

电子系统设计基础

DIANZI XITONG SHEJI JICHU

梁晓雯 李玉虎 许 瑛 / 编著

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书是现代电子系统设计的基础教材,主要分为三篇内容。第一篇着重介绍了电子设计自动化(EDA)的基本原理和方法,包括“自上而下”的系统设计流程、硬件描述语言(HDL)设计方法以及可编程逻辑器件的基本原理等;第二篇详细介绍了 VHDL 语言的语法规则和编程方法,给出了大量的程序设计实例,并介绍了现场可编程门阵列(FPGA)开发系统的硬件结构和软件工具 MAX + PLUS II、Quartus II 的操作指南。第三篇以美国德州仪器公司(TI 公司)的 TMS320C54x 系列 DSP 为例,对实现系统的另一种重要器件——数字信号处理器(DSP)进行了介绍,主要包括 DSP 的定点和浮点运算、TMS320C54x 系列 DSP 的体系结构和指令系统,并给出了 DSP 开发软件 CCS 的操作指南。

本书可作为高等院校计算机、自动化、信息系统及电子工程等相关专业的高年级本科生或研究生的教材,也可作为相关专业的教师、科研人员及工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

电子系统设计基础/梁晓雯,李玉虎,许瑛编著. —合肥:中国科学技术大学出版社, 2008.9

(安徽省高等学校“十一五”省级规划教材)

ISBN 978 - 7 - 312 - 02402 - 2

I. 电… II. ①梁…②李…③许… III. 电子系统—系统设计—高等学校—教材
IV. TN02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 146357 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,邮编:230026
<http://press.ustc.edu.cn>
印刷 安徽辉隆农资集团瑞隆印务有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 710mm×960mm 1/16
印张 27.25
字数 520 千
版次 2008 年 9 月第 1 版
印次 2008 年 9 月第 1 次印刷
定价 43.00 元

前 言

随着电子技术及计算机技术的发展,现代电子系统的复杂度越来越高、功能越来越强、集成度越来越高,而设计周期却越来越短。传统的人工设计的方法已经不能满足现代电子系统设计的要求了,取而代之的是以计算机为主体的电子设计自动化(EDA)技术。

EDA 技术提供了一种“自上而下”的全新设计方法,它首先从系统设计入手,通过对系统的行为描述,验证系统的功能和性能。一旦“概念性”的系统得到验证后,再通过综合优化工具,将“概念性”的系统转变为由具体逻辑电路描述的系统。最后,通过制作印刷电路板(PCB)和集成电路芯片(IC)实现物理系统。这里的“自上而下”指的是从系统的功能设计到物理上的硬件实现的全过程。

现代电子系统的系统级设计和仿真主要是依赖多种层次、多种功能的 EDA 软件工具来进行的,而系统的物理实现正逐步走向以“数字信号处理器(DSP)+可编程逻辑器件(PLD)”为核心的硬件架构。因此,要想对现代电子系统的设计和实现过程有一个全面的了解,不仅要学习电子系统的设计方法和软件工具,还要对 DSP 和 PLD 等器件有所了解。本书的目标就是将相关内容有机地结合在一起,尝试对现代电子系统从设计到实现进行全面的描述。

本书集作者长期从事 EDA 技术、DSP 原理与应用等有关课程的教学和科研经验,在查阅了大量国内外最新资料的基础上编写完成。全部内容分为三大部分,第一部分介绍了现代电子系统设计的原理和方法,包括系统模型的建立、专用集成电路(ASIC)和 PCB 板的设计流程,以及可编程逻辑器件的基本原理等。第二部分介绍了 VHDL 硬件描述语言的基本内容、实际的硬件开发系统以及常用的开发软件工具。第三部分是 DSP 的基本原

理与设计流程,着重介绍了美国德州仪器(TI)公司 TMS320C54x 系列 DSP,介绍了其硬件开发板及软件工具 CCS 的使用。

本书力求内容新颖全面,重点突出,语言精练,通俗易懂。可作为高等院校计算机、自动化及电子工程等相关专业的高年级本科生、研究生的教材,也可作为有关专业的教师、研究人员及工程技术人员的参考书。

