



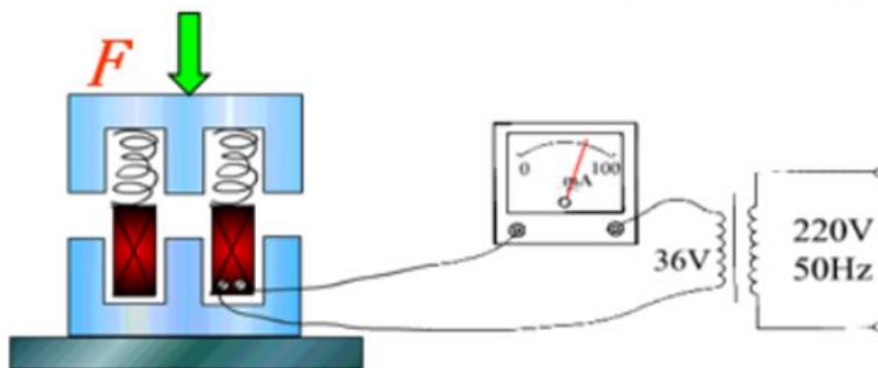
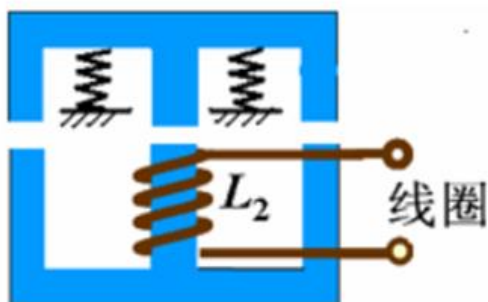
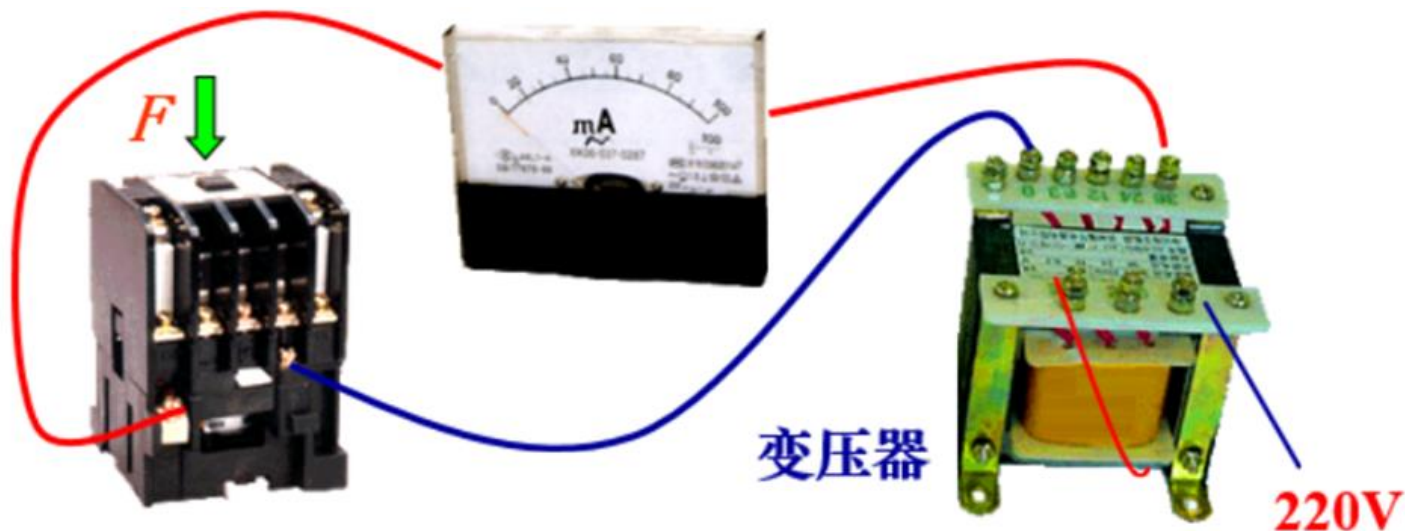
阻抗式传感器

