

# 如何給汽車系統選擇合適的 非揮發性記憶體

■作者：賽普拉斯半導體供文

汽車系統的設計變得越來越複雜，因為要不斷的加入新的功能，如高級駕駛輔助，圖形儀錶，車身控制和車輛資訊娛樂系統。為了確保可靠、安全的操作，每個子系統均需要使用特定的非揮發性記憶體，以便在復位操作和電源切換期間存儲資訊。非揮發性記憶體 (non-volatile memory;NVM) 用於儲存可執行代碼或常量資料、校準資料、安全性能和防護安全相關資訊等重要資料，以作將來檢索用途。

目前市場上主要包含這幾種不同類型的非揮發性記憶體，如 NOR 快閃記憶體、NAND 快閃記憶體、EEPROM( 可擦除的可程式設計唯讀記憶體 ) 、FRAM( 鐵電記憶體 ) ，MRAM( 磁性 RAM ) 和 NVSRAM( 非揮發性靜態記憶體 ) 等。每種類型記憶體在不同性能指標下具有各自的優勢和劣勢：記憶體密度、讀寫頻寬、介面頻率、耐久性、資料保存、不同電源模式下的電流消耗 ( 開機、待機 / 睡眠、休眠 ) 、預備時間、對外部電磁干擾的敏感度等。

為了瞭解最新汽車系統對非揮發性記憶體的真正需求，工程師需要考慮現實生活中的使用實例：

- 啓動汽車後，駕駛員是否願意花幾分鐘等待儀錶盤、里程表以及燃油量圖形都正常顯示？
- 駕駛員調節了座椅位置、方向盤位置、溫度設置以及收音機頻道，但由於某些原因不得不馬上關掉發動機。如果上述子系統未能保存汽車熄火前的設置，那麼駕駛員需要重新再來一遍，豈不是非常麻煩？
- 儘管汽車安裝了 ADAS 安全系統，但作為一輛交通工具，事故仍有可能發生。你能否向保險調研

團隊提供所需的資料，例如事故發生前幾秒不同感測器的狀態？

舉例 ADAS 系統來說，從特定的感測器採集並儲存即時資料到非揮發性記憶體是非常重要的。同樣地對於汽車娛樂系統，在系統掉電的同時能儲存系統設置資訊也是非常重要。GIS 和資訊娛樂系統都有高清圖形顯示不僅需要儲存與讀取啟動程式還需要儲存與讀取非常大的配置從外部的非揮發性記憶體。

