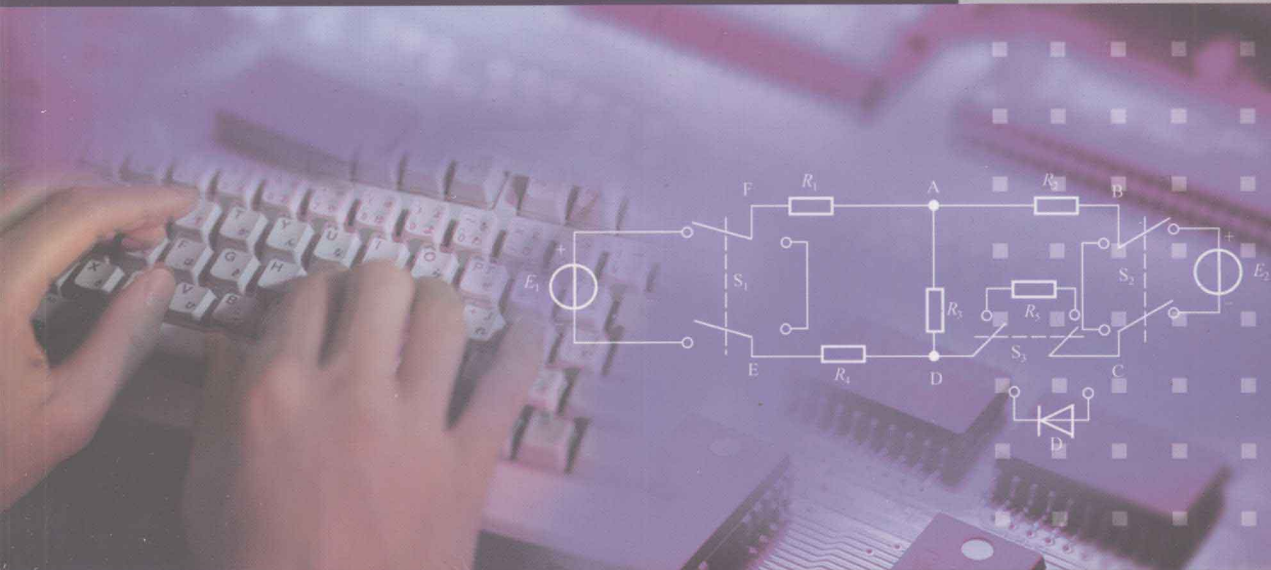


总主编 秦杏荣 张保华

21世纪电工电子实验系列教材



(第2版)

D I A N L U D I A N Z I S H I Y A N J I C H U

电路电子实验基础

主 编 卓郑安 副主编 吴祖国 张鉴忞

21 世纪电工电子实验系列教材

总主编 秦杏荣 张保华

电路电子实验基础

(第 2 版)

主 编 卓郑安

副主编 吴祖国 张鉴恣



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书在介绍常用电子仪器使用方法和基本电学量测量知识的基础上,从满足基本教学需要和具有较宽的适应面为出发点,总结了长期的教学实践经验,深入浅出地介绍了电路、模拟电子技术和数字电子技术基础实验及电路电子的计算机仿真内容。本书把实验验证和实验设计相结合,把基础实验和仿真内容相结合,把软件仿真和硬件实现相结合。全书强调实验基础知识,内容简明易读,突出重点、难点,可操作性强。

本书可作为理工类高等院校计算机信息类和其他非电类专业使用,也适用于某些近电类专业或学时较少的电类专业使用。既可作本科、专科及高职的相关专业学生的实验教材,也可供有关工程技术人员作自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电路电子实验基础/卓郑安主编.--2版.--上海:
同济大学出版社,2011.9
ISBN 978-7-5608-4657-6
I. ①电… II. ①卓… III. ①电子电路—实验—高等
学校—教材 IV. ①TN710-33
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 171047 号

21 世纪电工电子实验系列教材

电路电子实验基础(第 2 版)

