

高职高专院校“十一五”规划教材

电子测量技术 与仪器

DIANZI Celiang Jishu Yu Yiqi

王川 主编



湖北科学技术出版社

高职高专院校“十一五”规划教材

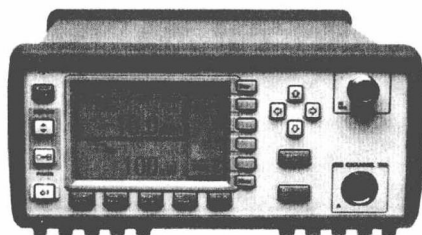
电子测量技术 与仪器

DIANZI CELIANG JISHU YU YIQI

主 编 王 川

副主编 黄国祥 胡华文 龙 芬

主 审 宋启峰



湖北科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子测量技术与仪器 / 王川主编. —武汉: 湖北科学技术出版社, 2009.8

高职高专院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5352-4365-2

I. 电… II. 王… III. ①电子测量—高等学校: 技术学校—教材②电子测量设备—高等学校: 技术学校—教材
IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 105908 号

责任编辑: 李海宁

责任校对: 蒋 静

封面设计: 喻 杨

出版发行: 湖北科学技术出版社

电话: 027-87679468

地 址: 武汉市雄楚大街 268 号

邮编: 430070

(湖北出版文化城 B 座 12-13 层)

网 址: <http://www.hbstp.com.cn>

印 刷: 石首市印刷一厂

邮编: 434400

787 × 1092 1/16

14 印张

300 千字

2009 年 9 月第 1 版

2009 年 9 月第 1 次印刷

印数: 1-3 000

定价: 25.00 元

本书如有印装质量问题 可找本社市场部更换

前 言

电子测量技术或者电子测量仪器,在传统的课程中是作为一门专业课程来对待的。但是,作为一门专业课程,并不能解决对于电子测量仪器的熟练使用。电子测量仪器的使用并不仅仅是单纯的操作,这其中还会遇到测量方法、大量的感性认识、仪器的工作原理,以及一些工程上的知识和常识,在一般的教科书中却很难有这些内容的体现。这里,我们从职业技术教育的特点出发,将电子测量仪器这门课程作为一种技能性的课程来处理,加大使用和应用的内容,从具体的电子测量仪器去理解和掌握某种电参数的测量原理和测量方法,掌握具体的电子测量仪器的基本工作原理和操作原理,以及在测量过程中的一系列的具体现象和问题的处理方法。经过本课程的学习和训练,要求能够熟练地掌握具体的电子测量仪器的操作使用,掌握相应的操作原理,并且能够从中积累感性认识,丰富处理经验,提高分析和判断能力。所以,本课程不宜采用纯粹的课堂教学,而必须进入实验室,从实际操作和各种现场的现象中去学习。

众所周知,电子测量仪器种类繁多,而且还有大量的专用电子测量仪器,全面介绍和学习显然是不可能的。但是,电子测量就方法而言,有诸多相通和相同的地方,只要对于几种基本的电子测量仪器的工作原理、操作原理和测量方法能够掌握,就比较容易理解和学会其他的电子测量仪器的使用。所以,这里我们也只是介绍几种基本的电子测量仪器的工作原理、测量原理和相应的操作方法。

本课程具有理论性和技能性相结合的性质,所以必须配合相应的大量的实践操作训练,而不可将其当作一种纯粹的理论课程来对待,必须突出实践环节,突出应用,突出对于测量过程中的具体现象的理解和了解,应该注重实践中的感性认识,注重经验的积累,注重数量级的概念,注重测量范围和相关误差量级,即注重理论教学中所欠缺的和忽略的,而在工程实践中却会常常发生的物理现象的相关知识的积累。缩短理论和实践的距离,突出职业教育的特点。

本书由武汉职业技术学院、仙桃职业学院、咸宁职业技术学院、黄冈职业技术学院等多所学校的多位教师共同编写,是教师从事教学、科研和实践经验的总结,是一本真正适合职业教育的教材。