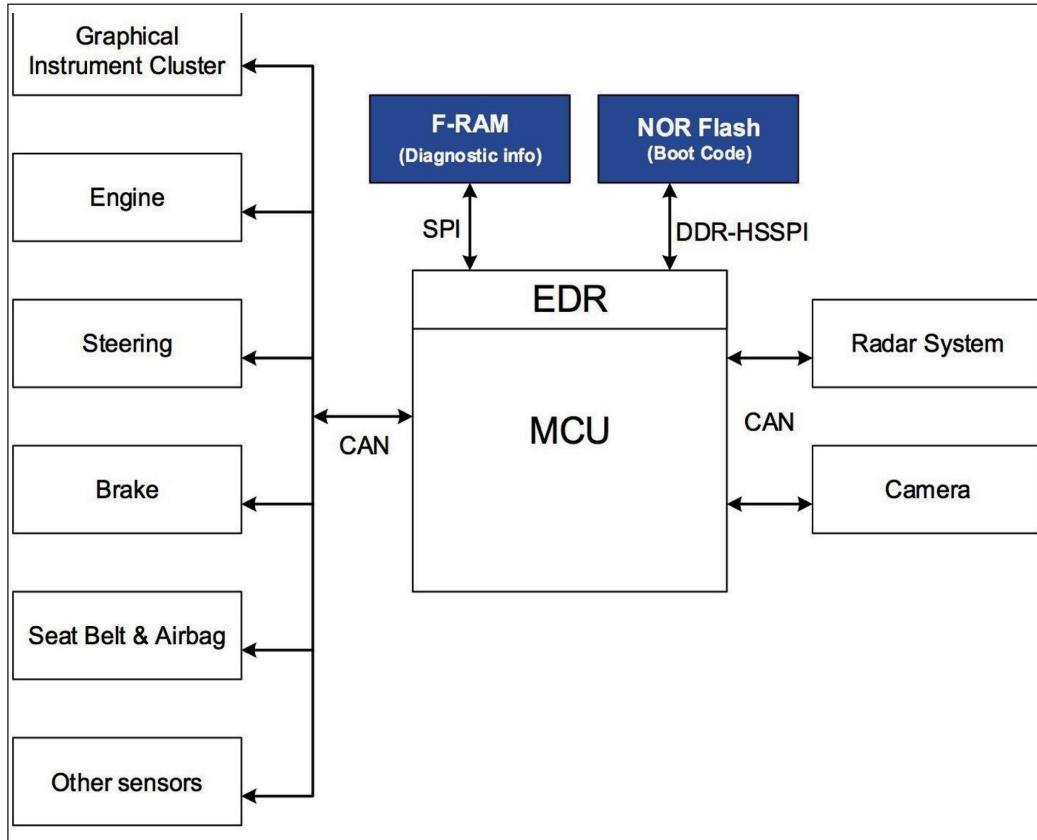
除了滿足應用的需求，非揮發性記憶體還需確保足夠的讀寫次數來記錄至少 20 年資料。此外，為了達到汽車級認證和資格，所有子系統應採用符合 AEC-Q100 標準的記憶體元件。同時，功能性安全性能符合 ISO 26262 標準是另外一個要求在這種高安全性要求的系統。

## ADAS 記憶體要求

ADAS 系統主要設計自動操作 / 自動調整 / 增強汽車系統以實現更安全、舒適的駕駛體驗。安全性功能主要用於避免事故發生通過提醒駕駛員潛在的問題，或通過實施保護措施和接管控制汽車來避免碰撞。自我調整功能包括可以自動照明、提供自我調整巡航控制、自動剎車、結合 GPS/ 交通警告、連接到智慧手機、提醒駕駛者有其他車輛或者危險狀況、保持司機在正確的車道行駛以及顯示駕駛員的盲點。

圖 1 為 ADAS 系統如何利用 FRAM 和 NOR 快閃記憶體的簡化框圖。外部 NOR 快閃記憶體通常用

圖 1：ADAS 系統框圖 (來源：賽普拉斯)



於儲存啟動代碼。然而，ADAS 系統中的各種感測器通過 CAN ( 控制器局域網 ) 介面定期向 MCU 發送資料。MCU 運行自我調整演算法，檢查是否可能碰撞或已經發生碰撞。處理演算法的執行時間變數和感測器的當前狀態則儲存在 MCU 的記憶體中。

當演算法檢測到事故時，安全氣囊控制模組即時啓動備用電源並打開安全氣囊，確保在事故期間斷電也能部署應對。事故發生時的感測器狀態也應立即儲存到非揮發性記憶體以作數據記錄。這些資料可以有效地說明瞭解事故原因，促使汽車製造商生產更加先進的安全系統，同時輔助保險公司判斷理賠是否有效。

行車記錄儀 (EDR) 是用於記錄事故發生前各個重要子系統資料的系統。可以安裝在 ADAS 主控單元，或者安裝在另一個接收重要感測器資料並與 ADAS MCU 進行通信的 MCU 中。如今，工程師可以使用多核設備為 EDR 功能提供一個專用的完整

