

# 传感器原理与工程应用习题

## 一、单项选择题

- 1、在整个测量过程中，如果影响和决定误差大小的全部因素（条件）始终保持不变，对同一被测量进行多次重复测量，这样的测量称为（ ）。  
A. 组合测量                      B. 静态测量  
C. 等精度测量                      D. 零位式测量
- 1.1 在直流电路中使用电流表和电压表测量负载功率的测量方法属于（ ）。  
A. 直接测量                      B. 间接测量  
C. 组合测量                      D. 等精度测量
- 2、1 属于传感器动态特性指标的是（ ）。  
A. 重复性                      B. 固有频率                      C. 灵敏度                      D. 漂移
- 2.1 不属于传感器静态特性指标的是（ ）。  
A. 重复性                      B. 固有频率                      C. 灵敏度                      D. 漂移
- 2.2 以下那一项不属于电路参量式传感器的基本形式的是（ ）。  
A. 电阻式                      B. 电感式  
C. 电容式                      D. 电压式
- 2.2 传感器的主要功能是（ A ）。  
A. 检测和转换                      B. 滤波和放大  
C. 调制和解调                      D. 传输和显示
3. 电阻式传感器是将被测量的变化转换成（ ）变化的传感器。  
A. 电子                      B. 电压                      C. 电感                      D. 电阻
- 3.1 电阻应变片配用的测量电路中，为了克服分布电容的影响，多采用（ ）。  
A. 直流平衡电桥                      B. 直流不平衡电桥  
C. 交流平衡电桥                      D. 交流不平衡电桥
- 3.2 电阻应变片的初始电阻数值有多种，其中用的最多的是（ ）。  
A、 60  $\Omega$                       B、 120  $\Omega$                       C、 200  $\Omega$                       D、 350  $\Omega$
- 3.3 电阻应变片式传感器一般不能用来测量下列那些量（ ）。  
A、位移                      B、压力                      C、加速度                      D、电流
- 3.4 直流电桥的平衡条件为（ ）。  
A. 相邻桥臂阻值乘积相等                      B. 相对桥臂阻值乘积相等  
C. 相对桥臂阻值比值相等                      D. 相邻桥臂阻值之和相等
- 3.5 全桥差动电路的电压灵敏度是单臂工作时的（ ）。  
A. 不变                      B. 2 倍                      C. 4 倍                      D. 6 倍
- 3.6、影响金属导电材料应变灵敏系数 K 的主要因素是（ ）。  
A. 导电材料电阻率的变化                      B. 导电材料几何尺寸的变化  
C. 导电材料物理性质的变化                      D. 导电材料化学性质的变化
- 3.7、产生应变片温度误差的主要原因有（ ）。  
A. 电阻丝有温度系数                      B. 试件与电阻丝的线膨胀系数  
C. 电阻丝承受应力方向不同                      D. 电阻丝与试件材料不同

- 3.8、直流电桥平衡的条件是（ ）。
- A 相临两臂电阻的比值相等      B 相对两臂电阻的比值相等  
C 相临两臂电阻的比值不相等      D 所有电阻都相等
- 4、变气隙式自感传感器，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将（ ）。
- A. 增大      B. 减小      C. 不变      D. 无法确定
- 4.1、差动螺线管式电感传感器配用的测量电路有（ ）。
- A. 直流电桥      B. 变压器式交流电桥  
C. 差动相敏检波电路      D. 运算放大电路差
- 4.2、差动变压器属于（ ）。
- A. 电容式传感器      B. 压电式传感器  
C. 电阻式传感器      D. 电感式传感器
- 4.3、涡流式压力传感器利用涡流效应将压力的变化变换成线圈的（ ）。
- A. 电阻变化      B. 电容变化  
C. 涡流变化      D. 阻抗变化
- 4.4 下列不是电感式传感器的是\_\_\_\_\_。
- A 变磁阻式自感传感器      B 电涡流式传感器  
C 变压器式互感传感器      D 霍尔式传感器(磁电式传感器)
- 4.5 下列传感器中不能做成差动结构的是\_\_\_\_\_。
- A 电阻应变式      B 自感式      C 电容式      D 电涡流式
- 4.6 关于电涡流传感器说法不正确的是（ ）
- A、电涡流传感器是基于电磁感应原理工作的  
B、电涡流传感器是由涡流线圈和支架构成的  
C、电涡流传感器可以实现无接触测量  
D、电涡流传感器只测量静态量，不能测量动态量。
- 5、电容式传感器是将被测量的变化转换成（ ）变化一种传感器
- A. 电容量      B. 电感量  
C. 介电常数      D. 距离
- 5.1 变间隙式电容传感器的非线性误差与极板间初始距离  $d_0$  之间是（ ）。
- A 正比关系      B 反比关系      C 无关系
- 5.2、下列不属于电容式传感器测量电路的是（ ）
- A. 调频测量电路      B. 运算放大器电路  
C. 脉冲宽度调制电路      D. 相敏检波电路
- 5.3、如将变面积型电容式传感器接成差动形式，则其灵敏度将（ ）。
- A. 保持不变      B. 增大一倍  
C. 减小一倍      D. 增大两倍
- 5.4、当变隙式电容传感器的两极板极间的初始距离  $d_0$  增加时，将引起传感器的（ ）
- A. 灵敏度  $K_0$  增加      B. 灵敏度  $K_0$  不变  
C. 非线性误差增加      D. 非线性误差减小
- 5.5、用电容式传感器测量固体或液体物位时，应该选用（ ）。
- A. 变间隙式      B. 变面积式  
C. 变介电常数式      D. 空气介质变间隙式
- 5.6、关于差动脉冲宽度调制电路的说法正确的是（ BD ）。
- A. 适用于变极板距离和变介质型差动电容传感器  
B. 适用于变极板距离差动电容传感器且为线性特性

