

Application Note

改善高压应用中的热响应时间和精度



Alex Thompson

摘要

在汽车车载充电器 (OBC)、直流/直流转换器和电动汽车直流快速充电器等高压环境中进行有效的温度监测，对于维持安全性和性能至关重要。因为直接电气连接会很危险，并且会因电气噪声和干扰而导致读数不准确，所以这些应用需要隔离式 IC。以往，使用负温度系数 (NTC) 热敏电阻来跨越隔离边界检测温度。这通常涉及使用具有隔离式 ADC 或放大器的高压 NTC，这会增加成本和复杂性；或者在高压热源的间隙中放置一个标准 NTC，这样会由于间隙存在热滞后，从而导致温度响应时间更长和明显的测量误差。

ISOTMP35 或 ISOTMP35-Q1 提供新的隔离式温度传感器技术，可以直接连接到高压热源，从而解决了这些问题。这种直接连接可实现 3.1 秒的超短温度响应时间，相比之下，无环氧树脂的 NTC 和有环氧树脂的 NTC 的响应时间分别为 78.3 秒和 47.8 秒。此外，ISOTMP35 能够达到更精确的最终温度 72.1°C，确保实现更好的性能和可靠性。

本应用手册说明了相比于其他温度检测设计，ISOTMP35 如何提升温度响应能力。ISOTMP35 利用高级隔离技术和热管理策略，有助于提高汽车 OBC、直流/直流转换器和电动汽车直流快速充电器等关键应用的安全性和效率，从而攻克现代电动汽车日益凸显的功率密度和热性能挑战。

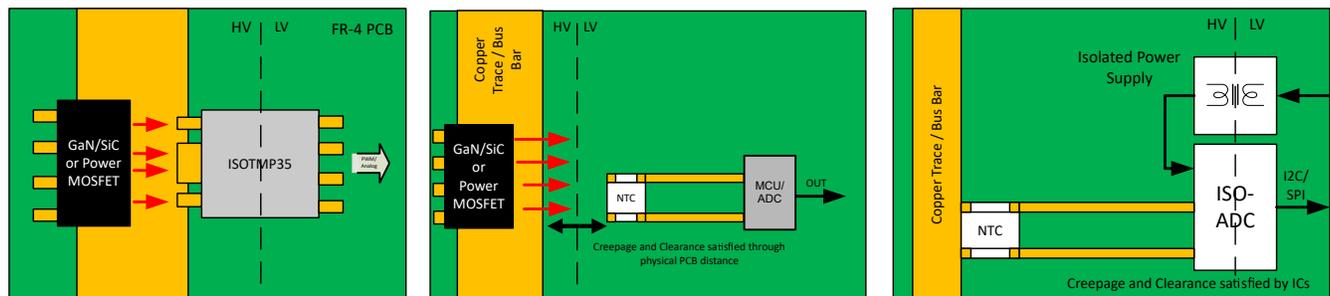


图 1-1. 不同温度检测设计的示例

内容

1 引言.....	2
1.1 计算热响应时间.....	2
1.2 使用非隔离式温度传感器的当前设计.....	2
1.3 使用 ISOTMP35 隔离式温度传感器的建议设计.....	3
2 实验设置.....	4
2.1 第 1 步：准备油浴.....	4
2.2 第 2 步：准备液态镓.....	5
2.3 第 3 步：浸没铜焊盘.....	6
2.4 第 4 步：为各种 PCB 配置做准备.....	7
2.5 第 5 步：测试每种 PCB 配置.....	7
2.6 测试结果.....	7
3 总结.....	8
4 参考资料.....	8

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

1.1 计算热响应时间

温度响应时间定义为从初始温度到上升至最终温度的 63% 所需的时间。

可通过多种方法来确定温度响应时间。对于传统的温度传感器，通常有两种方法：使用搅拌液体（油）和空气法（静止或流动）。前者是将传感器从处于某温度（通常为 25°C）的油浴中迅速转移到另一个温度不同的油浴中，然后测定在搅拌油中的温度响应时间。后者通常是将传感器从自然环境中迅速放入一个特定温度的恒温室中，然后测量温度响应时间。如果将传感器直接放入恒温室，会因为恒温室内外存在温差而产生空气流动。为了实现空气静止，用户可以将传感器放入恒温室内的封闭箱中，这样空气就不会流动并保持静止。

但是，对于隔离式温度传感器，还使用方向响应时间。方向温度响应时间用于测试当一侧暴露于热源下，而另一侧不暴露于热源时传感器的响应方式。这再现了一个真实的用例场景，即，ISOTMP35 可以连接到高压焊盘或汇流条，并且该高压区域会产生热量。此测试提供了一种可重复的简单方法来评估在低压区域进行电气隔离时 NTC 的性能，还评估了 ISOTMP35 在直接连接到高压热源时的性能。

图 1-1 是一个测量 63% 上升时间的示例。

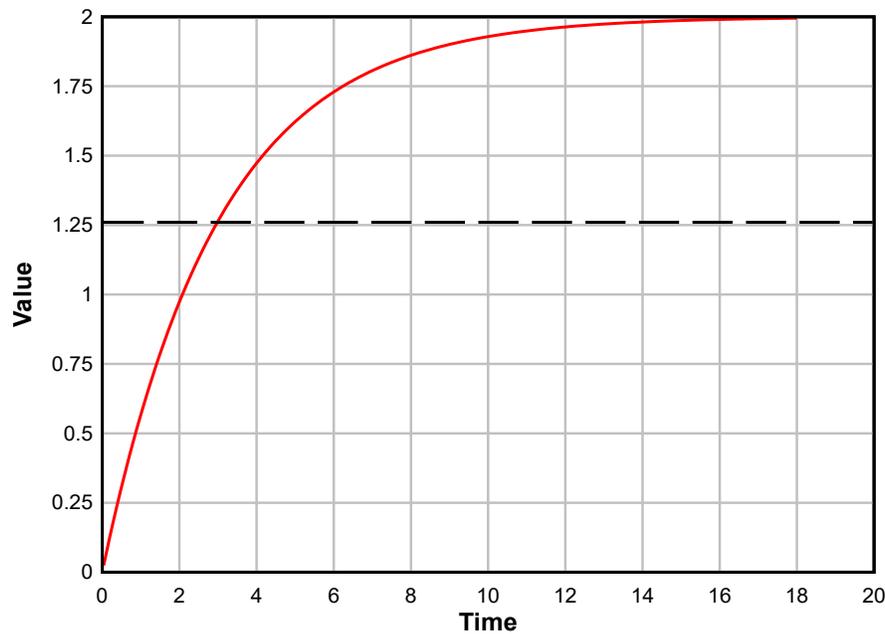


图 1-1. 63% 上升示例

这个示例是一个通用衰减指数上升，63% 上升时间值为 1.26，最终值为 2。此曲线可通过方程式 1 得出。

$$y = 2 \times \left(1 - e^{-\frac{t}{3}}\right) \quad (1)$$

63% 时间为 3s，并且由指数中的分母决定。在指数曲线上，这个时间被认为是 1tau。

1.2 使用非隔离式温度传感器的当前设计

目前，可以使用 NTC 等非隔离式温度传感器来完成跨越隔离边界的温度检测。通常可以在高压环境中桥接隔离边界的隔离器件必须满足最小间隙阈值，具体取决于高压电平。如果使用非隔离器件，则在放置时必须与隔离边界保持间隙所规定的最小距离。间隙是高压信号引脚和低压信号引脚之间在空气中的最短距离。爬电距离类似于间隙，它描述了器件的高压侧和低压侧之间沿表面（例如封装或 PCB）的最短距离。爬电距离绝不能小于间隙。所需的最小间隙由多个因素决定，但主要决定因素是隔离器件的工作电压。

对于基础型隔离器件 ISOTMP35，最小间隙为 4mm（封装主体的宽度）。如果不使用隔离式温度传感器，则用户必须将其非隔离式传感器跨越高压边界来放置，距离至少要与最小间隙一样远。这种方法的主要缺点是，虽然易

于实现，但将传感器放置在距离高压热源几毫米的低压区域即意味着热量必须穿过热导率相对较低的 FR4 (标准 PCB 电介质)。这意味着温度响应时间会缩短，并且最终达到的温度远低于使用直接连接时能达到的温度。

表 1-1. 常见介质的热导率 (W/mk)

