

21 世纪高等学校电子信息类教材

电子技术基础 实验与课程设计 (第二版)

● 高吉祥 主编 ● 易 凡 副主编
● 丁文霞 陆 岷 刘安芝 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

21 世纪高等学校电子信息类教材

电子技术基础 实验与课程设计 (第二版)

高吉祥 主编

易 凡 副主编

丁文霞 陆 珉 刘安芝 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书是为高等学校电气类、电子类、自动化类和其他相近专业而编著的电子技术基础实验和课程设计教材。本书分为五篇,第一篇电子技术基础实验和课程设计基础,主要介绍测量方法,常用仪器仪表原理及使用,常用电子元器件的识别和正确选用;第二篇模拟电子技术基础实验和课程设计;第三篇高频电子线路实验和课程设计;第四篇数字电子技术基础实验和课程设计。第五篇综合设计篇。第二、三、四篇除了介绍电气类、电子类、自动化类必修的三门主要专业基础课应做的实验外,还搜集整理了近几年来有关模拟和数字电路的综合应用的课程设计。第五篇为综合设计篇,专门为参加全国大学生电子设计竞赛而编著的。

本书可作为本科生模拟和数字电子技术的单科实验指导教材和电子线路的综合实验的教材,同时也为本科生参赛各类电子制作、毕业设计提供了极其有用的参考资料。

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

电子技术基础实验与课程设计/高吉祥主编. —2版. —北京:电子工业出版社,2005.2
21世纪高等学校电子信息类教材
ISBN 7-121-00921-8

I. 电… II. 高… III. ①电子技术—高等学校—教学参考资料 IV. TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第008581号

责任编辑:陈晓莉 特约编辑:李双庆

印 刷:北京大中印刷厂

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

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:30.75 字数:784千字

印 次:2005年2月第1次印刷

印 数:3000册 定价:38.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

21 世纪高等学校电子信息类教材编审委员会成员名单

主任委员:林金桐

副主任委员:傅丰林 邹家骅 赵尔沅 沈永朝

委 员:林金桐 赵尔沅 乐光新 白中英

邹家骅 沈永朝 刘京南 沈嗣昌

傅丰林 廖桂生 史小卫 李建东

张传生 殷勤业 徐国治 徐佩霞

严国萍 朱定华 王 殊 邓建国

出版说明

目前,高校正处于教改时期,新的专业目录已出台,从 1999 年秋季开始,各院校开始按新的专业设置进行招生。这样,原来的教材体系结构就很难适应当前调整后的专业需要,因而需要对教材进行相应的改革。为了适应当前教材改革与教材建设的需要,1996 年教育部正式启动了“面向 21 世纪高等工程教育教学内容和课程体系改革计划”,许多高等院校经数年的研究与实践,取得了许多重要成果。

为了配合全国各类高校电子信息类专业的教学改革与课程建设,推进高校电子信息类专业新教材的出版工作,在有关专家的倡议和有关部门的大力支持下,组织成立了全国高等学校电子信息类教材编委会;组织参加教育部组织的“电气信息类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究和实践”和“电工电子系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”两项课题的若干著名大学和其他高校的有关教师,讨论怎样尽快落实和实施面向 21 世纪的新教材的编写与出版工作,制定了新的教材出版规划。参加教材编写和编审的学校有:东南大学、北京邮电大学、西安电子科技大学、中国科技大学、华中理工大学、上海交通大学、西安交通大学、南京航空航天大学、天津大学、解放军信息工程大学等。

编委会一致认为,规划教材应该能够反映当前教学改革的需要,要有特色和一定的前瞻性。规划的教材由个人申报或各校推荐,经编委会认真评审,最后由出版社审定出版。这批规划教材都是教学改革力度大、有创新精神、有特色风格的教材和质量高、可读性好、可教性好的优秀教材,可满足各类高等学校 21 世纪初电子信息类专业及相关专业的教学需要。

限于我们的水平和经验,这批教材在编审、出版工作中还可能存在不少缺点和不足,希望使用本教材的教师、同学和其他广大读者提出批评和建议,以使教材质量不断提高,共同为建设电子信息类专业面向 21 世纪的新教材而努力。

