



教育部高职高专规划教材

电子技术实训

第三版

● 张惠敏 主编 ● 陈志红 副主编

● 薛波 主审



化学工业出版社

教育部高职高专规划教材

电子技术实训

第三版

张惠敏 主 编
陈志红 副主编
薛 波 主 审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是根据高职高专学校电子信息类专业电子技术、模拟电子技术、数字电子技术课程的基本要求编写的配套实训指导教材,也可作为独立设课的电子技术实训“教、学、做”一体化教学的教材。本书共分五章:第一章模拟电路实训基本知识与技能,介绍电量测量的基本方法与测量误差,常用电子仪器、常用电子元器件检测和电子产品焊装与调试基本方法;第二章模拟电路基础实训包含十二个实训项目,重点培养模拟电路的电路调整、指标测试、常用仪器仪表使用、应用电路的搭接测试和故障排除等能力;第三章数字电路实训基本知识与技能,介绍常用数字集成电路的功能检测、数字系统故障排除以及干扰抑制等;第四章数字电路基础实训包含十个实训项目,重点培养数字集成部件的识别、检测和应用,典型数字应用电路的搭接和功能检测;第五章电子技术综合实训,包含七个综合实训项目,重在培养实用电子产品的读图、装配、功能检测与整机调试及故障检测能力。

本书可作为高职高专院校相关专业的实训教材,适合高职高专电子信息类及其他工科类专业使用。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实训/张惠敏主编. —3版. —北京:化学工业出版社, 2016.6
教育部高职高专规划教材
ISBN 978-7-122-26906-5

I. ①电… II. ①张… III. ①电子技术-高等职业教育-教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 087559 号

责任编辑:潘新文 张建茹
责任校对:吴 静

装帧设计:关 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京振南印刷有限责任公司

装 订:北京国马印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张13 字数318千字 2016年7月北京第3版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:26.00元

版权所有 违者必究

前 言

随着高职高专教育的蓬勃发展以及教育部高职高专教育教学改革的要求,电子技术实训课程的一体化教学与教材改革也在不断深入和优化。《教育部关于深化职业教育教学改革全面提高人才培养质量的若干意见》(教职成[2015]6号)明确高职高专人才培养定位目标为技术技能型人才,对职业教育提出“增强学生就业创业能力为核心,加强人文素养教育和技术技能培养,全面提高人才培养质量”新的要求。本教材兼顾电子电气大类和信息通信大类各专业的技术基础课程的公共服务特性,按照突出能力体系、兼顾课程知识体系的原则编写。在第二版的基础上,本版进一步优化体系结构,以应用为导向实现知识的简约重组,对接最新职业标准、行业标准和岗位规范。

本教材注重突出以下特点。

1. 教材案例选取紧贴技术进步和生产实际,贯彻国家与行业的技术标准、职业标准及岗位规范,使学生掌握企业先进技术工艺和操作规程,培养严格执行产业技术标准的人才。
2. 构建了新颖的实践教学一体化教材结构体系,注重教育与生产劳动、社会实践相结合。突出做中学、做中教,强化教育教学实践性和职业性,促进学以致用、用以促学、学用相长。
3. 适应新技术、新模式、新动态发展实际。新版教材以先进的数字仪器仪表取代原有的模拟仪器仪表,贴紧技术进步。以 Multisim 替代了原有 EWB 进行的电路仿真实训,体现了应用性、实用性、综合性和先进性。

全书主要内容包括模拟电路实训基本知识与技能、模拟电路基础实训、数字电路实训基本知识与技能、数字电路基础实训、电子技术综合实训。

本教材推荐学时 80 小时左右,可作为模拟电子技术、数字电子技术、电子技术课程配套的实训教材,也可作为“教、学、做”一体化的教材独立使用;适用于高职高专、中等职业教育、职业技术培训、企业员工培训等用书。其中技能训练内容可根据各校具体情况自行增减。

与本教材配套的教学课件与教学资源请登录 <http://bb.zzrvtc.edu.cn/webapps/login/>

本书具体编写分工如下:朱立宏编写第一章的第一节至第三节;冯笑编写第一章的第四节;陈志红编写第一章的第五节和第五章的实训二十五、实训二十六和实训二十九;刘海燕编写第二章的实训三、四、五、七、八和实训九;赵新颖编写第二章的实训一、二和实训六;马蕾编写第二章的实训十和实训十二;刘素芳编写第二章的实训十一;张惠敏编写第三章和第四章的实训十三至实训十九和实训二十二;黄根岭编写第四章的实训二十和实训二十一;韦成杰编写第五章的实训二十三至二十四;吴昕编写第五章的实训二十七至二十八。

