

高等职业教育“十二五”规划教材

电子电路测试 与实训

许胜辉 主编 杨少春 主审



Electronic Circuit Testing and Training

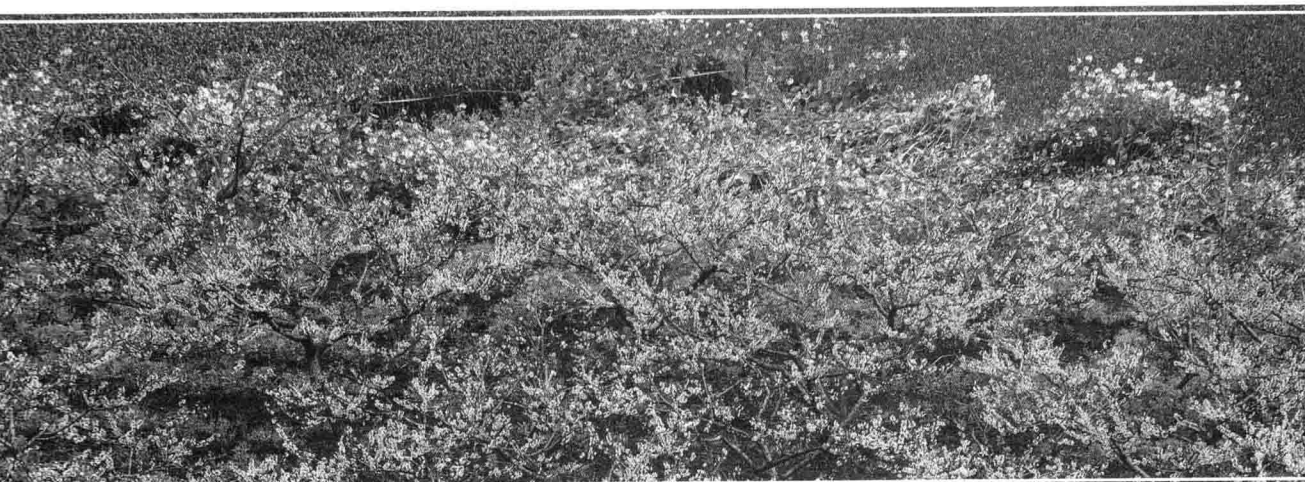
引入专业实践，内容通俗易懂
突出基本操作，关注技术应用
注重理实结合，培养专业技能

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

等职业教育“十二五”规划教材

电子电路测试 与实训

许胜辉 主编 杨少春 主审



Electronic Circuit Testing
and Training

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

电子电路测试与实训 / 许胜辉主编. — 北京 : 人民邮电出版社, 2013.9
高等职业教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-115-32075-9

I. ①电… II. ①许… III. ①电子电路—电路测试—
高等职业教育—教材 IV. ①TN707

中国版本图书馆CIP数据核字 (2013) 第141878号

内 容 提 要

本书是作者根据高等职业院校电子、电气信息类专业电子电路测试与实训教学的基本要求, 结合多年理论教学与实践教学经验, 为适应当前教学改革和教学体系的需求而精心编写的。全书分为3篇, 第1篇介绍电子电路测试与实训基础; 第2篇介绍常用电子测量仪器的主要性能及其使用方法; 第3篇为电子电路测试与实训部分, 旨在培养学生电子技术的基本技能和能力。实训内容及难易程度覆盖了不同层次的教学要求, 各任课教师可根据实际情况灵活选用。

本书可作为高职、高专电子信息类各专业的实践教学教材, 还可供从事电子技术的工程技术人员作为参考资料。

- ◆ 主 编 许胜辉
- 主 审 杨少春
- 责任编辑 韩旭光
- 责任印制 沈 蓉 杨林杰

- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
- 邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
- 网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京艺辉印刷有限公司印刷

- ◆ 开本: 787×1092 1/16
- 印张: 12
- 字数: 292 千字

2013 年 9 月第 1 版
2013 年 9 月北京第 1 次印刷



定价: 32.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

前 言

电子电路测试与实训是一门实践性和应用性很强的专业基础课,电子电路测试与实训教学是电子类课程体系中非常重要的,必不可少的一个教学环节。本书是编者根据高职学校电子、电气信息类专业电子电路测试与实训教学的基本要求,在研究国内外同类教材的基础上,结合多年的理论实践教学经验,为适应当前教学改革和教学体系的需求而编写的。

本书的编写目的就是希望通过实训学习,巩固学生对理论知识的掌握,锻炼其动手能力,激发其创新意识,培养学生的创新能力。本书内容强调“三基”,即基础理论、基本知识和基本技能,体现了“思想性、科学性、先进性、启发性和适应性”的原则。

根据电子电路测试与实训的特点以及分层次教学的需要,全书将电子电路测试与实训的内容分为基础性实训、基础设计性实训与综合实训3个层次,内容涵盖模拟电路实训与数字电路实训两大部分。基础性实训的目的在于训练学生的基本实训技能,包括常用电子仪器的使用方法、常用元器件的选用标准、电子电路实训基本物理量的测量方法、电子电路中常见故障的基本排除方法等。基础设计性实训要求学生在掌握基础性实训的基础上,根据设计任务用给定的元器件与测试仪器,独立设计一些能够完成一定基本功能的常用的单元电路实训。复杂的电子电路系统都是由一些单元电路连接组合而成的,学生通过设计单元电路,可为以后设计复杂的电子电路系统打下基础。综合设计性实训则要求学生根据设计任务,自己确定设计方案,选择合适的元器件与测试仪器,拟定实训步骤,设计出一个比较复杂的电子电路系统,并给出该系统性能指标的测试结果。其目的是提高学生的综合设计能力,为日后成为一名高技能的电子工程师打基础。

