

Technical Article

霍爾效應：平面內開關如何提高靈敏度並降低設計成本



Rishi Ramabadran

配備智慧磁性位置感測器的裝置包括門窗感測器、電子智慧鎖（如圖 1 中所示）、筆記型電腦、耳塞式耳機、平板電腦、智慧型手機，水錶與瓦斯表，都需依賴更小、更節能的開關。磁性開關通常需要偵測與印刷電路板 (PCB) 平行或水平方向的磁場，這種感測方向稱為平面內感測。



图 1. 電子鎖依賴磁性感測器開關

最常用的平面內磁性開關為異向性磁電阻 (AMR)、隧道磁電阻 (TMR) 和舌簧開關。AMR 和 TMR 的運作方式係根據磁場的角度和幅度變更電阻率。舌簧開關由兩塊鐵磁性金屬組成，封裝在玻璃管中。在它們之間導入足夠強的磁場時，這些部件便會相互接觸。

儘管 AMR、TMR 和舌簧開關為市場上現有的解決方案，但仍有缺點。由於舌簧開關封裝在玻璃管或其他密封外殼中，因此封裝很大，且價格昂貴，並且在磁鐵旁邊時很容易擰緊（參見圖 2）。外殼還可輕鬆地在 100,000 和 100 萬個開關週期之間中斷，這使得技術的耐用性和可靠性更低。同時，舌簧開關無法以高精度偵測磁場。

使用舌簧開關進行設計時，另一個挑戰是它們可能會遇到去除抖動，這是彈性碰撞的結果，因為兩個舌簧在相互接觸後分離。去除抖動會延長訊號的安定時間，若不處理，會影響傳輸完整性。

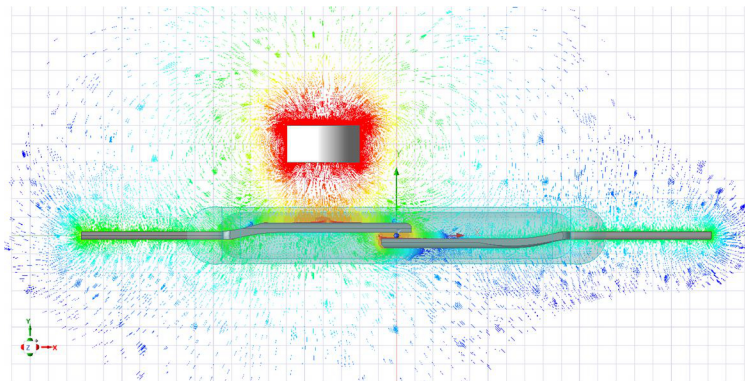


图 2. 舌簧開關的模擬響應，顯示兩個舌簧尖端之間的集中磁通量密度

AMR 和 TMR 感測器的製造成本高昂，因為其金屬層堆疊十分複雜。建立這些金屬層需要專用沉積設備，但這些設備不容易獲得，且可能造成供應限制；這些金屬層也必須磁化。

磁性感測的新世代

人們對霍爾效應技術的需求與日俱增，因為其具備與常用開關類型相似的靈敏度和功耗，同時具備可擴充性和更經濟的能力。霍爾效應開關可根據磁場的規模監控電壓變化進行運作。

TI 的 **TMAG5134** 平面內霍爾效應開關（圖 3）具備整合式磁性集中器，它由位於感測元件上的兩個金屬板組成。集中器將磁場聚焦在感測元件上，可放大磁場，並能夠偵測那些太弱而無法單獨使用霍爾效應感測器有效測量的磁場。TMAG5134 能夠偵測最低可達 1mT 的微弱磁場，因此可使用較小的磁鐵，進而降低系統級的成本。

TMAG5134 的整合式磁性集中器產生的性能，以及霍爾效應技術的製造成本，使其足以與 AMR、TMR 及舌簧開關競爭，同時大幅降低系統成本。

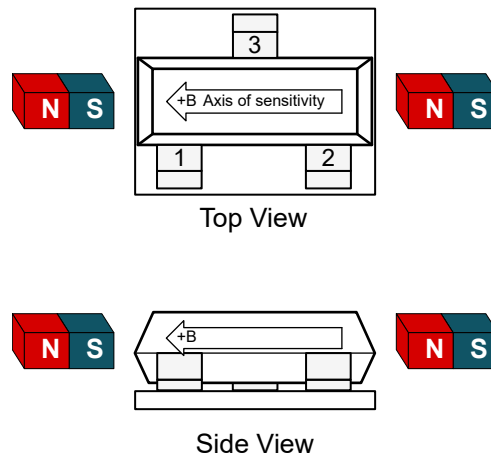


图 3. TMAG5134 霍爾效應開關的平面內位置設計

與標準霍爾效應感測器相比，整合式磁性集中器可降低功耗，因為它會放大訊號，因此不需要具有更多電流對感測器進行偏壓。TMAG5134 的功耗低至 0.6 μ A。

此外，若偵測與 PCB 平行或水平方向的磁場，TMAG5134 的平面內感測方向為您設計系統時提供更大的靈活性。若在電晶體外型 (TO)-92 封裝中使用霍爾效應開關，便能解決此難題，但會消耗更多電路板空間。由於 TMAG5134 為霍爾效應開關，因此可無接觸感測磁場，與機械開關相比可減少磨損，並提升可靠性和彈性。

TI 有一個稱為 **德州儀器磁感模擬器 (TIMSS)** 的磁性模擬工具，您可以利用該工具根據感測器磁鐵放置來模擬磁場和感測器輸出。TIMSS 可減少系統與完整產品設計的修改次數，並能快速針對不同系統容差進行實驗。您可以在 TIMSS 中選擇 TMAG5134，並取得系統中磁場和裝置輸出的 3D 視覺化效果。

設計工程師在選擇合適技術時，通常需要考慮成本、功率和操作閾值（請參閱表 1）。

表 1. 與其他平面內感測技術相比的 TMAG5134 霍爾效應開關

參數	TMAG5134	AMR 開關	TMR 開關	舌簧開關
感測方向	平面內 (X 軸)	平面內 (X 軸)	平面內 (X 軸)	平面內 (X 軸)
成本	低等	高等	高等	高等
電流消耗	最低可達 0.6 μ A	<0.1 μ A	<0.05 μ A	0
典型操作閾值 (Bop)	最低可達 1mT	約 3mT	最低可達 0.3mT	<5mT

更智慧化的感測應用

平面內霍爾效應開關的功能（如 TMAG5134）包括以下範例：

- 在包括門窗感測器以及電子智慧鎖的智慧住宅系統中：
 - 偵測使用者何時開啟或關閉門窗。
 - 監控門栓位置以確定車門的狀態。
 - 延長電池使用壽命。
- 在筆記型電腦、平板電腦及耳塞式耳機等消費者電子產品中：
 - 偵測使用者何時打開或關閉筆記型電腦蓋或平板電腦蓋，或偵測使用者何時折疊筆記型電腦 360 度。在筆記型電腦和平板電腦中，根據打開和關閉狀態打開或關閉螢幕。
 - 確定使用者何時打開或關閉耳塞式耳機充電盒蓋，或從充電盒插入或取出耳塞。任一操作均可確定耳塞式耳機的充電狀態。
- 在能源基礎架構中：
 - 偵測水錶和瓦斯表中磁鐵的刷動，以使儀表進入診斷模式。
 - 偵測電表上外部磁鐵的放置，以中斷電表量測。

結論

TMAG5134 等平面內霍爾效應開關正在塑造磁性位置感測的未來。未來，TMAG5134 等裝置可能較適合擴增或虛擬實境頭戴式耳機和智慧眼鏡等產品。高性能與低成本的結合，讓 TMAG5134 平面內霍爾效應開關成為具吸引力的選擇。

其他資源

- 開始使用 [霍爾效應中斷轉接器評估模組](#)。
- 使用 TMAG5134EVM 快速評估您的霍爾效應開關設計。
- 觀看 [TI Precision Labs 有關磁性感測器的影片系列](#)。

註冊商標

所有商標皆屬於其各自所有者之財產。

重要聲明與免責聲明

TI 均以「原樣」提供技術性及可靠性數據（包括數據表）、設計資源（包括參考設計）、應用或其他設計建議、網絡工具、安全訊息和其他資源，不保證其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的擔保，包括但不限於對適銷性、適合某特定用途或不侵犯任何第三方知識產權的暗示擔保。

所述資源可供專業開發人員應用 TI 產品進行設計使用。您將對以下行為獨自承擔全部責任：(1) 針對您的應用選擇合適的 TI 產品；(2) 設計、驗證並測試您的應用；(3) 確保您的應用滿足相應標準以及任何其他安全、安保或其他要求。

所述資源如有變更，恕不另行通知。TI 對您使用所述資源的授權僅限於開發資源所涉及 TI 產品的相關應用。除此之外不得複製或展示所述資源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知識產權授權許可。如因使用所述資源而產生任何索賠、賠償、成本、損失及債務等，TI 對此概不負責，並且您須賠償由此對 TI 及其代表造成的損害。

TI 的產品均受 [TI 的銷售條款](#) 或 [ti.com](#) 上其他適用條款，或連同這類 TI 產品提供之適用條款所約束。TI 提供所述資源並不擴展或以其他方式更改 TI 針對 TI 產品所發布的可適用的擔保範圍或擔保免責聲明。

TI 不接受您可能提出的任何附加或不同條款。

郵寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated