

国家教委规划教材

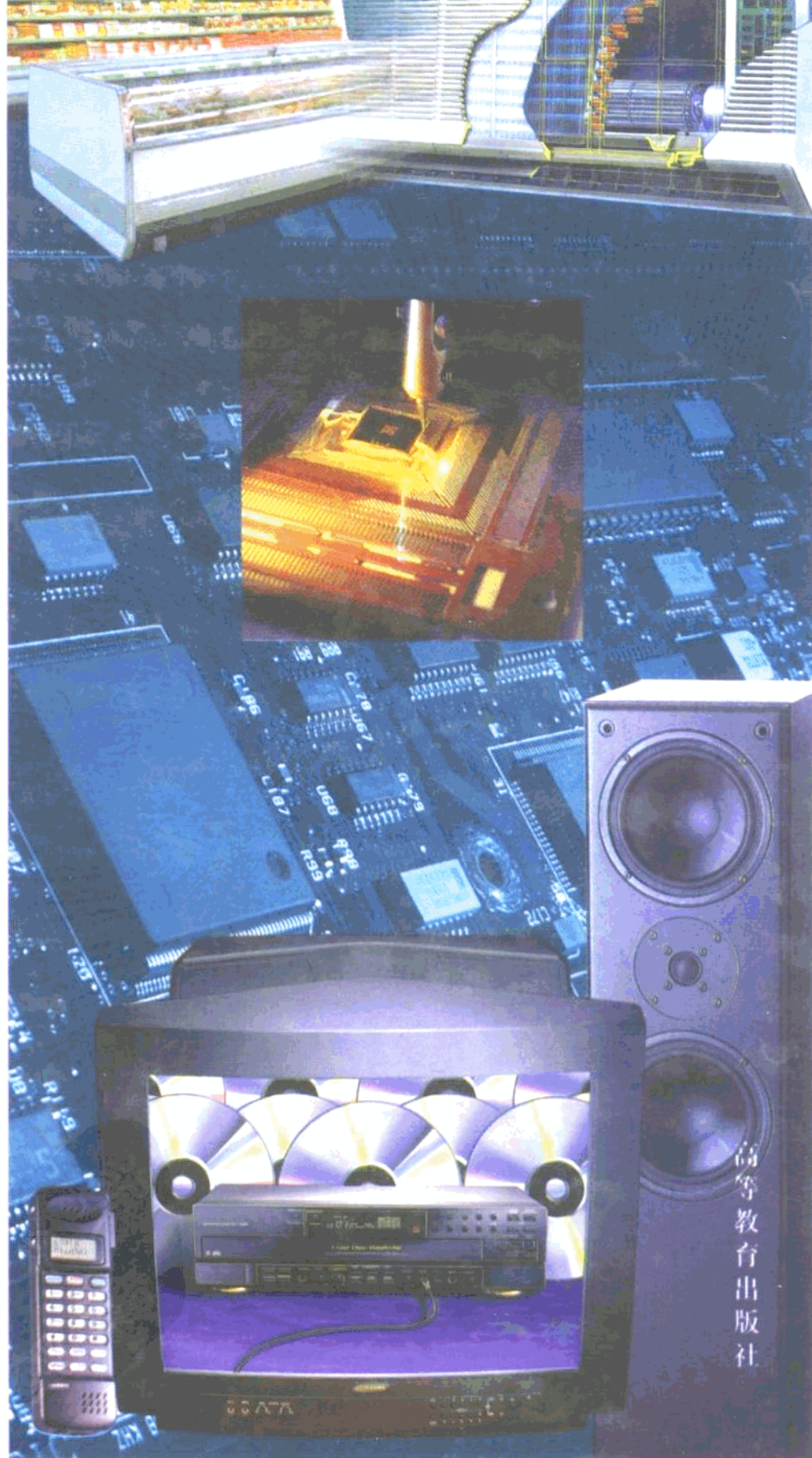
中等职业学校电子电器专业

(含岗位培训 行业中级技术工人等级考核)

全国中等职业学校电子电器专业教材编写组编

陶宏伟 主编

电子设备测量与技能训练



高等教育出版社

国家教委规划教材

中等职业学校电子电器专业

(含岗位培训 行业中级技术工人等级考核)

电子设备测量与技能训练

全国中等职业学校电子电器专业教材编写组编

陶宏伟 主编

高等教育出版社

(京) 112号

内 容 简 介

本书是由国家教委职业技术教育司组织编写的全国中等专业学校电子电器类专业国家教委规划教材。全书是以劳动部、电子工业部最新颁布的家用电子产品维修工中级技术等级标准为依据编写的。

全书共九章,主要讲述电子测量的任务、标准及测量结果处理;模拟式和数字式万用电表、元件参数测量仪器、电子电压表及信号发生器的原理与测量技能;示波器、频率和时间测量仪器、失真度测量仪器、频率特性测量仪器和半导体器件测量仪器的测试原理与测量技能等。

本书突出职业技术教育特点,强调实用性。图文并茂,通俗易懂。

本书可作为职业中学、职业中专、中专、技工电子电器类专业教材,亦可作为电子行业的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电子设备测量与技能训练/陶宏伟主编;李锦萍等编.