CPU 核，例如賽普拉斯的 Traveo 汽車用微控制器。

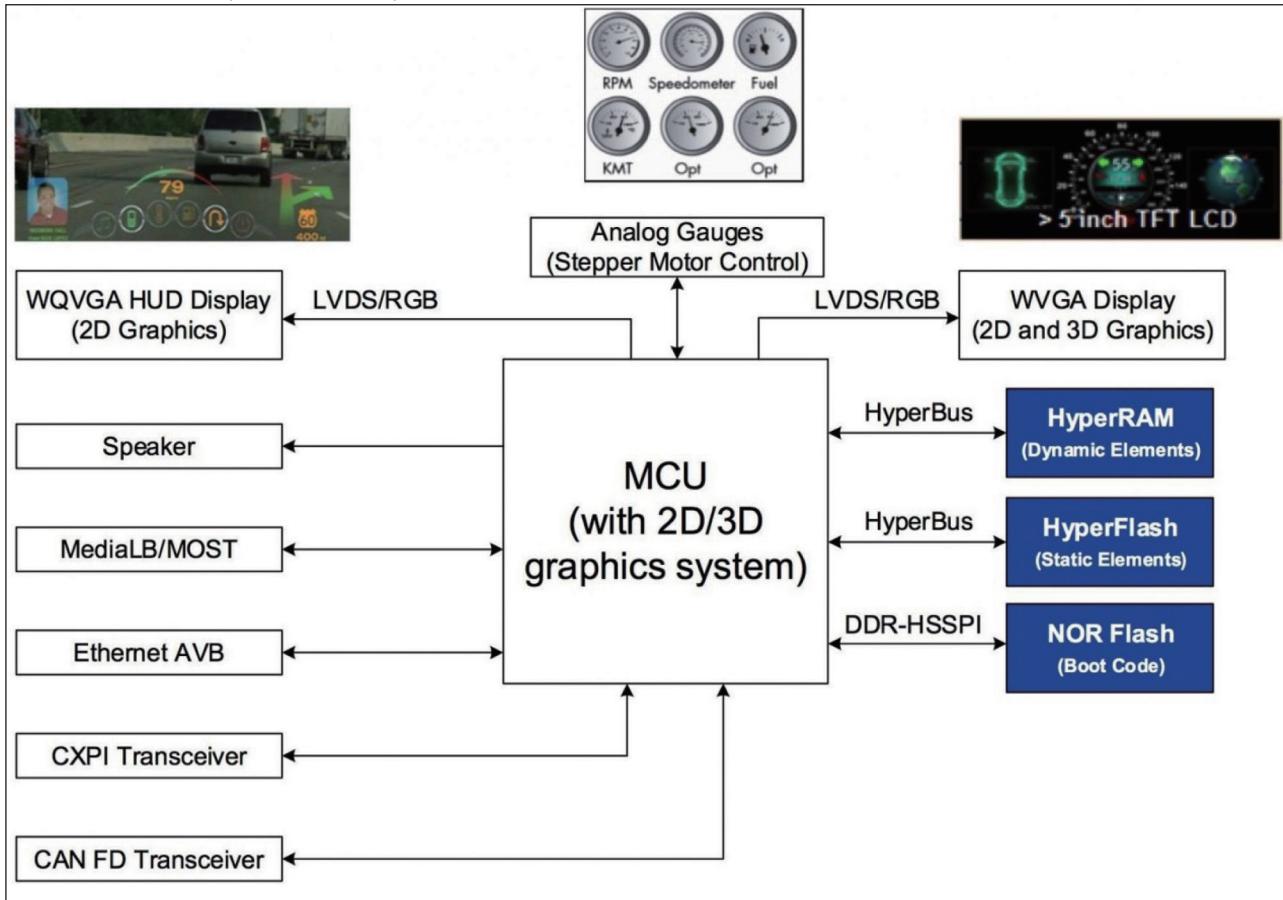
EDR 通過測量汽車前部壓力感測器的撞擊力、車速、發動機轉速、轉向輸入、油門位置、制動狀態、安全帶狀態 ( 檢測乘客 )、輪胎氣壓、警告信號以及安全氣囊打開狀態，從而判斷碰撞嚴重程度。並且在汽車碰撞前和碰撞期間記錄以上資料。顯然，微控制器不能等到事故發生才開始記錄資料。因此，微控制

