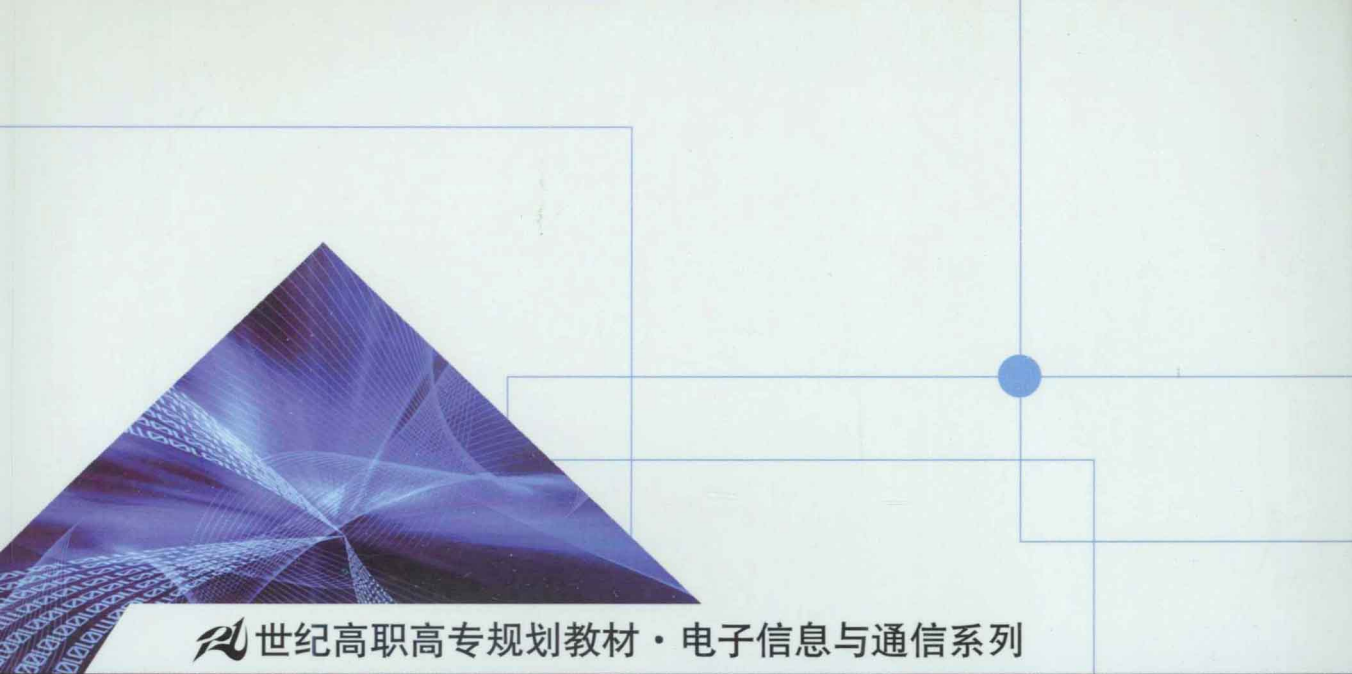




世纪高职高专规划教材·电子信息与通信系列

电子测量实用技术

Dianzi Celiang Shiyong Jishu

主编◎臧雪岩 副主编◎刘建军 孔繁瑞



 中国人民大学出版社

21 世纪高职高专规划教材·电子信息与通信系列

电子测量实用技术

主 编 臧雪岩

副主编 刘建军 孔繁瑞

中国人民大学出版社

• 北京 •

图书在版编目 (CIP) 数据

电子测量实用技术/臧雪岩主编
北京：中国人民大学出版社，2010
21 世纪高职高专规划教材·电子信息与通信系列
ISBN 978-7-300-12899-3

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 205009 号

21 世纪高职高专规划教材·电子信息与通信系列

电子测量实用技术

主 编 臧雪岩
副主编 刘建军 孔繁瑞

出版发行	中国人民大学出版社		
社 址	北京中关村大街 31 号	邮政编码	100080
电 话	010 - 62511242 (总编室)	010 - 62511398 (质管部)	
	010 - 82501766 (邮购部)	010 - 62514148 (门市部)	
	010 - 62515195 (发行公司)	010 - 62515275 (盗版举报)	
网 址	http://www.crup.com.cn http://www.ttrnet.com (人大教研网)		
经 销	新华书店		
印 刷	北京东方圣雅印刷有限公司		
规 格	185mm×260mm 16 开本	版 次	2010 年 12 月第 1 版
印 张	18.75	印 次	2010 年 12 月第 1 次印刷
字 数	344 000	定 价	29.00 元

