



免费赠送
电子课件

高等学校应用型特色规划教材

电子测量仪器

张大彪 王 薇 主 编
李 炎 彭俊珍 袁 媛 副主编



清华大学出版社

高等学校应用型特色规划教材

TM93

98

2007

电子测量仪器

主 编 张大彪 王 薇
副主编 李 炎
彭俊珍
袁 媛

清华大学出版社 /
北 京

内 容 简 介

本书以培养学生电子测量基本技术和工程应用能力为目标,重点介绍了测量用信号发生器、电子示波器、电子计数器、电压测量仪器、频域测量仪器、元件参数测量仪器、智能仪器与自动测试系统、虚拟仪器等常用测量仪器的基本原理和使用方法。

本书编写思路清晰,测量原理讲述透彻,深入浅出,通俗易懂。各章均配置了实训和习题。本书可作为应用型本科院校、高等职业院校电子技术、通信技术、控制与检测等专业的教学用书,也可作为从事相关专业工程技术人员和广大电子爱好者的参考书。

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 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

电子测量仪器/张大彪,王薇主编;李炎,彭俊珍,袁媛副主编. —北京:清华大学出版社,2007.1

(高等学校应用型特色规划教材)

ISBN 978-7-302-14368-0

I. 电… II. ①张…②王…③李…④彭…⑤袁… III. 电子测量设备—高等学校—教材 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 158982 号

责任编辑:李春明 李玉萍

封面设计:杨玉兰

版式设计:北京东方人华科技有限公司

责任校对:李玉萍

责任印制:杜 波

出版发行:清华大学出版社

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

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机:010-62770175

投稿咨询:010-62772015

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮购热线:010-62786544

客户服务:010-62776969

印 刷 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

装 订 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:16.25

字 数:346 千字

版 次:2007 年 1 月第 1 版

印 次:2007 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:22.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。

联系电话:010-62770177 转 3103

产品编号:020614-01

前 言

电子测量仪器是工程技术人员的基本工具,是电子技术、通信技术、控制与检测等专业必不可少的专业课。近年来,微电子技术、大规模集成电路、信号处理芯片、新型显示器件和计算机技术的飞速发展促进了电子仪器的发展,使得功能单一的传统测量仪器逐步向智能仪器和模块式自动测试系统发展。大型生产企业的生产线,通常采用大量先进的智能仪器和自动测试系统。所以,编写适合于培养学生实际动手能力和应用能力,以现代仪器应用为目标的电子测量仪器教材,具有非常重要的意义。

本教材按照 21 世纪人才的时代特征,突出工程类高等教育的特点,以培养应用型人才为目标,紧密结合电子测量工程实践,突出测量基本原理和仪器的性能特点。把电子测量领域的新知识、新设备收录到教材中来。重点培养电子测量基本技术和工程应用能力。从内容到形式都有新意和特色。教材以八大类常用测量仪器为主线,详细介绍测量的基本原理和仪器的使用方法。由于本课程涵盖知识面广,实践性强,要求教学过程中要结合一定数量的实验和实训,使学生能熟练应用电子测量仪器和测量设备进行工程测量,相关专业的技术人员通过翻阅本教材也能完成相关的测量工作。

本教材在测量仪器举例时,尽量照顾目前一些本科院校和高等职业院校现有设备的状况,同时也收集了近年来出现的新仪器。本书还安排了专门章节介绍智能仪器、自动测试系统和虚拟仪器等先进测试技术。

全书共分为 9 章。第 1、2 章由王薇老师编写,第 3、9 章由张大彪老师编写,第 4、5 章由袁媛老师编写,第 6、7 章由李炎老师编写,第 8 章由彭俊珍老师编写。

