参考資料

Technical Article

スムーズな操作性：多軸ホール エフェクト電流センサが精度の高いトルク制御を実現する方法



- マルチセンサ電流検出ソリューションにより、バス バーの変更なしで 1% 未満の精度 (1 軸コアレスの代替品と比較して 20 倍向上) を達成できます。
- EV やハイブリッド車における加速ムラやモーターの唸り音を解消できます。

自動車メーカーが電気自動車 (EV) からハイブリッド車 (またはその両方の展開) に至るまで、さまざまな電動化戦略を推進する中で、設計エンジニアは航続距離の延長と効率向上のため、エレクトロニクス システム (特にトラクション インバータ) の小型・軽量化という課題に直面しています。

トラクション インバータは、バッテリ電力を変換して電動モーターのトルクを精密に制御します。モーター相電流のわずかな測定誤差がトルク制御ループに悪影響を及ぼし、トルク リップル (振動、加速ムラ、不快なノイズ、航続距離を縮める非効率な動作) を引き起こす可能性があります。

従来の測定手法では、トラクション インバータのサイズ、軽量化、および精度の間で、トレードオフの選択を迫られていました。業界初のマルチセンサかつ多軸のホール エフェクト電流センサである TMCS2100-Q1 は、妥協することなく電流測定の課題を解決します。これは、新しい 800V アーキテクチャによりトラクション インバータの精度要件が高まる中で、ますます重要となる機能です。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

C コアからコアレスへ:1 つの課題を解決し、別の課題を生む

エンジニアは歴史的に、導体を囲む磁性コアの空間距離にリニア周波数ホール エフェクト センサを配置する C コア構造を使用して、車両のモーター位相電流を測定してきました (図 1)。

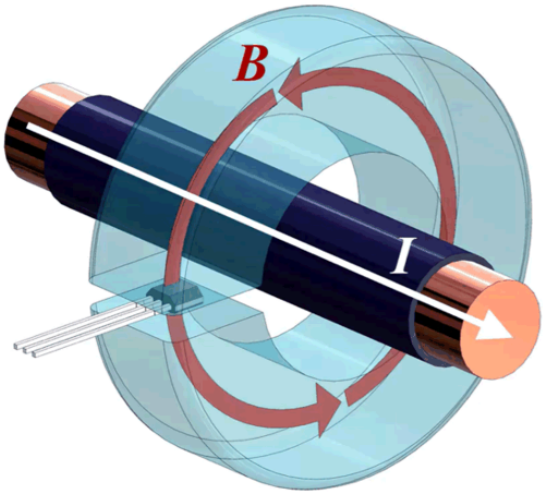


図 1. リニア周波数ホール エフェクト センサを使用した C コア実装

C コアは位相間の磁気クロストークを排除できますが、かなりのサイズと重量が増加します。より小型で軽量な車両を求める業界の需要により、コアレス モーター位相電流測定の採用が進む中、設計者は位相間クロストーク、振動による変位誤差、および外部磁界によるオフセット誤差に対処する必要があります。

変位誤差

コアレス電流検出ソリューションは、電流を直接測定するのではなく、アンペールの法則が記述するように導体を流れる電流によって発生する磁界を測定します。磁界の大きさは導体から離れるにつれて減少するため、ホール エフェクト センサに対し、特定の電流値において導体に対する相対位置で測定される磁界強度を「学習」させる必要があります。

センサに電流から磁界への結合係数を学習させると、この位置ポイントから少しでも変位した場合、同じ量の電流が導体を流れていても検知される磁界が変化してしまいます。これが変位誤差を生み出します。

変位誤差には、以下を含む複数の要因が寄与しています。

- ホール エフェクト センサのデバイス間のバラつき。
- アセンブリの機械部品の製造公差。
- アセンブリの公差。
- 車両走行中の振動。

製造ライン末端でのキャリブレーションにより、ほとんどの要因に対処できます。しかし、振動は動的でランダムな変位誤差を生み出すため、キャリブレーションでは予測も修正もできません。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

バス バー修正のジレンマ

振動は、コアレス化における主要な課題の 1 つです。バス バーはトラクション インバータとモーターを接続し、ホール エフェクト センサは通常、トラクション インバータ内部のプリント基板上に配置されます。絶縁上の要件によりバス バーとセンサを硬固に固定することができないため、振動によって両者間に相対的な動きが生じ、その動きがそのまま測定誤差に結びつきます。これに対処するため、メーカー各社はいくつかのバス バー形状を開発しており、それぞれが磁気結合の強さと相対運動に対する感度の間でバランスをとっています。

差動コアレス ソリューションは、キャリブレーションが行われ変位誤差がゼロとなる空間上の理想点からの磁界の変化に基づいて、振動の影響を評価します。

図 2 に示すように、エンジニアは以下の理解に基づいて、センサの変位によって引き起こされる特定の磁界の大きさ (|B|) の変化を計算できます。

- 磁界の大きさは、導体からの距離 1/d で減衰する。
- 磁界強度を最大化するため、ホール エフェクト センサは導体の端に配置される。
- 差動磁界により、クロストークの影響を最小限に抑える。
- z 軸方向の変位に対しては、水平磁界 (B_X) は垂直磁界 (B_Z) よりもゆるやかに減少する。
- x 軸方向の変位に対しては、水平磁界 (B_X) は垂直磁界 (B_Z) よりも急速に減少する。
- 一般的な振動幅は 0.5mm ～ 0.7mm である。
- |B| の変化は、電流測定値の誤差に直接相当する。
- |B| の変化は、各軸の誤差の二乗和平方根を表す (式 1)。

$$|B| = \sqrt{B^2_X + B^2_Z} \quad (1)$$

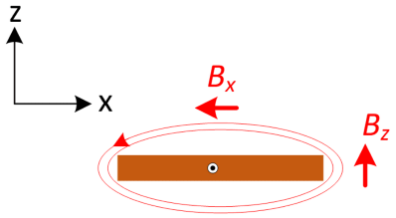


図 2. 変位が水平および垂直の磁界強度に与える影響

市場には 3 種類の差動コアレス センサが存在します。垂直差動コアレス センサは、2 つの逆極性センサを使用して垂直方向の磁界のみを測定し、幅がデバイス内のセンサ間隔と一致するようなバス バーの修正を必要とします (図 3)。

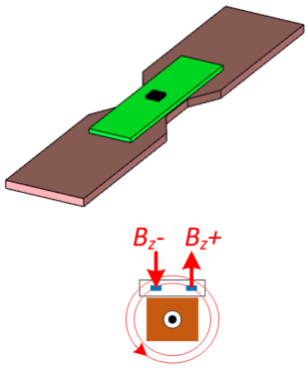


図 3. 垂直差動コアレス ソリューション

水平差動コアレス センサは、2 つの逆極性センサを使用して水平方向の磁界のみを測定し、パッケージ内のセンサに対して適切な磁界配向を作成するためにノッチを入れるバス バー改造を必要とします (図 4)。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

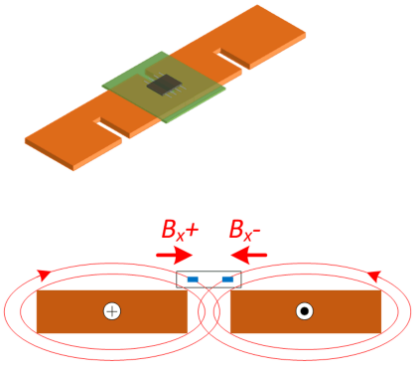


図 4. 水平差動コアレス ソリューション

インホール差動コアレス センサは、バス バーの中央に開けられたホール内に発生する水平磁界のみを測定します (図 5)。

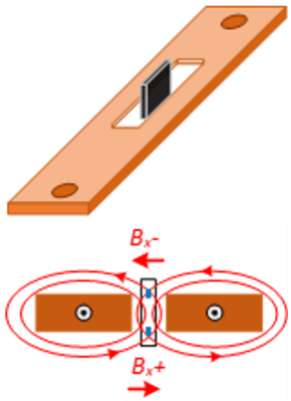


図 5. インホール差動コアレス ソリューション

バス バーに対して 2 つのデバイスを使用することで、TI のマルチセンサ、多軸アプローチはバス バーの修正を一切必要とせず、他のコアレス ソリューションが通常生成するホットスポットの熱管理を簡素化します (図 6)。各 TMCS2100-Q1 デバイスは、バス バーの端における水平方向と垂直方向の両方の磁界を測定し、計算のための 100% の磁界情報を提供します。このフルフィールド アプローチは、位相間の磁気クロストークの影響も最小限に抑え、測定精度をさらに保護し、トルク リップルを低減します。

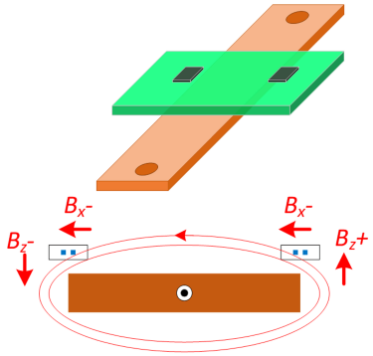


図 6. マルチセンサ、多軸コアレス ソリューション

x 方向のみ、z 方向のみ、あるいは両方向同時に d = 0.4mm の移動を引き起こすシンプルな振動モデルを想定すると (表 1)、異なる実装方式で測定される磁界変化を計算できます (表 2)。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

表 1. 振動変位の定義

(x - d, z + d)	(x, z + d)	(x + d, z + d)
(x - d, z)	キャリブレーション ポイント (x, z)	(x + d, z)
(x - d, z - d)	(x, z - d)	(x + d, z - d)

表 2. TMCS2100-Q1 はコアレス デザインの中で最も低い磁界誤差を実現

	垂直	水平	インホール	TMCS2100-Q1
初期バス バー サイズ (幅 × 厚さ)	18mm x 3mm	18mm x 3mm	16mm x 2mm	18mm x 3mm
センサのためのバス バー修正	3.5mm x 3mm (デバイス内のセンサ間隔に合わせたノッチ)	6mm x 3mm (3 スライス – デバイス内のセンサ間隔に合わせたスライス幅)	ホール: 10mm x 5mm (バス バーの厚さをデバイス内のセンサ間隔に合わせる必要あり)	なし
バス バーからの距離	2mm 未満	3mm 未満	バス バー内部	3mm 超
|B| のデルタ	B_Z のみ	B_X のみ	B_X のみ	B_X および B_Z
磁界の大きさと誤差	x-0.4 / x / x+0.4 z+0.4: 18.1% / 16.3% / 18.1% z: 2.3% / Cal / 2.3% z-0.4: -17.9% / -21.1% / -17.9%	x-0.4 / x / x+0.4 z+0.4: 15.9% / 14.6% / 15.9% z: 1.7% / Cal / 1.7% z-0.4: -15.7% / -18.1% / -15.7%	x-0.4 / x / x+0.4 z+0.4: 0.2% / 2.9% / 0.2% z: 2.3% / Cal / 2.3% z-0.4: 0.2% / 2.7% / 0.2%	x-0.4 / x / x+0.4 z+0.4: 1.0% / 1.1% / 1.0% z: 0.0% / Cal / 0.0% z-0.4: -1.0% / -1.0% / -1.0%

ほとんどのトラクション インバータ システムは、すべての動作条件において全誤差 3% 未満であることが求められます。多くの設計エンジニアは振動誤差として最大 1% を割り当てており、できればそれ以下を望んでいます。表 2 に示すように、全方向への 0.4mm の振動に対して 1% 未満のパフォーマンスを達成できるのは TMCS2100-Q1 のみであり、競合するソリューションの大半はほとんどの条件で 3% の全体トータル上限を超えてしまいます。より小さい変位において TMCS2100-Q1 の優位性はさらに顕著となり、0.1mm の移動における変位誤差は 0.25% まで低下します。これは 1 軸コアレス代替品の約 20 倍の精度です。

コアレス差動電流測定に対するマルチセンサ、多軸アプローチは、バス バーの修正なしで機械的構成に適応しつつ、振動に起因する誤差を最小限に抑え、熱設計を簡素化します。図 7 は、モーターを制御するためにトラクション インバータの電流出力によって発生する磁界のシミュレーションを示しています。

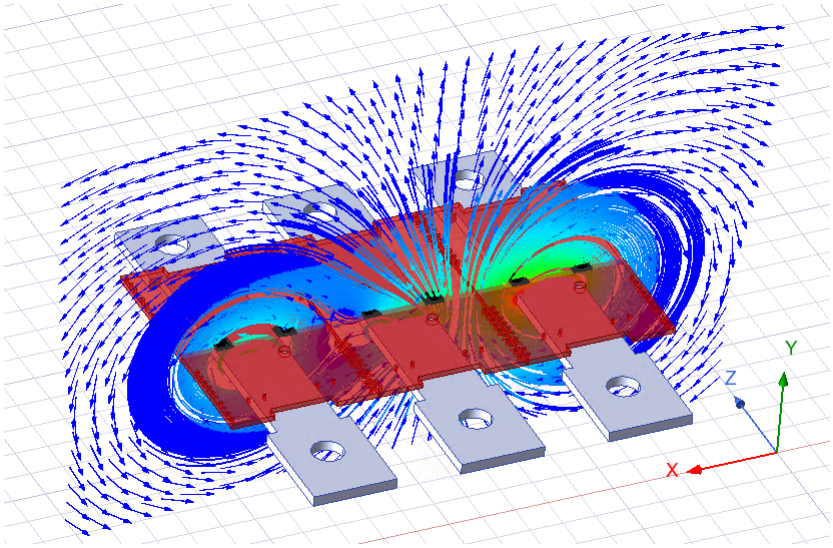


図 7. モーターを制御するためにトラクション インバータの電流出力によって発生する磁界のシミュレーション

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

設計者は、TMCS2100 評価基板 (TMCS2100EVM) を使用してデバイスのパフォーマンスを評価できます。この評価基板には 3D プリントされたクリップとニッケル メッキのバス バーが含まれており、図 8 に示すようにユーザーは最大 3 本のバス バーをテストできます。評価基板は TMCS2100 特性評価基板 (TMCS2100CHAREVM) に直接接続され、磁気環境を特定して各デバイスにプログラミングする係数を計算します。

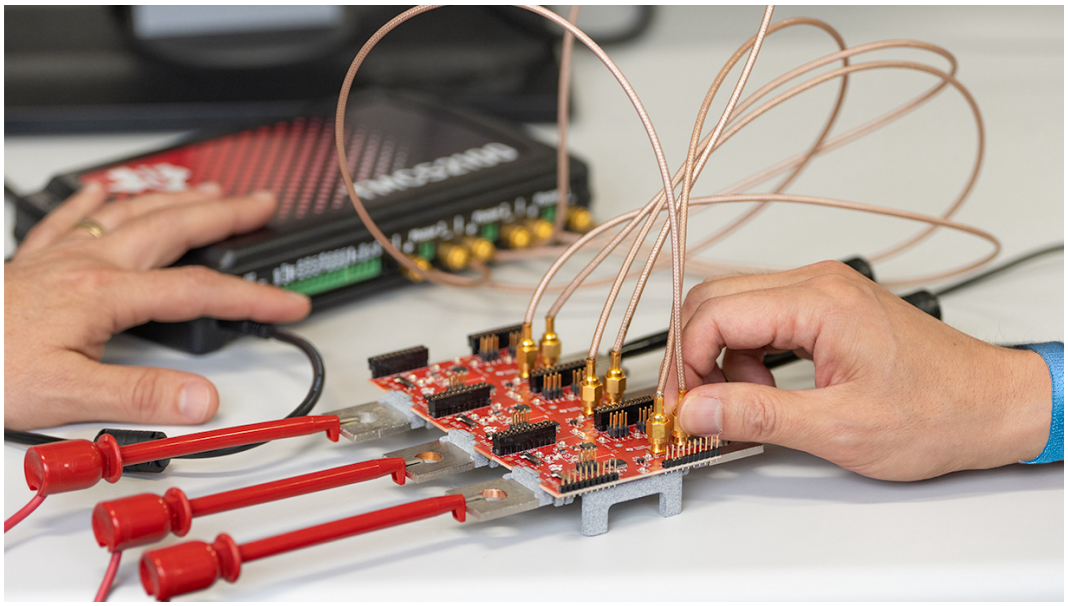


図 8. 設計者は TMCS2100EVM を使用して、デバイスの機能とパフォーマンスを評価できます。この評価基板は、特性評価プログラミングを実行するために TMCS2100 特性評価基板とともに使用されます

まとめ

電流検出の精度向上は、複雑さの軽減やコスト低減と相まって、この技術を次世代 EV パワートレインの重要な実現手段として位置づけています。自動車メーカーがより軽量で効率的な車両の開発を進める中、多軸アプローチは創造的なエンジニアリングを実証しています。

TMCS2100-Q1 多軸コアレス ホール エフェクト電流センサは、複数の方向の磁界を同時に測定し、1 軸の代替品と比較して最大 20 倍の精度を実現します。0.4mm の移動における変位誤差は 1% 未満 (0.1mm では 0.25% まで低下) で、バス バー修正を一切必要とせずに振動の影響を劇的に軽減します。

その他資料

- TMCS2100 評価基板と TMCS2100 の特性評価基板のご注文。
- TI のコアレス ホール センサと従来の C コア ホール センサの比較について、『TI のコアレス ホール センサによる電流検出の再定義』をご覧ください。
- 『車載、大電力、高性能 SiC トラクション インバータのリファレンス デザイン』のダウンロード。
- 技術ホワイト ペーパー『EV トラクション インバータの設計の優先度』をお読みください。
- 動画『TI プレシジョン ラボ：磁気電流検出の概要』。

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

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