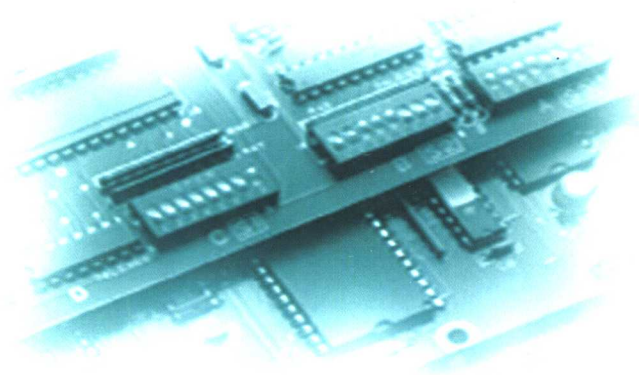


高职高专电子技术系列教材

电子测量技术

DIANZI CELIANG JISHU

主编 杨建平



重庆大学出版社

93

00

电子测量技术

主 编 杨建平

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书通过介绍常用电子仪器的工作原理来着重讲述电子测量的原理及方法。内容包括:误差分析和数据处理、电子示波器、信号发生器、电子电压表、晶体管特性测试仪、数字频率计以及频率特性测试仪等常用仪器的使用。本书以理论够用为度,注重实际操作,突出应用,培养技能为教学重点。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校的电气、电子、通信、自动化等专业的教材,也可供从事电子技术的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子测量技术/杨建平主编. —重庆:重庆大学出版社,2004.8

高职高专电子技术系列教材

ISBN 7-5624-3213-9

I. 电... II. 杨... III. 电子测量—高等学校:技术学校—教材 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 075159 号

电子测量技术

主 编 杨建平

责任编辑:曾显跃 版式设计:曾显跃

责任校对:何建云 责任印制:秦 梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鹤盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆铜梁正兴印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:7.5 字数:187 千

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—5 000

ISBN 7-5624-3213-9/TN·91

定价:11.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究

前言

本套教材紧密结合高职高专教育的特点,主动适应社会的需要,突出应用性、针对性,加强实践能力的培养。内容叙述力求深入浅出,将知识点与能力有机结合,注重培养学生的工程应用能力和解决现场实际问题的能力;内容编排力求简洁明快、形式新颖、目标明确,利于促进学生的求知欲和学习主动性。

根据高职人才培养规格的具体要求,“电子测量技术”课程是目前高等职业技术学院电子类及其相关专业的一门重要的课程。本教材编写者均是长期从事高等职业技术教育、担任电子仪器与测量技术课程讲授的第一线教学人员和长期从事电子测量仪器检定与维修的工程技术人员。

本教材参考学时数为 60 学时。全书共分 7 章,每章后都配有一定量的习题。本教材注重实践和应用,强调仪器的实际操作使用。

本教材由杨建平任主编,负责全书的统稿和编写了第 1 章、第 2 章和第 6 章;汪明添编写了第 7 章;曾忠宇编写了第 3 章和第 5 章;尚冬梅编写了第 4 章。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和错误,殷切希望读者批评指正。

编 者

2004 年 3 月

目 录

第1章 电子仪器及测量技术基础	1
1.1 电子测量的意义及特点	1
1.2 测量误差的基本概念	4
1.3 电子测量仪器概述	8
习题	10
第2章 电子示波器	11
2.1 概述	11
2.2 示波管波形显示原理	12
2.3 示波器的基本原理	16
2.4 示波器的应用	25
习题	29
第3章 信号发生器	30
3.1 概述	30
3.2 低频信号发生器	32
3.3 高频信号发生器	37
3.4 脉冲信号发生器	42
3.5 合成信号发生器	45
习题	49
第4章 电子电压表	50
4.1 概述	50
4.2 模拟式电子电压表	51
4.3 数字式电子电压表	63
习题	68
第5章 数字式频率计	70
5.1 概述	70
5.2 数字式频率计的基本工作原理	71
5.3 HWS3342 多功能计数器	79
5.4 其他测量频率的方法	82
习题	85

