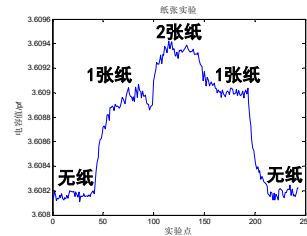
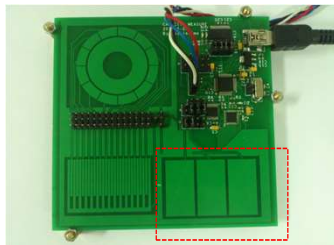


差动电容检测方案（例）

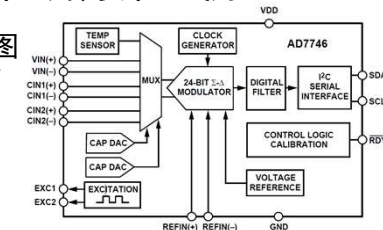
- 差动变电容式微弱电容传感器的设计与实现
- 采用AD7746电容数字转换器和STM32单片机设计了一款差动电容传感器及其硬件测量电路，对微小电容变化的测量精度可达0.2fF，转换频率约为4Hz，可用来实现纸张厚度检测或空气中粉尘沉积量的检测。



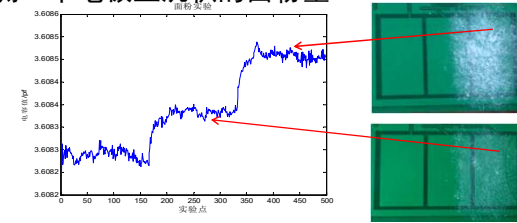
差动电容检测方案（例）

- AD7746的内部结构图

24-Bit Capacitance-to-Digital Converter



- 检测一个电极上沉积的面粉量



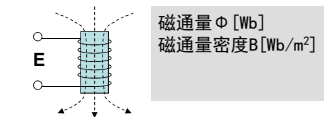
位移测量（2）

- 自感式位移传感器
- 互感式—差动变压器
- 偏位式和零位式检测结构
- 自动平衡式仪表：含反馈环节，零位式检测
 - 力矩平衡式（称重传感器）
 - 电位平衡式（温度记录仪）
 - 磁场平衡式（电流传感器）
 - 力平衡式（加速度传感器）
- 霍尔位移传感器
- 电涡流位移传感器

电磁传感器的基础知识

- 电磁感应 $E = -N \frac{d\Phi}{dt}$

感应电动势、感应电流的方向



- 自感 $L_1 = \frac{N_1 \phi_1}{I_1}$

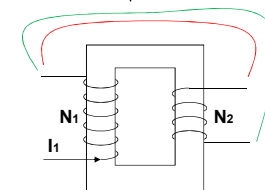
- 互感 $M = \frac{N_2 \phi_1}{I_1} = \frac{N_1 \phi_2}{I_2}$

