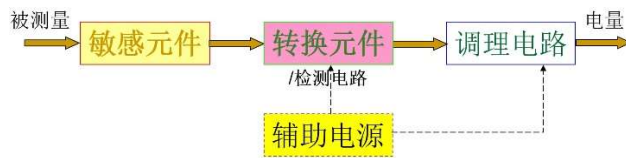
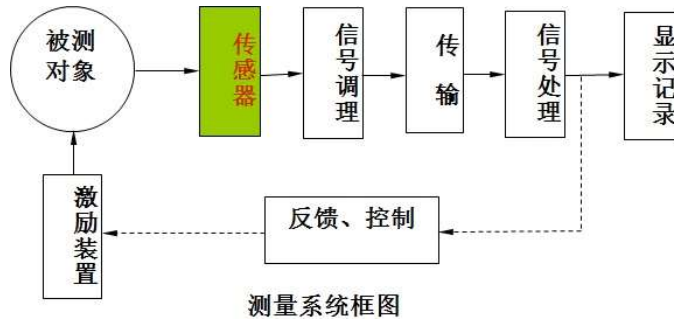


1. 画出传感器和典型测量系统的结构框图；

传感器框图：



典型测量系统的框图：



2. 简述灵敏度、分辨力与精度的差别；

传感器输出的变化量  $y$  与引起该变化量的输入变化量  $x$  之比即为其静态灵敏度，即  $k = \Delta y / \Delta x$

分辨力是指传感器能检测到的最小的输入增量。

精度是评价传感器静态性能的综合性指标，指传感器在满量程内任一点输出值相对其理论值的可能偏离（逼近）程度。

3. 无失真测量的条件是什么？

传感器作为传递函数的幅度谱为常数，其相位为线性函数，即如下：

$$A(\omega) = A_0 = \text{常数}$$

$$\varphi(\omega) = -\omega\tau_0$$

4. 金属式电阻应变片与半导体电阻应变各自特点？

金属应变片基于金属导体在外力作用下发生变形，导致电阻值发生变化，其特点是应变系数小，但测量范围较大，半导体应变片基于压阻效应，其应变系数（或灵敏系数）是金属应变片的数十倍至数百倍，因此其阈值更小，测量范围通常小于金属应变片，无横向效应，但温度稳定性差，输出大应变时非线性差。

5. 简述霍尔效应与磁阻效应

置于磁场中的通电半导体，在垂直于电场和磁场的方向产生电动势的现象称为霍尔效应。

某些材料的电阻值受磁场的影响而改变的现象称为磁电阻效应(MR)，利用磁阻效应制成的元件称为磁敏电阻。磁阻效应可分为基于洛伦兹力的非磁性半导体的磁致电阻效应（对应为半导体磁敏电阻）和基于铁磁性材料的磁致电阻效应（对应电阻为金属薄膜磁敏电阻）

## 6. 解释光敏电阻的光谱效应

光谱特性表征光敏电阻对不同波长的光其灵敏度不同的性质。在选用光敏电阻时，应把光敏电阻的材料和光源结合起来考虑，才能获得满意的效果。

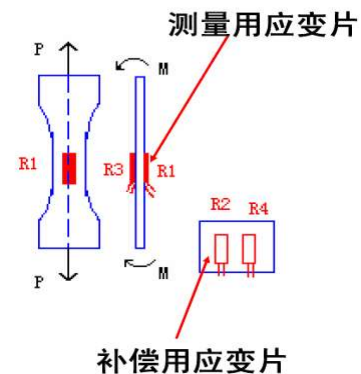
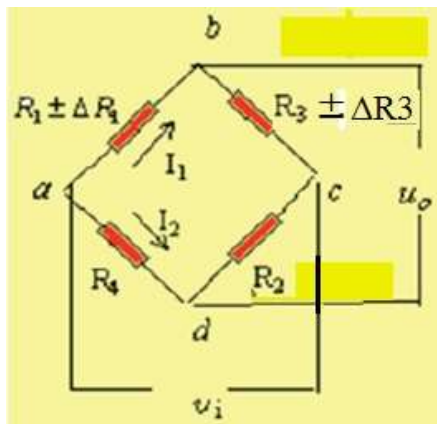
## 7. 如何组桥实现右图中弯矩应力的测量？