本书第1、2章由胡华文老师编写;第3、4章由黄国祥、朱婷和杨杰老师编写;第5、6章由王川老师编写,并负责全书统稿;第7、8章由龙芬老师编写;由宋启峰副教授主审。

在本书的编写过程中,得到了上述院校的大力支持和协助,在此,向所有关心和支持本书的各方面的人士表示衷心的感谢。

由于电子测量技术的发展很快,其应用领域也不断扩大,加之作者水平有限,时间仓促,因此,书中难免存在错误和不妥之处,恳请广大读者指正。

编 者

2009年7月

目 录

第1章 电子测量与仪器基础知识	(1)
1.1 电子测量的一般方法	(1)
1.1.1 测量方法	(1)
1.1.2 电子测量的分类	(2)
1.1.3 选择测量方法的原则	(3)
1.2 电子测量仪器的分类与技术指标	(4)
1.2.1 电子测量仪器的分类	(4)
1.2.2 电子测量仪器的主要技术指标	(5)
1.3 测量误差的来源及表达方法	(6)
1.3.1 测量误差的表示方法	(6)
1.3.2 误差的来源	(7)
1.3.3 误差的分类	(8)
1.4 测量结果的表示及数字处理	(8)
1.4.1 测量结果的表示	(8)
1.4.2 有效数字的处理	(9)
本章小结	(10)
思考与练习题	(11)
第2章 测量用信号发生器	(12)
2.1 低频信号发生器	(12)
2.1.1 低频信号发生器的工作原理	(13)
2.1.2 低频信号发生器的主要性能指标与要求	(17)
2.1.3 低频信号发生器的使用	(18)
2.2 高频信号发生器	(21)
2.2.1 基本组成和工作原理	(22)
2.2.2 高频信号发生器	(23)
2.3 函数信号发生器	(25)
2.3.1 函数信号发生器工作原理	(25)
2.3.2 函数信号发生器(EE1641B型)应用	(26)
2.4 合成信号发生器	(32)
2.4.1 直接合成法	(33)
2.4.2 间接合成法	(33)

本章小结	(34)
思考与练习题	(35)
第3章 电子计数器	(36)
3.1 电子计数器概述	(36)
3.1.1 电子计数器的分类	(36)
3.1.2 电子计数器的基本组成	(36)
3.1.3 电子计数器的主要技术指标	(37)
3.2 通用电子计数器	(38)
3.2.1 测量频率	(38)
3.2.2 测量周期	(39)
3.2.3 测量频率比	(40)
3.2.4 累加计数	(41)
3.2.5 测量时间间隔	(41)
3.2.6 自检(自校)	(43)
3.3 电子计数器的测量误差	(43)
3.3.1 测量误差的来源	(43)
3.3.2 测量误差的分析	(45)
3.3.3 频率扩展技术	(46)
3.4 通用计数器实例	(47)
3.4.1 NFC-100型多功能电子计数器	(47)
3.4.2 其他常用型多功能电子计数器	(49)
本章小结	(51)
思考与练习题	(52)
第4章 电子电压表	(53)
4.1 交流电压的表征	(53)
4.1.1 交流电压的表征	(53)
4.1.2 常用的电压测量仪器	(54)
4.2 模拟电子电压表	(55)
4.2.1 简单模拟交流电压表	(55)
4.2.2 模拟电子电压表	(55)
4.2.3 电子电压表的工作原理	(56)
4.2.4 电子电压表的检波器	(57)
4.2.5 典型产品介绍	(61)
4.3 电压表的波形误差	(64)
4.3.1 均值电压表的定度系数和波形误差	(65)

4.3.2 峰值电压表的定度系数和波形误差	(67)
4.3.3 有效值电压表的定度系数和波形误差	(67)
4.3.4 三种电子电压表的比较	(68)
4.4 数字电压表	(68)
4.4.1 数字电压表的主要技术指标	(68)
4.4.2 数字电压表的工作原理	(70)
4.4.3 典型产品介绍	(73)
4.5 数字万用表	(75)
4.5.1 数字万用表的特点	(75)
4.5.2 数字万用表的基本组成	(75)
4.5.3 数字万用表的测量电路	(76)
4.5.4 典型产品的介绍	(77)
4.6 电压的测量	(79)
4.6.1 直流电压的测量	(79)
4.6.2 交流电压的测量	(81)
4.6.3 电平的测量	(82)
4.6.4 噪声的测量	(83)
4.6.5 电压测量中的几个问题	(84)
本章小结	(84)
思考与练习题	(85)
第5章 示波器	(86)
5.1 概述	(86)
5.2 波形显示原理	(87)
5.2.1 示波管及波形显示原理	(87)
5.2.2 波形稳定原理	(90)
5.3 触发原理	(92)
5.3.1 触发脉冲的形成	(92)
5.3.2 扫描锯齿波的形成	(93)
5.3.3 扫描锯齿波与所显示的波形	(94)
5.4 双踪显示原理	(95)
5.4.1 交替方式的双踪显示	(95)
5.4.2 断续方式的双踪显示	(95)
5.5 示波器结构原理	(96)
5.5.1 垂直通道	(96)
5.5.2 垂直模式	(99)

