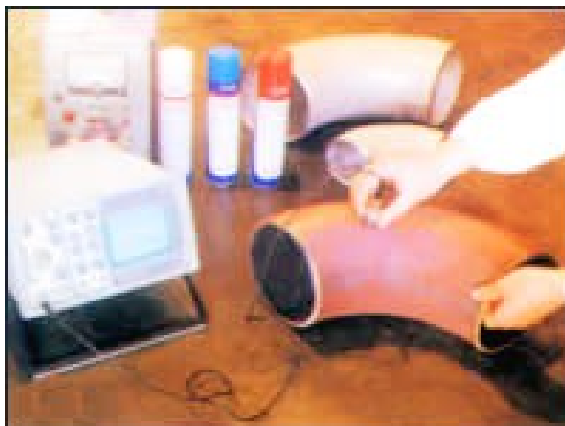


无损探伤的原理

?

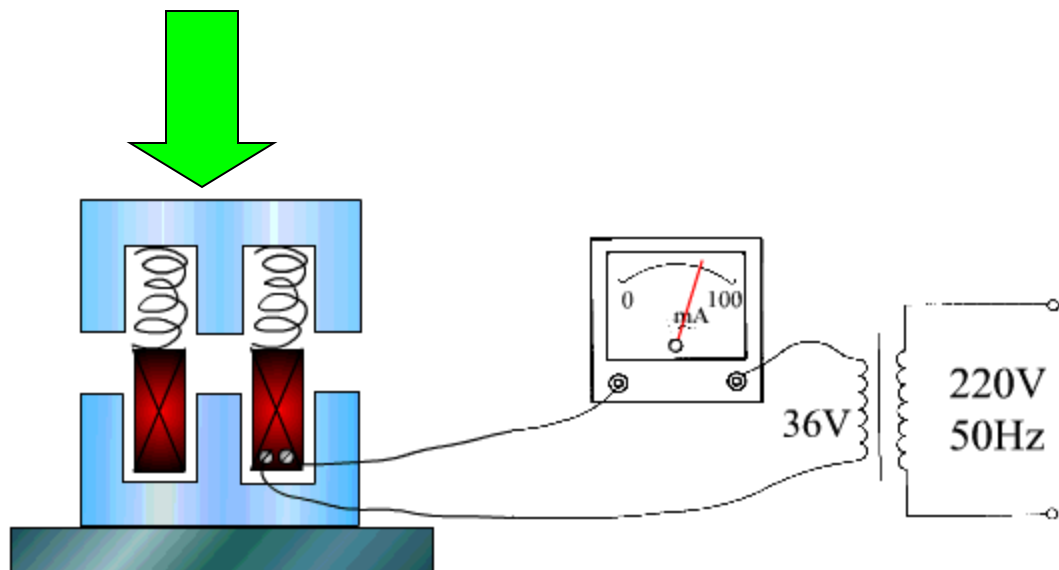




课题三 电感式传感器测压力

电感传感器的基本工作原理演示

F



气隙变小，电感变大，电流变小

知识目标：

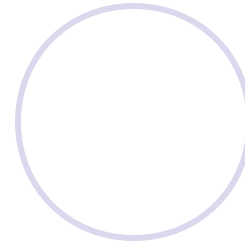
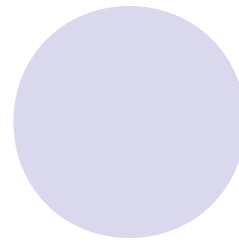
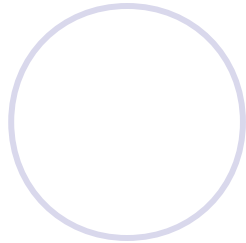
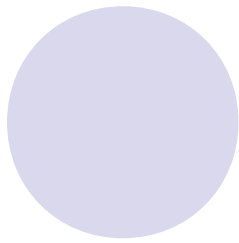
- (1) 理解和掌握电感式传感器的工作原理。
- (2) 了解电感式传感器测力的测量电路；

能力目标：

掌握电感式传感器的常用类型及在测力的应用

；

了解无损探伤的原理。



重点：

理解和掌握电感式传感器的工作原理及应用。

难点：

测力测量电路。

引言

- 利用电磁感应原理将被测非电量如位移、压力、流量、振动等转换成线圈自感量 L 或互感量 M 的变化，再由测量电路转换为电压或电流的变化量输出，这种装置称为电感式传感器。
- 电感式传感器具有结构简单，工作可靠，测量精度高，零点稳定，输出功率较大等一系列优点，其主要缺点是灵敏度、线性度和测量范围相互制约。
- 传感器自身频率响应低，不适用于快速动态测量。这种传感器能实现信息的远距离传输、记录、显示和控制，在工业自动控制系统中被广泛采用。

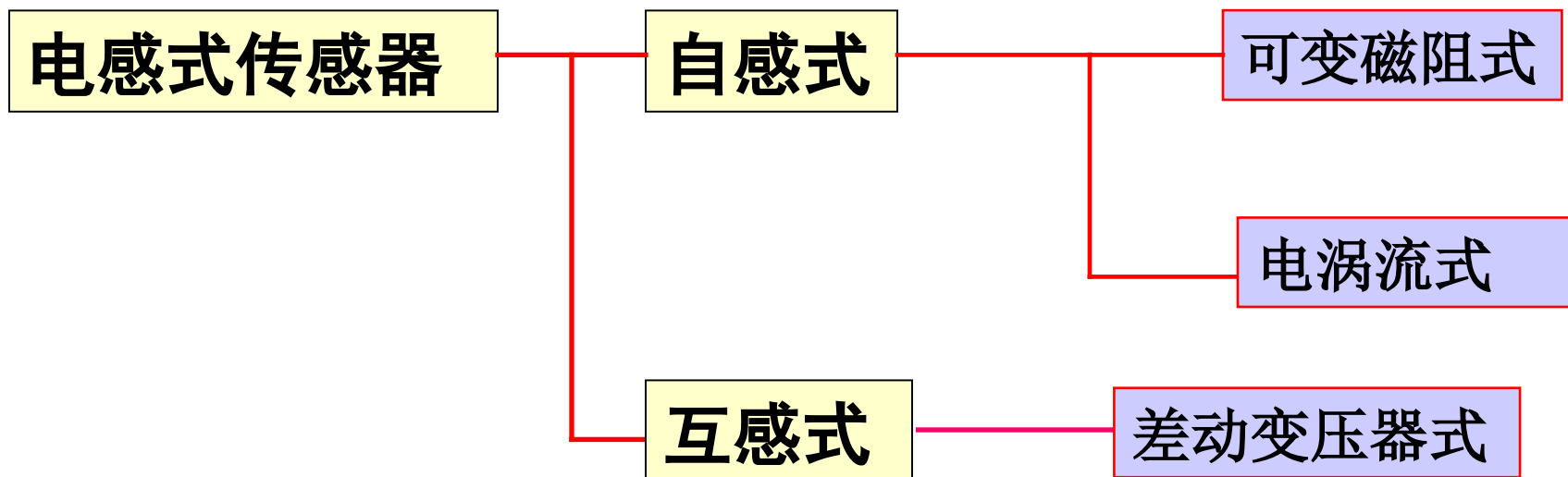
电感式传感器概述

- 1) **变换原理**：将被测的量（力）的变化转化为电感量变化→电压
- 2) **优点**：灵敏度高、适应性强、抗过载能力大。
- 3) **缺点**：电感式传感器的非线性给它的应用带来一定的局限。
- 4) **应用**：测量压力、力、位移、振动等参数。

