



普通高等教育“十三五”规划教材  
全国大学生电子设计竞赛系列教材

# 硬件电路设计与 电子工艺基础 (第2版)

## ——零基础电子技术课程设计

◎ 曹文 贾鹏飞 杨超 主编

◎ 刘春梅 李林 蔡强明 刘刚 副主编



National Undergraduate  
Electronics  
Design Contest



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>

普通高等教育“十三五”规划教材  
全国大学生电子设计竞赛系列教材

# 硬件电路设计与电子工艺基础

## (第2版)

——零基础电子技术课程设计

曹文 贾鹏飞 杨超 主编

刘春梅 李林 蔡强明 刘刚 副主编



电子工业出版社  
Publishing House of Electronics Industry  
北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书围绕“电路设计”“电子工艺”两个并重的关键词，本着够用、实用、易用的原则，贯穿完整的硬件电路设计、仿真、制作、装接、调试流程，带动读者循序渐进地学习相关知识与技能，达到拓展知识面、提升工程实践能力的目的，也为后续更专业的学习夯实基础。

全书共 14 章，主要包括：电子系统设计概论，电子元器件的分类、功能及选型，模拟电路功能模块设计，数字电路单元设计，电源电路设计基础，电路设计与软件仿真，计算机辅助电路 PCB 设计，PCB 加工及制作工艺，元器件装配、焊接及拆焊工艺，元器件参数测试、质量检测及等效代换，电路系统调试工艺，模拟电路课程设计示例，数字电路课程设计示例，电源电路课程设计示例等。作为一个从理论到实践再到创新的学习、训练体系，本书与电路、模电、数电、电工学等基础课程形成紧密互补的依托关系，同时为传统的电路、电子、电工实验注入一股开放、创新、强化的新鲜力量。本书提供配套电子课件、习题解答、授课视频、器件文档等丰富教学资源。

本书可作为高等学校、高职学院、技师学院、职业技能培训学校的电子、通信、物联网、自动化、电气、检测技术、光电信息、测控技术及仪器、计算机、机电一体化等专业的电子技术课程设计与电子工艺实训教材，主要针对电子设计基础、电子技术综合训练、模电/数电课程设计、电子创新实验、电子系统设计、电子工程技能培训等课程。除作为全国大学生电子设计竞赛赛前培训、大学生课外科技活动、“卓越工程师”计划的参考资料外，本书对于广大的电子制作爱好者也不失为一本全面的入门读本，具有较高的参考价值。

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

硬件电路设计与电子工艺基础：零基础电子技术课程设计 / 曹文，贾鹏飞，杨超主编. — 2 版. — 北京：电子工业出版社，2019.4

ISBN 978-7-121-35093-1

I. ①硬… II. ①曹… ②贾… ③杨… III. ①硬件—电子电路—电路设计—高等学校—教材 ②硬件—电子电路—电子技术—高等学校—教材 IV. ①TP303②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 218167 号

策划编辑：王晓庆

责任编辑：王晓庆

印 刷：三河市良远印务有限公司

装 订：三河市良远印务有限公司

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：19.75 字数：570 千字

版 次：2016 年 6 月第 1 版

2019 年 4 月第 2 版

印 次：2019 年 4 月第 1 次印刷

定 价：47.50 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。

## 第2版前言

在当前国内的高等学校中,以新工科建设为引领的教学改革如火如荼、方兴未艾,基础知识全面、工程能力扎实的毕业生备受用人单位企业的青睐,这也促使在新一轮人才培养方案调整中,很多高校在压缩理论学时的基础上,大幅增加课程设计、创新型实验等实践性教学环节的比重,力图培养出更多动手能力强、创新意识突出、综合素质全面的高质量工程技术人才,以满足企业的真实需求。

电子技术课程设计环节有别于传统的验证型电子技术实验,其强调工程实践与理论基础的紧密融合,是电类、近电类专业学生进行工程技能训练的重要环节。在传统课程体系下,具有电路原理、模拟电子技术、数字电子技术等课程理论基础的学生受指导教材匮乏、整体重视不够等因素的制约,在面对一个实际的电子技术课程设计题目时,往往无从下手。作者在整理、编写电子技术课程设计资料时,重点突出了“实作”、“实操”和“实用”特色,将电路设计与仿真、电子元器件型号及参数选择、电路PCB设计与加工制作、电路装配焊接工艺、电路调试及参数测试工艺等知识纳入交叉融合的有机整体,并按照真实的工作流程连贯地展示给读者,旨在提供基础、完整、系统的入门培训与设计指导,使读者能够熟悉电路及电子产品设计流程,掌握基本的工作方法与技巧,降低或消除对硬件电路系统设计的担忧与畏惧。

与第1版相比,第2版教材的调整幅度较大,主要涉及以下改进。

- (1) 删除在电子技术课程设计环节很少涉及的知识点,如电池选择、验电笔使用等。
- (2) 新编模拟电路课程设计示例、电源电路课程设计示例等全新章节,与教材第3~5章前后呼应。
- (3) 仿真软件升级为 Multisim 14,同时采用汉化版本进行讲解。
- (4) 删除了一些较为重复、啰嗦的语言表述内容,力图使内容更加清晰明了,同时压缩了教材的篇幅。
- (5) 修改或更换第1版教材中清晰度较差的部分插图。
- (6) 更加注重相关知识点之间的关联引用。
- (7) 修正了第1版教材中的一些较为隐蔽的错误。

全书由西南科技大学尚丽平教授主审,西南科技大学信息工程学院曹文对全书进行了总体规划与设计,并编写第1~2章;西南大学电子信息工程学院贾鹏飞编写第5~6章、第12~14章;西南科技大学国防科技学院杨超编写第9章;西南科技大学信息工程学院刘春梅编写第3~4章;南京农业大学工学院李林编写第7章;西南科技大学信息工程学院蔡强明编写第11章和附录A~H;第10章由绵阳师范学院刘刚编写;深圳捷多邦科技有限公司与曹文联合编写第8章。西南科技大学信息工程学院学生张草林、胡乾臣、何柏榆参与了教材内容的修改与校对工作,并设计制作教材的网站资源。

在本教材编写过程中,得到了四川轻化工大学国家杰出青年科学基金获得者虞先国教授,电子科技大学自动化工程学院姜书艳教授,重庆大学微电子与通信工程学院何伟教授,南京大学电子信息专业国家级实验教学示范中心庄建军主任,西南科技大学信息工程学院姚远程教授、黎恒高级工程师和理学院李斌博士,长虹电子集团国家级技能大师工作室专家何金华的悉心指导;湖南科技学院廖朝阳老师、南京工程学院褚南峰老师、成都医学院人文信息管理学院杨勇老师对本书的编写提出了很多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

本书提供配套电子课件、习题解答、授课视频、器件文档等丰富教学资源,敬请登录[华信教育资源网](http://www.hxjy.com)

(<http://www.hxedu.com.cn>)注册后下载,也可以联系本书责任编辑(010-88254113, wangxq@phei.com.cn)索取。

美国德州仪器(TI)公司中国大学计划部的谢胜祥工程师为本书的编写提供了大量有益的素材、资料,同时还就本书的内容提出了建设性的修改意见。

为了让教材图文并茂、通俗易懂,本书在编写过程中广泛参阅了许多相关文献资料,但限于篇幅,无法一一列出,特别是很多生动、形象图片和资料经过多次传播已经无法获悉原作者及出处,在此特向所引资料的原作者们表示深深的敬意与感谢!

本书获得2017年度西南科技大学教材出版项目(17jcz07)的资助,同时还得到了教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会2015年度“重大、热点、难点问题”研究课题的支持。

电子行业及高校教学改革的高速发展有目共睹,但限于作者自身的水平和经验,恳请广大读者朋友踊跃批评指正书中出现的错误及不足之处。对本书的任何意见和建议,敬请发送邮件至caowen@swust.edu.cn、530149775@qq.com,我们会在后续的印刷或再版环节及时纠正与改进!

作者  
2019年4月

**适用课程:**理工类高等学校、高职学院、技师学院、职业技能培训学校开设的电子技术课程设计、电子系统设计、电子设计基础、电子技术综合训练、电子工艺等课程的理论与实践教学课程。

**参考学时:**按照电路设计→元器件选型→电路仿真→PCB设计→PCB制作→焊接与装配→电路调试→撰写设计(实训)报告的完整主线,可以选择16、24、32等不同学时:

序号	基本教学内容	本书章节	推荐学时	练习题数量
1	电子系统设计概述	第1章	1~2	0
2	模拟电路设计方法及特点	第3章、第5章	1~2	1
3	模拟电路的仿真	第6章	1~2	2
4	数字电路设计方法及特点	第4章	1~2	1
5	数字电路的仿真	第6章	1~2	2
6	元器件选型及测试	第2章、第10章	2~4	3
7	电路原理图设计	第7章	1~2	1
8	PCB设计	第7章	2	1
9	原理图及封装库元器件设计	第7章	0~2	2
10	PCB加工与制作	第8章	1~4	1
11	电子焊接、装配	第9章	2	1
12	电路系统调试	第11章	1~4	2
13	撰写课程设计报告	第12、13、14章	1~2	1

在以学生为主体的课程设计环节,指导教师可根据实际的设计工作量、设计题目的难易程度、是否要求硬件装调等具体安排,在16~32学时之间进行实际选择;此时,本书可以作为学生在设计过程中的主要参考资料。

# 目 录

第 1 章 电子系统设计概论	1	2.5.1 电感的结构	37
1.1 电子系统设计的基本工作流程	1	2.5.2 电感的参数	40
1.2 分设计任务、查找参考方案、初步拟定设计方案	2	2.5.3 电感的串联与并联	41
1.3 单元电路仿真及系统集成仿真	2	2.5.4 常用电感	42
1.4 设计电路 PCB	4	2.6 变压器	44
1.5 元器件选型	5	2.6.1 变压器的种类、特性及设计	44
1.6 加工、制作电路 PCB	6	2.6.2 变压器的参数	44
1.7 电路的装配、焊接及调试	6	2.6.3 变压器的分类	45
1.8 修改、升级原有设计方案, 整理并完成设计文档	6	2.7 晶振	46
1.9 电子电路课程设计概述	6	2.7.1 无源晶振	47
习题	7	2.7.2 有源晶振	47
2.7.3 常用的晶振频率	48	2.8 电声器件	48
第 2 章 电子元器件的分类、功能及选型	8	2.8.1 麦克风	48
2.1 元器件分类、参数及封装	8	2.8.2 扬声器	49
2.1.1 元器件的参数标称值	8	2.8.3 蜂鸣器	50
2.1.2 元器件的型号及参数标注	9	2.9 半导体二极管	51
2.2 电阻	13	2.9.1 二极管的结构工艺及封装	51
2.2.1 常见的电阻类型	13	2.9.2 二极管的分类	52
2.2.2 电阻的参数及选型	15	2.9.3 二极管的参数及选型	55
2.2.3 电阻的串联与并联	16	2.10 发光二极管	56
2.2.4 排阻	17	2.10.1 LED 的外形特征	56
2.2.5 保险管	18	2.10.2 LED 应用电路	56
2.2.6 敏感电阻	19	2.11 三极管(双极型晶体管)	57
2.3 电位器	21	2.11.1 三极管的常见类型	58
2.3.1 电位器的内部结构及工作原理	21	2.11.2 三极管型号的识别	58
2.3.2 电位器的基本工作电路	22	2.11.3 三极管的选用原则及注意事项	58
2.3.3 常用电位器的分类	22	2.12 场效应管	59
2.3.4 电位器的参数及选型	25	2.12.1 场效应管的分类	59
2.4 电容	27	2.12.2 MOSFET 的正确使用	59
2.4.1 电容的功能	28	2.13 集成芯片	59
2.4.2 常见的电容类型	28	2.13.1 常用集成芯片的基本分类及使用	60
2.4.3 电容的参数及选型	33	2.13.2 集成芯片的型号命名规则	60
2.4.4 电容的串联与并联	35		
2.5 电感	36		

2.13.3	常用集成芯片的封装及引脚排列规律	61	3.4.2	迟滞电压比较	90
2.13.4	集成芯片的正确使用	62	3.4.3	窗口电压比较	91
2.14	接插件	63	3.5	功率放大电路设计	92
2.14.1	排针与排插	64	3.5.1	OTL 功放	92
2.14.2	排针与杜邦线	64	3.5.2	OCL 功放	93
2.14.3	接插件的防呆设计	65	3.5.3	BTL 功放	94
2.14.4	集成芯片插座	65	3.6	波形发生器电路设计	94
2.14.5	其他常用接插件	67	3.6.1	正弦波振荡电路	94
2.15	开关与继电器	67	3.6.2	矩形波振荡电路	96
2.15.1	翻转开关	67	3.6.3	矩形波-三角波振荡电路	97
2.15.2	自复位按钮	71	3.7	晶体管驱动电路设计	98
2.15.3	电磁继电器	72	3.7.1	NPN 管实现信号反相	98
2.15.4	开关的机械抖动与消抖	73	3.7.2	NPN 型三极管功率负载驱动电路	98
习题		75	3.7.3	PNP 型三极管功率负载驱动电路	99
<b>第 3 章</b>	<b>模拟电路功能模块设计</b>	<b>76</b>	3.7.4	H 桥驱动电路	99
3.1	模拟电路的典型结构	76	3.8	有源滤波电路设计	99
3.2	集成运放基础	77	3.8.1	滤波电路的计算机辅助设计	100
3.2.1	集成运放电路的实用分析方法及步骤	77	3.8.2	低通滤波电路 (LPF)	102
3.2.2	集成运放的电源供电	77	3.8.3	高通滤波电路 (HPF)	103
3.2.3	集成运放的输出调零	78	3.8.4	带通滤波电路 (BPF)	104
3.2.4	集成运放的负载驱动能力	79	3.8.5	带阻滤波电路 (BEF)	104
3.3	电压放大及转换电路设计	79	习题		105
3.3.1	同相比例运算放大电路	79	<b>第 4 章</b>	<b>数字电路单元设计</b>	<b>106</b>
3.3.2	同相交流放大电路	80	4.1	CMOS 逻辑门	106
3.3.3	反相比例运算放大电路	81	4.1.1	逻辑门等效替换、多余引脚的处理	107
3.3.4	反相交流放大电路	81	4.1.2	提高 CMOS 逻辑门的驱动能力	108
3.3.5	交流信号分配电路	82	4.2	集成组合逻辑器件的设计应用	108
3.3.6	反相加法电路	82	4.2.1	二进制译码器 74HC138	108
3.3.7	差动减法电路	83	4.2.2	显示译码器	110
3.3.8	仪表放大器电路	84	4.2.3	数值比较器 74HC85	112
3.3.9	反相积分电路	84	4.2.4	数据选择器 74HC151	113
3.3.10	反相微分电路	85	4.3	计数器电路设计	114
3.3.11	峰值检测电路	85	4.3.1	同步计数器 74HC160/161	114
3.3.12	精密整流电路	86	4.3.2	可逆计数器 74HC192/193	115
3.3.13	电流-电压转换电路	87	4.3.3	计数器的级联扩展设计	115
3.3.14	电压-电流转换电路	87	4.4	移位寄存器电路设计	116
3.4	电压比较器电路设计	88			
3.4.1	单限电压比较	88			

4.4.1	74HC164	116	第 6 章	电路设计与软件仿真	143
4.4.2	74HC595	117	6.1	仿真软件的基本操作	143
4.4.3	74HC165 与 74HC166	117	6.1.1	软件使用须知	143
4.4.4	74HC194	118	6.1.2	软件操作界面	143
4.4.5	CD4017	120	6.1.3	仿真元器件库	145
4.5	锁存器设计	121	6.1.4	虚拟仿真仪器库	148
4.6	触发器设计	122	6.2	模拟电路的仿真	148
4.7	单稳态触发器设计	123	6.2.1	放置与删除电气连线、电气节点	149
4.7.1	不可重复触发单稳态触发器	123	6.2.2	设置参考地、直流电源、信号源	149
4.7.2	可重复触发单稳态触发器	124	6.2.3	虚拟示波器的设置	151
4.8	多谐振荡电路设计	124	6.2.4	虚拟万用表的设置	155
4.8.1	CD4047 构成多谐振荡电路	124	6.2.5	电位器的参数调整	155
4.8.2	CD4060 构成多谐振荡/分频电路	124	6.2.6	模拟电路的仿真、调试	156
4.8.3	逻辑门构成多谐振荡电路	125	6.3	数字电路的仿真	156
4.8.4	采用晶振的多谐振荡电路	127	6.3.1	数字集成芯片	156
4.9	模拟开关设计	129	6.3.2	时钟源、电源及数字地	157
4.9.1	4 路双向模拟开关 74HC4066	129	6.3.3	虚拟函数信号发生器	158
4.9.2	单 8/双 4 路模拟开关 ADG608/609	130	6.3.4	虚拟逻辑分析仪	158
4.10	555 定时器设计	130	6.3.5	运行数字电路仿真	159
4.10.1	多谐振荡电路设计	130	6.3.6	绘制总线	160
4.10.2	单稳态电路设计	131	6.3.7	按钮与开关在数字电路中的应用	162
4.10.3	施密特触发器设计	132	6.4	支电路	163
习题		133	6.4.1	创建支电路	163
第 5 章	电源电路设计基础	134	6.4.2	支电路的内部电路搭建	163
5.1	线性直流电源电路设计	134	6.4.3	支电路输入/输出端口的设定	163
5.1.1	整流电路	134	6.4.4	调用支电路进行仿真	164
5.1.2	滤波电路	136	习题		164
5.1.3	电压基准 TL431	137	第 7 章	计算机辅助电路 PCB 设计	165
5.1.4	串联反馈型稳压电源电路	138	7.1	PCB 设计概述	165
5.1.5	三端集成稳压器	138	7.1.1	PCB 的演变历史	165
5.1.6	低压差 LDO 集成稳压电路	139	7.1.2	PCB 设计的任务及要求	165
5.2	开关电源电路	139	7.1.3	基于 Altium Designer 的 PCB 设计流程	166
5.2.1	降压型 BUCK 电路	140	7.2	电路原理图设计	166
5.2.2	升压型 BOOST 电路	140	7.2.1	新建并保存 PCB 工程文件、电路原理图文件	167
5.2.3	负电源转换电路	141	7.2.2	加载原理图库文件	168
5.3	电流检测电路设计	141			
习题		142			

