

摘要

在需要温度补偿或需要在系统温度限制范围内运行的应用中，进行精确的处理器和元件温度监测至关重要。在此类用例中，如果检测精度更高，则会直接影响系统的质量或正常运行时间。TI 全新的超薄 TMP114 和 TMP144 数字温度传感器为实现高精度元件温度监测提供了另一种方案，即将 IC 本身放置在关键元件下方，无需校准，也无需额外的布板空间。本手册介绍了元件下温度监测的概念，并将其与其他可能的温度检测布局进行了简要比较。

内容

1 引言.....	2
2 散热器温度传感器监测.....	3
3 通过放置相邻 PCB 进行元件温度监测.....	4
4 元件下温度监测.....	5
4.1 超薄温度传感器.....	5
4.2 采用 TMP114 温度传感器的元件下布局设计.....	5
4.3 元件下实验结果.....	7
5 总结.....	9
6 参考文献.....	9
7 修订历史记录.....	9

插图清单

图 1-1. SMT 处理器温度测量选项.....	2
图 2-1. 用于散热器温度检测的等效热电路.....	3
图 3-1. 100°C 热源附近 TMP116 的热仿真.....	4
图 4-1. 中等负载条件下的 AWR2243BOOST 热捕获.....	5
图 4-2. TMP144 和 TMP144 YMT 封装图.....	5
图 4-3. IWR6843 传感器下方 TMP114 温度传感器的电路板渲染.....	6
图 4-4. PCB 编辑器中 IWR6843 和 TMP114 呈现的尺寸.....	6
图 4-5. TMP114、TMP144 和 IWR6843 垂直尺寸.....	6
图 4-6. IWR6843ISK 评估模块.....	7
图 4-7. TMP114 温度传感器位于下方时的 IWR6843 X 射线图像.....	7
图 4-8. TMP114 和 TMP117 温度传感器测试设置.....	8
图 4-9. TMP114 和 TMP117 温度比较.....	9

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

在监测系统关键元件的温度时，如果精度（无论是用于补偿还是安全关断性能）越高，则为温度控制环路提供的信息反馈就越好。在监测处理器或 MCU 温度的情况下，设计人员通常会使用热敏二极管引脚，这样可使用外部温度监测 IC 测量裸片的内部温度。当可以使用内部二极管，且二极管结构良好，过热行为严格遵循标准 BJT 时，该方法效果良好。

但在某些情况下，设计中未集成二极管，或者过热特性使其无法用于温度检测，或造成温度检测质量非常差。在这种情况下，设计人员可以选择使用其处理器的内部温度传感器（如有）。大多数现代处理器中所含检测元件的主要缺点是精度极低，通常在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 至 10°C 的温度范围内。

