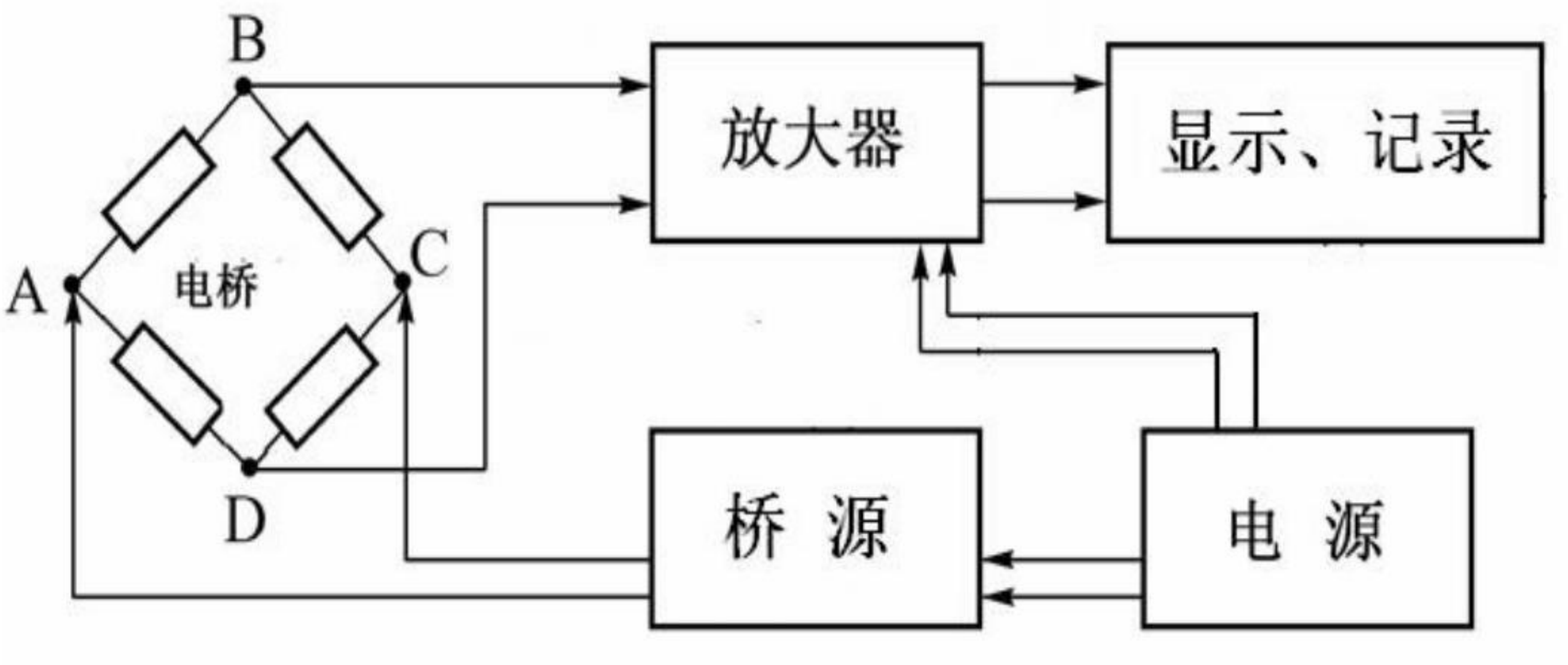
阻抗式传感器

Impedance Sensors

3.1.6 应变式传感器的信号调理电路

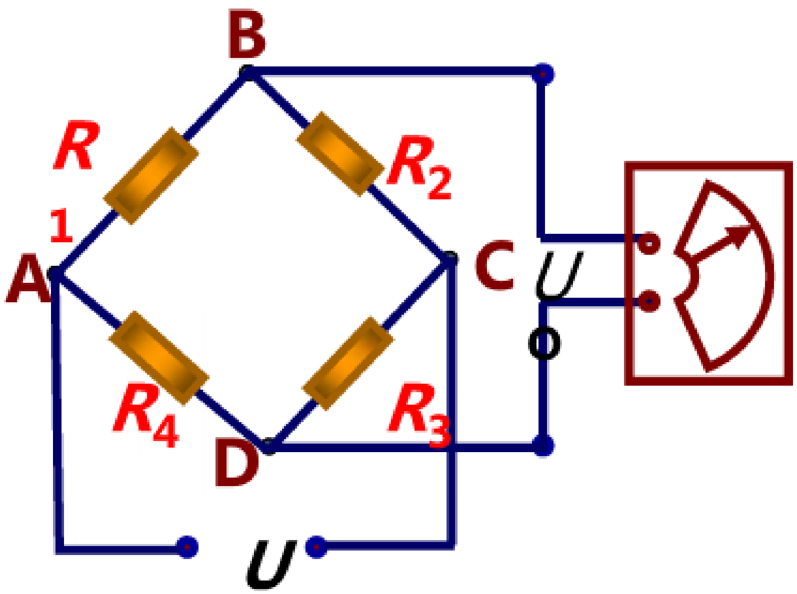


授课内容介绍

- 直流测量电桥
- 交流测量电桥
- 常用电桥模块
- 应变式传感器的应用

1. 直流测量电桥

测量电桥的工作原理



$$U_0 = U_B - U_D$$

$$= \frac{R_1}{R_1 + R_2}\mathrm{U} - \frac{R_4}{R_3 + R_4}\mathrm{U}$$

$$= \frac{R_1R_3 - R_2R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}\mathrm{U}$$

电桥平衡条件：**相邻**两臂电阻的**比值**相等，或相对两臂电阻的乘积相等。

$$R_1R_3 = R_2R_4$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$$

$$U_0 = \frac{(R_1 + \Delta R_1)(R_3 + \Delta R_3) - (R_2 + \Delta R_2)(R_4 + \Delta R_4)}{(R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2)(R_3 + \Delta R_3 + R_4 + \Delta R_4)}U$$

