

未來 SDV 車輛內部：整合遙控邊緣節點



Kate Hawkins
Systems Engineer
Body Electronics and Lighting

遙控邊緣技術推動汽車網路轉型，為 SDV 實現更集中的架構。

摘要

1

傳統與遙控邊緣節點

2

遙控邊緣節點的優點

3

遙控邊緣節點考量

簡介

汽車車內網路不斷發展，以支援軟體定義車輛 (SDV) 中的新功能。隨著軟體整合為較少的電子控制單元 (ECU)，以提升車輛平台的可擴展性並簡化空中 (OTA) 更新，新的遙控邊緣概念會將佈線最佳化，同時實現可擴充的邊緣節點軟體。

邊緣節點是可處理特定功能即時控制的專用 ECU，例如用於車外照明的頭燈模組，或用於車門鎖、車窗和後視鏡的控制模組。這些節點在整個車內網路中接收來自命令 ECU（區域控制器、網域控制器或中央運算）的命令。邊緣節點透過監控用於控制迴路回饋的溫度、壓力或位置感測器來管理本機硬體控制，同時透過負載驅動器（包括半橋及高壓測與低壓側開關）直接控制馬達和電磁閥等機械致動器。**圖 1** 說明區域架構中的邊緣節點與命令 ECU 之間的差異。

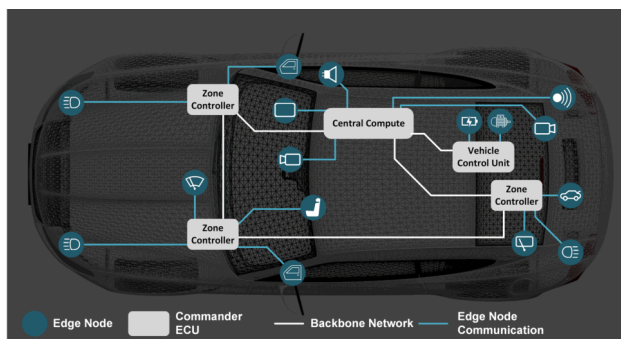


圖 1. 具命令 ECU 與多個邊緣節點的汽車區域架構。

遙控邊緣架構可將即時控制功能和硬體抽象層 (HAL) 上移至命令 ECU，由命令 ECU 為感測器和負載驅動器產生低階硬體命令，再傳送至邊緣節點。遙控邊緣解決方案可橋接 ECU 間更高階的網路資料連結層，例如以太網路或控制器區域網路 (CAN) 與低階通訊介面，例如序列週邊設備介面 (SPI)、積體匯流排電路 (I2C)、通用非同步接收器發射器 (UART) 和通用輸入/輸出 (GPIO) 等。此方法可完全免除微控制器 (MCU) 以及來自邊緣節點的任何軟體。

遙控邊緣方案支援 SDV 周圍的主要趨勢，並透過將軟體集中在命令 ECU 中以減少線路數量，同時讓邊緣節點中的負載相依硬體保留在靠近電機致動器的位置。

若要進一步了解 SDV，請閱讀白皮書**軟體定義車輛將汽車用電子的未來推入正軌**。

傳統與遙控邊緣節點

圖 2 展示傳統邊緣節點方塊圖。在傳統架構中，本機 MCU 包含 HAL，HAL 是定義裝置軟體驅動器如何與硬體互動的軟體。邊緣 MCU 透過網路介面接收來自控制器 MCU 的命令，通常為 CAN 彈性資料速率 (CAN FD) 區域互連網路，並根據控制器的指令控制本機硬體。

例如，如果上游控制器 MCU 向邊緣 MCU 節點傳送命令以「向上滾動驅動器車窗」，邊緣 MCU 會將此訊息轉換為特定硬體動作，包括向上滾動車窗、執行車窗軟關閉，以及防止潛在的馬達失速或車窗夾傷事件。邊緣節點 MCU 會將必要的 SPI 訊息傳送至馬達驅動器，並透過脈衝寬度調變 (PWM) 輸出至半橋式馬達驅動器，實作車窗馬達的即時控制迴路，同時使用整合式類比轉數位轉換器 (ADC) 監控馬達電流，並計數霍爾效應脈衝以進行車窗位置追蹤。

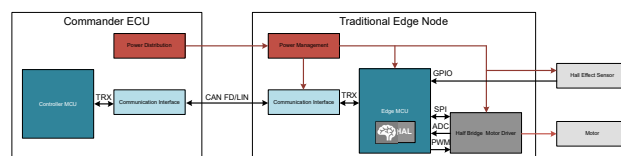


圖 2. 與命令 ECU 通訊的傳統邊緣節點方塊圖。

圖 3 顯示遙控邊緣節點方塊圖。此架構可將 HAL 和即時致動器上游移至命令 ECU 的 MCU，因此完全免除了邊緣節點 MCU。控制器 MCU 現在可以傳送包括裝置通訊協定訊

框或週邊設備控制（SPI、I2C、UART、PWM 輸出控制、ADC 取樣或 GPIO）的命令。

對於車窗升降應用，控制器透過網路傳輸直接控制資料（SPI 馬達驅動器命令和 PWM 輸出設定），嵌入在標準通訊協定數據有用負載（CAN FD Light 或 10BASE-T1S）中。邊緣節點中的通訊橋會擷取這些協定資料的有用負載，並在合適的 GPIO 針腳上輸出 SPI 訊框和 PWM 訊號。對於感測器回饋，此橋接器會取樣內部或外部 ADC 及霍爾效應感測器資料，並將其傳送回命令 ECU，以完成控制迴路。

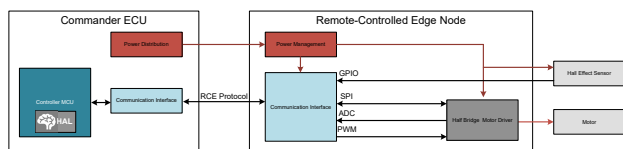


圖 3. 與命令 ECU 通訊的遙控邊緣節點方塊圖。

遙控邊緣節點的優點

遙控邊緣架構提供多項優勢，包括集中化軟體、降低軟體開發成本、實現可擴展性，以及簡化 OTA 更新。此外，使用遙控邊緣節點可透過命令 ECU 進行負載驅動器控制，同時將負載佈線減到最少。

遙控邊緣節點可透過軟體集中化降低系統成本。移除邊緣微控制器並將軟體集中化為更少的 ECU，讓公司可減少軟體開發與管理負擔，進而減少車輛中眾多 ECU 所需的測試與驗證。

軟體集中化還增強了可擴展性。開發人員只能為上游命令 ECU 建立軟體，同時對邊緣節點的硬體進行標準化。此標準化無需專用邊緣硬體，即可簡化多個節點與 ECU 間的車輛基礎設施。

圖 4 把傳統方法（每個邊緣節點模組使用不同供應商的不同 MCU，需要跨多個平台進行軟體開發和管理）與遙控邊緣方法（圖 4 中的標籤「RCE 解決方案 A、B 或 C」代表多個供應商的無軟體選項）進行比較。基於標準的解決方案提供了額外的優勢，因為無論是哪個遙控邊緣解決方案供應商，命令 ECU 的軟體都保持一致。

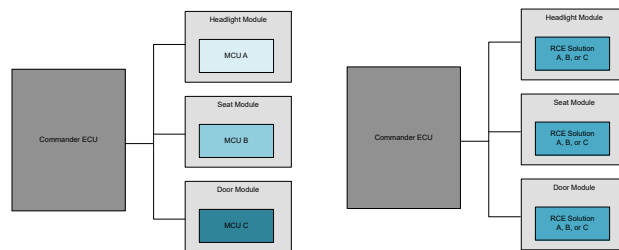


圖 4. 遙控邊緣節點與傳統邊緣節點的硬體可擴展性比較。

集中控制讓汽車製造商可簡化軟體管理和 OTA 更新，讓汽車製造商更容易擁有和管理自己的軟體。發布 OTA 更新只需要更新命令 ECU，而不是更新多個模組的軟體。

使用邊緣節點而非直接從命令 ECU 驅動負載，會縮短負載驅動器的線路長度。遙控邊緣節點保有此優勢的同時，也將 HAL 保留在命令 ECU 中。以車門為範例，圖 5 顯示區域架構中的配置。雖然區域控制器可控制兩個車門模組，但車門邊緣模組會縮短負載敷設電纜，因此也可透過將寄生電容與電感降到最低，幫助減少電磁干擾，這對於需要更快切換時間的新一代 48V 車輛而言尤其重要。

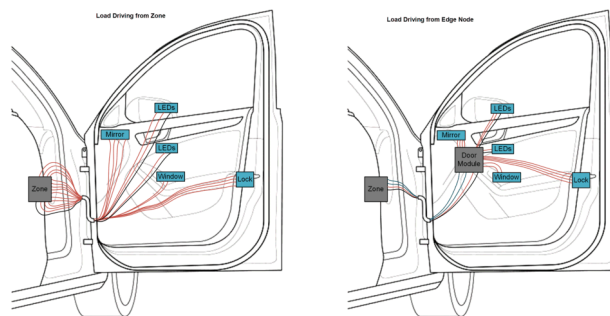


圖 5. 遙控邊緣節點與傳統邊緣節點的電纜數量減少比較。

遙控邊緣節點考量

調查遙控邊緣技術的原設備製造商 (OEM) 和設計師必須考量延遲、功能安全、網路安全與成本。

延遲是一項重大的設計挑戰。邊緣的資料必須向上游傳輸，由邊緣做出決策進行處理，然後傳回邊緣以進行實作，這會增加即時控制迴路的延遲。圖 6 顯示此感測和控制負載的程序。傳統邊緣節點僅需要步驟 2 和步驟 5，而遙控邊緣解決方案則會執行智慧動作或自動輪詢等功能，以減少延遲。智慧動作允許橋接裝置自動傳輸感測器資料，無需命令 ECU 的初始提示，從而消除了步驟 1。自動輪詢使橋接裝置能夠自動從感測器取樣，並將讀數儲存到

緩衝器。這允許在其他步驟中執行步驟 2，這有助於進一步減少延遲。

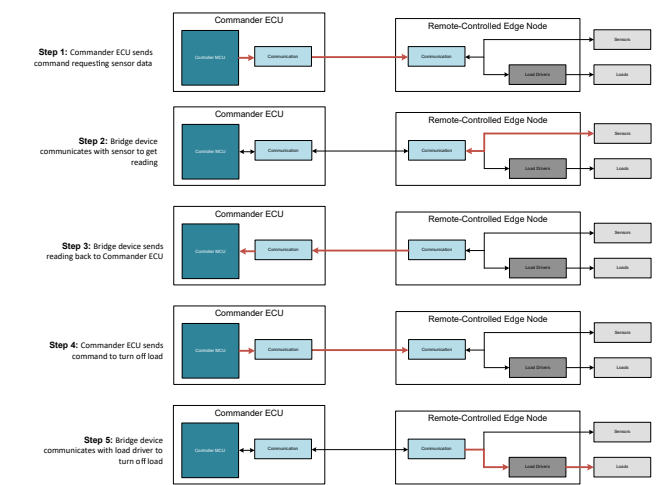


圖 6. 遙控邊緣節點的通訊步驟，會造成延遲。

由於不再存在本機即時控制，可能會產生功能安全問題。具有嚴格要求（例如故障容錯時間間隔規格的延遲要求）的邊緣應用，可能因上游通訊延遲出現問題。作為一種新技術，第一代遙控邊緣裝置可能無法滿足汽車安全完整性等級要求，或是需要額外措施來實現系統層級的功能安全。

隨著車輛越來越依賴軟體，網路安全風險也隨之增加。如果沒有適當的安全措施，駭客就可存取車輛網路並控制車輛中的功能，進而可能導致遭竊與安全風險。由於沒有 MCU 可在本機管理安全性，因此在遙控邊緣節點上實作網路安全更為困難，因此 OEM 必須選擇符合網路安全需求的解決方案。

成本考量必須平衡硬體和軟體費用。以遙控邊緣節點裝置取代目前傳統邊緣節點中使用的低階 MCU 可能更為昂貴。但是，請務必記住，即使硬體成本增加，軟體開發和管理成本仍會節省相當可觀的開支。

遙控邊緣讓汽車製造商能夠在內部管理更多軟體，這需要 OEM 評估其中的權衡取舍。

遙控邊緣應用

遙控邊緣技術可在許多應用中提供價值，包括照明、電池管理系統 (BMS)、先進駕駛輔助系統 (ADAS)、汽車門禁與車身馬達。表 1 列出了這些應用以及遙控邊緣節點的優點。

應用	為什麼選擇遙控邊緣節點？
頭燈	只需要單一低階通訊協定（UART、SPI 或兩者）
環境光	
BMS	
雷達	車輛中有許多節點為硬體可擴展性提供了機會
超音波感測	
汽車門禁	
座椅模組	負載驅動器現在集成了更多診斷功能
車門模組	

表 1. 各種遙控邊緣節點應用，以及其為何適合。

遙控邊緣通訊協定

遙控通訊協定解決方案包括 10BASE-T1S、CAN FD light 和透過 CAN 的 UART。這些通訊協定以半雙工模式運作，允許在兩台裝置之間進行非同步雙向資料傳輸。半雙工可實現多點分支功能，其中有兩台以上裝置透過同一匯流排進行通訊，只需命令 ECU 中的單一網路裝置即可與多個邊緣節點互動。圖 7 說明了多點分支拓撲結構的範例。

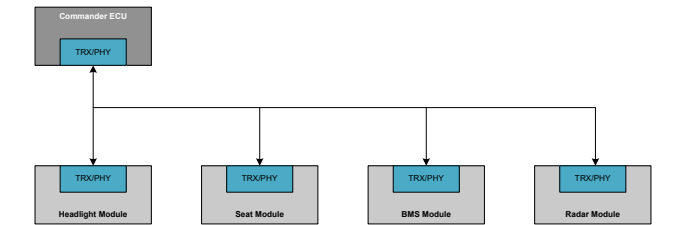


圖 7. 從命令 ECU 到邊緣節點的多點分支拓撲結構。

10BASE-T1S、CAN FD light 和透過 CAN 的 UART 通訊在多點分支與匯流排拓撲結構中，在速度、有效負載容量和節點數量上有所不同。表 2 比較了這些通訊協定。

	10BASE-T1S	CAN FD light	透過 CAN 的 UART
網路通訊協定	乙太網路	控制器區域網路	UART
速度	10Mbps	1-5Mbps	0.1-1Mbps
Payload	46 - 1,500 位元組	1 - 64 位元組	1 - 64 位元組
最大節點數	16	64	64
拓撲結構	循環	命令應答機	命令應答機

表 2. 10BASE-T1S、CAN FD light 和透過 CAN 的 UART 通訊之遙控邊緣網路通訊協定比較。

圖 8 顯示了循環和命令應答機拓撲結構之間的差異。循環拓撲結構週期性運作，其中每個節點都基於其節點 ID 在每個週期有一個專用的傳輸機會。這會自動進行仲裁，但需要調停以確保優先度或時間關鍵資料不會因匯流排上的低

優先度資料而延遲。命令應答機拓撲結構要求命令 ECU 在匯流排上發送資料之前提示下游節點。傳輸順序由命令 ECU 決定，而不是由節點 ID 決定。

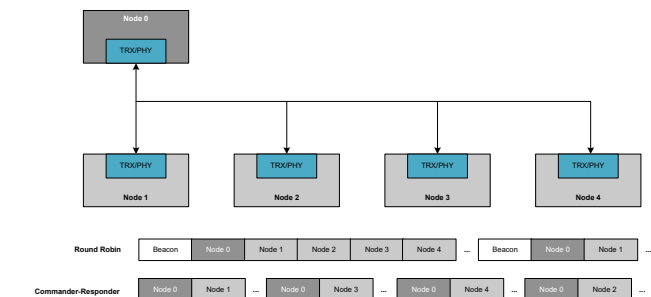


圖 8. 循環與命令應答機拓撲結構的傳輸比較。

10BASE-T1S 由電機電子工程師學會 (IEEE) 802.3cg 標準化，使用由技術委員會 18 標準化的遙控通訊協定。它以 10Mbps 的速度運作，採用循環多點分支拓撲結構。10BASE-T1S 作為乙太網路通訊協定，可以整合乙太網路功能，例如媒體存取控制安全性 (MACSec)、時效性網路 (TSN)、音訊視訊橋接 (AVB) 和資料線供電 (PoDL) 等。表 3 介紹了這四個功能。此外，已使用高速乙太網路骨幹的系統可因採用全乙太網路的簡化軟體而獲益。

特點	說明	標準
MACSec	第 2 層、乙太網路的點對點網路安全通訊協定	IEEE 802.1AE
TSN	可在整個乙太網路中實現確定性即時通訊，以進行資料同步的標準	IEEE 802.1Q IEEE 802.1AS
AVB	定義 TSN 在音訊和視訊應用的標準	IEEE 802.1BA IEEE 1722
PoDL	透過用於點對點乙太網路之屏蔽雙絞線纜線進行電源傳輸	IEEE 802.1cg

表 3. 10BASE-T1S 乙太網路特點和標準的列表和說明。

CAN FD light 是以國際標準化組織 (ISO) 11898-1:2024 標準為基礎的 CAN FD 變體，以 1Mbps 至 5Mbps 運作。傳統 CAN 採用 CAN 仲裁（節點同時傳輸，節點 ID 最低者獲勝），CAN FD light 與其不同，採用命令端-應答端拓撲結構運作。邊緣節點採用 CAN FD light 應答機，而命令 ECU 則使用 CAN FD light 命令或 CAN FD 收發器。由於許多預先存在的架構已使用 CAN FD 收發器與邊緣節點通訊，因此將 CAN FD light 整合到目前架構中十分簡單。然而，由於控制器仲裁階段的限制，要達到速度 >1Mbps，則需要 CAN FD light 命令。

10BASE-T1S 和 CAN FD light 通訊協定都會將乙太網路和 CAN 橋接至 SPI、I2C、UART、GPIO 和 PWM 等其他通訊協定（請參閱圖 9）。此橋接功能可透過 10BASE-T1S 和 CAN FD light 遙控多個感測器與驅動器，讓這兩種解決方案在各種終端應用中均具備用途。

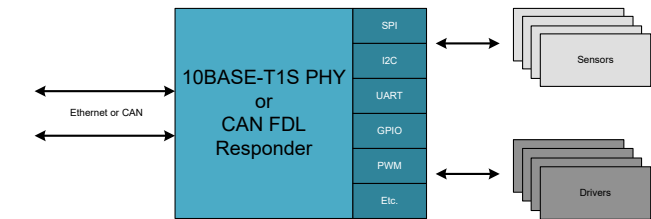


圖 9. 10BASE-T1S 或 CAN FD light 邊緣節點方塊圖。

透過 CAN 的 UART 使用 CAN 收發器透過 CAN 實體層 (PHY) 傳輸 UART 封包（請參閱圖 10）。透過 CAN 的 UART 在命令端-應答端拓撲結構中以 ≤1Mbps 運作，可提供符合成本效益的解決方案，但需仰賴 UART 架構驅動器（例如 LED），或具整合式即時控制和診斷功能的馬達驅動器。

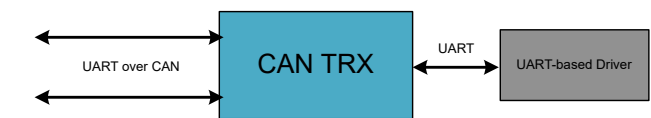


圖 10. 透過 CAN 邊緣節點的 UART 方塊圖。

具備整合式即時控制的智慧型驅動器可減少上游控制需求，以補充遙控邊緣解決方案的不足。德州儀器 (TI) 提供無感測器馬達系統整合式控制的智慧型馬達驅動器，其中包含無刷 DC (BLDC) 馬達驅動器的無感測器場導向控制，以及適用於步進馬達驅動器的整合式電流感測與失速偵測。步進馬達特別適合遙控邊緣應用，因為鑑於旋轉準確度提升，步進馬達所需的上游診斷資料也較少。表 4 列出部分 TI 裝置。

裝置	類型	場效電晶體
MCF8329A-Q1	BLDC 馬達驅動器	外部
MCF8316C-Q1	BLDC 馬達驅動器	內部
MCF8315C-Q1	BLDC 馬達驅動器	內部
DRV8889-Q1	步進馬達驅動器	內部

表 4. TI 的馬達驅動器產品。

遙控邊緣系統解決方案

图 11 說明使用 10BASE-T1S 或 CAN FD light 做為頭燈的遙控邊緣節點。PHY 或應答機會將乙太網路或 CAN FD light 訊息轉換為各種本機通訊協定，控制溫度感測器、LED 驅動器、馬達驅動器和高壓側開關。命令 ECU 提供 PHY 或應答機命令，透過 UART、SPI、GPIO 或其他通訊協定啟用負載驅動器，以開啟和關閉致動器。接著 PHY 或應答機將感測器資料和致動器回饋上游傳輸至命令 ECU。

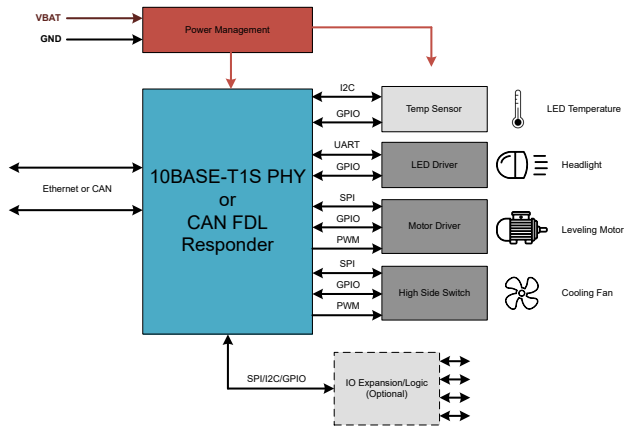


图 11. 使用 10BASE-T1S 或 CAN FD light 的遙控頭燈模組方塊圖。

TI 提供遙控邊緣頭燈解決方案，透過 **TPS92544-Q1** 切換式 LED 驅動器實現透過 CAN 的 UART 通訊，該驅動器內建步進馬達梯形控制功能，並搭配 **DRV8434A-Q1** 步進馬達驅動器。TPS92544-Q1 透過單一 UART 介面控制 LED 與馬達，因此是頭燈模組的高效率解決方案。如图 12 中所示，CAN 收發器可用作命令 ECU 中 UART 封包的硬體介質。

這些 UART 封包控制 TPS92544-Q1 以啟用頭燈，並驅動 DRV8434A-Q1 裝置的步進動作控制以用於水平校正馬達。

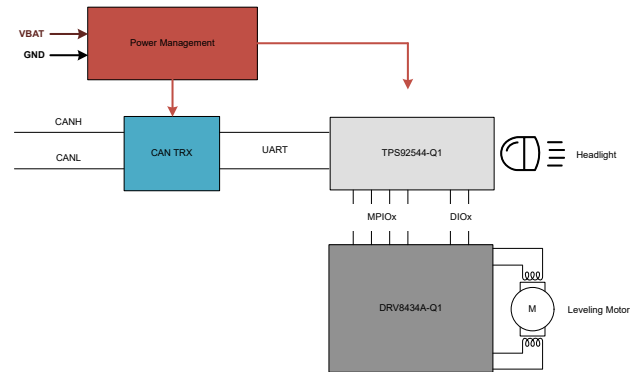


图 12. 使用 TPS92544-Q1 實現 CAN 上 UART 通訊之遙控頭燈模組方塊圖。

結論

隨著汽車市場採用 SDV 並透過區域架構整合 ECU，業界將更進一步推動軟體集中化，以實現系統擴充性並減少線路。遙控邊緣節點透過將軟體移至上游，將其整合為較少的 ECU 並簡化 OTA 更新來支援這項計畫。

10BASE-T1S、CAN FD light 和透過 CAN 的 UART 通訊等多種解決方案，都可根據特定設計需求提供系統架構選項。此外，具備整合式診斷與控制功能的智慧型驅動器，可進一步將遙控邊緣實作最佳化。

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 © 2025, Texas Instruments Incorporated