



基于FPGA与Verilog 的计算机组成原理实践

郭 军 编著

清华大学出版社

21世纪高等

计算机科学与技术

基于FPGA与Verilog 的计算机组成原理实践

郭 军 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是计算机组成原理课程实践教材,全书以 CPU 设计为核心内容,首先从电子计算机结构及组成入手,介绍数字系统设计的一般方法,进而介绍可编程逻辑器件原理,重点论述 FPGA 的原理和应用;然后详细介绍 Verilog 硬件描述语言的基本语法和编程技术及 Quartus II 开发环境的基本使用方法;最后针对一个简单 RISC 结构的 CPU 设计,系统地讲解了计算机主要组成部件的设计实例和系统调试方法。

本书可作为普通高等院校计算机、电子与通信等专业本科生的计算机组成原理实践教材,也可供从事数字系统设计开发的工程技术人员参考。

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

基于 FPGA 与 Verilog 的计算机组成原理实践/郭军编著.--北京:清华大学出版社,2012.10
21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术
ISBN 978-7-302-29734-5

I. ①基… II. ①郭… III. ①可编程序逻辑器件—程序设计—高等学校—教材 ②硬件描述语言—程序设计—高等学校—教材 ③计算机组成原理—高等学校—教材 IV. ①TP332.1 ②TP312 ③TP301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 189273 号

责任编辑:郑寅堃 张为民

封面设计:傅瑞学

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:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:7.75 字 数:189 千字

版 次:2012 年 10 月第 1 版 印 次:2012 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:18.00 元

编审委员会成员

(按地区排序)

清华大学	周立柱	教授
	章 征	教授
	王建民	教授
	冯建华	教授
北京大学	刘 强	副教授
	杨冬青	教授
	陈 钟	教授
北京航空航天大学	陈立军	副教授
	马殿富	教授
	吴超英	副教授
	姚淑珍	教授
中国人民大学	王 珊	教授
	孟小峰	教授
	陈 红	教授
北京师范大学	周明全	教授
北京交通大学	阮秋琦	教授
	赵 宏	副教授
北京信息工程学院	孟庆昌	教授
北京科技大学	杨炳儒	教授
石油大学	陈 明	教授
天津大学	艾德才	教授
复旦大学	吴立德	教授
	吴百锋	教授
	杨卫东	副教授
同济大学	苗夺谦	教授
	徐 安	教授
华东理工大学	邵志清	教授
华东师范大学	杨宗源	教授
	应吉康	教授
东华大学	乐嘉锦	教授
	孙 莉	副教授

浙江大学

扬州大学

南京大学

南京航空航天大学

南京理工大学

南京邮电学院

苏州大学

江苏大学

中国矿业大学

武汉大学

华中科技大学

中南财经政法大学

华中师范大学

江汉大学

国防科技大学

中南大学

湖南大学

西安交通大学

长安大学

哈尔滨工业大学

吉林大学

山东大学

厦门大学

厦门大学嘉庚学院

云南大学

电子科技大学

成都理工大学

西南交通大学

吴朝晖 教授

李善平 教授

李 云 教授

骆 斌 教授

黄 强 副教授

黄志球 教授

秦小麟 教授

张功莹 教授

朱秀昌 教授

王宜怀 教授

陈建明 副教授

鲍可进 教授

张 艳 教授

何炎祥 教授

刘乐善 教授

刘腾红 教授

叶俊民 教授

郑世珏 教授

陈 利 教授

颜 彬 教授

赵克佳 教授

邹北骥 教授

刘卫国 教授

林亚平 教授

沈钧毅 教授

齐 勇 教授

巨永锋 教授

郭茂祖 教授

徐一平 教授

毕 强 教授

孟祥旭 教授

郝兴伟 教授

冯少荣 教授

张思民 教授

刘惟一 教授

刘乃琦 教授

罗 蕾 教授

蔡 淮 教授

于 春 副教授

曾华燊 教授

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

- (1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。
- (2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。
- (3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。
- (4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。
- (5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。
- (6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。
- (7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。
- (8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail: weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前言

