



21 世纪 高 等 院 校 电 气 信 息 类 系 列 教 材

电子技术基础实验 及综合设计

王振红 张常年 编著



本书主要介绍了电子技术实验的基础知识,包括电子技术实验的基本任务、程序、操作规程、误差分析与数据处理、实验报告的撰写,电子测量的基本特点、分类及其基本程序、主要特性参数测量,实验调试方法、常见故障的检查和排除方法、噪声干扰及其抑制,以及常用电子元器件、常用仪器使用简介。本书还介绍了模拟电子技术基础实验和数字电子技术基础实验,电子电路仿真实验,数字电子技术的 EDA 实验,综合设计型实验,以及电子电路硬件制作实验。

本书可作为高等学校本科和工程专科电子、电气信息类专业电子技术实验和课程设计的教材,也可供成人和职业教育相关专业学生或电气、电子技术工程人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础实验及综合设计/王振红,张常年编著.
—北京:机械工业出版社,2007.3
(21世纪高等院校电气信息类系列教材)
ISBN 978-7-111-20957-7

I. 电… II. ①王…②张… III. ①电子技术-实验-高等学校:技术学校-教材②电子电路-电路设计-高等学校:技术学校-教材 IV. TN-33 TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 025204 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:李馨馨 版式设计:张世琴
责任校对:程俊巧 责任印制:洪汉军
北京京丰印刷厂印刷
2007 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷
184mm×260mm·19.75 印张·487 千字
0 001—5 000 册
标准书号:ISBN 978-7-111-20957-7
定价:29.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 88379739
封面无防伪标均为盗版

出版说明

随着科学技术的不断进步,整个国家自动化水平和信息化水平的长足发展,社会对电气信息类人才的需求日益迫切、要求也更加严格。在教育部颁布的“普通高等学校本科专业目录”中,电气信息类(Electrical and Information Science and Technology)包括电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、生物医学工程等子专业。这些子专业的人才培养对社会需求、经济发展都有着非常重要的意义。

在电气信息类专业及学科迅速发展的同时,也给高等教育工作带来了许多新课题和新任务。在此情况下,只有将新知识、新技术、新领域逐渐融合到教学、实践环节中去,才能培养出优秀的科技人才。为了配合高等院校教学的需要,机械工业出版社组织了这套“21世纪高等院校电气信息类系列教材”。

本套教材是在对电气信息类专业教育情况和教材情况调研与分析的基础上组织编写的,期间,与高等院校相关课程的主进教师进行了广泛的交流和探讨,旨在构建体系完善、内容全面新颖、适合教学的专业材料。

本套教材涵盖多层面专业课程,定位准确,注重理论与实践、教学与教辅的结合,在语言描述上力求准确、清晰,适合各高等院校电气信息类专业学生使用。

机械工业出版社

前 言

本书是按照教育部高等学校电子信息科学与工程类基础课程教学指导分委员会于2004年修订的“电子技术基础课程教学基本要求”中对实验教学部分的教学基本要求编写的电子技术基础实验课教材。与清华大学电子学教研组编,阎石主编的《数字电子技术基础》,童诗白、华成英主编的《模拟电子技术基础理论课教材》的内容紧密结合。

本教材的特色:

1. 基本内容全面,包括:电子技术基础实验的基本知识、模拟电子技术基础实验、数字电子技术基础实验、综合设计型实验、Protel 电子仿真技术、可编程器件、Max + Plus II 软件和 VHDL 语言应用设计型实验、电子电路小系统设计方法等内容。

2. 将电子技术基础实验与电子仿真技术、可编程逻辑器件应用技术有机地结合在一起,使学生在巩固基础的同时,具有应用新技术、新器件、新设计手段的能力。

3. 本教材使学生在具有电子技术基础实验能力的同时,也具有小系统综合设计能力。

4. 本教材使学生掌握并能灵活运用传统的设计方法和现代电子技术设计的方法。

5. 由浅入深,由简到繁,由单元电路到小系统,可以作为电类本科学生的实验课教材。

6. 本教材自成体系,便于老师选用、学生自学。

本书由王振红、张常年编写,北方工业大学信息工程学院的宋鹏、张东彦、曹淑琴、周燕平、康晓麓、赵徐森、刘淑敏、吴晓林、韩宇龙、胜智勇等同志给予了很多关心和支持。在此向他们表示衷心的感谢。

由于编著者水平有限,书中存在错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2006 年 10 月于北方工业大学

目 录

出版说明
前言

第1篇 电子技术实验基础知识

第1章 电子技术实验基本知识 1

- 1.1 电子技术实验的性质与目的 1
- 1.2 电子技术实验的基本程序 1
- 1.3 电子技术实验的操作规程 2
- 1.4 误差分析与数据处理 4
- 1.5 实验报告的撰写 8
- 1.6 电子测量技术 8
- 1.7 实验调试与故障检测技术 12
 - 1.7.1 电子实验调试技术 12
 - 1.7.2 常见故障的检查和排除方法 14
 - 1.7.3 噪声干扰及其抑制 16