第 6 章 晶体管图示仪·····	86
6.1 概述·····	86
6.2 晶体管图示仪的基本工作原理·····	86
6.3 DW4822 型晶体管图示仪的使用·····	89
习题·····	95
第 7 章 频率特性测试仪·····	96
7.1 概述·····	96
7.2 频率特性测试仪基本工作原理·····	97
7.3 BT-3 频率特性测试仪·····	101
7.4 BT-3 频率特性测试仪常见故障与维修·····	106
习题·····	111
参考文献·····	112

第 1 章

电子仪器及测量技术基础

1.1 电子测量的意义及特点

1.1.1 电子测量的意义

(1) 测量

测量是人类对自然界的客观事物取得数量概念的一种认识过程。在这一过程中,人们通常借助于专门的设备,依据一定的理论,通过实验的方法来确定被测量的量值。量值由数值和计量单位两部分组成,没有计量单位的量值是没有物理意义的。

一个问题的研究,尤其是现代科学研究,往往需要大量的测量、统计、分析和归纳工作,在此基础上,测量学已经逐步成为一门完整、系统、理论与实践相结合的综合学科。

(2) 电子测量

电子测量是测量学的一个分支,它泛指一切以电子技术为基本手段的一种测量。在电子测量过程中,是以电子技术理论为依据、电子测量仪器和设备为手段,对各种电量、电信号以及电路元器件的特性和参数进行的测量,它还可以通过各种传感器对非电量进行测量。

(3) 电子测量的意义

电子测量涉及从直流到极宽频率范围内所有电量、磁量以及各种非电量的测量。如今,电子测量已成为一门发展迅速、应用广泛、精确度越来越高、对现代科学技术的发展起着巨大推动作用的独立学科。电子测量不仅应用于电学各专业,也广泛应用于物理学、化学、光学、机械学、材料学、生物学、医学等科学领域,以及生产、国防、交通、信息技术、贸易、环保乃至日常生活领域等各个方面。

电子测量在信息技术产业中的地位尤为重要。信息技术产业的研究对象及产品无一不与电子测量紧密相连,从元器件的生产到电子设备的组装调试,从产品的销售到维护都离不开电子测量。如果没有统一和精确的电子测量,就无法对产品的技术指标进行鉴定,也就无法保证产品的质量。所以,从某种意义上来说,电子测量的水平是衡量一个国家科学水平的重要标志之一。

1.1.2 电子测量的内容

通常所说的电子测量是指对电子学领域内电参量的测量,其基本内容如下:

①电能量的测量:包括电流、电压、功率、电场强度、电磁干扰及噪声等的测量。

②电信号特性的测量:包括频率、周期、相位、时间、波形参数、失真度、调制度参数、逻辑状态等的测量。

③电路元器件参数的测量:包括电阻、电容、电感、阻抗、品质因数、电子器件参数等的测量。

④电子设备及仪器性能的测量:包括增益、衰减、灵敏度、信噪比、通频带、噪声系数、响应时间等的测量。

⑤特性曲线的显示测量:包括幅频特性曲线、器件特性曲线等的显示测量等。

此外,通过传感器可将天文观测、宇宙航行、地震预报、矿物探测等生产过程检测中的温度、压力、流量、位移、成分分析等非电量转换成电信号后进行测量,它不仅可以稳态测量,还可以动态测量。

1.1.3 电子测量的特点

与其他测量相比,电子测量具有以下无可比拟的特点:

(1) 测量频率范围极宽

电子测量的频率范围极宽,它除测量直流电量外,还可以测量交流量。其频率可低至 10^{-4} Hz 以下直到直流,高至 10^{12} Hz 以上。在不同的频率范围内,电子测量所依据的原理、使用的测量仪器、采用的测量方法也各不相同。