Impedance Sensors



3.3 电感式传感器

交流
接触器



气隙变小，电感变大，电流变小。

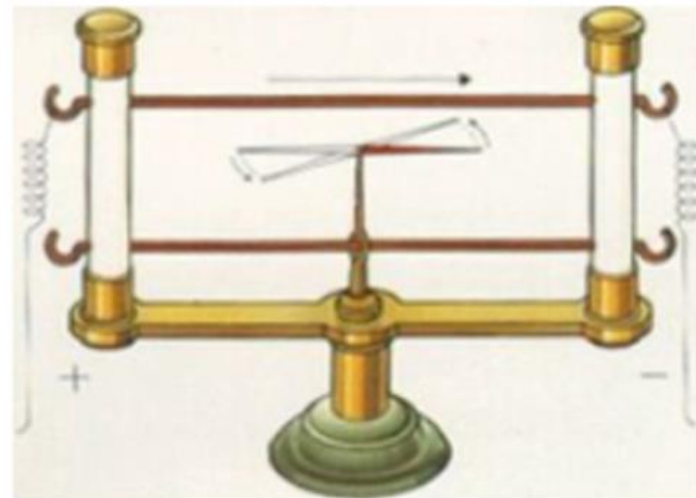


3.3 电感式传感器

1820年，奥
斯特发现电
流的磁效应



Hans Christian Oersted
(1770-1851)