器需要連續存儲資料。所以，EDR 需要一個具有幾乎無限寫次數的非揮發性記憶體。

FRAM 記憶體比 ADAS 的傳統 EEPROM 擁有更多優勢。無需寫等待時，幾乎可以即時儲存重要資料 ( 實際  $10\mu s$  儲存時間 )，這一點對 ADAS 來說至關重要。EEPROM 通常需要超過  $10\text{ ms}$  的寫等待時間，因此不適用於高安全性應用。FRAM 同時具備無寫延遲和高速時鐘速度，非常適合需要快速寫入大量資料的應用。使用 SPI 時，設計師可以自由決定 FRAM 的寫入位元組數。把一個或兩個位元組寫入 FRAM 的隨機位置時，寫入週期約為  $1\mu s$ 。反觀 EEPROM 或快閃記憶體，則需要  $5 - 10\text{ ms}$  的寫入週期。

與 EEPROM 或快閃記憶體不一樣的是，FRAM 無需頁面緩衝區。在接收每個位元組的第 8 位之後，FRAM 立即寫入每個資料位元組。這意味著，系統記憶體密度成長時，工程師不必擔心頁面

圖 2：儀錶盤系統框圖 (來源：賽普拉斯)



緩衝區大小的變化。

就寫入耐久性而言，FRAM 可以支援 100 億次寫操作，遠遠超過 EEPROM 的 100 萬次以及快閃記憶體的 10 萬次。因此，FRAM 可以用作追蹤資料記錄器，可以不斷寫入資料。此外，FRAM 的寫入和讀取的消耗功率非常低 (例如，1 MHz 時為  $300\mu\text{A}$ )，因此非常適用於事故引起斷電時需要使用低功率備用電源或通過電容寫入資料的 ADAS。與其他非揮發性記憶體相比，FRAM 的待機電流也低得多 (通常為  $100\mu\text{A}$ )。

## 汽車儀錶盤對記憶體的要求

儀錶盤系統以數位形式在圖形顯示器上顯示速度、轉速、燃油油位元和發動機溫度等重要資訊，或者使用步進電機控制的類比形式顯示。此外，儀錶盤系統還可以顯示電池警告、溫度警告、低油壓

警告、制動警告、安全帶狀態標識、低胎壓標識、門鎖標識、車頭燈標識、換檔指示、手剎狀態指示，以及車內和室外溫度、里程表讀數等。

最新的儀錶盤系統還包括平視顯示器 (HUD)。平視顯示器是一種光學系統，可以將駕駛資訊投射在汽車的擋風玻璃上。使用平視顯示器，駕駛員可以方便地查看重要的駕駛資訊，同時讓目光保持關注前方的交通狀況。由此可以降低因目光離開道路而帶來的潛在風險，並為駕駛員提供額外時間以識別危險因素並作出反應。平視顯示器可以顯示速度、導航和其他重要警示符號。

