

Application Note

TMCS1123 霍尔效应电流传感器热分析



Joseph Scherphorn, Carolus Andrews

摘要

TMCS1123 等封装内磁性电流传感器是一种有创式电流测量方法，通过非磁性引线框使几安培的电流流经器件，从而导致封装内部产生热损耗。这些损耗通常受布局和印刷电路板的影响，因为额外的铜能够帮助从封装中散出热量，从而减轻系统的整体热响应。本文通过小样本实验，研究了 TMCS1123 在不同铜厚度和 PCB 铜面积下的应用案例，以探讨这些铜增强设计如何帮助减轻应用中的热响应。

内容

1 引言.....	2
2 带 CB70-14-CY 铜接线片的 TMCS11xxEVM 初步检查.....	3
3 试验设置与讨论.....	5
4 用例 1：覆铜重量.....	6
5 用例 2：多边形大小.....	9
6 总结.....	11
7 参考资料.....	11

插图清单

图 2-1. TMCS1123EVM 部分、A1 型号、标准配置、灵敏度 = 25mV/A.....	3
图 2-2. 2 个样本器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、3oz 铜、>60A.....	3
图 2-3. 2 个器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、4oz 铜、>60A.....	3
图 3-1. TMCS1123EVM、汇流条配置.....	5
图 4-1. TMCS1123EVM 部分、A4 型号、灵敏度 = 100mV/A.....	6
图 4-2. 5 个器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、1oz 铜.....	7
图 4-3. 5 个器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、2oz 铜.....	7
图 4-4. 5 个器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、3oz 铜.....	7
图 4-5. 5 个器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、4oz 铜.....	7
图 4-6. 5 个器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、5oz 铜.....	8
图 4-7. 5 个器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、6oz 铜.....	8
图 4-8. 所有铜重量的 TMCS1123EVM 热响应曲线.....	8
图 5-1. TMCS1123EVM，40% EVM 平面.....	9
图 5-2. 5 个器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、40% EVM 平面.....	9
图 5-3. TMCS1123EVM，60% EVM 平面.....	9
图 5-4. 5 个器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、60% EVM 平面.....	9
图 5-5. TMCS1123EVM，80% EVM 平面.....	10
图 5-6. 5 个器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、80% EVM 平面.....	10
图 5-7. 所有铜尺寸下的 TMCS1123EVM 热响应曲线.....	10

表格清单

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

在设计有创电流感应方法时，必须注意确保热问题得到有效控制。无论热量是否持续存在于传统电流分流监测器的分流器中，还是仅仅是霍尔效应电流传感器等器件的引线框上出现的损耗，如果没有充分的规划和适当处理，热失控都可能迅速引发设计问题。

TMCS11xxEVM 是一系列评估模块，旨在快速、方便地评估 TMCS1123、TMCS1126、TMCS1127 和 TMCS1133 系列器件。这些器件是具备增强型隔离功能的霍尔效应电流检测监测器，配备多项可选附加功能，例如用于差分测量的内置基准输出、过流阈值功能和热诊断选项。该 EVM 采用 2 层结构，每层铜厚为 4oz。与许多必须在正常运行条件下优化内部功率损耗的器件一样，许多数据表参数都基于此特定布局和散热模型。这在类似的半导体器件中很常见，因为根据器件的布局，设备可能面临无数种使用场景，产品制造商通常希望在理想条件下展示器件，尽可能地消除布局对性能的影响。

因此，使用这类器件进行设计时常常面临一个挑战：其评估模块为器件提供了一个适用于广泛应用场景的专用评估用例，但通常不提供有关典型设计中存在限制（如空间限制或功率预算）的信息。本文简要探讨了两种影响器件性能的情况：调整与 TMCS1123EVM 相同拓扑的铜重量，以及在原评估模块的 4oz 层叠结构下减小铜平面尺寸，目的是了解这些决策如何能优化系统的成本和空间。

2 带 CB70-14-CY 铜接线片的 TMCS11xxEVM 初步检查

TMCS11xxEVM 套件中附带了一对 CB70-14-CY 90A 额定铜接线片，用于在为特定信号选择正确测量仪表电缆的情况下，将电流安全地传输到 EVM。这些接线片使用户能够相对快速地在所选产品系列的不同灵敏度变体之间切换，只需拧紧到所需的变体，并在系统通电前确保连接牢固。它们还支持重复使用，因为用户的电缆是通过拧紧固定在端子上，而不是焊接成一次性设计。图 2-1 显示了 TMCS1123 用户指南中所述的标准方向 EVM 的单个面板，未连接电缆。