(2) 测量量值范围广

电子测量的另一个特点是被测对象的量值大小相差悬殊。例如,从宇宙飞船上发射到地球的信号功率通常低于 10^{-13} W,而远程雷达发射的脉冲功率可达 10^8 W 以上,两者之比为 $1:10^{21}$ 。一般情况下,一台测量仪器是难以覆盖如此宽广范围的,但电子测量的这一特点,也要求电子测量仪器应具有足够的测量范围。

(3) 测量准确度高

电子测量的准确度比其他测量方法高得多。例如,长度测量的准确度最高为 10^{-8} 量级。而电子测量中对频率和时间的测量,由于采用原子频标作基准,可使测量准确度优于 10^{-13} 量级,这是目前人类在测量准确度方面达到的最高指标,因此,为了提高测量准确度,人们往往把其他参数转换成频率或时间后再进行测量。电子测量的这一特点,是它在现代科学技术中广泛应用的原因之一。

(4) 测量速度快

由于电子测量是基于电子运动和电磁波传播的原理进行的,因此,它具有与其他测量不能比拟的测量高速度,这也是它在现代科学技术中得到广泛应用的另一个原因。例如,原子核的裂变过程、航空器和航天器的运行参数等的测量,都需要高速度的电子测量。

(5) 易于实现遥测

通过各种类型的传感器,采用有线或无线的方式,可以实现对环境恶劣和人体不便于接触或无法达到的领域(如深海、地下、人造卫星、导弹飞行、高温炉、核反应堆内等)通过传感器或

光、电磁波等方式进行远距离测量,即实现遥测。

(6) 易于实现测量的自动化

由于电子测量的被测量和它所需要的控制信号都是电信号,通过超大规模集成电路实现模数变换和与计算机的连接,可实现自动记录、数据运算和分析处理,组成各种自动测试系统。

1.1.4 电子测量的方法

(1) 测量方法的分类

为了实现测量的目的,正确选择测量方法是及其重要的,它直接关系到测量工作能否正确进行和测量结果的有效性。由于电子对象的广泛性,测量原理和测量方法的多样性,一个测量方案可以纳入不同的分类方法,因而可以赋予不同的名称。电子测量常见的分类方法有以下几种:

1) 根据测量手段的不同分为:直接测量、间接测量和组合测量

①直接得到被测量值的测量方法称为直接测量。因此,直接测量简单、方便。例如,用电压表测量电压,用电子计数器测量频率等。

②利用直接测量值与被测量之间的函数关系,才能得到被测量值的测量方法称为间接测量。在不便使用直接测量和缺乏直接测量仪器或间接测量的结果更准确的情况下,常采用间接测量。例如,要测量电路中已知电阻 R 上的消耗功率 P ,可测量加在 R 上两端的电压 U ,再根据公式 $P = U^2/R$ 求出功率 P 。

③组合测量是兼用直接测量和间接测量的方法,将被测量和另外几个量组成联立方程,从而得到被测量的大小。在较复杂的测量过程中,经常要用到组合测量的方法,列出较多的方程。

2) 根据测量性质的不同分为:时域测量、频域测量和数据域测量

①时域测量:指测量值是时间变化的函数。典型的例子如用示波器能显示被测信号的瞬时波形,测量它的幅度、宽度、上升沿和下降沿等参数。示波器屏幕的横坐标代表时间。

②频域测量:指被测量是频率变化的函数,即研究被测信号在各频率分量上的幅度大小。典型的例子如用频谱分析仪来分析被测信号的频谱、测量放大器的幅频特性等。频谱分析仪屏幕的横坐标代表频率。

③数据域测量:指对数字系统逻辑状态进行的测量,即测量数字信号是“1”还是“0”。逻辑分析仪是数据域测量的典型仪器,它能分析离散信号组成的数据流,可以观察多个输入通道的并行数据,也可以观察一个通道的串行数据。

