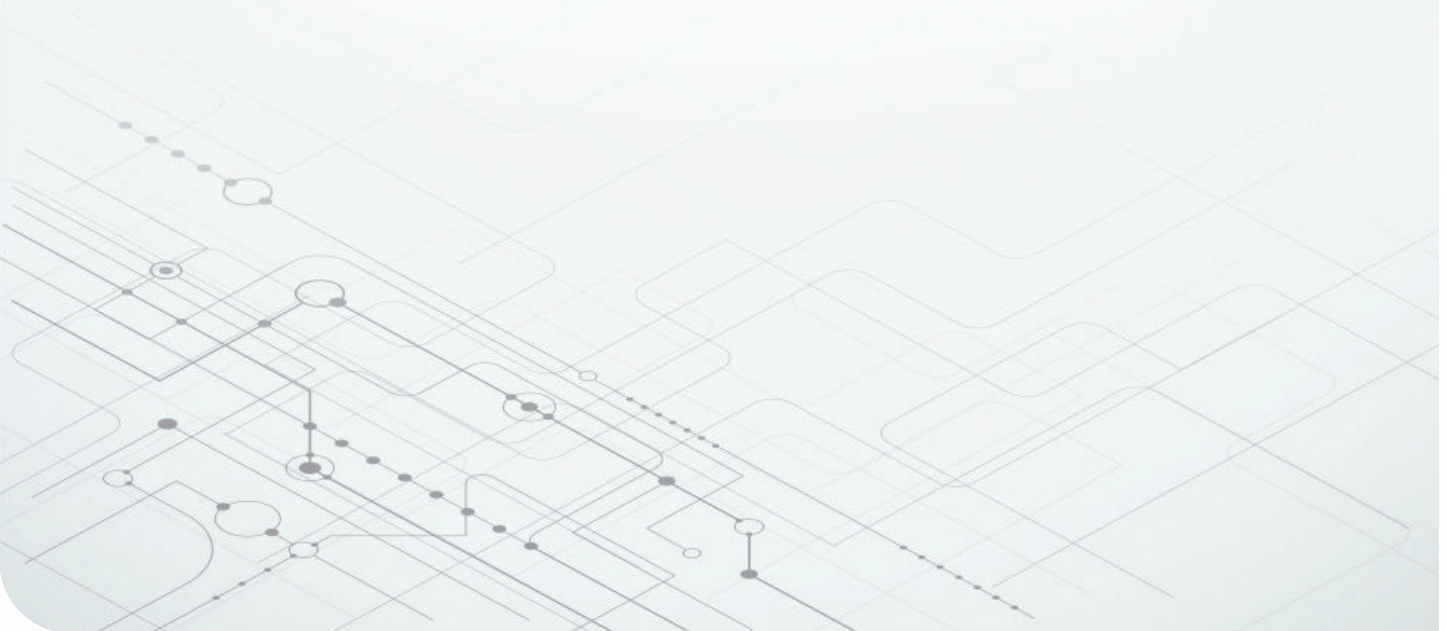


位置感測器如何在汽車與工業應用中實現創新



Manny Soltero



本白皮書會檢視針對汽車與工業應用的位置感測，以及相關設計挑戰和解決方案發展趨勢。

摘要

- 趨勢 1：系統電氣化**
在整個汽車系統中，包括電動馬達與電動輔助轉向系統 (EPS) 系統，位置感測器以高準確度測量複雜角度。
- 第二趨勢：提升可靠性與安全性的需求**
從機械系統轉為磁性感測器可減少磨損，同時增加了功能安全的需求。
- 第三趨勢：終端產品整體外型尺寸小型化**
高靈敏度磁鐵與更高的整合度可處理小型化的取捨，包括較低的準確度與解析度。
- 第四趨勢：從稀土材料轉換至鐵氧體**
鐵氧體是充足且符合成本效益的磁性感測器稀土材料替代品，但需要功能來彌補其磁場下降和溫度漂移。

