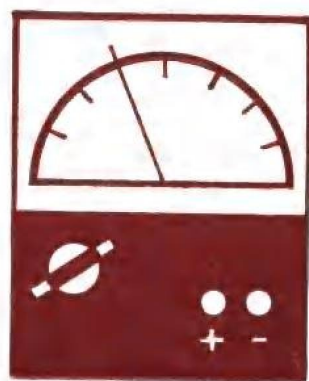


电子测量与仪器

东北三省职业技术教育教材编写组



辽宁科学技术出版社

电子测量与仪器

Dianzi Cheliang Yu Yiqi

东北三省职业技术教育教材编写组

辽宁科学技术出版社出版

(沈阳市和平区北一马路108号)

辽宁省新华书店发行 沈阳市第二印刷厂印刷

开本: $787 \times 1092^{1/16}$ 印张: $16^{1/2}$ 字数: 378,000 插页: 1

1991年6月第1版

1991年6月第1次印刷

责任编辑: 刘绍山 插图: 赵志强等

封面设计: 邹君文 责任校对: 王春茹

印数: 1—2,803

ISBN 7-5381-1082-6/TM·58 定价: 5.60元

前 言

为了满足学校和社会上职业技术教育的需要,我们根据东北三省职业技术教育协作会的决定,组织编写了这套电子专业教材。这套教材包括《电工基础》、《晶体管电路基础》、《脉冲电路基础》、《晶体管收音机》、《晶体管录音机》、《晶体管黑白电视机》、《彩色电视机》、《盒式录像机》、《电风扇原理与维修》、《电冰箱原理与维修》、《洗衣机原理与维修》、《电子测量与仪器》、《电子工艺基础》、《电子识图与制图》等。另外,还有《新编收音机实用维修技术》、《黑白电视机实用维修技术》、《彩色电视机实用维修技术》、《录音机检修入门》、《家用录像机实用维修技术》等辅助配套读物。各地可根据教学计划选用。

我们在编写这套教材过程中,认真贯彻了《中共中央关于教育体制改革的决定》精神,从职业技术教育的培养目标出发,贯彻理论联系实际的原则,在保持知识的科学性、系统性的基础上,注重了知识的实用性、针对性,同时尽可能反映科学技术的最新成果,引导学生打好基础,学好多方面的技能,以便学以致用,适应长期广泛就业、进行技术革新和继续进修的需要。

这套教材在编写过程中还力求做到突出基本原理、基本概念的叙述和分析,突出实用性环节,层次分明,文字简炼,通俗易懂。每章后面均附有适量习题或练习,书末有实习或实验,以便于学生复习、巩固所学知识,培养学生的动手能力。

本书是电子专业的一门基础课,实用性很强。它系统介绍了电子测量的基本知识、基本电学量(电压、电流、功率、电平)的测量方法、基本电子元器件及其性能的测量方法、测量中噪声的量度及抑制方法,同时较详细地介绍了在电子测量中,特别是在安装、维修家用电器中常用的电子仪器,如万用表、低频信号发生器、高频信号发生器、电子管和晶体管毫伏表、普通示波器、双踪示波器、同步示波器、频率特性测试仪(扫频仪)、晶体管特性曲线图示仪、数字电压表和数字万用表等的基本结构、工作原理、性能、使用操作方法及常见故障的分析与排除等实用知识。

