



TI のホール効果センサを使用したシングル / マルチ・ポジション・スイッチの設計

Carolus Andrews

ABSTRACT

本書では、1～3 ポジション・スイッチでホール効果センサを使用する利点と方法を説明します。

目次

1	ホール効果スイッチとは	2
2	概要	2
3	製品概要	3
4	設計手順の詳細	4
5	関連資料	16

List of Figures

1	軸方向の丸型、円柱型磁石、直径方向の丸型、円柱型磁石の例	2
2	角型磁石の例	2
3	DH1H1 に関する TI 磁界計算ツールの結果	4
4	DRV5032ZE/DRV5032DU の B_{OP} と B_{RP} の位置と距離	5
5	シングル・ポジション・スイッチの正面からの磁石の移動	6
6	DH1H1 の磁界曲線、 B_{OP} および B_{RP} 点、高さ 2mm	7
7	デュアル・ポジション、シングル出力スイッチにおける磁石の横方向の移動	8
8	各種磁石の磁界の挙動 (高さ 2.5mm)	9
9	D11SH の磁界曲線、 B_{OP} および B_{RP} 点、高さ 2.5mm	10
10	デュアル・ポジション、デュアル出力スイッチの横方向の移動	11
11	D18 の磁界曲線、 B_{OP} および B_{RP} 点、高さ 2.5mm	12
12	3 ポジション・スイッチのオフの位置	13
13	3 ポジション・スイッチの横方向の移動	13
14	D42DIA の磁界曲線、 B_{OP} および B_{RP} 点、高さ 2.5mm	14
15	3 ポジション・ロータリー・スイッチのオフの位置	15
16	3 ポジション・スイッチの磁石の回転運動	15

商標

All trademarks are the property of their respective owners.

1 ホール効果スイッチとは

現在のアプリケーションの多くは、ユーザー・インターフェイスの最も基本的な部品として小型のボタンとスイッチを必要とします。機器の電源スイッチからモード選択スイッチまで、スイッチは市場に出回るほぼすべての最終機器に使用されており、また特有の実装上の課題（信頼性、堅牢性、コスト）を抱えています。スイッチ用途でホール効果センサを実装することで、次のような利点が得られます。それは、高感度スイッチのチャタリングの防止、磁石から分離された状態で使用するというセンサの特質に起因する耐水性と耐環境性、金属製接点と可動部品をなくすことによるシステムの信頼性と汎用性の向上ひいては堅牢性の向上です。

2 概要

2.1 便利な磁石のタイプ

スイッチまたはボタンを作成する際に最も便利な磁石のタイプは、角型、丸型、円柱型です。丸型と円柱型の磁石は、軸方向に磁化されている場合（[図 1](#) の左から 1 つ目と 2 つ目の画像）と直径方向に磁化されている場合（[図 1](#) の左から 3 つ目と 4 つ目の画像）があります。角型磁石は通常、磁石の厚さ方向に磁化されているため、適切な寸法を確実に割り当てるように注意する必要があります。以下の [図 2](#) に、角型磁石の着磁方向の例を示します。

2.2 磁石のタイプ

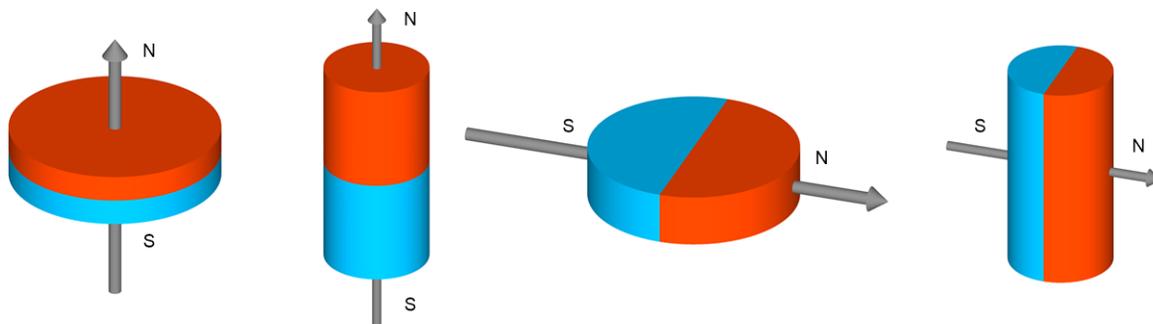


図 1. 軸方向の丸型、円柱型磁石、直径方向の丸型、円柱型磁石の例

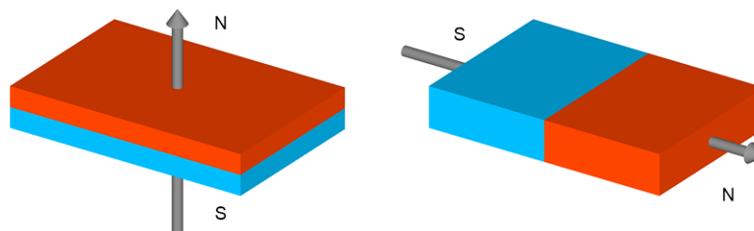


図 2. 角型磁石の例

3 製品概要

3.1 DRV5021(-Q1): 2.5V~5.5V ホール効果ユニポーラ・スイッチ

DRV5021 は、高速アプリケーション向けの低電圧、デジタル・スイッチ式ホール効果センサです。2.5V~5.5V の電源で動作する本デバイスは、磁束密度を検出し、事前に定義された磁気スレッシュホールドに基づいてデジタル信号を出力します。

このデバイスは、パッケージ表面に垂直な磁界を検出します。印加された磁束密度が磁気動作点 (B_{OP}) スレッシュホールドを上回ると、本デバイスのオープン・ドレイン出力が **LOW** 電圧を駆動します。磁束密度が磁気復帰点 (B_{RP}) スレッシュホールドを下回ると、出力は高インピーダンスになります。 B_{OP} と B_{RP} を離すことで生まれるヒステリシスは、入力ノイズによる出力の誤動作を防止するのに役立ちます。この構成は、ノイズ干渉に対してシステム設計をより堅固にします。

このデバイスは、 -40°C ~ $+125^{\circ}\text{C}$ の広い周囲温度範囲で確実に動作します。

3.2 DRV5023(-Q1): 2.5V~38V ホール効果ユニポーラ・スイッチ

DRV5023 は、全温度範囲にわたる優れた感度安定性と内蔵保護機能によって磁気センシング・ソリューションを提供するチョッパ安定化ホール効果センサです。

印加された磁束密度が B_{OP} スレッシュホールドを上回ると、**DRV5023** のオープン・ドレイン出力が **LOW** に駆動されます。出力は、磁束密度がデバイスの B_{RP} を下回るまで **LOW** のまま維持され、下回ると高インピーダンス状態に変化します。出力電流のシンク能力は **30mA** です。本デバイスは **2.5V~38V** の広い電圧範囲で動作し、最大 **-22V** の逆極性保護を備えているため、広範な産業用アプリケーションに適しています。