本书的第 1、2、3、7、8、10 章由梁晓雯编写,第 4、5、6、11 章由李玉虎编写,第 9 章由许瑛编写。全书由梁晓雯负责统稿。

本书作为中国科学技术大学电子工程与信息科学系本科生的教材,在编写过程中得到了院系领导的支持和许多老师的帮助。特别感谢裴小平老师提供了多年的教学经验,张普华老师提供了必要的软件插图。感谢研究生李占亚绘制了文中大量的插图。

由于作者的水平和经验有限,难免有疏漏及不当之处,希望读者批评指正。

作 者

2008 年 6 月于中国科学技术大学

目 次

前言	i
----------	---

第一篇 电子系统设计的原理和方法

第 1 章 绪论	3
1.1 电子系统设计的内容	3
1.2 电子系统设计的方法	5
1.2.1 传统的电子系统设计方法	5
1.2.2 EDA 技术的发展	8
1.2.3 EDA 设计技术	9
1.3 EDA 技术的优势	10
1.4 提供 EDA 设计工具的主要公司	11
1.4.1 Cadence 公司	11
1.4.2 Synopsys 公司	13
1.4.3 Mentor Graphics 公司	14
第 2 章 现代电子系统设计方法	16
2.1 系统级的建模与仿真	16
2.1.1 数字系统的设计模型	16
2.1.2 模拟器件的建模	17
2.1.3 系统级仿真	19
2.2 IC 设计方法	22
2.2.1 IC 的设计流程	24
2.2.2 硬件描述语言的描述方法	26
2.3 可编程逻辑器件的设计方法	30
2.3.1 集成电路的分类	30
2.3.2 FPGA 的设计实现方法	33
2.4 专用集成电路(ASIC)的设计方法	34

2.4.1 ASIC 分类	34
2.4.2 ASIC 的设计流程	35
2.4.3 ASIC 电路的特点	35
2.5 IP 复用方法	37
2.5.1 系统的层次式设计	37
2.5.2 硬 IP 和软 IP	38
2.5.3 基于 IP 模块的设计方法	39
2.6 印刷电路板设计	41
2.6.1 印刷电路板布局设计	42
2.6.2 印刷电路板布线设计	43
第 3 章 可编程逻辑器件的工作原理	44
3.1 概述	44
3.1.1 可编程逻辑器件的发展	44
3.1.2 PLD 厂商及产品介绍	47
3.1.3 FPGA 与 CPLD 之间的差别	48
3.1.4 FPGA/CPLD 的优点	49
3.1.5 FPGA/CPLD 设计的一般流程	50
3.2 Xilinx FPGA 结构简介	50
3.2.1 XC3000 系列产品的结构	51
3.2.2 Virtex-II 系列产品的结构	54
3.3 Altera 产品简介	65
3.3.1 FLEX 10K 系列器件的结构	65
3.3.2 Cyclone II 系列器件的结构	73

第二篇 VHDL 硬件描述语言及 硬件电路设计

第 4 章 VHDL 硬件描述语言	87
4.1 HDL 语言概述	87
4.1.1 HDL 语言的出现及发展	87
4.1.2 HDL 语言的分类	88
4.1.3 VHDL 语言开发环境及硬件平台	89
4.2 VHDL 程序的基本结构	90
4.2.1 库	92

4.2.2	实体	93
4.2.3	结构体	98
第 5 章	VHDL 语言基础	105
5.1	VHDL 的数据类型和操作符	105
5.1.1	VHDL 标识符	105
5.1.2	VHDL 数据对象	107
5.1.3	VHDL 数据类型	111
5.1.4	VHDL 操作符	113
5.2	VHDL 顺序语句	116
5.2.1	IF 语句	116
5.2.2	CASE 语句	120
5.2.3	LOOP 语句	122
5.2.4	NEXT 语句	124
5.2.5	EXIT 语句	125
5.2.6	RETDNR 语句	125
5.2.7	WAIT 语句	125
5.2.8	NULL 语句	128
5.2.9	REPORT 语句	129
5.3	VHDL 并发语句	129
5.3.1	PROCESS 语句	129
5.3.2	BLOCK 语句	131
5.3.3	并发过程调用语句和子程序	132
5.3.4	ASSERT 语句	136
5.3.5	信号代入语句	136
5.3.6	元件例化语句及元件	139
5.3.7	GENERATE 语句	141
5.4	配置和属性	146
5.4.1	配置	146
5.4.2	属性及时钟表示	148
5.4.3	VHDL 模板	149
5.5	VHDL 数字电路设计实例	152
5.5.1	组合电路设计	152
5.5.2	时序电路设计	161