5.5.3 水平通道	(101)
5.5.4 触发电路	(104)
5.5.5 示波器面板的其他操作	(108)
5.6 示波器操作原理	(111)
5.6.1 寻迹	(111)
5.6.2 工频干扰现象	(112)
5.6.3 踪迹亮度	(114)
5.6.4 稳定波形的操作	(114)
5.6.5 垂直参数的测量——电平测量	(116)
5.6.6 水平参数的测量——时间测量	(116)
5.6.7 示波器探头	(117)
5.6.8 其他示波器的面板布置	(118)
5.7 特殊测量方法	(120)
5.7.1 脉冲边沿的测量	(120)
5.7.2 释抑调节 HOLD OFF 的应用	(124)
5.7.3 X - Y 模式	(125)
5.8 双时基示波器	(126)
5.8.1 双时基示波器的特点	(126)
5.8.2 双时基产生原理	(128)
5.8.3 双时基示波器的使用特点	(130)
5.9 数字存储示波器	(131)
5.9.1 数字存储示波器的原理	(131)
5.9.2 YB54100 示波器的性能简介	(134)
5.9.3 YB54100 示波器的使用	(136)
本章小结	(138)
思考与练习题	(138)
第6章 扫频仪	(140)
6.1 概述	(140)
6.2 扫频仪的测量原理	(141)
6.2.1 基本测量原理	(141)
6.2.2 中心频率和频偏	(143)
6.2.3 频标原理	(144)
6.3 扫频仪组成与仪器面板	(146)
6.3.1 扫频信号方框图	(146)
6.3.2 频标方框图	(148)

6.3.3 Y轴放大器方框图	(150)
6.3.4 其他	(151)
6.4 扫频仪基本操作	(152)
6.4.1 馈线与探头	(152)
6.4.2 零分贝校正	(154)
6.4.3 特征频率、带宽的测量	(154)
6.4.4 带内增益与带外衰减的测量	(156)
6.4.5 测量时应注意问题	(158)
6.5 性能指标	(163)
6.5.1 概述	(163)
6.5.2 工作原理	(164)
6.5.3 结构特点	(165)
6.5.4 使用	(166)
6.5.5 产品的成套	(168)
6.6 数字频率特性测试仪	(168)
6.6.1 数字频率特性测试仪的工作原理	(168)
6.6.2 SA1030 的使用方法	(169)
本章小结	(171)
思考与练习题	(172)
第7章 电子元件参数的测量	(174)
7.1 概述	(174)
7.1.1 阻抗的基本概念	(174)
7.1.2 常见电子元器件的特性	(176)
7.2 电桥法测量阻抗	(178)
7.2.1 电桥法测量 R 、 L 、 C 的原理	(178)
7.2.2 QS18A 型万用电桥	(180)
7.2.3 不平衡电桥	(183)
7.3 谐振法测量阻抗	(184)
7.3.1 谐振法测量的基本原理	(184)
7.3.2 Q 表组成及工作原理	(185)
7.3.3 QBG-3 型高频 Q 表	(187)
7.4 阻抗的数字化测量方法	(190)
7.4.1 电感的数字化测量	(190)
7.4.2 电容的数字化测量	(191)
7.4.3 LCR 参数测试仪	(191)

