

第 1 章 习题

什么叫传感器？它由哪几部分组成？

答：传感器是能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置。传感器通常由敏感元件和转换元件组成。其中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能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. 传感器在自动测控系统中起什么作用？

答：自动检测和自动控制技术是人们对事物的规律定性了解、定量分析预期效果所从事的一系列技术措施。自动测控系统是完成这一系列技术措施之一的装置。一个完整的自动测控系统，一般由传感器、测量电路、显示记录装置或调节执行装置、电源四部分组成。传感器的作用是对通常是非电量的原始信息进行精确可靠的捕获和转换为电量，提供给测量电路处理。

3. 传感器分类有哪几种？各有什么优、缺点？

答：传感器有许多分类方法，但常用的分类方法有两种，一种是按被测输入量来分，如温度传感器、湿度传感器、压力传感器、位移传感器、流量传感器、液位传感器、力传感器、加速度传感器、转矩传感器等；另一种是按传感器的工作原理来分，如电学式传感器、磁学式传感器、光电式传感器、电势型传感器、电荷传感器、半导体传感器、谐振式传感器、电化学式传感器等。还有按能量的关系分类，即将传感器分为有源传感器和无源传感器；按输出信号的性质分类，即将传感器分为模拟式传感器和数字式传感器。

按被测输入量分类的优点是比较明确地表达了传感器的用途，便于使用者根据其用途选用；缺点是没有区分每种传感器在转换机理上有什么共性和差异，不便使用者掌握其基本原理及分析方法。

按工作原理分类的优点是对传感器的工作原理比较清楚，有利于专业人员对传感器的深入研究分析；缺点是不便于使用者根据用途选用。

4. 什么是传感器的静态特性？它由哪些技术指标描述？

答：传感器测量静态量时表现的输入、输出量的对应关系为静态特性。它有线性度、灵敏度、重复性、迟滞现象、分辨力、稳定性、漂移等技术指标。

5. 为什么传感器要有良好的动态特性？什么是阶跃响应法和频率响应法？

答：在动态（快速变化）的输入信号情况下，要求传感器能迅速准确地响应和再现被测信号的变化。因此，需要传感器具有良好的动态特性。

测试和检验传感器的动态特性有瞬态响应法和频率响应法。

阶跃响应法即瞬态响应法，是给传感器输入一个单位阶跃函数的被测量，测量其输出特性。

动态特性优良的传感器的输出特性应该上升沿陡，顶部平直。

频率响应法是给传感器输入各种频率不同而幅值相同，初相位为零的正弦函数的被测量，测量其输出的正弦函数输出量的幅值和相位与频率的关系。动态特性优良的传感器，输出的正弦函数输出量的幅值对于各频率是相同的，相位与各频率成线性关系。

