

摘要

本应用手册回顾了相关数据，提供了有关使用负温度系数 (NTC) 环形接线片热敏电阻监测散热器温度的建议，并通过 Fluke® TiS60+ 热成像仪，比较了 NTC 型环形接线片和 TMP6 型环形接线片的准确度。我们从系统的角度为设计人员汇总了本应用手册中讨论的结果，从而为环形接线片热敏电阻应用提供了设计权衡。

内容

| | |
|---------------------------|-----------|
| 1 散热器温度传感器监测 | 2 |
| 2 测试概述 | 2 |
| 2.1 硬件..... | 3 |
| 2.2 隔离式栅极驱动器..... | 6 |
| 2.3 IGBT 模块..... | 6 |
| 2.4 NTC 环形接线片..... | 7 |
| 2.5 TMP6 环形接线片..... | 7 |
| 2.6 原理图..... | 9 |
| 3 测试实现 | 11 |
| 3.1 收集的数据..... | 14 |
| 3.2 测试结果..... | 15 |
| 4 设计建议 | 15 |
| 4.1 TMP6 的环形接线片..... | 15 |
| 4.2 导热环氧树脂..... | 17 |
| 5 总结 | 18 |
| 6 参考文献 | 19 |

插图清单

| | |
|---|----|
| 图 1-1. 用于散热器温度检测的等效热电路..... | 2 |
| 图 2-1. TIDA-020030 硬件..... | 3 |
| 图 2-2. Keysight E3631A 电源..... | 3 |
| 图 2-3. Sorensen DCS 40-25E 可编程直流电源..... | 4 |
| 图 2-4. B&K Precision 8500 直流电子负载..... | 4 |
| 图 2-5. TDS3014B Tektronix 数字示波器..... | 5 |
| 图 2-6. Fluke TiS60+ 热成像仪..... | 5 |
| 图 2-7. MSP430F5529LP LaunchPad™ 微控制器..... | 6 |
| 图 2-8. NTCALUG01A NTC 环形接线片..... | 7 |
| 图 2-9. 添加了环氧树脂和热缩管的 TMP6 环形接线片..... | 7 |
| 图 2-10. 环形接线片热敏电阻 PCB..... | 8 |
| 图 2-11. 完整的原理图..... | 9 |
| 图 2-12. 隔离式栅极驱动器电路..... | 10 |
| 图 3-1. 输入 PWM 信号..... | 11 |
| 图 3-2. 输出 PWM 驱动器信号..... | 11 |
| 图 3-3. 热敏电阻串行数据..... | 12 |
| 图 3-4. 负载和直流电源..... | 12 |
| 图 3-5. IGBT 模块输出..... | 13 |
| 图 3-6. 散热器温度..... | 13 |
| 图 3-7. 散热器最终温度..... | 14 |
| 图 3-8. TMP6 环形接线片最终温度..... | 14 |

| | |
|-------------------------------|----|
| 图 3-9. NTC 环形接线片最终温度..... | 14 |
| 图 4-1. LPG (TO-92S) 封装外形..... | 16 |
| 图 4-2. JST 8-4..... | 17 |
| 图 5-1. 室温下的测试硬件..... | 18 |
| 图 5-2. 热敏电阻温度响应..... | 19 |

表格清单

| | |
|------------------|----|
| 表 3-1. 温度数据..... | 15 |
|------------------|----|

商标

Keysight™ is a trademark of Keysight Technologies, Inc.
 Sorensen™ is a trademark of AMETEK, Inc.
 B&K Precision™ is a trademark of B&K Precision Corporation.
 LaunchPad™ and MSP430™ are trademarks of Texas Instruments.
 Fluke® is a registered trademark of Fluke Corporation.
 Tektronix® is a registered trademark of Tektronix, Inc.
 Vishay® is a registered trademark of Vishay Intertechnology, Inc.
 所有商标均为其各自所有者的财产。

1 散热器温度传感器监测

跟踪关键元件温度的一种常见方法是捕获与相关器件接触的散热器的温度，如图 1-1 所示。从机械角度看，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 1-1 显示了该方法的等效热电路，其中 $R_{\theta JC(IGBT)}$ 是从绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 模块结点到模块封装顶部的热阻。

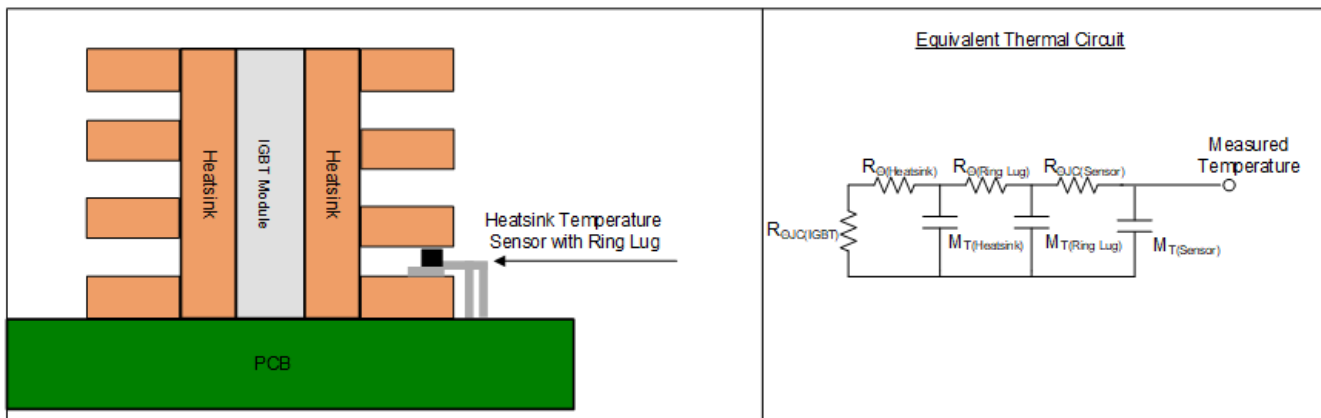


图 1-1. 用于散热器温度检测的等效热电路

使用这种温度监测方法时，传感器的测量温度取决于几个关键因素：热敏电阻、环氧树脂和用于接触的安装螺栓。本应用手册的以下各节探讨了使用环形接线片热敏电阻测量散热器温度时的权衡和注意事项。

2 测试概述

本应用手册中执行的测试使用 [TIDA-020030](#) 参考设计。[TIDA-020030](#) 是一款 IGBT 或 SiC 隔离式栅极驱动器功率级，可驱动绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 模块并提供高级保护功能。该参考设计驱动牵引逆变器系统。该参考设计使用以下子系统执行测试：高侧和低侧隔离式栅极驱动器、栅极驱动脉冲宽度调制 (PWM) 监控、隔离式电源和 IGBT 模块。

