



普通高等教育“十三五”规划教材
电工电子基础课程规划教材

电子技术综合实践

■ 王 文 王成刚 李建海 编著



中国工信出版集团



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

非外借

普通高等教育“十三五”规划教材
电工电子基础课程规划教材

电子技术综合实践

王 文 王成刚 李建海 编著

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是为高等学校编写的一部综合性电子技术实践教材，以提高学生电子技术综合实践技能为目标，从元器件认知、仪器仪表使用、电子作品设计与仿真、硬件制作、软件编程和软硬件联调等方面介绍了电子技术综合实践能力培养方法，并通过设计实例来阐述电子作品的设计制作方法和过程。

本书从“实践”和“综合”两个方面入手，强调电子技术理论知识的综合运用，注重电子技术实践技能的综合与提高，力求引导学生在实践过程中夯实基础、筑牢技能。本书提供配套电子课件。

本书可作为电工和电子技术相关的各专业本科学生电子技术实践类课程的教材，也可供参加各类电子创新实践活动的读者培训使用。

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

电子技术综合实践 / 王文，王成刚，李建海编著. —北京：电子工业出版社，2018.1

电工电子基础课程规划教材

ISBN 978-7-121-32874-9

I. ①电… II. ①王… ②王… ③李… 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（2017）第 247262 号

策划编辑：王晓庆

责任编辑：王晓庆

印 刷：涿州市京南印刷厂

装 订：涿州市京南印刷厂

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：15 字数：433 千字

版 次：2018 年 1 月第 1 版

印 次：2018 年 1 月第 1 次印刷

定 价：38.00 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）88254888，88258888。

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

本书咨询联系方式：（010）88254113，wangxq@phei.com.cn。

前 言

学生实践技能是各高校都非常重视的能力培养指标。目前,电子技术已成为各行各业的关键技术之一,可以说是当今社会的核心技术,因此,提高学生在电子技术方面的综合实践技能,就成为各高校尤其是工科类院校的重要教学目标。

“电子技术综合实践”课程是为了提高学生的电子技术综合技能而开设的一门实践性课程。该课程以电子技术理论知识的综合运用为基础,强调从实际出发,以元器件认知和强电操作为起点,通过常用仪器仪表的使用、电子产品的设计和仿真、硬件组装和制作、软件编程及软硬件调试等各环节的学习和锻炼,使学生逐步提高电子技术各方面的综合实践技能。

本书以电子技术实践类课程为主要依据和服务对象,以突出实践性为根本宗旨来安排内容,共分为9章。第1章为电子技术综合实践导论,简要介绍电子技术综合实践的基本内涵、电子作品的基本组成、电子设计入门方法和开发过程等内容。第2章为电子基础实践,主要介绍安全用电基础、电工常用工具、电子产品的焊接技术和常用线缆与连接工艺。第3章为常用电子元器件,主要介绍各种常用电子元器件的外形、性能参数和使用方法等基础实践知识。第4章为常用仪器仪表使用,主要介绍常用仪器仪表的功能、主要技术指标、操作使用方法和使用注意事项等内容,重点突出使用方面的知识介绍,包括数字万用表、数字示波器、信号发生器和直流稳压电源等常用仪器。第5章为单片机基本原理,包括单片机的硬件结构、指令系统、定时/计数器与串行通信、人机交互接口等内容。第6章以具体实例的形式,给出数显双点温度计、数字信号源和频率计及可见光通信系统等作品的详细设计方法。第7章为电子设计仿真,介绍基于Proteus的单片机仿真方法。第8章为原理图绘制和PCB设计方法,介绍基于Altium Designer的原理图绘制和印制电路板的设计方法。第9章介绍C51基础和Keil软件的编程方法。

本书提供配套电子课件,请登录华信教育资源网(<http://www.hxedu.com.cn>)注册下载,也可联系编辑(wangxq@phei.com.cn, 010-88254113)索取。

全书主要由王文负责统筹规划、编写、统稿和定稿,王成刚参与了第1、5章的编写,李建海参与了第2、3章的编写,杨帆参与了第2、7、9章的编写,应朝龙、汪兴海参与了第4章的编写,钟佩琳参与了第5章的编写,应朝龙、张晨亮参与了第6章的编写,孙晶参与了第8、9章的编写。在此特别感谢应朝龙副教授在本书编写过程中给予的大力支持。