3) 根据对测量精度的要求不同分为:精密测量和工程测量

①精密测量:指在实验室或计量室进行,是深入研究测量误差问题的测量。

②工程测量:指对测量误差的研究不很严格的测量,往往一次测量获得结果,但工程测量所选用的仪器仪表的准确度等级必须满足实际使用的需要。

另外,测量方法还有:根据测量过程的控制不同,分为人工测量和自动测量;根据被测量与测量结果获取地点的关系,分为本地测量和远地测量;根据被测量在测量过程中是否变化,分为动态测量和静态测量。

(2) 选择测量方法的原则

在选择测量方法时应该注意以下几点:

1) 被测量本身的特点

按照被测量性质可以分为时域测量、频域测量、数据域测量和随机测量四种。对于不同的被测量,显然要采用不同的电子仪器和不同的测量方法。

2) 测量所需要的精确度

如果属于工程测量,除了注意仪器仪表的准确度等级外,还要选择测量误差尽可能小的测量技术;如果属于精密测量,则要严格按照误差理论的要求进行数据处理。

3) 注意测量环境及所具有的测量设备的技术情况

在测量时必须综合考虑以上情况,才会选择正确的测量技术和电子仪器,方可得到精确的测量结果,否则就会出现以下情况:

①得出的测量数据是错误的。例如,用低内阻电压表测量高内阻的等效电压源两端电压,将会造成不能容许的测量误差。

②损坏元器件或测量设备。例如,用万用表的 $R \times 1$ 挡测试晶体管发射结电压,将烧坏晶体管。

③损坏测量仪器仪表。例如,用电子电压表的低量程去测量高电压,将烧毁表头。

因此,合理选择测量方法和仪器是电子测量中的基本问题。

1.2 测量误差的基本概念

1.2.1 测量误差的定义

一个被测量本身所具有的真实大小,称为被测量的真值。被测量的真值是一种客观存在,是一个理想的概念。在实际测量中,由于人们认识的局限性,测量手段不完善,测量工具不准确,受环境的影响或测量工作中的疏忽等原因,是得不到真值的。一般地说,认为根据国际(国家)的基准,按定义在特定条件下的值是真值。

任何测量仪器的测量值都不可能完全准确地等于被测量的真值,这个差异称为测量误差。

不同的测量,对其测量误差的大小,也就是测量准确度的要求往往是不同的。但是,随着科技的发展和生产水平的提高,对减少测量误差提出了越来越高的要求。对很多测量来讲,测量工作的价值完全取决于测量的准确程度。当测量误差超过一定限度,测量工作和测量结果不但变得毫无意义,甚至会给工作带来很大的危害。因此,对测量误差的控制就成为衡量测量技术水平的标志之一。

1.2.2 测量误差的来源

无论哪种测量,都必须使用测量装置。同时,测量工作又是在某个特定的环境里,由测量人员按照一定的测量方法来完成。因此,总体上讲,测量误差主要来自以下五个方面:

(1) 仪器误差

仪器或仪表或本身所具有的误差称为仪器误差。它是测量误差的主要来源之一。

由于设计、制造、鉴定等的不完善,以及仪器或仪表使用过程中元器件老化、机械部件磨损、疲劳等因素而使其带有误差。其误差还分为:读数误差(包括出厂校准度不准确产生的校

准误差、刻度误差,读数分辨力有限而造成的读数误差以及数字式仪表的 ± 1 个字量化误差),仪器内部噪声引起的稳定误差,仪器响应滞后现象而造成的动态误差等。

为测量创造必要条件或使测量方便地进行而采用的各种辅助设备(或附件)都有可能引起误差。如电测量中转换开关接触不好,各类探头带来的误差,低阻测量中连接导线的影响等。

(2) 环境误差

由于实际环境条件与规定条件不一致所引起的误差称为环境误差,这也是产生测量误差的主要原因之一。如环境温度、电源电压、预热时间和电磁干扰等。

(3) 方法误差

由于测量方法不完善或不合理引起的测量误差称为方法误差。测量方法是指根据给定的原理,概括地说明在实施测量中所涉及的一套理论运用和实际操作。由测量方法引起的测量误差主要表现为:测量时所依据的理论不严密,操作不合理,用近视公式或近视值计算测量结果等引起的误差。

(4) 人员误差

测量人员主观因素和操作技术所引起的误差称为人员误差。人员误差主要由测量者的分辨能力差,视觉疲劳,反应速度慢,不良的固有习惯和缺乏责任心等引起。具体有操作不当、看错、读错、听错和记错等原因。

(5) 被测量不稳定误差

由测量对象的不稳定变化引起的误差称为被测量不稳定误差。由于测量是需要一定时间的,若在测量时间内被测量不稳定而发生变化,即使有再好的其他测量条件也是无法得到正确测量结果的。被测量不稳定与被测对象有关,可以认为被测量的真值是时间的函数。如由振荡器的振荡频率不稳定,则测量其频率必然要引起误差。

在测量工作中,对于误差的来源要认真分析,采取相应的措施,以减少误差对测量结果的影响。

1.2.3 测量误差的表示方法

测量误差的表示方法有两种:即绝对误差和相对误差。

(1) 绝对误差 ΔX

①定义:测量值 X 与被测量真值 A_0 之差称为绝对误差 ΔX ,即

$$\Delta X = X - A_0 \quad (1.1)$$

测量值一般即是仪器仪表的示值,即由仪器所指示的被测量值。

前已提到,真值 A_0 一般无法得到,通常用约定真值(也称实际值) A 来替代 A_0 ,即

$$\Delta X = X - A \quad (1.2)$$

在实际测量中,常把高一等级或高数级的标准仪器或计量器具所测得的测量值作为约定真值。

②修正值 C :修正值 C 与绝对误差 ΔX 的大小相等,符号相反,即

$$C = -\Delta X \quad (1.3)$$

计量器具的修正值,可通过检定,由高级或高几级标准给出,它可以是表格、曲线或函数表达式等形式。利用修正值和计量器具示值,可得到被测量的实际值,即

$$A = X + C \quad (1.4)$$

测量仪器应当定期送计量部门进行检定,其目的之一就是获得准确的修正值,以保证量值传递的准确性。同时,使用修正值应在仪器的检定有效期内,否则要重新检定。

例如,某电流表测得的电流示值为 0.83 mA,查该电流表的检定证书,得知该电流表在 0.8 mA 及其附近的修正值都为 -0.02 mA,被测电流的实际值为

$$A = X + C = [0.83 + (-0.02)] \text{ mA} = 0.81 \text{ mA}$$

通常通过加修正值的办法来提高测量的准确度。

绝对误差有计量单位,其大小和符号分别表示示值偏离实际值的程度和方向,但是,不能用它来说明测量的准确程度。为了更确切地反映出测量工作的质量,就要用相对误差来表示。

(2) 相对误差 γ

测量的绝对误差与被测量的约定值之比称为相对误差,常用百分数来表示。约定值可以是实际值、示值或仪器的满量程值 X_m 。

①实际相对误差 γ_A :指绝对误差 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 :指绝对误差 ΔX 与被测量的示值 X 的百分比,即

$$\gamma_X = \frac{\Delta X}{X} \times 100\% \quad (1.6)$$

对于一般的工程测量,用 γ_X 来表示测量的准确度较为方便。

③满度相对误差 γ_m (引用相对误差):计量器具的绝对误差 ΔX 与满量程值 X_m 之比称为满度相对误差或引用相对误差,即

$$\gamma_m = \frac{\Delta X}{X_m} \times 100\% \quad (1.7)$$

满度相对误差一般用于连续刻度的仪表(特别是电工仪表),它实际上给出了仪表各量程内,绝对误差不应超过的最大值

$$\Delta X = \gamma_m \times X_m \quad (1.8)$$

对于式(1.6),则有

$$\begin{aligned} \gamma_X &= \frac{\Delta X}{X} \times 100\% \\ &= \frac{\Delta X}{X_m} \times \frac{X_m}{X} \times 100\% \\ &= \frac{X_m}{X} \times \gamma_m \end{aligned} \quad (1.9)$$

从式(1.9)可以看出,为了减小测量中的示值误差,对于仪器指针偏转角度和被测量值成正比的正向刻度仪表来说,在选择仪表的量程时,应尽量使示值接近满度,一般应使示值指示在仪表满刻度的 2/3 以上区域;而对于仪器指针偏转角度和被测量值成反比的反向刻度仪表来说(如模拟万用表的欧姆挡)就不适用了,因为在设计和检定欧姆表时,均以中值电阻为基础,其量程的选择应以电表指针到最大偏转角度的 1/3 ~ 2/3 区域为宜。

根据满度相对误差,电工仪表常分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 共七个等级,分别表示它们的满度相对误差所不超过的百分比。例如,0.5 级的电表,就表明其 $\gamma_m \leq \pm 0.5\%$,并在

表面刻度盘上标以0.5级的标志。若电表有几个量程,则在所有的量程上均取 $\gamma_m = \pm 0.5\%$ 。显然,各量程的绝对误差是不一样的。

例1.1 检定一个1.5级、满量程值为10 mA电流表,若在5 mA处的绝对误差最大且为0.13 mA(即其他刻度处的绝对误差均小于0.1 mA),问该表是否合适?

解 根据满度相对误差公式,可求得该表满度相对误差为

$$\begin{aligned}\gamma_m &= \frac{\Delta X}{X} \times 100\% \\ &= \frac{0.13 \text{ mA}}{10 \text{ mA}} \times 100\% = 1.3\%\end{aligned}$$

因为 $\gamma_m = 1.3\% \leq 1.5\%$,因此,该表是合格的。

1.2.4 测量误差的分类

根据性质的不同,测量误差可以分为系统误差、随机误差和粗大误差。

(1) 系统误差

系统误差(系差)是指在相同条件下多次重复测量被测量时,其误差的数值保持恒定或以确切的函数规律方式变化的测量误差。系统误差体现了测量的准确度。系统误差越小,测量准确度越高。

在测量误差中,系统误差所占的分量起主要作用。测量前,应对所采用的测量装置、测量方法、测量环境等方面进行分析,尽可能地找出产生系统误差的因素,并采取相应措施,尽量减少系统误差的影响。

(2) 随机误差

随机误差是指在相同条件下多次测量同一量值时,绝对误差值和符号以不可预知的方式变化的测量误差称为随机误差,也称偶然误差。

由于随机误差通常很小,故只有在高灵敏度和多次测量情况下才能察觉。它是由仪器内部元器件产生的噪声、温度及电压不稳定、电磁干扰等那些对测量值影响较微小又互不相关的多种因素共同造成的。在足够多次测量中,随机误差服从一定的统计规律,大多接近于正态分布,具有对称性、有界性、抵偿性和单峰值性等特点。随机误差反映了测量结果的精密度。随机误差越小,测量精密度越高。

根据随机误差的特点,可以通过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) 粗大误差

粗大误差是指那些在一定条件下测量结果明显偏离其实际值所对应的误差。在数据处理时,粗大误差所对应的测量数据视为坏值,应以剔除。

粗大误差是由于读数错误,测量方法不当,计量器具有缺陷,操作不正确,以及突发事件等原因造成的。

1.2.5 测量结果的处理

测量结果的处理是电子测量的重要组成部分,其处理方式通常有数据处理和图解分析两种方式。

在给出测量结果前,所有测量值应予修正,故测量结果不再含有应修正的系统误差。

测量结果包括数值和单位,如 5.3 V、465 kHz 等。没有标明单位的测量结果是毫无意义的。

为了说明测量结果的可信赖程度,在表示测量结果时,还应同时注明测量误差或测量不确定度(指被测量的真值所处量值范围的评定)的大小(如 4.32 ± 0.01 V)等。当只给出测量的量值而没有注明其误差大小时,通常认为该数值的最后一位存在误差,因而不能任意舍去测量结果末位的“0”。例如,用电流表测量电流时,示值为 340 mA,也可写成 0.340 A,误差表示为 ± 0.001 A (± 1 mA),若将末位“0”舍去,则变成 0.34 A,则误差变成了 ± 0.01 A (± 10 mA),显然,人为地扩大了误差范围。

