

Application Note

如何设计过热和欠热警报系统



Meredith McKean

摘要

本文深入介绍了如何选择警报功能以及 TI 温度产品系列中提供的所有配置。德州仪器 (TI) 温度传感器包括一整套警报和中断功能，旨在帮助系统实时检测、响应和防止热事件。在整个产品系列中，这些器件支持可编程的温度阈值、迟滞和比较逻辑，可以在测得的温度超过或低于定义的限值时将警报输出置为有效。可针对过热、欠热或窗口条件来配置警报。警报信号可作为高电平有效或低电平有效信号。警报信号可作为推挽输出或开漏输出提供。总之，这些警报功能可在工业、汽车和客户应用中实现主动热管理、故障检测和系统安全防护，同时最大限度地减少固件开销和响应时间。本文档重点介绍并总结了 TI 整个温度传感器产品系列中可用于警报功能的所有特性，并给出了热销器件之间的比较。

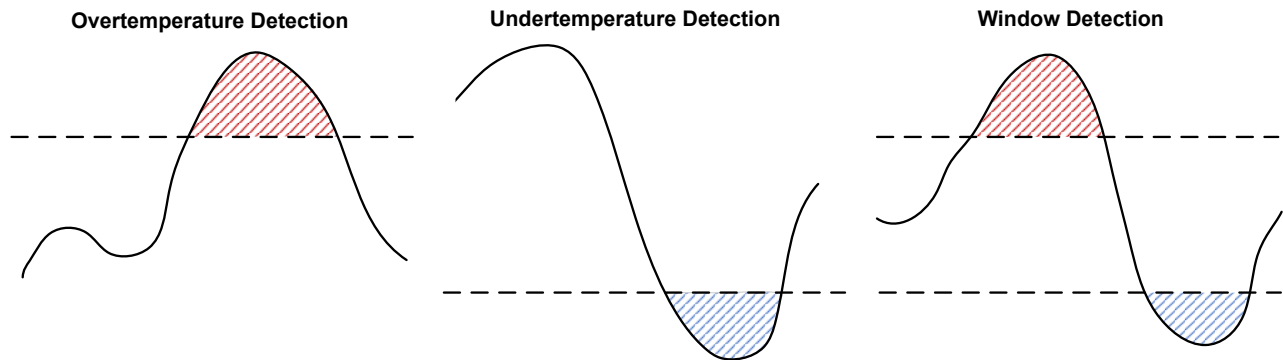


图 1-1. 不同类型的警报

内容

1 简介	3
1.1 设计 workflow.....	4
1.2 TMP390 窗口警报示例.....	4
1.3 TMP390 冷触发示例.....	4
2 阈值	5
2.1 迟滞.....	5
2.2 响应时间.....	5
2.3 过热阈值.....	6
2.4 欠热阈值.....	7
2.5 窗口监测阈值.....	9
3 不同的警报输出类型	10
3.1 极性.....	10
3.2 比较器模式/中断模式.....	10
3.3 锁存功能.....	11
3.4 故障和屏蔽条件.....	11
3.5 架构类型 (推挽与开漏)	11
3.6 数字输出.....	12
4 开关	13
5 温度警报产品系列	14
6 总结	15
7 参考资料	15

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

不受控制的热事件可能会导致过早发生故障，导致电池危险并影响系统可靠性。为了降低这些风险，现代电子系统采用了具有警报功能的温度传感器，能够自动触发散热、关断或警报响应。根据应用的不同，警报行为可能会针对安全性、性能或可靠性要求进行优化。警报信号使用的常见应用如 [表 1-1](#) 所示。本应用手册介绍了 TI 温度传感器产品系列中可用的警报功能，并为针对热保护应用选择和配置器件提供了指导。本文档将介绍迟滞和不同输出配置等主题。本文档介绍了常见警报的实现，比较了主要器件特性，并提供了可简化系统集成的实用设计注意事项和电路示例。

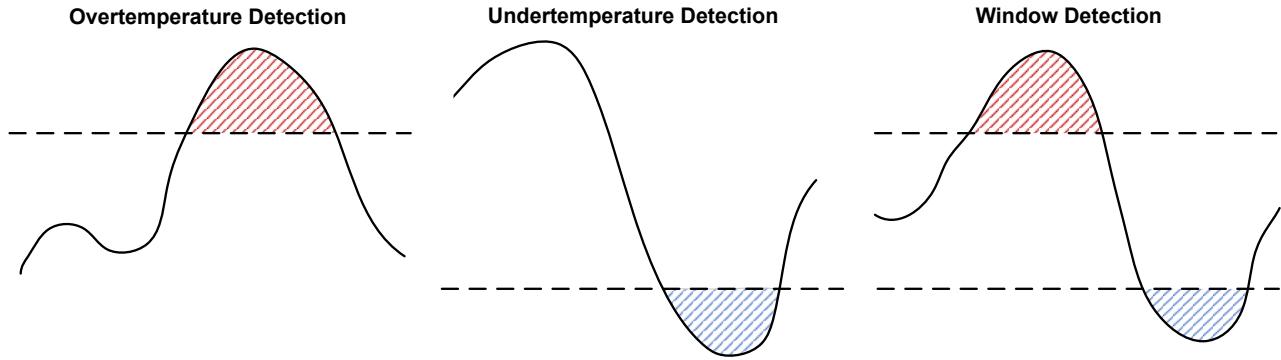


图 1-1. 不同类型的警报

表 1-1. 每种警报类型的不同用例

警报类型	过热	欠热	窗口
示例应用	为处理器、电力电子和其他 IC 等处理元件提供热保护	针对薄膜晶体管 (TFT) 显示屏提供低温保护	监测锂离子电池系统的充电周期和储存情况
警报限值示例	85C 至 125C	-30C	0C 和 45C
示例器件	TMP4718	TMP390	TMP115

