

实验11 电阻应变传感器灵敏度特性研究实验

一、实验背景知识

传感器是实验测量获取信息的重要环节，通常传感器是指一个完整的测量系统或装置，它能感受规定的被测量，并按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。

- (1) 电阻式传感器，压敏电阻，光敏，磁阻。。。
- (2) 金属电阻应变片（应变效应为主），半导体电阻应变片（压阻效应为主）
- (3) 电阻与力、压力、压力差；电阻与重力、加速度
- (4) 电阻应变片传感器常用电桥电路
- (5) 。。。。

二、实验内容

主要内容:

1. 观察传感器结构及应变片位置, 熟悉仪器上的电桥线路
2. 测量传感器单臂电桥V-W曲线, 并求灵敏度 $S = \Delta V / \Delta W$ 。
测重物W与电压V的关系曲线, 增加砝码(上升曲线)和减小砝码(下降 曲线)时各测一条。分别求出上升曲线和下降曲线的灵敏度并求出灵敏度S的平均 值。
3. 测量传感器半桥和全桥的灵敏度, 并与单臂电桥进行比较

如何提电桥高灵敏度?

如何进行温度补偿?

三、实验原理

1、物理基础

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$\frac{dR}{R} = \frac{dL}{L} - \frac{dA}{A} + \frac{d\rho}{\rho}$$

$$dA/A = 2dD/D$$

$$dD/D = -\nu dL/L, \nu \text{ 是材料的泊松比}$$

$$\frac{dR}{R} = (1 + 2\nu) \frac{dL}{L} + \frac{d\rho}{\rho} = (1 + 2\nu)\varepsilon + \frac{d\rho}{\rho} = \left[(1 + 2\nu) + \frac{d\rho}{\rho\varepsilon} \right] \varepsilon = k_0 \varepsilon$$

应变效应为主 压阻效应



金属丝受力时几何尺寸变化示意图

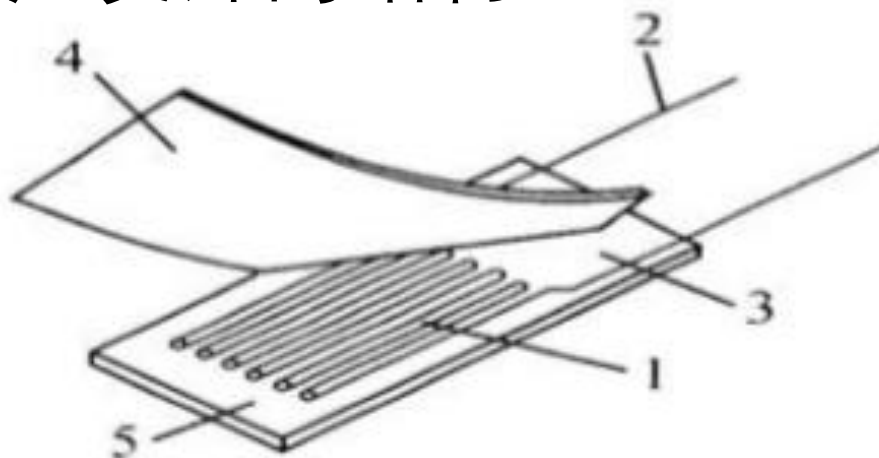
$$k_0 = (1 + 2\nu) + d\rho/\rho\varepsilon$$

k_0 为电阻应变敏感材料(元件)的灵敏系数，其意义是单位应变量可产生或转换的电阻值相对变化量，是由材料本身的性质决定

一般的金属材料，在弹性范围内，其泊松比 ν 通常在0.25~0.4之间，因此 $(1+2\nu)$ 在1.5~1.8之间，而其电阻率也稍有变化，一般金属材料制作的应变敏感元件的灵敏系数值 $1+2\nu$ 为2左右，但其具体大小需要经过实验来测定。

