



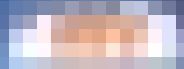
教育部高职高专规划教材

# 电子测量与仪器

魏 中 主编  
林训超 主审



化学工业出版社  
教材出版中心



清华大学出版社

# 电子测量与仪器

第二版



◎ 清华大学出版社

教育部高职高专规划教材

# 电子测量与仪器

魏 中 主 编  
蔡光祥 副主编  
林训超 主 审

化学工业出版社  
教材出版中心  
·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电子测量与仪器/魏中主编. —北京: 化学工业出版社,  
2003.1

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-3942-5

I. 电… II. 魏… 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 (2002) 第 096276 号

---

教育部高职高专规划教材

**电子测量与仪器**

魏 中 主 编

蔡光祥 副主编

林训超 主 审

责任编辑: 张建茹

责任校对: 李 林

封面设计: 郑小红

\*

化学工业出版社  
教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

\*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 9½ 字数 229 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3942-5/G·1093

定 价: 16.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

## 内 容 提 要

本书介绍了电子测量的原理、方法以及电子测量仪器的基本组成和应用。内容包括：信号发生器、示波测量、频率与时间的测量、电压测量、频域测量、数据域测试、自动测量。

全书根据高职教育的特点，理论以够用为度，注重实际应用，各章配有实训参考方案，有较强的实用性。

本书通俗易懂，既可作为课堂教材又方便自学，适用于高职、高专、成教等电子类专业学生使用，也可供有关工程技术人员参考。

## 出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来，在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下，各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看，具有高职高专教育特色的教材极其匮乏，不少院校尚在借用本科或中专教材，教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此，1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课程基本要求》（以下简称《基本要求》）和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》（以下简称《培养规格》），通过推荐、招标及遴选，组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师，成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍，并在有关出版社的积极配合下，推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种，用5年左右时间完成。这500种教材中，专门课（专业基础课、专业理论与专业能力课）教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求，在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上，充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位，调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础，突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下，专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间，在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上，充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验，解决新形势下高职高专教育教材的有无问题；然后再用2~3年的时间，在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上，通过研究、改革和建设，推出一大批教育部高职高专规划教材，从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材，并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作，不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

# 前 言

为贯彻《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》(教高[2000]2号)有关精神,积极支持教育部面向21世纪高职高专教材建设,在教育部领导直接关怀下,全国高等职业教育院校协作会专门课开发指导委员会确定了编写电子类专业的10门主干课程(《电路分析》、《模拟电子技术》、《数字电子技术》、《电子技术实训》、《高频电子线路》、《电子测量与仪器》、《电视接收技术》、《电子设计自动化(EDA)技术》、《单片机应用技术》和《C语言》)供电子技术应用、应用电子技术、电子工程、通信、电子设备制造与维修等相关专业使用。

本套教材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,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。

根据高职人才培养规格的具体要求,“电子测量与仪器”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教育、担任电子测量与仪器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。

本教材参考教学时数为60学时。全书共分八章,每章后都配有一定量的思考题与习题。本教材注重实践和应用,在多数章节后面给出了实训参考方案,并在附录中给出了综合实训参考方案。各学校可根据专业设置要求及学校和学生的实际情况,适当调整教学时数,灵活安排授课和实训内容。

本教材由魏中任主编,负责全书的统稿并编写第一章和第六章;蔡光祥任副主编,并编写第二章和第五章;黄燕编写第四章、第七章和第八章;马蕾编写第三章。本书由林训超主审。

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

2002年10月



# 目 录

<b>第一章 电子测量与仪器的基础知识</b> .....	1
第一节 电子测量概述.....	1
第二节 测量误差.....	3
第三节 电子测量仪器概述.....	7
本章小结.....	8
思考题与习题.....	9
<b>第二章 信号发生器</b> .....	10
第一节 概述 .....	10
第二节 低频信号发生器 .....	10
第三节 高频信号发生器 .....	15
第四节 函数信号发生器 .....	18
第五节 合成信号发生器 .....	23
第六节 电视信号发生器 .....	24
第七节 脉冲信号发生器 .....	27
本章小结 .....	28
思考题与习题 .....	29
实训参考方案 .....	29
<b>第三章 示波测量</b> .....	31
第一节 概述 .....	31
第二节 示波管及波形显示原理 .....	31
第三节 通用示波器 .....	35
第四节 XJ4362 型双踪示波器 .....	42
第五节 数字存储示波器 .....	46
第六节 示波器的应用 .....	50
第七节 晶体管特性图示仪 .....	54
本章小结 .....	63
思考题与习题 .....	64
实训参考方案一 .....	64
实训参考方案二 .....	65
<b>第四章 频率与时间的测量</b> .....	66
第一节 概述 .....	66
第二节 电子计数器 .....	68
第三节 E312B 型通用电子计数器 .....	75
本章小结 .....	78
思考题与习题 .....	78