本书由杨崇志和陈秉钧同志主编,编写组的其他同志给予了大力帮助,在此表示诚挚谢意。

由于职业技术教育的发展尚属起步阶段,一些问题有待进一步探讨,加之时间仓促、经验不足,所以不妥之处在所难免,恳请广大师生及其他读者提出宝贵意见,以便进一步修订。

东北三省职业技术教育教材编写组

1990年12月

目 录

前 言

第一章 电子测量的基本知识	1
第一节 测量与计量的基本概念.....	1
第二节 测量方法的分类.....	2
第三节 误差与修正值.....	3
第四节 误差的主要来源及分类.....	6
习题一.....	8
第二章 基本电学量的测量方法	9
第一节 电压的测量方法.....	9
第二节 电流的测量方法.....	12
第三节 功率及其测量.....	13
第四节 电平及其测量.....	17
习题二.....	19
第三章 基本电子元件及其性能的测量	20
第一节 电阻的测量.....	20
第二节 电容和电感的测量.....	22
第三节 二极管特性的测量.....	25
第四节 三极管特性的测量.....	27
第五节 场效应晶体管的测量.....	29
第六节 集成运算放大器的应用及检测.....	30
第七节 真空管的结构、特性及检测.....	34
习题三.....	39
第四章 万用表	41
第一节 磁电式电流表.....	41
第二节 电流表的改装.....	43
第三节 MF30 型袖珍万用表.....	49
第四节 万用表的选择与使用.....	54
第五节 万用表的检修.....	56
习题四.....	60

第五章 常用信号源	62
第一节 信号源的分类.....	62
第二节 XD-1 型低频信号发生器工作原理.....	63
第三节 XD-1 型低频信号发生器的使用与维修.....	72
第四节 XFG-7 型高频信号发生器的性能及工作原理	73
第五节 XFG-7 型高频信号发生器的使用与维修	85
习题五.....	91
第六章 指针式电子电压表	94
第一节 各类电子电压表的基本原理.....	94
第二节 电子电压表检修的一般方法.....	98
第三节 DA-16型晶体管毫伏表工作原理	103
第四节 DA-16型晶体管毫伏表的使用与维修	108
习题六	112
第七章 常用示波仪器	114
第一节 示波管的结构及工作原理	114
第二节 SB-10型示波器的工作原理.....	115
第三节 SB-10 型示波器的调节与使用方法	121
第四节 SB-10 型示波器的常见故障与维修	123
第五节 SBT-5型同步示波器的特点及工作原理	126
第六节 SBT-5型同步示波器的调节、使用与维修	137
第七节 SR8型二踪示波器的特性及工作原理.....	143
第八节 SR8 型示波器的使用方法	164
第九节 BT-3 型频率特性测试仪.....	166
习题七	175
第八章 晶体管特性曲线图仪	176
第一节 示波器测量二、三极管 $I \sim V$ 特性原理.....	176
第二节 JT-1 型晶体管特性图仪的结构和工作原理.....	179
第三节 JT-1 型晶体管特性图仪的使用.....	193
第四节 JT-1 型晶体管特性图仪的常见故障及维修.....	201
习题八	203
第九章 数字电压表和数字万用表	206
第一节 A/D 变换器工作原理	206
第二节 数字电压表的结构和工作原理	209
第三节 数字电压表主要性能	217

第四节	数字电压表量程及功能的扩展方法	219
第五节	DT—830型数字万用表电路分析	225
第六节	数字万用表的使用	235
第七节	数字万用表的检修	238
习题九		242
第十章	测量中噪声的量度及抑制	245
第一节	噪声及其种类	245
第二节	噪声的量度及测量	247
第三节	抑制干扰和噪声的方法	252
习题十		258

第一章 电子测量的基本知识

测量是人们认识、改造自然的重要手段。在生产中为了保证产品质量，测量也是必不可少的。另外为了维护和修理一些仪器和设备，也需进行必要的测量。

无线电电子学的诞生和发展，为各种量的测量提供了崭新的手段，从而出现了电子测量这一门独立的新技术。

电子测量是指以电子技术为手段进行的测量。与其它测量技术相比，电子测量具有量程范围宽、精度高、速度快、操作方便等优点。在今天，从某种意义上说，近代科学技术的发展，是由电子测量的发展来保证的。

例如，电子示波器自本世纪30年代后期出现以来，不仅加深了人们对许多电现象的认识和理解，而且也促进了脉冲技术的发展，为以后的雷达、电视的发展奠定了基础。近年来集成电路及电子技术的飞速发展，使测量仪器向更加小型化、多功能化、自动化及智能化的方向发展。随着电子技术的不断进步，新的电子器件将不断出现，电子测量技术必将更加深入各个领域，成为国民经济发展的先导。