介质	热导率 (W/mk)
Galden 油	0.065
FR4	0.2
镓	29
石墨	200
铜	400
石墨烯	1500

FR4 的热导率相对较低，这意味着 NTC 对高压区域中的温度变化响应缓慢，因此温度响应时间很长，并且无法很好地达到最终的真实温度值。通过使用非导热环氧树脂将 NTC 与高压热源进行热耦合，可以改善响应时间和最终温度值。虽然这样可以提高 NTC 的热性能，但性能仍然不如高压热源金属对金属直接接触那样好。

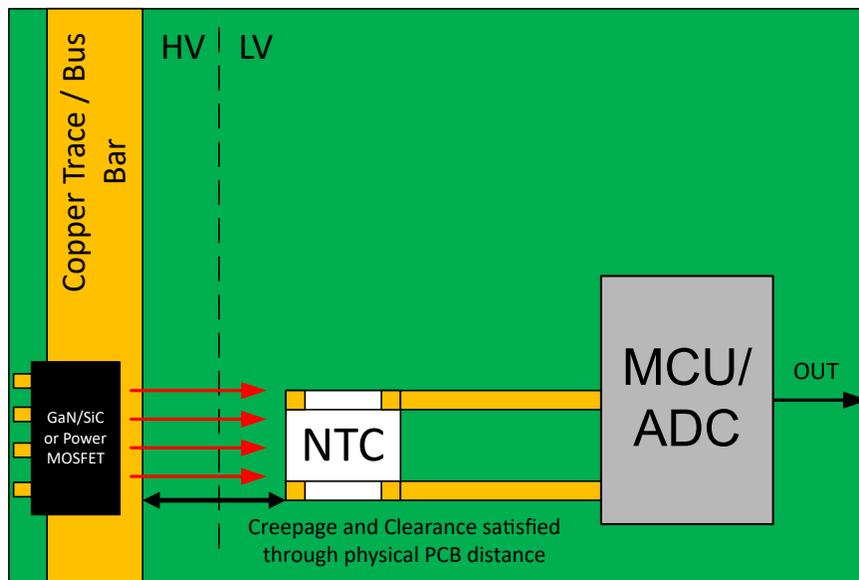


图 1-2. 低压 NTC 设计

1.3 使用 ISOTMP35 隔离式温度传感器的建议设计

ISOTMP35 是一款能够跨越高压隔离边界放置的模拟温度传感器。可以将 ISOTMP35 直接放置在高压汇流条或大功率 FET 的散热器上。由于直接接触，热量无需通过 PCB 材料传递即可跨越隔离边界，而直接接触可实现即时温度响应和更准确的最终温度值。这很重要，因为更快的响应时间和更准确的最终值有助于在各种客户系统中提供更好的过热保护。

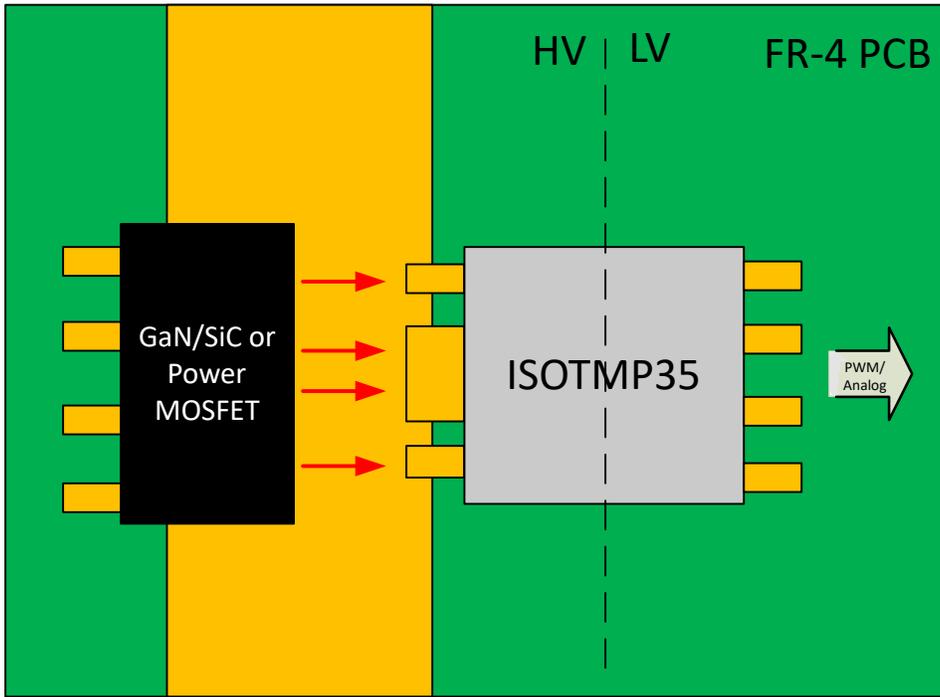


图 1-3. ISOTMP35 示例

2 实验设置

为了证明 ISOTMP35 可提供比 NTC 设计更出色的响应时间这一理论，这里使用了油浴来比较 ISOTMP35 和 NTC。然后使用带有热环氧树脂的 NTC 重复该实验。

完成该实验的方法是，将液态镓倒入坩埚内，通过设置为 75°C 的油浴进行加热。然后，使用具有 1 平方英寸铜焊盘 (2oz 铜) 的 PCB 将受测器件浸没在该液态镓中，观察器件温度如何随时间变化。

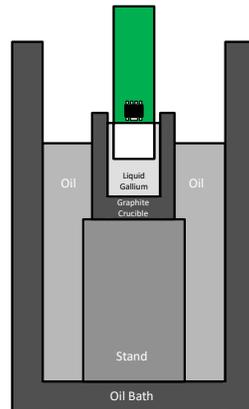


图 2-1. 响应时间系统图

2.1 第 1 步：准备油浴

热响应设置使用 Fluke 7340 油浴，加热至 75°C (环境温度为 25°C)，盖子闭合。在油内放置一个金属支架，但不超过油液高度，因此可完全浸没支架。

在金属支架顶部放置石墨坩埚，带有 3D 打印的 ABS 插件，这个插件设计用来装入测试 PCB。然后在坩埚内装入液态镓。工作原理是，坩埚会被热油包围，因此可以非常快速地加热液态镓。坩埚的顶部暴露在空气中，这样就可以插入测试 PCB，而不会接触到油。

之所以使用液态镓，是因为它的热导率为 29W/mK ，并且它能在室温下维持液态。油浴使用热导率为 0.065W/mK 的 **Galden HT-200** 油，因此在这个测试中单独使用这种油并不可行。此外，在浴槽运行时油会四处移动，因此无法控制浸没深度。然后将坩埚内的镓加热到 75°C ，用温度计进行验证。

2.2 第 2 步：准备液态镓

待测试的电路板不使用高压信号，而是使用 1 平方英寸的铜焊盘来模拟高压热源。电路板浸没在液态镓中，使得铜焊盘完全浸没在液态镓中。将液态镓倒入坩埚中，直至液态镓的表面高度达到 **ABS** 盖子的底部。每次倒入相同量的液态镓，确保各次测试之间的条件一致。