1. 直流测量电桥

测量电桥的工作原理

$$U_0=\frac{(R+\Delta R_1)(R+\Delta R_3)-(R+\Delta R_2)(R+\Delta R_4)}{(2R+\Delta R_1+R_2)(2R+\Delta R_3+R_4)}U$$

等臂

ΔR_i«R，略去ΔR_i高阶微量

线性：$U_0=\frac{1}{4}(\frac{\Delta R_1}{R}-\frac{\Delta R_2}{R}+\frac{\Delta R_3}{R}-\frac{\Delta R_4}{R})U$

非线性：$\Upsilon=\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta R_1}{R}+\frac{\Delta R_2}{R}+\frac{\Delta R_3}{R}+\frac{\Delta R_4}{R}\right)\times 100\%$

应变片的灵敏系数K相同

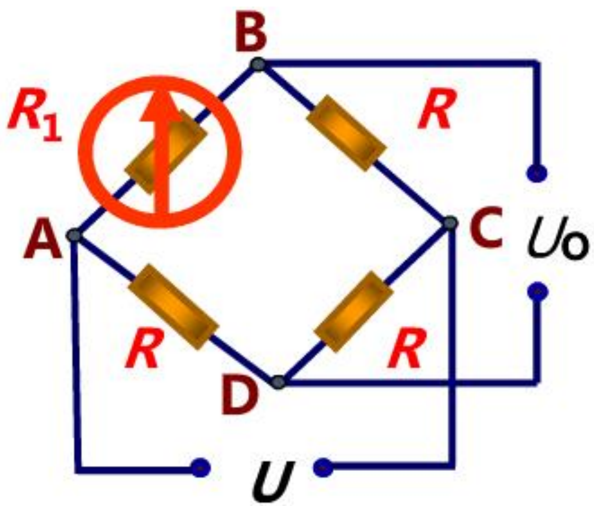
$U_0=\frac{1}{4}K(\varepsilon_1-\varepsilon_2+\varepsilon_3-\varepsilon_4)U$　　$\Upsilon=\frac{1}{2}K(\varepsilon_1+\varepsilon_2+\varepsilon_3+\varepsilon_4)\times 100\%$

