

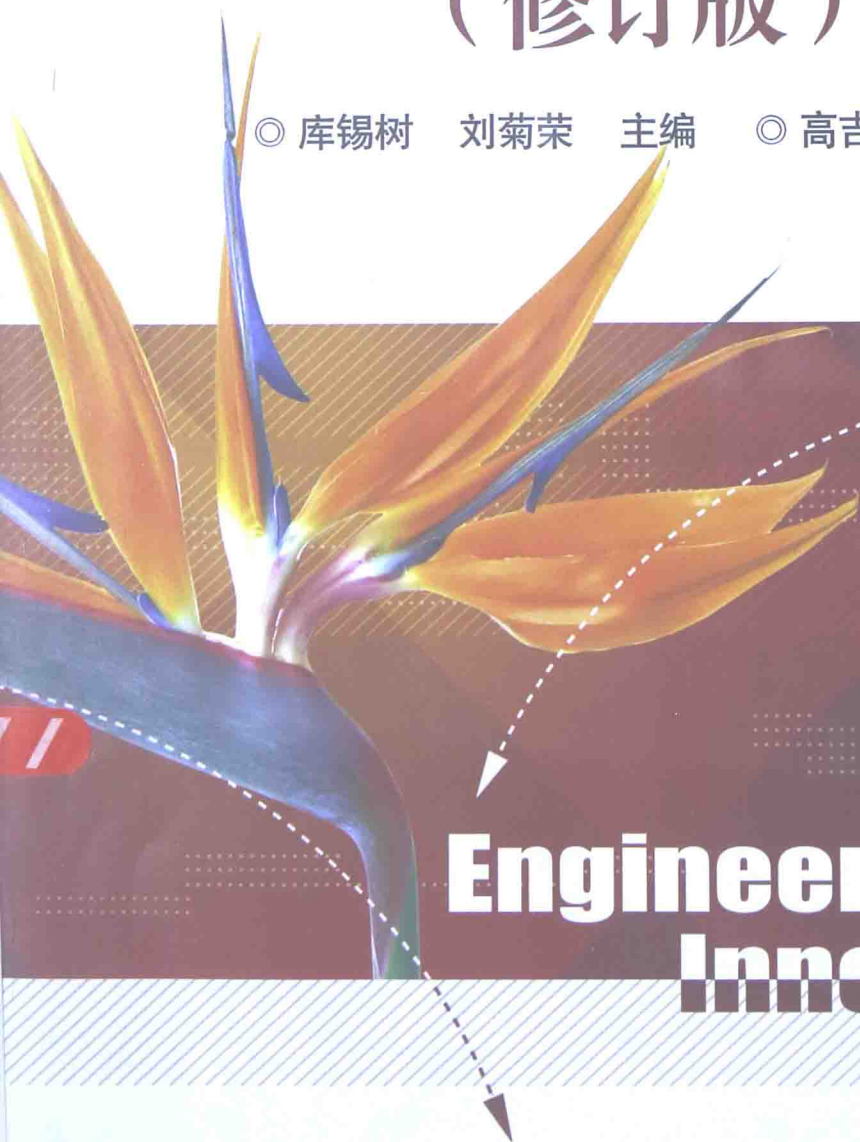


工业和信息化部“十二五”规划教材
高等学校工程创新型“十二五”规划教材

“3性+3型”
——基础性、系统性、应用性
——验证型、综合设计型、创新型

电子技术工程训练 (修订版)

◎ 库锡树 刘菊荣 主编 ◎ 高吉祥 主审



Engineering Innovation



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>



工业和信息化部“十二五”规划教材

高等学校工程创新型“十二五”规划教材

电子技术工程训练

(修订版)

主编	库锡树	刘菊荣			
	廖灵志	马路华	蔡立群		
参编	邓斌	关永峰	程江华	张亮	
主审	高吉祥				

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

本书为工业和信息化部“十二五”规划教材,是为高等院校工程创新型人才培养而编写的基础实践性教材,是与《电子技术实验教程》、《电子系统综合设计》和《电子设计竞赛专题训练——由浅入深》配套使用的“电子工程实践系列丛书”之一。

本书共分7章,第1章介绍电子技术实验室的组成、实验常识、电子产品设计工艺规范和安全用电常识。第2章讲解常用电子元件的分类、技术参数、识别和选用等。第3章介绍主要电子测量仪器的基本原理及使用方法。第4章探讨常用焊接技术,包括工具、材料、技术和方法。第5章简述常用PCB绘图软件的使用方法和电路板的制作技术。第6章介绍Multisim和Proteus两种常用虚拟电路实验软件的使用方法。第7章给出了一些典型电子产品的安装与调试实训内容,并首次推出了U盘的安装、焊接和调试实训项目。附录详细介绍了常用仪器的操作及使用方法。

本书可作为高等院校电类和非电类专业的本、专科学生的实践教学用书,亦可作为相关职业技术教学的实训教材,还可为从事电子技术的工程技术人员提供参考。

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

电子技术工程训练 / 库锡树等主编. —修订本. —北京: 电子工业出版社, 2015. 5

ISBN 978-7-121-26019-3

I. ①电… II. ①库… 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(2015)第 096379 号

策划编辑: 陈晓莉

责任编辑: 陈晓莉

印 刷: 三河市华成印务有限公司

装 订: 三河市华成印务有限公司

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: 787×1 092 1/16 印张: 17 字数: 478 千字