第2章 常用电子电路元器件的识别与主要性能参数 20

- 2.1 电阻器的主要性能参数与型号命名和标识 20
 - 2.1.1 电阻器的主要参数 20
 - 2.1.2 电阻器的型号命名和标识 21
 - 2.1.3 常用的固定电阻器及其特点 22
 - 2.1.4 电位器 24
 - 2.1.5 电阻器的简单测试 24
 - 2.1.6 选用电阻器常识 25
- 2.2 电容器的主要性能参数与型号命名和标识 25
 - 2.2.1 电容器的主要参数和标识 25

- 2.2.2 电容器的型号命名和分类 27
- 2.2.3 电容器品质的简单测试 29
- 2.2.4 选用电容器的常识 30
- 2.3 电感器的简单识别与型号命名法 30
 - 2.3.1 电感器的分类 30
 - 2.3.2 电感器的主要性能指标 30
 - 2.3.3 电感器的简单测试 31
 - 2.3.4 选用电感器常识 31
- 2.4 半导体器件 31
 - 2.4.1 半导体器件的分类 31
 - 2.4.2 半导体器件的命名 32
- 2.5 常用集成电路 34
 - 2.5.1 我国集成电路型号的命名方法 34
 - 2.5.2 国外集成电路型号的命名方法 35
 - 2.5.3 常用数字集成电路系列产品 36
 - 2.5.4 电路封装结构和引脚排列 39

第3章 实验常用测量仪器的使用 40

- 3.1 示波器及其应用 40
- 3.2 直流稳压电源 43
- 3.3 信号发生器 44
- 3.4 交流毫伏表 44
- 3.5 万用表 46

第2篇 电子技术基础实验

第4章 模拟电子技术基础实验 49

- 4.1 实验1 晶体管共射放大电路 49
- 4.2 实验2 场效应晶体管放大器 54

- 4.3 实验3 负反馈放大器 57
- 4.4 实验4 差动放大电路 59
- 4.5 实验5 集成运算放大器的指标测试 62

4.6 实验 6 集成运算放大器组成的 基本运算电路	66	5.1 实验 1 基本逻辑门的功能与 特性测试	95
4.7 实验 7 有源滤波器	69	5.2 实验 2 组合逻辑电路设计方法	99
4.8 实验 8 正弦波振荡电路	72	5.3 实验 3 编码器和译码器的应用	103
4.9 实验 9 方波和三角波发生电路	75	5.4 实验 4 译码器和数据选择器 的应用	106
4.10 实验 10 电压比较器	78	5.5 实验 5 触发器及其应用	109
4.11 实验 11 集成电压比较器	81	5.6 实验 6 计数器及其应用	112
4.12 实验 12 低频功率放大电路	84	5.7 实验 7 寄存器与移位寄存器	114
4.13 实验 13 直流稳压电源	87	5.8 实验 8 单稳态触发器	117
4.14 实验 14 增益自动切换的电压 放大电路	91	5.9 实验 9 多谐振荡器	119
第 5 章 数字电子技术基础实验	95	5.10 实验 10 555 集成定时器的应用	121
		5.11 实验 11 D/A、A/D 转换电路	123

第 3 篇 电子电路仿真实验

第 6 章 仿真实验的基础知识	129	7.4 运算放大器非线性应用的仿真设计	152
6.1 电子电路仿真实验软件	129	7.4.1 实验目的	152
6.2 Protel 99 仿真的基本界面	129	7.4.2 实验内容	152
6.3 Protel 99 仿真的基本操作方法	133	第 8 章 数字电子电路仿真设计	155
6.4 Protel 99 仿真的常用分析法	136	8.1 门电路仿真设计	155
6.5 Protel 99 仿真快速入门例板	136	8.1.1 实验目的	155
第 7 章 模拟电子电路的仿真设计	140	8.1.2 实验内容	155
7.1 单管放大器的仿真设计	140	8.2 组合逻辑电路仿真设计	156
7.1.1 实验目的	140	8.2.1 实验目的	156
7.1.2 实验步骤	140	8.2.2 实验内容	156
7.2 负反馈放大器的仿真设计	144	8.3 触发器仿真设计	163
7.2.1 实验目的	144	8.3.1 实验目的	163
7.2.2 实验内容	144	8.3.2 实验内容	163
7.2.3 数据分析	148	8.4 时序电路和脉冲电路仿真设计	167
7.3 运算放大器线性应用的仿真设计	148	8.4.1 实验目的	167
7.3.1 实验目的	148	8.4.2 实验内容	167
7.3.2 实验内容	149		

第 4 篇 数字电子技术的 EDA 实验

第 9 章 VHDL 语言的基础知识	171	9.2.3 结构体说明	173
9.1 VHDL 编程思想	171	9.3 VHDL 语言中的数据	173
9.2 VHDL 语言程序的基本结构	172	9.3.1 标志符	173
9.2.1 库说明	172	9.3.2 数据对象	174
9.2.2 实体说明	172	9.3.3 数据类型	175

