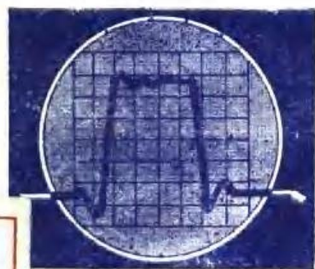


江苏省中等职业教育试用教材

电子专业

电子测量与仪器



3-43

江苏教育出版社

电子测量与仪器

彭敷方 编著

江苏教育出版社出版

江苏省新华书店发行 苏州印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 7.875 字数 164,000

1986 年 7 月第 1 版 1986 年 7 月第 1 次印刷

印数 1—2,380 册

书号: 7351·312 定价· 1.15 元

责任编辑 朱宝栋

前 言

职业技术教育是开发智力，培养人才的重要途径，是国民经济持续发展的可靠保证，它同现代化建设有着密切的关系。要进一步提高职业技术教育的质量，必须加强专业课教材的建设。为此，根据一九八三年十二月江苏省教育厅在苏州召开的全省农、职业中学校长座谈会上提出的关于编写教材的指示精神，编写了本书。编写工作是在江苏省教育厅、苏州市教育局直接领导下进行的。

本书是中等职业学校电子专业的教材。由苏州市电子职业中学彭敷方编写。主要内容包括电子测量中电压、电流、频率、阻抗、幅频特性等基本电量和参数的测量原理和方法，以及万用表、电子电压表、示波器、信号发生器、扫频仪等常用测量仪器的原理和使用方法。内容简明、联系实际。

教授本书需144课时（包括实验）。实际授课时数和内容，可依实际情况增减。本书除可作为职业中学教材外，还可供成人职业培训参考。

本书初稿由南京能源学院曲珍老师审阅，并得到编者所在单位及有关单位不少同志的热情支持，在此一并表示谢忱。

由于编者经验不足，水平有限，书中难免存在缺点和错误，希望同志们在试用中提出宝贵意见，以便修改。

编 者

1986年4月

目 录

第一章 电子测量基本知识	1
第一节 测量基础知识.....	1
第二节 电子测量的内容和特点.....	3
第三节 测量误差概述.....	7
第四节 减小测量误差的方法.....	17
第五节 测量数据的图解处理.....	21
复习题.....	23
第二章 电流和电压的测量	26
第一节 直流指示仪表.....	26
第二节 直流电流和直流电压的测量.....	32
第三节 二极管检波器.....	36
第四节 交流电压的测量及交流电子电压表.....	44
第五节 万用表.....	52
第六节 数字万用表.....	69
复习题.....	82
实验一 直流电压表的负载效应.....	83
实验二 欧姆定律的验证.....	85
第三章 信号源和电源	88
第一节 概述.....	88
第二节 低频信号发生器.....	91

第三节	高频信号发生器	95
第四节	脉冲信号发生器	101
第五节	直流稳压电源	107
复习题		110
实验三	XFG-7 型高频信号发生器衰减器刻度的 校正	111
第四章	示波器	113
第一节	概述	113
第二节	示波管	113
第三节	示波器的工作原理	119
第四节	示波器的选择和使用	128
第五节	应用示波器的测量	134
复习题		139
实验四	示波器的使用	140
第五章	集中参数阻抗测量	144
第一节	概述	144
第二节	电表法测量阻抗	145
第三节	电桥法测量阻抗	149
第四节	谐振法测量阻抗	159
第五节	Q表的原理及使用	162
复习题		167
实验五	直流电阻电桥（惠斯顿电桥）	167
第六章	频率和时间的测量	170

第一节	概述	170
第二节	频率测量的谐振法和比较法	170
第三节	计数法测量频率	172
复习题		181
实验六	数字频率计的使用	181
第七章	波形的分析	182
第一节	概述	182
第二节	非线性失真的测量方法与仪器	182
第三节	调制度的测量	187
第四节	信号的频谱分析	193
复习题		197
第八章	网络频率特性测试	198
第一节	概述	198
第二节	扫频法测量幅频特性	200
第三节	BT-3 型频率特性测试仪及其应用	204
复习题		211
实验七	电视机中放电路频率特性曲线的调试	211
实验八	电视机高频调谐器特性曲线的调试	211
第九章	半导体器件的测试	212
第一节	概述	212
第二节	JT-1 型晶体管特性图示仪	213
第三节	晶体二极管的测试	221
第四节	晶体三极管的测试	224

复习题.....	231
第十章 现代测量技术简介.....	232
第一节 微处理器和微型计算机在电子测量技术中的 应用.....	232
第二节 非电量电测技术简介 ——传感器的基础知识.....	237
附录 分贝转换表.....	241

第一章 电子测量基本知识

第一节 测量基础知识

测量是人类对客观事物取得数量观念的认识过程，是人类认识自然和改造自然的一种不可缺少的手段。在科学技术的发展过程中，测量结果不仅是验证科学理论正确与否的客观标准，而且是发现新问题、提出新理论的依据。离开了测量，科学的发展和社会的进步都是不可想象的。

一、测量概念

测量是人们借助于专门的技术工具确定被测对象量值大小的实验过程。在测量过程中，人们将被测对象（常称被测量）与一个同性质的充当测量单位的标准已知量相比较，确定被测量与标准量的比值，而得到测量结果。因此，测量结果应包括上述的比值和单位两部分。例如用米尺测量某物体的长度，就是将物体的长度与标准长度（米尺）进行比较，如果前者为后者的2倍，就可以得出该物体的长度是2米。由此可见，测量过程实质上是一个比较过程。

二、测量单位和单位制

为了在测量过程中进行比较，人们必须预先制定出各种物理量的单位已知量，作为比较的依据。为此，人们对各种物理量进行了严格的科学的定义，并制定了相应的单位。我国和世界上许多国家及国际组织都采用了经1960年第11届国

际计量大会通过并经1971年第14届国际计量大会修订的国际单位制(SI制)。SI制中包括基本单位(又称定义单位)和导出单位两大类。

单位在测量技术中占有重要的地位,是表示测量结果的重要组成部分,是物理量进行比较的依据和基础。例如我们说测出某距离为100米,这时单位“米”不仅表示了物理量的种类为长度,还表示该长度在以“米”为单位时的测量值为100。如果没有单位“米”,测量值100就会变得毫无意义。

三、测量量具和测量仪器

人们为了有效地进行测量,制定了各种测量单位。但在各种具体的测量过程中,还必须使用各种能体现单位已知量,即具有标准化计量性能的技术工具——各种测量器具。

测量器具分量具和测量仪器两种。量具是能复现各种指定量值的物理量的实物。常见的量具有米尺、砝码、标准电池、标准电阻等。只有少量量具能够单独直接进行测量,如米尺、量杯等。大多数量具需要配以相应的比较仪才能进行测量。例如用砝码称重时,需借助于天平;用标准电阻测量未知电阻时,需借助于电桥。这里的天平和电桥都属于比较仪。

利用比较仪进行的测量操作大多比较麻烦,规定的使用条件比较苛刻,测量的范围也不大。同时,某些物理量,如速度、加速度、温度等无法制成实物作为量具参与比较。因此,在实际测量中,大量使用各种直读式仪器(表)。直读式仪器能产生便于观测者直接感受的输出信号(如指针的位置、显示的数字等),其读数装置(如刻度)事先经过标准量具的校准和检定,因此可以直接进行测量。在电子测量中广泛使用直读

式仪器。直读式仪器测量速度快，使用简便，但精度不如量具高。比较仪和直读式仪器都属于测量仪器。

四、计量在测量中的作用

人类的测量工作是大量而繁杂的。对测量工作的要求除了需要一定的精确度外，测量的统一性也是很重要的，否则测量工作就会变得无效。测量的精确性和统一性是依靠计量工作来保证的。

计量工作的主要任务是：

(一)研究和制定各种物理量的定义、量值单位以及各单位之间的相互转换关系；

(二)研究各种量值的复制和转移,通过各级基准和标准,把物理量单位准确地传递到日常工作的千万只量具和测量仪器上,保证测量的精确和统一。

世界各国对计量工作都给予高度的重视，一般都建有国家级计量部门(如我国为国家计量总局)，并经常召开国际计量大会，进行国际间的协调磋商。国家计量部门所颁布的各种有关计量工作的政策、措施和规程都具有法律的效力，具有充分的权威性。

各种量具和测量仪器的计量标准特性直接影响测量结果和测量误差。各种量具和测量仪器除了在生产制造时必须按照国家法定的规程进行计量和标准定度外，在使用过程中也必须按照国家有关的法定规程进行定期检定(校准)。只有符合国家计量标准的测量器具,才能进行合法而有效的测量。

第二节 电子测量的内容和特点

一、电子测量在近代科学技术中的地位和作用

电子测量，广义来说，是泛指以电子技术为手段进行的测量。随着电子技术的发展，电子测量已经成为一门发展十分迅速、应用极其广泛、精确度越来越高的测量学科。由于电子测量的一系列优点，它已经不仅应用于电子技术科学本身，现代科学技术和现代化大生产中那些要求精密测量的内容，通常也都是运用电子测量的方法来实现的。许多用一般测量方法无法测量的物理量都设法通过一定的传感器转换成电信号，然后利用一整套比较成熟的电子学方法来进行测量。从某种意义上说，近代科学技术的水平是由电子测量科学的水平来保证和体现的。

