



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

电工电子基础

Electronic Engineering Practice

电子工程综合实践

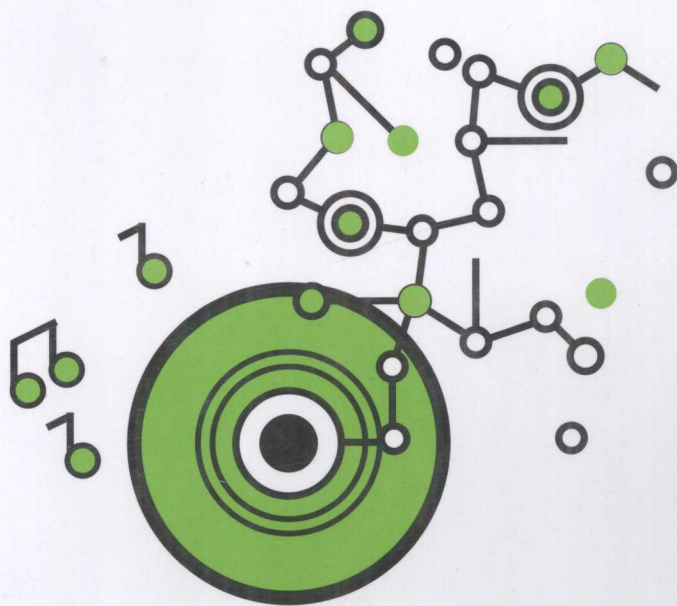
陈颖琪 袁焱 李安琪 崔萌 编著

Chen Yingqi

Yuan Yan

Li Anqi

Cui Meng



CD-ROM

清华大学出版社





教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

Electronic Engineering Practice

电子工程综合实践

陈颖琪 袁焱 李安琪 崔萌 编著

Chen Yingqi

Yuan Yan

Li Anqi

Cui Meng

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书面向电路设计初学者,提供一套小型的电子工程设计实践项目,内容涉及电子工程常识认知、电路分析和设计仿真软件使用、单片机应用及程序设计技术、音频放大电路设计、模拟/数字混合电路设计、软硬件结合系统的开发等。

本书可作为电子工程、信息工程、通信工程、自动化、电气工程等电类专业的大学本科教材,也可供电子类初级工程技术人员学习参考。

与本书相关的 MOOC 课程《电子工程综合实践》已上线“好大学在线”网站,<http://www.cnmooc.org>,可供学习者通过互联网远程修学。

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 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电子工程综合实践/陈颖琪等编著. —北京:清华大学出版社,2016

高等学校电子信息类专业系列教材

ISBN 978-7-302-44420-6

I. ①电… II. ①陈… III. ①电子技术—高等学校—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 168682 号

责任编辑:梁 颖 柴文强

封面设计:李召霞

责任校对:白 蕾

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址:<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载:<http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:13.75 插 页:2 字 数:335 千字

(附光盘 1 张)

版 次:2016 年 9 月第 1 版

印 次:2016 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:35.00 元

产品编号:066024-01



图 3.2-1 电阻的不同外观形态图例



图3.2-2 五色环电阻

4环	第一环 ↓	第二环 ↓		第三环 ↓	第四环 ↓
颜色		读数		倍率	误差
黑	0	0	0	1	—
棕	1	1	1	10	1%
红	2	2	2	100	2%
橙	3	3	3	1K	—
黄	4	4	4	10K	—
绿	5	5	5	100K	0.50%
蓝	6	6	6	1M	0.25%
紫	7	7	7	10M	0.10%
灰	8	8	8	—	0.05%
白	9	9	9	—	—
金	—	—	—	0.1	5%
银	—	—	—	0.01	10%
5环	第一环 ↑	第二环 ↑	第三环 ↑	第四环 ↑	第五环 ↑

