

1. 属于传感器动态特性指标的是 (D)
A 重复性 B 线性度 C 灵敏度 D 固有频率
- 2 误差分类, 下列不属于的是 (B)
A 系统误差 B 绝对误差 C 随机误差 D 粗大误差
- 3、非线性度是表示校准 (B) 的程度。
A、接近真值 B、偏离拟合直线 C、正反行程不重合 D、重复性
- 4、传感器的组成成分中, 直接感受被侧物理量的是 (B)
A、转换元件 B、敏感元件 C、转换电路 D、放大电路
- 5、传感器的灵敏度高, 表示该传感器 (C)
A 工作频率宽 B 线性范围宽 C 单位输入量引起的输出量大 D 允许输入量大
- 6 下列不属于按传感器的工作原理进行分类的传感器是 (B)
A 应变式传感器 B 化学型传感器 C 压电式传感器 D 热电式传感器
- 7 传感器主要完成两个方面的功能: 检测和 (D)
A 测量 B 感知 C 信号调节 D 转换
- 8 回程误差表明的是在 (C) 期间输出输入特性曲线不重合的程度
A 多次测量 B 同次测量 C 正反行程 D 不同测量
- 9、仪表的精度等级是用仪表的 (C) 来表示的。
A 相对误差 B 绝对误差 C 引用误差 D 粗大误差

二、判断

- 1.在同一测量条件下, 多次测量被测量时, 绝对值和符号保持不变, 或在改变条件时, 按一定规律变化的误差称为系统误差。(√)
- 2 系统误差可消除, 那么随机误差也可消除。(×)
- 3 对于具体的测量, 精密度高的准确度不一定高, 准确度高的精密度不一定高, 所以精确度高的准确度不一定高 (×)
- 4 平均值就是真值。(×)
- 5 在n次等精度测量中, 算术平均值的标准差为单次测量的1/n。(×)
- 6.线性度就是非线性误差。(×)
- 7.传感器由被测量, 敏感元件, 转换元件, 信号调理转换电路, 输出电源组成。(√)
- 8.传感器的被测量一定就是非电量 (×)
- 9.测量不确定度是随机误差与系统误差的综合。(√)
- 10 传感器 (或测试仪表) 在第一次使用前和长时间使用后需要进行标定工作, 是为了确定传感器静态特性指标和动态特性参数 (√)

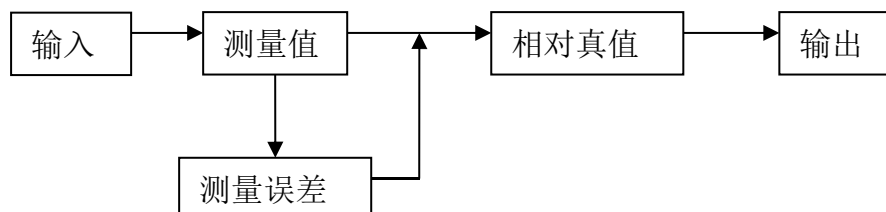
二、简答题: (50 分)

1、什么是传感器动态特性和静态特性, 简述在什么频域条件下只研究静态特性就能够满足通常的需要, 而在什么频域条件下一般要研究传感器的动态特性?

答: 传感器的动态特性是指当输入量随时间变化时传感器的输入—输出特性。静态特性是指当输入量为常量或变化极慢时传感器输入—输出特性。在时域条件下只研究静态特性就能够满足通常的需要, 而在频域条件下一般要研究传感器的动态特性。

2、绘图并说明在使用传感器进行测量时, 相对真值、测量值、测量误差、传感器输入、输出特性的概念以及它们之间的关系。

答: 框图如下:



测量值是通过直接或间接通过仪表测量出来的数值。

测量误差是指测量结果的测量值与被测量的真实值之间的差值。

当测量误差很小时, 可以忽略, 此时测量值可称为相对真值。

3、从传感器的静态特性和动态特性考虑，详述如何选用传感器。

答：考虑传感器的静态特性的主要指标，选用线性度大、迟滞小、重复性好、分辨力强、稳定性高、抗干扰稳定性高的传感器。考虑动态特性，所选的传感器应能很好的追随输入量的快速变化，即具有很短的暂态响应时间或者应具有很宽的频率响应特性。