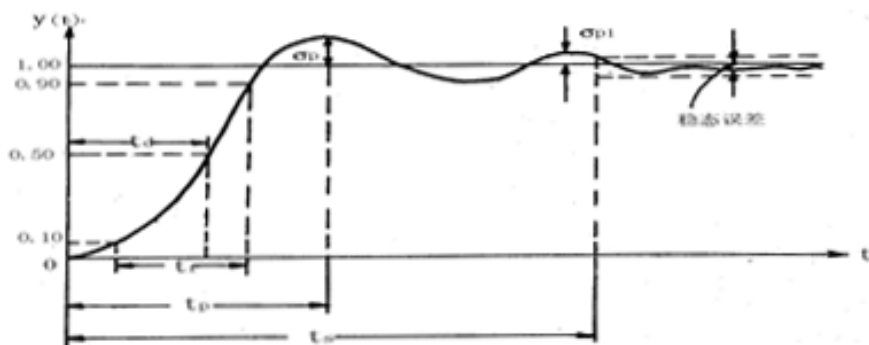
6. 传感器的性能指标有哪些？设计、制造传感器时应如何考虑？试举例说明？

答：传感器有基本参数指标，例如量程、灵敏度、精度以及动态特性的频率特性、上升时间、过冲量等；有环境参数指标，例如温度、气压、湿度等；有可靠性指标，例如寿命、平均无故障时间、绝缘电阻、耐压等；还有供电方式、外形尺寸、重量、安装方式等性能指标。在设计、制造传感器时应根据实际的需要与可能，在确保主要性能指标实现的基础上，放宽对次要性能指标的要求，以求得高的性能价格比。例如：测量体温的温度表用的是水银材料（精度高，水银低温时要冻结），而家庭使用测量室内温度的温度计用的是染色酒精（低温时不冻结，价格便宜）。

7. 有一温度传感器，如何简单鉴别它的动态特性优劣？

答：温度传感器若能迅速准确地响应和再现被测温度的变化，则其动态特性良好。最简单的鉴别温度传感器动态特性的方法是：将该温度传感器从冰箱 4℃ 的冷藏环境拿出来放到常温环境下，最好温差在 20℃ 以上，观察该温度传感器最终稳定显示常温温度的时间长短。时间越短，动态特性越好。

精细一点，可用瞬态响应法来鉴别。将该温度传感器从常温迅速放到温差 60℃ 的热水中，记录并描绘其显示温度与时间的关系，如图



(1) 最大超调量 σ_p (2) 延迟时间 t_d , (3) 上升时间 t_r , (4) 峰值时间 t_p , (5) 响应时间 t_s ; 则动态特性优。

第 2 章 习题

1. 用 K 型（镍铬—镍硅）热电偶测量炉温时，自由端温度 $t_0=30^\circ\text{C}$ ，由电子电位差计测得热电势 $E(t, 30^\circ\text{C})=37.724\text{mV}$ ，求炉温 t 。

答：参考端（自由端）温度 $t_0=30^\circ\text{C}$ ，由分度表 2-1 可查得 $E(30^\circ\text{C}, 0^\circ\text{C})=1.203\text{mV}$ ，若测得

热电势

$E(t, 30^{\circ}\text{C}) = 37.724\text{mv}$ ，则可得

$E(t, 0^{\circ}\text{C}) = E(t, 30^{\circ}\text{C}) + E(30^{\circ}\text{C}, 0^{\circ}\text{C}) = 37.724 + 1.203 = 38.927\text{mv}$

再查分度表可知炉温 $t = 940^{\circ}\text{C}$ 。

2. 热电偶主要分几种类型，各有何特点。我国统一设计型热电偶有哪几种？

答：热电偶主要分普通型热电偶、铠装热电偶和薄膜热电偶。普通型热电偶由热电极、绝缘套管、保护管和接线盒组成，是工业测量上应用最多的热电偶；铠装热电偶耐高压、反应时间短、坚固耐用；薄膜热电偶适用于各种表面温度的测量。

我国指定 S、B、E、K、R、J、T 七种标准化热电偶为我国统一设计型热电偶。

3. 利用分度号 Pt₁₀₀ 铂电阻测温，求测量温度分别为 $t_1 = -100^{\circ}\text{C}$ 和 $t_2 = 650^{\circ}\text{C}$ 的铂电阻 R_{t_1} 、 R_{t_2} 值。

答：在 -100°C 铂电阻的电阻—温度特性方程为：

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + Ct^3 (t - 100)]$$

将 $R_0 = 100\ \Omega$ 、 $t_1 = -100^{\circ}\text{C}$ 、 $A = 3.9684 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ 、 $B = -5.847 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}^2$ 、 $C = -4.22 \times 10^{-12}/^{\circ}\text{C}^4$ 代入，可计算得到

$$R_t = 100 [1 + 3.9684 \times 10^{-3} \times (-100) + (-5.847 \times 10^{-7}) \times (-100)^2 + (-4.22 \times 10^{-12}) \times (-100)^3 \times (-100 - 100)] = 59.6\ \Omega$$