图 3.2-3 色环电阻计算表

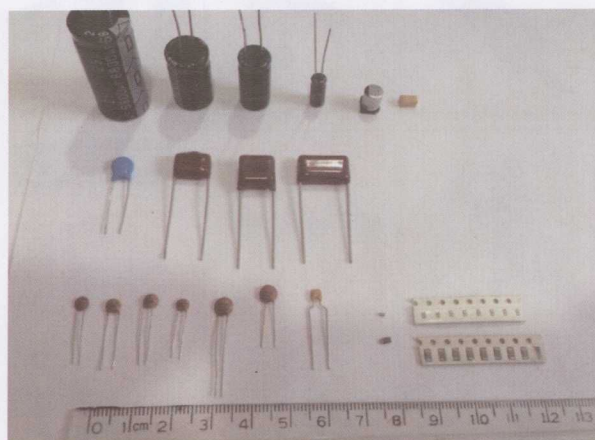


图 3.2-4 电容的不同外观

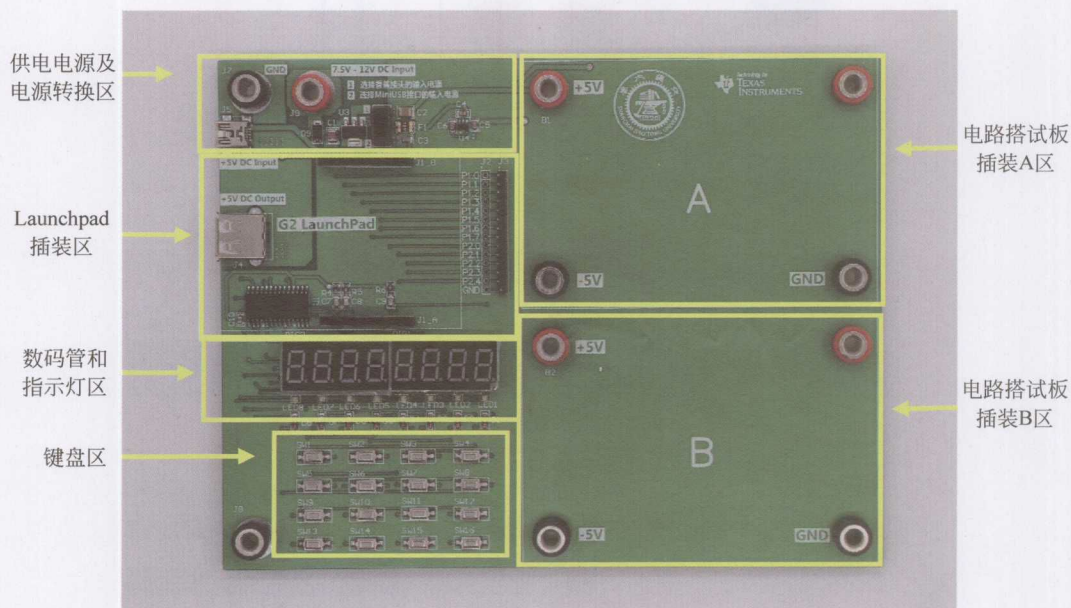


图 3.5-1 专用实验底板例图一

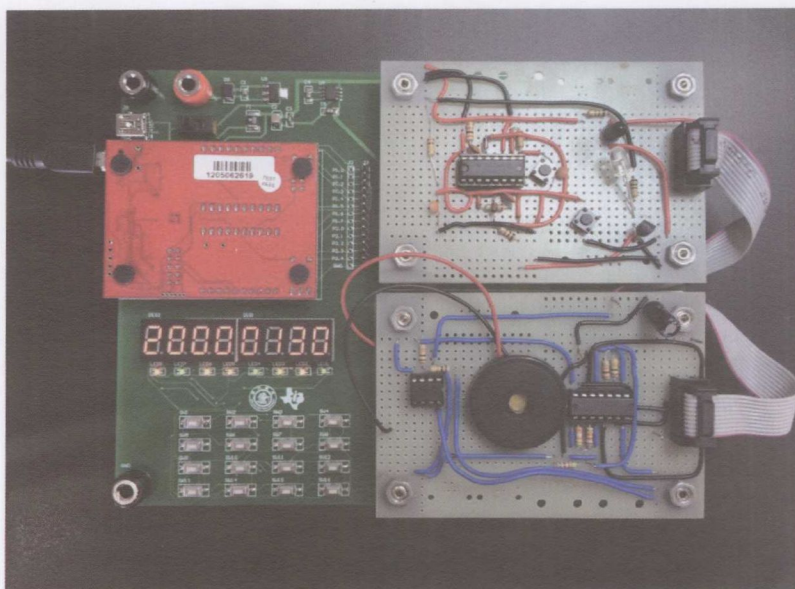


图 3.5-2 专用实验底板例图二