4、什么是系统误差？系统误差产生的原因是什么？如何减小系统误差？

答：当我们对同一物理量进行多次重复测量时，如果误差按照一定的规律性出现，则把这种误差称为系统误差。

系统误差出现的原因有：

- ①工具误差：指由于测量仪表或仪表组成组件本身不完善所引起的误差。
- ②方法误差：指由于对测量方法研究不够而引起的误差。
- ③定义误差：是由于对被测量的定义不够明确而形成的误差。
- ④理论误差：是由于测量理论本身不够完善而只能进行近似的测量所引起的误差。
- ⑤环境误差：是由于测量仪表工作的环境（温度、气压、湿度等）不是仪表校验时的标准状态，而是随时间在变化，从而引起的误差。
- ⑥安装误差：是由于测量仪表的安装或放置不正确所引起的误差。
- ⑦个人误差：是指由于测量者本人不良习惯或操作不熟练所引起的误差。

三. 计算

一、测得某检测装置的一组输入输出数据如下：

X	0.9	2.5	3.3	4.5	5.7	6.7
y	1.1	1.6	2.6	3.2	4.0	5.0

试用最小二乘法拟合直线，求其线性度和灵敏度(15分)

$$y = kx + b, \Delta_i = y_i - (kx_i + b)$$

答：

$$k = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}, b = \frac{(\sum x_i^2 y_i - \sum x_i \sum x_i y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

带入数据得： $k = 0.68, b = 0.25 \therefore y = 0.68x + 0.25$

$$\Delta_1 = 0.238, \Delta_2 = -0.35, \Delta_3 = -0.16, \Delta_4 = -0.11, \Delta_5 = -0.126, \Delta_6 = -0.914$$

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% = \pm \frac{0.35}{5} = \pm 7\%$$

拟合直线灵敏度 0.68, 线性度 $\pm 7\%$

2、设 6 次测量某物体的长度，其测量的结果分别为：9.8 10.0 10.1 9.9 10.2 15 厘米，若忽略粗大误差和系统误差，试求在 99.73% 的置信概率下，对被测物体长度的最小估计区间。

$$\text{解： } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{(9.8 + 10.0 + 10.1 + 9.9 + 10.2)}{5} = 10$$

$$v_i = x_i - \bar{x} \text{ 分别为 } -0.2 \quad 0 \quad 0.1 \quad -0.1 \quad 0.2$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n v_i^2} = 0.16 \quad \mu \in [\bar{x} - 3\sigma, \bar{x} + 3\sigma] = [9.52, 10.48]$$

3、等精度测量某电阻10次，得到的测量如下：

R1—167.95 Ω R2—167.45 Ω R3—167.60 Ω R4—167.60 Ω R5—167.87 Ω
R6—167.88 Ω R7—168.00 Ω R8—167.85 Ω R9—167.82 Ω R10—167.61 Ω

求：10次测量的算术平均值，测量的标准误差和算术平均值的标准误差

$$\text{解： } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} = 167.76 \Omega \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n}} = 0.18 \quad \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 0.06$$

- 1、电阻式传感器是将被测量的变化转换成（D）变化的传感器。
A. 电子 B. 电压 C. 电感 D. 电阻
- 2、电桥测量电路的作用是把传感器的参数变化为（C）的输出。
A. 电阻 B. 电容 C. 电压 D. 电荷
- 3、半导体应变片具有（A）等优点。
A. 灵敏度高 B. 温度稳定性好 C. 参数一致性高 D. 接口电路简单
- 4、当半导体材料某一轴向受外力作用时，其电阻率发生变化的现象，称（B）
A. 光电效应 B. 压阻效应 C. 压电效应 D. 霍尔效应
- 5、导体或半导体材料在外界力的作用下产生机械变形时，其电阻值发生相应变化的现象，称（A）
A. 应变效应 B. 光电效应 C. 压电效应 D. 霍尔效应
- 6、温度误差的线路补偿法是利用电桥（B）实现的。
A. 相邻桥臂同变输入电压相加 B. 相邻桥臂差变输入电压相减
C. 相对桥臂同变输入电压相加 D. 相对桥臂差变输入电压相加
- 7、利用相邻双臂桥检测的应变式传感器，为使其灵敏度高、非线性误差小（C）
A. 两个桥臂都应当用大电阻值工作应变片 B. 两个桥臂都应当用两个工作应变片串联
C. 两个桥臂应当分别用应变变量变化相反的工作应变片 D. 两个桥臂应当分别用应变变量变化相同的工作应变片
- 8、按输出信号的性质分类，应变式位移传感器是一种（A）
A. 模拟量传感器 B. 计数型传感器 C. 代码型传感器 D. 开关型传感器
- 9、下列传感器，不适合于静态位移测量的是（D）
A. 压阻式位移传感器 B. 电感式位移传感器
C. 电涡流式位移传感器 D. 压电式位移传感器
- 10、半导体热敏电阻率随着温度上升，电阻率（B）
A. 上升 B. 迅速下降 C. 保持不变 D. 归零

