

工程师温度传感指南

温度传感器设计挑战和解决方案，
从热敏电阻到多通道远程传感器IC

目录

第 1 章:温度传感基本原理

第 2 章:系统温度监测

第 2.1 节: 如何监测电路板温度 7

第 2.2 节: 高性能处理器模温监测 9

第 3 章:环境温度监测

第 3.1 节: 精确测量环境温度的布局注意事项 12

第 3.2 节: 通过可扩展的温度传感器实现高效的冷链管理
..... 14

第 4 章:体温监测

可穿戴式温度传感的设计挑战 17

第 5 章:流体温度监测

使用数字温度传感器在热量计中替代 RTD..... 19

第 6 章:阈值检测

如何避免控制系统遭受热损坏 22

第 7 章:温度补偿和校准

第 7.1 节: 使用高精度温度传感器进行温度补偿 25

第 7.2 节: 校准热监测系统的方法 27

编者的话

在个人电子产品、工业或医疗应用的设计中，工程师必须应对同样的挑战，即如何提升性能、增加功能并缩小尺寸。除了这些考虑因素外，他们还必须仔细监测温度以确保安全并保护系统和消费者免受伤害。

众多行业的另一个共同趋势是需要处理来自更多传感器的更多数据，进一步说明了温度测量的重要性：不仅要测量系统或环境条件，还要补偿其他温度敏感元件，从而确保传感器和系统的精度。另外一个好处在于，有了精确的温度监测，无需再对系统进行过度设计来补偿不准确的温度测量，从而可以提高系统性能并降低成本。

温度设计挑战分为三类：

- **温度监测：**温度传感器提供有价值的数​​据来持续跟踪温度条件，并为控制系统提供反馈。此监测可以是系统温度监测或环境温度监测。在一些应用中，我们可以看到设计挑战的特点是需要​​在控制回路中同时实现这两种监测。这些监测包括系统温度监测、环境温度监测以及身体或流体温度监测。

- **温度保护：**在多种应用中，一旦系统超过或低于功能温度阈值，便需要采取措施。温度传感器在检测到事先定义的条件时提供输出警报以防止系统损坏。在不影响系统可靠性的情况下提升处理器吞吐量是可行的。系统经常过早启动安全热关断，结果造成高达 5°C 甚至 10°C 的性能损失。当系统超过或低于功能温度阈值时，工程师可以自主启动实时保护措施。
- **温度补偿：**温度传感器可以在正常工作期间随温度变化最大限度提高系统性能。监测和校正其他关键组件在发热和冷却时的温漂可降低系统故障的风险。

本电子书将提供一些 TI 应用简介，由此说明使用不同温度传感技术的各种应用的设计注意事项。书中的章节首先介绍主要的温度挑战，然后重点说明各种应用的设计注意事项，评估温度精度和应用尺寸之间的权衡，同时讨论传感器放置方法。

如果您对此处涉及的主题有任何反馈或者有任何其他温度监测和保护问题，请将其提交至 [传感器论坛](#)（访问 TI E2E™ 社区）。

TI 温度传感器

<http://www.ti.com/sensors/temperature-sensors/overview.html>

- 查看整个创新型高精度和小尺寸温度监测和保护传感器产品系列。

温度传感器参数化快速搜索

<http://www.ti.com.cn/zh-cn/sensors/temperature-sensors/products.html>

- 查找您的下一个高精度或小尺寸温度传感器。

TI 精密实验室视频培训

<https://training.ti.com/ti-precision-labs-temperature-sensors>

- TI 精密实验室是面向模拟信号链设计师且最全面的在线课堂。此培训系列包括视频、可下载的参考资料以及按需课程和教程, 内容涉及从基本介绍到聚焦于解决具体问题的高级概念等多个方面。

参考设计

<http://www.ti.com.cn/zh-cn/sensors/temperature-sensors/reference-designs.html#search?famid=611>

- 随时可用的参考设计, 包含理论、计算、仿真原理图、印刷电路板 (PCB) 文件和基准测试结果。

Analog Wire 博客

http://e2e.ti.com/blogs_/b/analogwire

- T由模拟专家撰写的技术文章, 包括一些提示、技巧和设计方法。

TI E2E™ 社区

<https://e2echina.ti.com/>

- 适合所有 TI 产品的支持论坛。

模拟工程师口袋参考书

<https://www.ti.com/seclit/ml/slyw038c/slyw038c.pdf>

- PCB、模拟和混合信号设计公式, 包括转换、表格和方程式, 以电子书、硬拷贝或 iTunes 应用的形式提供。

TINA-TI™ 仿真软件

<http://www.ti.com/tool/TINA-TI>

- 用于直流、交流、瞬态和噪声分析的完整 SPICE 仿真器, 包括原理图输入字段和用于波形数学运算的后处理器

模拟工程师计算器

<http://www.ti.com/tool/ANALOG-ENGINEER-CALC>

- 模数转换器和放大器设计工具、噪声和稳定性分析、PCB 和传感器工具。

第 1 章: 温度传感基本原理

简介

在嵌入式系统中,总是需要更高的性能、更多的功能和更小的外形尺寸。鉴于这种需求,设计人员必须监测整体温度以确保安全并保护系统。在应用中集成更多传感器进一步推动了对温度测量的需求,不仅要测量系统条件或环境条件,还要补偿温度敏感元件并保持整体系统精度。

温度设计注意事项

实现高效温度监测和保护的注意事项包括:

- 精度。传感器精度表示温度与真实值的接近程度。在确定精度时,必须考虑所有因素,包括采集电路以及整个工作温度范围内的线性度。
- 尺寸。传感器的尺寸会对设计产生影响,而分析整个电路有助于实现更优化的设计。传感器尺寸还决定了热响应时间,这对于体温监测等应用非常重要。
- 传感器放置。传感器的封装和放置会影响响应时间和传导路径;这两个因素都对高效温度设计至关重要。

工业中常见的温度传感器技术包括集成电路 (IC) 传感器、热敏电阻、RTD 和热电偶。表 1 比较了在为设计挑战评选适合的技术时参考的主要特性。

IC 传感器

IC 温度传感器取决于硅带隙的预测温度依赖性。如图 1 和公式 1 所示,精密电流为内部正向偏置 P-N 结提供电源,从而产生对应于器件温度的基极-发射极电压变化

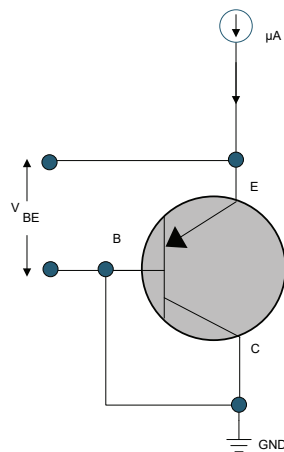


图 1. 硅带隙的温度依赖性。

$$\Delta V_{BE} = \frac{KT}{q} \times \ln\left(\frac{I_{C1}}{I_{C2}}\right)$$

等式 1: 温度依赖性

硅带隙。

(ΔV_{BE})。

鉴于硅的可预测行为, IC 可在宽泛的温度范围内提供高线性度和精度 (高达 $\pm 0.1^\circ\text{C}$)。这些传感器可以集成系统功能,例如模数转换器 (ADC) 或比较器,最终可以降低系统复杂性并减小整体占用空间。这些传感器通常采用表面贴装和穿孔封装技术。

	IC 传感器	热敏电阻	RTD	热电偶
范围	-55°C 至 +200°C	-100°C 至 +500°C	-240°C 至 600°C	-260°C 至 +2,300°C
精度	良好/最好	取决于校准	最好	较好
占用空间/尺寸	小型	小型	审核	大
复杂性	简单易用	审核	复数	复数
线性	最佳	低	最好	较好
拓扑	点对点、多点、菊花链	点对点	点对点	点对点
价格	中低	中低	昂贵	昂贵

表 1. 比较温度传感技术。

热敏电阻

热敏电阻是无源组件, 其电阻很大程度上取决于温度。热敏电阻分为两类: 正温度系数 (PTC) 和负温度系数 (NTC)。

虽然热敏电阻针对板载和非板载温度传感方式提供了多种封装选择, 但与 IC 传感器相比, 其实现方案通常需要更多的系统组件。硅基 PTC 热敏电阻具有线性特征, 而 NTC 热敏电阻具有非线性特征, 通常会增加校准成本和软件开销。

图 2 显示了典型的热敏电阻实现方案。通常很难确定热敏电阻的真实系统精度。NTC 系统误差的影响因素包括 NTC 容差、偏置电阻器 (易受温漂影响)、ADC (可能导致量化误差)、NTC 固有的线性化误差以及基准电压。

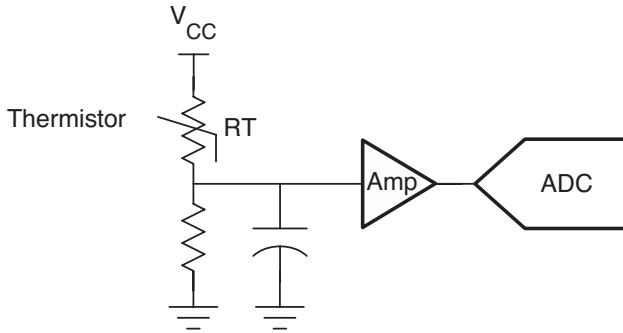


图 2. 典型的热敏电阻实现方案。

RTD

RTD 是由铂、镍或铜等纯净材质制成的温度传感器, 具有高度可预测的电阻/温度关系。

铂 RTD 可在高达 600°C 的宽泛温度范围内提供高精度和高线性度。如图 3 所示, 一个采用模拟传感器的实现方案中包括复杂的电路和设计挑战。最终, 为了实现精确的系统, 需要进行复杂的误差分析, 这是因为产生影响的组件数量较多, 而这也影响系统的整体尺寸。RTD 还需要在制造期间进行校准, 而后每年进行现场校准。

RTD 系统误差的影响因素包括 RTD 容差、自发热、ADC 量化误差和基准电压。

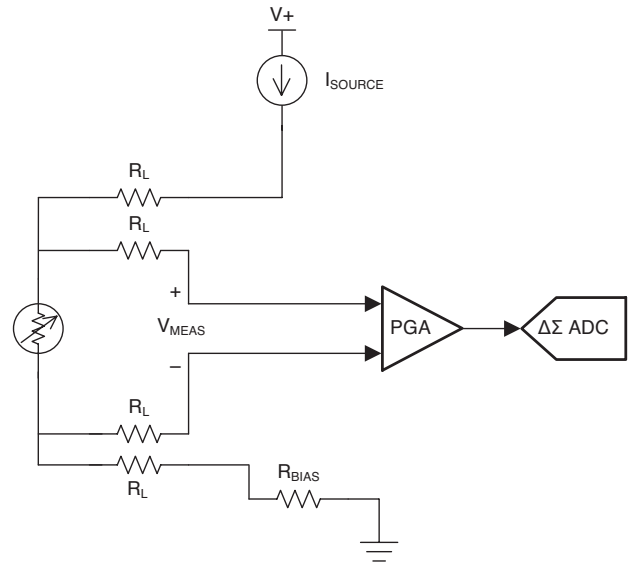


图 3. 复杂的四线 RTD 电路。

热电偶

热电偶由两个不同的电导体组成, 这两个电导体在不同的温度下形成电结。由于热电塞贝克效应, 热电偶产生与温度相关的电压。该电压转换为热端和冷端之间的温差。

必须知道冷端的温度才能获得热端温度。由于有两个系统具有相互影响的单独容差和能力, 这里的精度将受到限制。图 4 显示了一个典型的 CJC 实现方案, 其中采用热电偶和外部传感器来测定热端温度。

