

全国高职高专教育电子电气类专业规划教材

电子测量仪器

■ 周友兵 主编

■ 贾艳丽 阴家龙 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

全国高职高专教育电子电气类专业规划教材

电子测量仪器

Dianzi Celiang Yiqi

周友兵 主编

贾艳丽 阴家龙 副主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

在电子产品制造过程中,从产品研发到流水线生产、再到售后服务等每个环节都要用到电子测量仪器。电子产品制造业的从业人员应具备电子测量的基本知识和电子测量仪器的操作技能。

本书编写时遵循“工学结合”原则,以职业能力为导向,以职业技能为核心,以满足岗位需求为目标,加强基本知识和基本技能内容的讲解,避免烦琐的数学推导和过深的理论分析,注重对仪器操作技能的训练与职业能力的培养。

本书对函数信号发生器、高频信号发生器、模拟示波器、数字示波器、电子计数器、数字交流毫伏表、数字万用表、数字电桥、晶体管特性图示仪、扫频仪、频谱仪、失真度仪、在线测试仪和虚拟仪器等电子测量仪器进行了系统的讲解。每种仪器都按照“仪器的功能→技术指标→内部结构与工作原理→操作规程→技能实训”的顺序进行系统全面的讲解。

通过本书的学习使学生掌握电子测量的基本原理和方法;掌握常用电子测量仪器的选择和正确使用;具有制订科学合理的测量方案的能力;具备一定的发现问题、分析问题和解决问题的能力。

本书可作为高职高专电子类相关专业的教材,教学时数建议为75学时,也可作为中职电子类专业的教材和相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子测量仪器 / 周友兵主编. -- 北京: 高等教育出版社, 2012.7

ISBN 978 - 7 - 04 - 035484 - 3

I. ①电… II. ①周… III. ①电子测量设备 - 高等教育教育 - 教材 IV. ①TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 141134 号

策划编辑 孙 薇
插图绘制 尹 莉

责任编辑 孙 薇
责任校对 胡晓琪

封面设计 于 涛
责任印制 朱学忠

版式设计 余 杨

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 河北省财政厅票证文印中心
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 16.75
字 数 410 千字
购书热线 010 - 58581118

咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2012 年 7 月第 1 版
印 次 2012 年 7 月第 1 次印刷
定 价 26.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 35484 - 00

前 言

现代信息技术的三大支柱是:信息的获取技术(测试技术)、信息的传输技术(通信技术)和信息的处理技术(计算机技术)。电子测量仪器是信息获取的重要工具。电子测量仪器通常融合了电子测量技术、计算机技术、通信技术、数字技术和软件技术等多种技术于一身。电子测量仪器广泛应用于国民经济各个领域。电子产品从研发、生产、调试到检修等各个环节都要用到电子测量仪器。

本书遵循“工学结合”原则,以满足岗位需求为目标,加强基本知识、基本理论和基本技能的内容,避免烦琐的数学推导和过深的理论分析。本书编写以职业能力培养为核心,把职业岗位对人才的综合能力(知识、技能以及态度)要求等要素进行重新整合。本书结合国家职业标准对知识和技能的要求,注重对学生实际操作技能的训练与职业能力的培养。

本书第1章由丁向荣老师编写,第2章高频信号源部分由江苏瑞特电子公司黄晓晨高级工程师编写,第3章数字示波器部分由南京宝灿电子公司杨立刚工程师编写,第8章由阴家龙老师编写,第9章由贾艳丽老师编写,本书其余部分由周友兵老师编写。本书由淮安信息职业技术学院电子工程学院李朝林副院长担任主审,周友兵老师担任主编。

在本书的编写过程中,得到了电子工程学院领导、老师及相关企业的大力支持,在此一并表示感谢。鉴于编者水平有限,书中难免有疏漏和错误,恳请业内专家和广大读者批评指正。

编 者
2012年4月

目 录

第1章 绪论	1	2.2.2 典型仪器——SP1641B 型 函数信号发生器	21
1.1 概述	1	2.2.3 知识链接——集成电路 MAX038	26
1.2 测量误差的基本知识	4	2.2.4 技能实训——函数信号 发生器的使用	28
1.2.1 测量误差的表示方法	4	2.3 高频信号发生器	29
1.2.2 测量误差的分类	6	2.3.1 高频信号发生器组成原理	29
1.2.3 测量误差的来源	7	2.3.2 典型仪器——SG1052S 型 高频信号发生器	29
1.2.4 电子测量仪器的误差	7	2.3.3 技能实训——高频信号发生器 的使用(收音机调试)	33
1.2.5 知识链接——电子测量仪器的 准确度、精密度和精确度	8	2.4 知识拓展——直接数字频率 合成技术	34
1.3 电子测量仪器的主要性能指标	8	本章小结	36
1.4 电子测量仪器的选择与使用 注意事项	10	思考练习	37
1.4.1 电子测量仪器的选择	10	第3章 模拟示波器和数字示波器	38
1.4.2 电子测量仪器的使用 注意事项	11	3.1 概述	38
1.5 电子测量仪器的操作安全	13	3.2 模拟示波器	40
1.5.1 人身安全操作规则	13	3.2.1 模拟示波器的主要技术 指标	40
1.5.2 设备安全操作规则	13	3.2.2 模拟示波器的内部结构与 工作原理	41
1.6 电子测量方案的制订	14	3.2.3 典型仪器——CA9020 型模拟 示波器	53
1.7 电子测量实训室管理规范	15	3.2.4 模拟示波器的使用步骤与 注意事项	57
1.8 “电子测量仪器”课程的 学习目标	15	3.2.5 技能实训——模拟示波器的 使用	58
1.9 知识拓展——5S 活动	15	3.3 数字存储示波器	63
本章小结	16	3.3.1 数字存储示波器的特点与	
思考练习	16		
第2章 函数信号发生器和高频信号 发生器	18		
2.1 概述	18		
2.2 函数信号发生器	20		
2.2.1 函数信号发生器的组成 原理	20		

技术指标·····	63	5.2.6 技能实训——数字交流毫 伏表的使用·····	111
3.3.2 数字示波器的内部结构与 工作原理·····	64	5.2.7 电压表的选择原则·····	111
3.3.3 典型仪器——CA1022 型数字 示波器·····	65	5.3 数字万用表·····	112
3.3.4 技能实训——数字示波器的 使用·····	71	5.3.1 数字万用表的用途、种类和 技术指标·····	112
3.4 示波器的选择·····	74	5.3.2 数字万用表的内部结构与 工作原理·····	113
3.5 知识拓展——数字荧光示波器·····	76	5.3.3 典型仪器——VC890C + 型 数字万用表·····	116
本章小结·····	78	5.3.4 数字万用表使用的注意 事项·····	120
思考练习·····	79	5.3.5 技能实训——数字万用表的 使用·····	121
第4章 电子计数器 ·····	80	5.4 知识拓展——数字万用表的 功能扩展·····	122
4.1 概述·····	80	本章小结·····	124
4.2 电子计数器的种类和技术参数·····	80	思考练习·····	125
4.3 电子计数器的内部结构与 工作原理·····	81	第6章 数字电桥和晶体管 特性图示仪 ·····	126
4.4 典型仪器——E312B 型通用 电子计数器·····	87	6.1 概述·····	126
4.5 电子计数器使用的注意事项·····	92	6.2 数字电桥·····	127
4.6 技能实训——电子计数器的 使用·····	92	6.2.1 数字电桥的用途与选择·····	127
4.7 知识拓展——智能仪器的 基本知识·····	93	6.2.2 知识链接——电子元件 相关知识·····	127
本章小结·····	97	6.2.3 阻抗的数字测量原理·····	128
思考练习·····	97	6.2.4 典型仪器——YB2812 型 LCR 数字电桥·····	129
第5章 数字交流毫伏表和数字万 用表 ·····	98	6.2.5 技能实训——YB2812 型 LCR 数字电桥的使用·····	133
5.1 概述·····	98	6.3 晶体管特性图示仪·····	134
5.2 数字交流毫伏表·····	101	6.3.1 晶体管特性图示仪的用途与 特点·····	134
5.2.1 数字电压表的技术指标·····	101	6.3.2 晶体管特性图示仪的内部 结构与工作原理·····	135
5.2.2 数字电压表的组成与工作 原理·····	102	6.3.3 典型仪器——XJ4810 型 晶体管特性图示仪·····	136
5.2.3 知识链接——交流电压的 基本参数·····	105	6.3.4 技能实训——晶体管特性	
5.2.4 典型仪器——SG2172B 型 数字交流毫伏表·····	106		
5.2.5 知识链接——信号电平值的 测量·····	110		

