

高职高专机电类系列教材

现代电工电子测量技术

康华光 主审

何超 主编 罗海庚 副主编

中国人民大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代电子电工测量技术/何超主编.
北京:中国人民大学出版社, 2000
高职高专机电类系列教材

ISBN 7-300-03437-3/F·1024

I. 现…

II. 何…

III. 电气测量-高等学校: 技术学校-教材

IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 04227 号

高职高专机电类系列教材

现代电工电子测量技术

康华光 主审

何超 主编

罗海庚 副主编

出版发行: 中国人民大学出版社

(北京海淀路 157 号 邮编 100080)

发行部: 62514146 门市部: 62511369

总编室: 62511242 出版部: 62511239

E-mail: rendafx@263.net

经 销: 新华书店

印 刷: 北京市丰台区印刷厂

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 19.5

2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月第 1 次印刷

字数: 443 000

定价: 25.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

前 言

每一个从事有关电工和电子工作的人都知道，无论是进行科研或是维修，都需要进行测量。因此，学习常用电工和电子测量技术，必然成为有关电工和电子专业及相关专业的大中专学生的重要课程。本书的特点在于着重电工和电子测量技术的阐述，也对常用电工和电子测量仪器的原理作简要的说明；并注意反映现代测量技术的发展；注意适应素质教育的要求，培养学生的动手操作能力和理论联系实际的本领，培养学生处理实验数据并作理论抽象，总结和发现客观规律的能力。克服以往教材讲仪器的原理多，实际操作技术讲的少的倾向；又考虑到实用小册子实际操作技术讲的多，范围广，但理论分量不足，又不宜作教材的困难。基于教学学时的限制，本书精选了常用的电工和电子测量方面的知识，行文力求简明扼要，深入浅出。所有插图均系用电脑绘制，与文字内容密切配合。

本书共十三章。第一章“绪论”，简介了电工和电子测量技术的概况，说明了测量与计量，测量方式和测量方法及其选择。第二章“常用电压和电流的测量仪表”，讲述了常用电压和电流的测量仪表，包括指针式和数字式，实验室用的和工厂用的，一般的和精密的。第三章“功率和电能的测量”，讲述了有功和无功功率和电能的测量，这与生产和生活有密切的关系。第四章“电路参数的测量”，讲述了电路的三个基本参数的测量，是重要的电工和电子测量内容。第五章“磁的测量”讲述了在当代科技中，如计算机技术、电磁新技术中，具有重要意义的磁场的物理量的测量和磁性材料的测量。第六章“频率和相位的测量”，讲述了在科研、生产、生活中，会经常遇到的信号的频率和相位的测量问题。第七章“示波器及示波测量”，讲述了电工和电子测量中很有用的示波器和示波测量技术。第八章“测量用信号源——信号发生器”，讲述了测量用信号源——高低频正弦信号发生器，以及脉冲信号发生器。第九章“基本测量仪器的扩展——其他常用测量仪器”，从组合的观点简要地说明了频率特性曲线测试仪、半导体器件特性测试仪、失真度测量仪、数字频率计的组成原理和测量技术，以及微计算机化仪表概述。第十章“常用电子电路的测试”，讲述了稳压电源电路、放大电路、振荡电路、自动增益控制电路、延时电路、数字逻辑电路，以及脉冲波形参数的测试，是测量技术在具体电路中的应用。第十一章“常用电子元件的简易测试”，讲述了一些常用电子元件（诸如晶体管、集成运算放大器、变压器、晶体二极管、可控硅等）的简易测试，和集成电路元件的常规检测，这是从事有关电工和电子事业的人经常会遇到的问题。第十二章“电工电子仪器的维护、使用与检修”，讲述了电工与电子测量仪器的可靠性及其使用电子仪器的注意事项，检修电工与电子仪器的一些常识，一般程序及常用方法。第

十三章“误差分析与数据处理”，讲述了误差的概念和分类，测量误差的估计与测量数据处理等问题，目的在于培养学生处理实验数据并作理论抽象，总结和发现客观规律的能力。

本书由何超任主编，罗海庚任副主编。何超编写了第一、第二、第七、第八、第九、第十三章，刘劲松编写了第三章，何翔编写了第四章，罗海庚编写了第五、第六章，并承担了一部分统稿工作，黄永峰编写了第十、第十一章，李晓泉编写了第十二章。

本书由华中理工大学康华光、彭容修教授主审，提出了不少宝贵的意见。在编写过程中，还得到了任为民教授、杨晓棠教授的关心和指导，孔俊、李星、屠艮、韩辉等同志先后协助完成计算机录入和绘图工作。冯方亮、周必洁等同志提供过部分初稿。在此一并表示感谢。

第一章 绪 论

第一节 测量和计量

一、测量及其重要意义

测量是人们为了确定“描述被测对象的特征”的特征量的量值而进行的实验过程。如描述某物体的特征可以有长度、体积、重量、温度等特征量，为了确定这些特征量的量值就要进行“测量”——这是一个实验过程。在这个过程中通常是借助于测量工具，将描述被测对象的某个特征量与此量的量度的单位进行比较，最后用数字和单位符号共同表示测量结果。