只有掌握电子测量的基本概念，了解测量的基本要求才能更好地进行测量。

第一节 测量与计量的基本概念

一、测量的含意

电子测量是借助于专门的电子仪器和设备（总称电子测量仪器）对客观事物取得数量观念的认识过程。

但应指出，测量所得结果中一定要标出数值（包含正、负号）以及相应的单位。另外，由于测量中不可避免地包含着误差，所以结果中还必须注明其测量误差。

二、计量的含意

（一）什么是计量

为了对物理量进行测量，必须有相应的单位。而各种单位必须以严格的科学理论为依据来定义。这些单位也是量具或仪器所表示的测量单位的依据。能测量同一物理量的不同仪器计量单位必须是统一的。“计量”就是研究如何保证测量值的统一和准确所必须的方法、技术、政策以及专门设备的科学。

为了进行计量，必须设置基准和标准。

（二）基准

所谓基准，就是指用当代最先进的科学技术和工艺水平，以最高的精确度和稳定性建立的专门用来规定并保持、复现某物理量计量单位的特殊量具或仪器。

例如，现代长度的单位——米是以 Kr^{86} /原子的 $2P_{1/2}$ 和 $5d_{5/2}$ 能级之间跃迁所对应的辐射在真空中的1650763.73个波长长度作为基准的。

基准又分主基准、副基准以及工作基准。

所谓主基准又称原始基准，是指一个国家直接按物理量单位定义复现的，具有最高精度水平的基准。经过严格的法定手续，主基准可充当国家计量基准。例如上述的米的基准就是主基准。

所谓副基准又称次基准，其量值根据主基准来确定，平时用来代替主基准被使用，这样国家的基准（即主基准）可不致因经常使用或搬动而降低精度。

所谓工作基准是用以直接衡量下属的标准量具和仪器的基准。

由上可见，基准大体分为三级。主基准为一级基准，副基准为二级基准，而工作基准为三级基准。

（三）标准

前边已指出，为了保证最高的精确度和稳定性，基准器的结构工艺都十分复杂、精细，对环境的要求也很严格，操作麻烦、价格昂贵，因此不宜经常动用。故此，以基准器复现的量值制成了不同等级、便于使用的标准量具和仪器。这些标准量具及仪器就称为标准。显然这种标准的精度是有限的。按精度的高低又分为一级标准、二级标准和三级标准等。日常所用的仪器和设备就是国家用基准和各种标准来检验监督的。

第二节 测量方法的分类

世间的事物种类是无穷无尽的，因而测量方法是多种多样的。对这些测量方法的分类可以从不同角度进行。比如根据在测量中被测量是否随时间变化而分为静态测量和动态测量。但是比较常用的分类办法是从测量技术考虑的，各种测量方法可归为直接测量和间接测量两大类。

一、直接测量

用事前已按标准定好标的测量仪器对被测量量直接进行测量而得到被测量量的数值叫直接测量。例如用电流表测电流，用电压表测电压，用频率计测频率等都属直接测量。

应该指出，直接测量并不意味着就是用直读式仪表进行测量。许多比较式仪器（如电桥、Q表等）虽然不一定能直接从仪器度盘上读出被测量量的数值，但因被测量量直接参与了测量，所以仍属直接测量。直接测量较容易获得高的精度。

二、间接测量

在许多情况下,被测量量是与另几个量具有已知的函数关系。如果对被测量量直接测量有困难,而对与之有关系的另几个量进行测量又比较容易时,可通过测量另几个量,再借助它们的函数关系(如公式、曲线或数据表格等)求出被测量量,这就是间接测量。例如用电流表直接测量一电阻 R 中的电流,需要将电阻从电路中断开,把电流表与电阻串接后再接入电路。假若不允許將电阻从电路中断开时,则可用电压表测得电阻两端电压 V ,然后借助欧姆定律($V=IR$)求出电阻中电流,即 $I = \frac{V}{R}$ 。

当遇到直接测量很不方便,或缺乏直接测量仪器,或直接测量仪器精度太差等情况时,往往可采用间接测量的方法。

三、组合测量

比如某一类电阻阻值 R_t 与环境温度有如下关系

$$R_t = R_{20} + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2$$

其中 R_{20} 为环境温度等于 20°C 时的阻值。 α 和 β 为温度系数。必须知道这三个参数的具体值才能求出任一温度下的 R_t 值。为了得到这三个参数,至少应测出三个不同温度下的 R_t 值,以便得到三个方程式,联立求出这三个量。