在 $+650^{\circ}\text{C}$ 铂电阻的电阻—温度特性方程为：

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2)$$

将 $R_0 = 100\ \Omega$ 、 $t_2 = 650^{\circ}\text{C}$ 、 $A = 3.9684 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ 、 $B = -5.847 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}^2$ 代入，可计算得到 $R_t = 100 (1 + 3.9684 \times 10^{-3} \times 650 + -5.847 \times 10^{-7} \times 650^2) = 333\ \Omega$

4. 利用分度号 Cu₁₀₀ 的铜电阻测温，当被测温度为 50°C 时，问此时铜电阻 R_t 值为多大？

答： $R_t \approx R_0 (1 + \alpha t)$

R_0 为温度为 0°C 时铜电阻值，Cu₁₀₀ 为 $100\ \Omega$ ， α_1 为常数； $\alpha_1 = 4.28 \times 10^{-3}\ ^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

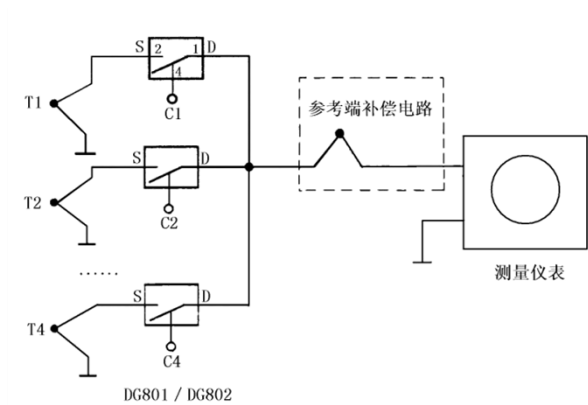
代入算得

$$R_t \approx 100 \times (1 + 4.28 \times 10^{-3} \times 50) = 121.4\ \Omega$$

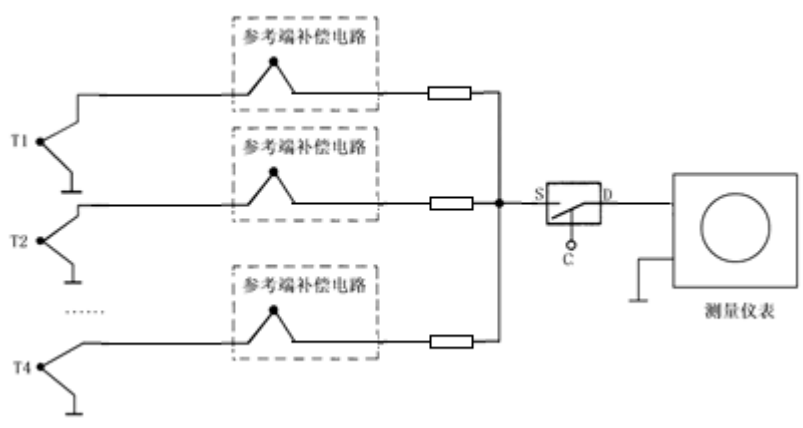
5. 画出用四个热电偶共用一台仪表分别测量 T_1 、 T_2 、 T_3 和 T_4 的测温电路。若用四个热电偶共用一台仪表测量 T_1 、 T_2 、 T_3 和 T_4 的平均温度，电路又应怎样连接？

答：

(1) 四个热电偶分别接电子开关，再接同一台测量仪表，通过选通电子开关的办法，实现分别测量 T_1 、 T_2 、 T_3 和 T_4 的温度。(电子开关可以采用 DG801 / 802 超导通电阻 (最大导通电阻为 $0.4\ \Omega$) 电子开关，S 端输入，D 端输出，C 端高电平时选通。)



(2) 四个热电偶并联再接测量仪表，可以实现共用一台仪表测量 T_1 、 T_2 、 T_3 和 T_4 的平均温度。四路各需接一个小电阻实现隔离，电子开关可选用 DG801/802 型号。



6. 硅二极管测温电路，如图 2-18 所示。当被测温度 t 为 30°C 时，输出电压为 5V ，当输出电压为 10V 时，问被测温度为多大？

答：温度每变化 1°C ，输出电压变化量为 0.1V 。输出电压为 10V 时，被测温度为 80°C 。

7. 利用如图 2-27 所示集成温度传感器测量温度，如果被测温度为 30°C 时，输出电压为 303mV ，问被测温度为 120°C 时，输出电压 U_R 为多大？

答：温度每变化 1°C ，输出电压变化量为 1mV （每 1 度 K 与每 1°C 相同）。被测温度为 120°C 时，输出电压 U_R 为 $303\text{mV} + 90\text{mV}$ ，即 393mV 。

8. 分析图 2-28 所示热电偶参考端温度补偿电路工作原理。

答：集成温度传感器 AD590 应紧贴热电偶参考端，处于同一温度下。

AD580 是一个三端稳压器，提供稳定输出电压 $U_0 = 2.5\text{V}$ 。电路工作时，调整电阻 R_2 使得集成温度传感器 AD590 的随温度变化的输出电流的 I_1 分量为

$$I_1 = t_0 \times 10^{-3}$$

I_1 的单位是 mA ，即 $1 \mu\text{A}/\text{K}$ 的电流。这样在电阻 R_1 上产生一个随参考端温度 t_0 变化的补偿电压 $U_1 = I_1 R_1$ 。

选择 R_1 使 U_1 与 $E_{AB}(t_0, 0^\circ\text{C})$ 近似相等。 U_1 与热电偶输出电压 $E_{AB}(t, t_0)$ 串联相加后输入测量仪表，起参考端温度补偿作用，测量仪表显示的为实际测量温度值。

9. 正温度系数热敏电阻和负温度系数热敏电阻各有什么特性？各有哪些用途？哪一种热敏电阻可以做“可恢复熔丝”？

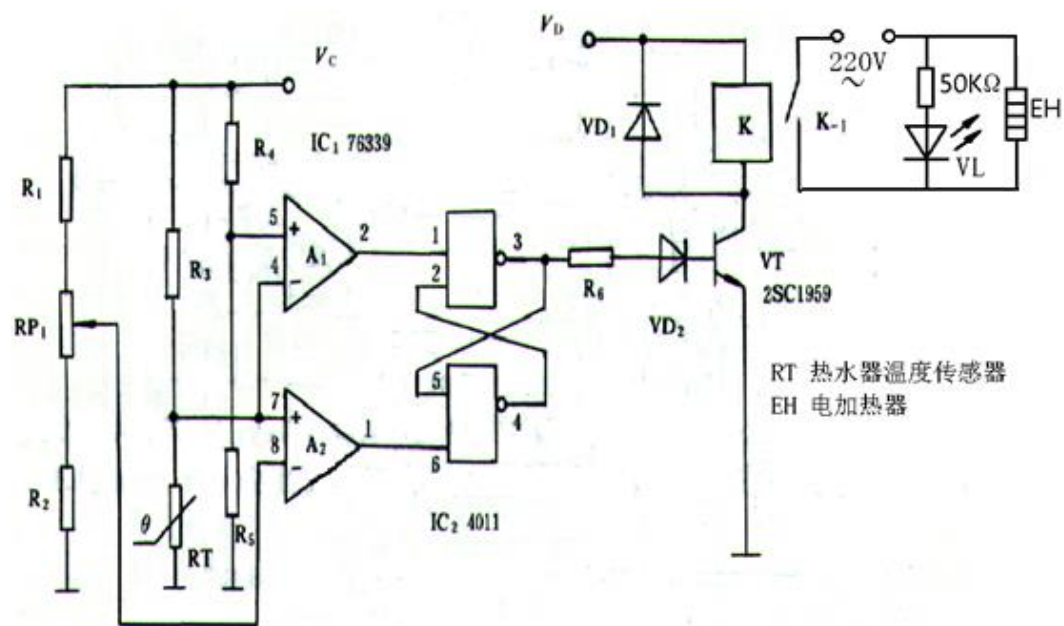
答：正温度系数热敏电阻随温度升高阻值增大，阻值随温度的变化有线性型和突变型。负温度系数热敏电阻随温度升高阻值降低，阻值随温度的变化有突变型和负指数型。

线性型正温度系数热敏电阻和负指数型负温度系数热敏电阻适用于温度测量。突变型正温度系数热敏电阻和突变型负温度系数热敏电阻适用于温控开关和温度保护电路。

突变型正温度系数热敏电阻可以做“可恢复熔丝”。温度升高到突变值，电阻陡然升高，相当于保险丝熔断。当温度降低时，电阻陡然变小，相当于保险丝又恢复接通了。

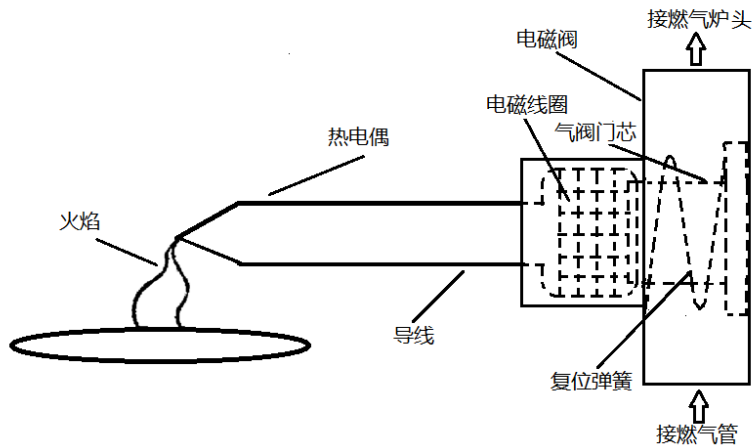
10. 参照冰箱热敏电阻温控电路，用热水器专用温度传感器设计热水器温度控制电路？

答：如图，温度降低到一定值，继电器 K 接通，电加热器加热。温度升高到一定值，继电器 K 断开，电加热器停止加热。



11. 燃气灶意外熄火保护，可通过热电偶控制关闭燃气阀来实现。试设计该电路。

答：可以通过热电偶感知火焰温度，产生热电动势来开闭燃气电磁阀，实现燃气灶意外熄火保护。热电偶控制燃气灶意外熄火保护电路如下图所示。



燃气灶点火时，使用者旋转开关旋钮，通过电磁阀外连杆将复位弹簧压缩，带动气阀门芯打开。燃气通过，燃气灶点燃。热电偶被点燃的火焰加热，产生的电动势通过导线向电磁线圈供电，产生磁场吸住带有磁性的气阀门芯，使已打开的气阀门保持打开状态，燃气灶保持正常燃烧。

燃气灶意外熄火时，热电偶降温失去电动势，电磁线圈磁场消失，不能继续吸住磁性气阀门芯，气阀门芯在复位弹簧的压力作用下关闭气路，避免燃气泄漏。

电磁阀线圈功率消耗很小，可直接用热电偶产生的电动势带动。热电偶选用 K 型热电偶，耐腐蚀，可工作在温度 1000°C ，输出电动势在 20mV 以上。

该保护装置工作稳定、可靠，只是存在 $5\sim 10\text{s}$ 的热惰性时间延迟，这点时间燃气泄露量很少，不会引起安全问题。

第 3 章 习题

1. 弹性敏感元件的作用是什么？有哪些弹性敏感元件？如何使用？

答：弹性敏感元件把力或压力转换成了应变或位移，然后再由传感器将应变或位移转换成电信号。

有变换力的弹性敏感元件，例如等截面柱式、圆环式、等截面薄板、悬臂梁及轴状等结构。有变换压力的弹性敏感元件，例如弹簧管、波纹管、波纹膜片、膜盒和薄壁圆筒等，它可以把流体产生的压力变换成位移量输出。