7.2.3	原理图库元器件在绘图工作区中的操作	170	8.6.3	热转印制板工艺的基本流程	214
7.2.4	电气连线	177	8.7	金属墨滴制板工艺	219
7.3	设计 PCB	179	8.8	外协加工制板工艺	219
7.3.1	PCB 设计的基本流程	179	习题		219
7.3.2	新建 PCB 文件	180	<b>第 9 章</b>	<b>元器件装配、焊接及拆焊工艺</b>	220
7.3.3	PCB 图层的概念	180	9.1	装配工艺	220
7.3.4	PCB 的长度计量单位	181	9.1.1	直插元器件在 PCB 中的插装	220
7.3.5	PCB 板框的规划设计	182	9.1.2	元器件插装前的准备工作	222
7.3.6	将电路原理图导入 PCB 设计文件	183	9.1.3	元器件插装过程中的典型故障	224
7.3.7	元器件在 PCB 中的布局	185	9.2	常规电子焊接工艺	225
7.3.8	设定 PCB 的布线规则	187	9.2.1	电子焊接工艺概述	225
7.3.9	对 PCB 进行电气布线	190	9.2.2	常用焊接工艺的分类	225
7.4	编辑原理图库元器件	196	9.2.3	锡焊的基本条件	226
7.4.1	新建原理图库文件	196	9.2.4	焊料	227
7.4.2	创建并编辑原理图库元器件	196	9.2.5	助焊剂	228
7.4.3	修改并编辑系统自带的原理图库元器件	200	9.2.6	电烙铁	229
7.5	创建 PCB 封装库元器件	202	9.2.7	其他焊接辅助工具	234
7.5.1	新建并保存 PCB 库文件	202	9.2.8	手工焊接工艺	239
7.5.2	PCB 封装库元器件的创建流程	202	9.2.9	特殊元器件的焊接工艺	242
7.5.3	加载自制的 PCB 封装库文件	206	9.3	拆焊工艺	244
习题		206	9.3.1	毁坏式拆焊工艺	244
<b>第 8 章</b>	<b>PCB 加工及制作工艺</b>	207	9.3.2	手工逐点拆焊工艺	244
8.1	PCB 制板工艺概述	207	9.3.3	局部集中加热拆焊工艺	246
8.1.1	敷铜板	207	9.3.4	拆焊工艺的特点	247
8.1.2	PCB	208	9.4	表面贴装焊接工艺	247
8.2	丝网印刷制板工艺	209	9.4.1	贴片元器件的特点	247
8.3	手绘制板工艺	210	9.4.2	贴片元器件的手工焊接及拆焊工艺	248
8.4	紫外曝光制板工艺	210	习题		252
8.5	雕刻制板工艺	211	<b>第 10 章</b>	<b>元器件参数测试、质量检测及等效代换</b>	253
8.5.1	手工雕刻制板工艺	211	10.1	电阻类元器件的测量与测试	253
8.5.2	机械雕刻制板工艺	212	10.1.1	固定电阻的检测	253
8.5.3	激光雕刻制板工艺	212	10.1.2	固定电阻的故障判别及其替换	255
8.6	热转印制板工艺	212	10.1.3	敏感电阻的检测	255
8.6.1	热转印制板工艺的特点	213	10.1.4	电位器的检测	256
8.6.2	针对热转印制板工艺对 PCB 进行修改	213	10.2	电容的测量与测试	257
			10.2.1	使用数字万用表对电容进行参数测试	257

10.2.2	使用模拟万用表对电容进行性能评估及故障检测	258	11.3.1	预检查	269
10.2.3	电容的故障类型及判别方法	258	11.3.2	通电调试	270
10.2.4	采用观察法识别电容故障	259	11.3.3	整机联调	272
10.2.5	电容的等效代换原则	259	11.4	电路调试过程中的常见故障排查	272
10.3	电感与工频变压器的检测	260	11.4.1	观察法	273
10.3.1	电感的故障类型及检测	260	11.4.2	测量法	274
10.3.2	工频变压器的检测	260	11.4.3	替换法	276
10.3.3	工频变压器的主要故障及维修	261	习题		276
10.4	二极管的识别与测试	262	第 12 章	模拟电路课程设计示例	277
10.4.1	利用数字万用表的二极管挡测试普通二极管	262	第 13 章	数字电路课程设计示例	283
10.4.2	利用模拟万用表的欧姆挡测试普通二极管	262	第 14 章	电源电路课程设计示例	289
10.4.3	稳压二极管的检测	262	附录		298
10.4.4	LED 的检测	263	附录 A	模拟电路常用元器件的内部结构及引脚排列	298
10.4.5	整流桥堆的检测	263	附录 B	常用 CMOS 数字集成逻辑芯片的型号及功能	299
10.5	三极管的引脚识别及质量检测	263	附录 C	元器件常见封装前缀的含义及尺寸	300
10.5.1	三极管的引脚排列规律	264	附录 D	SMT 元器件封装的外形尺寸	300
10.5.2	双极型三极管的检测	264	附录 E	常用稳压二极管的标称稳压值	301
10.5.3	MOSFET 场效应管的检测	265	附录 F	CMOS 逻辑门的电气符号及型号	301
10.6	集成芯片的测试	266	附录 G	Altium Designer 软件的常用原理图库元器件	302
10.7	驻极体麦克风的简单性能检测	266	附录 H	常用元器件在 Altium Designer 软件中的封装参数(单位: mil)	303
10.8	开关类元器件的检测	266	参考文献		306
习题		266			
第 11 章	电路系统调试工艺	267			
11.1	电路系统调试人员需要具备的基本技能	267			
11.2	常用的电路调试仪器仪表	268			
11.3	电路系统调试的基本步骤	269			

# 第1章 电子系统设计概论

电子系统设计是按照成熟的电路原理及设计流程，采用合适的方法来设计满足任务要求的完整电路系统：除单纯的功能电路设计工作外，还包括电路系统的总体规划、结构功能模块划分、元器件选型、单元电路仿真、PCB（Printed Circuit Board，印制电路板）设计与加工、元器件装配与焊接、整机联合调试、功能测试等相互衔接的完整内容体系。