2、金属材料电阻应变片的结构

应变片的结构示意图



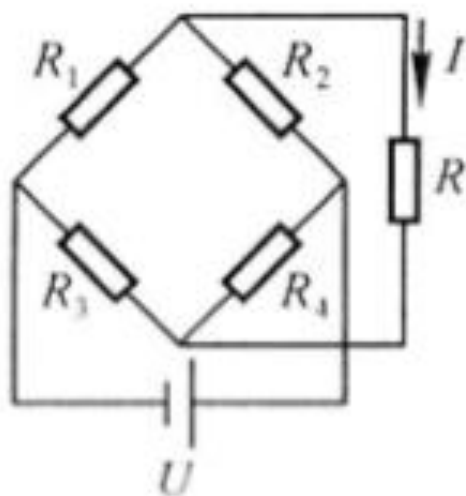
- 1-敏感栅
- 2-引线
- 3-粘接剂
- 4-盖层
- 5-基底

3、电阻应变式传感器的转换电路

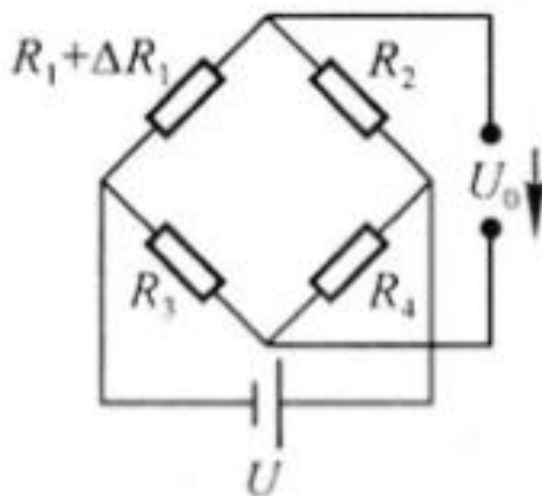
$$\frac{dR}{R} = k_0 \varepsilon$$

(1) 应变片将应变量 ε 转换成电阻相对变化量 $\frac{\Delta R}{R}$,用电桥测量 $\frac{\Delta R}{R}$

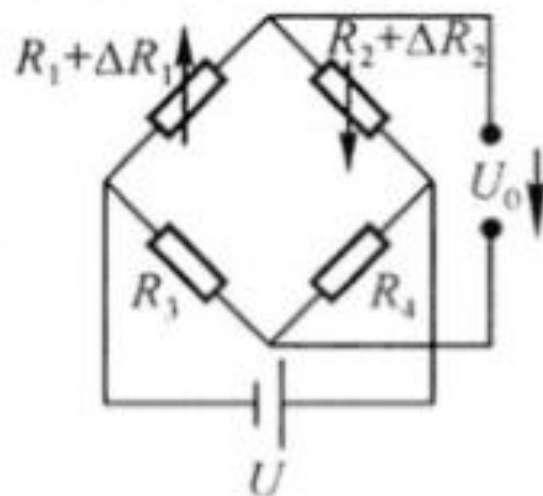
几种接入法:



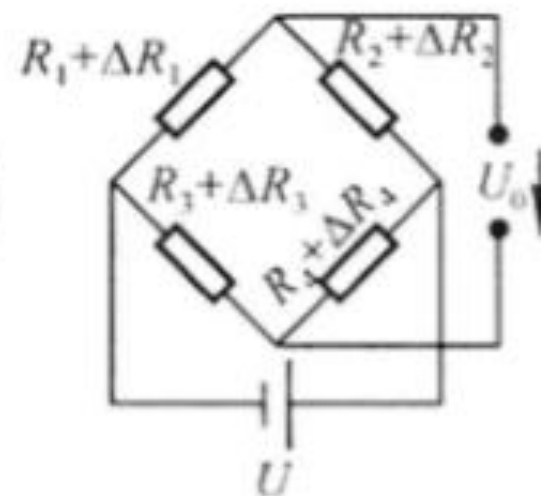
(a) 电桥电路



(b) 单臂电桥



(c) 半桥电路



(d) 全桥电路

电桥电路基础

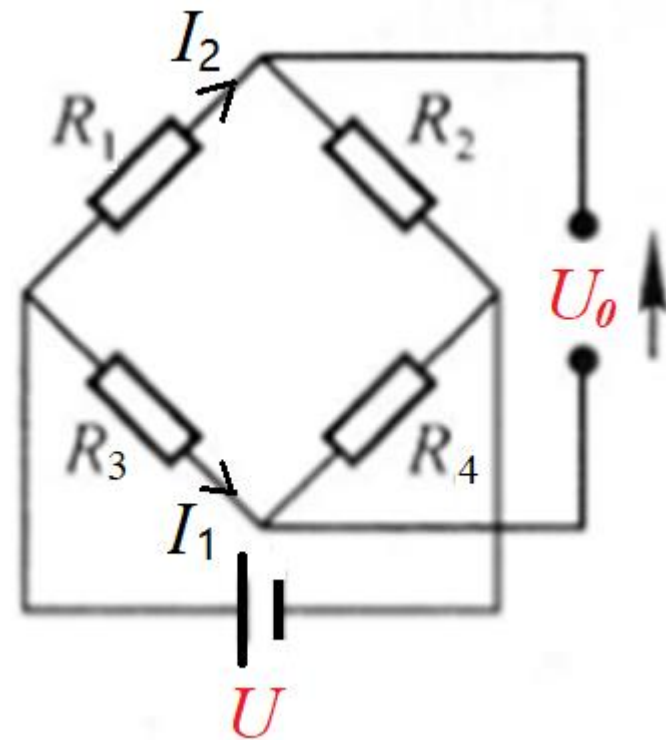
$$U = I_1(R_1 + R_2) = I_2(R_3 + R_4)$$

$$U_0 = I_1 R_2 - I_2 R_4$$

➔
$$U_0 = \left[\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right] U$$

$$U_0 = \left[\frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2}} - \frac{1}{1 + \frac{R_3}{R_4}} \right] U$$

电桥平衡时: $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} = n \quad U_0 = 0$



(1) 单臂电桥：只有 R_1 为工作应变片，由于应变而产生相应的电阻变化为 ΔR_1 ，其他电阻不变时。

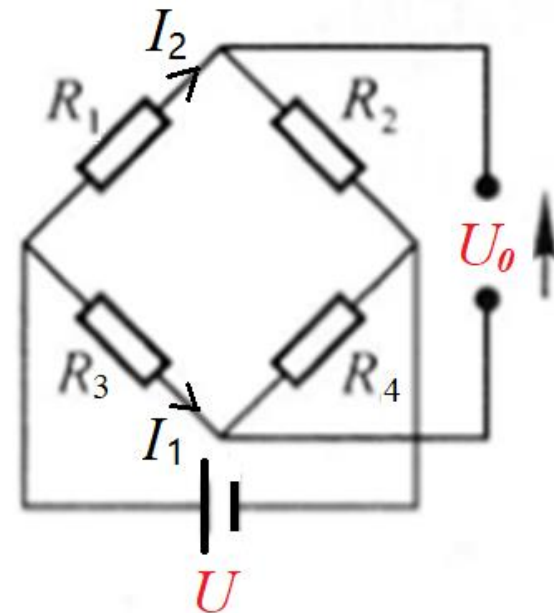
$$R_1 \rightarrow R_1 + \Delta R_1$$

电桥平衡时，设 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} = n$

$$U_0 = \left[\frac{1}{1 + n + \frac{\Delta R_1}{R_2}} - \frac{1}{1 + n} \right] U \approx -\frac{nU}{(1 + n)^2} \frac{\Delta R_1}{R_1} = -k_u \frac{\Delta R_1}{R_1}$$