图示仪的使用	142	本章小结	181
6.4 知识拓展——数字电桥的内部 结构与工作原理	147	思考练习	182
本章小结	150	第8章 在线测试仪和功能测试仪	183
思考练习	150	8.1 概述	183
第7章 扫频仪、频谱仪和失真度仪	152	8.2 在线测试仪	184
7.1 概述	152	8.2.1 在线测试仪的特点	185
7.2 扫频仪	154	8.2.2 在线测试仪的技术参数	185
7.2.1 扫频仪的用途、种类和 技术指标	154	8.2.3 在线测试仪的结构与工作 原理	185
7.2.2 扫频仪的内部结构与工作 原理	155	8.2.4 在线测试仪的操作规程	189
7.2.3 典型仪器——BT3C-B型 扫频仪	157	8.2.5 典型仪器——FA-931V型 在线测试仪	190
7.2.4 技能实训——扫频仪的 使用	161	8.2.6 技能实训——夏普 L100 液晶 电视电路板的在线测试	192
7.3 频谱仪	163	8.2.7 飞针测试	193
7.3.1 频谱仪的用途、种类和 技术指标	163	8.3 功能测试仪	195
7.3.2 频谱仪的组成与工作原理	164	8.3.1 功能测试的特点	195
7.3.3 典型仪器——AT5010 型 频谱仪	165	8.3.2 功能测试仪的结构与工作 原理	195
7.3.4 频谱仪使用的注意事项	169	8.3.3 技能实训——夏普 32L100 型液晶电视电路主板的 功能测试	196
7.3.5 技能实训——频谱仪的 使用	169	8.4 知识拓展——逻辑分析仪	198
7.3.6 知识链接——分贝和分贝 毫瓦	170	本章小结	201
7.3.7 频谱仪的应用	171	思考练习	201
7.4 失真度仪	172	第9章 虚拟仪器	202
7.4.1 谐波失真度及其测量	172	9.1 概述	202
7.4.2 失真度仪的用途与种类	172	9.2 虚拟仪器的硬件	204
7.4.3 失真度仪的工作原理	173	9.3 虚拟仪器的软件	207
7.4.4 典型仪器——KH4116A 型低失真度测量仪	173	9.3.1 虚拟仪器的软件结构	207
7.4.5 技能实训——失真度仪的 使用	178	9.3.2 LabVIEW 2009 介绍	208
7.5 知识拓展——电子测量仪器的 发展趋势	179	9.4 设计举例——虚拟信号发生器的 设计	214
		9.5 虚拟仪器设计的注意事项	218
		9.6 技能实训——虚拟示波器的 设计	219
		9.7 知识链接——数据采集卡的 配置工具软件 MAX	222

9.8 知识拓展——自动测试系统	223	10.2.4 任务实施——功放输出 功率测量实施工作单	236
本章小结	227	10.2.5 检查评价——功放输出 功率测量评价工作单	236
思考练习	228	10.3 功放失真度测试	237
第10章 综合实训——功率放大器		10.3.1 工作任务——功放失真度 测量任务工作单	237
技术指标测试	229	10.3.2 任务分析——功放的失真及 测量	237
10.1 功放静态测试	229	10.3.3 计划决策——功放失真度 测量计划工作单	238
10.1.1 工作任务——功放静态 测量任务工作单	229	10.3.4 任务实施——功放失真度 测量实施工作单	239
10.1.2 任务分析——功放的静态 指标及测量	230	10.3.5 检查评价——功放失真度 测量评价工作单	240
10.1.3 计划决策——功放静态 测量计划工作单	231	本章小结	240
10.1.4 任务实施——功放静态 测量实施工作单	232	思考练习	240
10.1.5 检查评价——功放静态 测量评价工作单	233	附录1 “电子测量仪器”课程标准	241
10.2 功放输出功率测试	233	附录2 “电子测量仪器”技能 考核试题	247
10.2.1 工作任务——功放输出 功率测量任务工作单	233	附录3 电子测量仪器常用术语英汉 对照表	257
10.2.2 任务分析——功率放大器的 动态指标及测量仪器	234	参考文献	259
10.2.3 计划决策——功放输出 功率测量计划工作单	235		