1.1 设计 workflow

以下是如何选择用于警报功能的器件的步骤。这些步骤中提供了本应用手册中的各个部分的链接。

1. 确定温度参数：确定目标温度限值和所需阈值总数。
2. 确定迟滞值：针对所需的温度限值确定相应的迟滞值。
3. 选择警报阈值类型：在过热、欠热或窗口监测之间选择。
4. 指定警报输出配置：确定您对极性、比较器/中断、故障条件、架构类型和模拟/数字接口的要求
5. 筛选产品选型：使用表 5-1 查找符合您条件的器件。
6. 根据数据表的指导，在所选器件内配置所需的设置

1.2 TMP390 窗口警报示例

TMP390 是一种可靠的解决方案，可实现过热、欠热或窗口警报配置。它具有冷触发通道和热触发通道。要调整警报阈值，必须修改连接到 SETA 和 SETB 输入引脚的电阻器。输出为开漏输出，这意味着需要一个上拉电阻器才能正确连接。

例如，可以配置 TMP390 进行窗口比较，如图 1-2 所示。在此设置中，过热检测设置为 90°C ，迟滞为 10°C ，欠热检测设置为 -25°C ，迟滞为 10°C 。

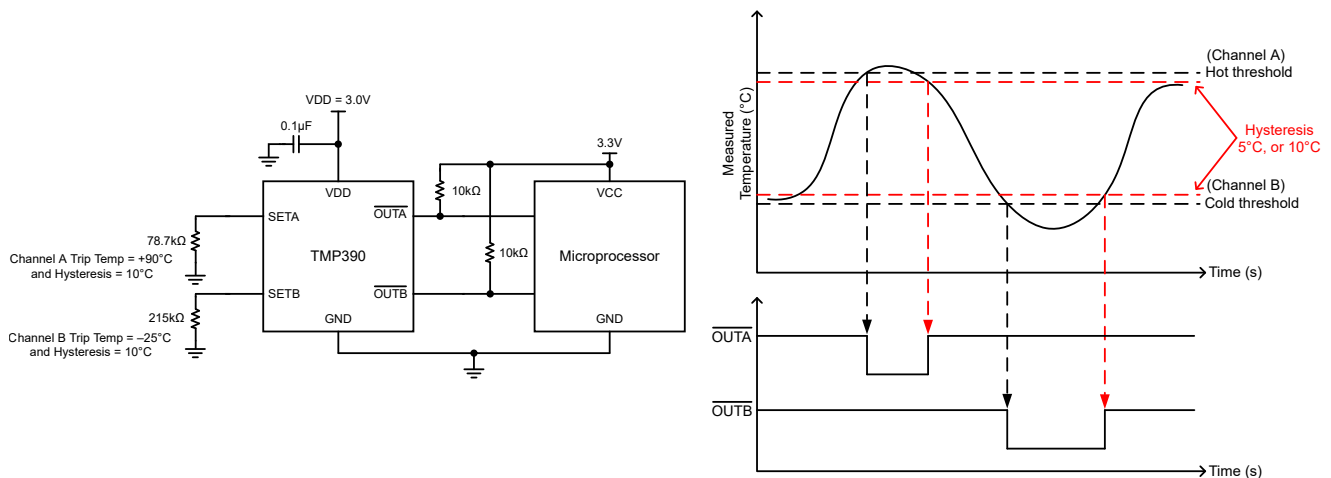


图 1-2. TMP390 窗口警报示例

1.3 TMP390 冷触发示例

此外，TMP390 可以设置为仅用于低温检测。下方示例演示了如何将器件配置为在检测到 0°C 时触发欠热（冷触发）警报。

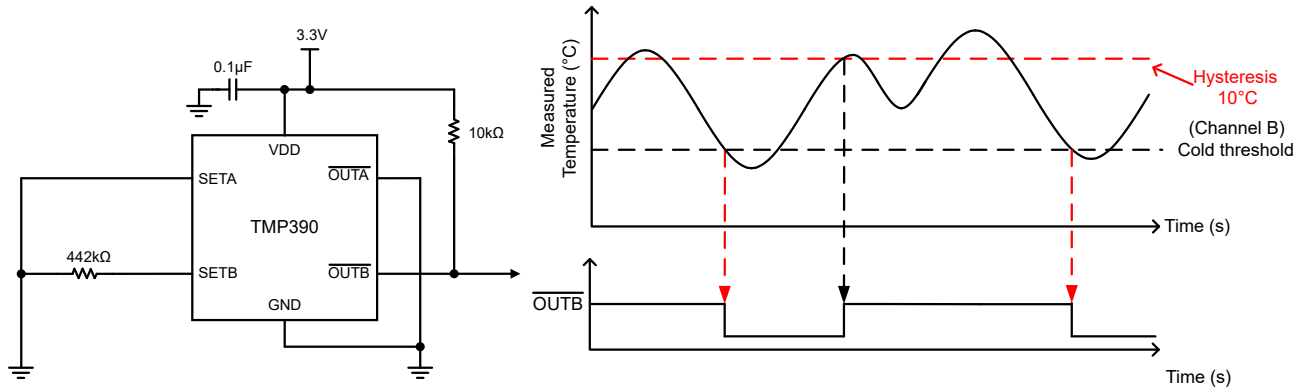


图 1-3. TMP390 冷触发示例

2 阈值

2.1 迟滞