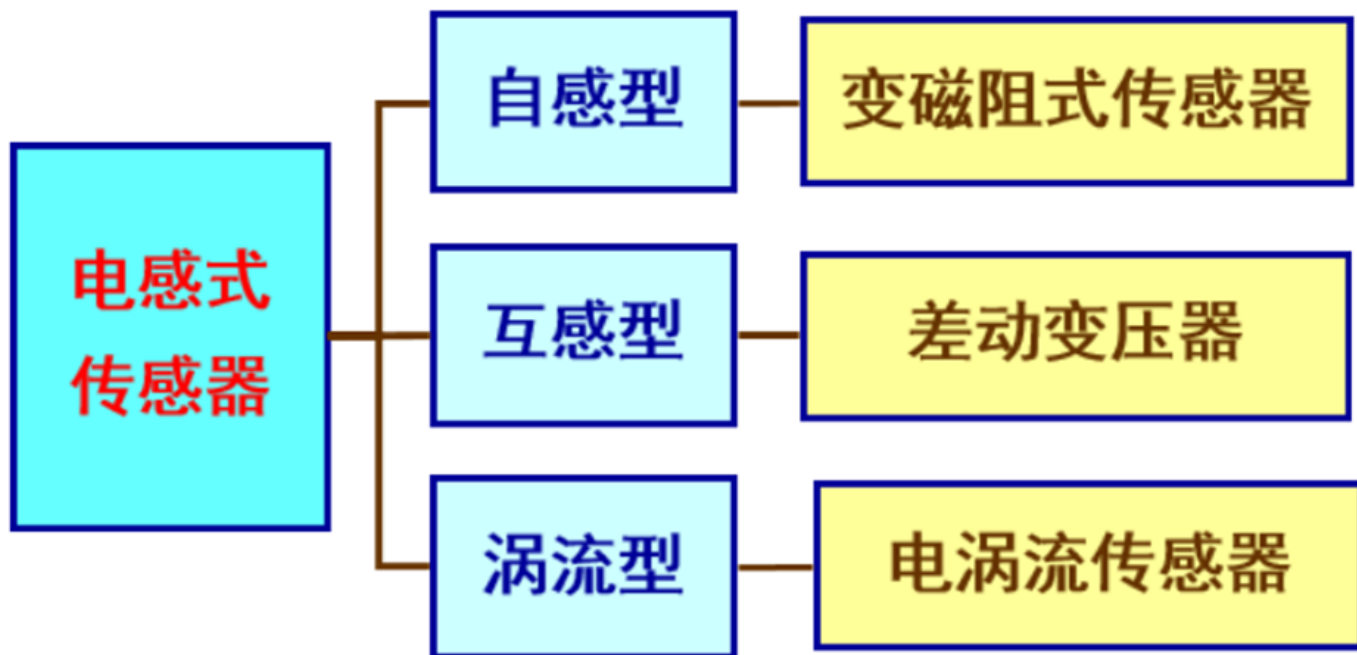
1831年，法
拉第发现电
磁感应现象





3.3 电感式传感器

电感式传感器是基于**电磁感应原理**，它是把被测量转化为**电感量**的一种装置。常用来测量位移、压力、流量、振动等物理参数。





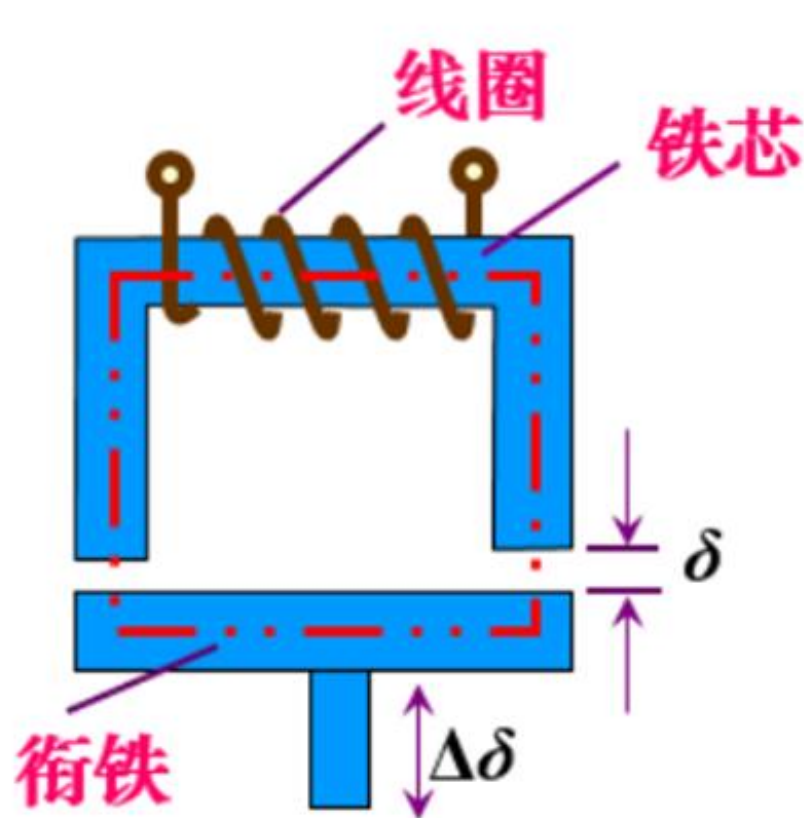
3.3.1 变磁阻式传感器

授课内容介绍

- 工作原理
- 信号调理电路
- 影响变磁阻式传感器精度的因素
- 应用



3.3.1 变磁阻式传感器



变磁阻式传感器
的结构

$$L = \frac{W^2}{R_m}$$

线圈匝数
总磁阻1/H

磁通通过铁
芯的长度

$$R_m = \frac{l_1}{\mu_1 S_1} + \frac{l_2}{\mu_2 S_2} + \frac{2\delta}{\mu S}$$

磁导率
H/M

$$R_m \approx \frac{2\delta}{\mu S}$$

$$L = \frac{W^2}{R_m} = \frac{W^2 \mu S}{2\delta}$$



1. 工作原理

$$L = \frac{W^2 \mu S}{2\delta}$$

- 1) 变气隙厚度 δ 的电感式传感器 ($L-\delta$)
- 2) 变气隙面积 S 的电感式传感器 ($L-S$)
- 3) 变铁芯磁导率 μ 的电感式传感器 ($L-\mu$)

1) 变气隙厚度的电感式传感器

衔铁上移 $\Delta\delta$, $\delta=\delta_0-\Delta\delta$

$$\Delta L = \frac{W^2\mu S}{2(\delta_0-\Delta\delta)} - \frac{W^2\mu S}{2\delta_0} = L_0 \frac{\Delta\delta/\delta_0}{1-\Delta\delta/\delta_0}$$