测量是人们认识客观物质世界，并进而改造世界的最基本的手段。因此，测量在人类社会生存和发展的各个领域中都是至关重要的。

首先，没有测量，也就没有了人际交往的“量值”语言。任何生产活动，任何物质交换，甚至连简单的“比较”，都无法进行，也建立不起最基本的时空观念，日常生活都会遇到巨大困难。

其次，就人类的生产活动而言，也可看出测量的重要作用。产品的技术指标的制定和加工过程的各个环节的质量检验，模具的精密程度，生产工具及机器的选择和制造等等，都离不开测量。现代大工业生产，用于测量的工时和费用占整个生产所用的20%～30%。至于测量在军事和国防现代化事业中的作用和重要性更是人人皆知。

第三，任何科学实验，其具体工作都是大量的测量过程。没有测量，就没有实验，也就没有任何工程技术和科学。

第四，测量水平的高低，是一个国家现代化水平高低的明显标志。测量工作，在我国四个现代化的建设中有着举足轻重的作用。严密精确的知识获取需要精密的测量，经济优化的工程设计及生产的科学管理离不开精密的测量，快捷的通信的实现和有效的组织管理，要求简捷方便的测量工具和手段。因此，提高测量水平，降低测量成本，减少测量误差，提高测量效率，对于国民经济各个领域是至关重要的。

二、计 量

为了保证在人际交往中，人们有共同的“量值”语言，即要求对同一个量的测量，无论在何时、何地、用何种方法进行测量，所得结果应该一致。这就要求有统一的量度单位，对测量工具要统一标准，并将有关标准的约定或规定用法律形式固定下来，这就形成了与测量有联系而又有别于测量的新概念，这就是“计量”的概念。

计量是人们为保证测量量值的准确统一和具有法制效力而进行的全部活动。如统一单位，测量基准和标准的建立，测量方法的研究，测量活动的监督与管理，统称为计量。它的三个主要特征是统一性、准确性和法制性。计量工作保证了全国量值的统一，是生产、科研和人民生活的正常秩序和各项活动安全可靠的重要保证。

三、测量与计量的关系

计量的出现是测量发展的客观需要，可以说，计量是测量工作的管理体系，测量是计量工作的具体实施。通过测量，可以对计量水平进行检验、修正和发展计量工作，没有测量，就谈不上计量。但是，测量数据的准确可靠，又要求计量予以保证。没有计量，没有统一的“标准”，测量也将失去其价值。可见，测量和计量相互配合、相互制约、相互依存而共同发展的。

第二节 电工与电子测量 电子测量的特点和应用

一、电工和电子测量

电工测量，亦称“电磁测量”。泛指各种电学量及磁学量的测量。电测量主要指电流、电压、功率、电能、相位，频率，电阻、电感、电容和介质损耗角等的测量。磁测量主要指磁场以及物质在磁场磁化下的各种磁特性的测量。例如磁场强度、磁通、磁感应强度、磁势、磁导率、磁滞和涡流损耗等的测量，电测量和磁测量又可统称为电磁测量或电气测量或电工测量。辞海上关于“电工测量”的解释为“研究电磁测量仪表和装置的原理、结构以及电磁测量方法的学科”。随着电子科学技术的发展，在电工测量中也广泛地采用电子技术。

以电子技术为手段的测量，称为电子测量，这是从广义的角度上而言的。电子测量不仅大大提高了测量的精度、测量的速度、测量的范围，而且许多非电量都可以通过传感器转化为电量，然后用电子学的方法进行测量。因而，电子测量在现代科学技术和现代化大生产中有着非凡的作用。电子测量的水平，也是衡量一个国家以高科技为特征的现代文明程度的标志。

从狭义上来讲，电子测量是在电子学范围内测量有关“电”的量值。与电磁测量不同，它主要是在“弱”电范围内的测量，即对小功率、小电流、频率较高的电信号的测量。我们在本书中，以此来区分电工测量与电子测量。实际上这是两个内涵很难界定、很难明确区分的概念。

二、电子测量的内容

狭义的电子测量的内容通常包括：

(1) “电磁能”量的测量，如电流、电压、电功率、电场强度，电磁干扰、噪声等的测量；

(2) 电信号的特性的测量，如波形、保真度（失真度）、频率（周期）、相位、脉冲参数、调制度、信号频谱、信/噪比以及逻辑状态等的测量；

(3) 元件及电路参数的测量，例如电阻、电感、电容、电子器件（电子管、晶体管、场效应管及集成电路等）的测量、电路（含电子设备及仪器等）的频率响应、通带宽度、品质因数、相位移、延时、衰减、增益的测量以及特性曲线（如频率特性曲线、器件的伏安特性曲线）的测量。

(4) 数字元件和微机系统的数据流的测量，如数字元件和微机系统的故障诊断和数据流的测量。

三、广义电子测量的特点

广义电子测量有别于其他的测量，有以下突出的特点：

（一）测量的频率范围宽

电子测量的频率范围很宽，可测零频（直流量），以及 $10^{-4}\text{Hz} \sim 10^{12}\text{Hz}$ 的交流流量，个别特殊的测量还可达到更高的频率。

但应注意，在不同的频率范围内，不仅被测量的种类有所不同，即使是测量同一电量，所需要采用的测量方法和使用的测量仪器也往往不同。所以有时把测量仪器（或提供的测量用的电信号的仪器）按使用频率范围进行分类，例如，低频信号发生器，音频信号发生器，高频信号发生器等。近年来已研制了很多可在较宽频率范围内工作的仪器，这样，用户就可用一台仪器取代几台只能在较窄频率内工作的仪器测量在较宽的频率范围内变化的电量。

（二）仪器量程范围宽

量程是仪器所能测试各种参数的范围。电子仪器具有相当宽广的量程。例如一台高灵敏度的新型数字电压表，可以测出从纳伏（ nV ）至 1 千伏（ kV ）的电压，量程达 11 个数量级。一台用于测量频率的电子计数器式频率计，其量程可达 17 个数量级。

(三) 对时间和频率的测量准确度高

从整体上而言，电子测量的准确度比其他测量方法高得多，特别是对频率和时间的测量，由于采用了原子频标和原子秒作为基准，使误差减小到 $10^{-13} \sim 10^{-14}$ 量级，这是目前人类在测量准确度方面达到的最高标准。一只普通钟表，一昼夜误差约为 30 秒左右；但铯原子钟的误差是几千年仅差 1 秒。电子测量的准确度高，使得它在现代科技领域得到广泛的应用。人们往往把其他参数转换成频率再行测量，以提高测量的准确程度。例如，许多数字式电压表，就是把电压转换成时间或频率再行测量。又如发射人造卫星的控制和遥测系统，也广泛地应用了电子测量方法。因为在这些地方测量如果不够准确，最后一级火箭的速度有千分之二的相对误差，卫星就会偏离预定轨道 100 公里。真是“差之毫厘，失之千里”，可见应用现代科技提高测量精度是多么重要。

必须说明，除了时间和频率以外，电子测量对其他参数的测量准确度不见得比其他方法高，甚至还低。原因有三：一是由于电磁相互作用，造成外界干扰及测量电路中的损耗，影响了测量结果的准确度；二是由于在电子测量中，大多数待测参数是间接测量而得，其准确度受直接测量的原始参数的准确度的限制；三是受显示方式的限制，比如，用示波器测量电压就没有指针式仪表的准确度高，但它可显示波形等等。

(四) 测量速度快

电子测量具有其他测量无法比拟的高速度。这也是它在现代科学技术领域内得到广泛应用的一个重要原因，如对导弹发射中的运动参数和工业自动控制系统中的“在线测量”都需要快速实现。这样才能及时发出控制信号，及时调整。此外，在采用多次测量求平均值以减小误差的过程中，也要用到高速测量，因为短时间内各次测量的环境条件才接近不变。

(五) 易于实现遥测和长期不间断的测量，显示方式又可以做到清晰、直观

由于可以把电子仪器或与它连接的传感器放到人体不便于长期停留的恶劣环境或无法到达的区域（如人造卫星、深海、地下核反应堆内、人体内部等）去进行遥测，而且可以在被测对象正常工作的情况上进行测量。对于那些需要长期不间断测量的场合，例如用短路或断路方法对有些物理现象进行长期监测、或对缓慢变化的现象长期测量，电子测量都有它独到的方便之处。

电子测量结果的显示方法也比较清晰、直观，例如发光二极管的直接数字显示给读数带来方便，荧光屏示波显示形象而直观地给出被测量的特征。测量结果也可以直接打印、绘图或自动启动指示灯及警铃显示。

(六) 易于实现测量过程的自动化和测量仪器的微机化

电子技术使测量过程的自动化易于实现，特别是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。在测量中可以实现程控、遥控、自动转换量程，自

动调节、自动校准、自动诊断故障和自动修复，测量结果的自动记录，自动完成数据运算、分析和处理。带微处理机的“智能”仪器，具有记忆存储、逻辑判断、数学运算和命令识别等“智能”特点，形成一代灵巧多用、高性能、多功能的新仪器。此外，还可以利用微机通过标准接口母线连接多台仪器，组成自动测试系统，快速准确地完成大量测试任务。

电子测量技术的一系列优点，使它广泛地应用于科学技术的各个领域。大到天文观测、宇宙航天技术，小到物质结构、基本粒子；从复杂深奥的生命、细胞、遗传问题到日常的工农业生产、医学、商业各部门，都越来越多地利用了电子测量技术。

