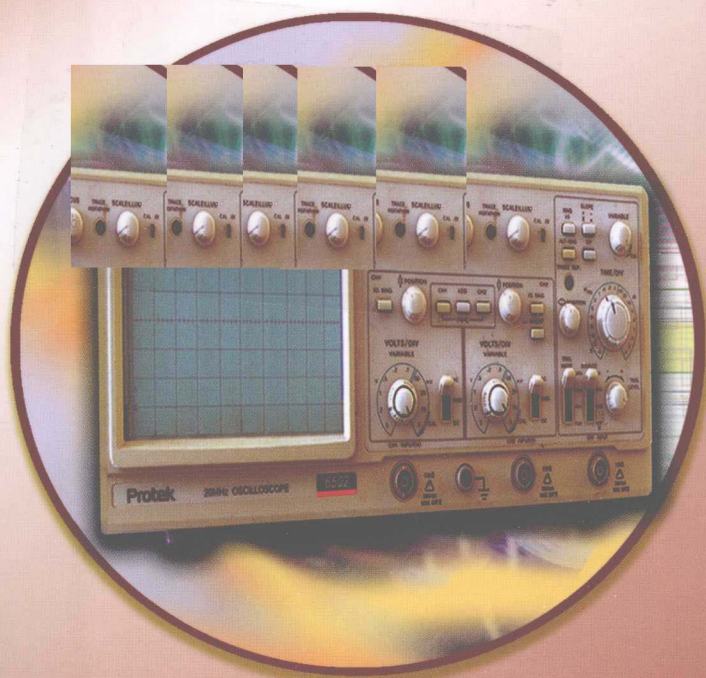


高等院校培养应用型人才电子技术类课程系列规划教材

电路与电子技术实验

曹才开 张丹 罗雪莲
余建坤 刘海波 编著



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

高等院校培养应用型人才电子技术类课程系列规划教材

电路与电子技术实验

曹才开 张 丹 罗雪莲 编著
余建坤 刘海波

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术实验/曹才开等编著. —长沙:
中南大学出版社, 2009
(高等院校培养应用型人才电子技术类课程系列规划教材)
ISBN 978-7-81105-993-9

I. 电... II. 曹... III. ①电路-实验-高等学校-教材
②电子技术-实验-高等学校-教材 IV. TM13-33 TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 212503 号

电路与电子技术实验

曹才开 张丹 罗雪莲 编著
余建坤 刘海波

责任编辑 邓立荣
责任印制 文桂武
出版发行 中南大学出版社
社址:长沙市麓山南路 邮编:410083
发行科电话:0731-88876770 传真:0731-88710482
印 装 长沙市华中印刷厂

开 本 787 × 1092 1/16 印张 20.5 字数 505 千字
版 次 2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷
印 数 0001—3000
书 号 ISBN 978-7-81105-993-9
定 价 35.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

高等院校培养应用型人才 电子技术类课程系列规划教材编委会

丛书主编：吴新开

从书副主编：张一斌 郭照南

编委会人员：(排名不分先后)

吴新开(湖南科技大学)	刘安玲(长沙学院)
欧青立(湖南科技大学)	张志刚(长沙学院)
沈洪远(湖南科技大学)	张 丹(长沙学院)
姚 屏(湖南科技大学)	张跃勤(长沙学院)
韦文祥(湖南科技大学)	张海涛(长沙学院)
曾 屹(中南大学)	瞿 翌(长沙学院)
张一斌(长沙理工大学)	周继明(邵阳学院)
王小华(长沙理工大学)	江世明(邵阳学院)
刘 晖(长沙理工大学)	余建坤(邵阳学院)
夏向阳(长沙理工大学)	罗邵萍(邵阳学院)
刘奇能(湘潭大学)	石炎生(湖南理工学院)
张福阳(南昌大学)	张国云(湖南理工学院)
周南润(南昌大学)	湛腾西(湖南理工学院)
方安安(南昌大学)	刘 翔(湖南理工学院)
郭瑞平(辽宁科技学院)	陈日新(湖南文理学院)
吴舒辞(中南林业科技大学)	王南兰(湖南文理学院)
朱俊杰(中南林业科技大学)	伍宗富(湖南文理学院)
李 颖(中南林业科技大学)	周志刚(湖南文理学院)
任 嘉(中南林业科技大学)	熊振国(湖南文理学院)
曹才开(湖南工学院)	王 莉(湖南商学院)
罗雪莲(湖南工学院)	何 静(湖南商学院)
刘海波(湖南工学院)	蒋冬初(湖南城市学院)
郭照南(湖南工程学院)	雷 蕾(湖南城市学院)
孙胜麟(湖南工程学院)	朱承志(湘潭职业技术学院)
贺攀峰(湖南工程学院)	祖国建(娄底职业技术学院)
余晓霏(湖南工程学院)	刘理云(娄底职业技术学院)
刘 辉(长沙学院)	张玲玲(郴州职业技术学院)