二 判断题

- 1、采用几个热电偶串联的方法测量多点的平均温度，当有一只热电偶烧断时，不能够很快地觉察出来。（×）
- 2、在固态压阻传感器测量电路中恒压源和恒流源供电均与电流大小、精度及温度有关。（×）
- 3、热回路的热电动势的大小不仅与热端温度有关，而且与冷端温度有关。（√）
- 4、在典型噪声干扰抑制方法中，差分放大器的作用是抑制共模噪声。（√）
- 5、将电阻应变片贴在弹性元件上，就可以分别做成测力、位移、加速度等参数的传感器。（√）
- 6、在电阻应变片公式， $dR/R=(1+2\mu)\epsilon+\lambda E\epsilon$ 中， λ 代表电阻率。（×）
- 7、结构型传感器是依靠传感器材料物理特性的变化实现信号变换的。（×）
- 8、信号传输过程中，产生干扰的原因是干扰的耦合通道（√）
- 9、常用于测量大位移的传感器有应变电阻式。（×）
- 10、差动电桥由环境温度变化引起的误差为0。（√）

三 简答题

1.简述应变片在弹性元件上的布置原则，及哪几种电桥接法具有温度补偿作用。

答 原则有：(1)贴在应变最敏感部位，使其灵敏度最佳；
(2)在复合载荷下测量，能消除相互干扰； (3)考虑温度补偿作用；
单臂电桥无温度补偿作用，差动和全桥方式具有温度补偿作用。

2. 什么是金属导体的电阻—应变效应和热电阻效应？

答：金属电阻的应变电阻效应——当金属导体在外力作用下发生机械变形时，其电阻值将相应地发生变化。

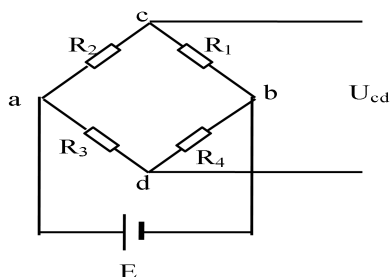
3.为什么要对应变片式电阻传感器进行温度补偿，分析说明该类型传感器温度误差补偿方法。

答：①在外界温度变化的条件下，由于敏感栅温度系数 α_t 及栅丝与试件膨胀系数（ β_g 与 β_s ）之差异性而产生虚假应变输出有时会产生与真实应变同数量级的误差。

②方法：自补偿法 线路补偿法

四 计算题

1、如图所示电路是电阻应变仪中所用的不平衡电桥的简化电路，图中 $R_2=R_3=R$ 是固定电阻， R_1 与 R_4 是电阻应变片，工作时 R_1 受拉， R_4 受压， $\Delta R=0$ ，桥路处于平衡状态，当应变片受力发生应变时，桥路失去平衡，这时，就用桥路输出电压 U_{cd} 表示应变片变后电阻值的变化量。试证明： $U_{cd} = - (E/2) (\Delta R/R)$ 。