版 次: 2011 年 6 月第 1 版

2015 年 5 月第 2 版

印 次: 2015 年 5 月第 1 次印刷

定 价: 39.90 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。

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。

服务热线:(010)88258888。

前 言

为贯彻落实教育部“卓越工程师教育培养计划”文件精神,适应电子信息技术的快速发展,根据当前教育教学改革发展趋势,针对高等院校电类、非电类专业工程教育和创新人才培养需求,编者总结了过去十几年的实践教学经验,编撰了这套“电子工程实践”系列丛书。丛书共4册,分别是《电子技术工程训练》、《电子技术实验教程》、《电子系统综合设计》和《电子设计竞赛专题训练——由浅入深》。

丛书针对电子技术系列课程特点,按照循序渐进的思想,分类梳理和设计了符合“3性+3型”(“3性”,即基础性、系统性、应用性;“3型”,即验证型、综合设计型、创新型)原则的实验项目。丛书涵盖了模拟电子线路、数字电路、单片机与嵌入式系统、EDA技术、DSP系统等原理和技术的实践教学内容。丛书深入浅出地分析和讨论了电子技术实验常识、技术原理、步骤流程、实验条件等实践要素,并把培养学生科学的实验作风、良好的实验习惯、严格的质量意识等工程素养贯穿于丛书之中。丛书还提供大量易于自主学习和实践的素材及实例,为课程实验、实验课程、课程设计、工程实习、电子设计竞赛、创新实践活动等提供有效的教学指导。

第一册《电子技术工程训练》,主要介绍电子元件识别、仪器使用、焊接练习、电路板制作、仿真软件、电子产品的装调等,可作为大一或大二学生的实训教材。

第二册《电子技术实验教程》,主要介绍低频模拟电路、数字电子技术、高频电子线路、单片机、EDA技术等课程实验内容,精选了一些常见或典型的实验项目,可作为大二或大三学生的实验教材。

第三册《电子系统综合设计》,主要介绍电子系统基本设计方法与流程、数模混合电路设计、放大器设计、滤波器设计、接口电路设计等内容,可以培养学生的知识综合运用能力,并提高学生的电子系统设计能力,可作为大三或大四学生的相关实验教材。

第四册《电子设计竞赛专题训练——由浅入深》,该书从历届全国大学生电子设计竞赛试题中精选了一些有代表性的赛题,讨论了赛题的类型、特点、设计要求、系统方案、电路设计、程序设计等内容。同时根据学生的不同能力,制定了不同的训练方案,引导学生按专题类型进行5~8道题目的训练,为参加竞赛做好充分准备。该书既可作为学生参加电子设计竞赛的实用参考书,也可作为大三或大四学生的竞赛培训教材。

本书为第一册,是以电子技术基本技能培养为目标,以元件识别、仪器使用、焊接练习、产品装调为训练内容,适当引入新技术、新元件和新工艺,着力培养学生电子技术基本工程素养。通过训练,使学生掌握与电子技术实验相关的基础知识与实践技能,养成实事求是、严肃认真、缜密细致的科学作风和良好的实验习惯,培养学生的电子产品质量意识与工程规范意识,激发学生的学习热情,提高学习兴趣,培养创新意识,为后续的电子技术系列课程实验、课程设计、工程实习等打下坚实的实践基础。

本书自2011年出版以来被许多学校采用,并受到广大读者的青睐,并入选工业和信息化部“十二五”规划教材。本次修订吸收使用学校教师的建议,在保持原书的框架和风格的基础上,增补了新技术、新工艺、新器件,订正了原书的错误和不足。本书共分7章,第1章介绍电子技术实验室的组成、实验常识、电子产品设计工艺规范和安全用电常识。第2章讲解常用电

子元元件的分类、技术参数、识别和选用等。第3章介绍主要电子测量仪器的基本原理及使用方法。第4章探讨常用焊接技术,包括工具、材料、技术和方法。第5章简述常用PCB绘图软件的使用方法和电路板的制作技术。第6章介绍Multisim和Proteus两种常用虚拟电路实验软件的使用方法。第7章给出了一些典型电子产品的安装与调试实训内容,并首次推出了U盘的安装、焊接和调试实训项目。附录详细介绍了常用仪器的操作使用方法。

库锡树教授、刘菊荣高级工程师提出了本书编写思路并撰写大纲,完成本书的策划、统稿、定稿工作。参加本书编写工作的有廖灵志、邓斌(第3、5、6章及附录),马路华、刘恋(第2章),蔡立群、胡名成(第4章),库锡树、刘菊荣(第1、7章)。

全书由高吉祥教授主审。此外,唐朝京、卢启中、关永峰、于红旗、李贵林、程江华、翟庆林、何智勇、丁文霞、陆珉、朱畅等同志参加了本书部分编写和审阅工作,张凤莲、杨筱、张玉梅、张晓雪参与了电路图绘制。同时,本书在编写的过程中得到国防科学技术大学电子科学与工程学院领导的关心与大力支持,得到了电子工业出版社陈晓莉编辑的热情帮助,以及北京理工大学罗伟雄教授的悉心指导,在此一并致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,难免会有不妥和错误之处,热诚欢迎读者批评指正,以便进一步改进。