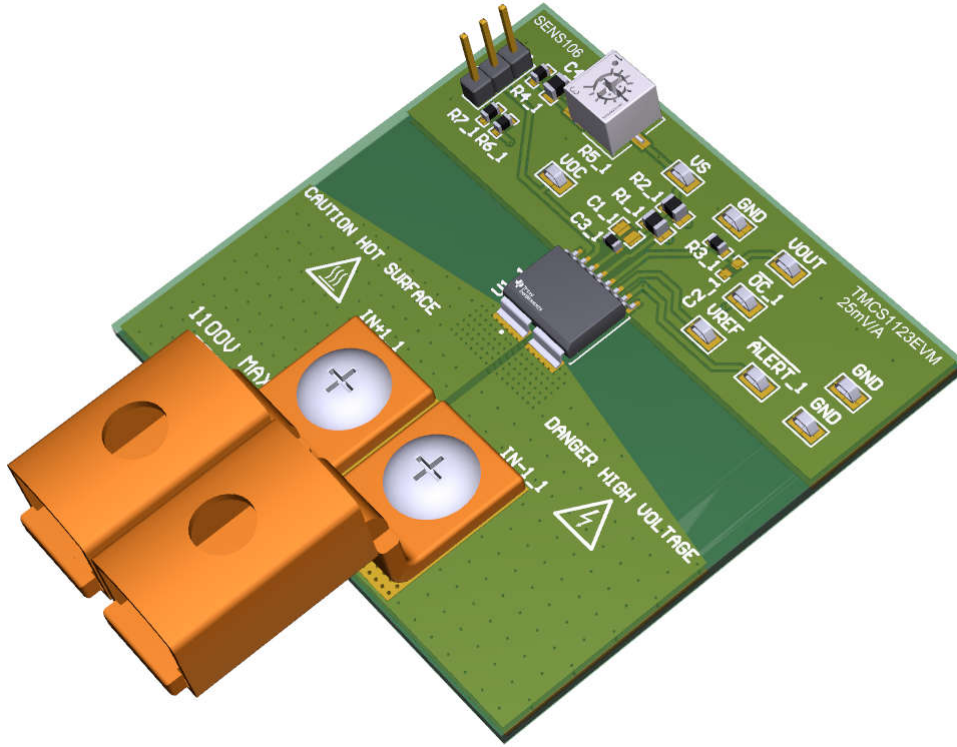


图 2-1. TMCS1123EVM 部分、A1 型号、标准配置、灵敏度 = 25mV/A

该系统最初开发时，对镶板产品的单一版本进行了不同铜重量的研究，最终确定了目前可用的 4oz 最终版本。图 2-2 和图 2-3 分别展示了 3oz 和 4oz 覆铜的电路板性能测量结果。尽管两者性能相近，但最终选择了 4oz 覆铜，因为其在 60A 以上电流下的性能略有提升。

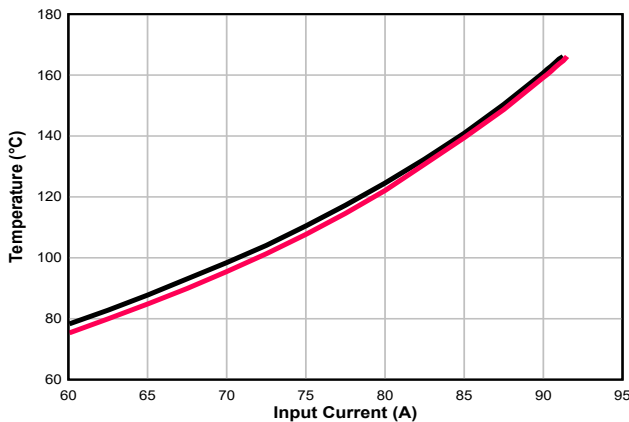


图 2-2. 2 个样本器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、3oz 铜、>60A

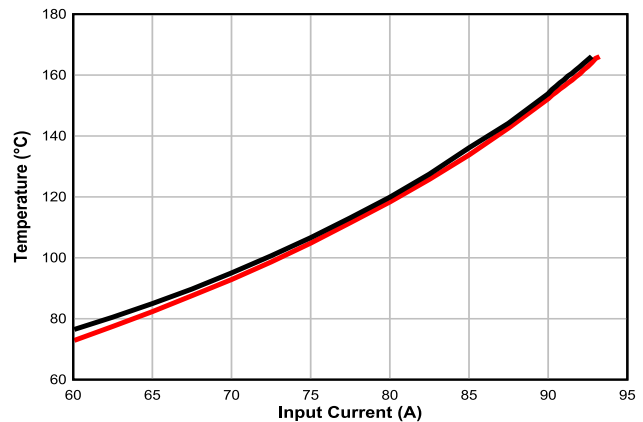


图 2-3. 2 个器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、4oz 铜、>60A

在器件的 80A 最大工作点，观察到 4oz 覆铜相较于 3oz 覆铜的测量平均点温度降低了约 5°C。如图所示，配备 4oz 平面的 EVM 在结温达到 165°C 的绝对最大额定值之前，能够承载高达约 93A 的电流。但由于多种因素（如基础铜厚度公差、供应商选用的起始铜厚度以及清洁工艺次数等），构建规格范围内的铜厚度可能因批次不同而有所差异。因此，需留出足够的余量以确保器件在给定规范下运行（如覆铜重量部分所示），即使在潜在的最坏情况下，也预留了足够的余量。

3 试验设置与讨论

本应用手册中进行实验的设置包括与被测器件串联的高电流负载，以及驱动负载所需的电源。所用电路板的渲染图如图 3-1 所示。从图表中可以看出，在每次测试中，对于给定的电路板重量或多边形尺寸，所有五个样品均以串联方式同时运行，从而确保所有电路板承受相同的电流。

