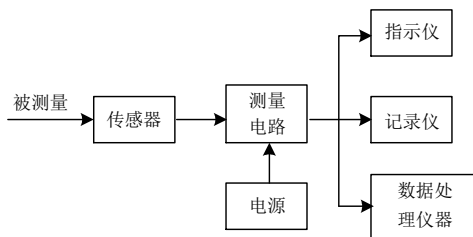


## 第一章 传感器基础

### 1. 检测系统由哪几部分构成？阐明各部分的作用。

答：一种完整的检测系统或检测装置一般是由传感器、测量电路和显示记录装置等几部分构成，分别完成信息获取、转换、显示和处理等功能。当然其中还包括电源和传播通道等不可缺乏的部分。下图给出了检测系统的构成框图。



检测系统的构成框图

传感器是把被测量转换成电学量的装置，显然，传感器是检测系统与被测对象直接发生联络的部件，是检测系统最重要的环节，检测系统获取信息的质量往往是由传感器的性能确定的，由于检测系统的其他环节无法添加新的检测信息并且不易消除传感器所引入的误差。

测量电路的作用是将传感器的输出信号转换成易于测量的电压或电流信号。一般传感器输出信号是微弱的，就需要由测量电路加以放大，以满足显示记录装置的规定。根据需要测量电路还能进行阻抗匹配、微分、积分、线性化赔偿等信号处理工作。

显示记录装置是检测人员和检测系统联络的重要环节，重要作用是使人们理解被测量的大小或变化的过程。

### 2. 传感器的型号有几部分构成，各部分有何意义？

依次为主称（传感器） 被测量—转换原理—序号

主称——传感器，代号 C；

被测量——用一种或两个汉语拼音的第一种大写字母标识。见附录表 2；

转换原理——用一种或两个汉语拼音的第一种大写字母标识。见附录表 3；

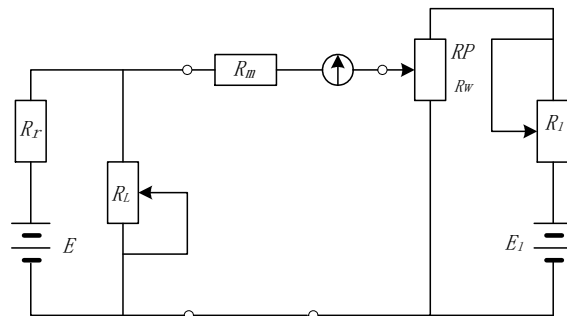
序号——用一种阿拉伯数字标识，厂家自定，用来表征产品设计特性、性能参数、产品系列等。若产品性能参数不变，仅在局部有改动或变动时，其序号可在原序号背面次序地加注大写字母 A、B、C 等，（其中 I、Q 不用）。

例：应变式位移传感器：C WY-YB-20；光纤压力传感器：C Y-GQ-2。

### 3. 测量稳压电源输出电压随负载变化的状况时，应当采用何种测量措施？怎样进行？

答：测定稳压电源输出电压随负载电阻变化的状况时，最佳采用微差式测量。此时输出电压承认表达为  $U_0$ ， $U_0=U+\Delta U$ ，其中  $\Delta U$  是负载电阻变化所引起的输出电压变化量，相对  $U$  来讲为一小量。假如采用偏差法测量，仪表必须有较大量程以满足  $U_0$  的规定，因此对  $\Delta U$ ，这个小量导致的  $U_0$  的变化就很难测准。测量原理如下图所示：

图中使用了高敏捷度电压表——毫伏表和电位差计， $R_r$  和  $E$  分别表达稳压电源的内阻和电动势，凡表达稳压电源的负载， $E_1$ 、 $R_1$  和  $R_w$  表达电位差计的参数。在测量前调整  $R_1$  使电位差计工作电流  $I_1$  为原则值。然后，使稳压电源负载电阻  $R_L$  为额定值。调整  $RP$  的活动触点，使毫伏表指示为零，这相称于事先用零位式测量出额定输出电压  $U$ 。正式测量开始后，只需增长或减小负载电阻  $R_L$  的值，负载变动所引起的稳压电源输出电压  $U_0$  的微小波动值  $\Delta U$ ，即可由毫伏表指示出来。根据  $U_0=U+\Delta U$ ，稳压电源输出电压在多种负载下的值都可以精确地测量出来。微差式测量法的长处是反应速度快，测量精度高，尤其适合于在线控制参数的测量。



