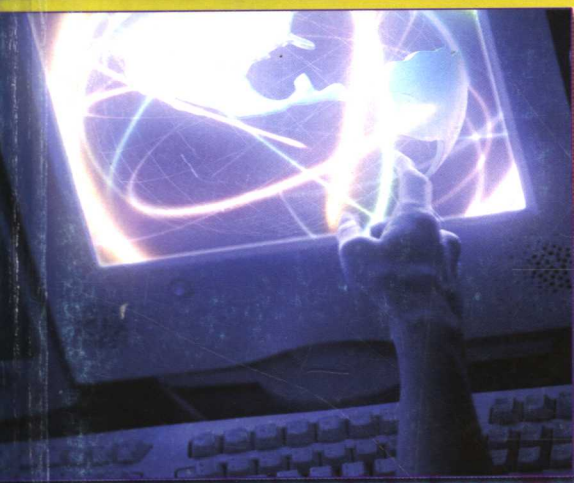


高等职业学校电子信息类、电气控制类专业系列教材

电子技术实践及仿真

孙丽霞 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等职业学校电子信息类、电气控制类专业系列教材

电子技术实践及仿真

孙丽霞 主 编

宋嘉玉 副主编

内容提要

本书是依据高等职业学校电类电子线路实验和电子技术基础课程设计教学基本要求,并参考部分院校的教学大纲编写而成的。

本书是集电子技术实践基础、实验、课程设计、计算机仿真于一体的高等职业技术教育实践性教材。全书共分为6章,主要内容包括:电子技术实践基础、模拟电子技术实验及仿真、数字电子技术实验及仿真、模拟电子技术课程设计、数字电子技术课程设计及电子电路计算机仿真——EWB的应用等。全书强调以职业能力培养为主线,注重理论联系实际,强化基础训练,对培养学生的动手能力和初步设计能力起指导作用。

本书可作为五年制高等职业院校、其他高等职业技术学院、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校选用教材,同时也可供课程实践指导教师和从事电子技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实践及仿真 / 孙丽霞主编. —北京:高等教育出版社, 2005

ISBN 7-04-015646-6

I. 电... II. 孙... III. ①电子技术-实验-高等学校:技术学校-教材②电子电路-计算机仿真-高等学校:技术学校-教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 109207 号

策划编辑 韦晓阳 责任编辑 王卫民 封面设计 于涛 责任绘图 朱静
版式设计 张岚 责任校对 康晓燕 责任印制 韩刚

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 16.25
字 数 400 000

版 次 2005 年 1 月第 1 版
印 次 2005 年 1 月第 1 次印刷
定 价 20.20 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号:15646-00

前 言

为了适应现代电子技术的飞速发展,突出高等职业技术教育的特色,加强电类专业学生电子技术基本技能和工程实践能力的培养,适应人才市场和岗位群的能力要求,培养生产一线高素质电气电子技术人才,本书依据高等职业技术教育电子线路实验和电子技术基础课程设计教学大纲编写,是集模拟电子技术实验、数字电子技术实验、课程设计与计算机仿真于一体的高等职业技术教育实践性教材。

根据电类专业生产一线人才的技术岗位要求,编写中拟贯彻以能力培养为主线,以理论指导实践,突出应用性、针对性的原则,加强软件与硬件技术的沟通,增强电子技术基本技能和计算机仿真能力的培养。内容叙述力求深入浅出,将知识点和能力点相结合;传统实验和计算机仿真相结合;硬件仿真和软件仿真相结合。实验设备选取通用型,便于各校安排教学。实验内容既有测试性、验证性实验,又有综合性、设计性实验,每个实验都安排有计算机仿真结果。课程设计选题尽量与工程实际贴近,使学生通过课程设计的训练,对电子技术工程应用有一个较全面的了解,以便培养学生的电子技术应用能力。

本教材力求体现以下特点:

(1) 有指导性和启发性。着眼于对学生创新能力的培养,结合学生已学的知识,适于学生自学和应用。

(2) 覆盖面宽。适用于“模拟电子技术”、“数字电子技术”课程实验和课程设计,结合不同专业内容有可选性。既拓宽知识面,又可供不同学校根据具体情况选用。

(3) 与教学改革紧密结合。综合性、设计性实验和课程设计环节符合培养学生动手能力、工程实践能力和创新能力的教改目标,为培养高素质人才打下良好基础。

(4) 实用性强。本书部分课题及内容融入编者在电子技术工程实践中的经验,如常用元器件检测方法和常见电路调试方法等,具有工程实用性。

(5) 内容新。既有基础实践能力的培养,又有反映时代进步的新知识、新工艺、新技术内容和新的实验方法和手段。

本教材的构架完整,选用灵活,即可配合模拟电子技术、数字电子技术的课堂教学,也可作为实验教学独立设课的教学用书。由于专业不同对教学内容会有所不同,各校可结合具体情况予以舍取。

本教材既适用于三年制电类专业,也适用于五年制电子、信息、通信类专业学生使用。

本教材由孙丽霞任主编,宋嘉玉任副主编,徐健、徐琼燕参加了编写。其中,宋嘉玉编写了第二章和第四章,徐健编写了第三章,孙丽霞和徐琼燕共同编写了第六章,孙丽霞编写了第一章、第五章和附录,并负责全书的统稿。

本书由陈梓城教授审稿,他对编写提纲及书稿提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中错误和不足之处在所难免,恳请同行和读者批评指正。

编 者

2004 年 8 月

郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街 4 号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)64014089 64054601 64054588

目 录

前言	I	2.2 整流滤波电路的测试	66
绪论	1	2.3 单管共射放大电路	69
第1章 电子技术实践基础	7	2.4 射极跟随器	72
1.1 电子测量的基本知识	7	2.5 负反馈放大器	75
1.1.1 测量误差	7	2.6 差分放大器	78
1.1.2 测量结果的处理	9	2.7 集成运算放大电路的线性应用	79
1.2 常用电子元器件	11	2.8 集成运算放大电路的非线性应用	86
1.2.1 电阻器	11	2.9 正弦波振荡电路	88
1.2.2 电容器	15	2.10 低频功率放大电路	91
1.2.3 电感器	18	2.11 三端集成稳压电路	95
1.2.4 半导体二极管	21	2.12 综合实验(一)——热释电红外线探测报警器的组装和调试	97
1.2.5 半导体三极管	24	2.13 综合实验(二)——有线对讲机电路的组装与调试	99
1.2.6 集成电路	27	第3章 数字电子技术实验及仿真	102
1.3 常用电子仪器的使用	31	3.1 分立元件门电路的功能测试	102
1.3.1 电子仪器的使用与维护	31	3.2 常用集成逻辑门电路的功能测试	106
1.3.2 数字万用表	33	3.3 OC门和三态门的功能测试及其应用	109
1.3.3 电子电压表	36	3.4 编码器和译码器	112
1.3.4 直流稳压电源	37	3.5 数据选择器和分配器	116
1.3.5 低频信号发生器	39	3.6 触发器电路的功能测试	119
1.3.6 函数信号发生器	41	3.7 数据寄存器、移位寄存器及其应用	124
1.3.7 示波器	43	3.8 计数器	128
1.3.8 晶体管特性图示仪	46	3.9 计数、译码、显示综合实验	133
1.3.9 数字频率计	50	3.10 555定时器的功能测试及其应用	136
1.4 电子电路的安装、调试与故障排除	53	3.11 数模转换器	139
1.4.1 电子电路的读图	53	3.12 模数转换器	142
1.4.2 电子电路的安装	54		
1.4.3 电子电路的调试	58		
1.4.4 电子电路的故障排除	59		
思考题	62		
第2章 模拟电子技术实验与仿真	63		
2.1 二极管及三极管特性的测试	63		