第1章

绪论



【学习目标】

1. 认识电子测量仪器的种类。
2. 会对测量误差进行分析。
3. 会正确选择电子测量仪器。



【学习重点】

1. 电子测量仪器的种类与特点。
2. 电子测量的误差来源与种类。



【学习难点】

1. 电子测量仪器的选择。
2. 电子测量仪器的使用注意事项。

1.1 概述

1. 电子测量的概念

测量是指为确定被测对象的量值而进行的实验过程。俄国化学家门捷列夫指出“科学是从测量开始的”。门捷列夫照片如图 1-1 所示。

著名科学家钱学森明确指出：“信息技术包括测量技术、计算机技术和通信技术。测量技术是关键和基础。”在工业生产中，仪器仪表是“倍增器”。在科学研究中，仪器仪表是“先行官”。

电子测量是指以电子技术作为理论依据、以电子测量仪器设备为工具进行的测量。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。

在电子产品制造过程中，从产品研发到流水线生产、再到售后服务等，每个环节都要用到电子测量仪器进行测量。电子产品制造业的从业人员应具备电子测量的基本知识和电子测量仪器的操作技能。图 1-2 为工厂测试电子产品的图片。

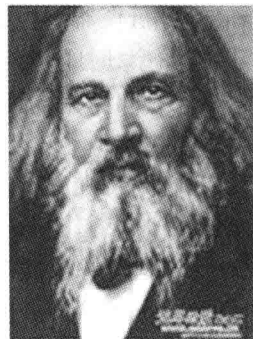


图 1-1 俄国化学家门捷列夫



(a) 电视机调试



(b) 手机测试

图 1-2 工厂测试电子产品的图片

2. 电子测量的内容

电子测量的内容主要有：

- ① 电能量的测量：如电流、电压、功率等的测量。
- ② 电路、元器件参数的测量：如电阻、电感、电容、阻抗的品质因数、电子器件参数等的测量。
- ③ 电信号特性的测量：如频率、波形、周期、时间、相位、谐波失真度、调幅度及逻辑状态等的测量。
- ④ 电子设备性能的测量：如放大倍数、衰减量、灵敏度、通频带、噪声指数等的测量。
- ⑤ 特性曲线的显示：如幅频特性、器件特性等特性曲线的测量。

3. 电子测量仪器的分类

电子测量仪器一般分为专用仪器和通用仪器两大类。通用仪器按照功能可分类如下。

(1) 信号发生器

信号发生器主要用来提供各种测量所需的信号。根据用途的不同,有各种波形、各种频率和各种功率的信号发生器。如调频调幅信号发生器、脉冲信号发生器、函数信号发生器等。

(2) 电压测量仪器

电压测量仪器是用于测量信号电压的仪器,如低频毫伏表、高频毫伏表、数字电压表等。

(3) 信号分析仪器

信号分析仪器主要用来观测、分析和记录各种电量的变化。如各种示波器和频谱分析仪等。

(4) 频率、时间和相位测量仪器

频率、时间和相位测量仪器主要用来测量电信号的频率、时间间隔和相位差。这类仪器有各种频率计、相位计等。

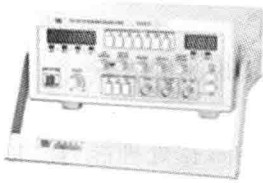
(5) 网络特性测量仪

网络特性测量仪有频率特性测试仪及网络分析仪等,主要用来测量电气网络的各种特性。这些特性主要指频率特性、阻抗特性、功率特性等。

(6) 电子元器件测试仪

元器件测试仪主要用来测量各种电子元器件的各种电参数是否符合要求。根据测试对象的不同,可分为晶体管测试仪、集成电路(模拟、数字)测试仪和电路元件(如电阻、电感、电容)测试仪等。