一、基础知识

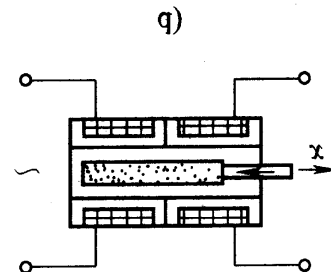
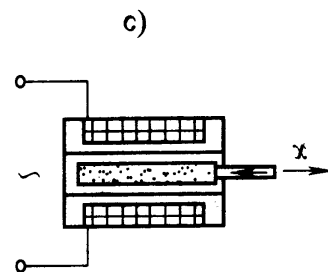
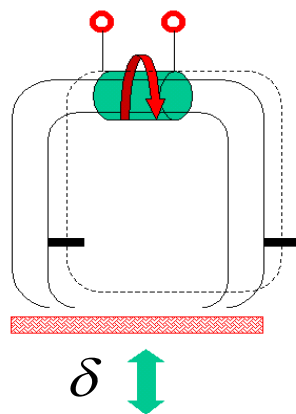
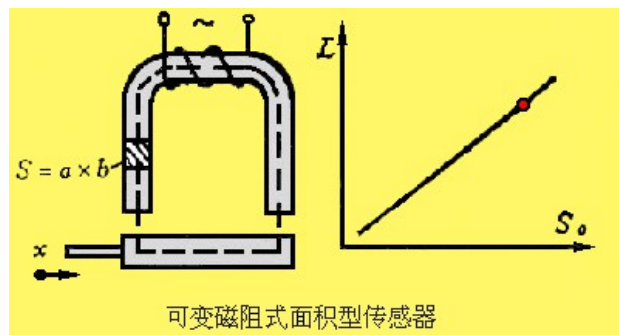
1、工作原理分析

电感式传感器按信号的转换原理，可以分为自感式（包括可变磁阻式和电涡流式）和互感式（差动变压器式）两大类。



1、工作原理分析

- 自感式传感器是利用自感量随气隙变化而改变的原理制成的，用来测量位移。自感式传感器主要有闭磁路变隙式和开磁路螺线管式，它们又都可以分为单线圈式与差动式两种结构形式。



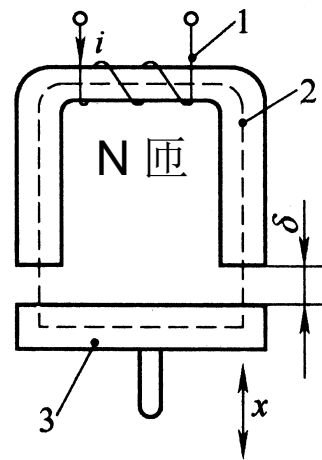
1、工作原理分析

(1) 可变磁阻式电感传感器

磁路的磁阻为 $R_m = 2\delta / \mu_0 A_0$

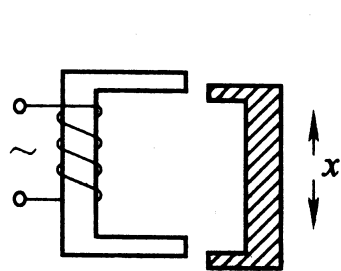
线圈自感量 L

$$L = \frac{N^2}{R_m} \quad \diamond \quad L = \frac{N^2 \mu_0 A_0}{2\delta}$$

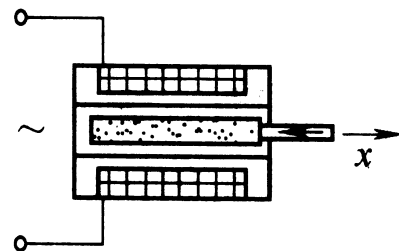
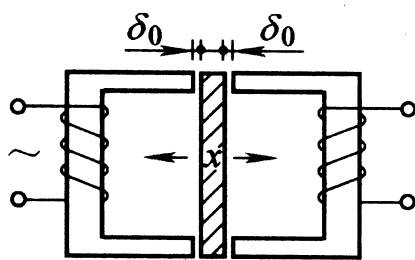


可以看出改变 N 、 $A_0\delta$ 可以改变自感量 L 的值

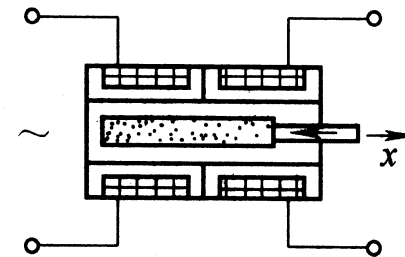
可变磁阻式传感器的典型结构有可变导磁面积型、变间隙型、螺线管型。



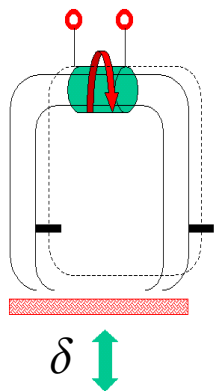
a)



c)



d)



