



新世纪高职高专实用规划教材

电子与电工系列

电子测量 技术与实训

刘旭 赵红利 主编
孟祥忠 吴荣海 陈敏 副主编

赠送
电子课件



清华大学出版社

新世纪高职高专实用规划教材 电子与电工系列

电子测量技术与实训

刘 旭 赵红利 主 编

孟祥忠 吴荣海 陈 敏 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者在多年从事电子技术教学研究和《电子测量仪器》教学经验的基础上,结合当前电子测量技术及其应用发展趋势编写而成。本书从电子测量学基础知识和应用需求出发,以电子测量仪器为主线,介绍常用仪器的工作原理、使用方法和测试技能。主要内容包括电子测量基础知识、万用表、毫伏表、直流稳压电源、测量用信号源、电子示波器、晶体管特性图示仪、通用电子计数器、数字相位计、扫频仪、频谱分析仪、失真度测量仪、逻辑分析仪等,同时也对当前的应用热点和趋势——虚拟仪器(即计算机仿真测量)进行了介绍。本书编写过程中紧密结合高职高专教育特点,主动适应社会实际需要,突出应用性、针对性、实践性。内容叙述力求深入浅出,将知识点与能力点有机结合,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。

本书可作为电子测量专业及电子、电工、机电类等高职高专、中等职业学校的配套教材,也可作为电子测量工作人员的短期培训教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电子测量技术与实训/刘旭,赵红利主编;孟祥忠,吴荣海,陈敏副主编.——北京:清华大学出版社,2010.9

(新世纪高职高专实用规划教材 电子与电工系列)

ISBN 978-7-302-23387-9

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 153079 号

责任编辑:张丽娜 郑期彤

装帧设计:杨玉兰

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:15.25 字 数:364 千字

版 次:2010 年 9 月第 1 版 印 次:2010 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:25.00 元

产品编号:036602-01

前 言

电子测量技术是电子技术中进行信息检测的重要手段,它是一门发展快、应用面宽、实践性强的重要应用学科,在现代科学技术中占有举足轻重的地位。电子测量技术是各高职院校的应用电子技术、通信工程、机电一体化、电气自动化、硬件测试等专业的必修课程,主要讲授各种常用电子测量设备的结构原理和使用方法,是一门实践性很强的课程,在理论学习的同时,应尽可能与电子测量技能的训练同步进行,以做到理论联系实际,达到学以致用,突出技能的目的。教学内容应根据专业不同而各有侧重。

本书综合比较了现有同类教材的优缺点,并结合了当今社会需求,书中内容力求符合高职高专毕业生“基础理论适度、技术应用能力强、知识面宽、素质高”的人才培养目标,采用由浅入深、通俗易懂、简明扼要的编写风格,基本理论以应用为目的,基本知识广而不深,点到为止。每章除编写习题外,还编写了一些实训内容。本书在选取实训内容时,尽量结合各院校的实训条件及考虑实际现场工作的需要,编写了切合实际的实训项目,内容具有普遍适用性,所选的电子仪器是全国各院校较为普遍和通用的仪器。选材上注重仪器的先进性,适当介绍了虚拟仪器。本教材参考学时为 60 学时。

全书共分 10 章,第 1 章介绍电子测量与仪器的基本知识;第 2 章介绍万用表(模拟万用表及数字万用表);第 3 章介绍毫伏表;第 4 章介绍直流稳压电源;第 5 章介绍测量用信号源;第 6 章介绍电子示波器;第 7 章介绍电子计数器;第 8 章介绍特殊电子测量仪器,介绍扫频仪、频谱分析仪及失真度测量仪;第 9 章介绍逻辑分析仪;第 10 章介绍虚拟仪器。各章节中还设有测量实训内容,注重理论与实践相结合。每章后都有一定量的习题,并给出了实训参考方案,各学校可根据专业设置要求及学校和学生的实际情况适当调整教学学时数,灵活安排授课和实训内容。除此之外,本书还配备了作者精心制作及修改的课件和一些视频,课件中包含了对书中重点概念和实训方法的过程性动画演示,十分易懂,借助于课件和视频完成本课程的自学将不会有任何困难。本书可供高职院校、技师学院、高级技校、中职中专、成人高校等学校的电子类、通信类和硬件测试类相关专业的师生作为教材;也可供从事电子技术应用类工作的工程技术人员参考,或作为职业技术工人的电子测量培训教材及广大电子爱好者的参考书。