总序

随着我国科学技术不断地发展、完善，以及教育体系不断地更新，社会用人单位对高校人才培养模式提出了更高更新的要求。复合型、创新型、实用型人才日益受到用人单位的青睐。这种发展趋势必将会使高校的人才培养模式面临着新的挑战，这就意味着如何提高高等学校毕业生的实际工作能力尤为重要。诚然，除了努力加强实践教学之外，还应着力加强和推进理论教学及其教材的建设与更新，显然，它是提高高等学校教学质量的一个必不可少的重要环节。根据教育部、财政部《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》的文件精神，启动“万种新教材建设项目，加强新教材和立体化教材建设”工程，积极组织好教师编写新教材。

鉴于此，中南大学出版社特邀请湖南省及外省部分高等学校从事电工电子技术教学、实验和应用研究的教授、专家和教学第一线的骨干教师、高级实验师组成了教材编委会，编写了这套电工电子技术系列教材。

本系列教材的主要特点为：

1. 充分吸取了教学改革、课程设置与教材建设等方面的经验成果，在内容的选材上（如例题和习题）力求理论紧密联系实际、注重实用技术的讲解和实用技能的训练。同时也能较好地反映出电子

电气信息领域的最新研究成果，体现电子电气应用领域的新知识、新技术、新工艺与新方法。

2. 根据专业特点，对传统教材的内容进行了精选、整合、优化，以满足理论教学与实验教学的需求。同时，注意到与相关课程内容之间的衔接，从而保证了教学的系统性，有利于理论教学。

3. 编写与电子技术类课程设计相配套的指导性教材，有利于实践性教学。

4. 在本系列教材中，基本概念的阐述较清晰，层次分明，语言表述做到了通俗易懂，有利于学生自学。

目前，我国高等教育的模式还在日趋完善，教材体系尚未完全建立，教材编写还处于不断探索的阶段，仍需要我国高等学校的广大教师持之以恒、不懈努力、辛勤耕耘，编写出更多更好的能满足新形势下教学需要的实用教材。

我相信并殷切地期望本系列教材的出版，它不仅会受到广大教师的欢迎，满足教学的需要，而且还将会对我国高等学校的教材建设起到积极的促进作用。最后，预祝《高等院校培养应用型人才电子技术类课程系列规划教材》出版项目取得成功，为我国高等教育事业和信息产业的蓬勃发展与繁荣昌盛培土施肥。同时，也恳切地希望广大读者、同仁，对该系列教材的不足之处提出中肯的意见和有益的建议，以便再版时更正。

谨识

教育部中南地区高等学校电子电气基础课教学研究会理事长
武汉大学电子信息学院 教授/博士生导师

前 言

《电路分析》、《模拟电子技术》、《数字电子技术》和《电气控制与 PLC》四门课程的实验教学,是电类各专业学生进行基本技能训练的重要环节。该实验知识与技能是电类专业学生所必须具备的,它对专业基础知识的奠定和实际动手能力的提高具有决定性的意义。