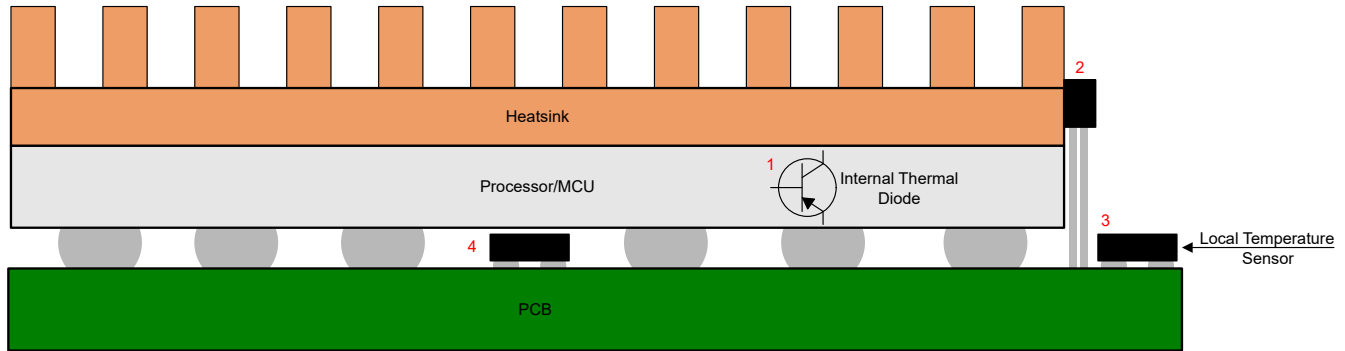


图 1-1. SMT 处理器温度测量选项

更好的替代方法是使用外部集成温度传感器或热敏电阻，从而提供尽可能高的精度。图 1-1 显示了测量处理器温度的多种可能方案。方案 1 是使用内部二极管或温度传感器。在方案 2 中，穿孔型封装和探针中的或柔性电缆上的传感器使用热环氧树脂固定在散热器上。该选项的常见变体是将传感器直接放置在处理器散热器的加工孔或钻孔中。方案 3 是将温度传感器（IC 或热敏电阻）放置在 PCB 上的其他位置，使其尽可能靠近处理器/MCU。最后，方案 4 是将温度传感器直接放置在需要监测的元件下方。此前，仅在所含插座须提供充分垂直间隙的应用中，方案 4 才真正可行。此处使用 TI 推出的全新超薄温度传感器产品，即使在使用表面贴装元件的应用中，这些产品也支持采用此方法。

2 散热器温度传感器监测

如图 1-1 中方案 2 所示，跟踪关键元件温度的一种常见方法是捕获与待监测的器件接触的散热器温度。在机械结构方面，此类应用中的传感器可以使用环氧树脂、夹子或螺栓（如封装允许）连接到散热器。图 2-1 显示了该方法使用的等效热电路，其中 $R_{\Theta JC(top)}$ 是从处理器/MCU 结点到器件顶部的热阻。

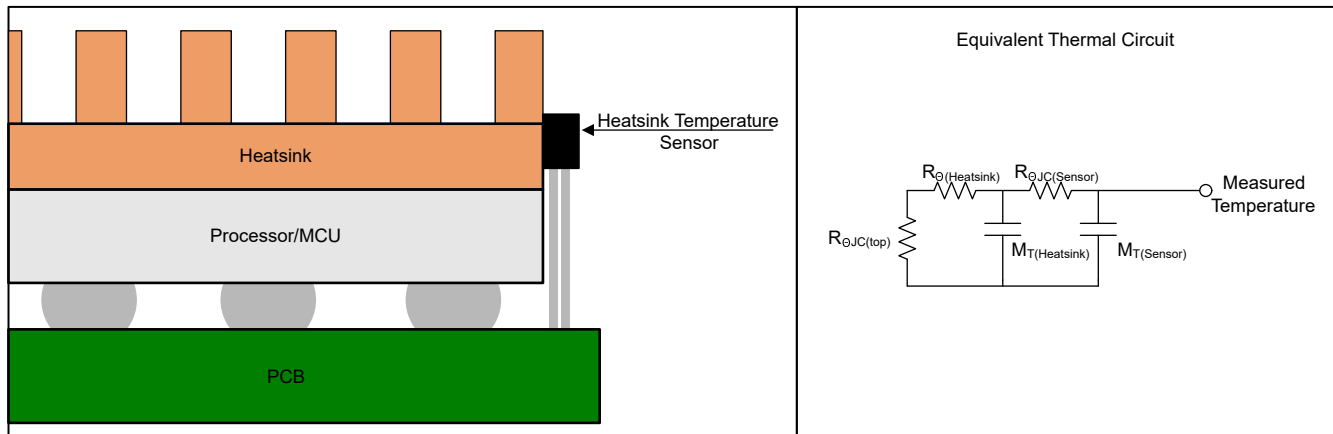


图 2-1. 用于散热器温度检测的等效热电路

使用这种温度监测方式时，由于散热器的热质量相对较大，传感器上测得的温度将显著滞后于实际处理器温度。这种额外的热质量会减慢系统对元件温度突然变化的响应，并可能导致元件损坏。此外，由于接触粘合剂因时间推移和温度循环而分解，散热器、传感器和处理器之间的接触最终会降低。仍可通过在系统表征方面进行充分的谨慎处理来成功监测此类检测应用类型中的元件温度，从而为此类极端情况提供足够的安全裕度。