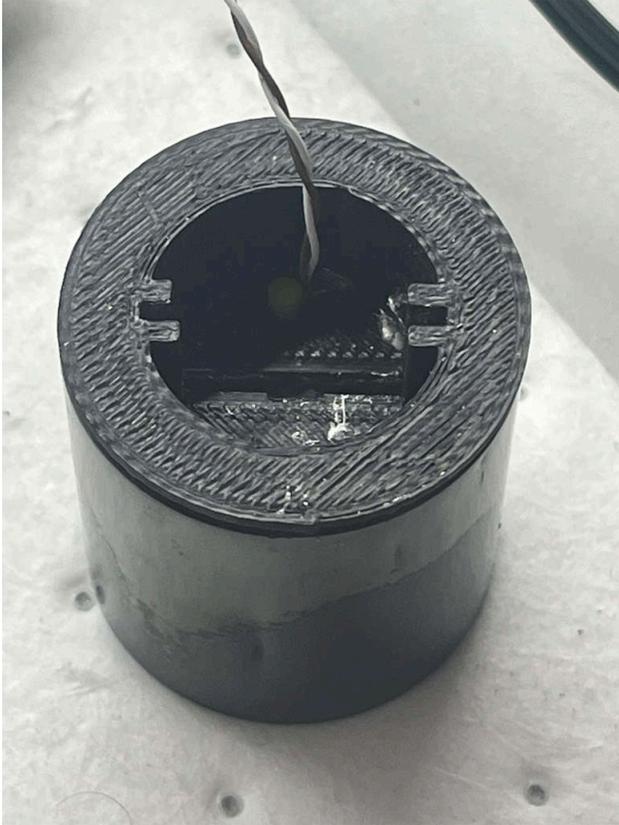


图 2-2. 空坩埚



图 2-3. 装有液态镓的坩埚放置在油浴中

2.3 第 3 步：浸没铜焊盘

液态镓的表面恰好上升到铜焊盘的边缘，用白色箭头标记。铜焊盘延伸至阻焊层下方，直至封装的边缘（用白色箭头内的线来标记）。ISOTMP35 通过焊接到铜焊盘来进行热连接。但是，ISOTMP35 封装的任何部分实际上都不会与液态镓直接接触。这样做是为了确保 ISOTMP 接收到的所有热能都来自铜的导热性，而不是来自倾倒在传感器上的液态镓。

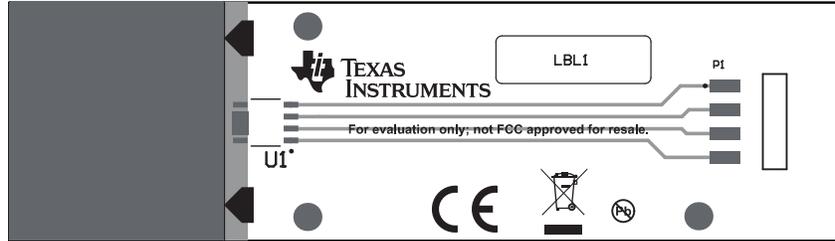


图 2-4. 测试 PCB 的 PCB 层视图

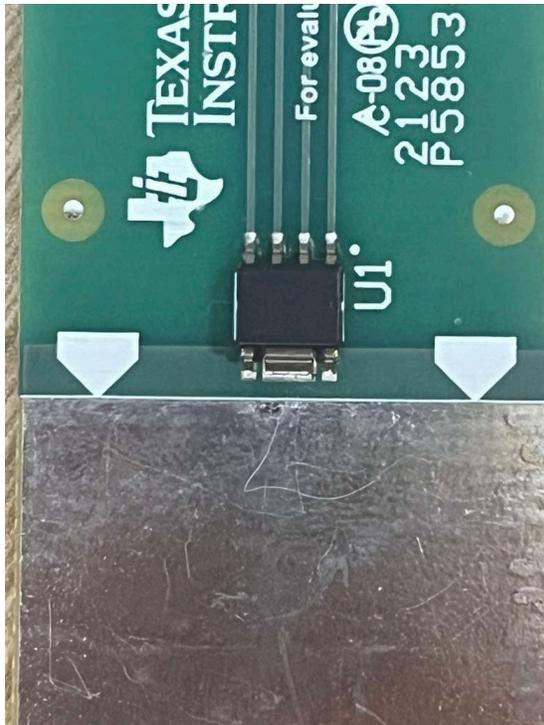


图 2-5. 测试 PCB 上安装的 ISOTMP35

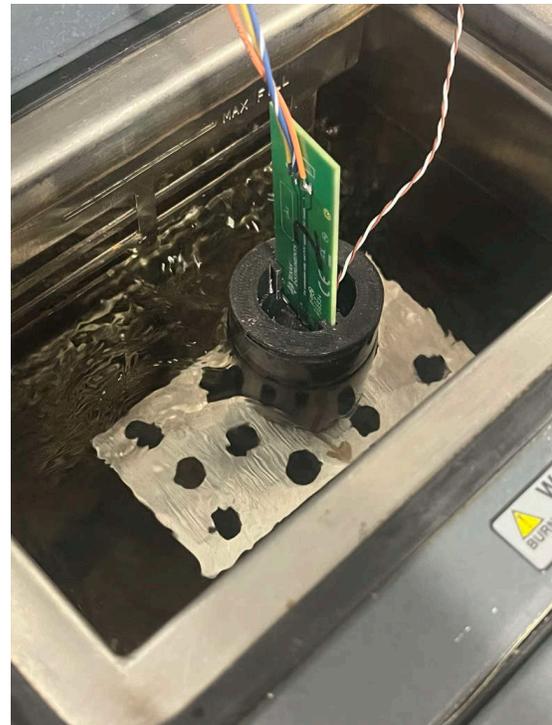


图 2-6. 测试 PCB 置于液态镓中进行热响应测试

2.4 第 4 步：为各种 PCB 配置做准备

在该实验中，测试了三个选项：ISOTMP35、恰好跨越了间隙边界进行焊接的 NTC 和使用热环氧树脂热耦合到铜焊盘的 NTC，每个选项有 2 个电路板。

所选用的热环氧树脂是 Dycotec Materials Ltd DM-TIM-15340-SYP，这是一种热导率为 3.7W/mK 的热环氧树脂。虽然其热导率低于直接铜连接的热导率 400W/mK，但与单独使用 FR4 时热导率仅为 0.2W/mK 相比，热导率仍然有了显著提高。

