

綜合考慮航太系統的馬達控制、抗輻射能力和功耗

■作者：Truman Tai/ 美高森美

馬達在現代衛星系統中有很多用途，比如移動太陽能面板以便與太陽對焦、移動反應輪以改變衛星方向、調整天線以保持通訊通暢、地面聯繫和雷達，以及移動圖像衛星的焦平面、鏡子和篩檢程式等。

在航太系統中，可靠性要做到最高，因為衛星一旦發射到太空，便難以維修或重修。通過數位方式控制馬達，便可以實現複雜的故障防護、隔離和恢復演算法，從而延長馬達使用壽命，把衛星的服務年限增加。此外，數位控制還可以搜集各種遙測資料，比如馬達性能，以及向地面衛星控制站傳輸資料等。衛星的供電源來自太陽能面板或電池儲存的電能，利用數位控制可以實現有效的馬達控制演算法以最大限度減少電力消耗。鑒於外太空的資源有限，保持電能和故障防護應該是航太系統的最高優先順序。

故障防護：宇宙輻射

宇宙輻射是一個已被充分證明的嚴重問題，以數位方式控制的 ASIC 和 FPGA 晶片可能受到輻射而損壞，而控制資料一旦受到破壞，則可能導致整個系統無法正常運轉。處理宇宙輻射對航太系統造成的影響是一個重要而複雜的過程。像門鎖效應和單粒子翻轉效應都可能突然對航太系統的電子部分造成嚴重破壞，電離輻射總劑量 (TID) 會逐漸累積增多，慢慢超出電子裝置能夠耐受的額定上限。關鍵的飛行系統和關鍵任務系統在設計之初，就必須認真考慮零組件的抗輻射性能。

可靠性和符合標準認證

雖然航太飛行器系統中的零組件必需有可靠的製程和技術，但這遠遠不夠。需要對每部份做可靠性篩選，以排除製造缺陷和預防早期故障 (有時候稱為夭折)。確保衛星數位控制系統的每項零組件都達到業界標準，這與零組件本身的功能特性一樣是必需的。一個系統在設計時希望更加有效和耐用，這是好事，但除非它在所預期的整個生命週期內都能可靠地運行，否則只是一場空。這是航太行業採用嚴格標準的主要目的，因此必需嚴格按照標準來測試每項零組件。

衛星系統的任何一個零組件失效都可能導致價值數十億美元的衛星任務失靈，數十年的努力從而付之東流，甚至會犧牲人的生命，因此對零組件的驗證是最嚴格的，測試要求是最細緻和最苛刻的。符合 QML 標準就可以為衛星運營商 (每個衛星需要支付高達一億至十億美元保險費) 提供保證，證明他們使用的每一部分零組件已經通過行業專家驗證認可，其可靠性對航太飛行系統而言是足夠可靠的。他們投入如此多的資金，並且其中涉及人命安危，那麼這種驗證對他們來說就是一種安全投資。

然而，要讓客戶走完全部驗證流程並投入龐大資金到新型數位控制，這些系統必須有明顯的優勢。繞了一圈，我們又回到最初的方案：一個有效的數位馬達控制系統到底是怎樣的？

馬達控制演算法概要

無感測器磁場定向控制 (FOC) 理論已經廣泛應

用於永磁同步馬達 (PMSM) 和無刷直流馬達 (BLDC) 的控制，這種採用 FPGA 控制的演算法以其精確性和無感測器控制著稱，同時又可以充分利用控制資源。FOC 系統由幾個演算法模組組成，每一個模組都具有不同的控制和回饋監控功能。數位控制系統是通過電壓和電流訊號與馬達通訊的，這些演算法模組在資訊轉換上至關重要。FOC 轉換模組可以確保資源的最佳使用，開環管理模組可以計算馬達的位置和速度，速率限制模組可以保證馬達變換速度的平滑過渡，還有其他模組也都在扮演各自不同的重要角色。