计算机组成原理是计算机专业的核心课程,也是一门实践性很强的专业基础课。课程内容不仅包含计算机原理等理论知识,而且包含计算机设计等实践知识。因此,实践是“计算机组成原理”课程重要的组成部分,实践技能培养是“计算机组成原理”课程不可缺少的教学环节。

计算机组成原理实践教学需要与时俱进,不断发展。早期在面包板上用独立芯片搭建计算机系统的方法已经逐渐淘汰,采用 EDA 设计软件和工具设计以 CPU 为核心的计算机系统的方法已经成为主流。目前,在国内外高校的计算机组成原理实践教学中,主要采用硬件描述语言 HDL 与可编程逻辑器件 FPGA/CPLD 结合的实践教学方法,在仿真开发环境中进行计算机核心部件的设计和验证。这种方法改变了以验证性实验为主的传统教学实践模式,由学生自己将理论知识应用于实验设计,不仅提高了学生的学习兴趣 and 效率,而且较好地与生产实际接轨,让学生可以很快适应今后的职业。

本书针对本科“计算机组成原理”课程实践而编写,全书围绕 CPU 核心部件设计实践,力求将常用的设计方法和工具的使用技术介绍给读者,让读者通过实践培养动手能力,加深对计算机系统各个组成部件的理解。第 1 章主要介绍现代电子计算机基本知识和数字系统设计方法;第 2 章介绍可编程器件的结构原理,包括简单可编程逻辑器件和复杂可编程逻辑器件;第 3 章介绍硬件描述语言 Verilog HDL 的基本语法和编程设计技术;第 4 章介绍仿真开发环境 Quartus II 的基本使用方法;第 5 章重点介绍计算机主要组成部件的设计。附录 A 列出了 Verilog 语言的关键字以便读者快速查阅;附录 B 介绍了现有 FPGA 教学开发平台的特点,为读者选择平台提供一定参考。

本书内容按 36 学时设置,建议采用以实践为主、理论教学为辅的教学方法,鼓励学生自主完成具体的实践内容。

近几年,国内已经有许多高校开始进行计算机组成原理课程实践的教学改革,借此东风,我们也开展了相关教改探索工作,经过几年的教学实践,取得了较好的教学效果,表明新的实践教学改革思路正确、方法可行。现将我们的教学经验整理成书,愿与同行共享,书中的不足和纰漏之处请广大读者指正。另外,本书参考了一些同行专家的成果经验,已在最后的参考文献中列出,在此表示感谢。

作者的电子邮箱是 guojun@nwu. edu. cn。

作 者

2012 年 6 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 电子计算机概述	1
1.2 数字系统设计方法	2
第 2 章 可编程逻辑器件	5
2.1 概述	5
2.1.1 可编程逻辑器件发展历史	5
2.1.2 FPGA 与 CPLD	6
2.2 简单可编程逻辑器件	7
2.2.1 可编程只读存储器	7
2.2.2 可编程逻辑阵列	8
2.2.3 通用阵列逻辑	10
2.3 复杂可编程逻辑器件	10
2.3.1 CPLD 原理	11
2.3.2 CPLD 的逻辑实现	13
2.4 现场可编程门阵列	15
2.4.1 FPGA 内部结构	15
2.4.2 FPGA 工作原理	16
2.4.3 CPLD 与 FPGA 比较	18
2.5 典型的 FPGA 芯片	19
2.5.1 Xilinx 公司的 FPGA	19
2.5.2 Altera 公司的 FPGA	20
2.5.3 Cyclone 系列 FPGA 结构原理	21
2.6 FPGA 设计流程	25
习题	27
第 3 章 Verilog 硬件描述语言基础	28
3.1 概述	28
3.1.1 硬件描述语言发展历史	28
3.1.2 Verilog HDL 与 VHDL 的比较	29
3.1.3 Verilog 语言和 C 语言	29