在定义过温和欠热警报阈值之前，应当了解警报迟滞的概念及其在监测系统的重要性。在实际应用中，由于电噪声、环境变化或正常的系统变化，传感器测量通常会略有波动。迟滞定义了警报解除所对应的差值。一旦超过警报限值，警报限值将继续保持开启状态，直到满足迟滞。如果没有迟滞，这些微小变化会导致当测量值接近阈值时重复触发并清除警报。必须根据系统中存在的噪声幅度来选择迟滞阈值。随着噪声振幅的增加，迟滞窗口也必须增加以防止误触发。一条良好的规则是将迟滞设置为噪声峰峰值幅度大小的两倍。 [具有迟滞功能的比较器参考设计](#) 举例说明了迟滞如何改善输出信号。

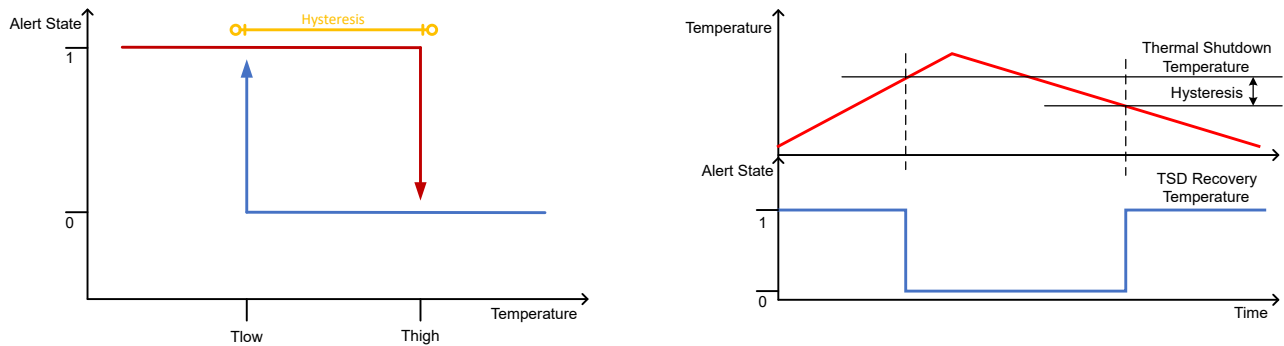


图 2-1. 迟滞（低电平有效）

在温度传感器内可以定义多个迟滞选项。TI 的产品组合包含以下配置。

- 电阻设置：使用电阻器来设置热迟滞量 (TMP390)
- 引脚可编程：引脚用于设置热迟滞量 (TMP303、TMP302)
- 出厂预设：TI 工厂设置的迟滞 (LM26LV)
- I2C 寄存器可更改：将所需的迟滞写入 I2C 寄存器 (TMP112、TMP119)

2.2 响应时间

评估响应时间可确保系统在热事件期间在安全运行裕度范围内做出反应。图 2-2 中显示了无响应时间的理想条件，其中一旦温度超过温度限值，警报信号就会开启。

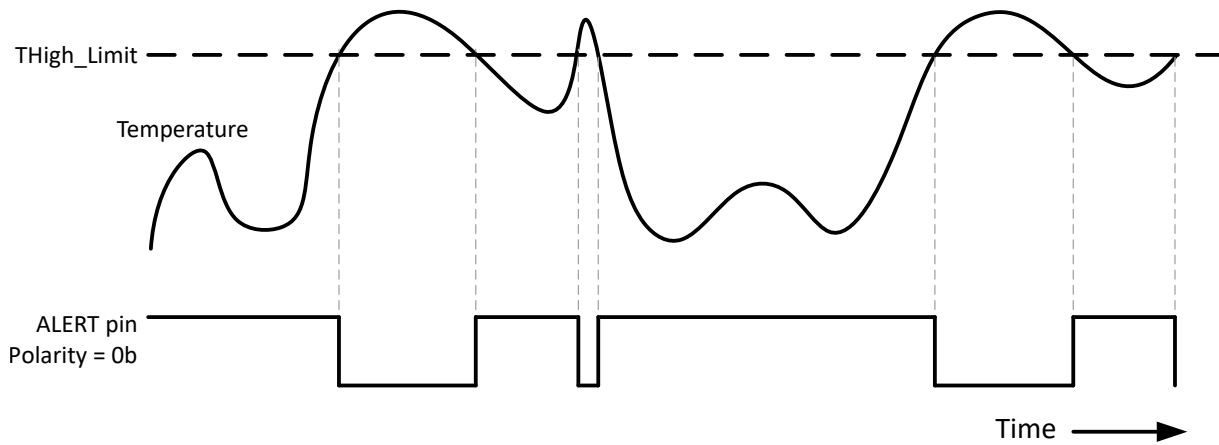


图 2-2. 理想的过热检测

这是理想情况。模拟温度传感器和开关遵循理想情况。对于数字温度传感器，警报输出变化仅在完整转换完成后才会生效。转换是指测量模拟温度并将其转换为存储在寄存器中的数字值的过程。由于温度传感器以离散转换间隔更新温度寄存器，因此警报响应本质上是在时间上进行量化，如 图 2-3 所示。这会增加警报输出的延迟。延迟时长取决于所配置的转换率，该值可在器件数据表中找到。在设计保护或监测方案时，系统响应时间必须考虑到这种转换延迟。

