



普通高校“十三五”规划教材

电子系统设计

——基础篇

本书配套多媒体教学课件

(第4版)

余小平 奚大顺 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高校“十三五”规划教材

电子系统设计

——基础篇(第4版)

余小平 奚大顺 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书内容充实、新颖、深入浅出、尽量避免繁琐的数学推导。从设计和实用的角度出发,首先介绍了电子系统的设计方法,然后从构成电子电路的基本元器件的应用入手,分别讲述了模拟电路、数字电路、数/模与模/数变换电路、单片机应用系统的设计方法以及现代 EDA 工具等知识,最后给出了几个典型的电子系统设计实例。试图在读者已掌握了若干原理性课程的基础上,介绍如何将这些知识加以综合应用,并强调了各种元器件、电路的使用常识。为便于学习,每章均附有“小结”和“设计练习”。本书是再版书,相比旧版,本书对部分内容进行了更新。

本书可作为电子信息类专业本科和硕士研究生的课程教材,也可作为各种电子设计竞赛的培训教材或教辅,同时还可作为广大电路设计爱好者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子系统设计. 基础篇 / 余小平, 奚大顺编著. --
4 版. --北京: 北京航空航天大学出版社, 2019. 5
ISBN 978-7-5124-2994-9

I. ①电… II. ①余… ②奚… III. ①电子系统—系
统设计 IV. ①TN02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 071778 号

版权所有,侵权必究。

电子系统设计——基础篇(第 4 版)

余小平 奚大顺 编著
责任编辑 胡晓柏 张楠

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: emsbook@buaacm.com.cn 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:34.25 字数:730 千字

2019 年 5 月第 4 版 2019 年 5 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-2994-9 定价:89.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

第 4 版前言

《电子系统设计——基础篇》自问世以来,历经第 2 版、第 3 版,迄今已发行 2 万余册,能受到广大读者的青睐,能为电子技术的教育略尽绵薄,作者感到十分欣慰!

电子技术发展确实惊人,新知识、新器件日新月异,作为一本基础读物,理应不断跟随潮流,不断更新。

第 4 版主要做了以下三个方面的改动:

首先,修改了 7.2 节全部内容,将原来的“GAL 器件的编程及应用”修改为“Verilog HDL 使用入门”。7.3 节题目修改为“VHDL 使用入门”。修改了 8.2 节全部内容,将原来的“EWB 仿真”修改为“Multisim 仿真”。修改了第 9 章设计实例中“数字定时器”内容作为 9.2 节,此节以 89C51 为核心,以汇编语言编写程序,内容简单、基本。另外,加上了 9.1 节“一种简单直流信号源”,主要补充纯模拟电路的相关设计知识,如幅度控制、电池等内容。9.3 节则是按第 1 节的要求,用 MCU - STM32F103 加以实现,以 C 语言编写程序。9.4 节“气体流量控制器”则除了介绍与流量有关的知识以及 STM32F103 的几个基本函数外,着重介绍了控制算法与程序。

其次,补充了 6.4 节“STM32F101xx MCU 简介”,这是跟上时代热点的必然。

最后是纠正了第 3 版中的个别错误,如图 3.4.13 等。

第 4 版主要内容的撰写由奚大顺、余小平完成。成书过程中,刘静硕士编写了部分程序,张涛工程师及其他硕士给予了各种帮助,在此一并致谢!

井底之见,难免有失偏颇,敬请读者提出宝贵意见。

作者

2019 年 3 月

敬告读者

➤ 本教材配有教学课件。需要用于教学的教师,请与北京航空航天大学出版社联系。

➤ 北京航空航天大学出版社联系方式如下:

通信地址:北京海淀区学院路 37 号北京航空航天大学

出版社嵌入式系统图书分社

邮 编: 100191

电 话: 010-82317035

传 真: 010-82328026

E-mail: emsbook@buaacm.com.cn

第 3 版前言

本书自 2007 年 3 月第 1 版第 1 次印刷,经过 2011 年 9 月第 2 版第 2 次印刷,迄今已 6 个年头。经过多次的教学实践,并考虑到当前电子技术的发展,深觉应该对书中的内容做必要的补充与修改。第 3 版与第 2 版比较,在以下方面有所变动:

- 补充了若干新内容,如智能液晶显示器、电流负反馈运算放大器等。
- 第 6 章和第 9 章则全部改写:第 6 章单片机系统设计采用了目前使用广泛的 MSP430 单片机和 C8051F 单片机为例;第 9 章更新全部实例,MCU 以 MSP430 为主。
- 增加了一些新的知识,如用 Altium Designer。
- 删除了少数已停产的芯片,如 ICM7216D 等。
- 鉴于 TI 公司产品的优良性能以及在国内高校的普及程度,原书中的芯片基本以 TI 产品取代,如运算放大器、DC-DC 芯片、单片机、ADC、DAC 等,仅保留了少数其他公司具有代表性的优秀品种;并对 WEBENCH 在线设计软件在滤波器中的应用做了介绍。
- 补充了少数原书中未充分说明,而又经常使用的知识,如数控稳压电源的设计。
- 修改了部分设计练习。
- 改正了第 2 版中的极少数文字错误。

本版更加突出了原书的特点:

- 综合性:如加入了基本元器件在各方面的应用,如器件与可靠性“减额”、“冗余”的关系,如 9.1 节从方案调研、方案选择直到软件的容错设计等涉及系统设计的方方面面做了介绍,这是作者写作本书的初衷。
- 实用性:从元器件、芯片到电路基本都有“应用要点”,方便读者上手,这是本书的重点。
- 与时俱进:添加一些新器件、新知识,选择了获得 2012 年 15 省赛区大学生电子设计 TI 杯竞赛的优秀作品作为设计实例,对 TI 公司器件进行重点介绍,均反应了当前的技术动向。其实这也是电子技术类书籍所必须遵循的原则。

第 3 版的修订由庾先国主持,并撰写了第 6 章和第 9 章。本版得到了 TI 公司大学计划部、尤其是胡国栋工程师的大力支持,成书过程中也得到了蒿书利、廖斌、黄河、周刚、陈松、陈俊、许杰、陈起传、龙小翠等研究生的帮助,在此一并致谢。

写书和制作电影一样,也是“遗憾的艺术”,总觉得意犹未尽,也觉得惶恐。真心希望得到广大读者的宝贵意见。

作者
2014 年元旦

第 2 版前言

《电子系统设计——基础篇》出版已历三年有余,两次印刷,所剩无几。为适应教学的需要和适应电子技术的发展,有必要在原书的基础上重新出版《电子系统设计——基础篇(第 2 版)》,此次的修订版主要做了如下工作:

- ▶ 对于原书存在的少数文字错误,甚至漏掉了图 3.2.12,此次加以改正。
- ▶ 原书中有少数应包含的内容,如电感器、进制转换电路、单片机 UART 串口使用等,进行了拾漏补遗;并增补了少数设计练习;删除了与“基础篇”不太合适的 7.4 节“SOPC 的简介”。
- ▶ 由于电子技术本身的飞速发展,补充一些新的新的知识点,如 Quartus II 的使用、ADC 外围电路等。
- ▶ 原书涉及的一些资料、程序,原打算以光盘的形式提供,但未能实现。此次尽可能地列出,如 T6963C 驱动的 240×128 点阵 LCD 程序等。

本书在修订过程中,范磊磊、周传文、张贵宇、张兆义、蒿书利参与了电路实验,李隆、庾先国、倪为芬、穆克亮、杨剑波、施刚进行了程序调试,李哲、罗辉、宋茜茜对文档进行了整理,在此一并表示感谢。

作 者

2010 年 7 月

第 1 版前言

电子信息类专业的技术人员应该具有对电子系统进行分析与设计的能力。各学科知识的综合利用以及设计与实践能力的培养已受到各学校普遍的重视,系统设计类课程亦应运而生。

作者曾在 1997 年出版过一本《电子设计技术》,此书对设计方法介绍较少,资料偏多,所涉及的不少内容也已过时。

本书从设计和实用的角度出发,首先介绍了电子系统的设计方法;然后从构成电子电路的基本元器件的应用入手,分别讲述了模拟电路、数字电路、D/A 与 A/D 变换电路、单片机应用系统的设计方法以及现代 EDA 工具等知识;最后给出了几个典型的电子系统设计实例。

本书有以下特点:

- 介绍部分均从设计的角度出发,着重实用,仅对少数设计者较陌生的器件或电路简介其原理。
- 比较系统、详细地介绍了作为系统基础的常用电子元器件的应用知识。
- 所选内容较新。如滤波器设计只是很简单地回顾了其基本原理,而主要介绍 FilterLAB 设计软件和引脚可编程的开关电容滤波器。
- 讲述上由浅入深,循序渐进,尽量避免繁琐的数学推导,着重各学科知识的综合应用。
- 各章均附有小结及设计练习,适宜自学和教学。
- 注意紧密结合工程实践,如对线性稳压器件的散热进行了比较切合实际的介绍。
- 本书只能算是设计入门,故为“基础篇”。而“专题篇”则按专题(如测量技术、控制技术、无线电技术等)进一步介绍。

此书既可供广大电子技术应用人员使用,也可作为大学相应专业高年级、硕士研究生和电子设计竞赛的教材,同时又是一本工具书。

余小平、奚大顺为本书主编。余小平编写了第 1、4~8 章,奚大顺编写了第 2、3 章以及 9.1 节,唐蓉编写了 9.2 节,王洪辉编写了 9.3 节。

在编写过程中,借鉴了大量的参考书、文献和近几年新发表的文章,在此向相关的作者表示深切的谢意。放大器、滤波器设计软件由 Microchip 公司授权,在此一并致谢。

本书的电子教案可以在北京航空航天大学出版社网站(www.buaapress.com.cn)本书所附资料内下载或向出版社索取,书中所涉及的元器件资料可以从中国电子网(www.21ic.com)、中国芯片手册网(www.datasheet.com.cn)查阅。

由于作者水平所限,加之时间紧迫,错误不妥之处在所难免,恳望广大读者提出宝贵意见。有兴趣的读者,可以发送电子邮件到 yxpse@yahoo.com.cn,与作者进一步交流;也可以发送电子邮件到 emsbook@buaacm.com.cn,与本书策划编辑进行交流。

作者

2007年元旦

于成都理工大学

目 录

第 1 章 电子系统设计导论	1
1.1 电子系统的构成	1
1.2 电子系统设计方法和原则	2
1.2.1 电子系统设计的一般方法	2
1.2.2 电子系统设计的一般原则	4
1.3 电子系统设计步骤	5
小 结	6
第 2 章 常用电子元器件的应用	7
2.1 电阻器	7
2.1.1 主要技术参数	7
2.1.2 分类、特性与应用场合	10
2.1.3 电阻器的应用	14
2.1.4 数字电位器	18
2.1.5 电阻衰减器的设计	22
2.2 电容器	24
2.2.1 主要技术参数	25
2.2.2 分类与特性	26
2.2.3 电容器的应用	27
2.2.4 电解电容器的特性与应用	30
2.3 电感器	32
2.3.1 电感器在电子电路中的应用	32
2.3.2 电感器的主要技术参数	36
2.3.3 电感器的种类	37
2.3.4 电感器的应用	40
2.4 晶体管	41
2.4.1 硅二极管和硅整流桥	41
2.4.2 半导体三极管	47
2.4.3 场效应管	49
2.4.4 功率 VMOS 场效应晶体管	51
2.4.5 晶体管阵列	56

2.5 表面贴装元器件	59
2.5.1 表贴无源元器件	60
2.5.2 表贴有源元器件	66
2.6 光电耦合器	67
2.6.1 “地”电流的影响	67
2.6.2 通用光电耦合器	69
2.6.3 线性光电耦合器	77
2.7 继电器	80
2.7.1 电磁继电器	80
2.7.2 固态继电器	84
2.8 功率驱动	87
2.8.1 几种常见的功率负载	87
2.8.2 常用数字器件的输出特性	89
2.8.3 功率驱动设计	90
2.8.4 电动扬声器的驱动	93
2.9 显示器件	93
2.9.1 LED	97
2.9.2 LED 数码管及其驱动	100
2.9.3 LCD 显示器及其驱动	107
小 结	131
设计练习	132
第3章 模拟电路设计	134
3.1 运算放大器的基本特性	134
3.2 放大器设计	145
3.2.1 负反馈电路	145
3.2.2 基本放大电路	146
3.2.3 放大电路设计要点	148
3.2.4 运算放大器的参数对放大器性能的影响	154
3.2.5 放大电路计算机辅助设计软件	155
3.3 滤波器设计	158
3.3.1 滤波器的基本特性	158
3.3.2 滤波器计算机辅助设计软件	161
3.3.3 开关电容滤波器	166
3.4 电源电路设计	171
3.4.1 模拟线性稳压电源设计	172
3.4.2 数控稳压电源设计	184

3.4.3 开关稳压电源	189
小结	202
设计练习	203
第4章 数字电路设计	204
4.1 数字电路设计概述	204
4.1.1 数字电路系统的结构	204
4.1.2 数字电路系统的设计步骤	204
4.1.3 数字电路系统的设计方法	205
4.2 常用中规模数字逻辑电路的应用	206
4.2.1 模拟开关和数据选择器	206
4.2.2 数值比较器	213
4.2.3 计数器/分频器	216
4.2.4 译码器	223
4.3 锁相环及频率合成器的应用	228
4.3.1 锁相环	228
4.3.2 频率合成器	233
4.4 数字集成电路应用若干问题	242
4.4.1 数字集成电路的种类及特点	242
4.4.2 数字集成电路型号的组成及含义	244
4.4.3 数字集成电路系统中的旁路电容	245
4.4.4 数字集成电路使用应注意的问题	247
4.4.5 数字集成电路的接口驱动	249
小结	252
设计练习	252
第5章 D/A 与 A/D 转换	253
5.1 D/A 转换器	253
5.1.1 DAC 的主要技术指标	253
5.1.2 DAC 的选择	254
5.1.3 DAC 的应用	256
5.2 A/D 转换器	265
5.2.1 ADC 的分类	265
5.2.2 ADC 的主要技术指标	268
5.2.3 ADC 的选择	269
5.2.4 ADC 的应用	270
5.3 ADC/DAC 外围电路	285

5.3.1	参考源	285
5.3.2	驱动放大器	289
5.3.3	其他外围电路考虑	293
小 结	293
设计练习	294
第 6 章	单片机应用系统设计	295
6.1	概 述	295
6.1.1	单片机的发展趋势	295
6.1.2	单片机的应用及选择	296
6.1.3	单片机应用系统综合设计的一般过程	297
6.2	以 MSP430 为核心的应用系统设计	298
6.2.1	MSP430 简介	298
6.2.2	IAR Embedded Workbench IDE 的使用	300
6.2.3	Grace 软件的使用	306
6.2.4	MSP430F2619 简介	311
6.2.5	通用 I/O 口控制的 LED 闪烁	313
6.2.6	PA 端口实现跑马灯	315
6.2.7	矩阵式键盘扫描	316
6.2.8	触摸按键及显示	318
6.2.9	ADC 数据采集	323
6.2.10	UART 串口通信	324
6.2.11	单总线的使用	327
6.2.12	I ² C 总线的使用	331
6.3	以 C8051F 为核心的应用系统设计	339
6.3.1	C8051F 单片机简介	339
6.3.2	Silicon Laboratories IDE 的使用	341
6.3.3	Configuration Wizard 的使用	344
6.3.4	C8051F350 简介	347
6.3.5	定时中断及 I/O 口控制实例	349
6.3.6	24 位 ADC 数据采集	352
6.3.7	SPI 通信	355
6.3.8	UART 串口通信	360
6.4	STM32F103xx 系列 MCU 简介	363
6.4.1	STM32F103xx 系列 MCU 的特点	364
6.4.2	STM32F103RCT6 编程方法	364
小 结	367

设计练习	368
第 7 章 ASIC 设计	369
7.1 ASIC 的设计手段	369
7.1.1 ASIC 设计发展历程	369
7.1.2 ASIC 设计方法	370
7.2 Verilog HDL 代码编写入门	372
7.2.1 Verilog HDL 简介	373
7.2.2 Verilog HDL 代码编写基础	374
7.2.3 Verilog HDL 代码设计	379
7.3 VHDL 使用入门	386
7.3.1 VHDL 语言介绍	386
7.3.2 VHDL 文本输入设计步骤	391
7.3.3 VHDL 文本输入设计举例	397
7.4 Quartus II 使用简介	401
7.4.1 设计输入	401
7.4.2 综 合	406
7.4.3 适 配	407
7.4.4 时序分析	409
7.4.5 仿 真	410
7.4.6 编程或配置	414
小 结	414
设计练习	415
第 8 章 EDA 工具应用	416
8.1 Pspice 仿真	416
8.1.1 Pspice 简介	416
8.1.2 Pspice 使用	417
8.2 Multisim 仿真	425
8.2.1 Multisim 简介	425
8.2.2 Multisim 仿真设计简述	426
8.3 Proteus 仿真	435
8.3.1 Proteus 软件简介	435
8.3.2 Proteus 在单片机系统仿真中的使用	436
8.4 Protel 99SE 的使用	444
8.4.1 Protel 99SE 的原理图设计	444
8.4.2 电路网表的生成	449

8.4.3 印制电路的设计	449
8.5 Altium Designer 的使用	452
8.5.1 Altium Designer 简介	452
8.5.2 Altium Designer 的文件导入	453
8.5.3 PCB 板设计流程	455
8.5.4 Altium Designer 的 PCB 设计	456
小 结	469
设计练习	470
第 9 章 设计实例	471
9.1 一个简单的模拟信号源	471
9.1.1 基准电压器件	471
9.1.2 电压调整器件	473
9.1.3 缓冲放大器	474
9.1.4 电 池	474
9.1.5 整体电路	476
9.1.6 总耗电的估算	478
9.2 数字定时器	478
9.2.1 功能要求	478
9.2.2 整体方案调研	478
9.2.3 整体方案论证	479
9.2.4 硬件电路设计	481
9.2.5 程序设计	482
9.3 以 STM32F103RCT6 为核心的简易信号源	494
9.3.1 功 能	494
9.3.2 方案论证	495
9.3.3 整机电路	497
9.3.4 程序设计	498
9.3.5 测试数据	504
9.4 气体流量控制器	504
9.4.1 功 能	504
9.4.2 硬件设计	504
9.4.3 软件设计	509
小 结	529
设计练习	529
参考文献	532

第 1 章 电子系统设计导论

1.1 电子系统的构成

电子系统主要是指由多个电子元器件或功能模块组成,能实现较复杂的应用功能的客观实体,如自动控制系统、电子测量系统、计算机系统、通信系统等。一般来说,一个复杂的电子系统可以分解成若干个子系统,其中每个子系统又由若干个功能模块组成,而功能模块由若干单元电路或电子元器件组成,如图 1.1.1 所示。