北京:高等教育出版社,1997 (2000 重印)

ISBN 7-04-006000-0

I.电… II.①陶… ②李… III.电子设备—测试技术
IV.TN06

中国版本图书馆CIP数据核字 (97) 第09427号

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街55号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 1997年7月第1版

印 张 14.5

印 次 2000年2月第5次印刷

字 数 350 000

定 价 15.60 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

1992年9月,国家教育委员会职业技术教育司召开了由北京、四川、江苏、广东、辽宁、山东、河南、福建、浙江、湖南、天津、内蒙、重庆、武汉、广州、济南等省市教委选派出的专业教师、教研员参加的全国职业高中电子电器专业教学计划审定会,1993年国家教育委员会职业技术教育司又根据该教学计划的要求,召开了专业课程教学大纲审定会。《电子设备测量与技能训练》一书就是按照国家教委颁布的“职业高中电子电器专业教学计划”的基本要求及“电子设备测量与技能训练”教学大纲编写的。本书编写过程中参照了劳动部、电子工业部最新颁布的家用电子产品中级维修工技能鉴定规范标准。通过本书的学习,力求使学生达到该工种对中级工的基本要求,使学生掌握电子技术中有关测量的基本知识和基本技能,全书在电子测量仪器仪表的分析示例中,注意了典型性、代表性,介绍了目前职业学校中常见的仪器、仪表的结构及性能。

根据职业技术教育的要求,本书着重于仪器、仪表的技术性能和应用,略去了复杂的电路原理。在教学内容的安排上尽量突出实用性。

本教材的教学时数为162学时,各章学时分配见下表(供参考)。

章 次	学 时 数	章 次	学 时 数
第一章	4	第六章	28
第二章	12	第七章	15
第三章	18	第八章	31
第四章	12	第九章	22
第五章	20		

本课程是一门实践性很强的课程,在理论教学的同时,应尽可能与电子测量技能与训练的实践同步进行,以达到理论联系实际,学以致用之目的。教学内容应根据专业不同而各有侧重。

本书由北京西城区电子电器职业高中学校陶宏伟担任主编。第一、二章由陶宏伟编写;第三、五、六章由首都师范大学物理系李锦萍编写;第四章由北京阜成路学校刘二慧编写;第七、八、九章分别由北京西城区电子电器职业高中王敏、郭建华、邹平编写。全书由安宪民审阅。

全书在编写中参考了一些电子测量方面的教材及科技书,在此,编者向在本书编写中给予支持和帮助的同志致以谢忱。由于水平有限,书中错误和缺点在所难免,恳请读者提出宝贵意见,以便修改。

编 者

1996年6月

目 录

第一章 电子测量概述(1)	第三节 脉冲信号发生器(98)
第一节 电子测量的任务、特点和内容.....(1)	第四节 彩色/黑白电视图像信号
第二节 电子测量的基准与标准、测量方法和误差.....(2)	发生器.....(108)
第三节 电子测量结果的误差分析和数据处理.....(6)	第六章 电子示波器(121)
第二章 万用电表(11)	第一节 电子示波器的结构及基本原理.....(121)
第一节 模拟式万用电表.....(11)	第二节 通用电子示波器.....(126)
第二节 数字式万用电表.....(21)	第七章 频率和时间测量仪器(155)
第三章 元件参数测量仪器与测量方法(31)	第一节 频率和时间测量仪器的基本原理.....(155)
第一节 电桥法.....(31)	第二节 E434B1型频率计数器.....(160)
第二节 万用阻抗电桥.....(37)	第三节 频率和时间测量仪器的测量技能.....(162)
第三节 LCR数字测量仪.....(46)	第八章 失真度、调制度及频率特性测量仪器(165)
第四节 谐振法.....(51)	第一节 失真度测量仪.....(165)
第五节 品质因数测量仪.....(55)	第二节 调制度测量仪.....(171)
第四章 电子电压表(61)	第三节 频率特性测试仪.....(182)
第一节 模拟式电子电压表.....(62)	第九章 半导体器件测量仪器(199)
第二节 数字式电子电压表.....(70)	第一节 晶体管图示仪.....(199)
第五章 信号发生器(81)	第二节 集成电路测试仪.....(211)
第一节 低频信号发生器.....(81)	参考文献(223)
第二节 高频信号发生器.....(91)	

第一章 电子测量概述

第一节 电子测量的任务、特点和内容

一、电子测量的任务

测量是一种认识过程,就是用实验的方法,将被测量与选作单位的同类量进行比较,从而确定它的量值。例如,用标有刻度的尺子度量课桌的尺寸,从而得知课桌的长度和宽度,这就是一种测量。