用微差式测量措施测量稳压电源输出电压随负载的变化

4. 某线性位移测量仪，当被测位移由 4.5mm 变到 5.0mm 时，位移测量仪的输出电压由 3.5V 减至 2.5V，

求该仪器的敏捷度。

解：该仪器的敏捷度为

$$S = \frac{2.5 - 3.5}{5.0 - 4.5} = -2 \text{ mV/mm}$$

5. 某测温系统由如下四个环节构成，各自的敏捷度如下：

铂电阻温度传感器： 0.45 Ω/°C

电桥： 0.02V/Ω

放大器： 100 (放大倍数)

笔式记录仪： 0.2cm/V

求：(1) 测温系统的总敏捷度；

(2) 记录仪笔尖位移 4cm 时，所对应的温度变化值。

解：(1) 测温系统的总敏捷度为

$$S = 0.45 \times 0.02 \times 100 \times 0.2 = 0.18 \text{ cm/}^\circ\text{C}$$

(2) 记录仪笔尖位移 4cm 时，所对应的温度变化值为

$$t = \frac{4}{0.18} = 22.22 \text{ }^\circ\text{C}$$

6. 有三台测温仪表，量程均为 0~800°C，精度等级分别为 2.5 级、2.0 级和 1.5 级，现要测量 500°C 的温度，

规定相对误差不超过 2.5%，选那台仪表合理？

解：2.5 级时的最大绝对误差值为 20°C，测量 500°C 时的相对误差为 4%；2.0 级时的最大绝对误差值为 16

°C，测量 500°C 时的相对误差为 3.2%；1.5 级时的最大绝对误差值为 12°C，测量 500°C 时的相对误差为 2.4

%。因此，应当选用 1.5 级的测温仪器。

7. 什么是系统误差和随机误差?对度和精密度的含义是什么? 它们各反应何种误差?

答: 系统误差是指在相似条件下, 多次反复测量同一量时, 误差的大小和符号保持不变, 或按照一定的规律变化的误差。随机误差则是指在相似条件下, 多次测量同一量时, 其误差的大小和符号以不可预见的方式变化的误差。对度是指测量成果与理论真值的一致程度, 它反应了系统误差的大小, 精密度是指测量成果的分散程度, 它反应了随机误差的大小。

8. 服从正态分布规律的随机误差有哪些特性?

答: 服从正态分布规律的随机误差的特性有: 对称性 随机误差可正可负, 但绝对值相等的正、负误差出现的机会相等。也就是说  $f(\delta) - \delta$  曲线对称于纵轴。有界性 在一定测量条件下, 随机误差的绝对值不会超过一定的范围, 即绝对值很大的随机误差几乎不出现。抵偿性 在相似条件下, 当测量次数  $n \rightarrow \infty$  时, 全体随机误差的代数和等于零, 即  $\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \delta_i = 0$ 。单峰性 绝对值小的随机误差比绝对值大的随机误差出现的机会多, 即前者比后者的概率密度大, 在  $\delta=0$  处随机误差概率密度有最大值。

9. 等精度测量某电阻 10 次, 得到的测量列如下:

$$\begin{aligned} R_1=167.95\Omega \quad R_2=167.45\Omega \quad R_3=167.60\Omega \quad R_4=167.60\Omega \quad R_5=167.87\Omega \quad R_6=167.88\Omega \quad R_7 \\ =168.00\Omega \quad R_8=167.850\Omega \quad R_9=167.82\Omega \quad R_{10}=167.61\Omega \end{aligned}$$