電源逆接続状態、負荷ダンプ、出力短絡 / 過電流に対する保護機能を内蔵しています。

3.3 DRV5032: 超低消費電力、1.65V~5.5V ホール効果スイッチ

DRV5032 は、最も小型でバッテリー駆動時間を重視するシステム向けに設計された超低消費電力デジタル・スイッチ式ホール効果センサです。このデバイスは、各種アプリケーションに対応できるように多様な磁気スレッシュホールド、サンプリング・レート、出力ドライバ・タイプ、パッケージで提供しています。

印加された磁束密度が B_{OP} スレッシュホールドを上回ると、**LOW** 電圧を出力 (またはオープン・ドレイン出力構成により **LOW** 状態に駆動) します。出力は、磁束密度が B_{RP} を下回るまで **LOW** のまま維持され、下回ると、デバイスのバージョンに応じて **HIGH** 電圧に駆動されるか高インピーダンスになります。本デバイスは発振器を内蔵することで、**20Hz** または **5Hz** で磁界のサンプリングと出力の更新を行い、消費電流を最小限に抑えています。オムニポーラとユニポーラの磁気応答が利用できます。

このデバイスは **1.65V~5.5V** の V_{CC} 範囲で動作します。また、標準 **SOT-23**、小型 **X2SON** パッケージに封止されています。

3.4 DRV5033(-Q1): 2.5V~38V ホール効果オムニポーラ・スイッチ

DRV5033 は、全温度範囲にわたる優れた感度安定性と内蔵保護機能によって磁気センシング・ソリューションを提供するチョッパ安定化ホール効果センサです。

DRV5033 は磁界方向の両方の極に対して同じように応答します。印加された磁束密度が B_{OP} スレッシュホールドを上回ると、**DRV5033** のオープン・ドレイン出力が **LOW** に変化します。出力は、磁界が B_{RP} を下回るまで **LOW** のまま維持され、下回ると高インピーダンス状態になります。出力電流のシンク能力は **30mA** です。**2.5V~38V** の広い電圧範囲で動作し、最大 **-22V** の逆極性保護を備えているため、広範な産業用アプリケーションに適しています。

電源逆接続状態、負荷ダンプ、出力短絡 / 過電流に対する保護機能を内蔵しています。

4 設計手順の詳細

以下のセクションに、プッシュボタン、2 ポジション・シングル出力、2 ポジション・デュアル出力、3 ポジション・リニア / ラジアル・スイッチを実装するための各種の方法を示します。今日の最新製品に使用されているスイッチの多くは小型で低消費電力となるよう最適化されているため、いずれの設計でもフォームファクタと電力オーバーヘッドに特に重点を置いて検討しました。ほとんどの場合、物理的スイッチは周波数に依存しないため、これらの設計には [DRV5032](#) ファミリーが広く使用されています。このアプリケーションでは、このデバイスの特長である低消費電力が求められるためです。

4.1 1 ポジション・スイッチ (プッシュボタン)

プッシュボタン・スイッチとは、磁石を正面からセンサに近付けるという設計課題です。そのため、磁石を選定するための計算は非常に簡単です。とは言え、この設計の課題は、機能とサイズに関して代表的なスイッチを再現することにあります。ここではフォームファクタが重要なため、超小型の磁石が望ましく、各種の磁石を調べました。以下の [図 3](#) に、磁石を正面からセンサに近付ける際の距離値を TI の磁界計算ツールを使用して求めた例を示します。

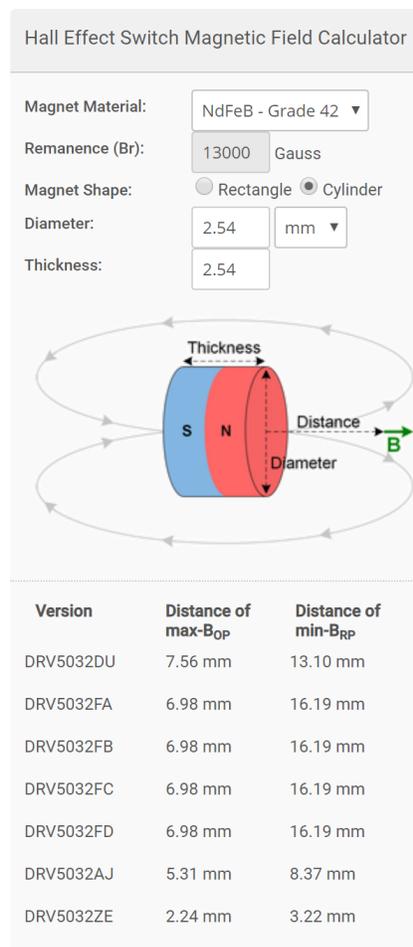


図 3. DH1H1 に関する TI 磁界計算ツールの結果

計算ツールによって得られる計算値から、[DRV5032](#) ファミリーの全バリエーションについて、磁石表面からパッケージ内のホール効果センサ位置までの距離をすばやく求めることができます。選択したパッケージによってデバイス内部のセンサ位置が異なるため、機械設計時にこの距離を考慮する必要があることに注意します。調査した複数の磁石から、[K&J Magnetics](#) 社の [DH1H1](#) を選択しました。これは直径 2.54mm x 長さ 2.54mm、グレード N42 のネオジウム磁石です。

実際のプッシュボタン・スイッチの操作感を再現するため、センサの最大 B_{OP} に達するのに一定量の下降運動が必要であり、またセンサが確実に復帰するように最大 B_{OP} と最小 B_{RP} の差に相当する復帰距離をセンサが移動できる必要があります。これを容易にするため、通常は感度の低いデバイスを選択します。感度の低いデバイスは、非線形な磁界曲線の上部で動作するためです。図 4 に、DH1H1 磁石との関係において、DRV5032 ファミリの中で感度が最も高いデバイスと最も低いデバイスを示します。

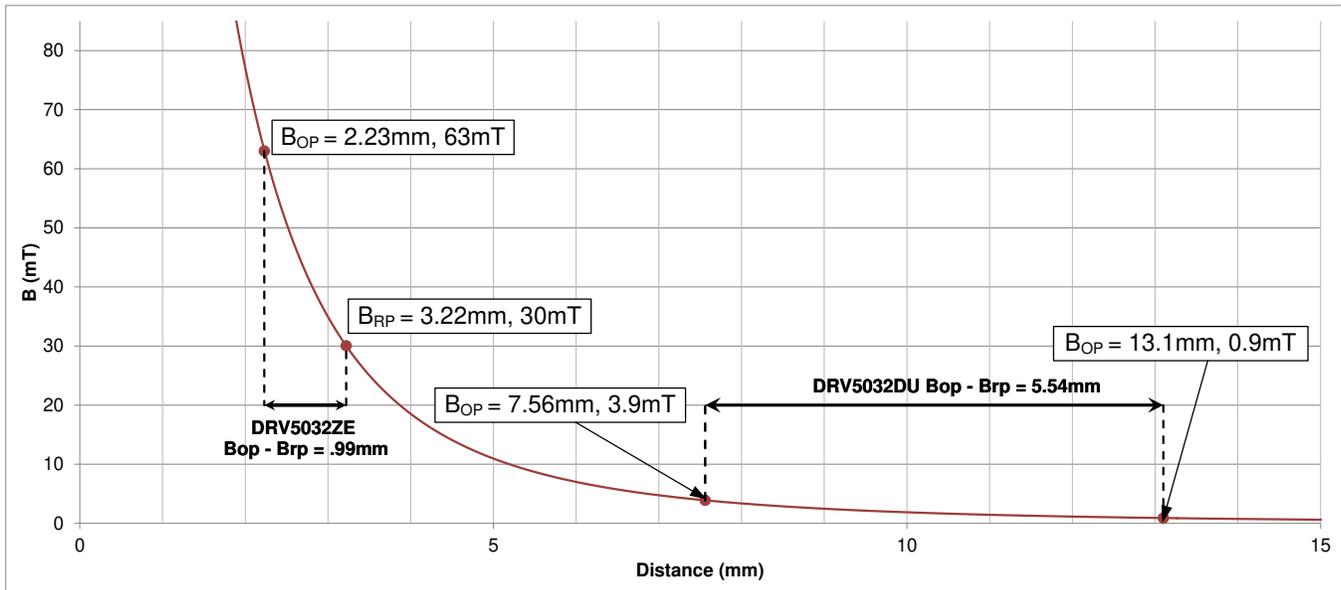


図 4. DRV5032ZE/DRV5032DU の B_{OP} と B_{RP} の位置と距離

図に示すように、磁石にごく近い位置では、 B_{OP} と B_{RP} の差は指数関数的減衰関係に起因して非常に大きい一方で、遷移点まで移動する物理的距離は非常に短いです。

この要因に基づいて選択したデバイスは DRV5032ZE でした。また上図から、選定または設計すべき機構も明らかです。つまり、センサの少なくとも 3.22mm 上 (パッケージ表面からではなく、デバイス・パッケージ内部のセンサから) に磁石を保持し、センサまで 2.23mm 未満の距離で止まるまで磁石が移動できるような機構です。図 5 に、上述の内容を示します。

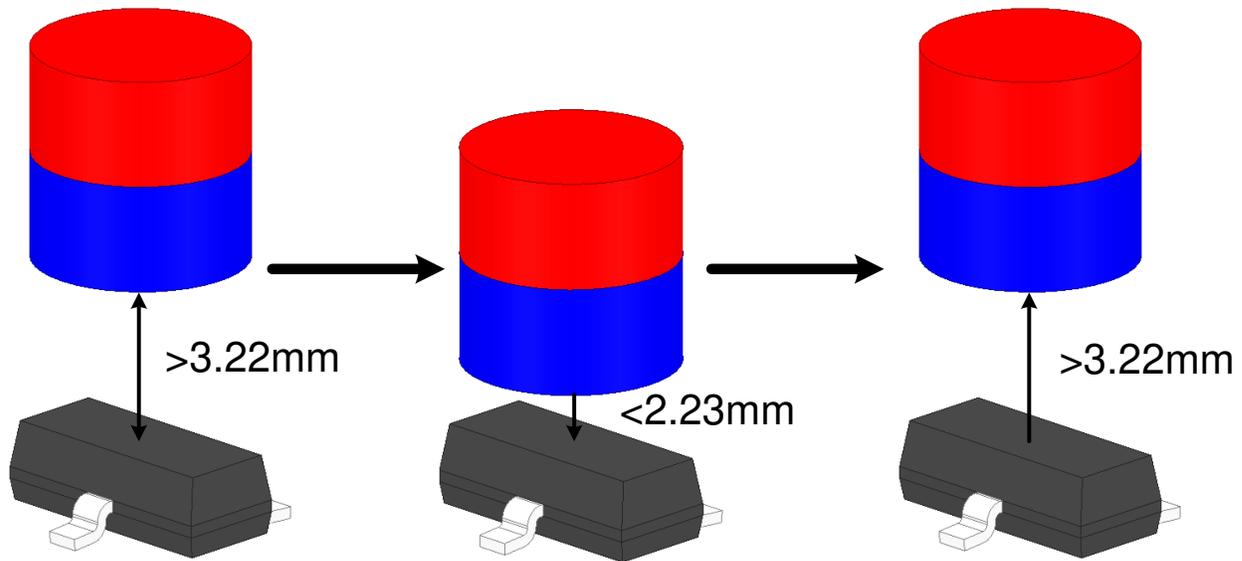


図 5. シングル・ポジション・スイッチの正面からの磁石の移動

4.2 シングル出力の 2 ポジション・スイッチ

2 ポジション・スイッチは、多くの点でシングル・ポジション・スイッチと似ていますが、大きな違いが 1 つあります。つまり、やはりセンサに対して正面を向くように磁石を保持しながら、今度は、TI の磁界計算ツールで算出した最大 B_{OP} 点の内側に選定した任意の高さでセンサに対して横方向に磁石を移動させます。便宜上、この設計でも **DH1H1** と **DRV5032ZE** を組み合わせることになります。

図 4 に関して、**DRV5032ZE** と組み合わせた場合、この磁石の最大 B_{OP} は 2.23mm の距離にあることに注意します。そのため、これを下回る任意の距離を利用できます。この設計では、2mm の距離を選択します。この距離を決めたら、今度はデバイスの最小 B_{RP} に達するように、センサに対して横方向に磁石を移動させる距離を決定する必要があります。

軸外シミュレーションを行うには、追加のツールが必要です。本書では、ANSYS Electronics Desktop を使用してシミュレーションを行いました。K&J Magnetics 社の [Web サイト](#) で無償提供されている [KJM Magnet Calculator](#) など、この設計段階で役立つ無料のツールも利用できます。以下の図 6 に示す曲線は、**DRV5032ZE** のセンサ素子の 2mm 上に配置した **DH1H1** 磁石についての情報のみを示しており、この距離を別の点に選択する場合、または異なる磁石を選択して設計した場合、別のデータを使用する必要があることに注意します。

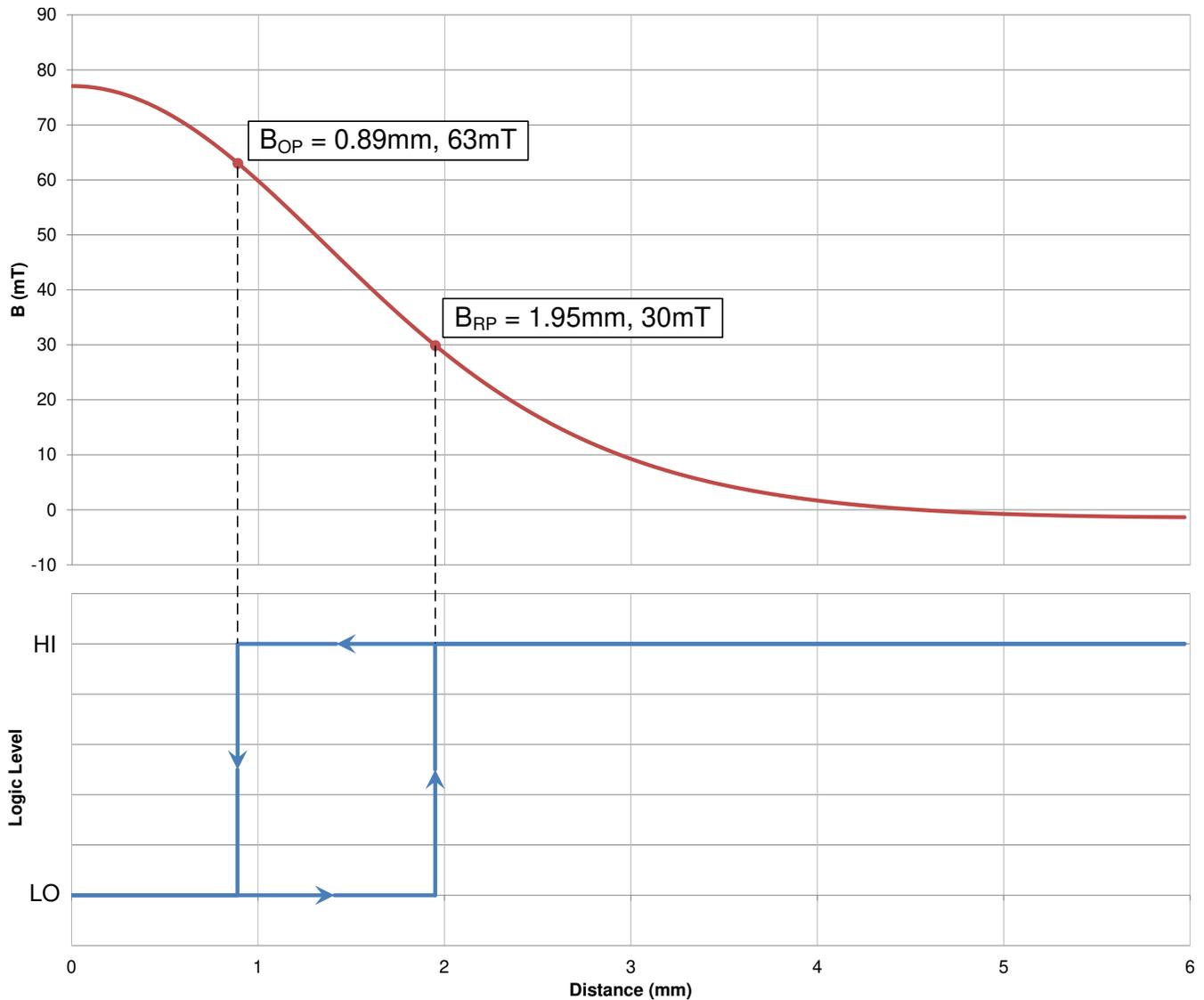


図 6. DH1H1 の磁界曲線、 B_{OP} および B_{RP} 点、高さ 2mm

これらの結果から、復帰動作を確実に行うために磁石を動かす必要がある物理的距離を求めました。この設計の機械的な部分については、次の設計上の制約があります。つまり、磁石は DRV5032ZE のホール検出素子の 2mm 上に保持する必要があり、かつセンサ上の保持位置から横方向に 1.95mm 以上移動させる必要があります。図 7 に、上述の内容を示します。

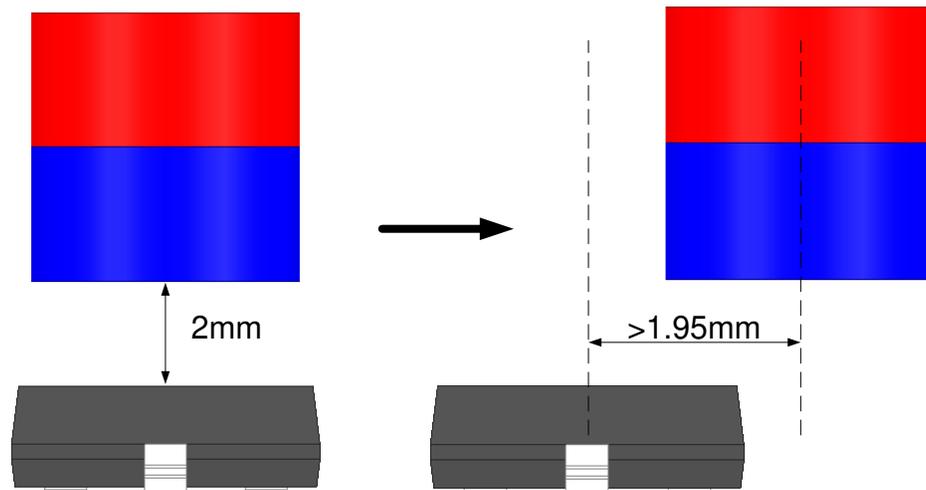


図 7. デュアル・ポジション、シングル出力スイッチにおける磁石の横方向の移動

4.3 2 ポジション・デュアル出力スイッチ

2 ポジション・デュアル出力スイッチは、合計 2 つの出力が必要なため、前述の 2 つのケースとは設計手順が異なります。これを行うための潜在的にコスト効率の優れた方法は、磁石の両極を利用することです。つまり、1 つの磁石を利用して設計できるように磁石を横にして使用します。

シングル出力センサを使用してオフ / オン状態を決定した前述のスイッチ設計とは異なり、この設計ではデュアル出力ユニポーラ・デバイスを利用して 2 つの個別信号を出力します。N 極に面した磁気信号を検出すると OUT1 が LOW になり、S 極に面した磁気信号を検出すると OUT 2 が LOW になります。DRV5032 ファミリーでは、この構成が可能なのは DU と FD という 2 つのバージョンのみです。

磁石を横にすると、磁界曲線の特性形状が変化します。結果として、デバイスの一方の出力で B_{OP} または B_{RP} をトリガできる方向が複数存在します。これはデュアル出力スイッチであるため、「不感帯」(磁界変化の N 側と S 側の各 B_{OP} の間の曲線中央の領域) を最適化する磁石を選択することが目標です。この領域の移動距離を最短にすることで、選択した任意の高さでセンサの上を横方向に磁石を移動させる際に磁気的影響が N から S へとすばやく変化します。この設計の場合、磁石を選択する前に 2.5mm の高さを選択しました。図 8 に、この配置の変化による曲線の変化の程度を確認するために、複数の磁石を調べた結果を示します。これらの曲線は、磁石の外径からパッケージに組み込まれた磁気ホール・センシング素子までの高さを 2.5mm にした場合の磁石の磁界を示していることに注意します。

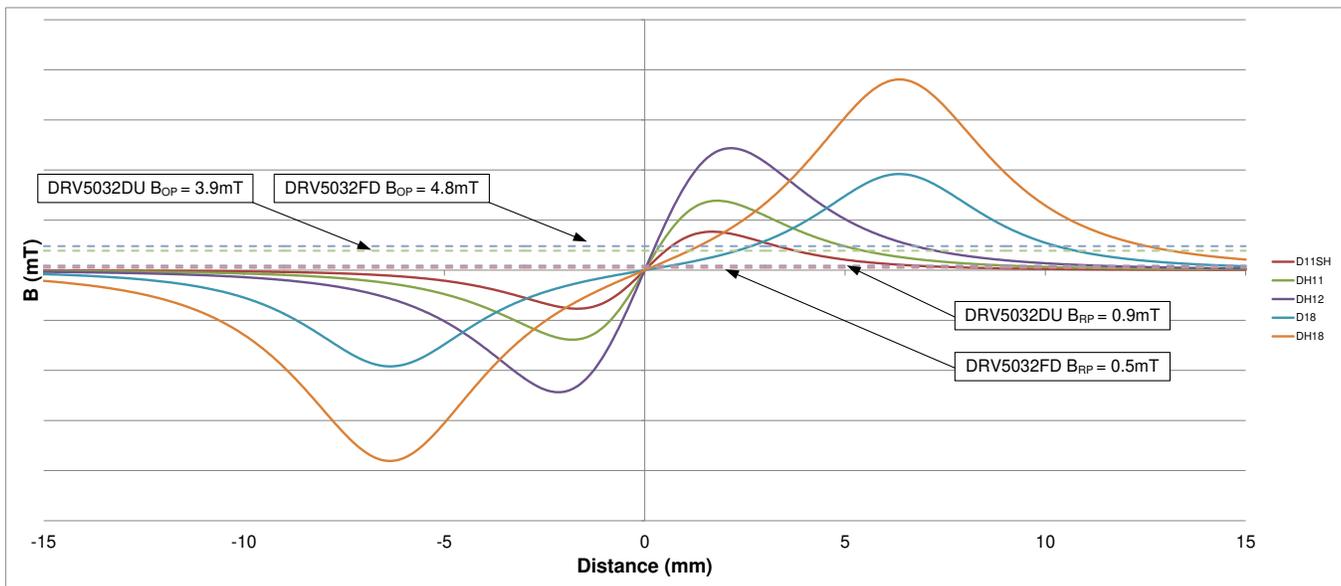


図 8. 各種磁石の磁界の挙動 (高さ 2.5mm)

これらの選択肢の中で、D11SH、DH11、DH12 はいずれも、N 極と S 極の B_{OP} 間の距離が短いため、DRV5032DU または DRV5032FD と組み合わせるとうまく機能しそうです。ここでは小型であることが望ましいため、この設計を完成させるために D11SH を選択します。D11SH は直径 1.5875mm x 長さ 1.5875mm、グレード N42 のネオジウム磁石です。ただし、DH11 と DH12 も使用できます。これらの曲線は、2.5mm の高さを選択した場合にのみ有効であることに注意します。別の高さを選択した場合、再計算する必要があります。