对于每个需多位工程技术人员参与的电子设计项目，都会有一位项目负责（协调）人，由他对整个工作内容、任务、进度进行有机分割，并落实给每位项目参与成员，同时对设计的进展及质量进行有效监管；项目负责人还将负责各个单元工作内容的有序衔接与协调。

每位项目参与成员除负责自己所分担的具体工作外，还需要和项目中其他相关人员进行接口方案的沟通；最后在项目负责人的协调、组织下，项目参与成员及其团队共同对整个系统设计进行联合测试与调试。

以“电子技术”课程设计为例，对于此类设计任务量较小、难度相对较低的简单电子系统设计项目，设计者势必会参与从电路方案选择与对比、单元电路设计与仿真、PCB设计与制作、电路装配/焊接及调试、设计报告撰写等全套工作。通过全面的磨砺与锻炼，为将来参与大型电子系统设计项目奠定基础。

## 1.1 电子系统设计的基本工作流程

电子系统设计的基本工作流程如图 1-1-01 所示。

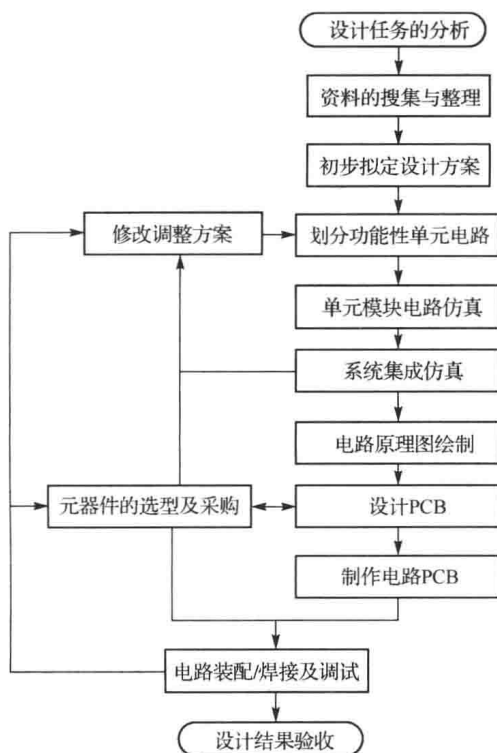


图 1-1-01 电子系统设计的基本工作流程

从图 1-1-01 可以看到,电子系统设计任务可能涉及电路方案的设计与优化调整、电路单元的设计及仿真、PCB 的设计与制作、元器件的选型及采购、电路等主要模块,各个模块相互影响、相互渗透。

**【例 1-1-1】**“元器件的选型及采购”模块与电路设计方案制定、PCB 设计结果密不可分,“电路装配/焊接及调试”模块会对项目前期的电路及 PCB 设计方案产生重要影响。

## 1.2 分设计任务、查找参考方案、初步拟定设计方案

常见的“电子技术”课程设计任务往往会提出较详细的功能指标,但不会指定具体的某种设计思路或流程,因此,课程设计任务的“破题”将是整个设计工作中的一个关键环节。

每个设计结果不是通过想象得到的,而肯定会与某些现有的设计方案之间存在千丝万缕、相互联系、相互依存的关系。通过仔细了解给定设计任务的文字陈述,设计者首先需要明确基本的设计方向,然后围绕该设计方向展开资料的搜索、查阅、汇总、整理,初步梳理出相关的设计思路。

- 随着网络技术、数据库行业的迅猛发展,现在能够为设计者提供资料查询、检索的平台异常丰富,除传统的百度、维基百科、谷歌等搜索引擎外,还有百度文库、豆丁网、360doc 个人图书馆、道客巴巴、百度学术等众多在线文档及知识分享平台。
- 对于在校学生而言,除查阅校内图书馆中丰富的馆藏纸质图书资源外,还可以获取中国知网(CNKI)、维普科技期刊数据库、万方数据知识服务平台、超星数字图书馆等电子资源。

设计者在对资料进行查阅、收集、比对的基础上,剔除相关度不高的内容,可从中筛选出可行性较好的几种参考及备用方案。在此基础上,结合已学“模拟电子技术”、“数字电子技术”和“电路分析”等课程的理论知识,对方案进行综合与集成创新,初步拟定一种优先设计方案,同时适当保留 2~3 种备用方案。

接下来设计者需要围绕前一步所得到的优先设计方案,着手开展系统总体结构框图的设计与绘制工作,主要涉及功能模块的有机划分、模块之间的信号衔接、实验测试方案的规划等,最终得到若干功能相对独立、彼此存在相关联系的电路单元。

☞提示 常用的设计方案结构框图绘制软件可以选择 Visio、ProcessOn、Edraw 等。

## 1.3 单元电路仿真及系统集成仿真

20 世纪早期的硬件电路设计工程师主要凭借个人的工程经验积累、芯片企业提供的技术文档及参考示例电路展开设计,根据设计草案(draft)搭建实际的硬件电路并进行测试,通过测试数据对原始设计草案进行电路结构及元器件参数的反复修改与调整,得到基本满意的最终设计结果(final),设计难度大、工作强度高、任务周期长,对工程师的综合能力及工程经验提出了极高的要求。

20 世纪 70 年代,加州大学伯克利分校成功开发的 PSpice 仿真软件使得硬件电路设计工程师的工作任务及重心发生了较大改变。PSpice 可对元器件进行数学建模,借助计算机强大的数据存储及运算能力,对硬件电路的工作状态进行模拟仿真,最终得到与实际电路运行结果非常接近的波形与数据。

至此,电路仿真正式开启并成为电子设计自动化(EDA)领域的重要组成部分。专业的电路仿真软件通过测试波形、计算及优化参数、分析功能,帮助工程师发现并修改设计问题,寻找故障背后隐藏的缺陷,可大幅减少烦琐的后续测试工作量、显著提高电子产品的设计效率及质量。

目前被广泛用在模拟电路、数字电路领域的主流仿真软件包括 TINA Design Suite、Multisim、OrCAD PSpice、Proteus、Altium Designer、CircuitMaker、CircuitLab、LiveWire、Circuit Wizard、Edison、

Bright Spark、Electronic Circuit Designer、Droid Tesla Pro 等，此外，Digital Works 及一些 FPGA 开发系统也能对通用型数字电路进行仿真。