- C. 适用于变极板距离差动电容传感器且为非线性特性  
**D. 适用于变面积型差动电容传感器且为线性特性**
- 5.7、下列不属于电容式传感器测量电路的是（ D ）  
 A. 调频测量电路 B. 运算放大器电路  
 C. 脉冲宽度调制电路 **D. 相敏检波电路**
- 5.8 电容式传感器采用“驱动电缆”技术是为了减少或消除（ ）的影响。  
 A. 温度变化 **B. 寄生电容** C. 边缘效应 D. 非线性
- 6、霍尔元件不等位电势产生的主要原因不包括（ ）  
 A. 霍尔电极安装位置不对称或不在同一等电位上  
 B. 半导体材料不均匀造成电阻率不均匀或几何尺寸不均匀  
**C. 周围环境温度变化**  
 D. 激励电极接触不良造成激励电流不均匀分配
- 6.1、下面不属于不等位电势  $U_0$  产生原因的是（ ）。  
 A、霍尔电极安装位置不对称或不在同一等电位面上；  
 B、半导体材料不均匀造成了电阻率不均匀或几何尺寸不均匀；  
**C、元件由金属或绝缘体构成；**  
 D、激励电极接触不良造成激励电流不均匀分布等。
- 6.2、关于霍尔传感器说法不正确的是（ ）  
**A、霍尔片越厚，霍尔传感器输出灵敏度越大**  
 B、霍尔片越薄，霍尔传感器输出灵敏度越大  
 C、霍尔传感器可以作测量元件  
 D、霍尔传感器可以作开关元件
- 7、压电晶片的连接方式中串联接法（ ）  
**A、输出电压大，本身电容小，适宜用于以电压作输出信号**  
 B、输出电荷大，本身电容大，时间常数大  
 C、输出电压小，本身电容大，适宜用于以电压作输出信号  
 D、输出电荷小，本身电容小，时间常数大
- 7.1 两个型号相同的压电片串联使用时，下列说法正确的是（ ）  
 A、等效输出电荷增大一倍 B、等效输出电容增加一倍  
**C、等效输出电压增加一倍** D、都不正确
- 7.2 关于压电式传感器中压电元件的连接，以下说法正确的是（ ）  
**A. 与单片相比，并联时电荷量增加 1 倍、电容量增加 1 倍、输出电压不变**  
 B. 与单片相比，串联时电荷量增加 1 倍、电容量增加 1 倍、输出电压增大 1 倍  
 C. 与单片相比，并联时电荷量不变、电容量减半、输出电压增大 1 倍  
 D. 与单片相比，串联时电荷量不变、电容量减半、输出电压不变
- 7.3 用于厚度测量的压电陶瓷器件利用了\_\_\_\_\_原理。  
 A. 磁阻效应 **B. 正压电效应** C. 逆压电效应
- 7.4 下面材料中不是压电材料有（ ）。  
 A. 石英晶体 B. 氧化锌  
 C. 铌酸钾晶体 **D. 有机玻璃**
- 7.5、石英晶体在沿机械轴  $y$  方向的力作用下会（ ）  
 A. 产生纵向压电效应 **B. 产生横向压电效应**  
 C. 不产生压电效应 D. 产生逆向压电效应
- 7.6、在运算放大器放大倍数很大时，压电传感器输入电路中的电荷放大器的输出电压与（ ）成正比。  
**A. 输入电荷** B. 反馈电容

- C. 电缆电容 D. 放大倍数

7.7 对石英晶体，下列说法正确的是（ ）。

- 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。

7.8、石英晶体和压电陶瓷的压电效应对比正确的是（ ）

- A. 压电陶瓷比石英晶体的压电效应明显，稳定性也比石英晶体好  
B. 压电陶瓷比石英晶体的压电效应明显，稳定性不如石英晶体好  
C. 石英晶体比压电陶瓷的压电效应明显，稳定性也比压电陶瓷好  
D. 石英晶体比压电陶瓷的压电效应明显，稳定性不如压电陶瓷好

7.9、两个压电元件相并联与单片时相比说法正确的是（ ）

- A. 并联时输出电压不变，输出电容是单片时的一半  
B. 并联时输出电压不变，电荷量增加了 2 倍  
C. 并联时电荷量增加了 2 倍，输出电容为单片时 2 倍  
D. 并联时电荷量增加了一倍，输出电容为单片时的 2 倍

7.10、两个压电元件相串联与单片时相比说法正确的是（ ）

- A. 串联时输出电压不变，电荷量与单片时相同  
B. 串联时输出电压增大一倍，电荷量与单片时相同  
C. 串联时电荷量增大一倍，电容量不变  
D. 串联时电荷量增大一倍，电容量为单片时的一半

7.11、用于厚度测量的压电陶瓷器件利用了（ ）原理。

- A. 磁阻效应 B. 压阻效应  
C. 正压电效应 D. 逆压电效应

7.12、压电陶瓷传感器与压电石英晶体传感器的比较是（ ）。

- A. 前者比后者灵敏度高 B. 后者比前者灵敏度高  
C. 前者比后者性能稳定性好 D. 前者机械强度比后者的好

7.13、压电式传感器目前多用于测量（ ）。

- A. 静态的力或压力 B. 动态的力或压力  
C. 位移 D. 温度

7.14、石英晶体在沿机械轴 y 方向的力作用下会（ ）。

- A. 产生纵向压电效应 B. 产生横向压电效应  
C. 不产生压电效应 D. 产生逆向压电效应

7.15、在运算放大器放大倍数很大时，压电传感器输入电路中的电荷放大器的输出电压与（ ）成正比。

- A. 输入电荷 B. 反馈电容  
C. 电缆电容 D. 放大倍数

7.16、石英晶体在沿电轴 X 方向的力作用下会（ D ）

- A. 不产生压电效应 B. 产生逆向压电效应  
C. 产生横向压电效应 D. 产生纵向压电效应

7.17、关于压电式传感器中压电元件的连接，以下说法正确的是（ ）

- A. 与单片相比，并联时电荷量增加 1 倍、电容量增加 1 倍、输出电压不变  
B. 与单片相比，串联时电荷量增加 1 倍、电容量增加 1 倍、输出电压增大 1 倍  
C. 与单片相比，并联时电荷量不变、电容量减半、输出电压增大 1 倍  
D. 与单片相比，串联时电荷量不变、电容量减半、输出电压不变