本书由重庆电子工程职业学院刘旭和赵红利担任主编,大连职业技术学院孟祥忠、福建信息职业技术学院吴荣海及重庆科能高级技工学校陈敏担任副主编。刘旭编写了第 2、5、6 章,各章习题及模拟试题的内容;赵红利编写了前言、内容简介、第 7~10 章、附录及各章实训的内容;孟祥忠与大连职业技术学院王静合编了第 4 章的内容;吴荣海编写了第 3 章的内容;陈敏编写了第 1 章的内容。另外,重庆电子工程职业学院李毅和重庆航空航天职业技术学院陈登林也参与了本书的编写。



在本书的编写过程中，编者参考了有关资料和文献，在此向相关作者表示衷心的感谢！
由于编者水平有限，本书难免有疏漏、错误和不足之处，恳请同行和读者批评指正！

编 者

目 录

第 1 章 概述	1	2.2 模拟万用表	15
1.1 电子测量基本知识	1	2.2.1 模拟万用表的组成	15
1.1.1 电子测量的概念及分类	1	2.2.2 模拟万用表的功能面板	16
1.1.2 电子测量的特点	2	2.2.3 模拟万用表的使用 方法	17
1.1.3 电子测量的方法	2	2.2.4 用模拟万用表测量常用 电子元器件	19
1.2 测量误差及处理	4	2.2.5 模拟万用表的使用 注意事项	25
1.2.1 测量误差的定义	4	2.3 数字万用表	25
1.2.2 测量误差的来源	4	2.3.1 数字万用表的组成原理	25
1.2.3 测量误差的表示方法	4	2.3.2 数字万用表的功能面板	26
1.2.4 测量误差的分类	5	2.3.3 数字万用表的使用方法	27
1.2.5 测量结果的表示	6	2.3.4 数字万用表的使用 注意事项	30
1.3 常用电子测量仪器	6	实训 2 模拟万用表的使用	30
1.3.1 电子测量仪器的发展	6	实训 3 数字万用表的使用	32
1.3.2 电子测量仪器的分类	7	习题 2	33
1.3.3 电子测量仪器的误差	7	第 3 章 毫伏表	35
1.3.4 电子测量仪器的性能 指标	8	3.1 概述	35
1.3.5 电子测量仪器的选择	11	3.1.1 毫伏表的分类	35
1.3.6 电子测量仪器的使用 注意事项	12	3.1.2 毫伏表的工作原理	35
实训 1 常用仪器的面板结构与使用	12	3.2 YB2173 型交流毫伏表的使用	36
习题 1	13	3.2.1 概述	36
第 2 章 万用表	14	3.2.2 技术性能指标	36
2.1 概述	14	3.2.3 前面板布局	37
2.1.1 万用表的分类	14	3.2.4 操作方法及注意事项	38
2.1.2 模拟万用表与数字万用表之间的 区别	14	习题 3	39