本书由湖南省部分高等院校教师在多年的实践教学、教学研究、科学研究和教材建设的基础上编写而成。

全书共有 8 章,第 1 章介绍了电工测量的基础知识和常用电工测量仪器与设备的基本原理和使用方法。第 2、3 章为电路分析硬件实验项目(18 个)和 EWB 仿真实验项目(6 个)。第 4、5 章为模拟电子电路硬件实验项目(15 个)和 EWB 仿真实验项目(7 个)。第 6、7 章分别为数字电子电路硬件实验项目(13 个)和 EWB 仿真实验项目(7 个)。第 8 章为电气控制实验项目(18 个)。全书共有 84 个实验项目,其中基础性实验项目 27 个、设计性实验项目 28 个、综合性实验项目 29 个。

根据由浅入深、提高学生创新能力和综合动手能力的思想,本书设计了一批基本技能训练项目、设计性实验项目和综合性实验项目。这些实验项目能较系统地训练学生的基本操作技能、常用仪器设备的使用、工程测量知识、电路设计技术及各种测量方法,巩固理论知识,培养严谨的科学态度和工程意识。

由于“虚拟”实验(EWB 仿真实验)仪器全,元件多,功能多,所以“虚拟”实验又是“硬件”实验的补充和完善。适当开设一些“虚拟”实验项目,不但可以缓解高校实践经费不足的困难,而且有利于学生掌握现代检测技术。

若《电路分析》、《模拟电子技术》、《数字电子技术》和《电气控制与 PLC》四门课程独立编写实验教材,又显得内容太多,实际使用实验项目太少,学生花钱买这么多书而有意见。故本教材力求克服上述不足,具有自己的优势。

本教材的特色有:

(1) 基础实验、设计性实验与综合性实验相结合。实验项目由浅入深,有利于开发学生的智力,逐步增强动手能力。

(2) “硬件实验”与“虚拟实验”相结合。这样,学生不但能掌握常用的电子仪器的使用方法,而且也能掌握现代电子设计技术,使用许多精密仪器,学会现代检测技术,提高综合运用知识的能力和动手能力,开阔视野。

(3) 课程基本内容与工程应用相结合。这样较好地处理了教学内容继承与更新、先进性与实用性的关系。

(4) 课程实验与实验室建设相结合。为了满足“双基实验室”建设、“示范实验室”建设的要求(设计性、综合性实验项目占课程开设的总实验项目的70%以上),四门课共设计了19个设计性实验项目和23个综合性实验项目,足够各学校选用。

(5) 本书突出基本技能训练,突出工程应用,突出新的测量手段和方法,突出创新意识。

本书由湖南工学院曹才开教授、长沙学院张丹副教授等编写,曹才开担任了本书的总策划和统稿工作。参加本书编写工作的有:曹才开(第1、2、3、5章,附录A~G)、张丹(第4章)、余建坤(第6章)、刘海波(第7章)、罗雪莲(第8章)。

在本书的编写过程中,得到了参编院校的大力支持,谨致以衷心感谢!

由于编者水平有限,书中的缺点和错误在所难免,敬请各位读者批评指正。

编者

2009年11月

目 录

第 1 章 电工测量与仪器使用基础知识	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 测量误差	(2)
1.3 测量数据的处理	(10)
1.4 电工测量仪器的基本知识	(12)
1.5 常用仪器仪表的使用说明	(14)
1.6 常用电学量的测量技术	(25)
1.7 半导体器件选用基本知识	(33)
第 2 章 电路分析硬件实验项目	(36)
2.1 线性网络的叠加性和齐次性	(36)
2.2 线性有源二端网络等效参数测量(设计性实验)	(39)
2.3 磁电式表头的应用(设计性实验)	(41)
2.4 受控源电路的研究(综合性实验)	(43)
2.5 一阶 RC 电路的零输入响应与零状态响应	(47)
2.6 RL 电路的方波响应(设计性实验)	(50)
2.7 正弦电路中电阻器、电感器和电容器参数的测量	(51)
2.8 无源单口网络的等效阻抗与导纳的测量(综合性实验)	(53)
2.9 日光灯电路及功率因素的提高(设计性实验)	(56)
2.10 RLC 串联电路的谐振特性	(58)
2.11 两个耦合电感线圈参数的测量	(61)
2.12 变压器参数的测试(综合性实验)	(65)
2.13 三相交流电路电压、电流的测量	(68)
2.14 对称三相负载中功率的测量	(71)
2.15 非正弦周期电流电路的测量(综合性实验)	(73)
2.16 双口网络的等效电路测量(设计性实验)	(75)
2.17 负阻抗变换器及其应用	(78)
2.18 回转器及其应用(综合性实验)	(82)