3.13 综合实验(一)——触摸声光发生器	144	5.3.2 出租车计价器控制电路的设计	208
3.14 综合实验(二)——四状态逻辑测试笔	145	5.3.3 智力竞赛抢答器逻辑电路的设计	210
第4章 模拟电子技术课程设计	148	5.3.4 转速测量显示逻辑电路的设计	211
4.1 模拟电子技术设计基础	148	5.3.5 家用电风扇控制逻辑电路的设计	213
4.1.1 概述	148	第5章 电子电路计算机仿真——EWB的应用	215
4.1.2 模拟电路的设计方法	149	6.1 EWB 软件简介	215
4.2 模拟电子技术课程设计示例	150	6.1.1 功能及特点	215
4.2.1 集成电路音响放大器的设计	150	6.1.2 基本操作方法	215
4.2.2 音乐彩灯控制器的设计	157	6.2 模拟电子电路的仿真分析	236
4.2.3 函数信号发生器的设计	165	6.2.1 单相半波整流电容滤波电路的仿真	236
4.3 模拟电子技术课程设计课题	170	6.2.2 三极管单级放大电路的仿真	238
4.3.1 集成音响放大器的设计	170	6.2.3 电压串联型负反馈放大电路的仿真	240
4.3.2 简易函数信号发生器的设计	171	6.3 数字电子电路的仿真分析	243
4.3.3 小功率限电器的设计	172	6.3.1 JK 触发器组成分频器电路的仿真	243
4.3.4 简易数控直流电源的设计	173	6.3.2 多谐振荡器电路的仿真	245
4.3.5 测量放大器的设计	174	6.3.3 数据采集电路的仿真	246
第5章 数字电子技术课程设计	176	附录	249
5.1 数字电子技术课程设计基础	176	附录 A 通用电阻的标称值系列	249
5.1.1 概述	176	附录 B 电阻器的型号命名法	250
5.1.2 组合逻辑电路的设计	179	附录 C 电容器的型号命名法	251
5.1.3 时序逻辑电路的设计	179	附录 D 半导体分立器件的型号命名法	251
5.1.4 数字系统的设计	179	附录 E 集成电路的型号命名法	252
5.2 数字电子技术课程设计示例	180	参考文献	253
5.2.1 多功能数字钟电路的设计	180		
5.2.2 数字频率计电路的设计	195		
5.2.3 交通信号灯控制逻辑电路的设计	201		
5.3 数字电子技术课程设计课题	206		
5.3.1 复印机数显逻辑控制电路的设计	206		

绪 论

一、电子技术实践课的任务、意义及基本要求

电子技术实践包括电子技术实验、课程设计等内容,它是对学生进行专业技能训练,提高学生工程实践能力的一个重要实践环节。

随着电子技术的飞速发展,电子技术的应用已渗透到各个领域。电类专业高职人才在生产一线从事电子设备安装、调试、维修、工艺编制及技术改造等技术工作。为适应岗位工作要求,通过电子技术实践的教学,培养以下技能与能力:

- 焊 具有较熟练的焊接与拆焊技能。
- 选 具有选用、测试、筛选常用电子元器件的能力。
- 装 会正确组装电子电路和小型电子产品。
- 测 会正确使用常用电子仪器设备测试电参数。
- 调 会调试电子电路和小型电子产品或控制装置。
- 制 会设计、制作印制电路板。
- 校 能校验电子电路和小型电子产品。
- 修 具有排除电子电路常见故障的能力。

本教材包括电子技术实验、课程设计和计算机仿真三大部分内容。

电子技术实验培养学生测试电子电路和使用电子仪器的能力。通过电子元器件识别、性能测试和对各种电子电路性能指标的测试,巩固所学电子技术理论知识,学会正确使用仪器和科学地测量电路方法,并通过综合性实验和设计性实验进行简单电子电路的设计、组装、调试、故障排除等训练,提高动手能力,为今后从事电子技术应用工作打下良好基础。

电子技术课程设计训练学生综合运用知识的能力及电子电路组装、调试能力和创新能力。通过查阅资料、选择方案、设计电路、安装调试、撰写报告等环节,系统地进行电子电路工程实践训练,为学生今后有效地应用电子技术打好基础。