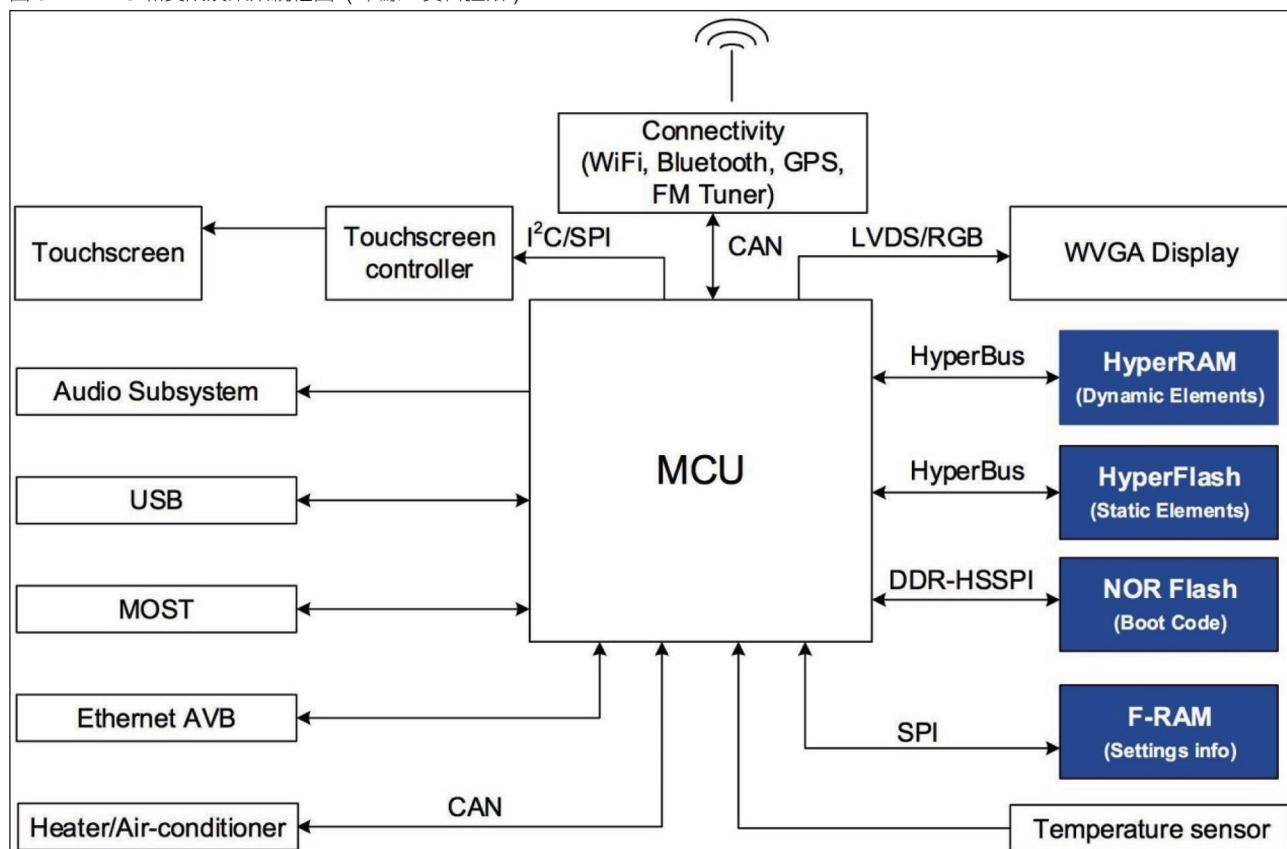
圖 2 顯示了圍繞 HyperRAM 和 HyperFlash (連接 HyperBus 介面) 以及 NOR 快閃記憶體 (連接 DDR-HSSPI 介面) 安裝的儀錶盤簡化框圖。儀錶盤 MCU 可以通過 CAN-FD、CXPI (時鐘擴展外設介面)、乙太網 AVB、MediaLB (媒體本地匯流排 /

MOST (媒體定向系統傳輸) 等不同的通信協定連接其他子系統，從而收集資訊並顯示於儀錶盤。

儀錶盤系統啓動後，安全引擎立即檢驗固件的真偽性。隨後，通過 HyperBus 介面從外部 HyperFlash 或通過 DDR 轉換 DDR-HSSPI 介面從 NOR 快閃記憶體執行 XiP，MCU 軟體開始執行。XiP 功能允許 MCU 直接從外部記憶體執行代碼，而不需要先把外部快閃記憶體的代碼複製到內部 RAM，從而提高了回應速度。NOR 快閃記憶體 HyperFlash 記憶體可配置程式碼的初始位址位置，並在指定的時鐘延遲後以讀取模式啓動。因此，MCU 一啓動就可以直接獲取需要執行的代碼，無需因為提供位址和讀取命令而延遲時間。

可從外部 HyperFlash 獲取靜態元素，並將其顯示為儀錶盤 LCD 的基礎層。汽車用 MCU，例如賽普拉斯 Traveo 系列，可以提供額外的功能支援，即時解壓縮靜態 HMI 元素，無需首先通過 RAM。儀錶盤針頭資訊等動態內容具備更快的更新速度，