主 编 卓郑安 副主编 吴祖国 张鉴忞
责任编辑 姚烨铭 责任校对 徐春莲 封面设计 潘向葵

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店
印 刷 同济大学印刷厂
开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 12.75
印 数 1—3 100
字 数 255 000
版 次 2011 年 9 月第 2 版 2011 年 9 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5608-4657-6

定 价 22.00 元

《21 世纪电工电子实验系列教材》编委会

主任委员 严隽薇

总 主 编 秦杏荣 张保华

编 委 (以下以姓氏笔画为序)

冯伟国 刘锦高 李荣正 陈泉林

陈军宁 张 浩 周政新 郑晓东

杨万枫 高卫东 钱 平 钱剑敏

廖晓纬

总 主 审 朱承高

策 划 张平官 蒯月红

序

高等学校是培养社会主义建设人才的主渠道。尤其在科学技术高速发展的今天,如何培养学生的实践能力、创业能力、创新能力和国际竞争能力是我们每个教育工作者都必须认真思考的主题。传统意义上的实验教学模式显然已经不能为飞速发展的时代所接受,为此,全面推行教学改革,实施新的教学方案,编撰新的实验教材已成为我们每个致力于实验教学的教师的新课题。

本系列教材是在各参编学校多年来实验教学研究、改革和实践的基础上,吸取各兄弟院校近年来实验改革的经验编撰而成的。它是集体的智慧,更是众人的成果。

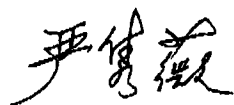
与以往形式单一、内容陈旧的实验教材不同之处,本系列教材中除保留了部分传统的验证性实验外,增加了设计性、研究性的实验内容和计算机仿真内容。考虑到在实施本系列教材时的学生还处在低年级阶段,其所学和掌握的理论和实践知识的局限性,新编实验教材在其内容和形式上都按照循序渐进的要求进行。本系列实验教材既考虑到与理论课教材的衔接、呼应和配套,又不失实验教材的自身独立体系。在编写实验项目时已经顾及所用实验仪器、设备和实验器材的通用性及实验装置的开放性。

实验计划时数可参照2004年教育部高等学校电子信息与电气学科教育指导委员会所属基础课程教育指导分会修定的《高等学校电工电子课程教学基本要求》适当放宽,以便于教师实施本教材时根据实际情况酌情选用。

参加本系列实验教材编纂的学校有同济大学、华东师范大学、华东理工大学、东华大学、上海海事大学、上海大学、上海电力学院、上海工程技术大学、上海应用技术学院、上海第二工业大学和安徽大学、中国人民解放军电子工程学院、中国人民解放军炮兵学院、淮南师范学院等。

本系列实验教材从筹划到出版,自始至终得到了同济大学出版社和各参编学校领导的鼎力相助和大力支持,在此我们谨以编委会的名义向他们致以崇高的敬意和衷心的感谢!

限于作者的业务水平和各校初次合作,书中难免存在一些不妥之处,敬请各使用者批评斧正。



2005年9月21日

第 2 版前言

《电路电子实验基础》是同济大学出版社策划并出版发行的“21 世纪电工电子实验系列教材”之一,自 2005 年 10 月出版至今已有 6 年。

正如教材“前言”所述,第 1 版的编写反映出三大特点。首先是具有较宽的使用面;其次是在弱电实验的基础上加深加宽;第三是把基础实验和仿真实验相结合。

第 2 版是在原版的基础上修订而成。修订的总体原则是使所列实验进一步涵盖电专业和非电专业所要求的实验;进一步拓宽本书的适用面,对读者的理论联系实际能力有积极的指导作用。修订本兼顾了少学时(如计算机技术专业)和多学时(如实验课独立设置学分的电类专业)的需要;兼顾了强电和弱电类专业的需要;兼顾了本科学生和高职高专学生的需要;兼顾了工科类专业的学生和普通科研技术人员的需要。

基于本科(或专科)的电路课程的基本内容和范围大体已趋于稳定,因此,本书的第 3 章“电路基础实验”,保持了原版具有的重要基本内容、基本概念和重视传统内容的特色。不强调电路理论学科本身的要求,所选实验简洁而不简单重复。读者通过阅读相应内容和动手操作验证,就能为后继课程“数字电子技术”和“模拟电子技术”或“电子技术”的学习准备相应的基础知识。