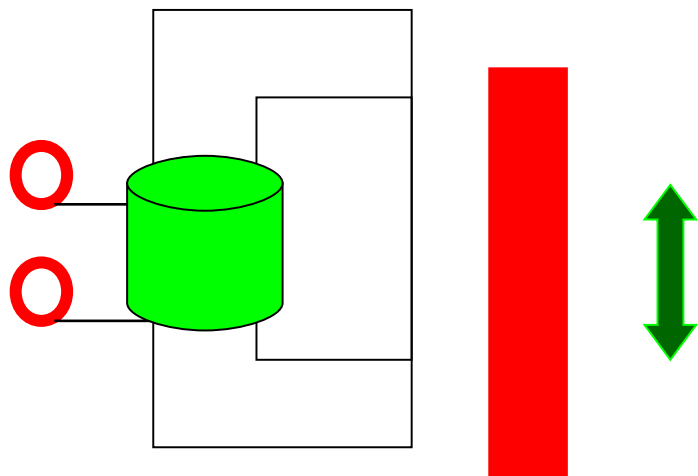
电感传感器典型结构

a) 可变导磁面积型

c) 单螺管线圈型

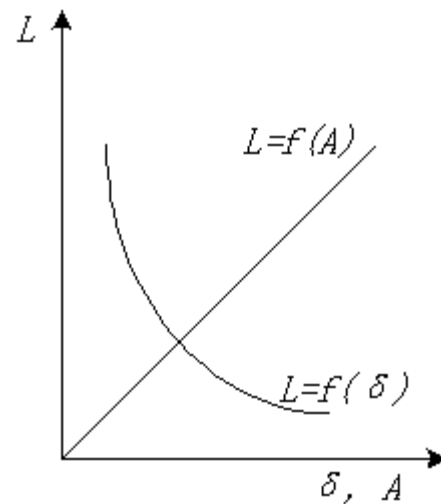
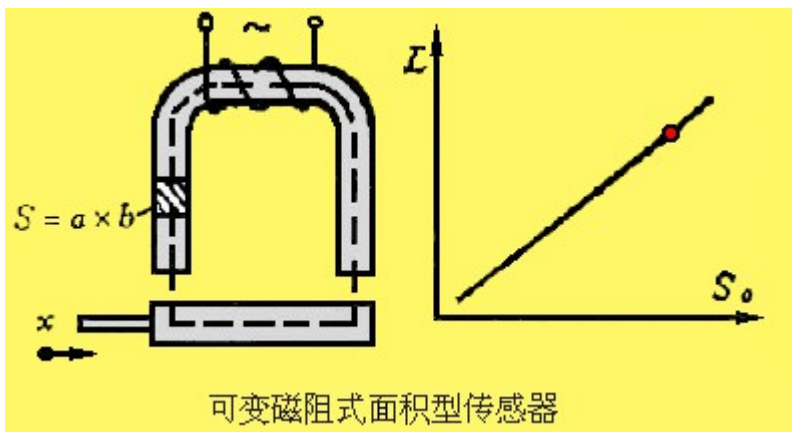
d) 双螺管线圈差动型

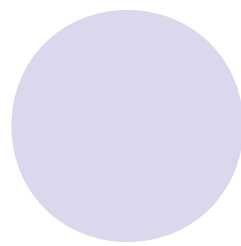
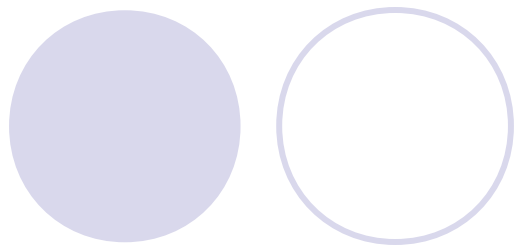
1、变面积型



$$L = \frac{N^2 \mu_0 A_0}{2\delta}$$

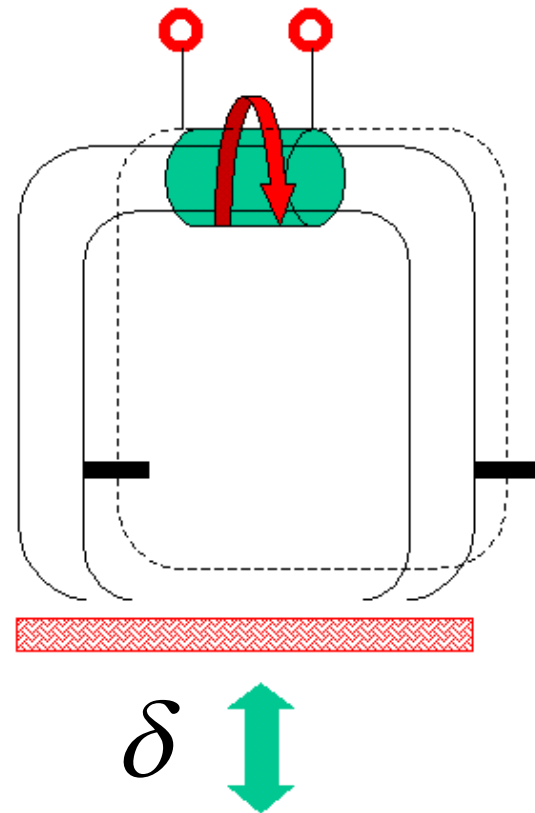
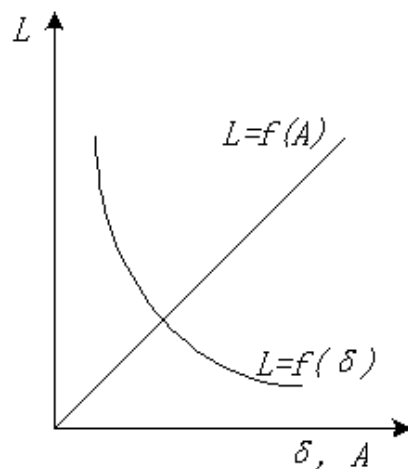
可变导磁面积型





2、变间隙型

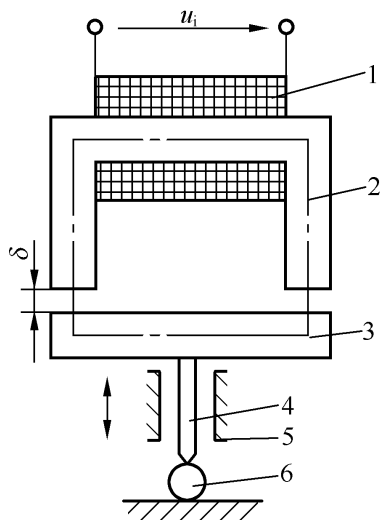
$$L = \frac{N^2 \mu_0 A_0}{2\delta}$$



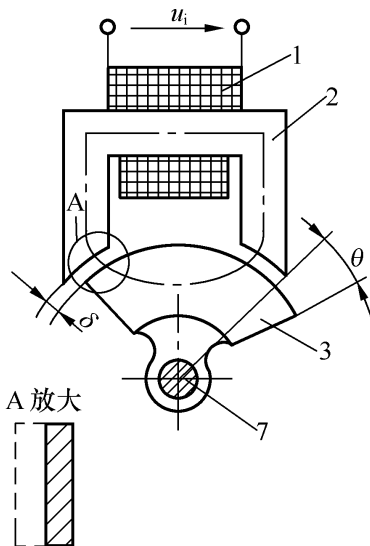
结论

- 只要被测非电量能够引起空气隙长度或等效截面积发生变化，线圈的电感量就会随之变化。
- 电感式传感器从原理上可分为变气隙长度式和变气隙截面式两种类型，前者常用于测量直线位移，后者常用于测量角位移。