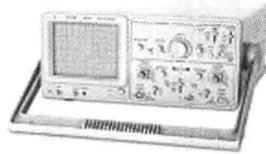
常用电子测量仪器图片如图 1-3 所示。



(a) 函数信号发生器



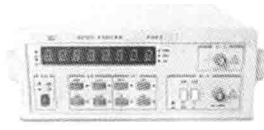
(b) 高频信号发生器



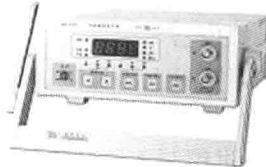
(c) 模拟示波器



(d) 数字示波器



(e) 电子计数器



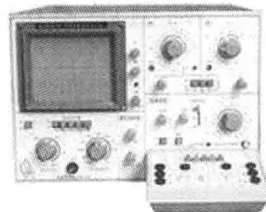
(f) 数字毫伏表



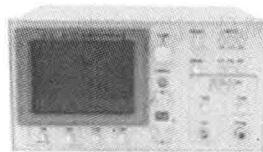
(g) 数字万用表



(h) 数字电桥



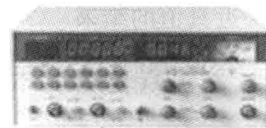
(i) 晶体管特性图示仪



(j) 扫频仪



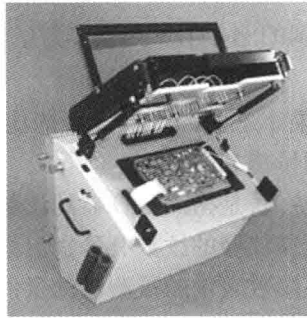
(k) 频谱仪



(l) 失真度仪



(m) 在线测试仪



(n) 功能测试

图 1-3 常用电子测量仪器图片

4. 电子测量仪器的发展历程

电子测量仪器的发展大体经历了四个阶段：

(1) 模拟仪器

它的基本结构是电磁机械式的,借助指针来显示测量结果。

(2) 数字仪器

它将模拟信号的测量转换为数字信号的测量,并以数字方式输出测量结果。

(3) 智能仪器

它内置处理器和 GPIB 接口,既能进行自动测量又具有一定的数据处理能力。智能仪器是在仪器内加入微计算机芯片,对仪器的工作过程进行控制,使其具有一定智能,自动完成某些工作。

(4) 虚拟仪器

它是在计算机上添加测试应用软件和一些硬件模块,具有虚拟仪器面板和信息处理系统,用户操作计算机就像操作真实仪器一样。虚拟仪器的功能主要由软件来定义,因此对于同一个硬件设备,可通过编制不同的软件,使其实现不同的功能。

1.2 测量误差的基本知识

测量的目的就是希望获得被测量的实际大小即真值。所谓真值,就是在一定的时间和环境的条件下,被测量本身所具有的真实数值。实际上,由于测量设备、测量方法、测量环境和测量人员的素质等条件的限制,测量所得到的结果与被测量的真值之间会有差异,这个差异就称为测量误差。

研究误差的目的:① 正确认识误差的来源和性质,以减小测量误差。② 正确处理测量数据,以得到接近真值的结果。③ 合理地制订测量方案,正确选择测量方法和仪器。

1.2.1 测量误差的表示方法

测量误差有两种表示方法:绝对误差和相对误差。

1. 绝对误差

由测量所得到的测量值 x 与被测量的真值 A_0 之差,称为绝对误差,用 Δx 表示,即

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

由于测量结果 x 总含有误差, x 可能比 A_0 大,亦可能比 A_0 小。因此, Δx 既有大小,又有正负符号,其量纲和测量值相同。

这里说的测量值,是指测量仪器的读数装置所指示出来的被测量的数值,所以也称为示值。一般情况下,示值和仪器的读数有区别。读数是指从仪器刻盘度、显示器等读数装置上直接读到的数字,示值是该读数表示的被测量的量值,常常需要加以换算。真值是一个理想的概念,一般来说,是无法精确得到的。因此,实际应用中通常用实际值 A 来代替真值 A_0 。实际值是根据测量误差的要求,用高一等级或数级的标准仪器或计量器具测量所得之值,这时绝对误差可按下式计算:

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

2. 相对误差

绝对误差虽然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的准确程度。例

如,对分别为 10 Hz 和 1 MHz 的两个频率进行测量,绝对误差都为 +1 Hz,但两次测量结果的准确程度显然不同。因此,需引出相对误差的概念。

相对误差定义为绝对误差与被测量的真值之比,用 γ 表示。

$$\gamma = \frac{\Delta x}{A_0} \times 100\% \tag{1-3}$$

相对误差是量纲为一的量,只有大小及符号。

(1) 实际相对误差

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,用 γ_A 来表示:

$$\gamma_A = \frac{\Delta x}{A} \times 100\% \tag{1-4}$$

式中, γ_A 称为实际相对误差。

(2) 示值相对误差

在误差较小,要求不大严格的场合,也可用测量值 x 代替实际值 A ,由此得出示值相对误差,用 γ_x 来表示:

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \tag{1-5}$$

式中的 Δx 由所用仪器的准确度等级定出。由于 x 中含有误差,所以 γ_x 只适用于近似测量。当 Δx 很小时, $x \approx A$,有 $\gamma_x \approx \gamma_A$ 。

(3) 满度相对误差

经常用绝对误差与仪器满刻度值 x_m 之比来表示相对误差,称为满度相对误差(或称引用相对误差),用 γ_m 表示:

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\% \tag{1-6}$$

测量仪器使用最大满度相对误差来表示它的准确度,这时有

$$\gamma_{mm} = \frac{\Delta x_m}{x_m} \times 100\% \tag{1-7}$$

式中: Δx_m ——仪器在该量程范围内出现的最大绝对误差; x_m ——满刻度值; γ_{mm} ——仪器在工作条件下不应超过的最大相对误差,它反映了该仪表的综合误差的大小。电工测量仪表按 γ_{mm} 值分 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 七个准确度等级。国家标准规定仪表的精确度等级共分七级,它与误差的对应关系如表 1-1 所示。

表 1-1 仪表准确度等级

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
相对误差(%)	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0	±1.5	±2.5	±5.0

通常 0.1 级和 0.2 级仪表为标准表;0.5 级至 1.0 级仪表用于实验室;1.5 级至 5.0 级则用于工程测量。准确度等级常用符号 S 表示,即有

$$S\% = \gamma_{mm} \tag{1-8}$$

由式(1-7)可知,测量的绝对误差满足

$$\Delta x \leq x_m \cdot S\% \tag{1-9}$$

将式(1-9)代入式(1-5),可得

$$\gamma_x \leq \frac{x_m \cdot S\%}{x} \quad (1-10)$$

测量中总是满足 $x \leq x_m$, 可见当仪表的准确度等级确定后, x 越接近 x_m , 测量的示值相对误差越小, 测量准确度越高。因此, 在测量中选择仪表量程时, 应使指针尽量接近满偏转, 一般最好指示在满度值的 $2/3$ 以上的区域。应该注意, 这个结论只适用于正向线性刻度的电压表、电流表等类型的仪表。而对于反向刻度的仪表即随着被测量数值增大而指针偏转角度变小的仪表, 如万用表的欧姆挡, 由于在设计或检定仪表时均以中值电阻为基准, 故在使用这类仪表进行测量时应尽可能使表针指在中心位置附近区域, 因为此时测量准确度最高。

例 1.1 某被测电压的实际值在 10 V 左右, 现有量程和准确度等级分别为 150 V 、 0.5 级和 15 V 、 1.5 级两块电压表, 请问用哪块表测量比较合适?

解: 若用 150 V 、 0.5 级电压表, 由式(1-9)可求得测量的最大绝对误差为

$$\Delta x_{m1} = \pm 0.5\% \times 150\text{ V} = \pm 0.75\text{ V}$$

示值范围为 $(10 \pm 0.75)\text{ V}$, 则测量的相对误差为

$$\gamma_{A1} = \frac{\pm 0.75}{10} \times 100\% = \pm 7.5\%$$

用 15 V 、 1.5 级电压表测量, 测量的最大绝对误差为

$$\Delta x_{m2} = \pm 1.5\% \times 15\text{ V} = \pm 0.225\text{ V}$$

示值范围为 $(10 \pm 0.225)\text{ V}$, 则测量的相对误差为

$$\gamma_{A2} = \frac{\pm 0.225}{10} \times 100\% = \pm 2.25\%$$

显然, 应选用 15 V 、 1.5 级电压表测量。由此例可见, 测量中应根据被测量的大小, 合理选择仪表量程, 并兼顾准确度等级, 而不能片面追求仪表的准确度级别。

1.2.2 测量误差的分类

测量误差可分为系统误差、随机误差和疏失误差。

1. 系统误差

在一定的条件下, 误差的数值(大小及符号)保持恒定或按照一定的规律变化的误差称为系统误差。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。对于系统误差, 在测量前应细心做好准备工作, 检查所有可能产生系统误差的来源, 并设法消除; 或决定它的大小, 在测量中采用适当的方法或引入修正值加以抵消或削弱。