实训参考方案 .....	79
<b>第五章 电压测量技术</b> .....	80
第一节 概述 .....	80
第二节 模拟式交流电压表 .....	83
第三节 数字电压表 .....	88
第四节 数字多用表 .....	96
本章小结 .....	103
思考题与习题 .....	103
实训参考方案 .....	104
<b>第六章 频域测量</b> .....	106
第一节 时域测量和频域测量的比较 .....	106
第二节 频率特性测试仪 .....	106
第三节 频谱分析仪 .....	112
本章小结 .....	115
思考题与习题 .....	115
实训参考方案 .....	116
<b>第七章 数据域测试</b> .....	117
第一节 概述 .....	117
第二节 特征分析仪 .....	117
第三节 逻辑分析仪 .....	119
本章小结 .....	126
思考题与习题 .....	126
<b>第八章 自动测试技术</b> .....	127
第一节 自动测试系统的基本结构 .....	127
第二节 接口总线系统与智能仪器 .....	128
第三节 虚拟仪器 .....	137
本章小结 .....	139
思考题与习题 .....	139
<b>附录 综合实训参考方案</b> .....	140
<b>参考文献</b> .....	142

## 第一章 电子测量与仪器的基础知识



**目的与要求** 电子测量是信息产业的基础技术,应用广泛。本章要求掌握电子测量、测量误差和电子测量仪器的基本概念,为后续章节的学习打下基础。

### 第一节 电子测量概述

#### 一、电子测量的意义

##### 1. 测量

测量是以确定被测对象量值为目的的全部操作。在测量过程中,人们借助于专门的设备,依据一定的理论,通过实验的方法来确定被测量的量值。量值是由数值和计量单位的乘积所表示的量的大小。没有计量单位的数值是不能作为量值的,也是没有物理意义的。

##### 2. 电子测量

电子测量是泛指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,以电子测量仪器和设备为手段,对各种电量、电信号及电路元器件的特性和参数进行测量,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显著。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。所以从某种意义上说,电子测量的水平,是衡量一个国家科学技术水平的重要标志之一。

#### 二、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、电场强度等的测量。

(2) 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。

(3) 电信号特性的测量 包括波形、频率、周期、时间、相位、失真度、调制度、逻辑状态等的测量。

(4) 电路性能的测量 包括增益、衰减、灵敏度、通频带、噪声系数等的测量。

(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。

另外, 通过传感器, 可将温度、压力、流量、位移等非电量转换成电信号后进行测量, 但这不属于本书讨论的范围。

### 三、电子测量的特点

与其他测量相比, 电子测量具有以下特点。

#### 1. 测量频率范围宽

电子测量的频率范围极宽, 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高达  $10^8$  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, 可以实现对人体不便于接触或无法达到的领域(如深海、地下、卫星、高温炉、核反应堆内等)进行远距离测量, 即遥测。

#### 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, 非常有利于直接或通过模数变换与计算机相连接, 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。

电子测量除了以上的优点之外, 还存在测量易受干扰, 误差处理较为复杂等缺点。

### 四、电子测量的方法

为了实现测量目的, 正确选择测量方法是极其重要的, 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。由于电子测量对象的广泛性, 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。

根据测量手段的不同, 分为直接测量和间接测量; 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; 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；根据对测量精度的要求不同，分为工程测量和精密测量；根据工作频率的不同，分为低频测量、高频测量和微波测量等。

下面主要讨论两类主要的测量方法和测量方法的选择原则。

### 1. 测量手段不同的测量方法

(1) 直接测量 不必测量与被测量有函数关系的其他量，而能直接得到被测量值的测量方法称为直接测量。它是直接从测量仪器上得到的被测量值，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) 间接测量 通过测量与被测量有函数关系的其他量，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、缺乏直接测量的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  $R$  上的消耗的功率  $P$ ，先测量加在  $R$  两端的电压降  $U$ ，再根据公式  $P = U^2/R$  求出  $P$ 。

### 2. 测量性质不同的测量方法

(1) 时域测量 时域测量是指测量被测量随时间的变化规律。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 频域测量是指测量被测量随频率的变化规律，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 数据域测量是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. 测量方法的选择原则

测量任务确定以后，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进行综合考虑，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。

## 第二节 测量误差

### 一、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。当某量能被完善地确定并能排除所有测量上的缺陷时，通过测量所得到的量值称为真值。一个量的真值，是在被观测时本身所具有的真实大小，它是一个理想的概念。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，都会使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。

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，对减小误差提出了越来越高的要求。对很多的测量来讲，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

果不但变的毫无意义，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。

### 二、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

测量装置本身所具有的误差称为测量装置误差。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。

由于设计、制造、检定等的不完善，以及计量器具使用过程中元器件老化、机械部件磨损、疲劳等因素而使计量器具带有误差。计量器具的误差还可以分为：读数误差（包括出厂校准定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 $\pm 1$ 个字量化误差）；计量器具内部噪声引起的稳定误差；计量器具响应滞后现象造成的动态误差等。

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。任何测量总是在一定的环境里进行的。环境由多种因素组成，对电子测量而言，最主要的影响因素是环境温度、电源电压和电磁干扰等。

#### 3. 方法误差

测量方法不完善引起的误差称为方法误差。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，用近似公式或近似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