由于编者水平有限,见解不多,书中有些内容难免存在错误和不当之处,恳请读者批评指正,以便今后修订提高。

作 者

2018年1月

目 录

第1章 电子技术综合实践导论.....1	
1.1 电子技术综合实践基本内涵.....1	
1.2 实践作品选取.....2	
1.3 电子设计与制作入门.....2	
1.4 电子作品的基本组成.....3	
1.5 电子作品设计的过程方法.....5	
1.5.1 电子设计的基本原则.....5	
1.5.2 电子设计的基本方法.....6	
1.5.3 电子系统的开发过程.....7	
1.6 本章小结.....10	
思考题.....10	
第2章 电子基础实践.....11	
2.1 安全用电基础.....11	
2.1.1 人体触电伤害.....11	
2.1.2 防止触电的保护措施.....14	
2.2 电工常用工具.....17	
2.2.1 尖嘴钳.....17	
2.2.2 钢丝钳.....17	
2.2.3 斜口钳.....17	
2.2.4 剥线钳.....17	
2.2.5 螺丝刀.....18	
2.2.6 电工刀.....18	
2.2.7 验电笔.....18	
2.2.8 电烙铁.....18	
2.3 电子产品的焊接技术.....22	
2.3.1 电子产品焊接要求.....22	
2.3.2 焊接材料.....22	
2.3.3 元器件手工焊接.....23	
2.3.4 焊接质量的检查.....27	
2.3.5 拆焊.....27	
2.3.6 印制电路板焊接工艺.....28	
2.4 常用线缆与连接工艺.....29	
2.4.1 常用导线.....29	
2.4.2 线缆的剖削与连接.....30	
2.4.3 常用连接器.....33	
2.4.4 航空插头.....36	
2.5 本章小结.....37	
思考题.....37	
第3章 常用电子元器件.....38	
3.1 电阻器与电位器.....38	
3.1.1 电阻器.....38	
3.1.2 电位器.....41	
3.2 电容器.....42	
3.2.1 电容器的种类和特点.....42	
3.2.2 电容器的主要特性指标.....43	
3.2.3 电容器的型号命名法.....44	
3.3 电感器.....45	
3.3.1 电感器的种类.....45	
3.3.2 电感器的参数.....45	
3.3.3 电感器的测量.....46	
3.4 半导体器件.....46	
3.4.1 二极管.....46	
3.4.2 三极管.....47	
3.5 石英晶体振荡器.....49	
3.6 常用传感器.....50	
3.6.1 温度传感器.....50	
3.6.2 光电传感器.....51	
3.6.3 霍尔电流传感器.....52	
3.7 其他常用器件.....53	
3.7.1 整流桥.....53	
3.7.2 变压器.....54	
3.8 本章小结.....54	
思考题.....55	
第4章 常用仪器仪表使用.....56	
4.1 数字万用表.....56	
4.1.1 数字万用表简介.....56	
4.1.2 数字万用表的使用.....58	
4.2 数字示波器.....65	

4.2.1	数字示波器简介	65	5.6.1	模拟信号的输入——传感器技术	125
4.2.2	数字示波器的使用	67	5.6.2	模拟信号的输入——A/D 转换	126
4.3	信号发生器	80	5.6.3	模拟信号的输出——D/A 转换	126
4.3.1	信号发生器简介	80	5.6.4	开关量的输入输出	127
4.3.2	信号发生器的使用	81	5.7	本章小结	127
4.4	直流稳压电源	84	思考题		127
4.4.1	直流稳压电源简介	84	第 6 章	设计与制作实例	128
4.4.2	多路直流稳压电源的操作使用	85	6.1	概述	128
4.5	兆欧表	89	6.2	数显双点温度计设计与制作	128
4.5.1	兆欧表简介	89	6.2.1	作品需求和设计任务分析	128
4.5.2	兆欧表的使用	91	6.2.2	硬件设计	129
4.5.3	注意事项	93	6.2.3	软件设计	134
4.6	钳形表	94	6.2.4	硬件制作	152
4.6.1	概述	94	6.2.5	软件编译和下载固化	153
4.6.2	钳形表的结构及工作原理	95	6.2.6	软硬件联调	154
4.6.3	数字钳形表的使用	95	6.3	数字信号源和频率计设计与制作	155
4.6.4	注意事项	97	6.3.1	作品需求和设计任务分析	155
4.7	本章小结	98	6.3.2	硬件设计	156
思考题		98	6.3.3	软件设计	159
第 5 章	单片机基本原理	99	6.4	白光 LED 可见光通信系统的设计与制作	159
5.1	单片机概述	99	6.4.1	作品需求和设计任务分析	159
5.2	MCS-51 系列单片机硬件结构	100	6.4.2	总体方案设计	160
5.2.1	MCS-51 系列单片机的结构及各引脚的功能概述	100	6.4.3	硬件设计	161
5.2.2	MCS-51 的 RAM 空间和 ROM 空间	103	6.4.4	软件设计	163
5.2.3	与中断有关的特殊功能寄存器	106	6.4.5	系统调试	164
5.3	定时/计数器和串行通信	108	6.5	本章小结	165
5.3.1	定时/计数器	108	思考题		165
5.3.2	MCS-51 内部串行通信	111	第 7 章	基于 Proteus 的单片机仿真	166
5.4	MCS-51 系列单片机的指令系统	112	7.1	Proteus 概述	166
5.4.1	指令基本格式	112	7.2	进入 Proteus ISIS	166
5.4.2	指令系统的寻址方式	112	7.3	Proteus ISIS 原理图设计	167
5.4.3	指令系统的使用要点	113	7.4	本章小结	178
5.4.4	指令系统的分类总结	114	思考题		178
5.5	MCS-51 的人机交互接口	118	第 8 章	基于 Altium Designer 的原理图和 PCB 设计	179
5.5.1	人机交互输入设备——键盘	118	8.1	Altium Designer 概述	179
5.5.2	人机交互输出设备——LED	121	8.2	电路原理图的设计	179
5.5.3	人机交互输出设备——LCD	123			
5.6	信号输入/输出电路	124			