为了适应不同学校、不同专业在讲授“模拟”和“数字”两部分课程的先后次序上有不同的安排,第 4 章“模拟电子技术基础实验”与第 5 章“数字电子技术基础实验”都具有相对的独立性。同一实验内容,对不同专业、不同读者、理论深浅等都可以有不同的侧重点和取舍,完全可以由指导教师确定。而且,为了适应不同学校不同的实验条件,尽可能做到不局限于指定一种特定的实验设备去实施实验内容。

基于这是一本对电路与电子技术的基础实验进行精选后编写并修订的教材,所以在“电路电子实验基础知识”部分,省略了常用半导体电子元器件的识别与简单测试;电子电路的安装与调试等内容。

此次修订工作由上海工程技术大学卓郑安完成。借此修订机会,谨向所有关心和致力于本书的策划、编审、校对、出版、发行的同志们表示诚挚的谢意!同时,也对原版教材提出意见和建议的读者们表示衷心的感谢!

虽然第 2 版是在原版本的基础上,根据读者在使用中提出的建设性建议作了一些改进,但一定还有不完善之处,殷切地希望读者予以批评指正。

编 者

2011 年 8 月

前 言

本教材基于教育部高等学校信息科学与电气信息类基础课程教育指导分委会 2004 年修订的“高等学校电工电子教学基本要求”而编写。它与原有相应教材相比,在验证性实验的基础上,增加了设计性、研究性内容以及计算机仿真的要求,能充分满足教学评估对实验教材的要求。

本书的编写宗旨,主要是根据教学要求和教学规律,结合各个高校的实际情况,为非电专业中不要求进行电机及控制等强电教学内容的部分专业提供教材。这些近电类及非电类专业有计算机信息、机械仪器仪表、化工、材料、生物工程、生命科学、理化、光学、数学等。同时,亦适用于教学时数较少的电类专业使用。因而,首先体现出本书具有较宽使用面的第一个特点。

本书编写的实验内容包括电路、模拟电子技术、数字电子技术和电路电子的计算机仿真内容,共有三十余个实验项目,能够较好地覆盖上述各个专业的实验教学内容。本书与电工学实验相比,除不包括电机及其控制部分的内容外,其他部分内容略显深广,而且实验分量也相对较重一些。例如,在实验预习部分,对电路电子理论中某些知识的要求较深;在电子技术的部分实验中,对一些设计性实验的要求也较高。可见,本书还体现出以弱电为主,并在此基础上加深加宽的第二个特点。

另外,电路电子的计算机仿真内容,深入浅出地介绍了当前最新的 Multisim 仿真软件的使用方法;通过举例,编写了若干个关于电路、模拟电子技术、数字电子技术的仿真内容,确实为本书增色,并进一步体现出把基础实验和仿真实验相结合的第三个特点。

《电路电子实验基础》是《21 世纪电工电子实验系列教材》丛书中的一册。由于本教材内容丰富、覆盖面广,为了适应各院校不同的教学条件,在叙述时不涉及具体的实验设备和实验装置,适应性较强。同一个实验,对不同专业、不同对象,内容深浅应有不同侧重和取舍,由任课老师确定。各大专院校及其他院校均可方便地选用。

本书由卓郑安主编,吴祖国、张鉴恣副主编,张莉萍、袁之亦也参加了部分章节编写工作。上海交通大学朱承高教授担任本书的主审,他对全书的编写原则和宗旨进行了细致入微的指导,对作者撰写的原稿提出了宝贵的修改意见,在此致以深切的谢意!同济大学出版社对本书的出版给予了高度重视和大力支持,在此表示真诚的感谢!

由于编者学术水平有限,书中错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2005 年 8 月

目 录

序

第 2 版前言

前言

1 电路电子实验基础知识	(1)
1.1 电子测量的基本方法	(2)
1.1.1 电子测量的基本知识	(3)
1.1.2 测量数据的有效数字	(3)
1.2 测量误差及其处理方法	(4)
1.2.1 测量误差的各种表示方法	(4)
1.2.2 测量误差的产生和消除	(5)
1.3 测量系统的“接地”与“共地”	(6)
1.3.1 接地	(6)
1.3.2 共地	(7)
1.3.3 模拟地和数字地	(7)
1.3.4 安全用电	(7)
2 常用测量仪器的使用	(9)
2.1 万用表和电工仪表	(9)
2.1.1 指针式万用表	(9)
2.1.2 数字式万用表	(10)
2.1.3 指针式万用表和数字式万用表的选用	(11)
2.1.4 电工仪表	(12)
2.2 交流毫伏表	(13)
2.2.1 常用交流毫伏表面板主要键钮的说明	(14)
2.2.2 使用方法	(14)
2.3 示波器	(14)
2.3.1 示波器使用方法简介	(14)
2.3.2 使用示波器应注意的问题	(17)
2.3.3 使用示波器测量电压、相位、时间及频率	(17)
2.4 信号发生器	(19)

2.4.1	开关、旋钮功能说明	(20)
2.4.2	使用方法	(21)
2.5	直流稳压电源	(21)
3	电路基础实验	(22)
3.1	电路实验基本方法与常用电量的测量	(22)
3.2	叠加定理的验证	(25)
3.3	直流电路中电源的等效变换	(27)
3.4	单一元件正弦交流电路基本特性的测定	(31)
3.5	RC 选频网络的研究	(33)
3.6	RLC 串、并联谐振电路特性参数的测试	(35)
3.7	单相电路功率测量及功率因数的提高	(39)
3.8	三相电路功率测量	(42)
3.9	一阶 RC 电路暂态响应的研究	(46)
4	模拟电子技术基础实验	(51)
4.1	基本放大电路静态和动态参数测试	(51)
4.2	负反馈放大器交流参数测试	(59)
4.3	集成运算放大器参数测试	(63)
4.4	集成运算放大器的应用	(71)
4.5	RC 有源滤波电路	(79)
4.6	RC 正弦波振荡电路	(85)
4.7	无输出变压器的功率放大器研究	(89)
4.8	整流、滤波与稳压电路	(94)
5	数字电子技术基础实验	(103)
5.1	基本集成逻辑门电路功能测试	(103)
5.2	TTL 集电极开路门(OC 门)及三态门(TLS 门)的典型应用	(110)
5.3	编码器、译码器及数码显示电路	(115)
5.4	半加器、全加器和数据选择器	(122)
5.5	组合逻辑电路设计与测试	(128)
5.6	触发器电路及功能转换	(130)
5.7	寄存器及移位寄存器	(135)
5.8	计数、译码和显示电路	(140)
5.9	555 集成定时器及其应用	(145)
5.10	模/数和数/模转换	(150)

6 电路电子的 EDA 仿真实验	(156)
6.1 电子实验工作台软件 Multisim 入门	(156)
6.2 正弦稳态电路的仿真	(172)
6.3 一阶 RC 电路暂态响应的仿真	(175)
6.4 负反馈放大电路的仿真	(178)
6.5 无输出变压器的功率放大器的仿真	(181)
6.6 编码、译码与显示电路的仿真.....	(184)
6.7 异步十进制计数器的仿真	(187)
参考文献	(190)

1 电路电子实验基础知识

在电路电子实验中,需要测量相关的电量参数以及分析基础电路、电路电子的静态和动态工作状态,测量时经常用到的电子仪器有直流稳压电源、示波器、信号发生器、交流毫伏表、数字式或指针式万用表、晶体管特性分析仪及频率仪等。它们分别用于电路各个参数的测量与分析。图 1-1 是各种仪器仪表与实验电路之间的关系示意图。

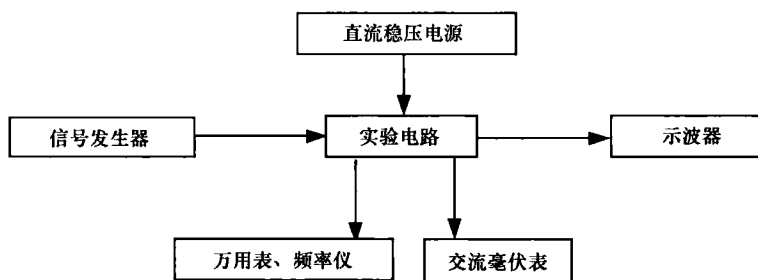


图 1-1 实验常用电子仪器与实验电路之间的关系

各主要仪器仪表的功能如下:

(1) 直流稳压电源:直流稳压电源是把交流电源转换成直流电源的装置,可为实验电路提供直流工作电源。

(2) 示波器:用来观察电路中各测试点的波形,监测电路的工作情况,也可用于测量小信号的周期、幅度、相位差及观察电路的特性曲线等。

(3) 信号发生器:为电路提供各种不同频率、幅度及波形的输入信号。

(4) 交流毫伏表:用于测量电路的输入、输出信号的电压有效值及各测试点的电压有效值。

(5) 数字式或指针式万用表:一般用于测量电路的静态工作点和各测试点的直流信号。

(6) 频率仪:用于测量电路信号的频率。

电子仪器的选择及使用注意事项:

1. 仪器的选择

对电路与电子系统进行测试时,合理选择电子测量仪器,是保证测量结果正确的重要前提。因此,仪器的选择是实验及测量的重要环节,在选择时应注意以下几个方面:

(1) 充分了解电子仪器的性能

选择测量工具时应全面了解和掌握各种仪器的功能、技术性能、基本原理及其使用方法,以使测量能顺利进行并保证测量结果的准确性。

(2) 注意环境对仪器的影响

任何仪器在使用过程中,对外部环境都有一定的要求。大部分的电子仪器,特别是灵敏度和准确度较高的仪器,受环境温度、湿度及电磁场的干扰影响很大,应根据被测信号的特点及测量的要求,创造出良好的测试环境,以免影响测试结果的准确性。

(3) 根据测量要求选择测量仪器

能够完成同一参数测量的仪器类型可能有多种选择(如测量交流电压可以选用交流毫伏表、万用表、示波器等)。不同的仪器,其测量的精度和方法亦不同,应以简洁、方便并能满足测试的要求为标准来选择测量仪器。

2. 电子仪器使用注意事项

使用电子测量仪器时,应严格遵循仪器的操作方法、步骤及操作注意事项。如果不恰当地操作和使用仪器,都有可能导致测量误差增大或使被测电路、元器件及电子测量仪器损坏。使用时,应注意以下几方面的问题:

(1) 接通电源前,应仔细检查仪器的开关、旋钮、接线插头等是否在正确的位置上,还要防止短路、开路或接触不良等人为故障。为了确保人身和仪器的安全,仪器的电源插头、连接线等的绝缘层应完好无损,接地要良好。

(2) 接通电源后,不能敲打仪器机壳,不能用力拖动。如要移动仪器设备,应首先切断电源,然后轻轻移动。测量结束后,应首先关断电源,确保安全后再拆除电路。

(3) 使用仪器时,应注意仪器所适用的电压范围,与电网电压是否吻合,并注意电网电压的波动。

(4) 在将仪器和电路连接成测试系统时,要注意系统的“共地”问题,同一系统中的所有仪器和电路的接地端要可靠地连接在一起。否则,会引起外界干扰,导致测量误差增大,有时甚至会损坏仪器或电路。

1.1 电子测量的基本方法

采用各种测量方法对电子装置中的各种物理量进行测量,称作电子测量。它所使用的仪器、仪表设备称电子测量仪器。电子测量以电子技术理论为依据,电子测量仪器为工具,进行各种电量参数测量包括元器件和电路参数的测量、信号特性的测量和功率测量等。

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;间接测量是先对各间接参量进行直接测量,并将测得的数值代入公式,通过计算再得到待测参量。

电子测量获得的数据,因受测量仪器、测量方法、测量环境、人为因素等影响,测

量结果往往偏离真实数值,产生测量误差。

1.1.1 电子测量的基本知识

电子测量包括多方面的内容,以电压测量为例。电压测量可以使用电压表、示波器、交流毫伏表等测量仪器。电压表可以用来测量直流电压、低频交流电压,其测量方法简便,精度较高,是测量电压的基本方法;示波器测量法可以测量所有的电压信号;交流毫伏表可用于对交流电压信号的测量。

电子电路中的电压具有如下特点:

(1) 频率范围宽。电子电路中信号电压的频率可以在直流到几百兆赫甚至更高的频率范围内变化。要测量如此宽频率变化范围内的电压信号,一般的电工仪表是无法胜任的。

(2) 电压波形各异。电子电路中的电压有直流、正弦波、三角波、锯齿波、脉冲波等多种波形,而一般的电压表是以正弦波电压有效值的大小来标示刻度的。因此,无法从测量仪表直接获得非正弦电压值。

(3) 电路阻抗高。电子电路通常为高阻抗电路,所以,为了避免测量仪表对被测电路产生影响,选用的仪表应具有较高的输入阻抗。对于高频信号的测量,还要求测量仪表具有较小的输入电容。

(4) 电压幅度宽。电子电路中的电压值范围较宽,小到微伏级,大到几百伏甚至几千伏,测量时需要选用具有合适量程的仪器。

根据电路电子中电压信号的特点,测量时一定要做到灵活、正确地选用仪器、仪表,正确地进行电压参数的测量。

1.1.2 测量数据的有效数字

测量得到的结果往往都是近似值。例如,电压表测电压时,指针的位置如图 1-2 所示,此时电压读数可读成 27.5V,很明显 27 是准确的,称为准确数字,而末位的数字 5 则是根据指针在标尺的最小分格中的位置估计出来的,是不准确数字,称为欠准数字。准确数字和欠准数字在测量结果中都是不可缺少的,它们统称为有效数字,即从左边第一个非零的数字到右边最后一个非零数字为止所包含的数字。有效数字不但包含了被测参量的大小,也确定了测量的精度。

在测试中,记录数据时读数只应保留一位欠准数字,超过一位欠准数字的估计数字是没有意义的。如果将图 1-2 中的电压读数读为 27.51V,则末位数 1 是毫无意义的。保留有效数字位数多少与小数点无关。如 27.5 和 275 都是三位有效数字。0 在数字之间或数字之末算作有效数字,而在数字之前不算作有效数字。如 5.80 和 5.8,两种写法表示的是同一个数值,但前者是三位有效数字,后者只有两位有效数字,反映了不同的测量精确度。另外,较大的数值要用幂的乘积形式来表示,如 35000V 应记作 $3.5 \times 10^4 \text{V}$ 。在表示误差时,一般只取一位有效数字读,最多取两位

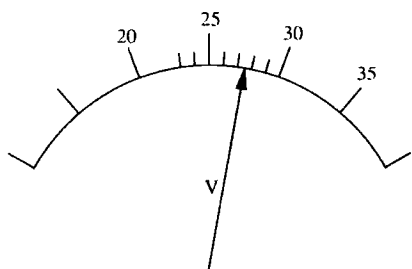


图 1-2 有效数字读取示意图

有效数字。

对于测量仪表的读数,在规定的精度范围以外的数字,一般应按照“四舍五入”的规则进行取舍:如精度要求取 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。目前广泛采用的“四舍五入”法则对 5 的处理是,当被舍去的数字等于 5,而 5 之后有数字时,则可舍 5 进 1;若 5 后面无数字或为 0 时,这时只有在 5 之前为奇数时,才能舍 5

进 1,否则,舍 5 不进位。

加减运算时,各数所保留小数点后的位数,一般应与各数中小数点后位数最少的相同。

例如 $3.5 + 0.086 + 16.552 = ?$

按照运算规则,有 $3.5 + 0.1 + 16.6 = 20.2$

或 $3.5 + 0.09 + 16.6 = 20.19 \approx 20.2$ 。

乘除运算时各因子及积或商的保留位数,通常以有效数字位数最少的一项为准。

例如 $0.12 \times 24.31 \times 1.057 = ?$

按照运算规则,有 $0.12 \times 24 \times 1.1 = 3.168 = 3.2$

或 $0.12 \times 24.3 \times 1.06 = 3.09096 \approx 3.1$ 。

1.2 测量误差及其处理方法

1.2.1 测量误差的各种表示方法

一般来说,测量仪器的测量准确度通常用容许误差来表示,根据不同的技术条件,规定某一类仪器的误差的最大范围。容许误差的表示法可用相对误差,也可用相对误差与绝对误差相结合的形式加以表示。

1. 绝对误差

测量仪表的指示值 X 与被测参量真实值 A_0 之间的差值,称为绝对误差,用 ΔX 表示,即 $\Delta X = X - A_0$ 。真实值 A_0 是一个理想的概念。在实际测量时,测量真实值一般采用两种方法:一是以高一级标准仪表的指示值 A 来代替 A_0 ,称为实际值;二是采用多次测量结果的平均值 A 代替真实值。此时的绝对误差为

$$\Delta X = X - A。$$

绝对误差是有单位、有符号的值,其单位与被测参数的单位相同,它并不能说明测量的准确性。

一般情况下,将与 ΔX 大小相等、符号相反的值称为修正值,用 C 表示,即

$$C = -\Delta X = A - X。$$

利用修正值可求出测量仪表所表示的实际值,即

$$A = X - C。$$

仪器仪表的修正值通常由生产厂家随仪器仪表以数据表或曲线的形式给出,用于对仪器仪表的读数值的修正。

2. 示值相对误差

示值相对误差 r_x (又叫相对真值误差), 是绝对误差 ΔX 与仪表指示值 X 的比值, 一般用百分比表示, 即

$$r_x = \frac{\Delta X}{X} \times 100\%。$$

在比较测量结果的精确程度时, 仅有绝对误差是不够的。实际测量中, 一般用相对误差来表示误差的大小。为了减小相对误差, 在测量电压和电流时, 指针式仪表量程的选择应尽可能使指针接近满偏转 (或满刻度的 $2/3$ 以上)。另外, 用万用表测量电阻的阻值时, 所选择的量程应尽可能地使指针指到电阻档标尺中心位置附近, 此时读数误差较小。

3. 满度相对误差

仪器的测量误差除采用上述绝对误差和示值相对误差表示外, 通常还用满度相对误差表示。满度相对误差是绝对误差 ΔX 与仪表满度值 X_m 的百分比, 用 r_m 表示, 即

$$r_m = \frac{\Delta X}{X_m} \times 100\%。$$

因为 r_m 是用绝对误差 ΔX 与一个常数 X_m 的比值来表示的, 所以, 实际上给出的是绝对误差的大小。若 r_m 已知, 则在同一量程内绝对误差基本上是一个常数, 因而可以较好地反映仪表的基本误差。

1.2.2 测量误差的产生和消除

从误差的来源和性质入手去认识误差并减小、消除误差, 是最根本的途径和有效的措施。误差的产生主要有以下几个方面:

1. 仪器误差

仪器误差是指仪器本身电气性能或机械性能不良造成的误差, 如仪器校正不好、刻度不准确造成的误差。

减小仪器误差的方法是预先对仪器进行校准, 配备性能优良的校准仪器并定期计量或校准。

2. 使用误差

使用误差也称操作误差,指在使用过程中仪器和其他设备的安装、调节、布置不正确或使用不当所造成的误差。如在操作过程中,将规定水平放置的仪器倾斜放置,系统共地不好,没有考虑阻抗匹配的问题,未按规定对仪器进行调整和校准等。

减小使用误差的方法是测量前详细了解和掌握仪器的使用方法,严格按操作规程使用仪器,提高实验技巧和操作技能。

3. 方法误差

方法误差是由于测试方法不够完善,依据的理论不够严格,或测量定义不明确,过度的简化或近似等所导致的误差。

减小方法误差,首先要根据被测的对象选择合理的测试方法,还要选择合适的仪器、仪表,进行科学的分析和计算。

4. 人身误差

人身误差是由于操作者测试习惯不良而在测试过程中引起的误差。例如,读刻度盘时视角不垂直表盘,读数时有偏大或偏小的习惯等。

减小测量的人身误差,应提高操作和测试技能并改正不正确的测试习惯和方法。

1.3 测量系统的“接地”与“共地”

电子测量系统良好的“接地”与“共地”,是抑制干扰、确保人身和设备安全、使系统参数测试正常进行的重要技术措施。“地”是电位基准,电子测量系统往往以地球的电位为基准零电位,在电路图中以符号“ $\perp$ ”表示。电子电路中的“地”可以系统中电路的某一点电位为基准。设该点为相对零电位,这种“地”电位不一定与大地“ $\perp$ ”等电位。

1.3.1 接地

“接地”指电子仪器相对零电位点(如外壳)接大地“ $\perp$ ”。一台仪器或一个电子测量电路都必须具有良好的接地,防止因仪器设备漏电或雷击而可能造成的设备损坏和人身危险,仪器设备的外壳接地电阻越小越好(一般应在 100Ω 以下)。在测量过程中,使用交流毫伏表、示波器等高灵敏度、高输入阻抗的仪器时,若仪器外壳未接大地或接地效果差,人手触及仪器时,即有麻手的感觉,严重时会导致触电。当人手触及仪器或电路的输入端时,就会有一部分漏电流经人体耦合而输入到仪器或电路中去,由于系统的输入阻抗很高,压降很大,必然产生过负荷现象,造成系统工作不正常,甚至损坏仪器或电路。反之,仪器外壳接地良好,漏电流就经接地线流入大地而形成回路,不会影响系统工作。

1.3.2 共地

“共地”指各仪器及被测电路装置的地端,按照信号输入、输出的顺序可靠地连接在一起。电子测量和电工测量中的“共地”是有所不同的,从测量输入端与地的关系来看,电工测量仪表的两个输入端均与大地无关,即所谓“浮地”测量,可称之为“平衡输入”式仪表,例如万用表。用万用表测量 50Hz 正弦交流电压时,其两个测试表笔可以互换量点,而测量结果相同。在电子测量中,由于被测电路工作频率高、线路阻抗大及信号弱,所以抗干扰能力差。为了排除干扰提高测量精度,多数电子测量仪器采用单端输入/输出方式,即仪器的两个输入端中,总有一个与相对零电位点(如机壳)相连,两个测试输入端不能互换测量,称为“不平衡输入”。测试系统中,这种“不平衡输入”仪器的接地端“⊥”必须相连。否则将引入外界干扰而导致测量误差,特别是当各测试仪器的外壳通过电源插头接大地时,若未“共地”,会造成被测信号短路或毁坏被测电路的器件。

总之,电子测试系统中各仪器应该“接地”又“共地”,这样既能够消除工频干扰,又能够抑制其他外界干扰。

1.3.3 模拟地和数字地

当模拟电路和数字电路组成模-数混合电子电路时,为了避免模拟和数字电路的相互干扰,通常要将“模拟地”和“数字地”隔离出来以确保整个系统的正常工作。这在模拟和数字混合电路的设计和制作中,是一个特别值得注意的问题。

1.3.4 安全用电

由于低电压和低电流也可能对人体造成伤害,因此,在使用仪器设备之前,请务必仔细阅读有关安全信息和操作说明,遵循下列安全事项的操作程序:

(1) 在下列情况时,要特别小心谨慎:测量 20V 以上的电压;测量大于 10mA 的电流;测量带电感负载的交流电力线。

(2) 仪表使用之前都要检查测试线和附件是否异常或损伤。如果发现异常情况,例如测试线断裂或磨损,外观破裂,显示器无读数等,请不要使用。

(3) 进行电气测量时,身体切勿直接接触大地。也不要接触可能存在地电势的裸露的金属端子、输出口、引线夹等。通过使用干燥的衣服、胶鞋、胶垫以及其他经认可的绝缘材料,保持身体与大地绝缘。

(4) 不要测量超过地电位 500V DC/AC RMS 的电压。

(5) 测量时不要接触裸露的导线、连接线、测试探头或其他任何带电导线。

(6) 不能确定被测电压的大小范围时,请将量程开关置于最大的量程位置。

(7) 处于易燃易爆气体、水蒸气或灰尘等场合时,切勿操作使用仪表。

(8) 被测量电压超过仪表的电压测量极限时,有可能损坏仪表和危及操作人员