2.1 硬件

图 2-1 显示了 TIDA-020030 硬件和具有双面冷却功能的 IGBT 模块，还显示了隔离式栅极驱动器 UCC21732-Q1 的位置。散热器对称地连接到 IGBT 模块的顶部和底部，以实现最佳的冷却效果。PCB 丝印概述了驱动板上的隔离栅。

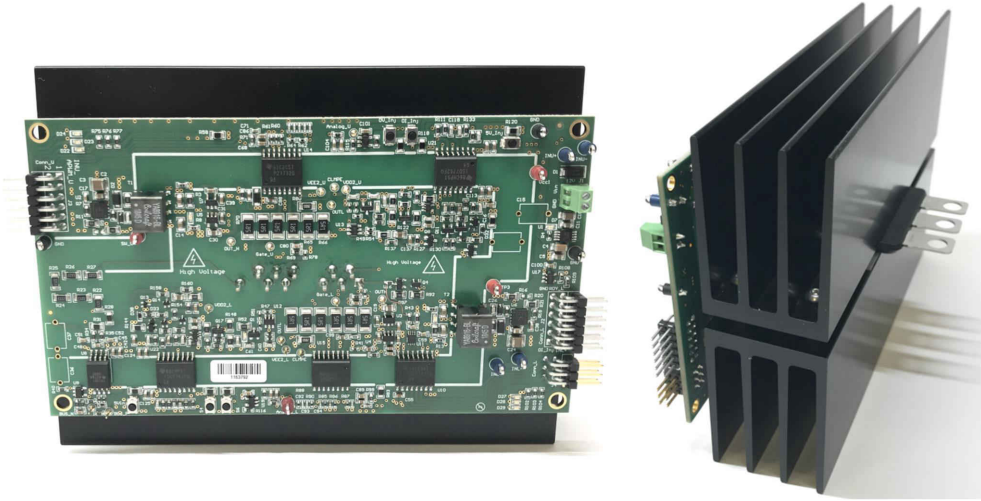


图 2-1. TIDA-020030 硬件

此外，还使用以下实验室测试设备：

- 直流电源
- 可编程直流电子负载
- 示波器

2.1.1 Keysight E3631A 电源

Keysight™ E3631A (Agilent) 电源专为通用应用而设计。该测试中使用的电源通道的输出额定值为 0 至 25V 和 0 至 1A。电源配置为 15V 直流电源，用于向信号板施加直流电源。

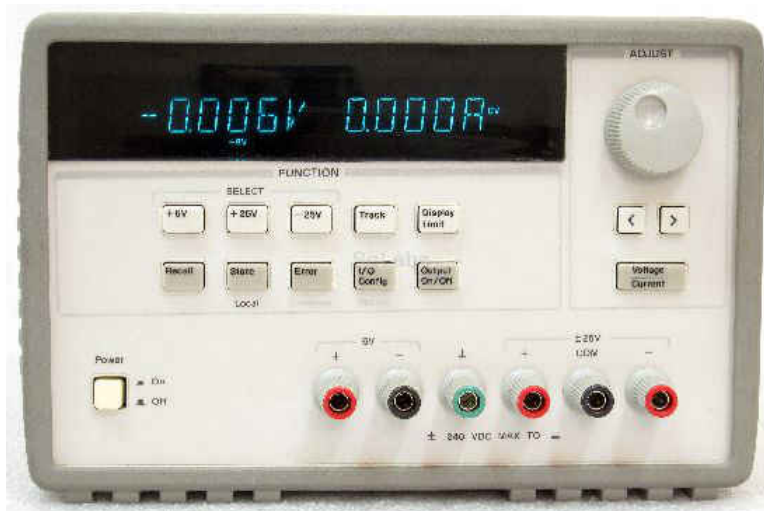


图 2-2. Keysight E3631A 电源

2.1.2 Sorensen™ DCS 40-25E 可编程直流电源

Sorensen™ DCS 40-25E 可编程直流电源专为需要采用高频开关技术的小尺寸直流电源的广泛应用而设计。该电源的输出为 0V 至 40V 和 0A 至 25A，输出功率为 1.0kW。该直流电源为 IGBT 模块提供 15V 直流电和 20A 电流。



图 2-3. Sorensen DCS 40-25E 可编程直流电源

2.1.3 B&K Precision™ 8500 直流电子负载

B&K Precision™ 8500 直流电子负载可用于测试和评估各种直流电源。电子负载可在恒定电流 (CC)、恒定电压 (CV)、恒定电阻 (CR) 或恒定功率 (CP) 模式下运行，同时实时测量和显示电压和电流或电阻和功率值。8500 型号提供高达 300W 的输出功率，工作电压为 0.1V 至 120V，额定电流为 30A。B&K Precision 电子负载配置为用于 IGBT 模块电源的 15V 和 20A 电源。



图 2-4. B&K Precision 8500 直流电子负载

2.1.4 TDS3014B Tektronix® 数字示波器

TDS3014B 是 Tektronix® 提供的 100MHz、4 通道数字示波器。示波器测量电子电路或元件中随时间变化的电压或电流信号，以显示振幅、频率和上升时间等。应用包括故障排除、生产测试和设计。数字示波器用于确认隔离式栅极驱动器输入和输出以及 IGBT 模块的运行和功能。



图 2-5. TDS3014B Tektronix 数字示波器

2.1.5 Fluke® TiS60+ 热成像仪

Fluke® TiS60+ 热成像仪是一款可测量高达 400°C 的温度并捕获温度距离的热像仪。利用热成像仪，可以对图像进行可配置的发射率设置和导出控制。该热像仪还使用红外融合技术将可见光和红外图像组合到一个图像中，从而提高清晰度。Fluke TiS60+ 热成像仪用作在整个测试过程中获得的温度测量值的第二个参考。



图 2-6. Fluke TiS60+ 热成像仪

2.1.6 MSP430F5529LP LaunchPad™

MSP430F5529LP LaunchPad™ 是适用于 MSP430F5529 USB 微控制器的廉价、简单的开发套件。该开发套件具有用于编程和调试的板载仿真功能以及用于简单用户界面的按钮和 LED，提供了一种在 MSP430™ MCU 上开始开发的简单方法。MSP430 LaunchPad™ 开发套件为 IGBT 栅极驱动器提供 PWM 信号，该信号用于微控制器模拟输入上热敏电阻的数据收集。