(1) 求 10 次测量的算术平均值  $\bar{R}$ , 测量的原则误差  $\sigma$  和算术平均值的原则误差  $s$ 。

(2) 若置信概率取 99.7%, 写出被测电阻的真值和极限值。

解: (1) 求 10 次测量的算术平均值  $\bar{R}$ , 测量的原则误差  $\sigma$  和算术平均值的原则误差  $s$ 。

$$\begin{aligned} \bar{R} &= \sum_{i=1}^{10} \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{10} \\ &= \frac{167.95 + 167.45 + 167.60 + 167.60 + 167.87 + 167.88 + 168.00 + 167.85 + 167.82 + 167.61}{10} \\ &= 167.763\Omega \end{aligned}$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n v_i^2} = \sqrt{\frac{1}{9} \sum_{i=1}^{10} v_i^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{9} (0.187^2 + 0.313^2 + 2 \times 0.163^2 + 0.107^2 + 0.108^2 + 0.237^2 + 0.087^2 + 0.057^2 + 0.153^2)}$$

$$= 0.1824 \Omega$$

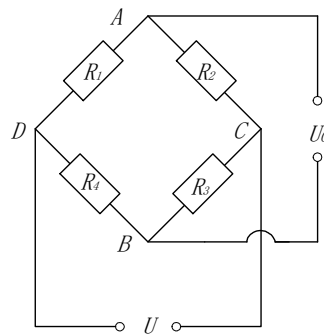
$$s = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.1824}{\sqrt{10}} = 0.0577 \Omega$$

(2) 若置信概率取 99.7%，被测电阻的真值为： $R_0 = 167.763 \pm 3 \times s = (167.763 \pm 0.173) \Omega$

极限值为： $R_m = 167.763 \pm 3 \times \sigma = (167.763 \pm 0.547) \Omega$

### 10. 试分析电压输出型直流电桥的输入与输出关系。

答：如图所示，电桥各臂的电阻分别为  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 。 $U$  为电桥的直流电源电压。当四臂电阻  $R_1=R_2=R_3=R_4=R$  时，称为等臂电桥；当  $R_1=R_2=R$ 、 $R_3=R_4=R'$  ( $R \neq R'$ ) 时，称为输出对称电桥；当  $R_1=R_4=R$ 、 $R_2=R_3=R'$  ( $R \neq R'$ ) 时，称为电源对称电桥。



直流电桥电路

当电桥输出端接有放大器时，由于放大器的输入阻抗很高，因此可以认为电桥的负载电阻为无穷大，这时电桥以电压的形式输出。输出电压即为电桥输出端的开路电压，其体现式为

$$U_o = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} U \quad (1)$$

设电桥为单臂工作状态，即  $R_1$  为应变片，其他桥臂均为固定电阻。当  $R_1$  感受被测量产生电阻增量  $\Delta R_1$  时，由初始平衡条件  $R_1 R_3 = R_2 R_4$  得  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$ ，代入式 (1)，则电桥由于  $\Delta R_1$  产生不平衡引起的输出电压

为

$$U_0 = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)^2} \Delta R_1 U = \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} \right) U \quad (2)$$

对于输出对称电桥，此时  $R_1=R_2=R, R_3=R_4=R'$ ，当  $R_1$  臂的电阻产生变化  $\Delta R_1=\Delta R$ ，根据 (2) 可得到输出电压为

$$U_0 = U \frac{RR}{(R + R)^2} \left( \frac{\Delta R}{R} \right) = \frac{U}{4} \left( \frac{\Delta R}{R} \right) \quad (3)$$

对于电源对称电桥， $R_1=R_4=R, R_2=R_3=R'$ 。当  $R_1$  臂产生电阻增量  $\Delta R_1=\Delta R$  时，由式 (2) 得

$$U_0 = U \frac{RR'}{(R + R')^2} \left( \frac{\Delta R}{R} \right) \quad (4)$$

对于等臂电桥  $R_1=R_2=R_3=R_4=R$ ，当  $R_1$  的电阻增量  $\Delta R_1=\Delta R$  时，由式 (2) 可得输出电压为

$$U_0 = U \frac{RR}{(R + R)^2} \left( \frac{\Delta R}{R} \right) = \frac{U}{4} \left( \frac{\Delta R}{R} \right) \quad (5)$$

由上面三种成果可以看出，当桥臂应变片的电阻发生变化时，电桥的输出电压也伴随变化。当  $\Delta R \ll R$  时，电桥的输出电压与应变成线性关系。还可以看出在桥臂电阻产生相似变化的状况下，等臂电桥以及输出对称电桥的输出电压要比电源对称电桥的输出电压大，即它们的敏捷度要高。因此在使用中多采用等臂电桥或输出对称电桥。