应仔细分清不同弹性敏感元件的性能，根据测量物理量的性质、大小、测量条件和测量精度，选用合适的弹性敏感元件。

2. 电阻应变片是根据什么基本原理来测量应力的？简述图 3-9 所示不同类型应变片传感器的特点。

答：电阻应变片是把导体的机械应变转换成电阻应变，通过电阻测量来测量所受的应力。

金属电阻应变片分体型和薄膜型。属于体型的有电阻丝栅应变片、箔式应变片、应变花等。图 3-9 所示丝绕式应变片粘贴性能好，能保证有效地传递变形，性能稳定，且可制成满足高温、强磁场、核辐射等特殊条件使用的应变片。缺点是 U 型应变片的圆弧型弯曲段呈现横向效应，H 型应变片因焊点过多，可靠性下降。

箔式应变片优点是粘合情况好、散热能力较强、输出功率较大、灵敏度高。在工艺上可按需要制成任意形状，易于大量生产，成本低廉。

半导体应变片灵敏系数大、机械滞后小、频率响应快、阻值范围宽（可从几欧~几十千欧），易于做成小型和超小型；但热稳定性差，测量误差较大。

3. 图 3-11 (d) 为应变片全桥测量电路，试推导其输出电压 U_o 表达式。

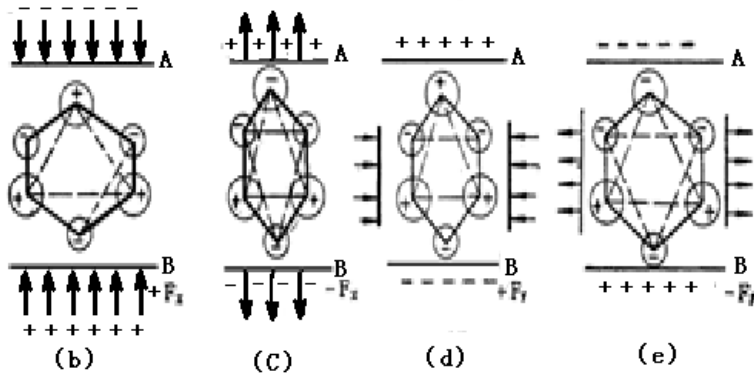
答：图 3-11 (d) 是四个桥臂均为测量片的电路，且互为补偿，有应变时，必须使相邻两个桥臂上的应变片一个受拉，另一个受压。

$$u_o = \frac{u_i(R_1 + \Delta R_1)}{R_1 + \Delta R_1 + R_2 - \Delta R_2} - \frac{u_i(R_4 - \Delta R_4)}{R_3 + \Delta R_3 + R_4 - \Delta R_4}$$

可以计算输出电压为

$$u_o = u_i \cdot \frac{\Delta R_1}{R}$$

4. 利用图 3-12 分析石英晶体的压电效应。



答：当在 X 轴向施加压力时，如图 3-12 (b) 所示，各晶格上的带电粒子均产生相对位移，正电荷中心向 B 面移动，负电荷中心向 A 面移动，因而 B 面呈现正电荷，A 面呈现负电荷。当在 X 轴向施加拉伸力时，如图 3-12 (c) 所示，晶格上的粒子均沿 X 轴向产生位移，但硅离子和氧离子向外位移大，正负电荷中心拉开，B 面呈现负电荷，A 面呈现正电荷。在 Y 方向施加压力时，如图 3-12 (d) 所示，晶格离子沿 Y 轴被向内压缩，A 面呈现正电荷，B 面呈现负电荷。沿 Y 轴施加拉伸力时，如图 3-12 (e) 所示，晶格离子在 Y 向被拉长，X 向缩短，B 面呈现正电荷，A 面呈现负电荷。

5. MPX4100A 型集成硅压力传感器由哪几部分电路组成？单晶硅压电传感器单元是如何工作的？为什么需要加温度补偿和放大电路？

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/715014142234011102>