第三节 电工与电子测量仪器概述

用于检测某个待测量的量值的器具，称为测量仪器。

一、电工和电子测量仪器的分类

电工和电子测量仪器种类繁多，同其他测量仪器一样，也常分为专用仪器和通用仪器两大类。例如彩色电视信号发生器就是专用仪器，仅限于用于测试彩色电视接收机，不能移作它用；而电子示波器则是通用仪器，广泛应用于各类电子设备的测量中。通用仪器也常用于测量系统中的组成单元，或某些专用设备的构件。

若按被测量的信号形式来分，可分为模拟量检测仪器（表）、数字量（也称为数据域）检测仪器（表）以及随机量检测仪器（表）——噪声测量。

若按显示方式，可分为指示式仪器（表）、比较式仪器（表）和记录式仪器（表）。指示（显示）式仪表比较常见，比较式仪表如电位差计和电桥；记录式仪表如 X-Y 记录仪及示波器。

还有许多不同的分类法，每一类下面又可细分。比如，可按仪器（表）的结构和工作原理来分；可按仪器（表）的使用条件和保护性能来分；还可按仪器（表）的准确度等级来分…这里不一一枚举，现将常用的电子测量仪表举例如下：

(1) 以测量电压为基础的万用表，有指针显示和数字显示的两种，可测交直流电压、电流、电阻及粗测电容、音频电压和晶体管参数等，携带方便，用途广泛；

(2) 示波器。能进行各类电量和非电量的信号分析，显示信号的动态过程，定量检测信号的所有电参数，以及显示两个量之间的函数关系，可测量电流、电压、频率、相位……等多种电量。给它配上不同的辅助电路，可组成各种综合测试仪器，如频率特性测试仪，频谱仪，心电图机等，也是一种用途广泛的电子测量仪器；

(3) 电子元器件测试仪。如晶体管特性图示仪，集成电路测试仪和电路元件（如电阻、电感、电容）测试仪等；

- (4) 电子计数器和频率计。用以测量频率及累计脉冲数等；
- (5) 提供各种信号的信号源——信号发生器；
- (6) 数据域测试的典型仪器——逻辑分析仪。

电子测量仪器品种繁多，且正在向多功能综合型、智能（微机）化和个人仪器方面发展，但其基本原理和使用方法仍是上述常见电子仪器的延续和发展。本书的内容仅限于在实验室或工厂中常用的一些电工和电子测量仪器。

二、测量仪器（表）的组成和工作原理

（一）指示式仪表的组成和基本原理

指示式仪表是最常见常用的电工及电子测量仪表，多为电气和机械式仪表。指示式仪表直接显示测量结果，常用指针、光点或计数结构在仪表标尺或表盘上指示，也可用数字显示，是在技术上已臻完善的传统仪表，已形成有磁电系、电磁系、静电系、整流系、电子系、热电系以及感应系等。近年来，其中部分产品已应用电子器件，组成变换器，做成它们的附件，构成了不少近代仪表。因此，指示式仪表仍在电子电工测量中占有相当重要的地位。

指示式仪表一般由测量线路（多为测量变换器，如分流器、分压器、仪用互感器、整流器、热电变换器和放大器组成）和测量机构两大部分组成，如图 1-3-1 所示。被测量 y 经过测量线路转化为过渡量 x ，转换的目的是使过渡量 x 能够直接驱动测量机构的可动部分，产生指针或光点的（角）位移 α 。当然 x 和 y ， α 和 x 之间，必须保持一定的严格的函数关系，这样，位移 α 才能正确指示出被测量 y 的大小来。当然，如果被测量能够直接作用于测量机构，也可以不用测量线路。

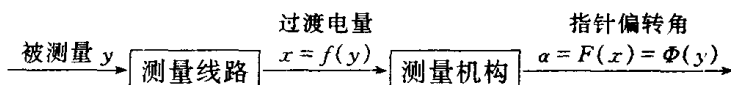


图 1-3-1 电测量指示仪表原理方框图

测量机构是指示仪表的核心，它与测量线路不同，任何情况都不能省略。从结构特点上来讲，测量机构主要由三部分组成：

1. 产生转动力矩的驱动装置

驱动装置由固定部分和可动部分组成。这两个部分通过电磁力产生转动力矩，给出偏转指示。例如磁电系仪表是利用通电线圈（可动部分）与永久磁铁（固定部分）之间的电磁力；而静电系仪表则是利用两块极板间的电场作用力。一般来讲，各种指示仪表的转动力矩受两个因素影响，一是待测量 x （即测量机构的输入量——过渡电量 x ）的大小，二是可动部分的偏转位置 α ，因电磁场的分布状态是空间位置 α 的函数，即 α 不同的地方，转矩的大小也可能有所变化。这样，转动力矩 M 是被测量 x 和可动部分偏转角 α 的二元函数， $M = F(x, \alpha)$ 。

2. 产生反作用力矩 M_a 的控制装置

如果测量机构只有驱动力矩，那么不论被测量 x 多大，可动部分总要在它的作用

下一一直偏转到尽头，就像一杆不挂秤砣的秤杆，这是不能进行测量的。为了使可动部分的偏转角能反映测量的大小，必需设置一个能产生反作用力矩的平衡控制装置（通常用游丝、张丝、吊丝等，有些特殊的仪表采用另一个通电线圈，反作用力矩用于平衡转动力矩，控制可动部分偏转角的大小，也称为控制力矩）。