3 通过放置相邻 PCB 进行元件温度监测

监测关键元件温度的最简单且常见的方法是将温度传感器直接放置在元件旁边，使得热量可通过 PCB 和布线传导至温度检测 IC 或热敏电阻。虽然这种方法成本极低且简单，但温度传感器容易受到环境温度的热干扰以及 PCB 上其他元件的热量影响。当元件和环境之间的温差非常大时，从关键元件辐射出的热量也会迅速衰减。图 3-1 通过热仿真对此进行了展示，其中使用了放置在大约 100°C 热源附近电路板上的 TMP116 温度传感器。

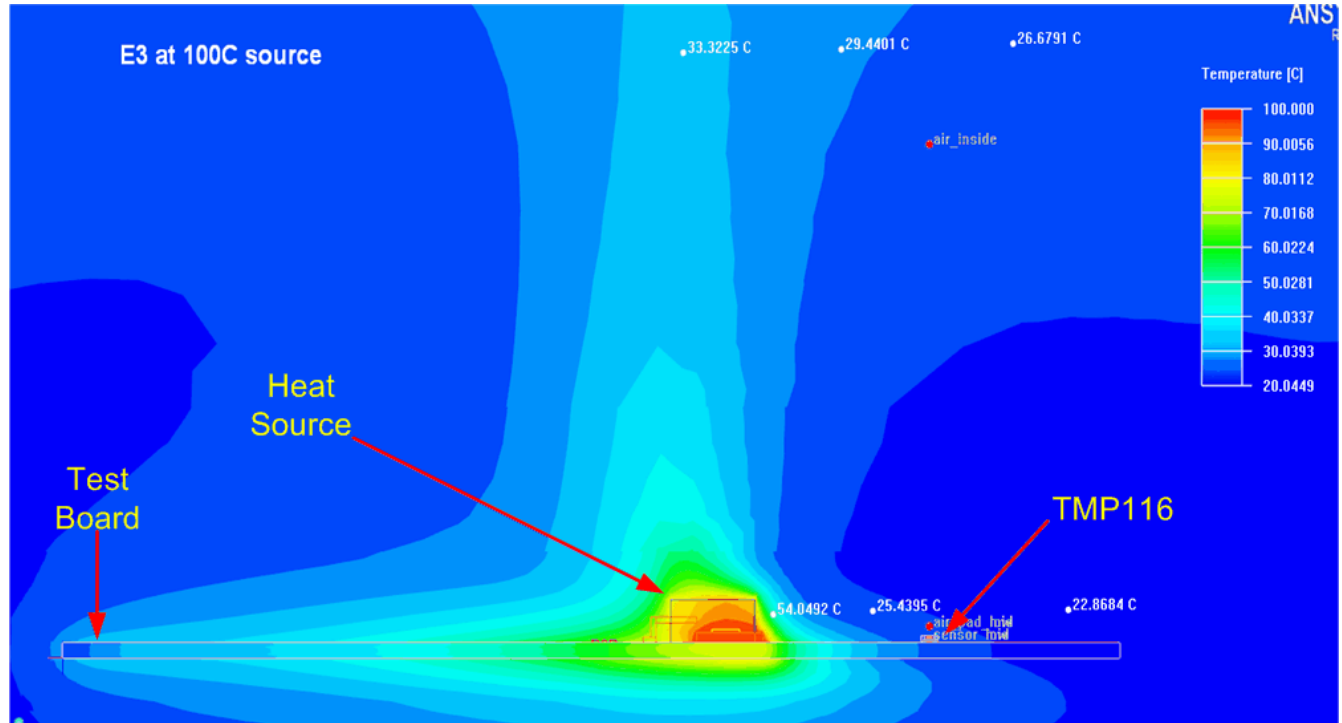


图 3-1. 100°C 热源附近 TMP116 的热仿真

如图所示，随着传感器和元件之间的距离增加，温度数据的质量将迅速下降。

4 元件下温度监测

图 4-1 显示了 AWR2243BOOST 用于数据采集的评估模块 (EVM) 的热捕获，该模块安装在 DCA1000EVM 上。HI 温度读数显示 AWR2243 已达到大约 51.5°C 的温度，因此在中等负载下运行。显示的 LO 值是约为 22.9°C 的环境温度，热像仪测量的电路板温度为 41.9°C。

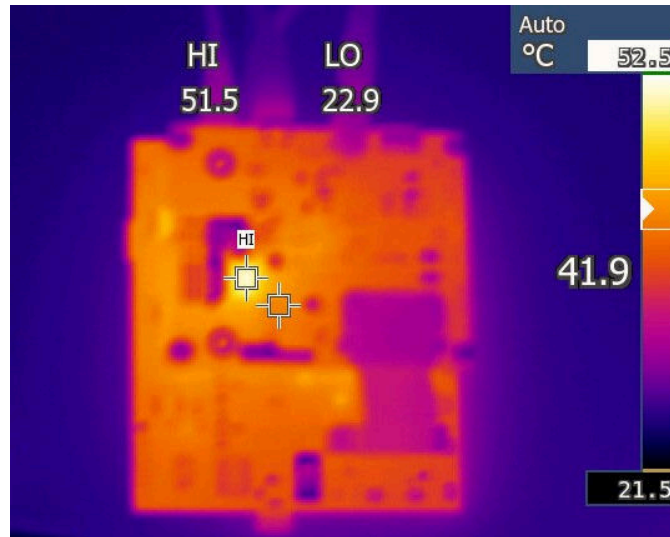


图 4-1. 中等负载条件下的 AWR2243BOOST 热捕获