由于作者学识水平有限,书中定有许多不妥或错误,诚恳欢迎读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 概述	1	2.1.2 信号发生器的 分类	27
1.1 电子测量的内容及特点	1	2.1.3 信号发生器的主要 技术指标	28
1.1.1 电子测量的内容	1	2.2 低频信号发生器	29
1.1.2 电子测量的特点	2	2.2.1 低频信号发生器的 组成	29
1.1.3 电子测量的一般 方法	3	2.2.2 低频信号发生器的 主要性能指标	31
1.2 电子测量仪器概述	6	2.2.3 低频信号发生器的 使用	31
1.2.1 电子测量仪器的主要 性能指标	6	2.3 高频信号发生器	33
1.2.2 电子测量仪器分类	8	2.3.1 高频信号发生器的 组成	33
1.3 测量误差和测量数据处理	9	2.3.2 高频信号发生器的 使用	35
1.3.1 测量误差的概念及 测量术语	9	2.4 合成信号发生器	37
1.3.2 测量误差的来源	11	2.4.1 合成信号发生器的 基本原理	38
1.3.3 误差的分类及 特点	13	2.4.2 合成信号发生器的 主要技术指标	42
1.3.4 测量误差的消除 办法	16	2.5 函数信号发生器	42
1.3.5 误差的表示方法	19	2.5.1 函数信号发生器的 工作原理	43
1.3.6 测量数据处理	21	2.5.2 函数信号发生器的 使用	46
1.4 本章小结	23	2.6 本章小结	49
1.5 本章实训:测量精度	24	2.7 本章实训:函数信号发生器 测量	49
习题	24		
第 2 章 测量用信号发生器	26		
2.1 概述	26		
2.1.1 信号发生器的 用途	26		

习题	51	4.2.1 电子计数器的测频 原理	90
第3章 电子示波器	52	4.2.2 电子计数器的测周 原理	93
3.1 概述	52	4.2.3 电子计数器的测时间 间隔	94
3.2 示波管及波形显示原理	53	4.2.4 电子计数器的控制 逻辑	96
3.2.1 示波管的构造	53	4.2.5 电子计数器的使用 方法	98
3.2.2 电子束聚焦原理	54	4.3 本章小结	100
3.2.3 电子束偏转原理	55	4.4 本章实训:电子计数器的 使用	101
3.2.4 加速阳极的作用	56	习题	102
3.2.5 波形显示原理	56	第5章 电压测量仪器	103
3.3 电子示波器的电路构成与 原理	60	5.1 概述	103
3.3.1 示波器的垂直 通道	60	5.1.1 电压测量的特点	103
3.3.2 示波器的水平 通道	64	5.1.2 电压测量仪器的 分类	104
3.4 SS5702 双踪示波器	69	5.1.3 交流电压的基本 参数	105
3.4.1 主要性能指标	69	5.2 数字电压表	107
3.4.2 整机组成框图及 工作原理	70	5.2.1 A/D 变换器	107
3.4.3 SS5702 双踪示波器的 使用	72	5.2.2 显示电路	114
3.5 双扫描示波器	77	5.2.3 DT-890 型数字电 压表	121
3.6 取样示波器	79	5.3 模拟式电子电压表	125
3.7 数字存储示波器	80	5.3.1 放大—检波式电子 电压表	126
3.8 本章小结	82	5.3.2 检波—放大式电子 电压表	128
3.9 本章实训:示波器的应用	83	5.3.3 外差式电子 电压表	131
习题	85	5.3.4 热电耦变换式电子 电压表	131
第4章 电子计数器	88		
4.1 概述	88		
4.1.1 电子计数器的 分类	88		
4.1.2 电子计数器的主要 技术指标	89		
4.2 电子计数器的工作原理	90		

5.3.5 模拟电子电压表的 使用	133	7.3.2 交流电桥的工作 原理	170
5.4 本章小结	135	7.3.3 交流电桥的使用	173
5.5 本章实训:数字万用表的 使用	135	7.4 本章小结	175
习题	137	7.5 本章实训:使用万用电桥 测量元件参数	176
第6章 频域测量仪器	138	习题	176
6.1 频率特性测试仪	138	第8章 智能仪器与自动测试系统	178
6.1.1 概述	138	8.1 智能仪器	178
6.1.2 扫频测量技术	139	8.1.1 智能仪器的发展 概况	178
6.1.3 BT-3C 频谱特性 测试仪	145	8.1.2 智能仪器的组成和 特点	181
6.2 频谱分析仪器	148	8.1.3 智能仪器的主要 电路	183
6.2.1 概述	148	8.2 自动测试系统	186
6.2.2 频谱仪的工作 原理	149	8.2.1 自动测试系统的发展 概况	186
6.2.3 频谱仪的使用 方法	152	8.2.2 自动测试系统的 组成	189
6.3 本章小结	154	8.2.3 自动测试系统 总线	191
6.4 本章实训:电视机中频通道的 测试	155	8.3 本章小结	197
习题	156	8.4 本章实训:集成温度传感器的 特性	198
第7章 元件参数测量仪器	157	习题	200
7.1 概述	157	第9章 虚拟仪器技术	201
7.1.1 元件参数	157	9.1 虚拟仪器的基本知识	201
7.1.2 常用测量方法及 仪器	159	9.1.1 虚拟仪器的一般 概念	201
7.2 直流电桥	162	9.1.2 虚拟仪器的组成	202
7.2.1 直流电桥的工作 原理	162	9.1.3 虚拟仪器的特点	203
7.2.2 直流单臂电桥	163	9.2 图形化软件编程平台 LabVIEW	204
7.2.3 直流双臂电桥	165		
7.3 交流电桥	167		
7.3.1 交流电路的参数	167		