编 者

于长沙国防科技大学

2015年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 电子技术工程训练概述	1
1.1.1 电子技术实验室简介	1
1.1.2 实验的一般程序	3
1.1.3 良好实验素养的养成	4
1.1.4 元器件获取途径	5
1.2 电子产品设计工艺规范	5
1.2.1 电路元器件的老化与筛选	6
1.2.2 元器件封装	7
1.2.3 电子装联	7
1.2.4 电子产品的总装	8
1.2.5 电子产品生产工艺的发展	9
1.3 安全用电	9
1.3.1 人体触电及触电急救	9
1.3.2 常见触电方式	11
1.3.3 安全保护技术	12
1.3.4 安全预防措施	16
第 2 章 常用电子元器件	18
2.1 电阻器和电位器	18
2.1.1 电阻器	18
2.1.2 电位器	24
2.1.3 特种电阻器	29
2.2 电容器	31
2.2.1 固定电容器	31
2.2.2 可变电容器	36
2.3 电感器	37
2.3.1 电感线圈	37
2.3.2 变压器	39
2.4 半导体分立元件	41
2.4.1 半导体二极管	42
2.4.2 半导体三极管	45
2.5 半导体集成电路	49
2.5.1 概述	49
2.5.2 三端固定稳压器	53
2.5.3 三端可调稳压器	53
2.5.4 集成运算放大器	54
2.5.5 数字集成电路	55
2.6 贴片元件	56
2.6.1 贴片元件的分类	56
2.6.2 电阻、电容、电感	57

2.6.3	二极管、三极管、集成电路	58
2.7	继电器	59
2.7.1	电磁式继电器和干簧式继电器	60
2.7.2	固态继电器	62
2.8	电声元器件	62
2.8.1	扬声器	62
2.8.2	传声器	64
2.9	开关和接插件	66
2.9.1	常用开关元器件	66
2.9.2	常用接插件(连接器)	68
2.9.3	使用注意事项	75
2.10	传感器	75
2.10.1	温敏元件和温度传感器	75
2.10.2	光敏元器件	76
2.10.3	热释电红外传感器	77
2.10.4	霍尔集成传感器	78
2.10.5	压阻式压力传感器	78
2.10.6	应变式力传感器	78
2.10.7	接近开关	78
2.10.8	光电开关	79
2.11	石英晶体谐振器和陶瓷谐振元件	80
2.11.1	石英晶体谐振器	80
2.11.2	陶瓷谐振元件	82
2.12	其他元件	84
2.12.1	散热元件	84
2.12.2	小型密封蓄电池	84
2.12.3	电磁阀	85
2.12.4	AC/DC 电源模块和 DC/DC 电源模块	85
2.13	实验练习——常用电子元件的识别	85
第3章	常用电子仪器	88
3.1	万用表	88
3.1.1	万用表功能结构及原理简介	88
3.1.2	万用表的分类与比较	90
3.1.3	万用表的使用	91
3.2	直流稳压电源	93
3.2.1	直流稳压电源功能结构及原理简介	93
3.2.2	直流稳压电源基本性能参数介绍	94
3.2.3	直流稳压电源的使用	94
3.3	函数信号发生器	95
3.3.1	函数信号发生器功能结构及原理简介	95
3.3.2	函数信号发生器的分类及性能参数简介	96
3.3.3	函数信号发生器的使用	97
3.4	示波器	98
3.4.1	示波器的功能结构及原理简介	98
3.4.2	示波器的分类及性能简介	100
3.4.3	示波器的使用	100
3.5	常用实验线缆简介	102

3.6	实验——常用电子仪器的使用	103
第4章	焊接与调试技术	105
4.1	常用工具	105
4.1.1	焊接工具	105
4.1.2	钳口工具	108
4.1.3	紧固工具	109
4.1.4	其他工具	109
4.2	焊接材料	111
4.2.1	焊料	111
4.2.2	焊剂	113
4.3	锡焊机理	114
4.4	插装元器件的手工焊接技术	115
4.4.1	焊接准备工作	115
4.4.2	焊接方法	115
4.4.3	导线焊接	117
4.4.4	拆焊方法	119
4.4.5	焊点质量检查	120
4.5	检测与调试	122
4.6	贴片元器件的手工焊接技术	124
4.6.1	焊接工具	124
4.6.2	焊接方法	125
4.6.3	拆焊方法	125
4.7	自动焊接技术简介	126
4.7.1	自动焊接技术	126
4.7.2	接触焊接(无锡焊接)	128
4.7.3	焊接新技术	130
4.8	焊接实验	134
第5章	制板技术	135
5.1	电路板简介	135
5.1.1	电路板的种类	135
5.1.2	电路板的基材	135
5.2	制板技术简介	137
5.2.1	手工制板技术	137
5.2.2	工业制板技术	142
5.2.3	制板要求	144
5.3	PCB 绘图软件的使用	145
5.3.1	PCB 绘图软件发展历程简介	145
5.3.2	常用制板软件简介	146
5.3.3	Protel 99 SE 介绍	147
5.3.4	Protel 99 SE 常用快捷键简介	158
5.3.5	手工制板参数设定经验	161
5.4	实验——制板训练	161
第6章	仿真软件应用	163
6.1	Multisim 10 电路仿真快速入门	163
6.1.1	Multisim 10 的基本操作	163
6.1.2	虚拟仪器的使用	169
6.1.3	Multisim 10 仿真实例	175