本书由张惠敏任主编,负责全书的规划与统稿;陈志红任副主编,郑州铁路局信息技术

处高级工程师薛波任主审。

本书编写过程中得到了郑州铁路职业技术学院及化学工业出版社的热情支持和帮助，各参编单位的领导和同行们都给予了极大的关怀和鼓励，在此表示衷心的感谢。限于作者水平，书中难免有不妥之处，敬请读者提出宝贵意见。

编 者

2016.2

第一版前言

本书是根据高职高专学校电子信息类专业“电子技术”、“模拟电子技术”、“数字电子技术”课程的基本要求编写的配套实训教材，也可作为独立设课的实训教材。

根据高职高专的培养目标要求，本书着重于对学生进行常用仪器仪表的使用、基本实训技能以及应用电路的组装测试等方面的训练，在传统实训内容的基础上进行了适当的内容扩充，大部分实训项目要求学生自己搭接电路，培养器件识别、检测能力和电子技术应用能力。

《电子技术实训》实践教学为60~70学时，内容编排上突出了以下特点。

(1) 技能训练由浅入深、循序渐进，有针对性地加强实际应用能力的培养。

(2) 内容齐全。涵盖了模拟和数字电路的内容，既有基本实训项目，也有扩展实训和综合应用。

(3) 适用面宽。本教材作为高职高专电子技术课程的配套技能训练教材，适用于高职高专以及中专及成人大、中专教育。

(4) 突出应用性，强化集成器件的检测及应用。

(5) 通用性强。本教材采用多功能模拟和数学实验系统完成，系统配有常用元器件和常用实验电路，可采用学生自己搭接电路或选用已有电路进行训练，方式灵活，适应不同层次和不同需求的学生。

本教材的实训一、十二和附录由朱小娟编写；实训二~五、七~九、二十六、二十八、二十九由孙建设编写；实训六、十和十三由王瑞琴编写；实训十一由刘素芳编写；数字电路实训指导和实训十五~二十一、二十四由张惠敏编写；实训二十二、二十三由马蕾编写；实训二十五由王桂馨编写；实训十四、二十七、三十、三十一由朱彤编写；全书由张惠敏负责统稿，担任主编；孙建设，朱小娟担任副主编；王学力担任主审。

由于编者水平有限，书中的不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2001.12

第二版前言

在教育部高等教育司的领导和支持下,《电子技术实训》教材在2001年作为第一批“教育部高职高专规划教材”由化学工业出版社正式出版。几年来,本书在全国高职高专教育教学中发挥了积极的作用,得到了全国各兄弟院校及同行们的大力支持和帮助。在此,编者向大家表示由衷的感谢。

随着高职高专教育的蓬勃发展以及教育部高职高专教育教学改革的要求,《电子技术实训》课程的教学与教材改革也在不断深入和优化,探索基于工作过程的案例驱动、项目教学,已经成为共识。为此教材编写组全体成员根据现阶段高职高专教育的特点及多年的教学实践积累,重新组织修订了电子技术实训教材的体系结构和内容,删减了部分验证性实验的内容、整合了部分单元实训内容;增加了模拟电路实训基本知识和技能、电子产品组装与调试的综合实训项目,力求适应现代高职高专教育的发展需要,在学生认知的基础上逐步向工艺和操作的规范化、标准化上靠近,探究故障原因及解决方法,凸显高职教育的内涵。

本教材突出电子技术的实践性和实用性特点,着重以电子元器件的检测、实用电路的组装、调试以及故障处理为主线,全部采用实例案例,内容编排由浅入深、循序渐进,涵盖了模拟电子技术和数字电子技术的实训项目,并辅以电子产品制作的综合项目,旨在培养学生的综合应用能力。

本教材推荐学时80左右,可作为《模拟电子技术》、《数字电子技术》、《电子技术》课程配套的实训教材,也可作为《电子技术实训》“教、学、做”一体化教学的教材,适用于高职高专、中等职业教育、职业技能培训、企业员工培训等用书。其中技能训练内容可根据各校具体情况自行增减。

参编人员具体编写分工如下:

朱立宏编写第一章的第一节至第三节;马丽娟编写第一章的第四节;陈志红编写第一章的第五节和第五章的实训二十五、实训二十六与实训二十九;刘海燕编写第二章的实训三、四、五、七、八和实训九;赵新颖编写第二章的实训一、二和实训六;马蕾编写第二章的实训十和实训十二;刘素芳编写第二章的实训十一;张惠敏编写第三章和第四章的实训十三至实训十九和实训二十二;黄根岭编写第四章的实训二十和实训二十一;韦成杰编写第五章的实训二十三至二十四;吴昕编写第五章的实训二十七至二十八。

本书由张惠敏任主编,负责全书的规划与统稿;陈志红任副主编,王学力任主审。

随着科学技术的发展,集成电路工艺水平、集成度以及器件功能不断完善和提高,电子技术应用也更为广泛,教材内容的更新势在必行,教材编写组全体成员诚恳希望社会各界多提改进意见,以便进一步修改和完善,以共同促进高职高专教育的发展。限于作者水平,书中难免有不妥之处,敬请使用者提出宝贵意见。

本书编写过程中得到了教育部高等教育司领导及化学工业出版社领导的热情支持和帮助,各参编学院的领导和同行们都给予了极大的关怀和鼓励,在此表示衷心感谢。

编 者

2009.6

目 录

第一章 模拟电路实训基本知识与技能	1
第一节 电子测量与测量误差	1
第二节 常用电子仪器的基本原理与使用	6
第三节 常用电子元件及检测	26
第四节 电子电路的焊装与调试	41
第五节 电子技术实训的组织与要求	50
第二章 模拟电路基础实训	52
实训一 常用电子仪器的使用	52
实训二 常用电子器件识别与检测	55
实训三 单管共射放大电路调整与测试	60
实训四 共射-共集两级放大电路调整与测试	65
实训五 差动放大电路调整与测试	68
实训六 集成功率放大电路的调试	71
实训七 集成运算放大器构成的基本运算电路的调试	74
实训八 集成运算放大器的非线性应用	78
实训九 集成运算放大器构成的测量电路调试	81
实训十 正弦波信号发生器的测试	84
实训十一 直流稳压电源调整与测试	87
实训十二 单相可控整流电路调整与测试	91
第三章 数字电路实训基本知识与技能	94
第一节 数字集成电路器件的选用与检测	94
第二节 数字逻辑电路的测试	99
第三节 数字电路的故障检测	101
第四节 数字电路的干扰与抑制	105
第四章 数字电路基础实训	110
实训十三 TTL 与非门的测试及功能转换	110
实训十四 组合逻辑电路的设计与测试	114
实训十五 集成译码器、数据选择器的应用	116
实训十六 四组智力竞赛抢答器	121
实训十七 计数器逻辑功能测试及应用	125
实训十八 移位寄存器的功能测试及应用	128
实训十九 计数、译码、显示综合应用	133
实训二十 555 时基电路典型应用	138
实训二十一 555 时基电路构成的警笛电路	141
实训二十二 数模和模数转换电路仿真实训	144
第五章 电子技术综合实训	150
实训二十三 输出电压可调的稳压电源	150

实训二十四	红外线双向对讲机	152
实训二十五	可编程音乐发生器	155
实训二十六	双音门铃的制作	160
实训二十七	可编程电脑彩灯控制器	162
实训二十八	带有校时功能的数字闹钟	166
实训二十九	收音机组装与调试	171
附录		196
附录 1	电阻器的型号命名方法	196
附录 2	电容器的型号命名方法	196
附录 3	半导体分立器件的型号命名法	197
参考文献		199

第一章 模拟电路实训基本知识与技能

电子技术包含模拟电子技术和数字电子技术，简称模拟电路和数字电路。模拟电路主要研究模拟信号的产生、放大和传输；数字电路主要研究数字信号的产生、传输和变换，重在输入变量和输出变量间的逻辑关系。电子技术是一门实践性很强的课程，完成电子技术的实训内容，是掌握实用电子技术的重要途径。

进行模拟电路实训，需要具备电子测量的基本知识与初步的操作技能。本章主要介绍电子测量与测量误差、常用电子仪器的使用、电子元器件检测及实训操作技能等基本知识。

第一节 电子测量与测量误差

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，以电量或非电量为对象的一种测量技术。与其他测量技术相比，电子测量具有测量频率范围宽、精确度高、速度快、功能多、使用灵活方便等优点。随着计算机技术在电子测量仪器中的应用，电子测量日益智能化，不仅可以进行自动测试和自动记录，而且可以实现数据的分析和处理。

