

# 《电子测量原理与仪器》



第1页



## 课程简介

- ◆ 适用对象:
  - 测控技术与仪器专业
- ◆ 先修课程:
  - 概率统计和随机过程, 模拟电子线路, 数字电路与逻辑设计, 信号与系统
- ◆ 课程性质:
  - 专业必修课
- ◆ 教学目的:
  - 本课程旨在阐明近代电子测量实践中所遇到的主要物理量的基本测量原理和方法。电子测量技术综合应用了电子、计算机、通信、控制等技术。通过本课程的学习, 培养学生具有电子测量技术和仪器方面的基础知识和应用能力。

第2页



## ◆ 教学内容:

- 第一部分**测量总论及误差理论**, 介绍测量的基本概念、技术方法及系统组成, 误差理论和数据处理等。
- 第二部分**基本电参量测量**, 包括频率、电压、阻抗等。
- 第三部分**时域测量**, 以示波器为背景介绍时域信号波形的采集、显示及应用技术。
- 第四部分**频域测量**, 重点讨论频域中的信号频谱和网络性能的测量。
- 第五部分**数据域测量**, 介绍数字系统的基本测量原理和方法, 包括数字信号的产生、逻辑分析仪等。

第3页



## ◆ 学时安排:

- 共56学时, 讲课44, 实验12

## ◆ 考核:

- 考试70% + 平时30%
- 平时成绩包括作业、签到、实验

## ◆ 教材和参考书:

- 古天祥, 电子测量原理, 北京: 机械工业出版社, 2004.9
- 杨吉祥, 高礼忠, 詹宏英, 梅杓春, 电子测量技术基础, 南京: 东南大学出版社, 2005. 1
- 蒋焕文, 电子测量(第二版), 北京: 中国计量出版社, 1996
- 刘国林, 殷贯西等, 电子测量, 北京: 机械工业出版社, 2003
- 陈光燭, 王厚军, 田书林, 李为民, 现代测试技术, 成都: 电子科技大学出版社, 2002

第4页



## 第1章 测量的基本原理



- ◆ 测量、计量的基本概念
- ◆ 测量误差的基本概念
- ◆ 测量的基本原理
- ◆ 电子测量中的基本实现技术

第5页



## 1.1 测量的基本概念

### ◆ 1.1.1 测量的意义

- 日常生活中处处离不开测量
- 科学的进步和发展离不开测量  
离开测量就不会有真正的科学。
- 工业生产、医疗生物、农业、气象、环境、勘探等离不开测量

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



第6页



### 1.1.2 测量的定义

#### ◆ 1. 狭义测量的定义

- 测量是为了确定被测对象的量值而进行的实验过程。
- 在测量过程中，人们借助专门的设备，把被测对象直接或间接地与同类已知单位进行比较，取得用数值和单位共同表示的测量结果。

测量结果 = 测量数值 · 测量单位，即：  $x = \{x\} \cdot x_0$

几个基本术语：

量、量值、量的数值、测量单位、被测量、测量结果

第7页

### 1.1.2 测量的定义 (续)

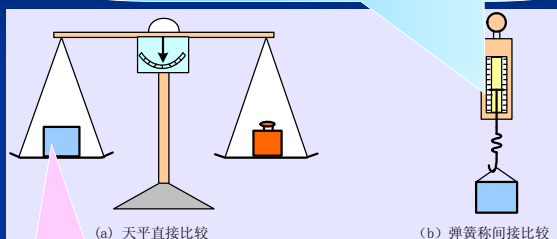
#### ◆ 测量的内涵

- ① 测量对象 被测客体中的相应的量值信息；
- 测量目的：从被测对象取得一个定量的认识；
- ② 测量过程 通过实验去认识对象的过程
- ③ 测量方法 比较
  - ✓ A. 直接比较 B. 间接比较；C. 需要测量仪器；
- ④ 测量标准 同类已知单位。
- ⑤ 测量结果 最终能表示给测量主体（人）

第8页

### 1.1.2 测量的定义 (续)

被测物体的重量从度盘上读数，因为，弹簧秤度盘上的刻度是事先与标准量进行比较的结果。



被测物体的重量等于标准砝码的重量

图1-1 测量的比较原理

第9页

### 1.1.2 测量的定义 (续)

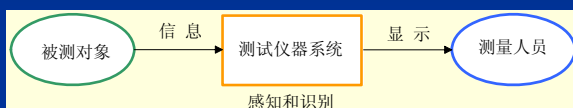
#### ◆ 2. 广义测量的定义

- 测量是为了获取被测对象的信息而进行的实践过程。
- 事物的信息：即该事物（系统）的运动状态及其变化方式。
- 广义地讲，测量不仅对被测的物理量进行定量的测量，而且还包括对更广泛的被测对象进行定性、定位的测量。例如故障诊断、无损探伤、遥感遥测、矿藏勘探、地震源测定、卫星定位等。
- 测量结果：不仅仅是由量值和单位来表征的一维信息，还可以用二维或多维的图形、图像来显示被测对象的属性特征、空间分布、拓扑结构等。

第10页

### 1.1.3 测量的基本要素

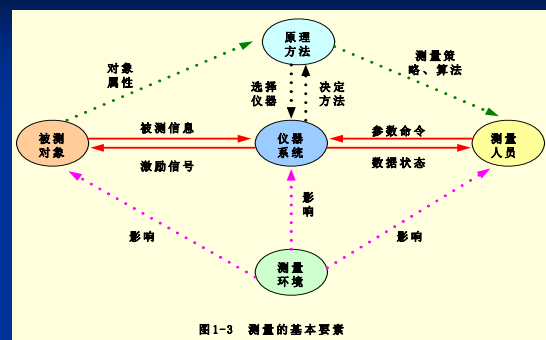
#### ◆ 1. 测量的基本要素



被测对象、测量仪器、测量技术、测量人员和测量环境

第11页

### 1.1.3 测量的基本要素 (续)



第12页

### 1.1.3 测量的基本要素 (续)

#### ◆ 2. 测量过程——基本要素之间的互动关系

测量过程:

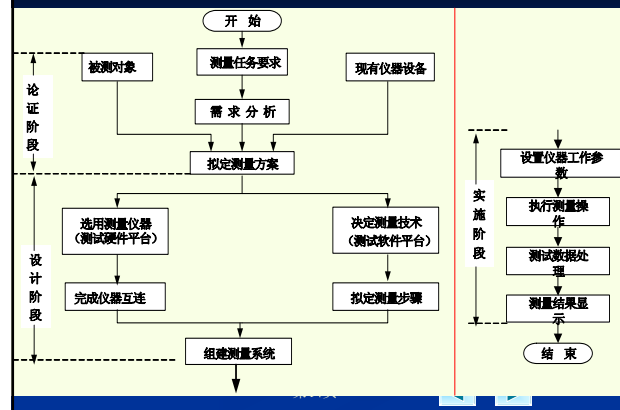
论证阶段

设计阶段

实施阶段

第13页

### 1.1.3 测量的基本要素 (续)



## 1.2 计量的基本概念

### ◆ 1.2.1 计量的定义和意义

为使在不同的地方,用不同的手段测量同一量时,所得的结果一致,就要求**统一的单位、基准、标准和测量器具**。

#### ◆ 1. 计量的定义

计量是利用技术和法制手段实现单位统一和量值准确可靠的测量,它把被测量与国家计量部门作为基准或标准的同类单位量进行比较,以确定合格与否,并给出具有法律效力的《检定证书》。

计量的三个主要特征是**统一性、准确性和法制性**。

第15页

### 1.2.1 计量的定义和意义 (续)

#### ◆ 2. 计量与测量的关系

◆ 为了保证测量结果的准确性,必须定期对仪器进行检定和校准,这个过程就是计量。

◆ 计量的任务是确定测量结果的可靠性。

◆ 计量是测量的基础和依据。

◆ 测量是计量应用的重要途径。

计量和测量相互配合,才能在国民经济各个领域发挥重要作用。

第16页

## 1.2.2 单位和单位制

◆ 根据定义而令系数为1的量称为**单位**。

◆ **单位是表征测量结果的重要组成部分,又是对两个同类量值进行比较的基础。**

分为: **基本单位和导出单位**

第17页

## 1.2.2 单位和单位制 (续)

◆ 1960年第十一届国际计量大会上正式通过国际单位制SI。

◆ 1984年2月国务院颁布了《中华人民共和国法定计量单位》,决定我国法定计量单位以国际单位制为基础。

◆ SI有7个基本单位



第18页

## 1. 2. 2 单位和单位制 (续)

### ◆ 1. 国际单位制 (SI) 的组成

国际单位制基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克 (公斤)	kg
时间	秒	s
电流	安[培]	A
热力学温度	开[尔文]	K
物质的量	摩[尔]	mol
发光强度	坎[德拉]	cd

第19页

## 1. 2. 2 单位和单位制 (续)

◆ **国际单位制**是由国际单位制单位和国际单位制词头两部分组成。

◆ 国际单位制**词头**表示使单位增大或缩小的十进倍数。

例:  $5.4 \times 10^{-9} \text{s} = 5.4 \text{ns}$

因数	词头名称		符号
	原文 (法)	中文	
$10^9$	Giga	吉	G
$10^6$	mega	兆	M
$10^3$	Kilo	千	k
$10^{-3}$	milli	毫	m
$10^{-6}$	micro	微	$\mu$
$10^{-9}$	nano	纳	n
$10^{-12}$	pico	皮	p

第20页

## 1. 2. 3 基准和标准

### ◆ 1. 基准

➢ 基准用来复现某一基本测量单位的量值, 只用于鉴定各种量具的精度, 不直接参加测量。

分级:

- ◆ (1) **一级基准**, 又称主基准和国家基准
  - 具有最高水平的基准。一个国家只有一个。
- ◆ (2) **二级基准**, 又称副基准
  - 副基准的量值精度由主基准确定, 用以代替主基准向下传递基本测量单位的量值标准, 或代替主基准参加国际比对
- ◆ (3) **三级基准**, 又称工作基准
  - 工作基准用来直接向下属标准量具进行量值传递, 用以检定下属计量标准量具的精确度。

第21页

## 1. 2. 3 基准和标准 (续)

### ◆ 2. 几个术语

- ◆ (1) **计量器具**: 凡是能用以直接或间接测出被测对象量值的量具、计量仪器和计量装置都统称为计量器具。计量器具按作用可分为**计量基准**、**计量标准**和**工作计量器具**三类。
- ◆ (2) **计量标准器具**: 准确度低于计量基准, 用于检定**计量标准**或**工作计量器具**的计量器具。
- ◆ (3) **工作计量器具**: **工作岗位**上使用, 不用于进行量值传递, 而是直接用来测量被测对象量值的计量器具。

第22页

## 1. 2. 3 基准和标准 (续)

- ◆ (4) **比对**: 在规定条件下, 对**相同准确度等级**的同类基准、标准或工作计量器具之间的量值进行比较, 其目的是考核量值的一致性。
- ◆ (5) **检定**: 是用**高一等级**准确度的计量器具对**低一等级**的计量器具进行比较, 以达到全面评定被检计量器具的计量性能是否合格的目的。一般要求**计量标准的准确度**为被检者的1/3到1/10。
- ◆ (6) **校准**: 校准是指被校的计量器具与**高一等级**的计量标准相比较, 以确定被校计量器具的示值误差 (有时也包括确定被校器具的其他计量性能) 的全部工作。
- ◆ (7) **量值的传递**: 指一个物理量单位通过各级基准、标准及相应的辅助手段准确地传递到日常工作中所使用的测量仪器、量具, 以**保证量值统一的全过程**。

第23页

## 1.2.4 测量基准的权威性和相对性

### 1. 基准的权威性

- 基准的理论定义**最严格的**、制作工艺技术**最先进**。
- 原器基准自身也会随时间、地点、环境条件而**变化**, 甚至会损坏, 会失传, 应尽力维护。
- 从现代科学的观点来看, 最好的基准是**原子基准**。

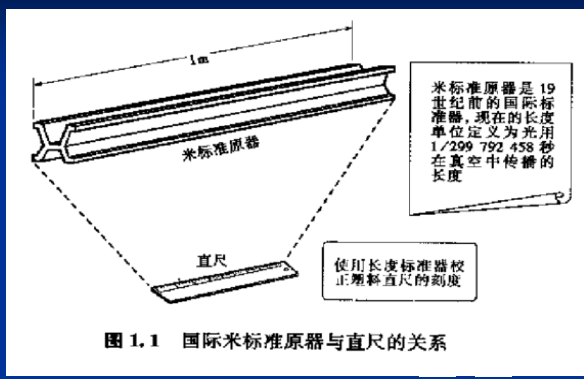
### 2. 基准的相对性

一个时期的测量基准反映当时的人类认识水平和科学水平

例: 以太阳为基准, 时间测量的精确度1天内可达到1秒钟。而目前铯原子钟的计时精确度在三百万年内也不超过1秒。

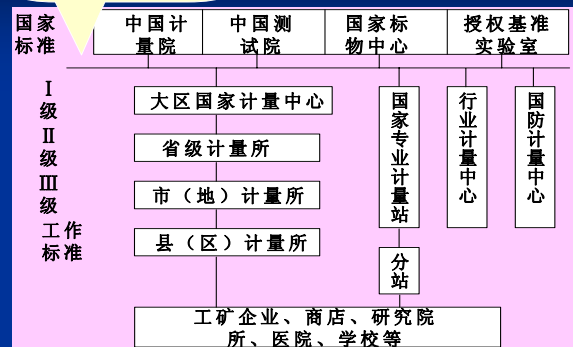
第24页

### 1.2.4 测量基准的权威性和相对性 (续)



### 1.2.5 测量标准的传递

自上而下逐级传递



### 3.1 测量误差的基本概念

#### 3.1.1 测量误差的定义

- 测量的目的：获得被测量的真值。
- 真值**：在一定的时间和空间环境条件下，被测量本身所具有的真实数值A。
- 测量误差**： $\Delta x = x - A$
- 所有测量结果都带有误差。



第27页

#### 3.1.2 测量误差的来源

- (1) **仪器误差**：由于测量仪器及其附件的设计、制造、检定等不完善，以及仪器使用过程中老化、磨损、疲劳等因素而使仪器带来的误差。
- (2) **影响误差**：由于各种环境因素（温度、湿度、振动、电源电压、电磁场等）与测量要求的条件不一致而引起的误差。
- (3) **理论误差和方法误差**：由于测量原理、近似公式、测量方法不合理而造成的误差。
- (4) **人身误差**：由于测量人员感官的分辨能力、反应速度、视觉疲劳、固有习惯、缺乏责任心等原因，而在测量中使用操作不当、现象判断出错或数据读取疏失等而引起的误差。
- (5) **测量对象变化误差**：测量过程中由于测量对象变化而使得测量值不准确，如引起动态误差等。

第28页

#### 3.1.3 测量误差的表示方法

测量误差有绝对误差和相对误差两种表示方法。

- 1. 绝对误差**
- (1) **定义**：由测量所得到的被测量值与其真值之差，称为绝对误差

$$\Delta x = x - A_0$$

$\Delta x$  有大小，又有符号和量纲

- 实际应用中常用实用值A（高一级以上的测量仪器或计量器具测量所得之值）来代替真值。

- 绝对误差**： $\Delta x = x - A$

第29页

#### 3.1.3 测量误差的表示方法 (续)

- (2) **修正值**
- 与绝对误差的绝对值大小相等，但符号相反的量值，称为修正值

$$C = -\Delta x = A - x$$

- 测量仪器的修正值可以通过上一级标准的检定给出，修正值可以是数值表格、曲线或函数表达式等形式。
- 被测量的实际值-约定真值

$$A = x + C$$

第30页



### 3.1.3 测量误差的表示方法 (续)

#### ◆ 2. 相对误差

➤ 一个量的准确程度, 不仅与它的绝对误差的大小, 而且与这个量本身的大小有关。

◆ 例: 测量足球场的长度和成都市到绵阳市的距离, 若绝对误差都为1米, 测量的准确程度是否相同?

◆ (1) 相对真误差  $\gamma$ 、实际相对误差  $\gamma_A$ 、示值相对误差  $\gamma_x$

相对误差: 绝对误差与被测量的真值之比

$$\gamma = \frac{\Delta x}{A_0} \times 100\%$$

相对误差是两个有相同量纲的量的比值, 只有大小和符号, 没有单位。

第31页

### 3.1.3 测量误差的表示方法 (续)

实际相对误差:  $\gamma_A = \frac{\Delta x}{A} \times 100\%$  用实际值  $A$  代替真值  $A_0$

示值相对误差:  $\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$  用测量值  $x$  代替实际值  $A$

[例 1-1] 多级火箭的射程为 10000km 时, 其射击偏离预定  
点不超过 0.1km。优秀射手能在距离 50m 远处准确地射击, 偏离靶心  
不超过 2cm, 试问哪一个射击精度高?

