

全国高等职业院校电子类专业教材

QUANGUO GAODENG ZHIYE JISHU YUANXIAO DIANZILEI ZHUANYE JIAOCAI

电子测量 与仪器



中国劳动保障出版社

QUANGUO GAODENG ZHIYE JISHU YUANXIAO DIANZILEI ZHUANYE JIAOCAI

全国高等职业院校电子类专业教材

电子测量与仪器

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子测量与仪器/伍湘彬著. --北京:中国劳动社会保障出版社, 2005

全国高等职业院校电子类专业教材

ISBN 7-5045-4788-3

I. 电… II. 伍… III. ①电子测量-高等学校:技术学校-教材 ②电子测量设备-高等学校:技术学校-教材 IV. TM93

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第006924号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码:100029)

出版人:张梦欣

*

新华书店经销

北京大容彩色印刷有限公司印刷 北京密云青云装订厂装订

787毫米×1092毫米 16开本 11.75印张 292千字

2005年7月第1版 2005年7月第1次印刷

印数:4000册

定价:19.00元

读者服务部电话:010-64929211

发行部电话:010-64911190

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

前言

为贯彻落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》，推进高等职业技术教育更好地适应经济结构调整、科技进步和劳动力市场的需要，推动高等职业技术学院实施职业资格证书制度，加快高技能人才的培养，劳动和社会保障部教材办公室在充分调研和论证的基础上，组织编写了高等职业技术学院系列教材。从 2004 年起，陆续推出数控类、电工类、模具设计与制造、电子商务、电子类、烹饪类专业教材，并将根据需要不断开发新的教材，逐步建立起覆盖高等职业技术学院主要专业的教材体系。

在高等职业技术学院系列教材的编写过程中，我们始终坚持了以下几个原则：一是坚持高技能人才的培养方向，从职业（岗位）分析入手，强调教材的实用性；二是紧密结合高职院校、技师学院、高级技校的教学实际情况，同时，坚持以国家职业资格标准为依据，力求使教材内容覆盖职业技能鉴定的各项要求；三是突出教材的时代感，力求较多地引进新知识、新技术、新工艺、新方法等方面的内容，较全面地反映行业的技术发展趋势；四是打破传统的教材编写模式，树立以学生为主体的教学理念，力求教材编写有所创新，使教材易教易学，为师生所乐用。

电子类专业主要教材包括《模拟集成电路应用基础》《数字集成电路应用基础》《电子测量与仪器》《单片机原理与应用》《电子电路故障诊断及维修技术》《电子 CAD》《电视机原理与技能训练》《常用通信终端设备原理与技能训练》《摄录像机原理与技能训练》，可供高职院校、技师学院、高级技校电子类专业使用。教材的编写参照了相关的国家职业标准、技术标准。

在上述教材编写过程中，我们得到有关省市劳动和社会保障部门、教育部门，以及高等职业技术学院、技师学院、高级技校的大力支持，在此表示衷心的感谢。同时，我们恳切希望广大读者对教材提出宝贵的意见和建议，以便修订时加以完善。

劳动和社会保障部教材办公室

简介

本书为全国高等职业院校电子类专业教材，供各类高职院校、技师学院、高级技校相关专业使用。主要内容有：电子测量与仪器的基本知识、信号发生器、电压测量技术、电子计数器、通用示波器及应用、频域测量技术、数据域测量技术、自动测试技术等。

本书也可用于高级技术人才培训。

本书由伍湘彬主编，石方安主审。

目录

第一章 电子测量与仪器的基本知识	(1)
§ 1—1 电子测量的基本知识	(1)
§ 1—2 测量误差的基本概念	(3)
§ 1—3 测量结果的数据处理	(7)
§ 1—4 电子测量仪器的基本知识	(9)
本章小结	(13)
测验题一	(15)
实训一	(16)
第二章 信号发生器	(17)
§ 2—1 概述	(17)
§ 2—2 低频信号发生器	(18)
§ 2—3 高频信号发生器	(22)
§ 2—4 函数信号发生器	(26)
§ 2—5 脉冲信号发生器	(33)
本章小结	(34)
测验题二	(35)
实训二	(37)
第三章 电压测量技术	(39)
§ 3—1 概述	(39)
§ 3—2 模拟式电压表	(43)
§ 3—3 数字式电压表	(50)
§ 3—4 数字式万用表	(59)
§ 3—5 电压表的选择和使用	(64)
本章小结	(65)
测验题三	(67)
实训三	(69)