全国高等学校电子信息类教材编委会
电子工业出版社

第一版序

本书是为高等学校电子类和其他相近专业而编著的实验和课程设计教材。在编写的过程中参照国家教委 1993 年批准的《高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求》和 1995 年批准的《高等工程专科电子技术基础教学基本要求》及教育部《普通高等教育“十五”国家规划教材》的立项要求,并考虑到面向 21 世纪教学改革的要求而编著的。

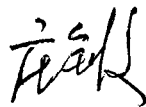
电子技术是当代高新技术的“龙头”,各先进国家无不把它放在优先发展的地位。《电子技术基础》是高等学校电气类、电子类和自控类专业的一门实践性很强的技术基础课。课程中除了讲授必要的基础理论,基本知识和进行必要的基本技能(含实验技能)训练之外,课程设计是一种有效的实践训练环节。实践证明,这个环节能使综合运用所学理论知识,拓宽知识面,系统地进行电子电路的工程实践训练,为后续课程的学习、各类电子设计竞赛、毕业设计,乃至毕业后的工作打下了良好的基础。

面向 21 世纪的电子技术基础实验课如何改革?我们认为应该突出基础训练(含基本技能的培养)和设计性综合应用能力、创新能力、计算机应用能力的培养。本课程可适应新时代的要求,将全书分为四篇:第一篇电子技术基础实验和课程设计基础;第二篇模拟电子技术基础实验和课程设计;第三篇高频电子线路实验和课程设计;第四篇数字电子技术基础实验和课程设计。

为适用电子技术独立设课和不独立设课的不同要求,本教材中每个实验都附有实验原理、参考电路和思考题,多数学生通过自学实验原理内容,即可自行完成实验。本书图形符号及电路画法采用统一标准。

参加本书编写工作的有高吉祥、易凡、阎玮、高广珠(第一篇、第三篇);陆珉、刘希顺(第二篇);丁文霞、刘安芝、何智勇(第四篇)。特别感谢唐朝京教授、徐建仁高级工程师对本书的大力支持。此外,谭志恒、刁节涛、田曦参加本书的审查,中南大学高勳参与了电路图绘制,尹向阳负责全书打印,特此表示感谢。

院长



2001 年 10 月 20 日于国防科技大学

第二版序

本书是在第一版的试用的基础上,按照高等工业学校《电子技术基础教学大纲》(草案)(四年级电子类、自动化类、电气类专业试用),总结提高、修改增删而成的。主要做了如下几方面工作。

(1) 从本课程的目的和任务出发,在保证打好基础的前提下,精选了内容,例如删去了第三章的第六节、第五章的第六及第七节、第九章的课程设计 9-7 和 9-9、第十章的附录 10-16 等内容。

(2) 增加了第五篇(综合设计篇)第十二章内容。在这一章里共搜集、整理现代有关电子产品设计成果及近几年全国大学生电子设计竞赛获奖作品的精选论文。通过本章的训练,不仅可以全面系统地提高本科生实际动手及工作能力,同时为全国大学生参加各类电子设计大赛、电子设计工程师从事产品设计提供了有益的参考资料。

本版各章基本上由原编者修订,参加的人员有高吉祥、易凡、丁文霞、陆珉、刘安芝、卢启中、刘希顺、关永峰、冯超、陈一平、武涛、宿绍莹、唐小妹、曹东波、吴佳、蒋元军、吕喜在、范世殉、余丽、张清明、方艾、林杰文、潘礼等人。全书由高吉祥定稿。在修订过程中得到了庄钊文教授、唐朝京教授的帮助和指导。本书由唐朝京教授主审。

在本书第 1 版的试用期间,承全国有关兄弟院校的师生寄来不少宝贵意见和建议,编者在此深表谢忱。

本版内容虽有所改进,但离教学要求尚有差距,恳请使用本教材的师生和其他读者予以批评指正,以便不断提高。

编 者

2004 年 11 月于长沙

目 录

第一篇	电子技术基础实验和课程设计基础	(1)
第一章	电子技术基础实验的目的、意义及要求	(1)
第一节	电子技术基础实验的目的和意义	(1)
第二节	电子技术基础实验的一般要求	(2)
第三节	误差分析与测量结果的处理	(3)
第二章	基本测量技术	(8)
第一节	概述	(8)
第二节	电压测量	(10)
第三节	阻抗测量	(13)
第四节	增益及幅频特性测量	(15)
第三章	课程设计的基础知识	(17)
第一节	电子电路的设计方法	(17)
第二节	电子电路的组装	(19)
第三节	电路的调试	(19)
第四节	检查故障的一般方法	(23)
第五节	课程设计总结报告	(26)
第四章	常用电子电路元件、器件的识别与主要性能参数	(28)
第一节	电阻器的简单识别与型号命名法	(28)
第二节	电容器的简单识别与型号命名法	(32)
第三节	电感器的简单识别与型号命名法	(36)
第四节	半导体器件的简单识别与型号命名法	(38)
第五节	半导体集成电路型号命名法	(42)
第五章	常用实验测量仪器	(46)
第一节	电子示波器及其应用	(46)
第二节	信号发生器	(72)
第三节	电子电压表	(82)
第四节	晶体管特性图示仪	(87)
第五节	BT-3 频率特性测试仪(扫频仪)	(93)
第二篇	模拟电子技术基础实验与课程设计	(97)
第六章	模拟电子技术基础实验	(97)
实验 6-1	常用仪器的使用	(97)
实验 6-2	晶体管的测试实验	(101)
实验 6-3	单管共发射极放大器研究	(110)
实验 6-4	功率放大器实验	(116)
实验 6-5	负反馈放大器的设计、安装及调试	(119)

实验 6—6 运算放大器应用实验	(123)
实验 6—7 有源滤波器实验	(128)
实验 6—8 信号发生器实验	(131)
第七章 模拟电子技术基础课程设计	(134)
课程设计 7—1 音响放大器设计	(134)
附录 7—1 设计举例	(143)
课程设计 7—2 集成直流稳压电源的设计	(145)
课程设计 7—3 函数发生器的设计	(152)
课程设计 7—4 水温控制系统	(159)
课程设计 7—5 语音放大电路	(162)
第三篇 高频电子线路实验与课程设计	(173)
第八章 高频电子线路实验	(173)
实验 8—1 常用高频电子仪器的使用	(173)
实验 8—2 小信号谐振放大器	(174)
实验 8—3 三参差调谐放大器	(176)
实验 8—4 选择滤波式高频小信号放大器	(180)
实验 8—5 LC 振荡器的研究	(183)
实验 8—6 高频谐振功率放大器	(185)
实验 8—7 调幅实验	(191)
实验 8—8 调频振荡器的设计与实验	(193)
实验 8—9 鉴频器	(199)
实验 8—10 模拟乘法器的应用	(203)
实验 8—11 锁相环的应用	(212)
第九章 高频电路课程设计	(223)
课程设计 9—1 调频接收机的设计	(223)
课程设计 9—2 LC 正弦振荡器的设计与实验	(225)
课程设计 9—3 50W 高频宽带功率放大器的设计	(228)
课程设计 9—4 CATV 干线放大器设计	(232)
课程设计 9—5 频率合成器的设计与实验	(239)
课程设计 9—6 小功率调幅高频发射机的设计与实验	(249)
课程设计 9—7 收、录/放、扩四位一体机的设计	(251)
第四篇 数字电子技术基础实验和课程设计	(256)
第十章 数字电子技术基础实验	(256)
实验 10—1 集成“与非门”参数测试	(256)
附录 10—1 几种常用 TTL 门电路引脚图	(260)
实验 10—2 CMOS“或非门”参数测试	(262)
附录 10—2—1 CMOS 使用规则	(264)
附录 10—2—2 几种常用的 CMOS 门电路引脚图	(265)
实验 10—3 组合逻辑电路设计	(266)
实验 10—4 常用组合电路及其应用	(270)