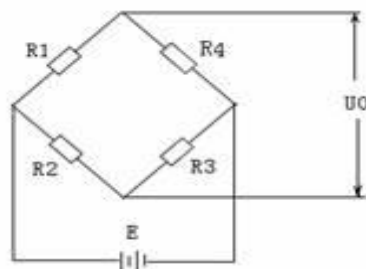


证明： $R_1 = R + \Delta R$ $R_4 = R - \Delta R$

$$U_{cd} = U_{cb} - U_{db} = \frac{R}{R + \Delta R + R} E - \frac{R}{R - \Delta R + R} E = - \frac{2R\Delta R}{4R^2 - \Delta R^2} E$$

略去 ΔR 的二次项, 即可得 $U_{cd} = - \frac{E}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R}$

2、图为一一直流应变电桥， $E = 4V$ ， $R_1=R_2=R_3=R_4=350\Omega$ ，求：① R_1 为应变片其余为外接电阻， R_1 增量为 $\Delta R_1=3.5\Omega$ 时输出 $U_0=?$ 。② R_1 、 R_2 是应变片，感受应变极性大小相同其余为电阻，电压输出 $U_0=?$ 。③ R_1 、 R_2 感受应变极性相反, 输出 $U_0=?$ 。④ R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 都是应变片, 对臂同性，邻臂异性，电压输出 $U_0=?$ 。



解：① $U_0 = \frac{E \Delta R}{4 R} = \frac{4}{4} \cdot \frac{3.5\Omega}{350\Omega} = 0.01V$

② $U_0 = 0$

③ $U_0 = \frac{E \Delta R}{2 R} = \frac{4}{2} \cdot \frac{3.5\Omega}{350\Omega} = 0.02V$

④ $U_0 = E \frac{\Delta R}{R} = \frac{4}{2} \cdot \frac{3.5\Omega}{350\Omega} = 0.04V$

一、判断 (20 分)

1. 差动变间隙式自感传感器的灵敏度是单线圈式自感传感器的4倍。 (×)
2. 差动变压器是把被测的非电量变化转换成线圈互感量的变化。 (√)
3. 改变电感传感器的引线电缆后，不必对整个仪器重新调零。 (×)
4. 电涡流式传感器可以用来测量各种形式的位移量。 (√)
5. 自感式传感器实现了把被测量的变化转变为电容量的变化。 (×)
6. 边缘效应不仅使电容传感器灵敏度降低，而且会产生非线性。 (√)
7. 电容传感器不能承受很大的温度变化。 (×)
8. 差动变压器式传感器可以测量与位移有关的任何机械量。 (√)
9. 电涡流式传感器可以无接触地测量各种振动的幅值 (√)
10. 电涡流式传感器常用于测量压力、加速度、微小位移、液位等。 (×)

二. 单选题 (20分)

1. 由两块平行板组成一个电容器, 若忽略其边缘效应, 其电容量为 (A)。
A. $C = \epsilon S/d$ B. $C = \epsilon d/S$ C. $C = \epsilon /Sd$ D. $C = Sd/\epsilon$
2. 在电容传感器中, 若采用调频法测量转换电路, 则电路中 (B)。
A. 电容和电感均为变量 B. 电容是变量, 电感保持不变
C. 电感是变量, 电容保持不变 D. 电容和电感均保持不变
3. 不能用涡流式传感器进行测量的是 (D)。
A. 位移 B. 材质鉴别 C. 探伤 D. 非金属材料
4. 在实际应用中, 为了改善非线性、提高灵敏度和减少外界干扰的影响, 电容传感器常做成 (B)。
A. 自感形式 B. 差动形式 C. 电涡流形式 D. 电容形式
5. 以下哪种途径不能提高差动变压器的灵敏度 (C)。
A. 增大铁芯直径 B. 选择较高的激磁电压频率
C. 降低线圈的 Q 值 D. 提高激磁电源电压
6. 为了使传感器具有较好的线性度, 一般取测量量范围为线圈骨架长度的 (D)。
A. $1/8 \sim 1/4$ B. $1/10 \sim 1/2$ C. $1/4 \sim 1/2$ D. $1/10 \sim 1/4$
7. 以下哪种传感器可以用来检测金属的表面裂纹和焊接部位的探伤 (C)。
A. 自感式传感器 B. 差动变压器 C. 电涡流式传感器 D. 电容式传感器
8. 测量范围大的电容式位移传感器类型为 (D)。
A. 变极板面积型 B. 变极距型 C. 变介质型 D. 容栅型
9. 在非电量测量中, 应用最多的差动变压器是哪种结构形式 (A)。
A. 螺线管式 B. 变隙式 C. 变面积式 D. 变体积式
10. 变面积式自感传感器, 当衔铁移动使磁路中空气缝隙的面积增大时, 铁心上线圈的电感量 (A)。
A. 增大 B. 不变 C. 减少 D. 变为零

三. 简答题 (30分)

1. 试比较自感式传感器与差动变压器式传感器的异同?