全书共分3篇。第1篇电子电路测试与实训基础介绍了学生在做电子电路测试与实训之前应该掌握的一些电子电路测试与实训的基本知识,包括电子电路测试与实训的基本特点,以及电子电路测试与实训中的安全问题、测量误差的处理、测量数据的处理、电子电路测试与实训中常用物理量的测量方法、电子电路测试与实训的调试方法与故障排除方法等;第2篇介绍常用电子测量仪器的主要性能及其使用方法;第3篇为电子电路测试与实训,内容包括模拟电路和数字电路实训等19个实训项目;在附录部分介绍了电子元器件的基本知识以及在实际应用中所需的参数和功能等,供学生查阅。实训项目中既有基本技能的训练,也有应用性和部分设计性技能的训练。实训附有实训目的、实训技能、技能训练、注意事项、思考题和实训考核,实训内容及难易程度涵盖了不同层次的教学要求,各院校可根据自己的情况灵活安排教学内容。

本书由许胜辉副教授主编,杨少春教授主审。本书在编写过程中,得到了武汉职业技术学院电子信息工程学院电子技术实训中心全体老师的帮助和支持,在此一并表示感谢。

鉴于编者的水平和创作条件所限,书中疏漏之处在所难免,恳望广大师生和读者指正。

编 者

于武汉职业技术学院

2013年3月

目 录

第 1 篇 电子电路测试与实训基础.....1

- 1.1 电子电路测试与实训的基本特点.....1
 - 1.1.1 电子电路测试与实训的目的和意义.....1
 - 1.1.2 电子电路测试与实训的特点.....1
 - 1.1.3 电子电路测试与实训的基本要求.....2
- 1.2 电子电路测试与实训的安全操作.....3
 - 1.2.1 人身安全.....3
 - 1.2.2 仪器仪表安全.....4
- 1.3 电子电路测试与实训的测量误差.....4
 - 1.3.1 测量误差的来源.....5
 - 1.3.2 测量误差的分类及消除措施.....5
 - 1.3.3 测量误差的表示方法.....6
- 1.4 电子电路测试与实训的数据处理.....7
 - 1.4.1 测量结果的数值处理.....7
 - 1.4.2 测量结果的图形处理.....9
- 1.5 电子电路测试与实训中基本物理量的测量方法.....9
 - 1.5.1 电流的测量方法.....9
 - 1.5.2 电压的测量方法.....10
 - 1.5.3 时间的测量方法.....10
 - 1.5.4 频率的测量方法.....10
- 1.6 电子电路测试与实训的调试.....10
 - 1.6.1 通电前的检查.....11
 - 1.6.2 通电观察.....11
 - 1.6.3 静态调试.....11

- 1.6.4 动态调试.....11
- 1.6.5 调试中需要注意的问题.....11
- 1.7 电子电路测试与实训的故障检测.....12
 - 1.7.1 常见的故障现象.....12
 - 1.7.2 常见故障的产生原因.....12
 - 1.7.3 检查故障的一般方法.....13

第 2 篇 常用电子测量仪器的主要性能及其使用方法.....14

- 2.1 函数信号发生器/计数器 EE1641B.....14
 - 2.1.1 主要技术指标.....14
 - 2.1.2 主要旋钮的作用.....14
 - 2.1.3 函数信号发生器的使用方法.....15
- 2.2 双踪示波器 COS5020.....16
 - 2.2.1 主要技术指标.....16
 - 2.2.2 COS5020 型双踪示波器的组成框图.....16
 - 2.2.3 主要旋钮的作用.....16
 - 2.2.4 COS5020 型双踪示波器的操作步骤及示例.....18
- 2.3 半导体管特性图示仪 XJ4810.....19
 - 2.3.1 主要技术指标.....20
 - 2.3.2 XJ4810 图示仪的组成框图.....20
 - 2.3.3 XJ4810 的使用方法与应用举例.....20
- 2.4 交流毫伏表与直流稳压电源.....22
 - 2.4.1 HG2170 双通道交流毫伏表.....22
 - 2.4.2 DH1718-B 型直流稳压电源.....22



第3篇 电子电路测试与实训23

实训 1	常用电子仪器的 使用(一)	23
实训 2	常用电子仪器的 使用(二)	26
实训 3	晶体管参数测试及应用	30
实训 4	单极晶体管阻容耦合 放大器的性能测试	37
实训 5	负反馈放大器的性能测试	44
实训 6	集成运算放大器的 性能测试	49
实训 7	基本运算放大电路的 性能测试	56
实训 8	整流与滤波电路的 性能测试	62
实训 9	集成稳压器的性能测试	65
实训 10	音响放大电路的 电路测试	70
实训 11	TTL 与非门参数的测试	78
实训 12	小规模组合逻辑 性能的应用	83
实训 13	中规模组合逻辑电路的 应用	88

实训 14	集成触发器及其应用	94
实训 15	集成计数器、译码及 显示电路及其应用	99
实训 16	移位寄存器及其应用	109
实训 17	数/模转换器及其应用	114
实训 18	集成电路定时器 555 及其 应用	118
实训 19	综合实训	123
附:	专用芯片石英数字钟套件 装配说明	146

