



普通高等教育“十二五”规划教材
电子电气基础课程规划教材

现代电子技术 综合实验教程

唐续 主编 刘曦 副主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

013027818

TN01-33
45

普通高等教育“十二五”规划教材
电子电气基础课程规划教材

现代电子技术综合实验教程

唐 续 主 编
刘 曦 副主编



TN01-33
45

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING



北航

C1637033

内 容 简 介

本书以现代电子技术综合实践为应用背景,是 EDA 技术和单片机技术相结合的新型实验类教材。本书通过大量且多层次的实验项目,由浅入深、循序渐进地介绍基于 VHDL 的 FPGA 应用设计和基于 C51 的 8051 兼容单片机应用设计,以及二者结合的 SOPC 综合应用设计的流程、方法和开发技能,还介绍 SOPC 设计理念下的 DSP 综合设计性实验项目。

本书可作为高等学校电子类专业电子技术实践课程的实验教材和电子设计竞赛等科技创新活动的培训教材,也可供相关领域的工程技术人员学习或参考。

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。

图书在版编目(CIP)数据

现代电子技术综合实验教程/唐续主编. — 北京:电子工业出版社,2013.3

电子电气基础课程规划教材

ISBN 978-7-121-19383-5

I. ①现… II. ①唐… III. ①电子技术—实验—高等学校—教材 IV. ①TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 318319 号

策划编辑:王羽佳

责任编辑:王羽佳

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:北京季蜂印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:23 字数:664 千字

印 次:2013 年 3 月第 1 次印刷

印 数:3 000 册 定价:48.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前言

电子信息技术日新月异,以 EDA 技术和处理器技术为代表的现代电子技术飞速发展。为了紧跟其发展和应用的步伐,培养出既有理论知识,又有动手能力和创新思想的优秀人才,各高等学校一直进行着现代电子技术相关实践教学的改革。其中也出现了以下方面的问题:① 较长时期以来,独立的 EDA 应用和单片机应用实验教学已形成了较明显的壁垒,学生往往只能参与某一方面的学习和实践;② 各类实验室或机房重复建设,教学内容重叠类同;③ 现有 SOPC 课程和实验的门槛较高,难以与基础教学内容衔接,在普及层面推进缓慢。一般学生在学习新的工具软件 and 新的处理器知识方面困难较大,在实验过程中往往浮于简单的演示结果复现,难有足够的时间和精力关注 SOPC 设计理念本身并切实地开展设计实践。

针对上述问题,笔者开展了实践教学改革,通过实验资源整合和实验内容优化,达到实践教学的进步。具体表现为,整合 EDA 和单片机各自的实验平台为一体化的实验开发平台,从而实现对实验室和实验硬件设备的优化管理和配置。基于所开发的可在线调试用户程序的 8051 单片机软核,对现有独立的 EDA 应用实验和单片机应用实验的内容进行优化与整合,进而提出 EDA 和 51 单片机相结合的 SOPC 综合实验项目。当前,在实验平台上开设的各实验项目及其相互关系如图 1 所示。由于有效地衔接了 EDA 技术和单片机技术的理论教学,使得代表最新设计思想的 SOPC 技术能被更广泛的学生所接受。从而在培养学生独立思考能力和发挥学生创造性等方面获得了更好的教学效果。

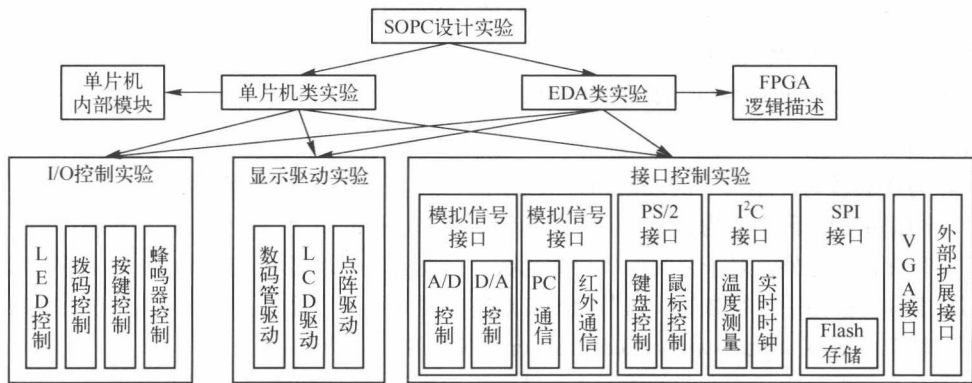


图 1 一体化实验平台的多层次实验项目及其相互关系

本书是上述实验教学改革的配套教材,其特点包括以下几个方面。

(1) 是国内第一本将 EDA 技术、单片机技术及二者结合的 SOPC 技术整合在同一 FPGA 平台上进行实验课程开设的配套教材。

(2) 适合不同的实验教学内容要求:既可支撑独立的 EDA 类和单片机类基础实验教学及其各自的综合实验教学,也可支撑二者结合的 SOPC 实验教学,并可与更高阶的 DSP 设计应用接轨。

(3) 只有通过大量的实践才能更好地掌握现代电子技术。本书是作者在多年从事实验教学和参与电子设计竞赛培训工作的基础上逐年积累编写而成的。本教材的基本思路表现为注重内容的典型性和实用性,强调过程的可操作性和可延续性。既有原理知识的铺垫,又有基础操作和例程的参考,还有综合应用项目的训练,更有创新设计的挑战,使不同层次的读者各取所需,并获得持续的学习兴趣。

全书按由浅入深的方式分为三篇,共 10 章。第一篇为原理基础篇,包括第 1~4 章。从数字系统基本设计原理出发,先从 EDA 方面介绍 EDA 设计流程、FPGA 结构特点和基于 VHDL 语言的逻辑描述方法,再从单片机方面讲述 8051 单片机原理和 C51 程序语言设计,并介绍了流行的 MC8051 处理器 IP 核。