与图 3-1 中显示的仿真示例不同，这里的热源与环境温度的差值只有不到 30°C，但紧邻 AWR2243 的电路板温度已经下降了近 10°C。从这一点可以明显看出，为了使用外部传感器来准确监测特定元件的温度，需要使传感器尽可能靠近待监测的器件。

4.1 超薄温度传感器

为了缩短传感器和关键元件之间的物理距离和热距离，TI 推出的新型 TMP114 和 TMP144 温度传感器采用高度为 0.15mm 的小尺寸超薄 YMT 封装。这使其特别适合于元件下温度检测应用。此类 DSBGA 封装器件与裸片之间只有一层较薄的内涂层，可实现极低的 $R_{\theta JC(top)}$ 热阻。这意味着热量较易通过封装顶部传导至硅片中的检测元件。就整体占用空间而言，TMP114 和 TMP144 温度传感器分别仅为 0.758mm × 0.758mm 和 0.76mm × 0.96mm，这样小的尺寸足以使其便于放置和布线。

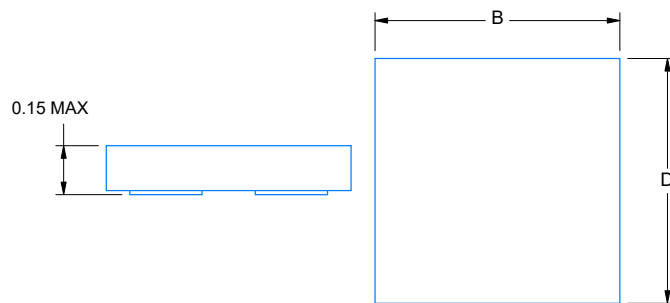


图 4-2. TMP114 和 TMP144 YMT 封装图

4.2 采用 TMP114 温度传感器的元件下布局设计

图 4-3 显示了 IWR6843 集成式单芯片毫米波传感器下方 TMP114 温度传感器的 3D 渲染。鉴于 IWR6843 毫米波传感器的尺寸、可用垂直间隙和集成式温度自校准功能，此处选择该传感器进行元件下检测。