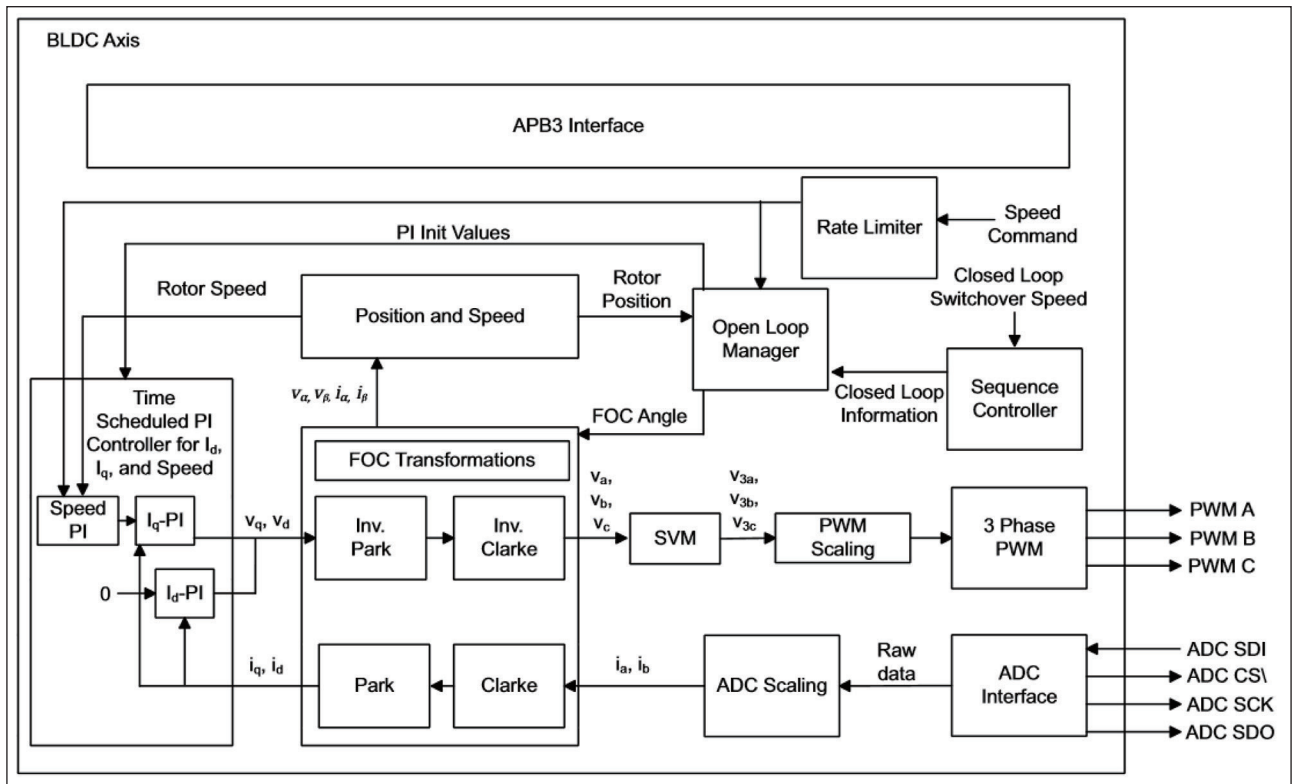
此外，這些模組還經常提供多種功能以防止故障和進行重啓。開環管理模組不僅可以追蹤馬達位置和速度，也可以監控馬達的反電動勢 (back-EMF)，然後作為馬達回饋與速率限制器通訊。速率限制器可以利用這些資料強行將控制輸出即時歸零，比如一個意想不到的外部急刹引起反電動勢的不規則變化，就可能觸發這個動作而自動重啓。數位馬達控制中的這些演算法可完成各種不同的功能，包括從不同位置

和速度感測器彙聚回饋，以至實現馬達速度在很寬速度範圍內的精確控制，甚至檢測停滯和過流狀態，不一而足。這些功能最終都是要提高衛星的可靠性，保護馬達和降低能耗。這是馬達控制的未來之路，而一些抗輻射能力強的先進 FPGA 已經可以成功解決這些難題，而且還有額外的功能來減緩輻射效應。

