vqm 文件。

布局布线的输入文件是综合后的网表文件,Quartus II 软件中的布局布线包含分析布局布线结果、优化布局布线、增量布局布线等。

时序分析是分析设计中所有逻辑的时序性能,并协助引导布局布线,以满足设计中的时序要求。时序分析不必手动进行,默认情况下,时序分析作为编译的一部分自动运行,它观察和报告时序信息,如建立时间、保持时间、时钟至输出延时、最大时钟频率以及设计的其他时序特性,时序分析生成的信息可以用来分析、调试和验证设计的时序性能。

仿真主要是验证电路功能是否符合设计要求。时序仿真包含了延时信息,它能较好地反映芯片的工作情况。仿真可以使用 Quartus II 软件集成的仿真工具,也可以使用第三方仿真工具,如 Model Technology 公司的 ModelSim SE 软件。

编程和配置是在全编译成功后对可编程器件进行的,它包括 Assemble(生成编程文件)、Programmer(建立包含设计所用器件名称和选项的链式文件)、转换编程文件等。

Quartus II 配备了基本逻辑元件库(如基本逻辑门、触发器等)、宏功能元件(包含了几乎