9. 下列光电器件中，基于光电导效应工作的是（ ）

- A. 光电管  
C. 光电倍增管
- B. 光敏电阻  
D. 光电池

- 9.1、封装在光电隔离耦合器内部的是（ ）  
A. 一个发光二极管和一个发光三极管  
B. 一个光敏二极管和一个光敏三极管  
C. 两个发光二极管或两个光敏三极管  
D. 一个发光二极管和一个光敏三极管
- 9.2、光电二极管工作是需（ ）  
A、加正向工作电压 B、加反向工作电压  
C、不需加电压 D、正、反电压都可以
- 9.3、有关光敏电阻的描述，正确的是（ ）  
A、暗电阻大 B、亮电阻大  
C、一样大 D、无法比较
- 9.4、基于外光电效应的光电器件有（ ）  
A、光电倍增管 B、光电池 C、光敏电阻 D、发光二极管
- 9.5、利用内光电效应原理制成的光电元件是（ ）。  
A. 光电管 B. 光电倍增管  
C. 光电池 D. 光敏电阻
- 9.6、下列器件中是基于外光电效应制成的是\_\_\_\_\_。  
A 光敏电阻 B 光电池 C 光电倍增管 D 光敏晶体管
- 9.7 光敏电阻的特性是（ D ）  
A. 有光照时亮电阻很大 B. 无光照时暗电阻很小  
C. 无光照时暗电流很大 D. 受一定波长范围的光照时亮电流很大
- 9.8、基于光生伏特效效应工作的光电器件是（ C ）  
A. 光电管 B. 光敏电阻  
C. 光电池 D. 光电倍增管
10. 不能实现非接触式测量的传感器是 A 。
- A 压电式 B 电涡流式 C 光电式 D 光纤式

## 二、 填空题

- 1、运算  $L = \frac{|\Delta L_{\max}|}{y_{\max} - y_{\min}} \times 100\%$  是计算传感器 线性度 的公式。
- 2、要使直流电桥平衡，必须使电桥相对臂电阻值的 乘积 相等。
- 3、量程是指传感器在 测量范围 内的上限值与下限值之差。
- 4、相对误差是指测量的 绝对误差 与 被测量真值 的比值，通常用百分数表示。
- 5、传感器静态特性指标主要有 灵敏度、线性度、迟滞性、重复性、漂移 等。
- 6、半导体应变片在应力作用下电阻率发生变化，这种现象称为 压阻 效应。
- 7、电阻应变片一般由 敏感栅、基片、覆盖层、引线 四个部分组成，其中 敏感栅 是核心部件。
- 8、金属丝在外力作用下发生机械形变时它的电阻值将发生变化，这种现象称 应变 效应；半导体受到作用力后电阻率要发生变化，这种现象称 压阻 效应。
- 9、电阻应变式传感器的核心元件是 电阻应变片，其工作原理是基于 电阻应变效应。
- 10、半导体应变片工作原理是基于 压阻效应 效应，它的灵敏系数比金属应变片的灵敏系数 大。
- 11、应变式传感器产生温度误差的原因为 电阻温度系数的影响 和 试件材料和电阻丝材料的线膨胀系数的影响。通常采用的温度补偿方法有 线路补偿法、应变片自补偿法 等。