8.2.1	电路原理图的设计流程	180	9.2	Keil C51 编程	211
8.2.2	原理图的设计及基本操作	181	9.2.1	安装 Keil C51	211
8.3	PCB 的设计	191	9.2.2	建立一个工程	212
8.3.1	PCB 设计的基础	192	9.2.3	创建源程序	214
8.3.2	PCB 的输出	196	9.2.4	把新创建的源程序加入工程 文件中	216
8.3.3	PCB 制图的基本操作	197	9.2.5	工程的设置	217
8.3.4	元器件布局	199	9.2.6	编译	222
8.4	创建元器件库及元器件封装	200	9.2.7	调试	223
8.4.1	电路原理图的设计过程	200	9.2.8	调试窗口	224
8.4.2	创建 PCB 元器件库及封装	203	9.3	DS18B20 编程	225
8.5	本章小结	205	9.3.1	工作原理	225
思考题		205	9.3.2	工作时序	226
第 9 章	C51 基础与 Keil 编程	206	9.4	单片机程序下载	228
9.1	C51 基础知识	206	9.4.1	安装软件	229
9.1.1	C51 的基本数据类型	206	9.4.2	程序下载方法	229
9.1.2	C51 数据类型扩充定义	207	9.5	本章小结	231
9.1.3	C51 中常用的头文件	207	思考题		231
9.1.4	C51 中的运算符	210	参考文献		232
9.1.5	C51 中的基础语句	211			

第1章 电子技术综合实践导论

1.1 电子技术综合实践基本内涵

实践能力培养与提高目前已受到各高等院校乃至全社会的高度重视。电子技术已成为各行各业应用中最普遍的一项关键技术,让学生同时掌握电子技术的理论知识和实践技能,是目前各高校在培养应用型人才上的基本要求。如何让学生提高电子技术的实践技能,已成为各高校非常关注的一个重大问题。

与理论教学不同,实践技能的提高必须依赖于实践过程,没有足够的实践过程积累和锻炼,就无法有效提高实践技能。学生要提高电子技术的综合实践技能,主要从对元器件的认知、仪器设备的使用、电子作品的设计、硬件电路的制作、软件编程及软硬件联调、技术文档撰写等环节入手,只有全面掌握这些技能,才能真正提高电子技术的综合实践技能。

(1) 元器件的认知

对各种电子元器件的认知是电子技术实践的基础。如果连常用元件、部件都不认识,何谈电子产品设计?因此,必须让学生多接触电子元件和部件实物,建立起基本的感性认识。只有这样,才能为后续的硬件设计提供良好的知识基础。

(2) 仪器设备的使用

仪器设备是最基础的设计、制作和调试工具,不会使用工具,自然也不可能很好地掌握实践技能。因此,必须要让学生熟练掌握电子技术相关的常用工具,如万用表、示波器等测量仪器和信号源等激励仪器。掌握这些仪器的使用,既是设计和调试电子作品的基础,也是各种装备操作、维修的必要技能。

(3) 电子作品的设计

实践技能不能仅局限于会使用 and 维修装备,更高的要求就是要掌握设计系统的基本技能。电子系统有大有小,作为学生,应从小处入手,先学会设计比较简单的电子作品,为将来设计大型复杂电子系统打下良好基础。

(4) 硬件电路的制作

电子系统设计是一种从理论到实践的过渡环节,而电子系统的硬件电路制作则是实打实的实践过程。所谓提高动手能力,很大程度上是指制作能力,当然也包括使用和维修能力。只掌握设计技能是远远不够的,只有能够将实际作品制作出来,才算是有一定的动手能力。

(5) 软件编程

目前,很多电子作品都是带CPU(中央处理器)的,单纯靠硬件是不能正常工作的,因此,学生必须掌握基本的软件编程技能,才能实现电子产品的功能。

(6) 软硬件联调

设计、制作、编程都是实现电子产品功能的基本过程,但还离不开调试。绝大部分产品都不是一下子就能开发成功的,都必须进行调试才能实现各项功能。因此,掌握电子作品的调试技能,是提高电子技术综合实践技能的一个重要方面。

(7) 技术文档撰写

技术文档主要便于用户安装和调试、操作使用、维护和维修、售后服务、生产和改进及同类型项目或产品的开发。如何书写技术说明书和使用说明书,也是电子技术综合实践的重要内容。

总之,电子技术实践技能包括很多方面的内容,既有认知和操作使用方面的,也有设计和调试方面的,还有技术文档撰写的相关内容。只有全方位地掌握这些技能,才能更好地适应将来的实际工作需要。

1.2 实践作品选取

要提高电子技术实践能力,在教学中,必须通过实际作品的设计、制作、编程和调试来提高学生的设计能力和实践技能。因此,实践作品作为实践教学的核心环节,承载着锻炼学生电工电子实践能力的重任,选择确定适当的作品是制定课程标准、优化教学设计、提高教学质量的关键环节。

电工电子作品作为课程的主线,起着串联上述7种技能的重要作用。在给定作品设计任务要求的情况下,学生从资料收集、方案论证、原理设计、系统调试、故障分析到项目总结,全面自主完成。但是,其种类繁多,难易相差很大。在刚开始学习作品的设计和制作过程中,应选择一些难度相对较低、实现比较容易的作品作为设计对象,这样可以做到循序渐进,既有利于对设计和制作过程快速入门与掌握,又会因成功率较高而有利于自信心的建立。千万不能选择一些技术含量特别高、电路原理复杂、设计不确定因素多、调试困难的作品为设计学习对象,否则学生会因遇到困难过多而打击自信心,进而会影响对电子设计的兴趣和学习积极性。