第 3 章 电路分析 EWB 仿真实验项目	(86)
3.1 直流电路的节点分析法 (综合性实验)	(86)
3.2 T 形网络和 Π 形网络等效变换的测量 (综合性实验)	(88)
3.3 一阶电路三要素分析法 (综合性实验)	(93)
3.4 二阶电路响应的测量	(96)
3.5 交流电路的戴维南等效电路 (综合性实验)	(98)
3.6 集成运算放大器线性应用 (综合性实验)	(104)
第 4 章 模拟电子电路硬件实验项目	(109)
4.1 共射极单管放大电路的研究	(109)
4.2 场效应管放大器	(112)
4.3 负反馈放大电路的研究	(116)
4.4 差动放大器的设计 (设计性实验)	(119)
4.5 基本运算电路的测试	(120)
4.6 音频集成功率放大器设计与研究	(125)
4.7 有源带通与高通滤波器的设计 (设计性实验)	(128)
4.8 RC 正弦波振荡器的设计与调试 (设计性实验)	(131)
4.9 LC 正弦波振荡器的设计与调试 (设计性实验)	(133)
4.10 函数信号发生器的组装与调试 (综合性实验)	(135)
4.11 电压/电流转换电路	(138)
4.12 半导体直流稳压电源的设计与测试 (综合性实验)	(141)
4.13 蓄电池充电控制电路的设计 (设计性实验)	(146)
4.14 单相桥式半控整流电路的测量 (综合性实验)	(149)
4.15 多重反馈电路的研究 (综合性实验)	(152)
第 5 章 模拟电子电路 EWB 仿真实验项目	(156)
5.1 RC 有源低通与带阻滤波器	(156)
5.2 积分电路与微分电路的研究	(159)
5.3 方波 - 三角波发生器设计与研究 (设计性实验)	(161)
5.4 运算放大器组成万用表设计与调试 (设计性实验)	(164)
5.5 多路直流稳压电源的测试	(167)
5.6 集成功率放大电路的应用	(169)
5.7 集成运算组成的负反馈放大电路 (综合性实验)	(171)
第 6 章 数字电子电路硬件实验项目	(175)
6.1 基本门电路的逻辑功能测试	(175)
6.2 组合逻辑电路的设计与调试 (设计性实验)	(179)
6.3 集成触发器的功能测试	(184)

6.4	编码器与译码器	(187)
6.5	数据选择器(设计性实验)	(190)
6.6	移位寄存器(设计性实验)	(193)
6.7	多谐振荡器与单稳触发器的设计(综合性实验)	(199)
6.8	集成计数器的设计(设计性实验)	(202)
6.9	555 时基电路及其应用(综合性实验)	(204)
6.10	A/D 转换器测试	(210)
6.11	D/A 转换器测试	(213)
6.12	电子秒表组装与调试(综合性实验)	(217)
6.13	多路智力竞赛抢答器的设计(综合性实验)	(221)
第7章	数字电子电路 EWB 仿真实验项目	(224)
7.1	交通灯控制电路的设计(综合性实验)	(224)
7.2	双音报警电路的设计与测试(设计性实验)	(228)
7.3	环形流水灯控制电路的设计(设计性实验)	(231)
7.4	水泵自动控制电路的设计(综合性实验)	(232)
7.5	数控步进电机电路的设计(设计性实验)	(234)
7.6	BP 机呼叫电路的设计(设计性实验)	(236)
7.7	随机存取存储器的应用(综合性实验)	(238)
第8章	电气控制与 PLC 实验项目	(242)
8.1	三相鼠笼式异步电动机的检测(综合性实验)	(242)
8.2	三相异步电动机正、反转的继电器-接触器控制	(246)
8.3	继电器-接触器控制线路故障的检查(综合性实验)	(248)
8.4	单相电容式电动机的故障检修(设计性实验)	(253)
8.5	PLC 基本指令训练	(254)
8.6	混料罐实验(设计性实验)	(258)
8.7	红绿灯控制实验(设计性实验)	(259)
8.8	传输控制实验(设计性实验)	(261)
8.9	LED 数码显示实验(综合性实验)	(262)
8.10	功能指令实验(综合性实验)	(263)
8.11	电梯模型控制实验(设计性实验)	(265)
8.12	电动机自动往复运动实验(综合性实验)	(267)
8.13	广告艺术灯控制器设计实验(综合性实验)	(268)
8.14	乒乓球模拟比赛(综合性实验)	(270)
8.15	三相异步电动机启停的 PLC 控制	(272)
8.16	三相异步电动机正反转的 PLC 控制(设计性实验)	(274)
8.17	三相异步电动机反接制动的 PLC(设计性实验)	(276)
8.18	抢答器程序设计(设计性实验)	(278)

附录	(280)
附录 A	实验须知	(280)
附录 B	实验课前的指导	(281)
附录 C	实验报告示范	(284)
附录 D	常用模拟集成电路芯片	(287)
附录 E	常用数字集成电路芯片	(294)
附录 F	数字电路实验基本知识.....	(299)
附录 G	EWB 软件操作简介	(302)
参考文献	(314)

第1章 电工测量与仪器使用基础知识

【本章提要】

本章所介绍的内容是电工测量最常用的基础知识,所涉及到的测量仪表也在电子电路设计、分析中应用极为广泛。电工测量要解决的主要问题是测量方法的选择、数据的分析和处理、测量设备的选用等。本章主要内容有:测量误差的基本知识,测量数据的处理,电工测量仪器的基本知识,电流、电压、电功率的测量,用电桥测量 R 、 L 、 C 的元件参数,半导体二极管、三极管参数的测量。

1.1 引言

测量是以确定量值为目的的一组操作,是人类对自然界的客观事物取得数量观念的一种认识过程。在这一过程中,操作人员需借助于专门的仪器仪表,通过实验方法,求出以所采用的测量单位表示的被测量的数值大小。电工测量就是借助于测量仪器,将被测量的电量或磁量,与作为测量单位的同类标准进行比较,从而确定被测电量或磁量的过程。

电工测量的数据主要是反映电和磁特征的物理量,如电流(I)、电压(U)、电功率(P)、电能(W)等;反映电路特征的物理量,如电阻(R)、电容(C)、电感(L)等;反映电和磁变化规律的物理量,如频率(f)、相位(φ)、功率因数(λ)等。被测量与标准量进行比较的测量设备,包括测量仪器和作为测量单位参与测量的度量器。进行电量或磁量测量的各种仪器、仪表,统称为电工测量仪表。

进行电工测量时,应根据测量的目的和被测量的性质,选择不同的测量仪表和不同的测量方法。在测量过程中,由于采用的测量仪表不同、度量器是否直接参与以及测量结果如何取得等,就形成了不同的测量方法。这些方法的选择,一般应根据被测量的特性、测量条件及对准确度的要求来确定。测量方法可以根据各种不同的特征来分类。

1. 按获得被测量结果的方式不同分

(1)直接测量。直接测量时,测量结果是从一次测量的实验数据中得到的。此时,可以使用度量器直接参与被测量比较而得出被测量数值的大小,也可以使用按相应单位刻度的仪表直接测量出。如用欧姆表测量电阻、用电压表测量电压和用电流表测量电流等,这些都属于直接测量。