解：图中 R1 与 R3 受拉应力相同，弯矩应力相反，

各应变片应变值为：

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = \varepsilon_p + \varepsilon_M, & \varepsilon_2 = 0 \\ \varepsilon_3 = \varepsilon_p - \varepsilon_M, & \varepsilon_4 = 0 \end{cases}$$

如下图布桥：



$$\begin{aligned} U_0 &= \frac{1}{4} U_i K (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_3 - \varepsilon_4) \\ &= \frac{1}{2} U_i K \varepsilon_M \end{aligned}$$

8. 图中，设电阻应变片  $R_1$  的灵敏度系数  $K=2.05$ ，未受到应变时， $R_1=120\Omega$ 。当试件受力  $F$  时，应变片承受平均应变  $\varepsilon=800\mu\text{m/m}$ 。试求：

(1) 应变片的电阻变化量  $\Delta R_1$  和电阻相对变化量  $\Delta R_1/R_1$ 。

(2) 将电阻应变片  $R_1$  置于单臂测量电桥，电桥电源电压为直流 3V，求电桥输出的电压及其非线性误差。

(3) 如果要减小非线性误差，应采取何种措施？

解：(1)  $K = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon}$

所以：  $\frac{\Delta R_1}{R_1} = K\varepsilon = 2.05 \times 800 \times 10^{-6} = 1.64 \times 10^{-3}$

$\Delta R_1 = 1.63 \times 10^{-3} \times 120 = 0.1968\Omega$

(2)  $U_o = E \cdot \frac{\frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1}}{(1 + \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{R_2}{R_2}) \cdot (1 + \frac{R_4}{R_3})} = E \cdot \frac{n}{(1+n)^2} \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1}$

令  $n=1$ ，  $U_o = 3 \times 1.64 \times 10^{-3} \times \frac{1}{4} = 1.23 \times 10^{-3}\text{V}$

$U_o = E \cdot \frac{n}{(1+n)^2} \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1}$ ,  $U_o' = E \cdot \frac{n \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1}}{(1 + \frac{\Delta R_1}{R_1} + n) \cdot (1+n)}$

所以非线性误差为：  $\gamma_L = \frac{U_o - U_o'}{U_o} = \frac{\frac{\Delta R_1}{R_1}}{1+n+\frac{\Delta R_1}{R_1}} = 0.08\%$

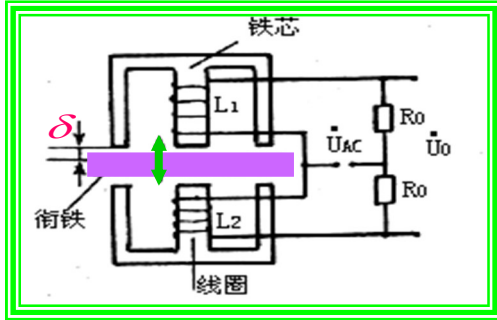
(3) 减小非线性误差的方法：

① 提高桥臂比：非线性误差减小，由  $K = E \cdot \frac{n}{(1+n)^2}$  知，电桥的电压灵敏度将降低，要使灵敏

度不降低，必须相应地提高供电电压，电压的提高受到应变片允许功耗的限制。

② 采用差动电桥。

1、推导差动变隙式电感传感器的灵敏度与非线性误差，与单极式比较。



答：设两差动线圈初始气隙厚度均为  $\delta_0$ ，初始电感均为  $L_0$ ，且

$$L_0 = \frac{W^2 \mu_0 A_0}{2\delta_0}$$

当衔铁向上移动  $\Delta\delta$  时，则

$$L_1 = L_0 + \Delta L_1 = \frac{W^2 \mu_0 A_0}{2(\delta_0 - \Delta\delta)}, \quad L_2 = L_0 - \Delta L_2 = \frac{W^2 \mu_0 A_0}{2(\delta_0 + \Delta\delta)}$$

$$\therefore \Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 = L_1 - L_2$$

$$= \frac{W^2 \mu_0 A_0}{2(\delta_0 - \Delta\delta)} - \frac{W^2 \mu_0 A_0}{2(\delta_0 + \Delta\delta)} = 2L_0 \frac{\Delta\delta}{\delta_0} \cdot \frac{1}{1 - (\frac{\Delta\delta}{\delta_0})^2}$$

$$\text{当 } \Delta\delta \ll \delta_0 \text{ 时, } \Delta L \approx 2L_0 \frac{\Delta\delta}{\delta_0}$$