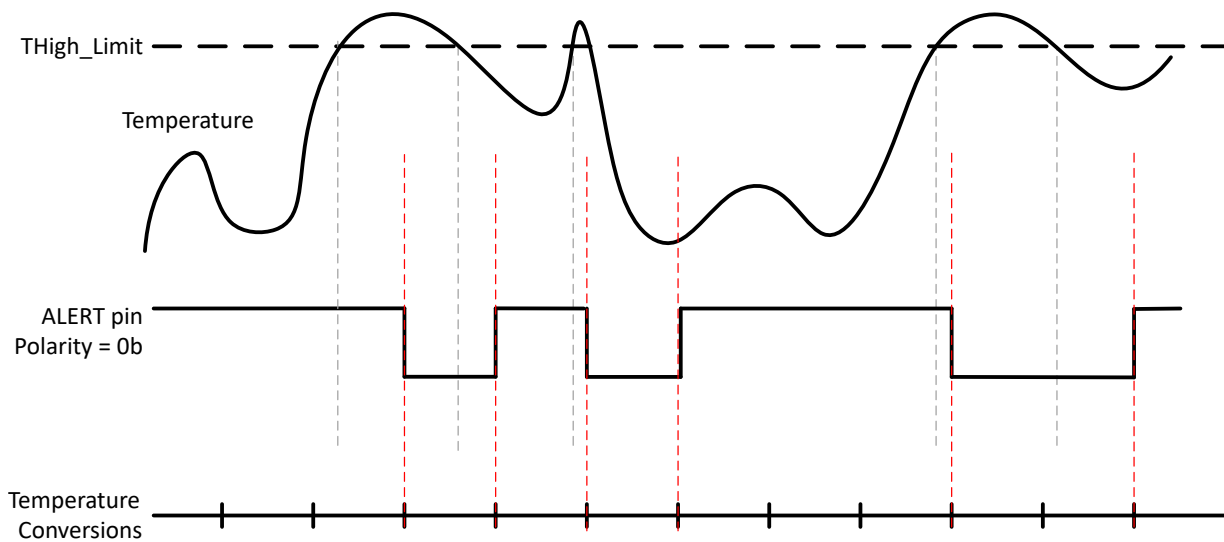


图 2-3. 实际过热检测

2.3 过热阈值

TI 提供了一系列仅可配置用于过热检测的器件。图 2-4 突出显示了具有适当迟滞和响应时间的过热信号示例。为了优化性能，许多 TI 温度传感器还在设置 T_{High} 限值的基础上，设置了 T_{Low} 阈值或迟滞。 T_{Low} 阈值（迟滞）决定了在温度超过 T_{High} 而触发警报后，警报解除时对应的温度。 T_{Low} 定义了警报解除所对应的设定温度值。

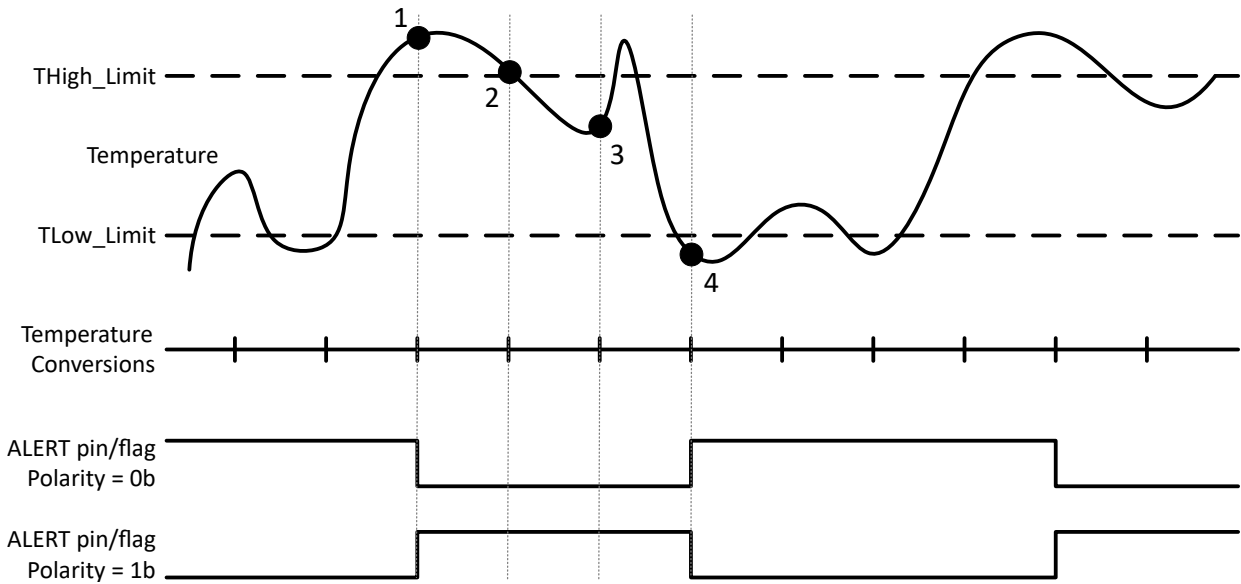


图 2-4. 具有迟滞恢复功能的实际过热检测

表 2-1. 警报信号各个阶段

位置	操作
点 1	第一次温度转换以检测高于 T_{High} 的热事件
点 2	仍低于 T_{High}
点 3	仍高于 T_{Low} 迟滞, 警报将不会清除
点 4	当温度低于 $T_{High} + \text{迟滞}$ 时, 警报清除 (T_{low})