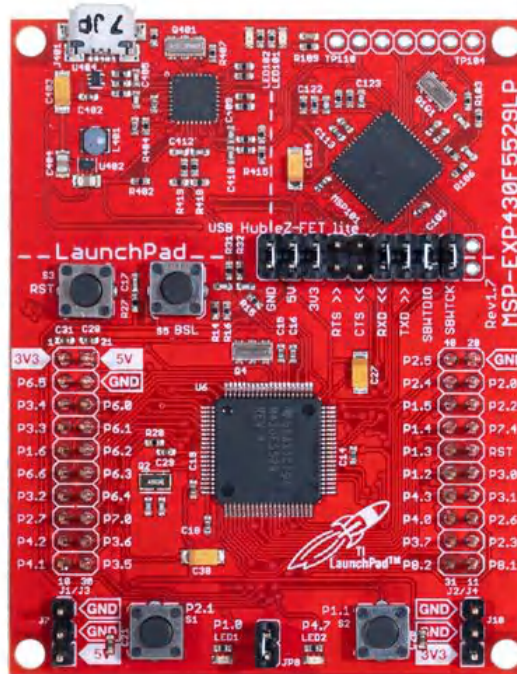


图 2-7. MSP430F5529LP LaunchPad™ 微控制器

2.2 隔离式栅极驱动器

[TIDA-020030](#) 参考设计具有两个专为高达 1700V 的 SiC MOSFET 和 IGBT 而设计的 [UCC21732-Q1](#) 电隔离单通道栅极驱动器，并提供高级保护功能。[UCC21732-Q1](#) 栅极驱动器具有高达 $\pm 10A$ 的驱动强度，支持高达 $1.5kV_{RMS}$ 的工作电压和 $12.8kV_{PK}$ 的浪涌抗扰度，隔离栅寿命超过 40 年。[UCC21732-Q1](#) 栅极驱动器用于驱动 IGBT 模块的高侧和低侧，但该测试仅使用高侧驱动器。

2.3 IGBT 模块

Infineon [FF400R07A01E3_S6](#) IGBT 半桥模块是一款适用于混合动力和电动汽车应用的紧凑型半桥模块。[FF400R07A01E3_S6](#) 模块专为双面冷却 (DSC) 而设计。[FF400R07A01E3_S6](#) 的工作温度高达 $150^{\circ}C$ ，受限工作温度高达 $175^{\circ}C$ 。该模块的额定电压高达 700V，额定电流高达 400A，最大功率耗散为 1500W。栅极阈值的典型值为 5.80V。

2.4 NTC 环形接线片

Vishay® 提供的 NTCALUG01A 系列电阻器是环形接线片式 NTC 热敏电阻。NTC 热敏电阻芯片焊接到 24 线规绞合镀银铜引线上，采用 PTFE (聚四氟乙烯) 绝缘并采用环氧树脂涂层进行绝缘。绝缘传感器连接到镀锡铜环形接线片上。引线被剥离、扭曲并浸入锡银焊料合金中。专为该测试选择的 NTCALUG01A103FLA 具有以下规格：符合汽车 AEC Q-200 标准、10k Ω 标称电阻、1% 电阻器容差、1% B 容差以及 -40°C 至 150°C 工作范围。

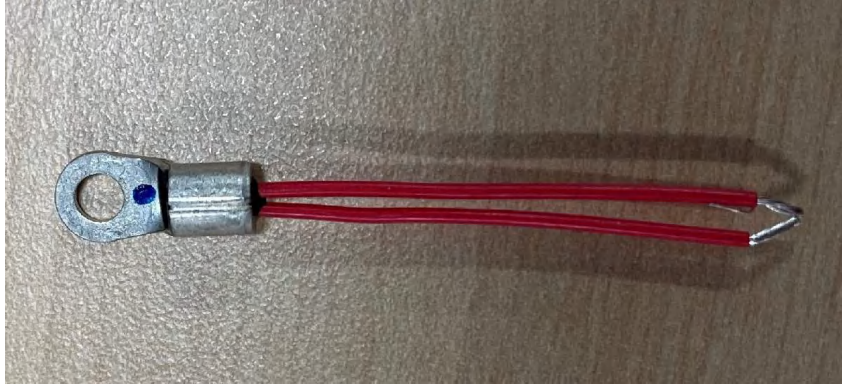


图 2-8. NTCALUG01A NTC 环形接线片

2.5 TMP6 环形接线片

TMP61-Q1 是一款硅基线性热敏电阻，可在整个温度范围内提供线性度和始终如一的灵敏度，支持使用简单而准确的方法进行温度转换。LPG 封装是一种 2 引脚穿孔 TO-92S 封装。该封装适用于 JST5.5-S3 环形接线片端子。采用 LPG 封装的 TMP61-Q1 覆盖有环氧树脂 (MG Chemicals 导热环氧树脂 8329TCM) 和电线。向器件的引线添加了热缩管。TMP61-Q1 的规格如下：经测试符合 Q-200 标准，标称电阻为 10k Ω ，电阻器容差为 1%，工作温度范围为 -40°C 至 170°C。

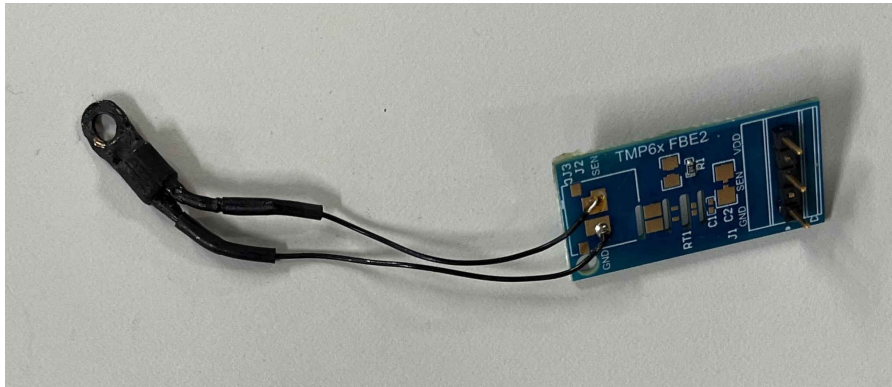


图 2-9. 添加了环氧树脂和热缩管的 TMP6 环形接线片

该测试中使用的所有环形接线片式热敏电阻都连接到 PCB 板，这些板包含偏置电阻器和用于为热敏电阻供电以及测量热敏电阻电压的引脚。环形接线片还喷涂了哑光黑色涂料，以便在使用 Fluke TiS60+ 热成像仪时测量准确的温度，如图 2-10 所示。

