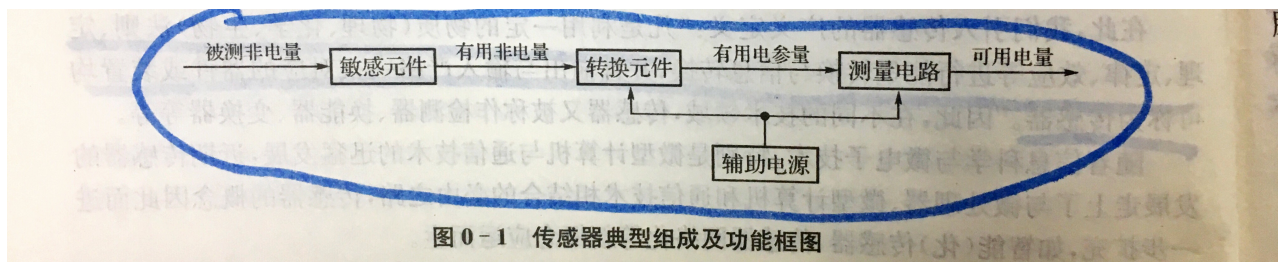


传感器复习总结

by 白丰硕

绪论

- 传感器的基本概念：能感受规定的**被测量**，并按一定的规律转化成**可用电信号**的器件或装置
- 传感器的组成：**敏感元件、转化元件、转化电路**



- 传感器的构成法
根据**被测量对象、转换原理、使用环境、性能要求**分
 - 自源型
 - 辅助能源型
 - 外源型
 - 相同敏感元件的补偿型
 - 差动结构补偿型
 - 不同敏感元件的补偿型
 - 反馈型
- 传感器分类
 - 结构型：以敏感元件的结构参数变化实现信号转化
 - 物性型：以敏感元件的物性效应实现信号转化（**敏感元件集敏感、转化功能于一身**）

第一章 传感器技术基础

传感器的一般数学模型

静态数学模型

静态条件下得到的传感器模型

- 代数方程

动态数学模型

- 微分方程

- 传递函数

传感器的特性和指标

静态指标——检测静态特性

- 线性度：表征输入输出曲线和拟合直线的吻合程度

拟合直线的方法

- 最佳直线法：保证正反行程对它的正负偏差相等且最小
- 理论直线法
- 端点线法
- 最小二乘法
- 回差：反映传感器正反行程过程中与输入输出的曲线不重合的程度
- 重复性：衡量传感器在同一工作条件下，输入量按同一方向作全量程连续多次的变动，所得特性曲线的一致程度
- 灵敏度：线性->拟合直线斜率 非线性-> $\frac{dy}{dx}$
- 阈值
- 稳定性
- 漂移
- 静态误差（精度）

动态指标——检测动态特性

- 频率响应特性
- 阶跃响应特性
- 典型环节的动态响应
- 幅频特性
- 相频特性

改善传感器的技术途径

- 结构、材料与参数的合理选择
- 差动技术
- 平均技术
- 稳定性处理
- 屏蔽、隔离与干扰控制
- 零示法、微差法和闭环技术
- 补偿、校正和有源化
- 集成化、智能化和信息融合

第二章 电阻式传感器

通过电阻参数实现电测非电量的目的

应变电阻效应

金属材料

金属材料的电阻相对变化与其线应变成正比

半导体材料

半导体的应变电阻效应主要来自于压阻效应

静态特性

- 灵敏系数
 - 具有初始电阻R的应变计粘贴于试件表面，试件受力引起表面应变，将产生电阻变化

$$\frac{\Delta R}{R} = K\epsilon_x$$

- 横向效应和横向效应系数
应变计既敏感纵向应变，又同时受横向应变影响而是灵敏系数及相对电阻比都减小的现象
- 机械滞后
在恒温条件下，增减时间应变的过程中，同一机械应变所指示的应变量的差值
- 蠕变
在恒温、恒载的条件下，指示应变量随着时间单向变化的特性
- 零漂
在空载的时候，应变计示数随时间发生变化的现象
- 应变极限
应变计的线性范围，衡量应变计的过载能力