电子测量是现代科学获取信息的重要手段之一,是电子信息和应用电子技术类专业必修的核心课程,也是培养学生动手实践能力的重要课程。电子测量不仅要求学生掌握误差理论,电子测量原理、测量方法,更重要的是掌握测量仪器的使用、维护以及现代电子测量技术的应用等。

本书根据职业教育发展要求,在内容和结构上充分体现了高职高专的教育特色,本着立足基础、侧重技能的原则,将理论和实践融为一体。

本书特点如下:

1. 本书按照“模块化”的教学方法编写,每个模块为一个单元,主题鲜明、重点突出、便于教学。
2. 每个模块(模块一和模块九除外)基本都包含如下内容:模块提示、模块任务、任务实施、模块总结与归纳、巩固一下,个别模块有知识拓展。
3. 本书对测量原理的讲解注重基础但力求透彻,便于学生课后自学。对测量方法和仪器的讲解突出操作与应用。
4. 自动测试技术仅介绍了虚拟仪器,并结合编程实例让学生有一个大致的了解并引发学生浓厚的兴趣。

本书由辽宁省交通高等专科学校臧雪岩担任主编,辽宁铁道职业技术学院刘建军和辽宁省交通高等专科学校孔繁瑞担任副主编,辽宁省交通高等专科学校郭庆、苏琼、孙文毅参与编写。具体编写分工如下:模块1和模块6由刘建军编写,模块2~模块5、模块7由臧雪岩编写,模块8由孔繁瑞编写,模块9和模块10由郭庆编写,其中模块2~模块4的“任务实施”由苏琼编写,模块5~模块8的“任务实施”由孙文毅编写。

编者

2010年10月

教师信息反馈表

为了更好地为您服务,提高教学质量,中国人民大学出版社愿意为您提供全面的教学支持,期望与您建立更广泛的合作关系。请您填好下表后以电子邮件或信件的形式反馈给我们。

您使用过或正在使用的我社教材名称		版次	
您希望获得哪些相关教学资料			
您对本书的建议(可附页)			
您的姓名			
您所在的学校、院系			
您所讲授课程名称			
学生人数			
您的联系地址			
邮政编码		联系电话	
电子邮件(必填)			
您是否为人大社教研网会员	☐ 是 会员卡号: _____ ☐ 不是,现在申请		
您在相关专业是否有主编或参编教材意向	☐ 是 ☐ 否 ☐ 不一定		
您所希望参编或主编的教材的基本情况(包括内容、框架结构、特色等,可附页)			

我们的联系方式:北京市海淀区中关村大街 31 号

中国人民大学出版社教育分社

邮政编码:100080

电话:010-62515913

网址: <http://www.crup.com.cn/jiaoyu/>

E-mail: jyfs_2007@126.com

模块 1	电子测量的基本知识	1
1.1	测量及测量的意义	1
1.2	电子测量概述	2
1.3	电子测量仪器概述	5
模块 2	测量误差理论与测量数据处理	7
2.1	测量误差理论	7
2.2	测量数据处理	13
模块 3	电路元器件参数的测量	22
3.1	电阻器和电位器的测量	22
3.2	电感器的测量	31
3.3	电容器的测量	37
3.4	RLC 参数的综合测量仪器	42
3.5	晶体二极管的测量	49
3.6	晶体三极管的测量	52
3.7	模拟万用表检测特殊电子元器件	55
3.8	晶体管特性图示仪	59
模块 4	电压的测量	81
4.1	电压测量概述	81
4.2	直流电压的测量	83