$$M = k \sqrt{L_1 L_2}$$

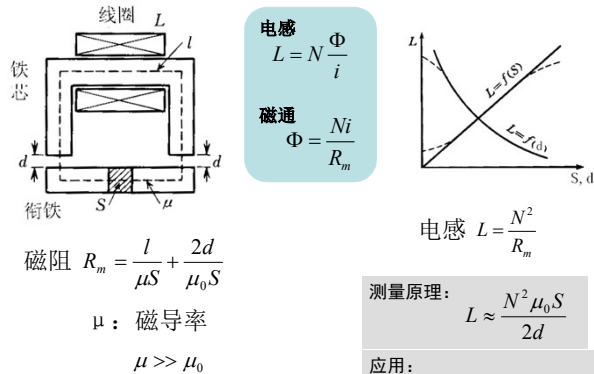
无漏磁时，电磁耦合系数 $k=1$

- 两个线圈顺接：两个线圈的磁通量方向相同；
- 两个线圈逆接：两个线圈的磁通量方向相反。

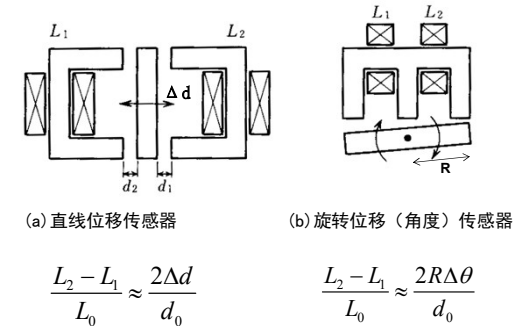
- 变压器： $V_2 : V_1 = N_2 : N_1$



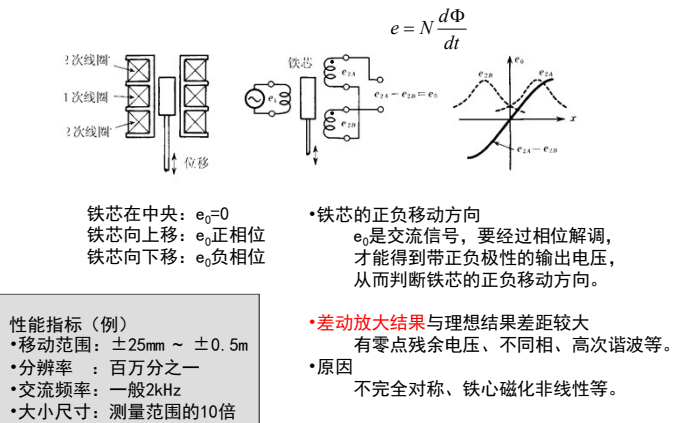
自感式位移传感器



自感式差动位移传感器

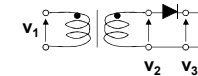


差动变压器—互感式位移传感器

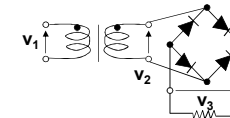


差动变压器转换电路—由交流获得直流

1) 半波整流电路



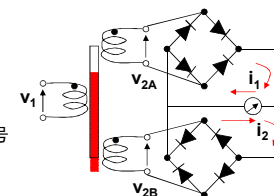
2) 全波整流电路



3) 差动全波整流电路

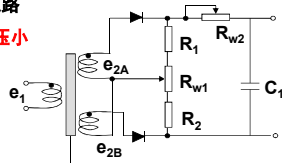
⇒ 相敏整流电路

将不同相位的交流信号
转换成相应极性的直流信号

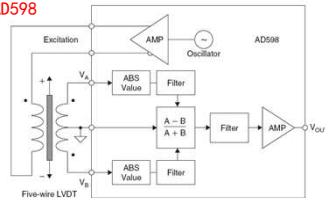


差动变压器转换电路—由交流获得直流

- 整流和滤波电路
零点残余电压小

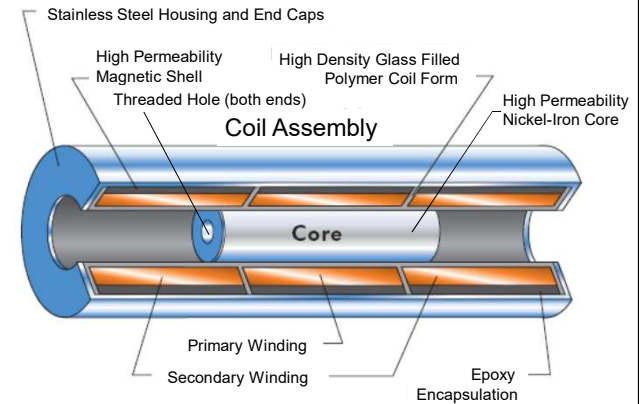


- 信号调理芯片AD598



LVDT结构图

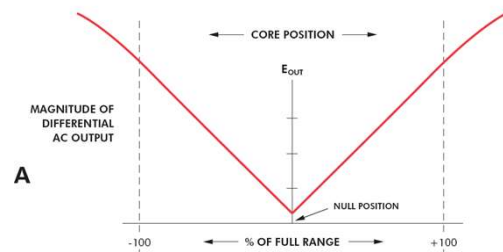
Linear Variable Differential Transformer



