参考資料

Application Note

パッケージ内蔵型磁気電流センサーの PCB 熱解析

Joseph Scherphorn, Carolus Andrews, Holly Roper

概要

TMCS1123 のようなパッケージ内蔵型磁気電流センサーは、電流測定のために電流経路へ介入する方式であり、非磁性リードフレームを介して数アンペアの電流をデバイスに流すことで、パッケージ内部で熱損失が発生します。これらの損失は、一般的にレイアウトやプリント基板に依存します。銅を追加することでパッケージから熱を逃がし、システム全体の熱応答を抑制できるためです。本稿では、パッケージ内蔵型 TMCS デバイスの異なるサンプルを用い、PCB 上の銅箔厚と銅箔面積の両方について検証することで、これらの銅による補強がアプリケーションにおける熱応答の抑制にどのように役立つかを考察します。

目次

1 はじめに....3
2 対応する銅製ラグを使用した TMCS 評価基板の初期評価....4
2.1 個々の評価基板....4
2.2 3 オンスおよび 4 オンス銅製シングルパネルの初期評価....5
3 実験セットアップと考察....7
4 ケース 1:銅箔重量....8
4.1 TMCS1123EVM の銅箔重量の変更....8
4.2 TMCS1143EVM の銅箔重量の変更....9
5 ケース 2:ポリゴンサイズ....12
5.1 TMCS1123EVM のポリゴンサイズの変更....12
5.2 TMCS1143EVM のポリゴンサイズの変更....13
6 まとめ....16
7 参考資料....16
8 改訂履歴....17

図の一覧

図 2-1. TMCS1123EVM シングルパネル....4
図 2-2. TMCS1143EVM シングルパネル....5
図 2-3. TMCS1123EVM、3 オンス銅箔、60A 超における 2 個のサンプルデバイスの熱応答曲線....6
図 2-4. TMCS1123EVM、4 オンス銅箔、60A 超における 2 個のデバイスの熱応答曲線....6
図 2-5. TMCS1143EVM、3 オンス銅箔、60A 超における 2 個のサンプルデバイスの熱応答曲線....6
図 2-6. TMCS1143EVM、4 オンス銅箔、60A 超における 2 個のデバイスの熱応答曲線....6
図 3-1. TMCS1123EVM、バスバー構成....7
図 4-1. TMCS1123EVM 部分....8
図 4-2. TMCS1123EVM すべての銅箔の重量に対応する熱応答曲線....9
図 4-3. TMCS1143EVM 部分....10
図 4-4. TMCS1123EVM すべての銅箔の重量に対応する熱応答曲線....11
図 5-1. TMCS1123EVM、評価基板プレーンの 40%....12
図 5-2. TMCS1123EVM、評価基板プレーンの 40% における 5 デバイスの熱応答曲線....12
図 5-3. TMCS1123EVM、評価基板プレーンの 60%....12
図 5-4. TMCS1123EVM、評価基板プレーンの 60% における 5 デバイスの熱応答曲線....12
図 5-5. TMCS1123EVM、評価基板プレーンの 80%....13
図 5-6. TMCS1123EVM、評価基板プレーンの 80% における 5 デバイスの熱応答曲線....13
図 5-7. TMCS1143EVM、すべての銅箔サイズにおける熱応答曲線....13
図 5-8. TMCS1143EVM、評価基板プレーンの 40%....14

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

図 5-9. TMCS1143EVM、評価基板プレーンの 40% における 6 デバイスの熱応答曲線 14
図 5-10. TMCS1143EVM、評価基板プレーンの 60% 14
図 5-11. TMCS1143EVM、評価基板プレーンの 60% における 6 デバイスの熱応答曲線 14
図 5-12. TMCS1143EVM、評価基板プレーンの 80% 15
図 5-13. TMCS1143EVM、評価基板プレーンの 80% における 6 デバイスの熱応答曲線 15
図 5-14. TMCS1143EVM、すべての銅箔サイズにおける熱応答曲線 15

表の一覧

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

1 はじめに

電流経路に介入する方式の電流センシング方法を設計する際には、熱の問題を適切に管理することが重要です。従来の電流シャントモニターのシャント部に熱が残る場合でも、ホール効果電流センサーなどのデバイスのリードフレームで発生する損失によるものであっても、適切な対策を計画実施しなければ、熱暴走によって設計上の問題が急速に発生する可能性があります。

パッケージ内蔵型 TMCS デバイスにはそれぞれ、迅速かつ容易な評価を可能にすることを目的とした評価モジュールが用意されています。これらのデバイスは、強化絶縁に対応したホール効果電流センスモニターであり、差動測定用の内蔵リファレンス出力、過電流しきい値機能、熱診断機能など、いくつかのオプション機能を備えています。評価基板は、1 層あたり 4 オンスの銅箔を使用した 2 層の積層構造で構成されています。通常動作時の条件として内部電力損失を最適化する必要がある多くのデバイスと同様に、データシートに記載されている多くのパラメータは、この特定のレイアウトおよび熱拡散モデルに基づいています。これは、このような半導体デバイスでは一般的なことです。デバイスのレイアウトによって、デバイスがさらされる可能性のある使用条件は無限に存在するため、製品メーカーは可能な限りレイアウトの影響を排除し、最適な条件下でのデバイス性能を示そうとします。

そのため、このようなデバイスを設計に使用する際には、しばしば課題が生じます。評価基板は、部品を幅広く評価するために想定された使用事例を提示するものですが、スペースの制約や電力バジェットなど、一般的な設計に存在する制約についての情報が提供されていない場合があります。本稿では、デバイス性能に関するこのような 2 つのケースについて簡単に検討します。1 つ目は TMCS 評価基板と同じトポロジーにおける銅箔重量の変更、2 つ目は元の評価モジュールで使用されている 4 オンス積層構造における銅箔プレーンサイズの縮小です。これらの検討を通じて、これらの設計上の選択がシステムのコストとスペースをどのように最適化できるかを把握することを目的としています。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

2 対応する銅製ラグを使用した TMCS 評価基板の初期評価

各 TMCS 評価基板ファミリには、定格電流に基づいた一対の銅製ラグが付属しており、対象となる信号に適したゲージのケーブルを使用することで、評価基板への安全な電流伝送を実現します。

- TMCS1123、TMCS1126、TMCS1127、および TMCS1133 評価基板には、すべて Panduit CB70-14-CY 90A 定格の銅製ラグが付属しています。
- TMCS114x ファミリの評価基板には、すべて Penn Union SLU125 125A 定格の銅製ラグが付属しています。

2.1 個々の評価基板

図 2-1 には、ケーブルを接続していない状態で、TMCS1123 ユーザーズガイドに記載されている標準的な向きの TMCS1123EVM のシングルパネルを示します。

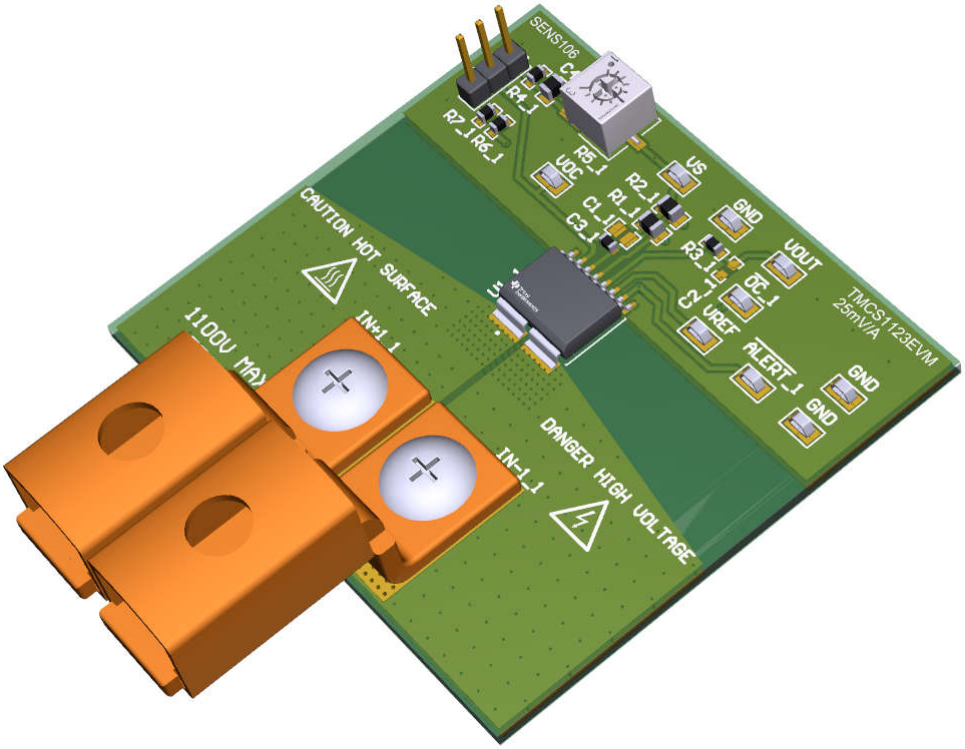

図 2-1. TMCS1123EVM シングルパネル

図 2-2 には、TMCS1143EVM のシングルパネルを示します。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

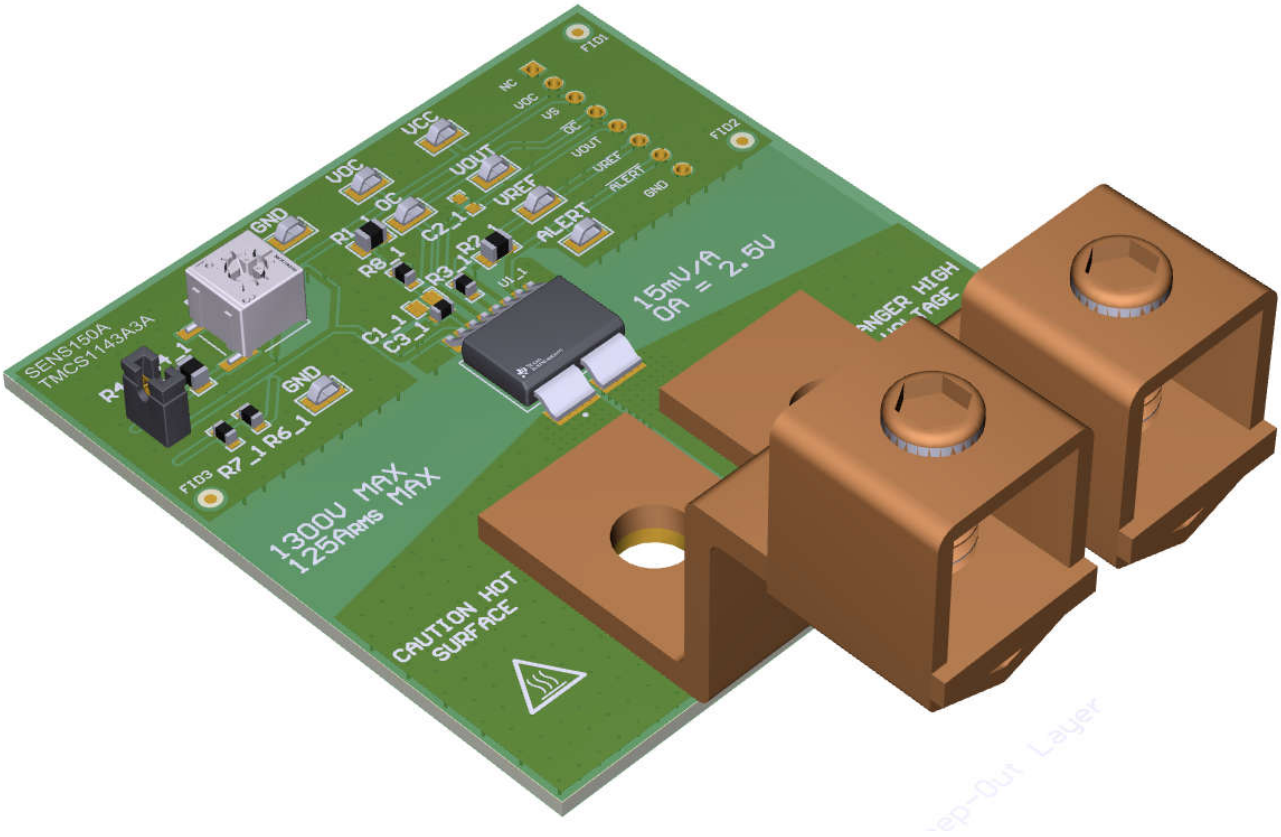

図 2-2. TMCS1143EVM シングルパネル

2.2 3 オンスおよび 4 オンス銅製シングルパネルの初期評価

本システムの初期開発時には、最終的に現在使用可能な 4 オンス仕様に至るまで、パネル化された製品の単一バージョンで銅箔重量の違いが検討されました。本セクションでは、3 オンスおよび 4 オンスの銅箔基板について評価した各 TMCS ファミリの熱特性結果を示します。

基板の銅箔厚は、いくつかの要因により、製造仕様の範囲内でもロットごとに異なる可能性があることに注意する必要があります。これらの要因には、ベース銅箔厚の公差、ベンダーが使用する開始時の銅箔厚、ベンダーによる洗浄工程の回数などがあります。そのため、潜在的な最悪条件の場合でもデバイスが規定仕様の範囲内で動作するよう、十分なマージンを確保しています（これは「銅箔重量」セクションで示されています）。

2.2.1 TMCS1123EVM 3 オンスおよび 4 オンスシングルパネル

本セクションの結果は、TMCS1123、TMCS1126、TMCS1127、および TMCS1133 に適用されます。

図 2-3 および 図 2-4 は、それぞれ 3 オンスおよび 4 オンスのポアにおける実測基板性能を示しています。これらのバリエーション間の性能は類似していますが、60A を超える領域でわずかな性能向上が見られたため、最終的に 4 オンス銅箔が EVM に採用されました。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

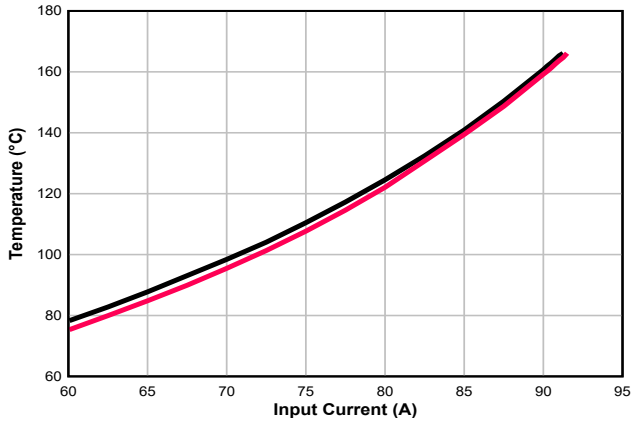

図 2-3. TMCS1123EVM、3 オンス銅箔、60A 超における 2 個のサンプルデバイスの熱応答曲線

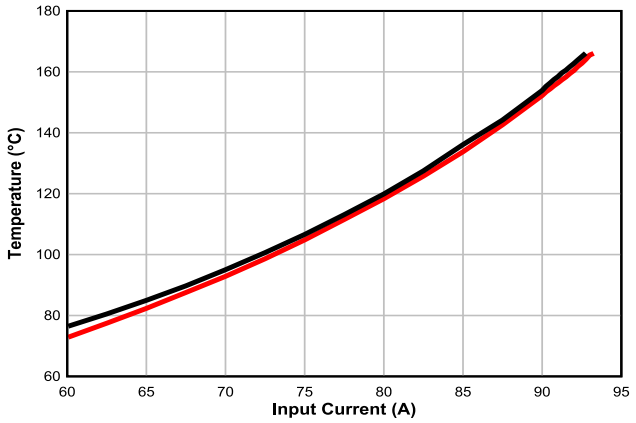

図 2-4. TMCS1123EVM、4 オンス銅箔、60A 超における 2 個のデバイスの熱応答曲線

デバイスの最大電流点である 80A では、3 オンスと 4 オンスのポアを比較すると、測定値の平均点間で約 5°C の改善が見られます。図に示すように、4 オンスプレーンを搭載した評価基板では、接合部温度が絶対最大定格の 165°C に達する前に、約 93A までの電流容量を実現できます。

2.2.2 TMCS1143EVM 3 オンスおよび 4 オンスシングルパネル

ここに示す結果は、TMCS114x ファミリに適用されます。4 オンス基板が 3 オンス基板よりも優れている点を明確にするため、グラフには 60A を超える範囲のデータのみを示しています。

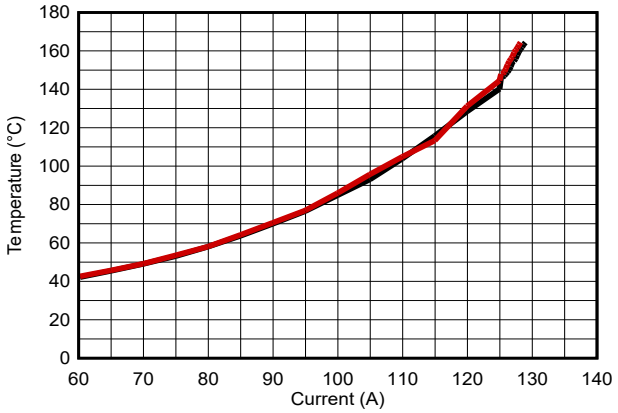

図 2-5. TMCS1143EVM、3 オンス銅箔、60A 超における 2 個のサンプルデバイスの熱応答曲線

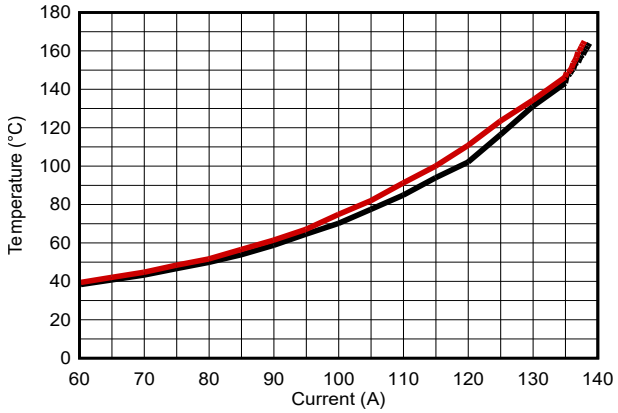

図 2-6. TMCS1143EVM、4 オンス銅箔、60A 超における 2 個のデバイスの熱応答曲線

グラフから、4 オンス基板は、許容可能な最大接合部温度である 165°C に達する前に、3 オンス基板よりも約 10A 多い電流を処理できることが分かります。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3 実験セットアップと考察

本アプリケーション ノートで実施した実験のセットアップは、被試験デバイスと直列に接続した大電流負荷と、負荷を駆動するために必要な電源で構成されています。図 3-1 には、使用した基板の 1 つのレンダリングを示します。図から分かるように、各試験では、特定の基板重量またはポリゴンサイズに対応する 5 個 (TMCS1143 の場合は 6 個) のサンプルすべてを同時に動作させました。すべての基板に同じ電流が流れるよう、これらを直列に接続しました。

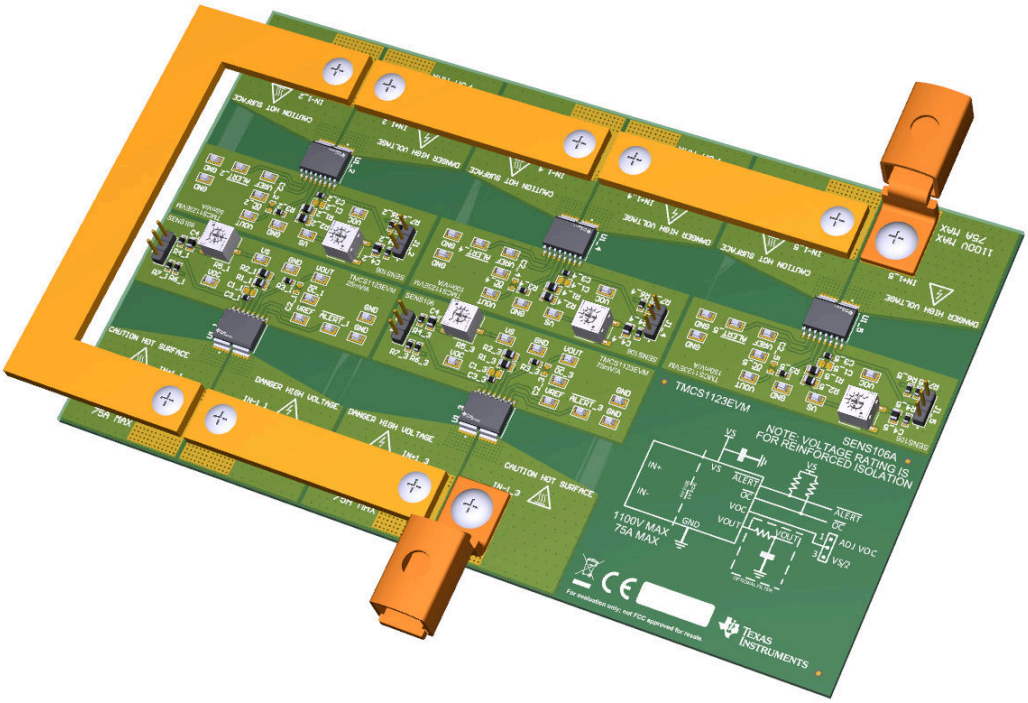

図 3-1. TMCS1123EVM、バスバー構成

Python を使用してプロセスを自動化しました。真の熱平衡が各測定点間で確実に達成されるようにするには、熱平衡に達するまでに時間がかかるためです。以下の手順を各基板で実施し、下記の曲線を取得しました:

1. すべての負荷および必要な電源をオンにして、テストループを通電します。
2. DUT に電流を流します。0A から開始し、1 ステップあたり 5A ずつ増加させます。
3. 温度を 1 秒間隔で測定します。測定間の残留温度差が 100m°C 未満になるまで、電流を設定したレベルに維持します。
4. 次の 5A の電流間隔に移行し、手順 2 および 3 を繰り返します。
5. いずれかのデバイスが 150°C を記録するまで、手順 2 ～ 4 を繰り返します。
6. 1 ステップあたり 250mA にステップ間隔を縮小し、前のプロセスで到達した最大ステップから開始します。
7. 温度を 1 秒間隔で測定します。測定間の残留温度差が 100m°C 未満になるまで、電流を設定したステップに維持します。
8. 最初のデバイスが 165°C に達するまで、手順 5 および 6 を繰り返します。
9. すべての電源をオフにして、テストループを非通電状態にします。

同じ評価基板トポロジーを使用しましたが、直列バスバーを追加することで、基板のインピーダンス特性が実質的に変化し、評価基板全体に局所的な熱特性も生じることに注意してください。これにより、各デバイスが処理できる総負荷は低下しましたが、全電流範囲にわたる試験を効率的に実施できるようになりました。これらの試験で得られたもう 1 つの知見は、ラグおよびバスバーの接続部における熱効率と、銅箔プレーンの完全性が極めて重要であるということです。組み立て時に銅箔が損傷しないよう注意するとともに、熱抵抗を可能な限り小さくするため、接続部がしっかりと締め付けられていることを確認する必要があります。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

4 ケース 1 :銅箔重量

最初に検討したケースは、銅箔重量に関するデバイスの熱的能力です。各実験では、ベース評価基板の正確なフットプリントをそのまま維持し、積層構造の各層を指定された銅箔重量に変更しました。

4.1 TMCS1123EVM の銅箔重量の変更

本セクションの結果は、TMCS1123、TMCS1126、TMCS1127、および TMCS1133 に適用されます。

図 4-1 には、TMCS1123EVM の標準的なフットプリントを示します。

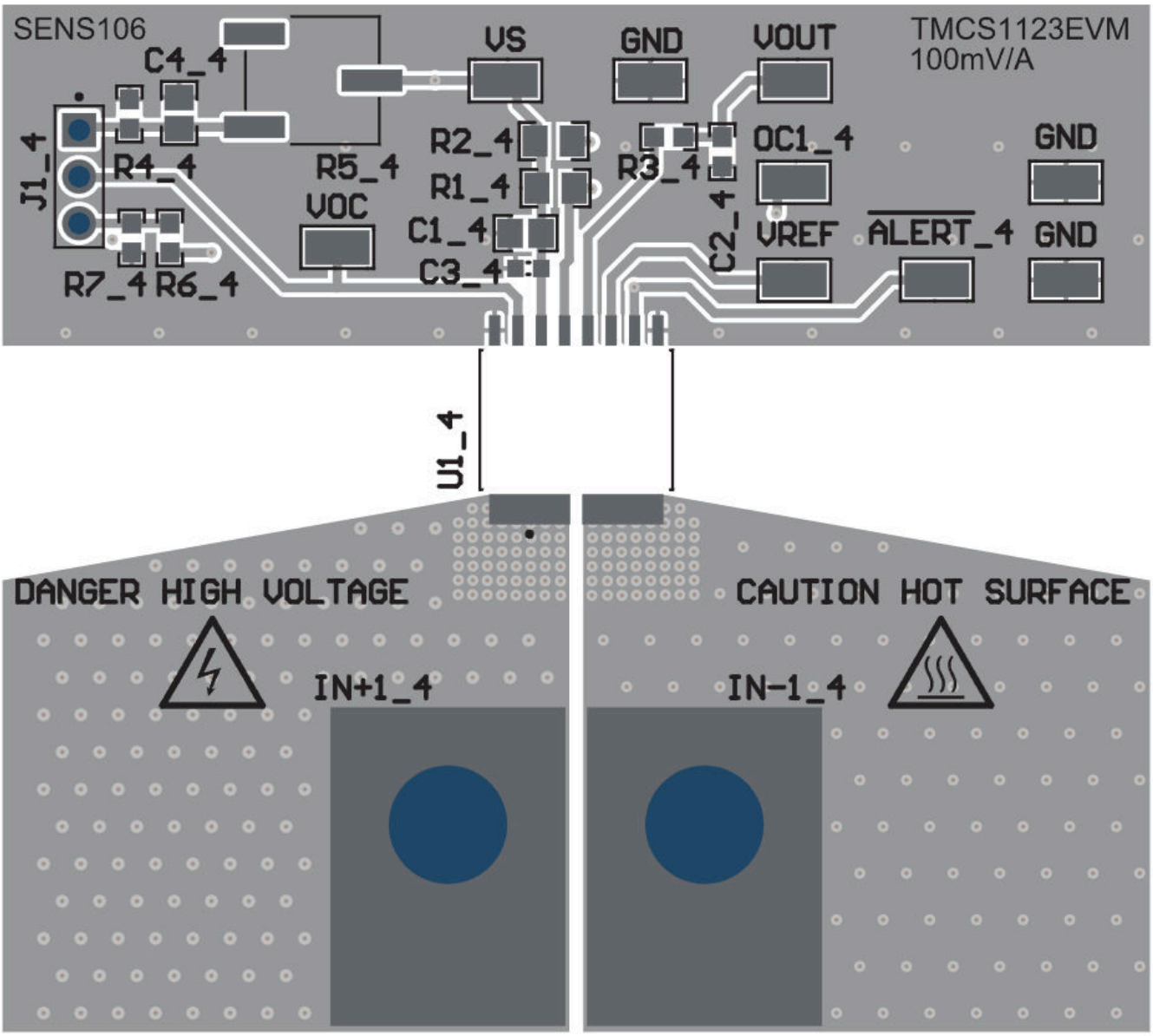

図 4-1. TMCS1123EVM 部分

図 4-2 は、電流の増加に伴う各銅重量の熱結果を示しています。予想どおり、銅箔が厚いほど、基板が処理できる電流が大きくなります。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

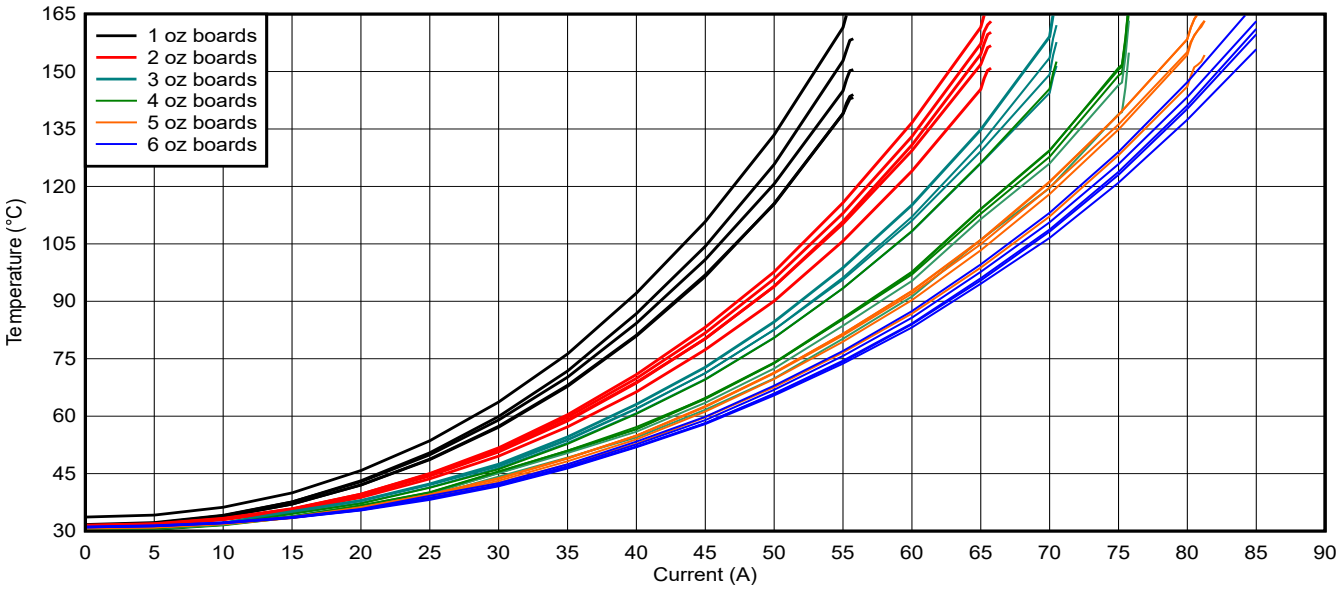

図 4-2. TMCS1123EVM すべての銅箔の重量に対応する熱応答曲線

グラフから、以下のことが分かります:

- 少なくとも銅箔厚が薄い領域では、銅箔量を 2 倍にすると、ほぼ同程度の性能向上が得られます。1 オンスから 2 オンスにすると、55A から 65A へと約 10A 向上します。4 オンスでは 75A の電流容量となり、2 オンスから 4 オンスへの倍増によって、さらに 10A 向上します。また、6 オンス銅箔では 85 A の電流容量を実現しており、同じ関係から、8 オンス銅箔でも同程度の性能が期待できます。
- ただし、4 オンスを超えるなど銅箔量が多くなると、電流容量の向上は次第に小さくなります。6 オンスは 5 オンスよりも、5 オンスは 4 オンスよりも優れていますが、これらの曲線は分布がかなり狭くなっており、最悪条件のデバイスの一部が、次の銅箔重量における最良条件の性能と同等になる場合があります。
- 前述したように、基板の製造公差や製造能力によって、基板ごとの熱特性が変化する可能性があります。例えば、1 オンスのデータを見ると、最も性能の低いデバイスが 165°C に達した時点で、最も性能の高いデバイスは 145°C にしか達していません。このため、ロット間のばらつきがあっても確実に動作させるために、設計時には十分なマージンを確保することが極めて重要です

4.2 TMCS1143EVM の銅箔重量の変更

本セクションの結果は、TMCS114x ファミリに適用できます。

図 4-3 には、TMCS1123EVM の標準的なフットプリントを示します。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

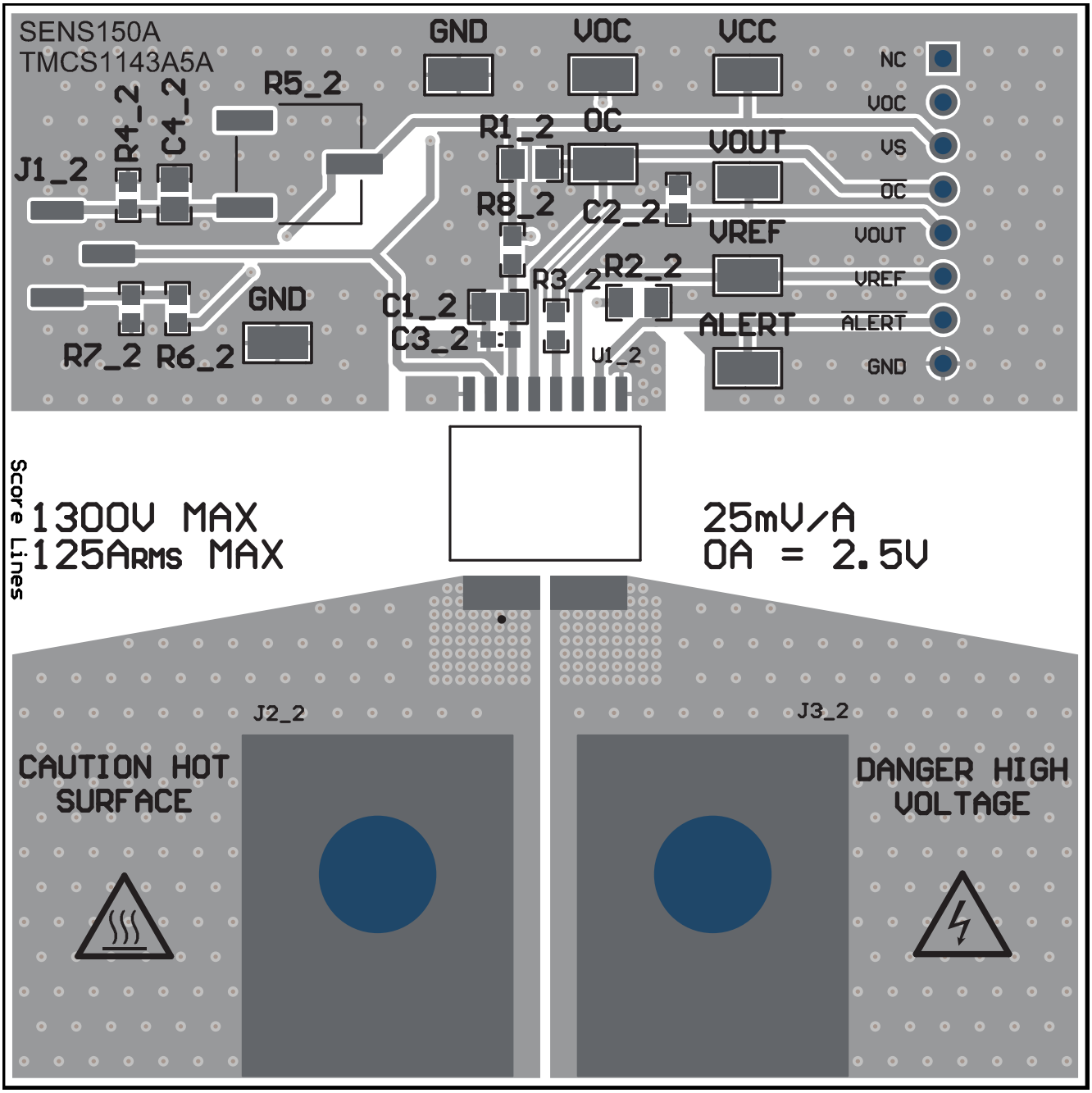

図 4-3. TMCS1143EVM 部分

図 4-4 銅箔重量ごとの熱特性の結果を、電流の増加に伴って示します。予想どおり、銅箔が厚いほど、基板が処理できる電流が大きくなります。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

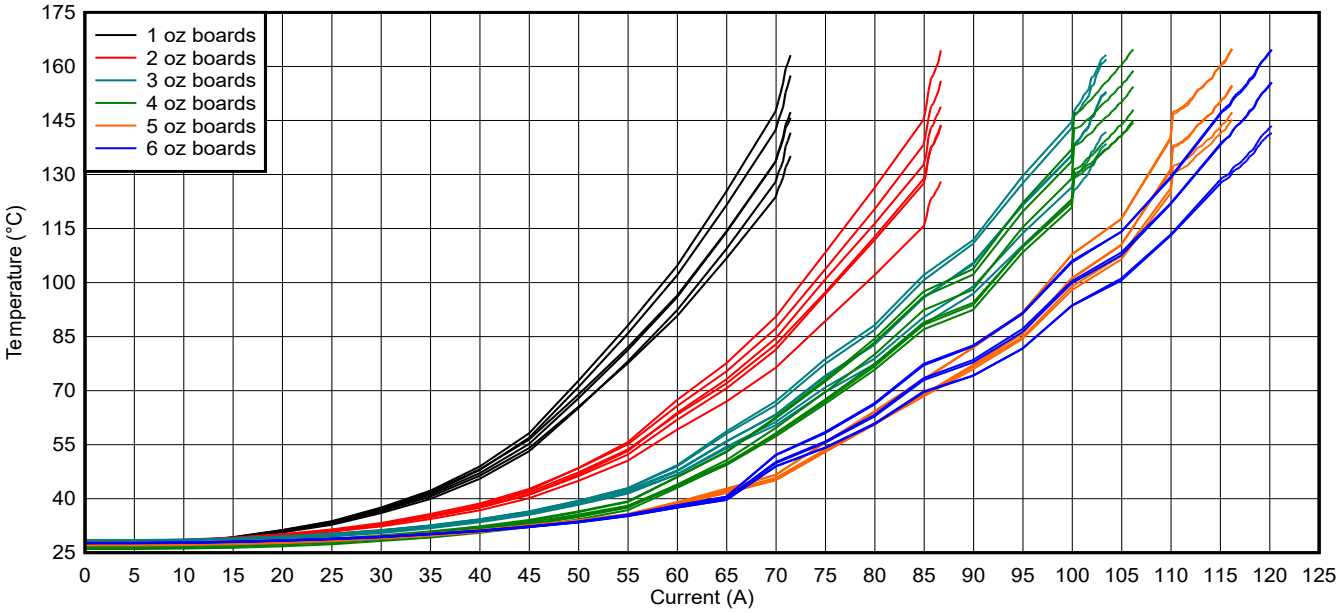

図 4-4. TMCS1123EVM すべての銅箔の重量に対応する熱応答曲線

グラフから、以下のことが分かります:

- 銅箔重量を 2 倍にすると、電流容量が約 15A 向上します。
- 銅箔重量が大きくなるほど、各曲線のばらつきが小さくなります。4 オンスは 3 オンスに比べて、また 6 オンスは 5 オンスに比べて改善が見られますが、1 オンスから 2 オンス、または 2 オンスから 3 オンスへの増加と比べると、改善幅は大幅に小さくなります。
- 製造上の公差や製造能力により、基板ごとに熱特性プロファイルにばらつきが生じます。2 オンス基板では、ある基板が最大接合部温度 165°C に達した時点で、最も優れた性能を示す基板の接合部温度はわずか 130°C です。これらのばらつきを考慮するため、設計時には十分な温度マージンを確保することが不可欠です。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5 ケース 2:ポリゴンサイズ

2 番目に検討したケースは、同じ電流スイープに対してポリゴンサイズを縮小した場合です。上記の内容から、4 オンス銅箔重量のプロファイルを本実験の開始点としました。これは、プレーンのトポロジーが 100% の状態に相当します。TMCS1123EVM では、入力部につながる各ポリゴンの PCB 面積は約 900mm^2 であり、2 層の 4 オンス銅箔ビアステッチプレーン 2 枚で合計 1,800mm^2 に相当します。この基準値から、この面積の 40%、60%、80% に相当する比率を算出し、PCB 上から削除しました。その際、PCB のポリゴン ポアについて設計された形状は維持しました。テストした各 EVM ファミリについても同じ手順を実施しました。これは、評価基板ファミリによって初期の入力ポリゴン面積が異なるためです。

5.1 TMCS1123EVM のポリゴンサイズの変更

本セクションの結果は、TMCS1123、TMCS1126、TMCS1127、および TMCS1133 に適用されます。

図 5-1、図 5-3 および 図 5-5 に、銅の除去後のトポロジを示し、図 5-2、図 5-4 および 図 5-6 に、それぞれの比率におけるデバイス性能を示します。

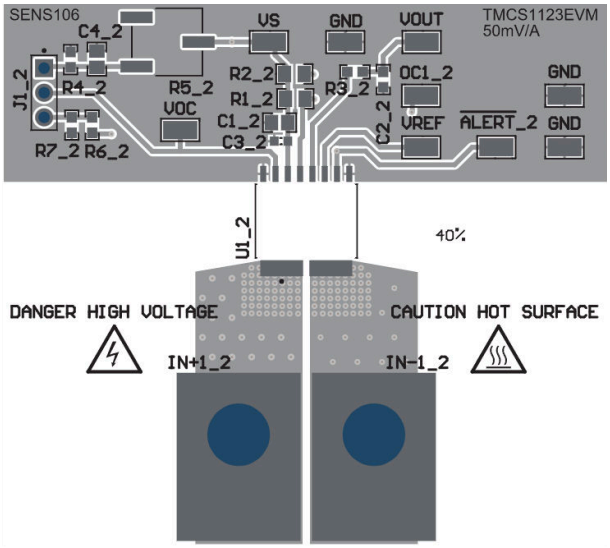

図 5-1. TMCS1123EVM、評価基板プレーンの 40%

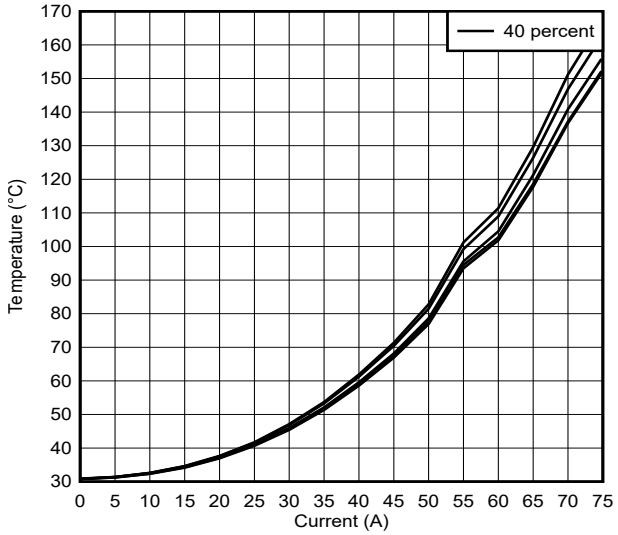

図 5-2. TMCS1123EVM、評価基板プレーンの 40% における 5 デバイスの熱応答曲線

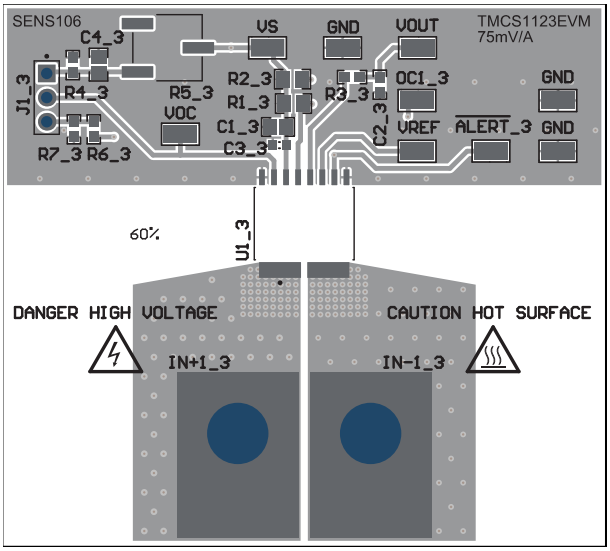

図 5-3. TMCS1123EVM、評価基板プレーンの 60%

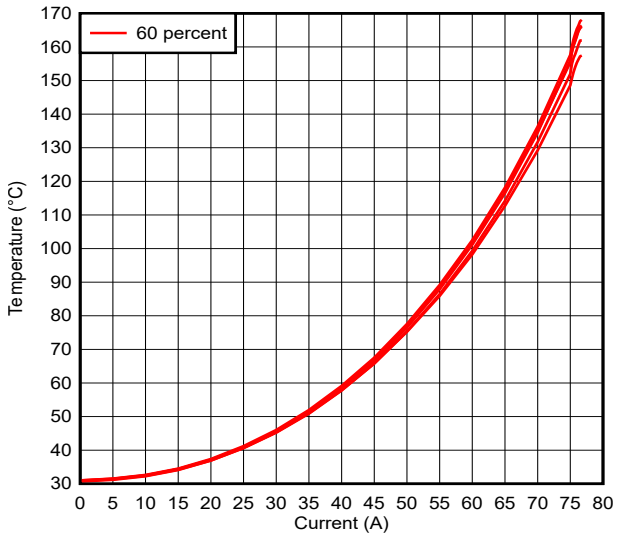

図 5-4. TMCS1123EVM、評価基板プレーンの 60% における 5 デバイスの熱応答曲線

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

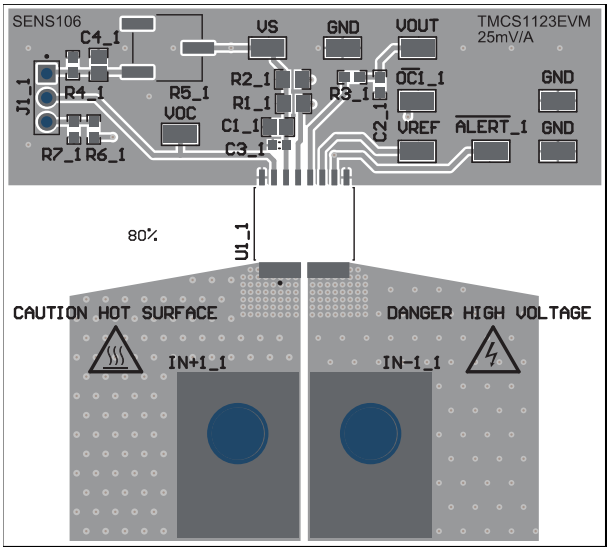

図 5-5. TMCS1123EVM、評価基板プレーンの 80%

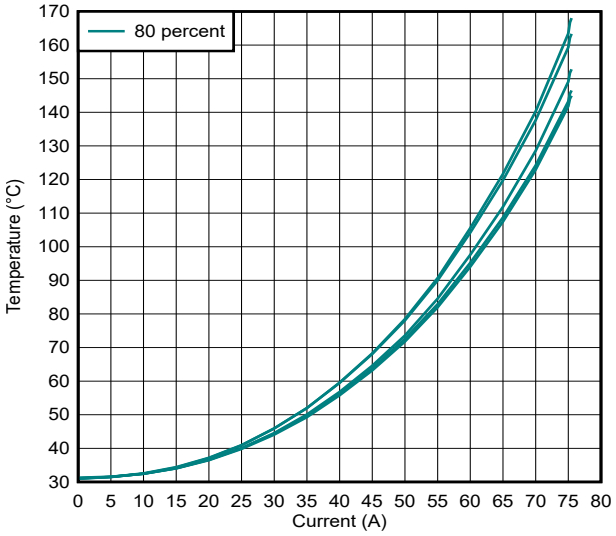

図 5-6. TMCS1123EVM、評価基板プレーンの 80% における 5 デバイスの熱応答曲線

各割合 図 5-7 における動作特性を検証するため、各応答を重ね合わせて表示しました。

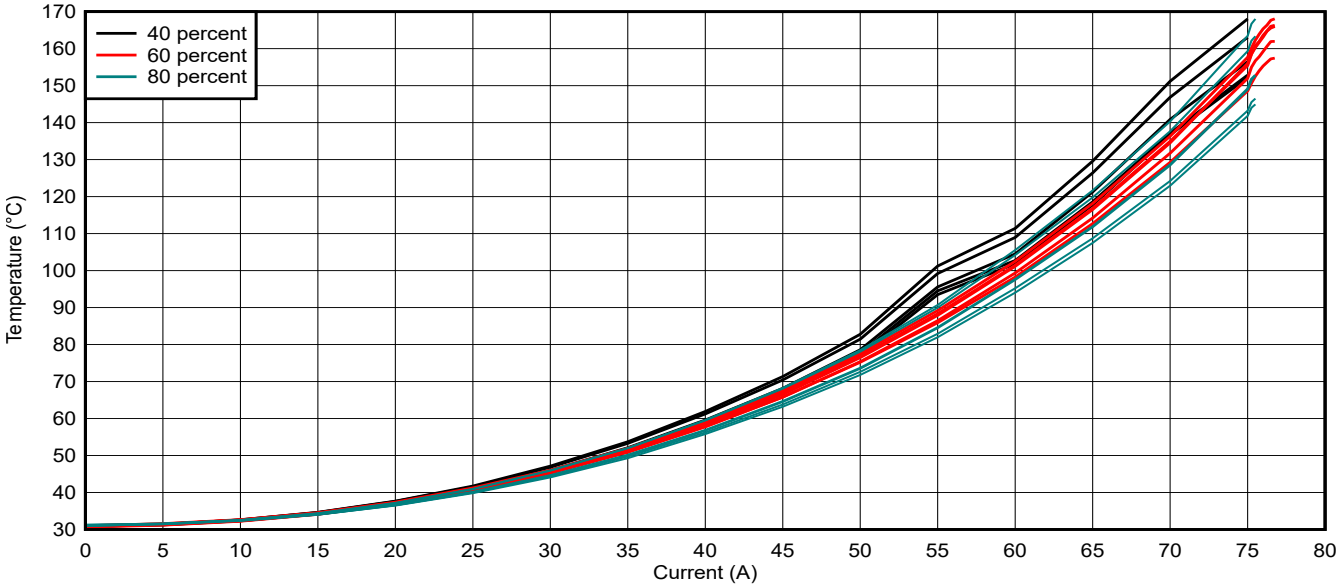

図 5-7. TMCS1143EVM、すべての銅箔サイズにおける熱応答曲線

グラフから、以下のことが分かります。

- ポリゴンサイズによる改善はわずかに見られるものの、すべてのポリゴンで電流容量は概ね同等です
- 60% のポリゴンでは、わずかに高い電流容量が得られましたが、これは基板間のばらつきによるものと判断されました。より多くのサンプルを用いた場合、実際の性能の平均値ではこの優位性は示されないと予想されます。
- ここでも、基板の製造公差や製造能力により、基板ごとのデバイス性能のばらつきが生じました。

最後に、この分布では電流容量は概ね同等ですが、銅箔量が少ないため総熱容量が平衡状態に達するまでの時間が短くなることから、大きなポリゴンと比較して、小さなポリゴンでは熱応答がより速く平衡状態に達する可能性が高いと考えられます。ただし、この影響についてはデータ収集時には検証していません。

5.2 TMCS1143EVM のポリゴンサイズの変更

このセクションの結果は TMCS114x ファミリに適用されます。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

図 5-8、図 5-10 および 図 5-12 に、銅の除去後のトポロジを示し、図 5-9、図 5-11 および 図 5-13 に、それぞれの比率におけるデバイス性能を示します。

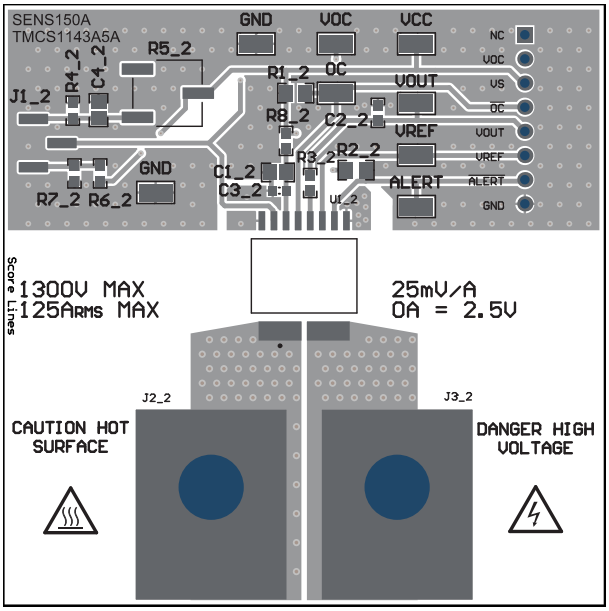

図 5-8. TMCS1143EVM、評価基板プレーンの 40%

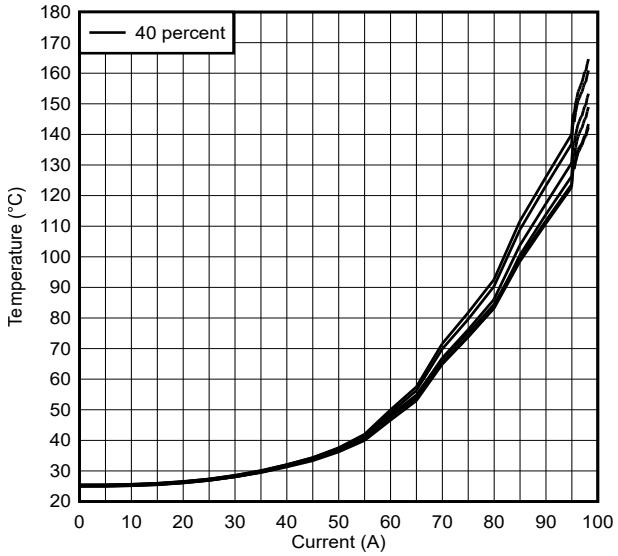

図 5-9. TMCS1143EVM、評価基板プレーンの 40% における 6 デバイスの熱応答曲線

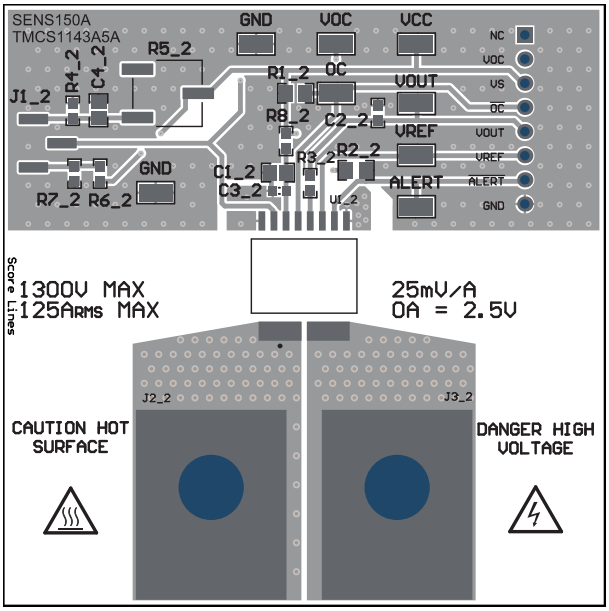

図 5-10. TMCS1143EVM、評価基板プレーンの 60%

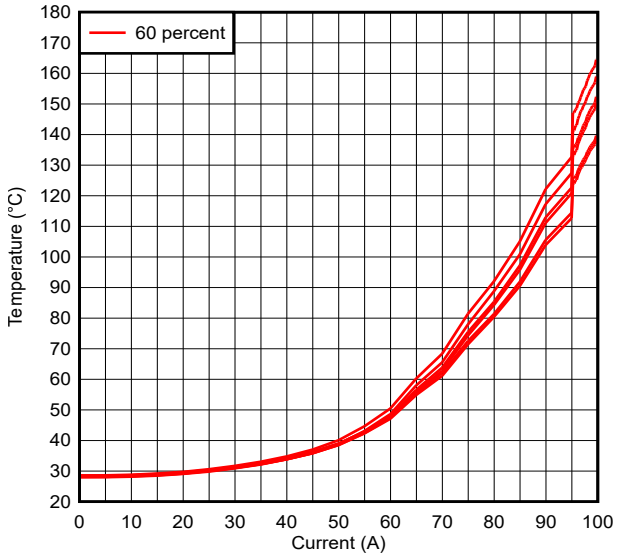

図 5-11. TMCS1143EVM、評価基板プレーンの 60% における 6 デバイスの熱応答曲線

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

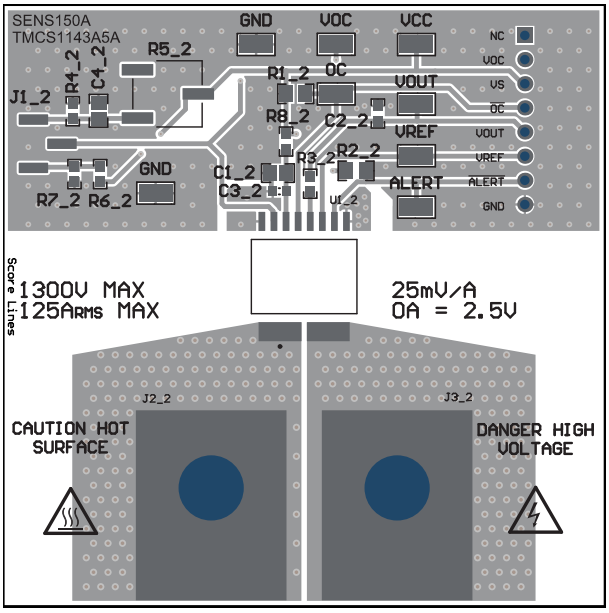

図 5-12. TMCS1143EVM、評価基板プレーンの 80%

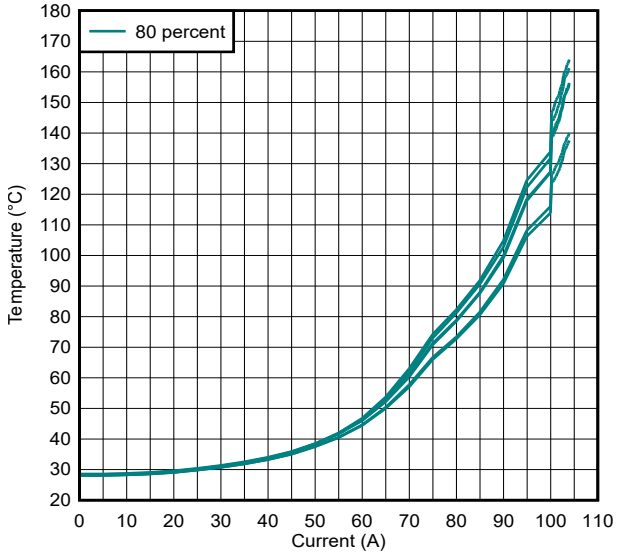

図 5-13. TMCS1143EVM、評価基板プレーンの 80% における 6 デバイスの熱応答曲線

各割合 図 5-14 における動作特性を検証するため、各応答を重ね合わせて表示しました。

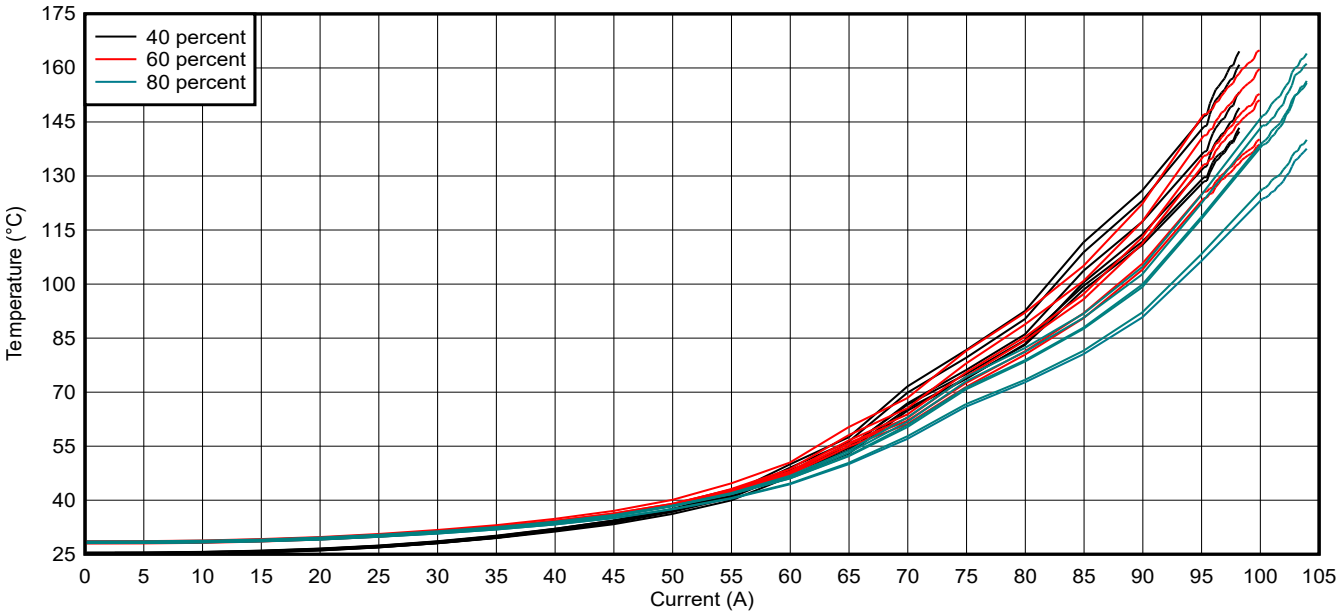

図 5-14. TMCS1143EVM、すべての銅箔サイズにおける熱応答曲線

グラフから、以下のことが分かります。

- ポリゴンサイズによる改善はわずかに見られるものの、すべてのポリゴンで電流容量は概ね同等です。
- 80% の基板では約 104A の最大電流に達したのに対し、40% の基板では約 6A 低い 98A が最大電流となりました。
- ここでも、基板の製造公差や製造能力により、基板ごとのデバイス性能のばらつきが生じました。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

6 まとめ

本アプリケーション ノートでは、パッケージ内蔵型磁気電流センサーの熱性能を評価する方法を示します。予想どおり、PCB に使用する銅箔重量を増やすことで、電流容量が向上することが確認されました。一方、ポリゴンサイズは、熱緩和に与える影響がはるかに小さいことが示されました。全体として、本書に示す曲線は、パッケージ内蔵型電流センサーを適切な定常状態で動作させるために必要な総銅箔量について、設計者が十分な情報に基づいて判断するのに役立ちます。

7 参考資料

- テキサス インスツルメンツ、『TMCS1123 高精度 250kHz ホール エフェクト電流センサ、強化絶縁動作電圧、過電流検出、周囲磁界除去機能搭載』データシート。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

8 改訂履歴

Changes from Revision * (January 2025) to Revision A (September 2026) **Page**

- ドキュメントタイトルを「TMCS1123 ホール効果電流センサーの熱解析」から「パッケージ内蔵型磁気電流センサーの PCB 熱解析」に変更しました.....0
- 「概要」セクションを更新。.....1
- 「はじめに」セクションを更新しました.....3
- 「TMCS11xxEVM と CB70-14-CY 銅製ラグの初期評価」から「対応する銅製ラグを使用した TMCS 評価基板の初期評価」にタイトルを変更しました.....4
- 「対応する銅製ラグを使用した TMCS 評価基板の初期評価」セクションを更新しまし.....4
- 個々の評価基板セクションを追加しました.....4
- 3 オンスおよび 4 オンス銅箔シングルパネルの初期評価セクションを追加しました。.....5
- TMCS1123EVM 3 オンスおよび 4 オンスシングルパネルセクションを追加しました.....5
- TMCS1143EVM 3 オンス および 4 オンスシングルパネルセクションを追加しました.....6
- 実験セットアップと考察セクションを更新しました.....7
- ケース 1 を更新しました : *銅箔重量セクション*.....8
- TMCS1123EVM の銅重量の変化セクションを追加しました.....8
- TMCS1143EVM の銅箔重量の変更セクションを追加しました.....9
- ケース 2 を更新 : *ポリゴンサイズセクション*.....12
- TMCS1123EVM のポリゴンサイズの変更セクションを追加しました.....12
- TMCS1143EVM のポリゴンサイズセクションを追加しました.....13

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、 TI の販売条件 、 TI の総合的な品質ガイドライン 、 ti.com または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。 TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月