从原理上讲，当转动力矩 M 与反作用力矩 M_α 平衡时，即

$$M_\alpha = M$$

仪表可动元件处于平衡位置，指示出被测量的大小。实际上，还存在摩擦力矩 M_f （如轴尖与轴承间的摩擦）等，造成仪表的读数误差。因此时

$$M_\alpha \pm M_f = M$$

指示读数的控制力矩 $M_\alpha \neq M$ ， α 已不能准确表示出被测量的真实大小。

3. 产生阻尼力矩 M_d 的阻尼装置

从上式可知，由于可动部分具有一定的转动惯量，到达平衡位置时，不可能立即停止，往往超过平衡点，这样 $M_\alpha \neq M$ （为讨论问题的方便，这里忽略了 M_f ），从而产生定位力矩（即二者力矩之差）

$$M_d = M - M_\alpha$$

M_d 力图使可动部分返回到平衡位置，这就可能造成可动部分在平衡位置振动不已，影响快速读数。为此，必须在测量机构中设置吸收这种振荡能量的装置，称为阻尼装置，由它产生与可动部分运动方向相反的力矩，即阻尼力矩 M_d 。

阻尼力矩只与可动部分的速度有关，而与最终偏转角无关，它是一种动态力矩。当可动部分稳定之后，它就不复存在，因此它与工作原理无关。

常用的阻尼装置有两种：一种是介质（如空气、油）阻尼器，另一种是电磁或光阻尼器。

除以上三种产生力矩的装置外，指示仪表的测量机构还包括指针、度盘、光指示式的光路系统和刻度尺、调零器、平衡锤、止动器及外壳等。

（二）数字显示式仪表的组成和基本原理

由于电子技术的发展，尤其是半导体集成电路的出现，数字显示仪表及其测量技术也随着不断地进步而形成一系列新型仪表。

数字显示式仪表的典型结构如图 1-3-2 所示，它包括测量线路、模数转换（A/D 转换）和数字显示几个部分。

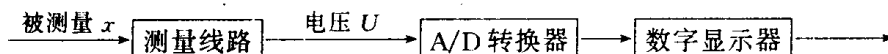


图 1-3-2 数字仪表组成原理方框图

测量线路的任务是将被测模拟量转换为便于进行模数转换的另一种模拟量（即中间量，现在均是直流电压 U ，因现在使用的 A/D 转换器只能将直流电压转换为相应的数字量）。并且此中间量必须与被测量保持线性关系，因 A/D 转换电路及数字显示电路均为线性电路，即

$$U = kx$$

式中 k 为常数。

A/D 转换器的任务是把模拟量转换为数字量。现在的 A/D 转换通常是把连续变化的模拟量转换为离散量，再用数字表示。对于本来就是离散量的，如频率，就无需通过模数转换这个环节。数字显示器所采用的器件从结构来分有以下几种：

- (1) 机械圆盘或翻牌窗口显示；
- (2) 白炽灯组合显示；
- (3) 辉光数码管显示；
- (4) 荧光数码管显示；
- (5) 发光二极管显示；
- (6) 液晶显示。

常用的数码管可直接显示并行的二进制信号。如果是串行的电脉冲信号，则可先用计数器进行计数，计数后的信号即为并行信号。

原则上所有电工仪表都可以做成数字仪表。由于数字仪表以数字形式显示，没有机械传动部分，因此可以避免摩擦、读数等误差，当生产过程采用计算机控制时，数字仪表也便于与计算机配合。

(三) 比较式仪表

用于比较法测量，需要将被测量与标准量进行比较，并通过调节，达到平衡后，测量结果可由调节盘上的指示的档位数字读出，也有用数字量显示出结果。它包括各类交直流电桥、电位差计、交直流补偿式的测量仪器，以及直流电流比较仪等。

比较法测量的准确度较高，所以比较式仪器可用于对电磁量进行较精密测量的场合。电测量比较仪器通常分为直流和交流两大类，每类中包括比较仪器本体（如电桥、电位差计等）、检流设备、度量器等。

三、近代电工与电子测量仪器（表）

由于近代电子技术和数字化、集成电路技术的飞跃进展，必然使新原理、新结构、新材料、新工艺进入到测量仪器（表）领域，产生了一些新仪器（表），从而大大提高和改善了传统仪器（表）的性能，并使测量技术发生了巨大的变化。其中一个重要的趋向是利用新的器件及传感器，来改善或改造传统仪器（表），在原有的传统仪器（表）优良性能的基础上，进一步提高其性能和测量精度等。如运放式仪器（表），感应耦合臂电桥和有源电桥、数字仪表等。下面举例加以说明：