最新的解決方案

最新的工業用 FPGA 為未來鋪平了道路，不僅具有無感測器 FOC 馬達控制所需要的所有 IP，而且將抗輻射加固電路直接嵌入系統架構中。這種方案具有超過 100K 的三模冗餘觸發器、數 Mb 內部儲存容量、抗輻射加固配置記憶體，以及一些數學演算法模組，使用者 I/O，SERDES 電路可工作於數 Gbps 速率，特別適合處理複雜的航太系統任務，比如數位馬達控制。這種最新 FPGA 的開發套件也可以在市面上買到，設計師可以直接連線到 PC 上進行測試。

圖 1：無感測器 FOC 控制 BLDC 馬達速度和扭矩的實現模組示意圖

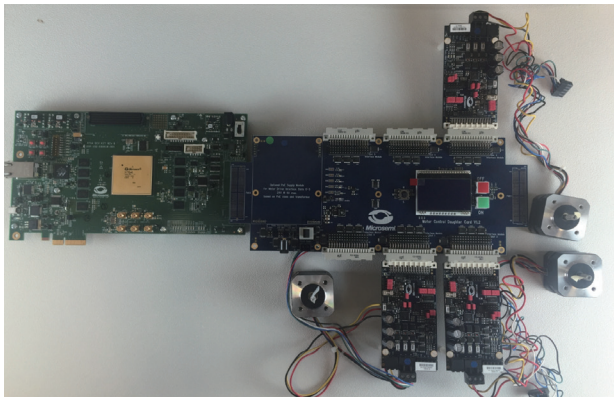


利用 RTG4 進行測試

我們將美高森美的馬達控制套件與 RTG4 開發套件配合使用，進行基準測試，其中無感測器 FOC 演算法可以同時帶動 4 個馬達獨立運行。RTG4 在一般情況下的功耗只有 0.6W，即便在最壞的情況下也只有 1.8W。其資源效率也跟功耗類似，僅僅佔用 13% 的系統資源。在馬達控制模擬實驗中，只需要 19000 個 4 輸入查詢表和 19000 個 D 型觸發器，這分別相當於 RTG4 FPGA 資源的 12.9% 和 12.6%。

從設計輸入轉到馬達輸出，4 個馬達在 73 MHz 輸入時鐘頻率同時運行，最高性能可以達到 5500 rpm 的速度。在基準測試中，這是 4 個獨立控制的

圖 2: 帶動 3 個 BLDC 馬達的 RTG4 馬達控制工具圖片



馬達，然而很容易擴展到 6 個或更多。從整體測試結果來看，基準測試表明 RTG4 可以成功處理多個任務，為航太應用提供低功耗、抗輻射和高效率的數位控制模組。此外，為設計工程師提供像 RTG4 馬達控制套件這樣的平台，可以讓他們試驗和調整自己的限制，這對短期和長期航太系統應用來說都是很有價值的，這種技術進入市場將具有巨大的發展潛力。

未來應用

數位馬達控制是達到航太應用最高可靠性的有效途徑，它可以將節能提升到一個新的水準，同時其內置的演算法模組可以為馬達和衛星儀器提供增強保護。但是要提醒的是，僅僅通過數位控制來保護衛星系統的關鍵零組件是不夠的，還需要抗輻射數位電路和 FPGA 才能完整的實現衛星系統最高可靠性能。數位電路的降低輻射和正確的篩選驗證可以確保執行演算法的控制中心得到保護，而且業界標準文件也能提供完整的支援。

最新的 FPGA 馬達控制演算法可以滿足航太系統的性能要求，以及航太應用對輻射的要求，同時實現最低功耗和最大靈活性。 CTA

COMPOTECHAsia 臉書

每週一、三、五與您分享精彩內容

<https://www.facebook.com/lookcompotech>