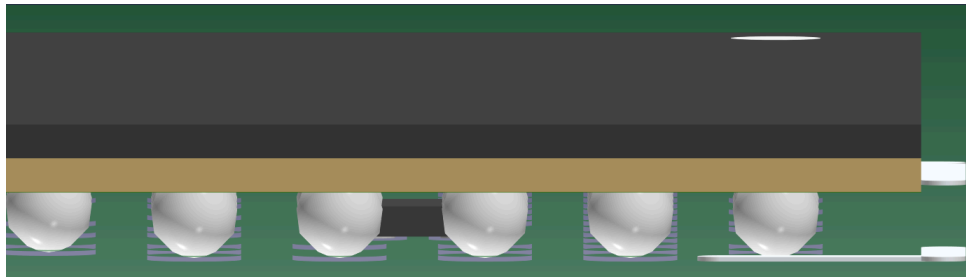


图 4-3. IWR6843 传感器下方 TMP114 温度传感器的电路板渲染

在决定元件下监测方法是否合适时，最重要的考虑因素之一是封装中是否有放置传感器的空间。并非所有元件和处理器都符合此要求；因此，可使用另一种温度监测方法。不过，IWR6843 采用 Flip Chip Chip-Scale Package (FCCSP) 封装。该封装有足够的焊球间距可容纳 TMP114 温度传感器，如图 4-4 所示。

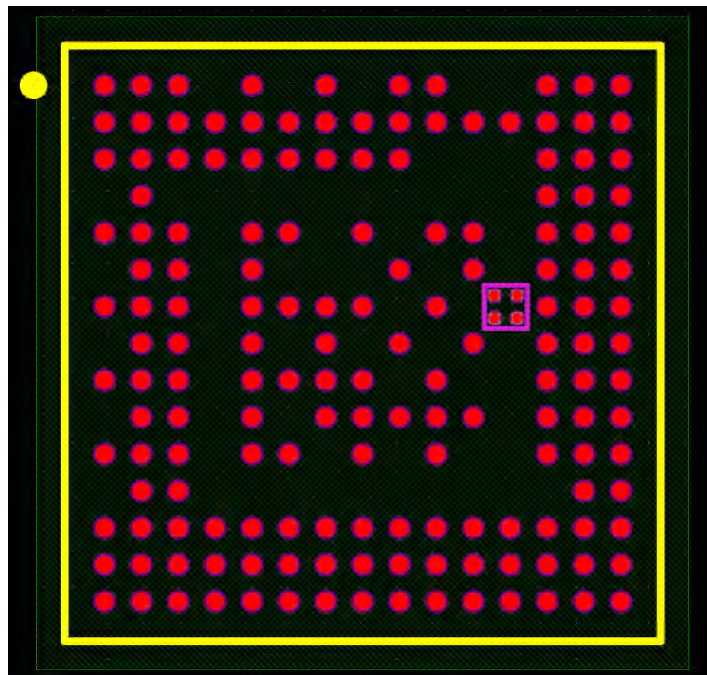


图 4-4. PCB 编辑器中 IWR6843 和 TMP114 呈现的尺寸

垂直间隙也必须足够大，以便能够装下整个传感器。对于 IWR6843，由于焊球高度远高于 TMP114 温度传感器封装的高度，因此存在较大的垂直间隙。

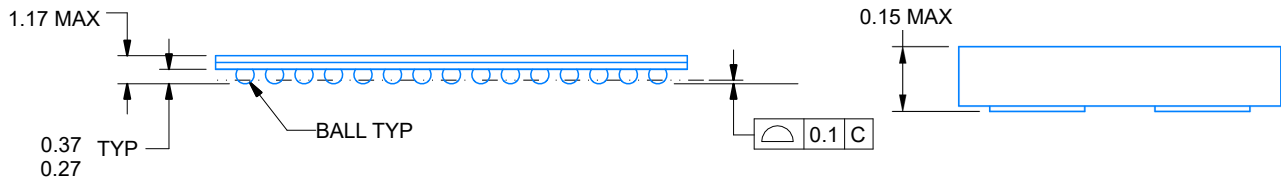


图 4-5. TMP114、TMP144 和 IWR6843 垂直尺寸

这种温度检测放置方式有多种折衷方案。例如，用于温度检测的元件下策略会增加电路板成本，因为从温度传感器布置通信线路需要直径更小的焊盘内过孔。将传感器置于引线式封装元件下方时，如果布线所需的最小布线宽度较小，则仍会产生额外的成本。组装成本也可能更高，因为需要进行第二次回流焊，以便先放置传感器，然后再将元件放置在顶部。

4.3 元件下实验结果

为了进一步探讨元件下方温度监测以及精度和响应时间测试这一主题，将 TMP114 温度传感器放置在 IWR6843ISK 评估板上的 IWR6843 毫米波传感器下方。对电路板布局布线文件进行了修改，以便增加 TMP114 温度传感器尺寸，然后将通信和电源布线到接头。这是为了确保雷达电路板的运行不会中断。

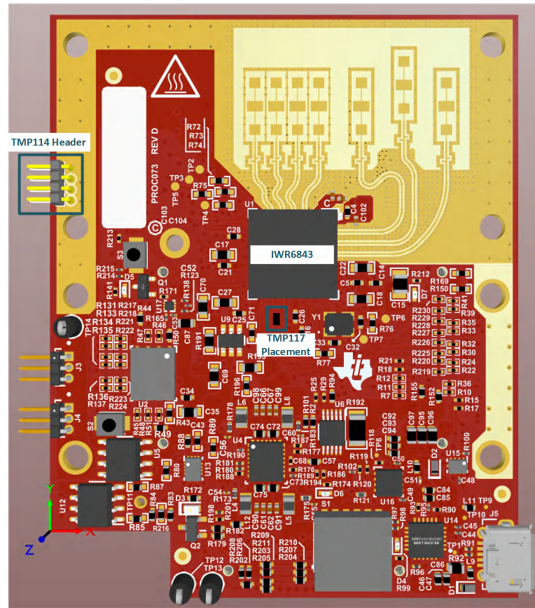


图 4-6. IWR6843ISK 评估模块

使用毫米波开箱即用演示确认了雷达电路板修改后的正确操作。还使用了 X 射线图像，收集了有关 TMP114 温度传感器放置在 IWR6843 毫米波传感器下方的更多信息。

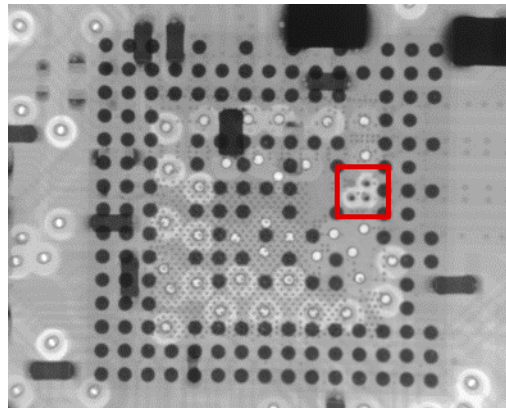


图 4-7. TMP114 温度传感器位于下方时的 IWR6843 X 射线图像

为了比较元件下 TMP114 温度传感器的性能，在雷达处理器旁边放置了一个 TMP117 温度传感器。这样设计的目的是使这两个传感器都可以与 MSP430 微控制器连接，以便在相同的 500ms 间隔内读回温度数据。