2.4 欠热阈值

与过热检测相比, TI 提供了一组可配置用于欠热检测的器件。这些器件会监测环境温度或系统温度何时降至预定义阈值以下。警报信号的定义如下:

1. 触发方向: 当温度低于限值时, 将激活欠热检测, 而当温度上升到限值以上时, 将激活过热检测。
2. 迟滞行为: 在欠热检测中, 会在阈值以上施加迟滞, 因此只有在温度上升到超过迟滞点后, 警报才会清除。在过热检测中, 会在阈值以下应用迟滞, 因此在温度充分降低后警报会清除。

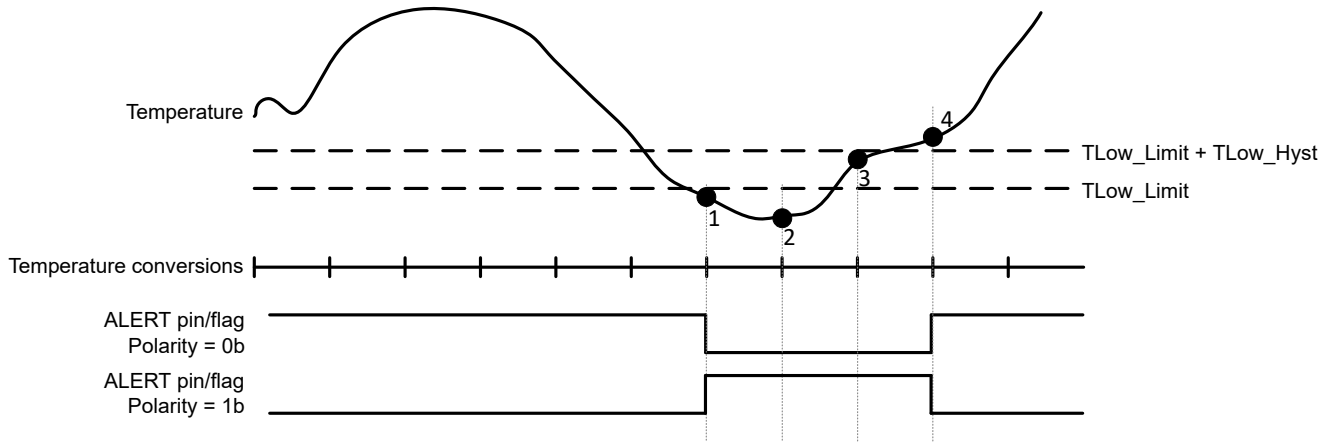


图 2-5. 欠热检测

表 2-2. 警报信号各个阶段

位置	操作
点 1	第一次温度转换，用于检测低于 T_{Low} 的热事件
点 2	仍低于 T_{Low}
点 3	仍低于 T_{Low} 迟滞，警报将不会清除
点 4	当温度上升到高于 $T_{Low} +$ 迟滞时，警报清除

2.5 窗口监测阈值

综合来看，TI 拥有一系列器件，可通过两个温度阈值同时实现过热与欠热检测。每个限值都包括一个相关的迟滞值，以防止由阈值附近的噪声和微小的温度波动引起的误触发。两个限值被定义为高温阈值和低温阈值。在温度达到迟滞设定值之前，警报不会解除。