即使您已具有許久的駕駛經驗，您可能也沒有留意到方向盤甚或是各個車輛的制動系統之間有著不小差異。這是基於設計考量使然。著手改進可提昇駕駛便利性，但一般來說這些系統相對而言會維持不變，以確保無論車型年款如何，皆提供一致的使用者體驗。

不過，此類系統使用的技術已日新月異，位置感測器則是此演進趨勢的重要一環。

目前市面上有許多類型的位置感測器，包括超音波，光學，磁性，電容和電感。位置感測積體電路 (IC) 會偵測物體的動作，並將輸入訊號轉換成適合微控制器 (MCU) 處理與控制的電子訊號。本文內容在提到位置感測器時，您可以假設 IC 感測器使用霍爾效應、異向性磁阻 (AMR) 或電感技術。圖 1 說明這三種感測器類型的基本功能。

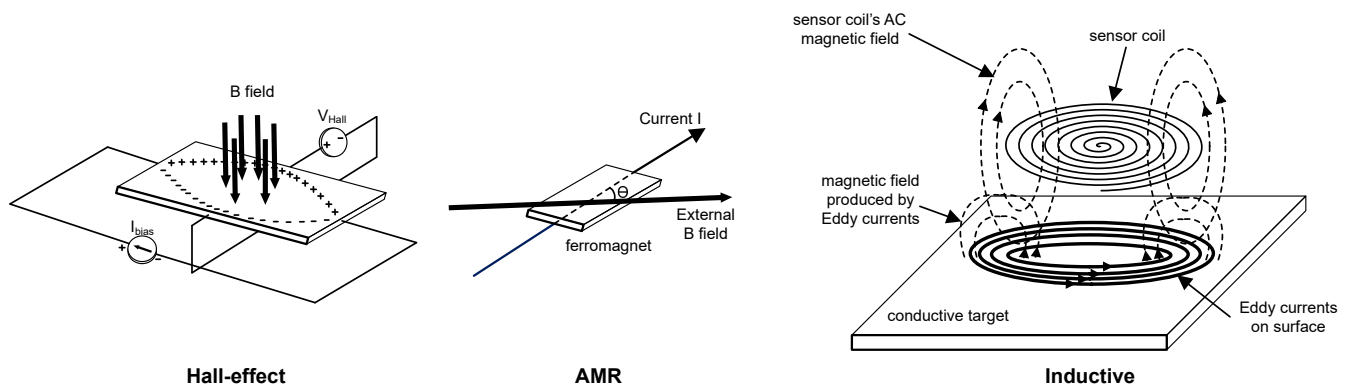


圖 1. 霍爾效應、AMR 和電感器感測器功能。

在霍爾效應技術中，電流會感應至強磁性材料中。應用磁場 (標示為 B 磁場，參閱 圖 1) 會產生與電流垂直的霍爾電壓。

AMR 感測器的電阻會隨著應用的磁場而減小。此外，異向性層面意味着 AMR 感測器獨立於應用磁場的方向。

電感感測器使用感測器線圈 (電感器) 產生專屬磁場，與金屬目標上所發展渦電流產生的磁場耦合。

本白皮書將探討位置感測的四種電流趨勢：系統電氣化、提升可靠性與安全的需求、整體終端產品外型尺寸小型化，以及從稀土材料變為鐵氧體的轉換。只要了解 IC 感測

器的最新改進，設計人員便可受益匪淺，目前這些改進不但更加精確靈敏，且能提供更高的解析度和更多功能，耗電量也比過去更少，同時還可採用更精巧的封裝設計。

趨勢 1：系統電氣化

自動駕駛源自對更佳使用者體驗的追求，加上減少溫室氣體排放目標的推動下，車輛電氣化日漸普及，在汽車中加入位置感測器等更多半導體裝置勢在必行。這是我們的首個趨勢。

散熱效率對電動車 (EV) 而言極為重要。電動泵會在整個車輛中循環冷卻液，例如油和水乙二醇，以維持各項系統的溫度。這些系統由多個電子控制單元 (ECU) 控制。EV 啟動後，MCU 可以透過監控溫度來判定是否已將足夠的冷卻液泵送至特定系統。電動幫浦增量式旋轉編碼器中使用的高解析度霍爾效應感測器可讓微處理器更有效率地回應散熱事件。高頻寬 **TMAG5110-Q1** 等裝置提供低延遲輸出，同時具備高靈敏度功能，讓設計人員在配置感測器時更有彈性。

轉向柱設計視原設備製造商 (OEM) 而異，不過最受歡迎的實作方式會連接多個控制模組，並管理多個開關和按鈕控制功能，例如閃爍器、頭燈、雨刷、定速巡航系統和滾輪。過往基於自動駕駛或舒適性原因而採取機械實作，這些功能已成為也整合了磁性功能的電氣解決方案。在多數應用中，**TMAG5170D-Q1** 與 **TMAG5173-Q1** 皆可提供高準確度測量複雜角度，符合汽車安全完整性等級 (ASIL) B 或甚至 ASIL D 系統級標準。**圖 2** 顯示經過改造的 OEM 轉向柱控制模組，以 3D 霍爾效應感測器開發板取代機械接頭。

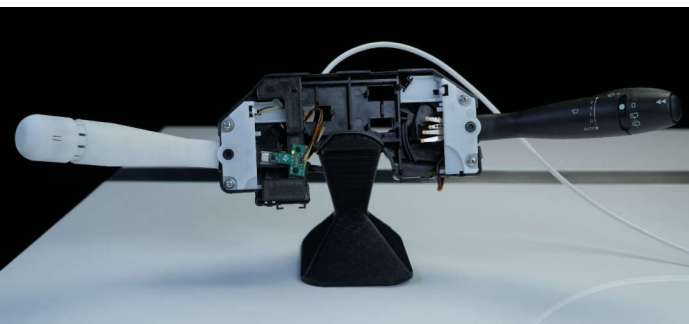


圖 2. 配備 TI 3D 感測器評估模組的改造轉向柱。

馬達位置感測是馬達設計的基本要素，用於確保馬達以最佳效率運作。隨著電源效率需求增加，人們也期待位置感

測器能以高精準度監控馬達軸確切旋轉位置。微處理器和牽引逆變器內的功率級知道馬達的位置後，即可為馬達線圈提供確切的電流量，以更有效率地管理扭力。難點是當馬達全速運轉 (100,000rpm 或更高速) 時，在整個額定溫度範圍內儘可能以高準確度測量角度 (約 0.5°)。

LDC5072-Q1 電感測器 (又稱為電感解析器) 對雜散磁場固有抗擾性，因此適合用於此任務。這項技術的另一個好處是無需用到磁鐵。**圖 3** 顯示上方安裝牽引逆變器的電動馬達。

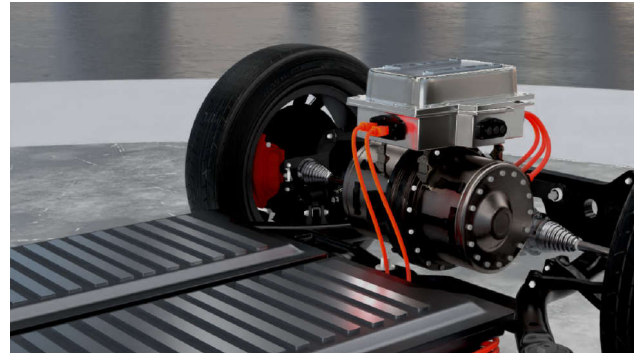


圖 3. 電動馬達和牽引逆變器。

車輛電氣化已為位置感測器製造出許多使用案例，電動輔助轉向系統 (EPS) 可以說是最普遍的例子。隨著 EPS 不斷演進，馬達位置感測器和車輪位置感測器的準確度與解析度需求也隨之提升。在 EPS 系統中，**TMAG6181-Q1** 可提供最小角度錯誤為 0.4° 馬達轉子位置，並支援高達 100,000rpm 轉速，延遲低於 2μs，而 **TMAG5170D-Q1** 則有助於判斷方向盤的 3D 位置。方向盤角度感測器將資料傳送到 ECU，以實現最佳車輛操作和控制。

電氣化不僅涉及汽車，也涵蓋電輔自行車、踏板電動自行車與電動機車等運輸系統。儘管這些產品已存在多年，但馬達通訊、節奏和車輪速度感測方面都有需要位置感測器的新進展。電輔自行車有幾項新趨勢值得注意：

- 馬達整流先前運用在三鎖存器無刷 DC 馬達實作上，但現在大多數電輔自行車馬達供應商都採用高速、高精度角度感測器來監控馬達。**TMAG6180-Q1** AMR 感測器非常適合此應用，因為它可以進行高準確角度測量 (室溫下 0.1°)。

- 將 **TMAG5115** 等霍爾效應鎖存器用於車輪速度和節奏監控，可提供低抖動和快速反應時間，實現更高精確與方向和方向測量。霍爾效應開關在過去主要用於車輪速度偵測。

第二趨勢：提昇可靠性與安全性的需求

在開發工業，個人電子與汽車系統時，設計人員會同時思考如何提昇設計可靠性，以增加產品使用壽命。位置感測

的最新趨勢會運用幾種不同的方法來達到此目標 – 從機械系統轉為磁性感測器，並加速功能安全合規性。

磁性感測器消除了因摩擦而造成的持續機械磨損。例如在無線電動工具中，機械觸發設計是最常見的故障模式，製造商在產品使用壽命期間的目標通常是 > 200,000 個週期。使用壽命週期目標因最終產品而異，但預期磁性解決方案有可能延長產品使用壽命。**表 1** 總結其中的幾個範例。

應用	現有技術	在機械感測器上使用位置感測器的優點	建議技術
無線電動工具和醫療用電鑽的觸發器	機械電位計設計	<ul style="list-style-type: none"> 延長觸發機制的生命週期。 您可以將感測器直接設置在主電路板上，無需外部模組。 	霍爾效應和電感
冰箱門開關偵測	微開關	<ul style="list-style-type: none"> 提供外型美觀且採用隱藏式開關的門介面。 	霍爾效應
遊戲控制器和鍵盤	機械設計	<ul style="list-style-type: none"> 提供偵測特定按鈕或觸發器上所用力量的功能。 在遊戲控制器中，有助於防止因長期使用而發生偏移。 	霍爾效應和電感
轉向系統： 轉向桿移位器、轉向柱，旋鈕和電平移位器	機械設計	<ul style="list-style-type: none"> 使用電氣位置訊號提供無磨損的線控驅動方式。 	霍爾效應、電感和 AMR
煞車系統	機械液壓設計	<ul style="list-style-type: none"> 電子線控煞車提供更高的安全性，以及更快的回應時間。 	霍爾效應和電感

表 1. 轉為非接觸式方法的工業，個人電子產品和汽車系統應用範例。

隨著車輛電氣化的問世，以及幾乎所有電動產品皆加裝更多的電子裝置，加速了人們對於功能安全方面的需求。汽車產業遵循適用於汽車產品的國際標準化組織 26262，而工業產業則遵循國際電工委員會 61508。功能安全旨在消除電子系統故障所造成的不合理風險，以保護使用者。若系統出現故障，系統應預設為可預測和已知狀態。

汽車與工業功能安全標準分為幾種類別，取決於嚴重性或後果 (可能發生的傷害程度)、曝露或可能性 (發生機率) 和可控性 (使用者擁有多少控制能力) 而定。汽車系統中有幾個需要最高功能安全等級的範例，亦即 EPS 或移位器系統

(電動移位轉器)。鑑於與故障相關的風險，兩種系統通常需要最高的汽車等級 (ASIL D)。

為符合 ASIL D 要求，系統開發人員通常會使用備援感測器或解決方案，其具有兩個完全相同但各自內部隔離的獨立感測器。兩個感測器發生故障的機率極低。這類高性能系統還需要高準確度角度偵測。諸如 **TMAG5170-Q1** 3D 感測器及其雙晶粒同等裝置 **TMAG5170D-Q1**，皆具備裝置與系統層級內建診斷功能。

第三趨勢：終端產品整體外型尺寸小型化

第三個趨勢與磁性系統設計小型化有關。縮減產品尺寸的原因有很多：成本、更好的使用者體驗、更精緻的外觀與使用感受等等，這麼做通常牽涉到縮減磁鐵大小或使用多軸感測器。另一種風險較低的方法是改為使用製程允許的最小且最整合的元件，以縮減電路板尺寸。為解決這些問題，德州儀器提供超小型無引線 (X2SON) (1.1mm² x 1.4mm²) 和晶圓晶片級封裝 (WCSP) (0.8mm² x 0.8mm²) 的小型解決方案。**TMAG3001** 是採用小型封裝的高度整合的一個例子，它是一種 WCSP 形式的 3D 線性解決方案。

縮減磁鐵大小會造成問題，因為磁場會變弱，因此需要具有高靈敏度的磁性感測器。有了 **TMAG5231** 等高靈敏度解決方案，就可以使用較小的磁鐵。或者，您也可將磁鐵靠近感測器，以在不使用高靈敏度解決方案的情況下取得精準的測量結果。對於弱磁場，具有高訊號雜訊比 (SNR) 的裝置有利於確保測量結果儘可能準確。**DRV5055** 和 **TMAG5253** 提供最高 70dB 的 SNR。

不論採用哪種技術，終端設備尺寸縮減的整體趨勢都充滿挑戰。電感感測器使用金屬目標來偵測物體的位置或存在，透過符合產品規格表中指定的規範，便能達到與健身手環側邊按鈕一樣小的體積。電感感測器的主要系統級需求為讓感測線圈與目標尺寸相同，並介於線圈直徑的 10% 至 20% 之間。縮小尺寸趨勢的應用範例包括醫療胰島素幫浦、手術內鏡工具及工廠自動化的氣動汽缸。

透過減少元件數量，同樣也能實現小型化。例如在電錶 (或智慧電子鎖和門窗感測器) 中植入竄改偵測功能，涉及使用單一 3D 線性感測器，而非三個霍爾效應開關或線性裝置

來偵測大型外部磁鐵造成的竄改，這樣會使電表無法準確測量電力使用情況。設計人員使用 3D 磁性傳感器，以更低的功耗操作和可調整的外部磁場偵測裝置設備 (如 **TMAG5273**) 來改善電錶設計。有了這種裝置，減少元件的小型化可帶來其他優勢，包括單一數位介面而非多重輸出、印刷電路板組裝成本較低，以及磁性靈敏度可設定性較高。

若以減少元件來進行系統小型化，增量式與絕對式編碼器設計人員面臨的一大挑戰是如何提升產品解析度，其中包括選擇數位或類比輸出解決方案。增量式編碼器會監控磁體移動的速度或速率及方向。絕對式編碼器可以做到這一點，並全程以高解析度知道其確切位置。

增量式編碼器設計人員使用數位輸出霍爾效應鎖存器時，解析度將嚴格視系統中的磁極數量而定。如想獲得較高解析度，就需要更高極數的環形磁鐵，而極尺寸變小，磁鐵產生的磁場自然就比較弱，迫使設計人員將感測器放置在更靠近磁鐵的地方，或使用靈敏度較高的感測器。這種情況下，大部分的設計人員會換成具有雙整合式鎖存器的單晶片解決方案，像是 **TMAG5111**。請務必確保雙鎖存器解決方案有內建 2D 鎖存器，以便在 3D 空間中儘可能靈活地監控任何兩個軸。高解析度設計需要具有線性感測器的絕對式編碼器。具有角度測量功能的單一 3D 線性感測器是改用高解析度絕對式編碼器的最後一步。請注意，這種實作只能測量兩個軸，但大多數 3D 線性感測器都可以靈活配置任意兩個軸。使用 3D 感測器的附加好處是可以偵測推進功能。**圖 4** 顯示編碼器設計的趨勢。

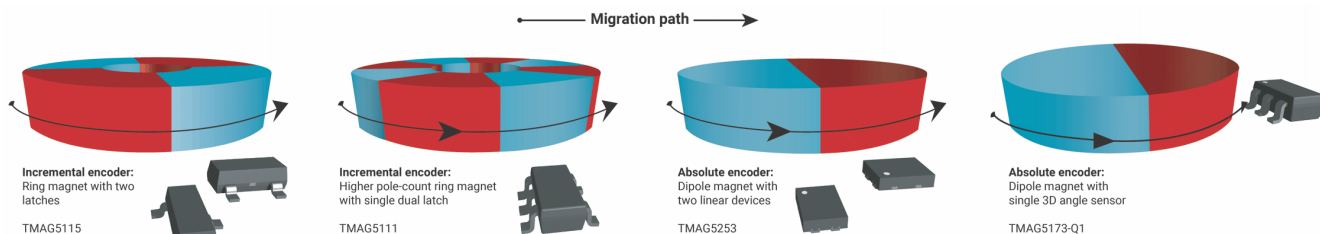


圖 4. 高解析度編碼器趨勢。

第四趨勢：從稀土材料轉換至鐵氧體

稀土材料的生產集中在全世界的少數國家中。這些材料並非取之不盡，若按照目前的消耗量且未採取回收措施，全球儲備量預計將在 21 世紀下半葉耗盡 [1]。

部分公司已開始減少其依賴性和地緣政治風險，將其磁消耗轉移到鐵氧體材料上。鐵氧體磁鐵的成本僅有鈹鐵氧體硼等稀土磁鐵的一小部分，且由於鐵氧體材料的豐富性，其價格也穩定。使用鐵氧體磁鐵的缺點，在於產生的磁場會大幅減少 (最多可低 10 倍)，且溫度漂移為 0.2% /°C。

德州儀器的 **TMAG5170** 和 **TMAG5273** 磁性感測器可搭配陶瓷鐵氧體或稀土磁鐵運作，且具備專為這些磁鐵類型設計的溫度漂移補償功能。

結論

創新是工業與汽車系統不可或缺的一環，而位置感測器對於需要精準測量線性或旋轉動作的應用而言相當重要。隨著產業採用最新技術，市場對於提升安全和使用體驗的需求將持續增加，連帶拉高對於精準感測技術的需求。德州儀器的位置感測器有利於達成這四項趨勢，本公司未來也將繼續開發位置感測器因應下一波潮流。

參考資料

1. Britannica. n.d. “**Abundance, Occurrence, and Reserves.**” 存取於 2023 年 10 月 24 日。

其他資源

1. 閱讀《**使用霍爾效應感測器進行非接觸式旋轉編碼和旋鈕應用**》白皮書。
2. 閱讀《**使用 LDC1314 電感轉數位轉換器的 1° 旋鈕設計指南**》。
3. 閱讀技術文章「**電表防竄改：停止那些惱人的量表竄改行為**」。
4. 閱讀應用說明「**減少使用 2D 霍爾效應感測器進行增量旋轉編碼的正交誤差**」。
5. 查看「**TMAG5115 評估模組使用手冊**」。

重要聲明：本文所述德州儀器及其子公司相關產品與服務經根據 TI 標準銷售條款及條件。建議客戶在開出訂單前先取得 TI 產品及服務的最新完整資訊。TI 不負責應用協助、客戶的應用或產品設計、軟體效能或侵害專利等問題。其他任何公司產品或服務的相關發佈資訊不構成 TI 認可、保證或同意等表示。

所有商標均為其各自所有者的財產。

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 © 2024, Texas Instruments Incorporated