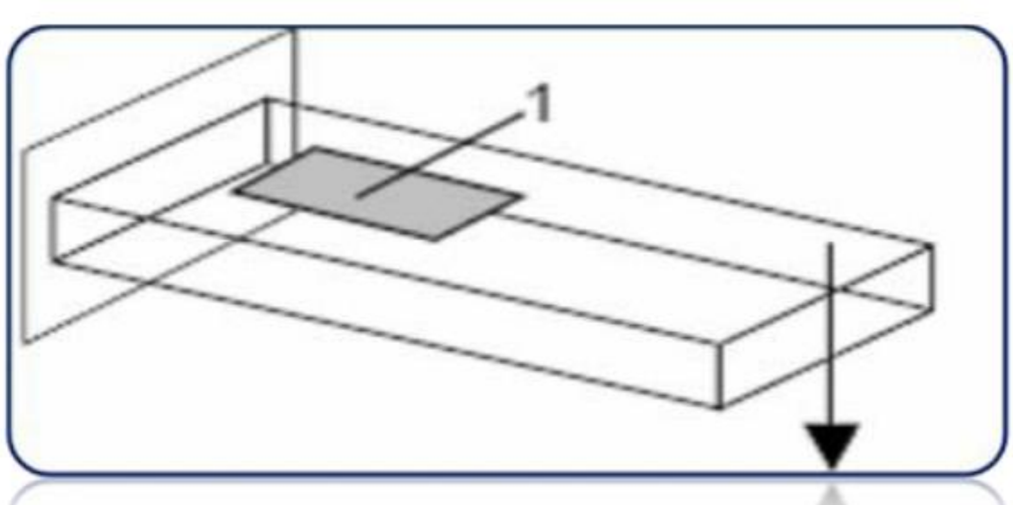
1. 直流测量电桥

（1）单臂电桥

$$U_0=\frac{1}{4}\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}-\frac{\Delta R_2}{R_2}+\frac{\Delta R_3}{R_3}-\frac{\Delta R_4}{R_4}\right)U$$

$$\Upsilon=\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}+\frac{\Delta R_2}{R_2}+\frac{\Delta R_3}{R_3}+\frac{\Delta R_4}{R_4}\right)\times 100\%$$





$$U_0=\frac{1}{4}\frac{\Delta R_1}{R_1}U$$

$$\Upsilon=\frac{1}{2}\frac{\Delta R_1}{R_1}\times 100\%$$

1. 直流测量电桥

例题 已知金属应变片K=2.0，允许测试的最大应变为0.005，接成全等臂电桥，工作方式为单臂：

（$\Delta R_1 \neq 0$， $\Delta R_2 = \Delta R_3 = \Delta R_4 = 0$）

（1）求最大非线性误差；

（2）若采用半导体应变片时（K=120），求最大非线性误差。

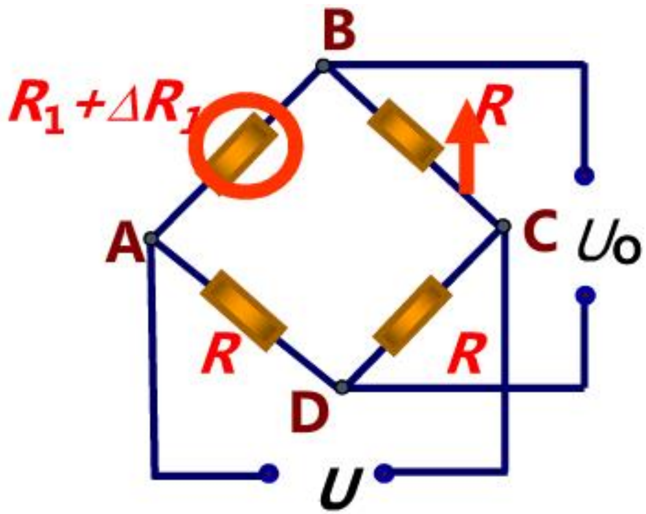
解： 1）
$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = K\varepsilon = 2 \times 0.005 = 0.01$$

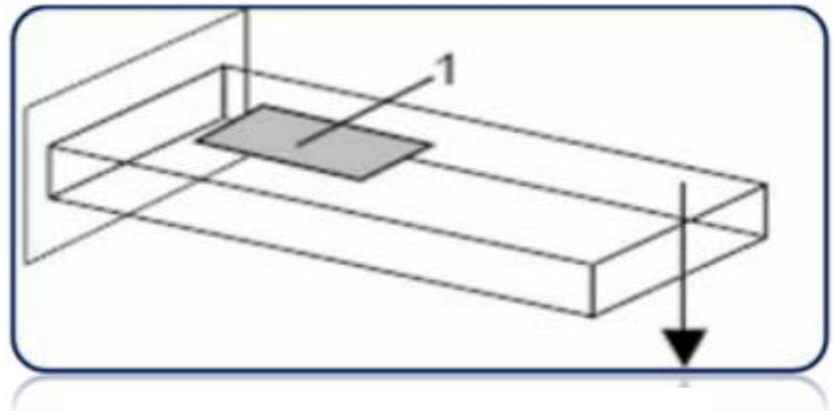
$$\Upsilon = \frac{1}{2}\frac{\Delta R_1}{R_1} \times 100\% = \frac{1}{2} \times 0.01 \times 100\% = 0.5\%$$

2）
$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = 120 \times 0.005 = 0.6 \qquad \Upsilon = \frac{1}{2} \times 0.6 \times 100\% = 30\%$$