本章小结	(192)
思考与练习题	(192)
第8章 智能仪器技术	(194)
8.1 自动测试系统	(194)
8.1.1 自动测试系统概述	(194)
8.1.2 自动测试系统的总线	(196)
8.1.3 自动测试系统实例——电路板自动测试系统	(200)
8.2 虚拟仪器	(200)
8.2.1 虚拟仪器的概述	(200)
8.2.2 虚拟仪器的架构	(203)
8.2.3 基于 LabVIEW 的虚拟仪器设计实例	(206)
8.3 智能数字电压表	(208)
8.3.1 智能数字电压表(DVM)的结构	(209)
8.3.2 智能型 DVM 的分类	(210)
8.3.3 智能型 DVM 的功能特点与主要技术指标	(210)
本章小结	(212)
思考与练习题	(213)
参考文献	(214)

第1章 电子测量与仪器基础知识

学习要求:主要讲述电子测量与仪器的基础知识,通过本章的学习了解电子测量的方法、电子测量仪器的分类与主要指标、测量结果的表示、测量数据的处理。

学习要点:电子测量的方法、测量误差的表示法、测量数据的处理。

1.1 电子测量的一般方法

所谓测量方法就是为了实现测量,获得测量结果所采用的各种手段和方式。选择测量方法的正确与否,直接影响到测量结果的可信程度,也关系到测量工作的经济性和可行性。电子测量的方法有很多种,这里仅就最常用的测量方法作简要的介绍。

1.1.1 测量方法

1. 直接测量方法

直接测量是一个直接的比较过程,所测到的量值就是它最终所需要得到的被测量的值。用预先按已知标准量定度好的测量仪器对某一未知量直接进行测量,从而得到被测量值的测量方法称为直接测量法。例如:用电压表测量电路两端的电压、用电流表测量电路中的电流、用电子计数器测量频率等,都属于直接测量。

2. 间接测量方法

对一个与被测量有确定函数关系的物理量进行直接测量,然后通过代表该函数关系的公式、曲线或表格,求出被测量值的方法,称为间接测量法。例如要在不断开电路的情况下,测定图1-1中流过负载的电流,负载电阻 R_L 已知,我们只要用电压表 V 测得 R_L 两端的电压 U ,即可由公式 $I = U/R_L$ 算出负载中的电流。

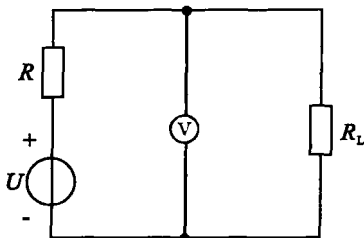


图1-1 间接测量法测电流

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:测量晶体管发射极电流,较多采用直接测量发射极电阻(R_e)上的电

压,再通过公式 $I_E = U_E/R$ 算出,而不用断开电路串入电流表的方法。测量放大器的电压放大倍数 A ,一般是分别测量输出电压 U_o 与输入电压 U_i 后,再算出 $A = U_o/U_i$ 。

3. 调零测量

调零测量法的原理是,将一个校对好的基准源与未知的被测量进行比较,并调节其中之一,使两量值的差为零,这样,从基准源的读数即可推算出被测量的值。以图 1-2 为例, U 为标准电压源, R_1 和 R_2 是标准分压电阻, A 为电流表。测量时,通过调节 R_1 和 R_2 的比例,使电流表指示为零,这时,用这种方法测量得到的测量结果准确度较高。我们可以看出,由于电流表无电流流过,测量结果只与标准电压源和标准电阻有关。如果换一种测量方案,如图 1-3 所示,采用间接测量法,流过电流表的电流为 I_A ,则被测电压 $U_x = I_A R$,测量结果的好坏和电流表的技术等级有着直接的联系。

$$U_x = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

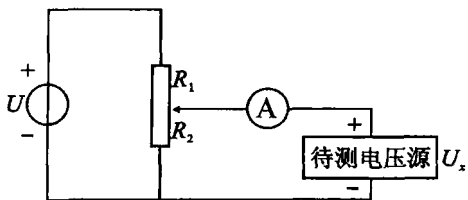


图 1-2 调零测量法测电压

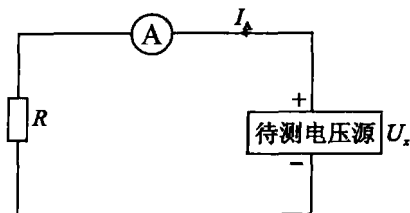


图 1-3 间接测量法测电压

4. 组合测量方法

它是兼用直接测量与间接测量的方法。将被测量和另外几个未知量,按它们之间的函数关系组成联立方程,通过直接测量这几个未知量最后求解联立方程,从而得出被测量的大小。此种测量方法称为组合测量法。