温度效应及其补偿

热补偿原因

在实际应用应变计时，工作温度可能偏离室温，甚至超出常温范围，导致工作特性改变，影响输出（这种单纯由温度变化引起应变计电阻变化的现象较**应变计的温度效应**）在温度变化过大时，这种热输出干扰必须加以补偿。

补偿方法

温度自补偿法

- 单丝自补偿
p43
- 双丝自补偿
- 差动电桥法

温度效应及其补偿

C) 差动电桥法

巧妙地安装应变片可以起补偿作用并提高灵敏度。

将两个应变片分别贴于测悬梁上下对称位置， R_1 、 R_2 特性相同，所以两电阻变化值相同而符号相反。因而电桥输出电压比单片时增加1倍。当梁上下温度一致时， R_2 与 R_1 可起温度补偿作用。

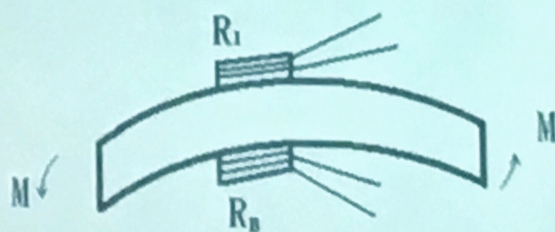


图2.5 差动电桥法

补偿块法

差动电桥法

应用

- 测力
- 压力
- 位移
- 其他应变式传感器（应变式加速度传感器，扭矩传感器）

第三章 变磁阻式传感器

利用磁路磁阻变化引起传感器线圈的电感变化来检测非电量

电气参数分析

p65

自感式传感器

自感式传感器 实质上是一个带气隙的铁芯线圈。

按照**磁路几何参数**变化形式不同，目前常用的自感式传感器有**变气隙式**、**变面积式**和**螺管式**三种

- **变气隙式**
 - 使用场合：测量几微米至几百微米的位移，灵敏度高，线性度不高，测量范围小
 - 输出特性是非线性的，灵敏度随气隙增加而减小，可以通过减小气隙总长来增大灵敏度
- **变面积式**：
 - 使用场合：一般用于分辨零点几角秒以下的微小角位移，灵敏度高（比气隙低），线性范围较大
 - 忽略气隙磁通边缘效应的条件下，输出特性是线性的，故有较大线性范围，可以通过减小气隙总长来增大灵敏度
- **螺管式**：
 - 使用场景：可测量几纳米到一米的位移，但灵敏度低，线性范围较大

按照磁路 **结构型式** 又有II型，E型或者罐型等等

按照 **组成方式** 有单一式与差动式

互感式传感器

互感式传感器是一种线圈互感随衔铁位移变化的变磁阻式传感器。其原理类似于变压器。不同的是，**后者是闭合磁路，前者为开磁路；后者初、次级的互感为常数，但是前者的随衔铁移动而变化，且两个次级绕组按差动方式工作**

自感和互感的区别？鸭个题

应用

- 位移和尺寸的测量
- 压力测量
- 力和力矩测量
- 振动的测量

第四章 电容式传感器

电容式传感器是将被测非电量的变化转化为电容量变化的一种传感器

- 优点：结构简单，高分辨率，非可解除测量，环境适应性强，动态响应快
- 缺点：输出特性非线性，泄露电容的影响
- 分类：**变极距型、变面积型、变介质型**

基本原理

两极板间的距离、相对介电常数、极板间有效面积，三个参量中任意一个发生变化，都会引起电容量的变化，在通过测量电路就可转化为电量的输入。

变极矩式传感器

- 单级式 ---p99

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{\delta_0}$$

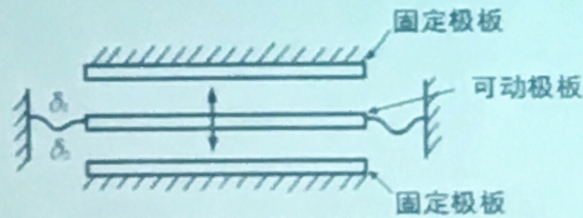
当电容极板发生移动产生 $\Delta\delta_0$, 电容增大 ΔC

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta\delta}{\Delta\delta_0} \cdot \left(1 - \frac{\Delta\delta}{\Delta\delta_0}\right)^{-1}$$