- 12、电感式传感器是利用 电磁感应 原理，将被测量的变化转化成 电感 变化的一种机电转换装置。
- 13、自感式传感器主要有 变间隙式、变截面式 和 螺管式 三种类型。
- 14、差动变压器式传感器理论上讲，衔铁位于中心位置时输出电压为零，而实际上由于两线圈的结构及参数不相等，差动变压器输出电压不为零，此电压称为 零点残余电压。
- 15、在电感式传感器中，线圈之间的没有耦合的是 自感 式传感器，被测对象也是磁路一部分的是 电涡流 传感器。
- 16、电感式传感器是建立在 电磁感应 基础上的，电感式传感器可以把输入的物理量转换为 线圈的自感 或 互感 的变化，并通过测量电路进一步转换为电量的变化，进而实现对非电量的测量。
- 17、电感式传感器根据工作原理的不同可分为 自感式、互感式 和 电涡流式 等种类。
- 18、差动变压器结构形式有 变隙式、变面积式 和 螺线管式 等，但它们的工作原理基本一样，都是基于 电感量 的变化来进行测量，实际应用最多的是 螺线管式 差动变压器。
- 19、变气隙式自感传感器，当衔铁移动靠近铁芯时，铁芯上的线圈电感量 增加（①增加，②减少）。
- 20、电容式传感器按结构特点可分为 变极距型、变介电常数 型和 变面积型 等三种。
- 21、电容式传感器利用了将非电量的变化转换为 电容 的变化来实现对物理量的测量。
- 22、电容式传感器根据其工作原理的不同可分为 电容式传感器、电容式传感器 和 电容式传感器。
- 23、变极距型电容式传感器单位输入位移所引起的灵敏度与两极板初始间距成 反比 关系。
- 24、忽略边缘效应，变面积型电容式传感器输入量与输出量的关系为 线性（线性、非线性），变介质型电容式传感器输入量与输出量的关系为 线性（线性、非线性），变极距型电容式传感器输入量与输出量的关系为 非线性（线性、非线性）。
- 25、变极距型电容传感器做成差动结构后，灵敏度提高了 1 倍，而非线性误差转化为 平方反比 关系而得以大大降低。
- 26、将电能转变为机械能的压电效应称为 逆压电效应。
- 27、压电式传感器是一种典型的 有源型 传感器（或发电型传感器），其以某些电介质的 压电效应 为基础，来实现非电量电测的目的。
- 28、某些电介质当沿一定方向对其施力而变形时内部产生极化现象，同时在它的表面产生符号相反的电荷，当外力去掉后又恢复不带电的状态，这种现象称为 正压电 效应；在介质极化方向施加电场时电介质会产生形变，这种效应又称 逆压电 效应。
- 29、为了分析方便，在晶体学中把石英晶体用三根互相垂直的轴 x、y、z 来描述，分别称为 电轴、机械轴 和 光轴。
- 30、石英晶体沿 Z 轴（光轴） 方向施加作用力不会产生压电效应，没有点电荷产生。
- 31、石英晶体的 X 轴称为 电轴，垂直于 X 轴的平面上 纵向压电效应 最强；Y 轴称为 机械轴，沿 Y 轴的 横向压电效应 最明显；Z 轴称为光轴或中性轴，Z 轴方向上无压电效应。
- 32、正压电效应将 机械能 转变为 电能，逆压电效应将 电能 转化为 机械能（或机械运动）。
- 33、压电式传感器可等效为一个 电荷源 和一个 电容 并联，也可等效为一个 电压源 与 电容 相串联的电压源。
- 34、压电式传感器使用 电压 放大器时，输出电压几乎不受联接电缆长度变化的影响。
- 35、压电元件测量电路采用前置放大器的目的是：一是把它的高输出阻抗转换成低输出阻抗、二是放大传感器输出的微弱信号。目前经常应用的前置放大器有 电压放大 和 电荷放大 两种。
- 36、目前压电式传感器的常用的材料有 压电晶体、压电陶瓷 和 高分子电致伸缩材料 等三类，其中 压电晶体 具有良好的温度稳定性，常用于高精度的测量。压电材料的 逆压电 效应还可以用来产生超声波。
- 37、霍尔元件有两对电极，一对用来施加 激励电压或电流，称为 激励电极，另一对用来输出 输出引线，称为 输出电极。
- 38、霍尔效应指：金属或半导体置于磁场中，当有电流流过时，在 垂直于电流和磁场 方向上会产生电动势。
- 39、光电效应分为 外光电效应、光生伏特效应 和 内光电效应 三大类。光电效应分为 内光电效应 和 外光电效应 两大类，其中，光敏电阻的原理是基于 内光电效应 的。

### 三、名词解释：

- 1、传感器：传感器是能感受规定的被测量并按照一定的规律将其转换成可用输出信号的器件或装置。
- 2、重复性：用本方法在正常和正确操作情况下，由同一操作人员，在同一实验室内，使用同一仪器，并在短期内，对相同试样所作多个单次测试结果，在 95% 概率水平两个独立测试结果的最大差值
- 3、线性度：测试系统的输出与输入系统能否像理想系统那样保持正常值比例关系（线性关系）的一种度量。

### 2、正压电效应

答：压电效应：某些电介质物体在沿一定方向受到压力或拉力作用时发生变形，并且在其表面上会产生电荷，若将外力去掉，它们又重新回到不带电的状态。具有压电效应材料有石英晶体、人工制造的压电陶瓷、锆钛酸铅等。

**逆压电效应：**是指对晶体施加交变电场引起晶体机械变形的现象

### 四、简答题

- 1、解释什么是传感器？传感器的基本组成包括哪两大部分？这两大部分各自起什么作用？

答：传感器是能感受规定的被测量并按照一定的规律将其转换成可用输出信号的器件或装置。

通常传感器由敏感元件和转换元件组成。

敏感元件是指传感器中能直接感受或响应被测量的部分，转换元件是指传感器中将敏感元件感受或响应的被测量转换成适于传输或测量的电信号部分。

- 2、什么是传感器的静态特性，描述静态特性的技术指标有哪些？

3、答：传感器的静态特性是指被测量的值处于稳定状态时的输出—输入关系。与时间无关。

4、主要性能指标有：线性度、灵敏度、分辨率、迟滞、重复性和量程等。

3. 金属电阻应变片与半导体材料的电阻应变效应有什么不同？

答：金属电阻的应变效应主要是由于其几何形状的变化而产生的，半导体材料的应变效应则主要取决于材料的电阻率随应变所引起的变化产生的。

- 4、简要说明电容式传感器的工作原理。

答：电容式传感能将测量转换为传感器电容变化。传感器有动静两个板板，板板间的电容为：

$C = \epsilon_0 \epsilon_r A / \delta_0$ ，式中： $\epsilon_0$  真空介电常数  $\epsilon_r$  介质的相对介电常数

$\delta$  两极板间的距离有关  $A$  极板的有效面积

当动板运动或极板间的介质变化就会引起传感器电容值的变化，从而构成变极距式、变面积式和变介质的电容式传感器。

- 5、什么是电涡流效应？

答：根据法拉第电磁感应定律，块状金属导体置于变化的磁场中或在磁场中作切割磁力线运动时，导体内将产生呈漩涡状的感应电流，此电流叫电涡流，这种现象成为电涡流。

- 6、石英晶体 x、y、z 轴的名称及其特点是什么？

X 轴叫做电轴，y 轴叫做机械轴，z 轴叫做光轴。通常把沿电轴 x 方向的力作用下产生电荷的压电效应称为“纵向压电效应”，而把沿机械轴 y 方向上的力作用下产生电荷的压电效应称为“横向压电效应”。沿 z 轴方向的力作用时不产生压电效应。