实验 10-5	触发器及参数测试	(275)
实验 10-6	计数器(分频器)设计及其应用	(283)
实验 10-7	计数、译码和显示	(289)
附录 10-7	七段显示器、译码器/驱动器及发光二极管	(291)
实验 10-8	移位寄存器	(292)
实验 10-9	同步时序电路逻辑设计	(294)
实验 10-10	中规模全加器	(298)
实验 10-11	中规模计数器及其应用	(302)
实验 10-12	中规模移位寄存器	(305)
实验 10-13	中规模数据选择器及其应用	(308)
实验 10-14	555 定时器及其应用	(312)
实验 10-15	GAL 器件一般设计过程及编程设计举例	(316)
实验 10-16	GAL 组合逻辑电路设计	(322)
实验 10-17	GAL 时序电路逻辑设计	(328)
第十一章	数字电子技术基础课程设计	(335)
课题设计 11-1	数字频率计	(335)
附录 11-1	单片数字频率计简介	(339)
课题设计 11-2	数字电压表	(341)
课题设计 11-3	数字时钟	(349)
课题设计 11-4	出租汽车里程计价表	(352)
课题设计 11-5	数字电子秤	(353)
课题设计 11-6	红外线数字转速表	(363)
课题设计 11-7	数字温度计	(367)
课题设计 11-8	电容数字测量仪	(368)
课题设计 11-9	大电流测量仪	(370)
课题设计 11-10	加/减法运算电路	(371)
课题设计 11-11	可预置的定时显示报警系统	(375)
课题设计 11-12	高速并行 A/D 转换系统	(378)
附录 11-12	改进的八位并行 A/D 转换器工作原理	(379)
课题设计 11-13	多路数据采集系统	(380)
第五篇	综合设计篇	(385)
第十二章	综合设计	(385)
12-1	测量放大器设计	(385)
12-2	数字式工频有效值多用表设计	(393)
12-3	频率特性测试仪设计	(401)
12-4	数字化语音存储与回放系统	(408)
12-5	高效率音频功率放大器设计	(413)
12-6	简易智能电动车设计	(425)
附录 12-6	程序清单	(437)
12-7	液体点滴速度监控装置设计	(443)

12-8 电压控制 LC 振荡器设计 (454)

12-9 智能调制接收机设计 (465)

常用文字符号说明..... (473)

 第一篇至第三篇..... (473)

 第四篇..... (476)

参考文献..... (479)

第一篇 电子技术基础实验和课程设计基础

电子技术基础按照传统的说法主要包括模拟电子技术基础和数字电子技术基础,为适应科技的发展,知识的拓展,本书将传统的低频电子线路和高频电子线路归于模拟电子技术基础部分,而将脉冲电路、数字电路、逻辑设计归于数字电子技术基础部分。

第一章 电子技术基础实验的目的、意义及要求

第一节 电子技术基础实验的目的和意义

大家知道,科学和技术的发展离不开实验,实验是促进科技发展的重要手段。我国著名科学家张文裕在为《著名物理学实验及其在物理学发展中的作用》一书所写的序言中,精辟论述了科学实验的重要地位。他说:“科学实验是科学理论的源泉,是自然科学的根本,也是工程技术的基础。”又说:“基础研究、应用研究、开发研究和生产四个方面如果结合得好,经济建设和国防建设势必会兴旺发达。要把上述四个方面结合在一起,必然有一条红线,这条红线就是科学实验。”

1993 年原国家教委批准的《高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求》和 1995 年原国家教委批准的《高等学校工程专科电子技术基础教学基本要求》都明确指出,电子技术基础是一门实践性很强的课程,它的任务是使学生获得电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能,培养学生分析问题和解决问题的能力。为此,应加强各种形式的实践环节。

对于电子技术基础这样一门具有工程特点和实践性很强的课程,加强工程训练,特别是技能的培养,对于培养工程人员的素质和能力具有十分重要的作用。现有部分大学在学完模拟电子技术基础和数字电子技术基础课程后,又增设了综合实验及课程设计课。这对提高学生综合动手能力和工程设计能力是非常重要的。