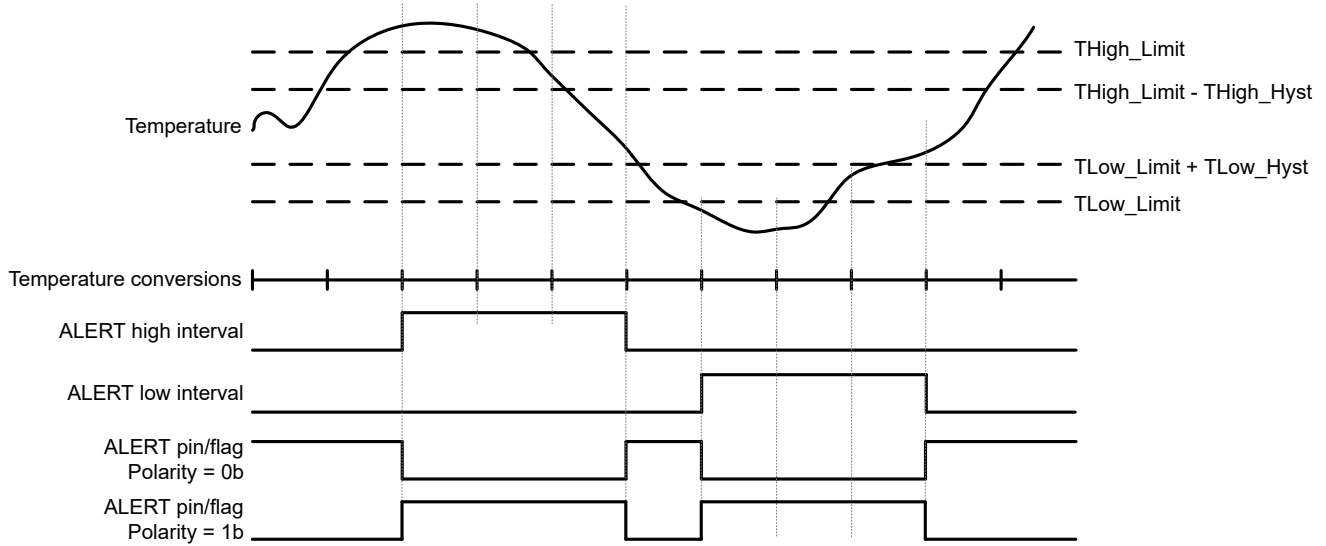


图 2-6. 具有迟滞恢复功能的过热和欠热检测

3 不同的警报输出类型

三种主要的警报类型分别是过热、欠热和窗口监测。信号可以通过不同方式呈现，但仍具备相同功能。对于数字传感器，必须在 I2C 寄存器中调整设置以更改所需的输出。不同的输出选项如下所示：

- 极性
- 比较器/中断模式
- 故障和屏蔽条件
- 推挽和开漏
- 数字输出

3.1 极性

极性可以配置为选择警报信号是低电平有效还是高电平有效。开关极性验证了与系统逻辑和硬件设计的兼容性。低电平有效（默认）是警报引脚在发生故障时拉至低电平的情况。对于线或中断线路和开漏系统，首选低电平有效，允许多个器件发出“中断”信号，而不会发生短路或损坏其他器件。高电平有效是指警报引脚在发生故障时驱动为高电平。当直接对接高电平有效中断逻辑电路时，高电平有效很有用。在数字器件上可以配置极性。一些模拟开关（如 LM57）提供两种极性输出。

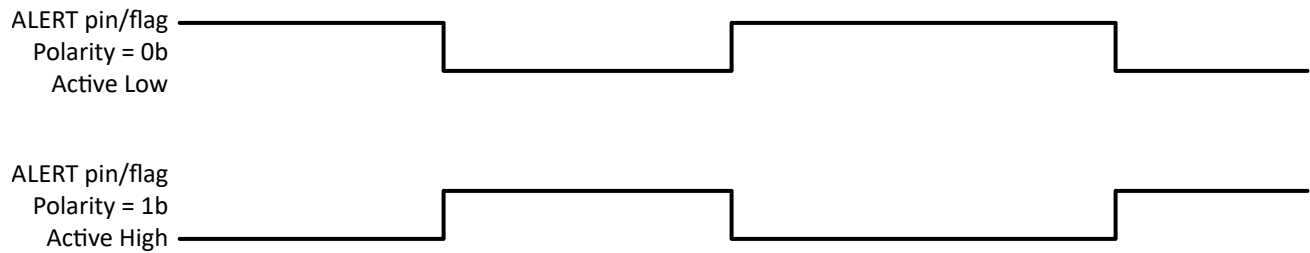


图 3-1. 极性的类型

3.2 比较器模式/中断模式

警报引脚可在两种模式下工作：比较器模式和中断模式。这些定义了温度超过设定的阈值时警报输出的行为。在比较器模式下，警报引脚的行为类似于实时比较器输出。比较器模式是一个独立开关，无需软件即可驱动风扇或系统关断。在中断模式下，警报引脚会在发生故障时锁存。锁存通常通过 I²C 读取来清除。中断旨在节省 MCU 的功耗，可在需要记录故障事件的情况下使用。

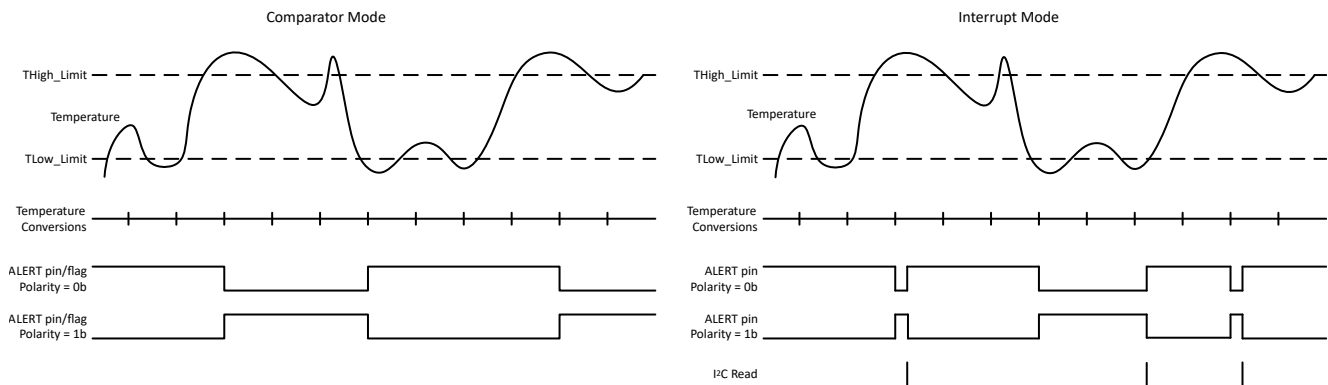


图 3-2. 过热警报：比较器与中断的比较

表 3-1. 比较器模式与中断模式的比较

事件	比较器模式 反应	中断模式 反应
热事件	当温度超过阈值时触发一次	当温度超过阈值时触发一次

表 3-1. 比较器模式与中断模式的比较 (续)

事件	比较器模式 反应	中断模式 反应
返回值处于热限值范围内	一旦温度恢复到安全范围, 就会自动清除	即使温度恢复正常, 也保持置为有效
警报复位	无需软件操作即可复位	需要读取 MCU 才能解除警报