解: 火箭的命中目标的相对误差为

$$\gamma_1 = \frac{0.1\text{km}}{10000\text{km}} \times 100\% = 0.001\%$$

射手的命中目标的相对误差为

$$\gamma_2 = \frac{2\text{cm}}{50 \times 10^2 \text{cm}} \times 100\% = 0.04\%$$

火箭的射击精度 (十万分之一) 比射手的射击精度 (万分之四) 高。

### 3.1.3 测量误差的表示方法 (续)

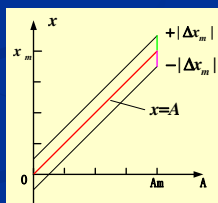
#### ◆ (2) 满度相对误差 (引用相对误差)

➤ 用测量仪器在一个量程范围内出现的最大绝对误差与  
该量程值 (上限值 - 下限值) 之比来表示的相对误差,  
称为满度相对误差 (或称引用相对误差)

$$\gamma_m = \frac{\Delta x_m}{x_m} \times 100\%$$

◆ 仪表各量程内绝对误差的

最大值  $\Delta x_m = \gamma_m \cdot x_m$



第33页

### 3.1.3 测量误差的表示方法 (续)

◆ 电工仪表就是按引用误差  $\gamma_m$  之值进行分级的。是  
仪表在工作条件下不应超过的**最大引用相对误差**

◆ 我国电工仪表共分七级: 0.1, 0.2, 0.5, 1.0,  
1.5, 2.5及5.0。如果仪表为S级, 则说明该仪表  
的最大引用误差不超过S%

◆ 最大绝对误差 (量程)  $\Delta x_m = \gamma_m x_m$

例: 某电压表  $s=1.5$ , 试算出它在100V量程中的最大  
绝对误差。

$$\Delta x_m = \gamma_m x_m = (\pm \frac{1.5}{100} \times 100) \text{V} = \pm 1.5 \text{V}$$

第34页

#### ◆ 测量点的最大示值相对误差

$$\gamma_x = \frac{\Delta x_m}{x} = \frac{x_m}{x} \cdot \frac{\Delta x_m}{x_m} = \frac{x_m}{x} S\%$$

◆ 在使用这类仪表测量时, 应选择适当的量程, 使示值  
尽可能接近于满度值, 指针最好能偏转在**不小于满度  
值2/3**以上的区域。

第35页

### 3.1.3 测量误差的表示方法 (续)

◆ [例1-3] 某待测电流约为100mA, 现有0.5级量程  
为0~400mA和1.5级量程为0~100mA的两个电  
流表, 问用哪一个电流表测量较好?

➤ 解: 用0.5级量程为0~400mA电流表测100mA时, 最大相  
对误差为

$$\gamma_{x_1} = \frac{x_m}{x} S\% = \frac{400}{100} \times 0.5\% = 2\%$$

➤ 用1.5级量程为0~100mA电流表测量100mA时的最大相  
对误差为

$$\gamma_{x_2} = \frac{x_m}{x} S\% = \frac{100}{100} \times 1.5\% = 1.5\%$$

第36页

- ◆ 例：核定量程为100uA的2级电流表，在50uA刻度上，标准表读数为49uA，问此电流表在50uA处是否合格。

解：  $A=49\mu A$   $x=50\mu A$   $x_m=100\mu A$

$$\gamma_m = \frac{x-A}{x_m} \times 100\% = 1\% < 2\%$$

此表在50uA处合格，但要判断此表是否合格，应在整个量程内取足够多的点进行检定。

第37页

### 3.1.3 测量误差的表示方法 (续)

- ◆ (3) 分贝误差——相对误差的对数表示
- ◆ 分贝误差是用对数形式(分贝数)表示的一种相对误差，单位为分贝(dB)。

电压增益的测得值为  $A_x = \frac{V_o}{V_i}$  误差为  $\Delta A = A_x - A$

用对数表示为增益测得值的分贝值

$$G_x = 20 \lg A_x (dB)$$

分贝误差

$$\gamma_{dB} = 20 \lg \left( 1 + \frac{\Delta A}{A} \right)$$

第38页

## 1.5 测量的间接比较与直接比较原理

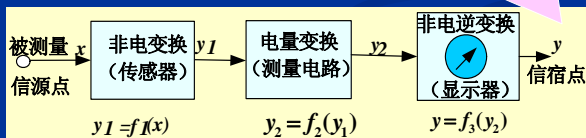
- ◆ 测量最基本的原理是比较，比较是认识和区别被测对象的一种重要方法。测量是通过比较来取得一个定量的认识

### 1.5.1 基于比例变换的间接比较法(偏转法)

#### 1. 比例变换的原理

(1) 三种类型的子变换:

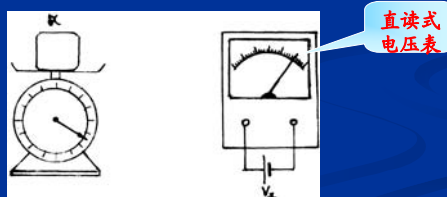
$$y = f_3 \{ f_2 [ f_1 (x) ] \} = f(x)$$



第39页

### 1.5.1 基于比例变换的间接比较法(续)

- ◆ 例：弹簧秤是偏转法直读式仪器的一个简单例子。被测重物放在弹簧秤上，把物体的重量变成弹簧的弹性形变。然后，形变带动机械式仪表的指针成比例的偏转，指示出被测物体的重量。

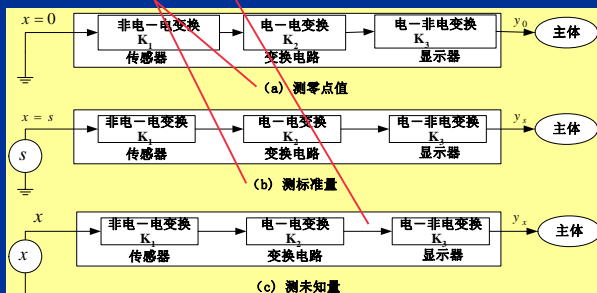


第40页

### 1.5.1 基于比例变换的间接比较法(续)

- ◆ 2. 间接比较方法：

- ◆ 步骤为①校准 ②测量



- ◆ 被测量与标准量的比较，是把被测量与标准量各自单独的通过上述比例变换过程，分别变换成为输出量，人们根据各自显示的读数值进行比较。比较是间接的：

1. 被测量和标准量不是各自本身进行比较，而是变成了其他量后进行比较。

- ◆ 2. 二者的比较不是同时对仪器作用下一次测量完成的，是仪器分别对标准量和被测量单独进行的两次测量操作。

- ◆ 间接比较过程：

- ◆ 零位校正、刻度标定、测量

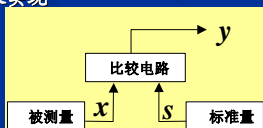
第42页

## 1.5.2 基于差值示零的直接比较法

### 1. 差值检测原理:

#### 被测量与标准量直接进行比较

- ① 需要一个具有比较功能的电路, 要求比较的范围宽、灵敏度和分辨率高;
  - ② 需要一个与被测量同类的可变标准量参与比较, 要求标准量准确且可细微调节。
- 比较功能可由运算功能来实现
  - 有两种方式:
  - 差值运算比较
  - 比例运算比较