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\Delta\delta}{\delta_0} \cdot \left[1 + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0} \right) + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0} \right)^2 + \dots \right]$$

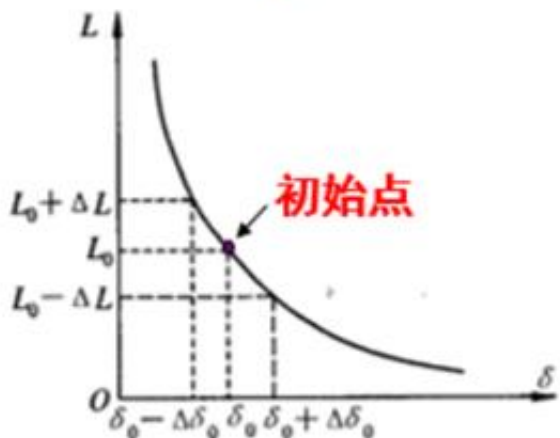
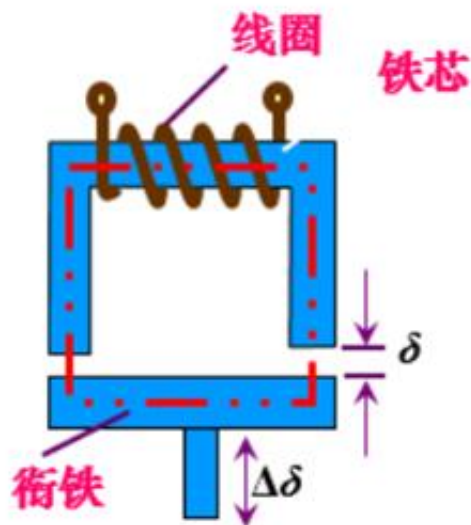
衔铁下移 $\Delta\delta$, $\delta=\delta_0+\Delta\delta$

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\Delta\delta}{\delta_0} \cdot \left[1 - \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0} \right) + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0} \right)^2 - \dots \right]$$

忽略高阶项: $\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\Delta\delta}{\delta_0}$

灵敏度为:

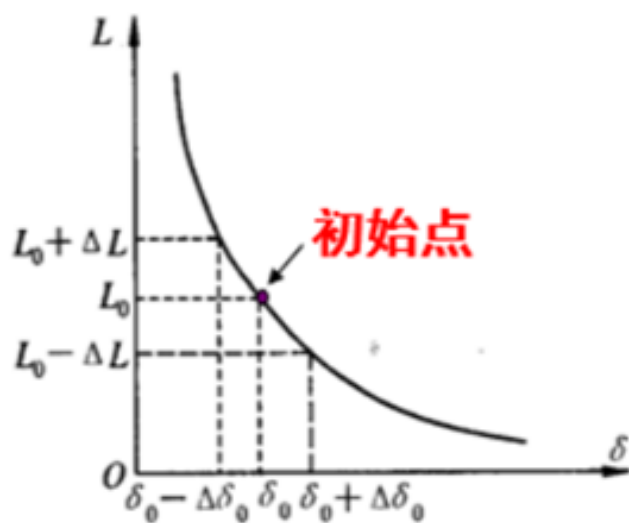
$$S_n = \frac{\Delta L}{\Delta\delta} = \frac{L_0}{\delta_0} = \frac{W^2\mu S}{2\delta_0^2}$$





1) 变气隙厚度的电感式传感器

- 输出特性**非线性**；为获得较好的线性关系，须限制测量范围，使衔铁位移在较小的范围内变化（ $\Delta\delta \ll \delta_0$ ），一般取 $\Delta\delta = (0.1 \sim 0.2) \delta_0$ 。