第二篇为应用实践篇，是全书的重点。第5章介绍基于 Xilinx FPGA 的综合实验硬件平台，第6章和第7章分别提出多个基础性的 EDA 实验项目和单片机实验项目。其中既有工具软件的详细操作步骤，又有丰富的实验例程，使读者能够快速掌握 FPGA 应用和单片机应用的基本技能和对实验平台所提供的各功能模块的驱动方法。第8章为本书亮点，精选了8个综合性实验项目。每个项目都基于前面章节学习的软、硬件模块，完成一个电子应用小系统。本章实验项目的选取力求实用，有的侧重于逻辑设计，有的侧重于程序设计，有的侧重于系统综合设计，还有的则与 DSP 理论及方法的掌握和运用相结合。同时在内容编排上也由易到难。对各项目既有多层次的分析讨论和代码提示，同时又给读者的实践提供了充分发挥和扩展的空间。读者可根据对题目的分析，进行多种实现方案的尝试，进而掌握 EDA 和单片机各自的技术特征，深入理解软硬协同设计的现代电子技术设计思想和 SOPC 的优势。

第三篇为信号处理篇，讲述基于 FPGA 的数字信号处理。该篇先介绍 FFT、FIR 滤波、CORDIC 这3种典型的数字信号处理模块的使用，进而提供两个综合设计型实验题目，给读者以实战的检验。

本书是国内第一本真正结合 EDA 技术和 8051 单片机技术开展应用开发的实验教材。读者只要认真、勤奋地实践书中的内容，你可以：

- 掌握基于 VHDL 的 FPGA 应用技术；
- 掌握基于 Keil C51 的 8051 应用技术；
- 掌握基于 Xilinx FPGA 的 EDA 开发工具；
- 掌握 Xilinx FPGA 常用 IP 核的使用方法；
- 掌握电子设计中常用外围电路模块的驱动方法；
- 掌握基于 FPGA 逻辑和 MC8051 单片机核的 SOPC 设计方法；
- 构建多个 SOPC 模式的电子应用小系统；
- 掌握基于 FPGA 的 DSP 应用小系统的设计。

读者在阅读本书时，应注意以下几点。

(1) 作为实验教材，本书中的理论和方法介绍主要用于读者快速查阅，而非系统学习。

(2) 书中提供的代码主要为方便学习理解，较少考虑运行的效率，读者可在对实验内容和方法足够理解后再行优化。此外，对于公共的模块或函数，会在首次出现时尽量阐述清楚，而在后续实验项目中，则要求读者按指引自行参阅，以节约读者理解的时间和文字篇幅。某些较大的程序或文件，则请登录华信教育资源网 (<http://www.hxedu.com.cn>) 免费注册下载使用。

本书适合高等院校电子类专业的本科生和低年级应用型研究生。可作为电子技术实践课程的实验教材或电子设计竞赛等科技创新活动的培训教材。

本教材适用学时数较灵活。建议根据普及型或培训型的教学对象和学时要求等具体情况而侧重不同层次和类型的实验项目，也可适当扩展新的实验项目。参考学时为 32~64 学时，其中第一篇为 8~12 学时，第二篇为 24~32 学时，第三篇为 20 学时。

教材各章节编写的分工及安排如下：第1、2、3章和第6章的6.2.1、6.2.2和6.2.3节由刘曦编写，其余章节由唐续编写，全书由唐续统稿。董平、赵芳斌、王嘉、金辉、贾佳蔚、雷敏、杨艳芳、曲君涛、黄建、王丁、张平丽、高林、高现文、梁上烈、易宇良、周健和苏金洲等人参与了本实验教材的编写和实验验证。

本书在编写和出版过程中，得到了电子科技大学英才实验学院蒲晓蓉副院长、电子实验中心的皇晓辉等同事的大力支持，在此谨向他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在不足或错误，恳请广大师生和读者批评指正。

唐续 刘曦
2013年1月

目 录

原理基础篇

第 1 章 现代电子系统设计原理	2
1.1 现代电子设计技术概述	2
1.1.1 数字系统及其一般结构	2
1.1.2 数字系统设计的一般过程	3
1.2 现代数字系统设计	3
1.2.1 基于 PLD 的 EDA 设计	4
1.2.2 基于 MCU 的设计	5
1.2.3 基于 SOC 和 SOPC 的设计	6
第 2 章 EDA 技术及 VHDL 语言	9
2.1 EDA 技术简介	9
2.2 常用 EDA 软件简介	9
2.2.1 ISE 简介	9
2.2.2 Modelsim 简介	10
2.2.3 ChipScope 简介	10
2.3 可编程逻辑器件简介	11
2.3.1 可编程逻辑器件发展	11
2.3.2 FPGA 概述	12
2.4 VHDL 语言及其硬件逻辑描述方法	14
2.4.1 VHDL 的基本语言结构	14
2.4.2 库和程序包	15
2.4.3 实体	16
2.4.4 结构体	17
2.4.5 配置	19
2.4.6 VHDL 的基本语言要素	19
2.4.7 VHDL 的基本语句	27
2.4.8 基于 VHDL 的状态机设计	36
2.4.9 VHDL 的描述风格	37
2.4.10 VHDL 的测试基准	38
2.4.11 VHDL 与 EDA	38
2.4.12 VHDL 特点总结	39