LVDT 输出信号

Linear Variable Differential Transformer

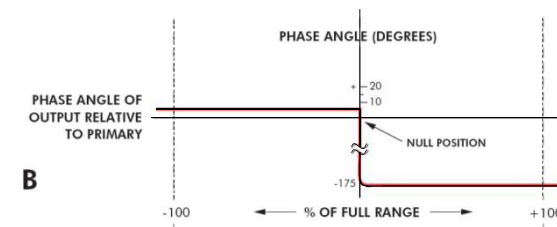
- 交流信号输出的幅值



LVDT 输出信号

Linear Variable Differential Transformer

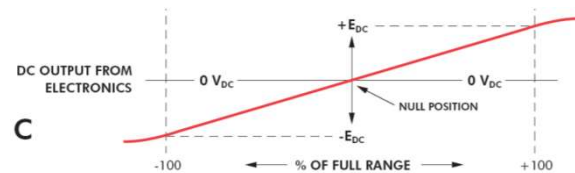
- 过零点时相位发生翻转：
与一次线圈对比，同相 ↔ 反相



LVDT 输出信号

Linear Variable Differential Transformer

- 经过处理的直流信号输出



差动变压器接口电路

原则：交流变直流

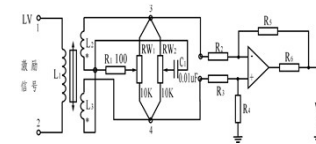
电路：相敏检波电路、整流滤波

集成芯片：AD598, NE5521等

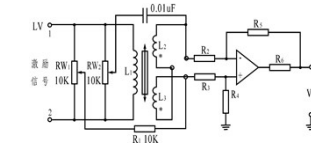
零点残余电压补偿 (实验)

- 补偿基波和高次谐波

(1) 电桥调平衡网络

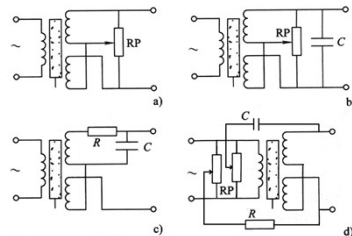


(2) 反馈式调平衡网络



零点残余电压补偿方法

- 1) 加串联电阻，消除与基波同相成分
- 2) 加并联电阻，消除与基波正交的成分
- 3) 加并联电容，改变相移，消除高次谐波
- 4) 加反馈电容和反馈电阻，补偿基波和高次谐波 =》实验内容之一



多选题 1分

设置

此题未设置答案，请点击右侧设置按钮

休息5分钟

判断下列描述是否正确

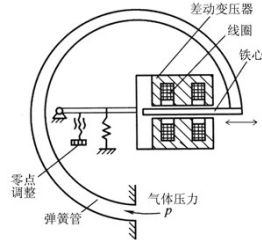
- ☐ A 利用LVDT的原理，可设计RotaryVDT测量角度
- ☐ B LVDT的位移分辨率高是因为输出与匝数有关
- ☐ C LVDT的输入电流如果有变化，需要考虑补偿
- ☐ D 电磁感应测量不容易上手

提交

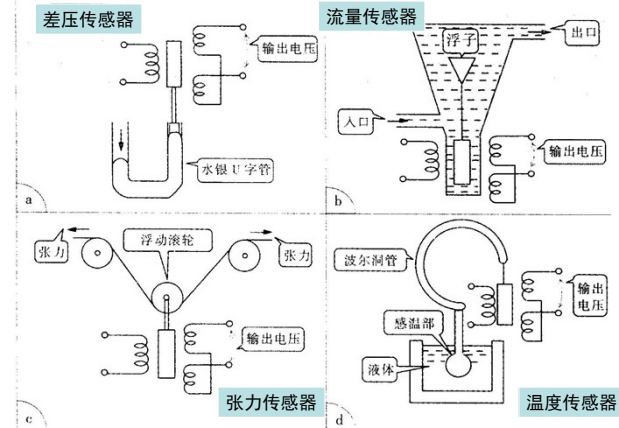
差动变压器的应用

例：气体压力传感器

气体压力升高，
弹簧管伸张，
LVDT的位移向右。



差动变压器的应用



来源：雨宫好文（日）《传感器入门》译本，科学出版社2000

差动变压器的特点

- 多种传感器的基础部件
气压传感器，温度传感器，流量传感器，张力传感器，...
- 特点：应用广泛
 - 铁心和线圈无摩擦（只有电磁耦合），无机械磨损，寿命长。
 - 分辨率无限小，由电路噪声和显示分辨率决定。
 - 铁心移动超出量程也无损坏。
 - 只对轴向敏感，对径向不敏感。
 - 铁心和线框可以是高压高温液体中的套筒等。
 - 电磁感应不受环境湿度和污染物的影响。（与电容传感器的最大区别）