第4章 直流稳压电源	40	5.5 脉冲信号发生器	62
4.1 概述	40	5.5.1 脉冲信号发生器的分类	63
4.1.1 工作原理	40	5.5.2 通用脉冲信号发生器的 工作原理	63
4.1.2 面板结构	40	5.5.3 DF1521B 型脉冲信号发生器 的使用	64
4.2 JWY302 型晶体管组合稳压 电源的使用	41	习题 5	68
4.2.1 性能指标	41	第6章 电子示波器	70
4.2.2 前面板布局	42	6.1 概述	70
4.2.3 使用方法	42	6.1.1 示波器的分类	70
4.2.4 使用注意事项	43	6.1.2 通用示波器的组成	70
实训 4 直流稳压电源的使用	43	6.2 示波管及波形显示原理	74
习题 4	45	6.2.1 示波管的组成	74
第5章 测量用信号源	46	6.2.2 波形显示原理	74
5.1 概述	46	6.3 YB4320G 双踪四迹示波器的 使用	76
5.1.1 信号发生器的分类	46	6.3.1 主要技术性能	76
5.1.2 信号发生器的发展趋势	47	6.3.2 前面板布局	77
5.2 低频信号发生器	47	6.3.3 基本操作	80
5.2.1 基本组成	47	6.3.4 使用注意事项	80
5.2.2 XD2 型低频信号 发生器	48	6.4 示波器的测试应用	81
5.3 高频信号发生器	50	6.4.1 测量电压	81
5.3.1 概述	50	6.4.2 测量时间	83
5.3.2 高频信号发生器的分类	50	6.4.3 测量频率	84
5.3.3 高频信号发生器的基本组成 和工作原理	51	6.4.4 测量调幅系数	85
5.3.4 YB1051 高频信号发生器	52	6.5 数字存储示波器	86
5.4 函数信号发生器	55	6.5.1 数字存储示波器的主要 优点	86
5.4.1 函数信号发生器的工作 原理	55	6.5.2 数字存储示波器的工作 原理	87
5.4.2 YB1602 函数信号发生器	56	6.5.3 数字存储示波器的工作 方式	88
5.4.3 TFG2000 系列 DDS 函数信号 发生器	59		

6.5.4 数字存储示波器的显示方式	89	7.2.3 电子计数器测量功能	133
6.5.5 数字存储示波器的技术性能指标	90	7.2.4 电子计数器的测量误差	136
6.5.6 TDS1002 数字存储示波器的使用	91	7.3 E312 型电子计数器的使用	137
6.6 晶体管特性图示仪	99	7.3.1 E312A 型通用电子计数器	138
6.6.1 XJ4810 型晶体管特性图示仪面板功能	99	7.3.2 E312B 型通用电子计数器	144
6.6.2 测试前注意事项	102	7.4 数字相位计	147
6.6.3 基本操作步骤	103	7.4.1 瞬时值数字相位计	147
实训 5 模拟示波器的校准	103	7.4.2 平均值数字相位计	148
实训 6 YB1602 函数信号发生器的使用	104	7.4.3 GH4181 型数字相位计功能及面板图	150
实训 7 TFG2000 系列 DDS 函数信号发生器的使用	106	实训 14 电子计数器的使用	150
实训 8 模拟示波器的使用一	107	习题 7	152
实训 9 高频信号发生器的使用	112	第 8 章 扫频仪、频谱分析仪及失真度测量仪	153
实训 10 模拟示波器的使用二	113	8.1 扫频仪	153
实训 11 数字存储示波器的使用一	115	8.1.1 频率测量法	153
实训 12 数字存储示波器的使用二	119	8.1.2 扫频仪的组成及工作原理	155
实训 13 晶体管特性图示仪的使用	124	8.1.3 BT-3 型扫频仪的使用	155
习题 6	125	8.2 频谱分析仪	160
第 7 章 电子计数器	127	8.2.1 频谱分析仪的组成及工作原理	160
7.1 概述	127	8.2.2 频谱分析仪的主要技术指标	161
7.1.1 电子计数器的功能和分类	127	8.2.3 AT5010 频谱分析仪的使用	163
7.1.2 电子计数器的技术指标	128	8.3 失真度测量仪	168
7.2 电子计数器	129	8.3.1 谐波失真度的定义	169
7.2.1 电子计数器的基本工作原理	129	8.3.2 失真度测量仪的组成框图及原理	169
7.2.2 电子计数器基本组成	131		