综合以上分析,实践作品应具有以下特点。

(1) 技术覆盖面较宽。因为学时限制,课程中一般仅能完成一件作品设计。因此,该作品既要尽可能多地包含硬件方面的理论知识和实践技能,又要包含软件方面的设计技巧。

(2) 难易程度适中。为便于全体学生参与设计制作,作品既不能太难,也不能太简单,最好能体现一定的难易层次性。

(3) 实用性较强。作品完成后应该能够应用到学生的学习生活中去,这样既避免浪费,也便于学生理解。

(4) 成本尽量低。因学生人数众多,所以作品的软硬件成本尽量低。

(5) 重复利用率高。作品所用元器件尽量多地可重复利用。

1.3 电子设计与制作入门

要完成一个电子作品的设计与制作,需要学生掌握相应的硬件和软件知识。随着各类集成芯片、传感器和单片机技术的飞速发展,电子系统越来越复杂,单个学生难以独立完成。因此,电子产品设计与制作课程具有特殊性,包含理论知识的综合运用、操作技能的训练及实践经验的积累。更重要的是,学生通过该课程的学习和训练,除了掌握专业知识和技能外,还培养自主学习能力、团结协作能力等,全面提升学生的综合素质。

电子设计与制作对学生工程素养、探索精神、创新思维和动手能力的培养是毋庸置疑的,那么,如何才能尽快地入门呢?建议从以下几个方面入手。

(1) 兴趣爱好是学习的原动力

爱因斯坦说过:“兴趣是最好的老师。”也就是说,一个人一旦对某件事物有了浓厚的兴趣,就会主动去求知、去探索、去实践。对电子设计感兴趣就会很快地沉浸其中,否则,被动学习久而久之就

会倍感乏味，三天打渔两天晒网，根本无法系统深入地学习。假如学生对本专业尚不了解，那就需要在学习中有意识地培养专业兴趣，引导学生进入充满神奇的电子设计世界。鼓励学生、培养信心，凭着对电子专业的兴趣和不懈追求，在这个领域一定会有所成就。

(2) 任务驱动是学习的催化剂

“任务驱动”是在强烈的问题动机驱使下，通过学习资源的积极主动应用，进行自主探索和互动协作的学习，并在完成既定任务的同时，引导学生产生一种学习实践活动。电子技术综合实践课程重在实践，实践贯穿始终，尤其像电子作品设计制作，必须联系实际。如果仅限于课堂讲了单片机原理、指令、编程和电子系统设计方法，而不结合某一题目任务进行开发设计，就等于没有学习，只会给人们留下枯燥乏味的记忆。因此无论是教还是学，必须结合任务，让学生去探索实践，发现问题并解决问题。

(3) 勤学苦练是学习的问题石

电子设计与制作是实践性很强的项目，在实施设计与制作中，往往有许多技巧和经验。尤其是参加过大学生电子设计竞赛的学生，感受颇深。以综合测评为例，看题目基本都是波形产生、变换、运算、处理等内容，平时也进行了大量针对性训练，而到封闭的测试现场，要在7小时内交出一件满意的作品，难度并不小。常常会发现，按照理论分析，参数都十分明确，而实际制作中并非如此，需要用理论计算和实验调整方式确定参数，这样才能达到理想的结果。至于微处理器，更是如此。当前单片机种类繁多，不同的作品需要选取合适的平台，更需要在实践中通过灵活的编程、仿真、开发、运行、调试来掌握它。不经过几个作品全流程的实践锻炼，就不可能真正掌握电子设计，因此勤学苦练是电子设计与制作的问题石，也是必经之路。

1.4 电子作品的基本组成

电子系统是指由电子元器件和模块部件组成的能够产生、传输、处理电信号和信息的客观实体，如通信系统、导航系统、雷达系统、自动控制系统和测量跟踪系统等。

电子系统通常包含若干子系统，而每个子系统可能又由若干模块构成，具有较高的复杂性和综合性。按组成，可分为模拟系统、数字系统、数模混合系统和微控制器系统。

电子作品种类繁多，既有非常简单的，也有非常复杂的，不同功能、不同应用环境的电子作品，其组成也差异很大。要给出一个能够覆盖各种电子作品的组成框图是不太现实的，但对于大量具有一定智能控制能力的电子作品来说，其基本组成可以用图1.1所示的框图来概括。

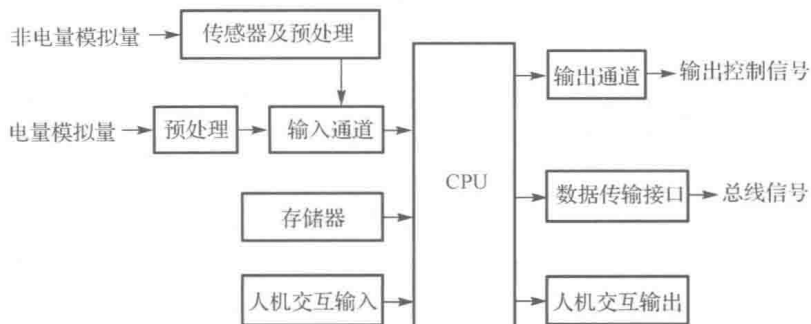


图 1.1 电子作品组成框图

图1.1中，一个电子作品主要包括CPU（中央处理器）、输入电路、输出电路、存储器、人机交互设备、数据传输接口等部件。

(1) CPU

CPU 是一个电子作品的核心控制部件,它负责整个电子作品的信号处理、控制和管理等功能。在不同的场合,CPU 的概念是有很大不同的,是分层次的。

这里的 CPU 一般指仪器或模块中的核心部件。从这个层次出发,目前作为电子作品的 CPU 一般有单片机、FPGA (现场可编程门阵列)、DSP (数字信号处理器)、ARM (先进精简指令集微处理器) 等类型。这些不同类型的 CPU 各有其自身的优缺点,因此可应用在不同的场合。