4.3	交流电压的测量	86
4.4	电压测量的数字化方法	100
模块 5	测量用信号发生器	118
5.1	信号发生器概述	119
5.2	低频信号发生器	123
5.3	函数信号发生器	129
模块 6	时间与频率测量	152
6.1	概述	152
6.2	通用电子计数器	157
6.3	等精度时间/频率测量	170
6.4	TFC1000L 型多功能等精度频率计	171
模块 7	波形显示与测量	179
7.1	示波器概述	179
7.2	示波显示原理	181
7.3	通用示波器	188
7.4	YB4360G 双时基模拟示波器	205
模块 8	频域测量技术	227
8.1	时域测量和频域测量的比较	227
8.2	线性系统频率特性测量	228
8.3	频谱分析测量	240
模块 9	数据域分析测试技术	255
9.1	数据域分析测试概述	255
9.2	逻辑笔和逻辑夹	257
9.3	逻辑分析仪	260

模块 10	虚拟仪器技术与编程实例	276
10.1	虚拟仪器的基本知识	276
10.2	图形化编程语言 LabVIEW	277
参考文献		291

模块提示

测量技术应用广泛，现代化的工业生产、国防建设以及日常生活等都离不开测量。电子测量是测量的一个分支，是信息获取、处理、显示的重要手段，它有着其他测量手段无法比拟的优越性。对电子测量技术和方法的掌握程度，反映了一个电子工程师的综合素质。

通过本模块的学习，学生可以了解测量的概念、意义，电子测量的内容、特点和分类，电子测量仪器的发展过程，从而对本课程学习的重要性有一个深刻的认识。

1.1 测量及测量的意义

1.1.1 测量的概念

测量一般是指为确定被测对象的量值而进行的实验过程。测量的实质是将被测量与标准量在测量设备上进行比较，得出被测量量值的过程。在这个过程中，人们借助专门的设备（如电压表、示波器等），将被测量与标准量进行比较，从而确定被测量与标准量之间的数值关系，最后用数值和单位共同表示测量结果。

1.1.2 计量的概念

计量是为了保证量值的统一和准确一致而进行的一种测量，它具有统一性、准确性和法制性等特征。

随着生产的发展,商品的交换和国内外的交流日益频繁,客观要求同一量在不同的地方、用不同的测量手段测量时,所得的结果应该一致。因而,出现了大家公认的统一单位来体现这些单位的基准。用这些基准来校准的测量器具,并用法律的形式固定下来,从而形成了与测量既有联系又有区别的新概念,这就是计量。

计量是测量的一种特殊形式,是测量工作发展到一定阶段的客观需要,国家以《计量法》的形式规范测量过程。计量就是具有法律效力的基准量的测量,而测量是计量联系生产实际的重要途径,没有计量,测量所得到的数据就会失去准确性、可靠性,因此,测量和计量是相辅相成的。

1.1.3 电子测量

电子测量是测量学的一个重要分支,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,对电量和非电量进行的测量。它是测量技术和电子技术相结合的产物。简言之,电子测量是指利用电子技术和电子设备对电量或非电量进行测量的过程。

1.1.4 测量的意义

著名科学家门捷列夫曾说:“没有测量,就没有科学。”测量是一把打开自然科学宝库的钥匙,在科学技术中,测量结果不仅是验证理论的客观标准,而且是发现新问题、提出新理论的线索和依据。

在科学技术高速发展的今天,尖端科学和工农业生产都离不开精密的测量。火箭的发射、宇宙飞船的航行,都是运用电子测量来实现的。一个射程 800km 的洲际导弹,如果航向误差 0.03° ,那么将造成导弹偏离计算的目标 10km 左右。如果制作炸药的甲苯在生产过程中,测量监控的温度有 1°C 的误差,就可能造成爆炸等严重的事故。

由于电子测量具有其他测量方法无法比拟的测量范围、测量速度、测量准确度,而且测量过程易于实现自动化、智能化,因此它广泛应用于科学技术的各个领域,大到天文观测、宇宙航天,小到物质结构、基本粒子;从复杂深奥的生命、细胞、遗传问题到日常的生产、检验、检测等都要用到电子测量技术、电子测量仪器和设备。测量水平和测量手段的现代化水平被公认是评价一个国家科学技术、国防技术和工农业生产现代化的重要标志。科学技术促进测量技术的现代化,而测量的现代化又促进科学技术的发展。