1. 直流测量电桥

单臂电桥





$$U_0=U_B-U_D=\frac{R_1+\Delta R_1}{R_1+\Delta R_1+R}U-\frac{\mathrm{R}}{2\mathrm{R}}U=\frac{\mathrm{R}\cdot\Delta\mathrm{R}}{2\mathrm{R}(2\mathrm{R}+\Delta\mathrm{R})}U=\frac{\mathrm{U}}{2}\cdot\frac{\frac{\Delta\mathrm{R}}{\mathrm{R}}}{2+\frac{\Delta\mathrm{R}}{\mathrm{R}}}$$

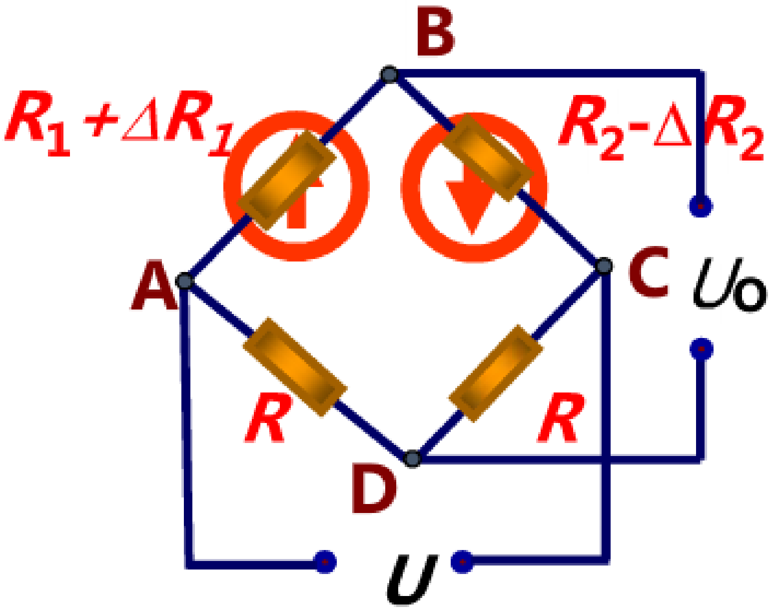
通常情况下：$\frac{\Delta R}{\mathrm{R}}\ll 1$， 所以 $U_0\approx\frac{1}{4}\frac{\Delta R}{\mathrm{R}}U$ （实际：$U_0'=\frac{\mathrm{U}}{2}\cdot\frac{\frac{\Delta\mathrm{R}}{\mathrm{R}}}{2+\frac{\Delta\mathrm{R}}{\mathrm{R}}}$）

非线性误差为：

$$\Upsilon=\frac{U_0-U_0'}{U_0}=1-\frac{2}{2+\frac{\Delta\mathrm{R}}{\mathrm{R}}}=\frac{\Delta\mathrm{R}}{2\mathrm{R}}\cdot\frac{1}{1+\frac{\Delta\mathrm{R}}{2\mathrm{R}}}$$

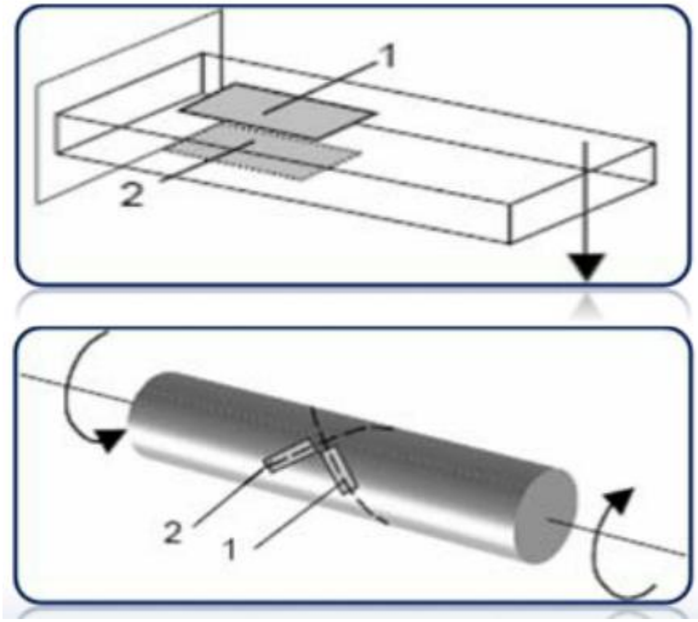
1. 直流测量电桥

（2）半桥差动电路



$$U_0 = \frac{1}{4}\left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4}\right)U$$

$$\Upsilon = \frac{1}{2}\left(\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_4}{R_4}\right) \times 100\%$$