象这种使各个被测量量以不同组合形式出现或改变测量条件获得不同的组合,根据直接测量或间接测量所得数据,解一组联立方程而求出各被测量量的方法叫组合测量。

第三节 误差与修正值

利用任何量具或仪器(包括基准和标准)进行测量时,由于种种原因(有仪器自身的、也有人为的),总存在误差,即测得的结果(读数)总不可能绝对准确地等于被测量量的真值。所谓真值乃是指在一定时间和空间条件下,某物理量所体现的真实数值,或说是客观存在的值。这个真实数值只有用理想无误差(这是不可能的)的量具或仪器进行测量才能得到。

一、绝对误差

设被测量量的真值为 A_0 ,量具或仪器给出的值(叫示值)为 A_x 。那么绝对误差则为

$$\Delta A_x = A_x - A_0$$

1—1

前边已指出,物理量的真值 A_0 是无法知道的。在实际中,通常把高一级标准的仪器测得的值 A 当作 A_0 。测量值 A_x 与 A 之间的差为测量仪器的示值误差,记作

$$\Delta A = A_x - A \quad 1-2$$

1-2 式给出的 ΔA 也称为绝对误差。它可能是正值也可能是负值。由上可见, 具有误差为 ΔA 的测量仪器, 每测得的值 A_x 应加上 $(-\Delta A)$ 才能为“真值” A 。即

$$A = A_x + (-\Delta A) \quad 1-3$$

当然 ΔA 是用上一级标准对测量仪器的修正。故 $C = (-\Delta A)$ 称为被测量仪器的修正。

例如, 某电流表量程为 1mA, 通过检定而得出其修正值为 -0.02mA 。如果用这只电流表测某一未知电流, 其示值为 0.78mA , 所以被测电流的真值 A 为:

$$0.78\text{mA} + (-0.02\text{mA}) = 0.76\text{mA}$$

这里应指出, 从仪器的读数盘上所读的数即读数与示值不是一个概念。当被测量的值可从读数盘上直接读得时, 读数即为示值。当从读数盘上读得的数需经计算才能得到被测量的值时, 那么读数就不是示值, 而计算得到的值才为示值。例如, 一量程为 $500\mu\text{A}$ 的电流表, 其表盘刻度为 0—100, 如果指针指于 75 分度时, 读数为 75, 但示值 A_x 为:

$$\frac{75}{100} \times 500 = 375\mu\text{A}$$

所以在测量中作记录时, 应记下读数和示值, 以便于检查数据。

二、相对误差

由上面分析可见, 绝对误差只给出示值与真值间的差值, 但这往往不能表达测量精度的高低。比如, 一电流表的示值为 $60\mu\text{A}$, 而真值为 $62\mu\text{A}$, 那么绝对误差为 $2\mu\text{A}$ 。如果示值为 $10\mu\text{A}$, 而真值为 $12\mu\text{A}$, 其绝对误差也为 $2\mu\text{A}$ 。虽然这两种情况下的绝对误差相同, 但显然前者的测量精度高, 后者低。所以在实际测量中往往引用相对误差的概念。在相对误差中又有示值相对误差和满度相对误差之分。

(一) 示值相对误差

示值相对误差又简称相对误差。所谓相对误差乃是绝对误差 ΔA_x 与仪器的示值 A_x 之百分比, 通常用 r_x 表示, 即

$$r_x = \frac{\Delta A_x}{A_x} \times 100\% \quad 1-4$$

例如, $\Delta A_x = 2\mu\text{A}$, $A_x = 60\mu\text{A}$, 则相对误差为 $r_x = \frac{2}{60} \times 100\% \approx 3.3\%$

如果 $\Delta A_x = 2\mu\text{A}$, $A_x = 10\mu\text{A}$, 则相对误差为

$$r_x = \frac{2}{10} \times 100\% = 20\%$$

(二) 满度相对误差

满度相对误差又简称满度误差。是用绝对误差 ΔA_x 与仪器的满度值 (即某档之量程) A_m 之百分比来表示的相对误差, 用 r_m 表示, 即

$$r_m = \frac{\Delta A_x}{A_m} \times 100\%$$

1—5

由于 A_m 在某一量程是一个常数, 所以知道 r_m 后很容易知道绝对误差的大小。

电子测量仪表正是按 r_m 之值进行分级的。例如1.5级的表, 表明其 $r_m \leq \pm 1.5\%$, 并在表的面板上标以1.5的符号。如果该表有几个量程, 则所有量程的 r_m 都为 $|r_m| \leq 1.5\%$ 。显然各量程的绝对误差不一样。