单臂电桥的灵敏度： $k_u = \frac{nU}{(1 + n)^2}$

从中可知，当 $n = 1$ 时，灵敏度最大： $k_u = \frac{U}{4}$



(2) 半桥电桥：为了减小和克服非线性误差，常用的方法是采用差动电桥，在试件上安装两个工作应变片，一片受拉力，另一片受压力，如图所示。

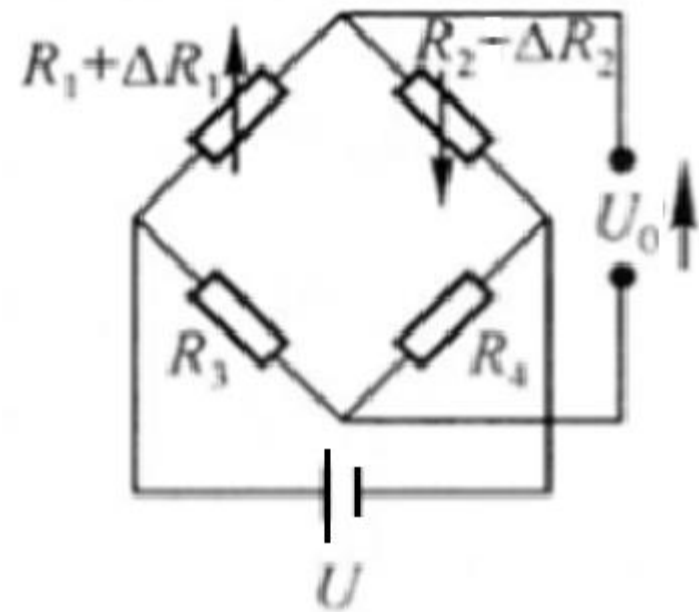
$$R_1 \rightarrow R_1 + \Delta R_1 \quad R_2 \rightarrow R_2 - \Delta R_2$$

$$U_0 = \left[\frac{R_2 + \Delta R_2}{R_1 + \Delta R_1 + R_2 - \Delta R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right] U$$

$$U_0 \approx -\frac{\Delta R_2}{R_1 + R_2} U = -\frac{U}{1+n} \frac{\Delta R_2}{R_2}$$

$$\text{半桥电桥的灵敏度: } k_u = \frac{U}{1+n}$$

$$\text{从中可知, 当 } n = 1 \text{ 时, 半桥的灵敏度为: } k_u = \frac{U}{2}$$



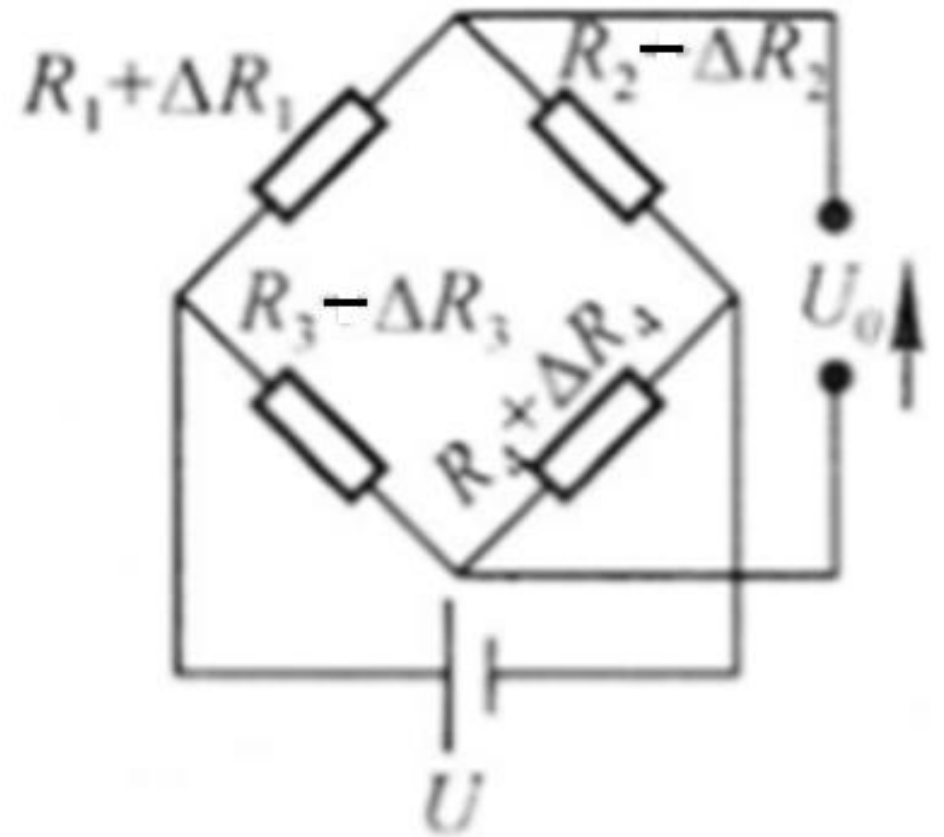
(3) 全桥电桥：如图所示采用差动电桥，在试件上安装4个工作应变片，2片受拉力，另2片受压力。