(一) 运放式仪表

将运算放大器与传统的指示仪表结合起来，构成运放式仪表，如图 1-3-3 所示的直流电压表和图 1-3-4 所示的直流电流表，可满足电压表的内阻接近于“无限大”，

电流表内阻接近于零的理想化要求。

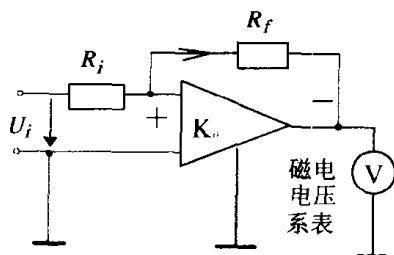


图 1-3-3 运放式直流电压表

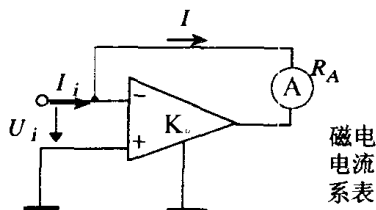


图 1-3-4 运放式直流电流表

自然，还可以组成运放式交流电压表和运放式交流电流表。

(二) 有源电桥

将运放元件与交流经典电桥相结合，使电桥线路本体成为具有有源元件的电路或网络，称为有源电桥。由于其结构从表面上看不像经典的四臂电桥，故也常称它们为“类桥”或“伪桥” (pseudo bridge)，如图 1-3-5 所示。

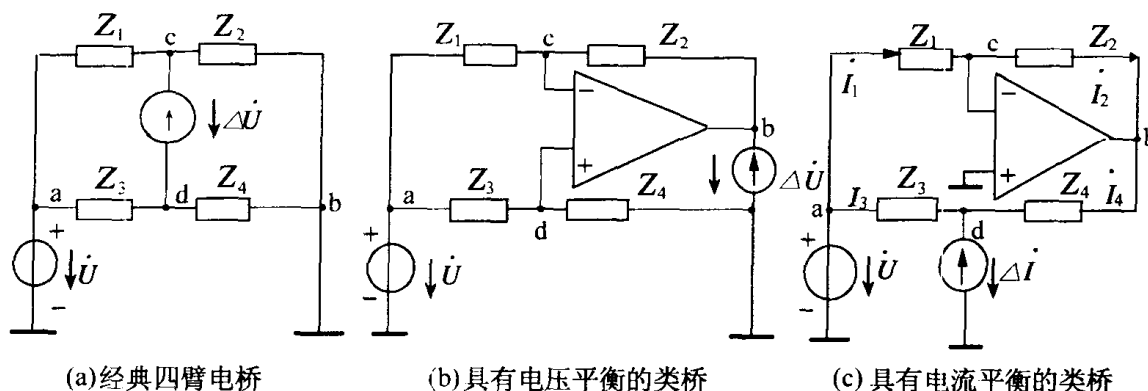


图 1-3-5 有源电桥的演化

(三) 利用二极管的性能改造磁电系仪表

利用二极管的性能配合磁电系仪表表头，可以构成测量正弦工频 (50Hz 范围) 交流的频率、相位、两个交流电的差值以及防过载等功能的直流电流表和展开式电压表等。图 1-3-6 即为标尺展开式仪表原理示意图。其中图 1-3-6 (a) 图是始端量程扩展标尺展开式仪表原理示意图。稳压管导通前，仪表指示与电压成正比 (从零到 20% 量程范围)。稳压管导通后表头电流被它分流，仪表指示值明显降低，实现仪表始端标尺的扩展。从 20% 量程范围到满偏范围被压缩在标尺一小段区间内。图 1-3-6 (b) 图是实现末端量程的扩展标尺展开式仪表原理示意图。稳压管导通后，仪表出现线性偏转，这样线性区长度占标尺百分比增大，使得仪表线性区的读数准确性大为提高。某些监视正常运行的仪表通常指示在一段很小的范围内，用这种仪表可以提高其变化灵

敏度和读数准确度。

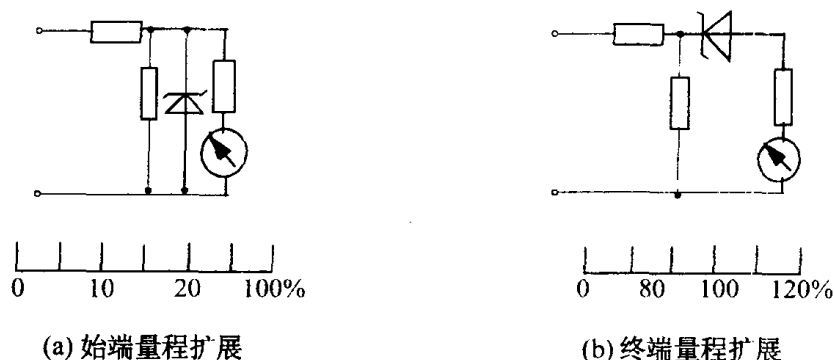


图 1-3-6 标尺展开式仪表原理示意图

(四) 利用霍尔元件构造新仪表

利用霍尔元件于磁性测量中，已得到广泛应用，并应用于测量大电流以及其他各种电参量或非电量。

四、电工与电子测量仪器的发展趋向

进入 20 世纪 80 年代以来，由于数字技术、大规模集成电路 (LST)，特别是微型计算机技术的发展与应用，新的电工与电子测量仪器层出不穷，且正在向多功能、综合型、智能（微机）化和个人仪器方面发展，但其基本原理和使用方法仍是常见的电工与电子测量仪器的延续和发展。总的看来，现代的电工与电子仪器和测量技术具有两个显著的特点和三种基本的结构体系。