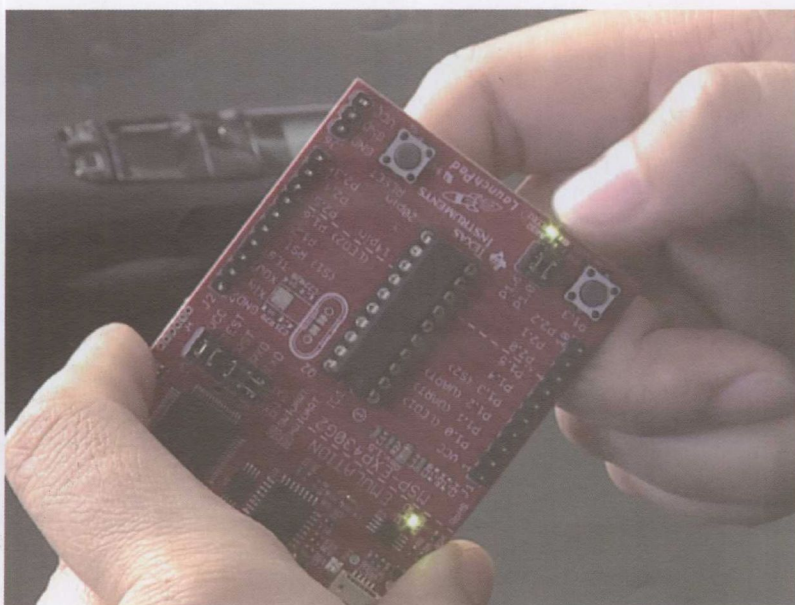


图 4.3-19 demo 程序执行效果(未按按键绿灯亮)

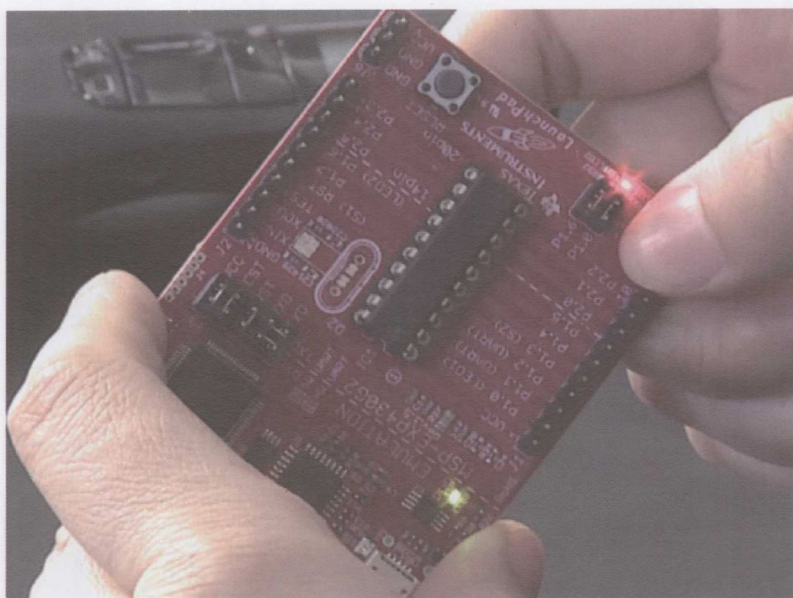


图 4.3-20 demo 程序执行效果(按键按下红灯亮)

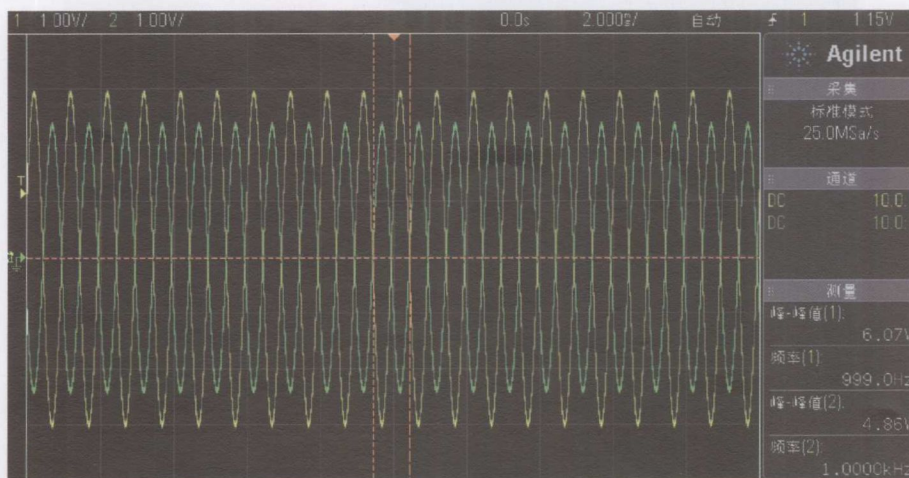


图 9.3-10 正弦波信号观测实例(放大倍数=0.8)

