Technical Article

運用高整合度即時控制 MCU 實現更平順、更安靜的馬達性能

TI 員工

消費者期望其產品能夠更安靜地執行，並且具有更高的機械和電氣耐用性。即使是手持式工具、洗衣機、風扇，以及暖通空調（HVAC）裝置等終端設備，也同樣適用。

過去，提升聲音性能、動態行為和系統壽命的方式，一直是改善機械設計、導入新材料，或採用熱管理與先進控制策略。其中許多控制策略的實現需要跨多個裝置：一個負責處理，另一個負責感測，並搭配額外的元件進行訊號調節或保護。雖然這些實作在技術上有效，但可能會在硬體和軟體之間引入緊密耦合的依賴性、增加延遲和抖動，並需要額外的整合與調校工作。因此，挑戰已從單純達成系統性能目標，轉變為在不增加系統複雜度或成本的前提下達成。

以整合處理環境進階馬達控制

將無感測器磁場定向控制（FOC）、振動補償等先進馬達控制技術實作於統一處理環境中，可有效降低協調需求、減少時序不確定性，並使系統行為更具可預測性。從軟體角度來看，TI 的 F28E120SC 等高度整合的即時控制微控制器（MCU）提供了一個統一處理環境，設計人員可用於簡化馬達控制應用中感測、控制和致動功能實作。

這些 MCU 支援無感測器 FOC 等即時馬達控制演算法，可在低速、轉子位置最難估計時，協助設計人員達成時序預算。更精確的馬達控制可實現更順暢的扭矩生產、更低的振動，並讓操作更安靜，無需依賴外部感測器或專用加速硬體。圖 1 顯示典型馬達控制設計中的 F28E120SC MCU 原理圖。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

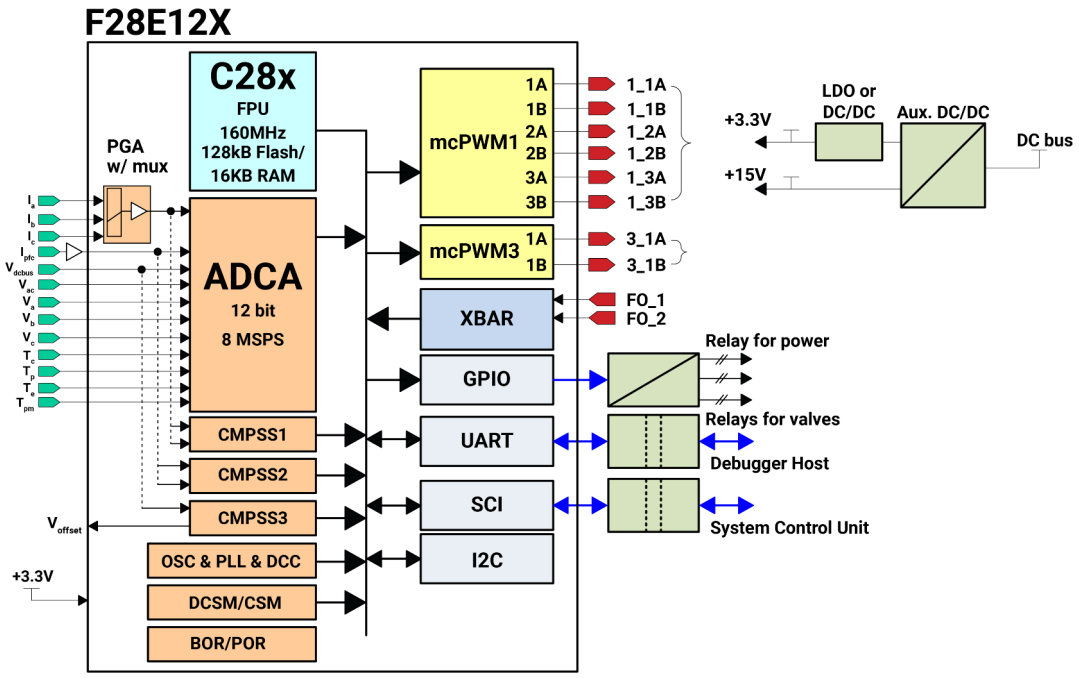

圖 1. 在典型馬達控制設計中的 F28E120x MCU 簡化方塊圖

從硬體角度來看，這些 MCU 內建多種整合式元件，包括高速類比數位轉換器（ADC）、可程式化增益放大器，以及類比比較器。這些整合式零組件可協助設計人員簡化系統訊號鏈，進而實現低雜訊電流回饋，無需晶片外運算放大器或離散式類比積體電路。

由於這種整合控制架構不需仰賴在離散式裝置間手動協調時序，因此設計人員可以減少延遲、抖動，並節省管理系統所需的時間。此架構也透過同步脈衝寬度調變（PWM）和 ADC 觸發改善系統反應，以將取樣精確與切換事件一致。

讓我們透過兩個範例來展示整合處理環境在馬達控制上的優勢。

洗衣機中的馬達控制

在洗衣機中，馬達控制演算法必須能適應各種實際條件，例如開環啟動、旋轉週期中的突發負載不平衡、不同清洗階段的扭矩需求，以及為了織物護理與脫水而進行的精確速度與方向切換。傳統架構通常仰賴外部感測器、類比前端和自訂調諧邏輯，來流暢安靜地管理這些轉換。

即時 MCU 會將整個控制路徑整合至單一裝置。無感測器 FOC 可在無需位置感測器的情況下，實現流暢且可靠的啟動與加速。基於軟體的振動補償可以減少磁鼓不平衡和聲音噪音，而不必完全依賴機械平衡。

更緊湊且具確定性的控制架構，使洗衣機馬達控制器運行更安靜、壽命更長，且更易於製造。

HVAC 系統中的馬達控制

HVAC 系統必須在氣流受限、電路板空間有限且維護不頻繁的散熱受限機殼中長時間運轉馬達。可靠、高效率的系統包括馬達控制功能，例如安靜啟動、穩定氣流控制及高整體效率。

HVAC 系統可採用電器中所使用的相同先進控制技術，但增加熱穩定性和長工作週期容差。無感測器控制策略省去對霍爾效應感測器或編碼器的需求，可簡化機械設計並改善長期可靠性。F28E120SC 等 MCU 具有錯誤校正碼保護快閃記憶體和同位檢查保護靜態隨機存取記憶體，可增強長工作週期的系統性能。這些 MCU 的高頻寬 FOC 運作與死區時間補償，有助於將總諧波失真降低多達 50%，進而實現更平順的氣流控制與更安靜的運行。

English Document: SPMT312
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

即使切換頻率增加或熱條件有所變化，在單一時脈域中緊密同步 PWM 邏輯與 ADC 取樣，也可實現一致的控制行為。接著，設計人員可以對壓縮機和風扇負載採用更嚴密的迴路控制，調整切換轉換以將可聞噪音降至最低，並免除原本可能因熱或振動而受損的外部元件。

結論

對於必須在各種負載條件下，同時保持控制行為可預測性與高效率的馬達驅動應用，即時控制 MCU 將緊密的類比數位整合與具週期級精度的決定性高效能執行相結合，並同時降低設計成本。

註冊商標

所有商標皆屬於其各自所有者之財產。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

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 的產品受均受 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 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