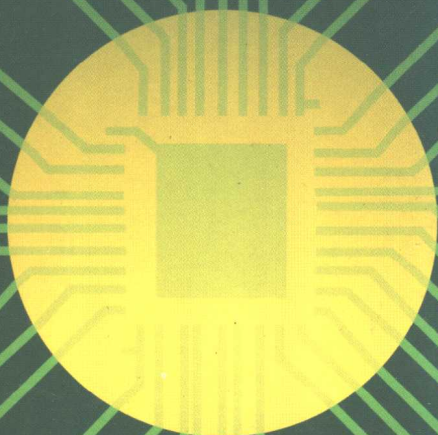


全国中等职业技术学校电子类专业通用教材

电子测量与仪器

[第三版]



中国劳动社会保障出版社

全国中等职业技术学校电子类专业通用教材

电子测量与仪器

(第三版)

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

简 介

本书根据劳动和社会保障部培训就业司颁发的《电子类专业教学计划与教学大纲》编写, 主要内容包括: 电子测量与仪器基本知识, 电压的测量, 频率、时间和相位的测量, 信号发生器, 示波器, 信号频域测量仪器, 网络频率特性测量仪器, 元器件参数测量仪器等, 以及相关实验。

本书为全国中等职业技术学校电子类专业通用教材, 也可作为家用电器维修专业教材和职业培训教材。本书由陈国强编写, 伍湘彬审稿。

图书在版编目(CIP)数据

电子测量与仪器/陈国强编. —3版. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2003

全国中等职业技术学校电子类专业通用教材

ISBN 7-5045-3874-4

I. 电… II. 陈… III. ①电子测量 ②电子测量设备 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 037149 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

国防工业出版社印刷厂印刷 北京助学印刷厂装订

787 毫米×1092 毫米 16 开本 9 印张 222 千字

2003 年 6 月第 3 版 2003 年 6 月第 1 次印刷

印数: 20 100 册

定价: 13.00 元

读者服务部电话: 64929211

发行部电话: 64911190

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权所有 翻印必究

前 言

为了更好地适应中等职业技术学校的教学需求，劳动和社会保障部培训就业司于 2002 年组织全国有关学校的教学专家和行业专家，制定了电子类专业教学计划和家用电器维修专业教学计划以及相关课程的教学大纲。根据教学计划和教学大纲的要求，我们组织了相应教材的编写工作。这些教材具有模块化特点，部分专业基础课和技能训练课教材对于上述两个专业具有通用性。

在教材编写过程中，我们始终坚持了以下几个原则。

第一，以能力为本位，重视实践能力的培养，突出职业技术教育特色。根据企业的实际需要，确定学生应具备的能力结构与知识结构，在保证必要专业基础知识的同时，加强实践性教学内容，强调学生实际工作能力的培养。

第二，吸收和借鉴各地教学改革的成功经验，专业课教材的编写采用了理论知识与技能训练一体化的模式，使教材内容更加符合学生的认知规律，保证理论与实践的密切结合。

第三，更新教材内容，使之具有时代特征。根据科学技术发展对劳动者素质提出的新的要求，在教材中充实新知识、新技术、新设备和新材料等方面的内容，体现教材的先进性。

第四，贯彻国家关于职业资格证书与学业证书并重、职业资格证书制度与国家就业制度相衔接的政策精神，力求教材内容涵盖有关国家职业标准（中级）的知识、技能要求，确实保证毕业生达到中级技能人才的培养目标。

这次教材编写工作得到北京、上海、天津、江苏、浙江、福建、江西、山东、湖南、广东、四川、重庆、贵州等省、直辖市劳动和社会保障厅（局）以及有关学校的大力支持，我们表示诚挚的谢意。