单片机具有控制灵活、体积小、价格低廉、工作可靠、系统开发容易等突出优点,但一般也有运算速度低、数据处理能力弱的缺点,因此大量应用于对数据处理速度要求不高的场合。在各类电子产品中,尤其是在廉价的电子产品中,单片机应用得最多。

FPGA 的逻辑控制能力特别强,控制速度高,但其应用系统相对比较复杂,开发入门相对较困难。FPGA 一般可应用在对逻辑控制速度高的场合。

DSP 的优势在于其高速的信号处理能力,当然其缺点与 FPGA 相似,一般应用于对数据处理速度高的场合,如图像处理、音频分析、雷达信号处理等电子产品中。

ARM 是兼顾了单片机的控制灵活性和 DSP 的高速处理能力,可以说目前它是高端电子产品 CPU,用于掌上电脑和导航仪等设备中。

(2) 输入电路

输入电路主要包括转换电路、预处理电路和输入通道。

对于不同的信号,其转换电路各不相同。对于温度、湿度、压力、位移等非电量信号,必须用各种传感器进行转换,转换为电信号后再进行处理。而对于电压和电流这些本身已经是电信号的,则可以直接进行处理。

对于各类电信号,还需要进行不同的预处理。对于幅度较大的信号,需要进行衰减;对于幅度较小的信号,需要放大;对于有噪声的信号,需要进行滤波;对于有强干扰的信号,需要进行光电隔离等。这些预处理,对于电子作品是非常重要的,也是一个电子作品设计的难点所在。

输入通道根据输入信号类型的不同而有所不同。对于开关量信号,可以通过光电隔离电路将其转换为 TTL 电平的开关信号;对于变化速度较快的模拟量信号,则需要用 A/D 转换电路将其转换为 CPU 可以接收的数字信号;对于变化速度缓慢的信号(如温度信号),可以通过 V/F 变换来实现输入信号的转换。

(3) 输出电路

输出电路主要包括 D/A 转换器、光电隔离电路和功率放大电路等。对于模拟量来说,一般可用 D/A 转换器或采用 PWM (脉冲宽度调制) 的方法将数字量转换为模拟量;对于开关信号来说,则可以用光电隔离电路加晶体管或继电器等电路来输出控制信号。

(4) 存储器

电子作品的存储器用于保存程序、参数和数据等。一般,CPU 中本身所带的程序存储器空间容量已足够,需要增加的是数据存储器 and 非挥发性存储器,如 E^2 PROM、Flash 等存储器。这些存储器可以存储设置的参数、运行过程所采集的数据等。

(5) 人机交互设备

人机交互设备是电子作品非常重要的部件,一般包括键盘、按钮和显示器等,它们是输入信息、显示信息必不可少的部件。

键盘的类型很多,可以根据需要选择合适的键盘,一般都采用行列式键盘,只有当按键数特别少时,才采用静态键盘。

显示器的种类非常多,主要有 LED 数码管、段码式 LCD (液晶显示器)、字符式 LCD 和点阵式 LCD 等。可以根据应用场合的不同,选择不同的显示器。

（6）数据传输接口

数据传输接口也可以称为总线接口，是电子作品对外信息交流的主要渠道。对于程控设备来说，必须要有数据传输接口。常用的数据传输接口主要有 RS232、RS485、USB 等串行总线和 GPIB（IEEE488）总线接口等。

1.5 电子作品设计的过程方法

电子设计就是按要求的技术指标和功能，综合运用电子技术平台，对电路进行总体方案、硬件和软件设计，用最少的、最节省的器件，实现电路的功能。电子设计要遵循一定的规律，要进行理论分析、工程计算。电子设计是电子制作的基础，还要通过组装、软硬件联调等环节，根据测试结果在调试阶段还要修改设计。严格来说，电子设计应涵盖电路设计和工艺设计两部分。对于课程阶段学习实践而言，对工艺设计要求并不严格。

1.5.1 电子设计的基本原则

普遍认为，电子设计最基本的原则应该是使用最经济的资源实现最优的电路功能，具体如下。

（1）性价比原则

在当今竞争激烈的市场中，产品必须具有较短的开发设计周期，以及出色的性能和可靠性。为了占领市场，所设计的产品应当成本低、性能好、易操作、具有竞争力，在设计时要充分考虑电子电路的性价比。对于课程而言亦是如此，学生数量大，为提高实践效果，降低耗材消耗成本，也要优先考虑高性价比。一个电子作品，可能有多种设计方案，在设计时，应尽量提高性价比。

（2）整体性原则

在设计电子系统时，应当从整体出发，从分析电子电路整体内部各组成元件的关系及电路整体与外部环境之间的关系入手，明确所要设计的电子系统应具有哪些功能、交互信号与控制关系如何、参数指标在哪个功能模块实现等，从而确定总体设计方案。整体性原则强调以综合为基础，在综合的控制与指导下进行分析，并且对分析的结果进行恰当的综合。

（3）最优化原则

对基本能达到设计性能指标的电子系统而言，最优化原则是指由于元件、功能模块的相互配合或耦合还存在一些缺陷，使电子系统对信号的传送、处理等方面不尽完美，需要进行折中处理，即在约束条件的限制下，从电路中每个待调整的元器件或功能模块入手，分别计算每个优化指标，调整元器件或功能模块的参数，直到目标参数满足最优化目标值的要求，完成这个系统的最优化设计。