电子技术计算机仿真是利用 EWB 软件模拟一个实际电子实验工作平台,对电子技术课程中所有基本电路进行虚拟实验(又称仿真实验)。在电子工作台上,可以绘制电路原理图、连接虚拟仪器、测试电路参数、显示波形及观察测试结果等。有利于提高学生对理论知识的理解和掌握,并熟悉常用电子仪器的使用方法和电子电路的测量方法,便于比较理论分析与工程实际之间的异同,提高学生在电子技术方面的分析、实践和开发设计能力。

电子技术实践课的基本要求是:

- (1) 巩固和加深学生对电子电路基本知识的理解,提高他们综合运用电子技术课程所学知

识的能力。

(2) 能正确、熟练地使用电子毫伏表、信号发生器、示波器等常用的电子仪器、仪表。

(3) 熟悉电子技术中常用元器件的性能和使用方法,能初步学会按照原理图连接和组成简单的电子线路。

(4) 能准确读取、记录实验数据,并能进行基本的分析和处理。

(5) 培养学生根据课题需要选学参考书籍,查阅手册、图表和文献资料检索的能力。通过独立思考,深入钻研有关问题,学会自己分析并解决问题的方法。

(6) 通过电路方案的分析、论证和比较,设计计算和选取元器件,电路组装、调试和检测等环节,初步掌握简单实用电路的分析方法和工程设计方法。

(7) 能对一般电子电路作静态和基本的动态调试,学会检查和排除一般电路故障的步骤和方法,学会整机指标的测试方法。

(8) 能按设计任务书的要求,完成设计任务,编写设计说明书,正确地反映设计与实验的结果,正确地绘制电路图。

(9) 培养创新能力,提高学生综合素质。

(10) 培养严谨、细致、踏实的工作作风和科学态度,团结协作的团队精神和爱护实验设备的良好习惯,注意操作规范,安全用电。

二、实验的基本步骤及要求

1. 实验安全操作规则

在实验中,为了防止仪器、仪表等设备的损坏,保证人身安全,实验者必须严格遵守如下安全操作规则:

(1) 熟悉实验室的直流与交流电源,了解其电压、电流的额定值和控制方式,区分直流电源的正、负极性和交流电源的相线和中性线。

(2) 熟悉仪器、仪表的规格、型号和使用方法,要特别注意额定值和量限。

(3) 通电前,要做好准备,然后再接通电源。

(4) 实验中不得用手触摸线路中带电的裸露导体。装接或改接线路时,应断开电源,电容应用导线短接放电(安全电压 36 V 以下,安全电流 100 mA 以下)。

(5) 发现异常情况,如仪表指针猛打、有焦臭味、冒烟、闪弧、有人触电等,应立即切断电源,报告指导老师,查找原因,排除故障。

(6) 实验要规范有序,不能忙乱,应按操作步骤实施实验。不准乱动与本次实验无关的仪器设备。实验完毕后,应将实验仪器设备回复到常位,并切断电源。

2. 实验的基本步骤

(1) 实验前必须充分预习有关的基础理论和指导书上的相关内容,熟悉本次实验的目的和要求,了解实验的基本原理和线路连接,有针对性地进行实验,必要时还应事先写好预习实验报告。

(2) 学生按本实验所开组数进行编组,并按实验具体步骤安排适当分工,如操作、指挥、记录等。

(3) 检查本次实验所需的仪器仪表及元器件是否齐全、完好,仪表的类型和量限是否符合规格,并合理布置实验现场。

(4) 正确连接实验线路,连线要可靠,线路要清晰有序。对初次实验或较复杂的实验线路,

须经老师检查无误后,方可接通电源。若有异常现象发生,应及时断电。

(5) 按步骤细心操作,先观察现象,后记录数据,要求能正确读取数据,并判断其合理性。若实验结果(数据、波形等)正确无误,经老师审定后方可拆线。

(6) 拆线前,要先切断电源,再拆除线路,整理仪器仪表设备,清理元器件和导线,协助搞好清洁卫生。经老师允许后,方可离开实验室。

3. 撰写实验报告

学生对实验的全过程作出系统的、综合的实验报告,不仅能训练其编制科技报告或技术资料的能力,同时也能使实验从理论上进一步得到总结和提高。

(1) 对实验报告的要求

① 实验目的是根据不同实验内容而提出的不同要求。有的要求用基本理论知识来分析问题;有的要求经过操作来熟练掌握某种常用仪器的使用;有的要求培养正确的连接电路的习惯;有的要求学会故障排除的实验技巧;有的要求用计算机软件仿真等。