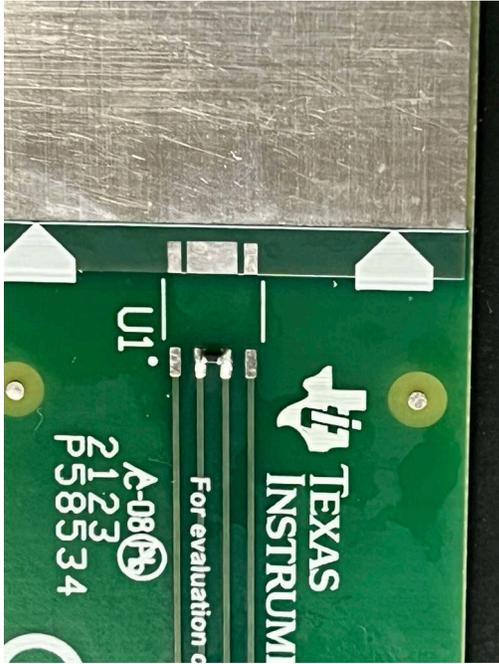


图 2-7. 焊接到测试 PCB 上的 NTC，跨越最小间隙

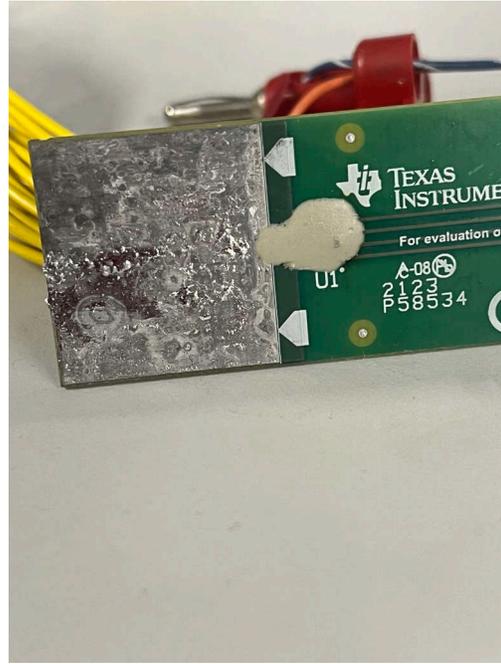


图 2-8. 带固化热环氧树脂的 NTC

2.5 第 5 步：测试每种 PCB 配置

为了开始测试，组装了 4 块 PCB：其中 2 块采用 ISOTMP35，2 块采用 NTC (TSM0A103F34D1RZ)。这款特殊的 NTC 具有 1% 的温度精度，并且尺寸为 0402。

所有四块 PCB 都经过测试后，将热环氧树脂涂抹到 NTC 板上，然后进行固化，以便将 NTC 热耦合到铜焊盘上。热环氧树脂固化完成后，对这些电路板也进行了测试。

2.6 测试结果

分别在两块电路板上运行所有三个测试后，对每次测试的结果取平均值。结果表明，与任一 NTC 选项相比，ISOTMP35 的温度响应时间明显更短，平均响应时间为 3.127 秒。这是一个甚至比使用热环氧树脂的 NTC 都要好 10 倍的系数。另外值得注意的是，尽管 NTC 采用更小的封装（可以提供更低的热质量，因此具有更短的热响应时间），但尺寸更大的 ISOTMP35 要快得多。

ISOTMP35 可达到 72°C 的平均最终温度。在本实验中，因为在测试过程中 ISOTMP35 完全暴露在空气中（温度为 25°C），所以无法达到 75°C。ISOTMP35 热耦合到铜焊盘，但较低的空气温度仍然会拖累最终可达到的温度。与 NTC 相比，这仍然是一项重大改进，即使有热环氧树脂，NTC 也无法超过 66°C。