高等学校电子信息类专业系列教材

顾问委员会

谈振辉	北京交通大学 (教指委高级顾问)	郁道银	天津大学 (教指委高级顾问)
廖延彪	清华大学 (特约高级顾问)	胡广书	清华大学 (特约高级顾问)
华成英	清华大学 (国家级教学名师)	于洪珍	中国矿业大学 (国家级教学名师)
彭启琮	电子科技大学 (国家级教学名师)	孙肖子	西安电子科技大学 (国家级教学名师)
邹逢兴	国防科学技术大学 (国家级教学名师)	严国萍	华中科技大学 (国家级教学名师)

编审委员会

主 任	吕志伟	哈尔滨工业大学		
副主任	刘 旭	浙江大学	王志军	北京大学
	隆克平	北京科技大学	葛宝臻	天津大学
	秦石乔	国防科学技术大学	何伟明	哈尔滨工业大学
	刘向东	浙江大学		
委 员	王志华	清华大学	宋 梅	北京邮电大学
	韩 焱	中北大学	张雪英	太原理工大学
	殷福亮	大连理工大学	赵晓晖	吉林大学
	张朝柱	哈尔滨工程大学	刘兴钊	上海交通大学
	洪 伟	东南大学	陈鹤鸣	南京邮电大学
	杨明武	合肥工业大学	袁东风	山东大学
	王忠勇	郑州大学	程文青	华中科技大学
	曾 云	湖南大学	李思敏	桂林电子科技大学
	陈前斌	重庆邮电大学	张怀武	电子科技大学
	谢 泉	贵州大学	卞树檀	第二炮兵工程大学
	吴 瑛	解放军信息工程大学	刘纯亮	西安交通大学
	金伟其	北京理工大学	毕卫红	燕山大学
	胡秀珍	内蒙古工业大学	付跃刚	长春理工大学
	贾宏志	上海理工大学	顾济华	苏州大学
	李振华	南京理工大学	韩正甫	中国科学技术大学
	李 晖	福建师范大学	何兴道	南昌航空大学
	何平安	武汉大学	张新亮	华中科技大学
	郭永彩	重庆大学	曹益平	四川大学
	刘缠牢	西安工业大学	李儒新	中科院上海光学精密机械研究所
	赵尚弘	空军工程大学	董友梅	京东方科技集团
	蒋晓瑜	装甲兵工程学院	蔡 毅	中国兵器科学研究院
	仲顺安	北京理工大学	冯其波	北京交通大学
	黄翊东	清华大学	张有光	北京航空航天大学
	李勇朝	西安电子科技大学	江 毅	北京理工大学
	章毓晋	清华大学	谢凯年	赛灵思公司
	刘铁根	天津大学	张伟刚	南开大学
	王艳芬	中国矿业大学	宋 峰	南开大学
	苑立波	哈尔滨工程大学	靳 伟	香港理工大学

丛书责任编辑 盛东亮 清华大学出版社

序

FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 12 万亿元,行业收入占工业总体比重已经超过 9%。电子信息产业在工业经济中的支撑作用凸显,更加促进了信息化和工业化的高层次深度融合。随着移动互联网、云计算、物联网、大数据和石墨烯等新兴产业的爆发式增长,电子信息产业的发展呈现了新的特点,电子信息产业的人才培养面临着新的挑战。

(1) 随着控制、通信、人机交互和网络互联等新兴电子信息技术不断发展,传统工业设备融合了大量最新的电子信息技术,它们一起构成了庞大而复杂的系统,派生出大量新兴的电子信息技术应用需求。这些“系统级”的应用需求,迫切要求具有系统级设计能力的电子信息技术人才。