② 实验数据与试验结果是对电路进行分析研究的依据。因此,实验取得的资料,如数据、图形等应真实地反映到实验报告中去,不允许随意更改或主观臆断。若因操作错误出现偏差,应当重做实验,重新取得数据。

③ 实验过程是培养实验技能,提高学生动手能力,增加实践经验的过程。应善于总结实验中的经验和不足,并将其整理记录到实验报告中,以便对后面的实验提供帮助。

④ 实验报告应做到:文字流畅,语言准确,书写整齐、清楚,数据完整,图表规范,分析合理,结论有据等。

(2) 实验报告的主要内容

① 实验名称。实验名称是实验的中心内容,是对所做实验的最好概括。包括实验日期,实验者班级、姓名、学号等。

② 实验目的。实验目的是实验的宗旨,要有明确的目的,才能完成好实验。应简明地概括本实验通过何种方法,训练哪些技能,达到怎样的要求等。

③ 实验原理。实验原理主要是某个基本理论的应用,实验线路的设计,测量仪器的选择和实验方案的确定等。

④ 实验仪器与设备。要求列写出完成本次实验所需的仪器和设备。

⑤ 实验线路。实验线路与理论中的原理图是不同的,它是考虑到仪器、仪表的接入而设计的测量电路。要求画出实验电路图与测试电路图,要标明元器件和参量以及仪器、仪表的名称。

⑥ 实验记录。应记录实验过程中的数据、图形及绘制的曲线、图表。

⑦ 实验分析与结论。分析实验结果,写出实验结论,包括对本次实验的认识、体会等。

4. 实验报告格式

实验报告

班级:

姓名:

学号:

日期:

预 习	实验名称:
	实验目的:

续表

预 习	实验原理:
	实验数据表格:
实 验	实验电路接线图:
	实验数据记录或波形: 指导老师签字: 日期:
实 验 后 工 作	实验设备:
	数据处理:
	实验分析与结论:
	成绩考核:
	优 良 中 及格 不及格

三、课程设计的基本步骤及要求

课程设计的任务一般是让学生设计或设计组装并调试一个简单的电子电路。需要学生综合运用电子技术的基本知识,通过调查研究、查阅资料、方案论证与选定,设计和选取电路及元器件,组装和调试电路,测试指标及分析讨论,完成设计任务。一般还要进行答辩。

课程设计主要是围绕一门课程的内容所做的综合练习。课程设计课题选择是否合适,直接关系到学生完成的情况和教学效果,因此,课题应出自实际电路,一般没有固定的答案。但由于课题电路比较简单、定型,又不是真实的生产、科研任务,所以学生基本上能有章可循,完成起来并不困难。

课程设计的目的是让学生从理论学习的轨道上逐步引向实际工程方面,把熟悉的定性分析、定量计算逐步和工程估算、实验调整等手段结合起来,初步掌握工程设计的步骤和方法,实现知识向能力的转变。这有利于为今后从事技术工作打下良好的基础。

本书共有课程设计示例 6 个,可供选用课题 10 个。这些题目的主要内容均是电子电路中学

过的知识,而且多是应用集成电路组成的实用电子装置,具有一定的实用性和趣味性,反映了电子技术的新水平。这些题目有的以模拟电路为主,有的以数字电路为主,还有包含模拟和数字电路的综合性题目。它们的设计指标不仅符合教学要求,并且都是从学生实际出发选定的课题内容,设计与安装调试方法难易适中。

1. 课程设计的基本步骤

(1) 课题分析

根据给定的课题技术指标要求,从已掌握的基本理论和查找资料入手进行充分的调查研究,从文献中收集资料和类似的电路,然后分析电路需经何种改动或电路参数需要哪些设计计算(包括元器件替换)电路性能即可达到指标要求等,做到心中有数,从而对课题的可行性做出判断。