第 3 章 MCS-51 原理及设计方法	40
3.1 MCS-51 单片机简介	40
3.1.1 MCS-51 单片机的硬件结构	40
3.1.2 MCS-51 存储器的结构	41
3.1.3 时钟与时序	51
3.1.4 MCS-51 的引脚	51
3.1.5 MCS-51 的复位	52
3.1.6 MCS-51 的扩展设计	53
3.2 MCS-51 单片机的指令与编程	53
3.2.1 MCS-51 单片机的指令系统	53
3.3 Keil C51	58
3.3.1 Keil C51 对 ANSI C 的扩展	58
3.4 C51 程序设计	64
3.4.1 C 语言程序结构	64
3.4.2 使用 C51 的注意事项	67
第 4 章 基于 MC8051 核的 SOPC	69
4.1 MC8051 功能特点	69
4.2 MC8051 结构与层次	69
4.3 硬件定制	71
4.3.1 并行 I/O 口	71
4.3.2 定时器/计数器、串口和中断	72
4.3.3 可选择的指令	72
4.3.4 其他说明	73
4.4 MC8051 核的使用方法简述	73
4.4.1 单片机方式	73
4.4.2 SOPC 方式	73

应用实践篇

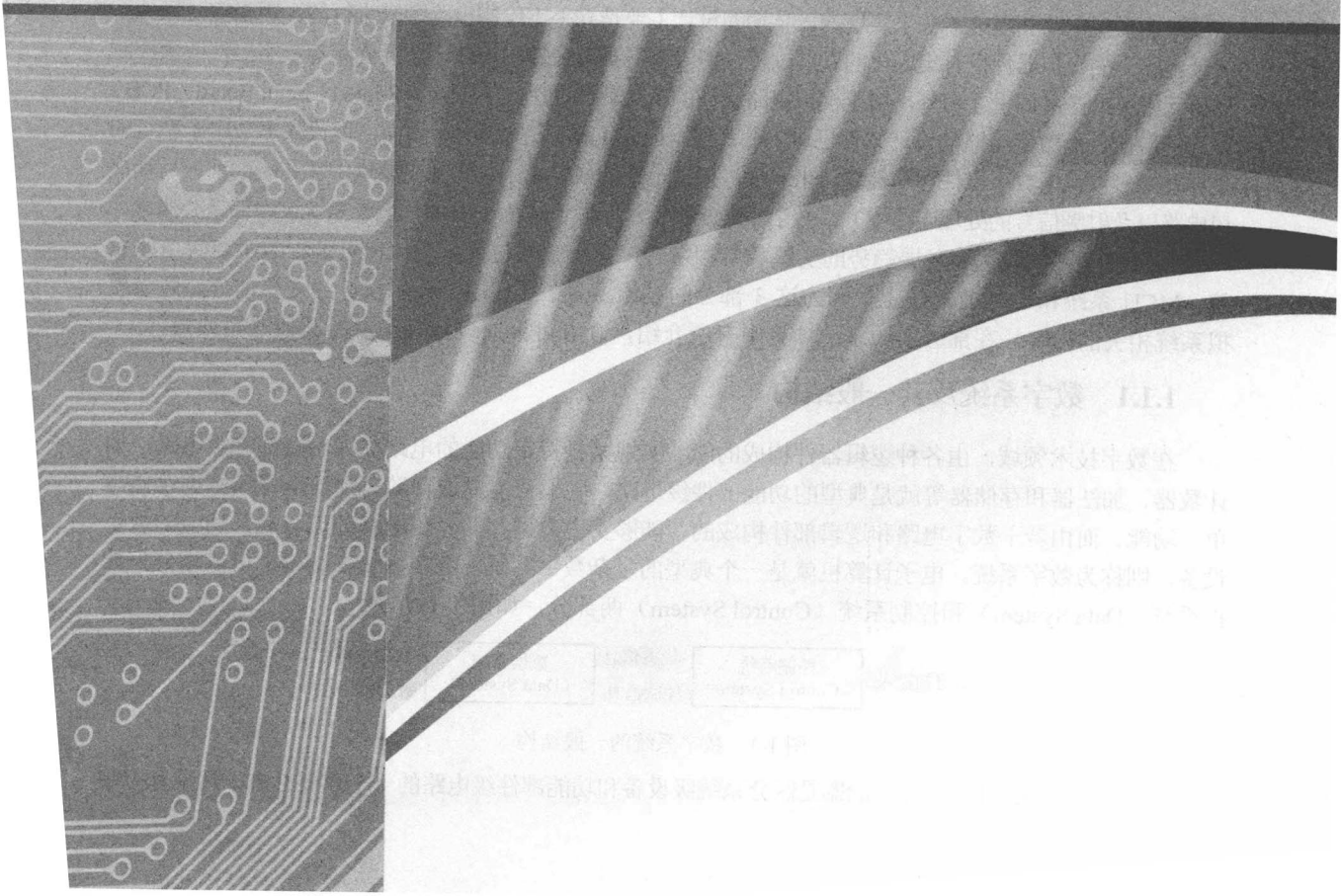
第 5 章 实验硬件平台	76
5.1 实验平台功能特点	76
5.2 核心板电路分析	76
5.2.1 核心板电路原理框图	77