测量的定义是,为确定被测对象的量值和计量单位而进行的实验过程。

电子技术的诞生和发展为测量学提供了崭新的手段,同时也扩展了测量的任务,因此出现了电子测量技术这一新的分支。

电子测量是指以电子技术理论为依据,以电子测量设备和仪器为手段,对待测的电量或非电量所进行的测量。本书侧重于电参数的测量。电子测量技术是从事电子技术的人员必须掌握的实验技能。

自20世纪70年代初期开始,由于微电子技术的迅速发展,出现了电子计算机技术与电子测量仪器相结合的一代崭新的仪器及测试系统。用微处理器与电子测量仪器相结合,可组成具有一系列自动测试及自动运算功能的自动化测量仪器,称为“智能”仪器。目前,“智能”仪器以及由微型计算机与若干可编程控制的电子测量仪器组成的自动测试系统已成为现代电子测量仪器的主流和发展的方向。

二、电子测量的特点

电子测量的主要特点有:

1. 频率范围宽

除测量直流电量外,测量交流电量的频率范围为 $10^{-4}\text{Hz}\sim 10^{11}\text{Hz}$ 。随着电子技术的发展,目前还在向着更高频段发展。当然在不同频率范围内,不仅被测量的种类会有所不同,并且所采用的测量方法和使用的仪器也不同。例如,在直流、低频和高频范围内,电流和电压的测量需要采用不同类型的电流表和电压表。

2. 量程广

量程是测量范围上限值与下限值之差。由于被测量的数值相差很大,因而要求测量仪器具有足够的量程。普通的欧姆表,可测量几欧至几十兆欧的电阻,量程达8个数量级;数字电压表可测量 $10\text{nV}\sim 1\text{kV}$ 的电压,量程达12个数量级;而数字式频率计,其量程可达17个数量级。

3. 准确度高

电子测量的准确度高得比其它测量方法高得多。例如,普通长度测量的准确度最高为 10^{-8} ,而用电子测量方法对频率和时间进行测量时,由于采用原子频标和原子秒作为基准,可以使测量准确度达到 10^{-13} 的量级,是目前物理量测量中准确度最高的。

4. 测量速度快

由于电子测量是通过电磁波的传播和电子的运动来进行的,因而可实现测量过程的高速度。

5. 可进行遥测并实现测量过程的自动化

电子测量的一个突出优点是可以通过各种类型的传感器实现遥测。这对于远距离(如人造卫星)或人体难以接近的地方(如深海、地下、高温炉等)的测量具有特殊的意义。

电子测量同计算机相结合,使测量仪器智能化。可以进行自动测量、自动记录、自动完成数据的运算、分析和处理,便于组成自动化测量系统。

三、电子测量的内容

电子测量的内容很广,对于集中参数电量来说,其测量内容有以下几个方面。

1. 基本电量的测量

基本电量的测量主要包括电流(I)、电压(U)、功率(P)、电场强度(E)等的测量。

2. 电路参数的测量

电路参数的测量包括电阻(R)、电容(C)、电感(L)、阻抗(Z)、品质因数(Q)等的测量。

3. 电信号波形的显示及波形特征的测量

电信号波形的显示包括正弦波、锯齿波、矩形波、尖脉冲等波形的显示。电信号波形特征的测量包括频率(f)、周期(T)、相位(ϕ)、调幅度(M)、失真度(γ)等的测量。

4. 电子设备性能的测量

电子设备性能的测量包括放大量(A)、灵敏度(S)、通频带(BW)、信噪比(S/N)等的测量。

5. 电信号特性曲线的显示

特性曲线的显示包括晶体管特性曲线、鉴频曲线等的显示。

第二节 电子测量的基准与标准、测量方法和误差

一、电子测量的基准与标准

要保证测量的统一和准确,就要涉及计量单位及其基准、标准的建立;测量方法和计量器具;测量的准确度等方面的问题。

测量中采用的具有标准化计量性能的工具称为测量器具。测量器具分为量具和测量仪器。量具是用来复制标准量的器具,测量仪器则用来形成便于使用者直接接受的信号,如连续函数示值或数字形式示值。

为了保证测量的准确性、统一性和稳定性,国家为各种基本物理量(如电压、电容等)规定了基准和标准。

1. 基准

基准是以法定基本单位的定义为依据,用现代科学技术及工艺建立起来的、用来复现基本单位且具有最高准确度的计量器具。一般将基准划分为三级。

(1) 主基准,又称国家基准,它是用来复现和保存计量单位,具有现代科学技术所能达到的最高准确度的计量器具,经国家鉴定并批准,作为统一全国计量单位量值的最高依据。

(2) 副基准,又称次基准,用来代替主基准向下一级传递量值。

(3) 工作基准,它用来直接向下属标准量具和测量仪器进行量值传递。它在全国作为复现计量单位的地位仅在国家基准及副基准之下。设立工作基准的目的是不使国家基准由于使用频繁而丧失其应有的准确度或遭到损坏。