3.3 锁存功能

与中断模式类似, 某些器件具有锁存功能, 使警报输出在温度超过指定限值时保持有效。虽然中断模式通常用于需要 MCU 读取的数字系统, 但锁存模式在模拟器件中更常见。要恢复警报信号, 需要硬上电复位或将指定引脚拉至低电平。下面列出了具有此功能的器件:

- LM26LV
- LM57

3.4 故障和屏蔽条件

当测得的温度超过 THIGH 和 TLOW 寄存器中用户定义的限值时, 即存在故障条件。添加故障是指将器件配置为仅在指定数量的连续故障事件发生后才触发警报条件, 而不是在首次发生时就触发。可通过 I2C 寄存器将故障条件配置为警报输出。某些器件可以选择屏蔽警报信号。这需要隐藏警报输出。某些器件默认启用了屏蔽, 必须在器件中启用。

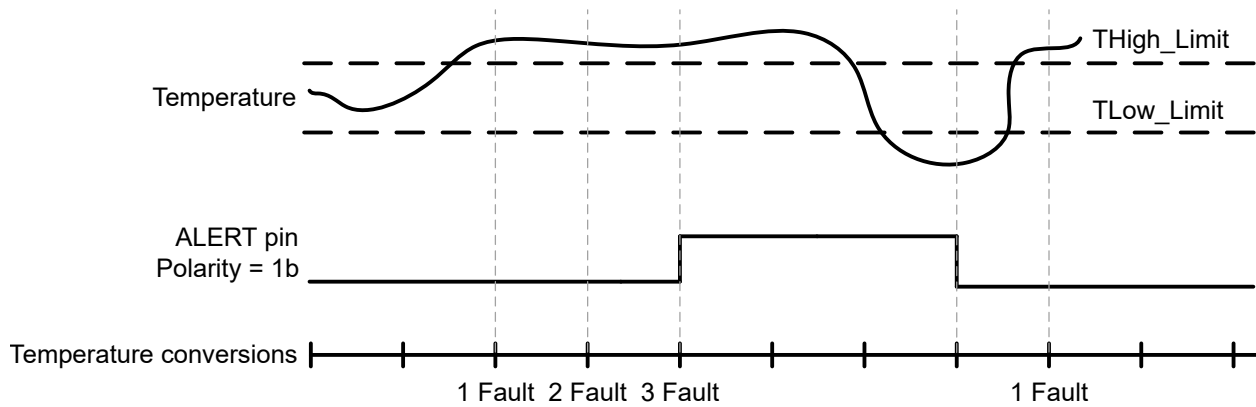


图 3-3. 故障队列 3 设置更改输出

3.5 架构类型 (推挽与开漏)

推挽和开漏是我们温度产品系列中提供的两种常见输出配置。推挽输出使用两个栅极主动将信号驱动为高电平和低电平, 从而实现快速开关和强大的信号控制。相比之下, 开漏输出只能将信号拉至低电平, 而依赖于外部上拉电阻器将信号拉至高电平。漏极开路对于共享 I2C 通信线路很有用, 在共享通信线路中, 多个器件可以安全连接。

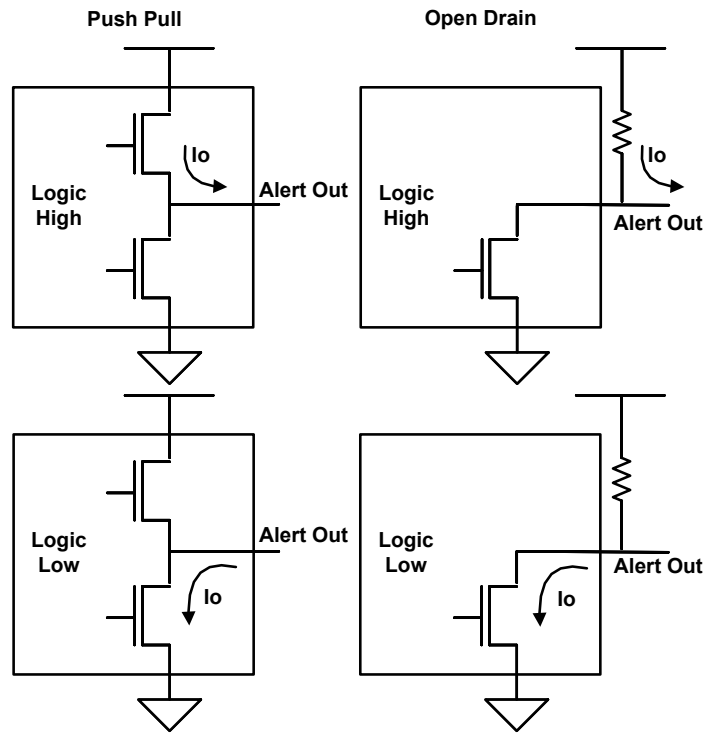


图 3-4. 推挽与开漏警报输出配置

3.6 数字输出

使用警报引脚捕捉二进制输出信号是一种替代方案。通过 I2C 寄存器，可以直接读取警报引脚的状态。如果没有警报引脚，可以考虑较小的封装。下面突出显示了仅读取警报状态的风险：

- 遗漏事件：如果控制器轮询频率不足，短暂的温度异常情况可能会在被读取前出现并消失
- 总线流量增加：连续轮询会增加 I2C 总线的负载，并且可能会影响性能，尤其是在使用多个器件时
- 处理器开销：主机 MCU 必须主动管理轮询，而不是对中断做出反应