答: 自感式传感器与差动变压器式传感器相同点: 工作原理都是建立在电磁感应的基础上, 都可以分为变气隙式、变面积式和螺旋式等。

不同点: 结构上, 自感式传感器是将被测量的变化转化为电感线圈的电感值变化。差动变压器式电感式传感器是把被测量的变化转换为传感器互感的变化, 传感器本身是互感系数可变的变压器。

2. 自感式传感器测量电路的主要任务是什么? 变压器式电桥和带相敏检波的交流电桥, 哪个能更好地完成这一任务? 为什么?

主要任务: 把被测量变化转换成自感 L 的变化, 通过一定的转换电路转换成电压或者电流输出。

带相敏检波的交流电桥能更好的完成这一任务。使用相敏整流电路, 输出电压不仅能反映衔铁位移的大小和方向, 而且还消除了零点残余电压的影响。

3. 以自感式传感器为例说明差动式传感器可以提高其灵敏度的原理。

答: 单极式自感传感器的灵敏度为:

$$S = \frac{\Delta L}{\Delta l} = -\frac{L_0}{l_0} \left[1 - \frac{\Delta L}{L_0} + \left(\frac{\Delta L}{L_0} \right)^2 + \dots \right]$$

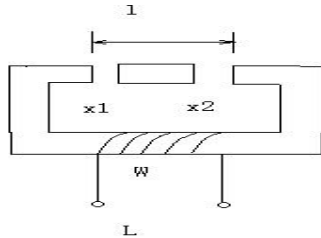
差动式传感器的灵敏度为:

$$S = \frac{2L_0}{l_0} \left[1 + \left(\frac{\Delta L}{L_0} \right)^2 + \dots \right]$$

由此可见, 与单极式比较其灵敏度提高一倍, 非线性大大减小。

四. 计算题

1. 分析下图所示自感传感器当动铁心左右移动 (x_1, x_2 发生变化时自感 L 变化情况。已知空气隙的长度为 x_1 和 x_2 ，空气隙的面积为 S ，磁导率为 μ ，线圈匝数 W 不变)。

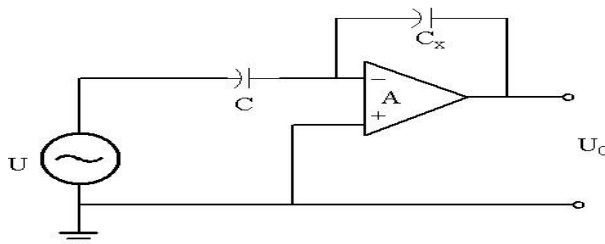


解:
$$\Phi = \frac{IW}{R_m}, \quad L = \frac{\Psi}{I} = \frac{W\Phi}{I} = \frac{W^2}{R_m}$$

又
$$R_m = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\mu_i S_i} + \frac{l_{x1}}{\mu_0 S_0} + \frac{l_{x2}}{\mu_0 S_0} = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\mu_i S_i} + \frac{l_0}{\mu_0 S_0}$$

空气隙的长度 x_1 和 x_2 各自变，而其和不变，另其他变量都不变故 L 不变

2. 下图为变极距型平板电容传感器的一种测量电路，其中 C_x 为传感器电容， C 为固定电容，假设运放增益 $A=\infty$ ，输入阻抗 $Z=\infty$ ；试推导输出电压 U_0 与极板间距的关系，并分析其工作特点。



解:

$$I_1 = I_2$$

$$C \frac{dU_I}{dt} = -C_x \frac{dU_O}{dt}$$

两边积分得到:

$$CU_I = -C_x U_O$$

$$U_O = -\frac{CU_I}{C_x} = -\frac{CdU_I}{\epsilon S}$$

式中负号表示输出电压 U_0 的相位与电源电压反相。上式说明运算放大器的输出电压与极板间距离 d 线性关系。运算放大器电路解决了单个变极板间距离式电容传感器的非线性问题。