第43页

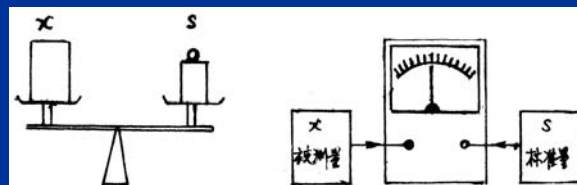
## 1.5.2 基于差值示零的直接比较法

### 2. 差值示零的平衡调节

#### ◆ (1) 零示法原理:

$$x = S$$

调整可变标准S, 差值为0, 二者相等

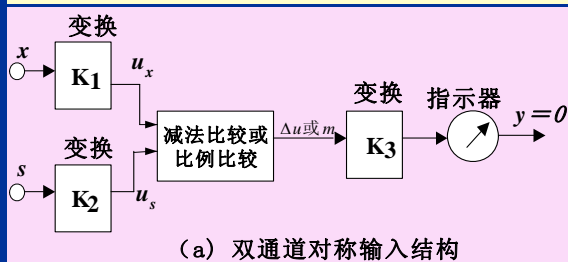


第44页

## 1.5.2 基于差值示零的直接比较法 (续)

### (2) 实现平衡调节的结构

$$x = \frac{k_2}{k_1} s \quad \text{当 } k_1 = k_2 \text{ 则 } x = S$$



(a) 双通道对称输入结构

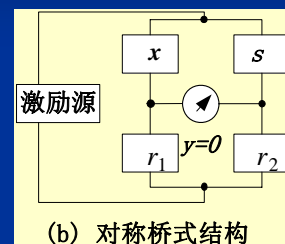
## 1.5.2 基于差值示零的直接比较法 (续)

### ◆ 对称差动的桥式结构

$$x = \frac{r_1}{r_2} s$$

当  $r_1 = r_2$  时,

$$x = S$$



(b) 对称桥式结构

第46页

## 1.5.3 减少误差的复合式比较

为了提高测量准确度, 在比较中可采用各种减小测量误差的方法, 如微差法、替代法、对照法。

### ◆ (1) 微差法 (虚零法、差值偏转法)

- 在零示法中, 要仔细调节标准量S使之与未知量x相等, 这通常很费时间, 有时甚至不可能做到,

- ◆ 微差法: 标准量S与被测量x相差了一微小量 $\delta$ , 再用仪器测出 $\delta$ , 即求得待测量x

$$x = s - \delta$$

第47页

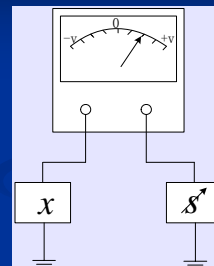
## 1.5.3 减少误差的复合式比较 (续)

微差法进行测量时, 测量误差公式:

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta S}{S} + \frac{\delta}{x} \frac{\Delta \delta}{\delta}$$

测量仪器的误差 $\Delta \delta / \delta$ 对测量的影响被大大地削弱

优点: 测量速度快和测量准确度高。



第48页



### 1.5.3 减少误差的复合式比较 (续)

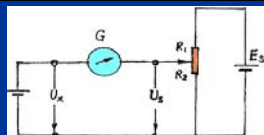
例. 设  $U_s = 100$  伏,  $U_x \approx 99$  伏, 仪表的相对测量误差

$\frac{\Delta U_s}{U_s} = \pm 0.01\%$ . 标准  $U_s$  的误差小得可以忽略不计, 求

测量电压  $U_x$  的相对误差。

解:  $U_s = U_x - U_x \approx 1$  伏

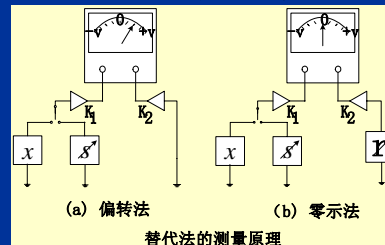
$$\frac{\Delta U_x}{U_x} = \frac{\Delta U_s}{U_s} + \frac{U_s}{U_x} \frac{\Delta U_s}{U_s} = 0 + \frac{1}{99} (\pm 0.01\%) \approx \pm 0.001\%$$



### 1.5.3 减少误差的复合式比较 (续)

#### 2. 替代法

- 在测量条件不变的情况下, 用一已知的标准量去替代未知的被测量, 通过调整标准量而保持替代前后仪器的示值不变, 于是标准量的值等于被测量值。



- 替代前后, 测量系统及仪器的示值均未改变, 所以, 仪器的系统误差对结果无影响, 测量准确度主要取决于标准量的准确度及仪器指示的灵敏度。

第51页

### 1.5.3 减少误差的复合式比较 (续)

#### 3. 交换法 (对照法)

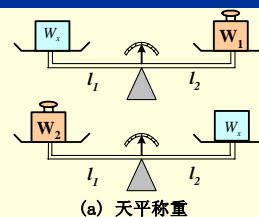
- 通过交换被测量和标准量的位置, 从前后两次换位测量结果的处理中, 削弱或消除系统误差。
- 特别适用于平衡对称结构的测量装置中, 并通过交换法可检查其对称性是否良好。