实际上,基准并不仅限于具体器具,而且基准器具的量值也并不一定恰好等于一个计量单位,如标准电池复现的是1.0186V,而不是1V。

2. 标准

计量标准是按国家规定的准确度等级,作为检定依据用的计量器具或物质,标准按准确度等级又分一级标准、二级标准和三级标准。

可以这样理解基准和标准。例如,用一块直流电压表测量普通干电池的电压,此时以直流电压表作为标准。那么测量结果的准确度如何呢?这就需要计量部门进行检定。国家计量部门拥有作为国家基准的标准电池,省市级计量部门可能拥有副基准和工作基准的标准电池,使用工作基准的标准电池对直流电压表进行检定,便可知作为标准的直流电压表的准确度和修正值。

二、测量方法

根据不同情况,测量方法有很多种。对于这些测量方法,可以从不同角度进行分类。例如,根据测量过程中被测量是否随时间变化,可分为静态测量与动态测量;根据测量数据是否需通过基准量的测量而求得,可分为绝对测量与相对测量;根据所得结果的获取方法可分为直接测量与间接测量等。下面介绍电子测量中常用的测量方法。

1. 直接测量与间接测量

(1) 直接测量

直接测量是利用测量器具对某一未知量直接进行测量,无需对被测量与其它实测的量进行函数关系的辅助计算,而直接得到被测量值的测量方法。例如用电压表测量电压等。

(2) 间接测量

间接测量不是直接测量被测量,而是测量与被测量有一定函数关系的其它量,从而得到该被测量值的测量方法。例如,直接测出电阻 R 的阻值及其两端的电压 U ,由公式 $I=U/R$ 可求出被测量电流 I 的值。

当被测量不便于直接测量,或者间接测量的结果比直接测量更为准确时,多采用间接测量方法。例如通过测量集电极电阻上的电压,再经计算得到晶体管集电极电流,比断开电路串入电流表的方法更简便易行。

2. 直读测量法与比较测量法

(1) 直读测量法

直读测量法是直接从仪器仪表上读出测量结果的方法。例如用电压表测量电压。

(2) 比较测量法

在测量过程中,使被测量与标准量进行比较而获得测量结果的方法称为比较测量法。利用标准电阻(电容、电感)和电桥对被测量进行测量就是典型的例子。

需要注意的是,直读法与直接测量,比较法与间接测量并不相同,二者互有交叉。例如用电桥测电阻,是比较法,属于直接测量;用电压、电流表来测量功率,是直读法,但属于间接测量等等。

3. 时域测量、频域测量和数据域测量

(1) 时域测量

时域测量用于测量电压、电流等电量,这些量有稳态值和瞬时值之分。前者多用仪表指示,后者可以通过示波器等显示其变化规律。

(2) 频域测量

频域测量用于测量增益、相移等,一般是通过分析电路的频率特性或频谱特性等方法进行测量。

(3) 数据域测量

这是用逻辑分析仪对数字量进行测量的方法。逻辑分析仪具有多个输入通道,可以同时观测许多单次并行的数据。例如可以观测微处理器地址线、数据线上的信号,可以显示时序波形,也可以用0、1显示其逻辑状态。

三、电子测量的误差

使用任何量具或仪器进行测量时,总存在着误差。因此,测量结果不可能准确地等于被测量的真值(被测量的真实大小),而只是其近似值。

1. 误差的表示方法

(1) 绝对误差

若被测量的真值为 A_0 ,测量仪器的示值为 x ,则得到绝对误差为

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

由于真值 A_0 一般无法求得,故常用高一标准仪器测量的示值 A 代替真值, x 与 A 之差称为仪器的示值误差,记为

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

由于式(1-2)以代数差的形式给出了误差绝对值的大小及符号,故通常称为绝对误差。

绝对值与 Δx 相等但符号刚好相反的值,称为修正值,一般用 C 表示

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

受检仪器的修正值一般是通过检定(校准)由上一级标准(或基准)以表格、曲线或公式的形式给出。

在测量时,利用示值与已知的修正值相加,即可计算出被测量的实际值。

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

例如,用某毫伏表10mV挡测量电压的示值为8mV,在检定时8mV刻度处的修正值是 $(-0.03)\text{mV}$,则被测电压的实际值为

$$A = U = 8\text{mV} + (-0.03)\text{mV} = 7.97\text{mV}$$

(2) 相对误差

为了说明测量的准确程度,经常采用相对误差的形式。

因为一般情况下得不到真值, 所以用绝对误差与实际值之比来表示相对误差称为实际相对误差, 用 γ_A 表示

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

如前例, 已知 $\Delta x = -C = 0.03\text{mV}$, $A = U = 7.97\text{mV}$, 故

$$\gamma_A = \frac{0.03}{7.97} \times 100\% = 0.00376 \times 100\% \approx 0.38\%$$