1.3 电子测量仪器概述

测量仪器是用于检出或测量一个量或为测量目的供给一个量的器具。采用电子技术测量电量或非电量的测量仪器称为电子测量仪器。

电子测量仪器是信息产业的基础,对于国防、科研、生产和生活等起着非常重要的作用。电子测量仪器伴随着信息技术的发展而发展,其内部元器件由最初的电子管经过晶体管发展到了大规模集成电路,由电路最初的模拟化经过数字化再发展到了当今多功能、高精度、检测高度自动化的智能化电子仪器。我国的电子测量仪器产业已经从无到有,成为一个具有科研、生产和经营较完整的体系,但总体上与世界发展水平相比,还有不小的差距。

1.3.1 电子测量仪器的分类

电子测量仪器品种繁多,按功能分类可分为专用仪器和通用仪器两大类。专用仪器是为特定目的而专门设计制造的,它只适用于特定的测量对象和测量条件。通用仪器的灵活性好,应用面广,按功能主要可以分为以下几类:

(1) 信号发生器

信号发生器用于提供测量所需的各种信号。根据用途不同,有各种波形、各种频率和各种功率的信号发生器。如低频信号发生器、高频信号发生器、脉冲信号发生器、函数信号发生器、调频调幅信号发生器和噪声信号发生器等。

(2) 信号分析仪器

信号分析仪器用于观测、分析和记录各种电量的变化,包括时域、频域和数字域分析仪,如时域的示波器、频域的频谱分析仪和数据域的逻辑分析仪等。

(3) 网络特性测量仪器

网络特性测量仪器用于测量电气网络的频率特性、阻抗特性、噪声特性等,如频率特性测试仪、阻抗测试仪和网络分析仪等。

(4) 电子元件测试仪器

电子元件测试仪器用于测量各种电子元件的各种电参数或显示元件的特性曲线等,如电路元件(R 、 L 、 C)测试仪、晶体管特性图示仪、集成电路(模拟、数字)测试仪等。

(5) 电波特性测试仪器

电波特性测试仪器用于对电波、电磁场强度、干扰强度等参量进行测量,如测试接收机、场强测量仪、干扰测试仪等。

(6) 辅助仪器

辅助仪器用于配合上述各种仪器对信号进行放大、检波、衰减、隔离等,以便上述仪器更充分发挥作用,如各种放大器、检波器、衰减器、滤波器、记录仪以及交直流稳压电源等。

1.3.2 电子测量仪器的误差

在电子测量中,由于电子测量仪器本身性能不完善所引起的误差,称为电子测量仪器的误差,它主要包括以下几类。

(1) 固有误差

电子测量仪器在标准条件下所具有的误差称为固有误差。固有误差也称为基本误差。标准条件一般规定电子测量仪器影响的标准或标准范围(例如,环境温度(20 ± 2) $^{\circ}\text{C}$ 等),它比使用条件更加严格,所以固有误差能够更准确地反映电子测量仪器所固有的性能,便于在相同条件下,对同类仪器进行比较和校准。

(2) 允许误差

技术、检定规程等对电子测量仪器所规定的允许的误差极限值称为允许误差。技术标准通常是指电子测量仪器产品说明书的技术指标。允许误差可用绝对误差或相对误差表示。

(3) 附加误差

电子测量仪器在非标准条件下所增加的误差称为附加误差。当一个影响量在正常使用条件范围内取任一值,而其他影响量和影响特性均处于标准条件,此时引起的仪器示值的变化就是附加误差。只有当某一影响量在允许误差中起重要作用时才给出,如环境温度变化、电源电压变化、频率变化、量程变化等。

