

第一章 集成温度传感器及其应用电路

第一节 概述

温度是表征物体冷热程度的物理量，人们可直观地感觉到。事实上 温度是物体内部分子无规则运动剧烈程度的标志 是大量分子热运动的集体表现，温度愈高，则平均分子热运动愈剧烈。

在工农业生产和科研中，对温度进行测量和控制均十分普遍 并具有极为重要的作用。当前 已建立起的实用温度标准主要有下列 3类：

一、摄氏温标

选用水银 Hg 为测温物质 设定水银的体膨胀随温度的变化是线性的，则可利用水银制成玻璃温度计来作为标准测温仪。其分度方法是在标准大气压下 水的冰点定为零度 水的沸点定为 100度 在这 2 个固定点之间，把水银体膨胀等分为 100份 每份为一度 即摄氏一度 表示为 1°C)。当然 这种刻度法可以扩大到零度以下和 100度以上。

二、华氏温标

测温物质也选水银 温度计结构也类似摄氏温标 但分度方法和摄氏温标不同。华氏认为可以得到比冰点更低的温度，故

将氯化铵和冰水混合物温度定为零度，而将相对较为稳定的人体体温定为 100 度。在这零度和 100 度之间的水银体膨胀也等分为 100 份 即 100 度 则每份即为华氏一度 表示为 1°F。这样 水的冰点应为华氏 32 度 而水的沸点为华氏 212 度。

摄氏温度和华氏温度的转换，可用下列式子表示：

$$t_F = 32 + \frac{9}{5} t_C$$

式中， t_F 华氏度 表示为 °F。

t_C 摄氏度 表示为 °C。

显然 $0^\circ\text{C} = 32^\circ\text{F}$ $100^\circ\text{C} = 212^\circ\text{F}$ 。

三、国际实用温标

国际实用温标也称绝对温标 用符号 T 表示 单位是 K (开尔文)。开氏温度值和摄氏温度的分度值相同，即温度间隔 1K 等于 1°C。绝对温度 T 和摄氏温度 t 的关系是：

$$T = 273.16 + t$$

显然 绝对零点即为摄氏零下 273.16 度。

第二节 常用温度敏感元器件

一、金属热电阻

金属的电阻率会随温度变化而变化。大多数金属在温度升高摄氏一度时，其电阻值将增加 0.4 % ~ 0.6 %。显然，金属能将温度变化转换成电阻的变化 反之 我们就可以通过金属的电阻变化来测量相应的温度。常用的金属热电阻用铂、铜等制成。表 1-1 所示为常用金属热电阻材料特性。

表 1-1 常用金属热电阻材料特性

材料名称	铂	铜
使用温度范围(°C)	-200 ~ +650	-50 ~ +150
电阻丝直径(mm)	0.03 ~ 0.07	0.1
电阻率($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	0.0981 ~ 0.106	0.017
温度系数 $\alpha(1/^\circ\text{C})$	$(3.92 \sim 3.98) \times 10^{-3}$	$(4.25 \sim 4.28) \times 10^{-3}$
特性	近线性, 稳定, 精度高	线性

铂热电阻的稳定性和测量精度很高, 可用于高精度温度测量和标准测温装置中。但铂是贵金属, 价格高, 一般精度测量或测温范围小时, 可采用铜热电阻。

我国已对金属热电阻标准化、系列化。铂热电阻型号统一用 WZP 表示。根据其零度时的电阻值 R_0 有 100 Ω 、50 Ω 、10 Ω 几种, 分别称它们为 Pt100、Pt50、Pt10。铜热电阻型号统一用 WZC 表示。根据其零度时的电阻值 R_0 分有 100 Ω 、50 Ω 这 2 种, 分别称为 Cu100 和 Cu50。

一般铂热电阻的时间常数为几秒至几十秒, 在测量表面温度和动态温度时精度不高, 误差较大。近年来出现了一种新型铂电阻测温元件, 即薄膜铂电阻和厚膜铂电阻, 它们的热响应时间特别短, 一般在 0.1 ~ 0.3 s, 适用于表面温度和动态温度的测量。表 1-2 和表 1-3 分别列出了几种厚膜和薄膜铂电阻的型号和技术参数。

表 1-2 几种薄膜铂电阻型号和技术参数

型 号	MWF-1	MWF-2	MWF-3
外形尺寸[长(mm) × 宽(mm) × 厚(mm)]	4 × 2 × 0.5	10 × 3 × 0.5	15 × 3 × 0.5

