



新坐标大学本科电子信息类专业系列教材
浙江省高等教育重点建设教材

电子系统设计与实践

贾立新 王涌 等编著

清华大学出版社





中国美术学院美术考级教材

设计类 素描与色彩 素描分册

电子系统设计与实践

张洪明 王 强 张永刚



中国美术学院美术考级教材





新坐标大学本科电子信息类专业系列教材

浙江省高等教育重点建设教材

电子系统设计与实践

贾立新 王涌 等编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是浙江省高等教育重点建设立项教材。其内容围绕电子系统的设计与实现方法来安排。全书由四部分组成：第一部分为模拟电子系统的设计与实践，主要介绍放大电路和滤波器的设计原理和设计方法。第二部分为数字电子系统的设计与实践，主要介绍 CPLD/FPGA 的结构和原理、VHDL 语言、EDA 软件的操作流程、“自顶向下”数字系统设计方法等。第三部分为基于单片机的电子系统设计与实践，主要介绍三种典型的单片机应用系统(串行总线单片机系统、并行总线单片机系统和 SOC 单片机系统)的设计方法。针对高速电子系统的设计要求,本部分内容中还详细论述了采用单片机与 FPGA 相结合的设计方法,给出了一些关键技术问题的解决方案。第四部分为综合电子系统的设计与实践,本部分内容选取了两个典型综合电子系统——DDS 信号发生器和数字化声音存储与回放,介绍了综合电子系统设计过程。

为了体现本教材的实践性,书中对每一种典型电子系统都提供了实验板的设计方案、原理图,各种电子系统设计时尽量采用当前的主流芯片,书中介绍的硬件电路和软件都经过实际调试。

本书可作为高等院校电子信息类专业电子技术综合提高型实验、大学生电子设计竞赛赛前训练和大学生从事电子方面的课外科技创新等实践环节的教材,也可作为工程设计人员的参考书。

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 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

电子系统设计与实践/贾立新等编著. —北京:清华大学出版社,2007.4

(新坐标大学本科电子信息类专业系列教材)

浙江省高等教育重点建设教材

ISBN 978-7-302-14297-3

I. 电… II. 贾… 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(2006)第 152678 号

责任编辑:陈国新

责任校对:时翠兰

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印刷者:北京密云胶印厂

装订者:三河市春园印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:21.75 字 数:503 千字

版 次:2007 年 4 月第 1 版 印 次:2007 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:29.80 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:023068-01



编委会名单

顾问(按姓氏音节顺序):

- 李衍达 清华大学信息科学技术学院
邬贺铨 中国工程院
姚建铨 天津大学激光与光电子研究所

主任:

- 董在望 清华大学电子工程系

编委会委员(按姓氏音节顺序):

- 鲍长春 北京工业大学电子信息与控制工程学院
陈 怡 东南大学高教所
戴瑜兴 湖南大学电气与信息工程学院
方达伟 中国计量学院信息工程学院
甘良才 武汉大学电子信息学院通信工程系
郭树旭 吉林大学电子科学与工程学院
胡学钢 合肥工业大学计算机与信息学院
金伟其 北京理工大学信息科技学院光电工程系
孔 力 华中科技大学控制系
刘振安 中国科学技术大学自动化系
陆大铨 清华大学电子工程系
马建国 西南科技大学信息与控制工程学院
彭启琮 电子科技大学通信与信息工程学院
仇佩亮 浙江大学信电系
沈伯弘 北京大学电子学系

- | | |
|--------|---------------------|
| 童家榕 | 复旦大学信息科学与技术学院微电子研究院 |
| 汪一鸣(女) | 苏州大学电子信息学院 |
| 王福源 | 郑州大学信息工程学院 |
| 王华奎 | 太原理工大学信息与通信工程系 |
| 王 瑶(女) | 美国纽约 Polytechnic 大学 |
| 王毓银 | 北京联合大学 |
| 王子华 | 上海大学通信学院 |
| 吴建华 | 南昌大学电子信息工程学院 |
| 徐金平 | 东南大学无线电系 |
| 阎鸿森 | 西安交通大学电子与信息工程学院 |
| 袁占亭 | 甘肃工业大学 |
| 乐光新 | 北京邮电大学电信工程学院 |
| 翟建设 | 解放军理工大学气象学院 4 系 |
| 赵圣之 | 山东大学信息科学与工程学院 |
| 张邦宁 | 解放军理工大学通信工程学院无线通信系 |
| 张宏科 | 北京交通大学电子信息工程学院 |
| 张 泽 | 内蒙古大学自动化系 |
| 郑宝玉 | 南京邮电学院 |
| 郑继禹 | 桂林电子工业学院二系 |
| 周 杰 | 清华大学自动化系 |
| 朱茂镒 | 北京信息工程学院 |



序言

“新坐标大学本科电子信息类专业系列教材”是清华大学出版社“新坐标高等理工教材与教学资源体系创新与服务计划”的一个重要项目。进入 21 世纪以来,信息技术和产业迅速发展,加速了技术进步和市场的拓展,对人才的需求出现了层次化和多样化的变化,这个变化必然反映到高等学校的定位和教学要求中,也必然反映到对适用教材的需求。本项目是针对这种需求,为培养层次化和多样化的电子信息类人才提供系列教材。

“新坐标大学本科电子信息类专业系列教材”面向全国教学研究和教学主导型普通高等学校电子信息类专业的本科教学,覆盖专业基础课和专业课,体现培养知识面宽、知识结构新、适应性强、动手能力强的人才的需要。编写的基本指导思想可概括为:

1. 教材的类型、选题和大纲的确定尽可能符合教学需要,以提高适用性。教材类型初步确定为专业基础课和专业课,专业基础课拟按电子信息大类编写,以体现宽口径;专业课包括本专业和非本专业两种,以利于兼顾专业能力的培养与扩展知识面的需要。选题首先从目前没有或虽有但不符合教学要求的教材开始,逐步扩大。

2. 重视基础知识和基础知识的提炼与更新,反映技术发展的现状和趋势,让学生既有扎实的基础,又了解科学技术发展的现状。

3. 重视工程性内容的引入,理论和实际相结合,培养学生的工程概念和能力。工程教育是多方面的,从教材的角度,要充分利用计算机的普及和多媒体手段的发展,为学生建立工程概念、进行工程实验和设计训练提供条件。

4. 将分析和设计工具与教材内容有机结合,培养学生使用工具的能力。

5. 教材的结构上要符合学生的认识规律,由浅入深,由特殊到一般。叙述上要易读易懂,适合自学。配合教材出版多种形式的教学辅助资料,包括教师手册、学生手册、习题集和习题解答、电子课件等。

本系列教材已经陆续出版了,希望能被更多的教师和学生使用,并热忱地期望将使用中发现的问题和改进的建议告诉我们,通过作者和读者之间的互动,必然会形成一批精品教材,为我国的高等教育作出贡献。欢迎对编委会的工作提出宝贵意见。

“新坐标大学本科电子信息类专业系列教材”编委会



前言

本书是浙江省高等教育重点建设教材。本书内容围绕电子系统的设计与实现方法来安排。全书由四部分组成：第一部分为模拟电子系统的设计与实践，重点介绍放大电路和滤波器这两种最重要的模拟单元电路的设计理论和设计方法，并通过设计实例介绍新型模拟集成电路的应用。第二部分为数字电子系统的设计与实践，在介绍了CPLD/FPGA结构和原理、VHDL语言、MAX+plus II开发流程、在系统编程技术等知识的基础上，通过设计实例阐述了基于EDA技术的现代数字系统设计方法，其设计流程是顶层原理图设计→低层模块设计→设计实现(芯片下载)。第三部分为基于单片机的电子系统的设计与实践，介绍了三种典型的单片机系统(串行总线单片机系统、并行总线单片机系统和SOC单片机系统)的设计方法。为了满足高速电子系统的设计要求，本部分内容中还详细论述了采用单片机与FPGA相结合的设计方法，给出了一些关键技术问题的解决方案。第四部分为综合电子系统的设计与实践，本部分内容选取了两个典型综合电子系统——DDS信号发生器和数字化声音存储与回放系统，介绍了综合电子系统设计的一般方法：审题与指标分析→设计方案制订和总体框图设计→硬件设计和软件设计→系统调试。

本书具有以下特点：

(1) 全书取材先进、内容新颖、理论联系实际，融入了编者多年来在电子系统设计方面的经验和体会。每一章内容的安排由浅入深、循序渐进，先介绍电子系统设计的有关理论基础、设计方法和技巧，然后给出设计实例。大部分章节后面还安排了多道有代表性的设计训练题。

(2) 书中所有单片机源程序、VHDL程序和硬件电路均通过实际调试，不断优化，既可直接引用，也对设计其他电子系统提供了较好的启发性和借鉴意义。

(3) 为了与教材内容配套，设计制作了系列综合电子系统设计实验模块。这些模块包括单片机最小系统模块、FPGA模块、人机接口模块、A/D和D/A模块、模拟电路模块等，在相关章节中提供了这些实验模块的设计思路、原理图和元器件排布图，便于读者自行设计制作。通过教材与实验模块相结合，弥补了一般实践性教材的不足，真

正做到理论与实践紧密结合。

(4) 与教材配套的网络课件、实验模块的原理图和测试源程序、芯片数据资料均已上网,以方便读者下载,网址为 210.32.200.206/szdl。

本书在正式出版前,曾作为校内选修课和电子设计竞赛赛前培训的内部教材,使用过程中得到了学生的肯定,也从参赛学生中得到了很多反馈意见。

本书可作为高等院校电子信息类专业综合提高型实验、大学生电子设计竞赛赛前辅导等实践环节的教材,也可作为学生课外科技创新实践活动的参考资料。本书不但适合给有一定基础的学生作参考书,也同样适合作为基础较弱的学生的培养教材。

参加本书编写工作的有贾立新、王涌、李如春、章旌红、王晓东、李剑清等。第2章由章旌红编写,第3章由王晓东编写,第5章由李如春编写,第8章由李剑清编写,第13章由王涌编写,其余各章由贾立新编写。贾立新任本书主编,负责全书的整体编排、统稿与定稿工作。

本书由浙江工业大学信息工程学院孟利民教授负责主审,同时参与本书审稿工作的还有梅一珉副教授、金燕副教授,他们在审稿过程中提出了许多宝贵的意见,在此向他们表示衷心感谢。

在本书编写过程中,得到了浙江工业大学教务处、信息工程学院的大力支持,电子科学与技术研究所、基础实验室的各位老师也十分关心本书的出版工作,并给予了热情支持,在本书出版之际,谨向他们致以最诚挚的谢意。

另外要感谢范焯、朱旭峰、曾建清、王军亮、董良健、李科、黄捷等同学,他们在本书部分图表的绘制、源程序的调试方面做了大量的工作。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,如果您在阅读本书的过程中发现错误或是有改进本书的建议,请您通过 JLX@zjut.edu.cn 与编者联系。

编 者

2006年7月于浙江工业大学



目 录

第一部分 模拟电子系统设计与实践

第 1 章 基于集成运算放大器的放大电路设计	3
1.1 运算放大器的模型	3
1.2 用集成运算放大器构成的典型放大电路	4
1.3 集成运算放大器的主要参数	9
1.4 正确使用集成运算放大器	13
1.5 设计训练题	14
第 2 章 模拟滤波器的设计	16
2.1 模拟有源滤波器设计	16
2.2 开关电容滤波器	22
2.2.1 开关电容滤波器的基本原理	22
2.2.2 单片集成开关电容滤波器及其使用	25
2.3 设计训练题	27

第二部分 数字电子系统设计与实践

第 3 章 可编程逻辑器件的结构和工作原理	31
3.1 概述	31
3.2 简单可编程逻辑器件的结构和工作原理	33
3.3 复杂可编程逻辑器件的结构和工作原理	41
3.3.1 CPLD 的结构和工作原理	42
3.3.2 FPGA 的结构和工作原理	46
3.3.3 CPLD 和 FPGA 的性能比较	51
第 4 章 硬件描述语言 VHDL	53
4.1 概述	53

4.2	VHDL 的语言要素	56
4.3	VHDL 程序的基本结构	61
4.4	VHDL 程序的句法	63
4.4.1	并行语句	63
4.4.2	顺序语句	66
4.5	常用逻辑电路的 VHDL 描述	69
4.5.1	常用组合逻辑电路模块的 VHDL 描述	70
4.5.2	常用时序逻辑电路模块的 VHDL 描述	72
4.5.3	有关三态电路的 VHDL 描述	76
4.5.4	有限状态机(FSM)的 VHDL 描述	77
4.6	学习 VHDL 应注意的问题	80
4.7	设计训练题	81
第 5 章	MAX+plus II 使用指南	85
5.1	概述	85
5.2	设计文件的输入	87
5.3	设计项目的编译	98
5.4	设计项目的验证	99
5.5	设计项目的处理	103
第 6 章	基于 EDA 技术和可编程逻辑器件的数字系统设计	109
6.1	概述	109
6.2	4 位数字频率计的设计过程	110
6.2.1	设计题目	110
6.2.2	数字频率计的工作原理	110
6.2.3	数字频率计的设计过程	111
6.3	4 位数字乘法器的设计过程	118
6.3.1	设计题目	118
6.3.2	设计思想和步骤	118
6.3.3	数字乘法器的设计过程	119
6.4	数字系统的可测性设计	125
6.5	设计训练题	126
第 7 章	CPLD/FPGA 的编程技术	129
7.1	概述	129
7.2	CPLD 器件的在系统编程技术	130



7.3	FPGA 器件的在电路配置技术	131
7.4	结束语	132

第三部分 单片机电子系统设计与实践

第 8 章	AT89S52 单片机的基本原理	135
8.1	概述	135
8.2	AT89S52 单片机的基本结构	138
8.3	AT89S52 单片机的指令系统	150
第 9 章	基于串行总线的单片机系统设计	152
9.1	SPI 和 I ² C 串行总线接口	152
9.1.1	SPI 串行总线接口	152
9.1.2	I ² C 串行总线接口	154
9.2	键盘/显示器串行扩展技术	158
9.2.1	LED 显示接口设计	158
9.2.2	非编码式键盘设计	160
9.3	E ² PROM 串行扩展技术	162
9.4	D/A 和 A/D 转换器串行扩展技术	165
9.4.1	D/A 转换器串行扩展技术	165
9.4.2	A/D 转换器串行扩展技术	167
9.5	串行总线单片机最小系统实验板	170
9.6	可校时数字钟设计	174
9.6.1	设计题目	174
9.6.2	硬件电路设计	174
9.6.3	控制程序设计	176
9.7	设计训练题	181
第 10 章	基于并行总线的单片机系统设计	184
10.1	概述	184
10.2	数据存储器扩展技术	185
10.2.1	AT89S52 单片机的数据存储器空间	185
10.2.2	外部数据存储器扩展	185
10.2.3	超过 64KB 的数据存储器扩展	189
10.3	LCD 显示接口设计	191
10.3.1	内置汉字库图形点阵式 LCD 显示模块——THS12864-12	191
10.3.2	THS12864-12 与 AT89S52 单片机的接口设计	195

10.3.3	LCD 显示程序设计	197
10.4	编码式键盘接口设计	199
10.4.1	编码式键盘接口逻辑设计	200
10.4.2	编码式键盘接口软件设计	205
10.5	单片机与 FPGA 接口设计	206
10.5.1	单片机与 FPGA 的并行通信接口	206
10.5.2	单片机与 FPGA 的配置接口	208
10.6	并行总线单片机最小系统实验板	211
10.6.1	键盘显示模块	211
10.6.2	MCU 模块	213
10.6.3	FPGA 模块	214
10.7	高速数据采集系统设计	216
10.7.1	设计题目	216
10.7.2	方案设计	216
10.7.3	数据采集通道的设计	217
10.7.4	信号采集与存储控制电路的设计	222
10.7.5	单片机控制软件设计	226
10.7.6	系统调试	231
10.8	设计训练题	233

第 11 章 单片机数据通信系统设计 236

11.1	异步串行通信系统设计	236
11.1.1	概述	236
11.1.2	单片机双机通信技术	239
11.2	CAN 现场总线通信技术	245
11.2.1	CAN 现场总线简介	245
11.2.2	CAN 通信控制器 SJA1000	246
11.2.3	BasicCAN 模式的基本功能和寄存器	248
11.2.4	CAN 总线接口模块	255
11.2.5	CAN 总线通信系统设计实例——多点温度检测系统	256
11.3	设计训练题	263

第四部分 综合电子系统设计与实践

第 12 章 DDS 信号发生器设计 269

12.1	设计题目	269
12.2	直接数字频率合成原理	269
12.3	实现 DDS 信号发生器的两种技术方案	271

12.3.1	采用专用 DDS 集成芯片的技术方案	271
12.3.2	采用单片机+FPGA 的技术方案	276
12.4	DDS 信号发生器主要技术参数的分析与确定	277
12.5	单片机子系统的软硬件设计	278
12.5.1	单片机子系统硬件设计	278
12.5.2	单片机子系统软件设计	280
12.6	DDS 子系统设计	284
12.6.1	高速 D/A 转换电路设计	284
12.6.2	DDS 子系统内部逻辑设计	286
12.7	模拟子系统设计	289
12.7.1	滤波器的设计	289
12.7.2	信号放大电路的设计	291
12.7.3	驱动电路的设计	293
12.7.4	模拟子系统总体原理图和实验板设计	295
12.8	系统调试	296
12.9	设计训练题	298
第 13 章	数字化语音存储与回放系统	300
13.1	设计题目	300
13.2	总体方案设计	300
13.3	SOC 单片机最小系统设计	301
13.3.1	C8051F005 单片机的特点	301
13.3.2	C8051F005 的振荡电路	303
13.3.3	C8051F005 的并行数字 I/O 口	304
13.3.4	人机接口设计	307
13.3.5	外部数据存储器扩展	310
13.3.6	12 位 A/D 转换器和 D/A 转换器	312
13.3.7	SOC 单片机最小系统实验板	318
13.4	模拟子系统设计	320
13.4.1	话筒前置放大电路	320
13.4.2	带通滤波器设计	321
13.4.3	自动增益放大(AGC)电路	323
13.5	系统软件设计	326
13.6	改进型 DPCM 和静音压缩算法	328
13.7	C8051F 单片机的集成开发环境简介	330
13.8	设计训练题	331
参考文献	333

第一部分

模拟电子系统设计与实践

导读

虽然近 10 年来,由于数字电子技术的发展,许多传统上隶属于模拟电子学领域的应用,现在均可以用数字的形式加以实现,但模拟电路的重要性并没有降低。这是因为自然界存在的一些物理量,如温度、压力、声音等均属于模拟信号,需要模拟电路对其进行处理。

大多数复杂的电子系统既包含数字电子系统又包含模拟电子系统,两者相互配合、互为依托,其中模拟电子系统往往对整个电子系统的性能指标起到关键作用,因此,模拟电子系统设计在整个电子系统设计中是不可缺少的。

从事模拟电子系统设计的技术人员都有一些体会:模拟电子系统的设计要比数字电子系统的设计困难,并缺少规范化的设计方法与步骤;在进行模拟电子系统设计时,很少使用分立元件,而大量地使用各种功能的模拟集成电路。

考虑到放大电路和滤波器是构成模拟电子系统最重要的单元电路,本部分内容主要围绕放大电路和模拟滤波器设计方法展开。第 1 章主要介绍各种常见的由运算放大器构成的放大电路,分析了运算放大器主要参数的含义,以及如何正确选择和使用运算放大器。第 2 章介绍了模拟有源滤波器的设计和单片开关电容滤波器的应用。



基于集成运算放大器的放大电路设计

1.1 运算放大器的模型

运算放大器最早应用于模拟计算机中,它可以完成诸如加法、减法、微分、积分等数学运算。随着集成电路技术的不断发展,运算放大器的应用日益广泛,可以实现信号的产生、信号的变换、信号的处理等多种功能,已成为构成模拟系统的基本单元。

集成运算放大器是由多级基本放大电路直接耦合而组成的高增益放大器,通常由高阻输入级、中间放大级、低阻输出级和偏置电路组成,其构成框图如图 1-1-1 所示。

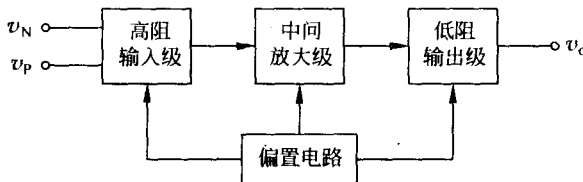


图 1-1-1 运算放大器的组成

当运算放大器与外部电路连接组成各种功能电路时,从系统角度看,无需关心复杂的运算放大器内部电路,而是应着重研究其外特性。具体地讲,人们利用厂商提供的运算放大器参数构成表征外特性的简化运算模型。常用的有理想运算放大器模型和实际运算放大器模型。

1. 理想运算放大器模型

理想运算放大器的模型如图 1-1-2 所示。

理想运算放大器具有以下特性:

- (1) 开环增益 $A_{od} = \infty$ 。
- (2) 输入电阻 $R_{id} = \infty$ 。
- (3) 输出电阻 $R_o = 0$ 。