9.3.4 类型转换	177	10.4 文件编辑	199
9.4 VHDL 语言中的表达式	178	10.4.1 图形编辑	199
9.4.1 逻辑运算符	178	10.4.2 文本编辑	201
9.4.2 算术运算符	178	10.5 编译	202
9.4.3 关系运算符	179	10.6 仿真	203
9.4.4 并置运算符	179	10.7 下载	207
9.4.5 操作符的运算优先级	180	10.8 硬件连线	207
9.5 VHDL 基本语句	180		
9.5.1 顺序描述语句	180	第 11 章 CPLD 简单的设计应用	
9.5.2 并行描述语句	185	实验	209
9.6 VHDL 编程举例	194	11.1 组合电路的设计实验	209
第 10 章 MAX + plus II 软件应用		11.2 扫描显示电路的驱动实验	213
方法	197	11.3 时序电路和计数器的设计实验	217
10.1 启动 MAX + plus II	197	11.4 寄存器设计实验	222
10.2 建立设计项目	198	11.5 状态机设计实验	225
10.3 新建文件	198	11.6 波形发生器设计实验	228

第 5 篇 综合设计型实验

第 12 章 电子技术综合设计型			
实验	231	设计框图	242
12.1 红外遥控报警器	231	12.4.4 无线数据收发模块	246
12.1.1 实验目的	231	12.4.5 设计要求	255
12.1.2 实验原理	231	12.5 正弦交流电压有效值测量电路	255
12.1.3 实验内容	232	12.5.1 实验目的	255
12.1.4 实验预习	232	12.5.2 系统的设计要求	255
12.1.5 实验报告	232	12.5.3 系统的参考电路和程序	256
12.2 篮球比赛记分显示器	233	12.5.4 实验报告	262
12.2.1 实验目的	233	12.6 语音信号放大器	262
12.2.2 实验原理	233	12.6.1 实验目的	262
12.2.3 实验内容	234	12.6.2 系统的主要技术指标	263
12.2.4 实验预习	234	12.6.3 实验预习	263
12.2.5 实验报告	234	12.6.4 语言放大器设计	263
12.2.6 思考题	234	12.6.5 语言放大器调试	265
12.3 ISD2590 语音芯片的应用	234	12.6.6 实验报告	265
12.3.1 实验目的	234	12.7 实用温控器	266
12.3.2 实验原理	235	12.7.1 实验目的	266
12.4 紫外线消毒灯控制系统	240	12.7.2 实验原理	266
12.4.1 实验目的	240	12.7.3 实验调试	266
12.4.2 设计框图	241	12.7.4 实验报告	266
12.4.3 系统的硬件设计和程序		12.8 用热释电传感器的报警电路	267
		12.8.1 实验目的	267
		12.8.2 实验原理	267

12.8.3 实验调试	267	12.9.1 显示原理	267
12.8.4 实验报告	267	12.9.2 设计任务	268
12.9 数码显示电路	267	12.9.3 模块及模块功能	269

第6篇 电子电路硬件制作实验

第13章 PCB设计基础	274	14.5 设置参数	287
13.1 设计要求与整体布局	274	14.6 放置元件	289
13.2 元器件排列方式及安装尺寸	275	14.7 库的使用	291
13.3 印制电路	277	14.8 自制元器件	292
13.4 焊盘与孔	278	14.9 布局与连线	295
13.5 印制板设计技巧	279	14.10 PCB封装	297
13.6 印制板设计过程	281	附录	299
第14章 5V直流稳压电源印制电路板设计实验	284	附录A 常用数字集成电路型号和引脚图	299
14.1 启动 Protel 99	284	附录B 常用数字集成电路功能表	302
14.2 建立设计项目	284	参考文献	306
14.3 新建文件	285		
14.4 Protel 99 设计界面介绍	286		

第 1 篇 电子技术实验基础知识

第 1 章 电子技术实验基本知识

1.1 电子技术实验的性质与目的

电子技术是一门应用性、实践性很强的学科，实验是学习和研究电子技术学科的重要手段，既是对理论的验证，又是对理论的实施，同时还是对理论的进一步研究与探索。电子技术基础是自动化、电子信息工程、通信工程等专业的专业技术基础课，电子技术实验是这一课程体系不可缺少的重要教学环节。通过实验手段，使学生加深对电子技术基础知识的理解、掌握电子技术实验的基本技能以及归纳总结实验结果的能力、排除实验中出现故障的能力和创造性的学习能力。

电子技术实验包括模拟电子技术实验和数字电子技术实验，可以分为 4 个层次：验证性实验、设计综合性实验、仿真实验、CPLD 实验。

通过上述 4 个层次实验的系列教学，学生应能够理论联系实际，熟悉典型器件的参数、性能并能查阅电子器件手册和在网上查询电子器件有关资料；学会正确使用常用电子仪器，掌握电子技术的基本测量方法和基本实验技能；掌握典型的应用电路及小系统的设计、组装和调试技术；掌握正确记录数据、处理数据、绘制曲线、误差分析的方法，得出实验结论；初步掌握一种硬件描述语言及一种 EDA 软件的使用方法，能对电子电路进行仿真、分析和设计。具有撰写合格实验报告的文字表达能力；体会从实验现象和结果中归纳、分析和创新的方法；提高科学素质，包括养成严谨的工作作风，严肃认真、实事求是的科学态度，刻苦钻研、勇于探索和创新的开拓精神，遵守纪律、团结协作和爱护公物的优良品质。