我国电工仪表共分七级: 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5及5.0级。

从1—4及1—5式可以看出, 为了减少测量中的示值相对误差, 在选择仪表的量程时应能使指针尽可能指在满度值附近, 一般最好指于满度值2/3以上的区域。

(三) 相对误差的分贝(dB)表示法

在电子测量仪器中, 常常把相对误差表示成分贝(dB)形式。对电流、电压类电参量有:

$$r_{dB} = 20 \lg \left(1 + \frac{\Delta A_x}{A} \right) \text{ (dB)} \quad 1-6$$

对功率类参量有

$$r_{dB} = 10 \lg \left(1 + \frac{\Delta A_x}{A} \right) \text{ (dB)} \quad 1-7$$

如果 $\frac{\Delta A_x}{A} \ll 1$ 则1—6式可简化为

$$r_{dB} \approx 0.87 r_x \text{ (dB)}$$

或 $r_x \approx 1.15 r_{dB}$

1—8

而1—7式可简化为

$$r_{dB} \approx 0.435 r_x \text{ (dB)}$$

或 $r_x \approx 2.3 r_{dB}$

1—9

三、容许误差

容许误差是指根据技术条件的要求, 规定某一类仪器之误差不应超过的最大范围。通常技术说明书及仪器上所标明的误差都是指容许误差。

对容许误差应注意以下两个问题。

1. 容许误差是指某一类仪器所不应超出的误差之最大范围, 并不是指某一台确定仪器的实际误差。比如某一类毫伏表的容许误差为 $\pm 10\%$, 那么这类毫伏表中的任意一台的误差都不超过此值。

2. 容许误差的表示方法可以是绝对误差形式, 也可以是相对误差形式, 也可以是二者的结合。

第四节 误差的主要来源及分类

一、误差的主要来源

用测量仪器进行测量时，所产生的测量误差不仅包含仪器自身的误差，而且还包含因测量方法的不同、外界环境的变化以及操作技术的熟练程度之不同等所造成的误差。在实际中，测量误差也简称为误差。

(一) 仪器误差

仪器误差主要是由仪器本身在电气或机械等性能方面的不完善所产生的误差。它主要包括读数误差、内部噪声引起的误差、不稳定误差及动态误差等。

1. 读数误差。读数误差通常指仪器因校准不准确、刻度不准确以及分辨率不高所造成的误差。

(1) 校准误差。校准误差通常指仪器在出厂时用标准仪器对该仪器的某些校准点（这些点是事前规定的）进行校准（也称定标）时产生的误差。

(2) 刻度误差。为了适应批量生产之特点，一般每类电子测量仪器都采用统一的刻度盘。但由于每一台仪器的特性不可能完全相同，因而在非校准点可能出现不同程度的误差。有时也把刻度误差归为校准误差。

(3) 读数分辨率不高所致的误差。

仪器分辨率是指仪器能读出被测量之最小变化量，分辨率的高低是与仪器的容许误差相适应的。例如，一只0.5级 10mA 电流表，如图 1—1 所示，可以读出小数点后的两位数，比如 9.49mA，但小数点后第二位“9”是估计值。当然估计值是会出现误差的。

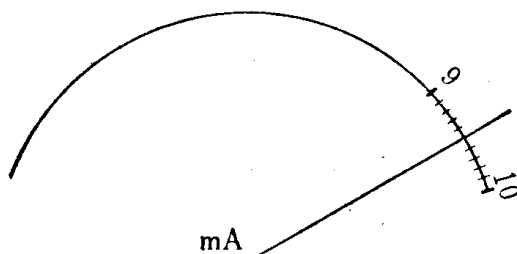


图 1—1

2. 内部噪声引起的误差

一般把仪器内部产生的噪声称为内部噪声、简称噪声。而把来自仪器外部的噪声称为外部噪声或干扰。

噪声包括各种电子器件（如二极管、三极管、电子管及集成电路等）产生的闪烁噪声，电子元件（如电阻）产生的热噪声、散粒噪声、电流噪声以及因开关、接插件接触不良、机器内部电机转动、继电器动作而产生的噪声。另外电源（如稳压源）不稳也会引起噪声。