- 为获得较高灵敏度，**气隙的初始值 δ_0 不宜过大**。适用于微小位移的测量，测量范围为 **0.001~1mm**。



1) 变气隙厚度的电感式传感器

变气隙型差动式自感传感器

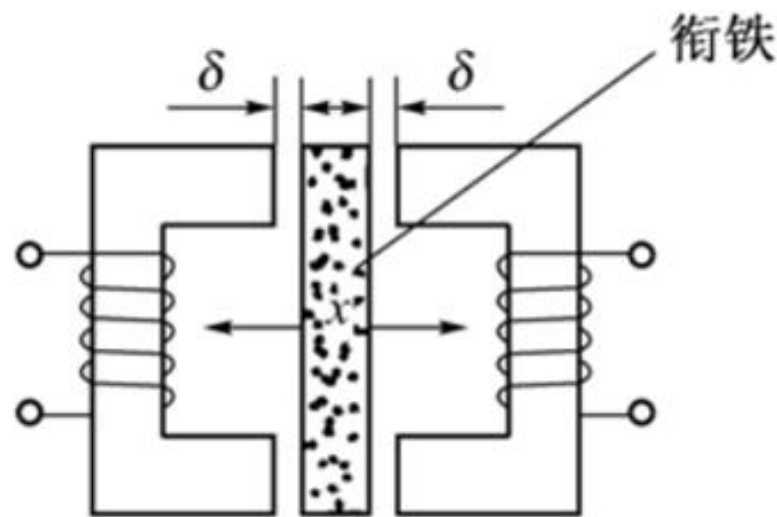
衔铁右移:

$$L_1 = \frac{W^2 \mu S}{2(\delta_0 + \Delta\delta)}$$

$$L_2 = \frac{W^2 \mu S}{2(\delta_0 - \Delta\delta)}$$

$$L_1 = L_0 \left[1 - \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0} \right) + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0} \right)^2 - \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0} \right)^3 + \dots \right]$$

$$L_2 = L_0 \left[1 + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0} \right) + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0} \right)^2 + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0} \right)^3 + \dots \right]$$





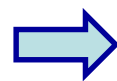
1) 变气隙厚度的电感式传感器

$$\Delta L = 2L_0 \left[\frac{\Delta\delta}{\delta_0} + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0} \right)^3 + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0} \right)^5 + \dots \right]$$

$$\frac{\Delta L}{L_0} = 2 \left[\frac{\Delta\delta}{\delta_0} + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0} \right)^3 + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0} \right)^5 + \dots \right]$$

- 式中不存在偶次项，差动式自感传感器的非线性误差在 $\pm\delta$ 工作范围内比单个自感传感器的小得多。

忽略高阶项： $\frac{\Delta L}{L_0} \approx 2 \frac{\Delta\delta}{\delta_0}$



$$S_n = \frac{\Delta L}{\Delta\delta} = 2 \frac{L_0}{\delta_0}$$

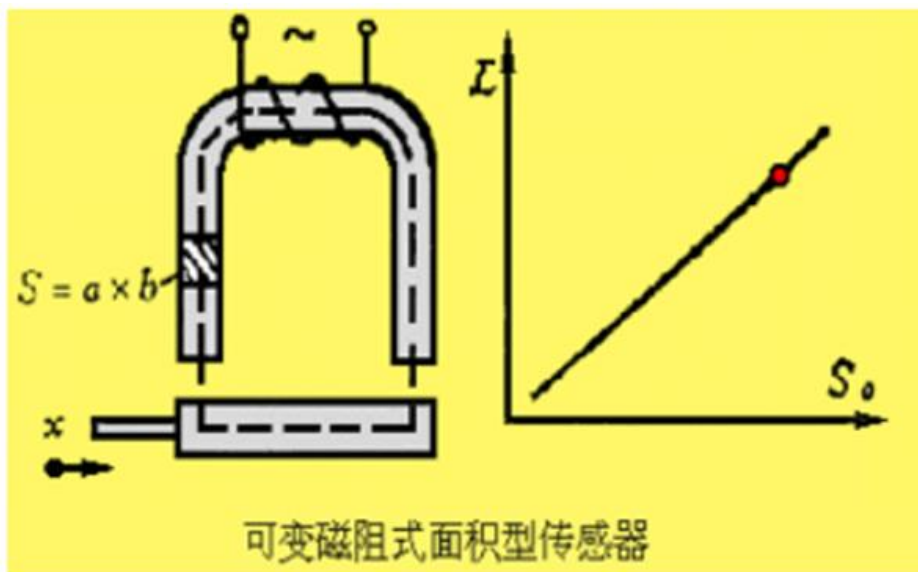


1) 变气隙厚度的电感式传感器

差动式与单线圈电感式传感器相比，有下列优点：

- 线性度好；
- 灵敏度提高一倍；
- 温度变化、电源波动、外界干扰等对传感器精度的影响，由于能互相抵消而减小；
- 电磁力对测力变化的影响也由于相互抵消而减小。