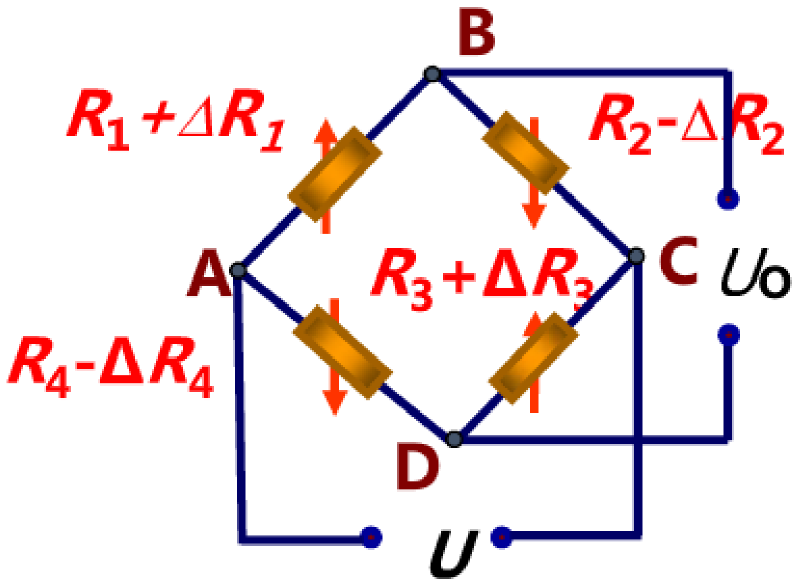


$$U_0 = \frac{1}{2}\frac{\Delta R}{R}U \qquad \Upsilon = 0$$

$$(U_0 = U_B - U_D = \frac{R+\Delta R}{2R}U - \frac{1}{2}U = \frac{1}{2}\frac{\Delta R}{R}U)$$

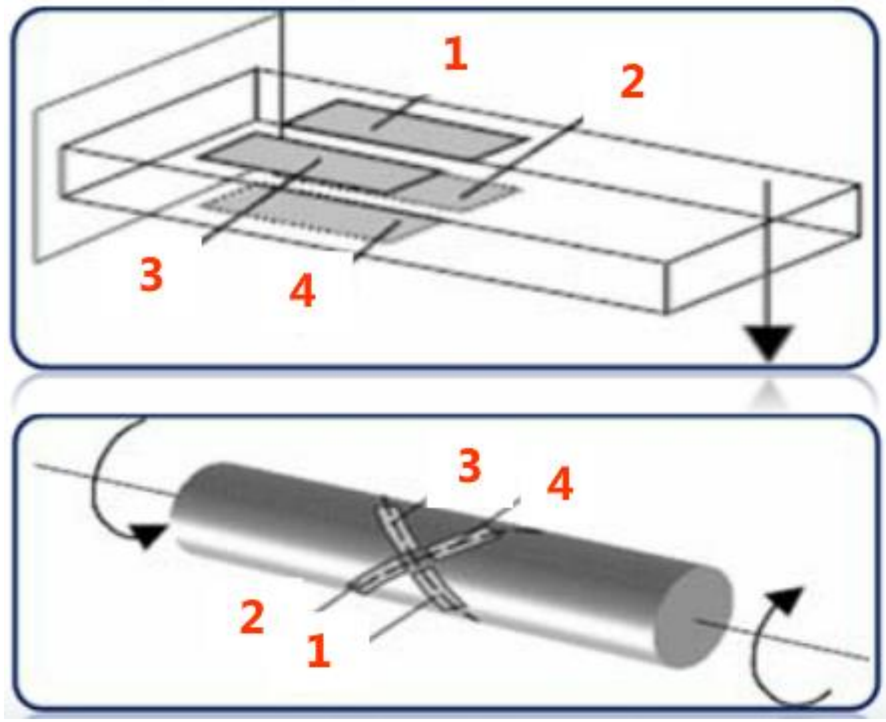
1. 直流测量电桥

（3）全桥差动电路



$$U_0=\frac{1}{4}\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}-\frac{\Delta R_2}{R_2}+\frac{\Delta R_3}{R_3}-\frac{\Delta R_4}{R_4}\right)U$$