(2) 方案论证

根据系统总的要求,把电路划分成若干个功能块,从而得到系统框图,每个框图即是一个单元电路。将总体指标分配给每个单元电路,然后根据各单元电路所要完成的具体任务来决定单元电路的结构。为完成总的任务,由系统框图到单元电路的具体结构是多样的,经过较为详细的方案比较和论证,以技术上的可行性和较高的性能价格比为依据,最后选定方案。

(3) 方案实现

尽量选用市场上可以提供的中、大规模集成电路等电子器件,并通过应用性设计来实现各功能块的要求以及功能块之间的协调关系。对所选单元电路性能参数进行计算,对所选元器件进行估算。

方案实现的要点是:

① 熟悉目前数字或模拟集成电路等电子元器件的分类、特点,从而合理选择所用的电子器件,要求工作可靠、价格低廉。

② 对所选的器件进行应用性设计时,要根据所用器件的技术参数和应完成的任务,正确估算外围电路的参数,对数字集成电路要正确处理各功能输入端。

③ 要保证各功能器件协调一致地工作,对于模拟系统,按照需要采用不同的耦合方式把它们连接起来;对于数字系统,协调工作主要通过控制器来完成。

(4) 安装调试

首先将所设计的电子系统在实验板或逻辑箱上进行安装与调试,其目的是使所设计的电路达到任务书中各项要求。

安装与调试过程应按照先局部后整机的原则,根据信号的流向逐块装调,使各功能块都要达到各自技术指标的要求,然后将它们连接起来进行统调和系统测试。调试包括调整与测试两部分,调整主要是调节电路中可变元器件或更换元器件,使之达到性能的改善。测试是采用电子仪器测量相关点的数据或波形,以便准确判断设计电路的性能。

装配前必须对元器件进行性能参数测试。根据设计任务的不同,有时需要进行印制电路板的设计制作,并在印制电路板上进行装配调试。

2. 课程设计的基本要求与安排

(1) 基本要求

教师首先要向学生布置设计任务书。课程设计任务书应写明:设计题目、主要技术指标和要求、给定的条件和所用的仪器设备及参考文献等。

学生在教师指导下选择设计方案,进行设计计算,完成预设计。教师可根据设计任务提出参考书目,教给学生查阅资料、使用工具书的方法。对于设计中可能碰到的重点和难点,通过典型例题的分析和讲解,启发学生的思路。设计中教师要提高学生独立分析、解决问题的能力。引导学生明确设计要求,找出实现要求的方法。鼓励学生开动脑筋、大胆探索,发挥主动性和创造性。

预设计方案经过教师审阅通过后,可以进行电子电路的安装和调试。安装调试是课程设计的重点和难点,教师要加强对学生的指导。尤其在电路出现异常现象和故障时,要帮助学生查找原因、调整电路,处理疑难问题。

电路调试达到设计要求后,要对设计的全过程作出系统总结报告,按照一定的格式写出课程设计报告。

课程设计强调学生要独立完成设计任务,教师要树立“以学生为中心”的思想,为学生做好各种服务;要熟练掌握设计中的重点、难点,发挥教师的引导作用;注意对学生的全面训练,即教书又育人,使学生为从事电子电路实际工作打下良好基础。

(2) 时间安排

各学校可根据具体情况安排课程设计学时,建议安排两周为宜。课程设计一般可分为三个阶段:

① 预设计阶段。包括教师授课、方案论证、设计计算和完成预设计。这一阶段约占总学时的30%。

② 安装调试阶段。包括组装电路、调试和检测,完成实际电路。这一阶段约占总学时的50%。

③ 总结报告阶段。包括总结设计工作,写出设计说明书和最后的考核。这一阶段约占总学时的20%。

3. 撰写课程设计报告

设计报告主要内容有:

(1) 课题名称

(2) 设计任务及主要技术指标和要求

(3) 课题分析

查阅相关资料,按照给定设计任务中的技术指标和要求进行课题分析。

(4) 方案论证

确定方案。对于考虑的方案,经过比较后,选择最终方案。

(5) 方案实现

说明单元电路的设计和元器件的选择;画出完整的电路图和必要的波形图,并说明主要工作原理;计算出各元器件的主要参数,并标在电路图中恰当的位置。

(6) 安装调试

说明安装调试步骤,画出印制电路板图和装配图;说明安装调试中遇到的问题,解决的方法及其效果;整理性能测试数据,并分析是否满足设计要求。

(7) 元器件清单

(8) 收获、体会和改进设计的建议

(9) 主要参考书目

第1章

电子技术实践基础

1.1 电子测量的基本知识

1.1.1 测量误差

电子测量的方法一般分为直接测量法和间接测量法两种。直接测量法在测量过程中能从仪器、仪表上直接读出被测参量的波形或数值的大小;间接测量法是先对各间接参量进行直接测量,将测得的数值代入公式,通过计算得到待测参数。

一、测量误差的定义

电子测量获得的数据因测量仪器、测量方法、测量环境、人为因素等的影响,测量结果往往偏离真实数值,产生测量误差。

在电子测量中,仪器仪表的误差量一般可用绝对误差、相对误差和引用误差来表示。

1. 绝对误差

绝对误差是指测量仪器仪表的指示值 A_x 与被测量真实值 A_0 之间的差值,即

$$\Delta_x = A_x - A_0 \quad (1.1.1)$$

式中,真实值 A_0 是一个理想值,一般用标准仪表的指示值来代替。绝对误差的单位与被测量的单位相同。

例如,已知某电流表的真实值为 50 mA 的电流,用电流表 1 测量时指示值为 50.1 mA,用电流表 2 测量时指示值为 49.8 mA,则它们在测量 50 mA 电流时的绝对误差为

$$\Delta_{x1} = (50.1 - 50) \text{ mA} = 0.1 \text{ mA}$$

$$\Delta_{x2} = (49.8 - 50) \text{ mA} = -0.2 \text{ mA}$$

由此可见, Δ_x 为正时,测量的值偏大, Δ_x 为负时,测量的值偏小。测量同一个量时, Δ_x 的绝对值越小,测量的结果越准确。

2. 相对误差

相对误差是指测量的绝对误差 Δ_x 与被测量真实值 A_0 之间的比值(通常用百分数表示),即

$$\gamma_x = \frac{\Delta_x}{A_0} \times 100\% \quad (1.1.2a)$$

在实际测量中,常常用仪器仪表的指示值 A_x 来代替真实值 A_0 。进行相对误差的近似估算,即

$$\gamma_x = \frac{\Delta_x}{A_x} \times 100\% \quad (1.1.2b)$$

例如,用某电流表测量真实值为 80 mA 的电流时,指示值为 80.8 mA,绝对误差为 0.8 mA;测量真实值为 20 mA 的电流时,指示值为 20.1 mA,绝对误差为 0.1 mA。两次测量的绝对误差和相对误差分别为

$$\Delta_{x1} = (80.8 - 80) \text{ mA} = 0.8 \text{ mA}$$

$$\Delta_{x2} = (20.1 - 20) \text{ mA} = 0.1 \text{ mA}$$

$$\gamma_{x1} = \frac{0.8}{80} \times 100\% = 1\%$$

$$\gamma_{x2} = \frac{0.1}{20} \times 100\% = 0.5\%$$

从本例中可以看出,前者的绝对误差大于后者,但前者的相对误差要小于后者。从测量的准确度看,显然前者的误差要比后者小,准确度高。因此,在工程上,通常都用相对误差计算测量结果的误差。

3. 引用误差

引用误差是指测量的绝对误差 Δ_x 与被测量仪表的满度值 A_m 之间的比值(通常用百分数表示),即

$$\gamma_n = \frac{\Delta_x}{A_m} \times 100\% \quad (1.1.3)$$

例如,上例中所用电流表的量限为 100 mA,则引用误差为

$$\gamma_{n1} = \frac{0.8}{100} \times 100\% = 0.8\%$$

$$\gamma_{n2} = \frac{0.1}{100} \times 100\% = 0.1\%$$

我国电工仪表的准确度等级 S 是按照引用误差分级的,依次可划分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 及 5.0 等 7 级。例如,2.5 级的电表,表示引用误差范围为 $\pm 2.5\%$,并在面板上标有 2.5 的符号。