8.3.3 KH4116 型自动低失真度 测量仪的使用.....	170
实训 15 扫频仪的使用.....	173
实训 16 频谱分析仪的使用.....	174
实训 17 失真度测量仪的使用.....	176
习题 8.....	177
第 9 章 逻辑分析仪.....	178
9.1 概述.....	178
9.1.1 数据域测量的概念及 特点.....	178
9.1.2 数据域测量的方法与 仪器.....	179
9.1.3 数字电路的简易测试.....	180
9.2 逻辑分析仪.....	182
9.2.1 逻辑分析仪的分类.....	183
9.2.2 逻辑分析仪的特点.....	183
9.2.3 逻辑分析仪的性能指标.....	185
9.3 L-100 逻辑分析仪的使用.....	185
9.3.1 主要性能指标.....	186
9.3.2 软件界面.....	187
9.3.3 使用方法.....	188
实训 18 逻辑分析仪的使用.....	192
习题 9.....	193
第 10 章 虚拟仪器.....	194
10.1 虚拟仪器概述.....	194
10.1.1 虚拟仪器的概念及特点.....	194
10.1.2 虚拟仪器的构成.....	195
10.2 虚拟仪器编程环境——LabVIEW 语言简介.....	198
10.2.1 概述.....	198
10.2.2 LabVIEW 的基本概念.....	199
10.2.3 LabVIEW 的工作环境.....	199
10.3 虚拟仪器的设计.....	203
10.3.1 虚拟仪器的设计步骤.....	203
10.3.2 虚拟仪器设计实例.....	205
实训 19 LabVIEW 软件的熟悉.....	206
实训 20 虚拟示波器的设计.....	207
习题 10.....	213
模拟试题一.....	214
模拟试题二.....	217
附录 A 电子测量仪器的保养及维护.....	220
附录 B 综合实训参考方案.....	226
参考文献.....	232

第1章 概述

教学目的及要求：学习并掌握基本概念和基础知识，对学习以后各章的内容均有促进和提高的作用，尤其是一些专用名词要深刻理解，这对理论学习和实验操作都是必不可少且十分重要的。

1.1 电子测量基本知识

现代信息科学技术的三大支柱是指信息的获取技术(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)。在这三大信息技术中，获取(测试)是首要的，是信息的源头。

科学的进步与测量技术的发展是相辅相成、密切相关的。有人说，没有望远镜就没有天文学，没有显微镜就没有细胞学，没有指南针就没有航海事业。科学的进步和发展离不开测量，而新的科学理论往往又会成为新的测量方法和手段，推进测量技术的发展并促使新型测量仪器的诞生。例如，光电效应的发现促进了遥感遥测技术的发展，压电效应的发现为一些非电参量的测试提供了新的途径。随着社会的进步和科技的发展，将电子科学技术应用到测量技术之中后，便出现了比传统技术更为优越的电子测量技术。目前该技术已完全渗透到社会的各个领域。

1.1.1 电子测量的概念及分类

测量是为了确定被测对象的量值而进行的实验过程，其中量值是由数值和计量单位两部分组成的。

电子测量泛指以电子技术为手段而进行的测量，即以电子技术为理论依据，以电子测量仪器和设备(电子电压表、示波器、信号发生器、特性图示仪等)为工具，对电量和非电量进行的测量。狭义上来说，电子测量指的是利用电子技术对电子学中有关电参量进行的测量。本课程中电子测量的内容主要包括以下几个方面。

- (1) 电能量的测量：如电压、电流、电功率、电场强度等的测量。
- (2) 电路参数的测量：如电阻、电感、电容、晶体管等元件参数的测量。
- (3) 电信号特性的测量：如信号的波形、失真度、频率、周期、相位、调幅度、脉冲参数等的测量。



(4) 电子电路性能的测量：如增益和衰减、通频带、灵敏度等的测量。

(5) 特性曲线的测量：如幅频特性曲线、晶体管特性曲线等的测量和显示。

对各种非电量进行测量的一般方法是采用非电量的电测法，首先通过传感器将众多非电量(如温度、压力、流量等)转换成电量，再进行电子测量。

1.1.2 电子测量的特点

与其他测量相比，电子测量具有以下几个明显的特点。

(1) 测量频率范围宽。电子测量的频率范围极宽，除测量直流外还可测量交流。其频率范围低至 10^6Hz 以下，高至 10^{12}Hz 以上。随着电子技术的发展，可测频率目前还在向着更高频段发展。

(2) 测量量程范围宽。测量范围的上限值与下限值之间相差很大，即表示仪器具有足够高的量程。如数字万用表的电阻测量范围为 $10^{-5}\sim 10^8\Omega$ ，量程达到 13 个数量级；而数字式频率计的量程可达 17 个数量级。

(3) 测量准确度高。电子测量的准确度比其他测量方法高很多。例如，用电子测量方法对频率和时间进行测量，可以使测量准确度达到 $10^{-14}\sim 10^{-13}$ 的数量级。这是目前在测量准确度方面达到的最高指标。