9.2.1 LabVIEW 简介	204	9.6.3 XY 波形记录控件 (XY Graph)	223
9.2.2 LabVIEW 编程 环境	205	9.7 LabVIEW 编程入门	223
9.2.3 基本 VI 简介	207	9.7.1 虚拟正弦波仿真信号发 生器的功能描述	224
9.3 LabVIEW 模板	209	9.7.2 创建一个新的 VI	224
9.3.1 工具模板(Tools Palette)	209	9.7.3 设计 VI 前面板	225
9.3.2 控制模板(Controls Palette)	210	9.7.4 设计框图程序	227
9.3.3 功能模板(Functions Palette)	212	9.7.5 运行和调试 VI 程序	229
9.4 LabVIEW 数据类型	215	9.7.6 创建 VI 图标和 保存 VI	231
9.5 LabVIEW 程序结构	216	9.7.7 编辑 VI	232
9.5.1 For 循环	217	9.8 本章小结	235
9.5.2 While 循环	218	9.9 本章实训:编制一个函数信号 产生程序	236
9.5.3 选择结构	219	习题	236
9.6 LabVIEW 图形显示功能	219	习题答案	238
9.6.1 事后记录波形图控件 (Waveform Graph)	220	参考文献	247
9.6.2 实时趋势图控件 (Waveform Chart)	221		

第 1 章 概 述

本章要点

- 掌握误差的分类方法及误差的消除办法
- 掌握误差的表示方法及计算
- 掌握数据处理

本章难点

- 各种误差的计算方法
- 有效数字的修约与计算

1.1 电子测量的内容及特点

1.1.1 电子测量的内容

电子测量是指以电子技术为基本手段的一种测量技术,是测量技术和电子技术相互结合的产物。电子测量除运用电子学的原理、方法和设备对各种电能量、电信号及电路元器件的特性和参数进行测量外,还可通过各种敏感器件和传感装置对非电量进行测量。通常人们把电参数测量分为电工测量和电子测量两大类。电工测量主要指交直流电量(如交直流电流、电压)的指示测量法和比较测量法以及磁量的测量等。电子测量是指以电子技术理论为依据,以电子测量仪器和设备为手段,对电量和非电量进行的测量。其中电量测量可分为以下几个方面。

1. 电能量测量

电能量测量包括各种频率和波形下的电压、电流、功率等的测量。

2. 电信号特性测量

电信号特性测量包括波形、频率、周期、相位、失真度、调幅度、信噪比及数字信号的逻辑

状态等的测量。

3. 电路元件参数的测量

电路元件参数的测量包括电阻、电感、电容、阻抗、品质因数及电子器件的参数等的测量。

4. 电子设备的性能测量

电子设备的性能测量包括通频带、增益、衰减、灵敏度、频率特性、信噪比等性能的测量。

上述各项测量中,电压、频率、时间、相位、阻抗等基本电参数的测量最为重要,它们是其他参数测量的基础。如很多情况下测量电流不方便,就以电压测量来取代;放大器的增益测量实际上就是其输入、输出端电压测量;脉冲信号波形参数的测量可归结为电压和时间的测量。

另外在实际生产和研究中,常常需要对许多非电量进行测量。我们可以利用传感技术——各种敏感元件和传感装置将非电量如温度、压力、位移、速度、流量等变换成电信号,再利用电子测量设备进行测量。在一些危险的和人们无法进行直接测量的场合,这种方法几乎成了我们唯一的选择。