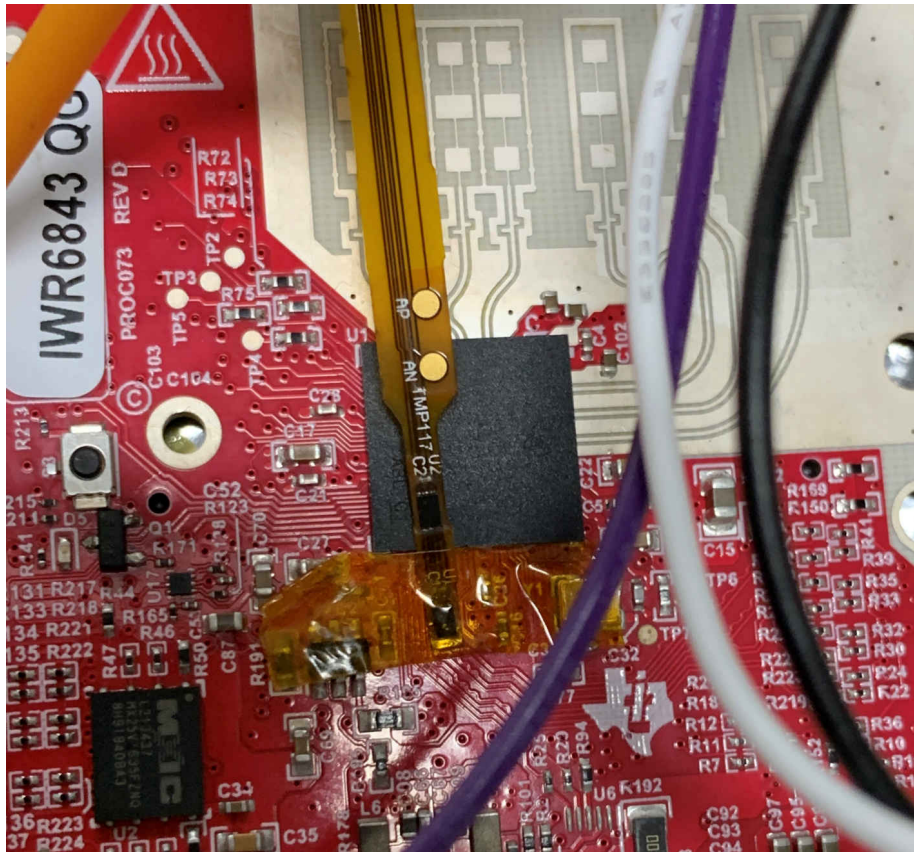


图 4-8. TMP114 和 TMP117 温度传感器测试设置

图 4-9 中显示了 IWR6843 毫米波传感器开始加热时的温升，其中显示了两款器件间的热响应和精度差异。随着处理器温度的升高，TMP117 温度传感器的平均测量值比 TMP114 温度传感器低 3.6°C。此外，TMP114 温度传感器能够更快地响应温升，而这种热响应时间的增加表明此类传感器放置方式十分有效。表 4-1 显示了每个器件达到 30°C 的速度以及测试运行结束时的每个测量值。尤其是在依赖过热或欠温关断机制的系统中，快速热响应和更高的精度可以避免不必要的关断，从而使系统运行更长时间。