噪声的存在使测量出现误差，限制了测量灵敏度的进一步提高。

3. 不稳定误差。仪器工作状态是不可能绝对稳定的，它随时间有短期和长期变化行为。

由于环境温度、湿度、气压以及电网电压的波动，会使仪器的某些特性发生变化。

这种变化可能是在几分钟或几小时内进行的，所以是一种短期变化。

由于电子元器件的老化也会引起仪器特性的缓慢变化。这种变化是长时间进行的。这些变化都会引起仪器的零点漂移，放大能力的变化，从而使误差加大。

4. 动态误差。测量仪器对被测量量的变化的响应速度是有限的，即或多或少都有一定的滞后现象。例如，指针式电流表的指针动作速度是有限的，用它测量随时间变化速度较快的电流之瞬时值是不可能得到准确结果的。因仪器的滞后作用，而在测量变化的物理量的瞬时值时所产生的误差叫动态误差。动态误差的存在使测量速度受到限制。

（二）使用误差

使用误差又称操作误差。它是指由于测量仪器与被测量量之间的连接、测量仪器放置的位置及对测量仪器使用不当所引起的误差。例如，有的电流表应垂直安放使用才有较高的准确度。若水平安放，使用时就会产生较大误差。再如，接线过长或未考虑阻抗匹配、接地不良或未按操作规程进行预热、调节、校准等都会产生误差。

（三）人身误差

人身误差是指由于人的感觉器官的感觉功能不完善，在对测量仪器进行观察或监听时所产生的误差。显然不同的人，在同一环境中，使用同一测量仪器和同样测量方法，对同一物理量进行测量时，所得结果是不完全相同的。通过训练、反复练习，提高测量技术，在一定程度上可以减少人身误差。

（四）方法误差

方法误差是指由于测量方法不完善或依据的理论（包括公式）不严密等所产生的误差。例如，用 LC 谐振电路测量电感 L_x 时，若把回路中的电容和电感都看成纯电容和纯电感，则所得电感值就会与实际电感值之间有一定偏差，即出现误差。

二、误差的分类

前面所讲的是误差的来源。不管来源于什么原因，最终都以测量误差而体现出来，因此测量误差是这些原因综合作用之结果。但若从误差所表现的特性来看，误差可按下面几个方面进行分类。

（一）系统误差

系统误差是指在一定条件下，误差的数值保持恒定或按某种确切规律（函数关系）变化的误差。

系统误差主要是测量仪器所固有的，能重复出现的误差，因而这种误差可在测量前知道。

（二）随机误差

随机误差又称偶然误差。比如多次测量同一物理量，我们会发现，由于人在调节测量仪器时不可能每次都把仪器调节到绝对同一状态上，因而测量结果不会完全相同。再如，指针摆到两个刻度之间时，需要靠估计读出最低位数。显然不同的人，估计值是不会一样的。即使同一个人，每次的估计值也不可能完全相同。另外由于周围环境存在着无规律的干扰，也会引起偶然误差。

通过对被测量量的多次测量，然后把多次测量结果相加再除以测量次数（即对多次测量结果求平均）就可减小随机误差。测量次数越多，随机误差就越小。

习 题 一

1. 测量和计量有什么区别和联系？
2. 什么是基准和标准？二者有什么区别和联系？
3. 基准和标准在科研和生产中有什么意义？
4. 为什么直接测量比间接测量往往更易获得较高测量精度？
5. 举例说明间接测量多在什么情况下使用。
6. 每台仪器所给的绝对误差和相对误差是什么含意？它们与允许误差有什么关系？
7. 在绝对误差中，被测量的真值是怎样得到的？
8. 引出绝对误差后为什么还要引出相对误差？
9. 我国电工仪表的级是根据什么划分的？怎样划分的？
10. 如果被测电压在 250V 以内，要求电压表指示的电压值与实际值之差不超过 2V ，请问应选用几级电压表？
11. 产生误差的原因有哪些？
12. 为什么要定期对测器仪器进行计量？
13. 操作误差和人身误差在误差分类中属哪类误差？如何减小之？