1.2 电子测量概述

1.2.1 电子测量的内容

按具体的测量对象来分,电子测量的内容包括:

(1) 电能量的测量,如测量电流、电压、功率等。

(2) 电子元器件和电路参数的测量,如测量电阻、电容、电感、品质因数以及电子元器件的参数等。

(3) 电信号特征的测量,如测量信号的波形、频率、周期、相位、失真度、信噪比以及数字信号的逻辑状态等。

(4) 电子设备性能的测量,如测量滤波器的截止频率和衰减特性,放大电路的放大倍数、灵敏度、噪声指数等。

(5) 特性曲线的测量,如测量放大器幅频特性曲线、相频特性曲线,晶体管特性曲线等。

此外,在科学研究和生产实践中,常常需要对各种非电量进行测量。通过传感器将各种非电量(如位移、速度、温度、压力等)转换成电量,再利用电子测量设备进行测量、分析、记录并对生产过程进行控制,是自动控制系统中一种典型的方法。

1.2.2 电子测量的分类

实际测量过程中,必须根据具体的测量对象、环境、条件和要求,选择正确的测量方法、合适的测量仪器,进行正确的测量操作,才能得到比较理想的测量结果。

1. 按测量手段分类

(1) 直接测量。

直接测量是指直接从电子仪器或仪表上读出测量结果,测量过程简单、迅速,是工程测量中广泛应用的测量方法。

(2) 间接测量。

间接测量是指先对几个与被测量有确定函数关系的电参数进行测量,再将测量结果通过计算求出被测量。间接测量多用于一些不便于直接测量的情况或间接测量结果比直接测量更准确的实验中。

例如要在不断开电路的情况下,测定图1—1中流过负载的电流。负载电阻 R_L 已知,我们只要用电压表测得 R_L 两端的电压 U ,即可由公式 $I=U/R_L$ 计算出负载中的电流。

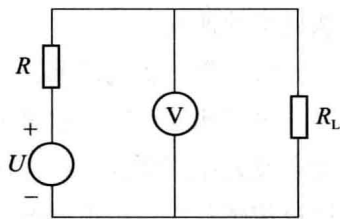


图1—1 间接测量法测电流

(3) 组合测量。

组合测量是指当被测量与多个未知量有关,测量一次无法得出确切的结果,需改变测量条件进行多次测量,根据被测量与未知量的函数关系列出方程组并求解,从而得出未知量的测量方法。组合测量费时、复杂,但容易达到较高的准确度,适用于科

学实验或一些特殊场合。

2. 按被测量性质分类

(1) 时域测量。

时域测量是指测量被测信号幅度与时间的函数关系。

(2) 频域测量。

频域测量是指测量被测信号幅度与频率的函数关系。

(3) 调制域测量。

调制域测量是指测量被测信号频率随时间变化而变化的特性。

(4) 数据域测量。

数据域测量是指测量数字量或电路的逻辑状态随时间变化而变化的特性。

(5) 随机测量。

随机测量是指对各类随机的噪声信号、干扰信号的测量。

1.2.3 电子测量的特点

与其他测量技术相比，电子测量具有以下几个明显的特点：

(1) 测量范围宽。

电子测量频率覆盖范围为 $10^{-6} \sim 10^{12}$ Hz。

(2) 测量准确度与灵敏度高。

电子测量误差为 $10^{-14} \sim 10^{-13}$ ，是目前在测量准确度方面达到的最高标准。

(3) 测量速度快。

电子测量是通过电子运动和电磁波的传播来进行的，因此它具有其他测量方法无法比拟的速度。

(4) 易于实现遥测。

电子测量可以通过各种类型的传感器实现遥控、遥测。例如对于远距离、环境恶劣以及人体不便接触或无法达到的区域（如人造卫星、深海、矿井、核反应堆内），可通过传感器或通过电磁波、光辐射方式进行测量。