- 偏位式和零位式检测
 - 在称重和电桥电路上的原理比较
 - 自动平衡式仪表：力矩平衡式，电位差平衡式

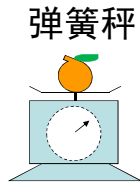
差动变压器的特点

- 作为多种传感器的基础部件应用广泛
气压传感器，温度传感器，流量传感器，张力传感器等等。
- 特点：
 - 铁心和线圈无摩擦（只有电磁耦合），无机械磨损，寿命长。
 - 分辨率无限小，由电路噪声和显示分辨率决定。
 - 铁心移动超出量程也无损坏。
 - 只对轴向敏感，对径向不敏感。
 - 铁心和线框可以是高压高温液体中的套筒等。
 - 电磁感应不受环境湿度和污染物的影响。（与电容传感器的最大区别）



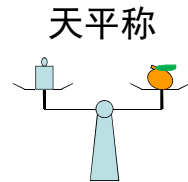
- 偏位式和零位式检测
 - 在称重和电桥电路上的两种方法比较
 - 自动平衡式仪表/传感器举例：
力矩平衡，电位差平衡，磁场平衡，力平衡等。

偏位式和零位式的称重方法比较



偏位式:

- 用偏离零点的大小表示输出量;
- 弹性随时间和温度变化的影响;
- 有滞环和非线性的影响



零位式:

- 在零点平衡;
- 克服了偏位式缺点;
- 利用自动平衡原理;
- 利用其他精密量参数输出。

电桥电路中的偏位法和零位法

- 电桥平衡下:

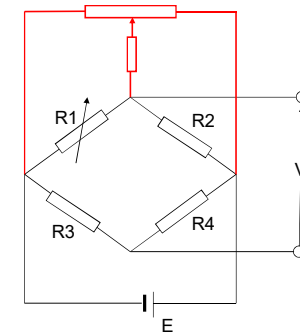
$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$

与E无关 (零位法)
利用其他精密电位器

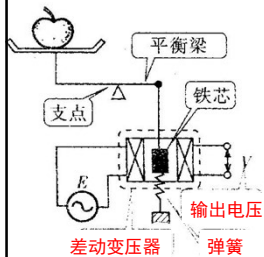
- R_1 发生变化:

$$V \approx \frac{\Delta R_1}{4R_1} E$$

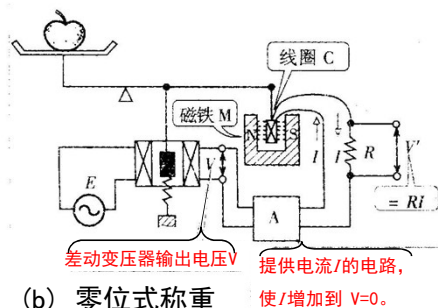
与E有关 (偏位法)
近似线性



偏位式和零位式重量传感器



(a) 偏位式称重



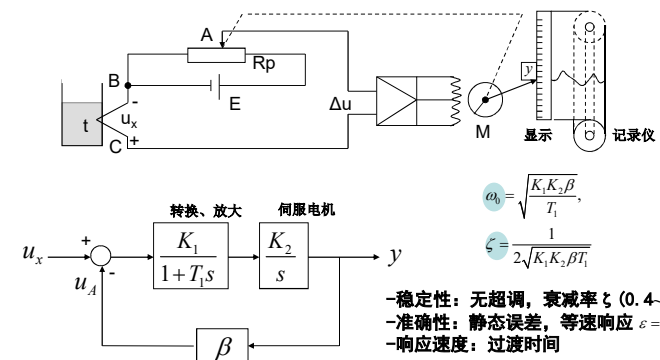
(b) 零位式称重

力矩平衡式重量传感器



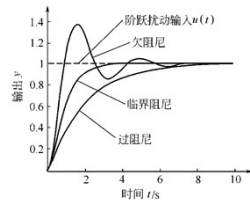
电位平衡式温度记录仪

- 含积分环节 (伺服电机), 二阶系统



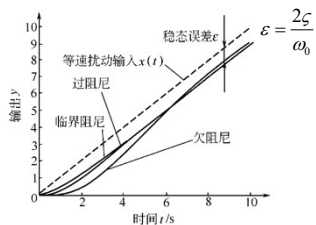
二阶系统的响应特性

阶跃扰动响应特性



$$G(s) = \frac{K_1 K_2}{s(1 + T_1 s)} = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{\omega_0^2}{s^2 + 2\zeta\omega_0 s + \omega_0^2},$$