(2)间接测量。间接测量时,测量结果是通过直接测量几个与被测量有一定函数关系的中间量而得到的。例如测导体的电阻系数时,可以通过直接测出该导体的电阻 R 、长度 l 和截面 S 值,然后按电阻与长度、截面积的关系式求出电阻系数 ρ 。

(3)组合测量。若被测量必须经过求解联立方程组才能得到最后结果,则这种测量方法

称为组合测量。组合测量是一种特殊的精密测量方法，操作手续复杂，花费时间长，多用于科学实验的某些特殊场合。

2. 按获得测量对象数值的方法分

(1) 直读测量法 直读测量法的实质，是根据测量仪表的读数来判断被测量大小，作为测量单位的度量器并不直接参与测量。为了能直接读取被测量，这些测量仪表已按被测量的单位预先刻好分度，因而实际上也是与度量器的间接比较。采用直读测量法进行测量，由于具有设备简单和试验方便等一系列优点，因而得到了广泛的应用，其缺点是测量准确度因受仪表准确度的限制而较低。

(2) 比较测量法 在测量过程中，被测量需与度量器直接作比较的所有测量方法，都属于比较测量法。也就是说，比较测量法的特点，就是在测量过程中要有度量器的直接参与。这种测量方法准确度较高，但测量时操作比较复杂，测量速度也比较慢，适于精密测量。

不管用何种测量方法，均存在测量误差。对误差理论的研究是为了尽量减小测量误差。

1.2 测量误差

1.2.1 测量误差的几个名词术语

1. 真值

测量的目的是希望通过测量求取被测量的真值(true value)。所谓“真值”，是指在一定条件下被测量客观存在的真正值。一般情况下，真值往往是测不到的。人们常用约定真值来代替真值。凡精度高一级仪器的误差与精度低一级仪器的误差相比，前者小于后者的 $1/5 \sim 1/20$ 时，则高级仪器的测量值可认为是低一级仪器测量值的约定真值。

2. 标称值

它是计量或测量器具上标注的量值。如标准砝码上标出的 1kg ，标准电池上标出的 1.0186V 。由于制造上不完备、测量不准确及环境条件的变化，标称值并不等于它的实际值，所以，在给出量具标称值的同时，通常应给出它的误差范围或准确度的等级。对于被测对象来说，同样存在着标称值并不等于实际值的情况。

3. 示值

从测量仪器(设备)直接读到或经公式推算出的量值，也称测量值。

4. 准确度

准确度(accuracy)既可用于说明测量结果，也可用于测量仪器的示值。当用于测量结果时，表示测量结果与被测量真值之间的一致程度。当用于测量仪器时，定义为测量仪器给出接近于真值的能力，所有这些场合，准确度均为一种定性的概念而非定量的。因此，准确度不像测量误差、测量不确定度，它不是物理量，它没有一个定量的定度。测量误差定义为测量结果减被测量之真值，是两量之差，可以定量地给出。准确度则不能。所谓定量，就是用量值表达。例如，我们说某测量仪器的示值误差为 -2.8mA ，这是定量的表达，给出了量值， -2.8mA 。但我们决不能说这一测量仪器的准确度为 -2.8mA 或是 $\pm 2.8\text{mA}$ ，或是小于等于 2.8mA 。当某个测量仪器的引用误差不大于 0.01 时(1%)，该仪器的准确度为1级。但

只是准确度为1级而绝非准确度为1%。注意：1%是个量值。

5. 重复性

在相同条件下,对同一被测量连续进行多次测量各指示值间的重合程度(一致性)。所谓相同条件就是重复条件,它包括:相同测量程序、相同测量条件、相同观测人员、相同测量设备、相同地点。

6. 误差公理

由于真值是量的定义的完整体现,其本质是不可确知的(不存在完美无缺的测量),再加上在实际测量中,测量设备不准确、测量方法(手段)不完善、测量程序不规范、测量环境因素等影响的存在,从而导致测量结果与真值之差的测量误差,也是不可确知的,也就导致了测量结果或多或少地偏离被测量的真值。所以,测量误差的存在是不可避免的,也就是说“误差不可确知,一切测量结果都有误差”,这就是误差公理。人们研究测量误差的目的就是寻找产生误差的原因,认识误差的规律、性质,进而找出减小误差的途径与方法,以求获得尽可能接近真值的测量结果。

