

温度传感器 LM134 及其应用

LM134 是一种新型的硅集成温度传感器,它不同于一般诸如热敏电阻、温差电偶以及半导体 PN 结等传统的温度传感器。它是根据下述原理设计而成的,即工作在不同电流密度下的两只相同晶体管,其基、射结的结电压之差 ΔV_{be} 与绝对温度 T 严格成正比。因而该器件的突出优点是在整个工作温区范围内($-55 \sim +125^\circ\text{C}$)输出电流与被测温度成线性关系,这样,就可省去非线性校正网络,使用简便。此外,它还具有下列特点:(1)起始电压低(低于 1.5V),而器件耐压较高,因而电源电压适用范围宽(在 $3 \sim 40\text{V}$ 之间)。(2)灵敏度高($1\mu\text{A/K}$),输出信号幅度大。一般情况下,不必加中间放大就可直接驱动检测系统,例如双积分型 A/D 转换器 5G14433 或 ICL7106 等。从而消除了中间环节所引入的误差,提高测温精度。(3)输出阻抗高,一般大于 $10\text{M}\Omega$ 。所以它相当于一个受温度控制的恒流源,有较强的抗干扰能力,特别适用于长距离测温 and 控温场合。由于它的恒流特性,能消除电源电压波动和交流纹波对器件工作的影响,从而降低了对电源精度的要求。

目前国内同类型产品有上海无线电十六厂生产的 SL134 以及杭州大学研制的 HTS-1 型温度传感器。有关 LM134 的一些典型应用在国内有关文献中已有过介绍,本文将介绍该传感器的四个新的应用实例,以扩展它的使用范围。

一、基本结构和工作原理

LM134 是一种三端器件。在工作时, R 和 V_- 端之间要接电阻 R_{set} , 见图 1。它的内部电路

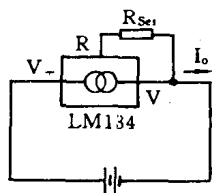


图 1 LM134 的一般连接方法

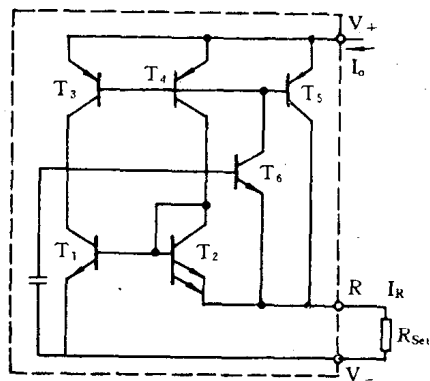


图 2 LM134 的内部结构

如图 2 所示。图中 T_3 、 T_4 和 T_5 为具有相同发射极的多集电极横向 PNP 管。根据集成电路原理,我们知道,对于多集电极的横向 PNP 管,当基区宽度相同时,各集流大小与各集电区所对

应的发射区边长成正比。从剖析 LM134 的版图中可见, T_3 、 T_4 管集电区所对应的发射区有相同的边长, 因而两管集流相等。而 T_5 管集电区所对应的发射区边长远大于 T_3 、 T_4 管, 也即 T_5 管的集流远大于 T_3 、 T_4 管。

图中 T_1 和 T_2 是纵向 NPN 管, 但它们有不同的发射区面积, 两者之比为 $A_{e2}/A_{e1}=12$ 。

根据晶体管原理, 晶体管的基射结电压可表示为:

$$V_{be} = \frac{KT}{q} \ln I_e / I_{es}$$

式中 K 为玻尔兹曼常数; q 为电子电荷; T 为绝对温度; I_e 为发射极电流; I_{es} 为发射结反向饱和电流, 它与发射区面积成正比。根据上式, 可写出图 2 中外接电阻 R_{set} 两端的电势降为

$$V_{R_{set}} = V_{be_1} - V_{be_2} = \frac{KT}{q} \ln \frac{I_{e_1}}{I_{e_2}} \cdot \frac{I_{es_2}}{I_{es_1}}$$

如忽略各管基流, 则有

$$I_{c1} = I_{c3}, I_{c2} = I_{c4}$$

且因

$$I_{c3} = I_{c4}$$

所以

$$I_{e1} = I_{e2}$$

又

$$I_{es2}/I_{es1} = A_{e2}/A_{e1} = 12$$

代入 $V_{R_{set}}$ 表达式, 得

$$V_{R_{set}} = \frac{KT}{q} \ln 12$$

则流过 R_{set} 的电流为

$$I_R = \frac{KT}{qR_{set}} \ln 12$$

显然, I_R 与绝对温度 T 成正比。在实际使用中, 由 LM134 的 V_+ 和 V_- 端输出的感温电流 I_0 显然并非完全等于 I_R (见图 1), 而是

$$I_0 = I_R + I_{e1}$$

如前所述, 由 LM134 内部版图决定 T_5 的集流远大于 T_3 、 T_4 管, 所以 I_R 几乎全由 T_5 管提供, 也即

$$I_R \approx I_{c5} \gg I_{cs} \gg I_{e1}$$

所以

$$I_0 \approx I_R = \alpha T$$

式中

$$\alpha = \frac{K}{qR_{set}} = \ln 12$$

当不考虑外接电阻 R_{set} 的温度系数时, 它是与温度无关的一个常量, 故输出电流 I_0 与绝对温度 T 成正比, 这就是 LM134 集成温度传感器的基本工作原理。

二、应用实例

1. 构成内阻为零的电压型输出的温度传感器

如前所述, LM134 是一种电流型输出的温度传感器。但在它的输出端作适当改接之后, 也可构成电压型输出的温度传感器, 而且它的内阻为零, 从而提高了传感器的负载能力, 降低了对检测仪表输入阻抗的要求。

改接的方法如图 3 所示。在 LM134 外接电路中, 除电阻 R_{set} 之外, 再在 V_- 端与电源负端

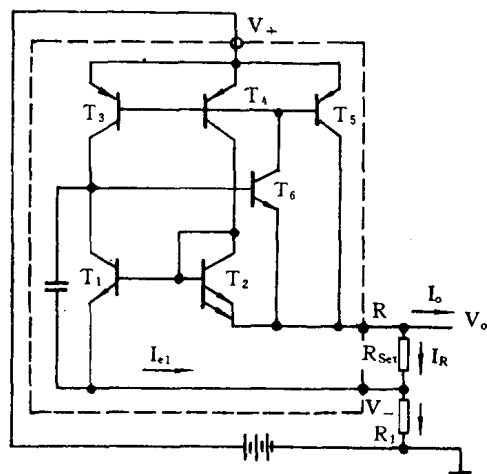


图3 零内阻电压型输出的温度传感器

之间串接一电阻 R_1 , 则由 R 端输出的感温电压为

$$V_0 = V_{Rset} + (I_R + I_{e1})R_1 = \frac{KT}{q} \ln 12 + (I_R + I_{e1})R_1$$

因 I_R 与绝对温度 T 成正比, I_{e1} 又与 I_R 成一定比例, 则当外接电阻 R_1 恒定时, V_0 与绝对温度 T 成正比, 从而构成电压型输出的温度传感器。其灵敏度与 R_1 阻值有关, 当 $R_1 = 10k\Omega$ 时, 约为 $10mV/K$ 。

下面我们来讨论该传感器的输出电阻 R_0 (即传感器的内阻), 由 V_0 对输出电流 I_0 求导, 得

$$R_0 = - \frac{dV_0}{dI_0} = - \frac{dI_{e1}}{dI_0} R_1$$

由于 I_R 与 I_0 无关, 因此对 I_0 求导时, 视为常量。

再由图3知, 如忽略 T_3 、 T_4 、 T_5 管基流, 则

$$I_0 = I_{c5} + I_{e2} - I_R$$

前面我们已提到, T_3 、 T_4 、 T_5 为多集电极横向 PNP 管。假定 T_5 与 T_4 管的集电区所对应的发射区边长之比为 $n:1$, 则两管集电极电流之比为 $n:1$, 即

$$I_{c5} = nI_{c4}$$

又

$$I_{c4} = I_{c2}; I_{c1} = I_{c2}$$

如忽略 T_1 、 T_2 管基流, 则可改写为

$$I_{c5} = nI_{e2} = nI_{e1}$$

进而得

$$I_0 = (n+1)I_{e2} - I_R = (n+1)I_{e1} - I_R$$

将上式对 I_0 求导, 得

$$\frac{dI_{e1}}{dI_0} = \frac{1}{n+1}$$

可求得传感器的输出电阻 R_0 为

$$R_0 = - \left(\frac{1}{n+1} \right) R_1$$

可见传感器具有负值特性, 阻值大小与传感器内部结构有关。所以只要在输出端 (R 端) 串接一

尚需说明一点,串接补偿电阻之后,传感器的温度灵敏度不变,仍为 10mV/K 。

我们知道,低温漂、高精度的低压基准源用途极为广泛,是电子仪表及精密测量系统中的一种常用部件。显然,这种基准是不能用一般的齐纳二极管来提供的。目前大都采用集成带隙基准块,如MC1403等。这里介绍的用LM134与PNP管组成的低压基准,原则上来说,它的温度系数可接近于零,而且具有噪声小、负载能力强等特点。

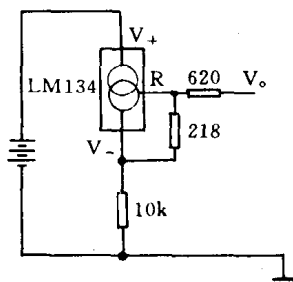


图 4 外接补偿电阻的具体接线

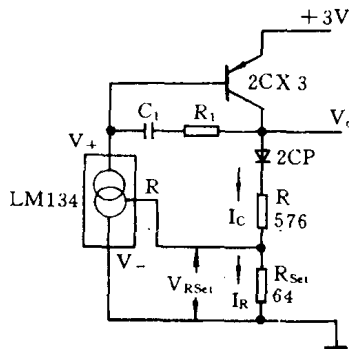


图 5 零温度系数的低压基准源

$$V_o = V_D + V_{R_{set}} + I_c R$$
$$\mathbf{I}_R \approx \mathbf{I}_c$$
$$V_0 = V_D + V_{R_{set}} \left(\frac{R + R_{set}}{R_{set}} \right)$$
$$V_0 = 1.24\text{V}$$
$$\frac{dV_0}{dT} = \frac{dV_D}{dT} + \left(\frac{R + R_{\text{set}}}{R_{\text{set}}} \right) \frac{dV_{R_{\text{set}}}}{dT}$$

式中右边第一项为二极管正向结压降的温漂,常温下约为 $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$,而后一项为 V_{Rset} 的温

漂:

$$\frac{dV_{Rset}}{dT} = \frac{K}{q} \ln 12 = 0.2 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$$

它为正值。所以当 R 取值为 $9R_{set}$ 时,第二项的正温漂刚好与第一项的负温漂相抵消,从而使输出基准 V_0 的温漂为零。实验表明,在一个不很宽的工作温度范围内($0\sim 50^{\circ}\text{C}$),从图 5 所示的电路获得温度系数为 $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 数量级的低压基准是容易的。如要得到更低温漂的基准,则需对 R 的阻值作更精细的调整。该基准的最大输出电流可达 100mA 。其负载调整率与所选用的 PNP 管 β 有关。在图 5 所示的电路中,我们选用的 3CX3 的 β 为 500,则当基准的输出电流从 $0\sim 10\text{mA}$ 变化时, V_0 的变化幅度约为 10mV 。

图 5 中 C_1 和 R_1 是为防止系统自激所添加的频率补偿网络。

3. 构成高精度、高灵敏度的摄氏温度计

一般来说,各类温度传感器在 0°C 时输出信号并不为零,LM134 也不例外。但在许多应用场合要求采用摄氏温标,因此,在传感器的外接电路中都需加校正补偿网络。这种网络往往结构复杂,例如电桥电路,这不但影响测温精度,而且经补偿之后,传感器的输出信号与检测仪器之间没有公共地端,给使用者带来不便。然而,对于 LM134 则可利用它的电流型输出的特点,用外接可调恒流源来加以补偿。这种补偿电路不仅因结构简单提高了测温精度,而且解决了共地问题。其补偿原理如图 6 所示。图中 LM134 与一可调恒流源串接,在连接点输出感温信号。如将可调恒流源的电流调至 $273\mu\text{A}$ (相当于传感器 LM134 在 0°C 时的输出电流),则当待测温度为 0°C 时,由它们连接点输出的电流 I_0 为零。随着待测温度偏离 0°C ,传感器的输出电流随之变化。但经调定后的可调恒流源的电流却保持恒定,这样,输出电流 I_0 (若以 μA 为单位)就代表了测量端的摄氏温度。例如输出 $20\mu\text{A}$ 电流就表示测量端的温度为 20°C 。从而构成了摄氏温度计。这种温度计的测温精度与补偿恒流源的温度系数密切相关,恒流源温度系数越小,测温系统受环境温度的影响越小,测量精度也就越高。在具体电路中,我们选用杭州大学研制的精密集成恒流源 4DH2 作为补偿恒流源,取得较好效果。4DH2 是一种输出电流和输出电流温度系数均可调的精密恒流器件。当它的两只外接电阻配置合适时,其输出电流为 $273\mu\text{A}$,电流温度系数小于 $1\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。这就保证了在环境温度变化时,测温精度与补偿恒流源无关,仅取决于传感器 LM134 本身的精度。图 7 为摄氏温度计探头的实际电路图。

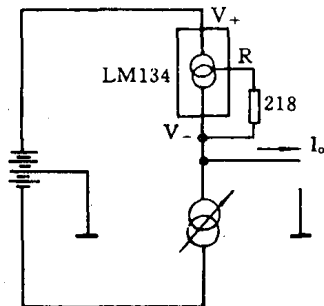


图 6 摄氏温标的补偿电路

4. 给热电偶的参考端提供温度补偿

由于受半导体 PN 结最高结温所限,上述 LM134 集成温度传感器是不能用来测量高温的,故在高温领域仍普遍选用热电偶作为温度传感器。众所周知,热电偶有热端和冷端,它所产生的电动势为两者的热电势之差,因此同环境温度有关时,其测量结果需要加以修正,这给高温测量尤其高温测温仪表的数字化带来麻烦。利用 LM134 的线性温敏特性,可以给温差电偶的参考端(冷端)提供温度补偿,使得电偶的参考端在任何环境温度下仅产生 0°C 的电动势。这样,就不再需要对电偶所产生的电动势加以修正,从而简化测温过程。

补偿的基本原理可用图 8 来说明。图中将热电偶的冷热两端等效成两个受温度控制的电压源,即电压源的电动势随温度而变。其温度系数与电偶的塞贝克(Seebeck)系数相同。电偶参考端的温度补偿,实际上就是在电偶的参考端人为地引入一个也受温度控制、且温度系数相同而方向相反的电压源,见图 8(b),从而使参考端的总电动势不再受环境温度的影响。具体的

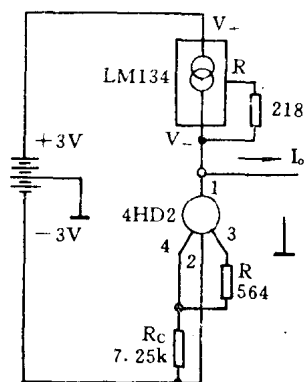


图 7 摄氏温度计实际
电路图

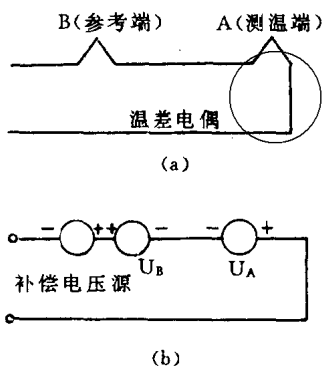


图 8 热电偶的冷端补偿原理
(a)热电偶示意图;
(b)补偿示意图

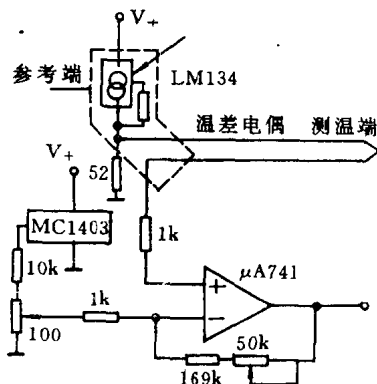


图 9 热电偶冷端补偿电路

补偿电路如图 9 所示。这里我们选用的是铁-康铜温差电偶,它的测温范围为 $100\sim 900^{\circ}\text{C}$,在室温范围内其塞贝克系数为 $52\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 。图中接在电偶参考端的 LM134 及其串接的 52Ω 电阻构成了补偿电压源。补偿过程如下:例如当电偶测温端的温度保持恒定,而参考端所处的环境温度升高 1°C ,则本来由于电偶参考端的等效电压源的电势增加,将使电偶输出电动势减少,也就是加到运放器同相输入端的信号电压将减少 $52\mu\text{V}$ 。由于 LM134 的输出电流与温度成线性关系,每升高 1°C 增加 $1\mu\text{A}$,于是在串接的 52Ω 电阻上增加的电势,恰好补偿电偶输出的减少,使加到运放器输入端的信号电压保持不变。

考虑到 LM134 在 0°C 时输出电流不为零(在 52Ω 电阻上约有 14mV 的电势降),以及运放器失调对测试结果的影响,上述测温电路在使用前应作校正。校正方法简便,只要将电偶的测温端置于 0°C 的恒温槽内,调节运放器反相端的电位使电路输出为零即可。该电路因带有放大装置,测温灵敏度高达 $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ 。

当选用不同型号温差电偶时,可调节与 LM134 串接的电阻阻值,使得 $1\mu\text{A}$ 电流在该电阻上的电势降恰好等于所选用的电偶的塞贝克系数,就可获得补偿。