(2) 电子信息系统的功能越来越复杂,系统的集成度越来越高。因此,要求未来的设计者应该具备更扎实的理论基础知识和更宽广的专业视野。未来电子信息系统设计越来越要求软件和硬件的协同规划、协同设计和协同调试。

(3) 新兴电子信息技术的发展依赖于半导体产业的不断推动,半导体厂商为设计者提供了越来越丰富的生态资源,系统集成厂商的全方位配合又加速了这种生态资源的进一步完善。半导体厂商和系统集成厂商所建立的这种生态系统,为未来的设计者提供了更加便捷却又必须依赖的设计资源。

教育部 2012 年颁布了新版《高等学校本科专业目录》,将电子信息类专业进行了整合,为各高校建立系统化的人才培养体系,培养具有扎实理论基础和宽广专业技能、兼顾“基础”和“系统”的高层次电子信息人才给出了指引。

传统的电子信息学科专业课程体系呈现“自底向上”的特点,这种课程体系偏重对底层元器件的分析与设计,较少涉及系统级的集成与设计。近年来,国内很多高校对电子信息类专业课程体系进行了大力度的改革,这些改革顺应时代潮流,从系统集成的角度,更加科学合理地构建了课程体系。

为了进一步提高普通高校电子信息类专业教育与教学质量,贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《教育部关于全面提高高等教育质量若干意见》(教高【2012】4 号)的精神,教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会开展了“高等学校电子信息类专业课程体系”的立项研究工作,并于 2014 年 5 月启动了《高等学校电子信息类专业系列教材》(教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)的建设工作。其目的是为推进高等教育内涵式发展,提高教学水平,满足高等学校对电子信息类专业人才培养、教学改革与课程改革的需要。

本系列教材定位于高等学校电子信息类专业的专业课程,适用于电子信息类的电子信

息工程、电子科学与技术、通信工程、微电子科学与工程、光电信息科学与工程、信息工程及其相近专业。经过编审委员会与众多高校多次沟通,初步拟定分批次(2014—2017年)建设约100门课程教材。本系列教材将力求在保证基础的前提下,突出技术的先进性和科学的前沿性,体现创新教学和工程实践教学;将重视系统集成思想在教学中的体现,鼓励推陈出新,采用“自顶向下”的方法编写教材;将注重反映优秀的教学改革成果,推广优秀的教学经验与理念。

为了保证本系列教材的科学性、系统性及编写质量,本系列教材设立顾问委员会及编审委员会。顾问委员会由教指委高级顾问、特约高级顾问和国家级教学名师担任,编审委员会由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会委员和一线教学名师组成。同时,清华大学出版社为本系列教材配置优秀的编辑团队,力求高水准出版。本系列教材的建设,不仅有众多高校教师参与,也有大量知名的电子信息类企业支持。在此,谨向参与本系列教材策划、组织、编写与出版的广大教师、企业代表及出版人员致以诚挚的感谢,并殷切希望本系列教材在我国高等学校电子信息类专业人才培养与课程体系建设中发挥切实的作用。

吕志伟 教授

前言

PREFACE

电路设计是高校电子工程及其相关专业的核心教学内容之一。教学实践表明,仅靠讲授理论课程和开设传统的教学实验,难以把学生培养成为较熟练的电路设计者。

本书面向电路设计初学者,提供一套小型的电子工程设计实践项目,让学习者在参加工程实践过程中,边做边学,获得一点必要的工程常识认知,熟悉一些工程设计工具的使用方法,掌握一定的工程设计思维方法,为日后成为专业的设计者打下入门基础。

本书适合作为电子类相关本科专业二年级或三年级工程实践课程的教科书,也可供电子类初级工程技术人员学习参考。与本书相关的 MOOC 课程《电子工程综合实践》已上线“好大学在线”网站,<http://www.cnmooc.org>,可供学习者通过互联网远程修学。

与教程配套的实验元器件多数为常规物料,可方便地在市场上购得。少数定制器材可从相关的淘宝店家买到。

本书的第 1 章、第 2 章、第 6 章和第 7 章主要由袁焱编写;第 3 章、第 4 章、第 8 章电子音乐合成和第 9 章主要由陈颖琪编写;崔萌编写了第 5 章;李安琪编写了第 8 章红外遥控,并负责拍摄制作了书中大量的实景照片和图片;诸勤敏提供了书中大部分编程示例,还设计了专用实验底板;孟桂娥为审校本书,试做大量实验,提出多处改进建议。谨此亦对在本书编写和出版过程中提供帮助的所有人员致以诚挚谢意。