6.2	Proteus 7 电路仿真快速入门	179
6.2.1	Proteus 7 基本操作简介	180
6.2.2	虚拟仪器的使用	185
6.2.3	Proteus 7 仿真实例	188
第7章	电子技术工程训练题选	190
7.1	U 盘套件安装与调试	190
7.1.1	实训的目的与要求	190
7.1.2	产品性能指标	191
7.1.3	实验原理	191
7.1.4	实验器材	191
7.1.5	实验内容与步骤	192
7.2	调幅收音机的安装与调试(分立 AM)	198
7.2.1	实验目的与要求	198
7.2.2	产品性能指标	199
7.2.3	收音机原理	199
7.2.4	实验器材	204
7.2.5	实验内容及步骤	204
7.3	调频收音机的安装与调试(集成 FM)	207
7.3.1	实验目的与要求	207
7.3.2	产品性能指标	207
7.3.3	实验原理	208
7.3.4	实验器材	209
7.3.5	实验内容及步骤	209
7.4	数字万用表的安装与调试	214
7.4.1	实验目的与要求	214
7.4.2	产品性能指标	215
7.4.3	实验原理	215
7.4.4	实验器材	215
7.4.5	实验内容及步骤	217
7.5	其他电子产品的制作	220
7.5.1	循环灯电路	220
7.5.2	声光控延时开关	222
7.5.3	耳聋助听器	224
7.5.4	温升报警器	226
7.5.5	快速充电器	227
7.5.6	MP3 的制作	229
附录	常用仪器的操作及使用	235
	一、万用表	235
	二、直流稳压电源	239
	三、函数信号发生器	244
	四、示波器	251
	五、交流毫伏表	259
	六、多功能计数器	260
	七、LCR 数字电桥	261
参考文献		264

第1章 绪 论

通过本章的学习,使学生了解电子技术工程训练的目的、任务,电子技术实验室的组成及功能,电子技术实验的一般程序及良好的实验习惯,熟悉电子产品设计的工艺规范及安全用电等知识,为模拟电子技术、数字电子技术、课程设计等课程实验奠定良好的基础。

1.1 电子技术工程训练概述

电子技术工程训练是一门独立性、先导性、实践性很强的实践课程,它的任务是使学生掌握与电子技术实验相关的基础知识,训练电子技术实践基本技能,提高对实验现象、数据的分析和解决问题的能力,培养电子产品质量意识及工程规范意识,激发学生的学习热情和积极性,养成实事求是、严肃认真、缜密细致的科学作风和良好的实验习惯,为后续的模拟电子技术、数字电子技术课程实验或实验课程、电子设计竞赛等实践活动,以及将来从事工程技术工作打下坚实的实践基础。

该课程除了介绍必要的电子技术实验基本知识和基本方法外,主要以电子技术实践基本技能训练为主。学生通过实践操作和练习,了解电子技术实验基本要求、安全用电基本常识以及印制电路板设计和制作技术,熟悉常用电子测量仪器的使用操作方法,掌握常用电子元器件的识别检测方法以及电子元器件的焊接技术,最后学生通过自主组装、焊接及调试一套电子产品,了解电子产品的设计制作流程,提高动手实践能力,培养基本工程素质。

1.1.1 电子技术实验室简介

为了有效地开设电子电气课程实验,工科类高校一般建有电工电子实验中心,或分别建有电子技术实验室和电工实验室。无论是电子技术实验室还是电工电子实验中心一般包含模拟电路实验室、数字电路实验室、单片机(嵌入式)实验室、电子工艺实训室、创新实验室、高频电子线路(通信电子线路)实验室、EDA实验室等。由于部分实验室具有共用性,因此可将其合并。例如,模拟电路实验室和数字电路实验室,单片机实验室与EDA实验室等。

1. 模拟电路实验室

本实验室主要为“电子技术基础”、“模拟电子技术”、“低频电子线路”等课程的实验服务。其开设的实验项目主要有单管放大器、场效应管放大电路、负反馈放大器、运算放大器、功率放大器、稳压电源等,培养学生对模拟电路的分析、理解、设计与应用能力。为达到良好的实验效果,这些实验项目一般为一人一组独立完成。每个实验工位主要包括直流稳压电源、示波器、低频信号发生器、毫伏表、三用表、模拟电路实验箱或面包板等设备,以及电阻、电容、三极管和运算放大器等常用的电子元器件。部分实验室还配备了晶体管特性图示仪、多媒体实验教学系统和电子线路虚拟仿真软件,如Multisim、Proteus、PSpice等。

2. 数字电路实验室

本实验室主要为“数字电子技术基础”、“电子技术基础”、“数字电路与逻辑设计”等课程实

验服务。开设集成门电路逻辑功能测试、组合逻辑电路设计、触发器参数测试及应用、中规模计数器设计及应用、脉冲产生与整形电路、硬件描述语言、频率计的设计与调试、综合设计等实验项目,培养学生对数字电路的分析、理解、设计与应用能力。这些实验项目一般为一人一组独立完成。每个实验工位主要包括直流稳压电源、示波器、低频信号发生器、三用表、数字电路实验箱或面包板等设备,以及电阻、发光二极管和中规模数字集成芯片等常用的电子元器件。部分实验室还配备了多媒体实验教学系统和电子线路虚拟仿真软件,如 Multisim、Proteus、PSpice 等。

3. 单片机实验室

单片机实验室主要为“单片机系统”、“单片机与嵌入式系统”课程实验服务。可开设 LED 彩灯、数字时钟、数字秒表、数字频率计、数字电压表等设计项目,此外,还可开设音乐演奏、恒温控制系统、串口通信、电子密码锁、DDS 波形发生器等实验项目,培养学生对单片机知识的理解与应用能力,提高编程与系统设计水平,加强团队协作意识。通常 1~2 人一组完成实验项目。实验室一般配备单片机系统板、单片机下载工具或单片机系统设计实验箱、嵌入式系统实验箱、微型计算机、示波器和信号源等设备。为方便开发,节省时间,提高教学效果,还可配备专门的单片机仿真软件(如 Proteus),在微机上对单片机系统进行设计与仿真。