有些电子测量仪器的允许误差就是以“基本误差 + 附加误差”的形式给出。例如,某一信号发生器的输出电压在说明书中规定:在连续状态下,频率为 400 MHz 时,输出电压刻度基本误差不大于 $\pm 10\%$;输出电压在其他频率的附加误差为 $\pm 7\%$ 。也就是说,输出电压刻度的允许误差在 $f=400$ MHz 时为 $\pm 10\%$,而在 $f \neq 400$ MHz 时,允许误差变为 $\pm 10 \pm 7\%$ 。

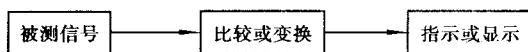
1.3.3 测量系统的组成

测量系统是由一些功能不同的环节所组成,这些环节保证了由获取信号到获得被测量值所必需的信号量程功能。从完成测量任务的角度来看,基本的测量系统大致可以分为两种:即对主动量的测量和对被动量的测量,如图 1.1 所示。

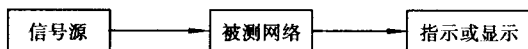
图 1.1(a)中,被测信号即为测试对象,它一般是电路的电信号,也可以是由传感器检测非电量得到的电信号。在整个测量系统中,被测信号是自发的,因而是主动的。

图 1.1(b)中,测量对象是被测网络中的某个特性参数,它只有在信号源的激励下才能产生,因而是被动的。激励信号由信号发生器提供。

比较或变换环节用于对被测信号进行加工转换,如放大、滤波、检波、调制与解调、阻抗变换、线性化、数/模或模/数转换等,使之成为既合乎需要,又便于输送、显示或记录以及可作进一步后续处理的信号。显示环节是将加工转换后的信号变成一种能为人们所理解的形式,如



(a) 对主动量的测量



(b) 对被动量的测量

图 1.1 测量系统的组成方框图

模拟指示、数字显示、图形等,以供人们观测和分析。

习 题

1.1 电子测量的内容有哪些?

1.2 简述电子测量的特点。

1.3 简述测量误差的来源及减小测量误差的方法。

1.4 若被测电压的实际值为 10 V,现有两块电压表:150 V、0.5 级和 15 V、1.5 级。问选用哪一块电压表测量更合适?

1.5 用满度值为 100 μA 、1.0 级电流表测量电流值,求在读数为 10 μA 、80 μA 时测量结果的示值相对误差,并讨论所得的结果。

第 2 章

电子示波器

2.1 概 述

电子示波器(或称阴极射线管示波器)简称示波器,它是利用示波管内电子束的偏转,直接观测和真实显示随时间变化的一种观测仪器,可以把它看成是具有图形显示的电压表。

示波器用示波管来显示信号波形,主要应用于检测电子设备中各种信号的波形。可以对传输、存储或处理各种信号的电路进行波形检测,判断电路是否工作正常,或通过波形对电路调整使其工作在最佳状态。示波器在电子产品的开发、生产、调试和维修工作中已成为必不可少的测试仪器,是目前电子产品(特别是数字电子产品)重要的维修工具。它还能测试非电量,通过传感器将例如温度、压力、速度、距离、冲击、振动、声、光、磁效应以及生物的某些现象转换为电信号再进行观测。因而它在医学、生物科学、核物理、地质和海洋科学、力学、地震科学等多种科学中得到了广泛的应用。

示波器具有工作频带宽、灵敏度高、输入阻抗高和真实显示的特点,是时域分析的最典型仪器。根据内部结构、使用领域以及测量范围为等可以划分多种。

(1) 模拟示波器

1) 通用示波器

它是采用单束示波管的示波器,它可以实时地显示被测信号的时域波形,对信号进行定性观测。

2) 多束示波器

它是采用多束示波管的示波器,屏幕上显示的每个波形都由单独的电子束产生,它能同时观测、比较两个以上的波形。

3) 取样示波器

它根据取样原理将高频信号转换为低频信号然后再进行显示。

(2) 数字存储示波器

它能将电信号经过数字化及后置处理以后再重建波形,具有记忆、存储被测信号的功能,