第一次平衡  $W_x l_1 = W_1 l_2$

第二次平衡  $W_x l_2 = W_2 l_1$

上两式相乘、开方得:

$$W_x = \sqrt{W_1 W_2} \approx \frac{1}{2} (W_1 + W_2)$$



(a) 天平称重

## 1.6 电子测量中的基本实现技术

变换、比较、处理和显示

第53页

### 1.6.1 电子测量中的变换技术

某些被测量不便于直接比较, 无法直接观测而采用了变换。为了获得更高的识别分辨力和精度、更快的速度、更宽的量程而采用变换技术。

#### 1. 量值变换

- 量值是指电压、电流、功率、阻抗、时间等电参量的幅值大小。
- 量值变换即指把它们的幅值按比例地增大或缩小。

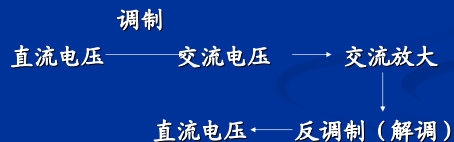
通过量值变换可以扩展测量范围、提高测量分辨力和精度

第54页

### 1.6.1 电子测量中的变换技术(续)

#### ◆ 2. 频率变换

- (1) 检波: 交流电压变成直流电压
- (2) 斩波:



第55页

### 1.6.1 电子测量中的变换技术(续)

#### ◆ (3) 变频(混频)

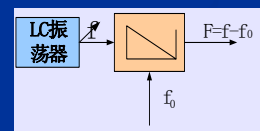
- 对两个信号的频率进行和或差的运算。

例: 实现频率的精密测量  
 $f = 200.020\text{kHz} \sim 220\text{kHz}$

$$f_0 = 200\text{kHz}$$

$$\text{则 } F = f - f_0 = 20\text{Hz} \sim 20\text{kHz}$$

把被测的高频信号变换为中频信号, 使测量更精确。



第56页

### 1.6.1 电子测量中的变换技术(续)

#### ◆ (4) 倍频

- 倍频器是频率综合技术中的乘法器, 产生新的频率或放大大频率差。

#### ◆ (5) 分频

- 分频是对信号频率进行除法运算, 可用于频率合成

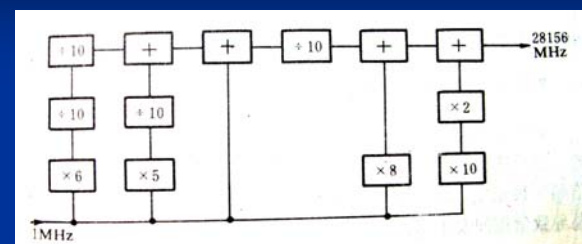
#### ◆ (6) 频率合成

- 频率合成是把一个(或少量几个)高稳晶振频率源经过一系列综合的加、减、乘、除四则运算, 可作为随意调节频率的高精度信号源。

#### ◆ (7) 取样技术

- 取样门电路将高频信号进行取样变换, 使之以低频形式复现出来。
- ( )
- 它可以把频率上限扩展到几GHz甚至几十GHz。

第57页



第58页

### 1.6.1 电子测量中的变换技术(续)

#### 3. 波形变换

##### ◆ (1) 整形

例如, 用于电子计数器的输入通道中。

##### ◆ (2) 限幅

##### ◆ (3) 微分

- 矩形波-脉冲 在电子计数器、取样示波器中广泛使用。

##### ◆ (4) 合成

- 例如合成CRT显示的視頻信号波形。

##### ◆ (5) 变换

- 波形变换技术广泛用于多波形函数发生器中。

第59页

### 1.6.1 电子测量中的变换技术(续)

#### 4. 参量变换

##### ◆ (1) AVΩ变换

- 多用表中采用的AVΩ变换, 包括交流/直流(AC/DC)、电流/电压(I/V)和电阻/电压(Ω/V)的转换, 实现了交、直流电压、电流、电阻等多种测量功能。

##### ◆ (2) V/F变换——模拟直流电压转换为频率

压控振荡器VCO, 电压的精密数字测量

##### ◆ (3) V/T变换——模拟直流电压转换成时间

如积分的方式, 电压的精密数字测量

##### ◆ (4) 网络参数的变换

第60页

### 1.6.1 电子测量中的变换技术(续)

#### ◆ 5. 能量变换

能量变换是泛指其他多种形式的物理量与电学量之间的变换。

- 传感器就是能量变换器，即从非电量变换成电量
- 在显示器中，把电量变换成非电量——机械量、光学量等。

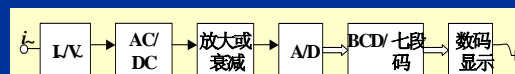
#### ◆ 6. 模/数和数/模变换

第61页



### 1.6.1 电子测量中的变换技术(续)

- ◆ [例] 试以数字多用表测量交流电流为例，阐述变换技术在电子测量中的应用。

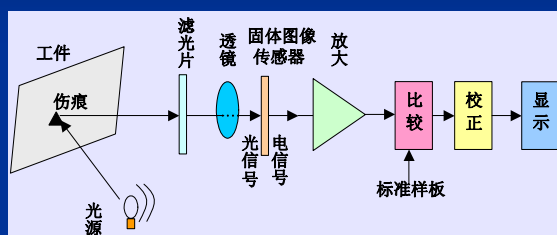


第62页



### 1.6.1 电子测量中的变换技术(续)

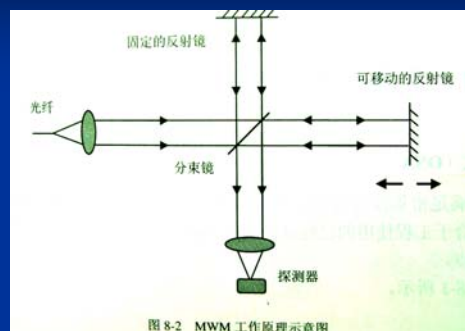
- ◆ 例：一个工件伤痕检测系统使用的变换技术



第63页



- 例：多波长计时利用光波的干涉效应将同相位的光信号加强的原理来对不同的光波进行区分的。



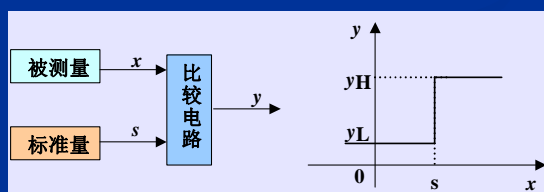
第64页



### 1.6.2 电子测量中的比较技术

#### 1. 比较的基本概念

- 被测量为  $x$ 、标准量为  $s$ 、比较电路输出为  $y$ 。
- 当  $x < s$  时， $y = Y_L$ ；当  $x > s$  时， $y = Y_H$
- 当  $x = s$  时， $y$  出现一个跃变信号