4. 电子工艺实训室

本实验室主要为“电子技术工程训练”、“电子工艺实习”、“电子实训”等课程服务。开设常用电子元器件识别、仪器使用、焊拆练习、小型电子产品安装调试等实验项目,使学生了解并掌握与电子技术实践相关的基础知识和基本技能,培养学生的动手实践能力、电子产品的质量及工程规范意识、严谨细致的工作作风和良好的工程素养。主要配备了回流焊机、拆焊台、电烙铁、吸锡器、带灯放大镜及焊接辅助材料与工具等。

5. 电子技术创新实验室

电子技术创新实验室主要开展了诸如电子设计竞赛、电子科技苑、挑战杯、创新杯、Altera 杯、物电杯、飞思卡尔智能汽车竞赛、光电设计竞赛和 ADI 创新大赛等课外创新实践活动,培养学生电路设计与调试能力、系统综合设计能力、创新能力及团队协作精神。本实验室除配备基本的直流稳压电源、示波器与信号源外,通常还配备中、高端仪器设备,如大功率稳压电源、四通道宽带数字示波器、DDS 数字合成函数波形发生器、标准信号发生器、频谱分析仪、逻辑分析仪、宽带双通道扫频仪、超高频毫伏表、高精度三用表、数字电桥等。

6. 高频电子线路实验室

本实验室主要为“电子线路”、“射频电子线路”、“通信电子线路”课程实验服务。开设 LC 振荡器、乘积型振幅调制与解调器、混频器、锁相环、频率特性测量、高频小信号放大器、滤波器、频率合成、非线性电路特性测试、发射机、接收机、调频调幅收音机安装等实验项目,培养学生对高频电路的分析、理解、设计与应用能力。这些实验项目一般为一人一组独立完成。每个实验工位主要包括直流稳压电源、宽带示波器、高频信号发生器、低频信号发生器、频率特性测试仪、频率计、三用表和高频毫伏表等。部分实验室还配备了多媒体实验教学系统和电子线路虚拟仿真软件,如 Multisim、Proteus、PSpice 等。

7. EDA 实验室

EDA 实验室主要为“EDA 技术”、“VHDL 语言”、“Verilog 语言”、“电子系统设计”、“微电

子技术概论”等课程实验服务。可开设跑马灯、自动报时数字钟、数字秒表、数字频率计、自动售货机、交通灯、音乐演奏、VGA 游戏演示、串口通信等设计性实验项目,培养学生可编程逻辑器件的应用能力和系统设计能力。通常 2~3 人一组完成实验项目。实验室一般配备 FPGA/CPLD 实验箱、SOPC 综合实验箱、EDA 小系统板、微型计算机、示波器和信号源等设备,同时配备 Xilinx 或 Altera 公司的 FPGA 开发软件。

1.1.2 实验的一般程序

怎样做实验?如何做好实验?这是同学们共同关心的问题,也是必须了解和掌握的问题。无论是什么实验,都必须遵循一定的程序,才能顺利进行实验。

实验的一般程序是:实验预习→实验操作→分析总结→提交实验报告

1. 实验预习

毛泽东同志教导我们,“不打无准备之仗”,预习就是战前准备。学生在每次实验前,必须认真阅读实验教材,做好预习实验报告,避免盲目实验。预习报告的内容一般包括:

- (1) 弄清实验的目的、内容、方法及有关的理论知识,知道实验要做什么和怎么做的问题。
- (2) 做好实验前的准备工作:

- 对初次实验,要熟悉仪器仪表的使用,看指导书及课件,熟悉实验内容。

对验证性实验,对照电路原理图,计算出电路各项指标理论值,或估算出其输出结果,并进行误差分析。

对设计性实验,要先进行电路设计,完成必要的理论计算。

对创新性实验,要综合学习和分析同类产品或作品的设计的优缺点,提出多种解决方案,通过分析比较,最后选择一个合理的设计方案。

- 写出实验操作的具体步骤。
- 列出记录数据所需要的表格。
- 写出实验中应注意的问题,以便实验时给自己必要的提示。

(3) 能进行电路仿真的实验项目,就应进行仿真实验。根据电路原理图,选择合理的电路仿真软件,进行仿真分析,直至仿真结果正确为止。大多数情况下,要画出电路原理图和实物引脚接线图。

- (4) 认真准备实验课所要讨论的问题,回答思考题,理解和牢记注意事项。

按以上内容独立完成预习报告。

2. 实验操作

在实验过程中,应遵守实验室规章制度,牢记实验课教师反复强调的问题和注意事项,严谨细致地进行实验操作。在实验时要做到:

(1) 检查元器件。检查实验用的元器件、连接线是否齐全,并对其进行检测,判断是否正常。

(2) 熟悉设备。熟悉实验(箱)板中有关元器件的位置、仪器的使用方法,防止不当操作。

(3) 组装电路。按实验电路正确接线,完毕后检查是否正确。

(4) 检查电路。仔细检查电源连接是否正确,地线是否接好,系统是否共地。

(5) 测试电路。检查电路无误后,必须确认电源电压符合所需数值,极性连接无误后才可通电进行实验,实验时要按正确的实验方法和步骤进行,细心观察实验现象,如实准确地记录