表 4-1. 热响应比较

温度传感器	达到 30°C 的时间	152.9s 后的温度
TMP114	47.6 秒	37.2109°C
TMP117	87.1 秒	33.2421°C

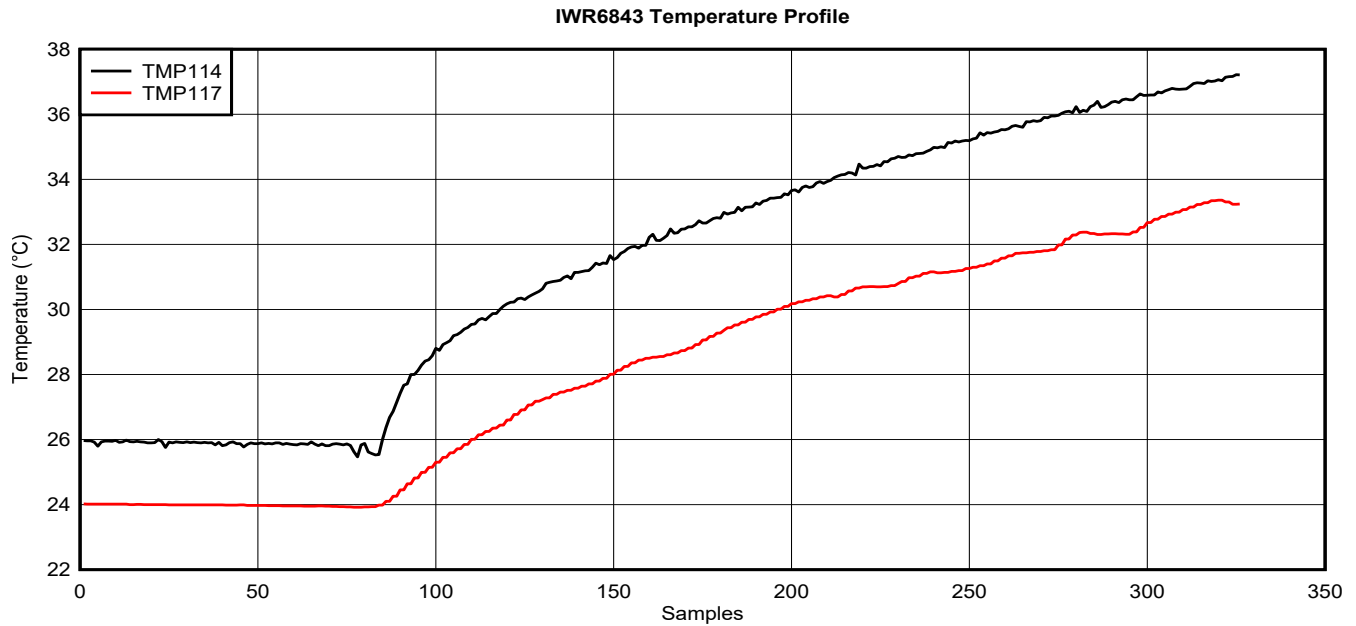


图 4-9. TMP114 和 TMP117 温度比较

5 总结

在需要温度补偿或系统需要安全关断限制的两种应用中，进行高精度元件温度监测都至关重要。采用 TMP114 或 TMP144 温度传感器等超薄集成温度传感器可很好地完成此类针对元件的温度监测。此类传感器可放置在器件下方，能够尽可能缩短距离，进而实现最佳温度相关性。

与安装在散热器上的传感器相比，这种设计方式可以更快地对温度突然变化进行响应，并且与放置在待监测的器件附近的传感器相比，该传感器返回的结果更准确。当电路板布局布线空间受限且待监测的元件与传感器之间有足够间隙时，可以考虑采用元件下温度监测。

6 参考文献

请参阅如下相关文档：

- 德州仪器 (TI), [TMP114 具有 I²C 接口的超薄、1.2V 至 1.8V 电源、高精度数字温度传感器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [TMP144 具有 SMAART Wire™/UART 接口的低功耗数字温度传感器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [AWR2243 评估模块 \(AWR2243BOOST\) 毫米波检测解决方案](#) 用户指南。
- 德州仪器 (TI), [60GHz 毫米波传感器 EVM](#) 用户指南
- 德州仪器 (TI), [DCA1000EVM 数据采集卡](#) 用户指南

7 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (July 2021) to Revision A (April 2023)	Page
• 添加了 TMP117 测试和结果.....	7

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司