1.2 电子技术实验的基本程序

电子技术实验的内容广泛，每个实验的目的、步骤也有所不同，但基本过程却是类似的。为了达到实验的预期效果，要求实验者做到：

1. 实验前的预习

为了避免盲目性，使实验过程有条不紊地进行，每个实验者实验前都要做好以下几个方面的准备：

- 1) 阅读实验教材，明确实验目的、任务，了解实验内容。
- 2) 复习有关理论知识，认真完成所要求的电路设计、实验底板安装等任务。

3) 根据实验内容拟好实验步骤, 选择测试方案, 掌握实验仪器的使用方法。

4) 对实验中应记录的原始数据和待观察的波形应先列表待用。

2. 电子实验线路的安装与接线

上好实验课并严格遵守实验操作规程是增强实验效果、保证实验质量的重要前提。实验者需按照电子技术实验的操作规程进行电子实验线路的安装与接线。

3. 电子技术实验的测试

应做好测试前的准备工作并按照电子测量的基本程序和方法进行测试。

1) 首先检查 220V 交流电源和实验所用的元器件、仪器仪表等是否齐全且符合要求, 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档级, 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验电路板接通。

2) 对照实验电路图, 对实验电路板上的元器件和接线仔细进行寻迹检查, 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, 各元器件接点有无漏焊、假焊, 并注意防止碰线短路等问题。经过认真仔细检查, 确认安装无差错后, 方可将实验电路板与电源和测试仪器接通。

3) 按照电子测量的基本程序和方法进行测试, 记录下实验数据并能分析实验数据是否合理。

4. 电子技术实验的故障检测与排除

在电子电路安装与调试过程中, 不可避免地会出现各种各样的故障现象, 因此在电子技术实验中检查和排除故障也是实验的重要环节。实验者应掌握常见故障的检查和排除的基本方法。

1.3 电子技术实验的操作规程

与其他许多实践环节一样, 电子技术实验也有它的基本操作规程。工程、科研人员经常要对电子设备进行安装、调试和测量, 因此, 就要求同学们一开始就应注意培养正确、良好的操作习惯, 并逐步积累实验经验, 不断提高实验水平。

1. 实验仪器的合理布局

实验时, 各仪器、仪表和实验对象(如实验板或实验装置)之间应按信号流向, 并根据连线简捷、调节顺手、观察与读数方便的原则进行合理布局。

输入信号源置于实验板的左侧, 测试用的示波器与电压表置于实验板的右侧, 实验用的直流电源放在中间位置。还要认真检查各实验仪器、仪表是否能正常工作。

2. 电子实验箱上的接插、安装与布线

目前, 在实验室中常用的各类电子技术实验箱上通常有一块或数块多孔插座板(或称面包板), 利用这些多孔插座板可以直接插接、安装和连接实验电路而无需焊接。然而, 正确和整齐的布线在这里显得极其重要, 这不仅是为了检查、测量的方便, 更重要的是可以确保线路稳定可靠的工作, 因而是顺利进行实验的基础。实践证明, 草率和杂乱无章的接线往往会使线路出现难以排查的故障, 以至最后不得不重新接插和安装全部实验电路, 浪费了很多时间。为此, 在多孔插座板上接插安装时应注意做到以下几点:

1) 首先要搞清楚多孔插座板和实验箱的结构, 然后根据实验箱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三极管为中心，并根据输入输出分离的原则，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。

2) 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拉平直。接插时，应小心地用力插入，以保证插脚与插座间接触良好。实验结束时，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，一般以线径为 0.5mm 左右为宜，导线的剥线头长度约为 10mm。

3) 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。应尽量做到接线短、接点少，但同时又要考虑到测量的方便。

4) 在接通电源之前，要仔细检查所有的接连线。特别要注意检查各电源的连线和公共地线是否接得正确。查线时仍以集成电路或三极管的引脚为出发点，逐一检查与之相连的元器件和连线，在确认正确无误后方可接通电源。

3. 正确的接线规则

1) 仪器和实验板间的接线要用颜色加以区别，以便于检查，如电源线（正极）常用红色，公共地线（负极）常用黑色。接线头要拧紧或夹牢，以防接触不良或因脱落而引起短路。

2) 电路的公共接地端和各种仪表的接地端应连接在一起，既作为电路的参考零点（即零电位点），同时又可避免引起干扰。在某些特殊场合，还需将一些仪器的外壳与大地接通，这样可避免外壳带电从而确保人身和设备安全，同时又能起到良好的屏蔽作用。如在焊接和测试 MOS 器件时，电烙铁和测试仪器均要接大地，以防漏电而造成 MOS 器件的击穿。

3) 信号的传输应采用具有金属外套的屏蔽线，而不能用普通导线，而且屏蔽线外壳要一点接地，否则有可能引进干扰而使测量结果和波形异常。

4. 组装与焊接

在制作电子装置时，焊接工艺是很重要的。电子线路的组装与焊接质量是使电子设备达到预期性能指标的基础。焊接质量的好坏直接影响到电子装置的工作性能。不良的焊接质量和焊接方法会使电路不通或元器件损坏，这不仅会给调试带来很大困难，而且会严重影响电子装置工作的可靠性。在安装实验电路板时，应注意以下几点：

(1) 安装前的准备

1) 装配前应通过仪器认真检查各元器件的标称值与性能参数是否符合电路要求，确认无误后再进行装配，切勿急于求成。

2) 装配时应妥善安排元器件的位置，合理布局，既要使布局紧凑，引线短，又要尽量避免引线间相互交叉，以免造成短路故障。一般来说应先按原理电路图画出实物安装图，然后才能进行安装焊接。

3) 元器件本身的引线长度要适当，不要齐根弯曲，以免折断。对于印有标称字样的元器件，应考虑将数字朝外，以便于识别和检查。

(2) 焊接与安装

应理解和掌握焊接要领，确保焊接质量，杜绝虚接、假接和漏接。

1) 选择合适的焊锡、焊剂和电烙铁。在电子线路的焊接中，常采用管状商用焊接丝，并使用中性焊接剂（如松香），一般选用 20~45W 的电烙铁。

2) 焊接前应对元件的引线认真地进行清洁处理（一般用刀刮净），并预先上锡，这是防

止假焊的有效措施。因为金属表面的氧化物对锡的吸附力很小，如果不预先进行清洁和上锡处理，往往会出现焊锡虽然包住接点实际上并未焊牢的“假焊”现象。假焊接点具有严重的隐患，因此必须在一开始就引起足够的重视。

3) 焊接时应使电烙铁头与焊接物质间的接触面尽可能大，并严格控制焊接时间。电烙铁温度过低或焊接时间过短不但易造成假焊，而且焊点不光亮。电烙铁温度过高或焊接时间过长又会引起焊锡流淌，甚至烫坏元器件、导线和印制电路板。因此，初学者要注意掌握好电烙铁的温度和焊接时间，一般应使焊剂完全发挥，当焊锡均匀扩散到焊点周围时即可提起电烙铁。冷却时要注意防止焊件松动。

5. 注意人身和仪器设备的安全

(1) 注意安全操作规程，确保人身安全

1) 为了确保人身安全，在调换仪器时必须切断实验台的电源。另外，为防止仪器和器件损坏，通常切断实验电路板上的电源后才能改接线路。

2) 仪器设备的外壳应良好接地，防止机壳带电，以保证人身安全。在调试时，要逐步养成用右手进行单手操作的习惯，并注意人体与大地之间有良好的绝缘。

(2) 爱护仪器设备，确保实验仪器和设备的安全

1) 在仪器使用过程中，不必经常开关电源，因为多次开关电源往往会引起冲击，使仪器的使用寿命缩短。

2) 切忌无目的地随意搬弄仪器面板上的开关和旋钮。实验结束后，通常只要关断仪器电源和实验台的电源，而不必将仪器的电源线拔掉。

3) 为了确保仪器设备的安全，在实验室配电柜、实验台及各仪器中通常都安装有电源熔断器。仪器常用的熔断器有 0.5A、1A、2A、3A、5A 等几种规格，应注意按规定的容量调换熔断器，切勿随意代用。

4) 要注意仪表允许的安全电压或电流，切勿超过。

当测量大小无法估计时，应从仪表的最大量程开始测试，然后逐渐减小量程。

1.4 误差分析与数据处理

1. 数据的读取与波形的观察

为获得正确的实验数据和波形，应做到以下几点：

1) 必须根据不同的测试对象正确选用合适的仪表和量程。若在不同场合下测量不同频率范围和不同电压量级的信号电压，应注意选用不同灵敏度和内阻，不同频率响应的电压表。观察不同频率范围的信号波形同样要选用不同规格的示波器。另外，所选用的量程要适合，否则将造成较大的测量误差。

2) 所记录的数据必须是原始数据，而不是经过换算后的数值，并应标明名称及单位。需绘制曲线时，要注意在曲线变化显著的部位多读一些数据。对测得的原始数据还需预先做出估计，做到心中有数，以便及时发现、解决问题。另外，还应记录所使用仪表的型号，精度等级，必要时还应记下环境条件（如温度），以供实验后分析、核对。

2. 误差的来源、分类与表示

在科学实验与生产实践的过程中，为了获取被研究对象特征的定量信息，必须准确地进

行测量。而为了准确地测量某个参数大小，首先要选用合适的仪器设备，并借助一定的实验方法，以获取必要的实验数据；其次，要对这些实验数据进行误差分析与数据处理。但人们往往重视前者而忽视后者。

众所周知，在测量过程中，由于各种原因，实测结果和被测真值之间总存在一定差别，即测量误差。因此，分析误差产生的原因，采取措施减少误差，使测量结果更加准确对实验人员及科技工作者来说是应该了解和掌握的。

