

6.3 热敏电阻

热敏电阻是一种半导体感温元件，它是利用半导体的电阻值随温度的变化而显著变化的特性实现测温的。半导体热敏电阻有很高的电阻温度系数，其灵敏度比热电阻高得多，而且体积可以做得很小，故动态特性好，特别适于在 $-100\sim 300^{\circ}\text{C}$ 之间测温。

热敏电阻的缺点是互换性较差，同一型号的产品特性参数有较大差别。另外其热电特性是非线性的，给使用带来不便。但由于其性能在不断改进，稳定性已大为提高，在许多场合下热敏电阻已逐渐取代传统的温度传感器，在自动控制及电子线路的补偿电路中的应用越来越广泛。

6.3.1 热敏电阻的结构

热敏电阻是由一些金属氧化物,如钴(Co)、锰(Mn)、镍(Ni)等的氧化物采用不同的比例配方高温烧结而成。其形状有珠状、片状、杆状、垫圈状等,如图6-21所示。热敏电阻主要由电阻体、引线 and 壳体组成。

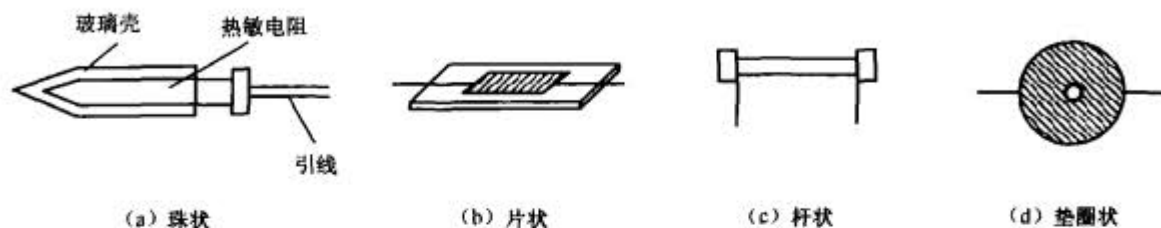


图 6-21 热敏电阻的结构类型

6.3.2 热敏电阻的基本参数

热敏电阻的主要参数如下。

1. 标称电阻值 R_N

标称电阻值是热敏电阻在 $(25 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ 、零功率时的阻值,也叫冷电阻。

2. 材料常数 B_N

材料常数是表征负温度系数(NTC)热敏电阻材料的物理特性的常数。 B_N 值决定于材料的激活能 ΔE ,它们之间满足下面的函数关系式:

$$B_N = \frac{\Delta E}{k}$$

式中: k 为波尔兹曼常数。

一般 B_N 值越大,热敏电阻的阻值越大,绝对灵敏度越高。在工作温度范围内, B_N 值并不是一个常数,而是随温度的升高略有增加;另外材料的不同或配方的比例和方法不同, B_N 也不同。

3. 电阻温度系数 α

热敏电阻的温度每变化 1°C 时电阻值的变化率叫做热敏电阻的电阻温度系数,用 α 表示。

$$\alpha = \frac{\Delta R/R}{\Delta T} \quad (6-25)$$

式中: $\Delta R/R$ 为热敏电阻的阻值变化率;

ΔT 为温度的变化。

4. 耗散系数 H

耗散系数又称散热系数,是热敏电阻温度每变化 1°C 所耗散的功率变化量。在工作范围

内,当环境温度变化时, H 值随之变化,其大小与热敏电阻的结构、形状和所处介质的种类及状态有关。

5. 时间常数 τ

热敏电阻在零功率测量状态下,当环境温度突变时电阻的温度变化量从开始到最终变化量的 63.2% 所需的时间称为热敏电阻的时间常数,用 τ 来表示。

6. 最高工作温度 $T_{\max}$

热敏电阻在规定的技术条件下长期连续工作所允许的最高温度。

普通热敏电阻的工作温度范围较大,可根据需要从 $-55\sim+315^{\circ}\text{C}$ 选择。值得注意的是,不同型号热敏电阻的最高工作温度差异很大,如 MF11 片状负温度系数热敏电阻的最高工作温度为 $+125^{\circ}\text{C}$,而 MF53-1 的最高工作温度仅为 $+70^{\circ}\text{C}$ 。

6.3.3 热敏电阻的主要特性

按温度特性热敏电阻可分为三大类:随温度上升电阻增加的正温度系数(PTC)热敏电阻,它的主要材料是掺杂的 BaTiO_3 半导体陶瓷;随温度上升电阻减小的负温度系数(NTC)热敏电阻,它的材料主要是一些过渡金属氧化物半导体陶瓷;临界温度系数(CTR)热敏电阻,是具有很大负温度系数的热敏电阻,其电阻值在某特定温度范围内随温度升高而降低 3~4 个数量级,其主要材料是 VO_2 并添加一些金属氧化物,可组成理想的控制开关。三种热敏电阻的特性曲线如图 6-22 所示。在温度测量中,主要采用的是 NTC 热敏电阻和 PTC 热敏电阻,使用较多的是 NTC 热敏电阻。

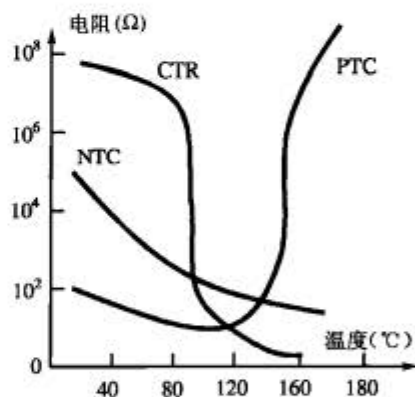


图 6-22 三类热敏电阻的温度特性曲线

1. NTC 热敏电阻的电阻-温度特性

NTC 热敏电阻的阻值-温度关系可以描述为

$$R_T = R_0 \exp B_N \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \quad (6-26)$$

式中： R_T 、 R_0 为热敏电阻在温度分别为 T 、 T_0 时的阻值；

B_N 为 NTC 热敏电阻的材料常数，一般 B_N 为 $600\sim 2000\text{K}$ ，高温下 B_N 将增大。

$$\text{或} \quad \ln R_T = B_N \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) + \ln R_0 \quad (6-27)$$

如果以 $\ln R_T$ 、 $1/T$ 分别作为纵坐标和横坐标,则根据(6-27)式可作出如图 6-23 所示的直线,各直线的斜率就是热敏电阻的材料常数 B_N 。用 $\ln R_T$ 、 $1/T$ 表示 NTC 热敏电阻的电阻-温度特性在实际应用中比较方便。

为了使用方便,常取环境温度为 25°C 作为参考温度(即 $T_0 = 25^{\circ}\text{C}$),则 NTC 热敏电阻的电阻-温度关系式可写成

$$\frac{R_T}{R_{25}} = \exp B_N \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298} \right)$$

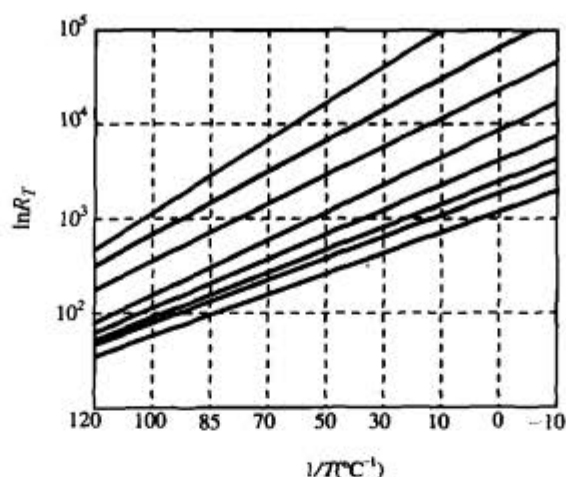
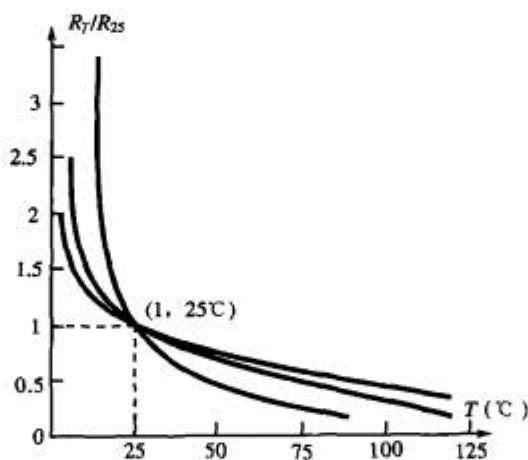


图 6-23 NTC 热敏电阻的电阻-温度曲线

不同材料的 B_N 不同, 图 6-24 所示为不同 B_N 的 $R_T/R_{25}-T$ 特性曲线。


 图 6-24 不同 B_N 的 $R_T/R_{25}-T$ 特性曲线

2. PTC 热敏电阻的电阻-温度特性

PTC 热敏电阻的电阻-温度特性是利用 PTC 热敏材料在居里点附近结构发生相变引起电导率突变获得的, 如图 6-25 所示。

从图 6-25 可以看出, PTC 热敏电阻的工作温度范围较窄, 在工作区两端, 电阻-温度曲线上有两个拐点 T_1 和 T_2 。当温度低于 T_1 时, 温度灵敏度低; 当温度升高到 T_1 后至 T_2 前, 电阻值随温度值剧烈增高(按指数规律迅速增大)。

由实验得到: 在工作温度范围内, PTC 热敏电阻的电阻-温度特性可近似用下面的公式表示:

$$R_T = R_{T_0} \exp B_P (T - T_0) \quad (6-28)$$

式中: R_T 、 R_{T_0} 为热敏电阻在温度分别为 T 、 T_0 时的电阻值;

B_P 为 PTC 热敏电阻的材料常数。

对(6-28)式取对数得

$$\ln R_T = B_p(T - T_0) + \ln R_{T_0}$$

以 $\ln R_T$ 、 T 分别作为纵坐标和横坐标, 得到图 6-26 所示的直线。直线的斜率即为 PTC 热敏电阻的材料常数 B_p , 且

$$B_p = \frac{\ln R_{T_2} - \ln R_{T_1}}{T_2 - T_1} = \tan \beta = \frac{m_R}{m_T}$$

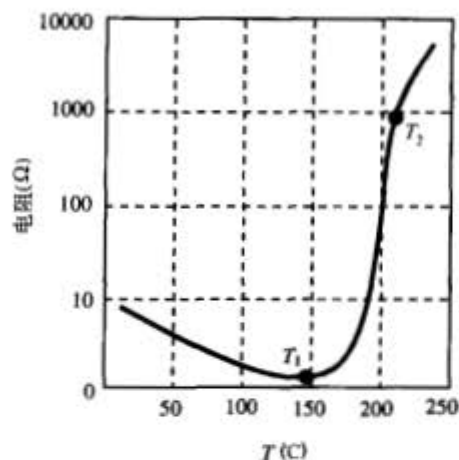
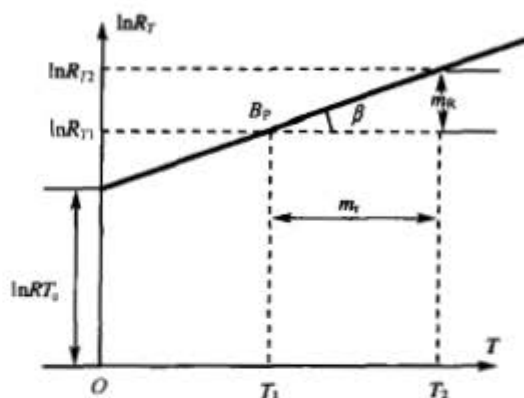


图 6-25 PTC 热敏电阻的电阻-温度曲线

图 6-26 $\ln R_T$ - T 特性曲线

6.3.4 热敏电阻输出特性的线性化处理

热敏电阻的阻值随温度的变化是非线性的。由(6-26)式可知, 对于 NTC 热敏电阻, 其阻值随温度的变化呈指数规律, 非线性非常严重。在需要扩大测温范围和提高精度的情况下, 必须对其进行线性化处理。

常用的办法是串联或并联温度系数很小的精密电阻, 使热敏电阻的阻值在一定范围内为线性关系。图 6-27(a)所示是一种金属电阻与热敏电阻串联以实现非线性校正的方法。只要金属电阻 R_t 选得合适, 在一定温度范围内可得到近似双曲线的特性, 如图 6-27(b)所示, 即温度与电阻的倒数为线性关系, 从而使温度与电流为线性关系。图 6-27(c)所示是金属电阻与热敏电阻并联的补偿电路, 由图 6-27(d)可以看出, 并联后的电阻-温度曲线变得比较平坦, 因此, 可以在某一温度范围内得到线性的输出特性。近年来已出现利用微机实现较宽温度范围内线性化校正的方案。

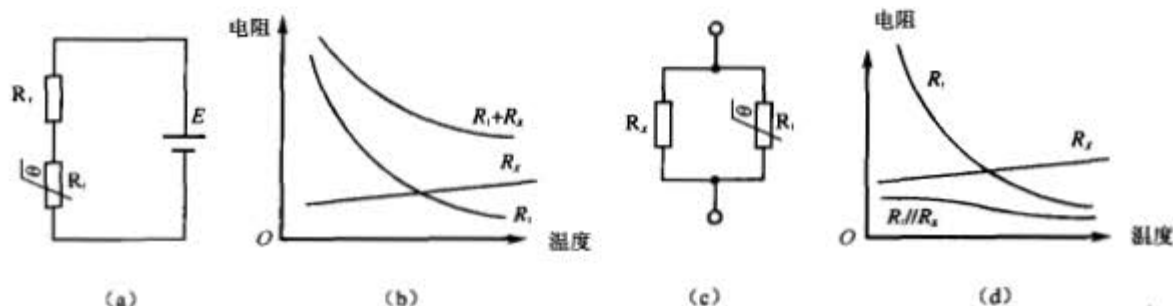


图 6-27 常用补偿电路