$$U_0 = \left[\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right] U$$

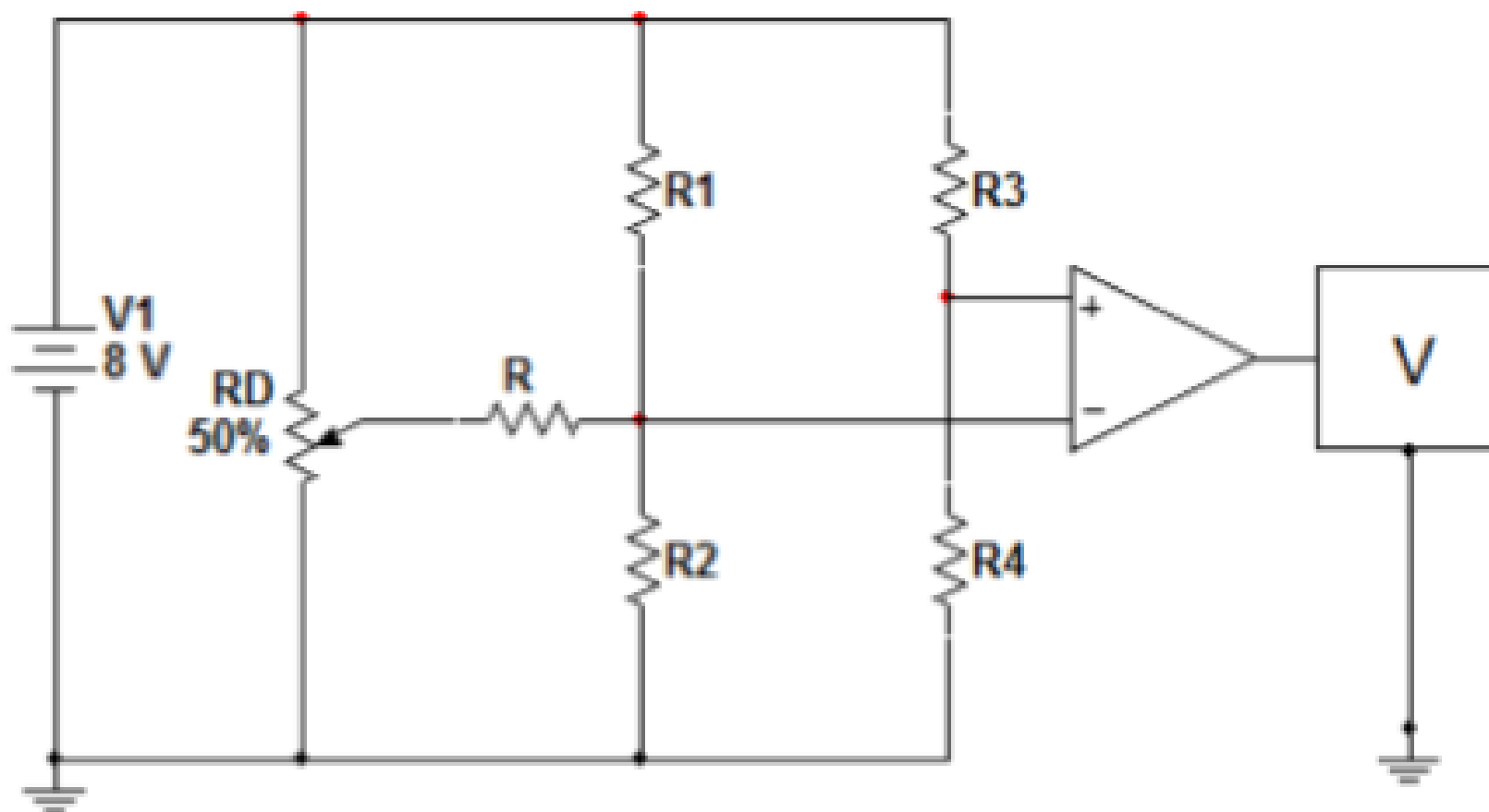
$$U_0 = \left[\frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2}} - \frac{1}{1 + \frac{R_3}{R_4}} \right] U$$

$$\begin{aligned} R_1 &\rightarrow R_1 + \Delta R_1 & R_2 &\rightarrow R_2 - \Delta R_2 \\ R_3 &\rightarrow R_3 - \Delta R_3 & R_4 &\rightarrow R_4 + \Delta R_4 \end{aligned}$$

同理可知，当 $n = 1$ 时，全桥的灵敏度为： $k_u = U$



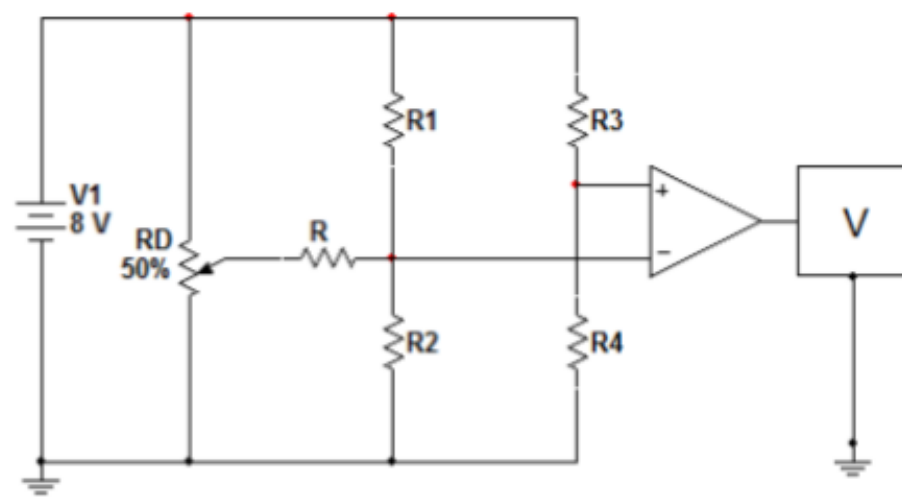
实验用电桥电路



四、实验设备



电阻应变式传感器实验板



五、实验操作和注意事项

1、差动放大器调零



2、单臂电桥调零，半桥和全桥电桥均要调零



3、电压表精度合理选择，有效位数

电压表测量量程和精度；

a量程200mV，测量范围-199.9mV~200.0mV，精度0.1mV；

b量程2V，测量范围-1.999V~2.000V，精度0.001V；

c量程20V，测量范围-19.99V~20.00V，精度0.01V；



【实验原始数据】

电源电压： -5V---+5V， 砝码重： 20.0克/个

【思考题】

1. 仔细观察单臂、半桥和全桥电路灵敏度与应变片数量之间的关系，推想三臂电路的电桥灵敏度，并通过实验验证。
2. 2半桥测量时，二片不同受力状态的应变片接入电桥时应放在对边还是邻边，为什么？
3. 在许多物理实验中(如拉伸法测钢丝杨氏模量，金属热膨胀系数测量以及本实验)加载(或加热)与减载(降温)过程中对应物理量的变化有滞后效应。试总结它们的共同之处，提出解决方案