在误差较小、要求不太严格的场合, 也可以用仪器测得值代替实际值。这时的相对误差称为示值相对误差, 用 γ_x 表示

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

同前例, 已知 $\Delta x = 0.03\text{mV}$, $x = 8\text{mV}$, 故

$$\gamma_x = \frac{0.03}{8} \times 100\% = 0.00375 \times 100\% \approx 0.38\%$$

满度相对误差是用绝对误差 Δx 与仪器的满度值 x_m 之比来表示的相对误差, 即

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

电工仪表正是按 γ_m 值划分等级的, 例如2.5级的电表, 就表明其 $\gamma_m \leq \pm 2.5\%$, 并在面板上标以2.5的符号。

比较式(1-7)和(1-6)可以看出: 为了减少测量中的示值误差, 在选择量程时应使指针尽可能接近于满度值。一般最好工作在不小于满度值2/3以上的区域, 在前例中, 用毫伏表测电压时选择的量程为10mV, 示值为8mV, 量程的选择是合理的。

用分贝(dB)表示的相对误差在电子测量仪器中应用十分广泛。对于电流、电压等电参量, 有

$$\gamma_{dB} = 20 \lg \left(1 + \frac{\Delta x}{x} \right) \text{dB} \quad (1-8)$$

对于功率类电参量, 有

$$\gamma_{dB} = 10 \lg \left(1 + \frac{\Delta x}{x} \right) \text{dB} \quad (1-9)$$

当误差不大时, 它与一般的相对误差之间有下列近似关系:

对于电流、电压等电参量, 有

$$\gamma_{dB} \approx 8.69 \gamma_x \quad \text{dB} \quad (1-10)$$

对于功率类电参量, 有

$$\gamma_{dB} \approx 4.3 \gamma_x \quad \text{dB} \quad (1-11)$$

例如, 用WFa-1型高频微伏表测量2MHz以下电压的误差为0.5dB。如用一般相对误差表示, 则有

$$\gamma_x \approx \frac{\gamma_{dB}}{8.69} = \frac{0.5}{8.69} = 0.0575 \approx 5.8\%$$

(3) 容许误差

容许误差是根据技术条件的要求,规定某一类仪器误差不应超出的最大范围,又称极限误差。一般仪器技术说明书上所标明的误差,即是指容许误差。

容许误差的表示方法既可以用绝对误差形式,也可以用各种相对误差形式,或者用两者结合起来表示。在指针式仪表中,容许误差就是满度相对误差 γ_m 。

容许误差是指某一类仪器不应超出的误差最大范围,并不是指某一台确定仪器的实际误差。假如有几台合格的毫伏表,技术说明书给出的容许误差是 $\pm 2\%$,则只能说这几台毫伏表的误差不超过 $\pm 2\%$,并不能由此判断其中每一台的误差。

一般电子测量仪器的误差有4种:工作误差、固有误差、影响误差及稳定误差。

工作误差是电子测量仪器在额定工作条件下的仪器误差极限。这种表示方法的优点是对使用者非常方便,可以利用工作误差直接估计测量结果误差的最大范围;缺点是,它是在最不利的组合条件下给出的误差,而实际应用在这种工作条件的可能性很小。因此,用仪器的工作误差来估计测量结果的误差会偏大。

固有误差是在规定的一组影响量的基准条件下给出的误差。由于基准条件是比较严格的,所以这种误差指标能够更准确地反映仪器所固有的性能。便于在相同条件下,对同类仪器进行比较和校准。

影响误差是当一个影响量在额定使用范围内取任一值,而其它影响量和影响特性均处于基准条件时所测得的误差,例如温度误差、频率误差等。只有当某一影响量在工作误差中起重要作用时才给出影响误差。

稳定误差是仪器的标称值在其它影响量及影响特性保持恒定的情况下,于规定时间内所产生的误差极限。习惯上以相对误差形式给出或注明最长连续工作时间。

使用者可能还会遇到以前规定的电子仪器的误差表示方法,如基本误差和附加误差。基本误差就是固有误差,只是基准条件宽一些。附加误差类似于影响误差,但又不完全相同。它是指规定工作条件中的一项或几项发生变化时,仪器产生的附加误差。所谓规定工作条件的变化,可以是使用条件发生变化,也可以是被测对象参数发生变化。

不同的电子测量仪器,其技术说明书采用了不同的误差表示方法。如DS-33型交流数字电压表给出了工作误差、固有误差等四种误差,而MF-20型万用电表则给出了基本误差和附加误差。

第三节 电子测量结果的误差分析和数据处理

一、电子测量结果的误差分析

1. 测量误差及其主要来源

测量误差是指用测量仪器进行测量时,所得到的指示值与被测量的实际值之差。它是多种误差因素共同作用的结果。

(1) 仪器误差

仪器、仪表本身及其附件所引入的误差称为仪器误差。例如电桥中的标准电阻、示波器的探

极线等都含有误差。仪器、仪表的零位偏移、刻度不准确以及非线性等引起的误差均属仪器误差。

(2) 使用误差

使用误差又称操作误差,它是指在使用过程中,由于未严格遵守操作规程所引起的误差。例如,将按规定应垂直安放的仪表水平放置,仪器接地不良,测试引线太长而造成损耗或未考虑阻抗匹配,未按操作规程进行预热、调节、校准后再测量等,都会产生使用误差。

(3) 影响误差

由于各种环境因素与要求条件不一致所造成的误差称为影响误差。例如温度、湿度、电源电压、电磁场影响等所引起的误差。

(4) 方法误差和理论误差

由于测量方法不合理所造成的误差称为方法误差。例如用普通万用电表测量电路中高阻值电阻两端的电压,由于万用电表电压挡内阻不高而形成分流作用引起的误差即为方法误差。用近似公式或近似值计算测量结果时所引起的误差则称为理论误差。

(5) 人身误差

人身误差是由于测量者的分辨能力、视觉疲劳、固有习惯或缺乏责任心等因素引起的误差。例如读错刻度、念错读数等。对于某些需借助于人眼、人耳来判断结果的测量以及需进行人工调节等的测量工作,均会引入人身误差。

在测量工作中,对于误差的来源必须认真分析,采取相应措施,以减小误差对测量结果的影响。

2. 测量误差的分类

根据误差的性质,测量误差分为系统误差、随机误差和疏失误差三类。

(1) 系统误差

在相同条件下,多次测量同一量时,误差的绝对值和符号保持不变,或在条件改变时,按一定规律变化的误差称为系统误差。例如仪表刻度的偏差,使用时的零点不准,温度、湿度、电源电压等变化造成的误差便属于系统误差。

系统误差的特点是,测量条件一经确定,误差即为一确切数值。用多次测量取平均值的方法,并不能改变误差的大小。系统误差的产生原因是多方面的,但总是有规律的。针对其产生的根源采取一定的技术措施,可设法减小它的影响。例如,对零点不准的仪器重新调整零点,即可减小系统误差。

(2) 随机误差

随机误差又称偶然误差,它是指在相同条件下,多次测量同一量值时,绝对值和符号均以不可预定方式变化的误差。例如温度及电源电压频繁波动,电磁场干扰和测量者感觉器官无规律的微小变化等引起的误差便属于随机误差。

随机误差在足够多次测量时,其总体服从统计规律,可以通过对多次测量值取算术平均值的方法来削弱随机误差对测量结果的影响。

(3) 疏失误差

疏失误差又称粗大误差,它是指在一定的测量条件下,测量值明显地偏离实际值所形成的误差。

产生疏失误差的主观原因有:测量者过于疲劳,缺乏经验,操作不当或责任心不强而造成读

错刻度、记错数字或计算错误等;客观原因有: 测量条件的突然变化, 例如电源电压波动、机械冲击等引起仪器示值的改变。

凡确认是疏失误差的测量数据应该剔除不用。

3. 一次测量时误差的估计

实际工作中, 在要求不高的情况下, 通常对被测量只进行一次测量, 这时测量结果可能出现的最大误差与测量方法和仪器选用有关。

直接测量时, 最大可能的测量误差就是仪器的容许误差。如何从测量仪器、仪表的准确度等级来确定测量误差呢?

根据示值相对误差公式, 可以得到最大的示值相对误差公式

$$\gamma_{xm} = \frac{\Delta x_m}{x} \times 100\% \quad (1-12)$$

在只考虑基本误差的情况下, 若仪器的准确度为 D , 仪器的满度值为 x_m , 则仪器、仪表的最大绝对误差为 $\Delta x_m = \pm D\% \times x_m$, 于是有

$$\gamma_{xm} = \pm D\% \times \frac{x_m}{x} \quad (1-13)$$

可见, γ_{xm} 不仅与仪器、仪表的准确度 D 有关, 而且与满度值 x_m 和示值 x 的比值有关。其比值愈大, γ_{xm} 愈大, 即测量误差愈大。

例如, 用满刻度为150V、准确度为1.5级的模拟式电压表测两个大小不同的电压, 所测结果分别为100V和10V, 则相对误差分别为

$$\gamma_{xm} = 1.5\% \times \frac{150}{100} = 2.25\%$$

$$\gamma_{xm} = 1.5\% \times \frac{150}{10} = 22.5\%$$

因此, 为提高测量准确度, 减小误差, 应使被测量出现在接近满刻度区域。

二、电子测量结果的数据处理

测量结果通常用数字和图形两种形式表示。对用数字表示的测量结果, 在进行数据处理时, 要制订出合理的数据处理方法。对于以图形表示的测量结果, 应考虑坐标的选择和正确的作图方法, 以及对所作图形的评定或经验公式的确定等。

1. 测量结果的数据处理

(1) 测量数据的舍入

由于测量数据是近似值, 因此在处理数据时, 要进行舍入处理。

运用“四舍五入”规则时, 对于数字5只入不舍是不合理的。5是1~9的中间数字, 应当有舍有入。所以在测量技术中规定: “小于5舍, 大于5入, 等于5时采取偶数法则”。也就是说, 以保留数字的末位为基准, 它后面的数大于5时末位数字加1, 小于5时舍去, 恰好等于5时, 将末位凑成偶数(即末位原为奇数时加1, 原为偶数时不加)。

例: 将下列数字保留三位

$$16.34 \rightarrow 16.3 (\text{因为 } 4 < 5)$$

16.36→16.4(因为6>5)

16.35→16.4(因为3是奇数,5入)

