

6.5 热电式传感器的应用

热电式传感器最直接的应用就是测量温度，如热电偶温度计、热电阻温度计以及利用集成温度传感器制成的可直接读取摄氏温度或华氏温度的数字温度计等。另外热电式传感器在温度监测、控制和补偿甚至在气体成分、金属材质的分析等许多场合都有着广泛的应用。

6.5.1 热电偶温度传感器的典型应用

例 6-4 金属材质鉴别仪

图 6-32 所示为利用热电效应进行无损检测的金属材质鉴别仪的原理图。两个电极由相同材料铜制成，其中一个电极被均匀加热，温度为 T 。检测时，被测金属与两个电极组成两组热电回路：一组由被测金属与铜电极组成，另一组由康铜线与铜线组成。

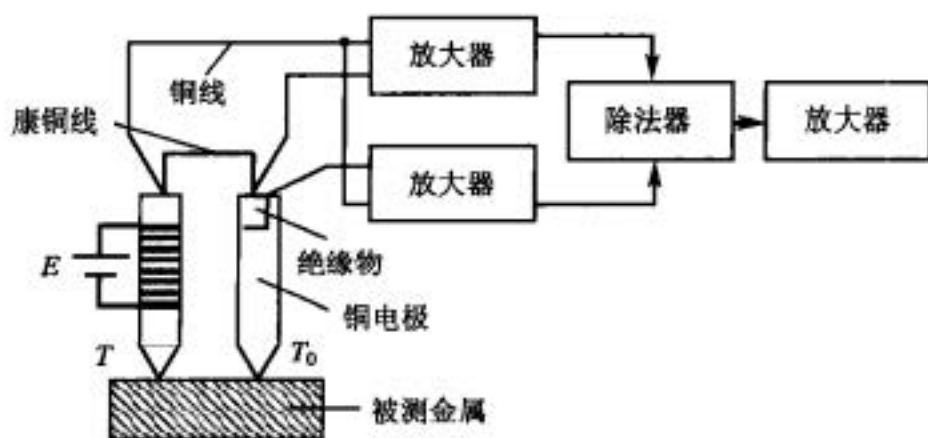


图 6-32 热电式金属材质鉴别仪

由于温差电动势很小，所以热电偶回路中两导体的温差电动势根据(6-3)式可写成

$$\int_{T_0}^T (\sigma_A - \sigma_B) dT = (T - T_0)(\sigma_A - \sigma_B)$$

故(6-4)式可写作

$$\begin{aligned} E_{AB}(T, T_0) &= \frac{k}{e} \ln \frac{N_A}{N_B} (T - T_0) + (T - T_0)(\sigma_A - \sigma_B) \\ &= (T - T_0) \left[\frac{k}{e} \ln \frac{N_A}{N_B} + (\sigma_A - \sigma_B) \right] \end{aligned}$$

因为两组热电回路具有相同的结点温度(T, T_0)，所以它们相应的热电动势为

$$E_{AX}(T, T_0) = (T - T_0) \left[\frac{k}{e} \ln \frac{N_A}{N_X} + (\sigma_A - \sigma_X) \right] \quad (6-36)$$

$$E_{AK}(T, T_0) = (T - T_0) \left[\frac{k}{e} \ln \frac{N_A}{N_K} + (\sigma_A - \sigma_K) \right] \quad (6-37)$$

式中： N_A 、 N_K 、 N_X 为铜、康铜和被测金属的自由电子密度；

σ_A 、 σ_K 、 σ_X 为铜、康铜和被测金属的汤姆逊系数。

两组热电回路的热电动势之比 Y 为

$$Y = \frac{E_{AX}}{E_{AK}} = \frac{\frac{k}{e} \ln \frac{N_A}{N_X} + (\sigma_A - \sigma_X)}{\frac{k}{e} \ln \frac{N_A}{N_K} + (\sigma_A - \sigma_K)}$$

可见, Y 值只随被测金属的 σ_X 、 N_X 值变化, 温度变化对 Y 值没有影响。该装置进行检测时不受被测金属形状大小的影响, 但会受到表面镀层的影响。

6.5.2 热电阻温度传感器的典型应用

例 6-5 测量真空度

如图 6-33 所示, 铂电阻装在盛有被测介质的玻璃管内。测量时, 用较大的恒定电流 I 对电阻丝加热, 当环境温度与玻璃管内的被测介质导热而散失的热量相平衡时, 铂丝就有一定的平衡温度, 对应这个确定的温度有一定的阻值 R_t 。当被测介质真空度升高时, 玻璃管内气体变得稀少, 导热能力下降, 铂丝的平衡温度和电阻值都增大。因此, 电阻值的大小反映了被测介质真空度的高低。

通常为了避免环境温度的影响, 测量是在恒温容器中进行的。该装置一般可测到 10^{-3} Pa。

例 6-6 气体成分分析

气体成分分析室的结构如图 6-34 所示, 它是一个圆柱形装置, 轴心上装有一根电阻丝, 电阻丝用恒定的大电流加热。电阻丝达到的平衡温度取决于分析室内气体的导热系数, 而气体的导热系数与气体成分的浓度有关。对于不相互发生化学反应的混合气体, 其导热系数 λ 为各成分气体导热系数的平均值, 即

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \frac{n_i \lambda_i}{100} \quad (6-38)$$

式中: λ_i 为分析室内第 i 种气体的导热系数;

n_i 为分析室内第 i 种气体的百分含量。

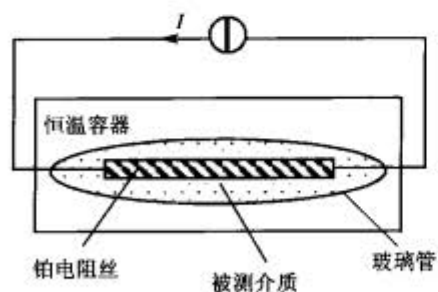


图 6-33 热电阻测量真空度

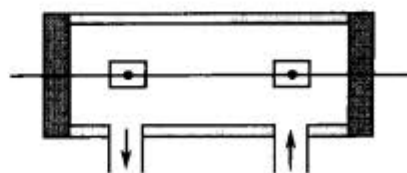


图 6-34 气体成分分析室结构

若分析室内只有两种气体混合, 它们的导热系数分别是 λ_1 和 λ_2 , λ_1 的百分含量为 a , 由(6-38)式可得

$$\lambda = \lambda_1 a + \lambda_2 (1 - a) \quad (6-39)$$

若 λ_1 和 λ_2 已知, 只要测出 λ , 就可以利用(6-39)式算出两种气体的百分含量。测量电阻丝的阻值就可以知道电阻丝的平衡温度, 由此可得到混合气体的导热系数 λ , 从而求出气

体的百分含量。

6.5.3 热敏电阻温度传感器的典型应用

热敏电阻温度传感器广泛应用于家用电器如空调机、微波炉、电风扇、电取暖炉等的温度控制与温度检测,办公自动化设备如复印机、打印机、电子誊印机的温度检测或温度补偿,工业、医疗、环保、气象、食品加工设备的温度控制与检测,液面指示和流量测量,手提电话机电源、仪表线圈、集成电路、石英晶体振荡器和热电偶的温度补偿等许多场合。

例 6-7 热电式继电器

在图 6-35 中, R_t 为负温度系数热敏电阻, K 为继电器。温度正常时, R_t 阻值较大, A 点电势较低, 三极管 VT 不导通, 继电器不吸合; 温度升高后, R_t 阻值减小, A 点电势升高, 三极管导通, 继电器吸合。

这样构成的热电式继电器可用于电动机过热保护线路。使用时, 将它固定在电动机绕组附近, 当电动机过载或出现短路故障时, 电动机绕组温度剧增, 热敏电阻阻值相应减小, 三极管导通, 继电器吸合, 控制电动机电路断开, 起到过热保护的作用。若电动机恢复正常, 绕组温度降低, 热敏电阻阻值变大, 三极管截止, 继电器断开, 电动机电路又被接通。

例 6-8 热敏电阻流量计

图 6-36 是一个热敏电阻流量计的电原理图。 R_{t1} 、 R_{t2} 为两个热敏电阻探头。 R_{t1} 放在管道中央, 它的散热情况受介质流速的影响。 R_{t2} 放在温度与流体相同, 但不受介质流速影响的小室中。调 RP , 使得当介质处于静止状态时, 电桥处于平衡状态, 流量计 G 没有指示。当介质流动时, 由于介质流动带走热量, 温度的变化引起 R_{t1} 阻值变化, 电桥失去平衡而有输出, 电流计 G 的指示直接反映了流量的大小。

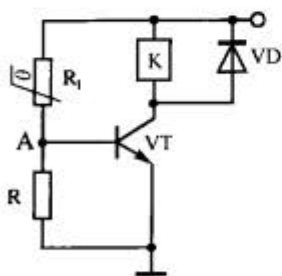


图 6-35 热电式继电器

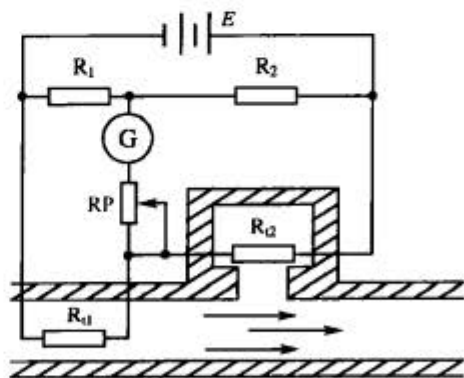


图 6-36 热敏电阻流量计

6.5.4 集成温度传感器的典型应用

集成温度传感器具有体积小、热惰性小、反应快、测量精度高、稳定性好、校准方便、价格低等特点,因而获得了广泛的应用。目前集成温度传感器应用较多的有 AD590、AD592、AN6701、LM35、LM3911、 $\mu PC616C$ 和 $\mu PC3911C$ 等。下面主要介绍 AD590 的典型应用。

例 6-9 摄氏和华氏数字温度计

AD590 是一个两端器件, 只需要一个直流电压源, 功率的需求比较低(1.5mW, 5V)。其输出是高阻抗(710MΩ)的电流, 因而长线上的电阻对器件工作影响不大, 适合长线传输, 但要采用屏蔽线, 防止干扰。

摄氏和华氏数字温度计主要由电流温度传感器 AD590、ICL7106 和显示器组成, 如图 6-37 所示。

ICL7106 包括模/数转换器、时钟发生器、参考电压源、BCD 的七段译码和显示驱动器等, 它与 AD590 和几个电阻及液晶显示器构成了一个数字温度计, 而且能实现两种定标制的温度测量和显示。对摄氏和华氏两种温度均采用同一参考电压(500mV)。

对于两种温度, 各电阻取值见表 6-11。

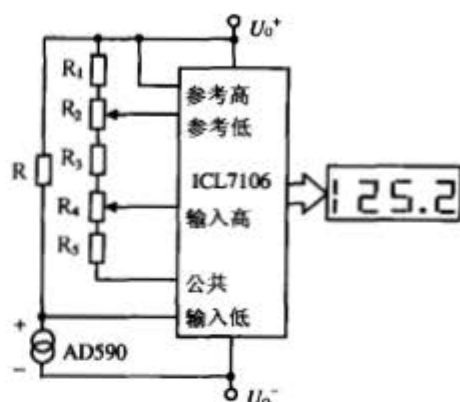


图 6-37 摄氏和华氏数字温度计电路

表 6-11 摄氏和华氏数字温度计电路中各电阻的取值

温度单位	R	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
°F	9kΩ	4.02kΩ	2kΩ	12.4kΩ	10kΩ	0
°C	5kΩ	4.02kΩ	2kΩ	5.1kΩ	5kΩ	11.8kΩ

例 6-10 AD590 测量温差

利用两块 AD590, 按图 6-38 可以组成温差测量电路。两块 AD590 分别处于两个被测点, 其温度分别为 T_1 、 T_2 , AD590 输出的相应电流分别为 I_1 、 I_2 。若两块 AD590 有相同的标度因子 K_1 , 则

$$I = I_1 - I_2 = K_1(T_1 - T_2)$$

运放 A 的输出电压 U_o 为

$$U_o = IR_3 = K_1 R_3(T_1 - T_2)$$

可见, 只要 K_1 一定, 输出电压正比于两个被测点的温差。但在实际中感温器件的 K_1 值总有差异, 因此在电路中引入电位器 RP, 通过隔离电阻 R_1 注入一个校正电流 ΔI , 以获得平稳的零位误差。

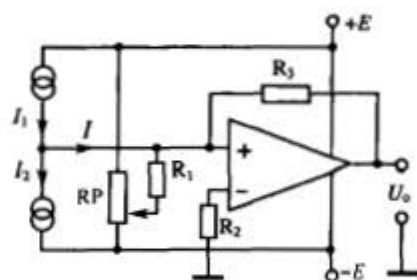


图 6-38 AD590 测量温差

另外, 将几块 AD590 串联使用, 显示的总是几个被测温度中的最低温度, 如图 6-39 所示。将几块 AD590 并联就可获得被测温度的平均值, 如图 6-40 所示。

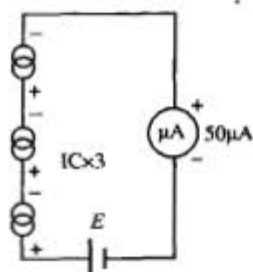


图 6-39 低温测量温度计

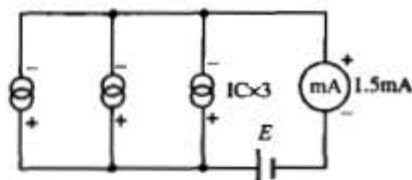


图 6-40 测量平均温度的温度计

AD590 的用途相当广泛,除温度测量外,还可用于分立元件的补偿和校准、正比于热力学温度的偏置、流速测量、流体的液位测量及风速测量等。

6.6 本章小结

1. 热电效应:把两种不同的导体或半导体组合成闭合回路,只要两接点处的温度不同,在闭合回路中就会有电流产生。

2. 热电效应产生的微观机理:①接触电动势;②温差电动势。

3. 热电偶的工作原理: $E_{AB}(T, T_0) = e_{AB}(T) - e_{AB}(T_0) = e_{AB}(T_0) - f(T_0) = f(T) - C$,即回路总的热电动势为温度 T 的单值函数。

4. 热电偶的基本性质。

5. 热电偶基本定律:①均质导体定律;②中间导体定律;③标准电极定律;④中间温度定律。

6. 常用热电偶的结构:①普通工业用装配式热电偶;②铠装热电偶;③快速反应薄膜热电偶;④快速消耗微型热电偶。

7. 热电偶的种类:①标准型热电偶;②非标准型热电偶。

8. 热电偶的冷端补偿方法:①冷端恒温法;②补偿导线法;③计算修正法;④电桥补偿法;⑤显示仪表零位调整法;⑥软件处理法。

9. 热电偶的测温线路:①测量某一点的温度;②测量两点之间的温度差;③热电偶并联线路;④热电偶串联线路。

10. 热电阻的类型:①装配式热电阻;②铠装热电阻;③端面热电阻;④隔爆型热电阻。

11. 常用的热电阻:①铂热电阻;②铜热电阻;③钢、锰、碳热电阻。

12. 热电阻的测量线路:①三线式电桥连接法;②四线式电阻测量电路。

13. 热敏电阻的基本参数:①标称电阻 R_H ;②材料常数 B_N ;③电阻温度系数 α ;④耗散系数 H ;⑤时间常数 τ ;⑥最高工作温度 T_{max} 。

14. 热敏电阻的主要特性如下。

① NTC 热敏电阻的电阻-温度特性: $\ln R_T = B_N \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) + \ln R_0$;

② PTC 热敏电阻的电阻-温度特性: $\ln R_T = B_P (T - T_0) + \ln R_{T_0}$ 。

15. 热敏电阻输出特性的线性化处理。

16. 温敏二极管的工作原理: $U_F = U_{g0} - \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{B'T^{\gamma}}{I_F} \right)$ 。

17. 温敏三极管的工作原理: $U_{bc} = U_{g0} - \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{B'T^{\gamma}}{I_c} \right)$ 。

18. 集成温度传感器的工作原理:

① 电流型集成温度传感器, $I = 2I_1 = 2I_2 = \frac{2\Delta U_{bc}}{R_1} = \frac{2kT}{qR_1} \ln 8$;

② 电压型集成温度传感器, $U_o = I_2 R_2 = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{kT}{q} \ln \gamma$ 。

习 题

1. 什么是金属导体的热电效应?
2. 试说明热电偶的基本测温原理。
3. 试分析金属导体产生接触电动势的原因。
4. 试分析金属导体产生温差电动势的原因。
5. 热电偶有哪些基本性质?
6. 说明热电偶的四个定律的含义及它们的实用价值。
7. 试述热电偶冷端温度补偿的几种主要方法和补偿原理。
8. 用镍铬-镍硅热电偶测量温度, 已知冷端温度为 40°C , 用高精度毫伏表测得这时的热电动势为 29.188mV , 求被测点的温度。
9. 已知铂铑₁₀-铂热电偶的冷端温度 $T_0 = 25^\circ\text{C}$, 现测得热电动势 $E(T, T_0) = 11.712\text{mV}$, 求热端温度是多少摄氏度?
10. 已知镍铬-镍硅热电偶的热端温度 $T = 800^\circ\text{C}$, 冷端温度 $T_0 = 25^\circ\text{C}$, 求 $E(T, T_0)$ 是多少毫伏?
11. 说明热电阻三线制测量电路的原理。
12. 说明热电阻四线制测量电路的原理。
13. 比较热电阻和热敏电阻的异同。
14. 试分析温敏二极管的工作原理。
15. 试分析温敏三极管的工作原理。
16. 简述集成温度传感器的工作原理。
17. 分析热电式继电器进行电动机过热保护的原理。
18. 证明热电偶的中间导体定律。
19. 证明热电偶的标准电极定律。
20. 证明热电偶的中间温度定律。
21. 用镍铬-镍硅热电偶测量物体温度, 该物体在不同时刻温度分别为 25°C 、 0°C 、 -20°C , 测量仪表所处室温为 25°C , 热电偶直接与仪表相连。求在上述时刻仪表测得的热电动势分别是多少?
22. 在如图 6-41 所示的测温回路中, 两热电偶的分度号均为 K, 仪表的示值应为多少摄氏度?

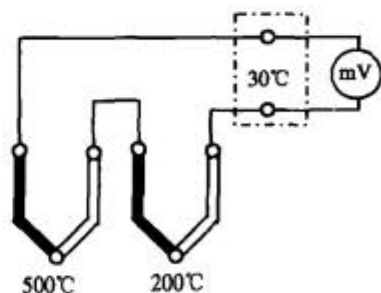


图 6-41 测温回路