等速扰动响应特性

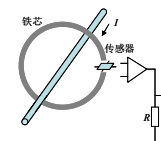


$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K_1 K_2 \beta}{T_1}},$$

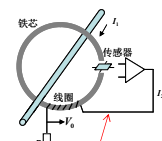
$$\zeta = \frac{1}{2\sqrt{K_1 K_2 \beta T_1}}$$

平衡式电流传感器

开环型霍尔电流检测



闭环型霍尔电流检测

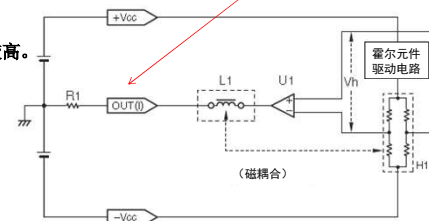


开环型霍尔电流传感器：

一般精度低，带宽窄；

闭环型霍尔电流传感器：

一般带宽较宽，精度较高。



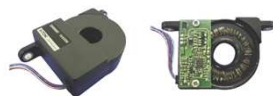
平衡式电流传感器

需求：

- 非接触电流测量；
- 大电流测量（200A）；
- 直流和交流电流成分同时测量；
- 耐振耐高温高温，耐电磁干扰，耐静电

应用领域：

- 动力电池的电流监测，
- 如：混合动力车的锂电池的充放电等



电流传感器性能指标

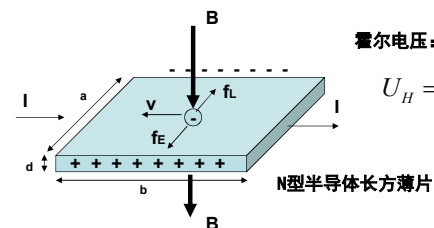
被测电流量程 -200 to +200A (F.S.)
工作电压：±12V ±5%
工作温度：-30 to +80 °C
被测电流比：4000/1

零点偏移 (A)：±0.8max
增益误差 (%)：±0.4max
合成误差 (A)：±0.8max
电流消耗 (mA)：±80max
响应时间 (us)：10max
绝缘电阻 (MΩ)：100min