劳动和社会保障部教材办公室

2003 年 6 月

目 录

第一章 电子测量与仪器基本知识	(1)
§ 1—1 电子测量基础知识	(1)
§ 1—2 测量误差	(3)
§ 1—3 数据处理	(5)
§ 1—4 电子测量仪器的日常维护	(7)
本章小结	(9)
习题	(9)
第二章 电压的测量	(11)
§ 2—1 概述	(11)
§ 2—2 模拟式电压表	(12)
§ 2—3 数字式电压表 (DVM)	(19)
§ 2—4 数字式万用表	(25)
本章小结	(28)
习题	(29)
实验一 电压测量及电压表的使用	(29)
实验二 万用表的使用	(31)
第三章 频率、时间和相位的测量	(33)
§ 3—1 概述	(33)
§ 3—2 数字式频率计	(34)
§ 3—3 相位的测量	(40)
本章小结	(42)
习题	(42)
实验三 数字式频率计的使用	(43)
第四章 信号发生器	(44)
§ 4—1 概述	(44)
§ 4—2 低频信号发生器	(44)
§ 4—3 高频信号发生器	(48)
§ 4—4 函数信号发生器	(52)
§ 4—5 脉冲信号发生器	(55)
本章小结	(58)

习题	(59)
第五章 示波器	(60)
§ 5—1 概述	(60)
§ 5—2 示波管及波形显示原理	(61)
§ 5—3 通用示波器的组成及原理	(63)
§ 5—4 存储示波器的组成及原理	(68)
§ 5—5 XJ4323 型双踪示波器	(69)
本章小结	(78)
习题	(79)
实验四 示波器的基本使用	(80)
实验五 示波器双踪和 X—Y 显示	(81)
第六章 信号频域测量仪器	(83)
§ 6—1 概述	(83)
§ 6—2 失真度测量仪	(83)
§ 6—3 调制度测量仪	(88)
§ 6—4 频谱分析仪	(92)
本章小结	(95)
习题	(96)
实验六 DF4121A 型自动失真仪和 QF4131 型调制度测量仪的使用	(96)
第七章 网络频率特性测量仪器	(98)
§ 7—1 频率特性测量原理	(98)
§ 7—2 扫频仪的组成及原理	(99)
§ 7—3 NW1253 型频率特性测试仪	(101)
本章小结	(105)
习题	(105)
实验七 网络幅频特性的测量	(106)
第八章 元器件参数测量仪器	(108)
§ 8—1 概述	(108)
§ 8—2 电桥法	(108)
§ 8—3 Q 表	(113)
§ 8—4 晶体管特性图示仪	(117)
本章小结	(130)
习题	(131)
实验八 万用电桥和 Q 表的使用	(131)
实验九 半导体管特性图示仪的基本操作和晶体二极管的测量	(134)
实验十 晶体三极管的测量	(135)
实验十一 场效应管的测量	(136)

第一章

电子测量与仪器基本知识

测量是人们通过实验的方法，将未知量与公认的同类标准量进行比较，从而确定其数量的认识过程。通过测量，人们可以揭示事物内部的奥秘，发现事物产生、变化和发展的一般规律，推动科学理论的进一步发展。

电子测量是测量的一个重要分支。从广义上来讲，是泛指以电子技术为手段的测量。从狭义而言，电子测量是指对各种电参数和电性能的测量。电子测量包括电子测量技术和电子测量仪器两部分，两者密切相关。

电子测量的作用范围日益扩大。在电子工业中，从元器件的加工到大型电子设备的装配、调试和维护，都离不开电子测量，它为形成统一、标准的电子产品提供了重要的测试手段和途径。

电子测量为电子学和其他学科的研究提供了便利条件，而无线电电子学、计算机与自动化技术、信息高速公路、空间科学技术、新材料等技术的发展又反过来为电子测量提供了各种新理论、新技术、新材料、新器件和新的仪器测试系统。尤其是电子计算机与传统的电子测量技术相结合，在测量过程中实现程控、遥控、自动转换量程、自动调节、自动校准、自动诊断故障和自动恢复，对于测量结果可进行自动记录、自动进行数据分析、存储和处理。利用通用的通信接口，将各种相关仪器有机地连接起来，形成智能化的测试系统，可进行仪器和数据资源共享，提高了电子测量的效率，降低了能耗，减少了污染。

这种崭新的电子测量系统的推广使用对整个电子技术领域和其他技术领域都起到了巨大的推动作用，它代表了当今电子测量发展的方向。从某种意义上说，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。