(1) 测量误差的来源

测量误差的来源主要有以下几方面：

1) 仪器误差：由于仪器的电气或机械性能不完善所产生的误差，如校准误差、刻度误差等。

2) 使用误差：又称操作误差，它是指在使用仪器过程中因安装、调节、布置、使用不当引起的误差。

3) 人身误差：由于人的感觉器官和运动器官的限制所造成的误差。

4) 环境误差：由于受到温度、湿度、大气压、电磁场、机械振动、声音、光照、放射性等影响所造成的附加误差。

5) 方法误差：又称理论误差，它是由于使用的测量方法不完善，理论依据不严密，对某些经典测量方法做了不适当的修改、简化所产生的，即在测量结果的表达式中没有得到反映的因素而实际上这些因素又起作用所引起的误差。例如，用伏安法测电阻时，若直接以电压表示值和电流表示值之比作为测量结果，而不计电表本身内阻的影响，就会引起误差。

(2) 测量误差的分类

根据误差的性质及产生原因，测量误差可分为系统误差、随机误差和过失误差三大类。

1) 系统误差：在规定的测量条件下对同一个量进行多次测量时，如果误差的数值保持恒定或按某种确定的规律变化，则称这种误差为系统误差。例如，电表的零点不准，温度、湿度、电源电压等变化造成误差都属于系统误差。系统误差有一定的规律性，一般可通过实验和分析找出并设法减弱和消除。

2) 随机误差：随机误差又称偶然误差，在规定的条件下对同一量进行多次测量时，如果误差的数值发生不规则变化，则称这种误差为随机误差。例如，热运动、外界干扰和测量人员感觉器官微小的变化所引起的误差都属于随机误差。尽管在每次测量某一量时随机误差是不规则的，但是实践证明，如果测量次数足够多，随机误差的平均值的极限就会趋于零。所以，通过多次测量某一量并求出平均值可以消除随机误差。

3) 过失误差：过失误差是指在一定测量条件下，测量值明显地偏离真实值的误差。它是由于测量者对仪器不了解或粗心读数导致的不正确而引起的误差。通过分析确认是过失误差的测量数据应该予以剔除。

(3) 误差的几种表示方法

误差常用绝对误差、相对误差和容许误差来表示。

1) 绝对误差：如果 x_0 表示被测量值的真值， x 表示测量仪器的指示值（测量值），于是绝对误差 Δx 为：

$$\Delta x = x - x_0$$

若用高一级标准的测量仪器测得的值作为被测量的真值，则在测量前，实际使用的测量仪器

应该由高一级标准的仪器进行校正,校正量常用修正值表示。对于某个测量值,高一级标准仪器的指示值减去实际测量仪器的指示值,就得到修正值。实际上,修正值就是绝对误差,只是符号相反而已。例如,用某电流表测量电流,指示值为 20mA,修正值是 +0.05mA,则被测电流的真实值为 20.05mA。

2) 相对误差:相对误差 δx 是绝对误差与被测量值的真值之比,用百分数表示,即

$$\delta x = \Delta x / x_0 \times 100\%$$

当 $\Delta x \ll x$ 时, $\delta x \approx \Delta x / x \times 100\%$ 。例如,用频率计测量频率,仪器的指示值为 500MHz,修正值为 -500Hz,则

$$\delta x \approx [500 / (500 \times 10^6)] \times 100\% = 0.0001\%$$

又如,用修正值为 -0.5Hz 的频率计测得频率为 500Hz,则

$$\delta x \approx (0.5 / 500) \times 100\% = 0.1\%$$

从以上两例可以看出,尽管后者的绝对误差远小于前者,但后者的相对误差却远大于前者。因此,前者的测量准确度实际上比后者要高。

3) 容许误差:一般测量仪器的准确度用容许误差表示,它是根据技术条件的要求,规定某一类仪器的误差不应超过的最大范围。因此,容许误差又称为最大误差。通常仪器技术说明书所标明的误差都是指容许误差。在指针式仪表中,容许误差就是对应于满刻度时的相对误差,定义为

$$\delta_m \approx \Delta x / x_m \times 100\%$$

式中, x_m 是仪表的满刻度读数。指针式仪表的误差主要取决于它本身的结构和制造精度,与被测值的大小无关。因此,用上式表示的满刻度相对误差实际上是绝对误差与一个常数的比值。我国的电工仪表按 δ_m 值分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5 共七个级别。

例如,用一只满刻度为 150V 的 1.5 级电压表测量电压,其最大绝对误差为 $150V \times (1 \pm 1.5\%) = \pm 2.25V$ 。若电压表的指示值为 100V,则被测电压的真值在 $100V \pm 2.25V$ 即 97.75 ~ 102.25V 范围内;若指示值为 10V,则被测电压的真值在 $10V \pm 2.25V$ 即 7.75 ~ 12.25V 范围内。

在电子测量仪器中,容许误差又分为基本误差和附加误差。基本误差是指在仪器规定的测量条件下所出现的最大误差。规定测量条件又称为标定条件,一般包括环境条件、电源条件、预热时间等。附加误差是指标定条件中的一项或几项发生变化时产生的误差。附加误差又分为两类,一类为使用条件(如温度、电源等)发生变化时产生的误差;另一类为被测对象参数(如频率、负载等)发生变化时产生的误差。