附录 158

附录 1	面包板的使用	158
附录 2	电阻器	159
附录 3	电容器	163
附录 4	电感器	167
附录 5	二极管	170
附录 6	三极管	173
附录 7	半导体集成电路	177
附录 8	常用集成电路外引线 的排列	180

参考文献 186

第1篇 电子电路测试与实训基础

测试与实训作为一种掌握理论知识,并进一步将理论知识应用于实践的手段,在课程教学过程中占据着极为重要的地位。实践教学和理论教学是相辅相成的,许多理论知识只有通过实践才能更清晰、更深入地理解。在实践过程中,通过具体操作,既可以验证理论知识的正确性和实用性,促进学生主动学习理论知识,还可以从中发现理论知识的近似性和局限性,培养学生独立思考、分析和解决问题的能力。电子电路测试与实训就是按教学、科研和生产的具体要求对所设计的电子电路进行安装、调试和测量的过程。

1.1 电子电路测试与实训的基本特点

1.1.1 电子电路测试与实训的目的和意义

电子电路是一门应用性极强的技术基础课,而电子电路测试与实训是该课程的重要教学环节之一。开设电子电路测试与实训的目的,就是巩固学生对理论知识的掌握,锻炼他们的动手能力,激发他们的创新意识,培养他们的创新能力,为以后成为一名高技能的电子工程师打好基础。

目前,电子电路的发展日新月异,各种各样的新技术、新器件和新电路层出不穷,并被迅速应用于生产实践中。要认识和掌握应用这些新技术、新器件和新电路,电子电路测试与实训是最为有效的途径。通过电子电路测试与实训,可以检验器件和电路的功能及适用范围;可以分析器件和电路的工作原理;可以检测电路和器件的性能指标;可以锻炼应用新的技术。作为从事电子技术工作的电子工程师应该掌握电子电路测试与实训的技能。

1.1.2 电子电路测试与实训的特点

电子电路测试与实训具有以下特点。

(1) 要正确、合理地选用电子元器件。电子元器件种类繁多,很多元器件功能相似而性能不同,不同的功能电路对于电子元器件的要求不同,如果元器件选用不当,将不会得到满意的结果,甚至会出现安全问题。

(2) 理论计算结果与实际结果有较大的差异。电子元器件特别是模拟电子元器件的特性参数分散性大(普通铝电解电容器的误差可以达到100%),因此实际电路的性能指标必然与设计要求有一定的差异,所以在实训时必须对实际电路进行调试。

(3) 各种测量仪器的非线性特性(如信号源的内阻等)将会引起测量误差。选择合适的测量仪器将会减少测量误差,但不能完全消除测量误差。因此实训结果必须要进行误差处理。

(4) 实训电路中的元器件要合理布局与正确连线。由于电路中寄生参数的存在(如分布

电容、寄生电感等)和外界的电磁干扰,即使电路原理图正确,元器件的随意布局和随意连接也可能引起电路性能的变化,甚至产生自激振荡,从而使电路不能正常工作。这种情况在工作频率较高时尤为突出。

1.1.3 电子电路测试与实训的基本要求

为了保证实训顺利完成,使实训课教学达到预期效果,学生应该按时进入实训室并在规定的时间内完成实训任务,遵守实验实训的规章制度,实训结束后整理好操作台。除此外,实训中学生还应做到以下几点。

(1) 熟练掌握各种常用电子测量仪器的主要性能和适用方法,掌握基本电路中主要参数的测试方法。

实训前要预习充分,预习的目的是进行理论准备,预习的要求是认真阅读理论教材,查阅相关资料,深入了解实训的目的和任务,掌握实训的基本原理,彻底弄清楚实训的具体内容和要解决的问题,包括需要观察哪些现象、测量哪些数据等一系列与实训有关的内容,对于综合设计性实训还要根据实训内容拟好实训步骤,选择测试方案并给出实训电路。

(2) 进入实训室实际动手操作之前,需要完成每个实训前面的仿真实训,通过仿真实训可以进一步熟悉实训原理,了解各种测试仪器的使用方法及主要参数的测试方法。仿真实训的结果,还可以用来估算实训的测量数据,判断误差大小。

(3) 合理布线以达到直观、便于检查的目的。布线原则主要有以下几点。

① 连接电源正极、负极和地的导线用不同的颜色加以区分,一般正极线用红色,负极线用蓝色,地线用黑色。

② 尽量用短的导线,防止自激振荡。

③ 根据实训台的结构特点来安排元器件的位置和电路的布线。一般应以集成电路或晶体管为中心,并根据输入与输出分离的原则,以适当的间距来安排其他元件。最好先画出实物布置图和布线图,以免发生差错。

接插元器件和导线时要非常细心。接插前,必须先用钳子或镊子把待插元器件和导线的插脚弄平直。接插时,应小心地用力插入,以保证插脚与插座间接触良好。实训结束时,应轻轻拔下元器件和导线,切不可用力太猛。注意接插用的元器件插脚和连接导线均不能太粗或太细,一般以直径 0.5mm 左右为宜,导线的剥线头长度约为 10mm。

布线的顺序一般是先布电源线与地线,然后按布线图,从输入到输出依次连接好各元器件和接线。在可能条件下应尽量做到接线短、接点少,但同时还要考虑到测量的方便。

(4) 电路布线完毕后,不要急于通电,应先对电路进行检查。

首先检查 220V 交流电源和实训所需的元器件、仪表等是否齐全并符合要求,检查各种仪器面板上的旋钮,使之处于所需的待用位置。例如,直流稳压电源应置于所需的挡级,并将其输出电压调整到所要求的数值,切勿在调整电压前随意与实训电路板接通。

