

Application Note

TMCS1143 の DVF パッケージの熱解析



Carolus Andrews

概要

現代の電動化システムにおける電力密度の急速な向上と PCB の銅使用量の削減により、TMCS114x シリーズなどのインパッケージのホール エフェクト電流センサにとって、厳しい熱環境が生み出されています。本論文では、TMCS1143 センサに使用されている DVF パッケージに関する包括的な熱解析を取り上げます。調査されている補完的特性評価アプローチは、(1) 定常状態の電流温度データに対する最適曲線から接合部温度を算出する従来の電流ベースの手法、および、(2) 絶縁型温度センサ IC「ISOTMP35R」を用いて周囲温度とリードフレーム温度を直接監視する代替手法の 2 つです。結果では、低電流動作時において、リードフレームでの電力損失がシリコンの静止時消費電力をすぐに上回り、それによって従来の JEDEC モデルでは接合部温度が過小評価されてしまうことが示されています。高出力時において、リードフレームの温度上昇と接合部温度の間に線形関係が認められ、TMCS143 評価基板では、試験対象の温度範囲全体を通じて一貫して約 5°C/W の実効熱抵抗が得られました。

目次

1 概要.....	2
2 動機および考察.....	3
3 方法.....	4
4 結果.....	6
5 まとめ.....	11
6 参考資料.....	11

図の一覧

図 3-1. 改造した TMCS1143 評価基板の上面図.....	4
図 3-2. 改造した TMCS1143 評価基板の底面図.....	4
図 3-3. PCB における TMP118 フレックス ケーブルの配置.....	4
図 3-4. 実験用 システム ブロック図.....	5
図 4-1. TMCS1143 評価基板の DVF パッケージの接合部温度と時間との関係.....	7
図 4-2. TMCS114x の標準接合部温度 (COBF、 $T_A = 25^{\circ}\text{C}$).....	8
図 4-3. TMCS114x の標準接合部温度 (COBF、 $T_A = 125^{\circ}\text{C}$).....	8
図 4-4. 算出された $R_{\theta JA}$ と総電力の関係 (25°C および 125°C).....	9
図 4-5. 算出された $R_{\theta JLF}$ と総電力の関係 (25°C および 125°C).....	9
図 4-6. ISOTMP35R と電流範囲におけるリードフレーム基準温度誤差との関係.....	10

表の一覧

表 4-1. 室温での電流スweepの結果.....	6
表 4-2. 125°C での電流スweepの結果.....	7

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 概要

世界的な電化の進展に伴い、電流測定システムの導入が急速に進んでいます。これらのシステムは、フィードバック制御、過電流保護、GaN FET のゼロ交差検出、および高度な監視アプリケーションなど、重要な役割を果たしています。一方で、電力密度は依然として最重要課題であり、さまざまな製品を対象とするソリューションでは、世代を重ねるごとに設置面積の縮小化が追求されています。こうしたトレンドが相まって、厳しい熱環境が生み出されています。電力密度が高まるにつれて部品密度も上昇し、スケーリングによりプリント基板の銅含有量が減少する一方で、累積的な発熱によって周囲温度も上昇するためです。信頼性の高いシステム設計にとって、半導体デバイスの最大安全動作限界を正確に見極めることが不可欠となっています。

本論文では、TMCS114x 製品シリーズに使用されている DVF パッケージにおける接合部温度の挙動を、複数の基準枠組みにわたって検討しています。接合部温度の特性評価について、本論文では、最適曲線を用いた従来の電流ベースの手法に加え、部品自体で発生する電力とリードフレームで発生する電力の重ね合わせを検証する代替的な特性評価手法についても提示しています。電流は、安全な動作範囲を定義するためにエンド ユーザーに提供される代表的な値ですが、その適用可能性は基板の構造によって大きく異なります。しかし依然として、電流ベースのアプローチが業界標準の主流を占めています。最大電流仕様において定常動作を維持できる設計であれば、信頼性の観点からは、通常、熱関連の検討事項の優先度を低く設定しても差し支えありません。

本論文では、別のアプローチとして、周囲温度とリードフレーム温度の直接測定により接合部温度を評価しています。これは、デバイス内部の 2 つの熱源、すなわちシリコン自体の静止電力と、リードフレームで発生する電力の両方を検討することで実現しています。この評では、ISOTMP35R 強化絶縁型温度センサ集積回路 IC を使用しています。

ISOTMP35R は、耐電圧が 5kVRMS である絶縁バリアを内蔵し、 $-40^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ の動作範囲全体での勾配 $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ を特長とするアナログ温度センサを組み合わせています。標準的な TMCS ファミリー評価基板の従来のレイアウトに基づいて試験が行われているものの、このアプローチにより、ユーザーは、アプリケーション ベースのアプローチを利用して接合部温度をよりきめ細かく監視・制御できます。本論文では、最適曲線を用いた従来の電流ベースの手法と、それに代わる接合部温度特性評価アプローチの両方について検討しています。

2 動機および考察

熱的動作限界および設計上の制約

インパッケージのホール エフェクト デバイスが動作する最高周囲温度は 125°C ですが、ダイの接合部は 165°C まで耐えられます。最高周囲温度におけるデバイスの動作点であっても、検出された電流からの内部電力損失により追加の熱が発生するため、接合部にはより高い定格温度が必要です。設計者は通常、最高周囲温度 125°C という仕様と JEDEC の標準的な熱指標に制限された熱データしか利用できません。この周囲温度で指定された最大電流を達成するには、PCB レイアウトにおいて、デバイス評価基板またはテスト装置の銅箔の体積と重量を再現する必要があります。この要件により実用上の課題が生じます。評価ボードは通常、デバイスの最高性能を実証するために、実際のアプリケーションに比べてかなり大きいのです。ホール エフェクト センサの評価基板は、多くの場合、熱パラメータの特性評価に使用される標準的な JEDEC リファレンス ボードと大きく異なります。これらの違いを実際の設計に適用した場合、熱評価基準において偏差が発生します。

実際の最大電流容量に影響を与える要因

インパッケージのホール センサにおける電流の熱管理には、相互に密接に関連するいくつかの要因が関わっています。

- リードフレームの抵抗 (および形状): 製造ロット間のリード フレーム抵抗のばらつきは、内部の電力損失に直接影響を及ぼします。IC メーカーごとに設計上の選択や最適化が異なるため、このパラメータは、複数のメーカーから供給されるデバイス間で統一されていないことがよくあります。リード フレームにおける溶着型と非溶着型という選択もこの値に影響を与える可能性があります。一般的に、溶着型のリード フレームは、より高い電流値において優れた性能を発揮します。
- PCB の銅箔の特性: PCB 入力側の銅箔の重量、層数、パターン体積は、熱抽出に大きな影響を及ぼします。これらの要因によってデバイスからの放熱の効率性が決まります。
- 外部サーマル ハードウェア: ラグ、ヒート シンク、銅ケーブル、およびこれらの部品の熱プロファイルは、いずれも熱経路全体に影響を与えます。これらの部品は最適化しないと追加の熱を発生させます。
- ケーブルの熱暴露: デバイスの入力端子に電流を流すケーブルの場合、高温環境にさらされている部分と、その環境外の周囲条件にさらされている部分との割合が、総放熱量に影響を与えます。
- 動作時周囲温度: 電流が流れる前のベースライン温度は、接合部温度上昇の起点となります。

JEDEC 熱モデルおよびホール センサへの応用アプリケーション

R_{θ} パラメータを特徴とする JEDEC 熱モデルは、デバイスの温度ポイントを推定するための業界標準です。最も使用されているパラメータは $R_{\theta JA}$ で、周囲温度とダイ接合部温度に関係します。このパラメータにより接合部温度を簡単に推定できます。単周囲温度を 1 つ測定するだけで、代表的な条件下での接合部温度を簡単に計算できるのです。JEDEC 規格では、特定の基準 PCB レイアウトについてこれらのパラメータを規定しており、そのレイアウトから逸脱すると、算出される熱応答に誤差が生じます。

インパッケージのホール センサに標準的な JEDEC 熱モデルを適用する場合、重要な制限があります。JEDEC の特性評価では、モデルにおいてダイの静止電流による熱損失が主な熱源であると想定しています。大電流が流れるホール センサの場合、この想定は成り立ちません。リード フレームでの電力損失が主な発熱源となり、それに比べて静止電流による寄与は無視できるほど小さくなるからです。この主要な熱源の変化により、大電流時において熱応答が標準的な JEDEC モデルとは異なるものとなります。

この挙動は恒久的なものではなく、IC 内の電力変動に伴い熱係数も変化します。電流が減少し、リード フレームの電力損失が減少するにつれて、ダイによる熱負荷の相対的な重要性が徐々に高まります。電流がゼロの場合 (静止状態)、熱モデルは、増幅器において低信号レベルでオフセット誤差が支配的になるのと同様に、元の JEDEC 特性評価により近い値へと収束します。

3 方法

この実験では、TMCS1143 評価基板を改造し、複数の箇所に ISOTMP35R センサーを取り付けました。これは、勾配測定、および、用途において期待する温度を確実に再現するための選択肢の評価を目的としています。さらに、フレックスケーブルに取り付けた 1 個の TMP118 センサを活用し、試験中の TMCS1143 のリードフレームにセンサをカプトンテープで直接固定しました。これらの複数のセンサの目的は、その用途内でさまざまな配置を検討し、TMP118 経由で追跡されるリードフレーム温度に最も近い値を示すセンサを探し出すことです。次の図 3-1 と図 3-2 は、プリント基板の最上層と最下層の Altium レンダリング 3D 図で、図 3-3 はリードフレーム上の TMP118 の配置を示しています。

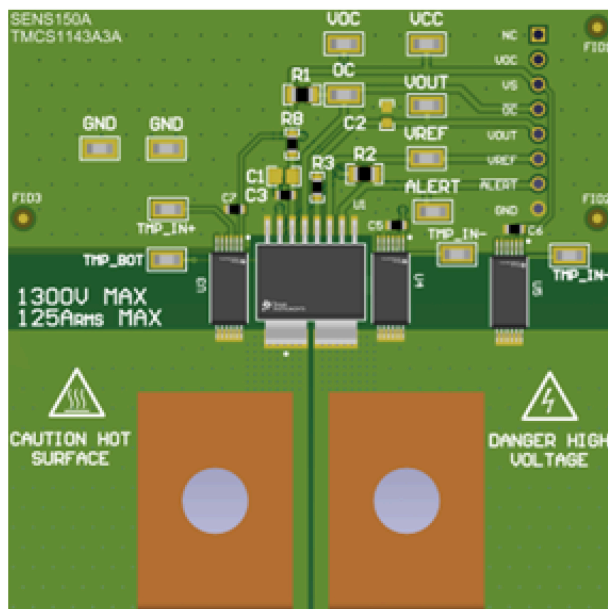


図 3-1. 改造した TMCS1143 評価基板の上面図

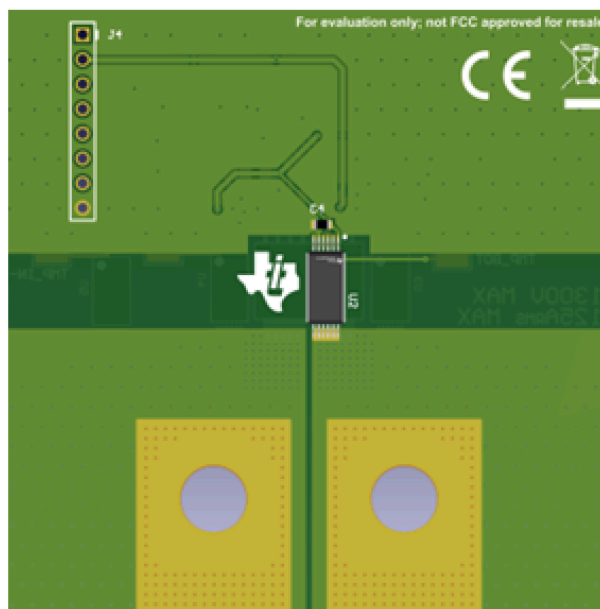


図 3-2. 改造した TMCS1143 評価基板の底面図

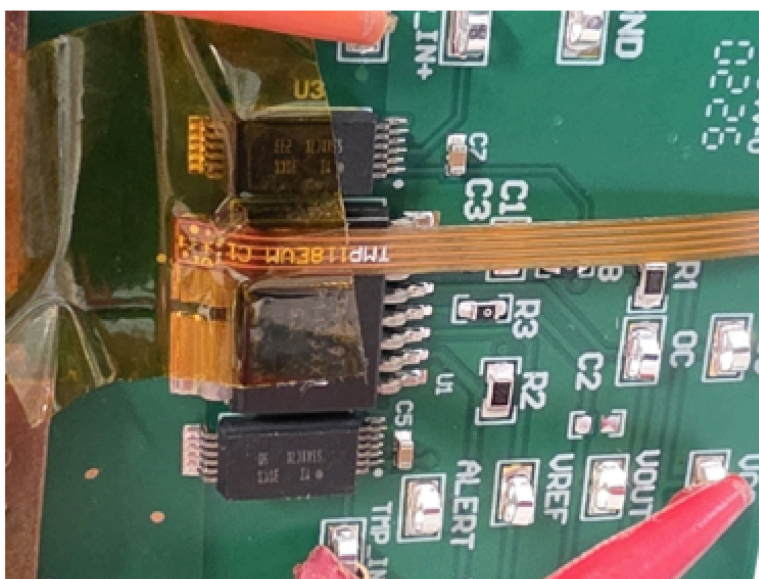


図 3-3. PCB における TMP118 フレックス ケーブルの配置

電流供給については、負荷共有モードで 2 つの Keysight N7971A 電源を並列で使用し、最大 200A の電流を生成できる単一電源を作成しました。IN+ と IN- の各側に約 4 フィートの 2AWG EastPenn 溶接ケーブルを実装し、これらを電源の共通出力点から引き出し、Amphenol 製の 8mm RADSOK クイック ディスコネクト システムを介して終端処理しました。次に、約 1 フィートの小型ケーブル セット (こちらも 2AWG) を RADSOK セットに接続し、標準的なステンレス製金具を使用して Penn Union SLU125 ラグを介して基板の入力端子に接続しました。各 ISOTMP35 は、ノイズ平均測定に役立つ Keysight 34401A DMM を低速 6 桁モードで使用して測定しました。どの試験も、ラボの周囲温度または Test Equity 115A オープンの 125°C いずれかの温度で実施しました。このオープン温度は $\pm 1^\circ\text{C}$ に校正していました。なお、ここで使用されている溶接ケーブルは定格温度が 105°C であり、125°C の環境下では、これらのケーブルの高温時の熱負荷によってデバイスの性能が多少低下した可能性があります。ケーブル管理の観点からケーブルの柔軟性が求められていたため、このケーブルを採用しました。図 3-4 に、このセットアップ設計のシステム ブロック図を示します。デバイスを内部テスト モードに切り替えるため、TI-SCB をデバイスに接続し、内部検証ツールを使用して接合部温度を測定しました。

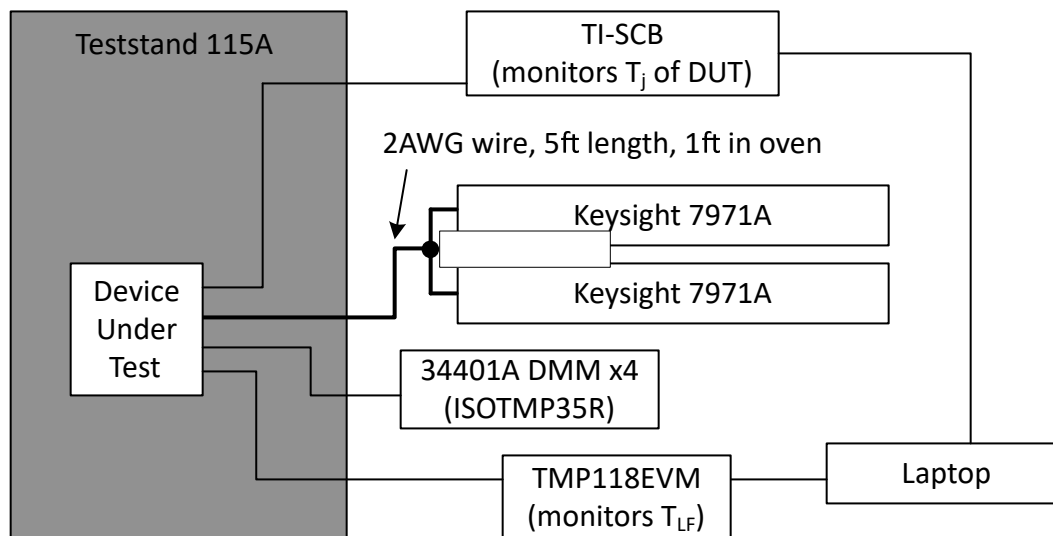


図 3-4. 実験用 システム ブロック図

4 結果

実験ごとに 3 つの個別デバイスを動作させ、その結果を平均化して、各データポイントの典型的な応答を算出しました。室温検査の結果を表 4-1 に、125°C 検査の結果を表 4-2 に示しています。太字の値は、それぞれのデータシートの推奨範囲外である **TMP118** のデータキャプチャを示しています。**TMP118** の精度は 125°C まで $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ ですが、この精度範囲を超える部分については、測定値にさらなる誤差が含まれる可能性があることが認められました。**ISOTMP35R** の場合、IN+ は IN+ ポリゴン上で **TMCS1143** に隣接するセンサ (U3) を指し、IN- は、IN- ポリゴン上で **TMCS1143** に隣接するデバイス (U4) を指し、BOT は、IN+ ポリゴン (U2) 上で **TMCS1143** の下に配置されたデバイスを指し、REF は、IN- ポリゴン上で **TMCS1143** から離れた位置に配置されたセンサ (U5) を指します。

表 4-1. 室温での電流スweepの結果

	電流 (A)													
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	125	137.33
ISOTMP35R、IN+	23.51	23.74	24.75	27.11	29.89	33.76	38.39	44.17	50.94	59.27	68.43	79.39	99.07	115.08
ISOTMP35R、IN-	23.70	23.96	25.00	27.42	30.26	34.22	38.83	44.73	51.40	59.85	69.00	80.15	99.57	116.25
ISOTMP35R、BOT	23.64	23.95	24.91	27.42	31.16	35.73	41.18	48.10	56.10	65.92	76.99	90.26	114.08	136.27
ISOTMP35R、REF	23.58	23.76	24.83	27.07	28.85	32.03	35.66	40.36	45.49	52.13	59.07	67.56	81.88	93.46
TMP118 (°C)	24.04	24.39	25.56	28.23	31.47	35.83	41.49	48.02	56.12	64.59	75.85	89.42	113.19	138.41
接合部、TJ (°C)	26.73	27.08	28.56	31.95	35.66	41.02	47.81	55.92	65.48	77.35	91.07	107.34	136.62	164.37
LF 抵抗 ($\mu\Omega$)	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270
LF 電力 (W)	0	0.027	0.108	0.243	0.432	0.675	0.972	1.323	1.728	2.187	2.7	3.267	4.219	5.092
IQ (W) からの電力	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036
総電力 (W)	0.036	0.063	0.144	0.279	0.468	0.711	1.008	1.359	1.764	2.223	2.736	3.303	4.255	5.062

表 4-2. 125°C での電流スweepの結果

	電流 (A)									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	85.667
ISOTMP35R、IN+	121.95	122.22	122.85	124.24	126.19	128.85	132.11	136.11	140.82	143.49
ISOTMP35R、IN-	122.08	122.39	123.27	124.80	127.06	129.83	133.42	137.80	142.99	145.91
ISOTMP35R、BOT	121.97	122.35	123.41	125.26	127.71	131.41	135.78	141.13	147.46	151.09
ISOTMP35R、REF	122.21	122.41	122.92	123.96	125.30	127.21	129.52	132.36	135.71	137.55
TMP118 (°C)	122.79	123.15	124.20	125.98	128.62	132.15	136.51	141.96	148.42	152.02
接合部、TJ (°C)	125.35	125.86	127.34	129.83	133.37	138.15	144.07	151.31	160.00	165.02
LF 抵抗 (μΩ)	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365
LF 電力 (W)	0	0.0365	0.146	0.3285	0.584	0.9125	1.314	1.7885	2.336	2.679
IQ (W) からの電力	0.0363	0.0363	0.0363	0.0363	0.0363	0.0363	0.0363	0.0363	0.0363	0.0363
総電力 (W)	0.036	0.073	0.182	0.365	0.620	0.949	1.350	1.825	2.372	2.715

供給電流による接合部の試験

接合部温度の分析方法としてまず考えられるのは、経時的な電流試験です。この方法では、熱方程式の過渡は多少無視され、電流の定常状態の値を最適な適合曲線と比較して調べます。以下の図 4-1 に、多数の電流振幅に対する各種電流ステップ応答の熱効果を示します。なお、TMCS114x の測定範囲内のほとんどの電流ステップにおいて、熱過渡現象は 20 分後にはほぼ収束する点に留意してください。

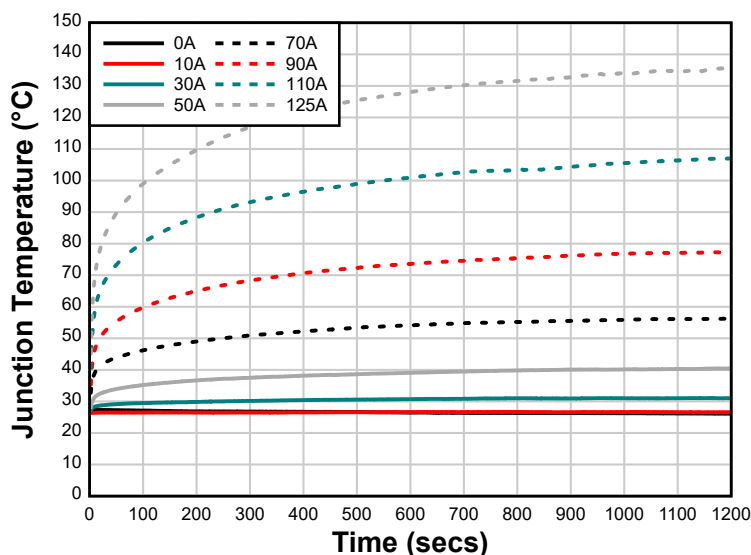


図 4-1. TMCS1143 評価基板の DVF パッケージの接合部温度と時間との関係

これらの各曲線について、熱的定常状態に達した後、接合部の内部温度の DC 値を記録し、それを図 4-2 にプロットしました。また、最適化の 2 次曲線 (COBF) も計算し、プロット内に示しているので、設計者は、レイアウトプロファイルが TMCS1143 評価基板のものに対して妥当な範囲内にある限り、標準的な接合部温度を容易に追跡できます。125°C についても、このプロセスを繰り返した結果を図 4-3 に示します。

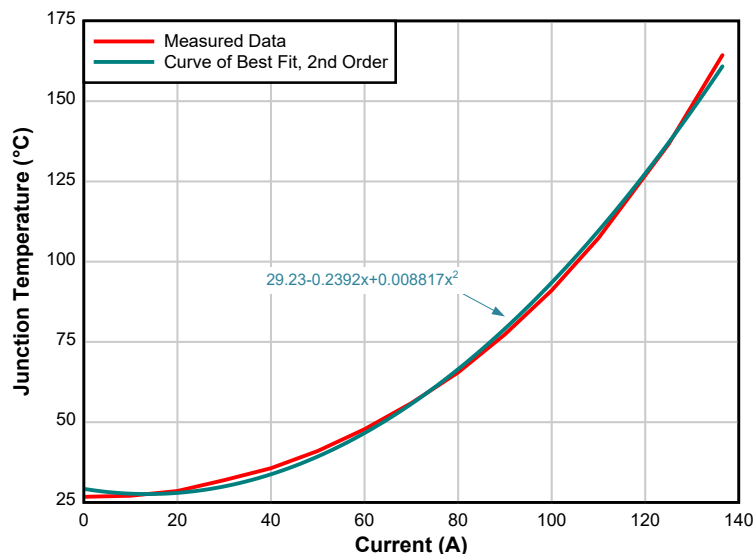


図 4-2. TMCS114x の標準接合部温度 (COBF、 $T_A = 25^\circ\text{C}$)

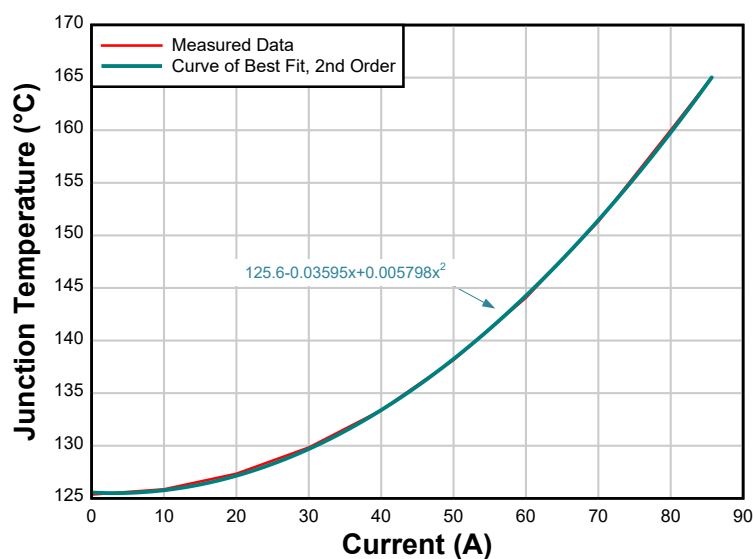


図 4-3. TMCS114x の標準接合部温度 (COBF、 $T_A = 125^\circ\text{C}$)

この手法に関する詳細な解説と、DVG と DVF の両パッケージに関する追加のデータ プロットについては、『[TMCS1123 ホール エフェクト効果電流センサの熱解析](#)』でも取り上げています。

周囲条件とリードフレーム条件による接合部の試験

セクション 4 に示した測定値を使用すると、接合部と、周囲温度またはリードフレームとの間の熱伝達特性を分析するために必要なすべての処理を実行できます。入力電力の観点からは、部品の静止電流とリードフレーム上で発生する電力という 2 つのシグネチャを分析する必要があります。

静止電流から供給される電力は、その性質上、比較的安定しています。ただし、この値は、電源電圧の変動によって、またはデータシートに記載されている I_Q の分布によって変わる可能性があります。表 1 と表 2 の値は、指定されている 3.3V 電源と、データシートに記載されている I_Q の標準値 11mA に基づいて計算された値です。

リードフレームから供給される電力も調整する必要があります。室温テストでは、すべての電流値にわたって標準値 $270\mu\Omega$ を使用します。ただし、 125° の場合は、入力導体の抵抗温度ドリフトも考慮する必要があります。これにより抵抗値にさらに $95\mu\Omega$ が加わり、高温時における抵抗値は合計で $365\mu\Omega$ になります。これらの各値について、リードフレーム内で発生する電力を以下の標準的な方程式で計算します。

$$P_{LF} = I_{LF} \times R \quad (1)$$

これらの値を合計し、標準的な JEDEC モデルに適用して、リードフレームで追加の電力が生成されるときに係数の値がどのように変化するかを観察しました。図 4-4 は、測定した周囲温度と接合部との関係 (この式で算出) で、

$$T_J = T_A + R_{\theta JA} \times (P_{LF} + P_{IQ}) \quad (2)$$

図 4-5 は、測定したリードフレームと接合部との関係の観測結果です (この式を利用)。

$$T_J = T_{LF} + R_{\theta JLF} \times (P_{LF} + P_{IQ}) \quad (3)$$

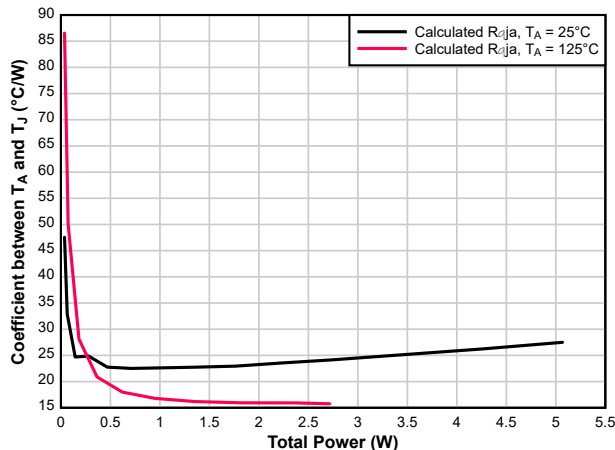


図 4-4. 算出された $R_{\theta JA}$ と総電力の関係 (25°C および 125°C)

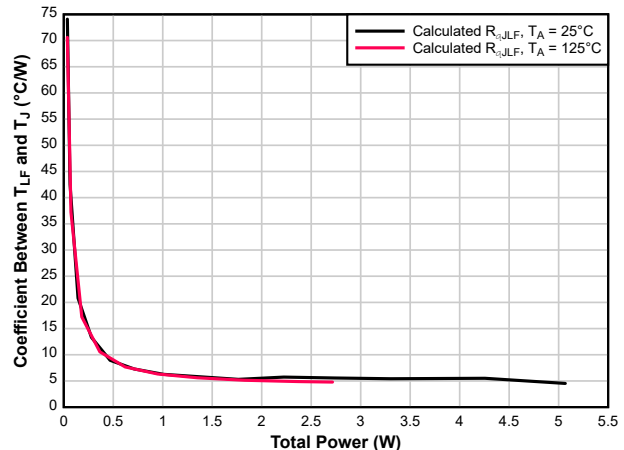


図 4-5. 算出された $R_{\theta JLF}$ と総電力の関係 (25°C および 125°C)

両方の勾配について、予測された挙動が現れたことが確認できます。約 1W の総消費電力では、システムは、電力の大部分がリードフレームで生成されているという事実と整合している値の新たな線形集合に収束し、1W 未満では、係数は線形性を失い、逆の関係を呈しています。これは、リードフレームから供給される電力の大きさが、静止電流によって生じる静的電力を無視できるほどではなかったためです。リードフレームで発生する電力はゼロに近づく傾向があるため、気温曲線について、係数は元の $R_{\theta JA}$ の性質と比較的類似した値に漸近的に収束することがわかります。個々の係数の違いは、位置の違いに起因しています。 I_Q による電力はシリコン自体で発生するため、パッケージ内で物理的に離れた位置にあるリードフレームからの熱に比べて、接合部にはるかに大きな影響を及ぼします。

気温曲線については、 25°C の曲線も 125°C の曲線も比較的安定した値に収束するものの、両方が互いに収束するわけではないことが確認されています。これは、ここの周囲温度の複雑な性質と、室温実験に標準的な実験室温度を使用する単純なアプローチによるものと考えられます。部品自体の発熱により生じた、部品周辺の実際の周囲温度の微小な変化のせいで、この問題がさらに複雑になっていると考えられます。

これらの測定結果の中で極めて興味深いのは、リードフレームと接合部温度との間の相関係数です。25°C と 125°C のどちらの場合も、降伏曲線はほぼ同じであり、評価基板の平均値 5°C/W に収束しています。この温度に対する独立性から、設計者はリードフレームの温度を正確に測定できれば、周囲温度とは無関係に接合部温度を推定できることが示されています。このプロセスで使用されたさまざまな ISOTMP35 の結果を検証したところ、基板の底面に実装されたデバイスでは、図 4-6 に示すように、ほぼすべてのケースにおいて、リードフレームの温度を 1.5°C 以内の精度で正確に測定できることが確認されました。

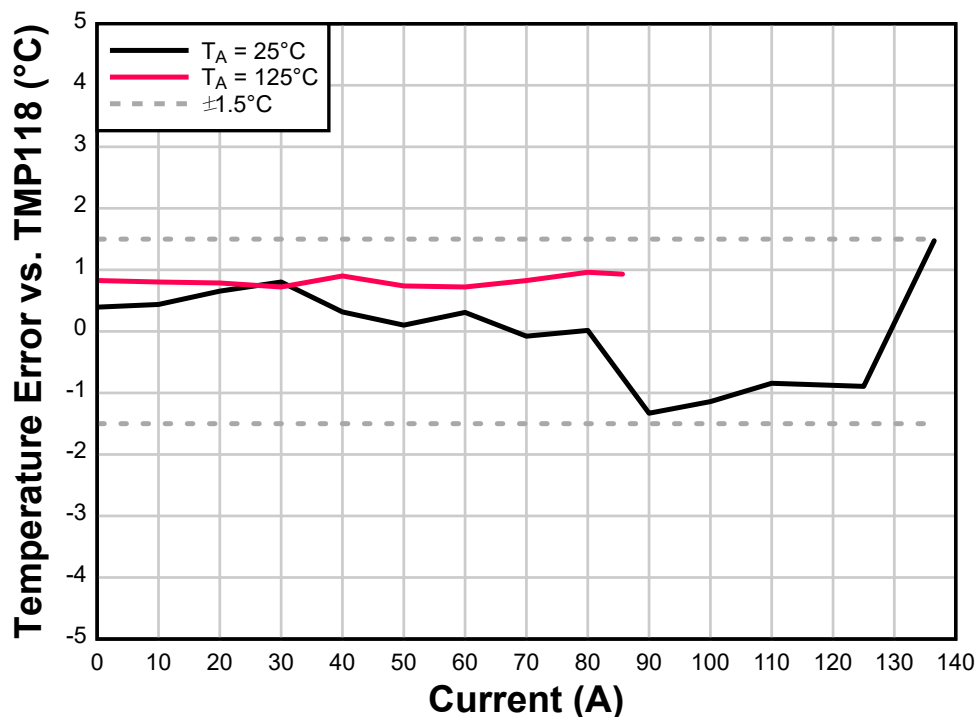


図 4-6. ISOTMP35R と電流範囲におけるリードフレーム基準温度誤差との関係

5 まとめ

電力密度の急速な上昇と、それに伴う PCB 銅箔の体積の縮小により、TMCS114x シリーズなどのインパッケージ ホール エフェクト電流センサには厳しい熱環境が生じています。従来の JEDEC ベースの $R_{\theta ja}$ モデルでは、接合部温度の便利な一次近似値が提供されていますが、ダイの静止電力が主な熱源であることを前提としています。本論文における測定結果から、これらのデバイスに典型的な電流条件下では、リードフレームで放散される電力が静止電力損失をすぐに上回り、熱応答が根本的に変化することが示されています。したがって、単一の周囲温度測定値のみに依存すると、レイアウトや銅箔配分が、JEDEC パラメータの生成に使用されたリファレンス ボードと異なる場合に重大な誤差が生じる可能性があります。

ISOTMP35R などの絶縁型温度センサ IC を用いてリードフレームの温度を直接監視することで、接合部温度を推定するための信頼性の高い代替手法を実現できます。このデータによると、リードフレームの温度上昇と接合部温度の間には線形関係が見られ、有効熱抵抗は約 $5^{\circ}\text{C}/\text{W}$ であり、この値は室温 (25°C) 環境と高温 (125°C) 環境のいずれにおいても一貫して維持されています。

全体として、本研究は、直接的な温度測定によって裏付けられたリードフレーム中心の熱モデルが、高密度パワー アプリケーションにおける TMCS114x ホール エフェクト センサの安全な動作限界を評価する上で、より正確かつ設計しやすいアプローチであることを実証しています。今後の研究では、この手法が他のパッケージ タイプや、銅ポリゴンの異なる体積・重量にまで拡張されるとともに、リードフレームの測定温度を活用して動的な電流制限を実施する能動的な熱補償技術について検討されることが考えられます。

6 参考資料

1. テキサス インスツルメンツ、『[半導体および IC パッケージの熱評価基準](#)』アプリケーション ノート
2. テキサス インスツルメンツ、『[TMCS1123 ホール エフェクト電流センサの熱解析](#)』アプリケーション ノート。

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みいかなる保証も、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、TI は一切の責任を拒否します。

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](https://www.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