1.1.2 电子测量的特点

电子测量技术与电子测量仪器的应用非常广泛,与其他测量方法和测量仪器相比有着无法比拟的众多优点,其特点如下。

1. 测量频率范围宽

在电子测量中对电信号的测量,其频率覆盖范围极宽,从 10^{-6} Hz $\sim$ 10^{12} Hz。但是不可能是同一台仪器能在这样宽的频率范围内工作。通常是根据测量对象的工作频段不同,选用不同的测量原理和使用不同的测量仪器。对非电量可以采用传感技术将其转换成电信号来测量。

2. 测量量程宽

所谓量程是指测量范围的上下限值之差。电子测量的另一个特点是被测量的量值大小相差悬殊。例如,地面上接收到的宇宙飞船自外空发来的信号功率,低到 10^{-14} W 数量级,而远程雷达发射的脉冲功率,可高达 10^8 W 以上,两者之比为 $1 : 10^{22}$ 。一般情况下,使用同一台仪器,同一种测量方法,是难以覆盖如此宽广的量程的。

3. 测量准确度高

对于不同参数的测量,测量结果的准确度是不一样的,有些参数的测量准确度可以很高,而有些参数的测量准确度却又相当低。例如,以原子频标和原子秒作为基准的频率和时间的测量准确度,可以小于 10^{-13} 量级。除了频率和时间的测量准确度很高之外,其他参数的测量准确度相对都比较低。例如,直流电压准确度当前达到 10^{-6} 量级,音频电压为 10^{-4} 量级,射频电压仅为 10^{-3} 量级。

4. 测量速度快

由于电子测量是利用电子测量仪器完成的,因此其工作速度几乎等同于电子运动和电磁波的传播速度,使得电子测量无论在测量速度,还是在测量结果的处理上,是其他测量方法不可比拟的。比如像神六载人火箭、卫星等各种航天器的发射与运行,没有快速、自动的电子设备的测量与控制,是不可能实现和成功的。

5. 可以进行遥测

人们可以把电子仪器或与之连接的传感器放到人类自身无法达到或不便长期停留的地方进行测量,如海底搜索、南极考察等。通过测量仪器把现场所需测量的量转换成易于传输的电信号,用有线或无线的方式传送到测试控制中心,从而实现遥测和遥控。

6. 可以实现测试智能化和测试自动化

电子测量本身和它所测量的信号都是电信号,特别是计算机技术的发展和广泛应用,给电子测量技术和设备带来了新的生机。现在,许多电子测量仪器具备与外界交换信息的功能,比如带有 GPIB 标准仪器接口,可以方便地构成功能完善的信息检测、信息处理、信息传递,从而形成自动测试系统。

1.1.3 电子测量的一般方法

测量过程实际上是一个比较的过程。测量的任务就是通过实验的方法,将被测量(未知量)与已知量进行比较,以求得被测量的值。按照测量结果即所需要的被测量数值如何取得了形成了不同的测量方式;又根据测量数据如何读取形成了不同的测量方法。

1. 测量方式的分类

一个电参数的测量,可通过不同的方式来实现。测量方式的选择正确与否,直接关系到

测量结果的准确程度,也关系到测量工作的经济性和可行性。

(1) 直接测量

直接测量是指直接从测量仪器的读数获取被测量量值的方法,比如用电流表测量电流,用欧姆表测量电阻阻值等。

直接测量的优点是不需要对被测量与其他实测的量进行函数关系的辅助运算,测出的数据就是被测量本身的值。因此测量过程简单迅速,是工程测量中广泛应用的测量方法。缺点是测量准确度受仪器基本误差的限制,准确度较低。

(2) 间接测量

根据被测量和其他量的函数关系(可以是公式、曲线或表格等),先得到其他量,然后按函数式把被测量计算出来的一种方法。例如伏安法测量电阻 R ,可以通过直接测量电阻两端的电压 U 和流过电阻的电流 I ,而后根据函数关系 $R=U/I$,经过计算,间接获得电阻 R 。当被测量不便于直接读出,或者间接测量比直接测量更准确,或缺少直接测量仪器等,那么,就可以采用间接测量法。间接测量广泛用于科研、实验室和工程测量。