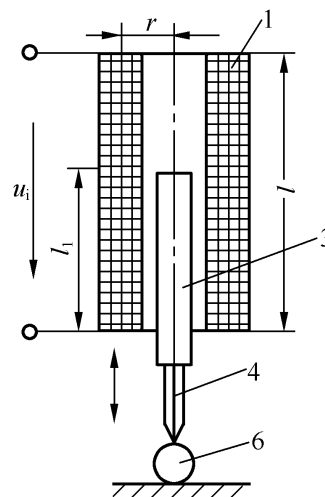
自感式传感器



(a) 变隙式



(b) 变截面式

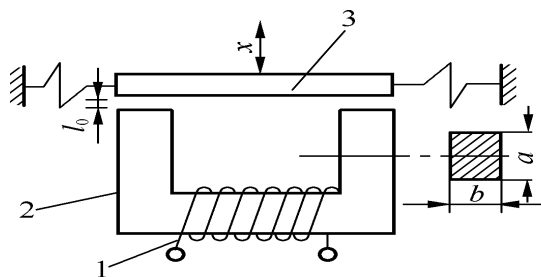


(c) 螺线管式

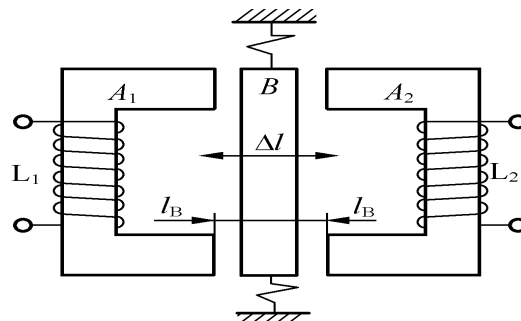
1—线圈 2—铁芯 3—衔铁 4—测杆 5—导轨 6—工件 7—转轴

变气隙式（闭磁路式）自感传感器

- 由电感式可知，变气隙长度式传感器的线性度差、示值范围窄、自由行程小，但在小位移下灵敏度很高，常用于小位移的测量。



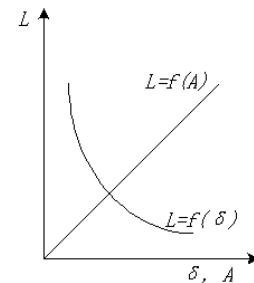
(a) 单边式



(b) 差动式

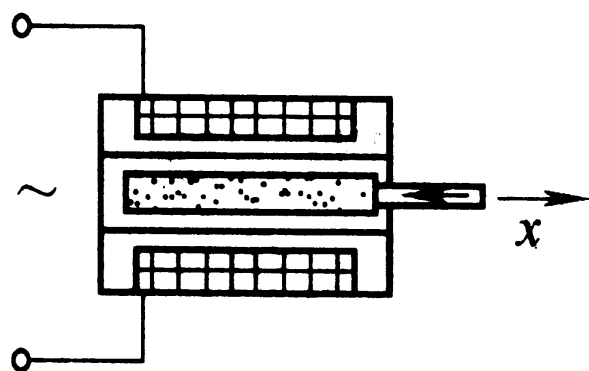
1—线圈 2—铁芯 3—衔铁

$$L = \frac{N^2 \mu_0 A_0}{2\delta}$$

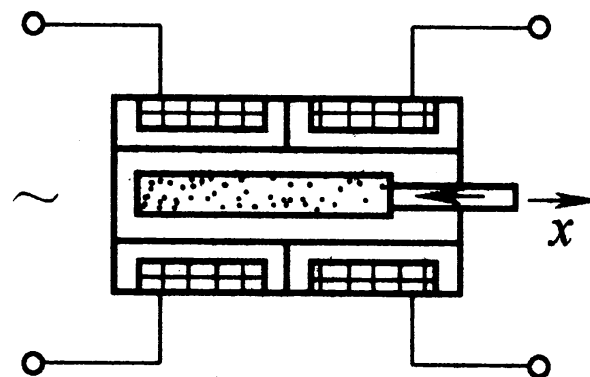


螺线管式（开磁路式）自感式传感器

- 螺线管式自感式传感器常采用差动式。
- 它是在螺线管中插入圆柱形铁芯而构成的。其磁路是开放的，气隙磁路占很长的部分。有限长螺线管内部磁场沿轴线非均匀分布，中间强，两端弱。



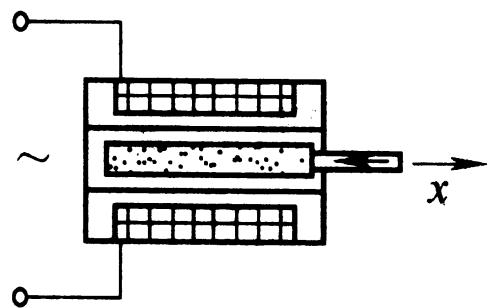
c)



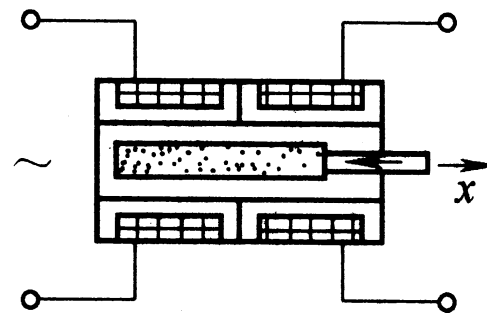
d)

螺线管式（开磁路式）自感式传感器

- 插入铁芯的长度不宜过短也不宜过长，一般以铁芯与线圈长度比为 **0.5**、半径比趋于 **1** 为宜。铁磁材料的选取决定于供桥电源的频率，**500Hz** 以下多用硅钢片，**500Hz** 以上多用薄膜合金，更高频率则选用铁氧体。
- 从线性度考虑，匝数和铁芯长度有一最佳数值，应通过实验选定。



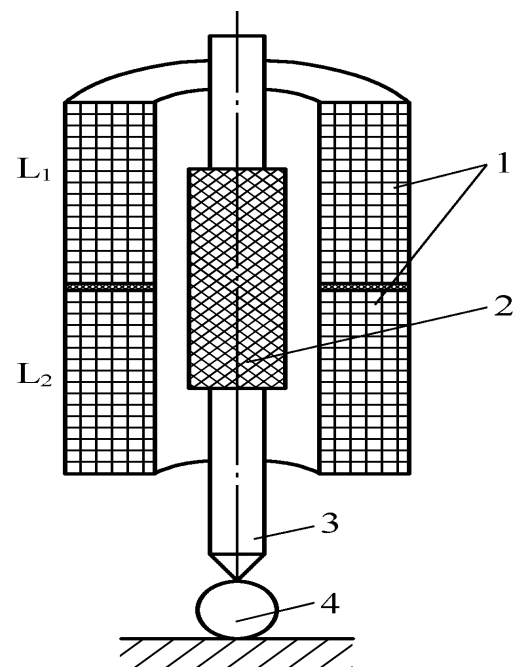
c)



d)