§1—1 电子测量基础知识

一、电子测量的内容

电子测量是以电子技术为依据，借助于电子仪器和设备，对电量和非电量进行测量的原理和方法。本课程电子测量的内容主要包括下列几个方面：

1. 电能量的测量

如电压、电流和功率等的测量。

2. 电信号特征量的测量

如频率、周期、相位、脉冲参数、失真度和调制系数等的测量。

3. 电路性能的测量

如增益、衰减量、通频带、灵敏度等的测量。

4. 元器件参数的测量

如电阻、电容、电感、阻抗、品质因数、晶体管等参数的测量。

二、电子测量的特点

电子测量具有以下几个明显的特点：

1. 频率范围宽

除测量直流外，还可测量交流，其频率低至 10^{-5} Hz，高至 10^{12} Hz。随着电子技术的发展，目前还在向更高频段发展。

2. 量程广

量程是测量范围的上限值与下限值之差。由于被测量的数值相差悬殊，如电压低至 10^{-6} V 以下，高至 10^6 V 以上，量程达到 12 个数量级。因此，一般无法用一种测量方法或一种测量仪器去覆盖整个量程，通常需要采用多种测量方法和仪器去测量。

3. 测量准确度高

准确度是测量的重要因素之一，是测量技术水平和测量技术结果可信赖程度的关键。在电子测量中，由于对频率和时间的测量是以原子秒作为基准，因此其准确度可达 $10^{-13} \sim 10^{-14}$ 的数量级。

4. 测量速度快

电子测量是基于电子运动和电磁波原理进行工作的，其测量速度是其他测量无法比拟的。如卫星、宇宙飞船和空间站的发射和运行，都需要这种高速度的电子测量。

5. 易于实现遥测和测量过程的自动化

电子测量可以通过各种传感器（能量转换器）转换成电量进行遥测和遥控。例如，对于遥远的距离或恶劣的环境，人体不便于接触或无法达到的区域（如深海和核反应堆内等），可通过传感器进行遥测和遥控。

随着测量仪器通用接口总线（即 GPIB）和串行通信技术（RS-232C）的开发使用以及芯片技术、微型计算机技术和因特网的发展，将计算机与相关的一系列电子测量仪器有机地连接起来，构成自动测量系统，必将实现高效、节能和便利的电子测量新局面。

三、电子测量的基本方法

对一个电量的测量可通过不同的方法来实现，其方法选择正确与否，直接关系到测量工作能否正常进行以及测量结果的可信赖程度。电子测量有以下两种测量方法。

1. 直接测量法

指直接获得被测量值的方法。例如，用电压表测电压值，用电流表测电流值，用万用表电阻 (Ω) 挡测电阻值等。图 1—1a 中，用万用表测量某个电阻器的阻值时，其电阻值可在万用表上直接读出来，这种方法即为直接测量方法。

2. 间接测量法

指通过对与被测量成函数关系的其他量进行测量，再通过函数关系式运算来求得被测量值的方法。例如，测量某个电阻器的阻值时，通过测量电阻器的两端电压 U 和流过电阻中的电流 I ，利用欧姆定律，即 $R = U/I$ 的关系式，求得电阻值，这种方法即为间接测量法，如图 1—1b 所示。

在实际测量中，选择何种测量方法，主要取决于测量方法的使用便利程度和对误差的要

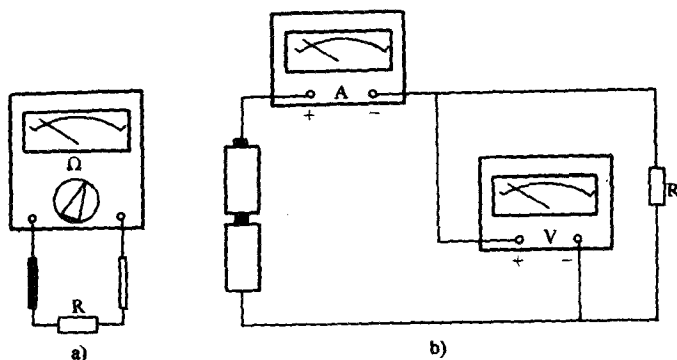


图 1—1 直接测量法和间接测量法

a) 直接测量法 b) 间接测量法

求等因素。

§1—2 测量误差

真值是被测量在特定时间和环境下的真实数值。被测量的真值是一种客观存在，但由于人们对客观事物认识的局限性，测量手段的不完善或测量工具的不准确等因素的影响，测量值只能趋向于其真值。真值通常指按定义在规定条件下得到的量值。例如 1 A 电流的定义是：在间隔 1 m 的两条平行直导线内每米长度上产生 2×10^{-7} N 的电流。在这个定义下的电流即为 1 A 电流的真值。

测量误差是指被测量值与真值之间的差异。误差存在于一切测量过程之中，即误差贯穿于测量的始终。

一、测量误差的来源

1. 仪器误差

指由于仪器、电气或机械结构不完善引起的误差。如磁电系仪表运动部分的摩擦阻力，指针式仪器的非线性刻度引起的误差，放大器中的零点漂移，数字式仪表的量化等引起的误差。定期对仪器进行校准和计量，可以减少仪器误差。

2. 使用误差

指由于人们对仪器的安装、调节、使用不当等引起的误差。如未按规定的方向位置安装和调试仪器，连接电缆和负载阻抗不匹配，外壳接地不良，仪器未经预热、校准等而进行测量都会产生使用误差。在测量中，应严格按技术规程使用仪器，不断提高实验技巧，以减少或消除使用误差。

3. 人身误差

指由于测量者的分辨力、疲劳程度、固有习惯等引起的误差。

4. 理论误差

指由于依据的理论不严密或计算公式过于简化等而导致的误差。

5. 影响误差

影响误差又称环境误差,是指由于受周围环境的影响,如温度、压力、湿度、电源波动、电磁场、光辐射、放射物等影响而产生的误差。例如,仪器对温度和电源的变化极其敏感,超出其规定使用范围,均会产生影响误差。

二、测量误差的表示方法

1. 绝对误差

(1) 定义 测量值 x 与真值 A_0 之差,称为绝对误差,用 Δx 表示:

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

Δx 既有大小,又有符号和单位。当 $\Delta x < 0$ 时,说明测量值小于真值。

由于真值是一个理想的数值,不容易获得,通常用实际值 A 来代替真值。实际值是根据测量误差的要求,用更高一级的标准器具测量所得之值,这时绝对误差可表示为:

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

(2) 修正值 与绝对误差大小相等,但符号相反的量值称为修正值 C ,则

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

对测量仪器进行检测时,用高一级的标准仪器与之相对比,以表格、曲线或公式的形式给出受检仪器的值,就是修正值。测量时,将测量值与修正值相加即可得到实际值,即

$$A = x + C \quad (1-4)$$

2. 相对误差

相对误差是用百分比的形式说明测量的准确度,通常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

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

(2) 示值相对误差 γ_x 绝对误差 Δx 与被测量的测量值 x 的百分比,即

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

测量中应用较广泛的是示值相对误差。

(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

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\% \quad (1-7)$$

满度相对误差主要用于电工仪表准确度的定级,见表 1—1。

表 1—1

电工仪表的等级

γ_m	$\leq \pm 0.1\%$	$\leq \pm 0.2\%$	$\leq \pm 0.5\%$	$\leq \pm 1.0\%$	$\leq \pm 1.5\%$	$\leq \pm 2.5\%$	$\leq \pm 5.0\%$
等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0

γ_m 给出了仪表在工作条件下不应超过的最大相对误差,它反映了该仪表综合误差的大小。

比较式 (1—6) 与式 (1—7) 可知,当测量值 x 等于满度值 x_m 时, γ_x 与 γ_m 两者相

等。可见,在通常情况下,测量值的准确度总是低于仪表的准确度。因此,使用指针式仪表进行测量时,应选择好仪表的量程,尽可能使仪表的指针处于满度值的2/3以上区域。

例 1—1 用两个电压表分别测得 $U_{1x}=98\text{ V}$, $U_{2x}=11\text{ V}$, 已知被测量的实际值分别为 $U_{1A}=100\text{ V}$, $U_{2A}=10\text{ V}$, 求两次测量的绝对误差和实际相对误差。

解: 两次测量的绝对误差和实际相对误差分别为

$$\Delta U_1 = U_{1x} - U_{1A} = (98 - 100) = -2(\text{V})$$

$$\Delta U_2 = U_{2x} - U_{2A} = (11 - 10) = 1(\text{V})$$

$$\gamma_{A1} = \frac{\Delta U_1}{U_{1A}} \times 100\% = \frac{-2}{100} \times 100\% = -2\%$$

$$\gamma_{A2} = \frac{\Delta U_2}{U_{2A}} \times 100\% = \frac{1}{10} \times 100\% = 10\%$$

本例可见, $|\Delta U_1| > |\Delta U_2|$, 说明第一次测量的量值 U_{1x} 偏离实际值的程度大于第二次测量; $|\gamma_{A1}| < |\gamma_{A2}|$, 说明第一次测量的准确度高与第二次测量。

三、测量误差的分类

根据测量的性质和特点,测量误差可分为系统误差、随机误差和粗大误差三类。

1. 系统误差

系统误差是指在规定的条件下,误差的数值保持恒定或按一定规律变化的误差,有时也称为确定性误差。系统误差决定了测量的准确度。系统误差越小,测量结果越准确。

对于固定性的误差,可以采用零示法、替代法、交换法和补偿法等测量方法来消除。

2. 随机误差

在相同测试条件下多次测量同一量值时,绝对值和符号都以不可预知的方式变化的误差,称为随机误差或偶然误差。随机误差决定了测量的精密度。随机误差越小,测量结果的精密度越高。

随机误差服从统计规律。随机误差出现正负误差的几率相等,可以通过多次测量,采用统计学求平均的方法来消除。

3. 粗大误差

粗大误差又称粗差,它是在一定的测量条件下,测量值明显偏离实际值所造成的测量误差。由于粗大误差明显歪曲测量结果,这种测量值称为坏值,所以应将它剔除。

§1—3 数据处理

数据处理,就是从测量所得到的数据中获得最佳估计数字,并计算出其准确程度。

测量结果通常用数字或图形来表示。图形可以在各种显示屏上直接显示出来,也可通过实验数据进行描点作图而绘出。用数字表示的测量结果,包含两个部分:数值和单位。如 1.625 V 、 $2.7\text{ k}\Omega$ 和 1 mA 等。没有注明单位的测量结果是毫无意义的。

一、有效数字

有效数字是指在它的绝对误差不超过末位单位数字的一半时,在它的左边数字列中,从

第一个不为零的数字算起,直到末位为止(末位可以是零)的全部数字。用有效数字记录测量结果时应注意以下几点:

1. 用有效数字来表示测量结果时,可以从有效数的位数估计出测量的误差。一般规定误差不超过末位有效数字的一半。例如,测量结果记为 1.000 A , 小数点后第3位为末位有效数字,其单位数字为 0.001 A , 单位数字的一半即为 0.0005 A , 测量误差可能为正,也可能为负,所以 1.000 A 这一结果的测量误差为 $\pm 0.0005\text{ A}$ 。

2. “0”的意义。在测量结果的数字列中,前面的“0”不算是有效数字,而末位的“0”较为重要。如 0.05 表示一位有效数字,该数字可能在 $0.045\sim 0.055$ 之间。

3. 有效数字的位数不能因采用的单位变化而增加或减少。例如,测量结果记为 1.000 A , 以 mA 为单位,记作 $1\,000\text{ mA}$, 二者均为4位有效数字。如测量结果记为 1 A , 它是一位有效数字,若以 mA 为单位,不能记作 $1\,000\text{ mA}$, 因为 $1\,000$ 是4位有效数字,这样记夸大了测量精度,这时应记作 $1\times 10^3\text{ mA}$, 它仍为一位有效数字。再如,一个记录数字为 $12.5\times 10^5\ \Omega$, 它表示有3位有效数字;若以 $\text{k}\Omega$ 为单位,应记作 $12.5\times 10^2\text{ k}\Omega$, 不能记作 $1\,250\text{ k}\Omega$; 若以 $\text{M}\Omega$ 为单位,应记作 $1.25\text{ M}\Omega$ 。总之,单位变化时,有效数字的位数不应有变化。

二、数字舍入规则

当测量结果的有效数字超过指定位数时,多余的位数应予舍去,如要保留 n 位数字,则 n 位后一位数的舍入规则如下:

1. 大于5时向前进一,小于5时舍去不进位。

2. 若恰好等于5时,采用“奇进偶不进”原则。即5之前是奇数舍后进一,5之前是偶数舍后不进位。

例1—2 将下列数值中的有效数字保留到小数点后两位数: 21.543 、 22.668 、 10.535 、 11.165 。

解: $21.543\rightarrow 21.54$ $22.668\rightarrow 22.67$

$10.535\rightarrow 10.54$ $11.165\rightarrow 11.16$

三、数字的近似运算规则

在数据的处理过程中,常常要对几个乃至多种数据进行多种运算,通常运用以下规则:

1. 加减运算时,要把小数位数较多的数舍去,保留位数以小数位数最少的数为准。

2. 乘除运算时,有效数字位数的取舍决定于有效数字最少的一项数字,而与小数点位置无关。

3. 乘方或开方运算时保留的有效数字位数,雷同于原有效数字的位数。

4. 对数运算时,计算结果与其真数有效数字的位数相同。

例1—3 运算下列数据:

(1) $12.235+4.67+5.23+6.3$

(2) $25.83\times 0.86\div 6.8$

解: (1) $12.235+4.67+5.23+6.3\approx 12.2+4.7+5.2+6.3=28.4$

由于 6.3 是整个式子中精确度最差的数,故所有参与运算的各个数均保留到小数点后一位。

(2) $25.83\times 0.86\div 6.8\approx 26\times 0.86\div 6.8\approx 22\div 6.8=3.2$

由于 6.8 是整个式子中精确度最差的数,故所有参与运算的各个数均保留两位有效

数字。

§1—4 电子测量仪器的日常维护

电子测量仪器内部包含有各种电子元器件，它们的性能容易受温度、湿度、电磁场、电源波动等外界环境的影响。若操作者使用不当，也会造成仪器各种电性能和参数的不稳定，引起仪器故障，甚至危及人的生命。为了确保仪器的正常使用和人身安全，使电子测量仪器保持良好的工作状态，保证测量的准确度，延长仪器的使用寿命，作为本专业中等职业技术学校的学生，有必要了解电子测量仪器的日常维护知识。

一、电子测量仪器的日常维护

电子测量仪器日常维护的内容主要有以下几个方面：

1. 保持清洁

电子仪器应配备防尘罩，平时注意防尘。使用仪器时，应去除防尘罩。仪器使用完毕，应切断电源，等充分降温后再套上防尘罩。对仪器外壳灰尘应采用干布清除，禁止使用湿布抹擦，以免潮气侵入或水珠流入机内。清除内部积尘时，可用小型吸尘器、毛刷、吹风机（冷风）等。对仪器散热网孔上的灰尘，应及时清除，防止灰尘堵塞散热孔，避免机温升高而烧坏元器件。

2. 保持干燥及通风

电子仪器应放在通风良好、阳光充足、干燥的房间内，禁止把仪器长期搁置在水泥地板上。在放置仪器的柜橱里应放置干燥剂并定期检查干燥剂是否失效，如发现硅胶结块、发黄等变质现象，应予更新。经常检查仪器周围是否有潮气源，保持环境干燥。安放电子仪器的室温一般以 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ 为佳，要防止阳光直射，远离发热电器或设备。

3. 防腐

应避免酸、碱等有腐蚀性的物质靠近电子仪器，更不能用它们来清洗仪器。使用干电池的仪器，应定期检查，以免电池漏液腐蚀仪器内的元器件等，如仪器长期不用，可取出干电池另行存放。

4. 防振动

搬动电子仪器时，应轻拿轻放，避免剧烈振动或碰撞。在仪器工作台上，严禁安装电动工具或有剧烈振动的工具、设备。及时更换仪器已损坏的防振橡皮垫脚。

5. 防漏电

由于大多数的电子仪器都使用交流电源来供电，因此，防止漏电是一项关系到人身安全的重要维护措施。特别是采用双芯电源插头而仪器的机壳又没有连接地线的情况，如果仪器内部电源变压器的一次绕组对机壳严重漏电，则仪器与地面之间就可能有较大的交流电压（ $100\sim 200\text{ V}$ ）存在。这样，当使用者的手接触机壳时，就会感到麻电，甚至发生触电的人身事故。

最安全的防漏电措施是采用三芯插头、插座。因为这种插头中最长一芯与机壳相连，通过插座与大地可靠连通，即使仪器内部的电源变压器发生漏电，电流直接流向大地，对人身

不会造成危险。必须指出,在采用三芯安全插头、插座的情况下,一定要严格按照规定的插头、插座接法,即面对插座右面为相线、左面为中线、上方为接地,如图 1—2 所示。绝对不能用中线代替接地线,否则,或发生机壳带电,或发生短路,轻者烧坏电源熔丝,重者危及生命安全,这是十分危险的。

为了防止可能出现的差错,在采用三芯电源插头、插座时,应借助电笔和万用表,先检查电源插座和电源插头的相线、中线、接地端子的接法是否正确,以保证仪器使用的绝对安全。

6. 定期计量

所有电子仪器的技术指标都有时间界限,尤其是仪器大修之后,其性能指标会发生变化。因此,仪器必须定期送计量部门校验,或按使用说明书所给出的技术条件,借助于标准仪器进行校准,以保证测量的精确度。

7. 合理放置

仪器各指示仪表或显示器应与操作者平视,以减少视差。对经常操作的仪器,应放在便于操作的位置。两台或多台仪器需要重叠放置时,应把质量大、体积大的仪器放在下层。对散热量大、高频大功率的仪器,还要注意其对附近仪器或设备的影响。电子仪器与被测电路之间的连线原则上应尽可能短,以减少或消除相互影响,避免信号串扰和寄生振荡。

二、电子测量仪器的工作环境

任何一台仪器只有在一定的工作环境下才能正常工作。在不同的环境下,同一个操作者,采用同一种方法,其测量结果可能是不同的。仪器说明书一般都对诸如温度、湿度、大气压、电网电压范围等环境条件作出规定,以保证仪器在测量时有足够的准确度。

按原电子工业部的部颁标准规定,电子测量仪器的使用环境分为 I、II、III 组,见表 1—2。电子测量仪器的储存、运输条件也分为 I、II、III 组,见表 1—3。

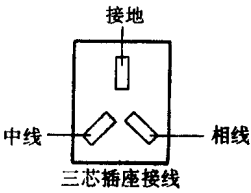


图 1—2 三芯插座接线

表 1—2 电子测量仪器的使用环境条件

组别	额定使用范围试验				
	温度			湿度	
	最低 (℃)	最高 (℃)	试验时间 (h)	相对湿度 % (℃)	试验时间 (h)
I	10	35	4	80 (35)	48
II	-10	40	4	80 (40)	48
III	-40	55	4	90 (35)	48

表 1—3 电子测量仪器的储存、运输条件

组别	储存、运输条件试验						
	温度				湿度		
	最低 (℃)	最高 (℃)	试验时间 (h)	恢复时间 (h)	相对湿度 % (℃)	试验时间 (h)	恢复时间 (h)
I	-40	55	4	4	90 (40)	48	24
II	-40	55	4	4	90 (40)	48	24
III	—	70	4	4	—	—	—

I 组：应在良好环境中使用，操作要细心，只允许受到轻微的振动。计量用的高精度仪器属于本组。

II 组：可在一般环境中使用，允许受到一般的振动和冲击。通用仪器属于本组。

III 组：可在恶劣环境中使用，允许在频繁的搬动和运输中受到较大的振动和冲击。

本章小结

1. 电子测量是以电子技术为依据，借助于电子仪器和设备，对电量和非电量进行测量的原理和方法。电子测量包括电子测量技术和电子测量仪器两部分。

2. 电子测量的内容主要包括：电能量的测量、电信号特征量的测量、电路性能的测量和元器件参数的测量。

3. 电子测量具有频率范围宽、量程广、测量准确度高、测量速度快、易于实现遥测和测量过程的自动化等特点。

4. 电子测量的基本方法分为直接测量法和间接测量法两种。

5. 误差是指被测量值与真值之间的差异。测量误差有绝对误差和相对误差两种表示方法。绝对误差是用测量值 x 与真值 A_0 之差来表示测量误差，它既有大小，又有符号和单位；相对误差是用百分比来表示测量的误差，它有大小和符号。相对误差可分为实际相对误差、示值相对误差和满度相对误差。满度相对误差是电工仪表定级的依据。