实验数据或波形。

(6) 电路调试。实验中若出现问题,应先排查问题,检查电路设计正确与否,连线是否有误等!如需要更换元器件时,应先切断电源再进行更换,切忌带电操作。若遇疑难问题时,应检索电子答疑系统,若还解决不了问题时,最后请求教师指导。

(7) 结果分析。对实验结果进行分析,若发现与理论值偏差太大,或结果完全不对,应仔细查找原因并重新测试。

(8) 实验整理。实验结束后,首先切断仪器仪表电源,整理好仪器设备并将其摆放整齐,清理连接线、电源线等,将实验台收拾干净,填写仪器使用登记本。

3. 实验总结——实验报告

实验结束后,需认真撰写实验报告。实验报告是以书面形式对实验结果的全面总结,是对实验人员综合分析能力、文字表达能力和科学作风的基本训练,是培养学生分析现象、总结问题、解决问题能力的重要环节之一。当然,要写好总结报告,其前提是必须成功地完成各项实验。总结报告的质量好坏将体现实验者对实验项目的理解能力、动手能力和综合素质。

(1) 实验总结报告主要内容:

- 将原始实验数据进行整理、分析;
- 进行误差计算,并进行具体分析;
- 对实验中遇到的问题和现象进行具体分析;
- 本次实验结论。

最后把预习报告与总结报告综合成一份完整的实验报告。

(2) 实验报告要求:

- 书写在规定的实验报告纸上;
- 简明扼要,文理通顺,书写工整;
- 图表清楚、规范(作图用尺,数据以表格形式填写,曲线和表格应注明名称、物理量和单位);
- 实验数据整理,对自己实验所得数据和观察到的现象要实事求是地填写,原始数据的记录要按要求精确到某位有效数字,以表格形式填写,标明单位。实验波形以实际测量为准,与理论波形相对比,并能分析出与理论差距的原因。

(3) 实验报告基本格式:

① 封面

封面应包括实验名称、实验教室、实验者姓名、实验日期等内容。

② 实验预习

预习包括实验目的、实验原理、实验仪器、实验步骤和测量方法(含实验电路、实验步骤、测试数据表等)和思考题等项目。

③ 实验总结

总结的内容有数据分析及实验结论,包括实验图表(元器件标出相应符号及参数),实验现象分析,实验结论。并写出心得体会或建议。

1.1.3 良好实验素养的培养

对于电子电气专业的学生来说,培养其良好的工程素养远比知识的灌输更重要。大部分学生在进入电子技术实验室前,具有较系统的数理化知识,智力得到了较充分的开发,具有基

本的做人做事准则和动手实践的潜力。但少数学生情商较低,学习、生活态度和道德风范受社会不良风气影响较大,诚实守信、认真细致、团结协作、勤于思考、艰苦奋斗、勇于实践、百折不挠、勤俭节约的作风未得到充分发扬,不具备基本的工程素养。这些素养的提高在理论教学中体现得不够充分,但在电子技术实验室里能得到充分表现。开展科学的电子技术实验需要具备紧密的合作精神、良好的操作习惯、规范的操作流程和真实的数据记录,这对于培养一个人科学的态度、诚实的作风、良好的素养十分有利。因此,希望学生在实验过程中严格要求自己,将上述理念始终贯穿于实验教和学的各个环节。

习惯是事业成败的关键因素,人们往往只注重结果,却忽视了良好习惯的养成。如果不良习惯一旦养成,就会伴随人的一生,进而影响其工作和生活质量。因此,在实验中培养良好的工程实践习惯,对电子电气专业的学生来说十分重要。

在电子技术实验中应注意培养学生养成良好的实验习惯,认真做到如下几点:

- (1) 重视实验,做好实验预习,按时到实验室做实验。
- (2) 严格遵守学生实验守则及实验室规章制度。
- (3) 在实验室内应遵守纪律,保持肃静,听从指挥。不高声喧哗、不抽烟、不吃东西、不乱丢纸屑及任意调位、串位。不做与实验无关的任何事情。
- (4) 爱护仪器设备,正确使用仪器,不野蛮操作设备,不随意挪动设备,不操作无关设备。
- (5) 注意人身和设备安全,切勿带电操作。若发现异常现象,应立即切断电源,分析查找原因,待问题解决后方可再加电操作。
- (6) 按要求填写仪器使用登记本。保持实验工位整洁,按规定打扫卫生。
- (7) 通过实验预约和门禁系统自主实验者,除应遵守上述规定外,还应自觉承担实验室的管理工作,不得私自将其他无关人员带入实验室。

1.1.4 元器件获取途径

课内实验的元器件由实验室统一配备。学生应按要求使用元器件,使用完后应及时归位,如因使用不当造成元器件损坏,则应照价赔偿。

课外实验需要使用的元器件可采取以下方法获得:

- (1) 免费领用。实验室已备好的基本元器件可以免费领用。
- (2) 自行购买。直接从当地电子市场购买需要的元器件。
- (3) 网上邮购。网上有来自全国的许多卖家销售元器件,学生可上“淘宝网”搜索到需要的元器件后直接网上付款,卖家会通过邮寄将买好的元器件寄出。网购元器件时间较长(一般2~5天不等),但元器件种类丰富,较易买到合适的元器件。
- (4) 教师代购。将需要购买的元器件列好详细的元件清单,包括元件名称、型号、功能、封装、可替代型号等,交实验室老师代购。
- (5) 样片申请。登录各大芯片厂商的主页,某些厂商(如美信等)只需按要求填表后就能免费申请到样片。样片一般采用邮寄的方式寄到,元器件免费,邮费自理。