3.2 Verilog 语言的基本概念	31
3.2.1 基本程序结构	31
3.2.2 标识符和关键字	32
3.2.3 注释方法	32
3.2.4 参数声明	32
3.2.5 编译指令	32
3.3 数据类型与表达式	34
3.3.1 逻辑值	34
3.3.2 常量	34
3.3.3 变量	35
3.3.4 变量的物理含义	38
3.4 运算符	38
3.4.1 算术运算符	39
3.4.2 逻辑运算符	39
3.4.3 关系运算符	39
3.4.4 相等运算符	39
3.4.5 位运算符	39
3.4.6 归约运算符	41
3.4.7 移位运算符	41
3.4.8 条件运算符	41
3.4.9 连接运算符	41
3.5 模块的结构化描述	41
3.5.1 模块结构	41
3.5.2 结构化描述	42
3.6 数据流描述	45
3.6.1 连续赋值语句	45
3.6.2 时延的概念	46
3.6.3 数据流描述实例	46
3.7 行为描述方式	48
3.7.1 语句块	48
3.7.2 事件控制	49
3.7.3 过程赋值语句	50
3.7.4 编程语句	52
3.7.5 混合描述方式	54
3.8 任务和函数	55
3.8.1 任务	55
3.8.2 函数	56

3.8.3 系统任务和系统函数	57
3.9 仿真验证	59
3.9.1 编写测试程序	59
3.9.2 测试激励编程	61
3.10 Verilog-2001 新增功能	62
习题	64
第4章 Quartus II 集成开发环境	65
4.1 概述	65
4.2 Quartus II 的安装	66
4.2.1 计算机配置要求	66
4.2.2 安装步骤	66
4.2.3 授权文件安装	71
4.3 Quartus II 使用方法	72
4.3.1 Quartus II 设计流程	72
4.3.2 Quartus II 使用步骤	73
习题	81
第5章 设计实例与实践	82
5.1 组合逻辑电路设计	82
5.1.1 可综合设计	82
5.1.2 加法器	83
5.1.3 比较器	84
5.1.4 多路器	85
5.1.5 编码器	86
5.1.6 译码器	87
5.1.7 三态缓冲器	87
5.1.8 总线设计	88
5.2 时序逻辑电路设计	88
5.2.1 分频器	89
5.2.2 移位寄存器	90
5.2.3 计数器	90
5.2.4 FIFO	90
5.2.5 有限状态机	92
5.3 简单 CPU 设计	93
5.3.1 指令系统设计	93
5.3.2 体系结构设计	94



5.3.3 基本组成部件设计	95
5.3.4 顶层模块设计	104
5.3.5 仿真验证	105
习题	106
附录 A Verilog HDL 的关键字	107
附录 B FPGA 实验开发平台简介	108
参考文献	111

第1章

绪论

我们知道,数字电路的基本单元是逻辑门,而逻辑门是由晶体管和电阻电容构成,利用逻辑门可以设计组合电路;基本逻辑门又可以构成各种触发器,触发器具有记忆功能,可以用来设计时序电路。在数字逻辑课程中,我们已经学习过用布尔代数理论和卡诺图方法设计简单的逻辑电路;一个复杂的 CPU 也是由基本逻辑电路构成,但是,如何设计诸如 CPU 这种复杂的逻辑电路,以往的方法是否还能够有效运用,这是我们面临的一个新的问题。

1.1 电子计算机概述

电子计算机分为模拟电子计算机和数字电子计算机。模拟电子计算机问世较早,其内部所处理的是模拟电信号。模拟电子计算机均采用模拟电路来实现,电路结构复杂,抗干扰能力差,精度低。与模拟电子计算机不同,数字电子计算机内部处理是离散化的数字信号量,主要由数字电路组成,具有抗干扰能力强、精度高、可靠性高的优点。数字电子计算机结构和性能都优于模拟电子计算机,是当今世界电子计算机行业中的主流。