2) 变气隙面积的电感式传感器



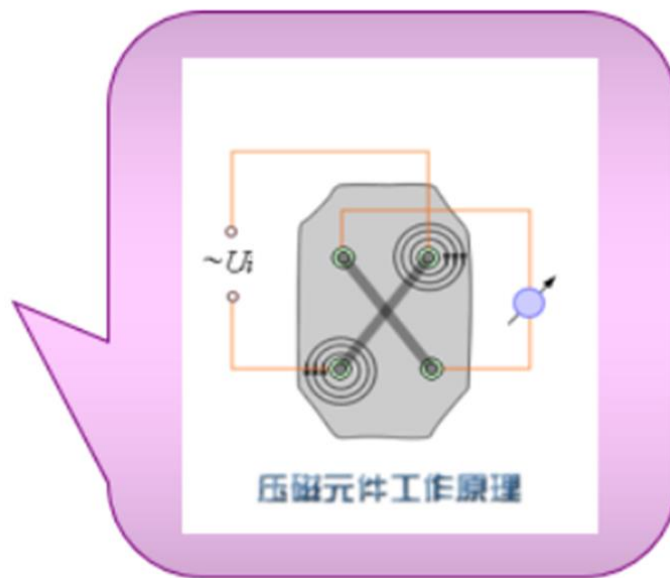
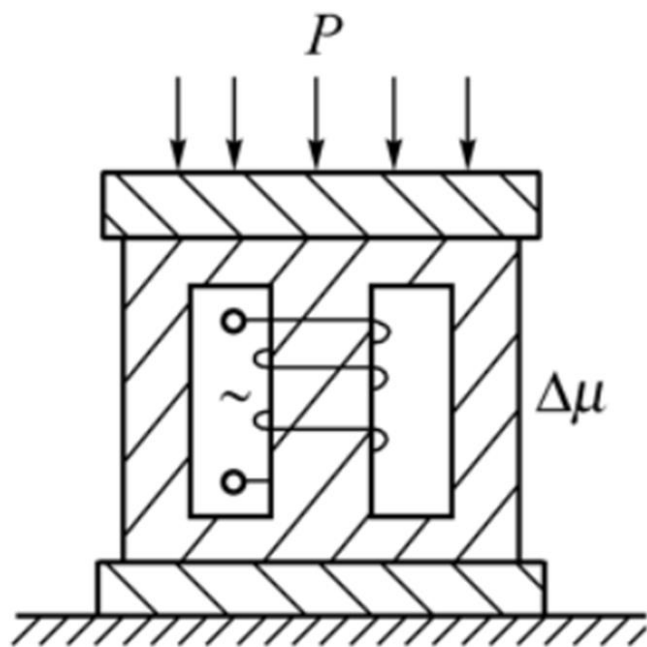
$$S_n = \frac{\Delta L}{\Delta S} = \frac{W^2 \mu}{2\delta}$$

- 输出特性为线性，因此测量范围大，灵敏度低。
- 要提高灵敏度，气隙厚度 δ 不能过大。



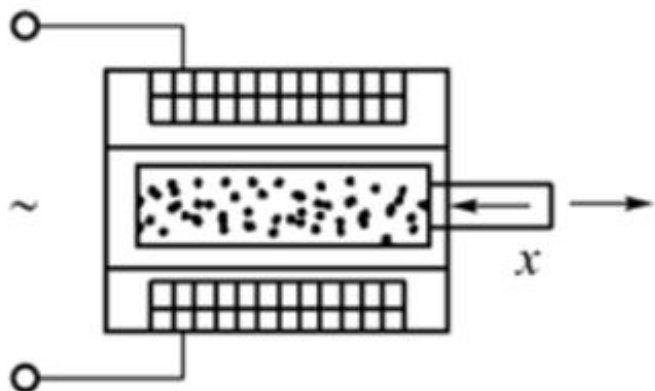
3) 变铁芯磁导率电感式传感器

它是利用某些铁磁材料的压磁效应，所以，也称压磁式传感器，主要用于各种力的测量。

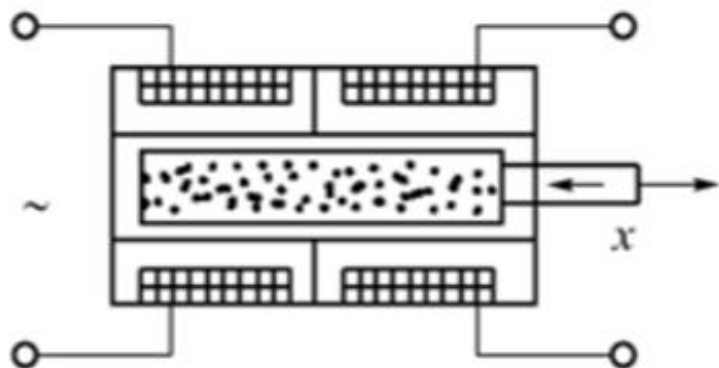


压磁效应

4) 螺管式自感传感器



➤ **工作原理：**当铁芯在线圈中运动时，将改变磁阻，使线圈自感发生变化。

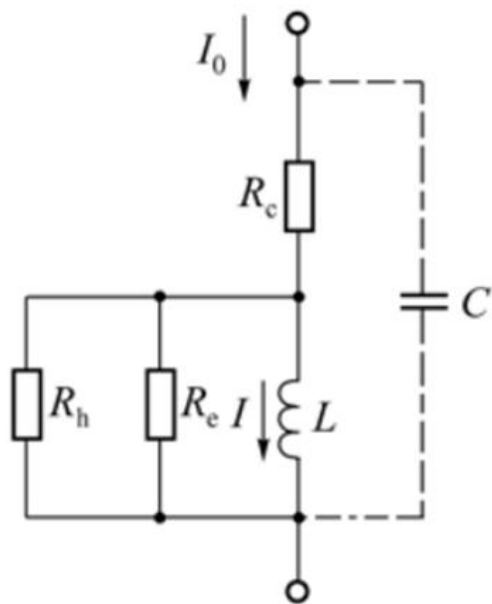


➤ **特点：**结构简单、制造容易，但灵敏度低，适用于较大位移（数毫米）测量。



2. 等效电路

实际传感器中，线圈不可能是纯电感，它包括线圈的铜损电阻 R_c ；铁芯的涡流损耗电阻 R_e ；磁滞损耗电阻 R_h ；由于线圈和测量设备电缆的接入，存在线圈固有电容和电缆的分布电容，用集中参数 C 表示。



L —线圈的电感

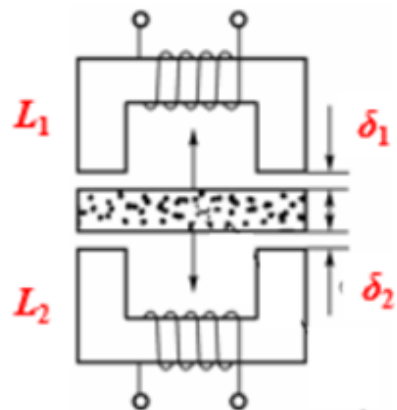
R_c —线圈的电阻

R_e —铁芯的涡流损耗电阻

R_h —磁滞损耗电阻

C —线圈的固有电容

3. 信号调节电路



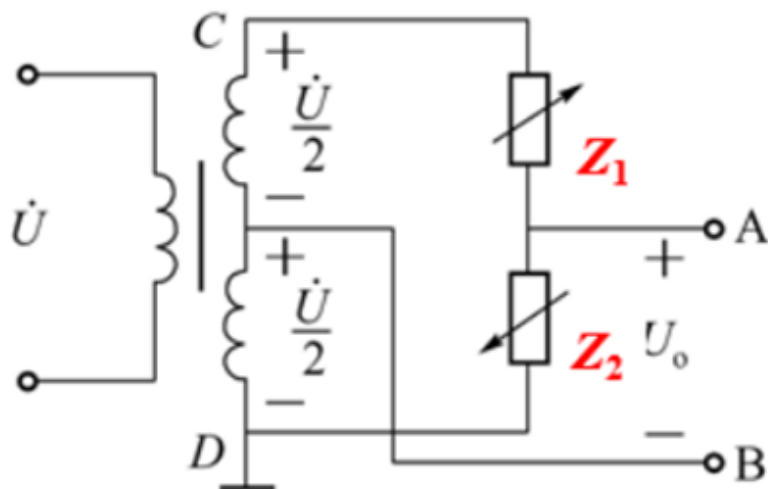
$$\dot{U}_0 = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \dot{U} - \frac{1}{2} \dot{U} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \frac{\dot{U}}{2}$$

➤ 当衔铁在中间位置时, $Z_1 = Z_2$:

$$\dot{U}_0 = 0$$

➤ 当衔铁上移, $Z_1 = Z + \Delta Z$, $Z_2 = Z - \Delta Z$:

$$\dot{U}_0 = -\frac{\Delta Z}{Z} \frac{\dot{U}}{2} = -\frac{\Delta L}{L} \frac{\dot{U}}{2}$$

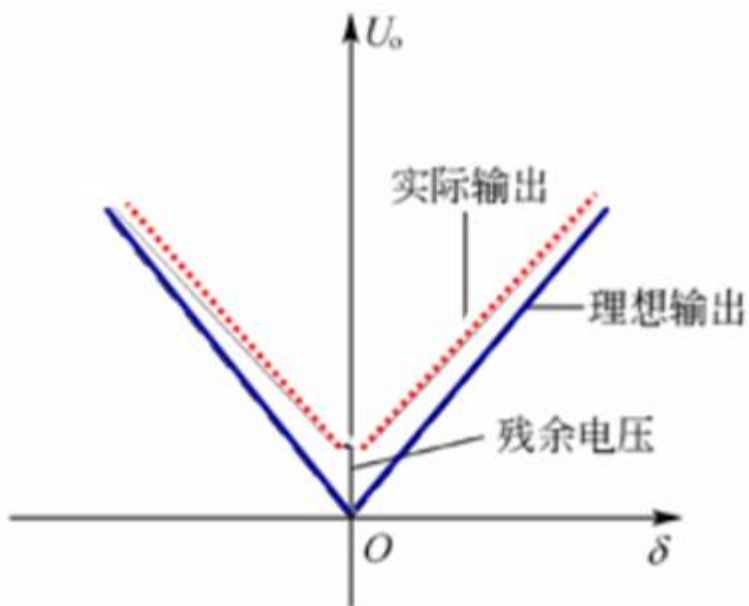


➤ 当衔铁下移, $Z_1 = Z - \Delta Z$, $Z_2 = Z + \Delta Z$:

$$\dot{U}_0 = \frac{\Delta Z}{Z} \frac{\dot{U}}{2} = \frac{\Delta L}{L} \frac{\dot{U}}{2}$$



3. 信号调节电路



➤ 零点残余电压主要是由传感器的两个电感线圈的电气参数与几何尺寸不对称、磁性材料的非线性、电源电压中含有高次谐波、寄生电容等问题引起的。

➤ 零点残余使得传感器的输出特性在零点附近不灵敏，给测量带来误差，它的大小是衡量差动变压器性能好坏的重要指标。



4. 影响变磁阻式传感器精度的因素

1) 内部因素

- L - δ 非线性误差—属原理性误差
- 残余电压—零位误差

2) 外部因素

- 温度变化的影响
- 电源电压和频率波动的影响



4. 影响变磁阻式传感器精度的因素

➤ 温度变化的影响

- 零件几何尺寸
- 线圈电阻及导磁体磁导率变化

➤ 电源电压和频率波动的影响

- 直接影响输出电压
- 导磁体磁导率波动