上面介绍的三种方法中,直接测量的优点是测量过程简单、迅速,在工程技术中采用比较广泛。间接测量多用于科学实验,在生产及工程技术中应用较少,只有当被测量不便于直接测量时才采用。组合测量是一种特殊的精密测量方法,适用于科学实验及一些特殊的场合。

1.1.2 电子测量的分类

1. 时域测量

时域测量是测量被测对象在不同时间的特性,这时把被测信号看成是一个时间的函数。例如:电压、电流的测量,它们有瞬态量和稳态量。使用示波器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。时域测量还包括一些周期性信号的稳态参量的测量,如正弦交流电压,虽然它的瞬时值会随时间变化,但是交流电压的振幅和有效值是稳态值,可用指针式仪表测量。

2. 频域测量

频域测量是测量被测对象在不同频率时的特性。这时把被测量对象看成频率的函数。例如:放大器的幅频特性,可用频率特性图示仪予以显示;放大器的相频特性,可使用相位计测量放大器对不同频率的信号产生的相移。

3. 数据域测量

数据域测量是对数字系统逻辑特性进行的测量。例如:用逻辑分析仪对数字量进行测量,它具有多个输入通道,可以同时观测许多单次并行的数据。如微处理器地址线、数据线上的信号,可以显示时序波形,也可以用“0”、“1”显示逻辑状态。

4. 随机测量

随机测量又叫统计测量。例如:各类噪声、干扰信号等,利用噪声信号源进行动态测量和统计分析,在通信领域有着广泛的应用。

电子测量方法还有很多,如人工测量和自动测量、动态测量和静态测量、精密测量和工程测量、低频测量、高频测量和超高频测量、模拟测量和数字测量等。

1.1.3 选择测量方法的原则

在选择测量方法时,应综合考虑以下一些因素:被测量本身的特性、所要求的测量精确程度、环境条件、所具有的测量仪器设备等,再确定采用哪种测量方法和选择哪些测量仪器设备。

选择测量方法的原则:

- (1) 所选择的测量方法必须能够达到测量要求(包括测量的精确度)。
- (2) 在保证测量要求的前提下,选用简便的测量方法。
- (3) 所选用的测量方法不能损坏被测元器件。
- (4) 所选用的测量方法不能损坏测量仪器。

下面我们举例说明如何根据具体情况选择合适的测量方法:

(1) 根据被测物理量的特性选择测量方法

例如,测量线性电阻(如金属膜电阻),由于其阻值不随流经它的电流的大小而变化,可选用电桥(比较式仪器)直接测量,这种方法简便,精确度高。

测量非线性电阻(如二极管、灯丝电阻等),由于这类电阻的阻值随流经它的电流的大小而变化,宜选用伏安法间接测量,并作 $I \sim V$ 曲线和 $R \sim I$ 曲线,然后由曲线求得对应于不同电流值的电阻。

同理,测量线性电感时,可选用交流电桥直接测量,测量非线性电感时,可选用伏安法间接测量。

(2) 根据测量所要求的精度,选择测量方法

从测量的精度考虑,测量可分为精密测量和工程测量。精密测量是指在计量室或实验室进行的需要深入研究测量误差问题的测量。工程测量是指对测量误差的研究不很严格的一般性测量,往往是一次测量获得结果。例如,测量市电 220V 电压,可用指针式电压表(或万用表)直接测量,它直观、方便。而在测量电源的电动势时,不能用指针式电压表(或万用表)直接测量,这是由于指针式电压表的内阻不很大,接入后电压表指示的

电压是电源的端电压,而不是电动势。在测量标准电池的电动势时,更不能用电压表或万用表,其原因,一是电压表或万用表的内阻都不是很大,接入后,标准电池通过电压表或万用表的电流会远远超过标准电池所允许的额定值。标准电池只允许在短时间内通过几微安的电流。二是标准电池的电动势的有效数字要求较多,一般有 6 位,指针式电压表达不到要求。因此,测量标准电池电动势应该选用电位差计用平衡法进行测量,平衡时,标准电池不供电。