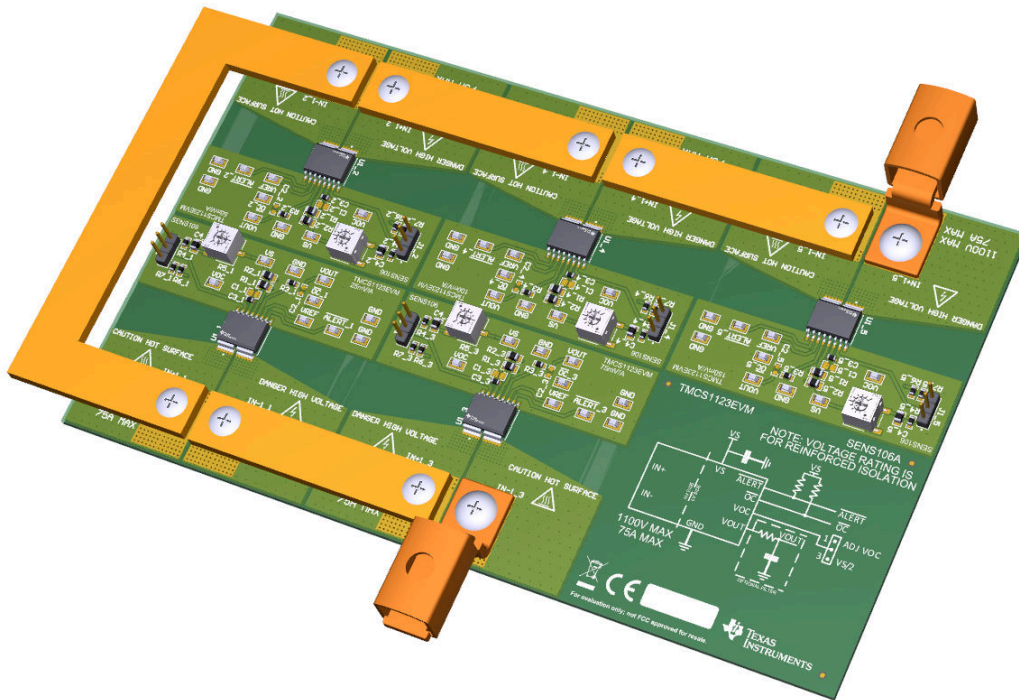


图 3-1. TMCS1123EVM、汇流条配置

使用 LabVIEW 对测试过程进行了自动化处理，因为热平衡需要较长时间以确保测量点之间达到真正的热平衡。在每块电路板上执行了以下步骤来捕获曲线：

1. 为所有负载上电，并使用必要的电源为测试环路供电。
2. 在 DUT 中创建电流、从 0A 开始、以 5A 为增量步进。
3. 温度测量间隔为 1 秒。电流保持在当前水平、直到两次测量之间的残余温度小于 100m°C。
4. 移动下一个 5A 电流步进，重复步骤 2-3。
5. 重复步骤 2-4，直到第一个器件达到 150°C
6. 将步进间隔减少至每步 250mA，从上一个流程中实现的最大步进开始构建。
7. 温度测量间隔为 1 秒。电流保持在当前步进，直到两次测量之间的残余温度小于 100m°C。
8. 重复步骤 5-6，直到第一个器件达到 165°C
9. 关闭所有电源，切断测试环路的电源。

需要注意的是，虽然使用了相同的 EVM 拓扑结构，但串联汇流条的加入有效改变了电路板的阻抗特性，并在整个 EVM 上产生了局部热特征。这减少了每个器件所能承受的总负载，但简化了整个电流范围内的测试过程。测试中还观察到，接线片和汇流条连接处的热效率至关重要，同时也需要保证铜平面的完整性。在组装过程中，需确保覆铜未受损，并保证连接紧密，以尽量降低热阻。

4 用例 1：覆铜重量

第一种研究案例是与铜重量有关的器件热性能。每次实验运行时，TMCS1123 评估模块的确切尺寸都保持不变，并将堆栈层更改为指示的铜重量。图 4-1 展示了 TMCS1123EVM 的典型占用空间。图 4-2 到 图 4-7 分别显示了 1oz 至 6oz 铜的测量数据。