为了减少测量中的示值误差,在选择量程时应使指针尽可能接近满度值。一般最好工作在不小于满度的 $2/3$ 以上的区域。

二、测量误差的来源

为了减小测量误差,提高测量结果的准确度,必须明确测量误差的主要来源,以便估计测量误差并采取相应的措施减小测量误差。测量误差的主要来源有以下几方面。

1. 仪器误差

仪器误差是由于仪器仪表本身的不完善及仪器使用过程中元器件老化、机械部件磨损等因素而使测量仪器带有的误差。例如,电桥中的标准电阻、示波器的探极线等都含有误差。仪器仪表的零位偏移、刻度不准确等引起的误差均属于仪器误差。减小仪器误差的主要途径是根据具体测量任务,正确地选择测量方法和使用测量仪器。

2. 使用误差

使用误差又称操作误差,是由于对测量仪器操作使用不当而造成的误差。例如,将按规定应垂直放置的仪表水平放置、仪表接地不良、测试引线太长而造成损耗或未考虑阻抗匹配、未按操作规程进行预热及调节校准后再测量等引起的误差均属于使用误差。减小使用误差的主要途径是提高测量操作技能,严格按照仪器使用说明书规定的方法步骤进行操作。

3. 人身误差

人身误差是由于测量者的分辨能力、视觉疲劳、固有习惯或缺乏责任心等因素引起的误差。例如,读错刻度、念错读数等。减小人身误差的主要途径是提高操作者的操作技能和责任心,采用更合适的测量方法和采用数字式显示的客观读数等。

4. 影响误差

影响误差是指由于各种环境因素与要求条件不一致而造成的误差。最主要的影响因素是环境温度、电源电压和电磁干扰。当环境条件符合要求时,影响误差通常可以不予考虑。

5. 方法误差和理论误差

方法误差是指由于测量方法不合理所造成的误差。例如,用普通万用表测量电路中高阻值电阻两端的电压,由于万用表电压挡内阻不高而形成分流作用所引起的误差。理论误差是指用近似公式或近似值计算结果所引起的误差。

三、测量误差的分类

根据测量误差的性质、特点及产生原因,可将其分为系统误差、随机误差和粗大误差。

1. 系统误差

系统误差是指在同一条件下,多次测量同一量值时,误差的绝对值和符号保持不变,或在条件改变时,按一定规律变化的误差。例如,仪表刻度的偏差,使用时的零点不准,温度、湿度、电源电压等变化造成的误差。系统误差的特点是,测量条件一经确定,误差即为一确定数值。用多次测量取平均值的方法,并不能改变误差的大小。系统误差产生的原因很多,但总是有规律的。针对其产生的根源采取一定的技术措施,系统误差是可以减小和消除的。

2. 随机误差

随机误差又称偶然误差,它是指在相同条件下,多次测量同一量值时,误差的绝对值和符号均以不可预定的方式变化的误差。例如,温度及电源电压频繁波动,电磁干扰和测量者感觉器官无规律的微小变化等引起的误差。随机误差在足够多次测量时,其总体服从统计规律,可以通过对多次测量值取算术平均值的方法来减小随机误差对测量结果的影响。

3. 粗大误差

粗大误差也称为过失误差,它是指在一定测量条件下,测量值明显偏离实际值所产生的误差。主要原因有:测量方法不当或错误,如用普通万用表电压挡直接测量高内阻电源的开路电压等;测量操作疏忽或失误,如未按规程操作,读错读数或单位,记录或计算错误等;测量条件的突然变化,如电压突然增高或降低,雷电干扰,机械冲击等引起测量仪器示值的剧烈变化等。在测量过程中要避免和剔除粗大误差。

1.1.2 测量结果的处理

测量结果通常用数据和图形两种形式表示。用数据表示的测量结果,可以是一个数据,也可