续表

型 号	MWF-1	MWF-2	MWF-3
0℃时的电阻值 $R_0(\Omega)$	100	100	100
测温范围(℃)	-70~400	-70~500	-70~600
热响应时间(s)	<3	<3	<3

表 1-3 几种厚膜铂电阻型号和技术参数

型 号	100W30	100S25	100P30
外形尺寸[长(mm)× 宽(mm)×厚(mm)]	3.2×2.54×0.8	2.54×2.54×0.8	φ3.1×29
0℃时电阻值 $R_0(\Omega)$	100	100	100
测温范围(℃)	-70~600	-700~600	-700~600
热响应时间(s)	<0.1	<0.25	<0.3

二、热敏电阻

采用金属氧化物、碳化硅、陶瓷等半导体材料经烧结成形后也能呈现随温度变化其本身电阻随之变化的特性。我们把具有这种温度特性的半导体称半导体热电阻，常称热敏电阻。

按其特性不同 可将热敏电阻分为 3 类：

1. 正温度系数热敏电阻

正温度系数热敏电阻的特性是在工作温度范围内 其电阻值随温度增加而增加。我们也称具有这种特性的热敏电阻为 PTC 热敏电阻 其型号用 MZ 表示。

2. 负温度系数热敏电阻

负温度系数热敏电阻的特点是在工作温度范围内 其电阻值随温度增加而减少。我们也称具有这种特性的热敏电阻为

NTC 热敏电阻 其型号用 MF 表示。

3. 临界温度热敏电阻

临界温度热敏电阻特点是：若超过某一温度极限（临界温度）其电阻值会急剧下降。我们也称具有这种特性的热敏电阻为 CTR 热敏电阻。

热敏电阻的优点是温度灵敏度高 体积小 热惯性也小 工作寿命长 价格便宜 测量线路也较简单 所以热敏电阻产品和型号繁多，并均已系列化、标准化。但热敏电阻有其致命缺点，即非线性大 稳定性和一致性较差 测量时往往需要外加温度补偿电路，一般不适用高精度温度测量和控制。

三、热电偶

热电偶能将温度的变化转变为电势变化。若如图 1-1 所示 将 2 种不同的导体 A 和 B 两端连接组成 2 个接点 T 和 T_0 形成一闭合回路。当两端接点 T 和 T_0 温度不同时，回路内就有电流流过，即回路将产生电动势。

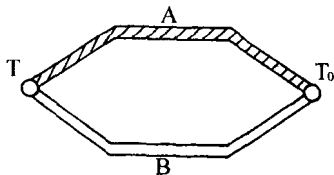


图 1-1 热电偶工作原理

该电势的大小取决于两导体材料及两接点温度差。这就是物体的热电效应。2 种导体组成的回路称热电偶，所产生的电势称热电势。热电偶中 温度高的一端称热端 或测温端、工作端、T 端），该端结点通常用焊接的方法连接在一起。温度低的一端称冷端 或参考端、参比端 T_0 端）该端结点一般要求恒定在某一温度。

热电偶在实际应用时 必须固定冷端处的温度 这样才能确定热电势与测温端温度的对应关系。目前，多种热电偶已统一

制定了在冷端处温度。 $t_0 = 0$ 条件下热端温度 (即测量温度) 与热电势的数值对照表——分度表。因此, 当使用热电偶测温时若将冷端保持在 0°C , 则通过查阅分度表从测得的热电势即可求得所测的温度值。若将冷端暴露在室温下测定, 需加冷端补偿。若测温时冷端和热端之间距离较大, 尚需加补偿电导线。

常用热电偶的材料及特性见表 1-4。

表 1-4 常用热电偶的材料及特性

名 称	测温范围($^{\circ}\text{C}$)	100 $^{\circ}\text{C}$ 时热电势(mV)
铂铑 ₁₀ —铂	0 ~ 1600	0.643
铂铑 ₃₀ —铂铑 ₆	600 ~ 1700	0.034
镍铬—康铜	- 200 ~ 900	6.95
镍铬—镍硅	- 50 ~ 1312	4.1
铜—康铜	- 200 ~ 400	4.26