由测量对象自身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，那么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。如由于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。

### 三、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

(1) 定义 测量结果与被测量真值之差称为绝对误差。设被测量的真值为  $A_0$ ，而测量结果为  $Y$ ，则绝对误差  $\Delta Y$  可以表示为

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

测量结果是指由测量所得到的被测量值。上式中， $Y$  是指计量器具的示值，即由计量器具所指示的被测量值。

前面已提到，真值  $A_0$  一般无法得到，通常用约定真值（也称实际值） $A$  来代替  $A_0$ ，即

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

在实际测量中，常把高一等级的计量标准所复现的量值作为约定真值。

(2) 修正值 修正值  $C$  与绝对误差的大小相等，符号相反。即

$$C = -\Delta Y \quad (1-3)$$

计量器具的修正值，可通过检定，由上一级标准给出，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

$$A = Y + C \quad (1-4)$$

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

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

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

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  $Y_m$ 。

(1) 实际相对误差  $\gamma_A$  指绝对误差  $\Delta Y$  与被测量的实际值  $A$  的百分比，即

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

(2) 示值相对误差  $\gamma_Y$  指绝对误差  $\Delta Y$  与被测量的示值  $Y$  的百分比，即

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

对于一般的工程测量，用  $\gamma_Y$  来表示测量的准确度较为方便。

(3) 引用误差  $\gamma_m$  计量器具的绝对误差与其特定值之比称为引用误差。特定值又称为引用值，常取计量器具的满量程值  $Y_m$ ，即

$$\gamma_m = \frac{\Delta Y}{Y_m} \times 100\% \quad (1-7)$$

引用误差一般用于连续刻度的仪表，特别是电工仪表。引用误差实际上是给出了仪表各量程内，绝对误差不应超过的最大值

$$\Delta Y = \gamma_m \times Y_m \quad (1-8)$$

比较式 (1-6) 和式 (1-7) 可知，为了减少测量中的示值误差，在选择仪表的量程时，应尽量使示值靠近满度值，一般应使示值指示在仪表满刻度值的  $2/3$  以上区域。但这个原则对于测量电阻的模拟欧姆表（如模拟三用表的欧姆挡）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偏转到最大偏转角度的 $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$ 区域为宜。

电工仪表常分为0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0共七个级别，这些准确度等级就是按照引用误差来划分的。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的电流表，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0.13 mA），问该表是否合格？

**解** 根据式(1-7)，可求得该表实际引用误差为

$$\gamma_m = \frac{\Delta Y}{Y_m} = \frac{0.13 \text{ mA}}{10 \text{ mA}} = 1.3\%$$

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

#### 四、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，大多接近于服从正态分布，具有对称性、有界性、抵偿性和单峰性等特点。随机误差反映了测量结果的精密程度。随机误差越小，测量精密程度越高。

根据随机误差的特点，可以通过对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

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。

粗大误差是统计的异常值，其绝对值与测量列中其他误差相比明显偏大。带有粗大误差的数据是不可靠的，在可能情况下应重复测量核对这些数据。在数据处理时，带有粗大误差的数据应该删除。

#### 五、测量结果的表示

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。

测量结果包含数值和单位，如3.2 V、478 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  $4.32\text{ V} \pm 0.01\text{ V}$  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。

### 第三节 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，由最初的电子管仪器，经过晶体管仪器，再发展到集成电路仪器；由模拟仪器，经过数字仪器，再发展到智能仪器。新中国成立以来，电子测量仪器产业从无到有，已成为一个具有科研、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。

#### 一、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

用于提供测量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电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、集成电路测试仪等。

##### 5. 电波特性测试仪器

用于对电波传波、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

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。

#### 二、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中的技术指标。允许误差可用绝对误差或相对误差表示。

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。基本误差也称固有误差。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  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  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 =  $\pm 10\%$  ( $f = 400 \text{ MHz}$ )  $\pm 7\%$  ( $f \neq 400 \text{ MHz}$ )。

### 三、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流程功能。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。

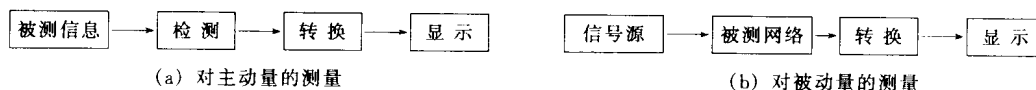


图 1-1 测量系统的组成方框图

图 1-1 (a) 中，被测信息即为测试对象，它既可以是电信号，也可以是非电信号。在整个测量系统中，被测信号是自发的，因而是主动的。检测环节主要是针对被测信号是非电量，如温度、压力等，该环节主要由传感器组成，将非电量变换为有用的电量（例如电压、电流）。若被测信息是电信号，则检测环节可以省略。

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。

转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，使之成为合乎需要，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，如模拟指示、数字显示、图形等，以供人们观测和分析。

### 本章小结

1. 在电子测量过程中，是以电子技术理论为依据，以电子测量仪器为手段，对各种电量、电信号及电路元器件的特性和参数进行测量，还可以通过各种传感器对非电量进行