结构

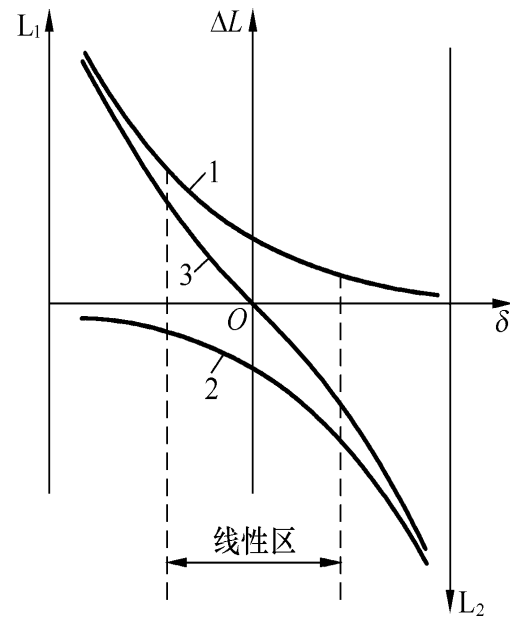
- 差动式电感传感器对外界影响，如温度的变化、电源频率的变化等基本上可以互相抵消，衔铁承受的电磁吸力也较小，从而减小了测量误差。