在实际使用中为了深入提高敏捷度，常采用等臂电桥，四个被测信号接成两个差动对称的全桥工作形式， $R_1=R+\Delta R, R_2=R-\Delta R, R_3=R+\Delta R, R_4=R-\Delta R$ ，将上述条件代入式(1)得

$$U_0 = 4 \left[ \frac{U}{4} \left( \frac{\Delta R}{R} \right) \right] = U \left( \frac{\Delta R}{R} \right) \quad (6)$$

由式(6)看出，由于充足运用了双差动作用，它的输出电压为单臂工作时的 4 倍，因此大大提高了测量的敏捷度。

## 第二章 电阻式传感器

### 1. 金属电阻应变片与半导体材料的电阻应变效应有什么不一样?

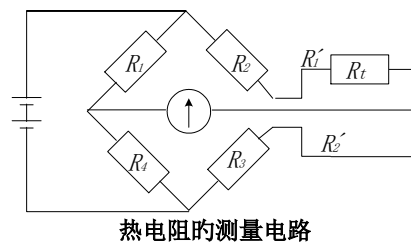
答：金属电阻的应变效应重要是由于其几何形状的变化而产生的，半导体材料的应变效应则重要取决于材料的电阻率随应变所引起的变化产生的。

### 2. 直流测量电桥和交流测量电桥有什么区别?

答：它们的区别主要是直流电桥用直流电源，只合用于直流元件，交流电桥用交流电源，合用于所有电路元件。

3. 热电阻测量时采用何种测量电路?为何要采用这种测量电路?阐明这种电路的工作原理。

答：一般采用电桥电路作为测量电路。为了克服环境温度的影响常采用下图所示的三导线四分之一电桥电路。由于采用这种电路，热电阻的两根引线的电阻值被分派在两个相邻的桥臂中，假如  $R_1' = R_2'$ ，则由于环境温度变化引起的引线电阻值变化导致的误差被互相抵消。



4. 采用阻值为  $120\ \Omega$  敏捷度系数  $K=2.0$  的金属电阻应变片和阻值为  $120\ \Omega$  的固定电阻构成电桥, 供桥电压为  $4V$ , 并假定负载电阻无穷大。当应变片上的应变分别为  $1$  和  $1000$  时, 试求单臂、双臂和全桥工作时的输出电压, 并比较三种状况下的敏捷度。

解：单臂时  $U_0 = \frac{K\varepsilon U}{4}$ , 因此应变为  $1$  时  $U_0 = \frac{K\varepsilon U}{4} = \frac{4 \times 2 \times 10^{-6}}{4} = 2 \times 10^{-6} / V$ , 应变为  $1000$

时应为  $U_0 = \frac{K\varepsilon U}{4} = \frac{4 \times 2 \times 10^{-3}}{4} = 2 \times 10^{-3} / V$ ; 双臂时  $U_0 = \frac{K\varepsilon U}{2}$ , 因此应变为  $1$  时

$U_0 = \frac{K\varepsilon U}{2} = \frac{4 \times 2 \times 10^{-6}}{2} = 4 \times 10^{-6} / V$ , 应变为  $1000$  时应为

$U_0 = \frac{K\varepsilon U}{2} = \frac{4 \times 2 \times 10^{-3}}{2} = 4 \times 10^{-3} / V$ ; 全桥时  $U_0 = K\varepsilon U$ , 因此应变为  $1$  时  $U_0 = 8 \times 10^{-6} / V$ ,

应变为  $1000$  时应为  $U_0 = 8 \times 10^{-3} / V$ 。从上面的计算可知：单臂时敏捷度最低，双臂时为其两倍，全桥时最高，为单臂的四倍。