第四章 电子计数器	(72)
§ 4—1 概述	(72)
§ 4—2 通用电子计数器	(73)
本章小结	(83)
测验题四	(85)
实训四	(86)
第五章 通用示波器及应用	(88)
§ 5—1 概述	(88)
§ 5—2 示波管及波形显示原理	(90)
§ 5—3 通用示波器	(94)
§ 5—4 XJ4323 型双踪示波器	(103)
§ 5—5 示波器的应用	(109)
* § 5—6 取样示波器	(113)
* § 5—7 数字存储示波器	(116)
本章小结	(123)
测验题五	(127)
实训五	(129)
第六章 频域测量技术	(133)
§ 6—1 概述	(133)
§ 6—2 频率特性测试仪	(133)
* § 6—3 频谱分析仪	(144)
本章小结	(147)
测验题六	(150)
实训六	(151)
* 第七章 数据域测量技术	(155)
§ 7—1 概述	(155)
§ 7—2 逻辑电路的简易测试	(157)
§ 7—3 逻辑分析仪	(158)
本章小结	(167)

测验题七.....	(168)
* 第八章 自动测试技术	(169)
§ 8—1 概述.....	(169)
§ 8—2 智能仪器.....	(169)
§ 8—3 自动测试系统.....	(172)
§ 8—4 虚拟仪器.....	(174)
本章小结.....	(177)
测验题八.....	(177)
综合实训.....	(179)

第一章

电子测量与仪器的基本知识

§ 1—1 电子测量的基本知识

一、电子测量的意义及发展趋势

测量是人类认识自然和改造自然的重要手段，是为了确定被测对象的量值或与量值的依从关系而进行的实验过程。在测量的过程中，人们要借助专门的设备，依据一定的理论，通过实验的方法来确定被测量的量值。

电子测量是测量的一个重要分支。它是指以电子技术理论为依据，以电子测量仪器和设备为手段，对各种电量和非电量所进行的测量。如今，电子测量已成为一门发展迅速、应用广泛、精确度越来越高、对现代科学技术的发展起着巨大推动作用的独立学科。

电子测量在信息技术产业中的地位尤为显著。信息技术产业的研究对象及产品无一不与电子测量紧密联系，从元器件的生产到大型电子设备的组装调试，都离不开电子测量。如果没有统一和精确的电子测量，就无法对产品的技术指标进行鉴定，也就无法保证产品的质量。实践证明，电子测量的水平是衡量一个国家科学技术水平的重要标志之一。

电子技术的发展过程，也就是电子测量与其相关仪器发展的过程。它们相辅相成，互相促进，走在科学技术发展的前列。取样技术、扫频技术、锁相与频率合成技术、低噪声放大技术以及数字电路技术等，曾是促进电子测量与其相关仪器发展的重要技术基础，在电子测量的发展史上起过重要作用，而且至今仍是电子测量及其相关仪器发展的支柱。计算机技术与上述电子技术以及它们所依赖的理论相结合，将会使电子测量及其相关仪器以惊人的速度不断向前发展。在今后的几年时间内，电子测量及其相关仪器将向两个方面发展：一是向多功能、多参数、高速度、高精度、高可靠性、宽频带和智能化方向发展，以满足现代化大生产和现代科学技术等测试的需要；二是向实用化、小型化、数字化的通用或单一用途及廉价方向发展，以满足各方面的应用。

二、电子测量的内容

通常所说的电子测量是指对电子学领域内电参量的测量，其主要内容有：

1. 电能量的测量

包括电流、电压、功率、电场强度等的测量。

2. 电信号特性的测量

包括频率、周期、相位、噪声、调幅度、失真度、逻辑状态等的测量。

3. 电路元器件参数的测量

包括电阻、电容、电感、阻抗、Q值以及电子器件的参数（如晶体管电流放大倍数、正

向压降)等的测量。

4. 电路性能的测量

包括增益、衰减量、灵敏度、频率特性等的测量。

事实上,电子测量也包括通过传感器,将非电量(如温度、位移、压力、重量等)转化为电量后的测量,但这不属于本课程讨论的范围。

三、电子测量的特点

与其他测量相比,电子测量具有以下几个明显的特点。

1. 测量的频率范围宽

电子测量的频率范围极宽,除可测量直流电量外,还可测量交流电量,其频率可低至 10^{-4} Hz,高至 10^{12} Hz。这一特点使电子测量具有非常广泛的应用范围。利用现有的各种传感器,几乎可以测量全部电磁频谱的物理量。当然,应当注意,对于不同频段的测量,需要采用不同的测量仪器、测量原理和方法。