☞提示 EveryCircuit是一款可在 Android 或其他智能手机平台上运行的电路仿真软件。

## 1. Multisim 仿真软件概述

加拿大 IIT (Interactive Image Technologies) 公司自 20 世纪 80 年代推出 EWB (Electronics WorkBench) 软件以来，陆续进行了多版升级，同时将软件名更改为 Multisim，意为“多功能电路仿真”。经过不断完善后推出的 Multisim 8.3.30 至今仍被广泛应用在模拟电路、数字电路仿真领域中。

美国国家仪器 (NI) 收购 IIT 公司后，推出了 Multisim 9、10、11 等升级版本，最大的改进在于增加了单片机编程仿真、开关电源仿真、虚拟仪器等内容，在传统的模拟电路、数字电路仿真上的变化并不大。但是，从 Multisim 10 开始，该软件运行仿真时的收敛性大大增强，精度也明显提高。

## 2. Multisim 进行电路仿真的基本流程

硬件电路设计工程师在 Multisim 平台中以图形的方式搭建模拟电路、数字电路，这一操作与用传统的纸、笔绘制电路的操作完全一致，然后结合 Multisim 所提供的虚拟仪器进行信号的输入与输出测试，形成“理论→设计→仿真→测试”的全新流程。Multisim 仿真软件的基本体系结构如图 1-3-01 所示。

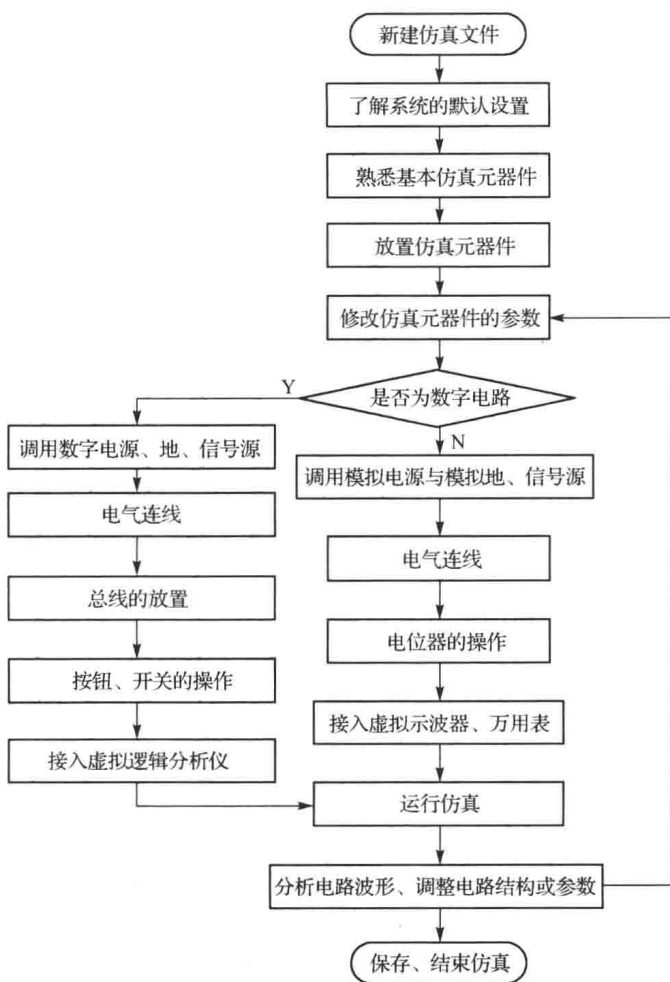


图 1-3-01 Multisim 仿真软件的基本体系结构

### 3. 复杂电路系统的仿真

除非电路极其简单,在进行完整电路系统设计与仿真时,均不提倡将所有元器件集中在一个文件中运行仿真,相对规范的处理流程如下:

- 1) 将复杂的电路系统划分为功能、结构相对独立的子模块;
- 2) 分别针对各子模块进行独立仿真,以提高仿真精度和收敛性;
- 3) 根据各子模块之间的信号连接关系,确定是否需要进行某几个单元之间的合成仿真。
  - 若任意两个相邻子模块之间只存在信号的单向流动与传递,而没有其他复杂的信号反馈关系,则系统中所有的子模块进行简单组合后,即可构建完整的电路系统。
  - 若两个子模块之间存在反馈等复杂的信号连接关系,则需要选择相关子模块进行局部的合成仿真;此时应严格关注仿真时可能出现的收敛性变差、仿真报错等故障现象。

## 1.4 设计电路 PCB

常见的 PCB 设计软件包括 EAGLE、Ultiboard、Altium Designer、PowerPCB、Proteus、DesignSpark、CSiEDA、Protel 99SE、Circuit Wizard 等。

☞提示 Visio、sPlan、AutoCAD 等常用软件非常适合绘制单纯的电路原理图。

### 1. Altium Designer 的发展简史

20 世纪 80 年代,澳大利亚 Protel Technology 公司(后更名为 Altium)推出了基于 DOS 操作系统的 TANGO 软件,用于辅助设计电路 PCB;后续推出的 Protel 99SE(Second Edition,第 2 版)凭借其具有功能强大、设计效率高、入门简单等优势,至今仍被广大专业工程技术人员使用。

☞提示 在 Windows Vista、Win7、Win8、Win10 等操作系统中,Protel 99SE 无法直接加载系统自带库文件的缺陷,可以通过在网络中搜索并下载“Win7\_Protel99 库添加助手”软件予以解决。

Protel 99SE 的升级版本 Altium Designer 具有与操作系统更好的兼容性,各种辅助设计功能变得更加强大,全中文操作界面更符合中国人的习惯,因此广受电子专业人士的青睐。

### 2. Altium Designer 的基本操作

Altium Designer 的基本操作如图 1-4-01 所示,包含原理图绘制与 PCB 设计两大基础功能。

1) 在绘制电路原理图之前,首先加载必需的原理图库文件,如果已加载的原理图库文件中缺乏所需库元器件,则需要自行创建。

2) 在进行 PCB 设计时,也需要加载 PCB 库文件。

3) 绘制并完成电路原理图,检查无误后将其导入 PCB 设计界面。

4) 系统自动将电路原理图中包含的元器件封装(FootPrint)、引脚间的电气连接关系(节点)映射至设计者事先规划好的 PCB 框图内部,并形成一一对应的关系。