1.2.2 测量误差的来源

测量误差是由测量仪器的误差以及测量辅助设备、测量方法、外界环境、操作技术等多种误差因素共同作用的结果,其主要来源如下。

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,由于刻度不准、调解机构不完善等原因造成的读数误差,内部噪声引起的误差,由于元器件老化、环境改变等原因造成的稳定性误差等都属于仪器误差,也称为工具误差。

2. 影响误差

又称环境误差,指由于各种环境因素与要求的条件不一致而造成的误差。例如,当环境温度、湿度或电源电压等因素要求不一致时,将会产生误差,这就是影响误差。

3. 理论误差

由于测量方法建立在近似公式或不完整的理论基础之上,或是用近似值来计算测量结果,则由此引起的误差便称为理论误差。

4. 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。例如,用普通万用表测量高内阻回路的电压,就会因万用表的输入电阻较低而引起误差,这就是方法误差。

5. 人身误差

由于测量者的分辨能力、感官疲劳、固有习惯或责任心等因素而引起的误差,称为人身误差。例如,视觉疲劳所引起的视差就属于此类误差。

1.2.3 测量误差的表示

1. 绝对误差

绝对误差等于被测量的示值与其真值之差,用公式表示为

$$\Delta A = A_x - A_0 \quad (1.1)$$

式中 ΔA 为测量结果的绝对误差; A_x 为示值,在具体应用中,可以用测量值、标称值、计算近

似值或定值代替； A_0 为被测量的真值(实际值)。通常把标准表的指示值认作被测量的实际值，又用这个实际值来代替真值。

与绝对误差符号相反的值称为修正值或修正量，用 C 表示，即

$$C = \Delta A = A_0 - A_x \quad (1.2)$$

可得

$$A_0 = C + A_x \quad (1.3)$$

即实际值等于示值与修正量之和。

测量仪器的修正值一般是通过计量部门检定给出，用于对仪表示值进行校正，以消除误差。

例 1.1 某电流表的量程为 1 mA，通过检定知其修正值为 -0.02 mA。用该电流表测量某一电流，示值为 0.78 mA，试问被测电流的实际值和测量中存在的绝对误差各为多少？

解：求被测电流的实际值：

$$A_0 = C + A_x = -0.02 + 0.78 = 0.76 \text{ mA}$$

求绝对误差：

$$\Delta A = A_x - A_0 = 0.78 - 0.76 = 0.02 \text{ mA}$$

本例中，绝对误差也可以由修正值直接求得，即 $\Delta A = -C = 0.02$ mA。

2. 相对误差

当被测量不是同一个值时，绝对误差的大小不能反映测量的准确度，这时用相对误差的大小来判断被测量的准确度。相对误差等于绝对误差与约定值之比。

当约定值为被测量的真值时，称为真值相对误差或实际相对误差。一般用百分数形式表示，即

$$\gamma_0 = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\% \quad (1.4)$$

当约定值为被测量的测量结果，即仪器的示值时，称为示值相对误差或标称相对误差。用百分数形式表示为

$$\gamma_x = \frac{\Delta A}{A_x} \times 100\% \quad (1.5)$$

由于真值的不可确定性，所以，在实际的工程应用中常常用 γ_x 代替 γ_0 。

在测量实践中，测量结果准确度的评价常常使用相对误差，因为它方便、直观。相对误差愈小，准确度愈高。

分贝误差用 γ_{dB} 表示，这是一种用分贝 (dB) 表示的相对误差。当绝对误差值 $\Delta A \ll 1$ 时，它与示值相对误差 γ_x 之间存在如下的简单关系。