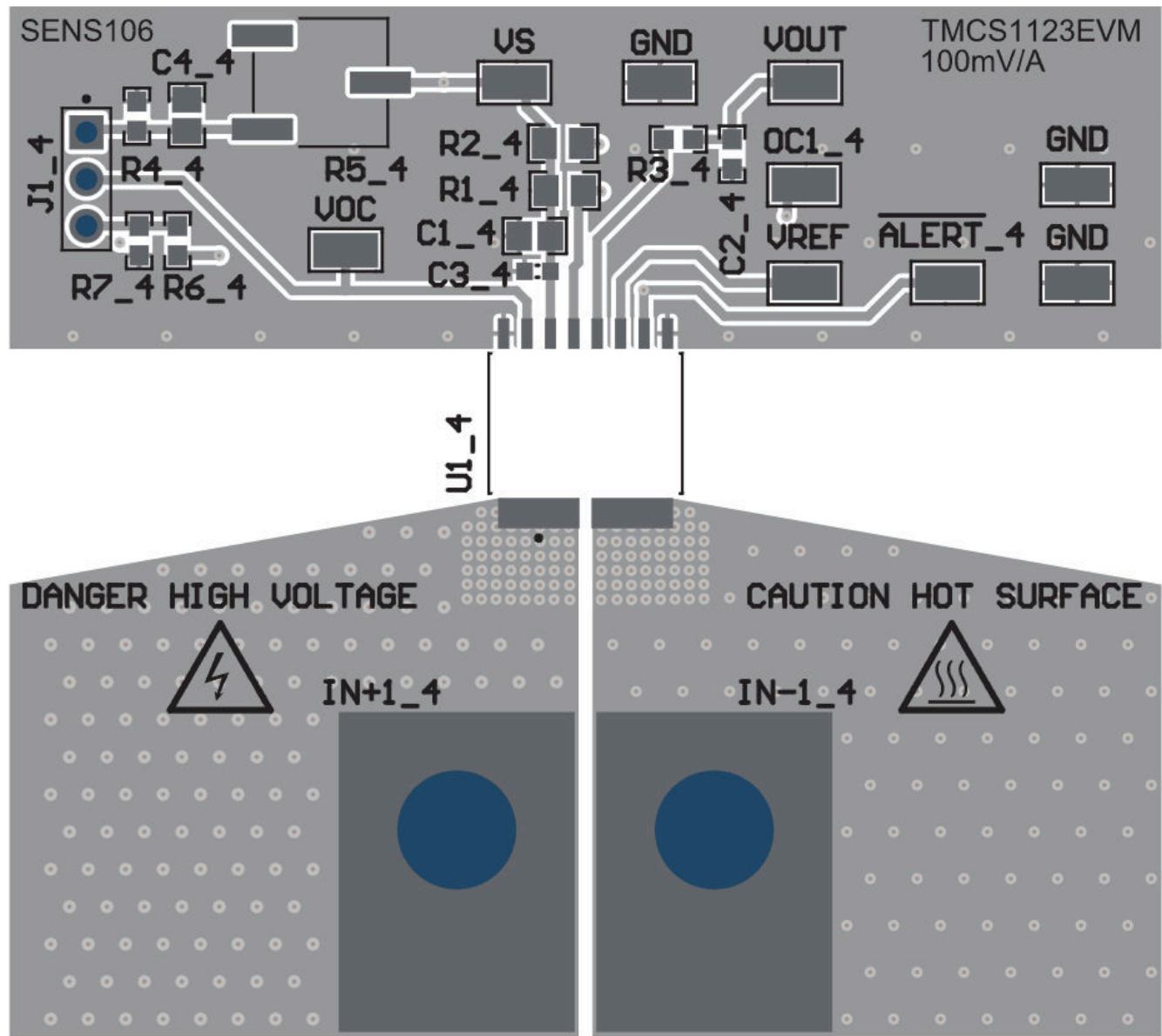


图 4-1. TMCS1123EVM 部分、A4 型号、灵敏度 = 100mV/A

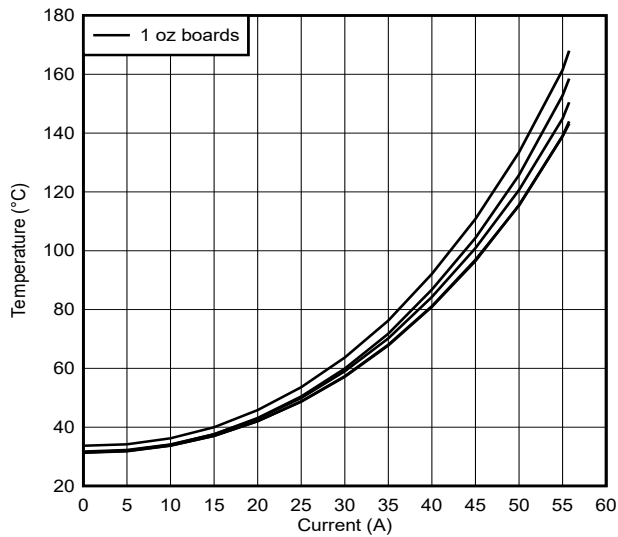


图 4-2. 5 个器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、1oz 铜

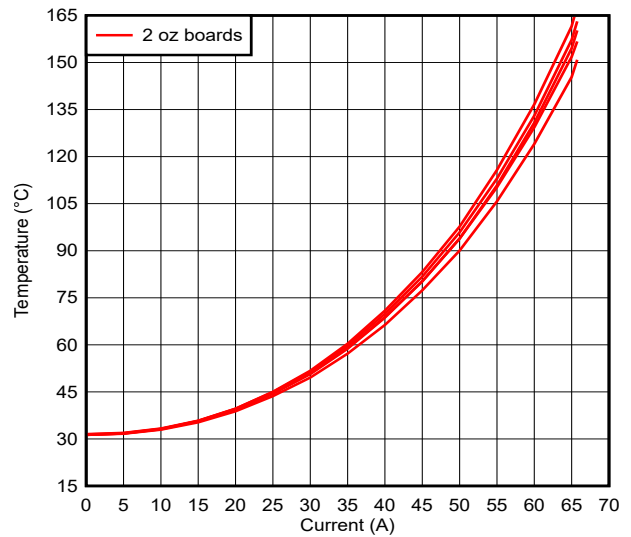


图 4-3. 5 个器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、2oz 铜

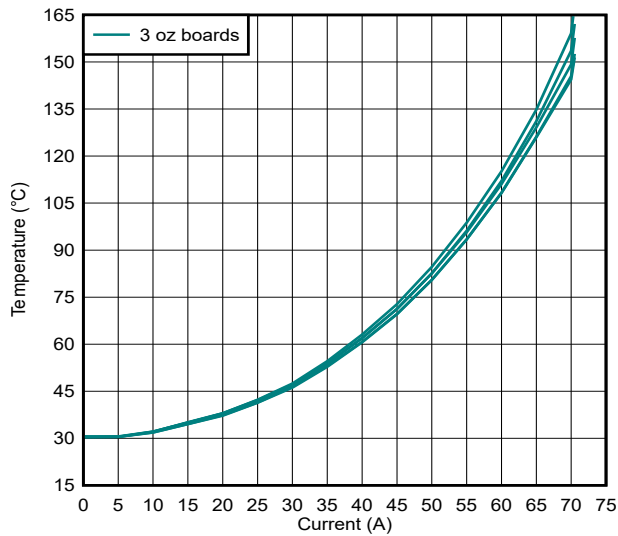


图 4-4. 5 个器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、3oz 铜

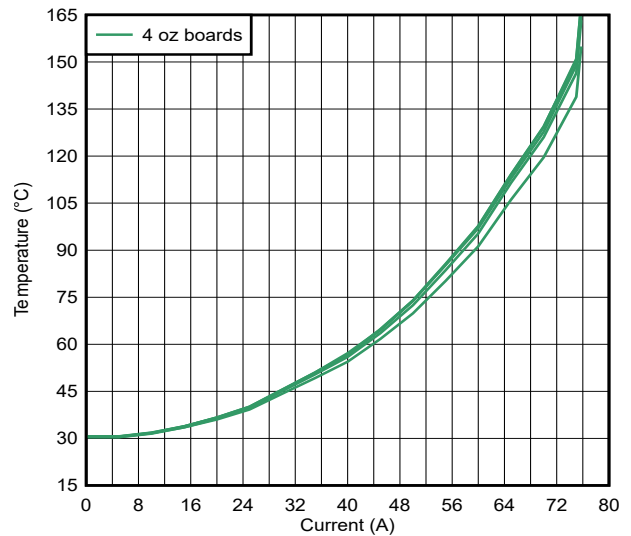


图 4-5. 5 个器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、4oz 铜

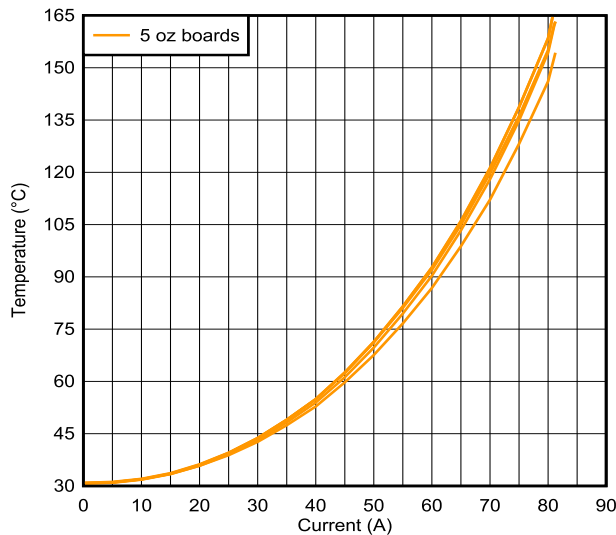


图 4-6. 5 个器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、5oz 铜

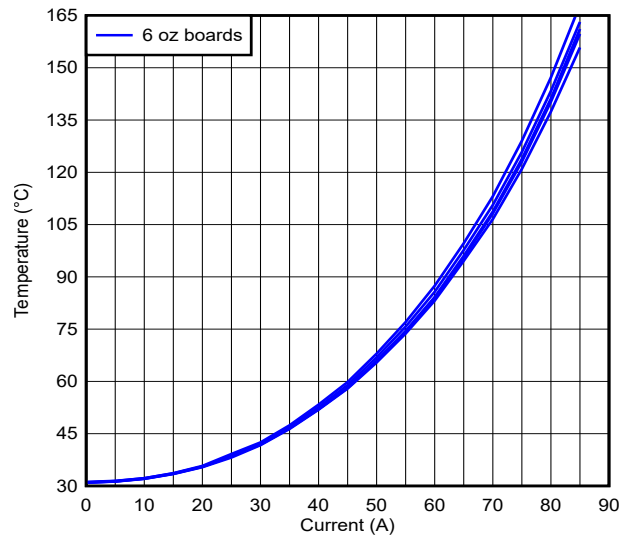


图 4-7. 5 个器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、6oz 铜

图 4-8 检查上面捕获的相同曲线，并将所有数据叠加在一起，以根据电流增长时的重量变化来评估改进情况。

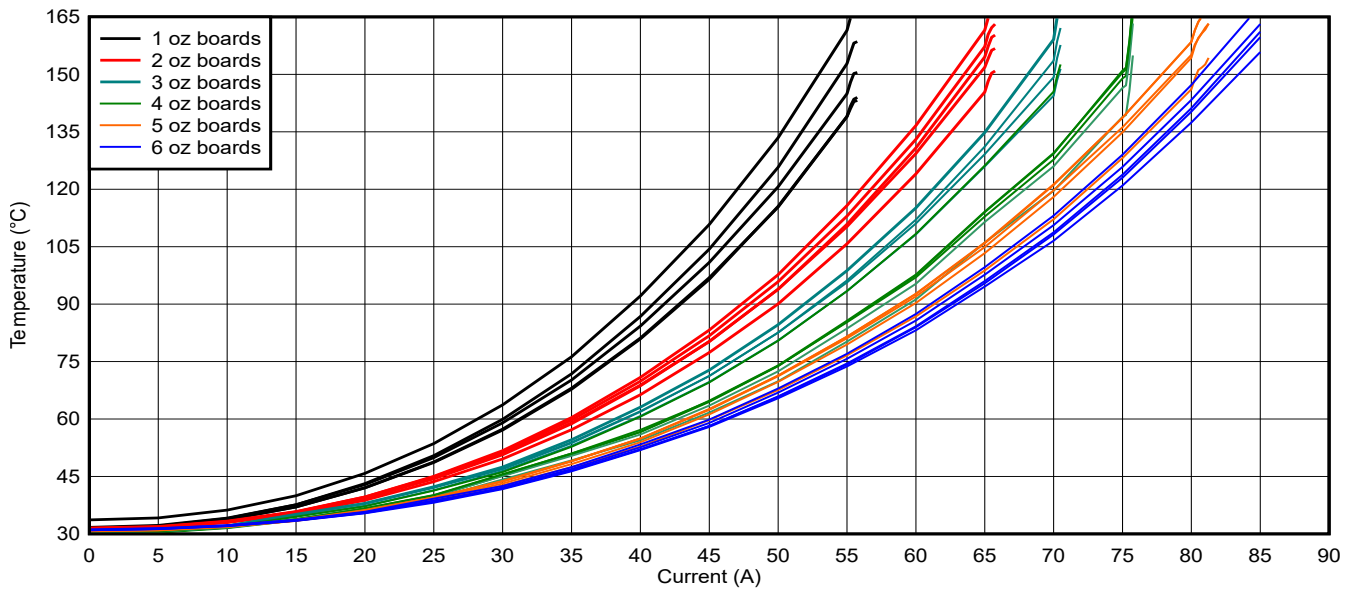


图 4-8. 所有铜重量的 TMCS1123EVM 热响应曲线

从该图中可以观察到以下情况：

- 铜厚度加倍会带来大致相同量级的性能提升，至少在厚度较低时是这样的。从 1oz 增加到 2oz，电流能力从 55A 提升到 65A，大约提高了 10A。当铜厚度达到 4oz 时，电流能力提升至 75A，再次提高了 10A，这是从 2oz 翻倍增加到 4oz 的结果。不过，6oz 铜能够提供 85A 的电流能力，根据相同的关系，预计 8oz 铜也能达到类似的性能。
- 在更高的铜厚度下，例如超过 4oz 时，我们开始看到性能提升的回报逐渐减少。虽然 6oz 相对于 5oz 有所提升，5oz 相对于 4oz 也有所提升，但这些曲线的分布更加紧凑，某些最差情况的器件性能甚至与下一个铜重量的最佳情况相当。
- 如前所述，电路板制造的公差和能力可能导致不同电路板之间的热特性存在差异。以 1oz 数据为例，当性能最差的器件温度达到 165°C 时，最佳性能器件仅为 145°C。因此，设计中必须留出足够的余量，以应对不同批次间的差异，确保设计成功。

5 用例 2：多边形大小

析的第二种情况是，在相同电流扫描条件下减小多边形尺寸。从上面可以看出，4oz 铜重量剖面是本实验的起点，因为这是完整的 100% 平面拓扑。每个通向 EVM 的多边形的 PCB 面积约为 900mm^2 ，相当于两个 2 层 4oz 过孔拼接平面的 1800mm^2 。根据这个基础计算，计算出该区域 40%、60% 和 80% 的比例，并将这些区域从 PCB 中移除，同时保持设计的 PCB 多边形覆铜形状。图 5-1、图 5-3 和 图 5-5 显示了移除铜后的拓扑，而 图 5-2、图 5-4 和 图 5-6 显示了相应比率下的器件性能。

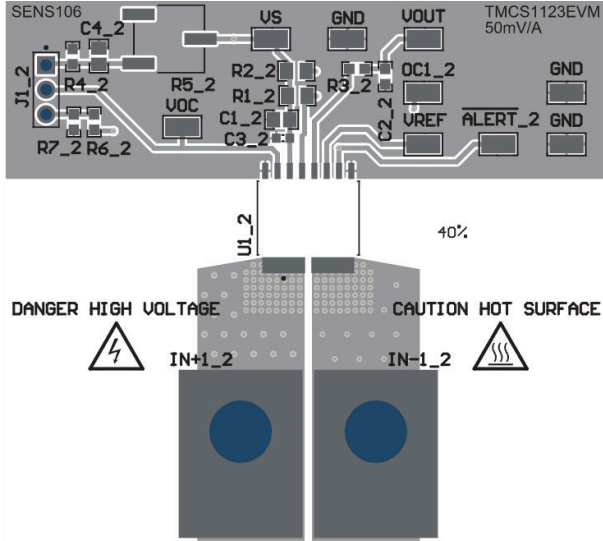


图 5-1. TMCS1123EVM，40% EVM 平面

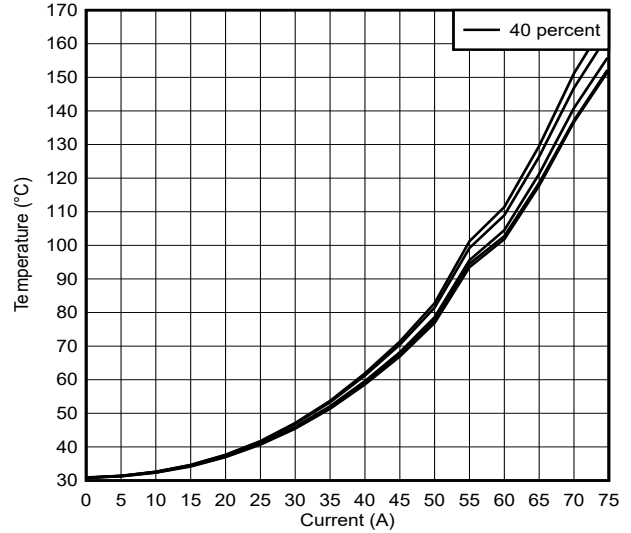


图 5-2. 5 个器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、40% EVM 平面

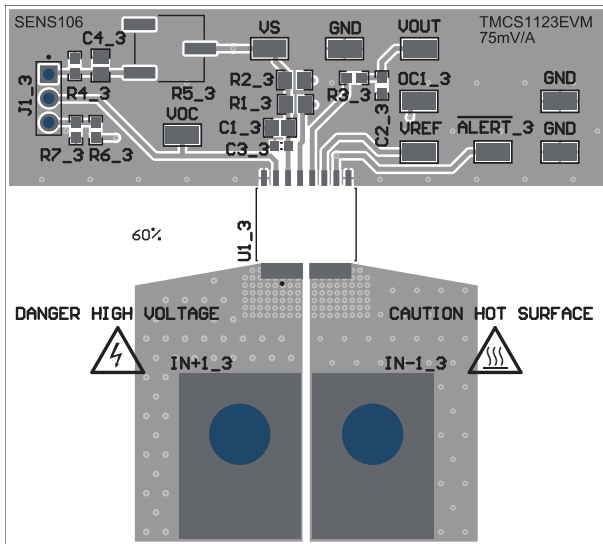


图 5-3. TMCS1123EVM，60% EVM 平面

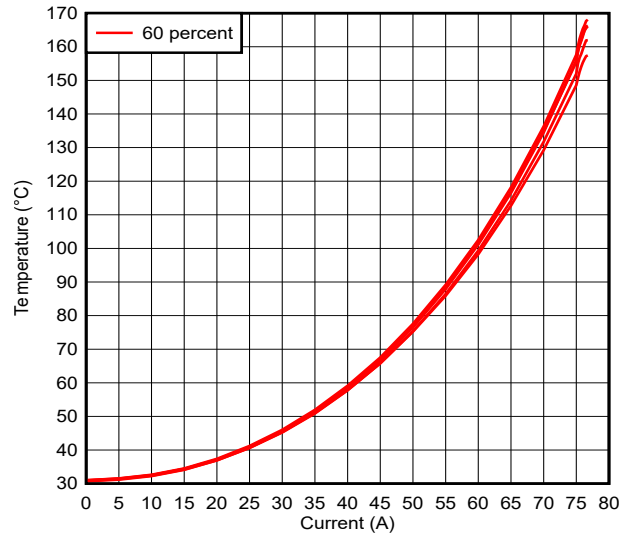


图 5-4. 5 个器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、60% EVM 平面

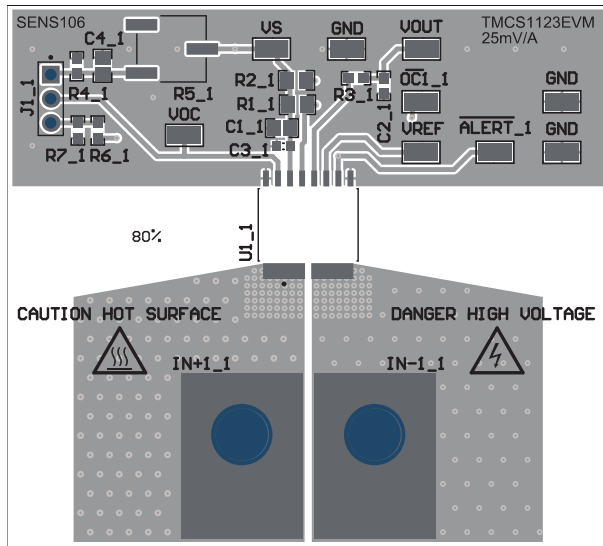


图 5-5. TMCS1123EVM，80% EVM 平面

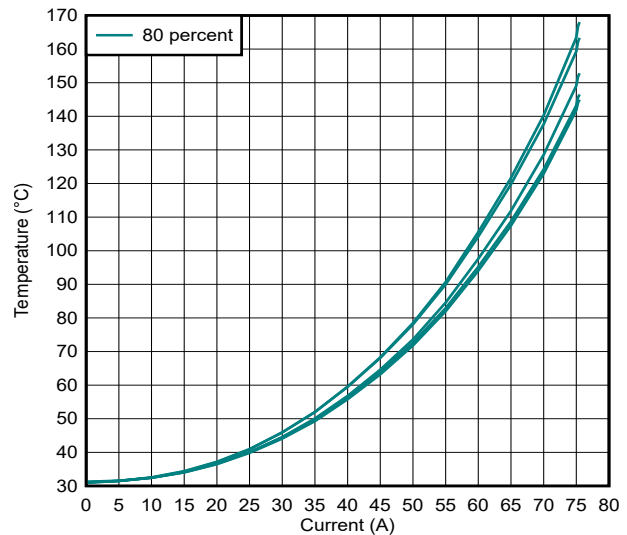


图 5-6. 5 个器件的 TMCS1123EVM 热响应曲线、80% EVM 平面

然后，这些响应会再次叠加，以检查图 5-7 中不同百分比下的行为表现。

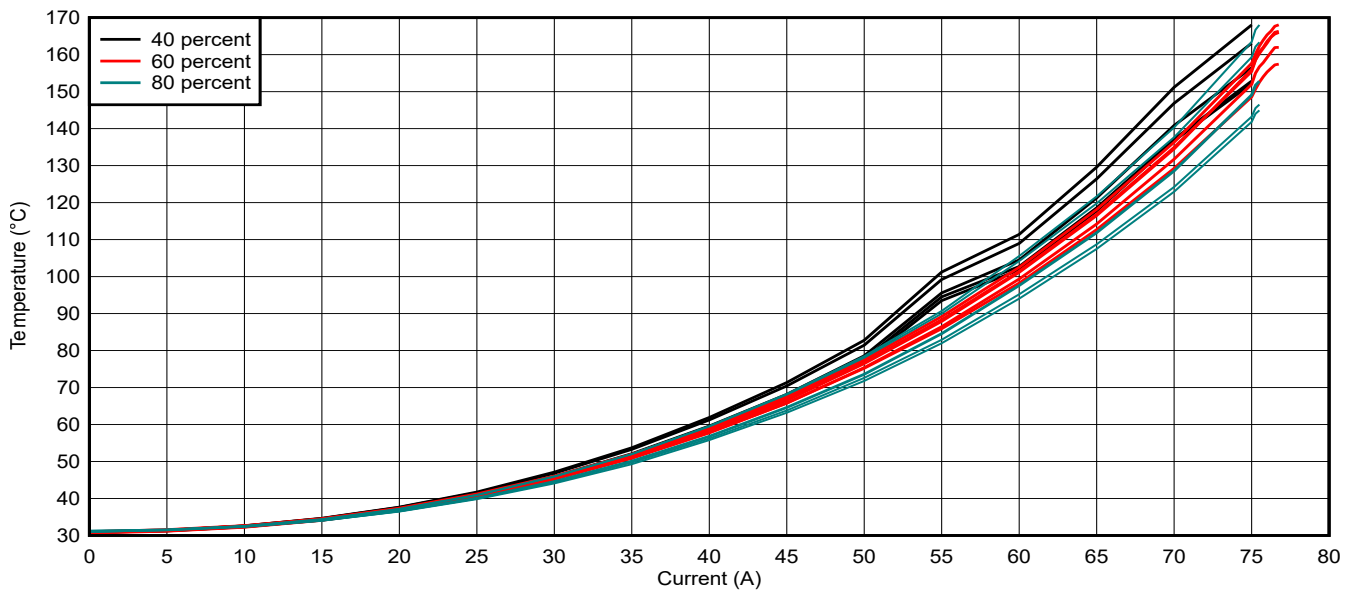


图 5-7. 所有铜尺寸下的 TMCS1123EVM 热响应曲线

从图表中得出以下观察结果：

- 尽管多边形尺寸的调整带来了微小的改进，但所有多边形的载流能力大致相同
- 60% 的多边形能够提供稍高的电流容量，但结论认为这是电路板间分布差异所致。预期在更多样本中，实际的平均性能并不会显示出这一优势。
- 同样，电路板制造公差和能力改变了器件在电路板上的分布。

最后的观察是，尽管这些分布中的电流容量大致相似，但较小的多边形由于铜的附加量较少，热响应可能比较大的多边形更快达到平衡，因为较大铜量的多边形需要更多的时间来使整体热质量达到平衡点。然而，在数据收集过程中并未研究这一效应。

6 总结

本应用手册介绍了一种评估封装内磁性电流传感器热性能的方法。正如预期的那样，印刷电路板上的铜重量显著增强了载流能力。然而，事实证明，多边形尺寸对散热的作用要小得多。总体而言，本档中提供的曲线可帮助设计人员合理确定封装内电流传感器在稳态状态运行下所需的铜总量，从而做出更明智的设计决策。

7 参考资料

- 德州仪器 (TI), [TMCS1123 具有增强型隔离工作电压、过流检测和环境磁场抑制功能的精密 250kHz 霍尔效应电流传感器](#)数据表。

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、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。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司