

Application Note

ホール エフェクト (パッケージ内蔵 TMCS1143) と他の絶縁型 CS 方式の比較



Eunize Tobias, Carolus Andrews

概要

このアプリケーション レポートでは、TI (テキサス インストルメンツ) の TMCS1143 ホール エフェクト パッケージ内蔵電流センサと他の絶縁型電流センサの各方式を比較し、それぞれの利点を紹介します。

目次

1 はじめに.....	2
2 詳細説明.....	2
2.1 ホール エフェクト パッケージ内蔵電流センサ.....	2
2.2 電流トランスデューサおよびモジュール.....	2
2.3 設計要件.....	2
2.4 電流能力.....	3
2.5 精度.....	3
2.6 過渡応答.....	4
2.7 周囲磁界除去 (AFR).....	9
2.8 パッケージとサイズ.....	10
2.9 価格.....	11
2.10 追加機能.....	11
3 まとめ.....	12
4 参考資料.....	13

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 はじめに

現在の市場では、電流測定用にさまざまな設計が存在します。各テクノロジーにはさまざまな利点と制限があるため、アプリケーションに適したデバイスの選定が難しい場合があります。このアプリケーションレポートでは、ホール エフェクト内蔵パッケージ IC、電流トランスデューサ、モジュールを比較し、それぞれの利点を示します。

2 詳細説明

2.1 ホール エフェクト パッケージ内蔵電流センサ

ホール エフェクト パッケージ内蔵電流センサは、電流がデバイスのパッケージを流れる、ガルバニック絶縁されたセンサの一種です。電流によって生成される磁界は、絶縁型センサを使用して内部で測定され、電氣的に直接接続せずに電圧信号に変換されます。このセンサは、スペースに制約のある設計で高精度、低ドリフト、絶縁、高速な応答時間、コンパクトなサイズのソリューションであるため、複数のアプリケーションで AC および DC 電流センシングに一般的に使用されます。

ホール エフェクト電流検出の原理と実装手法についてより包括的に理解できるように、TI の「[ホール エフェクト電流センシング ビデオ](#)」で詳細な説明と実践的なアプリケーション例を紹介しています。

2.2 電流トランスデューサおよびモジュール

電流トランスデューサは、高電流回路と低電流回路の絶縁が可能であるため、多くのアプリケーションで AC 電流検出に広く利用されています。開ループトランスデューサは、電流により生成される磁界を直接測定し、それに比例した出力信号に変換します。閉ループは、磁場を相殺する補償回路を使用する構成の 1 つです。電流トランスデューサやモジュールは、パッケージ内の電流センサよりも大きい電流能力を持っていますが、いくつかの制約があります。そのよ 1 つの例として、磁気コアの磁束飽和があります。この制約のため、コア内の磁束が仕様内に戻るまで、デバイスは測定を実行できません。

2.3 設計要件

大電流の測定を必要とするシステムの設計では、さまざまなテクノロジーの利点と制限によって課題が生じることがあります。各テクノロジーは、精度、絶縁、周波数応答、サイズ、コスト面で固有の優位点を持っており、それぞれ異なるアプリケーションに適しています。そういった要素について、このアプリケーション ノートでは、ラボでの測定結果やデバイス データシート上の直接比較を通じて説明および比較します。

比較対象のデバイス:

1. TI TMC1143: コンパクトなパッケージで最大 125A RMS の連続電流に対応できる、ガルバニック絶縁されたホール エフェクト センサ。
2. 競合製品 1 (Comp1): SMT リード フォームにガルバニック絶縁を内蔵し、最大 100A の測定が可能な、ホール エフェクト ベースの電流センサ。
3. 競合製品 2 (Comp2): トネル磁気抵抗 (TMR) 技術を使用し、スルーホール パッケージに封止された絶縁型の開ループトランスデューサ。50A RMS の定格で、180A までファミリー オプションがあります。
4. 競合製品 3 (Comp3): スルーホール パッケージに封止された、一次公称電流 50A の双方向、開ループ、ホール エフェクト ベースの電流センサ。
5. 競合製品 4 (Comp4): ガルバニック絶縁型の開ループ ホール エフェクト電流トランスデューサ (このファミリーは最大 600A まで対応。今回テストしたデバイスは 100A 定格)。
6. 競合製品 5 (Comp5): AC/DC の両方を測定可能なガルバニック絶縁型の閉ループ電流トランスデューサ (75A の一次公称 RMS 電流向けに)

2.4 電流能力

電流センサは方式によって構造が異なり、それに応じて扱える電流能力も異なります。一般的に電流トランスデューサとモジュールは、その電気的アーキテクチャと熱性能により、高い AC 電流に対応できます。電流トランスデューサとモジュールは、通常、1 次導体が通過するための開口部があり、そこを流れる電流に比例した大きさの磁場が生成されます。また、パッケージの物理サイズが大きく、非侵襲型の電流測定方式であるため、パッケージ内蔵ホール エフェクト方式のような放熱制約を受けません。

2.5 精度

高精度測定を行うために、電気的オフセット誤差、磁気オフセット誤差、感度の 3 つの要素を考慮します。電気的オフセット誤差 (電圧オフセット誤差とも呼ぶ) V_{OE} は、入力電流が流れていないときの理想的な V_{out} からの偏差です。このテストでは、入力電流をゼロとし、ゼロ電流時の出力電圧 $V_{out, 0A}$ を測定しました。 V_{OE} は式 1 を使って計算されます。磁気オフセット誤差については、各デバイスに最大電流の 110% を印加して飽和させた後、静止点に戻し、電流がゼロの時の V_{out} を測定しました。オフセット電圧を計算して、磁界の飽和による残留効果による変化があるかどうかを判定しました。最後に、感度とはセンサの V_{out} が入力電流 I_{IN} の変化によって生じる応答量であり、図 1 のとおり傾きとして表すこともできます。感度試験は、入力電流がない状態でセンサの V_{out} を測定し、さまざまな電流を印加して対応する V_{out} を記録し、その傾きを求めました。続いて、感度誤差 e_{SENS} を式 2 に基づいて算出しました。

結果から、TI の TMCS1143 のオフセット電圧は最も低く、閉ループ電流トランスデューサ (Comp5) 以外の他の競合製品と同等であることがわかります。デバイスを飽和させた後にヒステリシスは観測されていません。興味深いことに、Comp5 は 3mV の差を示しています。これは閉ループ電流トランスデューサであり、この方式ではヒステリシスの影響が最小限に抑えられることが知られています。感度の結果から、Comp4、TMCS1143、Comp5 のような低感度センサは、飽和せずに全電流範囲を扱うことが重要視される高電流アプリケーションに適したソリューションと言えます。

$$V_{OE} = V_{out, 0A} - V_{REF} \quad (1)$$

$$e_{SENS} = \frac{S_{MEAS} - S_{IDEAL}}{S_{IDEAL}} * 100\% \quad (2)$$

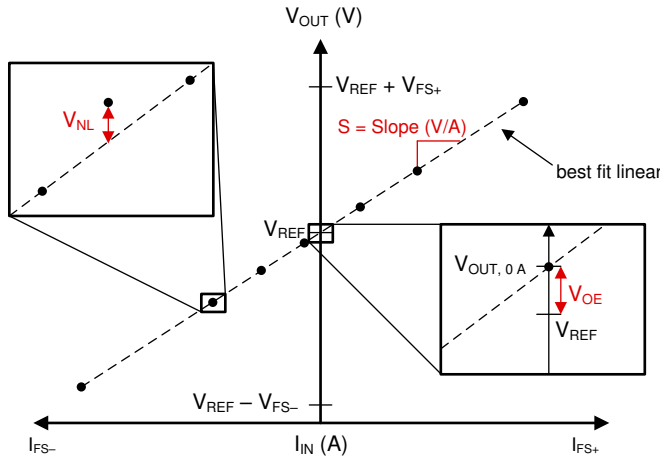


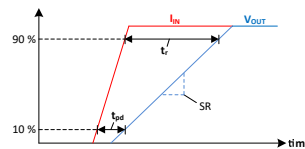
図 2-1. 感度、オフセット、非直線性誤差

表 2-1. オフセット誤差の比較

デバイス	テクノロジー	電氣的オフセット誤差 V_{OE}	磁氣オフセット誤差	感度誤差 e_{SENS}
テキサス・インスツルメンツ TMCS1143	ホール エフェクト パッケージ内蔵 IC	3mV	3mV	0.24%
Comp1	ホール エフェクト パッケージ内蔵 IC	18mV	18mV	1.45%
Comp2	電流モジュール	10mV	10mV	4.91%
Comp3	電流モジュール	11mV	11mV	1.22%
Comp4	電流トランスデューサ	8mV	8mV	0.0005%
Comp5	電流トランスデューサ	6mV	9mV	1.69%

2.6 過渡応答

過渡ステップ応答セクションでは、伝搬遅延 (t_{pd})、応答時間 (t_r)、スルーレート (SR)、帯域幅 (BW) という 4 つのパラメータを考慮しました。入力電流 I_{In} が最終値の 10% に達してから、 V_{out} が最終値の 10% に達するまでの時間を t_{pd} と定義します。出力電圧に 1V の変化をもたらすのに十分な入力電流ステップにおいて、 I_{In} が最終値の 90% に達してから V_{out} が最終値の 90% に達するまでの時間を t_r と定義します。競合他社では t_{pd} および t_r の測定方法が異なるため、公平性を確保する観点から図 2 に示す方法で測定を実施しました。帯域幅は入力信号とそれに伴う高調波が完全に増幅される周波数の上限を決定するため、電流センサがアプリケーション要件を満たしているかどうかを評価するうえで重要です。これにより、高調波減衰に起因する歪みを発生させずに、高精度の出力信号を再構築できます。


図 2-2. 過渡ステップ応答

各デバイスの応答時間 t_r および伝搬遅延 t_{pd} を測定し、表 2-2 に記載したデータシートに基づいて帯域幅を比較しました。

表 2-2. 応答時間と帯域幅

デバイス	テクノロジー	t_{pd}	t_r	帯域幅
テキサス・インスツルメンツ TMCS1143	ホール エフェクト パッケージ内蔵 IC	0.14 μ s	1.03 μ s	275kHz
Comp1	ホール エフェクト パッケージ内蔵 IC	1.42 μ s	3.42 μ s	200kHz
Comp2	電流モジュール	0.087 μ s	0.10 μ s	400kHz
Comp3	電流モジュール	0.84 μ s	0.76 μ s	400kHz
Comp4	電流トランスデューサ	3 μ s	3.74 μ s	240kHz
Comp5	電流トランスデューサ	0.124 μ s	0.78 μ s	300kHz

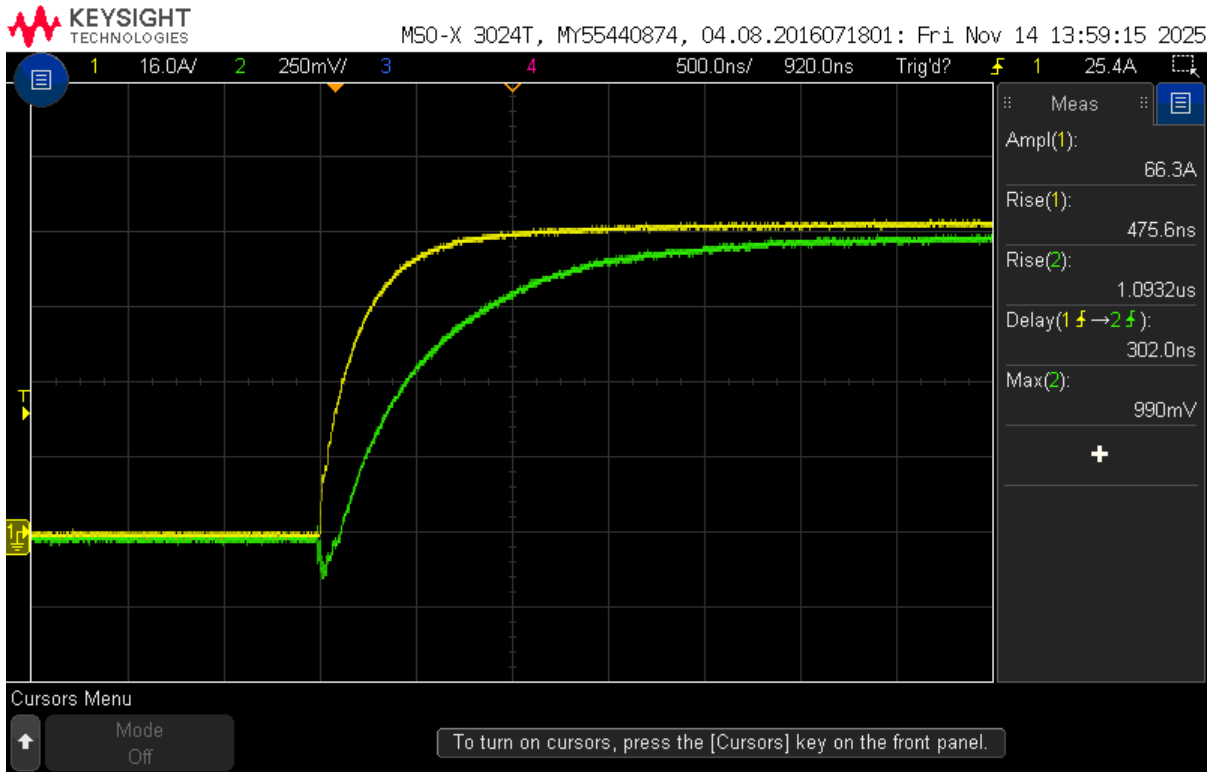


図 2-3. TI TMCS1143 の応答時間

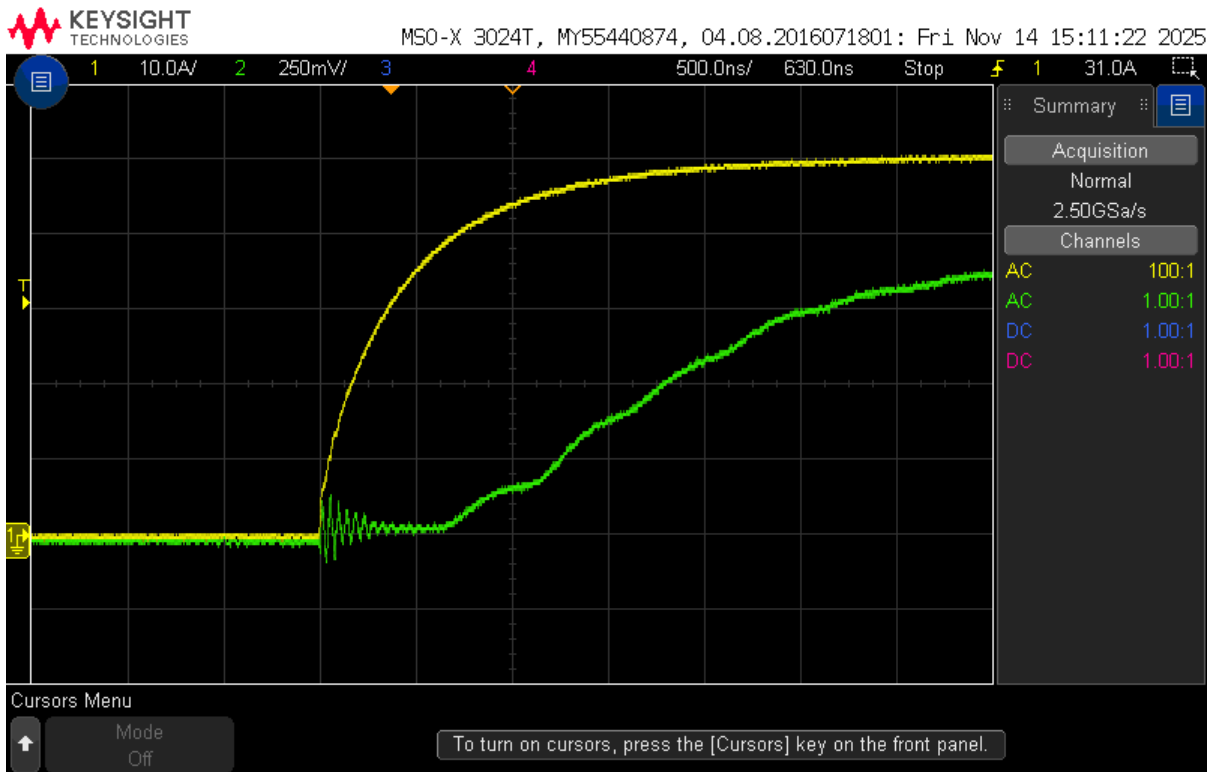


図 2-4. 横軸 1 目盛り (500ns) における Comp1 の応答時間

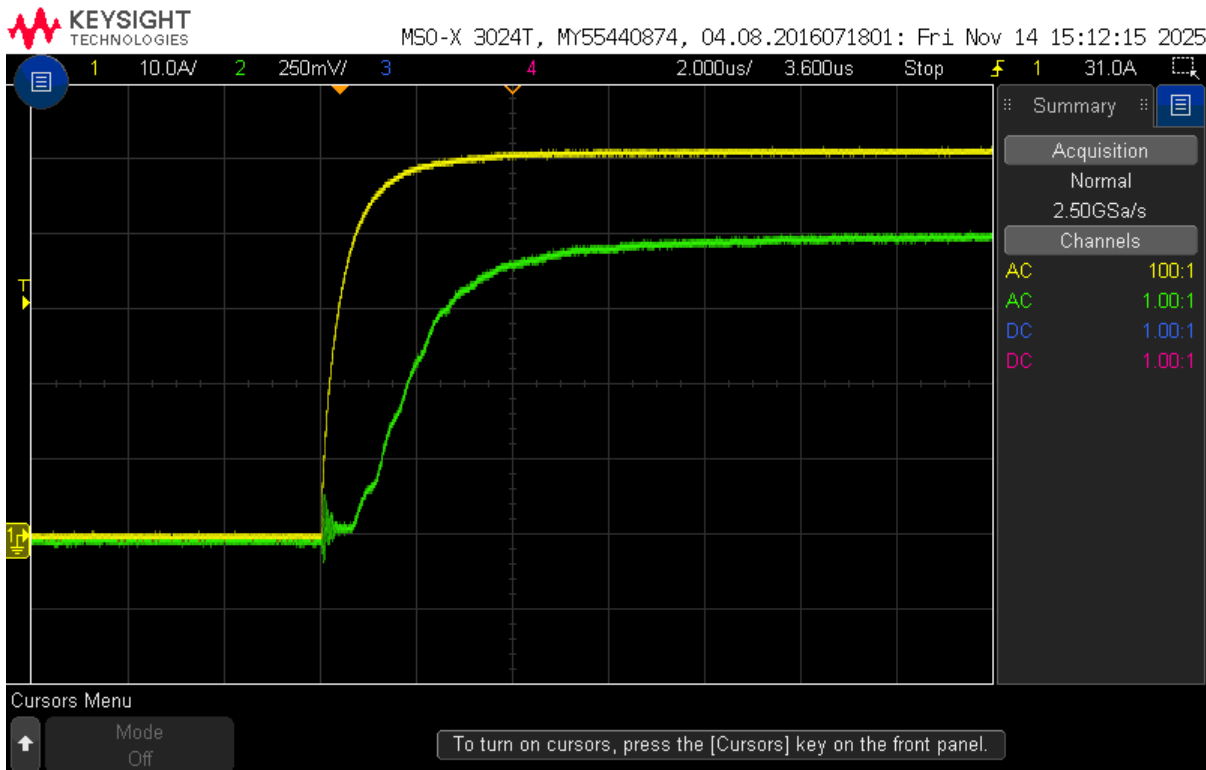


図 2-5. 横軸 1 目盛り (2 μ s) における Comp1 の応答時間

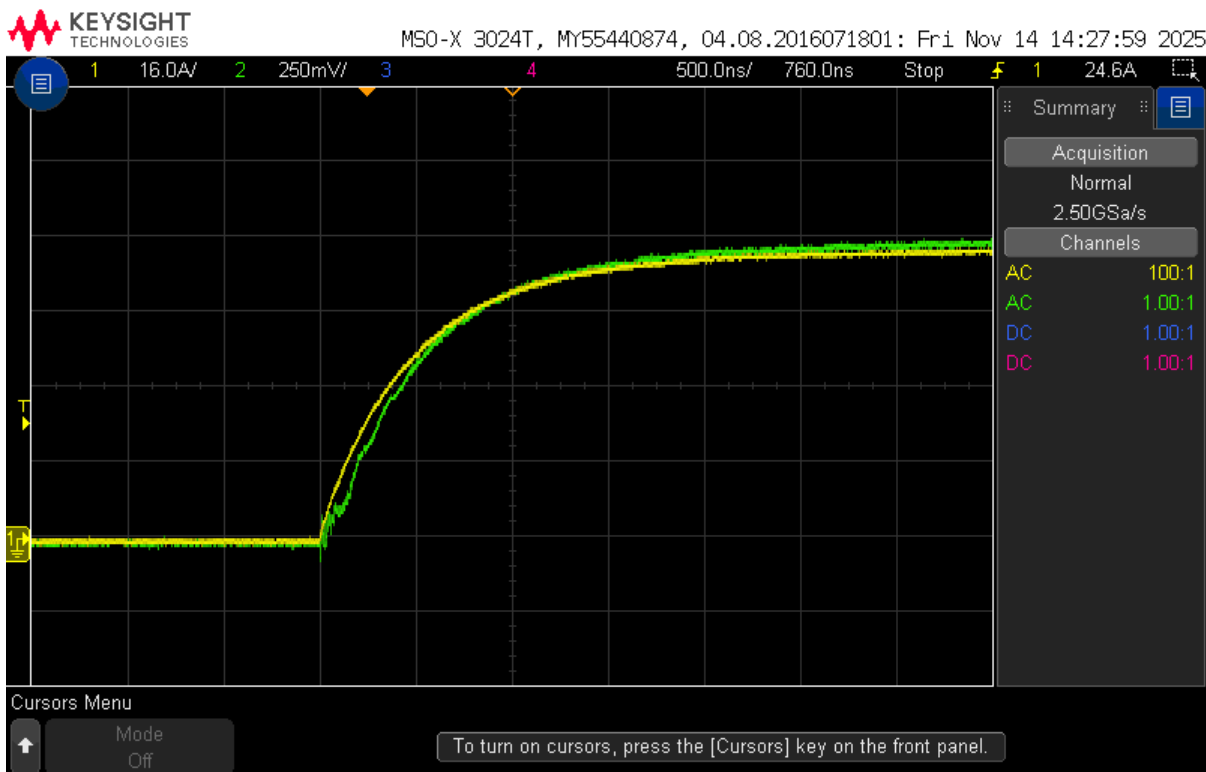


図 2-6. Comp2 の応答時間



図 2-7. Comp3 の応答時間

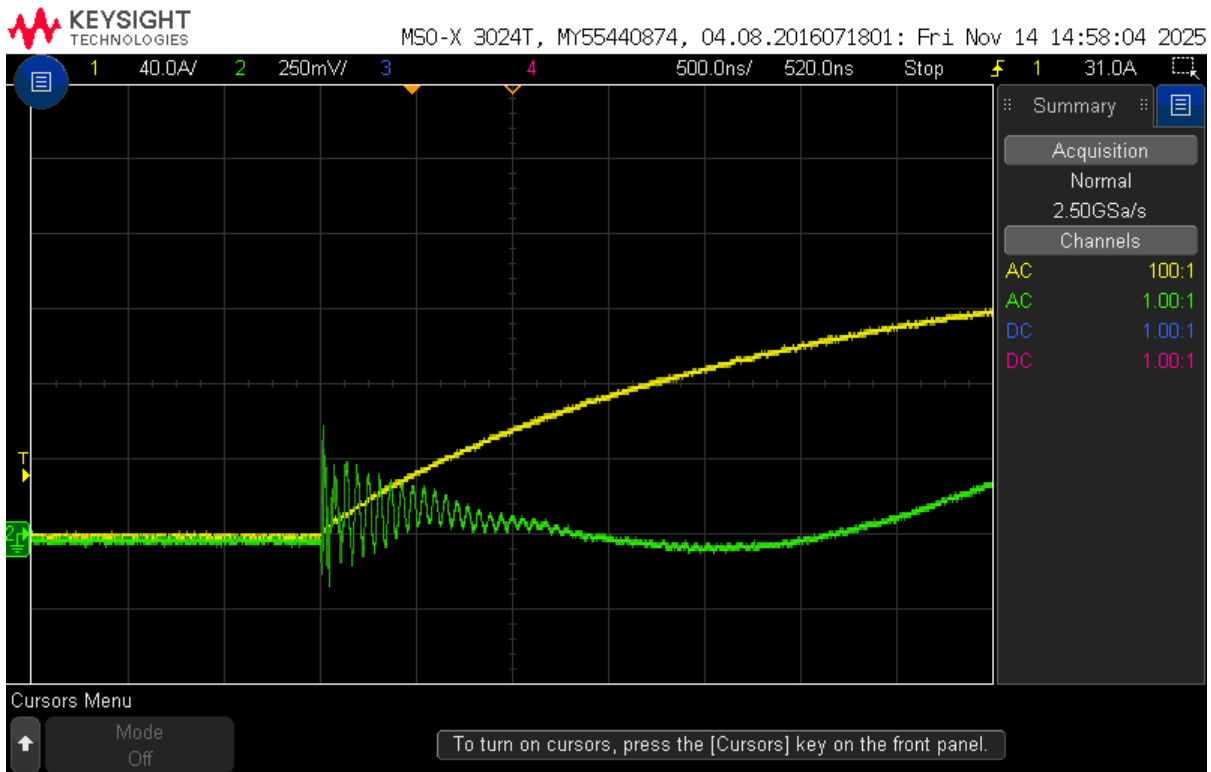


図 2-8. 横軸 1 目盛り (500ns) における Comp4 の応答時間

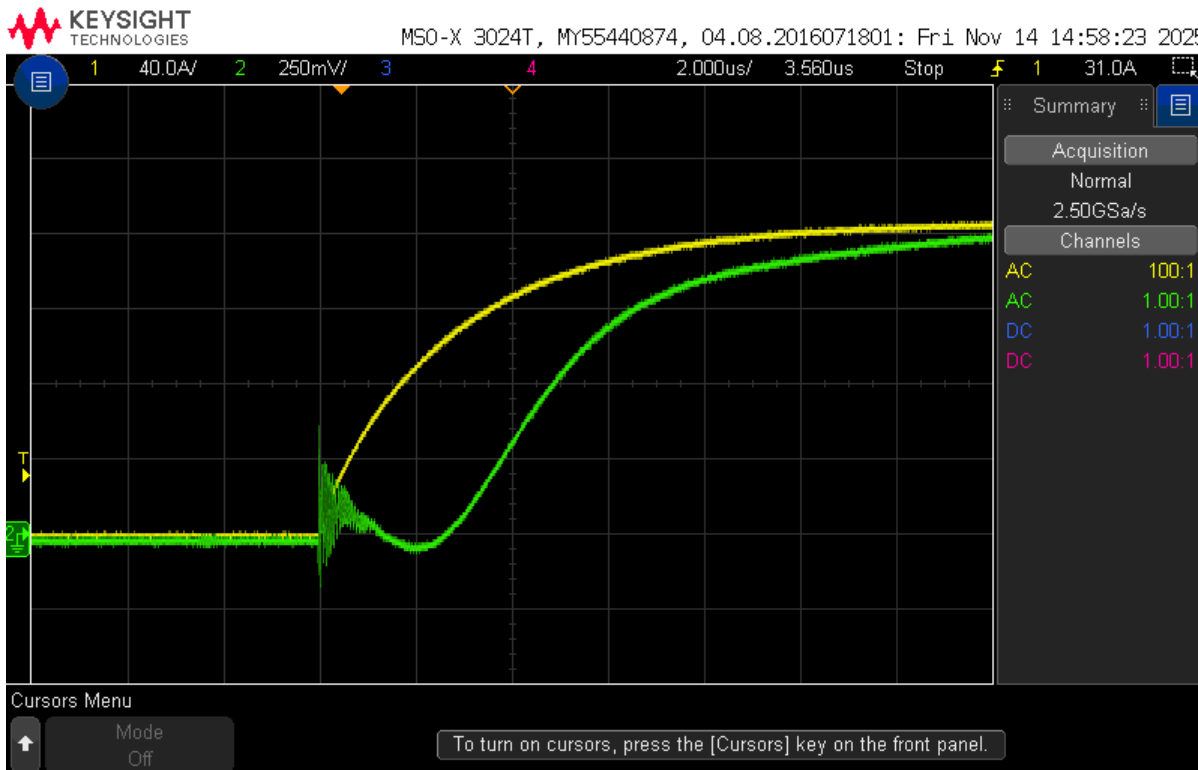


図 2-9. 横軸 1 目盛り (2 μ s) における Comp4 の応答時間

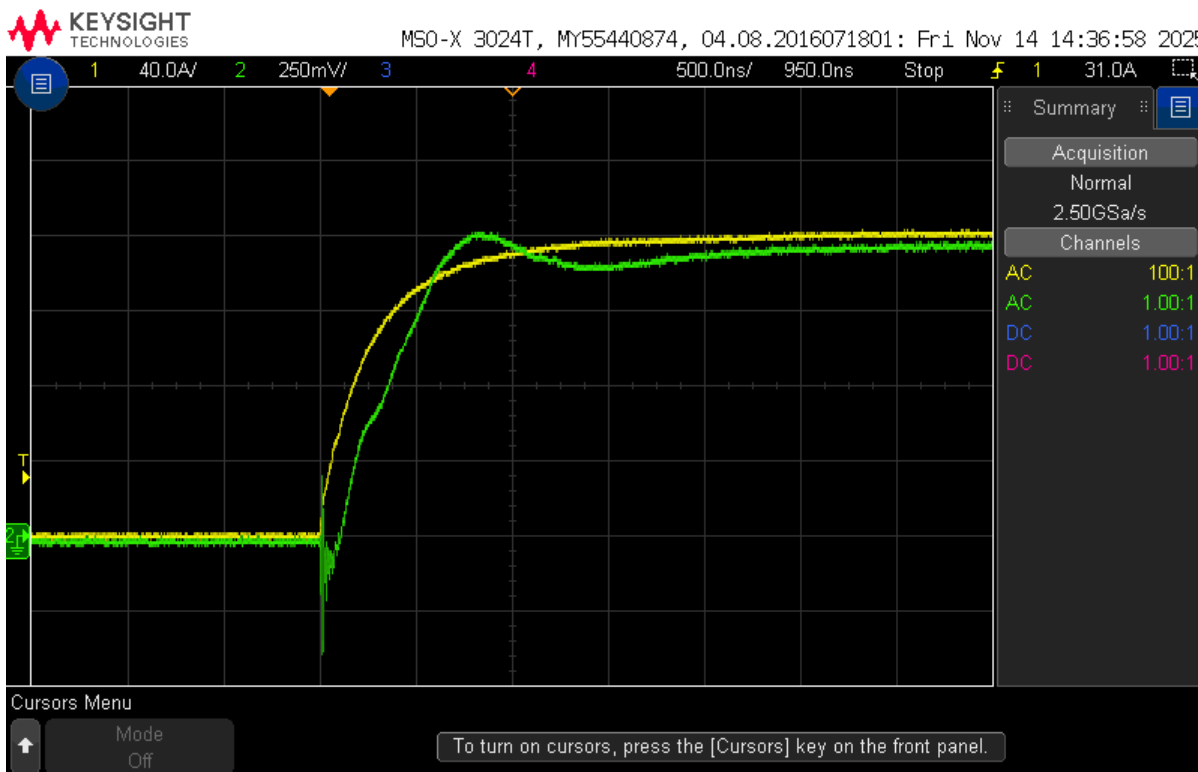


図 2-10. Comp5 の応答時間

データシートに記載されているデバイスの帯域幅すべてを比較することで、双方向の開ループ電流センサ (Comp3) と開ループ電流トランスデューサ (Comp4) は、高速で変化する電流に対して、より高速かつ高精度の応答を実現できます

が、ノイズに対する感度などのトレードオフが生じる可能性があります。開ループ電流トランスデューサ (Comp4) は、外付けの 1 次導体により使用する配線に基づいてインダクタンスが追加されるため、他のデバイスと比べて特に低速です。より大きいワイヤを使用するとインダクタンスを減らすことはできますが、システムの総コストがトレードオフになってしまいます。

2.7 周囲磁界除去 (AFR)

デバイスの近くにある外部の磁界からの干渉を除去し、測定の精度を確保するには、周囲磁界除去 (AFR) が不可欠です。優れた AFR を備えたデバイスを用意することで、高精度の測定が確実にになり、設計上の主な課題を簡素化できます。磁気除去比を試験するためにヘルムホルツ コイルとクライオトロニクス プローブを用いました。ヘルムホルツ コイルは、同一方向に同じ電流が流れる 2 つの平行コイルによって、均一な磁界を生成します。目的の均一磁場を形成するため、ヘルムホルツ コイルに電流を印加し、Z 方向の磁場をプローブで測定しました。比較対象のデバイスはプローブ付近に配置しました。 V_{out} を各デバイスで測定し、図 2-11 に示すように記録しました。開ループ電流トランスデューサ (Comp4) のテストは、結果への干渉を避けるために外部ケーブルを PCB 接続に使用するという制約がありました。図 9 に示すように、TI の TMCS1143 は開ループ型トランスデューサ (Comp2) と比べて V_{out} の影響が小さく、最も優れた AFR を達成しています。



図 2-11. 磁界全体にわたる V_{out}

2.8 パッケージとサイズ

テストした部品はすべて、パッケージサイズが異なります。大型の設計である **Comp4** など、一部の部品には、PCB の面積とレイアウトに関していくつかの制限があります。TI **TMCS1143** などのデバイスは大型のコアがないため、よりコンパクトな設計が可能で、PCB 面積を削減できるため、設計コストの削減にもつながります。比較対象の中では、TI の **TMCS1143** が 138.43mm^2 で最も小型の設計となっています (図 2-12 および 図 2-13 参照)。絶縁タイプの中にはさらに小型の製品もありますが、基本絶縁のみのものが大半です。一方、**TMCS1143** は強化絶縁に対応しています。

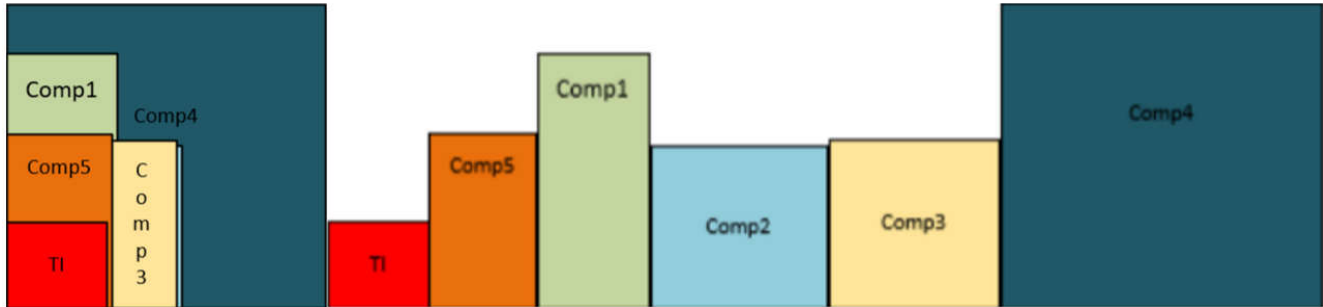


図 2-12. 2D の上面図比較

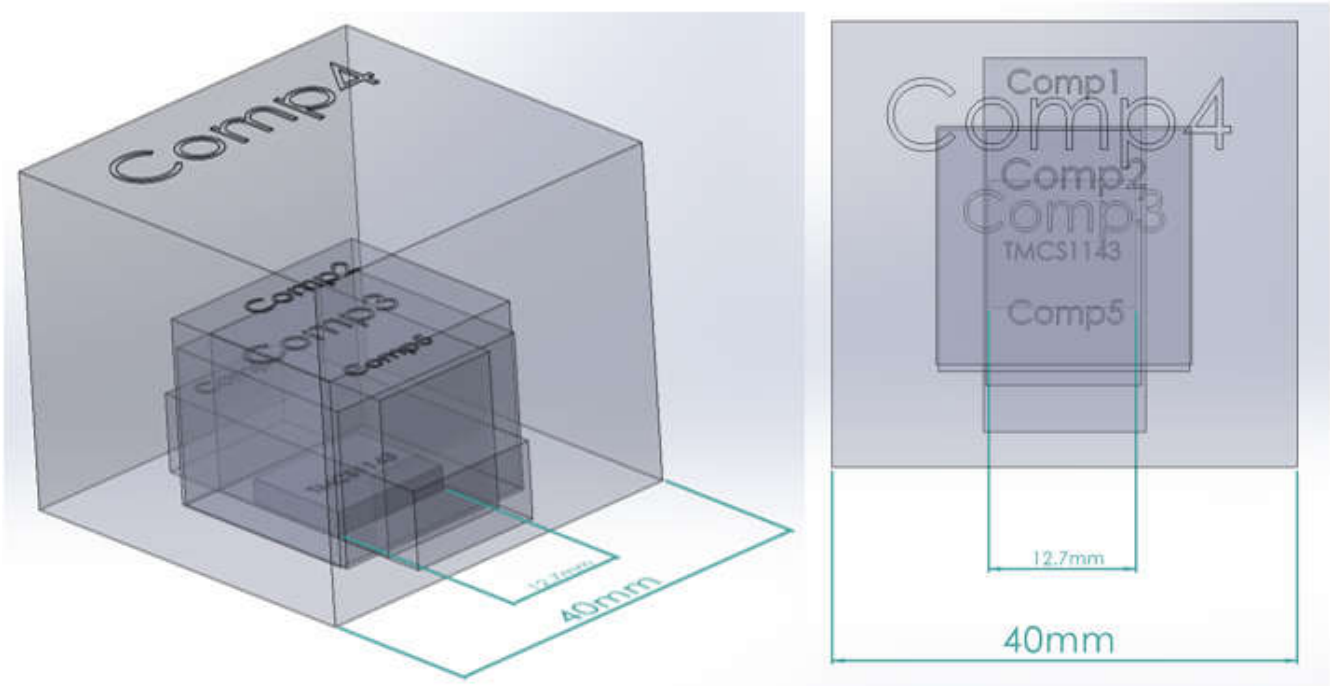


図 2-13. 3D ビューで見た全部品の総面積

2.9 価格

電流センス デバイスを選択する際には、方式ごとに価格が異なるため、コストも重要な要素となります。公平な価格比較を行うため、DigiKey における 1Ku 価格を基準に比較しました。価格は 3 区分とし、低 (\$:0 ~ 4.5ドル)、中 (\$\$:4.5 ~ 9ドル)、高 (\$\$\$:9ドル超) に分類しました。表 3-1 に価格帯によるデバイスの比較を示します。

2.10 追加機能

TMCS1143 は、自己診断アラート機能と過電流検出機能を備えています。アラート機能は、動作条件で温度や感度などの電流センサ測定値が無効になったことを警告します。内蔵の過電流検出機能 (OCD) は、短絡やモータの停止などにより発生する過電流からの損傷を防ぐため、警告のトリガやシステム シャットダウンの開始に利用できます。OCD は、電源電圧または内部リファレンス電圧で駆動される外付け抵抗デバイダを使用して設定できるフレキシビリティを備えています。これらの追加機能を活用すると、複数のアプリケーションに対応するシングルチップ ソリューションを製作できるため、設計の簡素化、ソリューション サイズの小型化、コストの削減につながります。

3 まとめ

結論として、大電流を必要とするシステムを設計する際には、さまざまなパラメータを考慮する必要があります。テクノロジーやデバイスの選定は難しいことがあるため、アプリケーションにおける必須の設計要件を把握しておくことが重要です。本書で説明した各種パラメータを踏まえると、表 3-1 に示すようにホール エフェクト パッケージ内蔵電流センサ TMCS1143 が最も優れた利点を持つ製品だと言えます。

表 3-1. 比較の概要

	TMCS1143	Comp1	Comp2	Comp3	Comp4	Comp5
テクノロジー	ホール エフェクト パッケージ内蔵 IC	ホール エフェクト パッケージ内蔵 IC	電流モジュール	電流モジュール	電流トランスデューサ	電流トランスデューサ
電流能力	125A	100A	50A	50A	100A	75A
感度誤差	0.24%	1.45%	4.91%	1.22%	0.0005%	1.69%
オフセット誤差	3mV	18mV	10mV	11mV	8mV	6mV
磁気オフセット誤差	3mV	18mV	10mV	11mV	8mV	9mV
帯域幅	275kHz	200kHz	400kHz	400kHz	240kHz	300kHz
伝搬遅延	0.14μs	1.42μs	0.087μs	0.84μs	3μs	0.124μs
ソリューション サイズ	138.43 mm ²	316.4 mm ²	454.21 mm ²	457.9 mm ²	1,215 mm ²	293.6 mm ²
コスト*	低	\$\$	低	\$\$	高	高

4 参考資料

1. テキサス インスツルメンツ、『[電流検出のエンジニア ガイド](#)』、e-book
2. テキサス インスツルメンツ、『[TMCS1143 高精度 275kHz ホール効果電流センサ、強化絶縁、過電流検出、周囲磁界除去機能搭載](#)』データシート

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、

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