5.5.3 有限状态机	175
第 6 章 基于 FPGA 设计的软硬件环境	181
6.1 FPGA 硬件开发板结构简介	181
6.1.1 DXT 硬件开发板	181
6.1.2 EACF 型开发板简介	189
6.2 MAX+PLUS II 操作指南	195
6.2.1 图形输入的设计过程	195
6.2.2 VHDL 语言描述输入法	213
6.2.3 工具条和常用菜单选项使用	214
6.2.4 图形的层次化设计及 BUS 的使用	217
6.3 Quartus II 操作指南	222
6.3.1 Quartus II 简介	222
6.3.2 Quartus II 图形用户界面设计流程	223
6.3.3 Quartus II 操作实例	230

第三篇 数字信号处理器原理及设计

第 7 章 数字信号处理器概述	259
7.1 引言	259
7.2 DSP 的发展	260
7.3 DSP 的应用	261
7.4 定点运算和浮点运算	263
7.4.1 定点运算	263
7.4.2 DSP 中的定点算术运算	265
7.4.3 浮点运算	267
7.4.4 DSP 中的基本浮点运算	269
第 8 章 TMS320C54x 系列 DSP 的体系结构	272
8.1 TMS320C54x 的体系结构	272
8.1.1 总线结构	275
8.1.2 中央处理单元(CPU)	276
8.1.3 内部存储器	281
8.1.4 在片外设	284
8.1.5 串行口	287
8.2 TMS320C54x 的存储空间组织形式	305

8.2.1	程序存储器	307
8.2.2	数据存储器	308
8.2.3	I/O 存储空间	309
第 9 章	TMS320C54x 系列 DSP 的指令系统	311
9.1	寻址方式	311
9.1.1	数据寻址	311
9.1.2	程序寻址	318
9.2	TMS320C54x 的指令系统	319
9.3	TMS320C54x 的助记符指令集	324
9.3.1	算术操作指令	324
9.3.2	逻辑操作指令	328
9.3.3	程序控制操作指令	330
9.3.4	装载和存储操作指令	333
9.3.5	单指令重复操作	336
第 10 章	TMS320C54x 系列 DSP 的开发流程	339
10.1	TMS320VC5402 DSK 简介	339
10.1.1	TMS320VC5402 DSK 开发板	339
10.1.2	软件工具	341
10.2	开发流程	342
10.3	汇编命令	344
10.3.1	段定义命令	344
10.3.2	常数初始化命令	347
10.3.3	段程序计数器定位命令	348
10.3.4	输出列表格式命令	348
10.3.5	引用其他文件的命令	349
10.3.6	条件汇编命令	349
10.3.7	汇编时的符号命令	350
10.3.8	其他汇编命令	351
10.4	宏	352
10.4.1	宏定义	352
10.4.2	宏调用	353
10.4.3	宏扩展	353
10.5	汇编程序实例	354
10.5.1	IIR 数字滤波器的优化设计	354

10.5.2 开方算法的汇编程序设计	360
第 11 章 CCS IDE 软件操作指南	366
11.1 CCS 的开发流程	366
11.2 CCS 工程管理和编辑工具	367
11.2.1 创建新的工程	367
11.2.2 向工程中添加文件	368
11.2.3 使用源码控制	369
11.2.4 编译和运行程序	370
11.2.5 选择工程配置	371
11.2.6 在命令行编译工程	372
11.2.7 导入外部的 Makefile 文件	373
11.2.8 使用 Editor 检查源代码	373
11.3 CCS 代码生成工具	375
11.3.1 代码生成工具和 CCS	376
11.3.2 编译器与 CCS 接口	378
11.3.3 汇编语言开发工具	378
11.3.4 汇编器概述	379
11.3.5 链接器概述	379
11.3.6 可视化链接器	379
11.3.7 C/C++ 代码开发工具	381
11.4 CCS 调试工具	382
11.4.1 调试工具概述	383
11.4.2 断点(Breakpoints)	383
11.4.3 观察窗(Watch Window)	385
11.4.4 探测点(Probe Points)	387
11.4.5 软件仿真器分析(Simulator Analysis)	390
11.4.6 硬件模拟器分析(Emulator Analysis)	391
11.4.7 高级事件触发(Advanced Event Triggering)	391
11.4.8 显示图像(Displaying Graps)	393
11.4.9 符号浏览器(Symbol Browser)	394
11.4.10 通用扩展语言(General Extension Language)	395
11.4.11 命令窗(Command Window)	395
11.4.12 管脚连接(Pin Connect)	396
11.4.13 端口连接(Port Connect)	396

