

統合磁気センシング技術による 精度と信頼性の向上



Ricky Jackson

*Process Development Manager
Analog Technology Development
Texas Instruments*

Keith R. Green, Ph.D.

*Distinguished Member of the Technical Staff
Analog Technology Development
Texas Instruments*

Ross Eisenbeis

*Systems Engineer
Magnetic Sensing Products
Texas Instruments*

車に乗り込むたびに、そこは磁気センシングの世界です。多数の小さなセンサによって、ドアが閉まっているか、シートベルトのバックルが適切に装着されているかなどが報告されます。またセンサは、自動的にシートの位置を調整し、窓を開け、ステアリング・コラムのスイッチをオン/オフし、ハンドルの回転位置やアクセルの踏み具合を追跡します。

ボンネットの下にはいくつかの磁気センサが搭載され、自動車のエンジン、トランスミッション、電動モーターなどの速度や位置を検出します。他のセンサは、液面レベルを監視し、車体や車輪の位置を追跡し、いくつかの安全性チェックを実行し、さまざまな電氣的フィードバック機能や測定機能のために電流を検知します。

現在の新しい自動車には、操作性、安全性、および利便性の向上のために、70個もの磁気センサが搭載されています。より小さなサイズと低いコストで高い精度と信頼性を実現できるテクノロジーの進歩により、さらに多くのセンサが日々追加されています。

このトレンドは、電子機器や電気機械製品の全般にわたって見られます。自動車での幅広い使用に加えて、磁気センサは産業用モーターやロボット、医療用システム、オフィス機器、家電製品、さらにはタブレットや携帯電話など、さまざまな機器で利用されています。現代社会の原動力となっている他の多くの半導体デバイスと同様に、磁気センサはエンド・ユーザーの目には触れないものの、私たちが当たり前と思っている多くの機能にとって不可欠なものとなっています。図1に、それらの用途のいくつかを示します。

現在の磁気センサの幅広い普及を可能にしたのは、その小さなサイズと価格の安さです。半導体メーカーは、先進的な生産手法を適用して、センサを内蔵したアナログ集積回路(IC)製品を実現し、かつては大きなスペースを必要としたデバイスにも小型化の恩恵をもたらしています。同時に、一部の磁気センサに内蔵される永久磁石のコストが低下したため、機

能の向上とともに、高度な製造に伴う低価格化傾向が後押しされています。信頼性、安全性、および精度の向上が求められる中、最終製品の開発者は、他の回路とともにチップ上に搭載されるようになった安価な磁気センサの活用を目標とするようになりました。その結果、アプリケーションが急速に増加し、市場は今後5年間で20億ドル、200億個を超えると思われ、これは車載セグメントの過半数を占めます。

テキサス・インスツルメンツ(TI)は、磁気センシングに対して大きな開発労力を注いでいます。TIの磁気センサのポートフォリオは、機器メーカーに対して、多様なアプリケーションのニーズに合わせた幅広いオプションを提供します。TIの高度なアナログ・プロセス技術は、センシング素子と他の回路の両方を含む完全なセンシング・ソリューションをチップ上に統合することを可能にします。TIのプロセス革新により、きわめて高精度な測定を実現する業界初の統合型フラックスゲート磁気センサが開発されました。成長を続ける磁気センシングの世界に対して、TIのテクノロジーは、拡張し続けるさまざまな最終用途に向けたソリューションの開発を引き続き推進していきます。

車載

パワートレイン

- クランク、カムシャフト
- エンジン、トランスミッション
- スロットル位置
- ブラシレスDCモーター
- オイル、ブレーキ、その他の液面レベル
- 排気再循環 (EGR) の位置、電流センシング