3. 测量结果的数据处理

测量结果的数据处理通常包括测量结果有效数字的处理和图形处理。

(1) 测量结果有效数字的处理

在记录和计算测量数据时,必须掌握有效数字的正确取舍。不能认为一个数据中小数点后面位数越多这个数据越准确,也不能认为计算测量结果时保留的位数越多准确度就越高。因为测量结果都是近似值,这些近似值通常都是用有效数字的形式来表示的。所谓有效数字,是指左边第一个非零的数字开始直到右边最后一位数字为止所包含的数字。例如,所测的频率为 0.0234MHz,它是由 2、3、4 三个有效数字表示的频率值。在其左边的两个“0”不是有效数字,因为它可以通过单位换算写成 23.4kHz。其中末位数字“4”通常是在测量

读数时估计出来的, 因此称它为欠准数字, 其左边的各位有效数字均是准确数字。

有效数字的正确表示方法如下:

1) 有效数字中, 只应保留一位欠准数字。因此在记录的测量数据中, 只有最后一位有效数字是欠准数字。这样的数据记录表明, 被测量可能在最后一位数字上变化 ± 1 的单位。例如, 用一只刻度为 50 分度、量程为 50V 的电压表测得的电压为 45.6V, 则该电压是由三位有效数字表示的, 4 和 5 两个数字是准确的, 而 6 是欠准的, 因为它是根据最小刻度估计出来的, 它可能被估读为 5, 也可能被估读为 7, 所以测量结果也可以表示为 (45.6 ± 0.1) V。

2) 欠准数字中, 要特别注意 0 的情况。例如, 测量某电阻的数值为 13.600k Ω , 这表明前面 4 位数 1、3、6、0 是准确数字, 最后一位数 0 是欠准数字。如果改写成 13.6k Ω , 则表明前面两位数 1、3 是准确数字, 最后一位数 6 是欠准数字。这两种写法尽管表示同一个数值, 但实际上却反映了不同的测量精度。如果用 10 的幂来表示一个数据, 10 的幂前面的数字都是有效数字。例如, $13.60 \times 10^3 \Omega$ 表明该电阻的有效数字为 4 位。

3) π 、 $\sqrt{2}$ 等常数有无限位数的有效数字, 在运算时可根据需要取适当的位数。

对于测定的或通过计算获得的数据, 在所规定的精度以外的那些数字采取四舍五入的原则进行处理。

如果只取 n 位有效数字, 那么第 $n+1$ 位及其以后的各位数字都应舍去。如采用四舍五入的原则, 对 $n+1$ 位为 5 的数字则都是只入不舍的, 这样会产生较大的累积误差。目前广泛采用的四舍五入法则对 5 的处理方法是: 当被舍的数字等于 5 而 5 之后有数字时, 则舍 5 进 1。若 5 之后无数字或为 0 时, 这时若 5 之前那位数字为奇数则舍 5 进 1, 若为偶数则舍 5 不进位。

有效数字的计算方法如下:

1) 加、减运算: 如对同一物理量的测量数据进行运算, 首先应对这些数据进行处理, 使小数 0 后的有效数字的位数保留到这些数据中最少的位数, 然后再进行运算。

2) 乘、除运算: 运算前对数据的处理应以有效数字位数最少的为标准, 所得的积或商的有效数字的位数应与此相同。

(2) 测量结果的图形处理

测量结果除直接用数据表示之外, 还可以用各种曲线表示。特别是在表示两个或两个以上物理量之间的关系时, 用曲线更能一目了然。例如, 三极管的输入特性表示基极电流 i_B 与基-射之间电压 u_{BE} 之间的关系, 输出特性则表示在不同的基极电流下集电极电流 i_C 与集-射之间电压 u_{CE} 之间的关系。用曲线来表示这些量之间的关系不但直观明了, 而且通过画图可解决三极管电路中的各种问题, 这样给分析和设计三极管电路带来了极大的方便。因此, 根据测量数据画出曲线也是应当掌握的重要内容。

做图之前, 为了避免差错, 应将一组测量数据 (或经过整理换算的数据) 列表备查。

在做图时, 根据需要可采用直角坐标、极坐标或其他形式的坐标, 坐标轴可采用线性刻度或对数刻度等。

对于函数 $y = f(x)$, 一般自变量 x 的测量误差忽略不计 (或把误差小的作为自变量), 并以横坐标表示。根据具体情况, 坐标不一定从零点开始。数据点可用空心圆、实心圆、三角形、十字形、正方形等做标记, 标记的中心与测量数据点相重合, 标记的大小一般在 1mm 左右。

粗略作图时,可以使数据点大体沿所作曲线两侧均匀分布。测量数据点疏密程度的选择应根据曲线的具体形状而定,使各点沿曲线均匀分布,而沿横坐标轴 x (或沿纵坐标轴 y) 的分布则不一定是均匀的。在曲线急剧变化的地方,测量点应适当选得密一些。