（4）功能性原则

任何一个复杂的电子系统都可以逐步划分成不同层次的子系统。子系统设计一般先将大电子系统分为若干具有相对独立功能的部分，并将其作为独立电子系统功能模块；再全面分析各模块功能类型及功能要求，考虑如何实现这些技术功能，即采用哪些电路来完成它；然后选用具体的实际电路，选择合适的元器件，计算元器件参数并设计各单元电路。

（5）可靠性原则

高可靠性是系统能够稳定应用的前提，是系统设计的首要设计准则。在电子电路设计时应遵循如下原则：①只要能满足系统的性能和功能指标，就尽可能地简化电子电路结构；②合理划分软硬件功能，尽量以软件代硬件，使软件和硬件相辅相成；③避免片面追求高性能指标和过多的功能，增加系统复杂度；④采用可靠性高的电子元器件，尽可能用数字电路代替模拟电路；⑤采取必要的抗干扰措施，防止环境干扰、信号串扰及电源或地线的干扰；⑥在软件上应做必要的冗余设计和增加自诊断功能。

1.5.2 电子设计的基本方法

综合电子系统通常分成4级：系统级、子系统级、单元级、元件级。一个系统可能包含若干子系统，同样每个子系统可能包含若干单元，而且上级涵盖下级，层次分明。以简易电子秤为例，其基本组成如图1.2所示。整体上可视为系统级，可分别称为“信号处理”和“单片机控制”子系统，每个子系统又包含几个单元。单元通常是一个独立的电路，每个单元由元器件组成，就是元件级底层。当采用大规模集成电路时，级（层）的划分并不太明显。

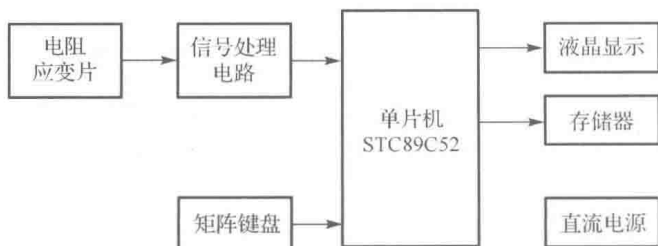


图 1.2 简易电子秤组成框图

在传统与现代电子系统设计中，有如下几种常用的设计方法。

(1) “自底向上”设计方法

如果所设计的系统不太复杂，层次不太分明，可采用“自底向上”法。该方法还适合于手头已有现成的设计单元电路或模块，可直接采用其电路。根据总体设计要求和功能，用若干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。

这种设计方法在系统功能划分完成后，利用所选择的元器件进行逻辑电路设计，完成系统各独立功能模块设计，然后按“搭积木”的方式连接起来构成更大的功能模块，直到构成整个系统，完成系统的硬件设计。这个过程从系统的底端开始设计，直至完成顶层的设计，因此将这种设计方法称为“自底向上”的设计方法。用“自底向上”设计方法进行系统设计时，整个系统的功能验证要在所有底层模块设计完成之后才能进行，一旦不满足设计要求，所有底层模块都需要重新设计，增大了设计周期。

(2) “自顶向下”设计方法

“自顶向下”设计方法是从系统的组成开始设计的，然后进行系统级设计、单元级设计，最后落实到选择什么器件和芯片。“自顶向下”设计方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”设计方法较为合理。

使用“自顶向下”设计方法时，应注意上一层设计应对下一层设计负责，保证逐层指标落实。在设计某一层时遇到问题，必须将其解决才能进行下一层设计。此外，当设计到下层遇到问题而无法解决时，要退回到它的上一层，通过修改上一层或更上一层的设计来减轻下一层的设计困难。

目前 VLSI 系统设计中主要采用“自顶向下”设计方法，这种方法的主要特征是采用综合设计和硬件描述语言，让设计人员用正向的思维方式重点考虑求解的目标问题，从高层的系统级入手，从最抽象的行为描述开始把设计的主要精力放在系统的构成、功能、验证直至底层的设计上，从而验证设计、测试、工艺的一体化。

(3) 模块化设计方法

模块化设计方法是将一个复杂系统按功能分解成可以独立设计的子模块，各子模块设计成功后，将其拼接在一起组成整个系统的设计。一个复杂的系统分解成模块子系统进行设计，对这些子模块的功能和物理界面明确地加以定义，可大大降低设计复杂度。模块化可以帮助设计人员阐述或明确解决

问题的方法，还可以在模块建立时检查其属性的正确性，因而使系统设计更加简单明了。同时，一个系统工作能够并行开展，缩短设计时间。

(4) 嵌入式设计方法

现代电子系统越来越复杂，对于一个百万门级规模的应用电子系统，若完全从零开始自主设计，难以满足开发时间要求。嵌入式设计方法除继续采用“自顶向下”设计方法和计算机综合技术外，最主要的特点是大量知识产权（IP）模块的复用，这种IP模块可以是RAM、CPU及数字信号处理器等。在系统设计中引入IP模块，使得设计者可以只设计实现与IP模块互联的部分，从而简化设计，缩短设计时间。

1.5.3 电子系统的开发过程

单片机系统在工业控制、智能化仪器、机器人、玩具、家用电器等领域得到广泛应用，掌握单片机应用系统设计的方法，对于从事电子行业的工程技术人员具有十分重要的作用。本节以单片机应用系统为例，介绍电子系统的开发过程。整个过程包含需求调查、可行性分析、总体方案设计、硬件设计、软件设计、系统抗干扰设计、仿真调试、固化程序和脱机调试等步骤。具体的开发流程如图1.3所示。

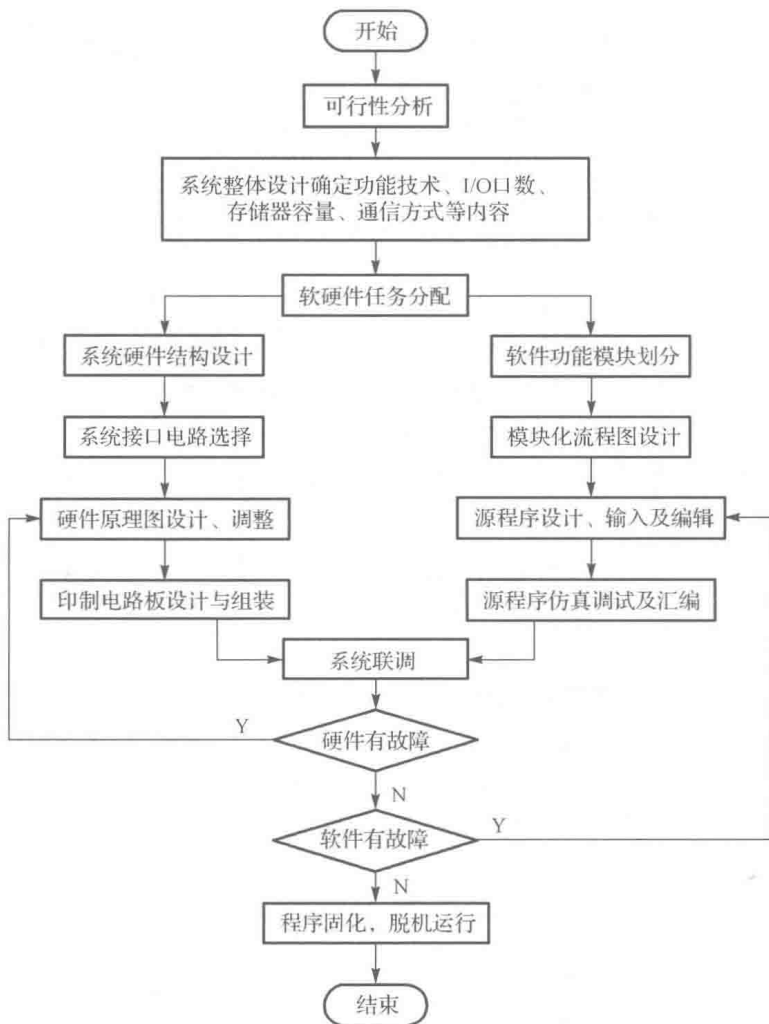


图 1.3 电子系统的开发流程

1. 需求调查

这一步的任务就是了解用户的需求,包括用户目前遇到的困难、希望新系统完成哪些功能、新系统的外观要求、接口要求、工作环境、用户可接受的设备价格等因素。将这些用户需求都记录下来,写出需求调查报告,作为可行性调研的重要依据之一。

2. 可行性分析

可行性分析包括市场可行性分析和技术可行性分析。市场可行性分析,即市场调研,其目的是了解市场上有没有同类产品,其市场占有情况如何,将来的市场发展情况如何,新产品的市场价值如何,应该采取什么策略,才能使新产品具有更强的市场竞争力。技术可行性分析,即技术调研,其目的是了解市场上有没有同类产品。如果有,则其技术路线是怎样的,找出其中可以借鉴的地方,以及可以改进的地方。如果没有,则进一步分析将来实现该系统时所涉及的各项技术环节,从理论上探讨其实现过程中的重点环节有没有大的障碍,客观上是否具备开发该系统的必备条件(如开发环境、仪器设备、资金等),估计系统的开发成本。看成本能否控制在用户可以接受的价格之内,并留有合理的开发回报(系统是否值得开发)。根据前面的市场调研和技术调研的情况写出可行性分析报告,最终决定项目是否立项。

3. 总体方案设计

经过可行性分析认为市场和技术都可行的产品将进入总体方案设计阶段。单片机系统的总体设计方案一般包括硬件系统结构、CPU 选型、I/O 口资源计算和分配、内部定时器分配、中断资源利用、内部 RAM 应用情况分析、程序存储器容量估算、可靠性设计、软件系统组成等,具体内容将因产品的不同而有所不同,应根据应用系统提出的各项技术性能指标,拟定出性价比最高的一套方案。首先,根据任务的复杂程度和技术指标要求选择平台,然后再选择系统中要用到的其他外围元器件,如传感器、执行器件等。

这一阶段的工作包含总体框架规划、人员搭配和开发环境准备三个步骤。

(1) 总体框架规划:确定系统的整体框架结构,确定所采用的主要技术路线,确定 I/O 口数、存储容量、通信方式,明确系统的功能指标,估计系统开发各环节的工作量及开发进度计划,确定开发条件(包括硬件、软件、设备仪器、开发工作环境)要求。

(2) 人员搭配:根据整个系统的开发工作量及开发进度计划,确定软硬件开发队伍的人员构成,并对组成人员进行分工,提出具体的工作任务书和目标责任书。

(3) 开发环境准备:准备开发工作场所及开发所用硬件设备仪器和有关软件。

4. 硬件设计

总体方案设计之后就要进行软硬件功能分配。确定哪些功能由硬件实现、哪些功能由软件实现。有些功能必须由硬件实现,如键盘接口、显示器接口、A/D 转换、D/A 转换等;有些功能只能由软件实现,如点阵液晶显示器的驱动、大部分的通信编码,还有一些信号处理的算法等;而有些功能既可以用软件实现,又可以用硬件实现,如 A/D 转换信号的滤波既可以在采样之前通过模拟滤波器预先经过滤波,将采集信号的带宽限制在有用范围之内,也可以采用高速 ADC 先进行采样,变成数字信号之后,再利用软件方法设计数字信号滤波器进行滤波处理。前者的优势是后期软件处理简单,实现周期短,对处理器的要求也较低;缺点是硬件成本较高,比较适合少量定制性产品的开发,而不适合批量生产产品的开发。后者的优势是硬件成本较低,适合批量生产的产品开发;缺点是软件开发复杂,对处理器的要求较高。因此,在具体的系统设计时,基本的原则是能用软件编程实现的功能,就不要用硬件电路。