11.4.14 数据转换器(Data Converter)	397
11.5 CCS 优化工具.....	400
11.5.1 剖析器(Profiler)	400
11.5.2 基于剖析的编译器(Profile Based Compiler — PBC)	400
11.6 CCS 实时核与分析.....	403
11.6.1 DSP/BIOS 核	403
11.6.2 RTDX 技术	410
11.7 CCS 芯片支持库概述.....	414
11.7.1 CSL 简介.....	414
11.7.2 DSP/BIOS 图形接口功能概述	415
11.8 TMS320 DSP 算法标准	418
11.8.1 TMS320 DSP 算法标准简介	418
11.8.2 算法设计者资源	419
参考文献	422

第一篇

电子系统设计的原理和方法

第 1 章 绪 论

电子技术的发展给人类社会带来了丰富多彩、功能各异的信息电子产品。由于电子系统的实现是以电子元、器件为基础的,因此在电子元、器件发展的各个阶段,电子系统也呈现出不同的特征。

早期的电子系统以电子管、晶体管为基础,其特点是功能简单、体积庞大、功耗大。到了二十世纪七十年代,中小规模集成电路迅速发展,并得到广泛应用,电子系统也逐渐过渡到以集成电路为基本的组成器件。八十年代以后,集成电路的规模进一步扩大,出现了大规模集成电路(Large Scale Integration; LSI)和超大规模集成电路(Very Large Scale Integration; VLSI),基于 LSI 和 VLSI 的电子系统在性能上又得到进一步的提高。

随着电子技术的不断发展,现代电子系统的复杂度日益提高。如果还采用中小规模的集成电路作基本的设计器件,那么一个电子系统可能需要使用数万个中小规模的集成电路芯片,这势必会带来体积大、功耗大、可靠性差等问题。解决这个问题的方法就是现代电子系统要逐步走向集成化,使用专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit; ASIC)来进行电子系统的设计,进而向系统芯片(System on Chip; SOC)发展。

集成化的电子系统大大提高了产品的性能,它们的特点是规模大、集成度高、结构复杂。但是,系统性能提高的同时,也增加了设计上的难度。传统的电子系统设计方法已经不能满足现代电子系统的设计要求了,取而代之的是电子设计自动化(Electronic Design Automation; EDA)技术。

1.1 电子系统设计的内容

当我们看到一台微型计算机的时候,我们首先看到的是它的外包装(机箱)和

输入输出设备(键盘、鼠标、显示器等)。如果我们抛开了这些外在的东西,那么我们看到的是以计算机主板为核心的电子系统,如图 1.1 所示。

在图 1.1 中,一块印刷电路板(Printed Circuit Board;PCB)上分布着多种集成度不同的芯片、各种模拟元、器件以及接插件等。在加电的情况下,它们可以协同工作,实现预期的各种功能。我们对这样一个电子系统进行分析,可以看到,它的设计工作主要体现在三个方面:系统模型、集成电路芯片(Integrated Circuit; IC)以及 PCB 板。