第65页



### 1.6.2 电子测量中的比较技术(续)

- ◆ (1) 比较的基本类型 (按功能分)：

- ◆ ① 标量比较  $x_1 = x_2$
- ◆ ② 矢量比较  $x_1 < x_2$
- ◆ ③ 差值比较  $\Delta = x_1 - x_2$
- ◆ ④ 比值比较  $x_1 / x_m$
- ◆ ⑤ 量化比较  $A/D$

第66页



## 1.6.2 电子测量中的比较技术(续)

### 2. 电压比较

#### ◆ (1) 电平比较

➢ 两个模拟电压的大小的比较是用电压比较器来实现的

#### ◆ (2) 差值型比较

采用能输出模拟差值电压的减法运算放大器。

#### ◆ (3) 比例型比较

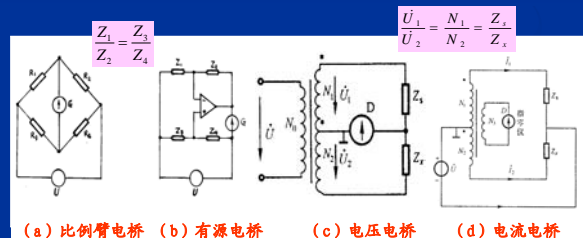
具有除法或比例运算功能的电路或部件，也可完成被测量与标准量的比较。

第67页

## 1.6.2 电子测量中的比较技术(续)

### 3. 阻抗比较

➢ 电桥电路具有对称差动的电路结构，是一种电量天平，可以十分方便地实现差值检测和比例比较的功能。

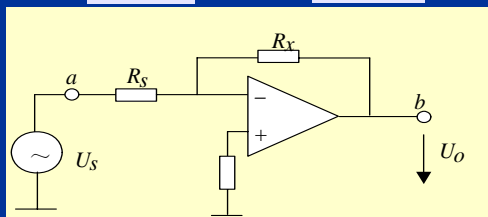


第68页

## 1.6.2 电子测量中的比较技术(续)

### ◆ 例. 比例运算比较(半桥)电路

$$\frac{R_x}{R_s} = \frac{U_o}{U_s} \Rightarrow R_x = \frac{U_o}{U_s} R_s$$

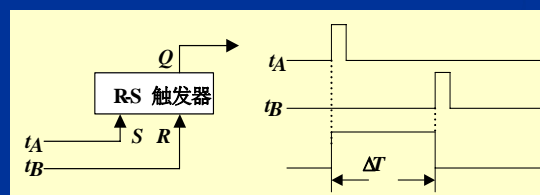


第69页

## 1.6.2 电子测量中的比较技术(续)

### 4. 频率(时间)比较

➢ ① 时间差值比较: 用R-S触发器可实现时差的比较

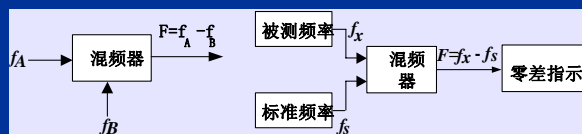


第70页

## 1.6.2 电子测量中的比较技术(续)

### ◆ ② 差频比较:

混频器可以实现两个频率的减法运算  
还可利用差频比较法测量频率



③ 比例比较: 用一个门电路可以实现两个脉冲信号频率(或周期)的数字式比例运算功能

测频率  $f_x = Nf_s$ ; 测周期  $T_x = NT_s$

第71页

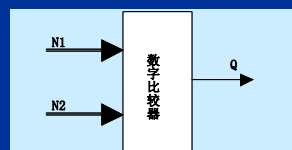
## 1.6.2 电子测量中的比较技术(续)

### 5. 相位比较——使用鉴相器

➢ (1) 用乘法器或相敏检波器鉴相  
➢ (2) 脉冲与数字式鉴相器 触发器构成脉冲鉴相器

### 6. 数字比较

◆ 二进制的数  $N_1$  和  $N_2$  加于异或门的输入端，即可进行比较



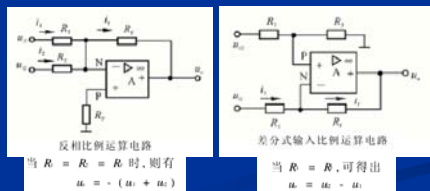
第72页

### 1.6.3 电子测量中的处理技术(续)

#### 1. 基本模拟运算

- 运算放大器辅之以不同的电路元件，可以组成诸如比例、加减、微分、积分、对数、指数和乘除等电路

##### ◆ (1) 四则运算电路

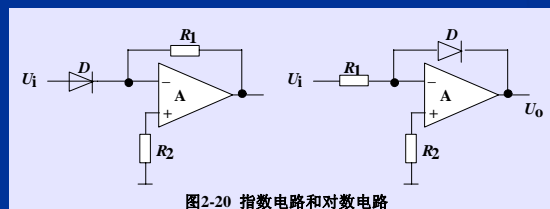


第73页

### 1.6.3 电子测量中的处理技术(续)

- 指数和对数运算电路则是利用二极管的电流与其端电压在一定条件下存在的指数关系来实现。

$$U_o = -R_1 I_s e^{U_i / U_T} \quad U_o = -U_T \ln(U_i / R_1 I_s) = -k \ln U_i$$