以下の図 9 に、D11SH の詳細な磁界曲線と、各種の動作点と復帰点のヒステリシスを示します。

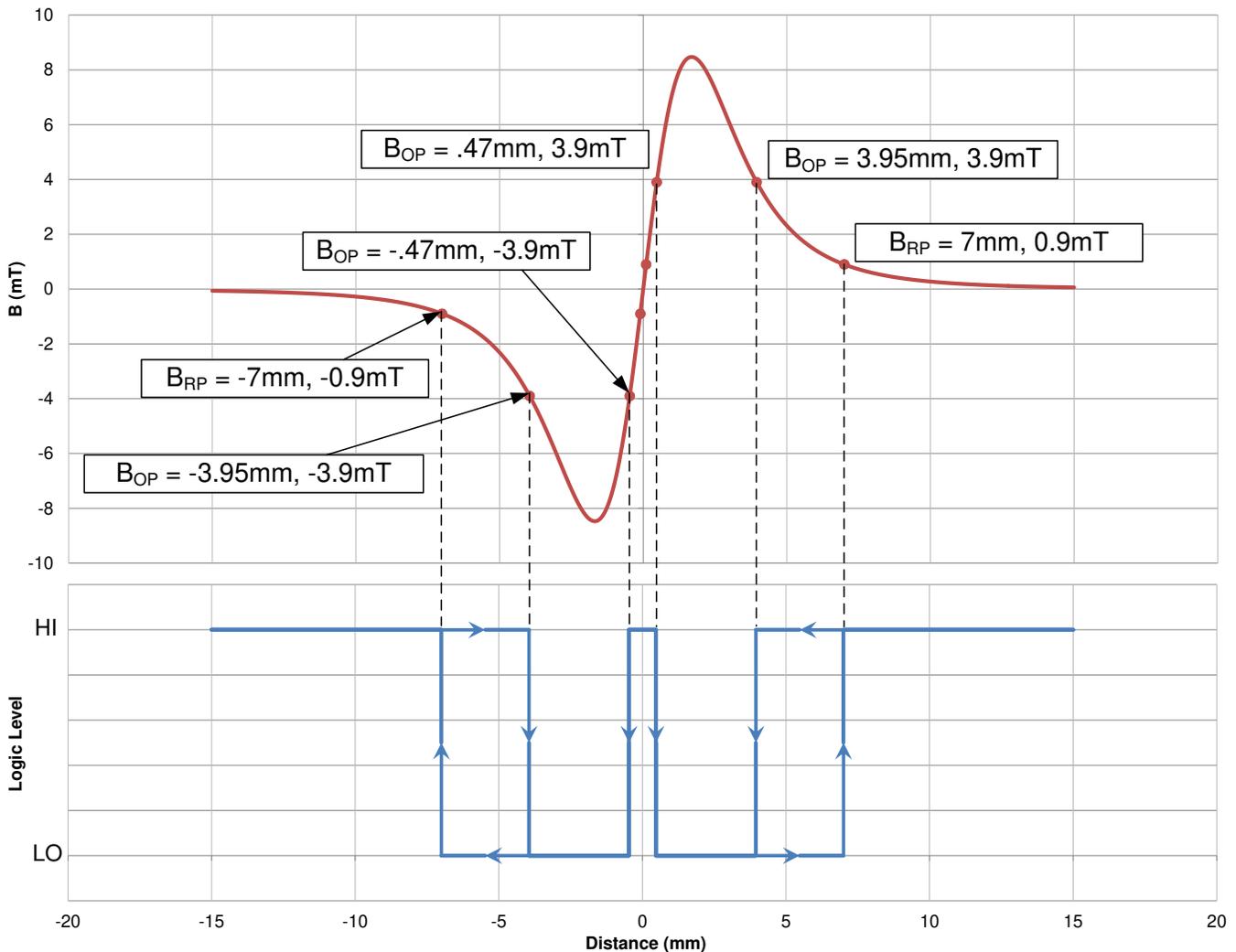


図 9. D11SH の磁界曲線、 B_{OP} および B_{RP} 点、高さ 2.5mm

曲線の各ピークごとに、 B_{OP} に達している点が 2 つ存在します。これらの各点の極値 (N 極が -3.95mm 、S 極が 3.95mm) を最大移動距離点として扱うことを推奨します。動作点と外側の復帰点の間は 3.05mm 離れているものの、標準値は多くの場合データシートの最大値よりもはるかに小さいため、これらの点を越えて移動させるとデバイスは意図せずオフになることがあります。これを考慮すると、デュアル出力スイッチの機械的公差を求めることができます。その公差とは、スイッチの片側から反対側までの最小移動距離が $\pm 0.47\text{mm}$ (合計 0.94mm)、最大移動距離が $\pm 3.95\text{mm}$ です。図 10 に、この移動の様子を示します。一方向の移動のみを示していますが、この移動はセンサの中心に対して対称であり、センサの対称軸の反対側にも反映されることに注意します。

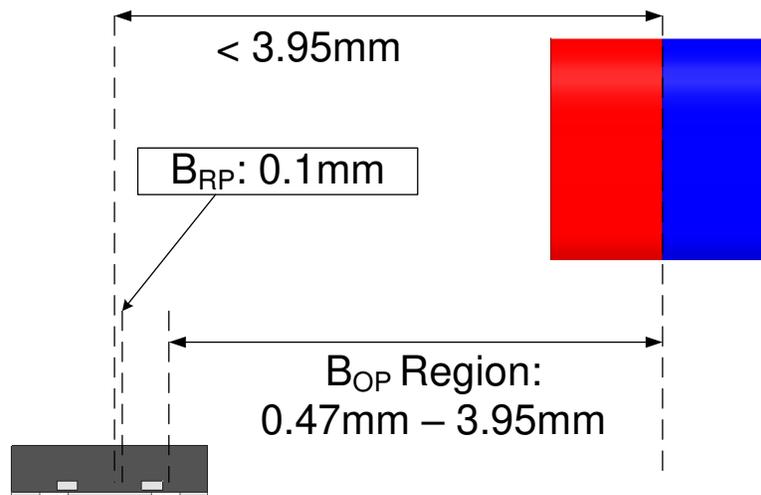
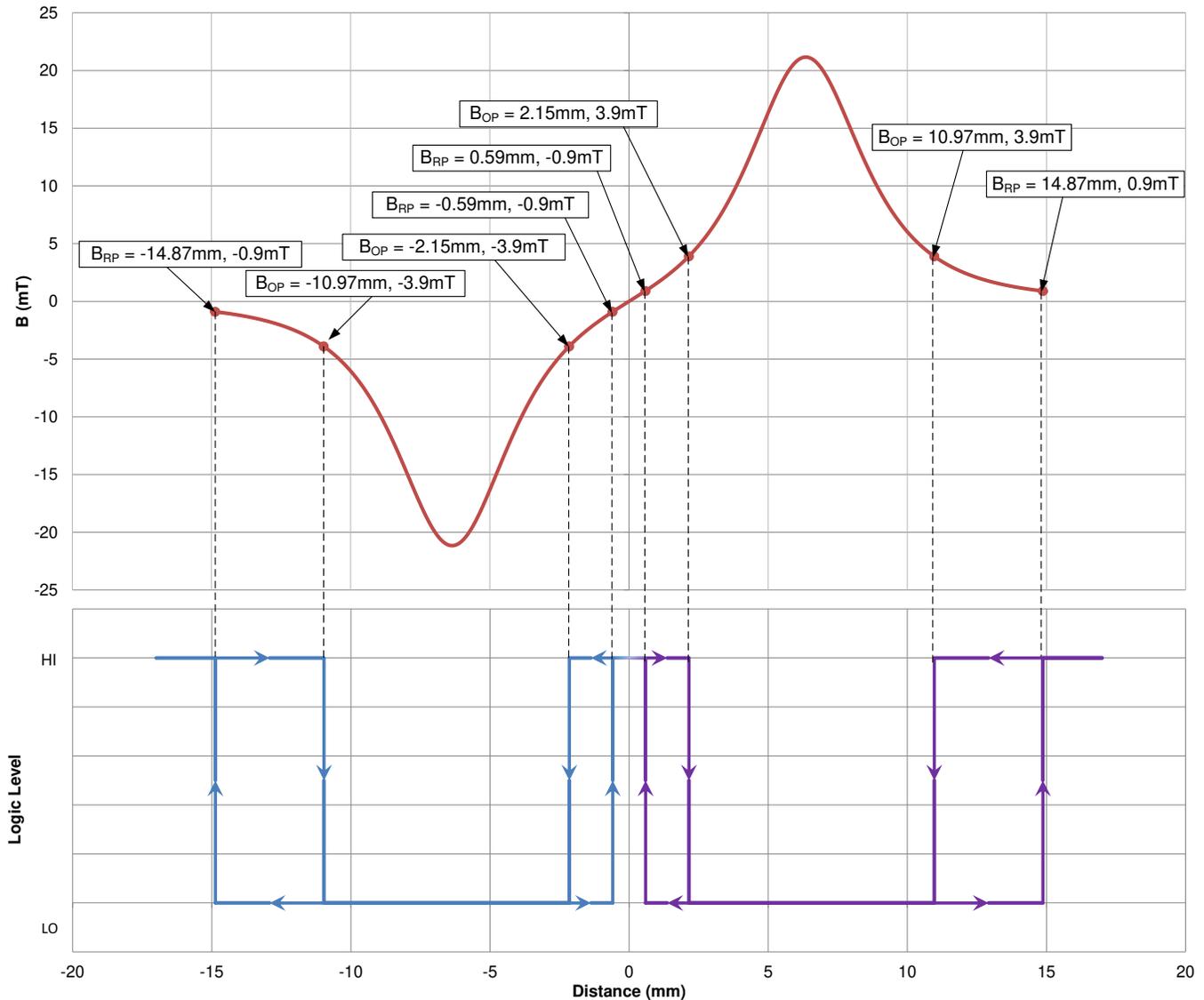


図 10. デュアル・ポジション、デュアル出力スイッチの横方向の移動

4.4 デュアル出力の 3 ポジション・スイッチ (インライン)

3 ポジション・スイッチの設計は、2 ポジション・デュアル出力とよく似ています。しかし、この設計では「不感帯」はもはや最小化されず、第 3 の出力の機能を果たします。その際、DRV5032 のどちらの出力もアクティブになりません。このため、この第 3 の状態の移動領域を引き延ばすために、より平坦な曲線が求められます。ここで、上述 (図 8) の D18 と DH18 に注目します。これらは、ここで求められる平坦な挙動を示しています。分かりやすくするため、この設計に使用する高さを 2.5mm とし、D18 を選択します。これは直径 1.5875mm x 長さ 12.7mm、グレード N42 のネオジム磁石です。

以下の図 11 に、D18 の詳細な磁界曲線と、各種の動作点と復帰点のヒステリシスを示します。


 図 11. D18 の磁界曲線、 B_{OP} および B_{RP} 点、高さ 2.5mm

ここからの設計はデュアル出力スイッチと非常によく似ています。堅牢性を高めるために、これらの各点の B_{OP} の極値 (N 極が -10.97mm 、S 極が 10.97mm) を最大移動距離点として扱うことを再び推奨します。前のセクションのデュアル出力スイッチの手順に従うと、設計は以下の公差を持つ機械的な問題に変わります。その公差とは、スイッチの片側から反対側までの最小移動距離が $\pm 2.15\text{mm}$ (合計 4.3mm)、最大移動距離が $\pm 10.97\text{mm}$ です。しかし、今度はスイッチ中央の $\pm 0.59\text{mm}$ (合計 1.18mm) の「オフ」位置の機能を果たす部分が存在します。センサが検出する磁界に、どちらの側の最小復帰点も存在しないためです。この 1.18mm の領域は本デバイスの最小 B_{RP} に基づいており、実際には、それより大きい場合が一般的であることに注意します。以下の図 12 と図 13 に、この移動の様子を示します。一方方向の移動のみを示していますが、この移動はセンサの中心に対して対称であり、センサの対称軸の反対側にも反映されることに注意します。

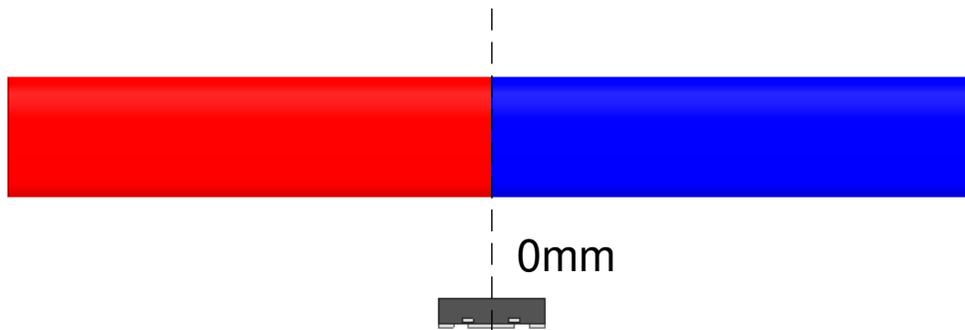


図 12.3 ポジション・スイッチのオフの位置



図 13.3 ポジション・スイッチの横方向の移動

4.5 デュアル出力の 3 ポジション・スイッチ (回転)

ロータリー・スイッチの設計では、ホール効果センサと組み合わせて使用する際に周期的性質を持つ丸型磁石が通常最も便利ですが、小型の設計の場合、円柱型磁石も使用できます。円柱型磁石を回転させることで、前述の設計に似た曲線が描かれます。

この磁石は通常ダイヤルに組み込まれるため、短いものが望ましいのですが、この長さを増やすと不感帯も大きくできるため、ここでは妥協が必要です。利用可能な磁石をざっと調べた結果、このシミュレーションには **D14** を選定しました。これは直径 1.59mm x 長さ 3.175mm、軸方向、グレード N42 のネオジム磁石です。この磁石には 2.5mm の高さを選択し、やはり DRV5032DU と組み合わせました。以下の [図 14](#) に、**D14** の詳細な磁界曲線と、各種の動作点と復帰点のヒステリシスを示します。

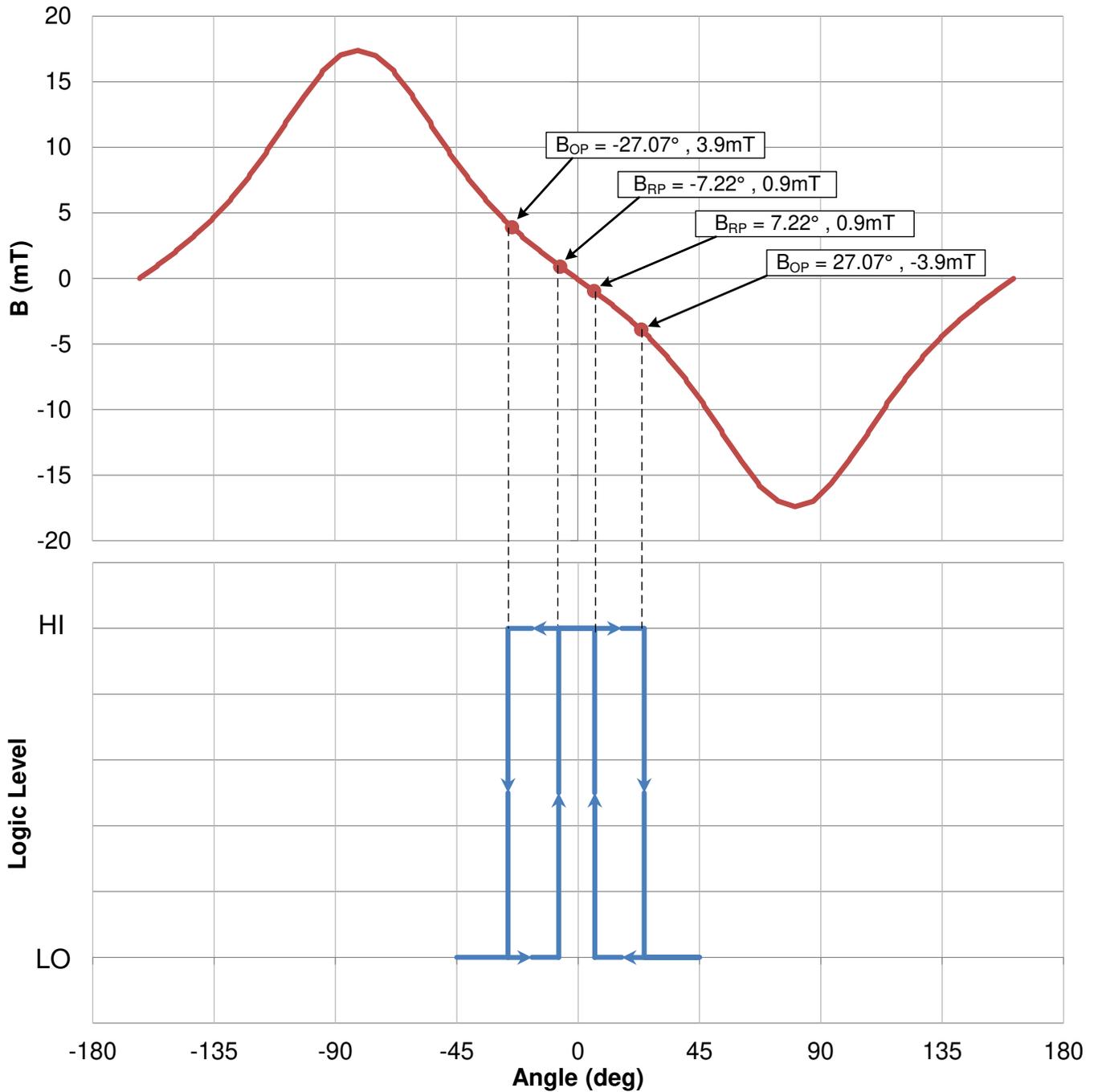


図 14. D42DIA の磁界曲線、 B_{OP} および B_{RP} 点、高さ 2.5mm

これらの結果は、両方の状態で確実にオンになるように、 $\pm 27.07^\circ$ 以上動くことができる筐体に磁石を組み込む必要があることを示しています。堅牢性を確保するには、さらに数度のマージンを追加する必要があります。この設計は $\pm 30^\circ$ の移動距離があれば堅牢になります。ダイヤルを中央に戻すと、本デバイスは、どちらの側も約 $\pm 7^\circ$ で (中央の約 14° の範囲を、センサの両方の出力が非アクティブになる「オフ」点として) 確実にオフします。筐体には、センサの 2.5mm 上に磁石を保持し、磁石を回転させたとき磁石の端がセンサの真上を通る位置にセンサを取り付ける必要があります (図 15、図 16 参照)。

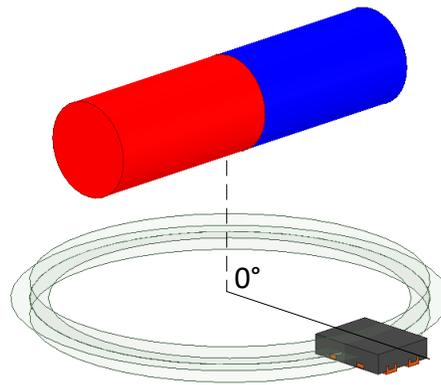


図 15.3 ポジション・ロータリー・スイッチのオフの位置

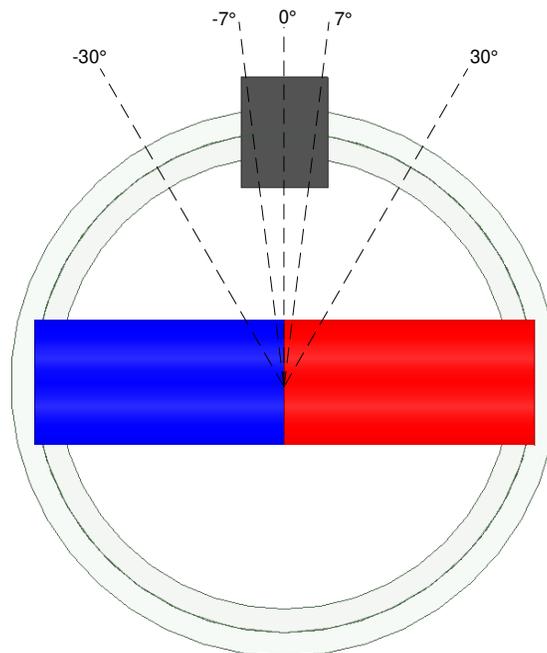


図 16.3 ポジション・スイッチの磁石の回転運動

5 関連資料

- テキサス・インスツルメンツ、『[Overview Using Linear Hall Effect Sensors to Measure Angle](#)』アプリケーション・ノート (英語)
- テキサス・インスツルメンツ、『[SOT-23 と TO-92 のホール・センサ評価向けブレイクアウト・アダプタ](#)』
- テキサス・インスツルメンツ、『[E2E support forums](https://e2e.ti.com/)』 (英語)

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](#)、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 © 2022, Texas Instruments Incorporated