电子技术实验,按性质可分为验证性实验、训练性实验、综合性实验和设计性实验四大类。

验证性和训练性实验主要是针对电子技术本门学科范围由理论论证和实际技能的培养奠定基础。这类实验除了巩固加深某些重要的基础理论外,主要在于帮助学生认识现象,掌握基本实验知识、基本实验方法和基本实验技能。

综合性实验属于应用性实验,实验内容侧重于某些理论知识的综合应用,其目的是培养学生综合运用所学理论的能力和解决较复杂的实际问题的能力。

课程设计对于学生来说既有综合性又有探索性。它主要侧重于某些理论知识的灵活运用,例如,完成特定功能电子电路的设计、安装和调试等。要求学生在教师指导下独立进行查阅资料、设计方案与组织实验等工作,并写出报告。这类实验对于提高学生的素质和科学实验能力非常有益。

自 20 世纪 90 年代以来,电子技术发展呈现出系统集成化、设计自动化、用户专业化和测试智能化的优势。为了培养 21 世纪电子技术人才和适应电子信息时代的要求,我们认为除了

完成常规的硬件实验外,在电子技术实验中引入电子电路计算机辅助分析与设计的内容(其中包括若干仿真实验和通过计算机来完成设计的小系统)是必然的,也是很有益的。

总之,电子技术实验应突出基础技能、设计性综合应用能力、创新能力和计算机应用能力的培养,以适应培养面向 21 世纪人才的要求。

第二节 电子技术基础实验的一般要求

尽管电子技术各个实验的目的和内容不同,但为了培养良好的学风,充分发挥学生的主观能动作用,促使其独立思考、独立完成实验并有所创造。我们对实验前、实验中和实验后分别提出如下基本要求。

一、实验前的要求

为避免盲目性,参加实验者应对实验内容进行预习。要明确实验目的要求,掌握有关电路的基本原理(课程设计则要完成设计任务),拟出实验方法和步骤,设计实验表格,对思考题作出解答,初步估算(或分析)实验结果(包括参数和波形),最后作出预习报告。

二、实验中的要求

(1) 参加实验者要自觉遵守实验室规则。

(2) 根据实验内容合理分置实验现场。准备好实验所需的仪器设备和装置并安放适当。按实验方案连接实验电路和测试电路。

(3) 要认真记录实验条件和所得数据、波形,发生故障应独立思考,耐心排除,并记下排除故障过程和方法。

(4) 发生故障应立即切断电源,并报告指导老师和实验室工作人员,等待处理。

实验过程中不顺利,不一定是坏事,常常可以从分析故障中增强独立工作能力。相反,“一帆风顺”也不一定收获大。做好实验的意思是独立解决实验中所遇到的问题,把实验做成功。

(5) 实验结束时,可将记录送指导教师审阅签字。经教师同意后方可拆除线路,清理现场。

三、实验后的要求

实验后要求学生认真写好实验报告。

1. 实验报告内容

(1) 列出实验条件,包括何时与何人共同完成什么实验,当时的环境条件,使用仪器名称及编号等。

(2) 认真整理和处理测试的数据和用坐标纸描绘出波形,并列出表格或用坐标纸画出曲线。

(3) 对测试结果进行理论分析,作出简明扼要结论。找出产生误差原因,提出减少实验误差的措施。

(4) 记录产生故障情况,说明排除故障的过程和方法。

(5) 写出对本次实验的心得体会,以及改进实验的建议。

2. 实验报告的要求

文理通顺,书写简洁;符号标准,图表齐全;讨论深入,结论简明。

第三节 误差分析与测量结果的处理

众所周知,在测量过程中,由于各种原因,测量待测量的客观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,如何采取措施减少误差,使测量结果更加准确等,对实验人员及科技工作者来说是应该了解和掌握的。