热电偶不需要外部激励, 因此不会受到自发热问题的影响。它们还支持极端温度 (>2,000°C)。

虽然热电偶坚固耐用且价格低廉, 但它们却需要额外的温度传感器来支持 CJC。热电偶往往具有非线性特征, 并且对于热电偶与电路板连接处的寄生结非常敏感。

对热电偶进行数字化容易受到先前讨论的 ADC 误差的影响。

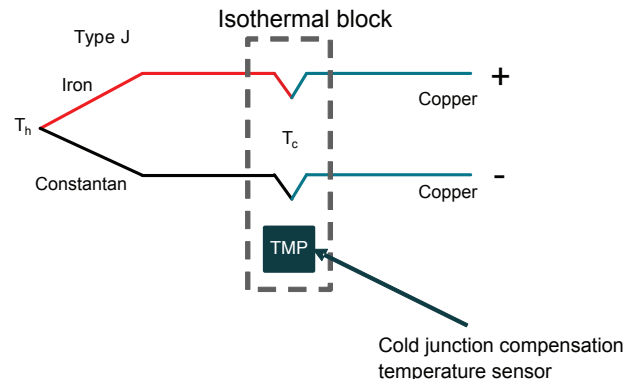


图 4. 带有冷端补偿 (CJC) 温度传感器的热电偶。

第 2 章: 系统温度监测

对于许多系统设计,有必要监测高功率组件(处理器、现场可编程门阵列、场效应晶体管)以确保系统和用户安全。温度读数的精确性非常重要,因为它使设计人员能够在提高性能的同时保持在安全限制内,或者通过避免在其他地方过度设计来降低系统成本。德州仪器(TI)的紧凑型高精度温度传感器产品系列可以更靠近这些关键组件放置,实现最精确的测量。

第 2.1 节

如何监测电路板温度

简介

电路中的温度问题会影响系统性能并损坏昂贵组件。通过测量印刷电路板(PCB)中存在热点或高耗电集成电路(IC)的区域温度,有助于识别热问题,进而及时采取预防或纠正措施。

您可能希望监测高耗电 IC(例如中央处理单元、专用 IC、现场可编程门阵列或数字信号处理器)的管芯温度以动态调整其性能,或者可能希望监测功率级周围的热区,以便控制系统中的风扇速度或启动安全系统关闭程序。

最终目标是优化性能并保护昂贵的设备。图 1 显示了高性能计算机主板上的温度监测系统。

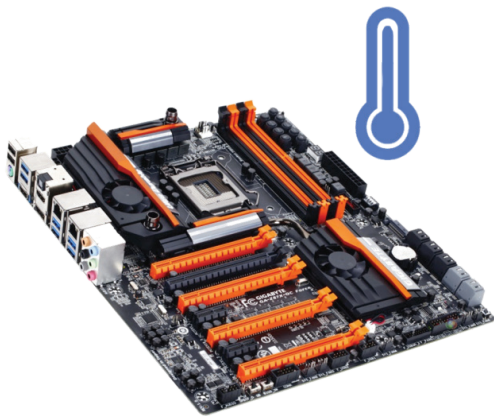


图 1. 复合型 PCB 板上的温度监测。

从 PCB 到温度传感器的热传递

本地温度传感器测量它们自己的管芯温度以确定特定区域的温度。因此,了解管芯与传感器周围物体或环境之间的主要温度传导路径至关重要。主要通过两种路径导热:通过连接到封装的管芯连接焊盘(DAP)(图 2)或通过封装引线引脚。DAP(如果存在)提供 PCB 和管芯之间最主要的导热路径。

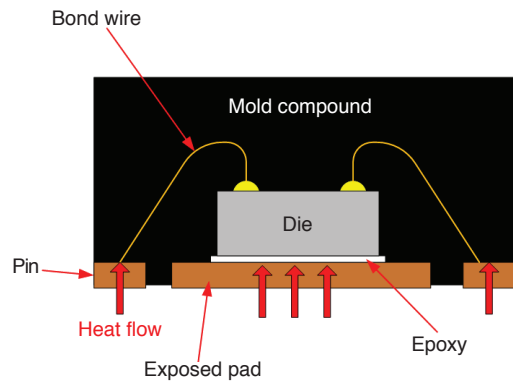


图 2. 带有 DAP 的封装。

如果封装类型不包含 DAP(图 3),则引线 and 引脚提供最主要的导热路径。

模塑化合物提供额外的导热路径,但由于其低导热性,通过模塑化合物本身进行的任何热传递均比通过引线或 DAP 进行的热传递更慢。

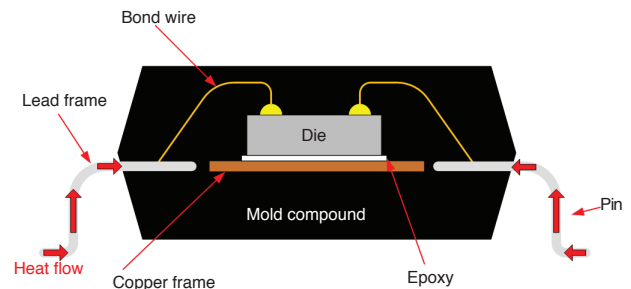


图 3. 不带 DAP 的封装。

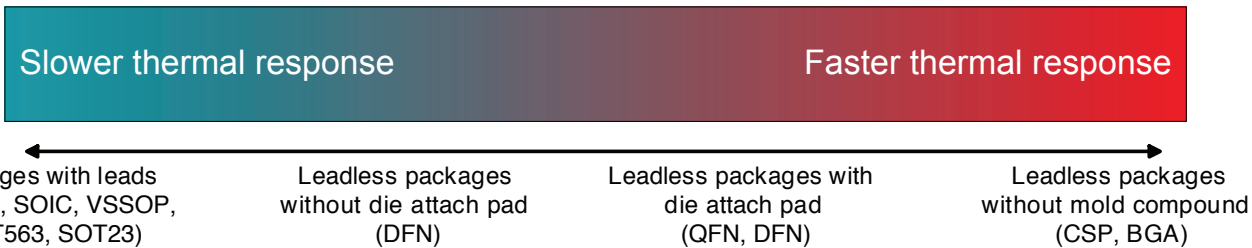


图 4.热响应图。

热响应

封装类型决定了温度传感器对温度变化的响应速度。图 4 显示了用于温度测量的不同类别的选定表面贴装技术封装类型的相对热响应速率。

不带模塑化合物的封装 (芯片级封装、管芯尺寸球栅阵列封装) 和带有 DAP 的封装 (四方扁平无引线 [QFN] 封装、双边扁平无引线 [DFN] 封装) 是专为需要从 PCB 快速进行热传递的应用而设计的, 而不带 DAP 的封装是专为需要较慢响应速率的应用而设计的。快速的热响应速率使温度传感器能够快速响应任何温度变化, 从而提供准确的读数。

设计准则 — 底部安装

传感器位置应尽可能靠近要监测的热源。应避免在发热 IC 和温度传感器之间的 PCB 上穿孔或切口, 因为这可能会减慢或阻止热响应。如果可能, 请将温度监测器安装在 PCB 底部直接位于热源下方, 如图 5 所示。

TI 建议使用过孔将热量从 PCB 的一侧快速传递到另一侧, 因为与 FR-4 相比, 过孔具有更好的铜导热性。可以使用尽可能多的并行过孔或填充式传导过孔, 将热量从热

源传递到温度监测器, 以便在两个 IC 之间实现快速热平衡。带有 DAP 的 QFN 或 DFN 封装有助于进一步缩短过孔与传感器管芯之间的热阻路径。

设计准则 — 地层注意事项

如果将温度传感器放置在热源的另一侧是不切实际或不划算的做法, 请将其放置在尽可能靠近热源的同一侧, 如图 6 所示。

在热源和温度监测器之间建立热平衡的最有效方法是使用地层。应使用从热源延伸到温度传感器的坚固地层。

结论

在具有热电区域或高耗电 IC 的 PCB 设计中, 温度监测至关重要。必须评估本地温度传感器的选择是否符合相关设计的系统要求和保护方案。

应考虑传感器位置和高导热率路径, 以此在传感器和发热元件之间建立快速热平衡。

表 1 列出了有关布局建议的其他资源。

Resource	Title
应用报告	温度传感器: 表面贴装器件的 PCB 指南

表 1. 相关 TI 内容。

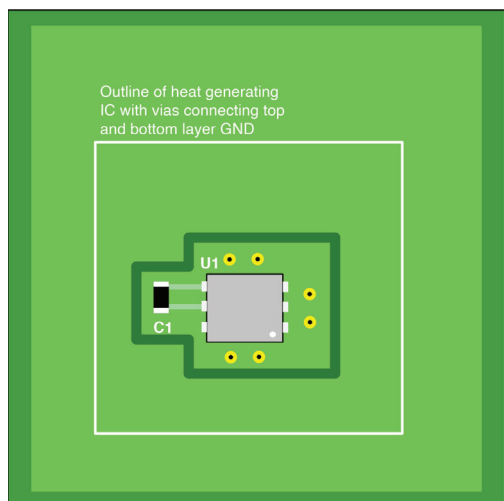


图 5.传感器安装在热源的另一侧。

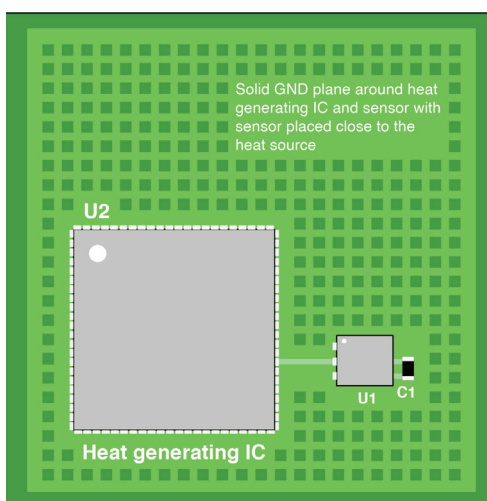


图 6.共用的地层有助于实现热平衡。

第 2.2 节

高性能处理器模温监测

简介

诸如中央处理单元 (CPU)、图形处理单元 (GPU)、专用集成电路 (ASIC) 和现场可编程门阵列 (FPGA) 之类的高性能处理器中的电源管理通常很复杂。通过温度监测, 这些系统不仅可以启动安全系统关闭程序, 还可以利用温度数据来动态调整性能。

监测过程温度可以提高系统可靠性并最大限度提升性能。如图 1 所示, 高性能处理器通常使用散热器吸收管芯中的过多热量。较高的温度可能会激活散热风扇, 修改系统时钟, 或者在处理器超过其温度阈值时快速关闭系统。

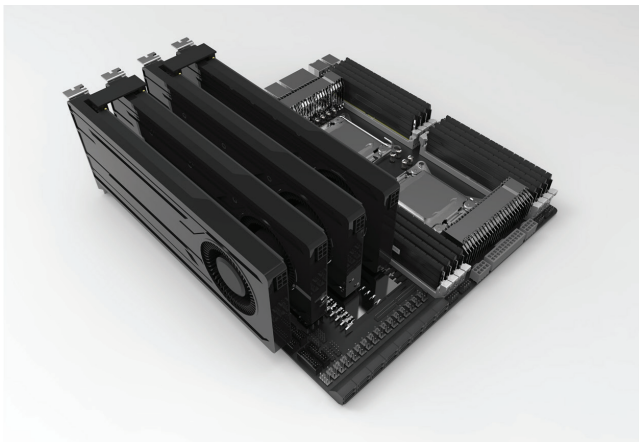


图 1. 搭载高性能处理器的主板通常需要散热器。

管芯温度监测的设计注意事项

为了实现高效的温度监测, 高性能处理器有两个设计注意事项: 温度精度和传感器放置。处理器的温度精度直接与传感器位置相关。

如图 2 所示, 通过高精度的温度监测, 可以最大限度提高处理器性能, 从而将系统推动到其温度设计极限。虽然大多数集成电路都有内置的温度传感器, 但由于晶圆和其他各批次之间的差异, 这些传感器的精度并不一致。另外, 必须根据基准来调理处理器, 从而调整相对于管芯温度的系数。高性能处理器本身具有复杂的电路并会引起自发热, 因此会产生随温度增加的温度误差。如果设计的系统具有较低精度和温度误差, 系统的性能将无法在其温度设计极限内达到最大化。