(3) 根据测量环境及所具备的测量仪器的技术情况选择测量方法

例如用万用表欧姆档测量晶体管 PN 结电阻时,应选用 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 档,而不能选用 $R \times 1$ 档或高阻档。这是因为,若用 $R \times 1$ 档测量时,万用表内部电池提供的流经晶体管的电流较大,可能烧坏晶体管,而高阻档内部配有高电动势(9V、12V 或 15V)的电池,高电压可能使晶体管击穿。

总之,进行某一测量时,必须事先综合考虑以上情况选择正确的测量方法和测量仪器,否则,得出的数据可能是错误的,或产生不容许的测量误差,也可能损坏被测的元器件,损坏测量仪器、仪表。

1.2 电子测量仪器的分类与技术指标

1.2.1 电子测量仪器的分类

电子测量仪器的分类方法不一,通常是按其功能分,大致可分为如下几类:

1. 信号发生器(信号源)

信号发生器(包括函数发生器)为检修、调试电子设备和仪器时提供信号源。它是一种能够产生一定波形、频率和幅度的振荡器。例如:产生正弦波、方波、三角波、斜波和矩形脉冲波等。

2. 电平测量仪器

模拟式电压表、模拟多用表(即指针式万用表 VOM)、毫伏表、数字电压表、数字多用表(即数字万用表 DMM)都属此类,这是经常使用的仪表。它可以用来测量交流/直流电压、交流/直流电流、电阻阻值、电容器容量、电感量、音频电平、频率、晶体管 NPN 或 PNP 电流放大倍数 β 值等。

3. 示波器

示波器是一种测量电压波形的电子仪器,它可以把被测电压信号随时间变化的规律用图形显示出来。如通用示波器、多踪示波器、多扫描示波器、取样示波器、记忆示波器和数字存储示波器等。使用示波器不仅可以直观而形象地观察被测物理量的变化全貌,而且还可以通过它显示的波形测量电压和电流,进行频率和相位的比较,以及描绘特性曲线等。

4. 时间、频率、相位测量仪器

时间、频率、相位测量仪器主要用来测量电信号的时间间隔、频率和相位。这类仪器有各种频率计、相位计、波长表以及各种时间、频率标准等。

5. 网络特性测量仪

网络特性测量仪主要用测量电路的频率特性、阻抗特性、功率特性、噪声特性等。这类仪器有频率特性测试仪(扫频仪)、阻抗测量仪及网络分析仪等。

6. 电子元器件测试仪

用于测量电子元器件的电参数、显示特性曲线等。例如:RLC 测量仪、晶体管参数测试仪、晶体管特性图示仪、模拟或数字集成电路测试仪等。

7. 逻辑分析仪

逻辑分析仪是专门用于分析数字系统的数据域测量仪器。利用对数字逻辑电路和系统在实时运行过程中的数据流或事件进行记录和显示,并通过各种控制功能实现对数字系统的软、硬件故障分析和诊断。

8. 频谱分析仪

频谱分析仪在频域信号分析、测试、研究、维修中有着广泛的应用。它能同时测量信号的幅度及频率,测试比较多路信号及分析信号的组成。还可测试手机逻辑和射频电路的信号,例如:逻辑电路的控制信号、基带信号、射频电路的本振信号、中频信号、发射信号等。

1.2.2 电子测量仪器的主要技术指标

电子测量仪器的技术指标主要包括频率范围、准确度、量程与分辨力、稳定性和可靠性、环境条件、响应特性以及输入输出特性等。

1. 频率范围

频率范围是指能保证仪器其他指标正常工作的有效频率范围。

2. 准确度

测量准确度又称为测量精度,它描述的是由于测量结果在测量过程中受各种因素的影响而产生的与被测量真实值间的差异程度,即测量误差。

测量准确度通常以容许误差或不确定度的形式给出。不确定度是指在对测量数据进行处理的过程中,为了避免丢失真实数据而人为扩大的测量误差,由于它在一定程度上能反映出测量数据的可信程度而得名,不确定度的数值越大,丢失真实数据的可能性越小,即可信度越高。容许误差是为了描述测量仪器的测量准确度而规定的,利用仪器进行测量时,允许仪器产生的最大误差。

3. 量程与分辨力

量程是指测量仪器的测量范围。分辨力是指通过仪器所能直接反映出的被测量变化的最小值,即指针式仪表刻度盘标尺上最小刻度代表的被测量大小或数字仪表最低位的“1”所表示的被测量大小。同一仪器不同量程的分辨力不同,通常以仪器最小量程的分辨力(最高分辨力)作为仪器的分辨力。