热电偶的测温范围很宽 在补偿条件下 测量温度的精度也比较高, 故在工业上得到了广泛的应用。

四、P-N 结

晶体二极管或三极管的 P-N 结结电压是随温度而变化的。例硅 P-N 结 当其结电流 I_D 一定时 结电压 V_D 在温度每升高 1 时下降约 2 mV 即其温度系数为负 数值为 $-2\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ 。利用这个温度特性, 就可以直接用二极管或硅三极管接成二极管形式 (将集电极和基极短接) 作为温度敏感元件来测量温度。它尺寸小 灵敏度高 热时间常数小 在小范围内有较好的线性, 测温范围在 $-50 \sim +150$ 间。但由于同型号二极管或三极管特性不完全相同, 所以一致性和互换性较差。

为了得到好的线性度和改善由于工艺引起的互换性差, 在

集成温度传感器中，P-N 结都接成对管形式如图 1-2 所示。

图中，采用了集成工艺，使相邻两晶体管 T_1 、 T_2 参数可以达到非常一致，所以能使 P-N 结对的电压和温度成良好线性关系。这样，用集成对管测温时，可以用电压直接度量温度。由图又可看出，输出电压 U_0 为两

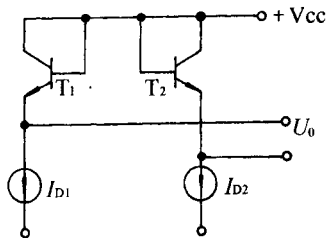


图 1-2 P-N 结对管

管结电压之差 所以 U_0 在数值上较小，但当温度变化时， $\frac{dU_0}{dT}$ 仅为几百 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 其温度系数为正 且与绝对温度 T_0 成正比。分析可知 此时输出电压 U_0 与温度成线性关系。

五、石英晶体

众所周知 石英晶体用来作振荡器 其频率稳定性比其他元件要优越得多。进一步研究还可以知道，随着对石英晶体切割方式不同 其频率的变化率 $\Delta f/f$ 与温度的关系是不同的。这种振荡频率随外界温度变化而变化的石英晶体就可用来做温度敏感元件。其中 采用 Y、LC 切割方式的晶体 $\Delta f/f$ 随温度变化影响较大 所以 这种晶体最适于做温度传感器 其灵敏度约为 $1000\text{Hz}/^\circ\text{C}$ 。

第三节 电流型集成温度传感器

若集成温度传感器的输出电流 I_0 与温度成正比 称为电流型集成温度传感器。

一、AD590(SL590)系列集成温度传感器

1. 外形、符号和管脚功能

AD590是电流型集成温度传感器，其输出电流与环境绝对温度成正比，所以可以直接制成绝对温度仪。AD590有I、J、K、L、M等型号系列，SL590是仿AD590的产品。SL590和AD590可以直接互换使用。它们采用金属管壳封装，外形如图1-3所示，图中还列出了电流型集成温度传感器的电路符号。

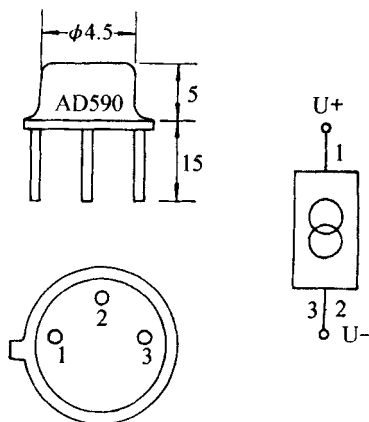


图1-3 AD590集成温度传感器外形和电路符号

AD590集成温度传感器各引脚功能如表1-5所示。

表1-5 AD590 引脚功能

引脚编号	符 号	功 能
1	U+	电源正端
2	U-	电流输出端
3		金属管外壳，一般不用

2. 内电路简介

AD590内部电路由2只P-N结对管组成的温度敏感器件和恒流源等组成如图1-4所示。

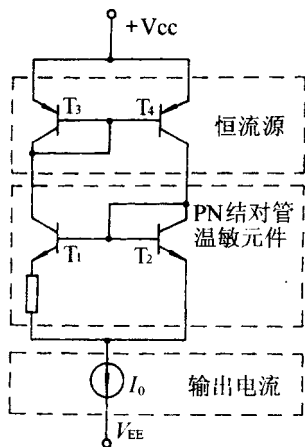
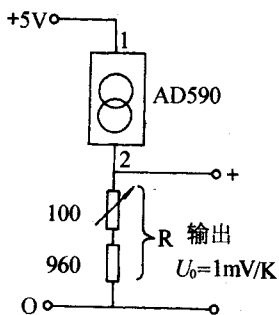