- 差动式

变极距型电容传感器

(1) 差动式



初始位置时, $\delta_1 = \delta_2 = \delta_0$, 两边初始电容相等。

当动极板向上有位移 $\Delta\delta$ 时, 两边极距为 $\delta_1 = \delta_0 - \Delta\delta$, $\delta_2 = \delta_0 + \Delta\delta$; 两组电容一增一减。电容总的相对变化量为:

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta C_1 - \Delta C_2}{C_0} = 2 \frac{\Delta\delta}{\delta_0} \left[1 - \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0} \right)^2 + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0} \right)^4 - \dots \right]$$

略去高次项, 可得近似的线性关系: $\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{2\Delta\delta}{\delta_0}$

差动比单极的好处: 灵敏度提高一倍, 且非线性误差大为减小。由于结构上的对称性, 它还能有效的补偿温度变化所造成的误差。

变面积式传感器

被测量通过极板移动, 有效覆盖面积发生变化, 从而导致电容的变化

这种传感器输出特性呈线性, 因而量程不受线性范围的限制, 适合测量较大的直线位移和角位移

变面积型电容传感器与变极距型相比, 其灵敏度下降。因此, 在实际应用中, 也采用差动式的结构来提高灵敏度。

变介质式传感器

可以用来

- 测量纸张, 绝缘薄膜的厚度
- 测量粮食, 纺织品, 木材和煤等非导电介质的湿度

p102

保持特性稳定的方法和措施 p103

- 减小边缘效应的影响 (采用带有保护环的结构)
- 减小寄生电容的影响 (驱动电缆法, 整体屏蔽法、采用组合式与集成技术)
- 等效电路、静电引力、温度影响也是要考虑。其中温度的影响是两个方面的: 结构尺寸和介质

应用---p109

- 电容式位移
- 电容式加速度
- 电容式力和压力
- 电容式物位: 随着灌装量进入, 覆盖面积增加

第五章 磁电式传感器

利用电磁感应原理，将输入运动速度或者磁量的变化变换成感应电势输出的传输器

通常是不需要电源的，所以是一种自源式传感器

霍尔传感器的基本原理

霍尔元件是利用霍尔效应制作的一种磁电转换元件，霍尔传感器是以霍尔元件为核心构成的一种磁感传感器，是基于 $U_H = (RH/d)IB$ 式工作的，所以一切非电量只要能通过前置敏感元件变换成位移量，即可利用霍尔传感器进行测量。霍尔元件结构简单，工艺成熟，体积小，工作可靠，寿命长，线性好，频带宽，得到广泛应用。

霍尔传感器应用

微位移及机械振动测量，当霍尔元件的控制电流不变，并置于均匀梯度的磁场中移动时，其输出的霍尔电势 U_H ，只取决于它在磁场中的位移，磁场梯度越大，灵敏度越高。2. 无触点发讯及转速测量，当霍尔元件通以恒定的控制电流，且有磁体及距离接近然后再离开时，元件将输出一个脉冲霍尔电压，利用这一特性进行无触点发讯。