表 2-1. 响应时间和达到的最终温度汇总

DUT	温度响应时间 1 (秒)	温度响应时间 2 (秒)	平均温度响应时间 (秒)	达到的最终温度 1 (°C)	达到的最终温度 2 (°C)	达到的平均最终温度 (°C)
ISOTMP35	3.1s	3.1s	3.1s	72.2°C	71.9°C	72.1°C
NTC 无环氧树脂	74.9s	81.6s	78.3s	61.7°C	62.5°C	62.1°C

表 2-1. 响应时间和达到的最终温度汇总 (续)

DUT	温度响应时间 1 (秒)	温度响应时间 2 (秒)	平均温度响应时间 (秒)	达到的最终温度 1 (°C)	达到的最终温度 2 (°C)	达到的平均最终温度 (°C)
NTC 有环氧树脂	47.2s	48.3s	47.8s	65.8°C	63.9°C	64.9°C

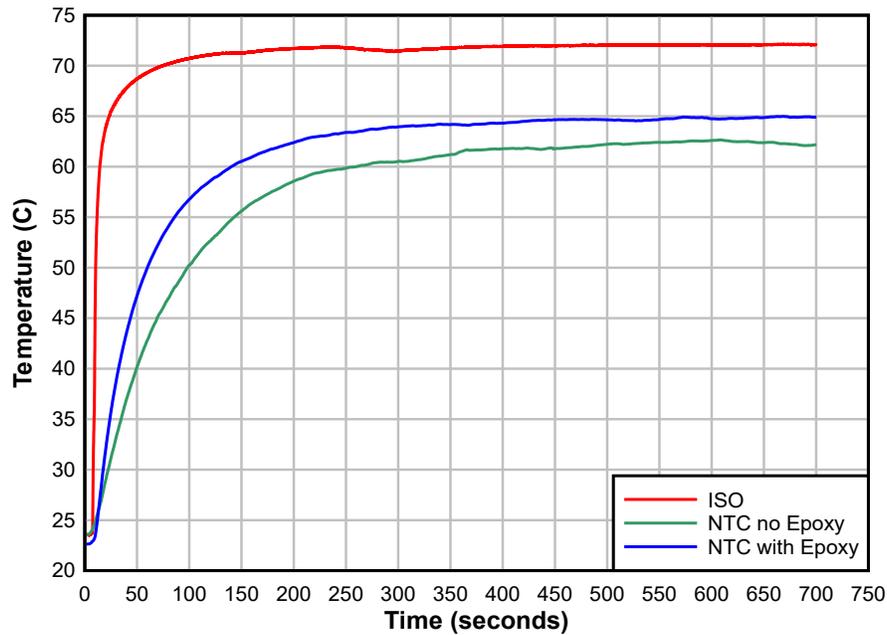


图 2-9. 温度响应时间结果

3 总结

与 NTC 设计相比，ISOTMP35 显著改善了温度响应时间。更快的响应时间加上更准确的最终温度，对客户有多项好处。由于 ISOTMP35 可以更接近正确的最终温度，因此使用 ISOTMP35 可提高安全性。这意味着，如果发生过热事件，使用 NTC 设计时读数过低，从而导致错过关键的温度事件。由于响应时间更短，系统暴露在过高温度的时间要短得多，所以系统寿命可能会延长。此外，由于最终值更准确，因此工程师可以减少在热建模上花费的时间。当使用需要通过 FR4 传递热量的非隔离式 NTC 时，如果温度下降是不可接受的，则可能需要在软件中对该热传递进行建模和补偿。而当使用 ISOTMP35 与高压热源直接接触时，可以省去或显著缩短这个建模时间。

4 参考资料

- 德州仪器 (TI), [ISOTMP35 具有模拟输出、小于 2 秒响应时间和 500VRMS 工作电压的 \$\pm 1.2^{\circ}\text{C}\$ 、3kVRMS 隔离温度传感器](#) 产品页
- 德州仪器 (TI), [ISOTMP35-Q1 具有模拟输出、小于 2 秒响应时间和 500VRMS 工作电压的汽车级 \$\pm 1.5^{\circ}\text{C}\$ 、3kVRMS 隔离温度传感器](#) 汽车级产品页

重要声明和免责声明

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、某特定用途方面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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司