图 1-4 AD590 内部电路框图

3. 基本特性和应用

AD590 的灵敏度为 $1\mu\text{A}/\text{K}$ ，所以只要在外接电阻中串接一可变电阻 R ，就可组成最基本的绝对温度测量电路如图 1-5 所示。

图中 R 总电阻值应稍大于 $1\text{k}\Omega$ (总阻值为 $960\Omega + 100\Omega = 1060\Omega$)。其调整方法如下在 25°C 条件下调节 R 值，使输出电压 U_0 值为 298.16 mV ($273.16 + 25$ 即可。这样在不同的温度下，只要测出 U_0 的不同输出 mV 值即为绝对温度 T 数值。



AD590 具有良好的互换性和线性，在整个使用温度范围内误差在

图1-5 绝对温度测量电路

0.5 以内。它还具有消除电源波动的特性，即使电源电压从 5V 变化到 15V 电流也只变化在 $1\mu\text{A}$ 以下 即只有 1 以下的变化，因而广泛地应用在高精度温度测量和计量等方面。其主要电特性见表 1-6。

表 1-6 AD590 系列主要电特性

参数名称	AD590I	AD590J	AD590K	AD590L	AD590M
最高正向电压(V)	44				
最高反向电压(V)	-20				
工作温度范围(°C)	-55 ~ 150°C				
贮存温度(°C)	-65 ~ 175°C				
工作电压范围(V)	4 ~ 30				
额定输出电流(25°C)	298.2 μA				
额定温度系数($\mu\text{A}/^\circ\text{C}$)	1				
非线性(-55 ~ 150)(°C)	± 3	± 1.5	± 0.8	± 0.4	± 0.3
校正误差(在 25°C 时)(°C)	± 10	± 5	± 2.5	± 1	± 0.5

若根据特性分档，AD590L、AD590M 最适宜用于精密测量，它们的匹配性能好。

二、LM134(SL134 系列集成温度传感器

1. 外形、符号和管脚功能

LM134 是恒流源型集成温度传感器，输出的恒流源电流与外界温度的变化呈线性。LM134 有系列产品 分 LM134、LM234、LM334 等型号。LM134 系列和相应的 SL134 系列性能相同，彼此可以直接互换使用。它们是一种三端器件，有塑封和金属封装 2 种形式 其外形如图 1-6 所示，图中还列出了它们的电路

符号。

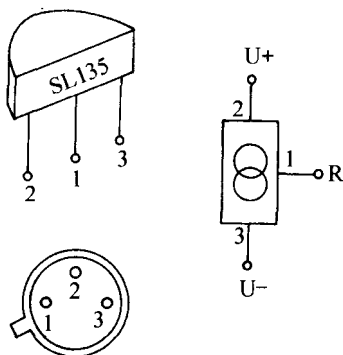


图 1-6 LM134 集成温度传感器外形和电路符号

LM134 集成温度传感器各引脚功能如表 1-7 所示。

表 1-7 LM134 引脚功能

引脚编号	符号	功能
1	R	调整端, 外接调整电阻 R_{set}
2	U+	电源正端
3	U-	电源负端

在 R 和 U- 之间接调整电阻 R_{set} , 可以使电流输出从 $1\mu A$ 调到 $10\mu A$ 以改变灵敏度。

2. 内电路简介

LM134 内部电路框图如图 1-7 所示, 它由温度敏感器件、恒流源及一些控制电路组成。

3. 基本特性和应用

LM134 最基本的应用是直接构成摄氏温度计, 其测量电路如图 1-8 所示。图中, R_L 取 $10k\Omega$ 。调整 R_{set} 阻值使 LM134 灵

敏度为 $1\mu\text{A}/^\circ\text{C}$ (此时, R_{set} 阻值约为 230Ω), 则输出 $U_0 = 10\text{mV}/^\circ\text{C}$.

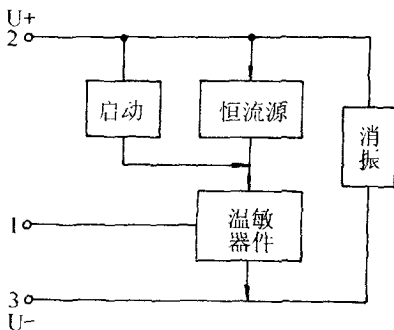


图 1-7 LM134 内部电路框图

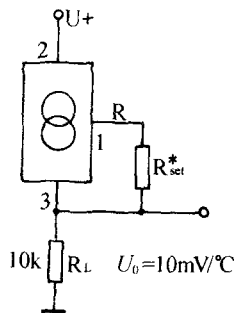


图 1-8 LM134 构成的摄氏温度计

LM134 是一种可调的恒流源电路, 其输出的电流与外界温度变化成线性关系 故可作温度传感器。由于输出的是电流 所以即使传输线长 (如 200m) 也不会影响其测量温度精度。但要采用屏蔽以防止干扰, 并尽可能采用低电压工作。另外, 引脚间要绝缘良好。LM134 系列的主要电特性如表 1-8 所示。