电子计算机经过了电子管、晶体管、集成电路、大规模集成电路等几代的发展,已经形成了多个系列、多个品种的产品。笼统而言,有巨型机、大型机、中型机、小型机、微型机和单片机等,不同种类的计算机在性能参数、功能结构上都有很大的差别,适用的应用领域也不同。但是,各种电子计算机的基本结构和原理却相差不大,主要分为冯·诺依曼体系结构计算机和哈佛结构计算机。

1945 年,匈牙利裔美籍数学家冯·诺依曼首先提出了“存储程序”的概念和二进制原理,后来,人们把利用这种概念和原理设计的电子计算机系统统称为“冯·诺依曼型结构”计算机。其主要特征是将指令编程后存储,然后逐条顺序执行指令,从而实现了自动运算。采用这种体系结构的计算机一般包括五大部件,即运算器、存储器、控制器、输入设备和输出设备,如图 1.1 所示。长期以来,冯·诺依曼体系结构是计算机系统设计的主体,目前使用冯·诺伊曼型结构的中央处理器和微控制器有很多,著名的有英特尔公司的 x86 系列处理器、ARM 公司的 ARM7、MIPS 公司的 MIPS 处理器。

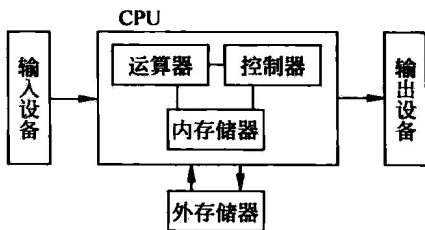


图 1.1 冯·诺依曼型结构计算机

冯·诺依曼型结构计算机的优点是理论成熟,容易控制。但是,冯·诺依曼型结构的计算机存在一个先天不足,就是处理器使用同一个存储器,指令和数据由同一个总线传输。这种指令和数据共享同一总线的结构,使得信息流的传输成为限制计算机性能的瓶颈,影响了数据处理速度的提高。

哈佛结构是一种将程序指令存储和数据存储分开的计算机体系结构,目的是为了缓解程序运行时访问存储器的瓶颈问题。中央处理器首先到指令存储器中读取程序指令,译码后得到数据地址,再到相应的数据存储器中读取数据,并进行下一步的操作。程序指令存储和数据存储分开,还可以使指令和数据有不同的数据宽度,提高存储效率。

哈佛结构处理器有两个明显的特点:使用两个独立的存储器模块,分别存储指令和数据,每个存储模块都不允许指令和数据并存;使用独立的两条总线,分别作为CPU与每个存储器之间的专用通信路径,而这两条总线之间独立工作,互不干扰。哈佛结构的微处理器程序指令和数据是分开组织和存储的,可以解决读取指令和数据的冲突问题,执行时可以预先读取下一条指令,因而具有较高的执行效率。哈佛结构的缺点是结构比较复杂,设计难度较大。目前,使用哈佛结构的中央处理器和微控制器有很多,如Microchip公司的PIC系列芯片、Motorola公司的MC68系列、Zilog公司的Z8系列、ATMEL公司的AVR系列和ARM公司的ARM9、ARM10和ARM11处理器。

除了上述两种体系结构,人们还提出了一些新的计算机结构,如可重构体系结构、可进化结构等。随着计算机技术发展,还出现了单片系统(System on Chip, SoC)、可编程器件、嵌入式系统(Embedded System)等新技术,使电子计算机的性能达到了令人惊讶的高度,计算机技术正向高性能、多样化、节能环保的方向发展。但是,无论哪一种结构的电子计算机,基本模块和功能是相似的,学习掌握基本的设计方法和技术仍然具有重要意义。