5.2.2	FPGA 主芯片	78	控制器	134
5.2.3	时钟电路	78	6.2.9	LCD 显示驱动器
5.2.4	配置电路	79	6.2.10	SRAM 控制器
5.2.5	存储电路	81	6.2.11	SPI 接口 Flash 模块
5.2.6	电源电路	82		M25P16
5.2.7	按键及 LED 电路	82	6.2.12	通用异步收发器
5.2.8	七段数码管显示电路	83	6.2.13	红外收发
5.2.9	拨码开关电路	83	6.2.14	D/A 转换芯片 TLC5620 的
5.2.10	FPGA 的 I/O 分配	83		控制
5.2.11	核心板与底板接口	84	6.2.15	A/D 转换芯片 TLC549 的
5.3	底板电路分析	85		控制
5.3.1	底板电源电路	86	6.2.16	PS/2 键盘驱动
5.3.2	蜂鸣器电路	87	6.2.17	PS/2 鼠标驱动
5.3.3	液晶显示电路	87	第 7 章	基本单片机实验
5.3.4	16×16 LED 点阵电路	88	7.1	准备工作
5.3.5	RS-232 串口电路	88	7.1.1	MC8051 单片机定制与
5.3.6	红外通信电路	89		封装
5.3.7	VGA 接口电路	89	7.1.2	MC8051 单片机最小
5.3.8	PS/2 键盘和鼠标接口			系统
	电路	90	7.1.3	8051 单片机系统安装与
5.3.9	串行 D/A 电路	90		使用
5.3.10	串行 A/D 电路	91	7.1.4	实验操作与例程使用
5.3.11	实时时钟电路	91	7.2	实验项目
5.3.12	数字温度传感器电路	92	7.2.1	点亮 LED 灯
5.3.13	扩展 I/O 电路	92	7.2.2	简单的定时
5.3.14	核心板与底板接口	92	7.2.3	交流蜂鸣器
5.3.15	底板跳线及接口	93	7.2.4	数码管动态扫描显示
5.4	本章小结	94	7.2.5	加減计数器实验
第 6 章	基本 EDA 实验	95	7.2.6	用 PWM 波控制 LED
6.1	准备工作	95		亮度
6.2	实验项目	95	7.2.7	外部中断
6.2.1	LED 驱动	95	7.2.8	使用片外 SRAM
6.2.2	LED 流水灯	108	7.2.9	16×16 LED 点阵扫描
6.2.3	芯片内的逻辑分析仪			显示
	ChipScope	114	7.2.10	液晶显示驱动
6.2.4	键控数码管静态显示	121	7.2.11	红外收发
6.2.5	数控分频器	124	7.2.12	实时时钟 PCF8563
6.2.6	含异步清零和同步使能的		7.2.13	LM75A 数字温度计
	4 位加法计数器	130	7.2.14	TLC5620 串行 DAC
6.2.7	8 位硬件加法器	132	7.2.15	TLC549 串行 ADC
6.2.8	VGA 彩色信号显示			

第 8 章 综合实验题目	259	8.6.6 思考与练习	309
8.1 实验准备	259	8.7 基于 FPGA 的语音录制与回放 系统	309
8.1.1 SOPC 设计方式	259	8.7.1 实验背景	309
8.1.2 SOPC 方式下的 MC8051 IP 核	260	8.7.2 实验目的	309
8.1.3 MC8051 中地址空间 安排	266	8.7.3 实验任务	309
8.2 多功能数字时钟	266	8.7.4 实验要求	310
8.2.1 实验背景	266	8.7.5 实验指导	310
8.2.2 实验目的	266	8.7.6 思考与练习	313
8.2.3 实验任务	266	8.8 基于 LCD 界面的电压监测 系统	314
8.2.4 实验要求	266	8.8.1 实验背景	314
8.2.5 实验指导	267	8.8.2 实验目的	314
8.2.6 思考与练习	273	8.8.3 实验任务	314
8.3 可远程控制的简易交通灯 系统	274	8.8.4 实验要求	314
8.3.1 实验背景	274	8.8.5 实验指导	314
8.3.2 实验目的	274	8.8.6 思考与练习	314
8.3.3 实验内容	274	8.9 基于温度检测的监控系统	315
8.3.4 实验原理	274	8.9.1 实验背景	315
8.3.5 思考与练习	283	8.9.2 实验目的	315
8.4 频率测量仪	283	8.9.3 实验任务	315
8.4.1 实验目的	283	8.9.4 实验要求	316
8.4.2 实验内容	283	8.9.5 实验指导	316
8.4.3 实验要求	283	8.9.6 思考与练习	316
8.4.4 实验指导	283		
8.4.5 思考与练习	290	信号处理篇	
8.5 相位测量仪	290	第 9 章 数字信号处理技术基础	318
8.5.1 实验背景	290	9.1 数字信号处理概述	318
8.5.2 实验目的	290	9.2 数字信号处理系统的结构	318
8.5.3 实验内容	290	9.3 基于 FPGA 的数字信号处理	319
8.5.4 实验原理	291	9.4 常用 DSP 模块及其 IP 核	319
8.5.5 实验指导	293	9.4.1 快速傅里叶变换	320
8.5.6 思考与练习	297	9.4.2 FIR 滤波器	324
8.6 打地鼠游戏实验	297	9.4.3 CORDIC 模块	341
8.6.1 实验背景	297	第 10 章 设计实验题目	344
8.6.2 实验目的	297	10.1 音频信号分析仪	344
8.6.3 实验任务	297	10.1.1 实验背景	344
8.6.4 实验要求	297	10.1.2 实验目的	344
8.6.5 实验指导	298	10.1.3 实验内容	344
		10.1.4 实验原理	344
		10.1.5 实验指导	345

10.1.6	系统误差分析	351	10.2.3	实验内容	353
10.1.7	实验测试与结果	352	10.2.4	实验原理及指导	353
10.1.8	思考与练习	352	10.2.5	系统实现	356
10.2	可调参数的 FIR 数字滤波器 ...	352	10.2.6	系统测试	358
10.2.1	实验背景	352	10.2.7	思考与练习	359
10.2.2	实验目的	353	参考文献		360

原理基础篇



第1章 现代电子系统设计原理



本章简要介绍现代电子系统（Modern Electronic System）的基本概念及其分类。重点介绍现代数字系统（Modern Digital System）的设计原理和设计流程，使读者对现代电子系统及其设计过程有一个整体的了解，明确本书的背景和范畴。

1.1 现代电子设计技术概述

电子系统，泛指由各类电子器件，如电子管、晶体管、集成电路芯片和其他的电非电转换器件构成的，能完成特定功能的电子装置，如手机、出租车计价器等，遍及当今人类社会的各方面。为了设计和分析的需要，电子系统的类型可做不同的划分。本书按电路的组成分类，将系统分为模拟系统（Analog System）、数字系统（Digital System）、模数混合系统、微控制器单元（Microcontroller Unit, MCU）系统和片上系统（System on Chip, SOC）。片上系统的一个发展分支是基于可编程器件的片上系统（System on Programmable Chip, SOPC）。之所以把上述几个部分称为系统，是因为它们本身具有某种特定功能，并且是相对完整的。

电子系统设计的发展是一个从模拟系统向数字系统发展的过程。

模拟系统是指基于模拟电路来处理信号的系统。它要处理的信号为模拟信号，并要求系统能实时工作，主要是由模拟电路和模拟器件来实现的。早期的设计主要是靠手工绘制电路图来进行的。用于实现模拟系统（电路）的模拟器件也有集成化的发展过程，但没有得到革命性的突破，至今尚无与数字器件或微控制器单元媲美的产品问世。另外，用于模拟电路设计的工具软件还仍止于板级（Printed Circuit Board, PCB）设计的层次，而数字电路的设计软件已进入芯片级（Chip-Level）的层次，因而，现代大多数电子系统的主体功能多依赖于数字器件和软件算法来实现，模拟电路的成分越来越少（主要集中在系统的前、后端接口电路以及射频信号的处理电路中）。数字系统及其设计手段已成为一般现代电子系统设计的核心概念。

与反映该领域现状和发展趋势的实践教学相结合，本实验教材将重点放在可编程数字逻辑电路系统、MCU 系统和 SOPC 系统上，因为这 3 部分的设计涵盖了现代电子技术设计的主要部分。而与模拟系统相关的内容，在部分实验系统项目中有所介绍，读者可根据自身兴趣参阅其他书籍或资料。

1.1.1 数字系统及其一般结构

在数字技术领域，由各种逻辑器件构成的能够实现某种特定功能的电路称为功能部件级电路，如计数器、加法器和存储器等就是典型的功能部件级电路，它们只能完成计数、加法运算和数据存储等单一功能。而由若干数字电路和逻辑部件构成的、能够实现数据存储、传送和处理等复杂功能的数字设备，则称为数字系统。电子计算机就是一个典型的复杂数字系统。数字系统在结构上可以划分为数据系统（Data System）和控制系统（Control System）两部分，如图 1-1 所示。

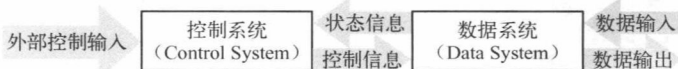


图 1-1 数字系统的一般结构

在上述划分方式中，有无控制器是区分系统级设备和功能部件级电路的一个重要标志。凡是有控制

器且能按照一定程序进行操作的，不管其规模大小，均称为数字系统；反之，不论其规模多大，均不能称为一个独立的数字系统，至多只能算一个子系统。如数字交通灯控制器，虽然仅由几片中等规模集成器件构成，但因其中有控制电路，则应该称之为数字系统。而大容量存储器，尽管其规模很大，但因其功能单一、无控制器，只能称之为功能部件。表 1-1 列出了数据系统和控制系统的特点和功能。

表 1-1 数据系统和控制系统的特点和功能表

子系统名称	特 点	功 能
数据系统	数据存储与处理单元	对数据进行存储、传送和处理。能从控制系统接收控制信息，并把处理过程中产生的状态信息提供给控制系统
控制系统	控制数字系统的整个操作进程	根据外部控制信号决定系统是否启动工作。根据数据系统提供的状态信息，决定数据系统下一步将完成何种操作，并发出相应的控制信号控制数据系统实现这种操作

1.1.2 数字系统设计的一般过程

表 1-2 列出了数字系统设计的一般流程和每一步骤中的工作任务。

表 1-2 数字系统设计流程中的任务表

设计步骤	主要工作	具体任务
第一步	确定总体方案	在深入了解所要设计的系统的功能、使用环境与使用要求后，选择合适的的工作原理与正确的实现方法，确定系统设计的总体方案，这是整个设计工作中最为重要的一个环节。所选的方案既要能满足系统的要求，又要结构简单，实现方便，具有较高的性价比
第二步	导出系统功能结构关系	在系统总体方案确定以后，可以将系统从结构上划分为数据系统和控制系统两部分，推导出包含必要的数据信息、控制信息和状态信息的功能结构关系。功能结构关系依据如何更有利于实现系统的工作原理来构建和划分。为了使这一步的工作不至于复杂，功能结构关系中的各功能模块可以比较笼统、比较抽象。功能结构关系既可以用作图的形式来描述，也可以用硬件描述语言（Hardware Description Language, HDL）来描述
第三步	构造数据系统	经过功能划分后获得的数据系统，其中的各模块还比较抽象，功能可能还比较复杂，必须进一步对这些模块进行功能分解，直到可用合适的芯片或模块来实现具体的存储和处理功能。然后对这些芯片、模块适当连接，就可构造出数据系统的详细结构。为了简化控制系统的设计，数据系统不仅要结构简单、清晰，而且要便于控制
第四步	构造控制系统	根据导出的数据系统结构编制出控制算法，得到数字系统的控制状态图，并采用同步时序电路设计的方法完成控制系统的设计。其中，控制算法反映了数字系统中控制系统对数据系统的控制过程，它与系统所采用的数据系统的结构密切相关

一般来讲，数据系统通常为人们熟悉的各种功能电路。无论是采用现成的模块还是自行设计，都有一些固定的方法可循，不用花费太多精力，而控制系统的设计要复杂得多。因此，可以认为数字系统设计的主要任务是设计一个良好的控制系统。

1.2 现代数字系统设计

早期的数字系统设计过程主要针对中小规模集成电路。随着电子计算机技术、电子设计自动化（Electronic Design Automation, EDA）技术、MCU 技术和深亚微米（Deep Sub Micron, DSM）技术的迅猛发展，电子系统的整个设计或大部分设计过程均可由计算机来完成，以此为基础的设计方法成为

现代电子系统的设计方法，也成为数字系统设计的主流方向。其主要表现是采用可编程逻辑器件（Programmable Logic Device, PLD）或微控制器来实现数字系统。其具体系统设计过程有较大不同。