16.45→16.4(因为4是偶数,5舍)

当舍入次数足够多时,因末位数字为奇数和偶数的概率相同,故舍和入的概率也相同,从而可使舍入误差基本抵消。

由上述可见,每个数据经舍入后,其末位是欠准数字,末位以前的数字是准确数字。通常认为,当测量结果未注明误差时,则认为最后一位数字有“0.5”的误差,称为“0.5误差原则”。

(2) 有效数字的正确表示

在测量过程中,由于存在误差,测量结果数字的位数不必太多,当然也不宜太少。因此合理地确定测量结果的位数,即对有效数字问题必须引起重视。

所谓有效数字是指从左边第一个非零的数字开始,直到右边最后一个数字为止的所有数字。“0”在一个数中,可能是有效数字,也可能不是有效数字。例如0.02030MHz,“2”前面的两个“0”不是有效数字,中间及末尾的“0”都是有效数字。因为前面的“0”与测量准确度无关,当转换成另一单位时,它可能就不存在了,将上例变换为20.30kHz后,前面的“0”即没有了。

数字尾部的“0”很重要。20.30表示测量结果精确到百分位。而20.3则表示精确到十分位。由此可见,整理测量数据时应严格的规定。

决定有效数字位数的根据是误差。并非写出的位数越多越好,多写位数,就夸大了测量准确度;少记位数将带来附加误差。对测量结果有效数字的处理原则是:根据测量的准确度来确定有效数字的位数(允许保留一位欠准数字),再根据舍入规则将有效位以后的数字作舍入处理。

例如,某电压测量值为6.471V,若测量误差为 $\pm 0.05V$,则该值应改为6.47V,取3位有效数字即可。有效数字的位数与小数点的位置无关,与所采用的单位也无关,只由误差的大小决定。这应当是十分明确的。

2. 测量结果的图解分析

表示一个测量结果,除了用数据以外,还经常使用各种曲线,即将被测量随某一个或几个因素(例如电压、频率、时间等)变化的规律用相应的曲线表示出来,以便于分析。

由于测量过程中存在误差,尤其是随机误差,它使测量的数据点不可能全部落在一条光滑的曲线上。将大量的包含误差的测量数据绘制成一条尽量符合实际情况的光滑曲线,这种工作称为曲线修匀。在要求不太高的测量中,常采用分组平均法来修匀曲线。

这种方法是把各数据点分成若干组,每组包含2~4个数据点,每组点数可以不相等,然后分别估取各组的几何重心,再将这些重心连接起来。由于进行数据平均,可以在一定程度上减少随机误差的影响,从而使曲线较为符合实际情况。

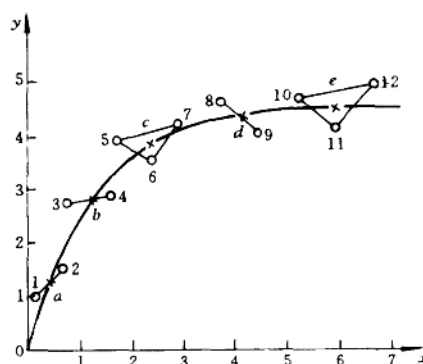


图 1-1 用分组平均法修匀曲线

如图1-1所示,将数据点1,2为一组,其重心为a点;点3,4为一组,其重心为b点;点5,6,7为一组,重心为c点;点8,9为一组,重心为d点;点10,11,12为一组,重心为e点。将a~e点连接起来,稍

作平滑,即为所求曲线。由图可见,重心点基本在平滑线上,这样就可以减小绘制曲线时的人为误差。

为了便于绘制曲线,在测量过程中,要注意数据点的选择,根据曲线的具体形状,使数据点沿曲线附近均匀分布,在曲线变化急剧的地方测量数据要多取一些。

在作图前,要选好坐标。常用的是直角坐标,有时也采用极坐标、对数坐标。坐标的分度应考虑误差的大小。分度过细会夸大测量准确度;分度过粗会增加作图误差。

习题与思考题

1. 简述电子测量的意义和主要特点。
2. 简述电子测量误差的分类。
3. 若测量10V电压,现有两只电压表,一只量程为150V,0.5级;另一只为15V,2.5级。问选用哪一只电压表测量更准确?
4. 测量两个电压,其实际值为 $U_1=100\text{V}$, $U_2=5\text{V}$;而测量值分别为101V和6V。求绝对误差。

第二章 万用电表

万用电表是一种可以进行多种项目测量的便携式仪表,是电子技术工作中常用的仪表之一。

万用电表简称万用表,又称三用表或复用表。它实际上是多量程的安培表、多量程的电压表和多量程的欧姆表组合在一起,共用一只表头而构成的。在此基础上,又派生了电容、电感、电平、晶体三极管的静态放大系数等测量项目。由于它的用途多而被称之为万用电表。

万用电表可分为模拟式和数字式。模拟式万用电表是由指针式表头显示被测量数值。这种仪表已有一百多年的历史了,它具有结构简单、读数方便、可靠性高、价格便宜等特点,因此,至今仍得到广泛的应用。数字式万用电表通常由液晶显示器显示被测量数值,彻底摆脱了传统的指针式表头,并正向智能化方向发展。

