



中国科学院电子信息与通信系列规划教材

电路设计基础与 专用系统构成

陈曾平 刘 平 马 云 编著



科学出版社
www.sciencep.com



中国铁道出版社官方微信

电路设计基础与 专用系统构成

陈德平 刘平 马云 编著

中国铁道出版社

中国科学院电子信息与通信系列规划教材

电路设计基础与专用 系统构成

陈曾平 刘 平 马 云 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是作者在多年电子系统设计的教学和科研工作基础上编著而成的。全书共8章,由电路设计基本原理、大规模集成电路应用设计和复杂专用系统构建与设计等内容组成,将电子系统设计的基础知识、设计思路、应用技巧等有机结合,内容由浅入深且相互衔接。

本书可作为电子信息类专业的高年级本科生、硕士研究生的教材或教学参考书,还可供电子设计工程师和无线电爱好者的参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路设计基础与专用系统构成/陈曾平,刘平,马云编著. —北京:科学出版社,2006

(中国科学院电子信息与通信系列规划教材)

ISBN 7-03-017368-6

I. 电… II. ①陈… ②刘… ③马… III. 电路设计-高等学校-教材
IV. TM02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 057540 号

责任编辑:资丽芳 潘继敏 / 责任校对:钟 洋

责任印制:张克忠 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年9月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2006年9月第一次印刷 印张:21 1/2

印数:1—3 000

字数:416 000

定价:30.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

《中国科学院电子信息与通信系列规划教材》 编 委 会

顾 问：保 铮 中国科学院院士 西安电子科技大学
刘永坦 两院院士 哈尔滨工业大学
陈俊亮 两院院士 北京邮电大学

主 任：谈振辉 教授 北京交通大学

副主任：任晓敏 教授 北京邮电大学
梁昌洪 教授 西安电子科技大学
冯正和 教授 清华大学
张文军 教授 上海交通大学
林 鹏 编审 科学出版社

委 员：(按姓氏汉语拼音排序)

段哲民 教授 西北工业大学
顾学迈 教授 哈尔滨工业大学
洪 伟 教授 东南大学
焦李成 教授 西安电子科技大学
李少谦 教授 电子科技大学
毛军发 教授 上海交通大学
沈连丰 教授 东南大学
唐朝京 教授 国防科技大学
王成华 教授 南京航空航天大学
王文博 教授 北京邮电大学
徐安士 教授 北京大学
姚 彦 教授 清华大学
严国萍 教授 华中科技大学
杨建宇 教授 电子科技大学
张宏科 教授 北京交通大学
张晓林 教授 北京航空航天大学

秘 书：段博原 编辑 科学出版社

丛 书 序

信息技术的高速发展及其广泛应用,使信息技术成为当今国际竞争中最重要
的战略技术。信息技术对经济建设、社会变革、国家安全乃至整个国家的发展起
到关键性的作用,它是经济发展的“倍增器”和社会进步的“催化剂”,是体现
综合国力的重要标志。在人类历史上,没有一种技术像信息技术这样引起社会如
此广泛、深刻的变革。在 20 世纪末和 21 世纪前半叶,信息技术乃是社会发展最
重要的技术驱动力,可以说,21 世纪人类已经步入了信息时代。信息产业在世
界范围内正在由先导产业逐步变为主导产业。从微观上看,表现为单位产品的价
格构成中,能源和材料的消耗减少而信息技术和信息服务的比重上升;从宏观上
看,表现为国民生产总值(GDP)中信息产业所占的比重增加。一个国家信息
产业的发展水平将是衡量该国社会经济总体发展和现代化程度的重要标志之一。

目前,信息科学已成为世界各国最优先发展的科学之一。党的十六大提出了
“加速发展信息产业,大力推进信息化,以信息化带动工业化”的发展战略,以
及“优先发展信息产业,在经济和社会领域广泛应用信息技术”的基本国策,使
我国信息产业得到了前所未有的重视,信息产业呈现出飞速发展的势头。信息产
业的发展离不开信息化人才,信息化人才建设将是信息产业可持续发展的关键。
然而,有关调查表明,我国国家信息化指数为 38.46,而信息化人才资源指数仅
为 13.43。据权威机构预测,从 2005 年到 2009 年,中国信息行业将以 18.5%的
年复合增长率高速增长,中国信息市场将迎来又一个“黄金年代”。在信息化发
展势头的带动下,我国信息化人才缺乏已经成为制约信息产业发展的重要因素。

为了适应新世纪信息学科尤其是电子信息与通信学科的长足发展,在规模
上、素质上更好地满足我国信息产业和信息科学技术的发展需要,更好地实现电
子信息与通信学科专业人才的培养目标,推进国内信息产业的发展,中国科学院
教材建设专家委员会和科学出版社组织电子信息与通信领域的院士、专家、教学
指导委员会成员、国家级教学名师及电子信息与通信学科院校的相关领导等组成
编委会,共同组织编写这套《中国科学院电子信息与通信系列规划教材》。

本套教材主要面向全国范围内综合性院校电子信息工程、通信工程、信息工
程等相关专业的本科生。本套教材的编委会成员具有国内电子信息与通信方面
的较高学术水平,他们负责对本套教材的编写大纲及内容进行审定,可使本套教材

的质量得以保证。

本套教材主要有以下几方面的特点：

1. 适应多层次的需要。依据最新专业规范，系列教材主要根据教育部最新公布的电子信息与通信学科相关专业的“学科专业规范”和“基础课程教学基本要求”进行教材内容的安排与设置。同时，根据各类型高校学生的实际需要，编写不同层次的教材。

2. 结构体系完备。本套教材覆盖本科、研究生教学层次，各门课程的知识之间相互衔接，以便完整掌握学科基本概念、基本理论，了解学科整体发展趋势。

3. 作者水平较高。我们将邀请设有电子、通信国家重点学科的院校，以及国家级、省级教学名师或国家级、省级精品课程负责人编写教材。

4. 借鉴国外优秀教材。编委会为每门课程推荐一本国外相关的经典原版教材，作为教师编写的参考书。

5. 理论与实际相结合，加强实践教学。教材编写注重案例和实践环节，着力于学生实际动手能力的培养。

6. 教材形式多样。本套教材除主教材外，还配套有辅导书、教师参考书、多媒体课件、习题库及网络课程等。

根据电子信息与通信学科专业发展的战略要求，我们将对本套系列教材不断更新，以保持教材的先进性和适用性。热忱欢迎全国同行以及关注电子信息与通信领域教育及教材建设的广大有识之士对我们的工作提出宝贵意见和建议。

北京交通大学校长



2005年10月

前 言

目前电子类研究生招生规模很大,就业情况良好。但是从培养硬件设计人才的角度看,由于需要学习大量包括工程经验知识在内的综合知识,而这些内容是现有教材上所没有或较为欠缺的,这使得学生在实际工作中无从下手,造成学与用脱节。本书则试图解决这样的问题。本书的特点是简化理论推导,在介绍基本原理的基础上,着重讨论实际应用过程中的各种工程技术问题。希望本书能帮助未接触过具体硬件设计的读者,打破硬件设计的神秘感,为后续实际电子系统硬件设计与工程实施打下坚实的基础,使读者深入了解电子设计的基本原理、概念与特点,熟练掌握各种数字电路、模拟电路的关键要点,融会贯通工程应用设计的方法与技巧,并通过对书中给出的工程实例的分析,掌握不同类型专用系统构建的设计思路。

本书分为8章。第1章讲述电路设计的基本原理,包括电路设计的基本原则、电路设计的基本方法与步骤、常用电子元件的选择;第2章讨论模拟集成电路应用设计的原则与方法,内容包括元器件的原理与结构、性能指标的意义、选择与应用的重点等,以电压基准、运算放大器、仪表放大器、电压比较器、模拟开关为例展开;第3章讲述数字集成电路应用设计的原则与方法,内容亦围绕元器件的原理与结构、性能指标的意义、选择与应用的重点等,涉及中小规模电路、单片机、通用数字信号处理器(DSP)、现场可编程门阵列(FPGA)、存储器;第4章论述模数混合电路应用设计,包括D/A转换器、A/D转换器、模数混合电路的应用设计与综合举例;第5章讲述特殊用途电路应用设计,包括电源稳压器电路设计、常用接口设计和监控电路设计;第6章讨论高速PCB设计的一些问题,包括信号完整性、基于信号完整性分析的高速PCB设计技术;第7章讲述专用系统硬件设计流程及举例,包括开发流程及规范、中频信号产生专用系统设计、实时图像信息处理专用系统设计和雷达数据采集与处理专用系统设计;第8章提供一些电路设计实践,以历年全国大学生电子设计竞赛和业余电子制作的题目为例,给学生提供实际动手的机会,通过这些设计实践,使学生进一步掌握所学内容,提高自身能力。

参加本书编写工作的有陈曾平、刘平、马云等。其中第1章由陈曾平执笔,第2、4章由刘平、刘万全执笔,第3章由马云、李坡、张月、鲍庆龙、宿绍莹执笔,第5章由马云、王思臣执笔,第6、8章由刘万全、刘平执笔,第7章由

马云、刘平执笔。全书由陈曾平主审和统稿。在编写过程中，牛照东、邹江威等为本书收集整理了部分资料，刘万全为文稿录入和图形编辑做了许多工作，在此表示感谢。本书的内容部分来自互联网上广大电子工作者的经验总结以及国防科学技术大学参加全国大学生电子设计竞赛的同学的论文，在此一并表示感谢。

由于时间仓促，加之作者水平所限，错误和不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2006 年 4 月

目 录

第 1 章 电路设计的基本原理	1
1.1 电路设计的基本原则	1
1.2 电路设计的基本方法与步骤	2
1.2.1 电路设计的基本方法	2
1.2.2 电路设计的步骤	4
1.3 常用电子元件的选择	5
1.3.1 电阻器	5
1.3.2 电容器	13
1.3.3 电感器	18
第 2 章 模拟集成电路应用设计	22
2.1 概述	22
2.2 电压基准	23
2.2.1 基本概念	23
2.2.2 重要性能指标	25
2.2.3 选择及应用实例	27
2.3 运算放大器	31
2.3.1 基本概念	31
2.3.2 重要性能指标	31
2.3.3 电流反馈放大器	34
2.3.4 选择及应用实例	36
2.4 仪表放大器	41
2.4.1 基本概念	41
2.4.2 重要性能特点	43
2.4.3 选择及应用实例	44
2.5 电压比较器	50
2.5.1 基本概念	50
2.5.2 重要性能指标	51
2.5.3 选择及应用实例	52

2.6	模拟开关	56
2.6.1	基本概念	56
2.6.2	重要性能指标	58
2.6.3	选择及应用实例	59
第3章	数字集成电路设计	63
3.1	概述	63
3.1.1	数字集成电路历史	63
3.1.2	半导体工艺及数字器件分类	64
3.1.3	数字集成电路中的基本概念	65
3.2	中小规模电路	68
3.2.1	门电路	68
3.2.2	组合逻辑电路	69
3.2.3	时序逻辑电路	74
3.2.4	单稳态多谐振荡器	80
3.2.5	电平转换电路	82
3.3	单片机	84
3.3.1	单片机综述	84
3.3.2	MCS-51 单片机结构和功能	87
3.3.3	单片机设计开发实践	91
3.4	通用数字信号处理器	98
3.4.1	数字信号处理技术简介	98
3.4.2	TI 公司 DSP 介绍	101
3.4.3	DSP 系统设计与应用举例	108
3.5	现场可编程门阵列 (FPGA)	115
3.5.1	FPGA 综述	115
3.5.2	FPGA 基本结构与实现原理	118
3.5.3	Xilinx 公司主流 FPGA 的性能特点与器件选取	121
3.5.4	FPGA 的开发与应用	130
3.5.5	Xilinx 可编程逻辑器件设计技巧	134
3.6	存储器	148
3.6.1	存储器综述	148
3.6.2	典型半导体存储器结构和原理	149
3.6.3	半导体存储器的选择与开发应用实例	173

第4章 模数混合电路应用设计	177
4.1 概述	177
4.2 D/A 转换器	178
4.2.1 DAC 的几种电路结构	178
4.2.2 DAC 的主要性能指标	183
4.2.3 D/A 转换器的选择	187
4.3 A/D 转换器	190
4.3.1 A/D 转换器的原理与分类	190
4.3.2 高速 A/D 转换器的常用结构类型	194
4.3.3 ADC 的主要性能指标	200
4.3.4 ADC 器件的选择	207
4.4 模数混合电路应用设计与举例	211
4.4.1 接口设计	211
4.4.2 模数混合电路板设计要点	214
4.4.3 10 位 300MSPS 高速 DAC 应用设计举例	216
4.4.4 10 位 210MSPS 高速 ADC 应用设计举例	225
第5章 特殊用途电路应用设计	235
5.1 概述	235
5.2 电源稳压器	235
5.2.1 电源稳压器的基本原理	236
5.2.2 集成稳压器的分类和性能指标	237
5.2.3 集成稳压器的选择	239
5.2.4 集成稳压器的应用实例	241
5.3 常用接口电路	248
5.3.1 常用接口分类	248
5.3.2 常用接口设计方法	248
5.4 监控电路	257
5.4.1 微处理器监控电路	258
5.4.2 温度监控电路	262
第6章 高速 PCB 设计	265
6.1 概述	265
6.2 信号完整性	268
6.2.1 信号完整性的基本概念	268

6.2.2	信号完整性分析模型	270
6.2.3	信号完整性的测试手段	272
6.3	基于信号完整性分析的高速 PCB 设计技术	276
6.3.1	电源分配	276
6.3.2	反射问题处理	283
6.3.3	串扰问题处理	288
第 7 章	专用系统硬件设计流程及举例	292
7.1	概述	292
7.1.1	专用系统硬件电路开发的基本流程及规范	292
7.1.2	硬件电路开发人员的素质和需要掌握的基本技术	294
7.2	中频信号产生专用系统设计	295
7.2.1	总体设计	295
7.2.2	数据采集和信号合成子系统设计	296
7.2.3	基于 FPGA 的实时信号处理子系统设计	298
7.2.4	基于 DSP 的信号处理子系统设计	299
7.3	实时图像信息处理专用系统设计	300
7.3.1	总体设计	301
7.3.2	实时图像信息处理机设计	303
7.4	雷达数据采集与处理专用系统设计	305
7.4.1	总体设计	305
7.4.2	目标检测与跟踪子系统设计	307
7.4.3	数据采集与存储子系统设计	309
第 8 章	电路设计实践	313
8.1	数字存储示波器	313
8.1.1	设计要求	313
8.1.2	参考方案	314
8.2	简易频谱分析仪	315
8.2.1	设计要求	315
8.2.2	参考方案	316
8.3	简易逻辑分析仪	318
8.3.1	设计要求	318
8.3.2	参考方案	319
8.4	正弦信号发生器	320

8.4.1	设计要求	320
8.4.2	参考方案	321
8.5	其他电子设计题目	322
8.5.1	基于 USB 端口的无线数据收发系统	322
8.5.2	利用直接数字频率合成技术实现的跳频通信系统	323
8.5.3	基于超声波测距的汽车防撞技术	323
8.5.4	语音报警的温度、湿度监控仪	324
8.5.5	基于单片机的家用电器电话遥控装置	324
8.5.6	基于电力线载波的智能路灯控制系统	325
参考文献		327
附录 常用的网站		329

第 1 章 电路设计的基本原理

现代社会已进入电子信息时代，大到全球各大洲、小到每个家庭无不与电子信息产业相关。这就要求即将工作于电子信息领域的学生学会并掌握电子系统的设计与开发的方法。电子系统无论规模大小，几乎都要以硬件电路的形式体现。因此，电路设计的重要性不言而喻。

所谓电路设计，就是依据事先要求的技术指标和功能，综合运用电子技术平台所提供的知识，对电路进行硬件、软件设计，达到用最少的、最节省的器件实现电路的功能。

1.1 电路设计的基本原则

进行电路设计时，应当遵循一定的原则，以达到事半功倍的目的。用最经济的资源实现最好的电路性能是电路设计的目标。为了达到这个目标，电路设计者应当遵循下面这些基本原则：

(1) 满足系统功能和性能指标要求。好的设计必须能完全满足系统所要求的功能特性和技术指标，这是电路设计时必须满足的基本条件。

(2) 电路简单。在满足功能和性能要求的前提下，简单的电路对系统来说不仅是经济的，同时也是可靠的，所以电路应尽量简单。值得注意的是，系统集成技术是简化系统电路的最好方法。

(3) 电磁兼容性好。电磁兼容特性是现代电子电路应具备的基本特性，所以一个电子系统应当具有良好的电磁兼容特性。实际设计时，设计的结果必须能满足给定的电磁兼容条件，以确保系统正常工作。

(4) 可靠性高。电子电路系统的可靠性要求与系统的实际用途、使用环境等因素有关，一般只能作定性的估计。

(5) 系统集成度高。最大限度地提高集成度，是电路设计应当遵循的一个重要原则。高集成度的电路系统，必然具有电磁兼容性好、可靠性高、制造工艺简单、质量容易控制以及性能价格比高等一系列优点。

(6) 调试简单方便。这要求电路设计者在设计电路时，必须考虑调试的问题。如果一个电路系统不易调试或调试点过多，这个系统的质量是难以保证的。

(7) 操作简便。操作简便是现代电子系统的重要特征，难以操作的系统是没有生命力的。

针对不同的电路设计领域，又有以下几条特殊原则：

(1) 先进性原则。这一原则主要针对科研攻关项目，往往要求技术超前、领先，能突破关键技术，对成本则不太关心。其特点是大量使用新器件、尽可能快出产品、填补空白、时效性强。

(2) 可靠性原则。这一原则主要针对工业部门，特别是军工、航天领域。其特点是可靠性第一，尽量采用成熟技术，采用冗余设计，对先进性要求则稍低一些。

(3) 实用性原则。这一原则主要针对市场产品，要求对价格、性能和可靠性综合考虑，能进行大批量自动化生产。

1.2 电路设计的基本方法与步骤

1.2.1 电路设计的基本方法

为了说明综合电路系统设计的基本方法，通常将电路系统分成四级：系统级、子系统级、单元级、元件级，如图 1.2.1 所示。一个系统可能挂若干个子系统，而每个子系统可能挂若干个单元，而且上级涵盖下级，层次分明。以“人体脉搏测量系统”为例，其基本组成如图 1.2.2 所示。整体上可视为系统级，如以虚线为界，虚线左边和右边分别为两个子系统，这两个子系统可分别称为“信号处理”和“单片机控制”子系统，每个子系统又包含了几个单元。单元通常是一个独立的电路，每个单元显然由电子元器件组成，这就是最底层元件级。

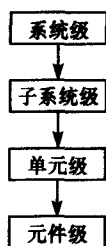


图 1.2.1 综合电子系统分级

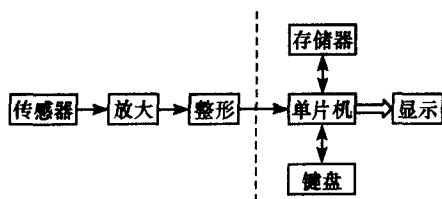


图 1.2.2 人体脉搏测量系统

当然也有例外，当采用大规模集成电路时，级（层）的划分并不十分明显，可灵活理解和处理。

1) “自顶向下”的设计方法

通常在学习知识时，往往是依“自底向上”的顺序，例如，学习数字电路这门课，是从二极管、三极管开始，逐步学习逻辑单元，然后学习组合逻辑和时序逻辑，最后才学习大规模集成电路和数字系统。而“自顶向下”法则与学习的过程相反，它是从系统层面展开设计。这种方法的优点是能站得高、看得远，把握

系统设计的主线，思路很清晰。

本设计方法是从系统的组成开始设计，然后进行系统级设计、单元级设计，最后落实到选用什么器件和芯片。

使用“自顶向下”的设计方法时应注意以下两点：

(1) 在进行系统级设计时，要抓住主要矛盾，不必过多地考虑底层选择什么电路、选什么器件。要“抓大放小”，稳步推进，这时获得的设计结果往往是系统的方框图或称为方案。

(2) 上一级设计应对下一级设计负责，保证上一级设计的正确和完美，称为“高层主导”原则和“问题不下放”原则。在设计某一级时遇到问题，必须将其解决才能进行下一级设计。此外，当设计到底层遇到问题而无法解决时，要退回到它的上一级，通过修改上一级或更上一级的设计来减轻下一级的设计困难。

“自顶向下”的设计法适合于各级层次比较分明的大型系统，一个系统包括数个子系统，而每个子系统又包括数个单元，故采用“自顶向下”法较为合理。

2) “自底向上”的设计方法

有时所设计的系统不太复杂，层次不太分明，可采用“自底向上”法。该方法还适合手中已有现成的设计单元电路或模块，可直接采用其电路的情况。根据总体设计要求和功能，用若干个单元电路搭建子系统，再由子系统构建系统，直到实现系统全部技术指标和要求为止，如同搭“积木”那样。

3) 核心展开的设计方法

此方法可举例说明。假设让你设计一个多频点射频输出、数字显示、键盘操作、可数据存储的频率合成器。拿到任务书后你一定会想到本题的核心电路是压控振荡器；压控振荡器必须置于锁相环中，进而构想出锁相环电路；要实现频率调节，锁相环中必须有可变分频器；要改变分频比，并能显示频率，键盘操作必须由单片机来控制。这样，以压控振荡器为核心展开，便勾画出了本题目的基本框图，如图 1.2.3 所示。

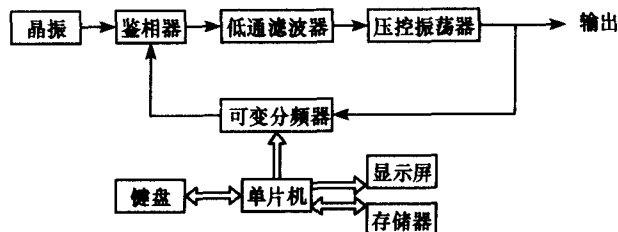


图 1.2.3 核心展开法设计频率合成器

如果要求有调制功能（AM/FM），只要在此基础上增加调制电路即可；如果要求输出幅度可变，将本框图的频率输出端加入宽带放大和衰减器即可。