5) 设计者通过移动、旋转元器件,改变布局的相邻关系后,可形成初步的布局方案。

6) 利用自动布线功能可生成初步的 PCB 草图,通过手工修改或调整即可得到最终的 PCB。

★技巧 Altium Designer 内在功能丰富,全面学习并掌握不同难度、深度的设计内容对于初学者而言并无益处。为了能够遵循实用、够用的原则,抓住“如何设计 PCB”这一关键任务,从简单电路着手,首先按步骤绘制电路原理图,然后根据电路原理图完成 PCB 初步设计,尽快熟悉软件的使用。熟练掌握软件的基本操作之后,再选择扩展性的知识内容进行深入学习,如总线绘制、库元器件设计、封装设计、高密度布局、多层 PCB 设计、信号完整性、EMC 及抗干扰设计等。

### 3. Multisim 仿真结果与 Altium Designer 的衔接

在 Multisim 中设计完成的各个单元仿真电路,可在 Altium Designer 软件中组合成一套完整的电路原理总图。但是需要修改、补充 Multisim 软件中欠缺或与 Altium Designer 软件不完全一致的元器件(如电源或信号源的接插件、电源引脚的滤波电容、带译码的七段数码管显示单元等)。

★技巧 Altium Designer 允许接收 Multisim 生成的网络表,添加封装参数后即可设计 PCB。

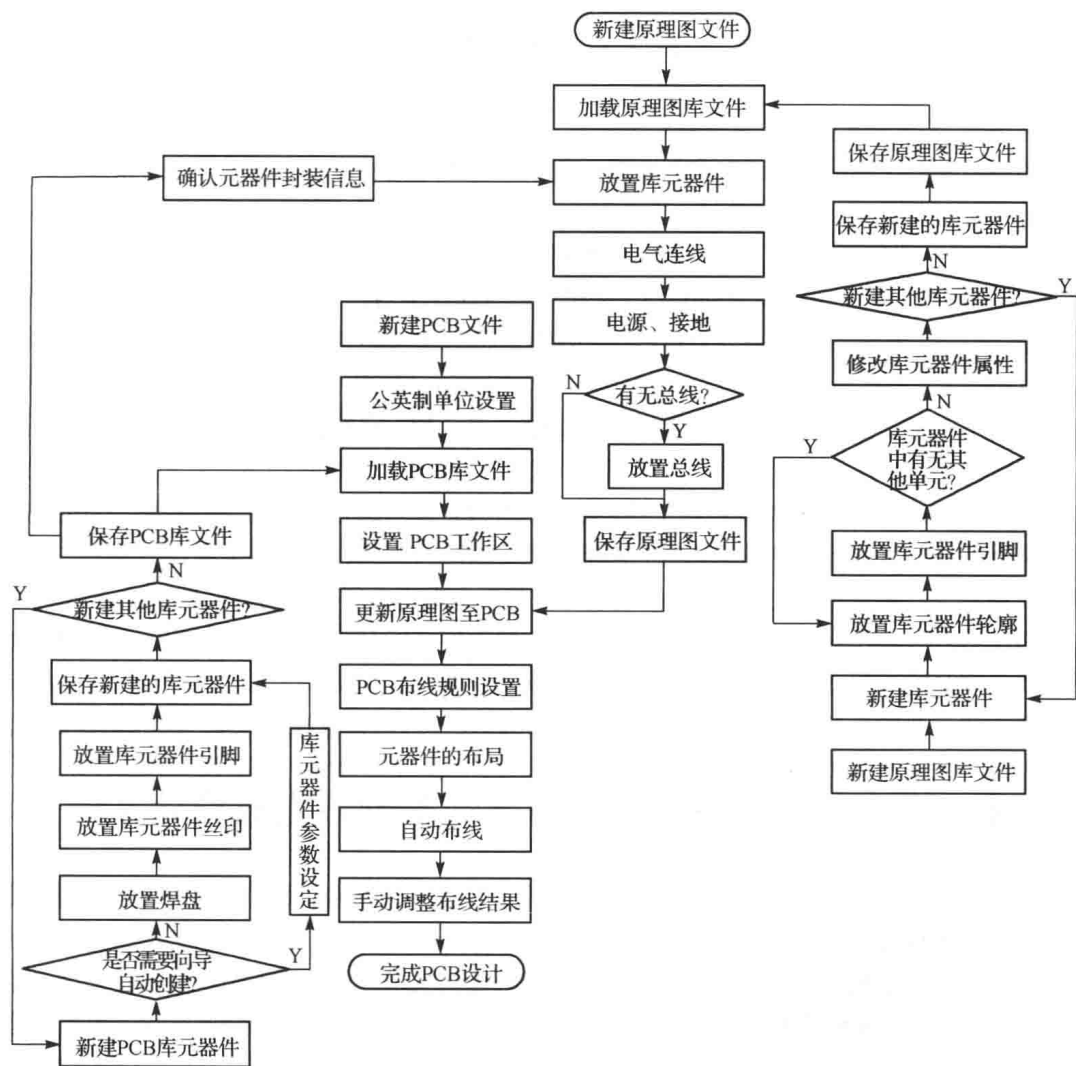


图 1-4-01 Altium Designer 的基本操作

## 1.5 元器件选型

电子元器件是构成硬件电路系统的基本单元。

元器件种类繁多,相同类型的元器件还存在型号、参数及生产厂家等诸多差异。深入了解常用电子元器件的功能、特性,才能在硬件电路设计过程中对元器件进行合理选型。

在电路仿真阶段就需要进行元器件的合理选择,避免在设计方案中使用已停产或难以购买的生僻元器件。在 PCB 设计阶段,设计者尤其需要关注元器件的封装参数,确保能够以合适的价格采购所需的元器件且购得的元器件能够准确无误地插入或焊接在 PCB 中。

☞提示 Altium Designer 具有元器件 BOM (包含型号、数量、封装等信息) 清单生成的功能。

【例 1-5-1】传统硬件电路系统中的 DIP、PLCC 等体积较大的封装,正在被芯片生产厂家调整为 TSSOP、TQFP 等体积更小的封装,此外,传统的直插式大封装集成芯片的价格往往较贵。