1.2.1 基于 PLD 的 EDA 设计

1. 什么是基于 PLD 的设计

基于 PLD 的设计是将硬件描述语言作为主要的设计输入手段，利用 EDA 开发软件和编程工具对可编程逻辑器件进行开发的过程基于 EDA 和 PLD 的设计流程。如图 1-2 所示。

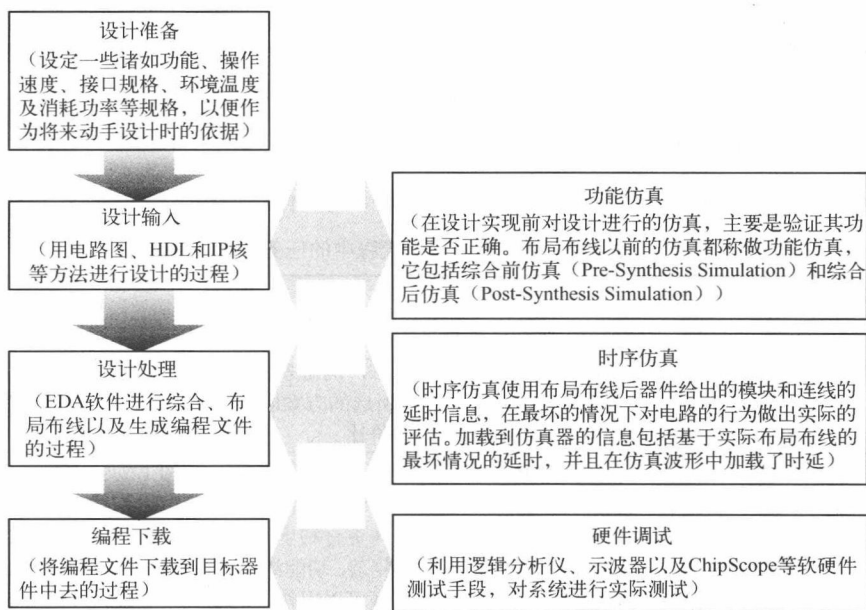


图 1-2 基于 EDA 和 PLD 的设计流程

PLD 是可以通过编程来对其硬件的结构和工作方式进行重构的数字逻辑器件。随着深亚微米技术的发展，PLD 的规模、功能和速度有了长足的进步。当前占主导地位的器件有两类，一类是偏于逻辑资源的 CPLD（Complex Programmable Logic Device），另一类是偏于寄存器资源的 FPGA（Field Programmable Gate Array）。它们的广泛应用为数字系统的设计带来了极大的灵活性。

硬件描述语言作为一种程序语言接口（Programming Language Interface），提供了一个非常方便的设计入口（Design Entry），是电路设计者与各种计算机辅助设计工具之间沟通的桥梁。不过，若缺少了 EDA 工具，硬件描述语言就只不过是一种系统规划工具或技术文件格式而已。

2. 设计特点

基于 EDA 技术的设计方法是由上而下的设计方式。它首先从系统设计入手，在顶层进行功能划分和结构设计，并在系统级采用仿真手段验证设计的正确性，然后再逐级设计低层的结构，实现设计、仿真和测试的一体化。

EDA 软件平台的另一特点是其强大的仿真（Simulate）和测试（Test）技术。所谓仿真，就是设计的输入、输出（或中间变量）之间的信号关系，由计算机根据设计者提供的设计方案，从各种不同层次的系统性能特点，完成一系列准确逻辑和时序验证。所谓测试，就是在完成实际系统的安装后，只需通过计算机就能对系统上的目标器件进行边界扫描测试。EDA 仿真和测试技术极大地提高了大规

模系统的电子设计自动化程度。

3. 设计输入和设计流程

目前的 EDA 软件平台集成了多种设计输入方式,如电路图、HDL、波形、状态机和 IP 核(Intellectual Property Core)等,而且还提供了不同设计平台之间的信息交流接口和一定数量的功能模块库,设计者可以根据功能模块具体情况灵活选用。

基于 EDA 和 PLD 的现代数字系统设计流程包括设计准备、设计输入、设计处理和编程下载 4 个步骤,以及相应的功能仿真、时序仿真和硬件调试 3 个设计验证过程。

1.2.2 基于 MCU 的设计

1. 什么是 MCU

MCU 是 Micro Controller Unit (微控制器件)的简称,它的另一个名字是单片机。单片机是将中央处理器 (Central Processing Unit, CPU)、只读存储器 (Read Only Memory, ROM)、随机存取存储器 (Random Access Memory, RAM)、定时器/计数器以及 I/O (Input/Output) 接口等部件集成在一起的微芯片。从产生至今,单片机从 4 位单片机发展到 8 位、16 位乃至 32 位单片机,其性能越来越强,价格越来越低。目前,在市场上的各类产品中均能看到单片机的身影,小到报警器、玩具和智能充电器,大到冰箱、电视、空调以及数据采集系统和控制终端等。单片机有多种,表现为结构、功能、性能和价格的不同。当前,应用最为广泛的是 Intel 51 系列的单片机。

2. MCU 的设计流程

单片机应用系统的设计主要包括外部电路设计和单片机控制程序设计,其中以单片机控制程序设计为核心。一般来说,一个完整的单片机应用系统设计过程如图 1-3 所示,包括系统分析、单片机选型、单片机程序设计、仿真测试和程序下载。

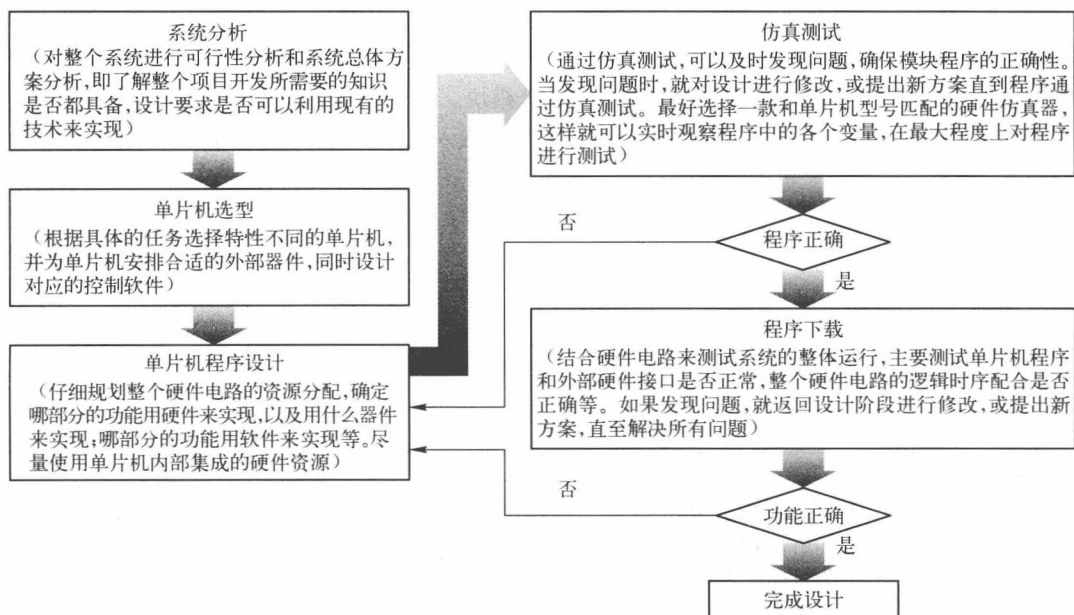


图 1-3 单片机的设计流程

3. 单片机的程序设计

在单片机程序设计中，一般可以选择单片机汇编语言和单片机 C 语言两种。

单片机汇编语言是采用助记符标识指令的程序设计语言。其中，助记符标识是二进制指令的形象标记。单片机汇编语言程序是单片机汇编指令的集合，其设计与汇编指令集和硬件结构等有密切关系。汇编语言以其简练的代码、快速的硬件操作能力而最先得到广泛使用。但是，汇编程序的可读性差，且对于不同类型的单片机，其汇编语言一般都有差异，不易移植。

单片机 C 语言是对标准 C 语言的扩展。C 语言具有功能丰富的库函数，运算速度快，编译效率高，有良好的可移植性。C 语言程序本身结构清晰，不依赖于机器硬件系统，编程人员可以不要了解单片机的指令系统。单片机 C 语言得到了越来越广泛的应用。

1.2.3 基于 SOC 和 SOPC 的设计

电子系统越来越复杂，一种新的设计趋势是软硬件协同设计，其典型代表是 SOC 和 SOPC 设计。SOPC 技术以其灵活性为系统设计提供了一种更为方便有效的实现手段。

1. SOC 和 SOPC 简介

20 世纪 90 年代初，基于系统级的设计方法开始进入工程师的视野。随着半导体工艺技术的发展，特别是超深亚微米（Very Deep Sub Micron, VDSM, 0.25 μm ）工艺技术的成熟，在一块硅芯片上集成不同功能模块（成为系统集成芯片）成为可能。这种将各功能模块集成于一块芯片上的完整系统，就是片上系统 SOC。

SOC 的设计不再使用通用集成电路进行印刷电路板级的设计和调试，而是转向以 FPGA 或专用集成电路（Application Specific Integrated Circuit, ASIC）为物理载体的系统级芯片设计。其中，在使用 FPGA 作为物理载体进行芯片设计时，因其具有重复可编程性，称为可编程片上系统技术，即 SOPC。

SOC 的开发是指从整个系统的功能和性能出发，利用 IP 核（Intellectual Property Core）复用和深亚微米技术，采用软件和硬件协同的设计和验证方法，综合考虑软硬件资源的使用成本，设计出满足性能要求的高效率、低成本的软硬件体系结构，从而在一个芯片上实现复杂的应用。使用 SOC 技术设计的芯片，一般包括一个或多个微处理器和多个功能模块。各功能模块在微处理器的协调下，共同完成芯片的系统功能，为高性能、低成本、短开发周期的嵌入式系统设计提供了广阔前景。

SOPC 技术是现代计算机辅助设计技术、电子设计自动化技术和大规模集成电路技术高度发展的产物。SOPC 技术的目标是将尽可能大且完整的电子系统在一块 FPGA 中实现，使得所设计的电路在规模、可靠性、体积、功能、性能指标、上市周期、开发成本、产品维护及其硬件升级等多方面实现最优化。SOPC 的设计以 IP 为基础，以硬件描述语言为主要设计手段，借助以计算机为平台的 EDA 工具，自动化、智能化地自顶向下进行。

目前，基于 SOPC 的软硬件协同设计主要涉及的内容如表 1-3 所示。

表 1-3 软硬件协同设计

名 称	功 用
系统功能描述方法	解决系统的统一描述。系统的描述应当是对软、硬件通用的，目前一般采用系统描述语言的方式。在软、硬件划分后，能编译并映射为硬件描述语言和软件实现语言，为目标系统的软硬件协同工作提供强有力的保证
设计空间搜索技术	提供一种理解目标系统、用不同方式实现设计的机制，为设计者提出不同的软硬件体系结构并找到最优化的设计实现

续表

名 称	功 用
最优化的评估方法	解决软硬件的计量和评估指标,从而能够对不同的设计进行资源占用评估,进而选出最优化的设计
软硬件划分理论	从成本和性能出发,提供软硬件的划分依据和方法。在划分时,应主要考虑目标体系结构、粒度、软硬件实现所用的成本等因素
软硬件详细设计	完成划分后的软件和硬件的设计实现
硬件综合和软件编译	硬件综合是在厂家综合库的支持下,完成行为级、RTL 及逻辑级的综合
代码优化	主要是进行与处理器相关的优化和与处理器无关的优化。与处理器相关的优化:根据处理器进行代码选择、指令选择、指令的调度(并行、流水线等)确定寄存器的分配策略等;与处理器无关的优化:主要有常量优化、变量优化和代换、表达式优化、消除无用变量、控制流优化和循环内优化等
软硬件协同仿真和验证	对设计好的系统进行仿真和验证。保证目标系统的功能实现,满足性能要求和限制条件,从整体上验证整个系统

2. 基于 SOPC 的软硬件协同设计的设计流程

基于 SOPC 的软硬件协同设计流程是从目标系统构思开始的。对一个给定的目标系统,经过构思,完成其系统整体描述,然后交给软硬件协同设计的开发集成环境,由计算机自动完成剩余的全部工作。一般而言,还要经过模块的行为描述、对模块的有效性检查、软硬件划分、硬件综合、软件编译、软硬件集成、软硬件协同仿真与验证等各个阶段。软硬件协同设计流程如图 1-4 所示,其中,软硬件划分后产生硬件部分、软件部分和软硬件接口界面 3 个部分。硬件部分遵循硬件描述、硬件综合与配置,生成硬件组建和配置模块;软件部分遵循软件描述、软件生成和参数化的步骤,生成软件模块。最后把生成的软硬件模块和软硬件界面集成,并进行软硬件协同仿真,以进行系统评估与设计验证。

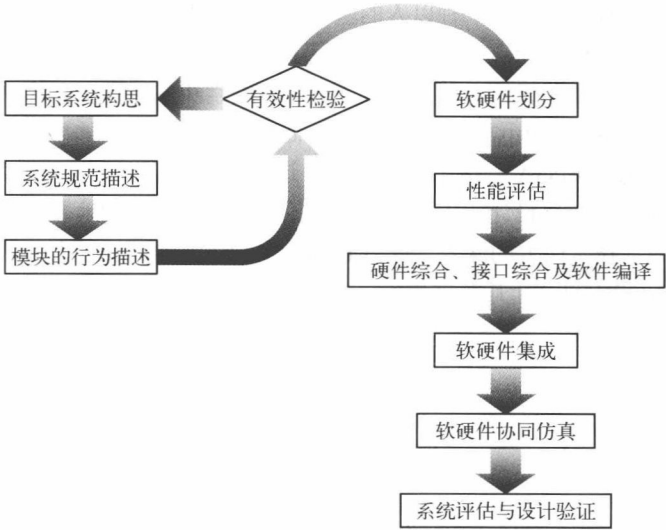


图 1-4 软硬件协同设计流程

3. 基于 SOPC 的软硬件协同设计工具

(1) Cadence Virtual Component Co-design (VCC)

第一个为 IP 复用所设计的工业系统级软硬件 Co-design 开发平台环境。在早期设计时就可以确认

软硬件划分的临界体系结构。它通过电子供给链进行交流和交换设计信息，为系统库和 SOC 提供了必要的框架。

(2) System C

一种通过类对象扩展的基于 C/C++ 的建模平台，支持系统级软硬件协同设计仿真和验证，是建立在 C++ 基础上的新型建模方法，方便了系统级设计和 IP 交换。用 System C 开发的硬件模型经编译后形成一个可执行的应用程序，设计人员可通过控制台界面来观察系统的行为，验证系统功能和结构。在 System C 语言描述中，最基本的构造块是进程。一个完整的系统描述包含几个并发进程，进程之间通过信号互相联系，且可以通过外在时钟确定事件的顺序和进程同步。System C 源码可用于综合硬件，以便 IC 实现或 FPGA 实现。

(3) 其他商用软件

当前，各 FPGA 厂商都在其 FPGA 开发平台中集成了支持软硬件协同设计的功能和工具。Altera 公司的 Quartus II 软件平台集成了作为系统生成工具的 SOPC Builder。通过 SOPC Builder，FPGA 设计人员可以构建其特有的 Nios II 处理器核，配合面向 SOPC Builder 的 IP 核，如 PCI 接口和 DDR/DDR2 外部存储器等，设计人员可迅速生成 SOPC 系统，相应的设计工具可提高设计集成度和可重用性。

Xilinx 公司的 XPS (Xilinx Platform Studio) 工具包用于开发基于该公司的 FPGA 嵌入式系统。该工具支持一般硬件逻辑和嵌入式软件的系统设计流程。其特点是 XPS 支持硬核 PowerPC 和软核 Microblaze 等多种处理器，并将设计的导入、创建和 IP 核定制进行了流水化的处理。XPS 知道 FPGA 平台的属性和选项，能自动为其外设生成软件驱动、测试代码以及创建板级支持包 BSP (Board Support Package)。此外，XPS 集成了软件和硬件调试工具，使它们之间可以相互触发，这使得嵌入式系统内部变为“可见”的，使嵌入式设计者能很快地找到问题。

4. 基于 SOPC 的软硬件协同设计的特点

SOPC 技术在电子设计上给出了一种以人的基本能力为依据的软硬件综合解决方案，它同时涉及了底层的硬件系统设计和软件设计，在系统化方面有了广大的自由度。开发者在软硬件系统的综合与构建方面可以充分发挥创造性和想象力，使得多角度、多因素和多结构层面的大幅度优化设计成为可能。使用其可编程特性并与 IP 核相结合，可以快速、低廉地开发出不同的协处理器，从而真正实现硬件编程、升级和重构。随着 FPGA 制造工业的发展，这种优势将会更加明显。

软硬件协同设计作为系统级设计的支持技术，理论和技术还在不断地发展和完善中。在不久的将来，随着软硬件协同设计技术研究的深入，支持 FPGA 设计实现的功能强大的软硬件协同设计平台将会出现，并加速推进 SOPC 的设计开发进程。