5. 采用阻值  $R=120\ \Omega$  敏捷度系数  $K=2.0$  的金属电阻应变片与阻值  $R=120\ \Omega$

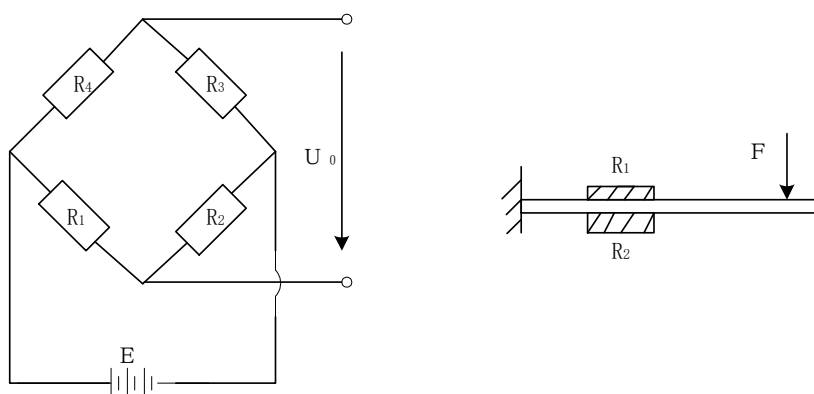
的固定电阻构成电桥，供桥电压为 10V。当应变片应变为 1000 时，若要使输出电压不小于 10mV，则可采用何种工作方式（设输出阻抗为无穷大）？

解：由于不知是何种工作方式，可设为 n，故可得：

$$U_0 = \frac{K\varepsilon U}{n} = \frac{2 \times 10 \times 10^{-3}}{n} \geq 10 \text{ mV}$$

得 n 要不小于 2，故应采用全桥工作方式。

6. 如图所示为一直流电桥，供电电源电动势  $E=3\text{V}$ ， $R_3=R_4=100\Omega$ ， $R_1$  和  $R_2$  为同型号的电阻应变片，其电阻均为  $50\Omega$ ，敏捷度系数  $K=2.0$ 。两只应变片分别粘贴于等强度梁同一截面的正反两面。设等强度梁在受力后产生的应变为 5 000，试求此时电桥输出端电压  $U_0$ 。



题 6 图

解：此电桥为输出对称电桥，故  $U_0 = \frac{K\varepsilon U}{2} = \frac{2 \times 3 \times 5 \times 10^{-3}}{2} = 15 \text{ mV}$

7. 光敏电阻有哪些重要特性，在工业应用中是怎样发挥这些特性的？

答：光敏电阻是采用半导体材料制作，运用内光电效应工作的光电元件。它的重要特性是在无光照时阻值非常大，相称于断路，有光照时阻值变得很小，相称于通路。在工业应用中重要就是通过光的变化来多种电路的控制。

### 第三章 电容式传感器



1. 试分析变面积式电容传感器和变间隙式电容的敏捷度?为了提高传感器的敏捷度可采用什么措施并应注意什么问题?

答: 如图所示是一直线位移型电容式传感器的示意图。

当动极板移动 $\Delta x$ 后, 覆盖面积就发生变化, 电容量也随之变化, 其值为

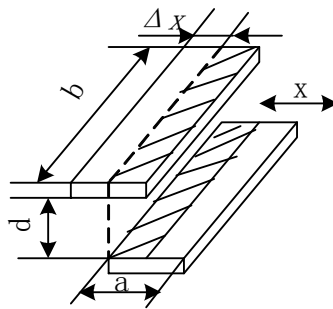
$$C = \epsilon b (a - \Delta x) / d = C_0 - \epsilon b \cdot \Delta x / d \quad (1)$$

电容因位移而产生的变化量为

$$\Delta C = C - C_0 = -\frac{\epsilon b}{d} \Delta x = -C_0 \frac{\Delta x}{a}$$

其敏捷度为 
$$K = \frac{\Delta C}{\Delta x} = -\frac{\epsilon b}{d}$$

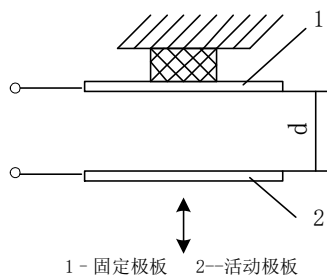
可见增长  $b$  或减小  $d$  均可提高传感器的敏捷度。



直线位移型电容式传感器

2. 为何说变间隙型电容传感器特性是非线性的?采用什么措施可改善其非线性特性?

答: 下图为变间隙式电容传感器的原理图。图中 1 为固定极板, 2 为与被测对象相连的活动极板。当活动极板因被测参数的变化而引起移动时, 两极板间的距离  $d$  发生变化, 从而变化了两极板之间的电容量  $C$ 。



设极板面积为  $A$ , 其静态电容量为  $C = \frac{\epsilon A}{d}$ , 当活动极板移动  $x$  后, 其电容量为

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/716215120101010135>