被测电流：I(1) (A)
绕组数：1匝
U1的反馈电流：I(2) (A)
线圈L1的匝数：4000
则：I(1) × 1 = I(2) × 4000

霍尔传感器

—磁场传感器、电流/电功率传感器—



霍尔电压：

$$U_H = \frac{IB}{ned} = \frac{R_H}{d} IB$$

恒定电流条件下，测量磁感应强度B，KHz以下；
恒定磁场条件下，测量电流I，可达GHz。

d=0.1-0.2mm

a:b=1:2

长边方向上电流引线

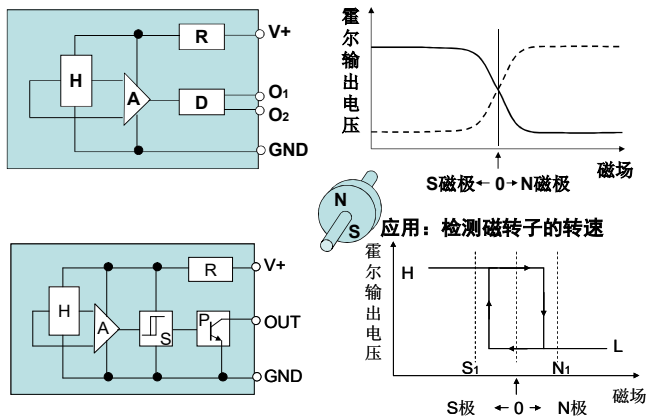
短边方向上霍尔电压引线

$$F_L = evB$$

$$F_E = e \frac{U_H}{a}$$

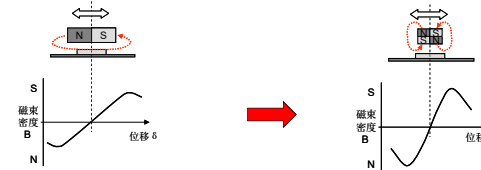
$$I = -nevad$$

霍尔集成器件：线性输出和开关输出

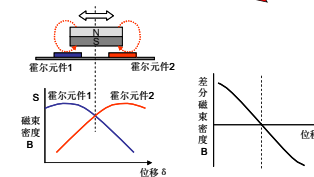


霍尔位移检测方法

(a) 检测水平方向磁极的位移 (b) 检测垂直方向磁极的位移

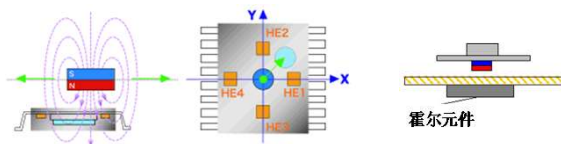


(c) 霍尔元件差动检测位移

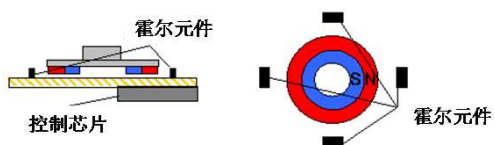


四霍尔元件水平定位

(a) 垂直方向磁极和水平方向霍尔元件



(b) 水平方向磁极和垂直方向霍尔元件



多选题 1分

设置

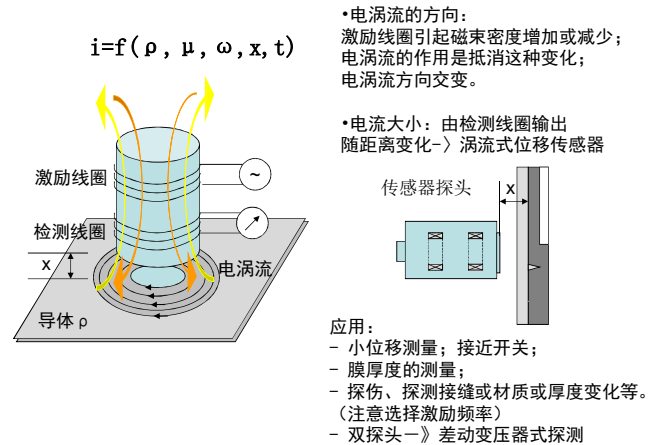
此题未设置答案，请点击右侧设置按钮

判断下列描述的正确与否

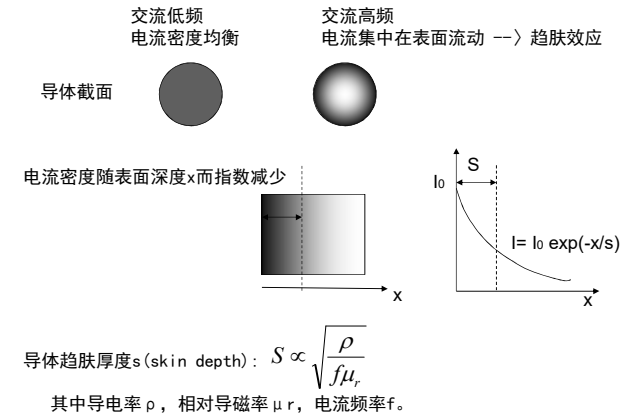
- ☐ A 平衡式仪表也叫闭环式、伺服式仪表。
- ☐ B 闭环式仪表为了不超调，参数ζ越小越好。
- ☐ C 霍尔位移检测中需要考虑磁极的排列方向。
- ☐ D 四霍尔元件定位时可用开关式霍尔元件。

提交

涡流式位移传感器



导体的电流趋肤效应 (Skin Effect)



电磁屏蔽板厚的计算 (Skin Effect)

- 趋肤厚度的计算S[mm]:
- | 频率 | Al ($\rho = 2.75 \times 10^{-8} \Omega \cdot m, \mu_r = 1$) | Fe ($\rho = 10 \times 10^{-8} \Omega \cdot m, \mu_r = 200$) |
|-------|---|---|
| 50Hz | 11.8 | 1.59 |
| 1kHz | 2.64 | 0.340 |
| 10MHz | 0.0264 | |
- 金属板厚度d比趋肤厚度S足够大时,
电涡流流动充分, 磁通不能穿透金属板 => 屏蔽作用, 接近开关
- 金属板厚度d较小时, 涡流不能充分流动, 有磁通穿过 => 板厚探测
- 金属板厚度d一定时,
激励线圈电流频率高 => 电磁屏蔽
激励线圈电流频率低 => 磁通泄漏