圖 3：HVAC 和資訊娛樂系統框圖（來源：賽普拉斯）



可以從外部 HyperRAM 進行檢索。

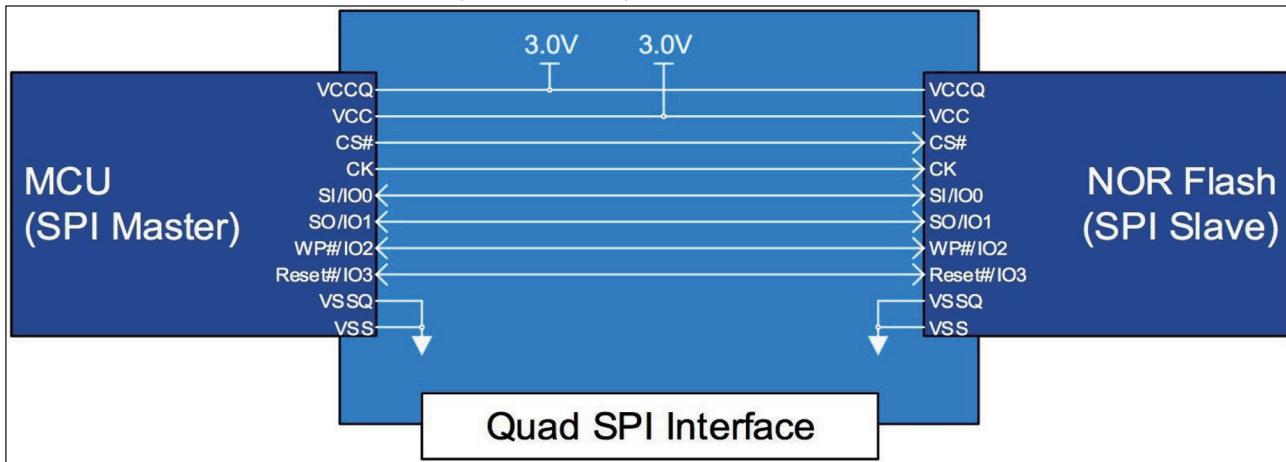
## HVAC 和資訊娛樂系統對記憶體的要求

HVAC (暖氣、通風和空調) 系統負責控制維持車內溫度和空氣流動。資訊娛樂系統可以運行與智慧手機類似的各種應用程式，並提供使用者介面以更改 HVAC 系統組態、音樂系統設置、在導航應用輸入目的地、調整座椅 / 方向盤位置 / 高度以及調節車內照明等。部分最新的汽車還加入了指紋識別器來驗證駕駛者身份。從而允許 HVAC 和資訊娛樂系統根據駕駛員的偏好快速調節車內設置。

圖 3 顯示了 HVAC 和資訊娛樂系統的簡化框圖，所有記憶體與主 MCU 連接。三個額外子系統與儀錶盤系統比較：

- 觸屏控制器，用於檢測顯示器上的手指觸摸
- 暖氣機 / 空調，控制車內溫度

圖 4：連接四通道 SPI 的 NOR 快閃記憶體介面 (來源：賽普拉斯)



■連接子系統，實現車內多項連接 (藍牙、GPS、WiFi、GSM、FM 調諧器等)

HyperFlash 和 HyperRAM 記憶體用於存儲高品質圖形。NOR 快閃記憶體則用於存儲啟動代碼，而 FRAM 用於存儲設置資訊。因此，即使汽車熄火後再立即啓動，也可以正確地檢索並恢復汽車設置。

## 記憶體介面

上文已經討論了不同汽車領域對非揮發性記憶體的要求，接下來瞭解這些記憶體與 MCU 之間不同的介面機制。

所有帶有 SPI 介面的 MCU 都可以便捷地連接 NOR 快閃記憶體。NOR 快閃記憶體設備，例如賽普拉斯的 S25FL256L，為 SPI 提供了多個 I/O 讀入