第二章 基本电学量的测量方法

在安装、维修各种电器中，使用某些电子测量仪器对电器的电学特性进行测量是必不可少的。为了使测量准确，除正确使用电子测量仪器外，还必须了解和掌握基本电学量的意义及其测量方法。由于基本电学量的意义在电工学中已有详细讨论，这里不再重述。本章将叙述有关电压、电流、电功率及电平的测量方法。

第一节 电压的测量方法

电压的测量基本上是利用直接测量法进行的，但由于电压种类和大小的不同，因此所选用仪表及连接方法也不一样。

一、直流电压的测量

(一) 测量方法

能测量直流电压的仪表有磁电式直流电压表（包括一般万用表的直流电压档）、模拟式电子电压表（如真空管电压表）、数字电压表以及具有直流档的示波器等。

如果所用仪表是没有标明接地符号的（如磁电式电压表、普通指针式万用表及袖珍数字万用表等），那么可将这种仪表直接与被测元件两端相接，进行测量。

如果利用标有接地符号的电子仪表（如真空管电压表、数字电压表以及示波器等）去测量图2—1、图2—2所示元件两端电压，则应该使仪表的地端与被测电路的公共端即地端相接，仪表

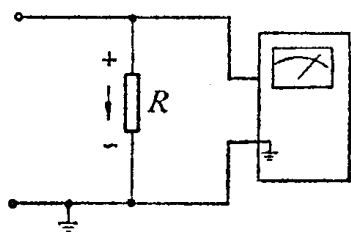


图 2—1

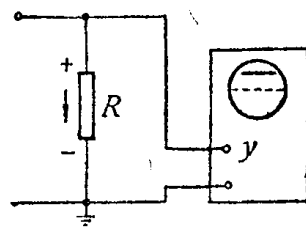


图 2—2

的另一端与元件的非地端相接。这样可大大减小外界干扰，使测量更为准确。

如果被测元件两端都不是接地端（如图2—3中电阻 R_1 ），用具有接地端仪表测其两端电压，则应分别测量该元件两端对地电压 V_1 和 V_2 （如图2—3所示，该元件两端电压 V 为：

$$V = V_1 - V_2$$

(二) 仪表的选择

如欲准确测量直流电压，则必须正确选择仪表的量程、精度及内阻等。

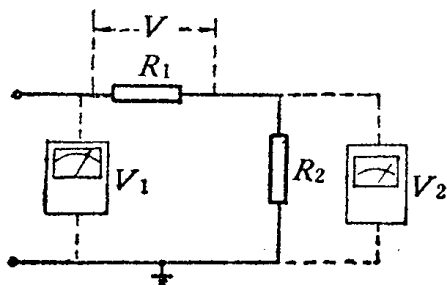


图 2—3

1. 量程的选择。电压表量程应大于被测电压是显而易见之事。但为了使测量准确, 电压表量程以略大于可能出现的最大被测电压值为宜。一般情况下, 磁电式电压表或具有指针式表头的电子仪表, 当指于满量程的三分之二附近时准确度最高。而数字电压表的指示接近满量程时, 仪表本身带来的相对误差也是最小的。

2. 精度的选择。电压表精度的选择以能满足测量精度的基本要求为准。

例如一被测电压在6.5—7.5V间, 当只需电压表能指示出小数点前一位(即个位)数而不需指示小数值、即能指示成7V便可以时, 可选量程为10V, 精度为2.5级的电压表。

如欲让电压表还能正确指出小数点后第一位数, 那么应选择量程为10V, 精度为1.0级的电压表。

磁电式电压表最高精度为0.1级, 它的分辨率可达满量程的0.1%、例如量程为10V, 精度为0.1级的表可准确指出小数点后两位数。

在实际测量中, 上述精度往往是不够的。比如, 某电压实际值是6.5382V, 利用磁电式电压表是不可能准确指出此值的。这时可选用五位半(即 $5\frac{1}{2}$ 位)数字电压表进行测量。关于数字电压表原理及量程在后面第九章中讨论。