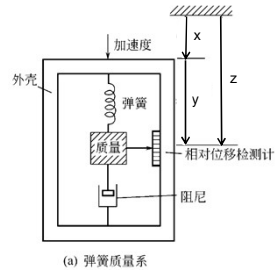
电涡流焦尔热的利用

- 感应加热炉:
线圈接通高频交流电, 金属块-涡电流-焦尔热-融化
- 观察变压器铁芯:
避免产生涡电流的叠片铁芯结构, 表面氧化膜绝缘, 磁通方向平行于铁芯薄板。

电流趋肤效应的利用

- 表面裂纹深度计;
- 高频表面淬火;
- 高频加压焊接;

加速度检测原理



(a) 弹簧质量系

$$y = \frac{A\omega^2/\omega_0^2}{\sqrt{(1-\frac{\omega^2}{\omega_0^2})^2 + (2\zeta\frac{\omega}{\omega_0})^2}} \sin(\omega t - \phi)$$

$$\tan \phi = \frac{2\zeta\frac{\omega}{\omega_0}}{(1-\frac{\omega^2}{\omega_0^2})}$$

质量块m, 弹簧k, 阻尼c,
外壳支点振动位移 $x = A \sin \omega t$
牛顿定律:

$$m \frac{d^2(y+x)}{dt^2} = -c \frac{dy}{dt} - ky$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\zeta\omega_0 \frac{dy}{dt} + \omega_0^2 y = A\omega^2 \sin \omega t \quad (= -\frac{d^2 x}{dt^2})$$

$$\omega_0 = \sqrt{k/m}$$

$$\zeta = c/(2m\omega_0)$$

→ 相对位移检测, 测量输出 $y, y = y_0 \sin(\omega t - \phi)$

→ $\omega \gg \omega_0$ 时, 支点位移检测, $y \approx -A \sin \omega t$

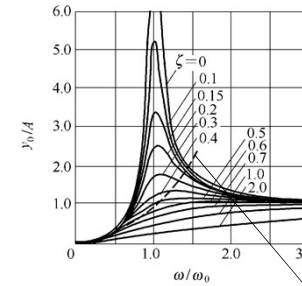
$\omega \ll \omega_0$ 时, 支点加速度检测;

$$y \approx A(\omega^2/\omega_0^2) \sin \omega t$$

刚性大, 小质量

$\omega = \omega_0$ 时, 支点速度检测

加速度传感器的振动频率特性



(b) 振动频率特性

当 $\omega \ll \omega_0$ 时

$$y \approx -\frac{1}{\omega_0^2} \frac{d^2 x}{dt^2}$$

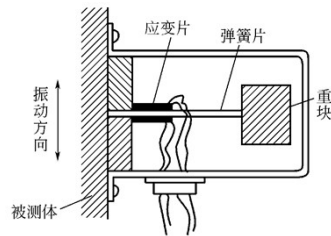
当 $\omega \gg \omega_0$ 时

$$y \approx -x$$

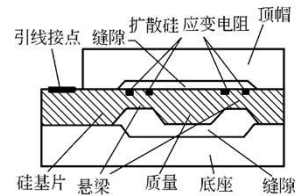
$$y_0 / A = \frac{\omega^2}{\omega_0^2}$$

各种加速度传感器

- 质量块的相对位移的检测方法不同

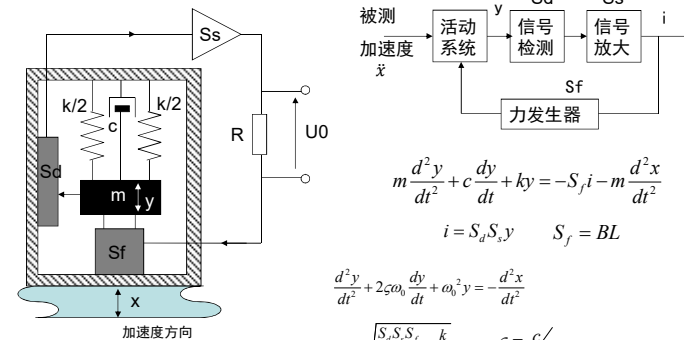


应变片悬臂梁振动检测



扩散硅压阻膜片

伺服式（闭环）加速度测量方法



$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + ky = -S_f i - m \frac{d^2 x}{dt^2}$$

$$i = S_d S_s y \quad S_f = BL$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\zeta\omega_0 \frac{dy}{dt} + \omega_0^2 y = -\frac{d^2 x}{dt^2}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{S_d S_s S_f}{m} + \frac{k}{m}} \quad \zeta = \frac{c}{2m\omega_0}$$