(5) 易于实现测量过程的自动化和测量仪器的智能化。

电子测量的结果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/数转换与计算机相连，实现自动记录、数据运算和分析处理，组成自动化信息检测和处理系统。

1.3 电子测量仪器概述

1.3.1 电子测量仪器的分类

利用电子技术对各种被测量进行测量的设备,统称为电子测量仪器。电子测量仪器种类繁多,其分类方法也不一样。按显示方式分,有模拟和数字两大类。按功能一般可分为以下几类:

(1) 电压测量仪器:用于测量信号电压的仪器,包括各种模拟电压表、毫伏表、数字电压表等。

(2) 频率、时间、相位测量仪器:用于测量信号频率、周期、相位的仪器,包括电子计数式频率计、石英钟、数字相位计、波长计等。

(3) 电路参数测量仪器:用于测量电阻、电感、电容等电路参数的仪器,包括各类电桥、Q表、RLC测试仪、晶体管或集成电路参数测试仪、图示仪等。

(4) 测试用信号源:用于提供符合一定技术要求的电信号的仪器,包括各类低频和高频信号发生器、脉冲信号发生器、函数发生器、扫频和噪声信号发生器。

(5) 信号分析仪器:用于测量信号非线性失真度、信号频谱特性等的仪器,包括失真度仪、谐波分析仪、频谱分析仪等。

(6) 波形测量仪器:用于显示信号波形的仪器,主要指各类示波器,包括通用示波器、多踪示波器、采样示波器等。

(7) 模拟电路特性测试仪器:用于分析模拟电路幅频特性、噪声特性等的仪器,包括扫频仪、噪声系数测试仪等。

(8) 数字电路特性测试仪器:用于分析数字电路逻辑等特性的仪器,主要指逻辑分析仪。这类仪器内部多带有微处理器或通过接口总线与外部计算机相连,是数据域测量中不可缺少的设备。

电子测量仪器品种繁多、用途各异,在工作中应合理地选用。

1.3.2 电子测量仪器的发展

电子测量仪器的发展大致经历了以下四个阶段:

(1) 模拟化仪器阶段。代表仪器:指针式万用表。

(2) 数字化仪器阶段。代表仪器:数字万用表、数字频率计。

(3) 智能仪器阶段。在数字化基础上发展起来的具有一定的人工智能的测量仪器,它具有键盘操作、数字显示、数据存储和简单运算等功能,可实现自动测量。代表仪器:无线通信综合测试仪、智能化RLC测量仪、智能化电子计数器等。

(4) 虚拟仪器阶段。虚拟仪器阶段是智能仪器发展的新阶段,在虚拟测试系统中,数据分析和显示完全用计算机的软件来完成。

模块总结与归纳

测量是为确定被测量的量值而进行的实验过程,测量标准必须统一,以确保测量结果的准确性和一致性。

电子测量是测量学的一个重要分支,是指利用电子技术和电子设备对电量或非电量进行测量的过程。

电子测量具有测量范围宽、测量准确度与灵敏度高、测量速度快、易于实现遥测、易于实现测量过程的自动化和测量仪器的智能化等特点,因而被广泛应用。

巩固一下

1. 解释名词:测量、电子测量。
2. 叙述电子测量的主要内容与特点。
3. 电子测量仪器大致可以分为哪几类?
4. 电子测量仪器的发展经历了哪几个阶段?

测量误差理论与测量数据处理

模块提示

测量的目的就是要获得被测量的真值。真值是利用理想的量具或测量仪器得到的无误差的测量结果，它是一个理想的概念，实际的测量中，误差总是不可避免的。学习误差理论就是为了掌握测量中减小误差、提高精度的方法，培养科学、严谨的工作态度和工作作风。