两个显著的特点为：一是电工与电子仪器和测量技术与计算机，特别是微机相结合，实现测量的自动化（如计算机辅助测试技术 CAT）和智能化；二是利用各类敏感元件和传感器的转换作用，将测量范围进一步深入到非电量中去，使电工与电子仪器和测量技术在科技、生产、经贸等国民经济的各个领域发挥更大的作用。

三种基本的结构体系：

(1) 自动测试系统。为了适应军事、高科技和现代化大生产中巡回、多点、遥控、多功能多参数综合在线测试、自动量程转换、自动数值处理、测量结果的自动显示等迫切需求，自 1978 年起，国际上开始出现自动测试系统，即将计算机与若干台可编程的通用仪器互联，采用仪器标准接口总线（GP-IB 即 general perpose-interface bus，此技术由美国惠普 HP 公司 heqwlett-packard 首先推出，在欧洲称为 IEC-IB 接口，我国由电子工业部推出标准 SJ 接口，这些接口大多是通用的。GP-IP 的常用型号如 IEEE-488，IEC-625，SJ-2479 等）。自动测试系统发展很快，目前已广泛运用于宇航器、核子工程、高精度计量测试和现代化战争以及现代化大生产中，如 LSI 和 VLSI 等功能快速测试场合。

(2) 智能化仪器。所谓智能仪器，是指这些仪器能够做一些人类的智慧劳动，如数值运算、命令识别、定理证明、语言理解、对话系统等。智能化仪器多种多样，功能和复杂程度各异，但其基本结构均是以微处理器为核心，按总线结构方式，将内部的测试功能模块以及外部的仪器面板上的按键、开关、显示器等均通过各自的接口并联于系统总线上。微处理器执行仪器的系统软件，实现程控测试、数据采集与运算处理，并以多种形式（时域或频域的，数字或模拟的，字符或图像的，软的或硬拷贝等）给出测试结果，仪器可利用程序逻辑去模拟硬件逻辑电路，可软化硬件功能，从而简化测试系统的硬件结构，增强仪器功能的可塑性和性能价格比，仪器还可以进行系统故障的自检查与自诊断。智能化仪器最早出现于 1971 年，现在国际上以美国的惠普公司和英国的产品较为有名，我国天津第二电子仪器厂的产品较早问世，其他城市也在相继生产。

(3) 个人计算机系统。利用专用接口总线（如 PC-IB、VXI、MMS）将个人计算机和一些仪器插件（即不带显示器及控制面板的仪器模块）连接起来，构成的小型自动测试系统，称为个人（PC）仪器。它有两个主要优势：其一是充分利用了计算机的功能（如处理、存储、显示、控制）和各种软件资源。其二是尽量用软件代替硬件实现各种仪器功能，这样可减小仪器体积，降低成本，提高性能价格比，并且可以实现一仪多用。例如，用一种 A/D 卡，配合相应的软件，使用计算机即可实现多种仪器功能：如数字存储示波器，数字万用表，数字系统，数字频率计等。VXI 总线是 1988 年推出的标准总线，它的主要优点是时钟频率高达 100MHz，存储容量大，有 32 位数据处理能力，数据传输速率大大超过 IEEE-488 总线系统，性能价格比也高。MMS 则克服了 VXI 标准总线不适应于微波测试的缺点。VXI 和 MMX 都是一种开放式的集中测量系统的体系结构，是当今自动测试系统发展的主要方向。

第四节 测量方式和测量方法及其选择

测量过程一般包括三个阶段：

(1) 准备阶段：首先要明确“被测量”的性质及测量所要达到的目的，然后选定测量方式，选择合适的测量方法及相应的测量仪器（表）。

(2) 测量阶段：建立测量仪器所需要的测量条件（含测量环境），慎重地进行测量操作，认真记录测量数据。

(3) 数据处理阶段：考虑测量条件的实际情况，整理和处理所记录的测量数据，确定测量结果和测量误差。

可见，研究一个完整的测量过程，首先必须研究如下几个方面的问题：

(1) 测量对象和测量任务（有几个被测量？各自要求达到的准确度？影响测量的因素？测量环境与条件的要求与改善？能否直接测量等）；

(2) 测量方式和具体测量方法的选择与设计；

(3) 测量设备：包括对作为测量单位复制品的度量器和测量仪器（表）的选择，了

解其功能，使用方法及注意事项等。

简言之，依据测量任务，确定测量方法，选择测量仪器。

这些问题，展开来谈，涉及的方方面面是比较多的，下面我们作些粗浅的讨论。

一、测量方式（按测量路径来分）

通常分为直接测量和间接测量。而后者又常细分为间接测量和组合测量。

（一）直接测量

将被测量与作为标准的量直接比较，或用预先经标准量定度好的测量仪器（表）进行测量，从而直接测得被测量的数值，这种测量方式称为“直接测量”。如用电流表测量电流，用直流电桥测量电阻等均属于直接测量。直接测量是最常用的最基本的测量方式。

（二）间接测量

某被测量不易直接测量，但通过与被测量有一定函数关系的量（一个或几个）的直接测量结果求出（如用函数解析式的计算，查函数曲线或表格）被测量数值，这种测量方式称为间接测量。

例如，欲测量三极管的集电极电流，不必先断开集电极电路，再串入电流表进行直接测量；而可用直流电压表测出集电极电阻上的电压值，然后除以该电阻值，即可求得被测电流。又如当手头无功率表时，欲测量某功率放大器的输出功率，可用间接法测量，如图 1-4-1 所示，用一个已知电阻 R_L 作为负载，用电压表测量负载上的电压 U_0 ，然后通过下式：

$$P = \frac{U_0^2}{R_L}$$

计算出功率放大器的输出功率。

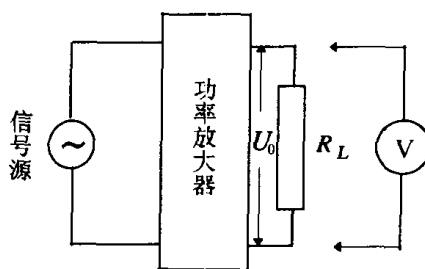


图 1-4-1 间接测量示例

（三）组合测量

如果被测量有多个，而且能以某些直接或间接可测量的不同组合形式表示出来，则可以先测量这几个可测量，再求解按被测量和可测量之间的函数关系组成的联立方程组，求得诸被测量的数值，这种测量方式称为组合测量。显然，它是一种兼用直接测量与间接测量的方式。

例如，在研究导体的电阻 R_t 随温度 t 变化的规律时，在一定的温度范围内，总结为如下关系式：

$$R_t = R_{20} + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2$$

式中 R_{20} , α , β 为三个待定的量, 其物理意义是: R_{20} 为电阻在 20°C 时的数值, α , β 为电阻的温度系数。

依据此关系式, 测量出在 t_1 , t_2 , t_3 等三个不同的测试温度时的导体的电阻 R_{t1} , R_{t2} , R_{t3} , 得联立方程组:

$$R_{t1} = R_{20} + \alpha(t_1 - 20) + \beta(t_1 - 20)^2$$

$$R_{t2} = R_{20} + \alpha(t_2 - 20) + \beta(t_2 - 20)^2$$

$$R_{t3} = R_{20} + \alpha(t_3 - 20) + \beta(t_3 - 20)^2$$

求解此方程组即可求得 R_{20} , α , β

上述三种测量方式, 以直接测量最为快捷简便。间接测量和组合测量比较复杂费时, 仅在:

(1) 缺乏直接测量仪器;

(2) 不便于直接测量;

(3) 或直接测量时涉及到的其他因素较多, 而测量要求达到的准确度较高, 这些其他因素不能忽略而必须考虑的情况下, 才予采用, 故多用于科学实验和一些特殊的场合。

应该注意的是, 在满足测量精度等目的、要求的条件下, 应尽量采用直接测量方法, 以提高测量的准确度。如果盲目地考虑过多的完全可以忽略次要因素, 期望通过过分繁复, 过分严密的运算来提高最后结果的准确度, 是不切合实际的。因为“由已经测得的各个量进行无论如何繁复的计算, 都不可能再使最后结果的准确度超过整个实验装置与运算公式所已经决定了的准确度限度。”最后结果的准确度必定比所有参与运算的各个数据中最低的那个准确度还要低。同样, 企图从仪器的最小分度以下多读(估计)几位数字来提高测量的准确度, 也是枉费心机的多余之举。

二、测量方法 (按度量器参与形式分类)

我们前面讲过, 测量是将被测量与同类量的测量单位进行比较的实验过程。作为测量单位复制体的度量器, 如单位长度尺, 单位体积(容积)斗、升等参加到这一比较过程可以是直接的, 也可以是间接的。为了使测量简便易行, 往往采取两种办法: 一是预先在测量仪器上安装指示(或显示)机构, 其指示的刻度(或显示的数字)是经过事先与测量的单位度量器进行比较后而制作好了的, 即“校准”过的; 二是先制作好测量该类被测量的标准器具, 如电桥和电位差计上的标准电阻、标准电源、标准电容器、标准电感器, 亦可作成可调式的标准件, 然后将被测量与此标准件的标准量比较进行测量。因此, 根据是否有度量器或标准件直接参与测量过程, 可以把测量方法分成两大类: 直读法和比较法。

(一) 直读法

能够直接在仪表上读取读数的测量方法称为直读法。此法中, 无度量器或标准件直