第六章 压电式传感器 p135

压电式传感器是以有压电效应的压电器件为核心组成的传感器

压电效应：

离子型晶体的电介质在机械力的作用下，发生极化现象，当外力消失，又恢复不带电原状，当外力变向，电荷极性随之而变，这种现象称为压电效应。

压电三种材料

1. 压电晶体：石英晶体，其他压电单晶；2. 压电陶瓷；3. 新型压电材料：压电半导体，有机高分子压电材料。

压电常数矩阵与正压电效应

在这些电截止电介质上的一定方向上**施加机械力而产生形变**，就会引起他内部正负电荷中心的相对转移而产生电的极化，从而导致两个相对表面上出现符号相反的束缚电荷 Q ，且电位移 D 与外应力张量 T 成正比：

$$D = dT$$

d 就是压电常数矩阵

当外力消失，又恢复成不带电的原状；当外力变向，电荷极性随之而变。这种现象称为正压电效应

逆压电常数矩阵和逆压电效应

若对上述的电介质**施加电场作用**时，同样会引起电介质内部正负电荷中心的相对位移而导致电介质产生形变，且其应变 S 与外电场强度 E 成正比

$$S = d_t E$$

d_t 就是逆压电常数矩阵

这种现象称为逆压电效应

压电陶瓷 磁化

在一定温度下对其施加强直流电场，迫使“电畴”趋向外电场方向做规则排列；电场去除后，趋向电畴基本保持不变，形成很强的剩余极化，呈现出压电性。**特点：**压电系数大，灵敏度高，制造工艺成熟，可通过合理配方和掺杂等人工控制来达到所要求的性能，成型工艺性也好，成本低廉。

压电效应应用

利用压电材料各种物理效应构成的种类繁多的传感器都是压电式传感器。

压电式**加速度传感器**主要有压缩型，剪切型和复合型三种。

压电式**压力传感器**：基本原理与结构同压电式加速度传感器，不同点为：必须通过弹性膜等，把压力收集，转换成力，再传递给压电元件，通常采用石英晶体作为压电元件。注意：1.确保弹性膜片与后接传力件有良好的接触；2.传感器基体和壳体要有足够的刚度；3.压电元件的振动模式选择要考虑到频率覆盖；4.涉及传力的元件，尽可能采用高音速材料和扁薄结构；5.考虑加速度，温度的补偿。

第七章 热电式传感器 p163

热电式传感器是利用转换元件电磁参量随温度变化的特性，对温度和与温度有关的参量进行检测的装置。

分类

- 金属热电阻式（热电阻）
- 半导体热电阻式（热敏电阻）

热电效应

将两种不同性质的导体组成闭合回路，节点处于不同的温度时，两者之间将产生一热电势，在回路中形成一定大小的电流。这种现象叫做**热电效应**。

热电效应由接触电势和温差电势组成。

接触电势

当两种金属接触在一起时，由于不同导体的自由电子密度不同，在节点处就会发生电子迁移扩散。失去自由电子的金属呈正电位，得到自由电子的金属呈负电位。当扩散达到平衡时，在两种金属的接触处形成电势，称为**接触电势**。其大小与金属的性质有关，还与节点温度有关。

温差电势

对于单一金属，如果两端的温度不同，则温度高端的自由电子向低端迁移，使单一金属两端产生不同的电位，称为温差电势，与金属性质和温度差有关。

工作定律 p168

- 中间导体定律
- 连接导体定律与中间温度定律
- 参考电极定律

热电偶测温度的原理

将不同材料的导体A、B接成闭合回路，接触测温点的一端称测量端，一端称参比端。若测量端和参比端所处温度 t 和 t_0 不同，则在回路的A、B之间就产生一热电势 $E_{AB}(t, t_0)$ 。

E_{AB} 大小随导体A、B的材料和两端温度 t 和 t_0 而变，这种回路称为原型热电偶。在实际应用中，将A、B的一端焊接在一起作为热电偶的测量端放到被测温度 t 处，而将参比端分开，用导线接入显示仪表，并保持参比端接点温度 t_0 稳定。显示仪表所测电势只随被测温度 t 而变化。