(3) 组合测量

如果被测的未知参数与某个中间量的函数关系式中还有其他未知量时,那么对中间量的一次测量无法求得被测量的值,可通过改变测量条件进行多次测量,根据被测量与未知参数间的函数关系列出方程组并求解,进而得到被测量,这种测量方法称为组合测量。例如测量电阻器电阻温度系数,必须在不同温度条件下,分别测出 20°C 、 t_1 、 t_2 三种不同温度时的电阻值 R_{20} 、 R_{t_1} 、 R_{t_2} ,然后通过解联立方程,求得 α 、 β :

$$\begin{cases} R_{t_1} = R_{20} + \alpha (t_1 - 20^{\circ}\text{C}) + \beta (t_1 - 20^{\circ}\text{C})^2 \\ R_{t_2} = R_{20} + \alpha (t_2 - 20^{\circ}\text{C}) + \beta (t_2 - 20^{\circ}\text{C})^2 \end{cases} \quad (1-1)$$

式中, R_{20} 为 $t=20^{\circ}\text{C}$ 时的电阻值,一般为已知量,称为电阻的温度系数。

求解联立方程(1-1),就可以得到 α 、 β 值。

在选择测量方式时,要综合考虑下列主要因素:①被测量本身的特性;②所要求的测量准确度;③测量环境;④现有测量设备等。在此基础上,选择合适的测量仪器和正确的测量方法。那么要获得正确可靠的测量结果,必须依据测量方法、测量仪器的正确选择和正确操作,以及测量数据的正确处理。

2. 测量方法的分类

直接测量需要从测量中读取被测量,间接测量需要从测量中读取中间量。无论是被测量还是中间量,读取它们数据的方法可分为直读法和比较法两种。

(1) 直读法

在测量过程中,从仪表刻度上直接读取被测量,包括大小和单位,因此这种方法叫直读法。用仪器仪表指针的位移(偏差)表示被测量大小的测量方法,也称为偏差式测量法。例如使用万用表测量电压、电流等。用这种方法测量时,作为计量标准的实物并不装在仪表内

置的工作状态能保持相同,则认为替代前接在装置上的被测量与替代后的已知标准量其数值完全相等。替代法的准确度取决于标准量的准确度和测量装置的灵敏度。

比较法的优点是准确度和灵敏度都很高,多用于高准确度的场合。缺点是操作麻烦、设备复杂。

1.2 电子测量仪器概述

测量仪器是将被测量转换成可供直接观察的指示值的器具,包括各类指示仪器、比较仪器、记录仪器、传感器和变送器等。利用电子技术对各种待测量进行测量的设备,统称为电子测量仪器。为了正确地选择测量方法、使用测量仪器和分析测量结果,本节将对电子测量仪器的主要性能指标和分类做一概括。

1.2.1 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、准确度、稳定性、灵敏度、输入阻抗等。

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:精度高,表明误差小;精度低,表明误差大。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. 稳定性

稳定性是指在规定的区间,其他外界条件恒定不变的情况下,保证仪器示值不变的能力。造成示值变化的原因主要是仪器内部各元器件的特性、参数不稳定和老化等因素。

4. 输入阻抗

测量仪表的输入阻抗对测量结果会产生一定的影响。像电压表、示波器等类仪表,测量时并接于待测电路两端,如图 1.3 所示。不难看出,测量仪表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。为了减小测量仪表对待测电路的影响,提高测量精度,通常对这类测量仪表的输入阻抗都有一定要求。

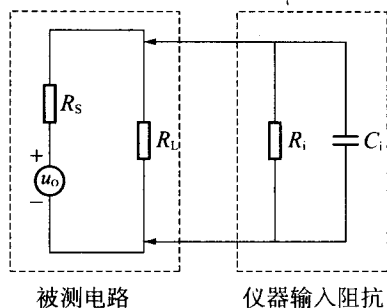


图 1.3 测量仪表的负载效应

仪表的输入阻抗一般用输入电阻 R_i 和输入电容 C_i 表示。例如 SX2172 交流毫伏表在 $1\text{V}\sim 300\text{V}$ 的测量范围内的输入阻抗为 $R_i=10\text{M}\Omega$, $C_i<35\text{pF}$; SR37A 型示波器不经探头的输入阻抗为 $R_i=1\text{M}\Omega$, $C_i=16\text{pF}$ 。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。