6. 根据测量误差的性质和特点，测量误差可分为系统误差、随机误差和粗大误差。

7. 测量结果可用数字和图形来表示。数据处理过程中的有效数字按近似运算规则进行如下处理：在进行加减运算时，保留位数以小数点后最少的数为准；在进行乘除运算时，取决于有效数字最少的一项数字，而与小数点位置无关；在进行乘方、开方、对数等运算时，计算后保留的位数与计算前的位数相同。

8. 电子测量仪器在日常维护时应注意保持清洁，保持干燥及通风，防腐、防振动、防漏电，定期计量和合理放置等事项。

9. 电子测量仪器的使用环境应符合原电子工业部的部颁标准。

习题

1. 电子测量有哪些内容？

2. 电子测量有哪些特点？

3. 某被测电压为 3.50 V，仪表的量程为 5 V，测量时该表的示值为 3.53 V，求：

(1) 绝对误差与修正值各为多少？

(2) 实际相对误差及引用误差各为多少？

(3) 该电压表的精度等级属哪一级别？

4. 用 1.5 级、量程为 10 V 的电压表分别测量 3 V 和 8 V 的电压，试问哪一次测量的准确度高？为什么？

5. 若有两只电压表：量程为 50 V、1.5 级和量程为 15 V、2.5 级，分别用来测量 10 V

的电压，试问哪一只电压表测量的准确度更高？为什么？

6. 要测量 40 V 左右的直流电压，选用以下哪一只电压表较合适，为什么？

(1) 量程为 $100\text{ V} \pm 5\%$ ；(2) 量程为 50 V、0.5 级；(3) 量程为 30 V、0.5 级；(4) 量程为 $50\text{ V} \pm 1\%$ 。

7. 将下列数值的有效数字保留到小数点后一位数：18.356、9.043 0、6.052、0.503、1.05。

8. 试计算下列各式：

(1) $12.435 + 21.382 + 5.32 + 2.3$

(2) $0.9862 \times 9.68 \div 2.4$

9. 简述电子测量仪器在日常维护时应注意的事项。

第二章

电压的测量

§2—1 概 述

在电子测量中,电压的测量占据着重要的地位。许多电参数,如幅频特性、失真度、调制制度等都可视为电压的派生量;许多电子产品和电子设备的工作状况,也常以一定的电压反映出来。因此,电压的测量是许多电参数测量的基础。

一、电压测量的主要特点

在电子测量中,电压测量主要有以下几个方面的特点:

1. 频率范围宽

电压的频率范围可从零至数百、数千兆赫。如在通信设备中,从供电的直流电压到微波信号的极高频电压。

2. 量值广

被测电压的量值取决于信号或电能的强弱。在天线装置中,感应的信号强度为几十、几百微伏,而显像管的阳极高压可达几十千伏。

3. 波形多种多样

被测信号的波形一般为正弦波,此外,还有脉冲波、调幅波、调频波和噪声波等。

4. 阻抗范围大

被测电压所处的电路可能是恒压源,也可能是恒流源,还可能是一个谐振回路。

5. 成分多

被测电压常存在着交、直流成分,还可能夹有无规则的噪声成分等。

二、对电压测量的基本要求

针对不同的测量对象和不同的测量任务,对电压测量的方案和仪表的要求有所不同,一般包括以下几个方面:

1. 频率范围应足够宽

被测电压的频率下至几赫兹,上达 1 GHz。

2. 被测电压范围应足够大

电压量程从几微伏至 1 kV 左右。

3. 电压表的输入阻抗应足够高

在测量电压时,电压表并接在被测电路的两端,其输入阻抗的高低直接影响到整个电路的工作状态。为了减少这种影响,电压表的输入阻抗应尽可能高些。在高频测量时,还必须考虑阻抗匹配,以避免电压表的接入在电路中产生反射波。

4. 测量精确度应足够高