- 7、画出压电元件的两种等效电路

- 8、画出压电式传感器中采用电荷放大器的电路图，并分析证明输出电压几乎不受联接电缆长度变化的影响。

9. 试说明压电式传感器中，压电片并联和串联后对测量的影响。

答：压电元件能够方便地组合应用，起到提高电压输出灵敏度的作用，这是压电式传感器的一个特点（2 分）。组合的基本方式有串联和并联。并联的特点是：输出电压相等，电容相加，总电荷量相加，因此输出的电荷量增加，适用于电荷输出场合（3 分，图 1 分）。串联的特点是总电荷量不变，电压相加，电容减小，因此，电灵敏度提高，适用于电压输出场合（3 分，图 1 分）。

10. 什么是霍尔效应？

答：在置于磁场的导体或半导体中通入电流，若电流与磁场垂直，则在与磁场和电流都垂直的方向上会出现一个电势差，这种现象就是霍尔效应，是由科学家爱德文·霍尔在1879年发现的。产生的电势差称为霍尔电压。

#### 11. 光电效应有哪几种?与之对应的光电元件各有哪些?

答：光电效应有外光电效应、内光电效应和光生伏特效应三种。基于外光电效应的光电元件有光电管、光电倍增管等；基于内光电效应的光电元件有光敏电阻、光敏晶体管等；基于光生伏特效应的光电元件有光电池等。

#### 12. 什么是内光电效应? 列举几种基于内光电效应工作的光电器件 (不少于三个)。

答：在光线作用下，物体的导电性能（电阻率）发生变化或产生光生电动势的现象称为内光电效应。（包括光电导效应和光生伏特效应）

#### 13. 什么是外光电效应? 什么是内光电效应?

在光线的作用下，物体内的电子逸出物体表面向外发射的现象称为外光电效应。

当光照射在物体上，使物体的电阻率  $\rho$  发生变化，或产生光生电动势的现象叫做内光电效应。根据工作原理的不同，内光电效应分为光电导效应和光生伏特效应两类。

### 五、分析计算题

1, 有一个温度传感器, 其微分方程为:  $30 \frac{dy}{dx} + 3y = 0.15x$ , 其中  $y$ ——输出电压 (mV),  $x$ ——输入温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ), 求该传感器的时间常数和静态灵敏度  $K$ 。(10%)

解:  $30 \frac{dy}{dx} + 3y = 0.15x \Rightarrow 10 \frac{dy}{dx} + y = 0.05x$

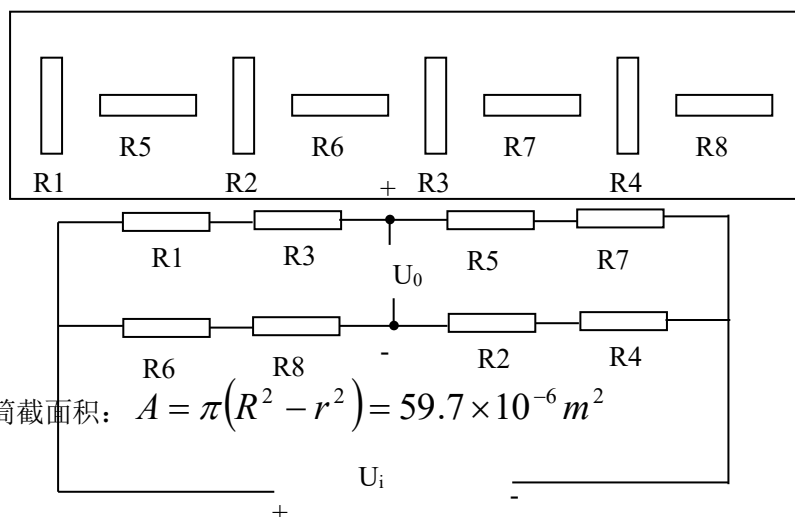
即时间常数  $\tau = 10s$ , 静态灵敏度  $k = 0.05$

2、一个量程为 10kN 的应变式测力传感器, 其弹性元件为薄壁圆筒轴向受力, 外径 20mm, 内径 18mm, 在其表面粘贴 8 个应变片, 4 个沿轴向粘贴, 4 个沿周向粘贴, 应变片的电阻值均为  $120\Omega$ , 灵敏度为 2.0, 泊松比为 0.3, 材料弹性模量为  $2.1 \times 10^{11}\text{Pa}$ , 要求:

- (1) 绘出弹性元件贴片位置及全桥电路;
- (2) 计算传感器在满量程时, 各应变片电阻变化;
- (3) 当桥路的供电电压为 10V 时, 计算传感器的输出电压。(20%)

解:

- (1) 如图所示



- (2) 圆筒截面积:  $A = \pi(R^2 - r^2) = 59.7 \times 10^{-6} \text{m}^2$



应变片 1、2、3、4 感受轴向应变：  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \varepsilon_4 = \varepsilon_x$

应变片 5、6、7、8 感受周向应变：  $\varepsilon_5 = \varepsilon_6 = \varepsilon_7 = \varepsilon_8 = \varepsilon_y$

满量程时：

$$\Delta R_1 = \Delta R_2 = \Delta R_3 = \Delta R_4 = k\varepsilon_x R = k \frac{F}{AE} R \approx 0.191\Omega$$

$$\Delta R_5 = \Delta R_6 = \Delta R_7 = \Delta R_8 = -\mu\Delta R_1 = 0.0573\Omega$$

(3) 全受拉力时：

$$U_0 = U_i \left[ \frac{(R_1 + \Delta R_1) + (R_3 + \Delta R_3)}{(R_1 + \Delta R_1) + (R_3 + \Delta R_3) + (R_5 + \Delta R_5) + (R_7 + \Delta R_7)} - \frac{(R_6 + \Delta R_6) + (R_8 + \Delta R_8)}{(R_6 + \Delta R_6) + (R_8 + \Delta R_8) + (R_2 + \Delta R_2) + (R_4 + \Delta R_4)} \right]$$

$$= U_i \left[ \frac{R_1 + \Delta R_1}{(R_1 + \Delta R_1) + (R_5 + \Delta R_5)} - \frac{R_6 + \Delta R_6}{(R_6 + \Delta R_6) + (R_2 + \Delta R_2)} \right]$$

$$\approx 1mV$$

3、图中，设负载电阻为无穷大（开路），图中  $E=4V$ ，  $R_1=R_2=R_3=R_4=100\Omega$ 。

(1)  $R_1$  为金属应变片，其余为外接电阻，当  $R_1$  的增量为  $\Delta R_1=1.0\Omega$  时，试求电桥的输出电压  $U_0$ 。

(2)  $R_1, R_2$  都是应变片，且批号相同，感应应变的极性和大小都相同，其余为外接电阻，试求电桥的输出电压  $U_0$ 。

(3)  $R_1, R_2$  都是应变片，且批号相同，感应应变的大小为  $\Delta R_1=\Delta R_2=1.0\Omega$ ，但极性相反，其余为外接电阻，试求电桥的输出电压  $U_0$ 。(20%)

解：(1)  $U_0 = E \left[ \frac{R_1 + \Delta R_1}{(R_1 + \Delta R_1) + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right] \approx 0.01V$

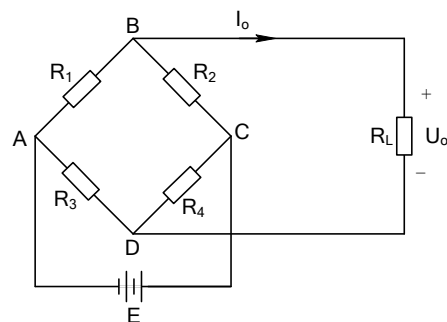
(2)  $U_0 = E \left[ \frac{R_1 \pm \Delta R_1}{(R_1 \pm \Delta R_1) + (R_2 \pm \Delta R_2)} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right] = 0$

(3) 当  $R_1$  受拉应变， $R_2$  受压应变时：

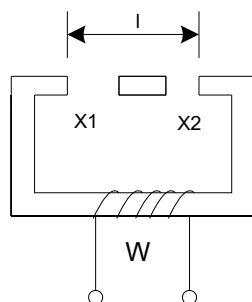
$$U_0 = E \left[ \frac{R_1 + \Delta R_1}{(R_1 + \Delta R_1) + (R_2 - \Delta R_2)} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right] = 0.02V$$

当  $R_1$  受压应变， $R_2$  受拉应变时：

$$U_0 = E \left[ \frac{R_1 - \Delta R_1}{(R_1 - \Delta R_1) + (R_2 + \Delta R_2)} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right] = -0.02V$$



4、分析如图所示自感传感器当动铁心左右移动时自感  $L$  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  $\mu$ ，线圈匝数  $W$  不变）。(10%)



解：动铁心不移动时， $L_1 = \frac{\mu W^2 b}{2\delta_0} x_1$ ， $L_2 = \frac{\mu W^2 b}{2\delta_0} x_2$ ， $b$  为铁心厚度。

$$\text{则总的自感 } L = L_1 + L_2 = \frac{\mu W^2 b}{2\delta_0} x_1 + \frac{\mu W^2 b}{2\delta_0} x_2 = \frac{\mu W^2 b}{2\delta_0} (x_1 + x_2)$$

(1) 动铁心左移  $\Delta x$  时， $x_1' = x_1 - \Delta x$ ， $x_2' = x_2 + \Delta x$

$$\text{则 } L_1' = \frac{\mu W^2 b}{2\delta_0} x_1' = \frac{\mu W^2 b}{2\delta_0} (x_1 - \Delta x)，L_2' = \frac{\mu W^2 b}{2\delta_0} x_2' = \frac{\mu W^2 b}{2\delta_0} (x_2 + \Delta x)$$

$$\text{所以 } L' = L_1' + L_2' = \frac{\mu W^2 b}{2\delta_0} x_1' + \frac{\mu W^2 b}{2\delta_0} x_2' = \frac{\mu W^2 b}{2\delta_0} (x_1 + x_2) = L$$

(2) 同理，当动铁心右移  $\Delta x$  时， $x_1' = x_1 + \Delta x$ ， $x_2' = x_2 - \Delta x$

$$L' = L_1' + L_2' = \frac{\mu W^2 b}{2\delta_0} x_1' + \frac{\mu W^2 b}{2\delta_0} x_2' = \frac{\mu W^2 b}{2\delta_0} (x_1 + x_2) = L$$

由上可知，无论动铁心怎么左右移动，自感  $L$  是不变的。

5、用光电器件设计路灯自动开关电路。

## 一 填空题

(每空 1 分, 共 25 分)

1. 传感器的灵敏度是指稳态标准条件下, 输出 变化量 与输入 变化量 的比值。对线性传感器来说, 其灵敏度是 一常数。
2. 用弹性元件和电阻应变片及一些附件可以组成应变片传感器, 按用途划分用应变式 力 传感器、应变式 加速度 传感器等 (任填两个)。(记忆方式:  $F=ma$ )
3. 采用热电阻作为测量温度的元件是将 温度 的测量转换为 电阻 的测量。
4. 单线圈螺线管式电感传感器主要由线圈、铁磁性外壳 和可沿线圈轴向 移动的活动铁芯 组成。
5. 利用涡流式传感器测量位移时, 为了得到较好的线性度和较好的灵敏度, 应该让 线圈与被测物的距离 大大小于 线圈半径。
6. 空气介质变隙式电容传感器中, 提高灵敏度和减少非线性误差是矛盾的, 为此实际中大都采用 差动 式电容传感器。
7. 振筒式传感器是以均匀 薄壁圆筒 作为敏感元件, 将被测气体压力或密度的变化转换成 频率。
8. 由光电管的光谱特性看出, 检测不同颜色的光需要选用 光电阴极材料 不同的光电管, 以便利用 光谱特性 灵敏度较高 的区段。
9. 按热电偶本身结构划分, 有 普通 热电偶、铠装热电偶、薄膜 热电偶。
10. 硒光电池的光谱响应区段与 人类 相近, 因而得到应用。
11. 热敏电阻正是利用半导体 载流子 数目随着温度变化而变化的特性制成的 温度 敏感元件。
12. 当半导体材料在某一方向承受应力时, 它的 电阻率 发生显著变化的现象称为半导体压阻效应。用这个原理制成的电阻称固态 压敏电阻。
13. 磁敏二极管工作时加 正向 电压。由于它的磁灵敏很高, 特别适用于测量 弱磁场。