1—测杆 2—衔铁 3—线圈

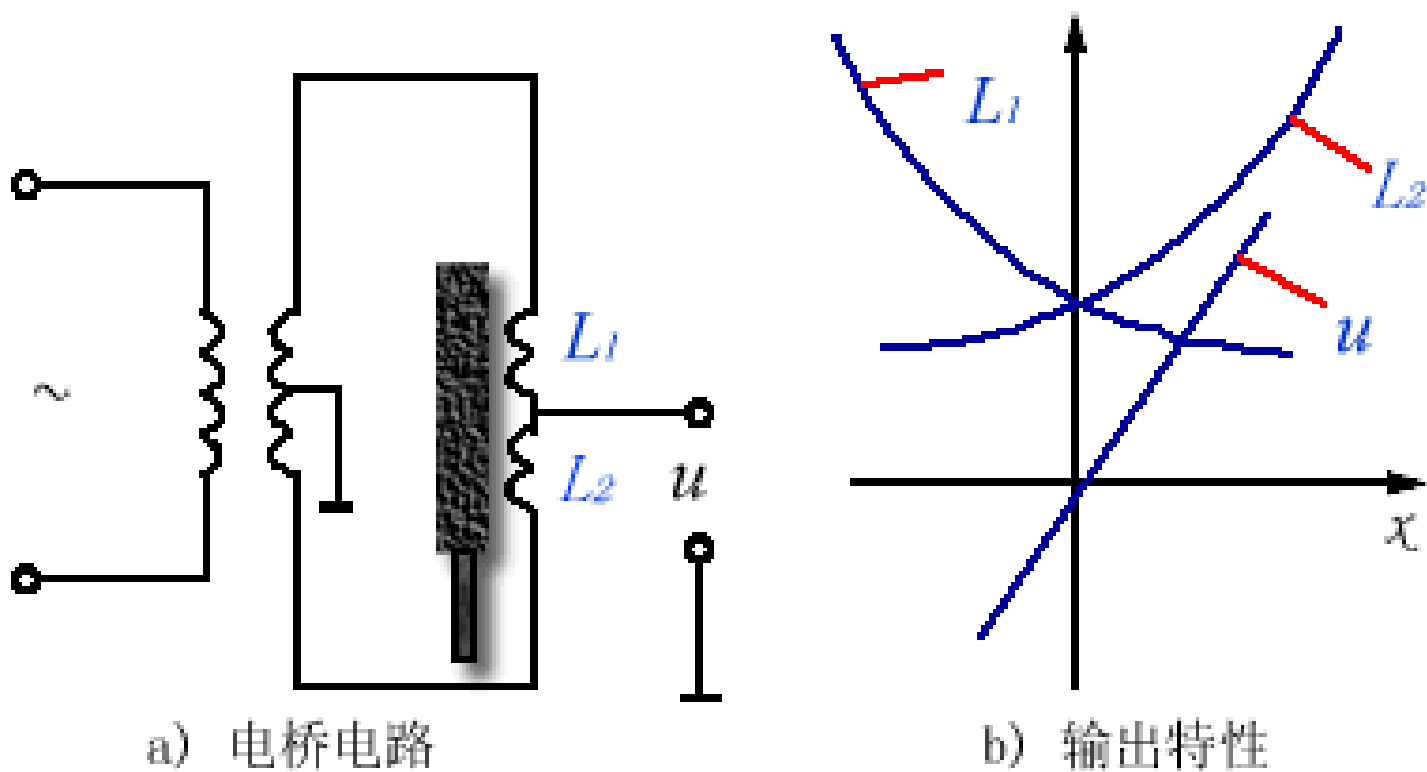
特性

- 从输出特性曲线（如图所示）可以看出，差动式电感传感器的线性较好，且输出曲线较陡，灵敏度约为非差动式电感传感器的两倍。



1、2— L_1 、 L_2 的特性 3—差动特

3、双螺管线圈差动型

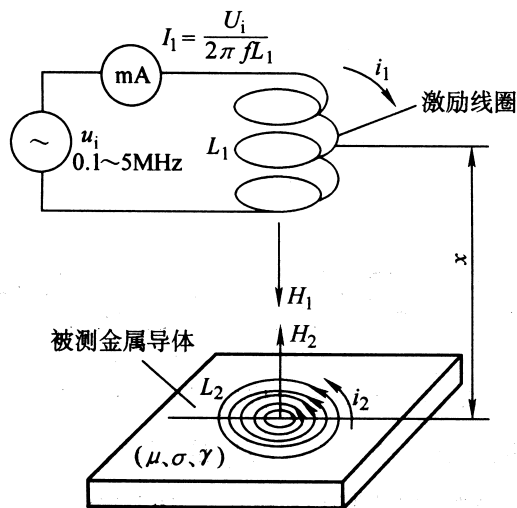


双螺管线圈差动型电桥电路及输出特性

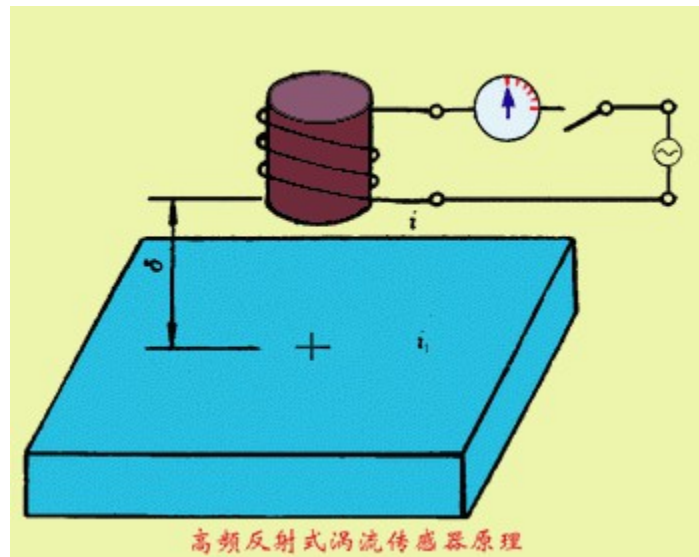
(2) 电涡流式传感器

电涡流式传感器是利用金属导体在交流磁场中的涡电流效应工作的传感器。

分为高频反射式和低频透射式两种。



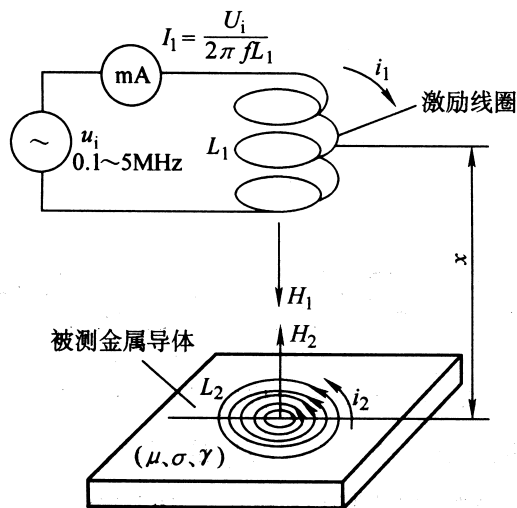
电涡流式传感器的工作原理示意图



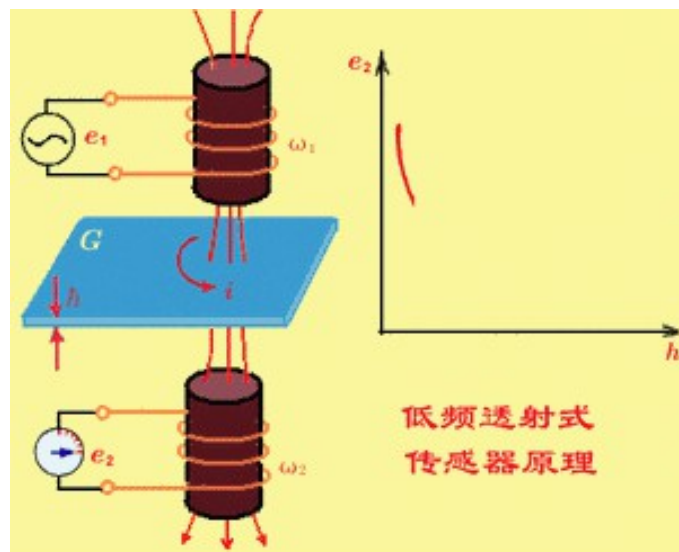
(2) 电涡流式传感器

电涡流式传感器是利用金属导体在交流磁场中的涡电流效应工作的传感器。

分为高频反射式和低频透射式两种。

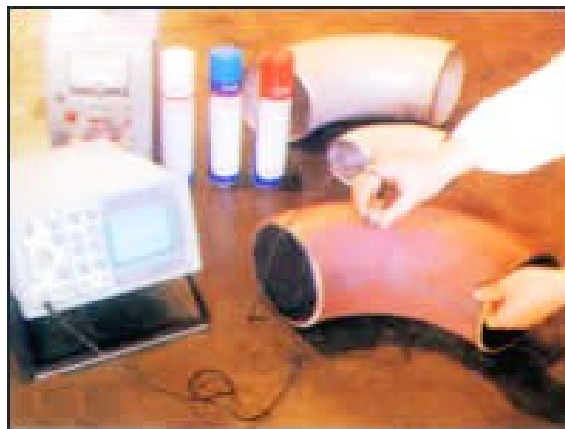


电涡流式传感器的工作原理示意图



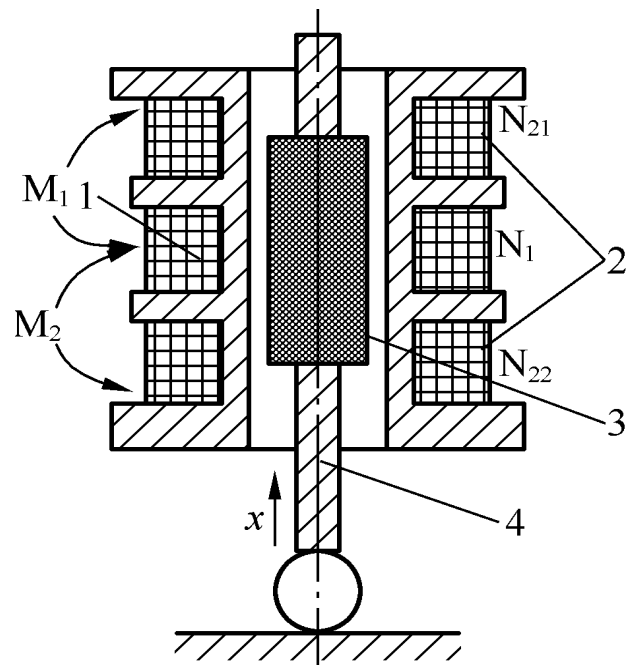
无损探伤的原理

?