电子测量的对象分为电量和非电量两大类，非电量的测量一般可以通过传感装置转化为电量的测量，例如，温度的测量，可以通过温度传感器转化为电压的测量。因此，电子测量的主要内容是各种电量的测量。

一、测量方法的分类

测量方法有多种分类方式。

(1) 按数据取得的过程 可分为直接测量法和间接测量法。

① 直接测量法：可以直接测量得到测量值的方法。例如，用电压表测量稳压电源的输出电压。

② 间接测量法：利用欲测量值与其他测量值之间的关系，得到欲测量值的方法。例如，欲测量放大器的电压放大倍数 A_u ，先测量输出电压 U_o 和输入电压 U_i ，然后由 $A_u = U_o / U_i$ 计算得到 A_u 。

(2) 按被测量的性质 可分为时域测量、频域测量、数据域测量等。

① 时域测量：被测量值随时间的变化规律，用于研究电路的瞬态特性。如用示波器观察正弦信号的波形，脉冲信号的上升沿、下降沿等参数。

② 频域测量：被测量值随频率的变化规律，而与时间因素无关。如使用扫频仪，测量放大器的频率特性曲线。用频谱仪测量放大器的幅频特性、相频特性等。

③ 数据域测量：用逻辑分析仪对数字量或电路的逻辑状态进行测量的方法。

(3) 按测量方式 可分为接触测量和非接触测量、动态测量和静态测量等。

二、电子测量的基本要求

电子电路具有频带宽,输入阻抗高和灵敏度高的特点,因此,测量时要注意以下三点基本要求。

1. 测量仪器的频率响应要和被测电路的频率相适应

被测电路和测量仪器都有频率响应,如果测量仪器的带宽小于被测电路的带宽,会产生很大的测量误差甚至错误的测量结果。

2. 测量仪器的阻抗要和被测电路的阻抗相匹配

电子电路测量时一般阻抗较高,相应的测量仪器的阻抗也应较高,否则会产生很大的测量误差甚至错误的测量结果。一般毫伏表的输入阻抗可达兆欧级,是测量电子电路交流电压较理想的仪器。

3. 注意仪器的“共地”问题

在电工测量中,测量交流电压时可以互换电极,通常不会影响测量读数。但是在电子电路中,由于工作频率和电路阻抗较高,信号功率较低,容易引入干扰信号。因此,大多数仪器是采用单端输入、单端输出的形式。即:仪器的两个测量端总有一个与仪器外壳相连,并与电缆的外屏蔽线连接在一起,这一端子用符号“ $\perp$ ”表示,另一端则作为信号的输入或输出端。在测量过程中,为防止可能引入的干扰,必须将所有的“ $\perp$ ”端点连接在一起,通过带有接地线的电源插头接入实验室的地线,“ $\perp$ ”端点也称为“接地端”。这样的连接方式称为“共地”。

因此,仪器的接地端与非接地端应严格区别,不能任意互换。各仪器之间的接地端与非接地端也决不可接在一起,否则,将使信号短路,严重时烧坏电路的元器件。(在电子实验、实训中,用“Q₉—双夹线”作为测量仪器的连接线,其中,红夹线是信号线,黑夹线是接地端,连接时应注意区别。)

三、基本电量的测量

1. 电压测量

电压测量包括直流电压测量和交流电压测量。

(1) 直流电压测量 一般用电压表或万用表的直流电压挡进行。将电压表或万用表并联于被测电路两端。

用直流电压挡测直流电压时,应注意电压挡内阻与被测两端电阻值的大小关系。要求直流电压挡内阻远大于被测电路两端的电阻值,以减小对被测电路的分流作用,不致影响电路工作状态、并有较高测量精度。

(2) 交流电压的测量 由于万用表的交流电压挡的灵敏度较低,仅为 $5\text{k}\Omega/\text{V}$,测量误差较大,故一般用毫伏表来进行交流电压的测量。

直流电压、交流电压也可以用示波器测量。测量方法见本章第二节“常用电子仪器的基本原理与使用”。

2. 电流测量

电流的测量一般用电流表或万用表电流挡进行。直接测量法是将万用表或电流表串联到

被测电路中。

如果被测电路中有已知电阻 R ，常采用间接测量法。通过测量电阻两端的电压，利用欧姆定律计算其电流值。如图 1-1 所示。如果该支路没有已知电阻，可在被测电路中串入一个适当的取样电阻，通过测量其两端电压而得到其电流值。

直接测量法精度较高，其缺点是要断开电路，比较麻烦。间接测量法较为方便，但要求电压挡内阻远大于电路电阻值。

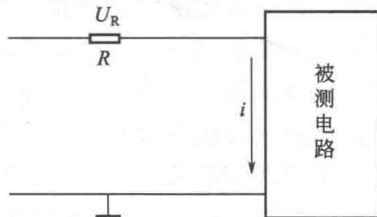


图 1-1 电流测量

3. 输入阻抗的测量

输入阻抗的测量一般用间接测量法测量，如图 1-2 所示，在信号发生器与放大器的输入端之间接入一已知的串联电阻 R ，用毫伏表分别测量 A 点和 B 点对地的电压 U_S 、 U_i 的值，则输入电阻。

$$R_i = \frac{U_i}{U_S - U_i} R$$

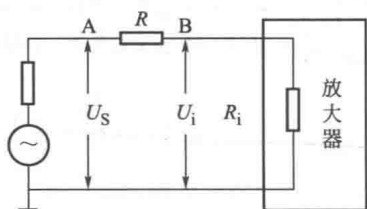


图 1-2 输入阻抗的测量

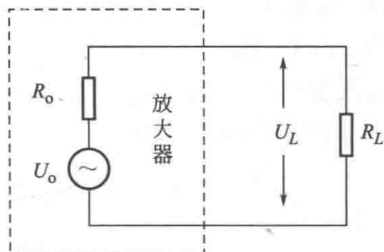


图 1-3 输出阻抗的测量

4. 输出阻抗的测量

输出阻抗的测量也用间接测量法测量，如图 1-3 所示。当放大器电路没有接负载时，用毫伏表测得的数值为放大器的开路输出电压 U_o ，当放大电路接上负载 R_L 时，用毫伏表测量其带载输出电压 U_L ，然后计算输出阻抗

$$R_o = \left(\frac{U_o - U_L}{U_L} \right) R_L$$

5. 电阻、电容、相位差及频率的测量

这部分内容将在“常用电子仪器的基本原理与使用”中介绍。

四、测量误差

测量的目的是得到被测量本身所具有的真实数据，即真值。由于各种因素的影响，不论采用什么样的测量方法，测量结果与被测量的真值之间都会存在差异，这种差异称为测量误差。

1. 误差产生的原因

误差产生的原因是多方面的，主要包括以下几方面。

(1) 仪器误差 在测量仪器正常工作的条件下，由于测量仪器本身结构或制造工艺的限制而引起的误差，例如由于仪器零点漂移引起的误差。

(2) 影响误差 影响误差又称为环境误差。是由于测量仪器受到环境温度、湿度、外界电磁场、振动等影响,使测量仪器偏离了正常工作条件,产生了影响误差。如在数字电压表技术指标中常单独给出温度影响误差。

(3) 方法误差 方法误差也称为理论误差。是由于测量时使用的方法不妥当、理论依据不严密、测量方法不合理而造成的误差。例如用伏安法测电阻时,如果不考虑仪表的内阻对电路工作状态的影响,所测的电阻值中便含有方法误差。

(4) 操作误差 在使用测量仪器过程中,由于安装、调节、使用不当等原因引起的误差。

(5) 人身误差 由于测量人员的分辨能力、反应速度、固有习惯等原因,导致数据读取错误,现象判断失误而产生的误差。

2. 误差的表示法

常用的误差表示方法有绝对误差和相对误差。

(1) 绝对误差 测量仪表的指示值 A_x 与被测量的真值 A_0 之差,称为绝对误差。用 ΔX 表示,即

$$\Delta X = A_x - A_0$$

真值 A_0 是变量本身的真实值,它是一个理想的概念。真值一般是无法得到的,通常用实际值 A_x (高一级以上的标准仪器或计量器具所测得的测量值) 来代替真值。例如,用两块电压表测量电压,第一块读数为 102V,第二块读数为 97V,而标准表的读数(视为真值)为 100V,则测量的绝对误差为:

$$\Delta X_1 = (102 - 100) = 2V$$

$$\Delta X_2 = (97 - 100) = -3V$$

可见,绝对误差的单位与被测量相同,符号有正负之分。测量同一个被测量时,用绝对误差表示测量误差的大小比较直观。

(2) 相对误差 相对误差是绝对误差 ΔX 与被测量的真值 A_0 之比。通常用百分数表示即

$$\gamma = \frac{\Delta X}{A_0} \times 100\%$$

例如,用两块电压表测量电压,一个测量 100V (真值) 电压时,指示为 101V,绝对误差 ΔX_1 为 1V,另一个测 12V (真值) 电压时,指示为 12.6V,绝对误差 ΔX_2 为 0.6V。