4. 稳定性与可靠性

稳定性是指在一定的工作条件下,在规定时间内,仪器保持指示值或供给值不变的能力。可靠性是指仪器在规定的条件下,完成规定功能的可能性,是反映仪器是否耐用的一种综合性和统计性质量指标。

5. 环境条件

环境条件即保证测量仪器正常工作的工作环境,例如基准工作条件、正常条件、额定工作条件等。

6. 响应特性

一般说来,仪器的响应特性是指输出的某个特征量与其输入的某个特征量之间的响应关系或驱动量与被驱动量之间的关系。例如峰值检波器的响应特性为检波器输出的平均值约等于交流输入信号的峰值。

7. 输入特性与输出特性

输入特性主要包括测量仪器的输入阻抗、输入形式等。输出特性主要包括测量结果的指示方式、输出电平、输出阻抗、输出形式等。

1.3 测量误差的来源及表达方法

测量的目的是得到被测量的真实结果,即真值,但由于人们对客观规律认识的局限性,不可能得到被测量的真值。测量值与被测量真值之间的差异称为测量误差。

1.3.1 测量误差的表示方法

测量误差的表示方法有三种:绝对误差、相对误差和容许误差。

1. 绝对误差

(1)定义 测量所得的测量值 x 与真值 A_0 之差称为绝对误差,用 Δx 表示,即

$$\Delta x = x - A_0$$

式中, x 称为被测量的给出值、示值或测量值,习惯上统称为示值; A_0 称为被测量的真值。

注意示值和仪器的读数是有区别的,读数是从仪器刻度盘、显示器等读数装置上直接读到的数字,而示值则是由仪器刻度盘、显示器上的读数经换算而成的。

真值 A_0 是一个理想的概念,实际上是不可能得到的,通常用高一级标准仪器或计量器具所测得的测量值 A 来代替, A 称为被测量的实际值。

绝对误差的计算式为:

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

绝对误差的正负号表示测量值偏离实际值的方向,即偏大或偏小。绝对误差的大小则反映出测量值偏离实际值的程度。

(2)修正值 与绝对误差大小相等、符号相反的量值,称为修正值,用 C 表示,即

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

修正值通常是在用高一级标准仪器对测量仪器校准时给出的。当得到测量值 x 后,要对测量值 x 进行修正得出被测量的实际值,即

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

修正值有时给出的方式不一定是具体数值,也可能是一条曲线或一张表格,和绝对误差一样都有大小、符号及量纲。

2. 相对误差

虽然绝对误差可以说明测量结果偏离实际值的情况,但不能确切反映测量结果偏离真实值的程度。例如:对分别为 10Hz 和 1MHz 的两个频率进行测量,绝对误差都为 +1Hz,但两次测量结果的准确程度显然不同。为了克服绝对误差的这一不足,通常采用相对误差的形式来表示。

相对误差包括实际相对误差、示值相对误差和满度相对误差。

(1) 相对误差:绝对误差与被测量的真值之比称为相对误差(或称相对真误差),用 γ 表示:

$$\gamma = \frac{\Delta x}{A_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

相对误差没有量纲,只有大小及符号。由于真值是难以确切得到的,通常用实际值 A 代替真值 A_0 来表示相对误差。

(2) 实际相对误差:绝对误差 Δx 与实际值 A 之比,称为实际相对误差,用 γ_A 表示:

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

在误差较小,要求不大严格的场合,也可以用测量值 x 代替实际值 A ,由此得出示值相对误差。

(3) 示值相对误差:绝对误差 Δx 与测量值 x 之比称为示值相对误差,用 γ_x 表示:

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

(4) 满度相对误差:整量化误差与量程之比,用 γ_m 表示:

$$\gamma_m = \frac{\Delta X_m}{X_m} \quad (1-7)$$

式中, ΔX_m ——整量化误差。取 $\Delta X_m = |\Delta X_{imax}|$

ΔX_{imax} ——最大绝对误差。

1.3.2 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。如磁电系的仪器的摩擦阻力、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的误差。

2. 使用误差

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

由于测量者的分辨力、疲劳程度、心情、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。