差动变压器式传感器

- 把被测的非电量变化转换为线圈互感变化的传感器称为互感式传感器。因这种传感器是根据变压器的基本原理制成的，并且其二次绕组都用差动形式连接，所以又叫差动变压器式传感器，简称差动变压器。

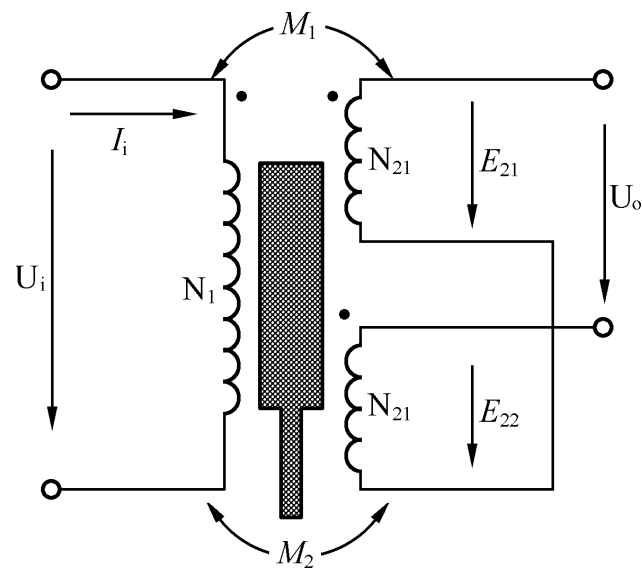


螺线管式差动变压器结构示意图

1— 一次绕组 2— 二次绕组 3— 衔铁 4— 测杆

差动变压器式传感器

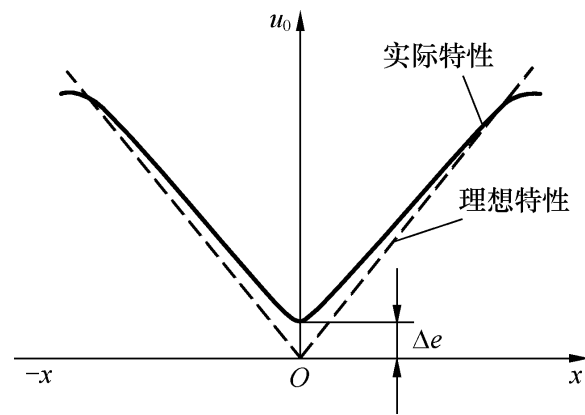
- 有变隙式、变面积式和螺线管式等
- 在非电量测量中，应用最多的是螺线管式的差动变压器，它可以测量 $1 \sim 100\text{mm}$ 范围内的机械位移，并具有测量精度高、灵敏度高、结构简单、性能可靠等优点。



螺线管式差动变压器原理图

输出特性

由于在一定的范围内，互感的变化 ΔM 与位移 x 成正比，所以输出电压的变化与位移的变化成正比。实际上，当衔铁位于中心位置时，差动变压器的输出电压并不等于零，通常把差动变压器在零位移时的输出电压称为零点残余电压（如图所示 Δe ）。它的存在使传感器的输出特性曲线不过零点，造成实际特性与理论特性不完全一致。



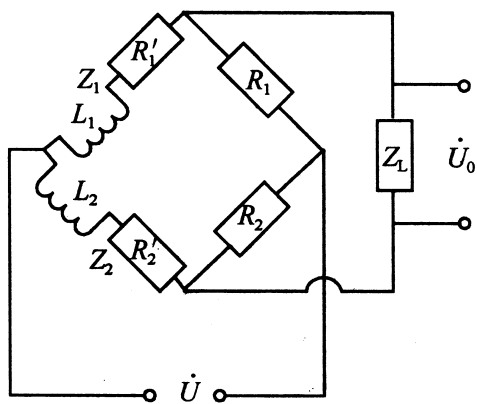
零点残余电动势

零点电势

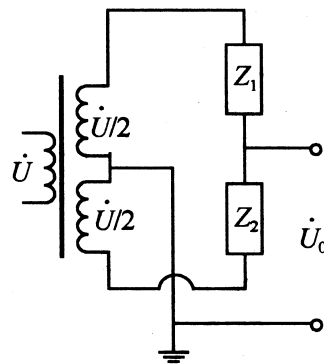
- 零点残余电动势使得传感器在零点附近的输出特性不灵敏，为测量带来误差。为了减小零点残余电动势，可采用以下方法。
- （1）尽可能保证传感器尺寸、线圈电气参数和磁路对称。
- （2）选用合适的测量电路。
- （3）采用补偿线路减小零点残余电动势。

自感式传感器的测量电路

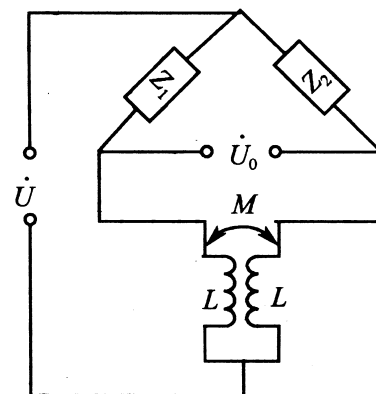
- 测量电路有交流分压式、交流电桥式和谐振式等多种，常用的差动式传感器大多采用交流电桥式。
- 它的作用是将线圈电感的变化转换成电桥电路的电压或电流输出。



(a) 电阻平衡臂电桥



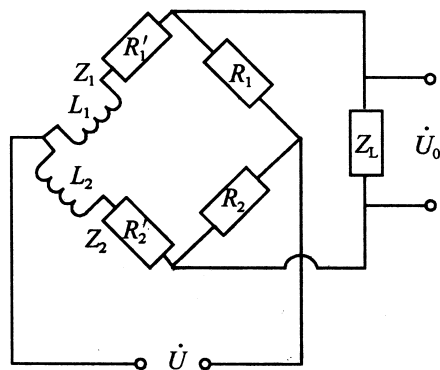
(b) 变压器式电桥



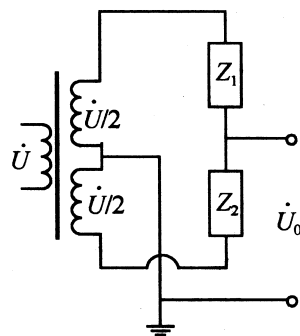
(c) 紧耦合电感臂电桥

自感式传感器的测量电路

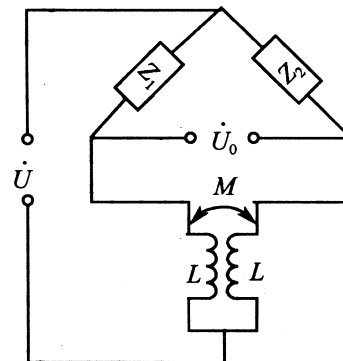
- 交流电桥的种类很多，差动形式工作时其电桥电路常采用双臂工作方式。两个差动线圈 Z_1 和 Z_2 分别作为电桥的两个桥臂，另外两个平衡臂可以是电阻或电抗，或者是带中心抽头的变压器的两个二次绕组或紧耦合线圈等形式。



(a) 电阻平衡臂电桥



(b) 变压器式电桥



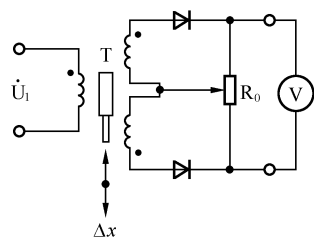
(c) 紧耦合电感臂电桥

测量电路

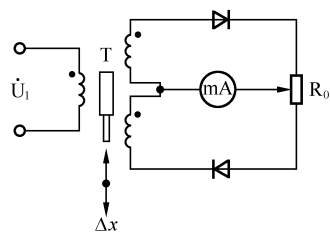
- 差动变压器输出的是交流电压，若用交流电压表测量，只能反映衔铁位移的大小，而不能反映移动方向。另外，其测量值中将包含零点残余电压。为了达到能辨别移动方向及消除零点残余电动势目的，实际测量时，常常采用差动整流电路和相敏检波电路。