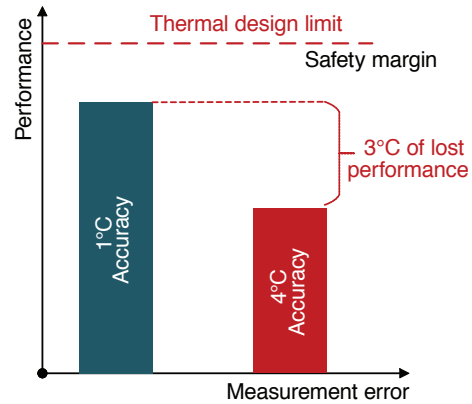


图 2. 通过高精度温度监测提高系统性能。

传感器放置和精度

集成的温度传感器或温度二极管或外部温度传感器可以监测处理器的热性能。在某些情况下,同时使用内部和外部传感器可以最大化系统性能并提高可靠性。

双极晶体管集成温度传感器

一些高性能处理器包含用于温度传感的双极结型晶体管 (BJT)。BJT 具有取决于温度且可预测性极高的传递函数。远程温度传感器使用此原理来测量管芯温度。在互补金属氧化物半导体工艺中最常见的 BJT 是 P 沟道 N 沟道 P 沟道 (PNP)。图 3 显示了一个用于测量 PNP 晶体管连接配置的远程温度监测电路。

由于晶圆和不同批次之间的差异引起的噪声和误差,设计远程温度监测系统的过程可能充满挑战。温度二极管误差可能由以下原因引起:

- 理想因子变化。BJT 温度二极管的特性取决于工艺几何因素和其他工艺变量。如果知道理想因子 n , 则可以使用 n 因子寄存器来校正 n 因子误差。或者,可以使用软件校准方法来校正所需温度范围内的理想因子变化。

- 串联电阻。由于电流源,信号路径中的任何电阻都将引起电压失调。现代远程温度传感器采用串联电阻算法,可消除由高达 1-2k Ω 的电阻引起的温度误差。即使与电阻-电容滤波器结合使用,该算法也能实现稳健、精确的测量结果。
- 噪声注入。当二极管走线与承载高电流的高频信号线并行排布时,耦合到远端印刷电路板走线中的电磁干扰或电感可能导致误差。这是远程温度传感器最重要的电路板设计注意事项之一。
- Beta 补偿。集成到 FPGA 或处理器中的温度晶体管的 Beta 值可能小于 1。具有 Beta 补偿的远程温度传感器专门设计用于与这些晶体管结合使用并校正与它们相关的温度测量误差。与分立式晶体管一起使用时, Beta 补偿特性不会带来任何好处。

器件建议

TMP421 提供单个通道来监测 BJT; 也有多通道远程温度传感器支持多达八个通道,可在本地和远程测量温度。

TMP451 在本地和远程均可提供高精度 (0.0625 $^{\circ}\text{C}$) 温度测量。服务器、笔记本电脑和汽车传感器融合应用可受益于多通道远程传感器。

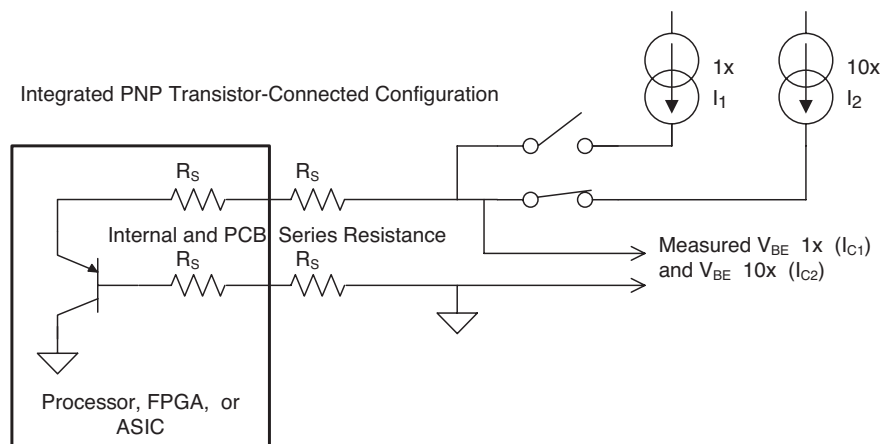


图 3. 用两个电流测量基极-发射极电压变化 (ΔV_{BE})。

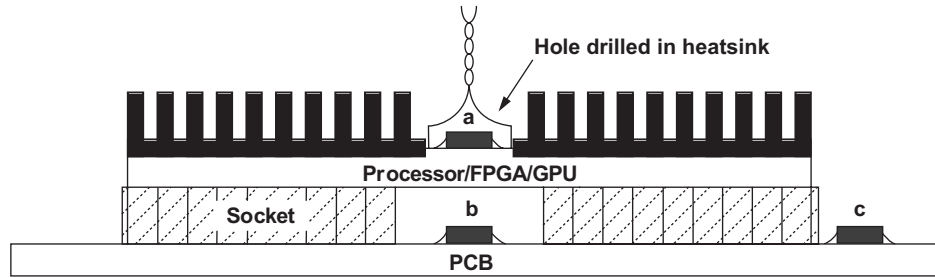


图 4. 通过放置传感器实现高性能处理器温度监测。

外部温度传感器

虽然内置温度传感器位置最佳,但其精度低至 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。添加外部本地温度传感器可以提高管芯温度精度并提升系统性能。当集成的管芯温度传感器不可用时,也可以使用本地温度传感器。然而,对于本地温度传感器,传感器位置是重要的设计注意事项。图 4 显示了放置本地温度传感器的一些选项:位置 a、b 和 c。

- 位置 a。位于微处理器散热器中心钻孔中的传感器与管芯非常靠近。散热器可以夹持到处理器上,或者用环氧树脂贴附到处理器顶部。此位置的温度传感器通常需要较长的引线,而随着散热器到微处理器之间的导热性能逐渐下降,传感器数据将变得不正确。
- 位置 b。另一个放置传感器的潜在位置是在处理器插座下方的空腔中,此处的组装非常简单直接。鉴于传感器与气流隔离,环境温度对传感器读数的影响极小。此外,如果散热器与处理器分离,传感器将显示处理器温度升高。尽管如此,如果采用这种传感器放置方式,传感器和处理器之间的温差可能在 5°C 到 10°C 之间。

- 位置 c。传感器可以安装在微处理器单元 (MPU) 旁边的电路板上。虽然这种安装方式易于实施,但传感器温度与 MPU 温度之间的相关性要弱得多。

器件建议

占位尺寸是选择本地温度传感器时需要考虑的一个因素。TMP112 采用 $1.6\text{mm} \times 1.6\text{mm}$ 封装,可以靠近处理器使用。与集成在处理器内部的温度传感器通常只有 5°C 至 20°C 的精度相比,TMP112 器件的 0.5°C 精度可以最大限度提高性能。

有关设计具有远程温度传感器和外部温度监测功能的管芯温度监测应用的其他资源,请参阅表 1。

Resource	Title
应用报告	优化远程二极管温度传感器设计
应用报告	温度传感器: 表面贴装器件的 PCB 指南

表 1. 相关 TI 内容。

第 3 章: 环境温度监测

在许多应用中, 环境空气温度监测对于控制环境条件或确保安全操作条件至关重要。准确快速地测量环境温度通常面临挑战, 因为传感器可能不会完全暴露于外部环境并可能受到系统中其他组件的自发热影响。TI 的高精度、低功耗单通道和多通道温度传感器采用紧凑型封装, 可实现更快的热响应。

第 3.1 节

精确测量环境温度的布局注意事项

简介

使用表面贴装器件来测量环境温度可能具有挑战性, 因为来自其他高耗电电子元件的热传递会影响传感器的温度读数。

要精确测量环境温度, 必须采用良好的布局方法, 例如了解主要的导热路径、隔离传感器封装以及将器件放置在远离干扰热源的位置。图 1 显示了一种使用这些方法的简单恒温器设计。

在图 1 中, 系统自发热产生的被动气流在温度传感器 A 上方吸入外部空气。传感器放置在远离主要热源(中央处理单元)的进气口处, 并经过隔热以确保更精确的测量。

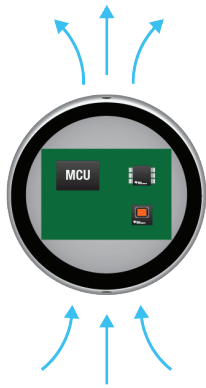


图 1. 温度传感器恒温器设计热辐射和印刷电路板 (PCB) 布局。

热辐射和 PCB 布局

必须首先了解哪些组件辐射最多的热量以避免在热源附近布线。图 2 是使用 Mentor Graphics 的 FloTHERM 热分析工具捕获的热感图像, 其中显示了热源附近空气中的温度分布。

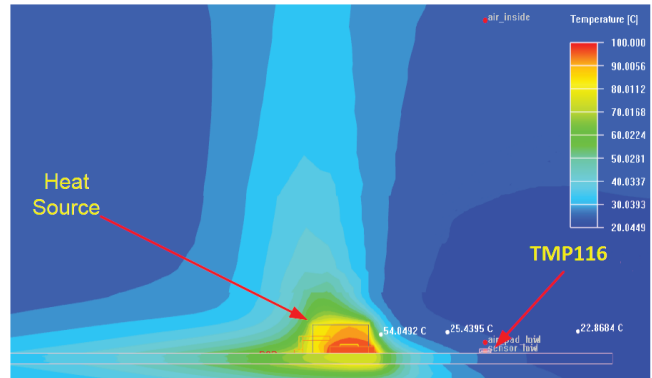


图 2. 在测试板上辐射的热量。

如果将组件放置在外壳内, 则热量分布可能更加集中。请记住应将温度传感器远离热源放置, 从而避免在露天场景中在外壳内出现错误的温度读数。

表 1 列出了各种热源温度下传感器和热源之间的建议距离。

热源温度	环境温度	建议距离
40°C	20°C	7.62 mm
60°C	20°C	15.24 mm
100°C	20°C	38.1 mm

表 1: 远离热源的推荐距离。

如果传感器靠近热源, 最好创建一个隔离岛, 并最大限度地增加传感器与热源之间的气隙。气隙越大, 环境温度测量结果越好。然而, 当传感器离得更远时, 间隙不能提供额外的屏蔽。但是, 间隙可以改善传感器的热响应时间。

图 3 显示切口为 0.8mm 宽时的温度读数大约为 38.5°C, 而图 4 显示切口为 1.8mm 宽时的温度读数大约为 35.5°C。这些图像显示了较大的隔离间隙如何影响环境温度读数。

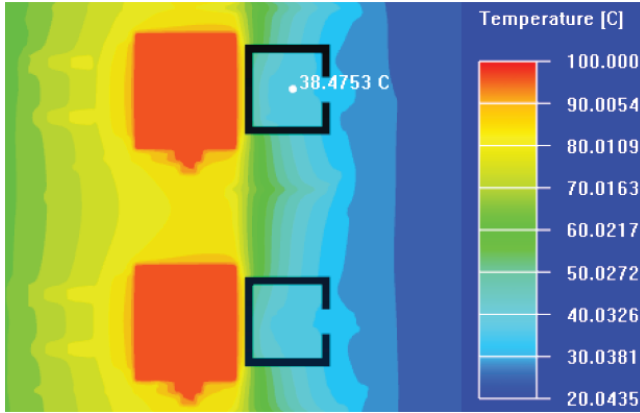


图 3.槽宽为 0.8mm 时的散热气隙。

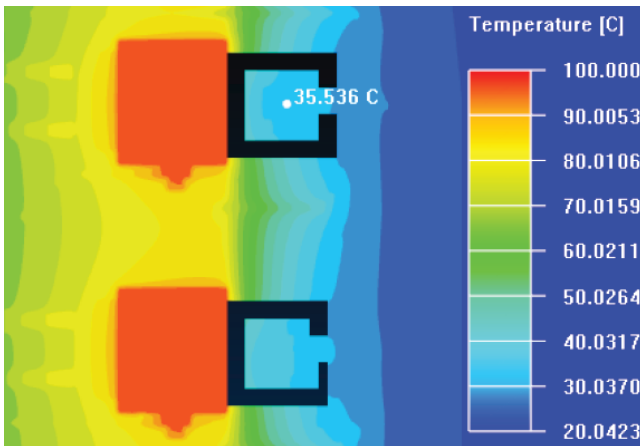


图 4.槽宽为 1.8mm 时的散热气隙。

在设计温度传感器的 PCB 时, 采用良好的布局方法非常重要。图 5 显示了具有隔离岛的 PCB 布局以及轮廓布线, 而图 6 显示了一种替代设计, 其中在安装温度传感器的区域周围有穿孔。

在这两块小型电路板上, 尺寸极小, 只能部署传感器和旁路电容器; 隔离岛的热质量越小, 热响应就越好。这些设计极大地减少了来自其他组件的热传递量。

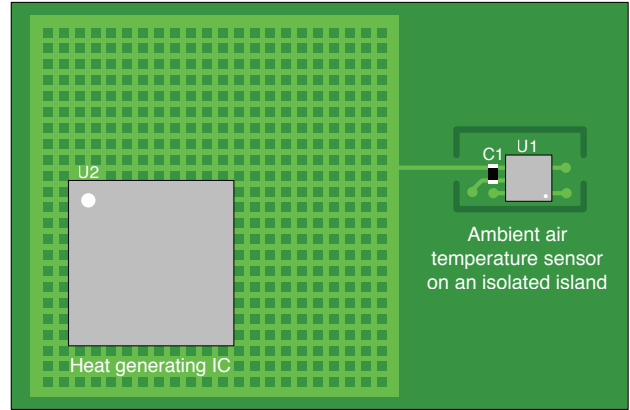


图 5.隔离岛 PCB 布局。

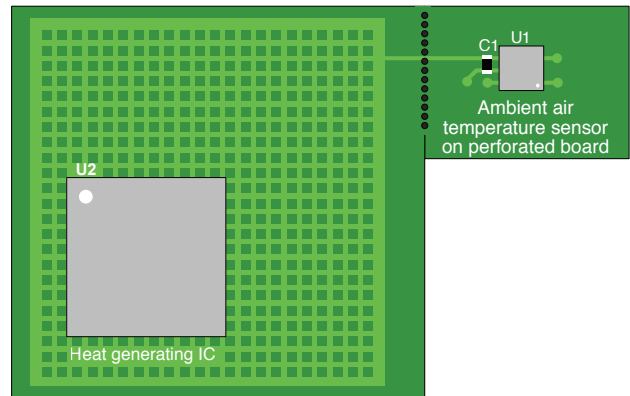


图 6.穿孔的 PCB 布局。

温差

在需要更高测量精度的应用中, 请考虑使用温差设计。这种类型的设计在高温组件旁边增加了额外的传感器(如图 1 所示), 并测量传感器 A 和 B 之间的温差。

然而, 这种设计需要关于 ΔT 与环境温度之间相关性的模型, 且该模型将根据系统应用而变化。温差设计会考虑自发热的影响, 从而提供更准确的算法来估算环境温度。

器件建议

TMP112 和 TMP116 是专为诸如环境监测和恒温控制之类的高精度、低功耗应用而设计的数字温度传感器。TMP112 在 0°C 至 65°C 范围内的精度为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$, 而 TMP116 在 -10°C 至 85°C 范围内的精度为 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 。

这两款温度传感器都具有高线性度, 无需校准, 并具有可编程警报功能。TMP112 采用紧凑的 1.60mm x 1.20mm 小外形晶体管 (SOT)-563 封装, 而 TMP116 采用 2mm x 2mm 超薄小外形无引线 (WSON) 封装。

为确保最佳性能和器件使用寿命, 表 2 列出了额外的布局建议。

资源	标题
应用报告	测量环境空气温度的设计注意事项
应用报告	使用 TMP116 进行精确的温度测量

表 2. 相关 TI 内容。

第 3.2 节

通过可扩展的温度传感器实现高效的冷链管理简介

为了保持营养并确保质量和产品安全, 制造商规定了包装和易腐商品 (尤其是食品和药品) 的运输和储存温度。但是经过当地杂货店到达消费者手上之前, 水果、蔬菜和冷冻食品在运输期间和大型制冷设备货架上停留了大量时间, 如图 1 所示。将这些商品保持在适当温度至关重要。

冷链管理将确保在包装和易腐商品的生命周期每个阶段都满足适当条件。冷链管理还要确保操作员在运输或储存期间发现可能发生偏离储存温度范围的情况时可以采取适当的措施。



图 1. 典型的杂货店过道。

冷链拓扑

带有测量仪表的温度传感器长期以来一直很受欢迎。然而, 随着半导体技术的进步, 而且大多数冷链管理发生在 -40°C 至 $+10^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内, 集成的温度传感器成为了冷链管理的最佳选择。

根据应用, 可能有不同的拓扑。如图 2 所示, 在点对点拓扑中, 单个微控制器 (MCU) 连接到温度传感器, 该传感器可以是模拟或数字输出传感器。在运输过程中管理货物托盘时, 点对点拓扑非常有用。

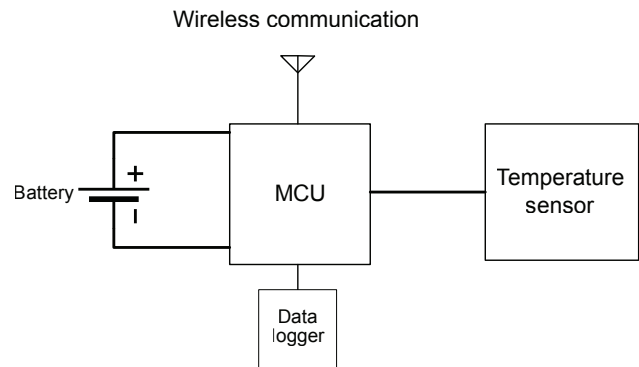


图 2. 点对点拓扑。

在感测一组制冷容器 (如冰箱) 时, 由于单个 MCU 的成本太高, 无法在整个系统中多次实施。在此类情况下, 最常见的拓扑是星形、共享总线或菊花链拓扑 (图 3) :

- 星形拓扑可以在某一个分支出现故障时轻松实现故障隔离。星形拓扑可以同时使用模拟和数字输出温度传感器, 但由于控制器外设数量较高且系统无法充分扩展, 因此实施成本较高。
- 在共享总线拓扑中, 一个 MCU 充当多个传感器的主控制器。使用数字温度传感器即可轻松实现扩展。共享总线拓扑会共享线路, 但仍然可以使用带内寻址 (如 I2C 总线) 或基于片选的带外信令 (串行外设接口就是这种情况) 进行单独寻址。然而, I2C 面临的问题可能是长链上的可靠电力输送和信号完整性。
- 菊花链不需要带外信令, 而是使用带内寻址方案。一个链的每一级充当下一个链的缓冲器, 因此可以改善更长距离的信号完整性。

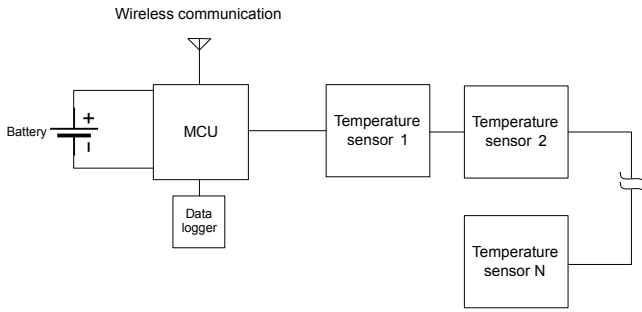


图 3. 温度传感器菊花链。

无论处于冷链管理的哪个监测阶段, 电子系统都具有独特的优势, 因为它们不仅可以记录托盘或制冷设备的温度, 还可以提供阈值以便在超过特定阈值时发出警报。此类事件可通过声音或视觉警报 (如蜂鸣器或闪烁的 LED 指示灯) 的形式直观地传达给操作员, 还可使用有线或无线 MCU 集成到云服务中, 从而实现全天候监测和数据记录。

器件建议

TMP107 数字输出温度传感器支持总共 32 个菊花链器件, 可在需要高精度和系统范围扩展性的冷链管理应用中替代 NTC 热敏电阻。TMP107 在 -20°C 至 $+70^{\circ}\text{C}$ 温度范围内的最高精度规格为 $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$, 在 -40°C 至 $+100^{\circ}\text{C}$ 范围内为 $\pm 0.55^{\circ}\text{C}$, 且温度分辨率为 0.015625°C 。

凭借自动地址分配功能, TMP107 允许系统开发人员在编写软件时无需为每个传感器节点分配地址, 因为系统会通过添加额外的传感器节点进行扩展。同时, 通过使用推挽式通信输入/输出, 系统可以更好地抵抗噪声, 防止噪声影响长电缆上的温度值。这种弹性使得链中相邻器件之间跨度为 1,000 英尺的数据传输成为可能。

图 4 显示了 9,600bps 的通信接口的信号完整性。SMAART wire™ 数字接口使用通用异步接收器/发送器总线, 这是几乎所有 MCU 上的标准外设, 因此可以更轻松地开发软件。同时, 菊花链实现方案更便于识别电缆断裂的位置, 因此更容易维护和提高整体系统可靠性。

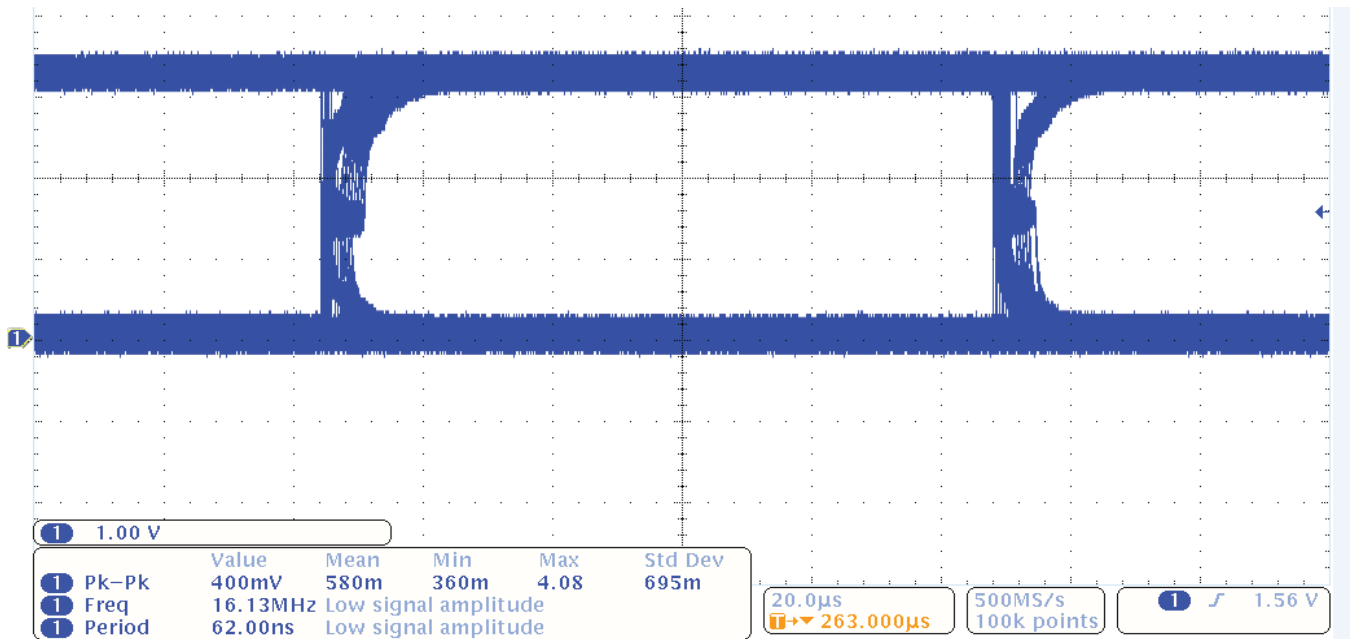


图 4. TMP107 的眼图。

使用有源总线通信执行温度转换时, TMP107 的电流消耗通常为 300 μ A。在低功耗模式下的关断电流为 3.8 μ A。该器件具有 1.7V 至 5.5V 的宽工作电压范围, 由于电流消耗很低, 因此非常适合用于冷链管理运输阶段的电池供电型系统。提高波特率可实现实时更新, 有助于储存冷冻食品。

此外, TMP107 将配置和温度限制存储在内部非易失性存储器中。因此, 该器件可以在上电时自动配置, 进而无需单独进行器件配置, 并可提高系统运行速度。该器件还具有八个电可擦除可编程只读存储器 (EEPROM) 位置, 提供高达 128 位的 EEPROM 来存储用户信息或校准信息。

菊花链拓扑是实现高效冷链温度监测的最佳方式。TMP107 实现了精度、功耗和功能的完美结合, 可支持基于电池的冷链管理系统。

表 1 列出了此实现方案的备选器件建议。

器件	经优化的参数	性能折衷
TMP144	小型封装	菊花链支持 16 个器件, 精度为 1 $^{\circ}$ C

表 1. 备选器件建议。

有关此主题的更多信息, 或有关冷链市场的一般性建议, 请参阅表 2 中的相关内容。

资源	标题
博客文章	传感器技术如何不断发展来满足冷链需求
应用手册	温度传感冷链资产跟踪

表 2. 相关 TI 内容。

第 4 章: 体温监测

了解患者的体温是任何临床诊断的关键第一步,也是运动员的重要关注点。除了要求超高精度外,行业正朝着紧凑型可穿戴设备的方向发展,以提供持续的温度监测。精度高达 0.1°C 的温度传感器不仅符合美国材料与试验协会 (ASTM) E1112 对医用温度计的要求,而且还经过优化,可使电池供电的可穿戴设备保持紧凑和舒适。

可穿戴式温度传感的设计挑战

简介

在临床环境中监测患者生命体征通常是需要经过严格校准的昂贵系统所执行的工作,需要将患者束缚在临床监护仪旁边。无线患者监测系统可提供患者舒适性和临床便利性,只要仍然符合严格的医疗标准即可。

在设计可穿戴式温度监测仪时,需要在功耗、尺寸、系统性能(射频 [RF] 和精度方面)和患者舒适度之间进行许多权衡。例如,更轻薄、更柔软的电池提供更大的舒适性,但可能需要更精心的电源管理。

更小、更低成本的设计需要在隔热和射频性能方面做出牺牲。用于长期监测的解决方案必须充分利用电路板面积来提高精度和信号完整性,同时尽可能降低电流消耗。系统设计人员必须平衡这些要求以及患者的舒适度和体验。

温度计的合规性

美国材料与试验协会 (ASTM) E1112 和国际标准化组织 (ISO) 80601-2-56:2017 是间歇性电子式患者温度计的监管标准。对于符合 ASTM E1112 标准的临床温度测量应用,体温监测仪必须能够产生 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 精度的读数,还必须读取并显示最低 35.8°C 至 41.0°C 的温度。至少,任何温度监测设计都应该包括一个能够在校准后满足这些要求的传感元件。

TI 建议对可穿戴式温度监测仪使用 TMP117 超高精度数字温度传感器。该器件本身在 25°C 至 50°C 温度范围内的精度优于 0.1°C,无需校准即可满足 ASTM E1112 和 ISO 80601-2-56:2017 的要求。此外, TMP117 的低总电流消耗和单次触发模式非常适合电池供电的应用。与基于电阻温度检测器 (RTD) 或热敏电阻的解决方案相比, TMP117 的数字 I2C 输出还极大地简化了系统设计。

布局注意事项

即使采用合适的传感元件,确保整体系统精度仍然需要仔细进行电路板布局。若要监测皮肤温度,最佳布局应满足以下条件:

- 最大限度提高传感元件和其他器件之间的隔热能力。
- 最大限度降低温度传感元件周围的热质量以加快响应速度。
- 在患者和传感元件之间提供良好的热接触,使传感器和目标之间的温度梯度最小化。

优化隔热和热质量

图 1 显示了一个皮肤温度监测系统示例。TMP117 数字温度传感器使用窄臂从印刷电路板 (PCB) 的其余部分进行延伸,从而最大限度减少电路板其余部分的热传导。



图 1. TMP117 (U1) 位于柔性 PCB 上。使用延伸臂可将集成电路与其他器件产生的热量隔开。

图 2 显示了相同双层柔性 PCB 的叠层。使用柔性板有助于减少总体热质量,从而改善患者监测仪的热响应时间。在电路板顶部和底部之间省略铜填充会阻止从 TMP117 吸走热量并增加热质量。

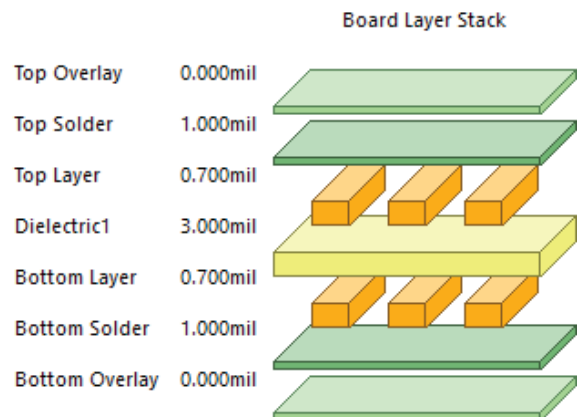


图 2. 柔性叠层示例,使厚度最小化以降低热质量。

热接触

为了对患者皮肤温度进行可靠测量, 需要被监测患者与传感器件之间实现良好的热接触。这种热接触与电路板其余部分的热隔离相互配合, 可确保报告的温度尽可能接近患者的实际皮肤温度。使用 TMP117, 牢固的覆铜和接触过孔可以在电路板下面提供导热路径, 如图 3 所示。焊盘与穿戴者的皮肤直接接触, 并确保该器件的主要热源来自被监测者。

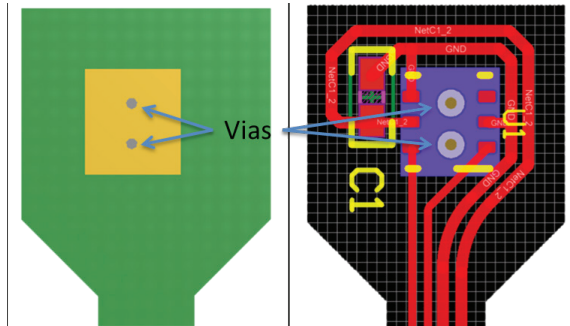


图 3. 覆铜位于 TMP117 下面(左); TMP117 的顶部布局(U1, 右)。TMP117 下面的过孔和覆铜在患者皮肤与器件之间提供导热路径。

自发热

无论选择何种传感元件和布局, 鉴于医用温度计的严格精度要求, 均需要了解器件自发热影响。由于所选的传感元件会发生电阻损耗, 因此始终存在一定程度的自发热。TMP117 可配置为单次触发模式转换, 并可在连续读取之间保持关断模式, 从而最大限度减少自发热。TMP117 的单次触发特性可以使用可配置数量的平均读数来触发各个温度读数。人体温度通常不会在大约几秒钟内就出现变化, 因此以 10 到 60 秒的间隔读取这些读数足以长时间监测患者体温。此方法还具有延长系统有效电池寿命的额外好处。

系统功率

电源要求将根据整体系统设计而有所不同, 但大多数无线患者监测仪需要有足够的能量存储, 确保能维持数年的货架期, 并至少有 48 至 72 小时的有效使用寿命。纽扣电池轻而易举就能满足这些能量要求, 但它们是完全刚性的, 可能会让患者感到不舒服。在一次性贴片中, 基于纽扣电池的解决方案可能非常浪费。

另一种能量存储选择是使用薄膜柔性电池。由于这些电池的存储容量很小, 若要使用这些电池, 总系统功耗必须极小。如果仅进行间歇性温度监测, 使用柔性电池供电的系统可以轻松满足具体应用的电池要求, 可确保数年的货架期和 48 至 72 小时的有效使用时间。

进行系统权衡

虽然遵循布局建议对于满足 ASTM E1112 和 ISO 80601-2-56 标准至关重要, 但还有其他系统设计注意事项。为了使患者感到舒适, 最好将非温度监测器件和射频区域保持在尽可能小的面积内。保持电路板的填充区域紧凑有助于减小监测仪上使患者感到僵硬的区域。

对于射频通信, 任何能在柔性 PCB 上工作的无线协议都是可行的。由于大多数可穿戴式患者监测仪都希望保持低功耗, 因此 TI 建议使用低功耗 Bluetooth® 无线通信链路。如果从监测仪发送的信息只有温度, 则可以将监测仪配置为连同其配对 ID 一起广播温度读数。以这种方式发送信息消除了建立和维持实际连接的必要, 甚至可进一步降低系统功耗。

要获得有关此主题的更多信息, 或有关测量温度的一般性建议, 请参阅表 1 中的相关 TI 内容。

资源	标题
参考设计	支持蓝牙技术的高精度体温测量柔性 PCB 贴片参考设计
应用报告	针对热响应优化的可穿戴式温度传感布局的注意事项
应用手册	可穿戴式温度传感布局注意事项

表 1. 相关 TI 内容。

第 5 章: 流体温度监测

对于许多计量和工业过程,有必要直接测量流体的温度,或使用温度数据进行补偿以便更准确地计算流体的容积流量。流体温度监测应用不仅要求传感器具有较小的尺寸以降低流动阻力,在液体易燃的情况下还要求具有较低的功耗。TI 的低功耗模拟和数字解决方案具有与 AA 级电阻温度检测器 (RTD) 媲美的精度,功耗仅为 6.3 μ W。

使用数字温度传感器在热量计中替代 RTD

简介

热量计是通过测量系统的入口管和出口管之间的流速和温度变化来测量热能的装置。这些装置通常在工厂中用于锅炉输出测量,以及在住宅供暖和制冷系统中用于热量输送测量。

由于热能的测量需要流速和温度,因此必须准确测量这两个参数。测量不准确可能导致能量输送测量结果不正确,从而导致不足额或超额计费。

一种称为电阻温度检测器 (RTD) 的无源组件 (其电阻随温度而变化) 可以避免测量误差。RTD 使用铂、铜或镍等金属制成,支持宽温度范围 (约 -200 $^{\circ}$ C 至 +850 $^{\circ}$ C)。

如表 1 所示,RTD 的精度由其类别定义。国际电工委员会 (IEC)/欧洲标准 (EN) 60751 定义了四种 RTD 类别:C、B、A 和 AA,其中 C 类的精度最低,AA 类的精度最高。较低精度的类别将具有更大的温度范围。例如,C 类薄膜 RTD 覆盖的温度范围为 -50 $^{\circ}$ C 至 +600 $^{\circ}$ C,而 AA 类薄膜 RTD 覆盖的温度范围为 0 $^{\circ}$ C 至 +150 $^{\circ}$ C。

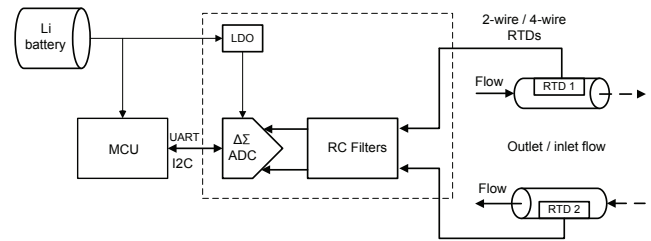


图 1. 使用 RTD 进行流体温度测量。

施加电流源将在 RTD 上产生电压差;该电压与 RTD 的电阻及其激励电流成比例。该电压数据用于测量来自入口管和出口管的两个温度源之间的差值。

热量计中的流体温度测量

固态热量计在计算住宅和工业用户的热能计费方面越来越流行。这些仪表在入口管或出口管上进行流量测量,并在入口管和出口管上都有一对匹配的 RTD 探头。图 1 显示了使用 RTD 的热量计系统的框图。

RTD 提供低功率和高精度,这些特性非常理想,因为在大多数住宅单元中,热量计都是独立的电池供电型系统。系统快速从断电模式唤醒、对 RTD 温度进行采样并随后返回断电模式的功能可以延长电池寿命并最大限度降低能耗。

但是,这些系统要求匹配良好的 RTD 正确读取差分测量值。並需要在设计时仔细考虑系统成本和复杂性。

容差类别	有效温度范围		容差值 ($^{\circ}$ C)	0 $^{\circ}$ C 时的电阻 (Ω)	100 $^{\circ}$ C 时的误差 ($^{\circ}$ C)
	绕线	薄膜			
AA	-50 $^{\circ}$ C to +250 $^{\circ}$ C	0 $^{\circ}$ C to +150 $^{\circ}$ C	$\pm(0.1 + 0.0017 * t)$	100 \pm 0.04	0.27 $^{\circ}$ C
A	-100 $^{\circ}$ C to +450 $^{\circ}$ C	-30 $^{\circ}$ C to +300 $^{\circ}$ C	$\pm(0.15 + 0.002 * t)$	100 \pm 0.06	0.35 $^{\circ}$ C
B	-196 $^{\circ}$ C to +600 $^{\circ}$ C	-50 $^{\circ}$ C to +500 $^{\circ}$ C	$\pm(0.3 + 0.005 * t)$	100 \pm 0.12	0.8 $^{\circ}$ C
C	-196 $^{\circ}$ C to +600 $^{\circ}$ C	-50 $^{\circ}$ C to +600 $^{\circ}$ C	$\pm(0.6 + 0.01 * t)$	100 \pm 0.24	1.6 $^{\circ}$ C

表 1. IEC 60751 定义的温度精度类别。

典型的热量计使用一对连接到高精度模拟前端的 PT100、PT500 或 PT1000 传感器。欧洲 EN 1434 等规范定义了有关这些仪表的要求。此规范的两个主要方面为：

- 传感器精度和类型。EN 60751 中的第 5.4 章建议使用精度高于 B 类或等于 A 类或 AA 类且采用三线或四线配置的工业铂电阻温度计。EN 1434-2 指出可以使用其他类型的温度传感器, 但如果这样做, 则不能将它们与热量计或热量计算器装置分开。
- 校准。EN 1434-2 的第 4.1 章规定, 所有温度传感器对都必须在内置于热量计之前进行预校准和配对。或者, 应将传感器牢固地安装在热量计的印刷电路板上, 然后进行校准, 从而最大限度减少两个 PT 传感器之间的温度偏移。

热量计数字温度传感器的设计注意事项

高精度数字温度传感器将传感器和模数转换器集成到单个器件中。主微控制器不需要进行额外的温度转换处理。

让我们根据上面列出的行业标准规范来评估设计注意事项：

- 传感器精度和类型。诸如 TMP117 之类的数字温度传感器在 -20°C 至 $+50^{\circ}\text{C}$ 温度范围内支持的精度为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$, 在 -55°C 至 $+150^{\circ}\text{C}$ 温度范围内的最高精度规格为 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 。这些规格超出了相同范围内的 AA 类 RTD 精度, 符合 EN 60751 和 EN 1434-2 规范在精度和传感器类型方面的要求。
- 校准。传感器在相同条件下连续进行温度测量时重现读数的能力称为可重复性。TMP117 具有 $7.8125\text{m}^{\circ}\text{C}$ 的可重复性, 因此传感器本身具有非常一致和可靠的性能。TMP117 还包括一个温度偏移寄存器, 可用

于在初始校准期间存储温度偏移, 然后在经过线性化后添加到温度结果中。在入口和出口处校准传感器对是使用热量计进行流体温度测量的必要条件。具有良好的可重复性规格和偏移寄存器有助于实现可靠、可重复且最终简化的设计。

在设计中使用数字温度传感器可消除模拟信号链的偏移和增益校准步骤(这是在基于二线、三线或四线 RTD 的配置中进行传统模拟信号测量所必需的操作)。与传统的模拟 RTD 传感器相比, 数字温度传感器可以将用户定义的校准参数存储在 8 字节电可擦除可编程只读存储器(偏移寄存器)中, 因此甚至可以消除文书工作和校准数据处理工作。此外, 在开始时读出非易失性存储器内容以及每次测量温度时对结果应用偏移或任何其他调整也会更节能。

图 2 显示了使用 TMP117 数字温度传感器的热量计架构。

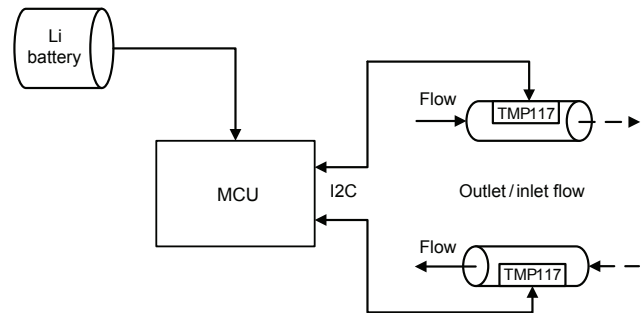


图 2. 使用 TMP117 进行流体温度测量。

采用这种架构的四线数字接口与标准模拟四线 RTD 传感器之间具有电气兼容性。基于 RTD 的设计还需要一个精度通常优于 0.1% 和 $\pm 25\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 的高精度参考电阻器以及匹配的电阻-电容滤波器。采用集成数字设计方法也消除了对这种高精度参考电阻器的需求。

表 2 总结了 RTD 传感器和 TMP117 数字温度传感器的设计注意事项。

	RTD	TMP117 数字温度传感器
组件选择		
传感器	X	X
模数转换器 (ADC)	X	
参考文献	X	
精密偏置电阻器	X	
定价	X	X
设计注意事项		
温度范围	X	X
ADC 动态范围	X	
可编程增益放大器增益	X	
基准电流	X	
滤波器设计	X	
温度漂移	X	
自发热	X	
功耗	X	X
布局		
走线阻抗匹配	X	
热通路	X	X
噪声	X	仅适用于 I2C 线路
软件		
ADC 采样率	X	X
电流数模转换器斩波	X	
线性化	X	
量产		
校准:	X	

表 2: RTD 和数字温度传感器的设计注意事项。

总体而言, 高精度的 TMP117 温度传感器消除了多个窄容差分立式组件和集成器件, 可在热量计中节省 PCB 空间、降低复杂性并减少成本。

有关高精度流体温度传感的其他资源, 请参阅表 3。

资源	标题
参考设计	将铂 RTD 传感器替换为数字温度传感器参考设计
应用报告	使用 TMP116 进行精确的温度测量

表 3. 相关 TI 内容。

第 6 章: 阈值检测

对于某些应用, 不需要连续温度采集, 但系统保持高于或低于温度阈值至关重要。TI 的温度开关和数字温度传感器可实现简单的自主温度监测, 从而通过迟滞功能检测温度是否超过极限。这些器件允许通过外部电阻器(可通过引脚编程、工厂编程或通过 I2C 进行设置)选择阈值跳闸点。

如何避免控制系统遭受热损坏

简介

在控制系统中, 工作温度是影响系统性能、可靠性和安全性的众多关键因素之一。了解温度对控制系统的影响可以帮助系统设计人员预测和防止热损坏。

通常, 控制系统的行为很好理解, 并且它们在有限的温度范围内工作。在该温度范围之外工作时, 控制系统可能出现效率降低、热耗散增加和加速老化的情况。这些影响加在一起可能导致代价高昂的故障。

热保护解决方案

有许多预防性解决方案可用于保护控制系统免受热损坏。这些解决方案可以是分立的, 也可以是集成的, 通常由温度传感器、比较器和电压基准组成(请参阅图 1)。

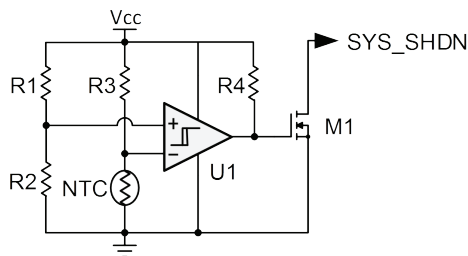


图 1. 温度开关的分立式实施示例。

外部温度开关电路提供实时热保护, 而不会中断控制处理系统。图 2 显示了温度开关跳闸行为示例, 其中跳闸点设置为 60°C , 迟滞为 10°C 。

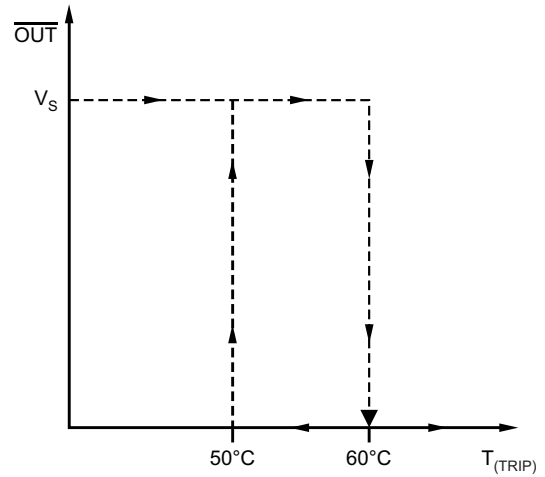


图 2. 带有迟滞的温度开关跳闸行为示例。

有些情况需要热保护和监测功能, 因此需要模数转换器(请参阅图 3)。具体实施情况取决于应用要求, 如特性、成本、封装尺寸、功率和精度。

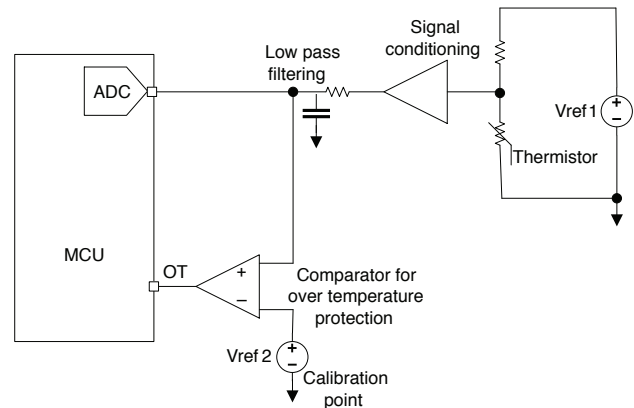


图 3. 温度监测器和开关的分立式实施示例。

需要考虑的一些特性包括迟滞、精度、跳闸点可编程性、跳闸测试、资质认证(如汽车和美国保险商实验室 [UL])、输出类型、通道数和电源电压范围。

迟滞和精度都有助于提高控制系统的整体可靠性。传感器通常具有以摄氏度表示的测量误差。这些测量误差需要以最合适的测量形式进行补偿。在启动关断程序之前减小此类偏移误差可以提高系统可靠性。不纠正此类误差可能导致过热错误。

例如,如果系统需要在 60°C 的温度下切断,最好能精确测量温度以确保系统断电。迟滞使系统有时间趋稳并防止控制系统频繁经历电源循环。如图 2 的示例所示,10°C 迟滞可在 50°C 至 60°C 范围内优化系统性能。

使用基于负温度系数 (NTC) 的热敏电阻时,需要在软件中线性化热敏电阻,以优化温度范围内的系统误差。线性化通常是通过多项式拟合或查找表来执行的。这些方法不仅会增加整体系统成本,还会影响功耗。使用基于正温度系数 (PTC) 的线性硅基热敏电阻可以消除软件必要性和功率损失问题。

分立式解决方案

使用 NTC 热敏电阻进行温度开关的分立式实施很常见。此外,热敏电阻解决方案通常被认为是低成本解决方案。然而,考虑到热保护的苛刻要求(如保证性能),分立式解决方案通常极具挑战性且成本高昂。设计分立式热保护解决方案时的一些主要挑战包括精度、可靠性和效率。

由于 NTC 热敏电阻具有非线性特征,因此如果不使用会增加系统成本的精密组件,则难以在高温或低温下维持高精度跳闸点。校准在基于硬件的开关应用中不实用。此外,分立式实施方式需要多个组件协同工作,因此可能降低系统可靠性。

最后,NTC 分立式解决方案会在高温条件下消耗大量功率,因为 NTC 电阻在高温条件下将显著降低。

集成电路解决方案:温度开关/恒温器

集成温度开关通常在单个芯片上集成了温度传感器、比较器和电压基准。这种集成性可以降低设计复杂性,并实现实时热保护,而不会经常中断控制处理系统。

以下是这些传感器的主要优点。

- 它们可以自动为控制单元启用热保护,无需连续监测。
- 不依赖于软件;用于实现保护的温度监测固件替代为向控制系统发出的简单警报。
- 迟滞功能保证了跳闸点的温度精度。
- 简单且经济高效的过温/欠温检测取代了保护电路。
- 可以通过电阻器或引脚编程的方式设置温度阈值。在某些情况下,温度开关可以在工厂执行预设。
- 需要模拟输出的应用可以利用温度开关来提供除警报之外的模拟输出。

集成传感器可降低解决方案成本,在安全应用中实现冗余。

器件建议

TMP303 集成式温度开关采用窗口比较器, 可通过超小尺寸 (小外形晶体管 [SOT]-563)、低功耗 (最大 5 μ A) 和低电源电压 (低至 1.4V) 特性提供设计灵活性。此器件运行时无需额外组件, 并可以独立于微处理器或微控制器工作。通过不同的器件选项可获得七个跳闸点, 这些均可在出厂时编程为任何所需温度。

如图 4 所示的 TMP390 是一个可通过电阻器进行编程并具有两个内部比较器和两个输出的双输出温度开关。TMP390 具有超低功耗 (最大 1 μ A) 和低电源电压 (1.62V) 特性。高温跳闸点和低温跳闸点均可配置为任何所需的温度窗口, 使迟滞选项介于 5 $^{\circ}$ C 和 30 $^{\circ}$ C 之间, 只需两个电阻器即可实现。单独的高低温跳闸输出会产生独立的警告信号供微处理器解释。

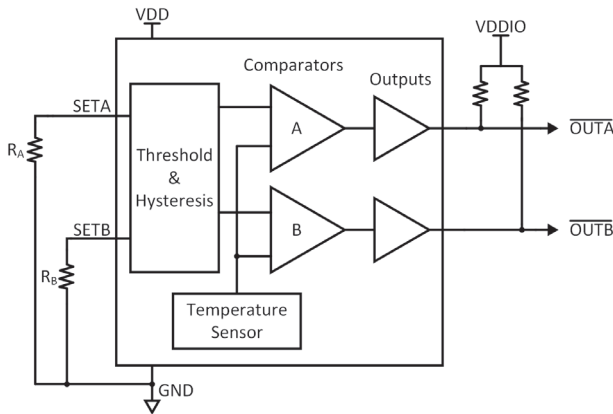


图 4.TMP390 框图。

表 1 列出了用于分离式或集成式温度阈值检测应用的备选器件。

器件	经优化的参数	性能折衷
TMP708	可通过电阻器编程	性能折衷
LM56	两个内部比较器以及两个过温输出和一个模拟输出	功耗增加
LM26	过温和模拟输入、经过 UL 认证	精度降低
TMP61	低功耗、温度线性	需要额外组件

表 1. 备选器件建议。

有关温度保护的更多信息, 请参阅表 2 中的其他资源。

资源	标题
应用报告	温度传感器: 表面贴装器件的 PCB 指南
应用报告	如何保护电池电源管理系统免受热损坏

表 2. 相关 TI 内容。

第 7 章: 温度补偿和校准

温度漂移必须是纠正任何系统温度变化的一个因素。温度将影响从无源组件(电阻器和电容器)到有源组件(放大器、数据转换器、基准电压源、时钟)的所有组件。光学元件也会受到温度漂移的影响,导致改变强度、光谱偏移、灵敏度和噪声。TI 的高线性度、高精度温度传感器可以提供反馈来纠正精密系统中的温度影响。

第 7.1 节

使用高精度温度传感器进行温度补偿

简介

现场变送器广泛用于工厂自动化和控制到感应过程参数,如温度、压力和流速。现场变送器中使用的传感器主要是模拟传感器,必须使用模拟前端来精确采样。由于现场变送器的布局方式所引起的工作条件,现场变送器可能要经受宽温度范围,因此需要某种形式的温度补偿。

温度补偿系统在传统上使用精确的温度传感器,如铂电阻温度检测器 (RTD),特别是在需要高精度和长使用寿命的工业应用中。

大多数 RTD 应用使用电流源来激励 RTD 元件并在 RTD 上产生电压差,如图 1 所示。该电压与 RTD 的电阻和激励电流成比例。电压电势经过放大,由模数转换器 (ADC) 转换为数字输出,然后馈入微控制器 (MCU),在其中通过查找表将数字输出转换为温度

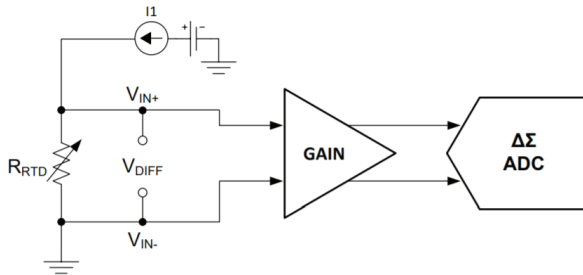


图 1. 基本 RTD 电路。

CJC 系统中的 RTD

热电偶是覆盖很大温度范围的温度传感器件;它们是通过连接两种不同金属的线材制成的。输出电压与热端和冷端之间的温差大致成比例。由于热电偶测量的是温差,因此必须知道冷端的温度才能确定热端的温度。该过程称为冷端补偿 (CJC)。

铂 RTD 因其高精度而广泛运用于测量冷端的温度。图 2 显示了使用 RTD 基准的 CJC 热电偶系统的框图。

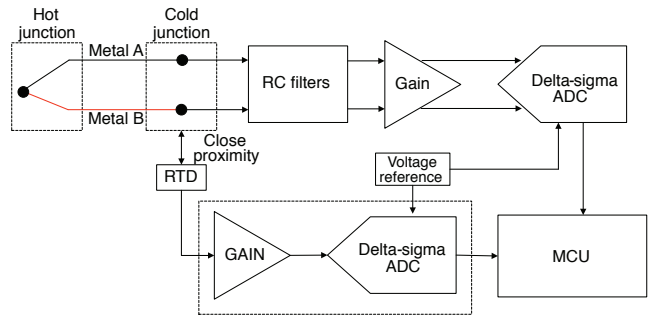


图 2. 采用 RTD 的 CJC 系统框图。

虽然系统框图看起来非常简单,但有许多因素需要仔细分析,如噪声、自发热和布局等因素。RTD 对布线也很敏感,因此必须匹配走线长度。

通过使用温度传感集成电路(如 TMP117 数字温度传感器)替代 RTD,可以降低复杂性和成本。

用 TMP117 数字温度传感器替代 RTD

TMP117 是一款专为低功耗、高精度应用而设计的数字温度传感器。该器件提供 16 位温度结果且分辨率为 0.0078°C;经过工厂校准的性能精度在 -25°C 至 +50°C 范围内为 ±0.1°C;在 -55°C 至 +150°C 的整个工作温度范围内为 ±0.3°C,这超过了 AA 类 RTD 的精度。

图 3 显示了对 TMP117 进行的油浴实验的结果。该图显示出 TMP117 可以满足 CJC 应用所需的 AA 类 RTD 的精度。

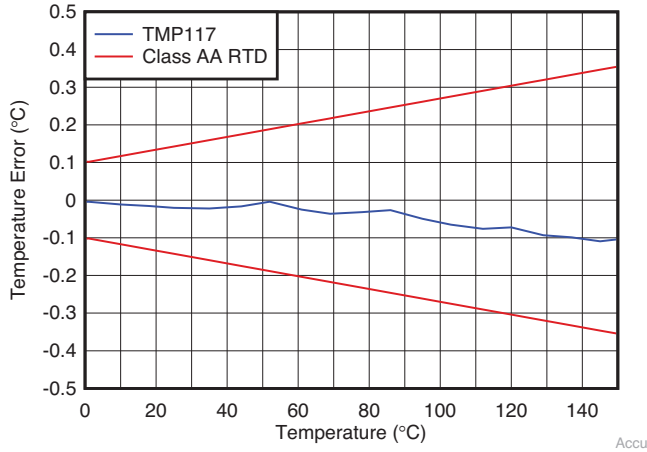


图 3.TI TMP117 与 RTD 精度比较。

TMP117 具有关断模式: 该器件中止当前正在运行的转换并进入低功耗关断模式。在此模式下, 该器件的电流消耗通常为 250nA, 因此可以减轻自发热的影响。当由 MCU 触发时, TMP117 可以使用单次触发转换模式执行 15.5ms 的快速温度转换, 有效电流低至 3.5μA, 占空比为 1Hz。完成单次触发转换后, 该器件自动返回到低功耗关断模式。与 RTD 相比, 这简化了软件实施, 无需校准、外部电路、匹配的走线和开尔文连接。

TMP117 还具有快速模式 (400kHz) I2C 通信和偏移寄存器, 可在 MCU 读取之前自动将用户定义的偏移应用于测量结果。这些规格使得 TMP117 非常适合满足现场变送器的 CJC 应用中的低功耗要求。

如前文所述, TMP117 在精度上与 AA 类薄膜 RTD 相当, 而且在 CJC 应用中使用时的功耗仅为 PT100 RTD 功耗的几分之一。

图 4 是 CJC 系统的框图, 其中用 TMP117 替代了 RTD。使用 TMP117 的系统无需额外的组件, 如 Σ - Δ ADC、可编程增益放大器和电阻-电容滤波器, 因此降低了整体系统成本。同时, 该器件的数字读数方式减少了复杂的布局注意事项。

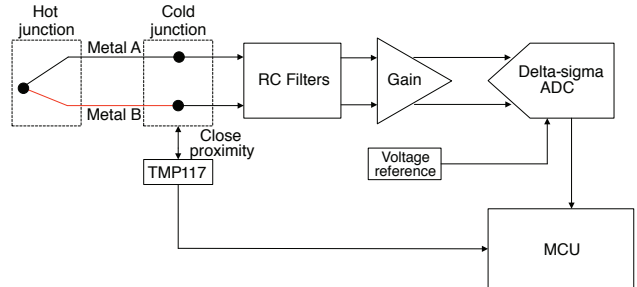


图 4.采用 TMP117 的 CJC 系统框图。

有关现场变送器的高精度温度校准和补偿的更多信息, 请参阅表 1 中的其他资源。

资源	标题
应用报告	在现场变送器中使用高精度数字温度传感器替代 AA 类 RTD
应用报告	使用 TMP116 进行精确的温度测量

表 1. 相关 TI 内容。

第 7.2 节

校准温度监测系统的方法简介

除了制造工艺的差别之外,温度传感器还受到各种环境因素影响。这些因素包括热应力、机械应力、辐射、湿度以及储存、运输和/或组装过程中的老化,可能会在最终系统中实施后改变器件的固有特性(如精度或可靠性)。

由于本地温度梯度,温度传感器的物理放置方式会显著影响器件相对于目标热源的表现精度。表现精度和内在精度之间存在区别。通过物理设计(例如,改进印刷电路板 [PCB] 设计的热传递特性)可以提高表现精度,但精度是固有的器件特性。此外,连接到温度传感器的外部组件(例如,模数转换器 [ADC] 和滤波器)可能会对整体系统性能产生重大影响。环境和系统电气因素都可能要求校准才能实现可追溯的精度。

模拟温度传感器(如 TMP236 或负温度系数 [NTC] 热敏电阻)需要通过 ADC 将电压转换为温度。由于 ADC 引入的误差,此附加电路组件会影响整体系统性能。图 1 显示了一个热敏电阻电路示例。

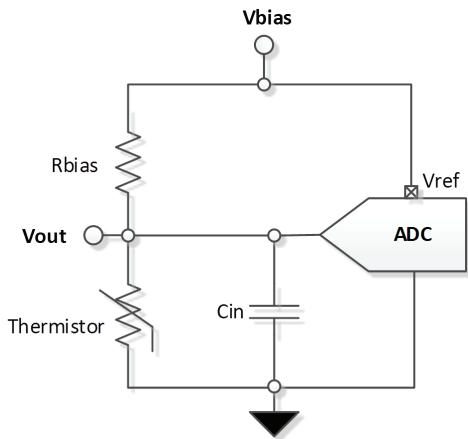


图 1. 带有热敏电阻的温度传感电路示例。

与集成电路 (IC) 温度传感器不同,某些热敏电阻应用需要偏置电阻器,但这会引入额外的误差来源。系统误差通常表现为系统增益和偏移误差,但可以使用校准在一定程度上减少此类误差。

对于非线性系统,根据应用可能需要额外的线性化步骤。图 2 显示了一般的三步过程。请注意,该图仅显示了平均值线。实际的传感器输出将具有关于平均值的统计分布。

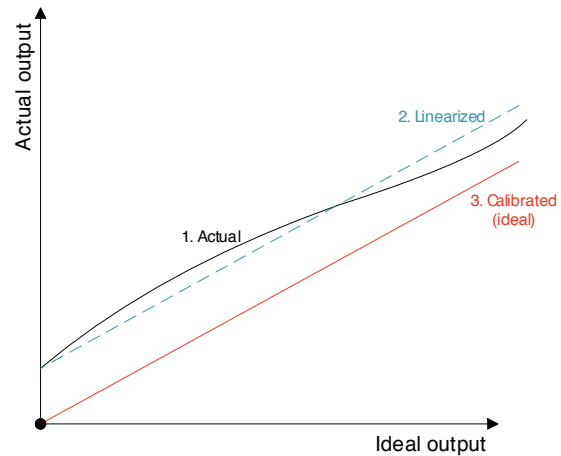


图 2. 温度传感器校准的通用三步骤。

通过系统校准实现可追溯性

系统校准过程会将最终组装的测量系统与已知的可追溯测量标准(例如,美国国家标准与技术研究院、美国保险商实验室、欧洲标准)进行比较,从而建立可量化的测量不确定性。在最好的情况下,系统响应是线性的,只需简单的偏移校正或增益和偏移校正就可以轻松校准系统。然而,温度传感器不是完全线性的,因此在未经线性化的情况下不能轻松校准。通常,非线性系统响应需要在经过增益和偏移校准之前使用查找表进行多点线性化。

模拟温度监测系统

模拟温度监测系统需要经过线性化和校准,才能实现高水平的精度和可追溯性。线性化程度取决于传感器本身的线性度。与模拟 IC 温度传感器(例如, TMP236)相比,NTC 热敏电阻在线性化时通常需要更多的系统权衡(例如,存储器、中央处理单元周期和灵敏度)。与 NTC 热敏电阻相比,模拟 IC 温度传感器通常在宽温度范围内具有更高线性度。无论如何,还需要额外的校准步骤才能实现可追溯的系统级精度。

校准方法

出于生产目的, 通过校准统计学上显著数量的系统 (例如 30 个) 可以确定所有系统整体上的适当校正系数。这种统计方法可以降低生产成本。在某些情况下, 在生产测试阶段执行的校准方法使用单点室温校准。在生产测试阶段执行多点校准可以提高系统精度, 但更成本更高。因此, 多点校准过程通常应用于生产量相对较低的专用系统。无论校准方法如何, 参考探头精度和可追溯性都是校准的重要组成部分。

零校准传感器

与模拟温度传感器不同, TMP117 等数字温度传感器不需要任何额外的系统线性化或校准即可实现可追溯的系统精度。如图 3 所示, 数字传感器实际上就是芯片上的温度监测系统。这些可追溯器件在生产中进行线性化和校准, 大大简化了系统实施。请注意, TMP117 具有偏移寄存器, 因此可以校准任何温度偏移 (例如, 物理系统温度梯度产生的偏移)。

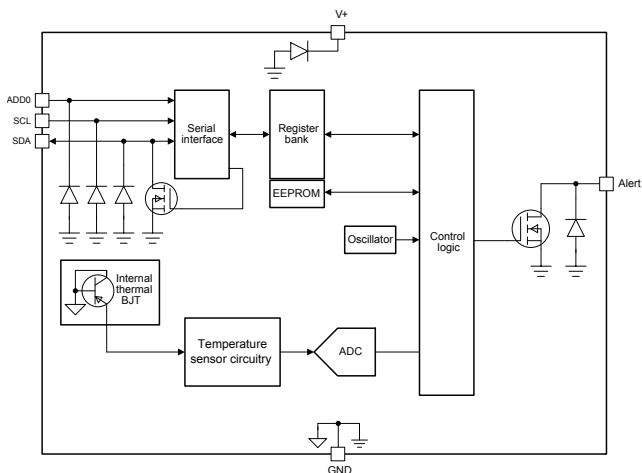


图 3.TMP117 功能框图。

TI 温度传感器和设计技巧

表 1 列出了某些 TI 温度传感器的关键优化参数及其折衷。

器件	经优化的参数	性能折衷
TMP117	无需校准和线性化、高精度	与模拟传感器相比, 可能需要更长的读取时间
TMP236	线性模拟输出, 无外部偏置电路	可能需要 ADC
TMP390	无需校准和线性化、集成温度开关	比数字传感器的功能更少
TMP61	2 引脚小型封装、线性电阻	可能需要 ADC 和偏置电路

表 1. 器件建议。

要了解有关印刷电路板指南、环境空气测量或线性化的更多信息, 请参阅表 2。

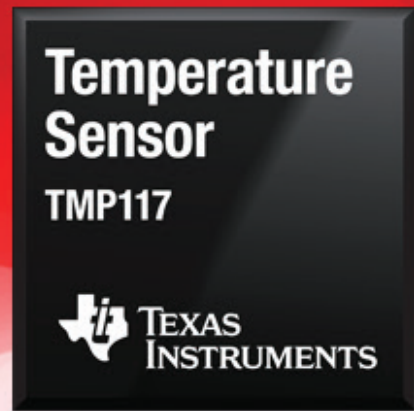
资源	标题
应用报告	温度传感器: 表面贴装器件的 PCB 指南
应用报告	测量环境空气温度的设计注意事项
应用报告	在宽工作温度范围内降低热敏电阻线性化误差、存储器和功率要求的方法

表 2. 相关 TI 内容。

其他资源
TI 精密实验室视频培训
参考设计
Analog Wire 博客g
TI E2E™ 社区

实现简单准确的AA级RTD

新型高精度±0.1°C单芯片
数字温度传感器轻松应对用于工业应用的电源



TI的传感器产品组合使工程师能够实现大型设计,并且具有高精度,小尺寸的小型设计传感器。该产品组合具有业界领先的封装选项和世界上许多选项,精确的传感器,用于设计可靠的系统,及精确地智能预测。

TI Worldwide Technical Support

TI支持

感谢您的业务。找到您的支持需求或获得的答案与我们的支持中心联系

www.ti.com/support

China:

<http://www.ti.com.cn/guidedsupport/cn/docs/supporthome.jsp>

Japan:

<http://www.tij.co.jp/guidedsupport/jp/docs/supporthome.jsp>

TI培训

从技术基础到高级实施,我们提供按需和现场培训,帮助您实现下一代设计生活。

training.ti.com

China:

<http://www.ti.com.cn/general/cn/docs/gencontent.jsp?contentId=71968>

Japan:

<https://training.ti.com/jp>

技术支持论坛

通过TI的E2E™搜索数百万个技术问题和答案社区

e2e.ti.com

China:

<http://www.deyisupport.com/>

Japan:

<http://e2e.ti.com/group/jp/>

B011617

Important Notice: The products and services of Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries described herein are sold subject to TI's standard terms and conditions of sale. Customers are advised to obtain the most current and complete information about TI products and services before placing orders. TI assumes no liability for applications assistance, customer's applications or product designs, software performance, or infringement of patents. The publication of information regarding any other company's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

The platform bar, E2E, SMAART wire and TINA-TI are trademarks of Texas Instruments. All other trademarks are the property of their respective owners.

重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的TI 产品；(2) 设计、验证并测试您的应用；(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及ti.com.cn上或随附TI产品提供的其他可适用条款的约束。TI提供所述资源并不扩展或以其他方式更改TI 针对TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司