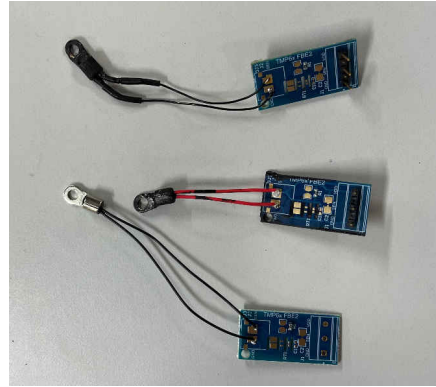


图 2-10. 环形接线片热敏电阻 PCB

2.6 原理图

图 2-11 显示了本应用手册中使用的 TIDA-020030 参考设计原理图部分。图 2-12 中所示原理图的突出显示部分是本应用手册中测试的重点。

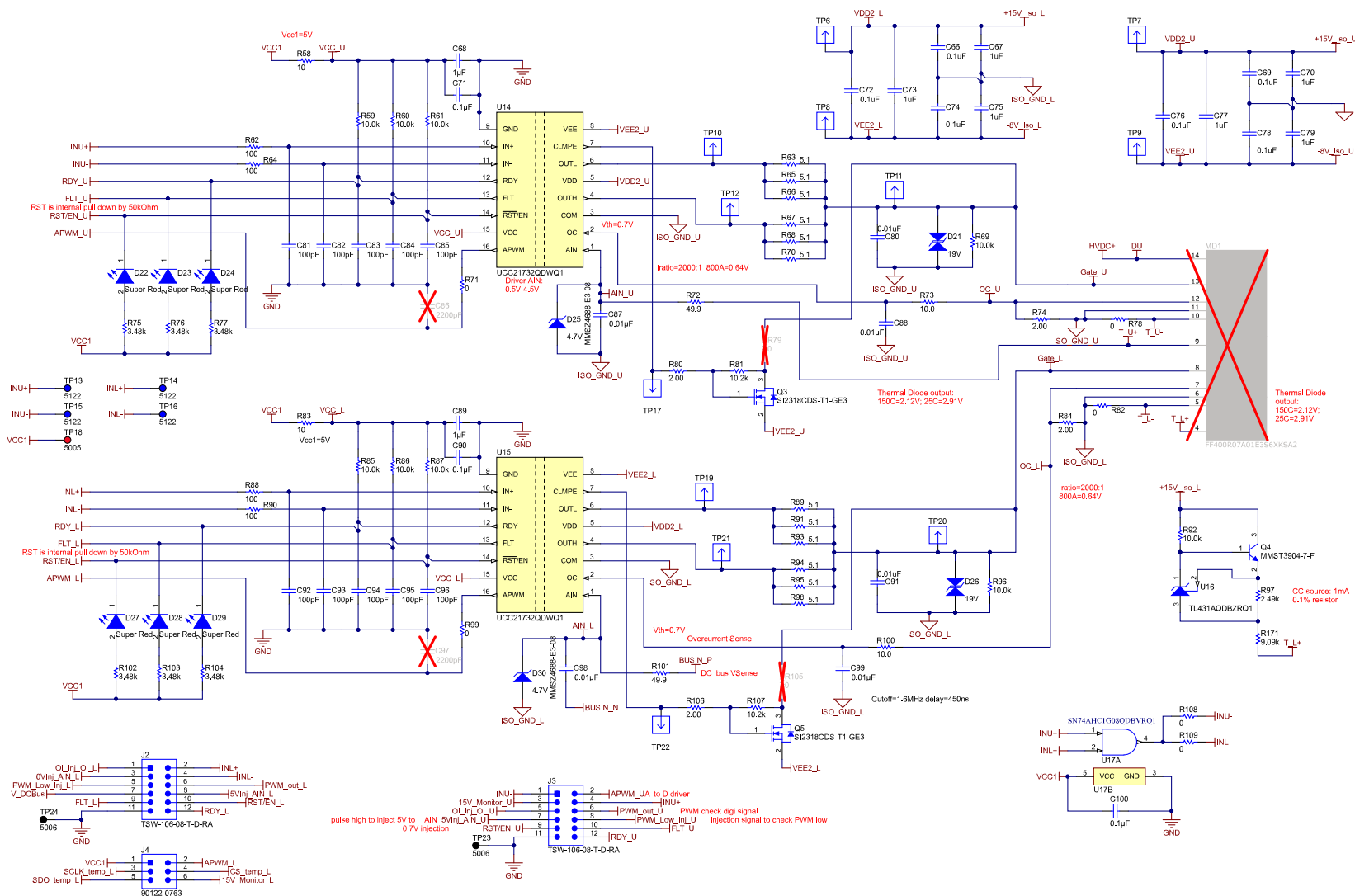


图 2-11. 完整的原理图

3 测试实现

向信号调节板施加 15V 的直流电源。

向 UCC21732-Q1 的 IN+ 引脚施加设置为 80% 占空比 (频率为 15kHz) 的模拟 PWM 信号。图 3-1 显示了输入波形。隔离式栅极驱动器将输入升压至 OUTA 上的 15V 输出，以通过引脚 13 驱动 IGBT 模块 MOSFET。

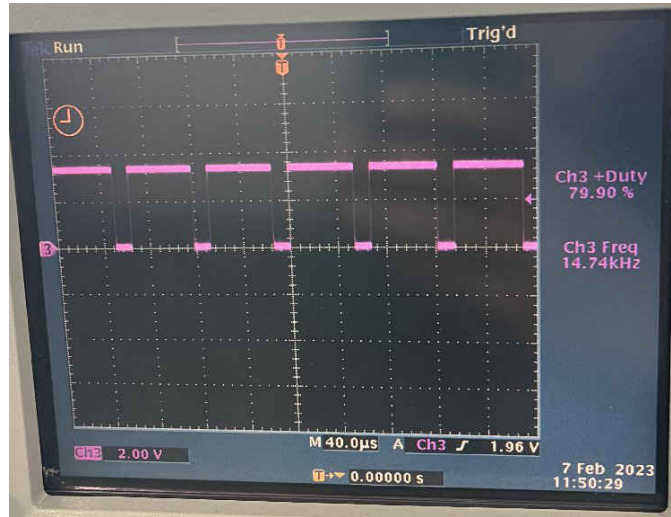


图 3-1. 输入 PWM 信号

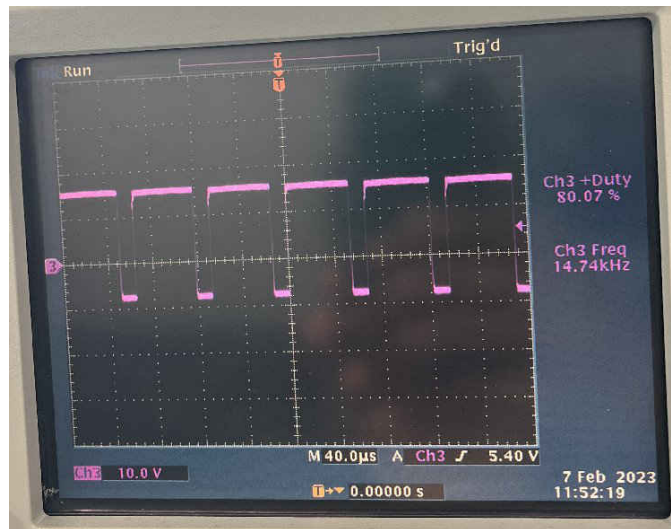


图 3-2. 输出 PWM 驱动器信号

测量来自热敏电阻的模拟输入以确认报告的温度是否正确。MSP430 上的软件将模拟电压转换为 TMP6 和 NTC 环形接线片热敏电阻的温度值。温度输出到串行监视器，如图 3-3 所示。