## 二、选择题

(每小题 2 分, 共 16 分, 7、8 两题答案不止一个)

1. 电阻应变片的初始电阻数值有多种, 其中用的最多的是 (B)。  
A 60  $\Omega$     B 120  $\Omega$     C 200  $\Omega$     D 350  $\Omega$
2. 电涡流式传感器激励线圈的电源是 (C)。

A 直流 B 工频交流 C 高频交流 D 低频交流

3. 变间隙式电容传感器的非线性误差与极板间初始距离  $d_0$  之间是 (B)。

A 正比关系 B 反比关系 C 无关系

4. 单色光的波长越短，它的 (A)。

A 频率越高，其光子能量越大 B 频率越低，其光子能量越大

C 频率越高，其光子能量越小 D 频率越低，其光子能量越小

5. 热电偶可以测量 (C)。

A 压力 B 电压 C 温度 D 热电势

6. 光敏电阻适于作为 (B)。

A 光的测量元件 B 光电导开关元件 C 加热元件 D 发光元件

7. 目前我国使用的铂热电阻的测量范围是 (AD)。

A  $-200\sim 850^{\circ}\text{C}$  B  $-50\sim 850^{\circ}\text{C}$

C  $-200\sim 150^{\circ}\text{C}$  D  $-200\sim 650^{\circ}\text{C}$

8. 差动变压器传感器的配用测量电路主要有 (AB)。

A 差动相敏检波电路 B 差动整流电路

C 直流电桥 D 差动电桥

### 三、论述题

简述电涡流式传感器的工作原理 (每空 1 分，共 11 分)

传感器的激磁线圈通正弦交变电流时，在其周围产生交变磁场，使被测金属导体内产生电涡流。它的存在在削弱激磁线圈内磁场的变化。使线圈等效阻抗发生变化 (对比无被测金属时变小)。该变化完全取决于被测金属导体的电涡流效应。而电涡流效应的大小与被测金属导体的电阻率、磁导率及几何形状有关，又与线圈的几何尺寸、线圈中激磁电流的频率有关，还与线圈与被测金属导体间的距离等参数有关。如果保持上述中的其它参数不变，而只改变其中的一个参数，则传感器的线圈的阻抗就仅仅是这个参数的单值函数。通过测量线圈阻抗的变化量，即可实现对该参数的测量。

## 四、简答题（共 8 分）

1. 图 1 是差动式电容加速度传感器结构示意图。

2. 图 1 中各编号名称：

①是质量块；②是固定极板。

## 五、简答题（共 7 分）

图 21. 图 2 是压阻式加速度传感器结构示意图。

2. 图 2 中各编号名称：

①是四个扩散电阻；②是硅梁；③是质量块；④是基座；

## 六、简答题（共 6 分）

图 3 在图 3 所示的电桥中， $R_1=1000\Omega$ ， $R_3=1500\Omega$ ， $C_2=1\mu F$  时电桥平衡。电容  $C_4$  是多少？

答：根据平衡条件， $C_4 = C_2 R_1 / R_3 = 1 * 1000 / 1500 \approx 0.667\mu F$

## 七、简答题（共 15 分）

某  $CO_2$  气体传感器在  $20^\circ C$ ，浓度范围为  $0 \sim 100ppm$  时的输入特性表示为  $R_x = x + 250(k\Omega)$ 。

用差动法回答以下问题（其中  $R_1=10M\Omega$ ， $E=2V$ ）：

- 利用最简单的电阻-电压变换电路，绘出  $X$ ， $V_0$  的关系图。
- 利用电桥进行电阻-电压变换电路，绘出  $20^\circ C$  时  $X$ ， $V_0$  的关系图。另外，当  $30^\circ C$  时， $R_x = x + 500(k\Omega)$ ，在同一张图上再加上  $X$ ， $V_0$  的关系图，然后进行比较。
- 采用两个差动法的传感器电路绘出  $20^\circ C$ ， $30^\circ C$  时  $X$ ， $V_0$  的关系，然后与（2）中的图形进行比较。

答： $20^\circ C$  时， $0 \sim 100ppm$  对应得电阻变化为  $250 \sim 350 k\Omega$ 。 $V_0$  在  $48.78 \sim 67.63mV$  之间变化。如果  $R_2=10 M\Omega$ ， $R_3=250 k\Omega$ ， $20^\circ C$  时， $V_0$  在  $0 \sim 18.85mV$  之间变化。 $30^\circ C$  时  $V_0$  在  $46.46mV (0ppm) \sim 64.43mV (100ppm)$  之间变化。 $20^\circ C$  时， $V_0$  为  $0 \sim 18.85mV$ ，



30。C 时  $V_0$  为  $0 \sim 17.79\text{mV}$ ，如果零点不随温度变化，灵敏度约降低 4.9%。但相对（2）得情况来说有很大的改善。

## 八、简答题（12 分）

（1）采用超声波或光脉冲信号，由从对象反射回来的脉冲的时间进行距离检测，空气中的音速为  $340\text{m/s}$ ，软钢中纵波的因素为  $5900\text{m/s}$ ，光的速度为  $3 \times 10^8\text{m/s}$ ，求这三种情况下  $1\text{ms}$  的往复时间对应得距离。根据计算结果，比较采用光脉冲所需要系统得信号处理速度要比采用超声波脉冲时的系统速度快几倍？（2）根据（1）的结果，讨论利用脉冲往复时间测距，采用超声波和光波各有什么特点。

答：（1） $1\text{ms}$  的时间内超声波在空气和软钢中的传播距离分别为  $0.17\text{m}$  和  $3.0\text{m}$ ，而光的传播距离为  $1.5 \times 10^5\text{m}$ ，故要求有 105 倍高的处理速度。（2）采用光时， $1\mu\text{m}$  的处理速度只能测量  $100\text{m}$  以上的距离，不能进行近距离测量。如果要求分辨力为  $1\text{m}$ ，则要求  $10\text{ns}$  的处理速度。所以光脉冲法用于远距离分辨率要求不高的场合，而超声波用于近距离测量。

## 习题答案

1.1 什么是传感器？按照国标定义，“传感器”应该如何说明含义？

答：

从广义的角度来说，感知信号检出器件和信号处理部分总称为传感器。我们对传感器定义是：一种能把特定的信息（物理、化学、生物）按一定规律转换成某种可用信号输出的器件和装置。从狭义角度对传感器定义是：能把外界非电信息转换成电信号输出的器件。

我国国家标准（GB7665—87）对传感器（Sensor/transducer）的定义是：“能够感受规定的被测量并按照一定规律转换成可用输出信号的器件和装置”。定义表明传感器有这样三层含义：它是由敏感元件和转换元件构成的一种检测装置；能按一定规律将被测量转换成电信号输出；传感器的输出与输入之间存在确定的关系。按使用的场合不同传感器又称为变换器、换能器、探测器。

1.3 简述传感器主要发展趋势，并说明现代检测系统的特征。

答：传感器技术的主要发展动向，一是开展基础研究，发现新现象，开发传感器的新材料和新工艺；二是实现传感器的集成化与智能化。

2.1 传感器的静态特性是什么？由哪些性能指标描述？它们一般可用哪些公式表示？

答：

静特性是当输入量为常数或变化极慢时，传感器的输入输出特性，其主要指标有线性度、迟滞、重复性、分辨力、稳定性、温度稳定性、各种抗干扰稳定性。传感器的静特性由静特性曲线反映出来，静特性曲线由实际测绘中获得。人们根据传感器的静特性来选择合适的传感器。

4.3 差动式变极距型电容传感器，若初始容量  $C_1 = C_2 = 80pF$ ，初始距离  $\delta_0 = 4mm$ ，当动极板相对于定极板位移了  $\Delta\delta = 0.75mm$  时，试计算其非线性误差。若改为单极平板电容，初始值不变，其非线性误差有多大？

解：若初始容量  $C_1 = C_2 = 80pF$ ，初始距离  $\delta_0 = 4mm$ ，当动极板相对于定极板位移了  $\Delta\delta = 0.75mm$  时，非线性误差为：

$$\gamma_L = \left(\frac{\Delta\delta}{\delta_0}\right)^2 \times 100\% = \left(\frac{0.75}{4}\right)^2 \times 100\% = 3.5\%$$

改为单极平板电容，初始值不变，其非线性误差为：

$$\gamma_L = \frac{\Delta\delta}{\delta_0} \times 100\% = \frac{0.75}{4} \times 100\% = 18.75\%$$

5.3 说明单线圈和差动变间隙式电感传感器的结构、工作原理和基本特性。

6.3 为什么磁电感应式传感器的灵敏度在工作频率较高时，将随频率增加而下降？

答：

因为磁电感应式传感器的灵敏度为  $(e/D)$ ，振动频率过高时，线圈阻抗增大，使传感器灵敏度随振动频率增加而下降。

7.1 什么是压电效应？什么是正压电效应和逆压电效应？

答：

某些电介质在沿一定的方向受到外力的作用变形时，由于内部电极化现象同时在两个表面上产生符号相反的电荷，当外力去掉后，恢复到不带电的状态；而当作用力方向改变时，电荷的极性随着改变。晶体受力所产生的电荷量与外力的大小成正比。这种现象称为正压电效应。如对晶体施加一定变电场，晶体本身将产生机械变形，外电场撤离，变形也随之消失，称为逆压电效应。

8.2 普通光电器件有哪几种类型？各有何特点？利用光电导效应制成的光电器件有哪些？用光生伏特效应制成的光电器件有哪些？

答：光接收器件、光发送器件；小功率光收发器件、大功率光发射器件（激光器）

9.3 CCD 电荷耦合器主要由哪两个部分组成？试描述 CCD 输出信号的特点。

答：

1) CCD 基本结构由 MOS 光敏元阵列和读出移位寄存器两部分组成。

2) CCD 电极传输电荷方向（向右或向左）是通过改变三相时钟脉冲的时序来控制的，输出的幅值与对应的光敏元件上电荷量成正比。信号电荷的输出方式主要有电流输出和电压输出两种，电流输出型是输出电流与电荷成正比，在输出电路负载上形成输出电流。

10.1 什么是半导体气体传感器？它有哪些基本类型？气体传感器的发展动态如何？

答：半导体传感器利用半导体材料的各种物理、化学和生物学特性制成的传感器。

12.1 什么是热电效应？热电偶测温回路的热电势由哪两部分组成？由同一种导体组成的闭合回路能产生热电势吗？

答：

1) 两种不同类型的金属导体两端分别接在一起构成闭合回路，当两个结点有温差时，导体回路里有电流流动会产生热电势，这种现象称为热电效应。

2) 热电偶测温回路中热电势主要是由接触电势和温差电势两部分组成。

3) 热电偶两个电极材料相同时，无论两端点温度如何变化无热电势产生。