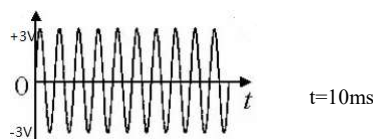
$$\therefore \text{灵敏度为: } K = \frac{\Delta L}{\Delta\delta} = 2 \frac{L_0}{\delta_0}$$

由此可见，与单极式相比，其灵敏度提高了一倍（单极式为  $K = \frac{\Delta L}{\Delta\delta} = \frac{L_0}{\delta_0}$ ）。

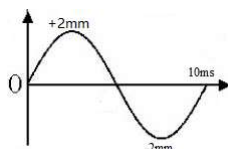
知识点：变磁阻电感式传感器的工作原理

2. 某线性差动变压器（LVDT）用频率为 1kHz，峰-峰电压值为 6V 的电源激励，设磁芯(core)的运动为 100Hz 的正弦运动，其位移幅值为  $\pm 2\text{mm}$ ，已知传感器的灵敏度为 2V/mm，试画出激励电压、输入位移和输出电压的波形，有哪几种 LVDT 的检测电路？LVDT 产生零点残余电压的原因是什么？

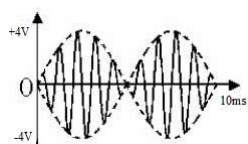
激励电压波形：



输入位移波形：



LVDT 的输出电压：



LVDT 的检测电路有差动整流、相敏检波及专用芯片等。

零点残余电压产生原因：主要是由传感器的两次级绕组的电气参数和几何尺寸不对称，以及磁性材料的非线性等引起的。

3. 何谓电涡流？电涡流传感器的原理是什么？被测材料的电阻率和磁导率对检测灵敏度的影响？贯穿深度是什么，有哪些影响因素？

答：电涡流效应指的是这样一种现象：根据法拉第电磁感应定律，块状金属导体置于变化的磁场中或在磁场中作切割磁力线运动时，通过导体的磁通将发生变化，产生感应电动势，该电动势在导体内产生电流，并形成闭合曲线，状似水中的涡流，通常称为电涡流。

电涡流传感器的基本原理：当线圈通交变电流  $i_1$  引起交变磁场  $H_1$ ，进而在金属板中将产生感应电动势，在金属板中形成电涡流  $i_2$ ，产生二次感生磁场  $H_2$ ， $H_2$  对线圈的反作用(减弱线圈原磁场)，从而导致线圈的电感量  $L$ 、阻抗  $Z$  或品质因数  $Q$  发生变化。因此通过测量电感量  $L$ 、阻抗  $Z$  或品质因数  $Q$  的变化，就可以实现非电量如位移等参数的测量。

被测材料的电阻率越大，表面的电涡流越小，检测灵敏度越低，但贯穿深度越大；材料的磁导率越大，则聚磁效应显著，材料表面的电涡流会增大，因此检测灵敏度增大，但沿材料厚度方向泄露的磁通量相应减少，因此贯穿深度减小。

贯穿深度也称趋肤深度  $\delta$  称为电涡流的轴向贯穿深度，它的数值与线圈的激励频率  $f$ 、金属导体材料的电磁性质(电阻率  $\rho$  和磁导率  $\mu = \mu_r \mu_0$ ) 有关，
$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\mu_r \mu_0 \pi \sigma f}} = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \mu f}}。$$