1.2 数字系统设计方法

广义而言,数字电子计算机就是一个以CPU为核心的复杂数字系统,用于存储、传输和处理数字信息。从算法的角度看,数字计算机实际上就是用来实现某个算法的逻辑电路系统,输入的数据经过计算机的运算产生符合要求的结果。因此,数字计算机通常可以用一个算法模型来描述,数字计算机的设计就是把算法转化为实际数字逻辑电路的过程。对于一个复杂的数字系统而言,算法模型可以分解成若干并行或顺序执行的子运算,这种分解过程可以持续到每个子运算都可以由数字电路直接实现为止。算法描述的就是系统的算法模型,包括子运算和控制逻辑,任何一个系统都可以用算法模型来描述,算法不断分解的过程实际就是系统的设计过程。

我们知道,同一个算法可以用不同结构的数字逻辑电路来实现,运算结果可能完全一致,但其运算速度和性能价格比可以有很大的差别,因此,选择合适的设计实现方法至关重要。目前,数字系统的实现方法主要有如下4种。

1. 基于分立电子元件设计

基于分立电子元件设计是采用电阻、电容、晶体管等分立元件为主和简单集成电路来实现数字系统的一种传统方法。这是一种早期的数字电路设计方法,能够实现比较简单的功

能,但是,设计的数字系统体积大、功耗高、可靠性差,生产和调试都比较困难,目前在复杂的数字系统设计中已经很少采用,仅仅在一些辅助电路中使用,如上/下拉电阻、功率驱动和电源等。

2. 基于微处理器的设计

数字系统的核心采用技术成熟的微处理器,包括通用微处理器、嵌入式微处理器和数字信号处理器 DSP,由它们来完成运算和控制,系统设计的主要任务是编制实现算法的程序,设计以处理器为中心的外围接口电路,包括 IO 接口、存储器、人机交互系统等。

由于采用了成熟的微处理器技术,系统的开发周期短,开发风险低,而且算法易于修改,应用灵活性强,适合实现复杂的算法和控制过程。不足之处是专用性不强,往往不是最优化的设计。

3. 基于专用集成电路设计

基于专用集成电路设计是采用专用集成电路(ASIC)芯片实现数字系统,设计过程一般是使用电子设计辅助工具(EDA)完成。采用这种方法设计的系统专用性强、集成度高、可靠性高、体积小、功耗低,对于大批量的产品开发,如 DVD、MP3 处理器芯片等,具有明显的优势。但是,采用 ASIC 芯片设计数字系统风险较大,一次性投入费用高,灵活性差。

4. 基于可编程逻辑器件设计

基于可编程逻辑器件设计是采用可编程逻辑器件,包括 PLD、CPLD (Complex Programmable Logic Device)、FPGA(Field Programmable Gate Array)等,实现数字系统的算法和控制逻辑。其优点是开发周期短、便于修改、灵活性强,适合小批量的产品开发;缺点是器件资源有一定的浪费,大批量生产时,单片成本高于 ASIC 芯片。

本书主要介绍基于可编程逻辑器件的数字系统设计方法。

早期的数字系统设计一般是通过真值表、卡诺图以及状态图的方法来建立数字系统的模型,由少数工程师借助较少的工具完成设计,设计过程的自动化程度低,受设计者能力和经验因素影响较大。随着数字系统规模的增大和复杂程度的提高,传统的设计方法和技术已经不能胜任新的要求,必须研究新的方法和技术手段。目前,普遍采用的方法是用系统算法模型对数字系统建模,在电子设计自动化技术支持下,利用计算机辅助设计工具,完成数字系统设计验证的全部过程。

随着计算机、集成电路、电子系统设计的发展,EDA 技术经历了计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工程设计(CAE)和电子系统设计自动化(ESDA)三个发展阶段。20 世纪 70 年代,人们开始用计算机辅助进行 IC 版图编辑和 PCB 布局布线,取代了手工操作,开始进入 CAD 阶段;80 年代在 CAD 图形绘制功能基础上,又增加了电路功能设计和结构设计功能,并通过电气连接网表将两者结合在一起,以实现工程设计,此为 CAE 阶段;90 年代则进入了 ESDA 阶段,基本特征是设计人员按“自顶向下”的设计方法,对整个系统进行方案设计和功能划分,系统的关键部用一片或几片专用集成电路实现,然后采用硬件描述语言完成系统行为级设计,最后通过综合器和适配器生成最终的目标器件。ESDA 的出现,使设计师开始摆脱了大量的辅助设计工作,把精力集中在创造性的方案与概念构思上,极大地