5. 灵敏度

灵敏度表示测量仪表对被测量变化的敏感程度,一般定义为测量仪表指示值(指针的偏转角度、数码的变化、位移的大小等)增量 Δy 与被测量增量 Δx 之比。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 、 cm/mV 等。对示波器而言,偏转灵敏度的倒数称为偏转因数,单位为 V/cm 、 mV/cm 或 mV/DIV (每格)等。灵敏度的另一种表述方式叫作分辨力或分辨率,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率不同。

6. 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,则称之为线性刻度特性,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。如常用的万用表的电阻挡,具有上凸的非线性刻度特性,如图 1.4(a)所示。而数字电压表,具有线性刻度特性,如图 1.4(b)所示。

7. 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表头指针惯性、轴承摩擦、空气阻尼等因素的作用,使得仪表的指针不能瞬间稳定在固

定值上。又如示波器的垂直偏转系统,由于输入电容等因素的影响,造成输出波形对输入信号的滞后与畸变,示波器的瞬态响应就表示了这种仪器的动态特性。

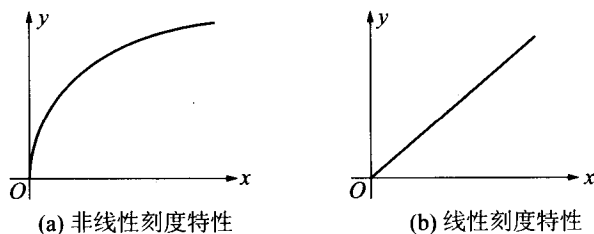


图 1.4 欧姆表和数字电压表的刻度特性曲线

最后指出,上述只是测量仪器的几个主要特性,但并非所有仪器都用上述特性加以考核。有些测量仪器除了上述指标特性外,还有其他技术要求,这些具体问题都将在后面有关章节中加以说明。

1.2.2 电子测量仪器的分类

电子测量仪器的种类繁多,其分类方法也不一,按其功能一般可分为以下几类。

1. 电压测量仪器

电压测量仪器指用于测量信号电压的仪器。包括各种模拟式电压表、毫伏表、数字式电压表等。

2. 频率、时间、相位测量仪器

频率、时间、相位测量仪器指用于测量信号频率、周期、相位的仪器。包括电子计数式频率计、石英钟、数字式相位计、波长计等。

3. 电路参数测量仪器

电路参数测量仪器指用于测量电阻、电感、电容等电路参数的仪器。包括各类电桥、 Q 表、 R 、 L 、 C 测试仪,晶体管或集成电路参数测试仪、图示仪等。

4. 测试用信号源

测试用信号源指用于提供符合一定技术要求的电信号产生仪器。包括各类低频和高频信号发生器、脉冲信号发生器、函数发生器、扫频和噪声信号发生器等。

5. 信号分析仪器

信号分析仪器指用于测量信号非线性失真度、信号频谱特性等的仪器。包括失真度仪、谐波分析仪、频谱分析仪等。

6. 波形测量仪器

波形测量仪器指用于显示信号波形的仪器。主要指各类示波器,如通用示波器、多踪示波器、多扫描示波器、取样示波器,以及记忆和数字存储示波器等。

7. 模拟电路特性测试仪器

模拟电路特性测试仪器指用于分析模拟电路幅频特性、噪声特性等特性的仪器。包括扫频仪、噪声系数测试仪、网络特性分析仪等。

8. 数字电路特性测试仪器

数字电路特性测试仪器指用于分析数字电路逻辑等特性的仪器。主要指逻辑分析仪。这类仪器内部多带有微处理器或通过接口总线与外部计算机相连,是数据域测量中不可缺少的设备。

1.3 测量误差和测量数据处理

1.3.1 测量误差的概念及测量术语

1. 真值 A_0

一个量值在一定条件下所呈现的客观大小或真实数值称作真值。要想得到真值,必须利用理想的量具或测量仪器进行无误差测量。由此可知,真值实际上是无法测得的。

2. 实际值 A

实际测量中,不可能都直接与国家基准相比对,所以国家通过一系列的各级实物计量标准构成量值传递网,把国家基准所体现的计量单位逐级比较传递到日常工作仪器或量具上去。在每一级的比较中,都以上一级标准所体现的值当作准确无误的值,通常称为实际值,也叫作相对真值,比如如果更高一级测量器具的误差为本级测量器具误差的 $1/3 \sim 1/10$,就