1、试推导差动变极距型电容式传感器的灵敏度，并与单极式相比较。

答：设在初始状态下，动极板位于两块定极板中间位置，则：

$$d_1 = d_2 = d_0, \quad C_1 = C_2 = C_0 = \frac{\varepsilon A}{d_0}$$

当动极板受被测量作用，其位置发生改变，设动极板向上移动了  $\Delta d$ ，则：

$$C_1 = C_0 + \Delta C_1 = \frac{\varepsilon A}{d_0 - \Delta d}, \quad C_2 = C_0 - \Delta C_2 = \frac{\varepsilon A}{d_0 + \Delta d}$$

$$\therefore \Delta C = \Delta C_1 + \Delta C_2 = C_1 - C_2$$

$$= \frac{\varepsilon A}{d_0 - \Delta d} - \frac{\varepsilon A}{d_0 + \Delta d} = 2C_0 \frac{\Delta d}{d_0} \cdot \frac{1}{1 - (\frac{\Delta d}{d_0})^2}$$

当  $\Delta d \ll d_0$  时，即  $\Delta d / d_0 \ll 1$ ，则：

$$\Delta C \approx 2C_0 \frac{\Delta d}{d_0}$$

$$\therefore \text{灵敏度为：} K = \frac{\Delta C}{\Delta d} = 2C_0 \frac{1}{d_0}$$

由此可见，与单极式相比，其灵敏度提高了一倍（单极式为  $K = \frac{\Delta C}{\Delta d} = \frac{C_0}{d_0}$ ）。

2、当差动式极距变化型的电容传感器动极板相对于定极板位移了  $\Delta d=0.75\text{mm}$  时，若初始电容量  $C_1=C_2=80\text{pF}$ ，初始距离  $d=4\text{mm}$ ，试计算其非线性误差。若将差动电容改为单只平板电容，初始值不变，其非线性误差有多大？

解：差动变极距型电容传感器非线性误差：

$$\delta = \left| \frac{\Delta d}{d_0} \right|^2 \times 100\% = \left( \frac{0.75}{4} \right)^2 \times 100\% = 3.5\%$$

单只平板电容，其非线性误差为：

$$\delta = \left| \frac{\Delta d}{d_0} \right| \times 100\% = \left| \frac{0.75}{4} \right| \times 100\% = 18.75\%$$

3. 为什么电容式传感器易受干扰？如何减小干扰？

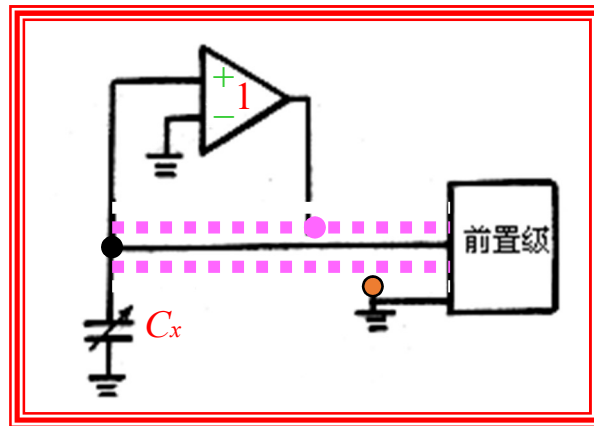
答：

(1) 电容式传感器两极板之间的电容很小，电容初始值仅几十个 pF 至数百 pF，变化量更小，只有几个 pF 甚至更小。

(2) 而传感器与电子仪器之间的连接电缆却具有很大的电容，如普通电缆 1 米的分布电容有 100pF。这不仅使传感器的电容相对变化大大降低，灵敏度也降低，更严重的是电缆本身放置的位置和形状不同，或因振动等原因，都会引起电缆本身电容的较大变化，使输出不真实，给测量带来误差。

(3) 解决的办法，一种方法是利用集成电路，使放大测量电路小型化，把它放在传感器内部，这样传输导线输出是直流电压信号，不受分布电容的影响；

(4) 另一种方法是采用驱动电缆技术，也成为等电位屏蔽技术，采用双屏蔽电缆连接电容式传感器与前置电路，借助一个严格的 1:1 跟随器保持电缆的芯线与内层屏蔽之间的等电位，消除了芯线对内层屏蔽的容性漏电，从而消除了寄生电容的影响。



4. 画出两种电路图，见 ppt

充放电电路中的特点是：不需载波，不需要附加相敏检波和整流电路；另外电容式传感器的两极板通常与固定电位相连，进行充放电动作，一般对分布电容  $C_{S1}$ ， $C_{S2}$  都不敏感。