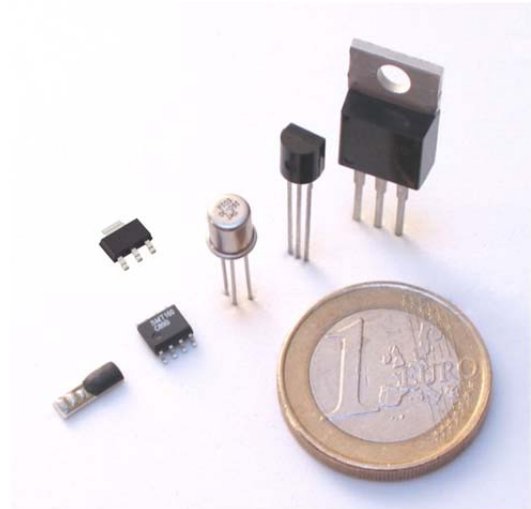


### 主要特性:

- 能效最高的温度传感器:  
每次测量仅消耗 0.36 $\mu$ J ( $T_A=25^{\circ}\text{C}$ , 3.3V)
- 宽的温度范围:  $-45^{\circ}\text{C}$  至  $130^{\circ}\text{C}$
- 宽的工作电压范围: 2.7V 至 5.5V
- 高精度:  $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$  ( $-10^{\circ}\text{C}$  至  $100^{\circ}\text{C}$  TO18)  
 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  ( $-20^{\circ}\text{C}$  至  $60^{\circ}\text{C}$ , TO18)
- 超低噪声:  $0.002^{\circ}\text{C}$  (测量时间 3.6ms)
- 超低耗电电流 (连续工作时 60 $\mu$ A ,  
每秒一次测量时平均 220nA)
- 长期稳定性非常好
- 可直接与微处理器接口
- 众多封装选择



### 应用

- 超低功耗应用: 可携带电子器材, 无线传感器网络
- 医学应用: 体温测试, 体温监测
- 仪表应用: (医用)化学分析, 高精度仪表
- 环境监测(室内/室外)
- 工业应用: 过程监测/控制

### 简介

SMT172 是一款新的超低功耗, 高精度温度传感器。它的性能世界领先, 使用方便, 测量温度范围宽。它是一款单晶硅集成电路, 应用了最新的设计原理, 采用了高精度的单温度点校准, 在 $-10^{\circ}\text{C}$  至  $100^{\circ}\text{C}$  范围内精度达到 $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ 。

SMT172 的工作电压范围是 2.7 伏至 5.5 伏, 3.3 伏时连续工作状态下耗电电流为 60 微安, 测量速度可高达每秒 4000 个有效读数 (室温)。极低的测量噪声使得这款传感器成为能效最高的温度传感器(每测量仅消耗 0.36 微焦耳能量)。

SMT172 的输出是脉冲宽度调节信号, 其占空比正比于被测温度。这使得此温度传感器可以直接与微处理器接口, 无须额外的模数转换电路。目前, 即便低价微处理器一般都拥有高频计时器, 可以快速而准确地读取脉冲信号的时间间隔, 从而得到占空比信息。对于用户来讲可以很快地完成从开发到进入市场的步骤。

### 技术指标

除非特别提到，否则以下指标都是指  $T_A = -45^{\circ}\text{C}$  至  $130^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{CC} = 2.7\text{V}$  至  $5.5\text{V}$ .

参数		最小	平均	最大	单位	条件
工作电压		2.7		5.5	V	
连续耗电电流 <sup>1</sup>			50		$\mu\text{A}$	$T_A = -45^{\circ}\text{C}$ , $V_{CC} = 2.7\text{V}$ , 输出无接负载
			60		$\mu\text{A}$	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ , $V_{CC} = 3.3\text{V}$ , 输出无接负载
			70		$\mu\text{A}$	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ , $V_{CC} = 5.5\text{V}$ , 输出无接负载
平均耗电电流			220		nA	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ , $V_{CC} = 3.3\text{V}$ , 每秒一次测量, 每次测量读取 16 个周期的占空比信号
精度	TO18			$\pm 0.25^2$	$^{\circ}\text{C}$	$-10^{\circ}\text{C}$ 至 $100^{\circ}\text{C}$ , 线性计算公式
				$\pm 0.8^2$	$^{\circ}\text{C}$	$-45^{\circ}\text{C}$ 至 $130^{\circ}\text{C}$ , 线性计算公式
				$\pm 0.1^3$	$^{\circ}\text{C}$	$-20^{\circ}\text{C}$ 至 $60^{\circ}\text{C}$ , $V_{CC} = 5\text{V}$ , 二阶计算公式
	TO92 TO220 SOT223 SOIC			$\pm 0.35^2$	$^{\circ}\text{C}$	$-10^{\circ}\text{C}$ 至 $100^{\circ}\text{C}$ , 线性计算公式
				$\pm 1.0^2$	$^{\circ}\text{C}$	$-10^{\circ}\text{C}$ 至 $100^{\circ}\text{C}$ , 线性计算公式
				$\pm 0.25^3$	$^{\circ}\text{C}$	$-20^{\circ}\text{C}$ 至 $60^{\circ}\text{C}$ , $V_{CC} = 5\text{V}$ , 二阶计算公式
一次测量所需时间.			1.8		ms	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ , $V_{CC} = 3.3\text{V}$ , 需连续测量 8 个周期
噪声 <sup>4</sup>			0.002		$^{\circ}\text{C}$	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ , $V_{CC} = 5\text{V}$ , 测量时间为 3.6ms。
输出占空比		0.11		0.93		$-45^{\circ}\text{C}$ 至 $130^{\circ}\text{C}$
输出频率		0.5		7	kHz	$V_{CC} = 4.7\text{V}$ 至 $5.5\text{V}$ , $T_A = -25^{\circ}\text{C}$ 至 $110^{\circ}\text{C}$ , 频率为 1-4kHz
直流电源电压抑制比				0.1	$^{\circ}\text{C}/\text{V}$	$-45^{\circ}\text{C}$ 至 $130^{\circ}\text{C}$ , $V_{CC} = 2.7\text{V}$ 至 $5\text{V}$
重复性 <sup>5</sup>			0.01		$^{\circ}\text{C}$	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ , $V_{CC} = 5\text{V}$ , TO18
起始时间			1	2	ms	电源连通后, 第一个测量在下降沿开始
长期漂移				0.0058	$^{\circ}\text{C}$	$T_A = 22^{\circ}\text{C}$ , $V_{CC} = 5\text{V}$ , TO18, 基于 365 天测量结果,
输出电阻				100	$\Omega$	由制造厂商保证
占空比到温度的线性计算公式(与 SMT160 兼容): $T = 212.77DC - 68.085$ ( $DC$ 为有效占空比)						
占空比到温度的二阶计算公式: $T = -1.43DC^2 + 214.56DC - 68.60$ ( $DC$ 为有效占空比)						

1: 连续工作状态.

2: 包括所有误差, 基于 80 个测量读数的平均值.

3:  $\pm 3\sigma$  值 (标准偏差的 3 倍), 要实现此测量精度, 必须采用二阶计算公式, 每个有效占空比数值必须是 8 个连续周期的占空比平均值.

4: 可以通过多次测量的平价来降低噪声, 比如, 连续测量 0.1 秒并取平均, 噪声可降至  $0.0004^{\circ}\text{C}$ 。所以, 谈到噪声, 必须提供测量时间。最后, 器件的噪声受限于粉红噪声 ( $1/f$  噪声), 增加测量时间噪声不会再有降低。

5: 重复性的定义是在同一温度点的多次测量结果之间的偏差。



### 绝对最大极限值

$T_A=25^{\circ}\text{C}$ . 除非特别提到, 所有电压指对地 (GND) 而言。

电源电压	-0.5V 到 7V
输出端负载电流	50mA
可工作温度范围	$-55^{\circ}\text{C}^1$ 至 $135^{\circ}\text{C}$
贮存温度范围	$-60^{\circ}\text{C}$ 至 $150^{\circ}\text{C}$
ESD 保护 (HBM)	2000V
晶片温度	$200^{\circ}\text{C}$
焊接温度(SOIC, SOT)	$260^{\circ}\text{C}$ (10 秒)

<sup>1</sup>: 关于  $-55^{\circ}\text{C}$  至  $-45^{\circ}\text{C}$  以及  $130^{\circ}\text{C}$  至  $135^{\circ}\text{C}$  范围内的测量精度, 请联系 Smartec BV.

### 输出信号

与以往 SMT160 相同, Smartec 温度传感器的输出是占空比调制的方波信号, 可直接与微处理器连接。输出信号的占空比与温度之间的关系设计为一个线性关系式:

$$DC = 0.32 + 0.0047 \times T$$

其中:

$DC$  = 有效占空比

$T$  = 摄氏温度 $^{\circ}\text{C}$

比方说, 通过简单的计算,  $0^{\circ}\text{C}$  时,  $DC=0.32$  (32%);  $130^{\circ}\text{C}$  时,  $DC=0.931$  (93.1%).

所测温度可以通过测得的占空比反推出来:

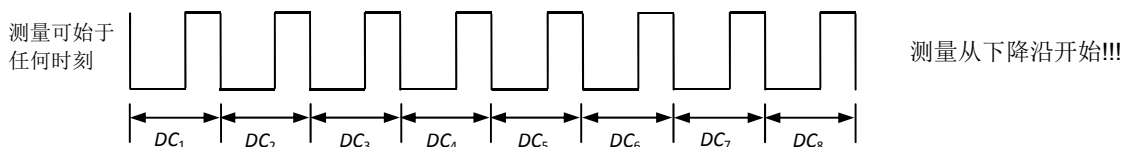
$$T = \frac{DC-0.32}{0.0047} = 212.77 \times DC - 68.085 \quad (1)$$

传感器的输出信号的频率会随温度和电源电压而变化, 但是此频率并不包含有用的温度信息, 只有占空比包含所需的温度信息, 并可通过上面的公式计算出来。

通过使用二阶的计算公式, 并采用正确的有效占空比测量, 在  $-20^{\circ}\text{C}$  至  $60^{\circ}\text{C}$  的范围内精度可达到  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

### 有效占空比

上述公式(1)中的有效占空比指的是对 8 个连续周期, 计算出每个周期的占空比, 再对 8 个占空比值取平均。需要这样做的原因是在传感器 SMT172 的电路设计中, 为了消除器件失配所引入的误差, 应用了斩波技术 (chopping) 和动态单元循环匹配技术 (DEM=Dynamic Element Matching)。一个完整的 DEM 循环周期包括 8 个输出周期。在这 8 个输出周期中, 单个周期的占空比会有很大的上下浮动, 但是对 8 个连续周期的占空比取平均, 即得到一个有效占空比, 此有效占空比会非常稳定, 偏差很小。



因此, 一个有效占空比是: 
$$DC = \frac{\sum_{i=1}^8 DC_i}{8} \quad (2)$$

$DC_i = \frac{t_{Hi}}{t_{Li} + t_{Hi}}$  其中:  $t_{Hi}$  = 高电平时间间隔  
 $t_{Li}$  = 低电平时间间隔  
 $DC_i$  = 单个周期*i* 的占空比  
 $DC$  = 有效占空比

技术指标图表中提到的精度和噪声等性能都是基于对 8 个连续周期的占空比取平均后得到的有效占空比结果而言。若想改进测量分辨率, 建议测量多个完整 DEM 周期 (即 8 个周期的整数倍)。

换句话说:

每个周期的占空比都必须计算出来并储存起来。平均值必须是 8 个连续周期或其整数倍的平均。占空比的平均值作为有效占空比用来计算所测温度。

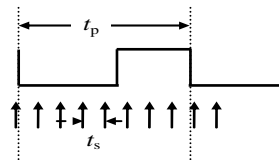
每个周期的测量从下降沿开始。

## 指标的解释

### 量化噪声

信号处理理论中提到, 对于给定信号频率和用于计数的计数器频率, 那么由于量化噪声而引入的温度测量的不准确性为:

$$T_{err} = 200 \frac{t_s}{\sqrt{6t_m t_p}}$$



其中  $T_{err}$  = 温度测量的不准确性 (= 标准偏差值)  
 $t_s$  = 微处理器的计数周期  
 $t_p$  = 被测信号的周期  
 $t_m$  = 总测量时间,  $t_p$  的整数倍

要点:

上面提到的测量不准确性与技术指标中的传感器精度无关。这是由微处理器测量时间间隔而采用更高频率计数器而引入的不确定性 (即标准偏差)。

### 传感器噪声

与一般半导体器件一样, SMT172 的输出也有一定的噪声。低频端传感器的噪声由器件的粉红噪声 (1/f 噪声) 决定, 这一频段即便增加测量时间也不会有改进。高于这一频段后传感器主要由热噪声 (即白噪声) 决定。增加测量时间会减小测量噪声, 提高分辨率。所以提到测量分辨率须提供测量时间。SMT172 的噪声为 0.002°C (5 V 电源供电, 测量时间为 3.6ms, 即 8 个周期)。若测量时间增加到 0.1s, 分辨率可达 0.0004°C。



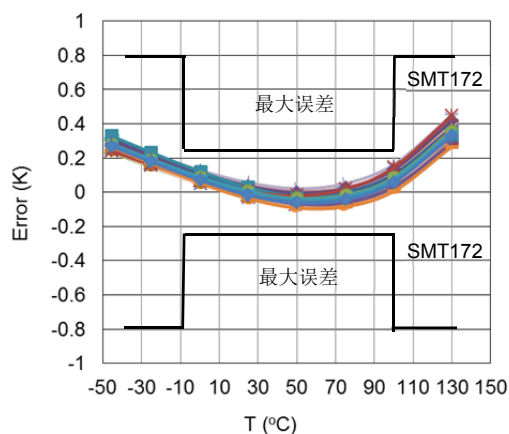
### 封装引入的误差

若封装的过程中采用了高应力材料，会引入额外的误差。使用者应意识到这一点。TO-18 封装引入的额外误差最小。其他封装引入的误差略大，如塑封 TO92, SOIC, SOT223 和 TO220，所以其精度指标定为 $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$  (温度范围 $-10^{\circ}\text{C}$  至  $100^{\circ}\text{C}$ ) 和  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  (温度范围 $-45^{\circ}\text{C}$  至  $130^{\circ}\text{C}$ )。

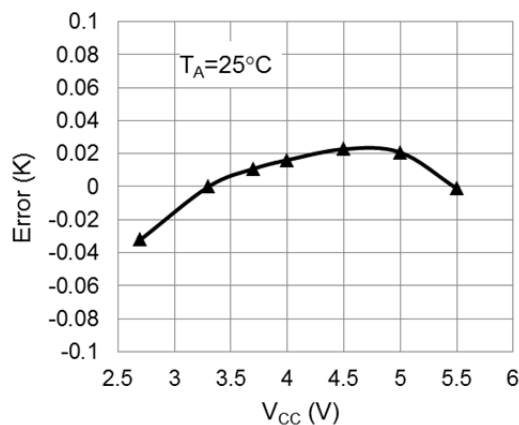
### 长期飘移

飘移严重依赖于测量条件。在整个热周期 ( $130^{\circ}\text{C}$  到  $-45^{\circ}\text{C}$ ，再回到  $130^{\circ}\text{C}$ ) 的测量中所测得的滞后 (hysteresis) 最大值不超过 $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$  (TO-18 封装的样品)。即便是在极限条件下 (即把 TO-18 样品加热至  $200^{\circ}\text{C}$ ，并保持 48 小时)，整个温度范围 ( $-45^{\circ}\text{C}$  至  $130^{\circ}\text{C}$ ) 内最大飘移也不超过 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ 。

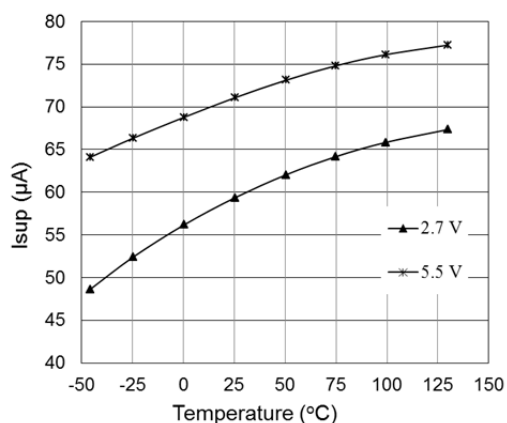
### 典型性能曲线



精度与温度的关系 (TO18 V<sub>CC</sub>=5V)



归零化(V<sub>CC</sub>=5V)后的误差与电源电压的关系



耗电电流与温度的关系



### 改进测量精度

本页这部分增编提供给用户关于如何可以获得更高的测量精度的信息。

#### 怎么做？

SMT172 的精度定为 $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$  (温度范围 $-10^{\circ}\text{C}$  至  $100^{\circ}\text{C}$ ) 有两个原因:

1. 使用了线性关系式把测得的有效占空比转换到温度值, 此关系式也适用于旧传感器 SMT160。因此保留了高阶误差。
2. 由于特别的设计技术, 一个完整的测量需要对 8 个连续周期 (或 8 的整倍数) 进行测量并平均。给定的误差涵盖了所有取平均的方式。

而如果要达到更好的测量精度, 用户必须做到:

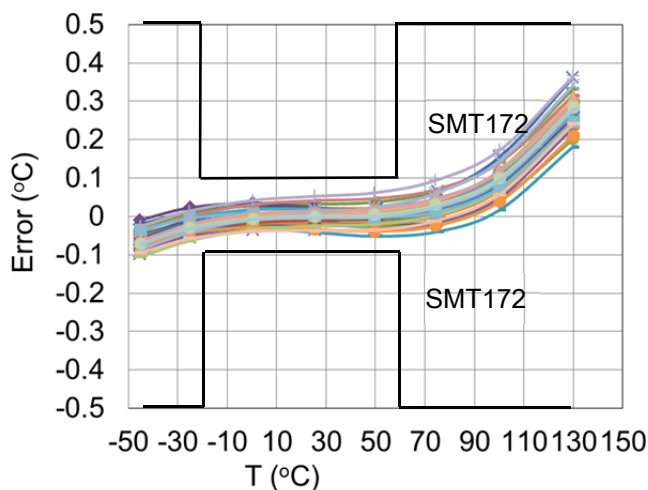
1. 传感器工作在 5 伏直流电压,
2. 使用方程式 (2) 计算有效占空比,
3. 使用二阶关系式把测得的有效占空比转换到温度值:

$$T = -1.43DC^2 + 214.56DC - 68.60 \quad (3)$$

如此, 在 $-20^{\circ}\text{C}$  至  $60^{\circ}\text{C}$  的范围内测量精度可达到 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

#### 性能曲线

采用二阶关系式(3)后所得到的误差于温度的关系如下图:



误差与温度的关系( $V_{CC}=5\text{V}$ , TO18)

以上二阶关系式可以更精确地描述有效占空比与温度的关系, 因此达到更好的精度。



## 使用说明

### 温度测量

SMT172 可以精确地测量其双极晶体管的温度。由于单晶硅良好的导热性，我们可以认为晶片本身的温度差异可以忽略。然而，封装材料的传热特性，焊垫的大小及形状，PCB上器件分布，是否使用导热剂等等，都会影响温度测量的结果。因此在被测目标和测温器件（SMT172）之间须有很好的传热通道。

如果被测目标是固体或液体，测温器件（SMT172）与被测目标之间良好的热接触有助于准确测量被测温度。良好的热接触可以通过金属和导热粘剂实现。如须测量气体的温度，重要的则是把温度传感器和系统的其他部分隔开，这样可以尽量减小系统电路的耗电产生的热量对测量精度的影响。

### 自热效应

每个电子器件都会耗电，耗电会转化为热量。而这部分热量会引起温度传感器本身温度升高（自热效应）。升高的程度取决于传感器与周边环境的热阻。测量精度因而也受影响。尽管 SMT172 有非常低的耗电电流，而这可以大大减小自热引入的额外误差，用户还是应该在设计温度测量系统时考虑到自热的影响。优化温度传感器与周边环境的热接触可大大减小自热效应 (参看 SMTAS08)。

### 热响应时间

温度传感器的热响应时间取决于温度传感器与热源之间的热导和热质量的大小。也取决于封装材料和浸入材料。所以热响应时间可以从亚微秒到数百秒。下表列出了 TO-18 封装传感器在几种条件下的热响应时间常数(达到瞬间温度变化值的 63%)。

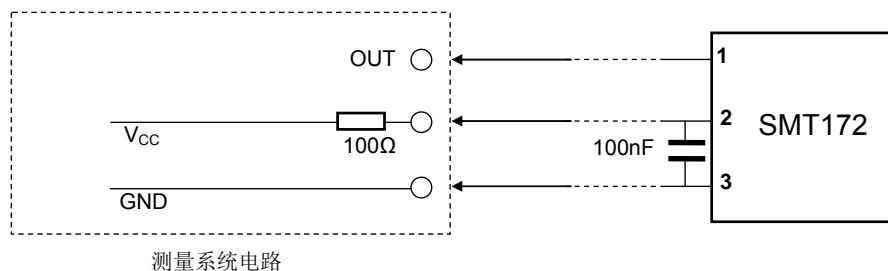
安装条件	时间常数(秒) (TO-18)
在金属铝块中	0.6
在装满油并不断搅拌的容器中	1.4
在移动速度为 3 米/秒的空气中:	
- 无散热器	13.5
- 有散热器	5
在静止空气中:	
- 无散热器	60
- 有散热器	100





### 电源电压的退偶和纠正缆线效应

在精密模拟电子器件的使用中一般会在正电源 ( $V_{CC}$ ) 和地 (GND) 之间使用退偶电容。此退偶电容可以保证器件的整体 EMI/EMC (抗电磁干扰) 性能。使用退偶电容时, 一般采用陶瓷封装的大约为 100nF 的电容。其位置应尽量靠近传感器。传感器 SMT172 输出信号非常精密, 其上升沿和下降沿非常陡, 大约 5 纳秒。这就意味着缆线 (大于 30 厘米) 的寄生电感和电容会使得脉冲信号在缆线两端来回反射, 形成激荡, 从而叠加在传感器的电源电压信号和输出信号上。此激荡信号会影响温度传感器的正常工作, 甚至会损坏相关的电子元件。使用退偶电容可以消除这一影响。(万一无法使用退偶电容, 在提供给传感器电源电压的远端 (远离传感器的一端) 串联一个大约 100 $\Omega$  欧姆的电阻也可适当降低激荡, 前提是缆线必须是有屏蔽的, 屏蔽层也尽量从传感器一端接地, 见 SMT172 的详细使用说明)。



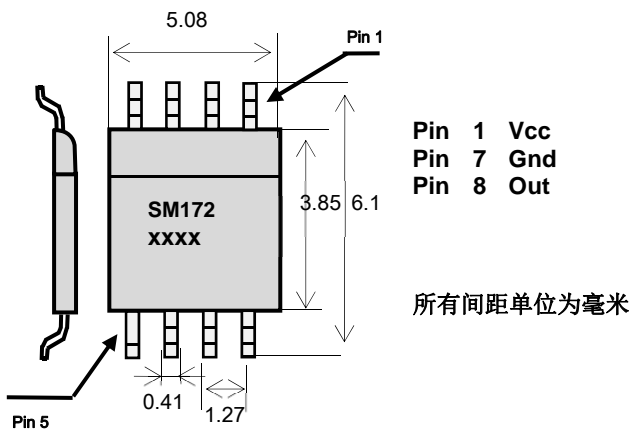
退偶电容增强传感器的抗干扰性能, 而电阻还可以在错误连接时起到限流保护作用。



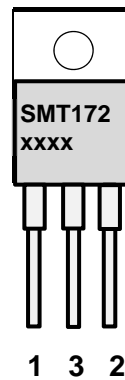


### 封装

#### SOIC-8L



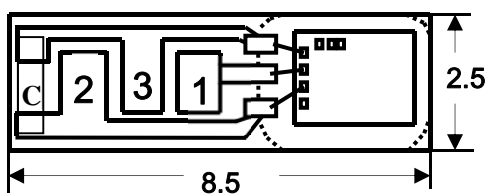
#### TO220



#### TO92



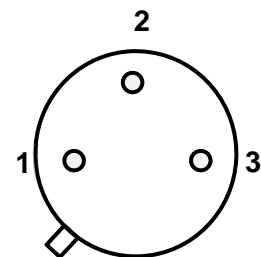
#### HEC



#### TO18

- 1 Output
- 2 + Vcc
- 3 GND

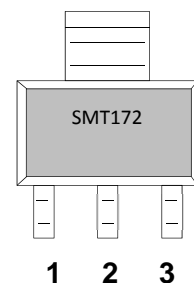
仰视图



#### SOT223

### 订货代码:

SMT172-SOT223	SMT172, SOT223 封装
SMT172-TO18	SMT172, TO-18 封装
SMT172-TO92	SMT172, TO-92 封装
SMT172-TO220	SMT172, TO-220 封装
SMT172-SOIC	SMT172, SOIC-8 封装
SMT172-HEC	SMT172, HEC 封装
SMT172-DIE	SMT172 裸片 (裸片尺寸: 1.7 x 1.3 mm)



- 1 Vcc
- 2 Gnd/heatsink
- 3 Out



### 相关产品：

**SMTAS04USBmini** 可测量 1 至 4 个传感器的测试板 (与计算机通过 USB 连接)

**SMTAS08USBmini** 可测量 1 至 8 个传感器的测试板 (与计算机通过 USB 连接)