二、电子测量的特点

电子测量的应用如此广泛，是因为与其他测量技术相比，电子测量具有以下几个明显的特点：

(一)测量灵敏度高 由于应用了电子技术，能把微弱的信号稳定地、高增益地放大，因此能够测量出用其他测量方法无法测量的微弱信号，如生物电。

(二)测量精确度高 例如用电子测量方法对频率和时间进行测量，其精确度已达 10^{-13} 量级，这是目前人类在测量精确度方面达到的最高标准。

(三)测量频率范围宽 其低端除可测量直流外，还可测量低至 10^{-4}Hz 的频率，而高端已达可见光范围（约 $88 \times 10^{12}\text{Hz}$ ），几乎包括了整个电磁频谱。

(四)测量量程范围广 例如游标卡尺的量程为四个数量级，欧姆表可以测出几欧到几十兆欧的电阻值，其量程达六、七个数量级；一台新型的数字电压表其量程达十一个数量级；电子计数式频率计的量程达十七个数量级。量程广是电子测

量仪器的突出优点。

(五)测量速度快 由于电子测量实际上是通过电子运动和电磁波的传播来进行工作的,因此具有其他测量方法无法相比的高速度。而这种高速度正是某些科学技术领域所必需的,例如对洲际导弹运行参数的测量。

(六)易于实现遥测和测量过程自动化及智能化 对于人体不便接触或无法达到的区域,可以利用传感器或通过光、电磁波、辐射等方式进行遥测,并通过调幅、调频等方法传输信息。电子测量与电子计算机相结合,使电子测量向自动化、智能化的高水平发展。

此外,电子测量还能利用超声波、放射线等的穿透性以及电磁感应、磁化等电磁特性对物体进行无损测量等等。正是由于电子测量的这一系列特点,使它广泛应用于自然科学的一切领域。电子测量技术的发展为现代科学的研究、实验、分析和检验提供了条件,而现代科学的发展也对电子测量技术不断提出新课题,提供新理论、新技术、新材料,促进电子测量技术向更高水平发展。

三、电子测量的内容

作为电子技术科学的一个重要部分,电子测量以电子技术理论为依据、以电子测量仪器和设备为手段,对电子技术中各种参量进行测量。其内容主要有以下几个方面:

(一)电能量的测量 包括各种频率和波形的电压、电流和功率的测量。

(二)电信号特性的测量 包括波形、频率、周期、相位、失真度、调制度等的测量。

(三)电路性能的测量 包括放大量(增益)、衰减量、灵敏

度、频率特性等的测量。

(四)电路参数的测量 包括阻抗、品质因数、电子器件参数等的测量。

(五)特性曲线的显示 包括幅频特性及器件特性等的显示。

以上五个方面的内容属于电量的测量。除此之外，还有非电量的电测法，这时需要使用各种传感器(又称换能器)把非电量转换成电量后再进行测量。

在上述电量的测量中，具有重要意义的是电压、频率、阻抗等基本电量的测量，它们在许多其他电量测量的基础，需要重点学习和掌握。

四、电子测量技术课程的意义及内容

由上述可知，电子测量是电子技术科学的重要内容，又是验证电子技术科学基本原理和理论的重要手段，是学习电子技术科学的重要而必不可少的方法，也是今后从事电子技术实践必须具备的重要技能。作为电子专业的学生，对此必须有充分的认识。

根据电子类职业学校的教学要求，本课程的主要任务是学习有关电子测量技术的基本概念，基本测量原理和方法，以及常用电子测量仪器的使用方法等。

本课程的重点是电压、频率、阻抗等基本电量的测量技术以及万用表、电子电压表、信号源、示波器等常用电子测量仪器(表)的基本原理及使用方法。在掌握几种基本电量参数测量技术的前提下，注意灵活应用，进一步了解和掌握电子电路的放大量、幅频特性、失真度等其他参量的测量方法。

对于测量仪器，由于其种类及型号繁多，而且在不断更

新，只能择其典型加以介绍，而且主要介绍其组成框图，对具体的电路，一般只作定性了解。

第三节 测量误差概述

一、测量误差的基本概念

我们已经知道，测量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。我们把客观存在的被测量所具有的真实大小称为真值。在一定的时间、空间和状态条件下，某被测量的真值是一个客观存在的确定数值。从理论上讲，测量的最终目的是获得被测量的真值。然而在现实的环境条件下，真值永远是一个理想的数值，是无法得到的。因此，在实际测量中，我们只能根据测量的需要，用尽可能接近真值的数值来代替真值，这个值称为实际值。对某一个测量项目来说，实际值可以用比在这个测量项目中所实际使用的测量仪器更高级或数级的标准仪器或计量器具测得。测量误差就是指实际使用测量仪器进行测量时获得的测量结果与被测量实际值的差值。

二、研究测量误差的目的

在测量中，由于测量方法、测量仪器、测量环境、人的观察力等等因素影响，测量误差是普遍存在，不可避免的。但对于不同的测量，对其测量误差的大小，也就是测量精确度的要求往往是不同的。对很多测量来说，测量工作的价值完全取决于测量的精确度，当测量误差超过一定范围时，测量工作和测量结果不但会变得毫无意义，甚至会给工作带来很大的危害。所以必须对测量误差问题进行必要的研究，探索测量误差的来源，想方设法加以防止和改善；根据测量误差

的性质和规律对测量数据和测量结果进行合理的科学的处理，使测量结果尽可能接近被测量的实际值；制定合理的测量方案，正确选择测量方法和测量仪器，以便在条件容许的情况下得到最佳的测量结果。

三、测量误差的表示方法

(一)绝对误差

由测量所得的被测量量值 x 与其实际值 A 的差，称为绝对误差，记为

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

x 可以是测量仪器的示值，也可以是量具的标称值，或是对测量数据进行计算后的近似值等。绝对误差是具有大小、正负和量纲(和被测量相同)的数值。它的大小和符号分别表示测得值偏离实际值的程度和方向。

【例1】 用一只标准电流表和一只普通电流表串联测量电流，标准表的示值为 98mA，普通表的示值是 97mA，则此普通表测量该电流时产生的绝对误差为

$$\Delta x = x - A = 97\text{mA} - 98\text{mA} = -1\text{mA}$$

在这里，标准表的示值可以认为是该电流的实际值， $\Delta x < 0$ ，表示是负误差，说明普通表的示值和被测电流的实际值相比偏小 1mA。

通常我们还定义与绝对误差的绝对值大小相等，但符号相反的量值为修正值，用 C 表示

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

修正值通常在校准(检定)仪器时得到，其形式可以是数字、表格、曲线或公式，并常常在测量仪器的技术说明书中给出，供使用者参考。

在测量中，利用测得值与已知的修正值相加，即可计算出被测量的实际值。即

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

如在上例中，可知被校的普通表在 97mA 处的修正值为 +1mA，所以当测量电流示值为 97mA 时，即可知被测电流的实际值为

$$A = x + C = 97\text{mA} + 1\text{mA} = 98\text{mA}.$$

由此可见，含有测量误差的测得值加上修正值以后可以减小误差的影响。测量仪器应当定期送计量部门检定，其主要目的也就是要获得准确的修正值，相应的提高了测量仪器的精确度。但这里需要指出的是，修正值本身也具有一定的误差，因此修正后的数值只是比较接近实际值而已。

根据绝对误差的定义，可以看出绝对误差不能用来评价测量工作质量的优劣。为了评价测量工作，应当采用相对误差的表示方法。

(二) 相对误差

相对误差的形式很多，常用的有下列三种：

(1) 实际相对误差 它是测量绝对误差与被测量实际值的百分比值，可表示为 γ_A

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

(2) 示值相对误差 在误差较小，即测量值 x 与实际值 A 相差较小的场合，可用 x 代替实际值，这时的相对误差称为示值相对误差，用 γ_x 表示：

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

对一般要求不高的工程测量，用 γ_x 表示测量误差比较方便。

(3) 满度相对误差 示值相对误差随测量值 x 的不同而改变，因此不能用来表示测量仪表(器)的准确程度。仪表的准确度常用满度相对误差 γ_m 表示：

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

式中 x_m 是测量仪表的量程上限，即满度值， Δx_m 是该测量仪表的最大测量绝对误差，并且认为 Δx_m 是一个常数。

测量仪表，特别是电工仪表（如电压表、电流表），常用 γ_m 表示其准确度等级，一般分为 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0 七级，分别表示它们的满度相对误差不超过 $\pm 0.1\%$ ， $\pm 0.2\%$ ，…… $\pm 5.0\%$ 。

【例2】 某电流表的最大量程是 100mA，准确度为 1.5 级，问该表测量时产生的最大绝对误差是多少？如果被测电流示值为 50mA，这时的测量相对误差是多大？

解 由式(1-6)可知，最大绝对误差

$$\Delta x_m = x_m \cdot \gamma_m = 100\text{mA} \times (\pm 1.5\%) = \pm 1.5\text{mA},$$

这时的测量相对误差即为示值相对误差

$$\gamma_x = \frac{\Delta x_m}{x} \times 100\% = \frac{\pm 1.5\text{mA}}{50\text{mA}} = \pm 3\% .$$

在上例中，我们看到在测量 50mA 的电流时，产生的测量相对误差为 $\pm 3\%$ ，为电流表本身准确度等级 ($\pm 1.5\%$) 的 2 倍，这告诉我们什么呢？

由 (1-6) 式得

$$\Delta x_m = x_m \cdot \gamma_m ,$$