

Application Brief

インクリメンタル・ロータリー・エンコーダ



Scott Bryson

Current and Position Sensing

インクリメンタル・ロータリー・エンコーダは、回転の動きを電気信号に変換し、自動化システムをより精密に制御できるようにします。角度を測定するアブソリュート・エンコーダとは異なり、インクリメンタル・エンコーダでは、回転が発生したときに High パルスと Low パルスを交互に生成し、これによって回転する物体の速度と方向を示すことができます。

コンピュータ用マウス・ホイール、流量計、ノブ、ホイール速度センサ、欠落したステップを検出するためのステップ・モーター・フィードバック、車載用ウィンドウ、サンルーフ、シート、ミラー用のブラシ付き DC モーター・センサなどに利用できます。

出力信号

1 方向の回転のみを測定する場合は、「**単一出力**」に示すのと同様のトグル出力を 1 つ持つエンコーダを使用します。

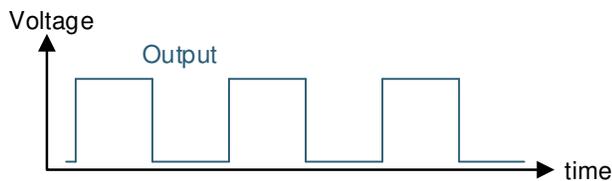


図 1. 単一出力

時計回りと反時計回りの移動を区別する必要がある場合は、位相をオフセットした 2 つのエンコーダ出力を使用します。2 ビットの状態の順序により、方向が反転したことが示されます。「**2 ビット直交出力**」に示すように、各極ペアがエンコーダのそばを通過すると、4 つの固有の出力条件が生成されます。

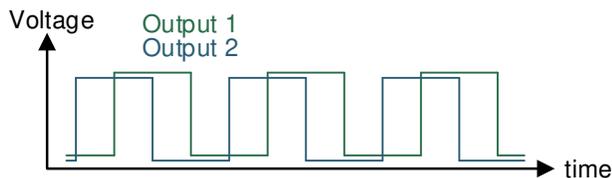


図 2. 2 ビット直交出力

90°の位相オフセット (直交) を使用すると、各状態間のタイミング・マージンが最大になり、機械的許容誤差、センサのミスマッチ、信号ジッタの存在による誤差を回避できます。

テクノロジー

インクリメンタル・エンコーディングを実現するには、さまざまなテクノロジーがあります。

1. **接触式:** 電気的な接続を確立または切断するため、機械的な接触を使用します。一般的には、センター・シャフトを中心として、金属ブラシを隣接する固定部品上に周期的に配置された接触点をなぞるように移動させます。これはパッシブ・ソリューションですが、機械的に複雑になる傾向があり、デバウンス・タイミングが必要で、磨耗しやすく、汚れた環境では必ずしも最適に機能しません。
2. **光学式:** 光学式エンコーダは、光を交互パターンで通過させるスリットが刻まれたディスクと、1 つの LED および反対側に配置した 2 つのフォトダイオードを使用して構築できます。適切に整列すると、この配置により直交シーケンスが生成されます。光学式エンコーダは、非常に高い分解能を実現できますが、サイズが大きくなりがちで、システムをクリーンな状態に維持する必要があります、LED の寿命によって制限されます (高温では寿命は短縮)。
3. **誘導性:** 誘導性センサは、既知の誘導コイルの相互インダクタンスにより、近接する導電性ターゲットを検出します。回転ギアなどの金属ターゲットを一連のセンス・コイルに隣接させて配置することにより、浮遊 DC 磁界や汚れに耐性のある直交出力を生成できます。このセンシング・オプションは非接触式であり、多くの場合、機械設計に既存の金属ボディを使用します。このソリューションの詳細については、「[関連技術資料](#)」を参照してください。
4. **磁気式:** 磁気式インクリメンタル・エンコーダは、複数の N 極と S 極を持つ円形の磁石を使用します。標準のホール効果ラッチは、B フィールド・ベクトルの 1 成分のみを検出します。そのため、このベクトルの検出成分に 90°の位相差が生じるように、これらのデバイスを間隔を空けて配置する必要があります。「[磁気インクリメンタル・エンコーダ](#)」に示されているように、2 つのホール効果ラッチを $n + 1/2$ 極の間隔で配置して、磁石が回転するときに直交出力を生成することにより、これが実現されます。

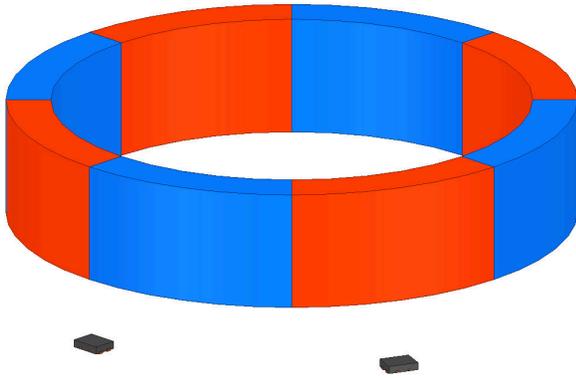


図 3. 磁気式インクリメンタル・エンコーダ

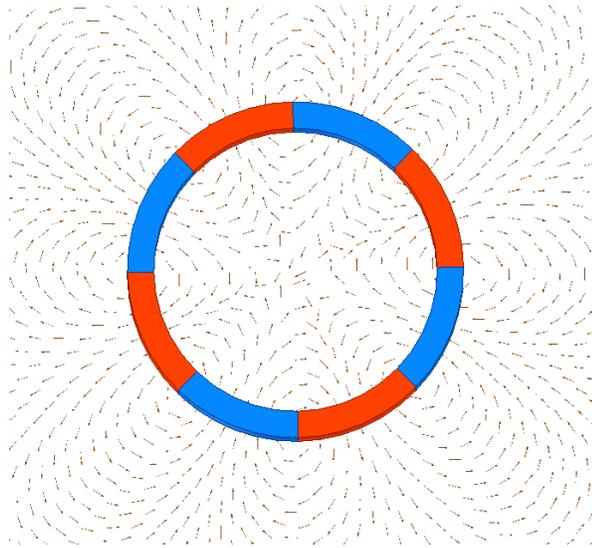


図 4. 同相磁界ベクトル

磁気式エンコーダは、以下の理由から、低コスト、小型、非常に高い信頼性を実現できます。

- 非接触式で、センサは半導体エレクトロニクスです。
- 磁界はほとんどの汚染物質（水、油、汚れ）を通過し、PCB を環境から密閉できます。
- 入力センシング信号と出力信号は実質的にデジタル化されており、高いノイズ耐性を実現します。

TMAG5110 や TMAG5111 などの 2D ホール効果ラッチを使用すると、設計をさらに簡素化できます。磁界ベクトルの直交成分を検出する 2 番目のセンシング素子を組み込むことにより、単一のデバイスで回転する磁石の直交成分を測定できます。これは、磁石が位相差 90° の磁界成分を生成するという自然の効果により可能となります。これを示すため、「同相磁界ベクトル」に 8 極リング磁石の磁界ベクトル線の断面図を示します。

1 回転あたりのインクリメント

エンコーダ用に選択された磁石の極数によって 1 回転あたりに生成される出力状態の数は異なり、検討すべきトレードオフがあります。

閉ループ速度制御を使用するモーター・システムでは、速度の許容誤差、負荷トルクの変動、モーターの慣性に応じて、帰還が十分に高速である必要があります。各極ペアには 4 つの出力状態があるため、出力データ・レートを使用してエンコーダの要件を決定できます。回転速度は通常 RPM (回転/分) で表されるので、これを式 1 に示すように使用してシステム要件を決定できます。

$$f_{output} = RPM \times \frac{n_{poles}}{60 \text{ sec}} \times 4 \quad (1)$$

低速回転アプリケーションでは、主な懸念事項は各インクリメント間の角度です。たとえば、 10° ごとにイベントが必要な場合、1 回転あたり 36 の出力状態を持つエンコーダが適しています。各磁極ペアは 4 つの状態を生成するので、18 の極、つまり 9 ペアを持つ磁石が必要です。

エンコーダの分解能が高い場合の欠点は、機械的許容誤差とセンサの許容誤差をより厳しくする必要があります。極ピッチを小さくすると、リング磁石の磁化深度も小さくなります。これにより、センサが観測する磁界の大きさが制限されます。動作スレッシュホールドが低いラッチは、弱い磁石を検出し、直交のずれを削減できるため、この目的に理想的です。ただし、極数が多すぎる磁石を使用すると、ホール効果ラッチを適切にトリガするのに十分な入力を得られない可能性があります。センサを磁石の近くに配置すると、この問題が解決する可能性はありますが、機械的な許容誤差により、このように調整できない場合があります。

別のアプローチは、ギア比を使用して、追跡対象の物体よりも磁石を高速に回転させることです。このようにすると、磁界強度を犠牲にせずに、精度と分解能を向上させることができます。たとえば、1:1 のギア比で 1 つの遷移状態が 10° の回転を表す場合、2:1 のギア比では、同じ極遷移が 5° を表すようになります。重要な点は、どちらの場合も、センサが遷移中の各極を検出するには、センサのサンプリング・レートを 1 秒あたりの極数の 2 倍より大きくする必要があります。3 倍以上が理想的であるということです。詳細については、DRV5012 超低消費電力デジタル・ラッチ・ホール効果センサのデータシートの「アプリケーション」セクションを参照してください。

リニア・ホール・センサの使用

DRV5055 などのリニア・ホール・センサは、インクリメンタル・エンコーディングにも使用できます。事前定義された磁気スレッシュホールドでトルクするラッチ付きデバイスとは異なり、リニア・ホール・センサは、磁束密度に比例したアナログ出力電圧を生成します。

2 つのセンシング素子を 90° の位相差で使用すると、正弦出力と余弦出力が得られ、絶対角度のエンコーディングに使用できます (2 極磁石を使用)。この方法の詳細については、「[関連技術資料](#)」を参照してください。

表 1. その他の推奨デバイス

デバイス	特性	設計上の考慮事項
DRV5011	最大動作スレッシュホールド 3.8mT の SOT-23、X2SON、DSBGA、TO-92 パッケージで提供	30kHz の高いセンシング帯域幅により、このデバイスはほとんどのロータリー・アプリケーションで多用途に使用可能。パッケージのバリエーションにより、ほとんどのアプリケーションに対応。2.5V ~ 5.5V 電源で動作。
DRV5012	低プロファイルの X2SON パッケージで、ピンで選択可能な帯域幅により低消費電力を実現。最大動作スレッシュホールドは 3.3mT。	サンプリング周波数が高いほど、平均電流は大きい。1.65V ~ 5.5V 電源で動作。20Hz と 2500Hz のサンプル・レートを選択可能。このレートは、予測される入力周波数の 2 倍以上にする必要あり。
DRV5013	電源電圧範囲が 2.5V ~ 38mV と広く、ほとんどの設計でこのデバイスを簡単に使用可能	標準消費電流は 3mA、センシング帯域幅は 20kHz。車載グレードと商用グレードで提供。
DRV5015	最大スレッシュホールドが 2mT と小さく、全体的な直交精度を向上	動作電圧は 2.5V ~ 5.5V に制限され、I _{CC} 電流の代表値は 2.3mA。センシング帯域幅の代表値は 30kHz。車載グレードと商用グレードで提供。
TMAG5110	デュアル出力の 2D ホール効果ラッチにより、1.4mT という低い最大スレッシュホールドでラッチ動作を直接監視	2D ラッチは最小の部品数で設計のフレキシビリティを実現。直接出力を使用する場合、マイクロコントローラで速度と方向を計算する必要あり。
TMAG5111	デュアル出力を速度と方向に変換し、最大スレッシュホールドが 1.4mT と低い 2D ホール効果ラッチ	TMAG5110 に類似しているが、デュアル出力は速度と方向に合わせてフォーマット。これはロータリー・エンコーディングでは特に有用だが、最適な直交整列のための補正に役立つラッチ動作はなし。
DRV5055	アナログ出力リニア・ホール効果センサ、SOT-23 および TO-92 パッケージで提供	絶対角度エンコーディングに最適。複数の感度オプションがあり、センサを柔軟に配置可能。

表 2. 関連技術資料

名称	概要
2 次元を使用したインクリメンタル・ロータリー・エンコーディングの直交誤差の低減	インクリメンタル・エンコーディングと、最適な直交整列を実現する設計方法について説明した 2D ホール・ラッチの設計ガイド
ホール効果センサを使用した設計でよくある 3 つの落とし穴とそれらを回避する方法	磁気エンコーダの一般的な問題と、性能を向上させるためのソリューションについての説明
TMAG5110-5111 EVM	10 極と 20 極の磁石を使用する TMAG5110 および TMAG5111 の両方を使用したロータリー・エンコーディングの実践的なデモ
TIDA-01389	小さな外形のサンルーフ用モータ・モジュールのリファレンス・デザイン
TIDA-00480	車載ホール効果センサ・ロータリー・エンコーダ
TIDA-00828	LDC0851 を使用する 32 ポジションの誘導性センシング・エンコーダ・ノブのリファレンス・デザイン
TIDA-00615	LDC1312 または LDC1314 を使用する誘導性センシング 32 ポジション・エンコーダ・ノブのリファレンス・デザイン
ホール効果センサを使用した回転動作の絶対角度測定	角度センシングの詳細について説明し、ほかの関連コンテンツへのリンクと詳細を掲載したアプリケーション・ブリーフ
TI プレジジョン・ラボ - ホール・エフェクト位置センサを使用したロータリー・エンコーディング	ホール効果センサを使用したロータリー・エンコーディングに関するビデオ
TI プレジジョン・ラボ - 2D ホール・センサ・ラッチについて	2D ホール効果ラッチに関するビデオ
TI プレジジョン・ラボ - 磁気センサ: 精密な角度測定を行うためのシステム計算	リニア・ホール効果センサを使用した角度測定に関するビデオ

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](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。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。

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

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2023, Texas Instruments Incorporated