对于电流、电压类的电参数：

$$\gamma_{dB} = 8.69\gamma_x \text{ (dB)} \quad (1.6)$$

对于功率类的电参数：

$$\gamma_{dB} = 4.3\gamma_x \text{ (dB)} \quad (1.7)$$

例如，DW-3 型高频微伏表测电压时的误差为 1.5dB，如用示值相对误差表示，则为

$$\gamma_x = \gamma_{dB} / 8.69 = 1.5 \times 0.115 \approx 0.17 = 17\%$$

综上所述，除分贝误差外，其他的相对误差都是一个只有大小和符号、而没有量纲的百

分数。

3. 引用误差

相对误差可以表示测量结果的准确度,但却不足以说明仪表本身的准确性,所以用引用误差来表示仪表的准确性。为了评价测量仪表的准确性因而引入了准确度等级。引用误差定义为绝对误差与测量仪表量程之比,用百分数表示,即

$$\gamma_n = \frac{\Delta A}{A_m} \times 100\% \quad (1.8)$$

式中, γ_n 为引用误差; A_m 为测量仪表的量程。

测量仪表的各指示(刻度)值的绝对误差有正有负,有大有小。所以,确定测量仪表的准确度等级应用最大引用误差,即最大绝对值 $|\Delta A|_m$ 与量程之比。若用 γ_{nm} 表示最大引用误差,则有

$$\gamma_{nm} = \frac{|\Delta A|_m}{A_m} \times 100\% \quad (1.9)$$

国家标准 GB 776 - 1976《测量指示仪表通用技术条件》规定,电测量仪表的准确度等级指数 a 分为 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0 七级。它们的基本误差(最大引用误差)不能超过仪表准确度等级指数 a 的百分数,即

$$\gamma_{nm} \leq a\% \quad (1.10)$$

依照上述规定,不难得出:电测量仪表在使用时所产生的最大可能误差可由下式求出:

$$\begin{aligned} \Delta A_m &= \pm A_m \times a\% \\ \gamma_x &= \pm (A_m/A_x) \times a\% \end{aligned}$$

例 1.2 某 1.0 级电压表,量程为 300V,当测量值分别为 $U_1 = 300V$, $U_2 = 200V$, $U_3 = 100V$ 时,试求这些测量值的(最大)绝对误差和示值相对误差。

解:绝对误差为

$$\Delta U_1 = \Delta U_2 = \Delta U_3 = \pm 300 \times 1.0\% = \pm 3V$$

示值相对误差分别为

$$\begin{aligned} \gamma_{U_1}(\Delta U_1/U_1) \times 100\% &= (\pm 3/300) \times 100\% = \pm 1.0\% \\ \gamma_{U_2}(\Delta U_2/U_2) \times 100\% &= (\pm 3/200) \times 100\% = \pm 1.5\% \\ \gamma_{U_3}(\Delta U_3/U_3) \times 100\% &= (\pm 3/100) \times 100\% = \pm 3.0\% \end{aligned}$$

由例 1.2 不难看出,测量仪表产生的示值测量误差不仅与所选仪表等级指数有关,而且与所选仪表的量程有关。量程 A_m 和测量值 A_x 相差愈小,测量准确度愈高。所以在选择仪表量程时,测量值应尽可能接近仪表满度值,一般不小于满度值的 $2/3$ 。这样,测量结果的相对误差将不会超过仪表准确度等级指数百分数的 1.5 倍。这一结论只适合于以标度尺上量程的百分数划分仪表准确度的一类仪表,如电流表、电压表、功率表;而对于测量电阻的普通型欧姆表是不适合的,因为欧姆表的准确度等级是以标度尺长度的百分数划分的。可以证明欧姆表的示值接近其中值电阻时,测量误差最小,准确度最高。

4. 容许误差

容许误差指的是在正常使用条件下,可能产生的最大测量误差范围,它是衡量测量仪表的最重要的指标。测量仪器的准确度、稳定度等指标都可用容许误差来表征。按照标准 SJ 943 - 1982《电子仪器误差的一般规定》的规定,容许误差可用工作误差、固定误差、影响