本教材个别图取自 TI 公司的网页,未采用国标,为尊重原版,并为读者查看方便,作者未做改动,特此声明。

限于编著者水平,书中难免存在不足之处,敬请批评指正。

编著者

2016 年 6 月

目录

CONTENTS

第 1 章 绪言	1
1.1 如何培养出熟练的电路设计者	1
1.2 本书提供的工程实践项目	2
1.3 本书的组织结构	3
第 2 章 必要的电路理论知识回顾	4
2.1 本章引言	4
2.2 必要的电路基础理论知识及实用算例	5
2.2.1 欧姆定律(Ohm's Law)	5
2.2.2 基尔霍夫定律(Kirchoff's Law)	5
2.2.3 分压公式	6
2.2.4 分流公式	6
2.2.5 戴维南定理(Thevenin's Theorem)	6
2.2.6 叠加原理	8
2.2.7 实用算例一	9
2.2.8 实用算例二	11
2.3 运算放大器基本电路的分析方法	12
2.3.1 运算放大器小史	12
2.3.2 运算放大器的理想化数学模型	15
2.3.3 基本运算电路	16
第 3 章 电子工程常识认知	20
3.1 本章引言	20
3.2 电子元件认知	20
3.2.1 分立元件	20
3.2.2 集成电路芯片	27
3.3 实用工具和焊接技法	29
3.3.1 实用焊接工具和其他辅助工具	29
3.3.2 焊接技法介绍	32
3.4 常用实验仪器设备的使用	34
3.4.1 数字万用表	34
3.4.2 函数信号发生器	36
3.4.3 直流稳压源	37
3.4.4 示波器	37
3.5 本书实验项目专用实验器材	39

3.5.1	专用实验底板	39
3.5.2	电路搭试板	41
3.5.3	LaunchPad 板卡	41
第 4 章	MSP430 应用开发方法的预备训练	42
4.1	本章引言	42
4.2	MSP430 单片机简介	42
4.2.1	MSP430 的超低功耗	42
4.2.2	MSP430 的集成外设	44
4.2.3	MSP430 的软件开发工具	44
4.2.4	MSP430 的 G2 系列及其最小系统开发板	44
4.3	CCS 软件的安装使用和示例程序 DemoforLaunchPad.c	46
4.3.1	CCS 软件的安装使用	46
4.3.2	解析示例程序 DemoforLaunchPad.c	55
4.4	专用实验底板电路工作方式和使用方法	58
4.4.1	专用实验底板电路的工作方式	59
4.4.2	专用实验底板的使用方法	60
4.4.3	tm1638.h 代码清单	61
4.5	解析示例程序 demoforBaseboard.c	65
4.5.1	源代码及行命令要点说明	65
4.5.2	程序基础架构和底层机制	71
4.5.3	程序的事务分解及其处理流程	73
4.5.4	程序整体流程	76
4.6	编译执行示例程序 demoforBaseboard.c	79
4.7	修改示例程序代码功能的练习	81
4.7.1	练习案例一	81
4.7.2	练习案例二	84
第 5 章	使用仿真软件辅助电路分析和设计	95
5.1	本章引言	95
5.2	电路设计及仿真软件的获取	96
5.3	实验 A 理解运放输入阻抗的概念	98
5.4	实验 B 电压跟随器	99
5.5	实验 C 验证线性电路的齐次性和叠加性	104
5.5.1	齐次性验证	104
5.5.2	叠加性验证	105
5.6	实验 D 运算放大器典型应用电路: 反相放大电路	106
5.6.1	运放外围元件的影响	108
5.6.2	信号有效动态范围的影响	110
5.6.3	信号频率的影响	113
5.6.4	TINA-TI 中使用虚拟示波器观察波形	115
5.7	实验 E 运算放大器应用电路: 电压比较器	117
第 6 章	设计和制作增益可控放大器基础部分	119
6.1	本章引言	119