对照实训电路图,对实训电路板中的元件和接线进行仔细的寻迹检查,检查各引线有无接错,特别是电源与电解电容的极性是否接反,各元件及接点有无漏焊、假焊,并注意防止碰线短路等问题。经过认真仔细检查,确认安装无误后,方可按前述的接线原则,将实验电路板与电源和测试仪器接通。

(5) 实训过程中,要严格按照仪器的操作规程正确使用仪器,严谨野蛮操作。严格按照科学的方法和正确的实训步骤进行实训。

(6) 鼓励学生在完成所要求的实训内容后,自己设计实训并动手操作。但必须要有完整的实训方案,实训前实训方案必须得到指导老师的批准,才能进行实训。

(7) 实训中出现故障时,切记第一步关掉电源,以免出现安全问题。对于故障产生原因应利用所学理论知识仔细分析,并尽量在老师的指导下独立给出解决问题的方案,以排除故障,出现故障后不分析故障原因,直接拆掉电路,重新连接,是不负责任的表现。

(8) 实训过程中,对于实训结果要细心观测,认真记录,要保证实训结果的原始记录完整、正确、清楚。

(9) 实训过程中,一个阶段性的实训结束,得到正确的测量结果后,应该马上关掉电源,进行下一阶段的实训。

(10) 实训结束后,要认真撰写实训报告。

实训报告是实训结果的总结和反映,也是实训课的继续和提高,通过撰写实训报告,使知识条理化,培养学生综合解决问题的能力。一个实训的价值在很大程度上取决于报告质量的高低,因此对撰写实训报告必须予以充分的重视。

在实训报告中,首先应该注明实训环境和实训条件(日期、仪器仪表的名称、型号等),这样做的目的是保证实训的可重复性(即在相同的实训环境和实训条件下,可以重复该实训得到相同的实训结果),这是科学实训的基本要求。

其次,要认真整理实训数据,要以确切简明的形式,将实训结果完整、真实地表达出来。并对实训结果进行理论分析,得出结论,有条件的还要进行实训误差的分析。

最后对于实训中出现的问题或故障,要进行分析并给出解决问题的办法,总结实训中的收获和体会并提出改进实训的建议。

1.2 电子电路测试与实训的安全操作

电子电路测试与实训的安全操作是保证人身与仪器设备安全及电子电路测试与实训顺利进行的重要保障。电子电路测试与实训过程中,必须严格遵守实训室安全规则和规章制度。电子电路测试与实训的安全包括两个方面:人身安全和实训仪器仪表的安全。

1.2.1 人身安全

由于电子电路测试与实训的特殊性,在实训室中最常见的危及人身安全的事故是触电。由于人体的导电特性,电流在流过人体时将产生大量的热量,触电时人体在电流的作用下将产生严重的生理反应。触电后轻者身体局部产生不适,严重的将对身体造成永久伤害,直至危及生命。要避免触电事故的发生,首先应该使学生从心理上能深刻认识到实训安全的重要性,认识到遵守实训操作规程的重要性,在实训时就能自觉地严格遵守实训室的各项规章制度认真做好实训中的各项工作。其次学生应该了解电子设备的特点,以及在对这些设备进行测试时的正确操作规程和应注意的事项,按规范操作。学生在进行电子电路测试与实训时必须遵守以下规则。

(1) 实训时严禁赤脚。

(2) 各种仪器设备在工作时,应保持良好接地。

(3) 仪器设备及实训装置中流过强电的导线应有良好的绝缘,芯线不得外露。

(4) 在进行高压测试时,应单手操作,并站在绝缘垫上,或穿上厚底胶鞋。在接通 220V

交流电时，应先通知实训合作者。

(5) 如果发生触电事故，应迅速切断电源，若距离电源较远，可以使用绝缘器将电源切断，使触电者立即脱离电源并采取必要的补救措施。

1.2.2 仪器仪表安全

除了保证人身安全以外，实训中还应该注意仪器仪表安全。实训中仪器仪表的安全应该从以下几个方面得到保证。

(1) 使用仪器设备前，应仔细阅读仪器说明书或仪器使用手册，掌握仪器的使用方法和注意事项。

在使用仪器、设备前，应对测量对象有所了解，明确要测量对象的大致范围，进而正确选择仪器和仪表，确定测量量程使之确实达到预期的测量效果。

(2) 实训时应遵守接线基本原则，先把设备、仪表、电路之间的连线连接好，经查（自查、互查）无误后，再连接电源线，经老师检查同意后，再接通电源（合闸）。测量完毕后，马上断开电源。拆线顺序是断开电源后先拆电源线，再拆其他线。

注意：在接、拆线及改换电路时，一定要关掉电源。

电路和各种仪表测试连接线连接的正确无误，是做好实训的前提与保证，是实训基本技能的具体体现，也是每个实训都必须做、最容易做但最不容易做好，从而引发事故最多的一项工作。例如短路事故、烧毁仪器、仪表、设备、器件等。

(3) 实训中要正确地操作仪表面板上的开关（或旋钮），用力要适当。

(4) 在实训过程中，要提高警惕，注意是否闻到焦糊味、见到冒烟或火花、有无“噼啪”声，如果遇到这种情况，或者感到设备过热及出现熔断丝熔断等异常现象时，必须立即切断电源，且在故障排除前不得再次开机。