但要求 Z_i 及放大倍数 K 足够大。为保证仪器精度，还要求电源电压 \dot{U}_i 的幅值和固定电容 C 值稳定。

一. 选择题。

- 1.将超声波（机械振动波）转换成电信号是利用压电材料的（C）
A 应变效应 B 电涡流效应 C 压电效应 D 逆压电效应
2. 在光线作用下，半导体电导率增加的现象（B）
A 外光电效应 B 内光电效应 C 光电发射 D 都不是
- 3.使用压电陶瓷制作的力或压力传感器可测（C）
A 人体体重 B 车道的压紧力 C 车刀在切削时感受的切削力的变化量 D 自来水管压力
- 4.光纤传感器的工作原理是基于（ B ）。
A、入射光的频谱与光电流的关系； B、光的折射定律；
C、光的衍射； D、光的强度与光电流的关系
5. 在下述位移传感器中，既适宜于测量大的线位移，又适宜于测量大的角位移的是（C）
A. 电容式传感器 B. 电感式传感器 C 光栅式传感器 D 电阻式传感器
- 6.对石英晶体，下列说法正确的是(A)。
A、沿光轴方向施加作用力，不会产生压电效应，也没有电荷产生
B、沿光轴方向施加作用力，不会产生压电效应，但会有电荷产生
C、沿光轴方向施加作用力，会产生压电效应，但没有电荷产生
D 沿光轴方向施加作用力，会产生压电效应，也会有电荷产生
- 7.人造卫星的光电池板利用（A）
A 光电效应 B 光化学效应 C 光热效应 D 感光效应
- 8.光电池属于（C）
A 外光电效应 B 内光电效应 C 光生伏特效应 D 不知道
- 9.固体半导体摄像元件 CCD 是一种（C ）
A. PN 结光电二极管电路 B. PNP 型晶体管集成电路
C. MOS 型晶体管开关集成电路 D. NPN 型晶体管集成电路
- 10.减小霍尔元件的输出不等位电势的办法是(C)
A、减小激励电流 B、减小磁感应强度 C、使用电桥调零电位器

一. 判断题。

- 1.磁电式传感器不需要辅助电源,就能把被测对象的机械量转换成易于测量的电信号,是一种无源传感器。(错)
- 2.编码器以其高精度高分辨率和高可靠性而被广泛应用于各种位移的测量。(对)
- 3..在光纤传感器中，数值孔径 NA 其实就是临界角，反映光纤接受光亮的多少。(对)
- 4.在光电式传感器中，光电流和亮电流都有很多，但暗电流只有一个；.暗电流大，光电流小的光敏电阻灵敏度越高。(错)
- 5.压电式传感器的工作原理是基于某些介质材料的压电效应,是一种典型的无源传感器（对）
- 6.压电式传感器适用于动态测量和静态测量（错）
- 7.光电效应可分为内光电效应，外光电效应和光生伏特效应三种类型。（对）
- 8.根据光受被测对象的调制形式，将光纤传感器分为强度调制型，偏振调制型，频率调制型，相位调制型。（对）
- 9.光敏二极管在测光电路中应处于反向偏置状态。（对）
- 10.磁电式传感器是利用导体和磁场发生相对运动而在导体两端产生感应电势的。而霍尔式传感器为霍尔元件在磁场中有电磁效应（霍尔效应）而输出电势的。霍尔式传感器可用来测量电流，磁场，位移，压力。（对）

1 请解释何为莫尔条纹？

答：把两块光栅距相等的光栅面向对叠合在一起，中间留有很小的间隙。并使两者的栅线之间形成一个很小的夹角 Q ，这样就可以看到在近于垂直栅线方向上出现明暗相间的条纹，这些条纹叫莫尔条纹。