5. 硬件详细设计步骤

软硬件功能划分之后,就可以进行硬件详细设计和软件详细设计。硬件设计一般可按照以下步骤进行。

(1) 硬件模块划分

根据系统整体要求,将系统划分成多个功能相对独立的模块(如中央处理模块、系统扩展模块、信号测量模块、信号控制模块、人机接口模块、通信模块等),分别确定各自的功能框架结构、模块之间的接口约定。

(2) 原理图设计

根据前面的功能划分情况,分别设计各模块的具体硬件实现,包括器件的选择、原理电路图的设计及原理图的仿真测试。

(3) 电路板设计

根据各模块原理电路图的设计情况及各功能模块的性质和接口连接情况,决定硬件电路板的分布情况,并设计系统电路板。

(4) 电路板装配

根据电路板的设计情况,结合原理图的设计,列出所用元件列表,购买有关元件,待电路板印制完成后,装配有关元件。

(5) 模块功能测试

电路板装配焊接好后,就可以测试各功能模块的功能实现情况,必要时进行调整,各模块基本测试通过后,等待软件开发完成后,进行系统联调。

硬件设计时应注意下列问题。

(1) 尽可能选用标准化、模块化、集成度高的典型电路,集成度高的电路能够减少外围器件,提高系统的可靠性。

(2) 系统设计时,在满足当前要求的前提下,要留有适当的扩展余地(包括存储空间要留有余地),电路板设计不要太拥挤,留有适当的过线孔。对于测试完全通过的系统,在系统定型时,可以在结构上稍微紧凑些。

(3) 在技术成熟的前提下,尽可能地选用一些技术上更新、集成度更高、功能更强的芯片,而不要选用过时的器件。一方面可以简化系统设计,另一方面也可以节省成本。

(4) 在设计电路时,还要考虑系统各部分的驱动能力,输入/输出阻抗是否匹配,接地、安装、维修是否方便,以及抗干扰性能等有关细节。

6. 软件设计

软件设计一般可按照以下步骤进行。

(1) 软件模块划分

根据系统整体功能要求,将系统软件划分成多个功能相对独立的模块(如中央处理模块、信号测量模块、控制模块、人机接口模块、通信模块等),分别确定各自的功能框架结构,根据硬件连接情况,确定各扩展器件的地址空间,合理分配系统的内存资源,约定模块之间的软件接口。

(2) 流程图设计

根据前面的功能划分情况,分别设计各模块的具体软件流程图。

(3) 软件的输入、编辑和调试

根据各模块的流程图,分别设计各模块的软件代码,输入、编辑并仿真测试各模块代码的功能,若有问题则及时调整,直到各软件模块都能测试通过。

软件设计应注意下列问题。

(1) 尽可能选用标准化、成熟的软件代码,提高设计成功的可能性。

(2) 模块划分时,各模块要尽量独立,单个模块的功能也要尽量单一,即提高程序的结构化程度。

(3) 模块间的接口定义在整个系统内要尽量唯一,接口占用的资源(RAM 单元)在整个系统内要尽量不被其他单元使用,减少模块间的相互干扰。

(4) 软件模块内部所使用的公共寄存器(如 A、B、PSW、R0、R1 等)在使用前应该先加以保护,使用后再进行恢复,以免影响其他模块使用。

(5) 软件模块代码前部应该有该模块的功能描述、接口描述,甚至作者、修改时间等记录。代码中关键语句的功能也要有描述,所用变量的含义要有注释,以便其他人员阅读,也便于作者自己修改代码时参考。

(6) 软件设计时,要考虑软件抗干扰设计,它是提高程序可靠性的有力保障。比如,软件陷阱及看门狗技术、数据采集时的多次采样技术等。

(7) 程序中一定要多加注释,既是软件工程的要求,也有利于提高软件的可读性。

7. 系统联调

软硬件联调工作是一个复杂且需要反复重复的过程,该过程需要软硬件设计人员共同参加。一般来说,其工作量和时间将占电子作品开发时间的一半以上,尤其对于软件复杂的系统,其时间将占到 70% 甚至更多。在开始软硬件联调之前,必须先对硬件电路进行基本的调试,确保其供电正常,然后进行系统功能测试、系统性能指标测试和系统故障诊断与排除。

1.6 本章小结

本章简要介绍了电子技术综合实践的内涵和电子设计与制作的入门方法,分别从硬件和软件的角度阐述了电子技术平台的组成,概述了电子设计的基本原则与基本方法,旨在使学生对电子作品设计建立初步认识,为后续学习奠定一定的基础。

思考题

1. 电子技术实践的内涵包括哪些?
2. 电子制作需要具备哪些能力?
3. 实践作品的选取要考虑哪些因素?
4. 以身边某电子产品为例,介绍其组成。
5. 电子设计的基本原则有哪些要求?
6. 电子设计的基本方法有哪些?
7. 电子设计分为哪些步骤?