安全性および車両制御

- 車輪速度
- シャーシ高さ

- ストラット、サスペンション位置
- ステアリング・ホイールの角度、電動パワー・ステアリング
- アクセル・ペダルの位置
- 乗員検知

車体

- ステアリング・カラム制御
- シートベルト検知
- シート位置、パワー・ウィンドウ、ミラー
- ドア・ラッチ、サンルーフ

情報

- ナビゲーション・コンパス

非車載

産業用

- DCモーター
- HVAC (暖房、換気、空調) 位置
- エレベータの床検出
- ホイスト終端位置
- 大深度掘削の液体検出

デジタル静止画カメラ、カムコーダー

- 画像安定化
- モーター整流
- ディスプレイ開閉

家電製品

- 洗濯機
- 食器洗い機
- 瞬間湯沸し器
- コーヒーメーカー
- 電子レンジ
- 炊飯器

オフィス機器

- FAX機のカバー開閉
- コピー機、プリンタの用紙残量

医療用

- ラボ用自動機器
- ペースメーカー
- 補聴器
- スマート・ピル
- ドラッグ・デリバリーの液面レベル

航空宇宙、海洋

- ナビゲーション・コンパス
- 風速、風向
- 錨、舵、ハッチ位置

携帯電話

- 開閉
- 電子コンパス
- オートフォーカス



図 1. 磁気センシングの用途例。

磁気センシングの利点

磁気センサには物理的な接触が不要であるため、部品の磨耗を防ぐことができます。例えば、磁気センサを使用することで、ステアリング・カラムにあるインジケータや他のスイッチを、機械的な接触なしでオン/オフできます。同様に、ブラシレスDCモーターで磁気センサを使用してローターの電気角を検知することで、ブラシ接点の最終的な磨耗を防ぎ、交換作業を不要にできます。また、磁気センサは、適切にパッケージングされていれば、泥、ほこり、湿気などの影響をあまり受けません。この汚染に対する比較的高い耐性は、ほとんどの工場機器や自動車エンジンが使用される厳しい環境において大きな利点となります。

ICへの内蔵によってセンサの小型化、低コスト化が進み、他の動作回路とも組み合わせられるようになっています。内蔵磁気センサの重要なアプリケーション例の1つは、モーター・ドライブの制御であり、これはDCモーターのブラシの代替としてだけでなく、ACモーターのローターの位置や速度に関するフィードバック用のシャント電流の検知にも利用されています。これらのような位置および速度エンコーダ機能は、回転とリニアの両方において、モーション制御にも不可欠なものです。特にロボット工学では、スムーズかつ正確な動きを3つの次元で実現する必要があり、多くの場合は可変負荷に対する補償を伴います。

磁気センサは、ドアやカバーのさまざまな種類のオン/オフ・ラッチを作動させたり、産業用ロボットに人が近づいた場合などに機器をシャットダウンして危険を防止したりできます。同じ原理によって、火災報知機などの機器に磁石が近づけられたときに自己テスト・プログラムを実行するなどの機能を作動させることができます。他の設計では、よりリニアな信号出力を使用して電流を監視します。この機能は多くの場合、任意の数の電子システムにおける回路フィードバックや診断、可変の位置や速度のセンシング、さらには、自動車エンジン、産業用プロセス、医療用モニタなどの領域で、状態の変化に対していくつか異なるレベルの応答を行うために使用されます。

内蔵磁気センサの種類

センシングには電磁場に基づいたいくつかの種類があり、それぞれ動作特性やコストが異なります。シリコン・プロセスへの統合に適した2つの重要な種類のセンサが、ホール効果センサとフラックスゲート磁気センサです。

ホール効果センサは、最も一般的な磁気センサです。これらのセンサは堅牢で、電圧定格が高く、強い磁場内でも飽和せずに広い動作範囲を持ち、多軸(多方向)の磁場でも利用できます。チップに内蔵する際、これらのセンサには追加の手順や通常以外の材料は必要ありません。そのため、製造プロセスが経済的で、多くのアプリケーションに対してコスト効果の高いICソリューションを構築できます。

図2は、ホール効果の動作原理を示しています。導体を流れる電流に対して直角の向きに磁場が存在するとき、ホール電圧と呼ばれる電位が生じます。この磁場によって電圧(VH)が誘導され、これを増幅した信号を読み出しや変換、その他の後処理に使用できます。ホール効果はこのように単純であるため、センサ素子をアナログおよびミックスド・シグナル回路とともに簡単に内蔵でき、同じデバイス内で信号変換、制御機能、通信などを実現できます。