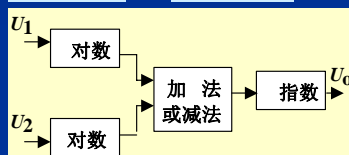


第74页

### 1.6.3 电子测量中的处理技术(续)

#### ◆ 乘法运算或除法运算:

$$U_o = U_1 \times U_2 \quad U_o = U_1 \div U_2$$



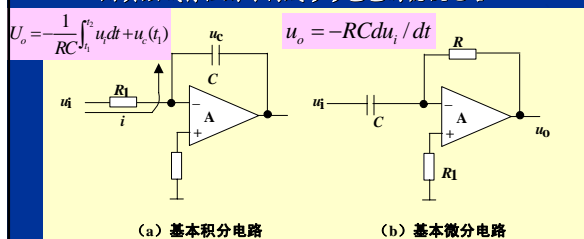
- 模拟乘法器: 是新型集成器件, 是利用晶体管的非线性特性。

第75页

### 1.6.3 电子测量中的处理技术(续)

#### ◆ (2) 积分和微分电路

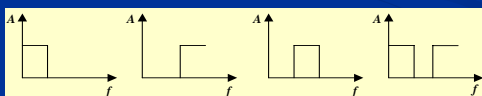
- 运算放大器外接电感电容等储能元件, 则利用电路在时域中的过渡过程可形成积分电路和微分电路; 利用其频域特性则可构成形形色色的滤波电路



### 1.6.3 电子测量中的处理技术(续)

#### (3) 有源滤波器

- 按照频谱分析的观点, 任何信号都是一些不同幅度和不同频率的正弦信号的组合。
- 在被测信号中, 除了有用的频率成分之外, 往往不可避免地含有一些无用噪声的频率成分。
- 滤波器的功能就是利用其频率特性来保留有用的频率成分, 削弱或消除无用的频率成分, 即具有信号分离的功能。
- 分为低通、高通、带通和带阻等不同滤波器。



第77页

### 1.6.3 电子测量中的处理技术(续)

#### 2. 数字计算与数字信号处理

- 基于数字逻辑电路的硬件方式: 利用现有的各种数字逻辑门、译码器、触发器、寄存器、计数器、全加器等, 以及各种CPLD、FPGA等可编程逻辑, 组成各种数字逻辑的运算与控制单元。
- 基于微处理器和微型计算机的嵌入式系统的软件方式: 通过软件编程, 可完成各种数字与逻辑的运算。
- 它不仅完成常用的数学运算, 而且能实现统计运算、FFT运算等。运算功能强、精度高、速度快、灵活性及抗干扰性强。
- 再加之微机和单片机的逻辑运算与控制功能, 实现现代测试仪器系统的智能化、自动化、虚拟化和网络化。

第78页



## 1.6.4 电子测量中的显示技术

- ◆ 测量结果必须通过显示器件把各种电信号转换成人们五官可直接感知的机械运动、数字、文字、图形、图像等形式的信号显示出来

### 1. 指示式仪表

#### (1) 指示式电工仪表的分类

用指针的偏转来表示电量的仪表称为指示式电工仪表。

- 按工作原理分类，可分为动圈式、动铁式、电动式、热电式、静电式、整流式和感应式等。
- 按准确度等级分类，可分为0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0等共7级。
- 按用途分类，可分为电流表、电压表、功率表、电能表、功率因数表、频率表、相位表、兆欧表、电容表等

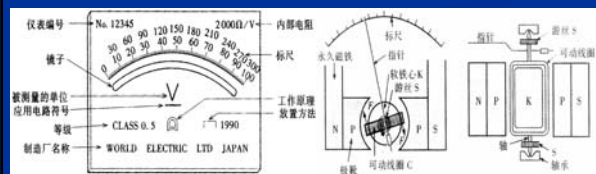
第79页

## 1.6.4 电子测量中的显示技术(续)

### (2) 分度盘及标记符

### (3) 指示式仪表的结构原理

被测电流 $I$ 在可动线圈中流过时产生电磁力 $F$ ，使可动线圈以轴为中心转动，由此产生与电流 $I$ 成比例的驱动力矩 $T_d$ ，带动指针偏转，从仪表的标尺分度读取测得电流。



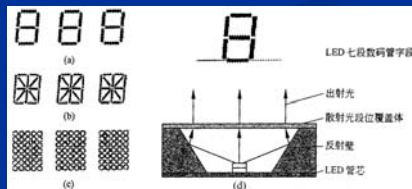
第80页

## 1.6.4 电子测量中的显示技术(续)

### 2) 电光显示器件

#### (1) 发光二极管 (LED)

- 利用正向偏置PN结中电子与空穴的辐射复合发光，发射出非相干光，光谱较宽，发散角大，视角效果好；
- LED的发光颜色多、辉度高，LED的单元体积小，电压低、驱动电流小，寿命长。
- ①指示灯 ②数字显示器



## 1.6.4 电子测量中的显示技术(续)

### (2) 液晶显示器 (LCD)

- ◆ 液晶是一种具有光学双射性的液体状的晶体，液晶显示器件在电信号驱动下，控制其对入射偏光的反射或透射，实现LCD的显示
- ◆ LCD具有薄型、轻量、低功耗、低工作电压等特点
- ◆ ①数字、字符显示
- ◆ ②平面显示



第82页

## 1.6.4 电子测量中的显示技术(续)

### (3) 阴极射线管 (CRT)

CRT可分为电视用、显示终端用及仪器仪表用几种类型



第83页

## 本章小结

- ◆ 测量是测量主体通过比较的方法，对被测对象取得定量信息（即量值）的实验过程，是人类获取信息的基本手段，是认识客观世界的主要工具。
- ◆ 计量是为了保证量值的统一和准确一致的一种测量。它具有统一性、准确性和法制性的三个主要特征。
- ◆ 测量是为了确定被测对象的量值而进行的比较，分为直接比较、间接比较。
- ◆ 测量的基本技术有：变换、比较、处理和显示

第84页