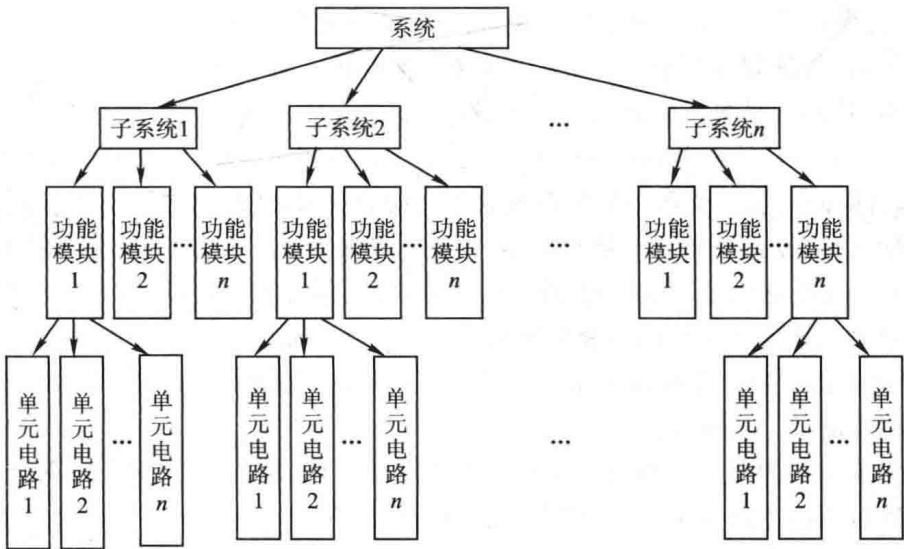


图 1.1.1 电子系统构成示意图

图 1.1.2 为以 MCU/ARM/DSP 为核心的电子测量系统的组成示意图。由图可知,该电子测量系统主要由以下分系统组成:模拟子系统(传感器、信号处理、系统电源及监控、驱动等)、数字子系统(存储器、译码控制、人机接口、通信接口等)、数/模混合子

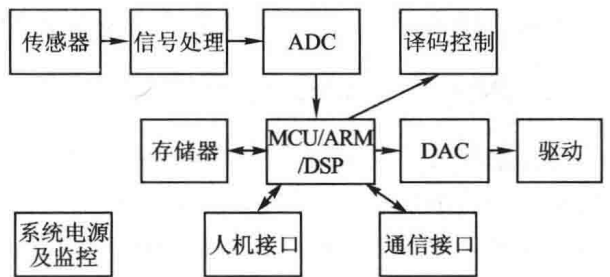


图 1.1.2 以 MCU/ARM/DSP 为核心的电子测量系统组成示意图

系统(ADC、DAC)和MCU/ARM/DSP子系统。其中这些子系统又由各个功能模块构成,如数模混合子系统由信号调理与驱动模块、输入/输出接口模块、通信接口模块、系统译码与控制模块、电源模块等组成。

1.2 电子系统设计方法和原则

1.2.1 电子系统设计的一般方法

电子系统设计是系统工程设计,一般是比较复杂的,必须采用有效的方法去管理才能使设计工作顺利并取得成功。

基于系统的功能与结构上的层次性,电子系统设计一般有以下三种方法:自顶向下法(Top to Down)、自底向上法(Bottom to Up)和组合法(TD&BU Combined)。

① 自顶向下法。首先从系统级设计开始,根据系统级所描述的该系统应具备的各项功能,将系统划分为单一功能的子系统,再根据子系统任务划分各部件,完成部件设计后,最后才是单元电路和元件级设计。

优点:避开具体细节,有利于抓住主要矛盾。适用于大型、复杂的系统设计。

② 自底向上法。根据要实现系统的各个功能要求,从现有的元器件或模块中选出合适的元件,设计各单元电路和部件,一级一级向上设计,最后完成整个系统设计。

优点:可以继承经过验证的、成熟的单元电路、部件和子系统,实现设计重用,提高设计效率。多用于系统的组装和测试。

③ 组合法。整个系统或子系统设计采用自顶向下法,而子系统部件或单元电路设计采用自底向上法设计。

为实现设计的可重复使用以及对系统进行模块化设计测试,现代的系统设计通常采用以自顶向下法为主,结合使用自底向上法的方法。

由于电子电路种类繁多,千差万别,设计方法也因具体情况而不同,因此在设计时,应根据实际情况灵活掌握。

下面详细介绍自顶向下法的各个主要步骤。

1. 总体方案的设计与选择

选择总体方案是自顶向下法电子系统设计的第一步。根据设计任务、指标要求,分析系统应完成的功能,并将系统按功能分解成若干子系统,分清主次和相互关系,并形成由若干单元功能模块组成的总体方案。

一般需要多个方案,每个方案用方框图的形式表示出来(关键的功能模块的作用一定要表达清楚,还要表示出它们各自的作用和相互之间的关系,注明信息走向等),然后通过实际的调查研究、查阅有关的资料或集体讨论等方式,着重从方案能否满足