1.2 电子产品设计工艺规范

在电子产品和电子系统的设计研制过程中,质量是电子设计工程师最为关心的问题,它不仅与整机电路的设计有关,而且与生产工艺、生产管理水平紧密相连。电路设计是电子产品实

现其电路功能的主要途径,起着举足轻重的作用。然而,当电路设计人员设计的产品不符合国标、国军标或电子行业的相关标准,脱离本单位的生产实践,缺乏可制造性时,产品就失去了实现其质量和可靠性的基本前提。对于电子产品而言,电路设计决定产品的功能,结构设计决定产品的形态,工艺设计决定产品的可制造性。介绍电路设计和结构设计的资料较多,在此不做叙述。电子生产工艺主要包含设计图纸、元器件老化与筛选、元器件封装、焊接、调试、电子装联、总装、整机调试、质检等要素或环节。下面简要介绍电子产品生产工艺中的老化与筛选、元器件封装和电子装联等几个重要概念。

1.2.1 电路元器件的老化与筛选

整机中的电路元器件通常是在长期连续通电的情况下工作。例如车载、航空、舰船中的电子设备,经常工作在高温、潮湿、烟雾、振动冲击的恶劣环境中,为保证其可靠性、稳定性,必须在装配前对元器件进行严格的测试、老化和筛选。

老化、筛选就是对元器件施加外界应力,使早期失效的元器件在安装前暴露、剔除。外界应力可以是电的、温度的、机械的,或者是这几种应力的组合。目前,对电子元器件的老化、筛选尚无统一的标准和方法。不同环境下使用的电子设备对老化、筛选的内容和要求各不相同。下面介绍元器件失效的一般规律和老化筛选的一般方法与原则。

1. 元器件失效的一般规律及相应对策

电路元器件具有一定的使用寿命。随着外界因素的影响和时间的推移,元器件表现为性能下降或失效。

电子元器件的可靠性用失效率表示。利用统计学的手段,能够发现描述电子元器件失效率的数学规律:

$$\text{失效率 } \lambda(t) = \frac{\text{失效数}}{\text{运用总数} \times \text{运用时间}}$$

失效率的常用单位是 Fit(菲特), $1\text{Fit} = 10^{-9}/\text{h}$ 。即一百万个元器件使用一千小时,每发生一个失效,就叫做 1Fit。失效率越低,说明元器件的可靠性越高。

电子元器件的失效率还是时间的函数。统计数字表明,新制造出来的电子元器件,在刚刚投入使用的一段时间内,失效率比较高,这种失效称为早期失效,相应的这段时间叫做早期失效期。电子元器件的早期失效,是由于在设计和生产制造时选用的原材料或工艺措施方面的缺陷而引起的,它是隐藏在元器件内部的一种潜在故障,在开始使用后会迅速恶化而暴露出来。元器件的早期失效是十分有害的,但又是不可避免的。人们还发现,在经过早期失效期以后,电子元器件将进入正常使用阶段,其失效率会显著地迅速降低,这个阶段叫做偶然失效期。在偶然失效期内,电子元器件的失效率很低,而且在极长的时间内几乎没有变化,可以认为它

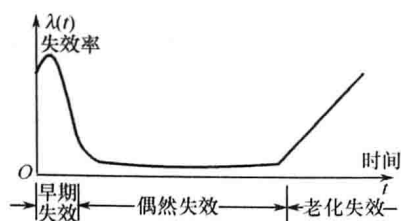


图 1-2-1 失效率函数曲线

是一个很小的常数。在经过长时间的使用之后,元器件可能会逐渐老化,失效率又开始增高,直至寿命结束,这个阶段叫做老化失效期。电子元器件典型的失效率函数曲线如图所示。从图 1-2-1 中可以清楚地看出,在早期失效期、偶然失效期、老化失效期内,电子元器件的失效率是大不一样的,其变化的规律就像一个浴盆的剖面,所以这条曲线常被称为“浴盆曲线”。

2. 老化的原则和方法

老化筛选的作用就是外加应力,将早期失效的元器件的潜在故障加速暴露筛选掉。外加应力的原则不能超出元器件的极限参数。例如对三极管来说,外加电压不能超过 BV_{ceo} 值,外加温度不能超过结温,以免破坏元器件性能。但外加应力也不能太小,否则达不到老化、筛选的目的。老化、筛选的方法,根据元器件和整机使用条件而定。常见的方法有:高温存储老化、电老化和功率老化三种。

3. 电路元器件的选择

在工程技术中,完成某一方面功能,需要用到各种各样的电路元器件,这就要考虑电路元器件的选择问题。电路元器件选择的基本原则就是实用性和经济性。随着电子技术的飞速发展,当代电子元件不仅门类多、品种全,且新产品不断涌现。现在的电子市场不仅有国内产品,同时也有大量的国外产品。在电路设计中,要完成某一方面功能,可能有多种元器件能够胜任,到底选用哪一种,要根据实际情况进行权衡。这就要求电路设计者熟悉、掌握不同系列的电子元器件,善于查阅元器件手册,把握实用性和经济性的原则。