加速度计工作状态:

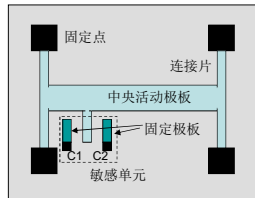
$$y = -\frac{1}{\omega_0^2} \frac{d^2 x}{dt^2}$$

\ddot{x} 输出灵敏度:

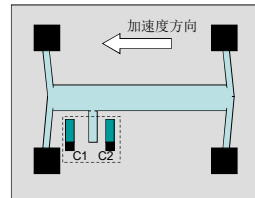
$$S_{U_0} = \frac{U_0}{\ddot{x}} = \frac{-mR}{S_f} \cdot \frac{1}{1 + k/(S_d S_s S_f)}$$

叉指式硅微加速度传感器

静止状态: $C_1=C_2$



活动状态: $C_1 \neq C_2$



ADXL50的性能和技术指标

满刻度量程: $\pm 50g$;

单电源: $+5V$;

输出电源范围: $0.25-4.75V$

灵敏度: $20mV/g$;

能承受: $2000g$ 的冲击;

用户设定输出放大器的倍数, 调节 $0g$ 的电平;

可改变带宽: $DC-1KHz$;

谐振频率: $24KHz$

采用闭环反馈力平衡技术;

→保持极板在中间位置平衡

→消除横梁非线性老化的影响

叉指电容式MEMS加速度传感器

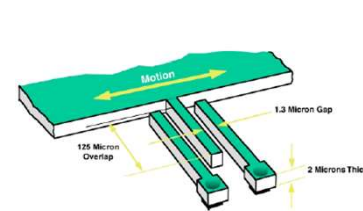


Figure 1. Beam Dimensions for a Single Finger.

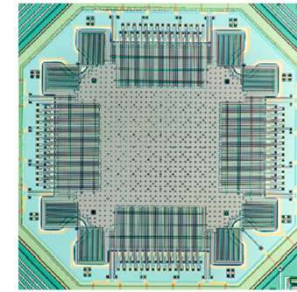


Figure 2. ADXL202 Beam Structure.

思考题

- 4-1 举例说明偏位式和零位式检测结构的不同。
- 4-2 电感式位移传感器对于使用条件和环境的要求有哪些优势?
(和电容式及光电式传感器相比较)
- 4-3 差动变压器在铁芯处于正中位置时输出不为零, 分析其如下原因的对错。
 - a 铁芯材料磁特性不对称 ()
 - b 二级线圈相位特性不一致 ()
 - c 一次线圈有谐波输入 ()
- 4-4 差动变压器相敏整流电路的作用是什么?
- 4-5 力矩平衡式重量传感器用 () 参数表示被测重量;
电位平衡式温度传感器用 () 参数表示被测温度。

思考题

- 4-6 电位平衡式温度传感器的性能要求是: 不超调, 过渡时间短, 跟踪紧。
分别对应仪表的什么性能指标? 由哪两个系统参数决定?
- 4-7 什么是电涡流, 利用电涡流的检测应用有哪些? 电涡流式厚度探测仪需要探测较厚钢板时, 应该选择相对高频还是低频激励信号?
- 4-8 填空:
加速度检测的基础是 () 检测。
加速度检测系统是 () 的二阶系统。
当 () 远小于 () 的条件下, 二阶系统的相对位移相当于加速度。
- 4-9 闭环式加速度测量的灵敏度是否与弹簧弹性系数有关? 开环检测呢?
分别写出其测量灵敏度的表达式。
- 4-10 用固有频率为 $2000Hz$, 衰减比为 0.5 的加速度检测仪, 分别检测 $1200Hz$ 的振动加速度和 $400Hz$ 的振动加速度, 比较两种情况下加速度检测的系统误差的大小。