第八章 光电式传感器

光电式传感器是以光为测量媒介、以光电器件为转化元件的传感器。具有非接触、响应快、性能可靠的优点

外光电效应

在光的照射下，电子逸出物体表面而产生光电子发射的现象。光电器件：光电管和光电倍增管。

内光电效应

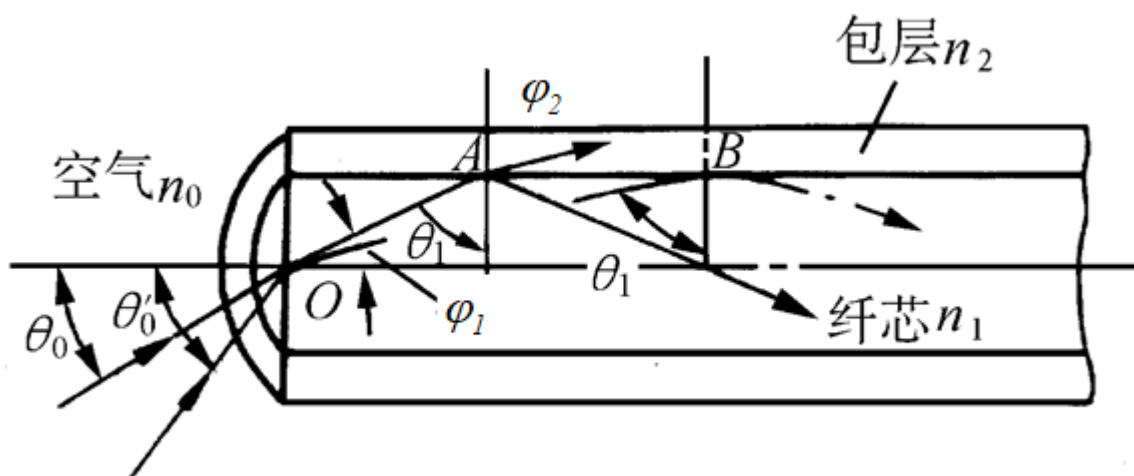
光照射在半导体材料上，材料中处于价带的电子吸收光子能量，通过禁带跃入导带，使导带内光子浓度和价带内空穴增多，激发出光生电子-空穴对，从而使半导体材料产生光电效应。

光电导效应器件 p182

光敏电阻，光敏二极管，光敏三极管；光生伏特效应器件：硅光电池。

第九章 光纤传感器

光纤波导原理 p201



题目

3、根据光折射和反射的斯涅尔(Snell)定律，证明光线由折射率为 n_0 的外界介质(空气 $n_0=1$)

射入纤芯时实现全反射的临界角(始端最大入射角)为：
并说明上式的物理意义。

$$\sin \theta_{c0} = \frac{1}{n_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

证：根据光折射和反射的斯涅尔(Snell)定律，有 $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

对应于 $\theta_2=90^\circ$ 时的入射角 θ_1 称为临界角 θ_c

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

则：
$$n_0 \sin \theta_0 = n_1 \sin \varphi = n_1 \cos \theta_1$$

要实现全反射，必须满足：
$$\sin \theta_1 \geq \sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\cos \theta_1 = \sqrt{1 - \sin^2 \theta_1} \leq \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}$$

所以：
$$n_0 \sin \theta_0 = n_1 \cos \theta_1 \leq \sqrt{(n_1)^2 - (n_2)^2}$$

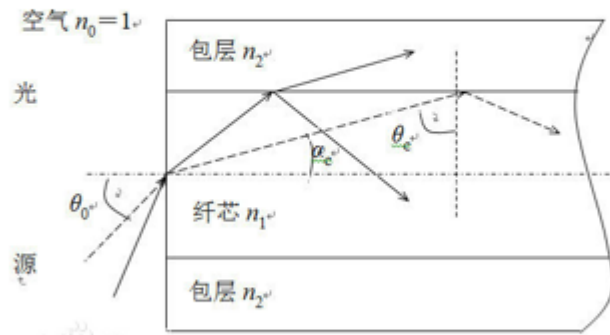
所以：
$$\sin \theta_0 \leq \frac{1}{n_0} \sqrt{(n_1)^2 - (n_2)^2} = \sin \theta_{c0}$$