2. 随机误差

在相同条件下进行多次测量, 每次测量结果出现无规律的随机变化的误差, 这种误差称为随机误差或偶然误差。在足够多次测量中, 随机误差服从一定的统计规律, 具有单峰性、有界性、对称性、相消性等特点。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。

随机误差和系统误差共同决定测量结果的精确度, 要使测量的精确度高, 两者的值都要求很小。对于随机误差, 可在相同条件下进行多次测量, 对测量结果求平均值来减小它的影响。

3. 疏失误差

疏失误差是指在一定条件下,测量值明显偏离实际值时所对应的误差。疏失误差又称粗大误差。疏失误差是由于读数错误、记录错误、操作不正确、测量中的失误及有不能允许的干扰等原因造成的误差。疏失误差明显地歪曲了测量结果,就其数值而言,它远远大于系统误差和随机误差。对于含有疏失误差的测量值,一经确认,应首先予以剔除。

1.2.3 测量误差的来源

1. 仪器误差

由于仪器本身及其附件的电气和机械性能不完善而引入的误差称为仪器误差。仪器仪表的零点漂移、刻度不准确和非线性等引起的误差以及数字式仪表的量化误差都属于此类。

2. 使用误差

由于仪器的安装、布置、调节和校正不当等所造成的误差。如把要求水平放置的仪器垂直放置、接线太长、未装阻抗匹配连接线、接地不当等都会产生使用误差。

3. 环境误差

由于温度、湿度、电源电压、电磁场等各种环境因素与仪器仪表要求的条件不一致而引起的误差。

4. 人身误差

由于测量者的分辨能力、工作习惯和身体素质等原因引起的误差。由于某些借助人耳、人眼来判断结果的测量以及需要进行人工调整等的测量工作,均会产生人身误差。

5. 方法误差

由于测量方法或者仪器仪表选择不当所造成的误差称为方法误差;如用低内阻的万用表测量高内阻电路的电压时所引起的误差就属于此类。

6. 理论误差

测量时,依据的理论不严格或者应用近似公式等造成的误差称为理论误差。

1.2.4 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产生的误差,称为电子测量仪器的误差。它包括以下几类:

1. 固有误差

固有误差指在基准工作条件下测量仪器的误差。基准工作条件,是指一组有公差的基准值(例如环境温度 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 等)或有基准范围的影响量(例如温度、湿度、气压、电源等环境条件)。

2. 工作误差

工作误差是在额定工作条件内任一值上测得的某一性能特性的误差。在影响量的工作范围内,各影响量的最不利的组合点上,产生工作误差的最大值。

3. 稳定误差

由于测量仪器稳定性不好引起性能特性的变化产生的误差称为稳定误差。例如,由于元器件老化,使仪器性能对供电电源或环境条件敏感,造成零点漂移或读数变化等现象。

4. 变动量

变动量是反映影响量所引起的误差。当同一个影响量相继取两个不同值时,对于被测量的同一数值,测量仪器给出的示值之差,称为电子测量仪器的变动量。



重点提示

测量误差是客观存在的,人们无法消除它,只能想办法减小误差,让测量值最大限度地接近实际值。

1.2.5 知识链接——电子测量仪器的准确度、精密度和精确度

1. 准确度

准确度指在一定实验条件下多次测定的平均值与真值相符合的程度,以误差来表示。它用来表示系统误差的大小。系统误差越小,则准确度越高,即测量值与实际值符合的程度越高。

2. 精密度

精密度是指多次重复测定同一量时各测定值之间彼此相符合的程度。表征测定过程中随机误差的大小。精密度是表示测量的再现性,是保证准确度的先决条件,但是高的精密度不一定能保证高的准确度。

3. 精确度

精确度用来反映系统误差和随机误差的综合影响。精确度越高,表示准确度和精密度都高,意味着系统误差和随机误差都小。

图 1-4 是用打靶时弹着点为例,说明上述三个术语的含义。用靶心表示真值位置,黑点为每次测得值的位置。图(a)表示射击的精密度低但准确度较高,即系统误差较大;图(b)表示射击的准确度低,但精密度较高,即随机误差较小;图(c)表示精密度和准确度都比较好,称为精确度高,这时随机误差和系统误差都比较小。

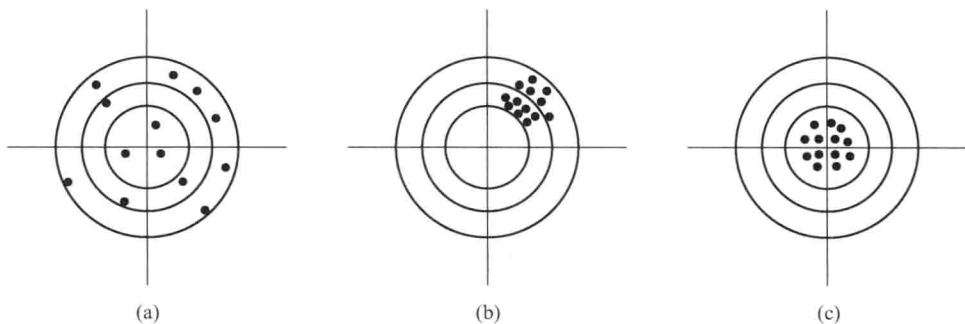


图 1-4 打靶误差示意图

1.3 电子测量仪器的主要性能指标

电子测量仪器的主要性能指标包括频率范围、测量准确度、输入阻抗和灵敏度等。

1. 频率范围

频率范围是指保证测量仪器其他指标正常工作的有效频率范围。

2. 测量准确度

测量准确度又称测量精度,它是指测量仪器的读数或测量结果与被测量真实值相一致的程度。对精度目前还没有一个公认的、定量的数学表达式,因此常作为一个笼统的概念来使用,其含义是:精度越高,表明误差越小;精度越低,表明误差越大。因此,精度不仅用来评价测量仪器的性能,同时也是评定测量结果最主要、最基本的指标。

3. 输入阻抗

测量仪器的输入阻抗对测量结果会产生一定的影响。如电压表、示波器等仪表,测量时并联接于待测电路两端,如图 1-5 所示。不难看出,测量仪器的接入改变了被测电路的阻抗特性,这种现象称为负载效应。为了减小测量仪器对待测电路的影响,提高测量精度,通常对这类测量仪器的输入阻抗都有一定要求。仪器的输入阻抗一般用输入电阻 R_i 和输入电容 C_i 表示,如图 1-5 所示。如 CA9020 型示波器的输入阻抗为 $R_i = 1\text{ M}\Omega$, $C_i = 33\text{ pF}$ 。顺便指出,对信号源等供给量仪器,还要考虑输出阻抗,在高频尤其是微波测量等场合还必须注意阻抗的匹配。

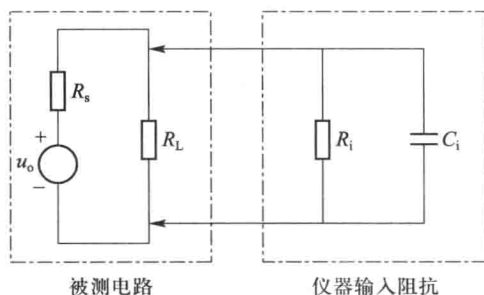


图 1-5 仪器的输入阻抗

4. 灵敏度

灵敏度表示测量仪表对被测量参数变化的敏感程度。例如示波器在单位输入电压的作用下,示波管荧光屏上光点偏移的距离就定义为它的偏转灵敏度,单位为 cm/V 等。灵敏度的另一种表述方式称为分辨力,是指测量仪表所能区分的被测量变化的最小值,在数字式仪表中经常使用,同一仪器不同量程的分辨力是不相同的。

5. 线性度

线性度是测量仪表输入/输出特性之一,表示仪表的输出量(示值)随输入量(被测量)变化的规律。若仪表的输出为 y ,输入为 x ,两者关系用函数 $y=f(x)$ 表示,如果 $y=f(x)$ 为 $y-x$ 平面上过原点的直线,则称为线性刻度特性,否则称为非线性刻度特性。由于各类测量仪器的原理各异,不同的测量仪器可能呈现不同的刻度特性。如模拟万用表的电阻挡,具有上凸的非线性刻度特性,如图 1-6(a)所示。而数字电压表,具有线性刻度特性,如图 1-6(b)所示。

6. 动态特性

测量仪表的动态特性表示仪表的输出响应随输入变化的能力。例如模拟电压表由于动圈式