第一节 模拟式万用电表

一、模拟式万用电表的基本原理

模拟式万用电表实际上是用一只比较灵敏的永磁动圈式直流电流表(通常是直流微安表),借助于特制的转换开关,将电阻器、半导体二极管、电池等器件连接成各种电路构成的,可用于进行直流电流、直流电压、电阻和交流电压等的测量。有的万用电表还具有测量电容量、电感量、晶体三极管 h_{FE} 值的功能。现分述其基本工作原理。

1. 测量直流电流的电路

模拟式万用电表的表头是一只直流微安表,它是测量电路的主要组件。测量直流电流的电路,实际上就是直流微安表扩展量程的电路。

直流电流表扩展量程的方法是采用并联分流器,使实际流过表头的电流仅为被测电流的一部分,如图2-1所示。例如,若表头自身的量程为 I_g ,欲扩展1000倍,则流过分流电阻 R 的电流应为999 I_g 。显然,量程扩展的倍数越大,与表头并联的分流电阻的阻值就应越小。如果使表头分别并联不同阻值的分流电阻,并通过转换开关进行控制,就能得到不同量程的电流表。

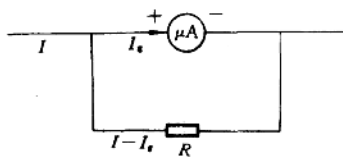


图 2-1

万用电表直流电流挡分流器电路有两种接法。一种是单独并联式,也称独立分挡式,如图2-2所示,其突出优点是分流电阻互不影响,维修方便;缺点是,当分流电阻接触不好或断开时,被测电流将会通过表头组件,从而发生指针打弯甚至烧毁电表的严重后果,所以实际上这种接法在万用电表中很少采用。另一种是闭路串、并联式,也称闭路抽头式,如图2-3所示,这种接法克服了

图2-2所示电路的缺点, 因而在万用电表电路设计中被广泛采用。

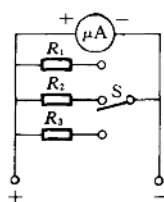


图 2-2 单独并联式

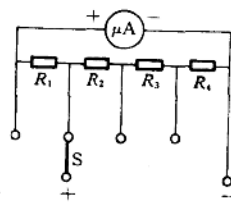


图 2-3 闭路串并联式

2. 测量直流电压的电路

一只内阻为 R_g ，满偏转电流为 I_m 的表头，本身就是一只量程为 $R_g I_m$ 的电压表，但是其满偏转的电压降一般在数十毫伏至数百毫伏之间。为了测量大于表头端电压的电压值，就要采取串联电阻的方法来扩展其量程，这个电阻称为倍率电阻。如果需要多量程的直流电压表，必须采用多个倍率电阻构成倍率器，如图2-4所示的独立分挡式电路。为了节省元件，在上述电路的基础上，产生了图2-5所示的串联抽头式电路，它的倍率电阻是高电压挡建立在低电压挡上，或者说低电压挡是高电压挡倍率电阻的抽头。为了避免利用低电压挡测量低电压时，影响测量结果的准确性，又产生了图2-6所示的混合式电路。这种电路可获得不同挡级的不同电压灵敏度。

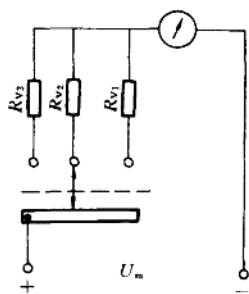


图 2-4 独立分挡式电路

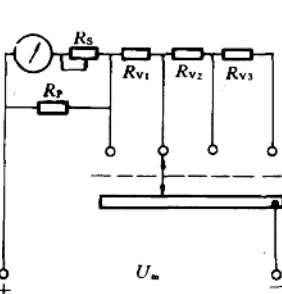


图 2-5 串联抽头式电路

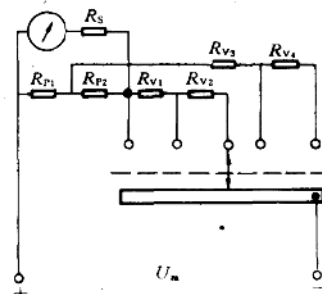


图 2-6 混合式电路

3. 测量交流电压的电路

万用电表中的表头是一只直流微安表，要测量交流电，必须通过“整流电路”将交流电转变为直流电，然后才能进行电压(或交流电流)的测量。

整流电路中的主要器件是整流器，早期生产的万用电表中多使用氧化亚铜整流器，现在则多使用锗或硅二极管整流器。

万用电表中的整流电路，有半波整流式和全波整流式两种。半波整流式大多采用串—并联二极管的电路，如图2-7所示。全波整流式采用桥式全波整流电路，如图2-8所示。

交流电压测量中，扩展量程用的倍率器结构与直流电压测量用的倍率器相同，一般都采用先降压后整流的方式。