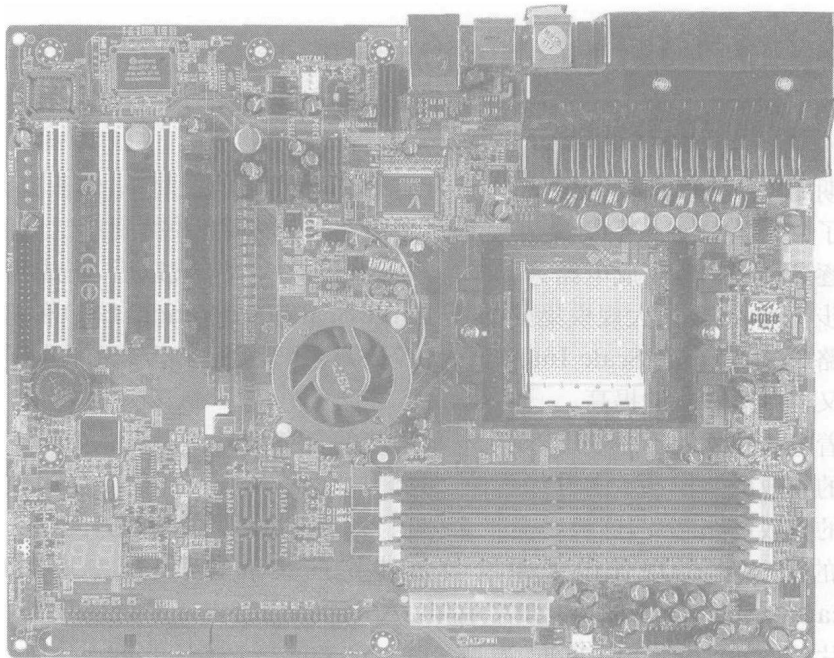


图 1.1 计算机主板

系统模型是将电子系统抽象化以后得到的描述系统功能和性能的数学模型和算法模型,系统模型的建立要使用相应的软件设计工具。模型建立以后,还要使用设计工具对它进行分析和验证。这一过程的目的是要在系统设计的初始阶段,验证系统的功能及所能达到的技术指标,保证系统设计的正确性和有效性。由于系统模型是一种抽象化的描述,所以这一层次的设计并不考虑实际的操作和算法用什么方法来实现,考虑更多的是系统的结构及其工作过程是否能达到系统设计指标的要求。

集成电路芯片的设计是将控制、运算和数据处理等功能模块集成在半导体芯片上。由于电子系统的复杂度日益提高,ASIC 芯片已经成为构建电子系统的主要器件。因此,芯片设计顺应了系统从标准通用电路向 ASIC 过渡的趋势,同时又满

足了用户的特殊需求,保护设计者的知识产权。随着半导体工艺的不断发展,设计师可以将一个完整的电子系统集成到一块芯片里,形成系统芯片(SOC),即在同一块芯片上集成了控制部件(微处理器、存储器、I/O 接口)和执行部件(微型开关、微机械),能够自成体系、独立工作的芯片。

当系统中主要的芯片已经设计完成以后,就要对多个芯片之间以及芯片与 I/O 端口之间进行连接测试,要给它们供电,还要提供输入信号,输出驱动信号给外部设备等。这些连接测试工作只有在 PCB 板上才能完成,因此,PCB 板的设计是要使整个系统的硬件实现满足电磁兼容的要求。这样才能保证在 PCB 板上安装上芯片及其他辅助电路后,系统能够正常运行。

1.2 电子系统设计的方法

随着集成电路技术和计算机技术的不断发展,现代电子系统的复杂度迅速提高。传统的基于人工设计的方法已经不能满足系统设计的需求了。取而代之的 EDA 设计方法作为大规模复杂系统的强有力的设计工具,具有与传统设计方法截然不同的流程和特点。为了能够更加透彻地描述 EDA 设计方法,我们首先回顾一下传统的系统设计方法。

1.2.1 传统的电子系统设计方法

在计算机辅助电子系统设计出现以前,数字系统被完全分为两个部分:系统硬件设计和系统软件设计。这两部分的设计人员基本不涉足到对方的领域,他们各自设计完成以后,合并连调。

硬件电路的设计长期以来一直是采用传统的设计方法来进行的。传统的设计方法是随着电子技术早期的发展而形成的,已经沿用了几十年,有它自身的特点和局限性,主要表现在以下一些方面:

1. 采用“自下而上”的设计过程

传统的电子系统设计方法采用“自下而上”(Bottom-Up)的设计过程,其步骤为:

(1) 根据系统要求,详细编写技术规格书并画出系统控制流程图。

(2) 根据技术规格书和系统控制流程图,对系统的功能进行细化,合理划分功能模块,并画出系统的功能框图。