上式的物理意义：无论光源发射功率多大，只有 $2\theta_{c0}$ 张角内的光，才能被光纤接收、传播(全反射)；

9.1 光纤传感器基础



NA定义为“数值孔径”（全反射最大入射角），是衡量光纤集光性能的主要参数。



NA愈大，光纤集光能力愈强。

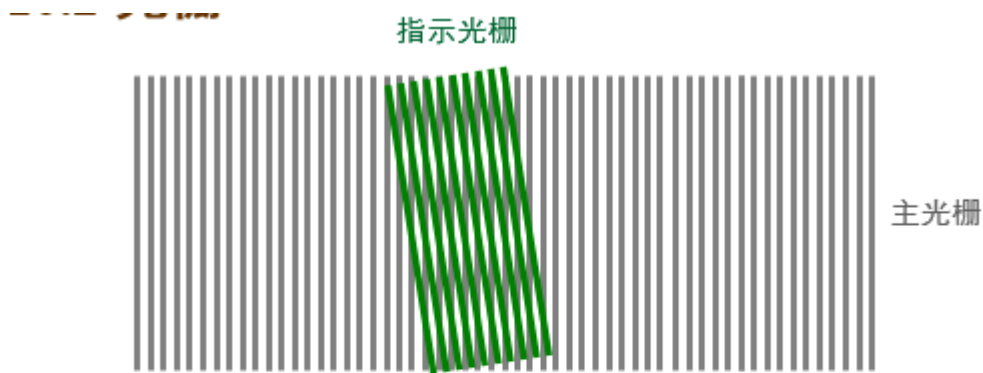
第十章 数字传感器

数字式传感器:能把被测（模拟）量直接转换成数字量输出的传感器。

光栅的概念：光栅是由很多等节距的透光缝隙和不透光的刻线均匀相间排列构成的光器件，分为物理光栅和计量光栅，前者的刻线比后者细密，物理光栅主要利用光的衍射现象，计量光栅利用光栅的莫尔条纹现象

- 按工作原理有物理光栅和计量光栅之分，前者的刻线比后者细密。物理光栅主要利用光的衍射现象，通常用于光谱分析和光波长测定等方面；计量光栅主要利用光栅的莫尔条纹现象，它被广泛应用于位移的精密测量与控制中。
- 按应用需要，计量光栅又有透射光栅和反射光栅之分，而且根据用途不同，可制成用于测量线位移的长光栅(直光栅)和测量角位移的圆光栅。
- 按光栅表面结构的不同，又可分为幅值（黑白）光栅和相位（闪耀）光栅。

莫尔条纹 p229

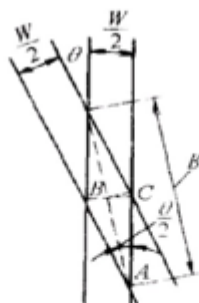
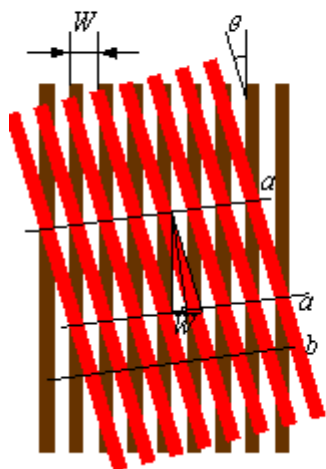


主光栅与指示光栅叠合，并使两者沿刻线方向成很小的夹角。由于遮光效应，在光栅上现出明暗相间的条纹。称为莫尔条纹。

10.2 光栅



当光栅之间的夹角 θ 很小，且两光栅的栅距都为 W 时，莫尔条纹间距 B （ a - a 间距）为



$$B = \frac{W}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \approx \frac{W}{\theta} = KW$$

K 为放大倍数。