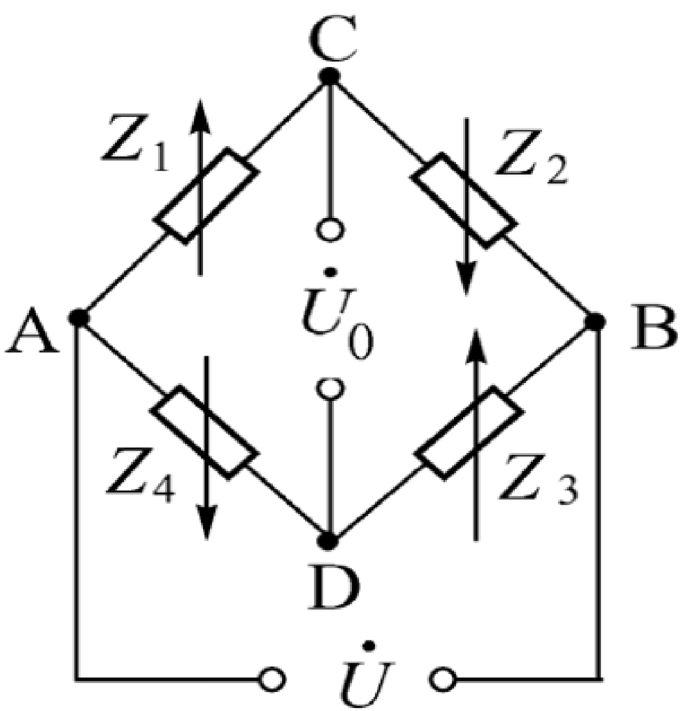
$$\Upsilon=\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}+\frac{\Delta R_2}{R_2}+\frac{\Delta R_3}{R_3}+\frac{\Delta R_4}{R_4}\right)\times 100\%$$



$$U_0=U\frac{\Delta R}{R} \qquad \Upsilon=0$$

$$U_0=U_B-U_D=\frac{R+\Delta R}{2R}U-\frac{R-\Delta R}{2R}U=\frac{\Delta R}{R}U$$

2. 交流测量电桥



$$\dot{U}_0=\left(\frac{Z_1}{Z_1+Z_2}-\frac{Z_4}{Z_3+Z_4}\right)U=\frac{Z_1Z_3-Z_2Z_4}{(Z_1+Z_2)(Z_3+Z_4)}U$$