2. 测量的量值范围广

电子测量的另一个特点是被测对象的量值大小相差悬殊。例如,从宇宙飞船上发射的信号功率传到地面通常低于 10^{-13} W,而远程雷达向空中发射的信号功率却高达 10^8 W以上,两者之比为 $1:10^{21}$ 。一般情况下,一台测量仪器不可能有很宽的量程范围。因此,这就要求测量者对于不同的测量量值,选用不同量程的测量仪器,并采用不同的测量手段。

3. 测量的准确度高

电子测量的准确度比其他测量方法的准确度高得多。用电子测量方法对频率和时间进行测量,由于采用原子频标和原子秒作基准,因而可使测量的准确度高达 10^{-13} 量级,这是目前人类测量史上准确度到达的最高标准,也是其他测量方法所望尘莫及的。电子测量的这一特点,是它在现代科学技术中得到广泛应用的重要原因之一。

4. 测量的速度快

由于电子测量值是基于电子运动和电磁波传播的原理进行的,因此,它具有其他测量无法比拟的高速度。只有测量速度快,才能测出快速变化的物理量。像卫星、宇宙飞船等各种航天器的发射和运行,若没有快速、自动化的测量与控制,是无法实现的。测量速度快,是电子测量在现代科学技术中得到广泛应用的另一个重要原因。

5. 易于实现遥测

通过某种类型的传感器,采用有线的或无线的方式,可以实现对人体不便于接触或难以到达的区域(如深海、地下、高温炉、核反应堆内等)进行远距离的测量;即遥测。

6. 易于实现测量过程的自动化

由于电子测量的被测量值和它所需要的控制信号都是电信号,非常有利于直接或通过模数转换后与计算机相连接,从而实现测量过程中的自动化,如自动转换量程、自动校准量程、自动记录、自动进行数据处理等。

以上是电子测量的主要优点。当然,电子测量也存在易受干扰、误差处理较为复杂等缺点。

四、电子测量的方法

电子测量的方法正确与否,直接关系到测量工作能否正常进行及测量结果是否可靠。所以,测量方法是测量过程中至关重要的一步。电子测量有以下两种方法。

1. 直接测量法

它是指测量时能直接得到被测量值的测量方法。例如,要测量某只电阻器的阻值,用万用表的电阻挡对其测量,这种方法即为直接测量法。

2. 间接测量法

它是指通过测量与被测量有函数关系的其他物理量,进而取得被测量值的测量方法。例如,同样是要测量某只电阻器的阻值,若先通过测量电阻器两端的电压 U 和流过电阻器中的电流 I ,再利用 $R=U/I$ 的关系求得其电阻值,这种方法即为间接测量法。

直接测量法具有测量简单、快捷等优点。但间接测量法也有它的优点。在某些场合,间接测量法非用不可。例如,当要测量印制电路板上三极管的集电极电流时,若用直接测量法测量,则必须割断印制电路板上的铜片才能实现测量;但若采用间接测量法测量,即先测量集电极电阻的阻值和其上的电压,再根据 $I=U/R$ 关系式计算出其电流,便可达到既不损坏电路板,又能测出电值量的目的。此外,在有的场合,采用间接测量法还可获得减少测量误差、提高测量精度等好处。所以,在实际测量中,采用什么样的测量方法,要根据实际测量情况做出选择,切不可千篇一律。

思考与练习题

1. 电子测量与其他测量有什么不同?对电子学领域而言,电子测量的内容主要有哪些?
2. 与其他测量相比,电子测量有哪几个明显的特点?
3. 什么是直接测量法?什么是间接测量法?试分别举出1~2个例子予以说明。

§ 1—2 测量误差的基本概念

一、测量误差的定义

一个被测量的真实数值,称为该被测量的真值。被测量的真值是一个理想的概念。在实际测量过程中,由于人们对客观规律认识的局限性、测量手段的不完善或测量工具的不准确等因素,都会使测量结果与真值有所不同。测量结果与被测量真值之间的差异,称为测量误差。

不同的测量,对测量误差大小的要求,即对测量准确度高低的要求往往是不同的。但是,随着科技的发展和生产水平的提高,人们对减少误差提出了越来越高的要求。对很多的测量来讲,测量工作的价值完全取决于测量的准确度。当测量误差超过一定的限度时,测量工作和测量结果不但变得毫无意义,甚至会给工作带来很大的危害。因此,对测量误差的控制就成为衡量测量技术水平的标志之一。

二、测量误差的来源

1. 仪器误差

仪器(仪表)本身所具有的误差统称为仪器误差,这是测量误差的主要来源之一。测量仪器(仪表)内部电路的零点漂移、指针式仪表表头刻度的误差或非线性引起的误差,数字

式仪器（仪表）的量化误差，比较式仪器中标准量具本身的误差均属于此类误差。

2. 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电路两端的电压是不合理的，但若由于认识不清，而采用了这种测量方法，则由此引起的误差就属于方法误差。

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，则由此而引起的误差便称为理论误差。

4. 影响误差

由于环境因素与测量规定的条件〔包括对仪器（仪表）要求的条件〕不一致而造成的误差，称为影响误差。影响误差也是测量误差的主要来源之一。例如，当环境温度、预热时间或电源电压等因素与要求的条件不一致时，将会产生误差，这就是影响误差。

5. 人员误差

由于测量者的主观因素或操作技术等原因所引起的误差，称为人员误差。例如，对最后一位数的估读能力差，记错读数，或习惯斜视等引起的误差均属于此类误差。人员误差主要是由测量者的分辨能力差、视觉疲劳、反应速度慢、不良的固有习惯和缺乏责任心等因素引起。

三、测量误差的表示方法

测量误差的表示方法有两种，即绝对误差和相对误差。

1. 绝对误差

(1) 定义 测量值 x 与其真值 A_0 之差，称为绝对误差。绝对误差用 Δx 表示，则：

$$\Delta x = x - A_0 \quad (1-1)$$

当 $x > A_0$ 时，绝对误差是正值，反之为负值。可见， Δx 是具有大小、符号和量纲的数值。

前面提到，真值是一个理想的概念，一般是无法得到的。所以，实际中通常由精度高一级或高出数级的标准仪器或计量器具所测得的数值来代替真值，该数值称为实际值，用 A 表示，则这时的绝对误差可表示为：

$$\Delta x = x - A \quad (1-2)$$

这就是通常值用的绝对误差表达式。

(2) 修正值 由计量部门对仪器检查之后确定对测量结果应予以修正的数值，称为修正值，一般用 C 表示。它与绝对误差大小相等，符号相反，即：

$$C = -\Delta x = A - x \quad (1-3)$$

测量时，利用已知的修正值与测得的数值相加，就可算出被测量的实际值。

应当注意，仪器的修正值具有一定的时间性。使用的修正值应在仪器的检定有效期内，否则无法保证量值传递的准确性。其次，修正值不一定就是具体的数值，也可以是曲线、公式或表格。

对于自动化程度较高的测量仪器，可以将修正值编成程序储存在仪器中，测量时由仪器自动进行修正。

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, 其示值为 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 (1) 求被测电流的实际值:

$$A = C + x = -0.02 + 0.78 = 0.76 \text{ mA}$$

(2) 求绝对误差:

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

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

2. 相对误差

绝对误差虽然可以说明测量值偏离实际值的程度, 但不能说明测量的准确度, 不便于看出对整个测量结果的影响。例如, 对分别为 1 V 和 100 V 的两个电压进行测量, 若绝对误差都为 +0.1 V, 显然, 两次测量的准确程度不一样。为了表征这一特点, 可对测量误差采取另一种表示方法, 即相对误差。

测量的绝对误差与被测量的约定值之比称为相对误差, 用百分数表示。约定值可以是实际值, 也可以是指示值或仪表的满度量值。因此, 相对误差有以下几种表示方法。

(1) 实际相对误差 γ_A

绝对误差 Δx 与被测量的实际值 A 的百分比, 即:

$$\gamma_A = \frac{\Delta x}{A} \times 100\% \quad (1-4)$$

(2) 示值相对误差 γ_x

绝对误差 Δx 与仪器 (仪表) 的指示值 ΔX 的百分比, 即:

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{X} \times 100\% \quad (1-5)$$

对于一般的工程测量, 用 γ_x 来表示测量的准确度较为方便。

(3) 满度相对误差 γ_m

又称引用相对误差, 是绝对误差 Δx 与仪器 (仪表) 的满度值 X_m 的百分比, 即:

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{X_m} \times 100\% \quad (1-6)$$

仪器 (仪表) 使用最大满度相对误差来表示其准确度等级, 这时有:

$$\gamma_{mm} = \frac{\Delta x_{\max}}{X_m} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中, $\Delta x_{\max}$ 表示仪器 (仪表) 在该量程范围内出现的最大绝对误差, γ_{mm} 是仪器 (仪表) 在工作条件下不应超过的最大相对误差, 它反映了该仪器 (仪表) 的综合误差的大小。

电工仪表的准确度等级分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 共 7 个级别, 这些准确度等级就是按照最大满度相对误差 γ_{mm} 来划分的。例如, 准确度为 0.5 级的电表, 意味着它的 $|\gamma_{mm}| \leq 0.5\%$, 但超过 0.2%。仪表的其他准确度等级依此类推。仪表的准确度等级在其表面的刻度盘上有标志。若仪表有几个量程, 则所有量程的最大满度相对误差 γ_{mm} 是相同的, 显然, 各个量程的绝对误差是不一样的。

应当指出, 测量结果的准确度一般总是低于仪器 (仪表) 的准确度。其次, 在仪表的准确度等级确定后, 示值 x 越接近量程 X_m , 示值相对误差 γ_x 就越小。所以, 测量时应注意选择合适的量程, 使指针的偏转位置尽可能处于满度值的 $2/3$ 以上区域。

例 1—2 用 1.5 级 10 V 量程的电压表测量电压, 若只做一次测量便将该测量值作为测量结果, 试问这样可能产生的最大绝对误差为多少?

解 依题意知: $X_m=10\text{ V}$, 而准确度为 1.5 级的电压表, 其最大满度相对误差的绝对值 $|\gamma_{\text{max}}| \leq 1.5\%$

所可能出现的最大绝对误差 $\Delta x_{\text{max}} = \pm 1.5\% \times 10 = \pm 0.15\text{ V}$

四、测量误差的分类

根据性质与特点的不同, 测量误差可分为系统误差、随机误差和粗大误差三种。

1. 系统误差

系统误差是指在相同条件下重复测量同一个量值时, 其误差的数值保持恒定或按某种确定函数规律变化的误差。根据系统误差表现出来的特点, 系统误差还可以继续细分, 如图 1—1 所示。

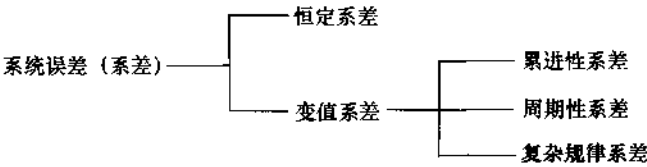


图 1—1 系统误差分类图

系统误差决定着测量的准确度。系统误差越小, 测量结果越准确。系统误差说明测量结果偏离真值的程度。

产生系统误差的原因很多, 主要有: 仪器误差、人员误差、影响误差、理论误差和方法误差等。

2. 随机误差

随机误差是指在相同条件下重复测量同一量值时, 其数值的大小和性质均以不可预测的方式变化的误差。随机误差又称偶然误差。

随机误差的特点是, 就一次测量而言, 其误差没有规律可循, 但在多次测量中误差绝对值的波动有一定界限, 正负误差出现的机会相同, 可以互相抵消。

随机误差决定着测量的精密度。随机误差越小, 测量结果的精密度越高。

产生随机误差的原因有: 仪器内部器件和零部件产生的噪声、温度及电源电压的不稳定、电磁干扰、测量人员感觉器官的无规律变化等。

3. 粗大误差

粗大误差是指那些在一定条件下测量结果明显偏离实际值所对应的误差。粗大误差又称粗差或差错。

产生粗大误差的原因有: 测量方法不当、测量者粗心、突发事故等。

综上所述, 对于含有粗大误差的测量值, 一经确认, 应当首先予以剔除; 对于随机误差, 可以采用统计学求平均值的方法来消除、减弱它的影响; 系统误差难以发现, 是测量中影响精确度的主要原因, 所以在测量前必须采取一定的技术措施来减小它的影响。

思考与练习题

1. 什么叫真值？为什么说真值一般是无法得到的？
2. 什么叫测量误差？测量误差的来源主要有哪些？
3. 绝对误差是如何定义的？是一个什么样的数值？它与修正值有什么关系？
4. 什么叫相对误差？为什么要引入相对误差？相对误差有几种表示方法？
5. 用量程为 10 mA 的电流表测量 8 mA 的电流，若读数为 8.15 mA，试求测量的绝对误差、示值相对误差和满度相对误差。
6. 用量程为 250 V 的 0.5 级电压表分别测量 220 V 和 110 V 电压，试问哪一次的测量准确度高，为什么？
7. 如何区别测量误差的三种类型？

§ 1—3 测量结果的数据处理

所谓测量结果的数据处理，就是从测量所得到的原始数据中求出被测量的最佳估计值，并计算其准确度。

一、有效数字

有效数字是指它的绝对误差不超过末位数字的单位的一半时，在它的左边数字列中从一个不为零的数字算起，直到末位为止的全部数字（末位可以是 0）。由于测量结果含有误差，在数据处理中测量值需经舍入处理。在数字的修约过程中要注意以下几点：

1. “0”的意义。前面的“0”不能算是有效数字，末位的“0”较为重要。例如，0.009 表示 1 位数，该数可能在 0.008 5~0.009 5 之间；而 0.009 0 则表示 2 位数，该数可能在 0.008 95~0.009 05 之间。

2. 有效数字的位数不能因选用的单位变化而变化。例如，1 000 mV 可写为 1.000 V，表示它有 4 位有效数字，如果缩写成 1 V 则变成 1 位有效数字，是错的。又例如，2.0 A 不能写成 2 000 mA，而应写成 2.0×10^3 mA。

3. 有效数字的位数与测量误差的关系。在写带有绝对误差的数字时，有效数字的末位应与绝对误差取齐。例如， 6.15 ± 0.01 、 15.230 ± 0.005 ，这样写是对的。在写带有单位的测量值时，有效数字也应与绝对误差取齐。例如， $8\,300\text{ kHz} \pm 1\text{ kHz}$ ，或 $8.300\text{ MHz} \pm 1\text{ kHz}$ 是对的，但不能写成 $8.3\text{ MHz} \pm 1\text{ kHz}$ 。

二、数字的舍入规则

在对测量数据进行各种运算之前，必须对测量值进行舍入处理。当保留 n 位有效数字时，舍入规则为：

(1) 若第 n 位数后面的数值大于第 n 位数的 0.5 单位时，则第 n 位后面的数全部舍去，第 n 位数字加 1。

(2) 若第 n 位数后面的数值小于第 n 位数字的 0.5 单位时，则第 n 位后面的数全部舍去，第 n 位数字不变。

(3) 当第 n 位数后面的数值恰为第 n 位数字的 0.5 单位时, 若第 n 位数为偶数, 则第 n 位数后面的数全部舍去, 第 n 位数字不变; 若第 n 位数为奇数, 则第 n 位数后面的数全部舍去, 第 n 位数字加 1。

上述的舍入规则可简单地概括为: 小于 5 舍, 大于 5 入, 等于 5 时看奇偶。

例 1—3 试对下列数据进行舍入处理, 要求保留到小数点后两位数: 828.358、828.354、828.745、828.735。

解 根据舍入规则, 上述数据处理后为:

$$828.358 \rightarrow 828.36 \quad 828.354 \rightarrow 828.35 \quad 828.745 \rightarrow 828.74$$

$$828.735 \rightarrow 828.74 \quad 12.3547 \rightarrow 12.35 \quad 12.3542 \rightarrow 12.35$$