通过本模块的学习，学生可以掌握误差的分析和处理办法。

模块任务

测量数据处理。

2.1 测量误差理论

2.1.1 常用测量术语

1. 真值

一个量值在一定条件下所呈现的客观大小或真实数值称作真值。要想得到真值，必须利用理想的量具或测量仪器进行无误差测量。在实际测量中，真值是无法测得的。

2. 标称值

测量仪器上标定的数值称为标称值。由于制造和测量精度不够以及环境等因素的影响，标称值并不一定等于它的真值。

3. 示值

由测量仪器读数装置所显示出的被测量的量值称为测量仪器的示值，也称测量仪器的测量值，它包括数值和单位两部分。

4. 测量误差

测量仪器的测量值与被测量真值之间的差异，称为测量误差。测量误差的存在具有必然性和普遍性，人们只能根据需要，将其限制在一定范围内而不可能完全加以消除。

5. 测量准确度（正确度）

测量准确度是指测量结果与真值之间的符合程度，也可用正确度来描述，进行多次测量时，准确度是指有效的多次测量结果的数学平均值与真值的接近程度。两者相差越小，准确度越高。我国电工仪表的分级，就是按准确度来确定的。

6. 测量精密度

测量精密度是指对同一被测量进行重复测量，所得结果彼此间的一致程度。

测量的准确度、精密度的含义如图 2—1 所示。



图 2—1 测量结果正确性表示

7. 测量精确度

测量精确度是测量精密度和测量准确度的综合反映，表明测量结果与真值的一致程度。测量精确度高，说明测量精密度和测量准确度都高。

8. 等精度测量和非等精度测量

等精度测量是指在保持测量条件不变的情况下进行的多次测量。非等精度测量是指在测量条件不能维持不变的情况下进行的多次测量。

2.1.2 误差的定义与表示方法

1. 绝对误差与修正值

(1) 绝对误差及其表示方法。

测量结果与被测量真值之差称为绝对误差。

设测量值为 X ，被测量真值为 A_0 ，则绝对误差 ΔX 可表示为：

$$\Delta X = X - A_0 \quad (2-1)$$

用 A 表示精度高一等级的标准仪器的示值或多次测量的最佳估值，这时绝对误差可表示为：

$$\Delta X = X - A \quad (2-2)$$

(2) 修正值及其表示方法。

修正值通常由上一级标准检验部门或由生产厂家给出的,其值与绝对误差大小相等、符号相反,一般用 C 表示:

$$C = -\Delta X = A - X \quad (2-3)$$

在实际测量时,对测量结果加以修正可计算被测量的实际值:

$$A = C + X \quad (2-4)$$

例如,某直流电压表技术说明书中给出的修正值为 $+0.2\text{V}$,当测量某一电压时,读数为 4.9V ,则被测电压的实际值为:

$$U = 4.9\text{V} + 0.2\text{V} = 5.1\text{V}$$

2. 相对误差

绝对误差虽然可以反映测量误差的大小,但还不能作为比较测量结果准确度高低的依据。例如,有两个电压测量的过程,一个测量的电压值是 50V ,绝对误差为 0.5V ;另一个测量的电压值是 5V ,绝对误差为 0.5V ,尽管两者的绝对误差相等,但前者的准确度应高于后者,因此,测量的准确程度不仅与测量误差的大小有关,还与被测量的大小有关,在相同的绝对误差情况下,被测量的量值越大,测量的准确度越高。为了确切地反映测量的准确程度,测量上引出相对误差的概念。

实际应用中,相对误差有以下几种:

(1) 实际相对误差。

实际相对误差是用绝对误差 ΔX 与被测量的实际值 A 的百分比来表示的,即:

$$\gamma_A = \frac{\Delta X}{A} \times 100\% \quad (2-5)$$

(2) 标称相对误差。

标称相对误差也称示值相对误差,它是用绝对误差 ΔX 与仪器的测量值 X 的百分比表示的,即:

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X} \times 100\% \quad (2-6)$$

(3) 满度相对误差。

相对误差解决了同类与不同类测量仪器的比较问题,对于相同的绝对误差,相对误差随被测量 X 的增加而减小,可见在整个测量范围内,相对误差不是一个定值。因此,相对误差不能用于评价测量仪器的精确度,也不使用来划分测量仪器的精度等级,为此提出满度相对误差的概念。

满度相对误差也叫引用误差,定义为绝对误差与测量仪器满度值(量程上限值)