★技巧 在进行实际的元器件采购时,建议在数量上适当上浮一定比例,以避免调试过程中可能出现的元器件损坏的情况,可富余一定数量后再进行准备。

## 1.6 加工、制作电路 PCB

设计完成的 PCB 方案需制作成电路板成品后,才能进入后续的装配、焊接及调试环节。电路 PCB 制作工艺的种类较多,不同工艺所对应的电路板质量、加工周期、成本、性能存在一定差异。常用的 PCB 加工、制作途径包括以下几种:

- 1) 委托专业的电路板生产厂家进行加工与制作。
- 2) 利用热转印工艺、曝光工艺或雕刻工艺手工进行操作完成。
- 3) 结构简单的 PCB 可直接采用万能板、洞洞板、面包板作为载体进行焊接或搭建。

## 1.7 电路的装配、焊接及调试

当元器件采购到位、PCB 制作完毕之后,电子系统设计即可进入关键的电路装配、焊接及调试阶段。电路调试的目的包括:电路预定功能的实现,电路故障的查找、分析与排除。

除技术成熟并已实现批量生产的电路产品外,通常不会采用将所有元器件全部装配至 PCB 之后再行上电调试的做法。合理、规范的调试流程是将元器件按功能划分为相对独立的单元模块,在分步完成每个单元模块的装配、焊接及调试后,最后进行系统的整机联调。

★技巧 建议打印电路原理图及 PCB 分层效果图,便于在调试过程中识别、定位相应的元器件。

## 1.8 修改、升级原有设计方案,整理并完成设计文档

在电路调试的过程中,往往会发现在原来的设计方案中考虑不够准确、周全的内容,甚至还会发现一些隐藏的问题与错误,均需返回原来的设计方案进行修改、调整、升级,使其成为新版设计方案。

当设计方案全面达到设计任务预期的指标要求后,设计人员应整理所有设计文档,形成一系列完备的设计文档,并在此基础上开展课程设计报告或结题报告的撰写工作,详细阐述设计思路、设计流程、已实现的设计成果、设计方案的综合性能及测试指标,列出不足或有待改进的设计细节。

## 1.9 电子电路课程设计概述

高校一般采用作业、考试、生产实习、课程设计这 4 种方式对学生的知识、能力及素质进行考核。其中课程设计与作业、考试存在明显差异:课程设计的时间相对较宽松、通常不会限定标准/参考答案、考核重点是设计思路与设计方案、“没有最好、只有更好”。相比其余三种考核形式,对设计思路及方法、考核体系、指导教师水平提出较高要求的课程设计却往往被忽略或简单应付。

电子技术课程设计可分为功能设计与指标设计两大类,通常是要求学生在规定时间内完成预先布置的电路或电子系统设计任务,经过设计、制作、调试的完整教学流程,最终完成一件能实现预定功能的硬件作品。个别设计甚至会提出技术经济性指标、杜绝闭门造车,使之与真实的产品需求接轨。

参与课程设计的学生在得到设计指令(要求)后,需要结合已学的专业基础知识,通过信息检索与资料查阅,寻找、汇总可以参考的设计思路,并拟定一种与自己兴趣及能力相匹配的设计方案,通过反复的设计、实验、测试,满足设计任务的各项基本要求。对于能力突出的学生,还可以对已完成的设计方案进行完善,以得到扩展性、创新性的设计结果,使其具有更好的展示性与实用价值。在进行课程设计的过程中,学生们可以巩固已学的知识,而且有需求地去研究和学习没有学过、但对设计非常重要的知识内容。总之,课程设计这一重要的实践教学环节,对学生的专业能力、创新能力、综合素质的提高有很大的帮助。

对于难度或工作量较大的课程设计题目,单个设计者可能无法完成整个项目,但可以完成项目的局部单元,再通过团队协作完成整个项目。

指导教师在整个课程设计体系中的作用是巨大的,除需要控制整个课程设计的流程外,还需要对学生错误的思路予以纠正、对学生创新性的思路进行发散性引导,在课程设计的答辩环节中,还需要对学生的设计结果进行中肯的评价与鼓励。此外,随时掌握新的设计手段、将实际的电子产品引入课程设计题目也是指导教师的责任所在。在具体的工作中,指导教师需要对课程设计的具体方法与思路进行讲解,针对不同题目进行设计思路的提示和引导;在学生进行课程设计的过程中,指导教师往往还需要针对学生在设计过程中的困难进行思路、方法上的答疑、引导,而不是给出具体的电路与参数。

采用答辩的形式对课程设计的设计结果进行质量评判,参与设计的学生需根据自己的设计思路与实现途径,提前准备答辩提纲或PPT,向答辩老师和参与答辩的同学进行简要陈述。答辩教师则针对学生的设计内容、设计方法进行有针对性的提问,以摸清学生的设计思路、甄别学生是否为自主完成设计,最后通过了解学生对相关知识、能力掌握的具体情况,结合学生完成的课程设计报告、硬件电路系统的质量,给出客观、公正的设计成绩。

初学者如果只学习过少量原理性电路的结构分析、参数计算的内容,那么需要直接完成模拟电路方案设计,可尝试从以下三个步骤着手展开。

- 1) 查阅与设计题目相关的成熟的模拟电路设计方案,了解电路结构、功能及元器件的各自作用。
- 2) 尝试对电路进行仿真,学会分析电路结构、参数变化对电路运行结果的影响。
- 3) 搭建测试电路,尽量尝试完成电路的预定功能,感受理论与实践的差别及联系。

**提示** 对于已经学习了电路原理、模拟电子技术、数字电子技术的低年级的学生而言,不少同学期待利用所学知识完成一个完整电路系统或电子产品的设计,但往往事与愿违:完成的电路设计要么无法正常工作,要么功能简单、粗糙,与设计初衷相去甚远。当然,低年级所学知识范围较窄,理论学时远超实践学时,再加上设计与调试经验匮乏,设计结果不够理想也在情理之中;但是,只要坚持将一个设计题目或设计任务持之以恒地做下去,不断修改、调整、升级、创新,相信设计结果会一步一步朝着更好的方向发展,距离成功也就越来越近。

## 习 题

- 1-1 列举常用的网络文献、数据查阅平台,不同平台的文献收藏侧重点具有什么联系与区别呢?
- 1-2 在进行电路仿真和电路原理图绘制时,需要关注的电阻器参数有何异同?