注意: 如果所拟舍去的部分并非单独一位数时, 不得对该部分的数字进行连续的修约, 而应根据所拟舍去部分中的第一个数字的大小, 按上述舍入规则取舍。

数据经舍入处理后, 末位数是欠准数字, 末位数以前的数字是准确数字。由舍入规则可知, 舍入处理后的误差不大于末位单位的一半。这种规则称为 0.5 误差原则。

三、近似运算法则

1. 近似值相加减时, 要对小数位数较多的数进行取舍, 使其比小数位数最少的数多 1 位小数; 计算结果保留的小数位数要与原近似值中小数位数最少者相同。

例 1—4 按近似运算法则计算所给式子的值: $19.435 + 6.382 + 15.61 + 6.8$

解 根据数字的舍入规则和近似运算法则, 题目所给式子的值为:

$$19.435 + 6.382 + 15.61 + 6.8 = 19.44 + 6.38 + 15.61 + 6.8$$

$$= 48.23$$

$$\approx 48.2$$

2. 近似值相乘除时, 各因子保留的位数应比有效数字位数最少者的位数多 1 位, 所得的积 (或商) 的有效数字的位数与原近似值中有效数字位数最少者的位数相等, 面与小数点位置无关。

3. 近似值乘方或开方时, 原近似值有几位有效数字, 计算结果就保留几位有效数字。

4. 所取对数的位数与其真数的有效数字的位数相同。

思考与练习题

1. 试指出下列数字的有效数字位数, 并将结果填在后面的横线上: 8.88 _____, 9.000 _____, 0.050 _____, 1.5×10^3 _____, 2.0×10^3 _____。

2. 按近似运算法则计算下列式子的值:

$$(1) 7.348 + 15.123 + 9.00 = 3.5$$

$$(2) 16.1359 - 8.0 + 9.05 = 3.555$$

3. 试对下列数据作舍入处理, 要求保留到小数后两位数: 7.345、16.135、13.500、18.899、5.2349。

§ 1—4 电子测量仪器的基本知识

电子测量仪器是利用电子器件和线路技术组成的装置,用以测量各种电磁参量或产生供测量用的电信号。电子测量仪器配上适当的换能器,还可以测量其他的非电量。它是所有测量仪器中性能最好、用途最广、发展最迅速的一类。

电子测量仪器伴随着电子技术的发展而发展。20 世纪 20 年代发展起来的电子管仪器,由于采用了放大器,使灵敏度、内阻、工作频率均得到了提高,但体积较大,又较笨重。50 年代发展起来的晶体管仪器,体积、重量大为减小,但多为模拟式仪器,存在测量速度慢、测量误差大等缺点。到了 70 年代,用集成电路构成的数字式仪器,以数码管显示代替指针偏转,提高了测量速度,又便于读数。当前,电子测量仪器已经逐步趋向多功能、集成化、数字化,尤其在微处理器和计算机技术引入仪器之后,又进一步向自动化、系统化和智能化方面迅速发展。

在旧的仪器还没有完全被淘汰,而新的仪器又层出不穷的今天,作为电子类专业的学生学习电子测量仪器的有关知识,具有重大的现实意义。

一、电子测量仪器的分类

电子测量仪器品种繁多,常按以下三种方法分类。

1. 按功能分类

电子测量仪器原则上可分为专用仪器和通用仪器两大类。专用仪器是为特定目的而专门设计制造的仪器,它只适用于特定的测量对象和测试条件。通用仪器有较宽的使用范围,它的通用性强,灵活性好。专用仪器和通用仪器可按各自的特定功能进行再分类。图 1—2 所示是通用电子仪器按功能分类的情况。

2. 按工作频段分类

仪器的工作频段不同,使用的场合也不同。电子测量仪器通常可分为:超低频类、低频类、高频类和超高频类。每类中还可按功能再加以区分。

3. 按工作原理分类

电子测量仪器可分为模拟式仪器和数字式仪器。前者是指具有连续特性并与同类模拟量相比较的仪器,如指针式电压表、信号发生器等;后者是指通过模数转换把具有连续性的被测量变换成数字量,再以数字的形式显示其结果的仪器,数字式电压表、电子计数器等均属于这一类仪器。

二、电子测量仪器的误差

在电子测量中,由于电子测量仪器本身性能不完善所引起的误差,称为电子测量仪器的误差,它是电子测量仪器一项重要的性能指标,主要包括以下几类:

1. 允许误差

技术标准、检定规程等规定的电子测量仪器的误差极限称为允许误差。技术标准通常是指电子测量仪器产品说明书中的技术指标。允许误差可用绝对误差或相对误差表示。

2. 基本误差