(5) 未经允许不得随意调换仪器设备，更不得擅自拆卸仪器设备。

(6) 搬动仪器设备时，必须轻拿轻放。

(7) 仪器设备使用完毕后，必须将仪器面板上的各个旋钮、开关置于安全的、合适的位置。例如，指针式万用表使用完毕后应将量程开关拨到交流电压最高挡，而数字式万用表使用完毕后应将功能开关旋至 OFF 挡位。

正确选择和适用仪器、仪表是一个综合性的问题，也是确保仪器、仪表和人身安全的关键。要完全掌握虽然不是一件容易的事，但只要认真去做即可确保安全。保证人身和设备安全的关键是思想上重视和行动中措施得当。规范意识是事情成功的前提和关键，进行实训也是如此。所以要想真正做好实训并确有提高和收获，必须有科学严谨的工作态度，还要养成良好的习惯和严谨求实的工作作风。实训的每一步都要做到心中有数和有条不紊。每次实训前都要仔细检查所用仪器、仪表的情况。要认真投入，善始善终，亲自动手做好每个实训。无论做什么实训，遇到事故、异常现象时都要头脑冷静、判断准确、处理果断。

1.3 电子电路测试与实训的测量误差

电子电路测试与实训过程中，由于测量仪器不准确、测量方法不够严格、测量条件发生变化及测量工作中的疏忽或错误等原因，都会造成实际的测量结果与待测的客观真值之间不



可避免的存在差异,这个差异称为测量误差,简称误差。

1.3.1 测量误差的来源

测试与实训中测量误差的来源主要有以下几个方面。

1. 仪器误差

仪器仪表本身及其附件所引入的误差称为仪器误差。例如,指针式万用表的零位漂移、刻度不准确等所引起的误差就是仪器误差。

2. 影响误差

由于各种环境因素与要求的条件不一致所造成的误差称为影响误差。例如,由于温度变化、湿度变化、电磁场的影响等外部环境所引起的误差属于影响误差。

3. 方法误差

由于测量方法不合理而造成的误差称为方法误差。这种误差属于后面所讲到的粗大误差,可以通过完善测量方法而完全去除。

4. 理论误差

用近似公式或近似值计算测算结果时所产生的误差称为理论误差。例如,将二极管、三极管等非线性元件等效为线性元件时将会产生理论误差。

5. 人为误差

由于实训者本身的原因而产生的误差称为人为误差。例如,实验者的分辨能力、熟练程度、固有习惯、缺乏责任心等。

1.3.2 测量误差的分类及消除措施

根据测量误差的性质即产生原因,可将测量误差分为系统误差、随机误差和粗大误差三大类。

1. 系统误差

系统误差是指在相同条件下多次测量同一物理量,测量误差的绝对值和符号均保持不变,或在测量条件改变时,按某种确定的规律变化的误差。

在重复性的条件下,对同一物理量进行无限多次测量所得结果的平均值 $\bar{x}$ 与该物理量的真值 A_0 之差即是系统误差 ε 。即

$$\varepsilon = \bar{x} - A_0$$

系统误差产生的常见原因有:测量仪器或电路本身的缺陷(如仪器定标不准,普通运放当做理想运放时对于输入电阻、输出电阻忽略等),外界因素的影响(如测量环境中温度、湿度的变化等),测量方法的不完善(如采用了某些近似公式或某些近似方法),测量人员的因素(如测量人员感觉器官的限制等)。

在测量情况确定的情况下,不能通过多次测量求平均值的方法消除系统误差。只能根据系统误差产生的原因,采取一定的对应措施来减少或消除之(如对于测量仪器本身的缺陷,可以通过仪器校验,取得修正值,将测量结果加上修正值就可以减少系统误差)。

2. 随机误差

随机误差是指在相同的测量条件下,多次测量同一物理量时(等精度测量),测量误差的绝对值和符号均以不可预知的方式变化的测量误差。又称为偶然误差。

某次测量结果的随机误差 δ_i 可以由本次测量结果 x_i 与在重复性条件下,对同一被测量物

理量进行无限多次测量所得结果的平均值 $\bar{x}$ 之差得到。即

$$\delta_i = x_i - \bar{x}$$

随机误差主要是由那些对测量结果影响微小,相互之间又互不相关的诸多因素共同造成的。这些因素包括:测量仪器中零部件配合的不稳定、噪声干扰、电磁场的微变、电源电压的波动、测量人员读数的不稳定等。

虽然随机误差在一次测量中的大小是无规则的,但当多次测量时,其总体符合统计学规律,接近于正态分布。所以可以通过对同一物理量进行多次测量并取算数平均值的方法来削弱随机误差对测量结果的影响。

随机误差是测量值与数学期望之差,表征了测量结果的分散性。随机误差通常用于衡量测量的精密度,随机误差越小,测量结果的精密度越高。

3. 粗大误差

粗大误差是指在一定的测量条件下,测量值明显偏离被测物理量真值时的测量误差,又称为过失误差。

引起粗大误差的主要原因有:测量人员的不正当操作或疏忽(如测错、读错、记错测量结果等),测量方法不当或错误(如用普通万用表交流电压档测量高频交流信号的有效值等),测量环境的变化(如电源电压的突然降低或增高)。

含有粗大误差的测量值成为坏值。通过分析,确认含有粗大误差的测量数据,应该删除不用。

1.3.3 测量误差的表示方法

测量误差可以用绝对误差和相对误差来表示。

1. 绝对误差

测量值与被测物理量的真值 A_0 之差称为绝对误差 Δx , 用公式表示为

$$\Delta x = x - A_0$$

绝对误差 Δx 的大小和符号分别表示测量值偏离真值的程度和方向。

被测物理量的真值虽然是客观存在的,但一般无法测得(某些情况下,可以由理论给出或由计量学做出规定)。在实际工作中,可以用更高一级的标准测量仪器所测量的数值 A (称为实际值)来代替真值 A_0 。则绝对误差为

$$\Delta x = x - A$$

与绝对误差大小相等,符号相反的量称为修正值 C 。即:

$$C = A - x$$

修正值可以通过使用更高一级的标准仪器对测量仪器校正得出,修正值可以通过表格、公式或者曲线的方式给出。

2. 相对误差

绝对误差的表示方法的缺点是多数情况下不能够反映出测量的准确程度。例如,测量两个电流,其实际值分别为 $I_1=20\text{A}$, $I_2=0.2\text{A}$, 若他们的绝对误差分别为 $\Delta I_1=0.2\text{A}$ 和 $\Delta I_2=0.02\text{A}$, 虽然从数值上看 $\Delta I_1 > \Delta I_2$, 但实际上 ΔI_1 只占被测电流 I_1 的 1%, 而 ΔI_2 却占被测电流 I_2 的 10%, 显然 ΔI_2 对于测量结果的影响较大。

要反映测量的准确程度,可以使用相对误差。测量的绝对误差与被测量物理量的真值的比(一般用百分数)称为相对误差。用 r_{A_0} 表示:

$$r_{A_0} = \Delta x / A_0 \times 100\%$$



由于很难得到被测物理量的真值,一般用绝对误差和实际值的比来表示相对误差,称为实际值相对误差。用 r_A 表示

$$r_A = \Delta x / A \times 100\%$$

如果被测物理量的真值与测试仪表的指示值相差不大,则可以用绝对误差和指示值的比来表示相对误差,称为示值相对误差。用 r_x 表示

$$r_x = \Delta x / x \times 100\%$$

实际测量中经常使用示值相对误差。

另外一种相对误差是引用相对误差又称为满度相对误差,即绝对误差与测量仪表满刻度值的比,用 r_m 表示

$$r_m = \Delta x_m / x_m \times 100\%$$

显然,测量仪表的满刻度值与其引用相对误差的乘积即该仪表的最大绝对误差。我们国家电工仪表的准确度等级就是根据引用相对误差来区分的。准确度等级分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 共 7 级,准确度等级一般用 S 表示。例如, $S=1.5$, 表明该仪器表的引用相对误差不超过 $\pm 1.5\%$ 。

若某测量仪表的准确度等级为 S , 其满刻度值为 x_m 。则使用该仪表进行测量时,其测量的绝对误差 Δx 为

$$\Delta x = \Delta x_m = x_m \times S \%$$

其示值误差为

$$r_x = \Delta x / x \times 100\% = \Delta x_m / x \times 100\% = (x_m \times S \%) / x \times 100\%$$

上式中,总是满足 $x \leq x_m$, 由式 r_x 可以看出,在仪表准确度等级 S 确定以后,指示值 x 越接近于仪表满刻度值 x_m , 其示值相对误差 r_x 越小,测量就越准确。因此,当我们在电子学实训中使用电压表或者电流表,选用量程时,应使被测量的值越接近满刻度值越好,一般应尽可能使被测量的值超过仪表满刻度值的 $2/3$ 。

1.4 电子电路测试与实训的数据处理

电子电路测试与实训数据的处理包括正确记录实训中得到的测量数据,对测量数据进行分析、计算与整理,最后的结果还需要归纳成一定的表达式或制作成表格、曲线等形式。数据处理是建立在误差理论基础上的。

1.4.1 测量结果的数值处理

1. 有效数字

由于测量误差的存在及测量仪器分辨能力的限制,测量结果不可能完全准确,它是被测物理量真值的近似数,通常包括可靠数字和欠准确数字两部分,有误差的那位数字前面的各位数字都是可靠数字,有误差的数字为欠准确数字。例如,由电压表测得的电压数值为 15.3V,这就是一个近似数,其中 15 为可靠数字,而末位数 3 为欠准确数字。为了准确地表示测量结果,可以使用有效数字。测量结果的所有可靠数字和第一位欠准确数字称为该测量结果的有效数字。有效数字的正确表述对测量结果的科学表述极为重要。实际应用时应该注意以下几点。

(1) 有效数字应该从左边第一个非零的数字开始, 直至第一位欠准确数字(包括 0)为止。例如, 在测量电流时, 如果测得的电流为 0.0235A , 则有效数字为 2、3 和 5、2 前面的两个 0 不是有效数字, 其中 5 为欠准确数字。需要注意的是, 右边的 0 应该计入有效数字, 例如, 测得电流为 $1\,000\text{mA}$, 则该测量数据的有效数字为 1、0、0、0 共 4 位, 其中最后一个 0 为欠准确数字。

(2) 在单位转换时, 要注意保持有效数字位数和误差不变。例如, 测得电流 $1\,000\text{mA}$, 则有效数字为 4 位, 如果以安培为单位, 测量结果应该记为 1.000A 。

(3) 可以从有效数字的位数估算测量的误差, 一般情况下规定误差不能大于有效数字末位单位数字的一半。例如, 当测量结果记为 1.000A 时, 末位有效数字为小数点后第 3 位, 其单位数字为 0.001A , 一半是 0.0005A , 由于误差可正可负, 所以当结果记成 1.000A 时, 误差为 $\pm 0.0005\text{A}$ 。可见, 应该正确记录测量的结果, 少计有效数字的位数会带来附加误差, 而多计有效熟悉的位数则会夸大测量精度。