(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，因此它具有其他测量所不能比拟的高速度。

(5) 易于实现遥测。电子测量可以通过电磁波进行传递，很容易实现遥测、遥控。例如其可以通过各种类型的传感器，采用有线或无线的方式，对人体不便于接触或无法到达的领域(如深海、地下、卫星、核反应堆内等)进行远距离测量。

(6) 易于实现测量过程的自动化和测量仪器的智能化。大规模集成电路和微型计算机的应用使电子测量出现了崭新的局面。例如在测量过程中能够实现程控、遥控、自动转换量程、自动校准、自动诊断故障和自动恢复，对于测量结果可以自动记录，并自动进行数据运算、分析和处理。

1.1.3 电子测量的方法

为了实现测量目的，必须正确地选择测量方法，这将直接关系到测量工作能否正常进行以及测量结果的有效性。一个电量的测量可以通过不同的方法来实现，测量方法选择不当，不但得不到正常的测量结果，影响分析研究，严重的还会损坏测量仪器和被测设备，造成重大经济损失。只有选择合适的测量仪器，筛选出合适的测量方法，才能得到理想的测量结果。常见的电子测量方法有以下几种。

1. 按测量手段分类

(1) 直接测量, 指用已标定的仪器直接测量出某一待测未知量的量值的方法。如用电压表测量电压、用电流表测量电流、用万用表测量电阻等都属于直接测量。直接测量的优点是测量过程简单快速, 它是一般测量中普遍采用的一种方式。

(2) 间接测量, 指先对几个与被测量有确定函数关系的电参量进行测量, 再将测量结果代入表示该函数关系的公式、曲线或表格, 最后求出被测量。如在直流电路中测量电功率 P 时, 可先直接测出负载电流 I 和电压 U , 再根据功率 $P=UI$ 的函数关系, 便可间接求得负载消耗的电功率 P 。

当被测量不便于直接测量, 或间接测量比直接测量更为准确时, 可采用间接测量的方法。

(3) 组合测量, 指在测量中被测量值不能一次得出结果, 需要通过测量几个未知量, 然后通过被测量与这几个未知量之间的方程组求解, 得到被测量结果。这种方法也叫联立测量。

2. 按测量性质分类

(1) 时域测量, 又称为瞬态测量, 主要测量被测对象在不同时间下的特性。例如, 用示波器测量被测信号的波形, 得到它的幅度、周期、上升沿和下降沿及动态电路的瞬态过程, 把测量的对象绘制成图形, x 轴代表时间。

(2) 频域测量, 又称为稳态测量, 主要测量被测对象在不同频率下的特性。例如, 用扫频仪测量电视机图像的幅频特性, 把测量的对象绘制成图形, x 轴代表频率。

(3) 数据域测量, 又称为逻辑测量, 是对数字系统逻辑特性进行的测量。数据域测量可以同时观察多条数据通道上的逻辑状态或仅显示某条数据线的时序波形, 也可以用计算机分析大规模集成电路芯片的逻辑功能。

(4) 随机测量, 又称为统计测量, 这是目前较新的测量技术, 例如对各类噪声、干扰信号等的测量均属于随机测量。

除了上述几种常见分类方法外, 电子测量还有许多其他分类方法, 比如模拟与数字测量技术、实时与非实时测量技术、有源与无源测量技术、点频和扫频与多频测量技术等。在实际测试过程中, 测量任务确定后, 应根据被测量的特点(包括性质、大小、变化、范围、稳定性、允许的测量时间和空间等)、测量所要求的准确度、测量环境条件以及现有测量设备等综合考虑, 选择正确的测量方法和合适的测量仪器。只有这样才能保证不损坏被测对象和测量仪器, 减少测量误差。



1.2 测量误差及处理

1.2.1 测量误差的定义

测量是以确定被测对象量值为目的的全部操作。在一定的时间和空间环境下,被测量本身所具有的真实数值(真值)是一个理想的概念。但是在测量中,由于对客观规律认识的局限性、计量器具不准确、测量手段不完善、测量条件发生变化及测量工作中的疏忽或错误等原因,都会导致测量结果与真值不同。测量结果与被测量真值之差称为测量误差。