当自变量取值范围很宽,如变化几个数量级时,一般可以用对数坐标作图。如放大电路的幅频特性,其频率坐标就取对数坐标。如果在很宽的范围内放大电路的幅频特性都非常平直,还可以采用断裂线进一步缩小图幅。

还可以利用数学的方法对曲线进行拟合,对直线进行修匀。

1.5 实验报告的撰写

实验报告是实验结果的总结和反映,也是实验课的继续和提高。通过撰写实验报告,使知识条理化,可以培养学生综合分析问题的能力。一个实验的价值在很大程度上取决于报告质量的高低,因此对实验报告的撰写必须予以充分的重视。撰写一份高质量的实验报告必须做到以下几点:

1) 以实事求是的科学态度认真做好各次实验。在实验过程中,对读测的各种实验原始数据应按实际情况记录下来,不应擅自修改,更不能弄虚作假。

2) 对测量结果和所记录的实验现象,要会正确分析与判断,不能对测量结果的正确与否一无所知,以致出现因数据错而重做实验的情况。如果发现数据有问题,要认真查找线路并分析原因。数据经初步整理后,请指导老师审阅,然后才可拆线。

3) 实验报告的主要内容包括以下几个方面:

- 实验目的。
- 实验设备。
- 实验电路。
- 实验步骤和测试方法。
- 实验数据、波形和现象以及对它们的处理结果。
- 实验数据分析。
- 实验结论。
- 实验中问题的处理、讨论和建议,收获和体会。
- 附实验的原始数据记录。
- 实验报告封面。

在撰写实验报告时,常常要对实验数据进行科学的处理,才能找出其中的规律,并得出有用的结论。常用的数据处理方法是列表和制图。实验所得的数据可分类记录在表格中,这样便于对数据分析和比较。实验结果也可绘成曲线直观地表示出来。在作图时,应合理选择坐标刻度和起点位置(坐标起点并不一定要从零开始),并要采用方格纸绘图。当标尺范围很宽时,应采用对数坐标纸。另外,在波形图上通常还应标明幅值、周期等参数。

1.6 电子测量技术

1. 电子测量的基本特点及分类

电子测量是以电子技术的理论为依据,以电子测量仪器和设备为手段,以电量或非电量(可转化为电量)为对象的一种测量技术。

(1) 电子测量的基本特点

电子测量与电工测量相比,有以下几个特点:

1) 频率范围宽。电子测量可完成对直流量及快速变化电量的测量任务,被测量的频率范围可从零到几百兆赫。如 D-16 型晶体管交流毫压表可对频率为 5Hz~2MHz 的信号进行测量,而万用表一般只能测量 1kHz 以下的信号。

2) 量程范围大。电子测量的量值范围很宽,例如,普通万用表的测量范围为几伏至几百伏,约两个数量级,而晶体管交流毫伏表的测量范围可从几毫伏至几百伏,达到 5 个数量级,数字电压表可达 7 个数量级。

3) 精度高。电子测量的精度与测量方法、测量技术以及所选用的仪器等因素有关。但就电子仪器的精度而言,目前已达到相当高的水平。由于采用了更为精确的电压、频率基准,电子仪器的测量精度有了飞跃的提高,显示 6~8 位数字的电压表和频率计被大量应用在电子测量中,而电工仪表能达到 0.1 级精度(即误差为 0.1% 以下)已是很少见的了。

除了以上三个特点以外,电子测量还具有速度快、功能多、使用灵活方便等优点。随着微型计算机的发展,电子测量仪器将朝着智能化的方向发展,它不仅可以进行自动测试和自动记录,而且可以实现数据分析和处理。例如,可以自动消除某些测量误差,使电子测量技术更臻完善。

(2) 电子测量方法的分类

电子测量的方法很多,大致可以分为以下三类:

1) 直接测量法。这是一种对被测对象直接进行量测并获得其数据的方法。例如,对各点电压量的测量就是直接测量。

2) 间接测量法。不对被测量进行直接测量,而是对一个或几个与被测量值有确切函数关系的物理量进行测量,然后通过计算或推测得出被测量,这种测量方法称为间接测量法。

3) 组合测量法。这是一种将直接测量法和间接测量法联合使用的测量方法。

2. 电子测量的基本程序

电子电路的基本测量项目通常有静态测量和动态测量。测试程序一般是先静态,后动态。在完成基本测试项目的基础上,根据实际需要,有时可进行某些专项测试,如在电源波动的情况下,进行电路稳定性的检查、抗干扰能力的测定等。

(1) 静态测量

所谓静态,是指电路在不加输入信号或仅加固定电压信号时所处的稳定状态(对自激振荡电路来说是指停振状态)。静态测量的对象主要是各节点的直流电位。当测量精度要求不高时,一般可采用普通万用表(如 MF20 型,直流电压档内阻为 20kΩ/V);而对于一些精度要求较高的电路(如 A/D 转换电路、电压比较电路等),可采用内阻大、精度高的数字电压表。

(2) 动态测量

所谓动态,一般是指电路在外加输入信号下的工作状态(对自激振荡电路来说是指振荡状态)。例如,对放大电路来说,动态测量的主要对象通常有以下几个: