

Application Brief

在工業自動化和智慧型家用電器設計中實現支援邊緣 AI 的馬達控制



Srikar Sadhu

重點知識

- AM13E230x MCU 透過在單一裝置中結合 Arm® Cortex®-M33 CPU 與 TI TinyEngine™ NPU，實現即時控制應用中預測性故障偵測和適應性控制演算法。
- 人形機器人和電器系統中的本機 AI 模型可持續監控參數並根據現實世界狀況調整性能，無需雲端連線或其他離散式元件。

克服傳統設計限制，實現支援邊緣 AI 的馬達控制

在工業自動化應用與電器的馬達系統中，為了協助減少停機時間、減少能耗並提升整體系統可靠性，對即時監控與控制的需求也變得至關重要。傳統的設計方法通常需要多個微控制器 (MCU) 和離散式元件來實現可靠的馬達功能，進而導致產品愈加複雜，成本與功耗也隨之增加。

為解決此項挑戰，設計師可採用高度整合式 MCU，例如具備邊緣 AI 硬體加速器的 AM13E230x 系列產品，其中包含 [AM13E23019](#)。這些 MCU 具備高效能的 Arm Cortex-M33 核心，並整合有 TinyEngine NPU，為工程師提供了一個單晶片平臺，可用於實現精確馬達控制、即時監控以及本機 AI 推論。

這種級別的整合使更多馬達控制系統具備邊緣 AI 功能，實現預測性故障偵測、自適應控制演算法、異常偵測及智慧負載平衡等特性。這些功能在成本、體積與功耗考量下，傳統上往往限制了邊緣 AI 的應用。這些 MCU 也由 TI 免費的 [CCStudio™ Edge AI Studio](#) 提供支援，它是一系列專為加速邊緣 AI 開發而設計的圖形和命令行工具。

本文將探索 AM13E230x MCU 如何協助設計師解決人形機器人致動器和智慧住宅設備設計的主要設計挑戰。

人形機器人：致動器

人形機器人使用致動器進行操作和運動，並可在多個自由度下同時運作。此外，高扭矩快速啟動（例如，馬達從靜止狀態產生較大扭力的能力）需要低雜訊運作以獲得最佳性能。

具有高活動範圍和多自由度的類人關節和手指，可直接受益於本地運行的邊緣 AI 模型，因為這些模型可偵測馬達何時性能超過最大等級，並防止長期損壞，進而延

長馬達使用壽命。圖 1 顯示典型人形機器人的手、手臂和肩膀中的馬達數量。

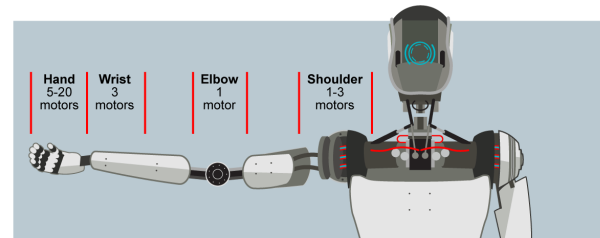


圖 1. 簡化圖表顯示人形機器人的手、手臂和肩膀中的可能馬達分布

AM13E230x MCU 的邊緣 AI 功能為關節運動應用中的馬達壽命和保護提供了優勢。本地 AI 模型能夠主動監測扭矩、負載和電流等關鍵馬達參數，偵測馬達異常運作狀態，並針對潛在問題提供早期警示。

此外，這些 MCU 也專為人形機器人應用而設計，該領域的核心設計挑戰在於成本控制、體積精簡與精準的馬達控制。透過使用整合可編程增益放大器的裝置，而不是使用分立的 CAN 和 IGBT 週邊設備（通常與 MCU 一起使用），設計師可以降低物料清單成本和外部元件數量。這使得在系統級準確度要求不高的應用領域，能夠實現更緊湊、更經濟高效的解決方案。AM13E230x MCU 採用 $7 \times 7\text{mm}^2$ 封裝，既可實現更廣泛的動作範圍，也可同時解決人形機器人關節馬達的空間限制。

洗衣機中邊緣 AI 驅動的馬達控制

隨著智慧住宅的加速普及，消費者現在也期望電器更安靜、更有效率且反應更靈敏。AM13E230x MCU 讓設計師能更輕鬆地滿足終端使用者需求，實現安靜、快速且可靠的運作，同時提供構建可適應實際應用場景的智慧型電器的工具。

工程師可使用 AM13E230x MCU，以透過運行 AI 模型連續即時監控馬達負載，並根據衣物重量自動調整扭矩和速度設定檔，以防止馬達應力，進而將洗衣機馬達控制設計最佳化。圖 2 展示採用 AM13E230x MCU 的洗衣機馬達控制系統簡化方塊圖。

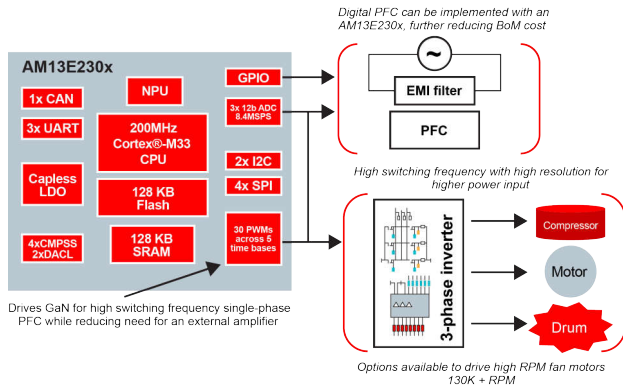


图 2. 洗衣機馬達控制系統的簡化方塊圖

NPU 將馬達控制演算法從主 CPU 卸載，從而降低系統延遲和功耗，在無需額外分立元件的情況下改善馬達控制。

最佳化下一代設計的馬達控制

邊緣 AI 驅動的 MCU 透過在馬達層面直接整合智慧處理，正在改變各種應用中的馬達控制方式。透過將高效能處理與神經處理能力相結合，這些解決方案能夠在單晶片實現中實現預測性維護、自適應控制和精確馬達管理。隨著從人形機器人到智慧家電等應用的不斷發展，即時馬達控制 MCU 中的邊緣 AI 集成為各行各業更有效率、更可靠、更智慧的系統奠定了基礎。

其他資源

- 閱讀產品概覽《TI 的 TinyEngine™ NPU 為更多嵌入式系統解鎖邊緣 AI 加速功能》，了解 TinyEngine NPU 及其對邊緣 AI 加速嵌入式設計的優勢。
- 立即使用 TI 免費的 CCStudio Edge AI Studio 工具開始您的設計。

註冊商標

TinyEngine™ 為德州儀器的商標。

Arm® 和 Cortex® 是 Arm Limited 的註冊商標。

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 以「現狀」及所含一切錯誤提供技術與可靠數據 (包含產品規格書)、設計資源 (包含參考設計)、應用或其他設計建議、網頁工具、安全資訊和其他資源，且不承擔所有明示或默示保證，包括但不限於適銷性或用於特定用途之適用性的任何默示保證，或不侵害第三方智慧財產的任何默示保證。

所述資源可供專業開發人員應用 TI 產品進行設計使用。您應自行負責 (1) 選擇適合您應用的 TI 產品，(2) 設計、驗證與測試您的應用，與 (3) 確保應用符合適用標準，以及任何其他安全、安保、法規或其他要求。

這些資源得進行修改且無需通知。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 或任何第三方的智慧財產權授權許可。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](#)、[TI 的通用品質指南](#) 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 提供此等資源並不會擴大或以其他方式改變 TI 對於 TI 產品的適用保證或保證免責聲明。除非 TI 明確將某產品指定為自訂或客戶指定型號，否則 TI 產品均為標準、類比、通用裝置。

TI 反對並拒絕您可能提出的任何附加或不同條款。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

上次更新 10/2025

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), 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 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](#), [TI's General Quality Guidelines](#), 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. Unless TI explicitly designates a product as custom or customer-specified, TI products are standard, catalog, general purpose devices.

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

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

Last updated 10/2025