所有测量结果都带有误差。研究误差的目的就是正确认识误差的性质,分析误差产生的原因及其发生规律,寻求减小或消除测量误差的方法,识别出测量结果中存在的各种性质的误差,掌握数据处理的方法,使测量结果更接近于真值。

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的。因此,从总体上讲,测量误差主要来自以下五个方面。

(1) 测量装置误差:又称为仪器误差,指测量装置本身所具有的误差。测量装置误差在整个测量中起主要作用。测量装置包括计量器具和辅助设备。

(2) 环境误差:由于各种环境因素(温度、湿度、振动、电源电压、电磁场等)与测量条件的不一致而引起的误差。

(3) 人身误差:测量人员主观因素和操作技术引起的误差。

(4) 理论和方法误差:由于测量方法不合理或不完善而引起的误差。

(5) 被测量不稳定误差:由测量对象自身的不稳定变化引起的误差。

在测量工作中,对误差的来源要认真分析,并采取相应的措施,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

测量误差按表示方法的不同可分为绝对误差和相对误差。

1. 绝对误差

1) 定义

用被测量对象的显示值(仪器上的示值) x 减去被测量对象的真值 A_0 ,所得的数据 Δx ,

叫做绝对误差, 即 $\Delta x = x - A_0$ 。

真值是一个理想的概念, 实际应用中通常用上一级标准仪器的示值作为实际值 A (约定真值) 代替真值, 即 $\Delta x = x - A$ 。

2) 修正值

与绝对误差大小相等, 但符号相反的量值, 称为修正值, 一般用 C 表示。即 $C = \Delta x = A - x$ 。通过检定, 可以由上一级标准给出受检仪器的修正值。利用修正值, 可以求出实际值, 即 $A = C + x$ 。

例如, 某电压表的量程为 10V, 通过检定得出其修正值为 -0.02V。如用这只电压表测电路中的电压, 其示值为 7.5V, 于是得到被测量电压的实际值 $A = C + x = (-0.02) + 7.5\text{V} = 7.48\text{V}$ 。

2. 相对误差

实际测量过程中, 常用相对误差来表示仪器测量精度的高低。相对误差根据不同的表现形式, 可分为实际相对误差、示值相对误差和满度相对误差。

1) 实际相对误差

用绝对误差 Δx 与被测量的实际值 A 的百分比值来表示的相对误差称为实际相对误差, 用 r_A 表示, $r_A = \Delta x / A \times 100\%$ 。

2) 示值相对误差

用绝对误差 Δx 与仪器的示值 x 的百分比值来表示的相对误差称为示值相对误差, 用 r_x 表示, $r_x = \Delta x / x \times 100\%$ 。

3) 满度相对误差

用绝对误差 Δx 与仪器的满度值 x_m 的百分比值来表示的误差称为满度相对误差, 用 r_m 表示, $r_m = \Delta x / x_m \times 100\%$ 。

满度相对误差也称为引用相对误差, 测量仪器使用最大引用相对误差来表示它的准确度, 即 $r_m = \Delta x_m / x_m \times 100\%$ 。

我国电工仪器的准确度等级 S 就是按 r_m 值分级的, 按 r_m 值大小依次划分成 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 七级。1.0 级表示该仪器的最大引用相对误差值不超过 $\pm 1.0\%$ 。

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

在同一被测量的多次测量过程中, 保持恒定或以可预知方式变化的测量误差的分量称为系统误差。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

在同一被测量的多次测量过程中,以不可预知的方式变化的测量误差的分量称为随机误差。随机误差是由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,大多接近或服从正态分布。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。

可以通过多次测量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

明显超出规定条件下预期的误差称为粗大误差。粗大误差是由于读数错误、测量方法错误、计量器具有缺陷、操作不正确以及测量条件的突然变化等原因造成的。在数据处理时,带有粗大误差的数据应该剔除。

1.2.5 测量结果的表示

测量结果的数字式表示包括一定的数值和相应的计量单位,例如 7.1V、456kHz 等。有时为了说明测量结果的可信度,在表示测量结果时还要同时注明其测量误差值或范围,例如: $4.32 \pm 0.01\text{V}$ 、 $456 \pm 1\text{kHz}$ 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。