2. 数字舍入规则

测量结果的记录位数由有效数字的位数决定。当需要的有效数字为 n 位时, 对于超过 n 位的测量数据要进行舍入处理。根据数字的出现概率和舍入后引入的舍入误差, 对于测量结果的处理普遍采用“小于 5 舍, 大于 5 入, 等于 5 取偶”的原则具体如下。

(1) 若有效数字需要保留到第 n 位, 则当其后面的数字大于第 n 位的 0.5 时, 第 n 位的数字加 1。

例如, 36.551 取 3 位有效数字, 从左面数第 3 位以后的数字为 0.51 大于第 3 位数字的 $1/2$, 所以 36.551 取 3 位有效数字记为 36.6 。

(2) 若有效数字需要保留到第 n 位, 则当其后面的数字小于第 n 位的 $1/2$ 时, 第 n 位的数字不变, 后面的数字舍去。

例如, 12.631 取 4 位有效数字, 从左面第 4 位以后的数字为 0.1 小于第 4 位数字的 $1/2$, 所以 12.631 取 4 位有效数字记为 12.63 。

(3) 若有效数字需要保留到第 n 位, 则当其后面的数字等于第 n 位的 $1/2$ 时, 如果第 n 位的数字是奇数时, 第 n 位的数字加 1, 后面的数字舍去, 即将第 n 位凑成偶数。如果第 n 位的数字是偶数时, 第 n 位的数字不变, 后面的数字舍去。

例如, 对于 36.55 取 3 位有效数字, 从左面数第 3 位以后的数字为 0.5, 而第 3 位数字为奇数 5, 所以 36.55 取 3 位有效数字记为 36.6 。对于 36.85 取 3 位有效数字, 从左面数第 3 位以后的数字为 0.5, 而第 3 位数字为偶数 8, 所以 36.85 取 3 位有效数字记为 36.8 。

3. 有效数字的运算

在测量结果需要中间运算时, 有效数字的位数对于运算结果有较大的影响。正确选择运算数据有效数字的位数非常重要, 它是实现高精度测量的保证。一般情况下, 有效数字的取舍决定于参与运算的各个数据中精度最差的那一项。原则如下。

(1) 当几个数据进行加、减运算时, 以各个数据中小数点以后的位数最少(精度最差)的那个数据(无小数点, 以有效数字最少者)为准, 其余各数据按照数据舍入原则舍入至比该数多一位后进行运算, 运算结果所保留的小数点以后的位数, 应与各个数据中小数点后位数最少者相同。运算中多取的一位数成为安全数字位, 其目的是为了避免在大量加、减运算时舍入误差累积过大。

例如, 10.1 、 20.356 与 5.2578 三个数据相加, 根据上述原则, 10.1 不变, 20.356 与 5.2578

分别舍入至 20.36 和 5.26, $10.1+20.36+5.26=35.72$, 根据舍入原则, 最后结果为 35.7。

(2) 当几个数据进行乘、除运算时, 以各个数据中有效数字位数最少的那个数据为准, 其余各数据按照数据舍入原则舍入至比该数多一位后进行运算(与小数点的位置无关), 运算结果的位数应根据数据舍入原则取至与运算前有效数字位数最少的那个数据相同。

(3) 当数据开方或平方运算时, 有效数字的取舍同乘、除运算, 结果可比原数据多保留一位。

(4) 运算中出现 π 、 e 等无理数时, 由具体运算决定。

(5) 当数据做对数运算时, n 位有效数字的数据使用 n 位对数表。

1.4.2 测量结果的图形处理

测试与实训过程中, 处理数据的时候, 为了表示测量数据之间的关系, 可以采用图形的形式, 将测量数据随某个或某几个因素变化的规律用曲线的形式表示出来, 以便于对测量数据进行分析。

1. 坐标系的各参数的选择

在作图时, 可以按照如下原则选择坐标系。

(1) 表示两个数据之间的关系, 坐标系可以选用直角坐标系, 也可以选用极坐标系。

(2) 一般情况下将误差小的数据作为自变量, 误差大的数据作为因变量。

(3) 一般情况下, 坐标系采用线性分度, 当自变量变化范围很宽时, 需要采用对数分度。

2. 曲线的修匀

在实际实训时, 由于误差的存在, 测量数据将离散分布, 全部测量数据的连线不可能是一条光滑的曲线。为了反映数据的真实物理意义, 需要利用有关误差理论, 将测量数据的波动去掉, 平滑成一条光滑曲线, 称为曲线的修匀。

在对精度要求不高的测量中, 通常采用“分组平均法”来修匀曲线。具体方法是将数据分为若干组, 每组包括 2~4 个测量数据点, 分别估计各组的几何重心或对称中心, 将这些重心或中心连接起来。由于进行了数据平均, 在一定程度上减少了随机误差的影响, 这样得到的曲线比较符合实际情况。

1.5 电子电路测试与实训中基本物理量的测量方法

1.5.1 电流的测量方法

直流电流的测量可以使用万用表的电流挡。测量时, 万用表应串联接入被测电路中。测量挡位的选择应根据满度测量误差的要求决定, 如果事先不知道被测电流的大体值, 应先选用最高量程的挡位, 然后逐渐减小。