提高了系统的效率,缩短了产品的研制周期。

面向可编程逻辑器件的 EDA 技术采用高级硬件描述语言 HDL 进行系统设计,提供系统级仿真和综合功能,设计工程主要采用并行工程(Concurrent Engineering)和自顶向下(Top-down)的设计思想,从系统总体要求出发,分为行为描述、寄存器传输级描述、逻辑综合三个层次,将设计内容逐步细化,最后完成整体设计。这种设计方法将数字系统设计的全过程,包括软件编译、逻辑化简、逻辑综合、仿真优化、布局布线、逻辑适配、逻辑映射、编程下载、生成目标系统等,都集中到软硬件开发平台上自动完成。传统的“电路设计—硬件调试—调试焊接”模式转变为“功能设计—软件模拟—编程下载”方式,设计人员只需一台微机和相应的开发工具即可研制出各种功能电路,方便高效。

第2章

可编程逻辑器件

可编程逻辑器件是一种集成电路芯片,它的种类有很多,但都有一个共同特性,就是用户可以自己定义配置器件的逻辑功能,实现自己的设计要求,使用起来非常灵活。有些可编程器件仅能实现组合逻辑功能;有些既能实现组合逻辑功能,也能实现时序逻辑功能。采用可编程逻辑器件,可以提高数字系统的集成度和可靠性,降低设计成本,缩短设计周期。

本章首先介绍简单可编程逻辑器件原理,然后介绍复杂可编程逻辑器件原理;最后重点介绍现场可编程门阵列。

2.1 概述

2.1.1 可编程逻辑器件发展历史

采用集成电路(Integrated Circuit, IC)芯片设计数字电路给设计工作带来了极大便利,但是,随着数字电路的广泛应用,这种数字系统的设计方法也遇到了一些矛盾。首先,随着应用领域对系统的功能要求越来越强,现有的通用 IC 芯片难以满足系统的功能要求;其次,随着系统复杂程度的提高,所需通用 IC 芯片的数量呈爆炸性增长,导致系统体积增大,功耗增加、可靠性降低。此外,当前数字产品更新换代快、生命周期短,一个电路模块可能需要在很短的时间内改动功能,而对于采用通用 IC 芯片设计的电路系统来说,就意味着重新设计和重新布线。因此,系统设计师们希望能够根据不同应用需求,自行设计专用集成电路(ASIC)芯片,而且希望设计工作能够在实验室里短期完成,正是为了满足这一需求,现场可编程逻辑器件(FPLD)应运而生,其中应用最广泛的是现场可编程门阵列和复杂可编程逻辑器件。

早期的可编程逻辑器件主要有可编程只读存储器(Programmable Read Only Memory, PROM)、紫外线可擦除只读存储器(EPROM)和电可擦除只读存储器(EEPROM)三种。由于结构的限制,它们一般只能作为数据存储器或者完成简单的组合逻辑功能。其后,出现了一类结构上稍复杂的可编程芯片,即可编程逻辑器件(PLD),它能够完成各种组合逻辑功能。典型的 PLD 由“与”门和“或”门阵列组成,而任意一个组合逻辑都可以用“与-或”表达式来描述,所以,PLD 能以乘积项求和的形式完成大量的组合逻辑功能。

可编程逻辑器件的代表性产品是编程阵列逻辑(PAL)和通用阵列逻辑(GAL)。PAL 由一个可编程的“与”阵列和一个固定的“或”阵列构成,或门的输出可以通过触发器有