6.2	基础部分的功能和指标要求	119
6.3	选择核心电路的基本拓扑形式	120
6.4	设计带电键控制的多级增益反相放大电路	121
6.4.1	方案一	121
6.4.2	方案二	122
6.4.3	方案三	122
6.5	设计详细的工程实用电路原理图	123
6.6	制作实体电路的几种器材用法	125
6.7	制作和调试实体电路	129
6.7.1	第一阶段	130
6.7.2	第二阶段	135
6.7.3	第三阶段	139
6.8	电路焊装纠错实例	140
6.8.1	实例一	140
6.8.2	实例二	141
6.9	使用信号源-示波器调测放大电路	145
第7章	整合单片机电路和放大器电路	147
7.1	本章引言	147
7.2	用模拟开关实现多级增益的控制	147
7.2.1	模拟开关器件	147
7.2.2	引入模拟开关的放大电路	148
7.2.3	电路调测和排除故障	149
7.3	单片机程序的方案设计	150
7.3.1	人机操作方案设计	151
7.3.2	程控逻辑方案设计	151
7.3.3	程序数据结构的改动	152
7.3.4	程序结构流程设计	152
7.3.5	按键操作判定的算法设计	154
7.4	单片机程序的代码编写及调试	156
7.4.1	单片机显示功能代码改写和调试	157
7.4.2	单片机按键功能代码改写和调试	158
7.4.3	单片机模拟开关控制信号输出功能代码改写和调试	159
7.5	电平转换问题	161
7.6	减小增益误差	163
第8章	拓展增益可控放大器的功能	166
8.1	本章引言	166
8.2	电子音乐合成和播放	166
8.2.1	简易音乐播放的建议方案	166
8.2.2	简易电子乐音合成原理	167
8.2.3	单片机程序设计的建议	168
8.2.4	另一种连线方案	170
8.3	红外遥控	171
8.3.1	红外遥控功能原理简介	171

8.3.2	本项目主要元器件介绍	172
8.3.3	红外发射电路和接收电路方案	175
8.3.4	单片机程序设计的建议	177
8.3.5	提高红外遥控的有效距离	182
第 9 章	实验作品评测和实验报告写作	185
9.1	本章引言	185
9.2	评价实验完成情况	185
9.2.1	工程实际中的技术标准及其检测方法	185
9.2.2	实验作品的技术标准	186
9.2.3	评价原则和成绩构成	187
9.3	实验作品的评测	188
9.3.1	评测项目和所需器材	188
9.3.2	基本功能评测	189
9.3.3	拓展功能评测	195
9.4	实验报告写作	197
9.4.1	实验报告写作的格式模板	197
9.4.2	报告的组织结构	199
9.4.3	报告的语言风格	200
9.4.4	报告中的图和表	200
9.4.5	报告的其他组成部分	203
9.4.6	学术诚信和引文注解	206
9.4.7	实验报告的评价评分原则	206
参考文献		208

1.1 如何培养出熟练的电路设计者

电子工程专业技术的理论性很强。在本专科相关专业,“电路基本理论”是必修课程,该课程讲授许多关于电路的数学原理性知识。进一步,若要有效分析数字电路,则需学一些布尔代数;若研究模拟电路,有时还要用傅里叶变换进行频域分析。总之,其中要用到不少比较复杂甚至艰深的数学方法。

但是,在高校的教学实践中我们发现,仅靠讲授理论课程,包括开设与这些理论课程相配套的教学实验,学生仍难以成为熟练的电路设计者。

这是因为从另一方面看,电子工程相关专业的应用性也很强。要成为一名合格的电路设计工程师,除了能理解书本理论知识之外,还应具备一定的工程常识,会用一系列工程工具,掌握一些工程设计思维方法。

比如,关于工程实际中所用的电阻器元件就有不少电子工程常识。有些电阻器用于小电流或低电压环境,有些用于大电流或高电压环境。有些高精度测量电路中,要求电阻器的阻值精确程度达到万分之一甚至更高,且在不同工作温度下阻值保持稳定;而另一些电路中电阻值相对于标称值即使偏差百分之十或更多,对电路性能也不会构成明显影响。有些应用场合不太在乎电阻器物理尺寸的大小,而另一些场合则要求电阻元件尺寸比芝麻粒更小。在理论课本中用一个小小国际通用符号表示的电阻元件,在工程实际中却有极其丰富的种类,可能彼此间物理形态差异巨大,若缺少相关工程知识,即使亲眼见到也难以辨认出面前是一枚电阻元件。而且,基于现实的工程应用需要,利用新材料新工艺发明出来的新品种还会不断涌现。电阻器元件是如此,其他更复杂的电子元件,比如技术含量远高于电阻器的集成芯片,在工程应用中自然将涉及更深更广的工程学知识。

既然工程常识很重要,那么关于电阻器,我们有没有必要编写一本《电阻器大全》的教材?这么做一定既费力又低效!实际上,许多年资颇高的专业工程师也未必见过各种特型电阻。特殊器件为特殊应用而生,工程师们也是术业有专攻,即使见多识广者亦难做到无所不知。一般的电路设计工程师无需什么都懂,当工程实践中遇到特殊需要时,懂得通过合适的途径寻求技术和商务支持。这在某种程度上,就是直接或间接地向在该技术方向上更专业的工程师和制造者求助。

所以,工程知识或工程技能在相当大程度上是经验性的,很难像电路理论知识那样主要

依靠书本方式传授,而是更适合让学习者在参加工程实践过程中,边做边学,接触实际,积累经验,逐步认知和领悟。

正是源于这样的理念和认识,我们创设了电子工程综合实践课程,并编写相关教材,以期对掌握了一些电路理论知识的学习者起到引导作用,让他们通过工程实践,逐步成为熟练的电路设计者。

1.2 本书提供的工程实践项目

本书为电路设计初学者提供一套小型的电子工程设计实践项目。通过这套项目完成的作品,就是电视机、影碟机等播放设备中音量调节功能的原型电路。从硬件组成上看,该电路大体包括模拟电路和控制电路两部分。

模拟电路的核心是一个放大倍数可受控的音频放大电路。该部分将由学习者根据教材提示,逐步开展设计和实验,从单个元件开始一点一点焊装调试而成。图 1.2-1 是它的功能示意图,图中字母 G 表示放大倍数(增益 Gain),斜向箭头代表增益可变。

控制电路的核心是一个单片机电路,包含一块单片机开发板卡和附带的其他电路。该部分为成品,无需焊接,只需要正确插装和连接,但学习者需要完成软件程序的设计。学习者通过实践逐步熟悉软件开发环境,掌握软件程序的编写和调试要领,编写出控制程序,使单片机电路能输出电信号去控制音频放大电路;同时,还要用单片机电路附带的按钮和显示电路,为假想的自己产品的使用者提供简易的操作面板功能(用户界面,UI)。图 1.2-2 是它的功能示意图,图中也示意了编写和调试单片机软件程序时,要把个人电脑连接到单片机开发板卡,开发者在电脑上运行特定工具软件,获得工作环境。

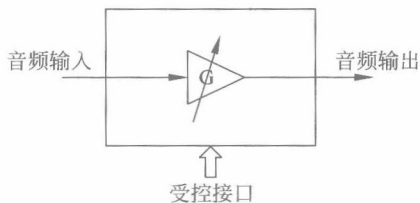


图 1.2-1 模拟电路部分的功能示意图

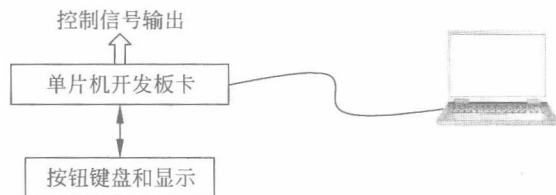


图 1.2-2 单片机电路部分的功能示意图

图 1.2-3 是实验作品整体组合示意图。为检验功能效果,可以用手机播放音乐,通过耳机插孔输出作为实验作品的音频信号来源;作品的输出端接上合适的扬声器或蜂鸣器,就可以播放出经过实验电路调理的音乐信号。有余力的学习者还可以为实验作品增加一些更有意思的功能,比如图 1.2-3 中示出的红外遥控功能。

通过以上这套小项目,学习者有机会在工程实践中活学活用电路基本理论知识,理论联系实际,解决工程实际问题。同时,学习者还可以接触到各种类型的电子元件,获得单片机编程集成环境、电路仿真等工程实用工具软件的使用经验,通过解决工程难题悟得一些工程设计思维技巧。

不过,实验所完成的作品仍属于一种工程原型电路,其完善程度离日常所见商业化的电子产品还有很大距离。在工程现实中,商业电子产品的开发并非仅靠电路设计工程师单独