交流电流的测量通常不适用万用表, 而适用电磁式电流表。可以使用电流互感器(如钳形电流表)来扩大交流电流表的量程。

使用示波器也可以测量电流的波形。这时应在被测电路中串联一个小的电阻(采样电阻), 测量该电阻上的电压, 即可得到电流的波形。采样电阻的阻值应该适当。过小则电压降低, 示波器光点偏移太小, 过大则对被测电路有影响。

1.5.2 电压的测量方法

通常使用电压表来测量电压,根据电路性能的需要选择不同的电压表。

如果被测电路的阻抗高,可以选用输入阻抗高的万用表,如选用数字万用表,其输入可以达到 $10\text{M}\Omega$ 以上。

如果被测电压的频率较低(在 100Hz 以下),或是直流信号时,可以选用数字万用表。而毫伏表适于更高频率信号的测量,其测量频率的范围为 2MHz 以下。

一般来讲,指针式电压表精度较低,而数字式电压表精度较高,通常在较高精度的电压测量中,采用数字式电压表。

除了电压表以外,还可以使用示波器测量电压。使用示波器测量电压可以很方便地测出信号的直流分量和交流分量的值。其特点是可以对电压信号在某一时间的瞬时数值进行测量。

1.5.3 时间的测量方法

测量时间参数必须使用示波器。

模拟示波器屏幕上横坐标的值代表了信号的时间参数,其大小必须由人眼读出,精度不高,误差较大。

数字示波器对于时间的测量有两种方法:自动测量法和游标测量法。自动测量法能自动测量信号的周期、上升时间、下降时间等时间参数;游标测量法可以测量任意两点的时间差,并直接读数。

1.5.4 频率的测量方法

频率的测量也有两种方法。

(1) 由于频率是周期的倒数,因此可以通过测量时间来确定频率的大小。

(2) 可以使用李萨如图形法由示波器读出。将被测频率的正弦信号和来自标准信号源的正弦信号分别加到示波器的 X 轴输入端和 Y 轴输入端,当两个信号的频率、相位和振幅各不相同,示波器上显示的波形是不规律、不稳定的。当两个信号的频率之间成整数倍关系时,出现在示波器屏幕上的图形静止而且具有一定的形状。当两个信号的频率一样而且相位差为零时,屏幕上的图形为一直线而且与横坐标的夹角为 45° 。可以通过调节标准信号源的频率来测量被测信号的频率。

其余输入电阻、输出电阻、电压增益和频率特性等参数的测量方法见各具体实训。

1.6 电子电路测试与实训的调试

电子电路的设计通常根据理论推导进行,许多复杂的客观因素(如分布参数的影响、元器件的标称值与实际值的偏差等)难以考虑到,实际电路一般达不到预期的效果,需要通过调试发现设计中的问题,采取必要的措施加以改进,以达到设计的指标要求。调试分为静态调试和动态调试。通电调试前需要进行不通电检查。



1.6.1 通电前的检查

连接完实训电路后,不能急于加电,需要认真检查,检查的内容如下。

(1) 连线是否正确。主要检查有无错线、漏线、多线。具体方法:对照电路图,从输入开始,一级一级地排查,一直检查到输出。

(2) 连接的导线是否导通,面包板有无接触不良。可以用万用表欧姆挡逐一检查,如果两点之间有电阻存在,则能测出电阻值。

(3) 电源正、负极之间连线是否正确,电源正极与地之间是否短路。如果电源短路,通电后,将会造成元器件的损坏。

1.6.2 通电观察

检查无误后,应先通电观察,再进行通电调试。先调节电源电压至所需要的电压值,然后给电路通电,仔细观察电路有无异常现象出现。例如,是否有冒烟、有异常气味、打火、元器件是否发烫等现象。如果有以上情况出现,应立即断掉电源,排查电路,排除故障后才能再次通电。

1.6.3 静态调试

静态调试是指在无输入信号的情况下,所进行的直流调试与调整。目的是保证电路工作在正确的直流工作状态。在模拟电路中,主要是通过静态调试保证各级电路的静态工作点。在数字电路中,静态调试是要保证电路的各个输入端加入固定的符合要求的高、低电平,测量输出端的输出电平值,以判断数字电路中逻辑关系是否正常。

通过静态调试,可以准确地判断电路的工作状态,及时发现损坏的元器件。如果工作状态不正常,要调整电路参数以符合设计要求。如果元器件损坏,需要先分析损坏原因,排除故障,然后再进行更换。

1.6.4 动态调试

静态调试结束后,还需要对电路做动态调试,所谓的动态调试是指加入输入信号的调试,电路在静态调试无误后,在输入端加入幅度与频率都符合设计要求的信号,用示波器根据信号流向逐级观察输出信号,测量各级电路的性能指标、逻辑关系与时序关系是否符合实验要求,如果输出不正常或者性能指标不符合设计要求,需要调整电路参数直到满足要求。

1.6.5 调试中需要注意的问题

测量方法与测量精度直接影响到测量结果的正确性,只有选择正确的测量方法,提高测量精度才能得到正确的测量结果,为了提高调试效率,保障调试效果,调试过程中必须做到如下几点。

(1) 保障正确接地。在电路的调试过程中,必须保证仪器的接地端连接正确。正确的接地方法是,将直流电源、信号源、示波器以及毫伏表等电子测量仪器的接地端与被测电路的地线可靠地连接在一起,使仪器和被测电路之间建立一个公共参考地,以保证测量结果的正确。另外,在模数混合电路中,数字“地”与模拟“地”应该分开连接,以避免二者之间的互相干扰。

(2) 在微弱信号测量时,尽量使用屏蔽线连接,屏蔽线的屏蔽层连接至电路的公共地端。