一、误差的来源

1. 仪器误差

此误差是由于仪器的电气或机械不完善所产生的误差,如校准误差、刻度误差等。

2. 使用误差

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

人身误差是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

它是指由于受到温度、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

方法误差又称理论误差。它是指由于使用的测量方法不完善,理论依据不严密,对某些经测量方法作了不适当的修改简化所产生的,凡是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,测量并联谐振回路的谐振频率时,常用近似方式为:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

若考虑 L 的串联损耗电阻 R_L 时,实际的谐振频率为:

$$f'_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{R_L}{2\pi f_0 L}\right)^2 + 1}}$$

则有: $\Delta f = f'_0 - f_0$

上述用近似公式带来的误差称为方法误差。

二、测量误差的分类

按误差的性质和特点可分为系统误差、随机误差和疏失误差。

1. 系统误差

该误差是指在相同条件下重复测量同一个量时,误差的大小和符号保持不变,或按照一定规律变化的误差。系统误差一般可以通过实验及分析方法,查明其变化规律及产生原因。因此,这种误差是可以预测的,也可以减少或消除。

2. 随机误差(偶然误差)

该误差是指在相同条件下多次重复测量同一个量时,误差大小、时正时负,其大小和符号无规律变化的误差。随机误差不能用实验方法消除,但通过多次测量,采用统计的方法进行估算。最简单的方法就是取算术平均值。

3. 疏失误差(粗差)

这是一种过失误差。这种误差通常是由于测量者对仪器不了解、粗心,导致读数不正确而引起的,有时测量条件的突然变化也会引起粗差。对于这种异常值(或坏值)必须根据统计检验方法和某些准则去判断哪个测量值属坏值,然后去除。

三、误差表示法

按误差表示方法可分为绝对误差和相对误差。

1. 绝对误差

设被测量值的真值为 A_0 , 测量仪器的示值为 X , 则绝对误差为:

$$\Delta X = X - A_0$$

在某一个时间或空间条件下,被测量的真值虽然客观存在,但一般无法得到,只能尽量逼近它。故常用高一级标准仪器测量的示值 A 代替 A_0 , 则

$$\Delta X = X - A$$

测量前,测量仪器应由高一级标准仪器进行校正,校正量常用修正值 C 表示。

利用修正值便可得该仪器所测得的实际值:

$$A = X + C$$

2. 相对误差

绝对误差值的大小往往不能确切地反映被测量的准确程度。因此,工程上常采用相对误差来比较测量结果的准确程度。

相对误差又分为实际相对误差、示值相对误差和引用(或满度)相对误差。

实际相对误差是用绝对误差 ΔX 与被测量的实际值 A 的比值的百分数来表示的相对误差,记为:

$$\gamma_A = \frac{\Delta X}{A} \times 100\%$$

示值相对误差是用绝对误差与仪器给出值 X 的百分数来表示的相对误差,即:

$$\gamma_x := \frac{\Delta X}{X} \times 100\%$$

引用(或满度)相对误差简称满度误差。它是用绝对误差 ΔX 与仪器的满刻度值 X_m 之比的百分数来表示的相对误差,即:

$$\gamma_m := \frac{\Delta X}{X_m} \times 100\%$$

电工仪表的准确度等级就是由 γ_m 决定的,如 1.5 级的电表,表明 $\gamma_m \leq \pm 1.5\%$ 。我国电工仪表按 γ_m 值共分七级:0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。

若某仪表的等级是 S 级,它的满刻度值为 X_m ,则测量的绝对误差为:

$$\Delta X \leq X_m S\%$$

其示值相对误差为:

$$\gamma_x \leq \frac{X_m S\%}{X}$$

在上式中,总是满足 $X \leq X_m$ 的,可见当仪表等级 S 选定后, X 越接近 X_m 时, γ_x 的上限值越小,测量越准确。因此,当我们使用这类仪表进行测量时,一般总使被测量值尽可能在仪表满刻度值的二分之一以上。

例如,测量一个 12V、50Hz 的交流电压,现用 1.5 级的表,可选用 15V 或 150V 的量程。如何选择量程?

用量程 150V 时,测量产生的绝对误差为:

$$\Delta V = V_m S\% = 150 \times (\pm 1.5\%) = \pm 2.25(V)$$

而用量程为 15V 时,测量产生的绝对误差为:

$$\Delta V = V_m S\% = 15 \times (\pm 1.5\%) = \pm 0.225(V)$$

显然,用 15V 量程测量 12V 电压,绝对误差小很多。

四、测量结果的处理

测量结果通常用数字或图形表示。下面分别讨论。

1. 测量结果的数字处理

(1) 有效数字

由于存在误差,所以测量的数据总是近似值,它通常由可靠数字和欠准数字两部分组成。例如,由电压表测得电压 24.8V,这是个近似数,24 是可靠数字,而末尾 8 为欠准数字。即 24.8 为三位有效数字。

对于有效值的正确表示,应注意如下几点:

① 有效数字是指从左边第一个非零的数字开始,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 0.0157MHz,它是由 1、5、7 三个有效数字组成的频率值,而左边的两个零不是有效数字,它可以写成 1.57×10^{-2} MHz,也可写成 15.7kHz,而不能写成 15700Hz。

② 如已知误差,则有效值的位数应与误差相一致。例如,设仪表误差为 $\pm 0.01V$,测得电压为 12.352V,其结果应写做 12.35V。

③ 当给出误差有单位时,测量数据的写法应与其一致。

(2) 数据舍入规则

为使正、负舍入误差的机会大致相等,传统的方法是采用四舍五入的办法,现已广泛采用“小于5舍,大于5入,等于5时取偶数”的办法。

(3) 有效数字的运算规则

当测量结果需要进行中间运算时,有效数字的取舍,原则上取决于参与运算的各数中精度最差的那一项。一般应遵循以下规则:

① 当几个近似值进行加、减运算时,在各数中(采用同一个计量单位),以小数点后的位数最小的那一个数(如无小数点,则以有效值最小者)为准,其余各数均舍入至比该数多一位,而计算的结果所保留的小数点后的位数,应与各数中小数点后位数最少者的位数相同。

② 进行乘法运算时,以有效数值位数最小的那一个数为准,其余各数及积(或商)均舍入至比该因子多一位,而与小数点位置无关。

③ 将数平方或开方后,结果可比原数多保留一位。

④ 用和进行运算时, n 位有效数字的数应该用 n 位对数表。

⑤ 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。

2. 曲线的处理

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。

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,将不是一条光滑的曲线,而是呈波动的折线状,如图 1-3-1 所示。但我们利用有关的误差理论,可以把各种随机因素引起的曲线波动抹平,使其成为一条光滑的均匀的曲线,这个过程称为曲线的修正。

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,然后分别取各组的几何重心,再将这些重心连接起来。图 1-3-2 就是每组取 2~4 个数据点进行平均后的修匀曲线。这条曲线,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,使之较为符合实际情况。

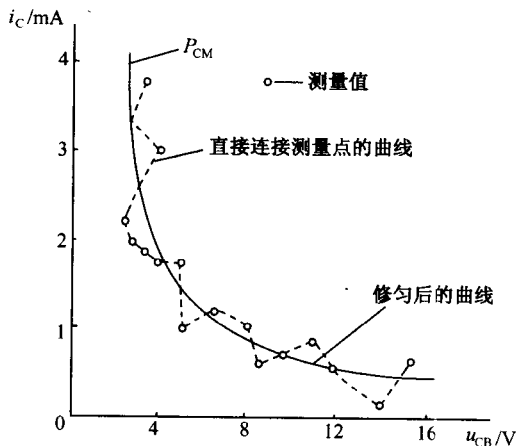


图 1-3-1 直接连接测量点时曲线的波动情况

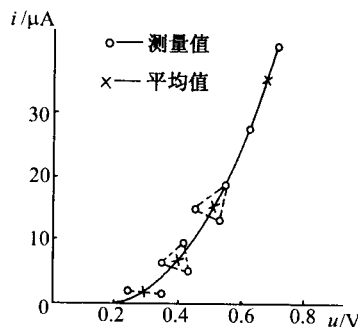


图 1-3-2 分组平均法修匀的曲线