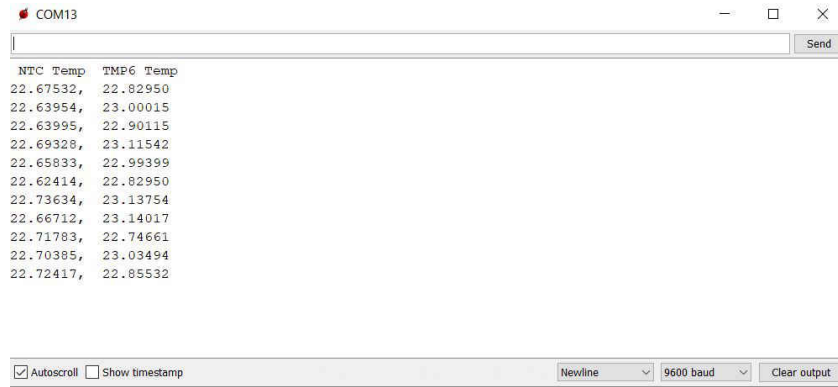


图 3-3. 热敏电阻串行数据

确认初始测量值后，为 IGBT 模块供电。IGBT 模块接收 15V 直流电压和 20A 电流。

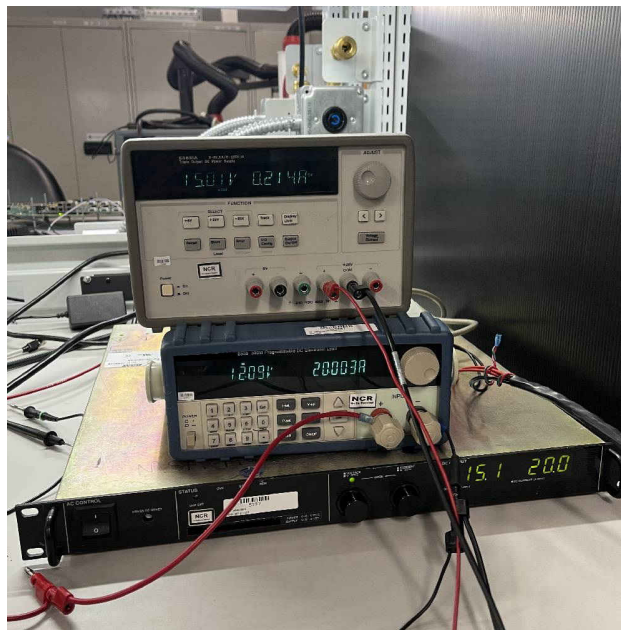


图 3-4. 负载和直流电源

示波器测量 IGBT 模块的开关和系统的温度，尤其是散热器的温度，散热器被监测以确保发生变化。散热器温度稳定上升，从而使环形接线片热敏电阻的温度测量值增大。

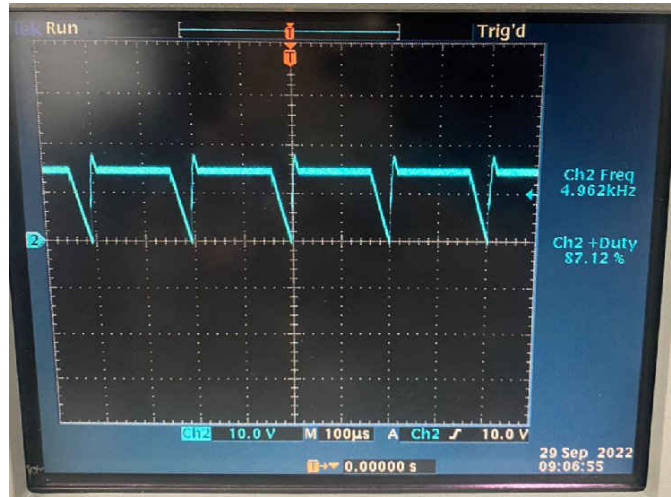


图 3-5. IGBT 模块输出

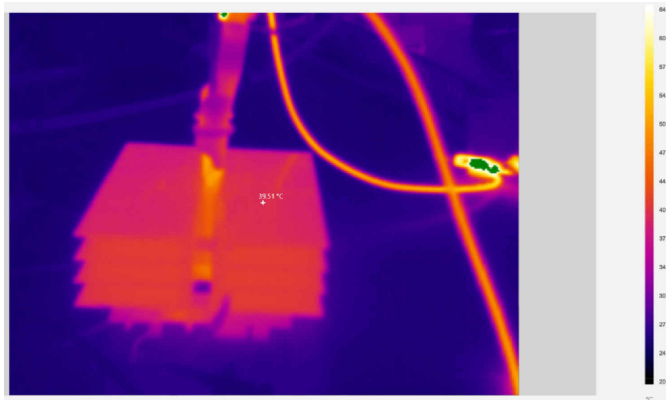


图 3-6. 散热器温度

允许系统运行，并在系统温度开始升高时监测散热器温度。从环形接线片热敏电阻以及环形接线片和散热器的热像图获取信号测量值。

3.1 收集的数据

让散热器运行 20 分钟后，使用 FLIR 热像仪收集散热器顶部、TMP6 环形接线片和 NTC 环形接线片的温度。如图 3-7 所示，散热器顶部的温度测量值为 60.3°C。图 3-8 和图 3-9 显示 TMP6 和 NTC 环形接线片温度分别为 58.3°C 和 58.8°C。所有温度都很好地相互对应。