3. 电压表内阻的选择。电压表内阻是影响测量准确度的重要因素。

所谓电压表内阻是指电压表两端之间所具有的电阻值。因为若让电压表有指示, 就必须给电压表一定能量(或功率), 即不仅把被测电压加于电压表两端, 而且还须给电压表一定电流。所以电压表两端间相当于一个电阻。通常用 R_g 表示电压表内阻。

现在我们用一内阻为 R_g 的电压表测量如图2—4所示电路中 R_2 两端电压 V_2 。当电压表两端接于 R_2 两端后, 可用图2—5表示之。由图2—5可见, 此时电压表内阻 R_g 与 R_2 并联

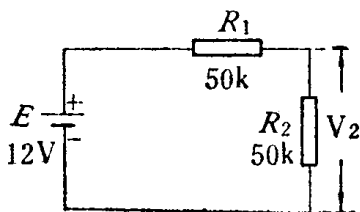


图 2—4

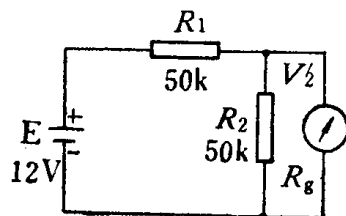


图 2—5

(表示成 $R_2 \parallel R_g$) 所以 R_2 两端电压实际上是 $R_2 \parallel R_g$ 对电源电压的分压值, 即

$$V'_2 = E \cdot \frac{\frac{R_2 \cdot R_g}{R_2 + R_g}}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_g}{R_2 + R_g}}$$

经运算得

$$V'_2 = E \frac{R_2 R_g}{R_1 R_2 + R_1 R_g + R_2 R_g} \quad 2-1$$

设电压表内阻 $R_g = 10\text{k}\Omega$, 并把图2—4、图2—5中 R_1 、 R_2 及 E 值代入上式得

$$V'_2 = 4.8\text{V}$$

注意 $V'_2 = 4.8\text{V}$ 是电压表所指示的数值。但实际上若不接电压表时, 电阻 R_2 两端电压应为

$$V_1 = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

把 R_1 、 R_2 及 E 代入上式得

$$V_1 = 6V$$

由此可见, 由于电压表内阻 R_g 的影响, 使电压表的指示值 (即测量值) 比实际值小许多。

现将 2-1 式进行变换, 即分子分母同除以 $(R_1 + R_2)R_g$, 得

$$V'_1 = E \frac{\frac{R_2}{R_1 + R_2}}{\frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)R_g} + 1}$$

由上式不难看出, 当

$$R_g \gg R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

时 $V'_1 \approx V_1$

因 $R_1 \parallel R_2$ 是电阻 R_1 与 R_2 的并联值, 所以如电源 E 本身电阻很小, 那么该电阻相当于被测两点间的总电阻。因而, 当电压表内阻 R_g 远大于被测两点间电阻, 即

$$R_g \gg R_1 \parallel R_2 \text{ 或 } R_g \gg R_1 \text{ 或 } R_g \gg R_2$$

时, 电压表内阻的影响可以忽略。因此测量某两点间电压时, 所选电压表的内阻一定要远大于这两点间的电阻才行。例如, 当电压表内阻 R_g 为 R_1 或 R_2 的 10 倍时, 由电压表内阻引起的误差约为 10%。

二、交流电压的测量

对交流电压的测量, 在某些方面与对直流电压的测量是类似的, 但在某些方面也有所不同。

(一) 电压表的选择

测量交流电压时应按下述原则选择仪表。

1. 应选择具有测量交流电压功能的仪表。如磁电式交流电压表、有交流电压档的万用表、电子管或晶体管毫伏表、高频毫伏表、具有交流档的数字电压表以及示波器等。

2. 应根据被测电压的频率范围选择仪表。比如, 被测电压频率在数十千赫以下, 则可选用磁电式交流电压表、万用表或电子管、晶体管毫伏表以及普通示波器等。如果被测电压的频率在数十千赫以上, 则应选用视频毫伏表、高频毫伏表以及高频示波器等。

3. 应注意对交流电压测试仪表的量程、精度以及内阻的选择。关于这方面的情况可参照直流电压表选择办法。

(二) 测量方法

如果用没有标明接地符号的便携式普通万用表或袖珍数字万用表交流电压档测量某