1.3 常用电子测量仪器

测量仪器是用于检测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。电子测量仪器具有准确度高、量程宽、速度快、数字化、集成化、多功能化和自动化等特点,因此是科研、生产和实验等必不可少的工具。

1.3.1 电子测量仪器的发展

电子测量仪器的发展大体经历了以下四个阶段。

- (1) 模拟仪器。其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。其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。其内置微处理器和 GPIB 接口,既能进行自动测量又具有一定的数据处理能力。它的功能模块全部以硬件或固化的软件形式存在,但在开发或应用上缺乏灵活性。

(4) 虚拟仪器。这是一种功能意义上的仪器,其在计算机上添加强大的测试应用软件和硬件模块,并具有虚拟仪器面板和测量信息处理系统,用户操作计算机时就像操作真实仪器一样。虚拟仪器强调软件的作用,提出了“软件就是仪器”的概念。

1.3.2 电子测量仪器的分类

电子测量仪器种类繁多,根据测量精度的不同,可分为高精度仪器、普通仪器和简易仪器;根据用途的不同,可分为专业用仪器和通用仪器。专业用仪器是指各专业中测量特殊参量的仪器,如心电图仪就是用于医疗专业的;通用仪器则具有灵活性好,应用面广等特点。通用仪器按功能主要可以分为以下几类。

(1) 信号发生仪器,用于提供测量、调试所需的各种波形的信号,如低频信号发生器、高频信号发生器、脉冲信号发生器、函数信号发生器和噪声信号发生器等。

(2) 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,如电压表、示波器、电子计数器、频谱分析仪和逻辑分析仪等。

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

(5) 电波特性测试仪器,用于测量电波传播、电磁场强度、干扰强度等参量,如测试接收机、场强测量仪、干扰测试仪等。

(6) 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,以便上述仪器充分发挥作用,如各种放大器、检波器、衰减器、记录仪以及交直流稳压电源等。

1.3.3 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. 允许误差

技术标准、检定规程等对电子测量仪器所规定的允许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中的技术指标。允许误差可用绝对误差和相对误差表示。



2. 基本误差

电子测量仪器在标准条件下所具有的误差称为基本误差,也称为固有误差。标准条件一般规定电子测量仪器影响量的标准值或标准范围(例如环境温度为 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 等),它比使用条件更加严格,所以基本误差能够更准确地反映电子测量仪器所固有的性能。

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。当某一影响量在正常使用范围内取任意值,而其他影响量或影响特性均处于标准条件下时,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。

1.3.4 电子测量仪器的性能指标

从获得的测量结果角度评价测量仪器的性能,主要包括以下几个方面。

1. 精度

精度是指测量仪器的读数或测量结果与被测量真值相一致的程度。精度目前还没有一个公认且定量的数学表达式,因此常作为一个笼统的概念来使用,其含义是:精度高,表明误差小;精度低,表明误差大。因此,精度不仅可用于评价测量仪器的性能,也是评定测量结果时使用的最主要且最基本的指标。精度又可用精密度、正确度和准确度三个指标加以表征。

1) 精密度

精密度说明仪器指示值的分散性,表示在同一测量条件下对同一被测量进行多次测量时,得到的测量结果的分散程度。它反映了随机误差的影响。精密度高,说明随机误差小,测量结果的重复性好。比如某电压表的精密度为 0.1V ,即表示用它对同一电压进行测量时,得到的各次测量值的分散程度不大于 0.1V 。

2) 正确度

正确度说明仪器指示值与真值的接近程度。正确度反映了系统误差(如仪器中放大器的零点漂移、接触电位差等)的影响。正确度高,说明系统误差小。比如某电压表的正确度为 0.1V ,即表示用它测量电压时的指示值与真值之差不大于 0.1V 。我国电工仪器的等级就是按正确度来确定的。

3) 准确度

准确度是精密度和正确度的综合反映。准确度高,说明精密度和正确度都高,也就意味着系统误差和随机误差都小,因而最终测量结果的可信赖度也高。