但相对误差分别为

$$\gamma_1 = \frac{1}{100} \times 100\% = 1\%$$

$$\gamma_2 = \frac{0.6}{12} \times 100\% = 5\%$$

前者的绝对误差大于后者,但相对误差却比后者的小,显然前者测量的准确度更高一些。由此可见测量不同的被测量时,绝对误差难以直接比较测量结果的准确度,而相对误差便于对不同的测量结果的测量误差进行比较。因此,一般都用相对误差表示测量误差。

3. 测量仪器的准确度

在指针式仪表中,用仪表在测量量限内的最大绝对误差与仪表满刻度值 X_m 之比,来反

映仪表的准确程度。即

$$\alpha_{nm} = \frac{\Delta X_m}{X_m} \times 100\%$$

这个比值称为最大引用误差。

按最大引用误差的不同, 指针式电工仪表的准确度 α 通常分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 共七个等级。准确度为 0.1 级的仪表, 其最大引用误差小于或等于 0.1%。0.2 级的仪表, 其最大引用误差在 0.1% 到 0.2% 之间, 但不超过 0.2%, 依次类推。

如果使用准确度为 α 的仪表进行测量, 由最大引用误差的概念得

$$\Delta X_m \leq \alpha \% X_m$$

测量结果的相对误差

$$\gamma \leq \frac{\alpha \% X_m}{A_0} \times 100\%$$

(注: 如果比 α 高一级的准确度为 α_1 , 则同时 $\gamma \geq \frac{\alpha_1 \% X_m}{A_0} \times 100\%$)

上式反映了测量结果的相对误差与仪表的准确度、量程及被测量大小之间的关系。由此可知

① 仪表的准确度直接影响测量结果的准确程度。 α 值越小, 仪表的准确度等级越高, 测量结果的相对误差越小。选择仪表时, 要根据测量精度要求, 考虑仪表的准确度等级。

② 仪表在使用过程中, 要根据被测量的大小, 选择合适的量程。所选的量程 X_m 越接近被测量 A_0 的大小, 测量结果相对误差越小。一般情况下应尽量选择合理的较小量程, 使指针处于仪表满刻度值的三分之二以上区域。对于万用表电阻挡等非线性刻度的电工仪表, 应尽量使用指针处于满刻度的二分之一区域。

对于结构较复杂的电子测量仪器来说, 由某一部分产生极小的误差, 就有可能由于累积或放大等原因而产生很大的误差, 因此不能用准确度的等级表示它的准确度, 而用容许误差来表示它的准确度。一般在产品说明中标有容许误差。

五、测量结果的处理

测量结果一般以数字方式或图形方式表示。测量结果的数据处理通常包括测量数据的有效数字处理和图形处理。

1. 测量数据的有效数字处理

(1) 有效数字的概念 测量过程中, 通常要在最小刻度的基础上多估读一位数字作为测量值的最后一位, 所以测量的数据总是近似值。例如用一块刻度为 50 分度, 量程为 50V 的电压表测量电压时, 指针在 45~46V, 可记录为 45.5V, 其中“45”是准确的, 称为可靠数字, “5”是根据最小刻度估读的数字, 称为欠准数字。两者合称有效数字。欠准数字后的数字是无意义的, 不必记入。由此得出测量记录值 45.5V 为三位有效数字。

(2) 有效数字的正确表示法 有效数字是指从左边第一个非零数字开始, 直到右边最后一个数字为止的所有数字。例如, 测得的频率为 0.0146MHz, 它是由 1、4、6 三个有效数字组成的频率值, 而左边的两个 0 不是有效数字, 因而它可以通过单位变换写成 14.6kHz, 这时有有效数字仍为 3 位, 6 是欠准数字未变。

有效数字的末位是根据最小刻度估读的,末位的“0”是不能任意增减的,是由测量设备的准确度决定的。上例中,不能将 0.0146MHz 写成 14600Hz,因为后者的有效数字变为 5 位,最右边的零为欠准数字,两者意义完全不同。

大数值与小数值都要用幂的乘积形式表示,上例中,测得的频率为 0.0146MHz,可以写成 1.46×10^{-2} MHz。

(3) 有效数字的运算规则 运算结果只保留一位欠准数字。舍去多余的欠准数字时,近似地可采用四舍五入法。

若计算式中出现如 e 、 π 、 $\sqrt{3}$ 等常数时,可根据具体情况来决定它们应取的位数,不加限制。

(4) 有效数字的基本运算 当几个数据进行加、减运算时,在各数据中(采用同一计量单位),以小数点后位数最少的那一个数据为准,其余各数均舍入至比该数多一位,而计算结果所保留的小数点后的位数,应与各数据中小数点后位数最少者的位数相同。

乘、除运算时,以有效数字位数最少的为准,所得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

在分析两个(或多个)物理量之间的关系时,用曲线比用数字、公式表示常常更形象和直观。因此,测量结果常要用曲线来表示。

(1) 曲线的修正 在实际测量过程中,由于各种误差的影响,测量数据将出现离散现象,如将测量点直接连接起来,将呈波动的折线。运用有关的误差理论,可以把各种随机因素引起的曲线波动抹平,使其成为一条光滑均匀的曲线。这个过程称为曲线的修正。

(2) 用分组平均法来修匀曲线 在要求不太高的测量中,常采用一种简便、可行的工程方法——分组平均法来修匀曲线。这种方法是将各数据点分成若干组,每组含 2~4 个数据点,然后分别估取各组的几何重心,再将这些重心连接起来,由于进行了数据平均,在一定程度上减少了偶然误差的影响,使之较符合实际情况。

3. 电子技术实验误差分析与数据处理

实验前尽量做到心中有数,以便发现测量结果的谬误。

对实验中使用的测量仪器仪表能熟练操作,正确读数。防止出现疏失误差。

要注意测量仪器仪表、元器件的误差范围对测量的影响,根据它们的误差范围,正确记录有效数字。

每个测量数据多测几次,分析产生误差的原因,判断误差的类别。尽可能减小测量误差,提高测量的准确度。

正确估计方法误差的影响。电子技术常采用近似公式,会带来方法误差,计算公式中元件的参数一般用标称值(而不是真值),由于元件参数的离散性,会带来随机性的系统误差。因此要考虑理论计算值的误差范围。

第二节 常用电子仪器的基本原理与使用

在模拟电路实训中,正确的选择和使用电子仪器是非常重要的,如果使用不当,将影响实验、实训的正常进行,使实验数据误差增大,严重时还会损坏实验设备。因此应具备正确

使用电子仪器的知识和技能。

一、常用电子仪器的基本知识

常用电子仪器主要有直流稳压电源和电子测量仪器。电子测量仪器种类繁多,性能各异。

1. 电子测量仪器的分类

测量中用到的各种电子仪表、电子仪器及辅助设备统称为电子测量仪器。按照电子测量仪器的不同功能,常用电子测量仪器分为以下几类。

(1) 信号发生器(信号源) 用于产生、提供电信号的仪器,如正弦信号发生器、函数信号发生器。

(2) 电压测量仪器 用于测量信号电压的仪器,如毫伏表、数字电压表等。

(3) 示波器 用于显示信号波形的仪器,如通用示波器、记忆存储示波器等。

(4) 频率测量仪器 用于测量信号频率、周期等的仪器,如频率计。

(5) 电路参数测量仪器 用于测量电阻、电感、晶体管放大倍数等电路参数的仪器,如晶体管特性图示仪。

测量时应根据测量要求,参考被测量与测量仪器的有关指标,尽量选用功能相符、使用方便的仪器。

2. 测量仪器的主要技术指标

电子测量仪器的技术指标主要包括频率范围、准确度、量程与分辨力、环境条件以及输入输出特性等。

(1) 频率范围 是指能保证仪器各项指标正常工作的有效频率范围。

(2) 准确度 测量准确度通常以容许误差形式给出。

(3) 量程与分辨力 量程是指测量仪器的测量范围。分辨力是指通过仪器所能直接反映出的被测量变化的最小值。

(4) 环境条件 即保证测量仪器正常工作的工作环境,例如额定工作条件。

(5) 输入特性与输出特性 输入特性主要包括测量仪器的输入阻抗、输入形式等。输出特性主要包括测量结果的指示方式、输出电平、输出阻抗、输出功率、输出形式等。

除了以上的技术指标外,通常还有稳定性与可靠性、响应特性等指标。不同的电子仪器具有不同的功能和技术指标,只有在其技术指标允许的范围内使用,才能得到正确的测量结果。

二、常用电子仪器的使用注意事项

1. 使用仪器仪表前, 要了解其功能及主要技术指标

使用仪器仪表前,应通过阅读产品说明书,了解仪器仪表的功能,分清仪器类别。了解主要技术指标。熟悉仪器面板上旋钮、开关的名称,作用和调节方法。

2. 正确选择仪器的功能和量程

当使用仪器对电路进行测量前,必须将面板上各种控制旋钮、开关选择到合适的功能和量程挡位,操作切忌用力过猛。一般选择“量程”时应先置于较大挡位,以免仪器过载而损坏,然后根据指针偏转的角度逐步将挡位降至合适位置,并尽量使指针的偏转在满刻度的

2/3 以上为好。对于采用数码显示的仪器,其测量数据应在测试仪器接入后,数码不再闪烁时再读取数值。

3. 严格遵守实验规则和操作程序

使用仪器时,一定要了解仪器各控制旋钮的改动对被测电路的影响,然后正确使用仪器才能测到准确的数据,避免损坏仪器和器件。例如,使用直流稳压电源时,一般应先调整好输出电压,而后关闭直流稳压电源,待检查全部电路的元件及线路正确无误后,再将直流电源接上并启动。

三、直流稳压电源

直流稳压电源是能够提供稳定直流电压的电源设备,当电网电压波动或负载变化时,直流稳压电源的输出电压基本稳定不变。

直流稳压电源的种类和型号很多,采用的稳压技术不尽相同,但是,都是由电源变压器、整流、滤波、稳压四个主要部分组成。使用方法基本相同。下面以 DPS6330U 直流稳压电源为例说明。

1. 概述

(1) DPS6330U 直流稳压电源有三路输出:其中两路输出电压连续可调,分别是主路 CH1 和从路 CH2,均可输出 $0\sim 32\text{V}$, $0\sim 3\text{A}$ 。第三路 CH3 为固定输出,通过按键切换方式,可输出 2.5V 、 3.3V 、 5V , $0\sim 3\text{A}$ 。不能连续可调。

(2) 主路 CH1 和从路 CH2 的输出有四种模式。

独立模式:主路 CH1 和从路 CH2 互不影响,为两个独立的输出端。分别输出电压。

串联模式:主路 CH1 和从路 CH2 的输出端串联(电源内部自动切换)。输出电压是两通道的电压之和。可输出 $0\sim 64\text{V}$, $0\sim 3\text{A}$ 。

串联跟踪模式:从路 CH2 输出电压跟随主路 CH1 输出电压的变化而变化。且从路 CH2 的输出电压与主路 CH1 的输出电压相等。在需要对称且可调的双极性电源的场合特别适用。串联跟踪工作时可输出 $0\sim 64\text{V}$, $0\sim 3\text{A}$ 。

并联模式:主路 CH1 和从路 CH2 的输出端并联(电源内部自动切换)。输出电流是两通道的电流之和。可输出 $0\sim 32\text{V}$, $0\sim 6\text{A}$ 。

(3) 主路 CH1 和从路 CH2 都有恒压、恒流功能且这两种模式可随负载变化而自动转换。

(4) 具有启动输出功能:在调整电压值和电流值的过程中,CH1、CH2 两个输出端均与外电路处于断开状态。按下启动输出键 OUTPUT 以后,才能向外电路输出电压。

2. 技术指标

主路输出: $0\sim 32\text{V}$, 波纹及噪声 $\leq 5\text{mV}$ ($5\text{Hz}\sim 1\text{MHz}$), $0\sim 3\text{A}$

从路输出: $0\sim 32\text{V}$, 波纹及噪声 $\leq 5\text{mV}$ ($5\text{Hz}\sim 1\text{MHz}$), $0\sim 3\text{A}$

固定输出: 2.5V 、 3.3V 、 5V , 一键式切换, 波纹及噪声: $\leq 5\text{mV}_{\text{rms}}$, $0\sim 3\text{A}$

跟踪误差: $\leq 0.5\%\pm 30\text{mV}$

3. DPS6330U 可编程直流稳压电源前面板示意图

直流稳压电源前面板如图 1-4 所示,各功能键如表 1-1 所示。