選擇，可支援雙倍數據速率 (DDR) 以及四倍外設介面 (QPI) 連接。可以在同一匯流排上連接多個快閃記憶體，並使用片選 (CS) 信號進行單獨訪問。

圖 4 顯示了 MCU 和 NOR 快閃記憶體之間的硬體連接。MCU 可使用低層驅動器 (LLD) 軟體讀取、程式設計和擦除 NOR 快閃記憶體。經過優化的設計架構有效加快了存取時間並提高了程式運行速度。同時，NOR 快閃記憶體使用的內部技術決定了記憶體的密度。NOR 快閃記憶體採用傳統浮柵技術，在導電層上，每個存儲單元可以存儲 1 個資料位元。基於 MirrorBit 技術絕緣層構建的 NOR 快閃記憶體，每個存儲單元可存儲 2 個資料位元，從而提供更低成本的 256 Mb 或更大密度的存儲結構。

圖 5 顯示如何使用簡單的 SPI 介面來訪問

圖 5：連接 SPI 的 F-RAM 記憶體介面 (來源：賽普拉斯)

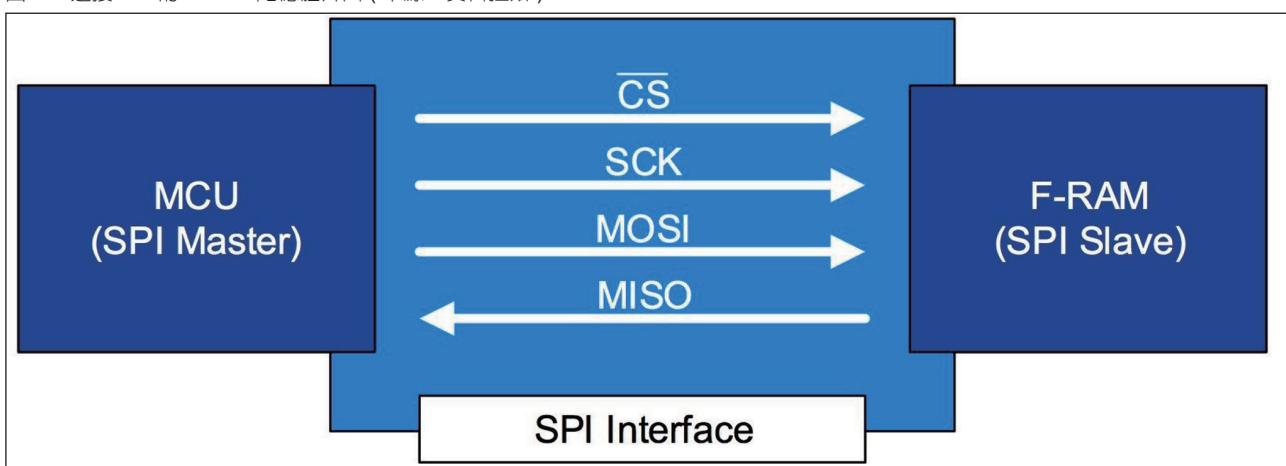
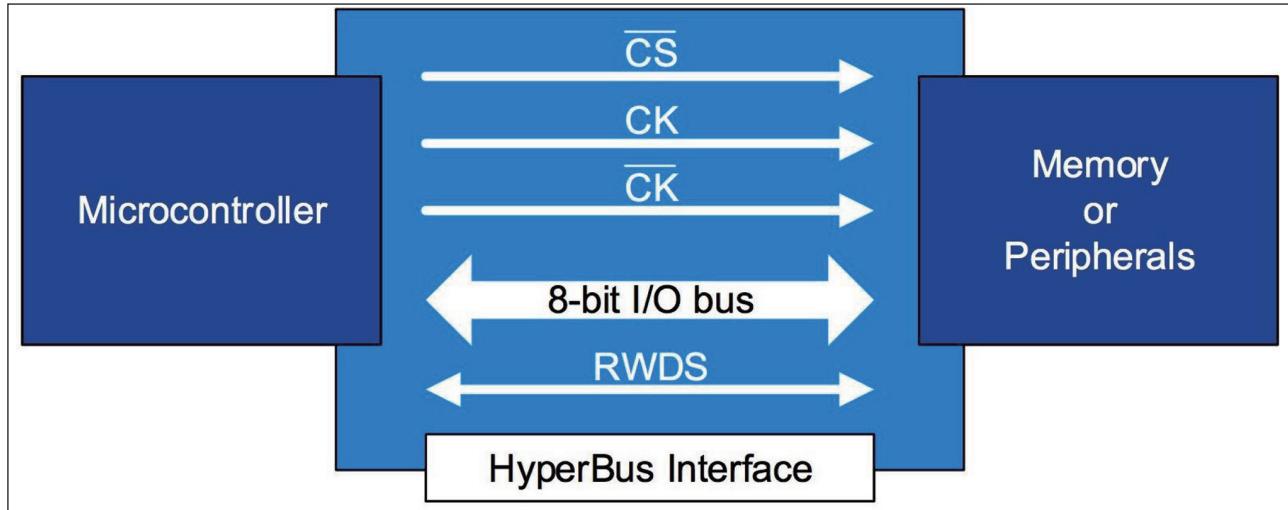


圖 6：記憶體與外設之間的 HyperBus 介面 (來源：賽普拉斯)



FRAM。對於有高速串列資料速率需求的基於微控制器的系統，SPI 介面是理想的選擇。串列資料輸送量與串列時鐘頻率相關。串列 FRAM 的時鐘頻率可高達 40 Mhz。不具備專用 SPI 埠的微控制器可以通過 GPIO 來實現“bit bang”（通過 GPIO 引腳，用軟體來類比串列通信）。

可以通過 HyperBus 12 訊號介面訪問 HyperFlash 和 HyperRAM。與 Quad-SPI(66.5 Mbps)相比，HyperBus 可提供高達 333 Mbps 的讀取輸送量，而所需引腳數量僅為並行 NOR 快閃記憶體的三分之一。該介面使用了差分時鐘 (CK, CK #)、讀寫資料選通 (RWDS)、片選以及 8 位元資料匯流排。

## 資料的完整性和安全性

資料的完整性和安全性是選擇汽車應用記憶體的兩個重要因素。本文介紹的記憶體提供了各種功能來提高資料的完整性和安全性。例如，高級磁區保護 (ASP) 技術為鎖定磁區提供更高的解析度以及不同的上電復位，並有助於運行安全的啓動代碼。在基礎層面上來看，ASP 技術的原理很簡單。可以鎖定任一磁區，防止程式設計和刪除。鎖定磁區的 ASP 模式有兩種：分別為持久保護位 (PPB) 和動態保護位元 (DYB) 保護。除了塊保護 (BP) 和 / 或 WP #引腳硬體保護，還可以一併使用以上兩種模式。

自動改錯碼 (ECC) 功能可以在標準程式設計、擦除和讀取運作時透明地運行。當設備將每頁數據從寫入緩衝器傳送到存儲陣列時，內部 ECC 邏輯將評估頁面的 ECC 代碼作為存儲陣列的一部分，而該存儲對主機系統是不可見的。每次訪問初始頁面時，設備將評估頁面資料和 ECC 代碼，以驗證頁面的完整性。必要時，內部 ECC 邏輯會在初始訪問時糾正 1 位元錯誤。

NOR 快閃記憶體還提供額外的快閃記憶體存儲區，可以進行一次程式設計並受到永久保護，不能更改。以賽普拉斯的 FL-S NOR 快閃記憶體系列為例，該一次性可程式設計 (OTP) 擁有 1K 保護區域，包含 512 位元組出廠保護鎖區和 512 位元組使用者保護鎖區。

## 總結

如今的汽車系統需要多樣的記憶體類型，提供不同等級的可靠性、回應能力和輸送量，以滿足不同汽車子系統中的個性化需求。通過選擇合適的記憶體組合，工程師能夠確保汽車的可靠和安全操作，同時還能滿足駕駛員對汽車回應能力的期望。 