表 1-8 LM134 系列主要电特性

参数名称	LM134	LM234	LM334
最大测试电流 $I_{\text{set max}}$ (mA)	10	10	10
耗散功率 (mW)	200	200	200
R ~ U- 正向电压 (V)	5	5	5
U+ ~ U- 正向电压 (V)	40	40	40
工作温度范围 ($^\circ\text{C}$)	-55 ~ +125	-25 ~ +100	0 ~ 70

续表

参数名称	LM134	LM234	LM334
最小工作电压 U_{\min} (V)	0.8~1	0.8~1	0.8~1
有效旁路电容(pF)	15	15	15

第四节 电压型集成温度传感器

若集成温度传感器的输出电压 U_0 与温度成正比,称为电压型集成温度传感器。

一、LM35/45 系列集成温度传感器

1. 外形、符号和管脚功能

LM35/45 是电压型集成温度传感器,其输出电压 U_0 与摄氏温度成正比 无需外部校正 精度可达 0.5°C 。LM35 和 LM45 的功能是相同的 但特性不一样 封装形式也不同。

LM35 有 A、C、CA、D 等形号系列 采用金属封装和塑封 2 种形式 其外形和管脚引出如图 1-9 所示,图中还列出了其电路符号。

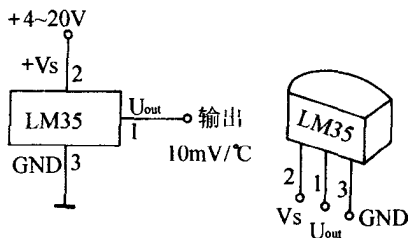


图 1-9 LM35 集成温度传感器外形和电路符号

LM35 系列集成温度传感器各引脚功能如表 1-9 所示。

表 1-9 LM35 引脚功能

引脚编号	符号	功能
1	U_{out}	电压输出端
2	V_S	电源正端
3	GND	接地端

LM45 有 A、B、C 等形号系列，其外形和管脚引出如图 1-10 所示（各引脚功能同 LM35 参见表 1-9）。

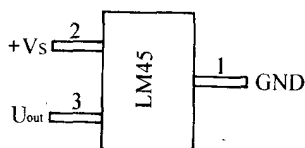


图 1-10 LM45 集成温度传感器外形图

2. 内部电路简介

LM35/45 电压型集成温度传感器内部电路由 PN 结对管、基准电压和运算放大电路三部分组成（如图 1-11 所示）。

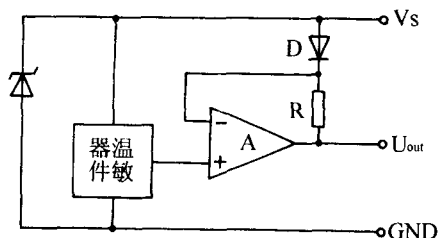


图 1-11 LM35/45 内部电路框图

3. 基本特性和应用

LM35/45 的灵敏度为 $10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ 电压输出与摄氏温度成正

比,且无需校正,所以使用很方便,不需要外接任何元件即可构成最基本的摄氏温度计,如图 1-12 所示。

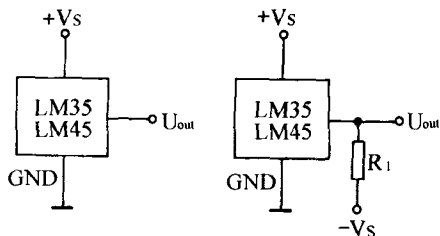


图 1-12 LM35/45 构成的摄氏温度计

当 LM35/45 用来测量正温度时,只需单电源供电。 V_s 为电源电压,对于 LM35 型, V_s 取 4~20V;对于 LM45 型, V_s 取 4~10V。输出电压 U_{out} 与温度 t 的关系为:

$$U_{out} = 10 \times t (\text{mV})$$

例:25℃时, $U_{out} = 250\text{mV}$;100℃时, $U_{out} = 1000\text{mV}$ 。

若需测量正负温度,则应采用正负电源。此时输出灵敏度不变,例:-20℃时, $U_{out} = -200\text{mV}$;+50℃时, $U_{out} = 500\text{mV}$ 。图中 R_1 值应按下式选取:

$$R_1 = |U_s| / 50\mu\text{A}$$

LM35/45 线性良好,无需标准,精度可达 0.5℃,工作电压宽,耗电量小,输出阻抗低,可广泛应用在高精度温度测量和计量,其主要电特性见表 1-10 和表 1-11。

表 1-10 LM35 系列主要电特性

参数名称	LM35/35A	LM35C/35CA	LM35D
工作温度范围(℃)	-55~+155	-40~+110	0~100
精度	$\pm 0.4^\circ\text{C}/$ $\pm 0.2^\circ\text{C}(t=25^\circ\text{C})$	$\pm 0.4^\circ\text{C}/$ $\pm 0.2^\circ\text{C}(t=25^\circ\text{C})$	$\pm 0.4^\circ\text{C}$

续表

参数名称	LM35/35A	LM35C/35CA	LM35D
工作电压范围(V)	4 ~ 30	4 ~ 30	4 ~ 30
静态电流(μA)	56	56	56
灵敏度($\text{mV}/^{\circ}\text{C}$)	10	10	10

表 1-11 LM45 系列主要电特性

参数名称	LM45A	LM45B	LM45C
工作温度范围($^{\circ}\text{C}$)	0 ~ +100	-40 ~ +125	-40 ~ +125
精度	$\pm 2^{\circ}\text{C}$ ($t = 25^{\circ}\text{C}$)	$\pm 2^{\circ}\text{C}$	$\pm 2^{\circ}\text{C}$
工作电压范围(V)	4 ~ 12	4 ~ 12	4 ~ 12
静态电流(μA)	120	120	120
灵敏度($\text{mV}/^{\circ}\text{C}$)	10	10	10

二、LM135 系列集成温度传感器

1. 外形符号和管脚功能

LM135是电压型温度集成传感器，其输出电压与绝对温度成正比，可以直接制成绝对温度计。LM135有135A、235、235A、335、335A等型号系列，它们大多采用塑料封装，外形如图1-13所示，图中还列出了其电路符号。

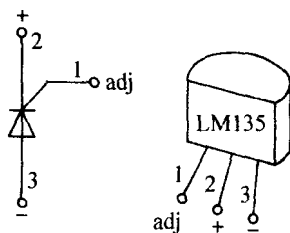


图 1-13 LM135 集成温度传感器外形和电路符号

LM135系列集成温度传感器各引脚功能如表1-12所示。

表 1-12 LM135 引脚功能

引脚编号	符号	功能
1	adj	调整端, 外接电阻调整精度
2	+	电源正端
3	-	电源负端

2. 基本特性和应用

LM135 内部电路类似于 LM35/45, 但在使用 LM135 时, 为了保证测量精度, 外部需要进行校正。校正方法是在 +、- 两端间串接电阻 R 和 10k Ω 电位器, 电位器滑动端接在 LM135 的调整端 adj 上(见

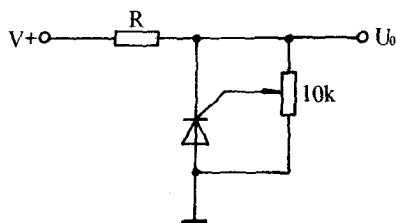


图 1-14 LM135 校正电路

图 1-14) 然后即可对某一温度点进行校正。如需在 0 $^{\circ}\text{C}$ 即 273K 时校正 则可调整电位器 使输出 U_o 为 2.73V 即可。

LM135 的灵敏度为 10 mV/K 所以只要加上外部校正电路, 即可组成图 1-14 所示的绝对温度测量电路。

LM135 系列集成温度传感器主要电特性见表 1-13。

表 1-13 LM135 系列主要电特性

型号	连续工作温度 ($^{\circ}\text{C}$)	间歇工作温度 ($^{\circ}\text{C}$)	工作电流	精度
LM135	-55 ~ +150	150 ~ 200	400 μA ~ 5 mA	0.5 ~ 1.5
LM135A	-55 ~ +150	150 ~ 200	400 μA ~ 5 mA	0.3 ~ 1
LM235	-40 ~ +125	125 ~ 150	400 μA ~ 5 mA	0.5 ~ 1.5