差动整流电路

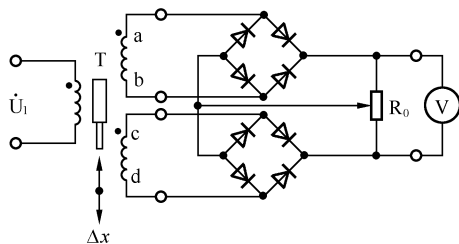
- 是把差动变压器的两个次级输出电压分别整流，然后将整流的电压或电流的差值作为输出，这样二次电压的相位和零点残余电压都不必考虑。



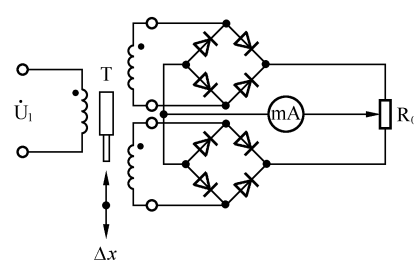
(a) 半波电压输出



(b) 半波电流输出



(c) 全波电压输出



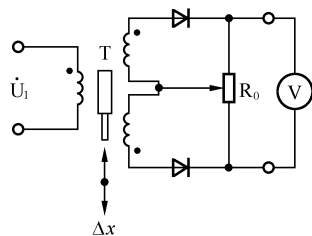
(d) 全波电流输出

差动整流电路

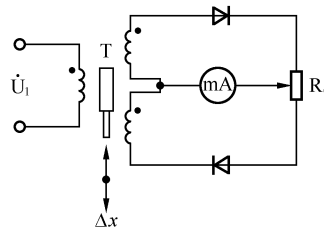
- 差动整流电路同样具有相敏检波作用，图中的两组（或两个）整流二极管分别将二次线圈中的交流电压转换为直流电，然后相加。由于这种测量电路结构简单，不需要考虑相位调整和零点残余电压的影响，且具有分布电容小和便于远距离传输等优点，因而获得广泛的应用。但是，二极管的非线性影响比较严重，而且二极管的正向饱和压降和反向漏电流对性能也会产生不利影响，只能在要求不高的场合下使用。

差动整流电路

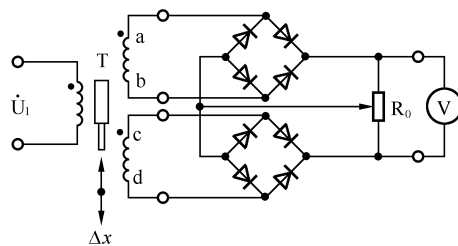
- 一般经相敏检波和差动整流后的输出信号还必须经过低通滤波器，把调制的高频信号衰减掉，只允许衔铁运动产生的有用信号通过。



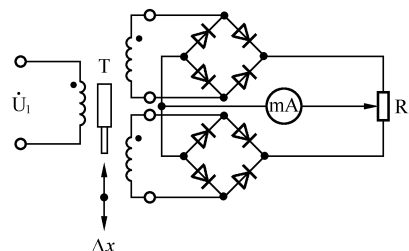
(a) 半波电压输出



(b) 半波电流输出

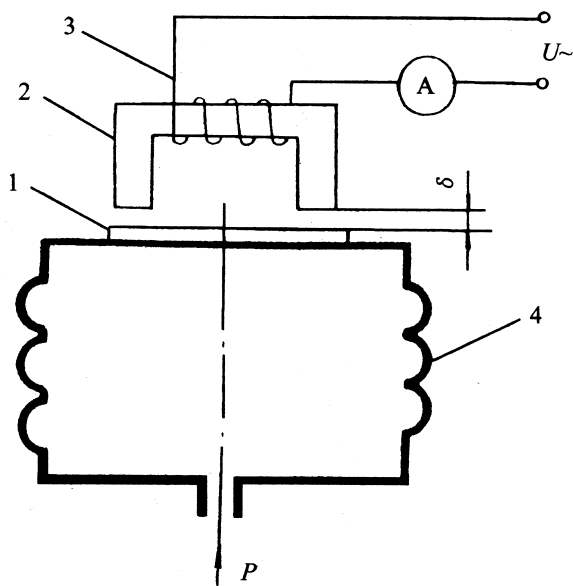


(c) 全波电压输出



(d) 全波电流输出

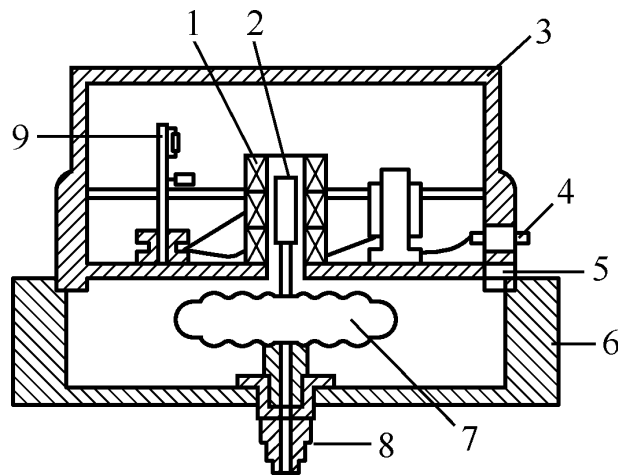
3、电感式传感器的压力检测



气隙电感式压力传感器结构图

微压力传感器

在无压力作用时，膜盒在初始状态，与膜盒联接的衔铁位于差动变压器线圈的中心部位。当压力输入膜盒后，膜盒的自由端产生位移并带动衔铁移动，差动变压器产生一正比于压力的输出电压。



电感式微压力传感器

- | | | | |
|----------|-------|-------|--------|
| 1— 差动变压器 | 2— 衔铁 | 3— 罩壳 | 4— 插头 |
| 5— 通孔 | 6— 底座 | 7— 膜盒 | 8— 接头 |
| | | | 9— 线路板 |

三、课题小结

- (1) 电感式传感器的常用类型，分析了可变磁阻式、电涡流式及差动变压器的工作原理；
- (2) 电感式传感器的几种常用测量电路。

模块总结

- 介绍了 3 种常见的测力传感器的工作原理、及转换电路；
- 重点是如何应用传感器进行力和压力的测量。

作业

书 P56. 一、填空题 第 4, 5 题

二、简答题 第 4 题