平衡条件为： $\boxed{Z_1Z_3=Z_2Z_4}$

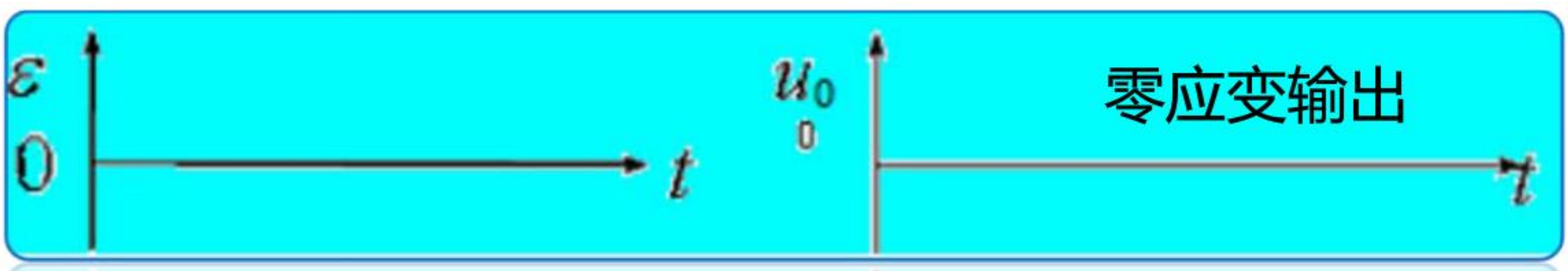
2. 交流测量电桥

交流电桥的调幅作用（以单臂电桥为例）

供桥电源电压为：　$\dot{U} = U_m sin\omega t$

- 当试件未受力时，没有产生应变，电桥输出为零

$$\dot{U} = 0$$

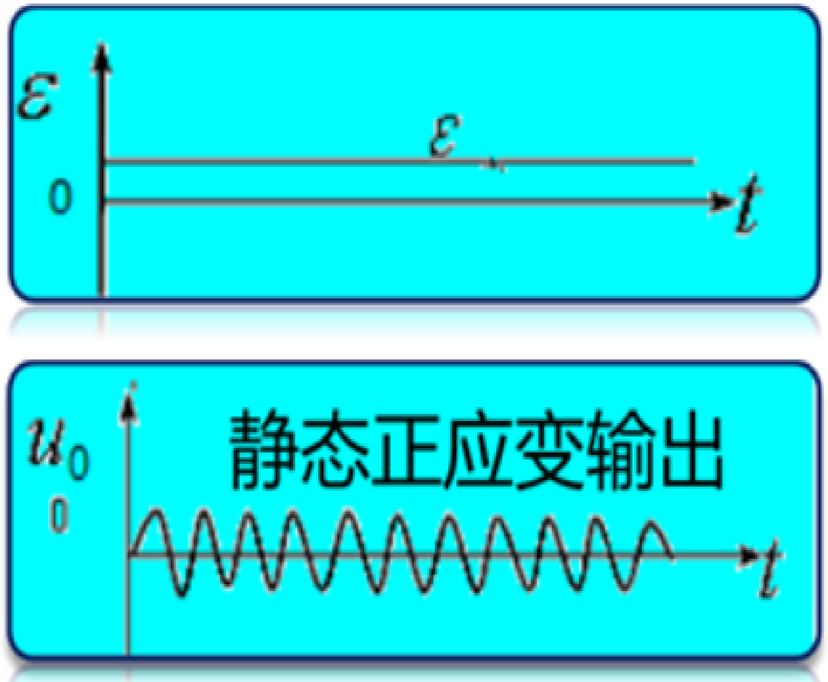


2. 交流测量电桥

交流电桥的调幅作用（以单臂电桥为例）

- 当试件受拉伸产生**静的正应变ε**时，电桥输出为：

$$\dot{U}_0 = \frac{1}{4} K \varepsilon U_m sin\omega t$$



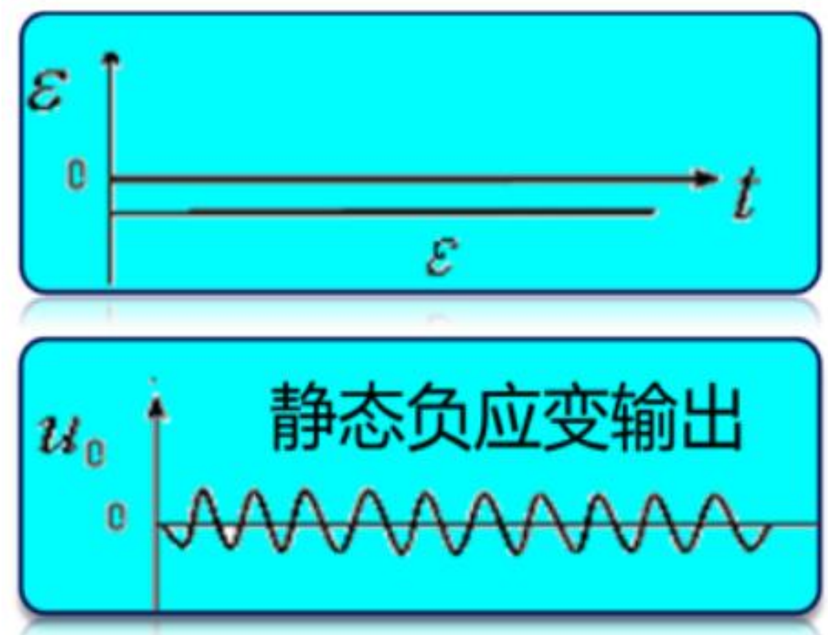
输出波形与电源电压相同，但幅度为其幅值的$\frac{1}{4}K\varepsilon$

2. 交流测量电桥

交流电桥的调幅作用（以单臂电桥为例）

➢ 当试件受拉伸产生**静的负应变ε**时，电桥输出为：

$$\dot{U}_0 = -\frac{1}{4}K\varepsilon U_m sin\omega t$$

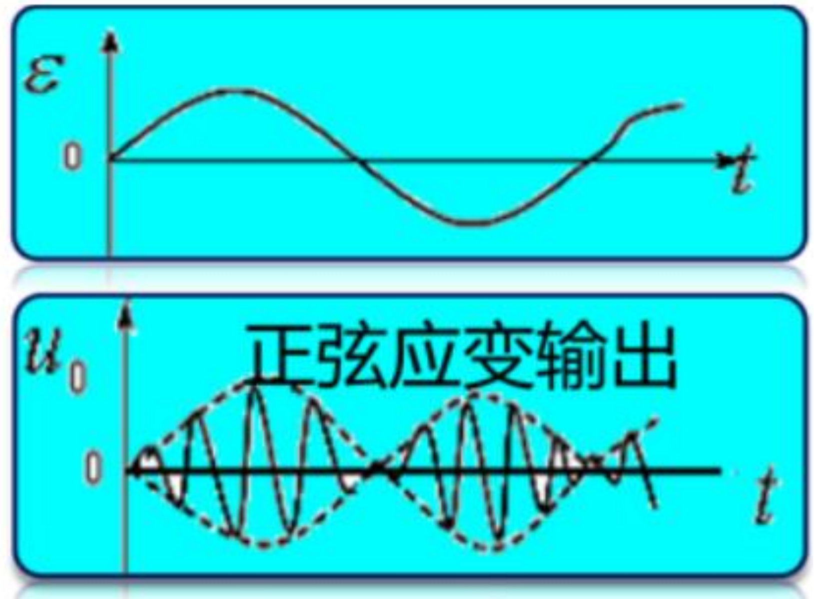


输出波形与电源电压相同，但幅度为其幅值的 $-\frac{1}{4}K\varepsilon$，相位上差180^0。

交流电桥的调幅作用（以单臂电桥为例）

➢ 当试件受动态应力产生简谐变化应变

$$\varepsilon_N = \varepsilon_m sin\Omega t$$



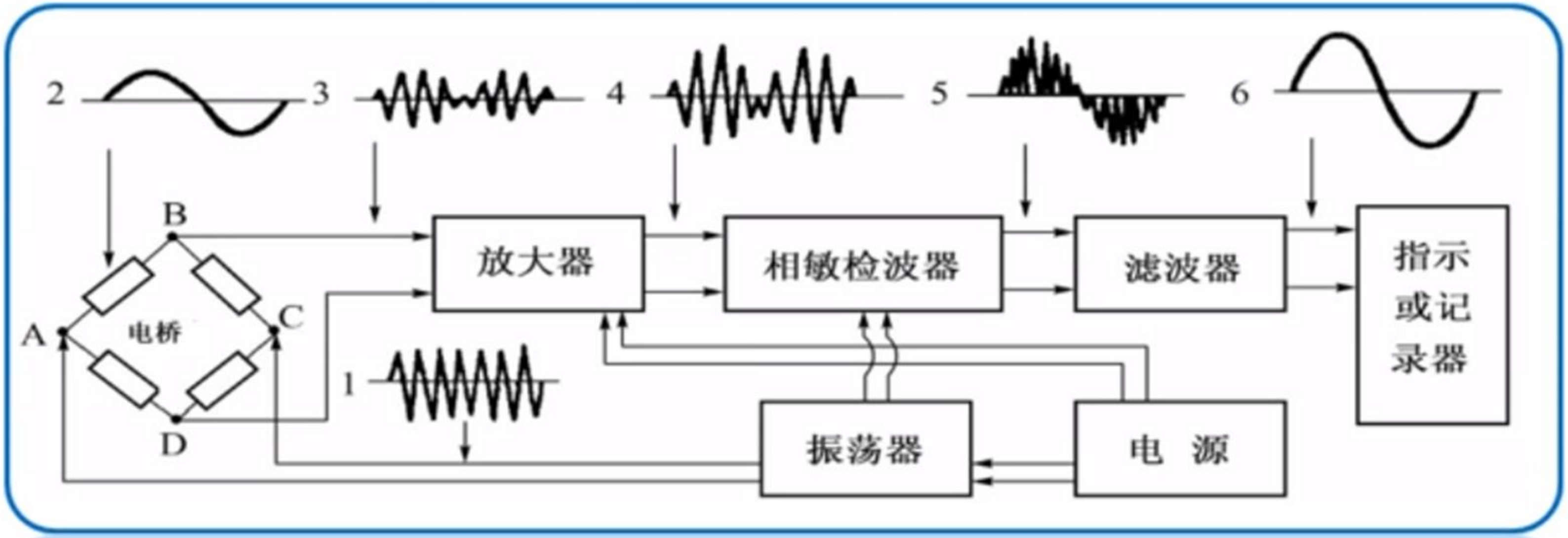
电桥输出为：

$$\dot{U}_0 = \frac{1}{4}K\varepsilon_m \sin(\Omega t)\cdot U_m sin\omega t$$

输出波形是在载波上，叠加了一个低频的工作正弦波，载波的波幅由常数U_m变为：$\frac{1}{4}K\varepsilon_m \sin(\Omega t)\cdot U_m$

2. 交流测量电桥

例：交流电桥电阻应变仪组成框图



电　桥：电源400~2000Hz

放大器：放大倍数5~10×10^4

振荡器：载波信号、相敏检波器的参考电压

相敏检波器：检波器（解调）、辨别相位