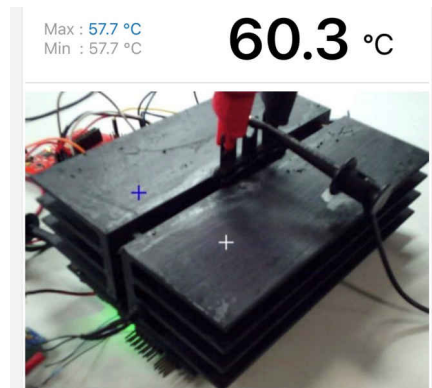


图 3-7. 散热器最终温度

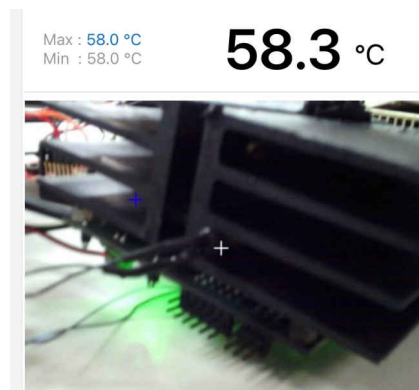


图 3-8. TMP6 环形接线片最终温度

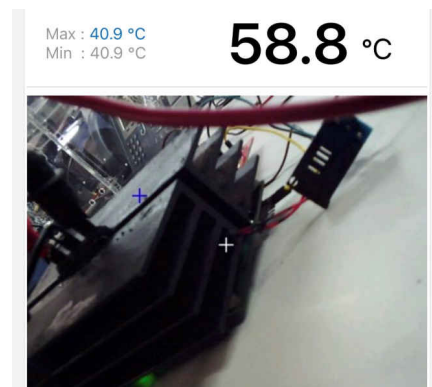


图 3-9. NTC 环形接线片最终温度

表 3-1 显示了记录的最终温度。

表 3-1. 温度数据

| FLIR 热像图数据 | | | 热敏电阻电压反馈 | |
|------------|---------------|-------------|------------|-----------|
| 散热器温度 | TMP61 环形接线片温度 | NTC 环形接线片温度 | TMP6 报告的温度 | NTC 报告的温度 |
| 60.3°C | 58.3°C | 58.8°C | 53.5°C | 46.3°C |

3.2 测试结果

表 3-1 中的数据表明，尽管散热器和环形接线片的测量温度非常相似（偏差在 1°C 至 2°C 以内），但热敏电阻提供的温度信息并不具有相同的准确度水平。TMP6 的温度测量值相对于测得的环形接线片温度具有大概 5°C 的误差，相对于散热器的温度测量值最终具有 7°C 的误差。NTC 报告的温度准确度较低，相对于环形接线片温度具有 12°C 的误差，相对于散热器的温度测量值具有 14°C 的误差。当比较 TMP6 和 NTC 报告的温度信息时，可以发现 TMP6 比 NTC 准确 7°C。

尽管 TMP6 和 NTCALUG01A103FLA 均被指定为 1% 容差热敏电阻，但可能有多种原因导致温度准确度差异。使用环形接线片配置的热敏电阻时，影响温度准确度的两个主要因素是环形接线片本身和环形接线片内用于将热量传导至热敏电阻传感器的导热环氧树脂。为了控制测试条件并使两种环形接线片式热敏电阻具有相似的条件，NTC 和 TMP6 使用相同的环形接线片。两种环形接线片式热敏电阻之间的唯一的显著区别是所使用的导热环氧树脂。导热环氧树脂被认为是温度准确度差异的最主要因素。

4 设计建议

考虑到影响温度准确度的两个主要因素是环形接线片本身和导热环氧树脂，本节提供了在决定使用环形接线片来创建环形接线片式热敏电阻时有关 TMP6 的建议和注意事项。

4.1 TMP6 的环形接线片

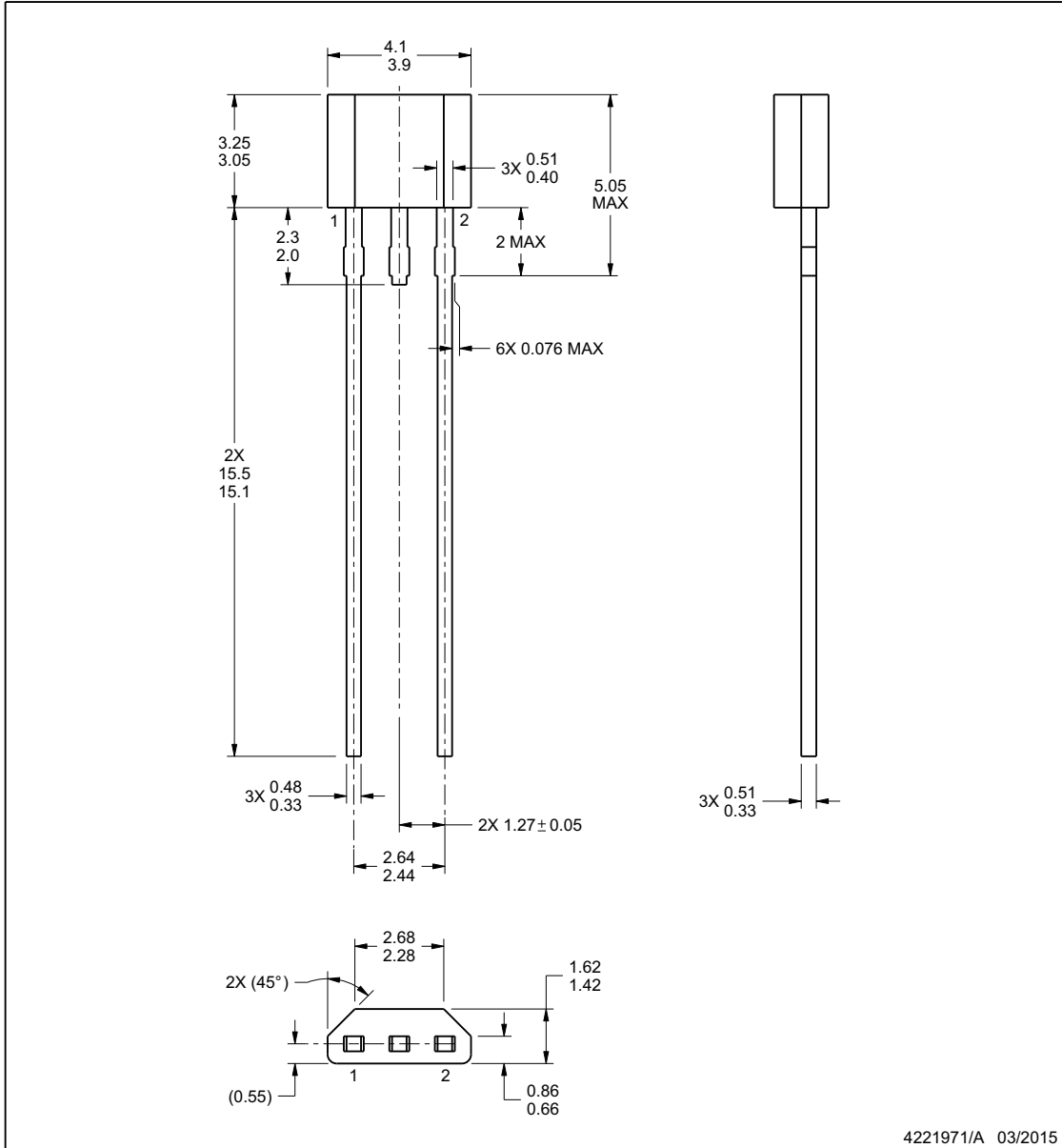
选择环形接线片来创建环形接线片式热敏电阻需要评估多个尺寸。本文档介绍了 TMP6 LPG (TO92-S) 封装的尺寸。TMP61 LPG 封装的主要尺寸是整个封装的宽度为 3.9mm - 4.1mm，封装前后的长度为 1.42mm - 1.62mm，引线之间的距离为 2.44mm 至 2.64mm。主要尺寸是 3.9mm - 4.1mm 的宽度和 1.42mm - 1.62mm 的长度。这些尺寸决定了哪些环形接线片可用于给定的应用。