1.2.2 元器件封装

元器件封装工艺近些年发展迅速。自电子封装问世后的约 40 年中,先后经历过三次重大的技术转变。第一次发生在 20 世纪 70 年代中期,由以 DIP 为代表的针脚插入型转变为以 QFP 为代表,由周边引出 I/O 端子为其主要特征的表面贴装型(SMT);第二次发生在 90 年代初期,其标志是球栅阵列端子 BGA 型封装的出现;第三次发生在 2000 年,多芯片系统封装 SIP 的出现使微电子技术及封装技术进入后 SoC 和后 SMT 时代。20 世纪 90 年代中期,由于 CSP 封装和积层式多层基板的引入,IC 产业迈入高密度封装时代。目前的主要特征及发展趋势是:

① BGA 封装正向增强型 BGA、倒装片积层多层基板 BGA、带载 BGA 等方向进展,以适应多端子、大芯片、薄型封装及高频信号的要求。

② CSP 的球栅节距正由 1.0mm 向 0.8mm、0.5mm,封装厚度正向 0.5mm 的方向进展,以适应超小型封装的要求。

③ 采用两芯片重叠,三芯片重叠,或多芯片叠装构成存储器模块等方式,以提高封装密度。

④ WLP(wafer level package)的采用,将半导体技术与高密度封装技术有机地结合在一起。其特征是,在硅圆片状态下,在芯片表面再布线,并由树脂绝缘保护,构成球形凸点之后,再切片。由此可以获得与芯片尺寸大小一致的 CSP 封装,而且可以省略集成电路制造中的后续工序,它作为高密度封装形式而引起广泛重视。

1.2.3 电子装联

电子装联(electronic assembly),简称“电装”,指的是在电子电气产品形成中采用的装配和电连接的工艺过程。电装工艺的含义是为电子电气产品的装配和电连接而设计、制定的需要共同遵守的标准与规定。

电子装联,多指在电的效应和环境介质中点与点之间的连接关系。电子装联技术,绝不单纯的局限于印制电路板组装件,它包含了更多的内涵。从某种程度上讲,常规印制电路板组装

件(即板级电路的 THT、SMT、多层复合贴装 MPT 等)的装联相对而言较易掌握,因为板级电路的制造与设计有相对先进的装联设备和设计软件作技术支撑。但对于作为构成电子设备的其他要素也很重要,例如,整机或单元模块;高、低频传输线;高频、超高频、微波电路印制电路板组装件;板级电路、整机或单元模块的 EMC 和可靠性设计等,这些问题目前还没有有效的解决办法。

2001 年,出现了“电气互联技术”这一新概念,是对电子装联概念的拓展和延伸。在电子装备中,电气互联技术是指:“在电、磁、光、静电、温度等效应和环境介质中任何两点(或多点)之间的电气连通技术;即在电磁介质环境中,采用布局布线、接插互联等方法,将电子、光电子元器件、基板、导线、连接器等零部件制成工程实体的制造技术”。

由此可见,在现代电子产品的设计与生产过程中,电气互联技术对保证整机功能和指标起到了重要作用。电气互联的可靠性决定了电子设备的可靠性,电气互联技术是现代电子设备设计与制造的关键技术。

先进电气互联技术是一项系统工程,它涉及产品从论证、设计、研制到生产的各个环节。电路设计与该技术相辅相成,该技术为电路设计提供可靠的技术保障,同时该技术又要求电路设计更规范、更标准、更先进。没有先进电气互联技术的保障,电路设计不管多么先进也无法实现其功能技术指标。同样,没有先进、规范的电路设计,该技术就失去了发挥作用的平台。

掌握了先进电气互联技术的电装工艺师,应在产品方案论证的初始阶段就参加进去,并参与到产品的总体设计、研制、开发、生产的全过程中去,这是保证现代电子装备和产品质量的关键。

电气互联的主要标准有:①国标(GB),②国军标(GJB),③部标(SJ 或 SJ/T),④航天部标准(QJ),⑤航空部标准(HB),⑥企业技术标准。

1.2.4 电子产品的总装

电子产品的生产与发展和电子装配工艺的发展密切相关,任何电子设备,从原材料进厂到成品出厂,要经过千百道工序的生产过程。电子产品的总装是电子产品生产过程中的一个重要的工艺环节,是把半成品装配成合格产品的过程。其内容包括将各零部件、整件(如各机电元件、印制电路板、底座、面板及元器件)按照设计要求安装在不同位置上,组合成一个整体,再用导线将元部件之间进行电气连接,完成一个具有一定功能的完整的机器,以便进行整机调整和测试。

总装包括机械和电气两大部分的工作。电子产品总装的顺序是:先轻后重、先小后大、先铆后装、先装后焊、先里后外、先平后高,上道工序不得影响下道工序。电子整机装配工艺过程可分为装配准备、电子装联、总装、调试、检验、包装、入库或出厂几个环节。总装中每一个阶段的工作完成后都应进行检验,分段把好质量关,从而提高产品的一次通过率。

对整机结构的基本要求:结构紧凑,布局合理,能保证产品技术指标的实现;操作方便,便于维修;工艺性能良好,适合大批量生产或自动化生产;造型美观大方。

电子整机总装完成后,按配套的工艺和技术文件的要求进行质量检查。检查工作应始终坚持自检、互检、专职检验的“三检”原则。其程序是:先自检,再互检,最后由专职检验人员检验。通常,整机质量的检查包括外观检查、装联的正确性检查、安全性检查、绝缘电阻的检查和绝缘强度的检查等。