4 开关

警报输出可以位于温度开关内，也可以位于模拟或数字温度传感器内。模拟或数字温度传感器可以配置为仅用作开关。温度开关提供了一种简单可靠的方法来检测何时超过温度阈值。选择温度值的主要优势如下所示：

- 自主运行：无需软件或 MCU 输入即可完全正常运行
- 经济高效的集成：将温度传感器和比较器组合到单个 IC 中，从而简化系统设计并降低总体成本。

温度开关会监测温度，并在达到预定义限值时将输出置为有效，从而实现即时系统响应，例如警告、关断或散热激活。TI 有三种类型的开关，具体取决于警报限值的定义方式。请参阅数据表，了解如何选择所需的警报限值，因为根据器件的不同，可能存在一些限制。

- 电阻设置：电阻器可选触发点
- 引脚可编程：引脚可选触发点
- 出厂预设：在 TI 工厂设置的触发点

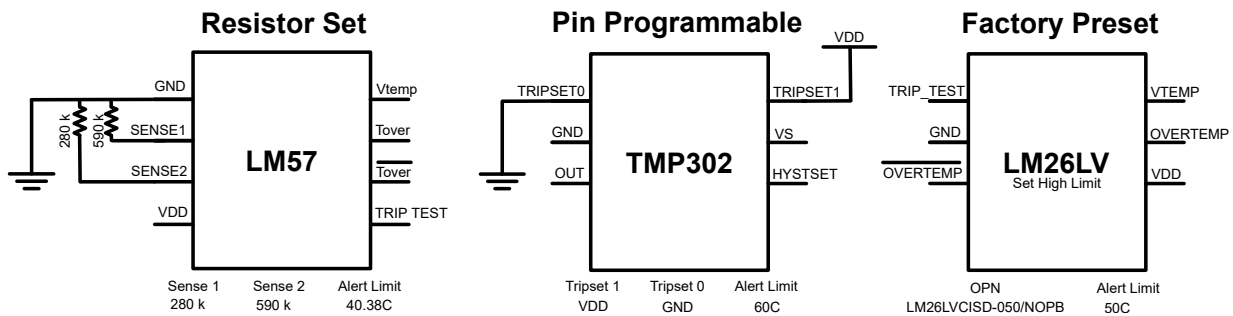


图 4-1. 不同类型的开关

开关可在模拟或数字之间进行分类，具体取决于它们是否包含用于警报输出的内部 ADC。具有 ADC 的数字器件将具有转换延时时间，因为输出只会在转换结束时显示。一些数字开关包括 TMP302 和 TMP303。

5 温度警报产品系列

TI 温度传感器针对警报功能提供了广泛的设计。最简单的设计是仅包含警报输出的开关产品系列。如果对通过警报输出进行温度测量感兴趣，则有多种输出类型。可提供 I2C、SPI 和模拟输出。对于数字温度传感器，转换必须有效才能使警报信号激活。使用下表帮助选择具有正确警报设置的所需传感器。

表 5-1. 热销器件之间的比较

GPN	欠热或过热	警报架构类型	温度输出	电源 (非活动关断 25°C)	警报可编程
TMP115	欠热和过热	开漏	数字 I2C	15nA *平均 Iq @ 1Hz 占空比 = 0.4uA	I2C 可调出厂预设
TMP117	欠热和过热	开漏	数字 I2C	0.5uA *平均 Iq @ 1Hz 占空比 = 5uA	I2C 可调节出厂预设, 在下电上电后保留
TMP112	过热	开漏	数字 I2C	0.35uA *平均 Iq @ 1Hz 占空比 = 7.5uA	I2C 可调出厂预设
TMP126	欠热和过热	开漏	数字 SPI	0.5uA *平均 Iq @ 1Hz 占空比 = 1.2uA	I2C 可调出厂预设
TMP4719	过热	开漏	数字 I2C 远程 (2 通道)	1.5uA *平均 Iq @ 1s 转换时间 (所有通道) = 11uA	I2C 可调出厂预设
TMP4718	过热	开漏	数字 I2C 远程 (1 通道)	1.5uA *平均 Iq @ 2s 转换时间 (所有通道) = 4.5uA	电阻设置
LM56	欠热和过热	开漏	模拟	230uA	电阻设置
LM57	过热	开漏和推挽	模拟	28uA	电阻设置
LM26LV	过热	开漏和推挽	模拟	16uA	出厂
LM26	过温和/或欠热	开漏	开关	20uA	出厂预设
TMP390	过温和/或欠热	开漏	开关	0.25uA	电阻设置
TMP303	欠热和过热	推挽	开关	5uA	电阻设置
TMP302	过热	开漏	开关	15uA	引脚可编程
TMP392	过热	开漏	开关	0.25uA	电阻设置

6 总结

这些警报配置输出选项为如何检测温度警报条件并将其报告给主机系统提供了灵活性。通过调整极性、选择比较器或中断模式、配置故障和屏蔽条件，可以定制警报输出，以满足系统的监测和中断处理要求。正确的配置可确保可靠检测过热、欠热或窗口异常，同时更大限度地减少由噪声或瞬态条件引起的错误警报。

7 参考资料

- 德州仪器 (TI)，[具有迟滞功能的比较器参考设计](#)，设计指南

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（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，不保证没有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、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(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、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月