LPG0002A

PACKAGE OUTLINE
TO-92 - 5.05 mm max height

TO-92



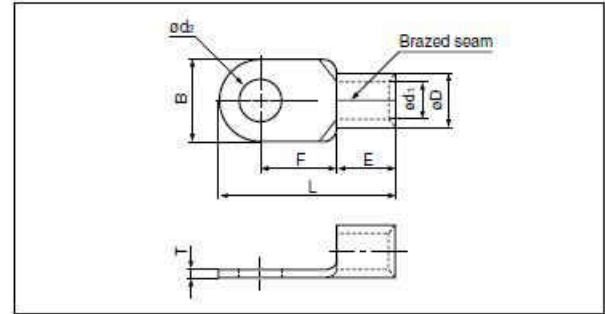
NOTES:

1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.

www.ti.com

图 4-1. LPG (TO-92S) 封装外形

Solderless terminals
RING TONGUE (R type) Non-Insulated



| Applicable Wire AWG/(mm ²) | Stud size | | Part No. | | Standard | Dimensions mm (in.) | | | | | | | Tool No. | Qty/box | |
|---|-----------|--------|----------|-------|----------|---------------------|-------------|-------------|------------|------------|---------------|----------------|---------------|--|-------|
| | American | Metric | JST | JIS | | d ₂ | B | L | F | E | d | d ₁ | | | T |
| 8 (6.64 to 10.52) | 8 | 4 | 8-NK4 | | ④ ⑧ | 4.3 (.169) | 9.0 (.354) | 16.5 (.650) | 5.8 (.228) | 6.2 (.244) | | | | YHT-8S YA-4 YPT-60N YF-1 YET-60-1 E-4 (Note 2) | 500 |
| | 8 | 4 | 8-4NS | | ④ ⑧ | 4.3 (.169) | 8.0 (.315) | 21.8 (.858) | 9.3 (.366) | 8.5 (.335) | | | | YHT-8S YA-4, YA-5 YPT-60N YPT-150-1 BCT-0514 BCT-880N BCT-8150 YF-1 YET-60-1 E-4 YET-150-1 | 1,000 |
| | 8 | 4 | 8-4 | | ④ ⑧ | 4.3 (.169) | 12.0 (.472) | 23.8 (.937) | 9.3 (.366) | 8.5 (.335) | | | | | 500 |
| | 10 | 5 | 8-NK5 | | ④ ⑧ | 5.3 (.209) | 9.0 (.354) | 16.5 (.650) | 5.8 (.228) | 6.2 (.244) | | | | YHT-8S YA-4 YPT-60N YF-1 YET-60-1 E-4 (Note 2) | 500 |
| | 10 | 5 | 8-5NS | | ④ ⑧ | 5.3 (.209) | 9.0 (.354) | 22.3 (.878) | 9.3 (.366) | | 7.1 (.280) | 4.5 (.177) | 1.2 (.047) | | 1,000 |
| | 10 | 5 | 8-5 | *R8-5 | ④ ⑧ ⑨ | 5.3 (.209) | 12.0 (.472) | 23.8 (.937) | 9.3 (.366) | | | | | | 500 |

图 4-2. JST 8-4

JST 无焊非绝缘环形舌片端子的数据表提供了设计中需要考虑的许多尺寸。螺柱尺寸很重要，具体取决于您要安装环形接线片端子的位置。根据使用的螺钉，尺寸 d₂ 也很有用。关于 TMP6 热敏电阻的宽度，请验证环形舌片内部的宽度是否允许热敏电阻安装在内部（尺寸 d₁）。

根据图 4-2，JST8-XX 系列是非绝缘环形舌片的一个好建议。JST8-4 非常适合，因为该环形舌片的内部宽度为 4.5mm，TMP6 可以安装在环形舌片内，并为添加导热环氧树脂留出了空间。JST8-4 也是 M4 螺柱尺寸，可为您的应用中的散热器安装提供足够的空间。

4.2 导热环氧树脂

环形接线片端子内部的导热粘合剂对于保持环形接线片本身与内部温度传感器之间的热传导至关重要。导热粘合剂需要具有高导热性，强电气绝缘性，对湿度、盐水和弱碱的抵抗力以及能够很好地粘合物质的粘性。建议使用 MG Chemicals 8329TCM 作为双组分导热环氧树脂粘合剂。这种粘合剂通常用作散热胶或与其他发热电子元件一起使用。如果要寻找粘度较低的粘合剂，8349TFM 就足够了。

5 总结

总之，TIDA-020030 是用于驱动给散热器加热的牵引逆变器的参考设计。散热器的温度由 NTC 和 TMP6 环形接线片式热敏电阻进行测量。在测试实施中，IGBT 模块由隔离式栅极驱动器的 PWM 输出驱动信号驱动。IGBT 模块升温后，使散热器温度升高。散热器的温度由 FLIR 热像仪捕获，并记录环形接线片式热敏电阻的温度数据。

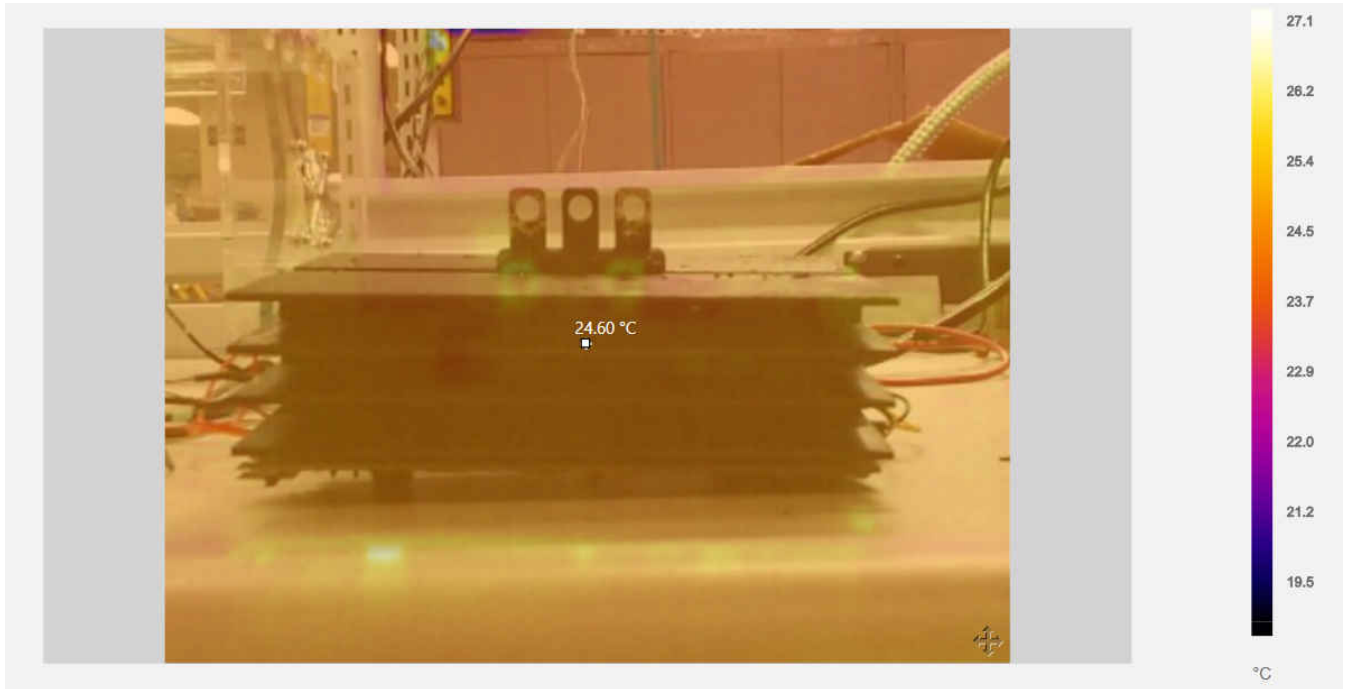


图 5-1. 室温下的测试硬件

图 5-1 显示最初处于静止状态时，散热器和环形接线片式热敏电阻处于相同的温度。

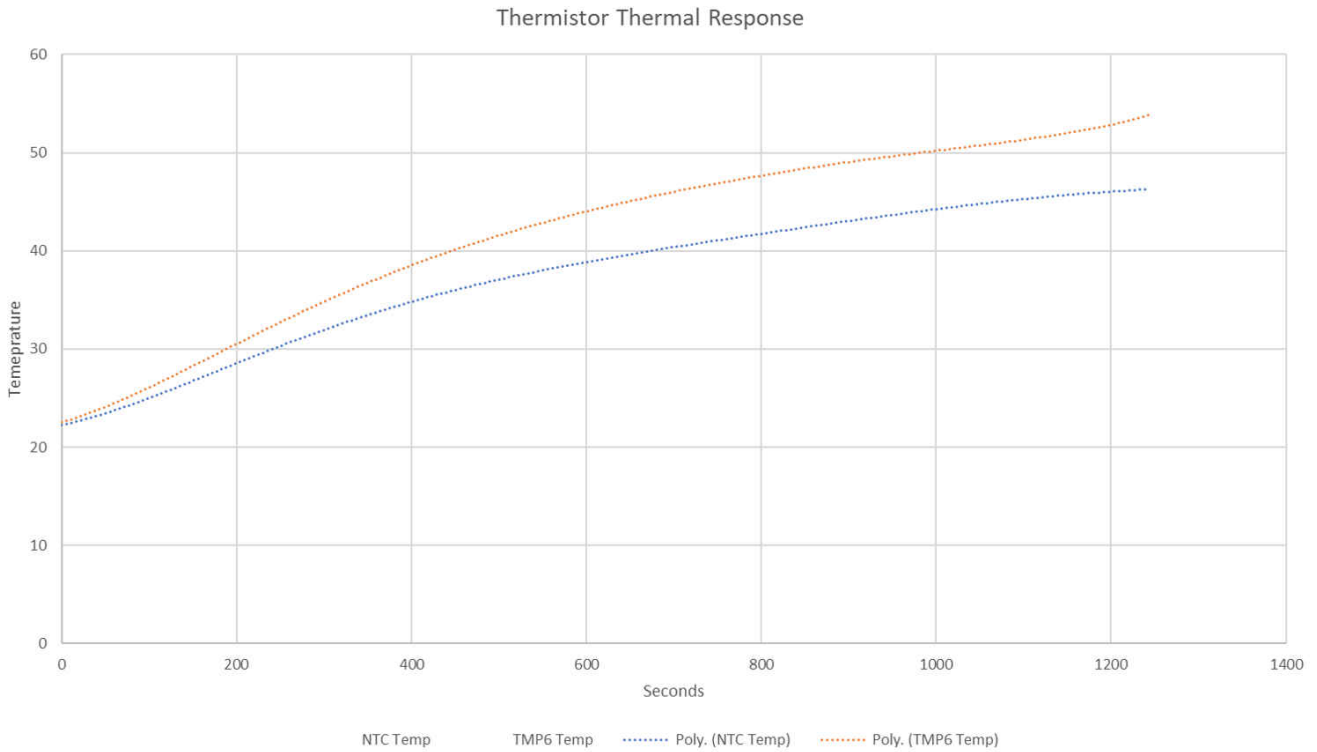


图 5-2. 热敏电阻温度响应

图 5-2 显示了两个热敏电阻的温度响应。TMP6 和 NTC 温度随着时间的推移而出现不同。开始时，温度传感器读取的初始值相同，大概为 22°C，但在 10 分钟左右产生大约 5°C 的差异，其中 TMP6 读数大概为 43°C，NTC 读数大概为 38°C。测试结束时，TMP6 热敏电阻读数为 53.5°C，而 NTC 读数为 46°C。散热器测量值为 60°C 时，TMP6 提供了更准确结果，相差 7°C。响应图显示在整个时间段内，TMP6 始终提供更准确的结果。

6 参考文献

1. 德州仪器 (TI)，在 [ADS1235](#) 和 [ADS1261](#) 中使用交流激励模式降低电桥测量偏移量和温漂 应用简报

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