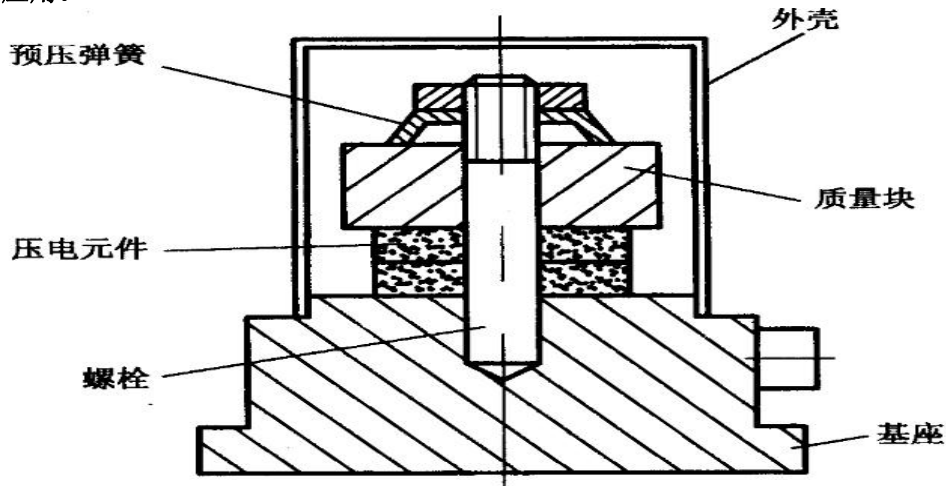
2.何为光电效应？

答：通常把光线照射到物体表面后产生的光电效应分为三类。第一类是利用在光线作用下光电子逸出物体表面的外光电效应,这类元件有光电管、光电倍增管；第二类是利用在光线作用下使材料内部电阻率改变的内光电效应，这类元件有光敏电阻；第三类是利用在光线作用

下使物体内部产生一定方向电动势的光生伏特效应，这类元件有光电池、光电仪表。

四. 应用题。

1. 压电传感器应用最多的是测力，凡是能转换成力的机械量，如位移，压力速度等，都可以用压电传感器测量，尤其是振动加速度的测量，下面请分析压电式加速度传感器在现实中的应用。



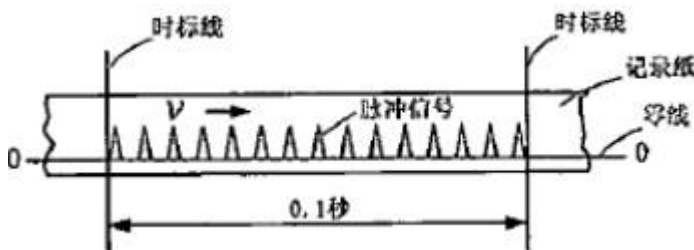
压缩式压电加速度传感器的结构原理图

1. 答：压电效应：某些电介质，当沿着一定方向对其施力而使其变形时，内部就产生极化现象，同时再它的两个表面上便产生符号相反的电荷，当外力去掉后，又重新恢复到不带电状态，这种现象称为正压电效应。反过来，当在电介质的极化方向上加电场时，它就会产生变形，这种现象称为逆压电效应。压电加速度计是利用正压电效应工作的。

如图，在测量时传感器底座与试件刚性固定，当感受振动时，质量块惯性很小，因此质量块与传感器基座同样振动，由于产生压电效应压电片产生电荷，当振动频率远小于传感器固有频率时，传感器输出电荷与作用力成正比，即与试件的加速度成正比，然后经放大器接测试仪器检测试件加速度。

2. 某一转速测量装置由一个霍尔传感器和一个带齿圆盘组成。其输出信号经放大器放大后由记录仪记录，记录纸记录的信号如图所示。

- (1) 简述霍尔效应
- (2) 当带齿圆盘的齿数为 $z=12$ ，求被测转速为每分钟多少转？
- (3) 带齿回盘的材料采用铜材是否可行？为什么？



答：(1) 置于磁场中的静止载流导体，当它的电流方向与磁场方向不一致时，载流导体上平行于电流和磁场方向上的两个面之间产生电动势，这种现象称霍尔效应。

(2) 由图可知：标线之间脉冲数 15 个，则 $f=150\text{HZ}$ $n=60f/Z=750(n/\text{min})$

(3) 不可以用铜材做带齿圆盘，铜为非导磁金属