フラックスゲート・センサは、ホール効果センサよりも感度の高い磁場検出を行うため、きわめて高い精度を必要とするアプリケーションで使用される傾向があります。ホール効果センサの磁場検出範囲がミリテスラ(mT)範囲で測定されるのに対し、フラックスゲート・センサは非常に低いミリテスラ

(mT)から最小でピコテスラ(pT)までの範囲を検出できます。内蔵フラックスゲート・センサは、温度変化への耐性が比較的高く、出力に生じるノイズやベースライン・オフセットはごくわずかです。単一軸の磁場に対して、低い寄生成分で高速、高分解能の応答を行います。このように感度レベルが高いため、これらの種類のセンサは、磁場の飽和や浮遊磁場からの干渉を避けるため、アプリケーション内で注意深くシールドされる必要があります。

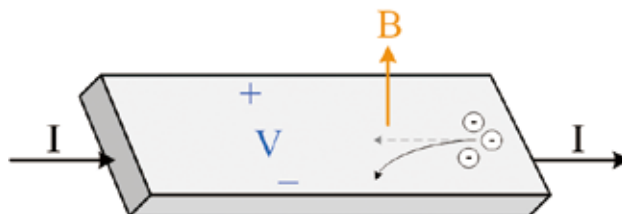


図2. ホール効果は、相互作用する電流と磁場に比例した測定可能な電圧を生成します。

フラックスゲート磁気センサの動作は、励磁(駆動)コイルとピックアップ・コイルという2つのソレノイド・コイルに基づいています。励磁コイルを流れる交流電流によって磁場が生じ、ピックアップ・コイルに電流を誘導します。磁気的に中性な場では、励磁コイルへの入力電流とピックアップ・コイルからの出力電流が等しく、互いに相殺されます。それらの電流に差がある場合、検出可能な出力電流が生じますが、これは周囲の磁場の存在によるものです。デバイスは、この差のレベルを周囲磁場の測定値として読み取れるように設計されています。

図3に、TIの製造プロセスで実装されるフラックスゲート・センサのアーキテクチャを示します。アーキテクチャの主な強化点には、2つのコアの使用と、補償用の第3のコイルがあります。フェルスター型フラックスゲートと呼ばれるこの差動アーキテクチャは、オフセットをキャンセルし、出力の直線性を向上させ、センシング範囲を±2mTまで拡張します。

磁気センシング・ソリューションにおける TI の革新

TIでは、ホール効果またはフラックスゲートの磁気センサを内蔵したソリューションを提供しています。この2種類のセンサの動作特性は互いに補完し合うため、アプリケーション開発者は幅広い範囲の要件に対して最適なセンサを選択することができます。TIでは、さまざまなオンチップ機能を提供しており、デバイスに対するきめ細かい開発サポートによって設計プロセスの簡素化が可能です。

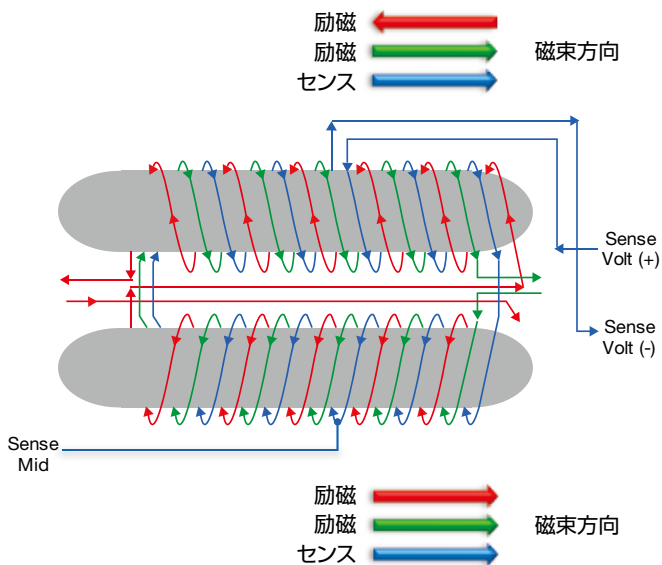


図 3. フェルスター型フラックスゲートには、2つの並列の磁気コアと、3組の編み合わされたソレノイド・コイルが含まれています。

TIのデジタルおよびアナログ・ホール効果センサは、位置、速度、加速度の検出、物体認識、計数などのアプリケーションに利用されています。TIの製品ポートフォリオは、クラス最高の動作電圧（最大38V）、最大175°Cの動作温度により、堅牢な保護を提供します。最近リリースされたDRV5032超低電力センサは消費電流が1μA未満であるため、バッテリー駆動アプリケーションの充電持続時間の延長に役立ちます。非常に小さなパッケージ・オプションにより、部品数と基板面積を削減したコスト最適化設計が可能になります。デジタル・センサはラッチ、ユニポーラ、およびオムニポーラのスイッチ・センサ機能を搭載し、アナログ・センサは、完全なバッテリー逆接続保護と最大40Vの負荷ダンプ保護を備えたバイポーラ・センシング用のリニア出力を提供します。TIのホール効果センサを使用したアプリケーションの開発期間を短縮するリファレンス・デザインおよび評価モジュール（EVM）には、非接触磁気センシングを使用した車載用インクリメンタル・ロータリー・エンコーダ、閉ループ速度制御を備えた24VのブラシレスDCアウトランナー・モーター、および低電力の磁気改ざん検出などが用意されています。

オンチップの磁気センシングとして業界で最高の分解能を実現するため、TIでは独自の製造プロセスに基づいてフラックスゲート・センサ製品を開発しました。これらのフラックスゲート・センサは、高電圧での使用に対応し、モーター制御やバッテリー監視などの高精度アプリケーションに最適です。TIの磁気センサ製品は、開ループと閉ループのオプションとともに、信号コンディショニング、消磁、診断などの機能を内蔵しています。開発期間の短縮に役立つリファレンス・デザインやEVMには、最大150Aまでの3相インバータ電流の正確な測定、単一電源開ループ電流センシング用の±100Aのバスバー電流センサ、および非絶縁型ハイサイド電流/電圧センシングによる変位センサなどがあります。

Typical Application

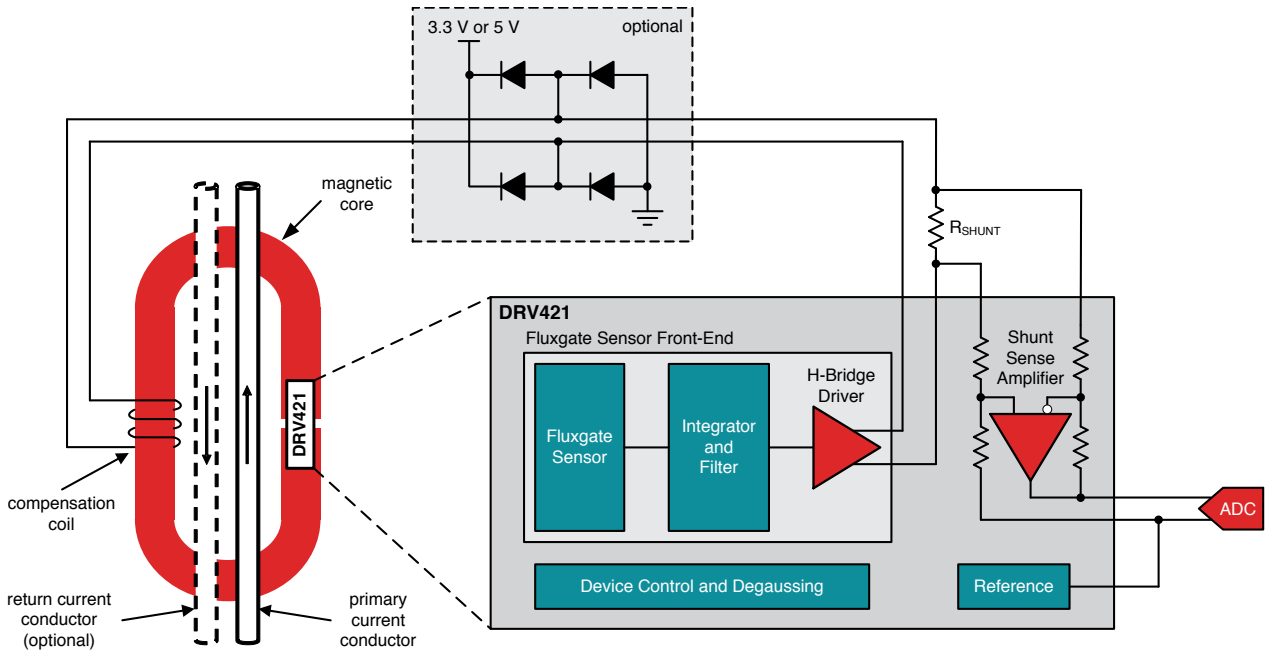
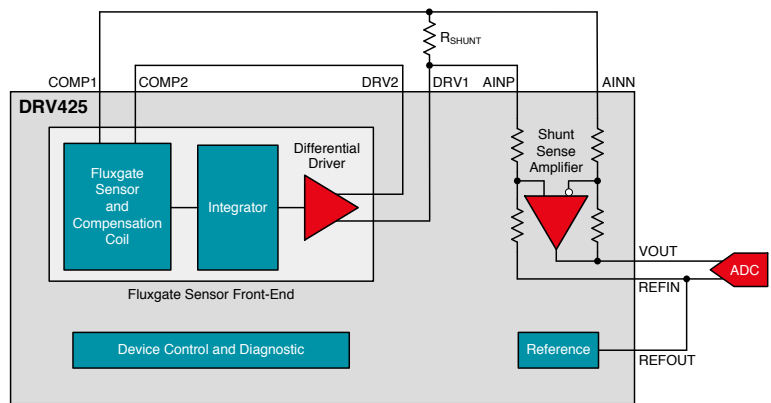


図4. 高分解能のDRV421およびDRV425統合フラックスゲート磁気センサは、閉ループおよび開ループの電流センシング設計を簡素化します。

図4は、TIの2つのフラックスゲート・センサDRV421およびDRV425における内部統合の度合いと、これらのデバイスを閉ループおよび開ループ設計用に調整する方法を示しています。

これらの製品の核心にある技術は、フラックスゲート・デバイスと補償用コイル・ドライバを完全に統合した業界初の電流センシングICの生産を実現するために、TIが開発したものです。このセンシング素子が、高精度測定用に開発された新しい励磁および読み出し回路によって補完されています。革新的なテクノロジーには高度な特性化方法が必要となり、これはセンサ出力の2次高調波を抽出する従来の方法を用いてスタンドアロンのフラックスゲート・デバイス向けに開発されたものです。



磁気センシングの未来

磁気センシングは、電気によって動くシステムのほとんどあらゆる分野でますます重要性を増しています。自動車、産業用機器、医療診断、家電製品、オフィス機器、パーソナル・エレクトロニクスなど、さまざまなアプリケーションで、位置、速度、電流、その他多くの測定用に磁気センサの採用が急速に進んでいます。磁気センサが提供する高精度で信頼性の高い出力は、開発者の能力を多くの方向に拡張しています。

TIの革新的なアナログ・テクノロジーは、非常に高電圧で低電流の動作により、TIのホール効果センサ製品を差別化しています。また、このテクノロジーによって、傑出した高分解能出力を持つ業界初の統合フラックスゲート・センサが実現されました。TIの幅広いその他の製品ラインアップにより、お客様の要件を満たす将来のさまざまな多機能統合センシング・ソリューションが可能になります。新しいセンシング・ソリューションを開発するために利用されているTIの豊富なプロセス技術、および製造や設計の専門知識により、センシングの未来は磁気センサが担っていくことになるでしょう。

詳細については、以下をご覧ください。

- TIの [DRV5032](#) 超低電力センサ
- TIの [DRV421](#) および [DRV425](#) フラックスゲート・センサ
- TIの包括的な [センシング製品ポートフォリオ](#)



TIの設計情報およびリソースに関する重要な注意事項

Texas Instruments Incorporated ("TI")の技術、アプリケーションその他設計に関する助言、サービスまたは情報は、TI製品を組み込んだアプリケーションを開発する設計者に役立つことを目的として提供するものです。これにはリファレンス設計や、評価モジュールに関する資料が含まれますが、これらに限られません。以下、これらを総称して「TIリソース」と呼びます。いかなる方法であっても、TIリソースのいずれかをダウンロード、アクセス、または使用した場合、お客様(個人、または会社を代表している場合にはお客様の会社)は、これらのリソースをここに記載された目的にのみ使用し、この注意事項の条項に従うことに合意したものとします。

TIによるTIリソースの提供は、TI製品に対する該当の発行済み保証事項または免責事項を拡張またはいかなる形でも変更するものではなく、これらのTIリソースを提供することによって、TIにはいかなる追加義務も責任も発生しないものとします。TIは、自社のTIリソースに訂正、拡張、改良、およびその他の変更を加える権利を留保します。

お客様は、自らのアプリケーションの設計において、ご自身が独自に分析、評価、判断を行う責任がお客様にあり、お客様のアプリケーション(および、お客様のアプリケーションに使用されるすべてのTI製品)の安全性、および該当するすべての規制、法、その他適用される要件への遵守を保証するすべての責任をお客様のみが負うことを理解し、合意するものとします。お客様は、自身のアプリケーションに関して、(1) 故障による危険な結果を予測し、(2) 障害とその結果を監視し、および、(3) 損害を引き起こす障害の可能性を減らし、適切な対策を行う目的で、安全策を開発し実装するために必要な、すべての技術を保持していることを表明するものとします。お客様は、TI製品を含むアプリケーションを使用または配布する前に、それらのアプリケーション、およびアプリケーションに使用されているTI製品の機能性を完全にテストすることに合意するものとします。TIは、特定のTIリソース用に発行されたドキュメントで明示的に記載されているもの以外のテストを実行していません。

お客様は、個別のTIリソースにつき、当該TIリソースに記載されているTI製品を含むアプリケーションの開発に関連する目的でのみ、使用、コピー、変更することが許可されています。明示的または黙示的を問わず、禁反言の法理その他どのような理由でも、他のTIの知的所有権に対するその他のライセンスは付与されません。また、TIまたは他のいかなる第三者のテクノロジーまたは知的所有権についても、いかなるライセンスも付与されるものではありません。付与されないものには、TI製品またはサービスが使用される組み合わせ、機械、プロセスに関連する特許権、著作権、回路配置利用権、その他の知的所有権が含まれますが、これらに限られません。第三者の製品やサービスに関する、またはそれらを参照する情報は、そのような製品またはサービスを利用するライセンスを構成するものではなく、それらに対する保証または推奨を意味するものでもありません。TIリソースを使用するため、第三者の特許または他の知的所有権に基づく第三者からのライセンス、あるいはTIの特許または他の知的所有権に基づくTIからのライセンスが必要な場合があります。

TIのリソースは、それに含まれるあらゆる欠陥も含めて、「現状のまま」提供されます。TIは、TIリソースまたはその仕様に関して、明示的か暗黙的にかかわらず、他のいかなる保証または表明も行いません。これには、正確性または完全性、権原、続発性の障害に関する保証、および商品性、特定目的への適合性、第三者の知的所有権の非侵害に対する黙示的保証が含まれますが、これらに限られません。

TIは、いかなる苦情に対しても、お客様への弁済または補償を行う義務はなく、行わないものとします。これには、任意の製品の組み合わせに関連する、またはそれらに基づく侵害の請求も含まれますが、これらに限られず、またその事実についてTIリソースまたは他の場所に記載されているか否かを問わないものとします。いかなる場合も、TIリソースまたはその使用に関連して、またはそれらにより発生した、実際の、直接的、特別、付随的、間接的、懲罰的、偶発的、または、結果的な損害について、そのような損害の可能性についてTIが知らされていたかどうかにかかわらず、TIは責任を負わないものとします。

お客様は、この注意事項の条件および条項に従わなかったために発生した、いかなる損害、コスト、損失、責任からも、TIおよびその代表者を完全に免責するものとします。

この注意事項はTIリソースに適用されます。特定の種類の資料、TI製品、およびサービスの使用および購入については、追加条項が適用されます。これには、半導体製品(<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、評価モジュール、およびサンプル(<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>)についてのTIの標準条項が含まれますが、これらに限られません。