



以FPGA為基礎多軸伺服 及運動控制器研製

Design and Realization of a Multi-Axis Servo
and Motion Controller Based on FPGA Technology

龔應時

南臺科技大學
電機工程系
教授

林進木

南臺科技大學
電機工程系
博士班研究生

陳裕仁

南臺科技大學
電機工程系
碩士班研究生

周信宏

工研院機械所
智慧機械技術組
資訊與資源部
產品經理

關鍵詞(Keywords)

- 多軸伺服系統
Multi-Axis Servo System
- 現場可程式邏輯閘陣列
Field Programmable Gate Arrays (FPGA)
- 硬體可程式語言
Hardware Description Language
- 運動軌跡規劃
Motion Trajectory Planning
- 系統可程式晶片
System on a Programmable Chip (SoPC)
- XYZ 運動平台
XYZ Motion Table

摘要(Abstract)

本文旨在將多軸伺服控制器及運動軌跡規劃整合在一顆 FPGA 晶片內實現。首先，以 Altera FPGA 晶片及內含一顆 Nios 嵌入式軟核心處理器為基礎建構之系統整合晶片(SoPC)來發展多軸伺服控制及運動軌跡技術。此系統整合晶片內主要包括兩個模組，第一個模組在 Nios II 處理器內以軟體程式實現並以 C 語言撰寫程式，其功能為多軸平台運動軌跡之計算。第二個模組在 FPGA 晶片內以數位硬體方式實現並以 VHDL 描述其電路，其功能主要為多軸馬達之位置/速度/電流迴路控制器實現，也就是多顆永磁同步馬達之電流向量控制器、空間向量脈波寬度調變產生、速度 P 控制器與位置模糊控制器等，全部由硬體數位電路實現。由於 FPGA 的快速計算、並行處理、軟



硬體共同設計等優點，將能提升多軸控制器之運動性能。最後，為了驗證所提多軸伺服及運動控制 IP (智材)之可行性及正確性，將以三軸伺服控制之 XYZ 平台為實驗載具，並以實驗結果來證實之。

The article aims to implement a multi-axis servo controller and motion trajectory planning within one FPGA chip. At first, SoPC (System on a Programmable Chip) technology, which is composed of an ALTERA FPGA (Field Programmable Gate Arrays) chip and an embedded soft-core Nios II processor, is utilized to develop the multi-axis motion controller. The proposed multi-axis motion control IC has two modules. The first module is an embedded soft-core Nios II processor which is used to realize the motion trajectory planning by software. The second module is presented to realize the multi-PMSM's position/speed/current controllers by hardware implementation and uses VHDL (VHSIC Hardware Description Language) to describe the overall multi-axis servo controller behavior. Therefore, a fully digital multi-axis servo and motion controller could be implemented by a single FPGA chip. Finally, to verify the effectiveness and correctness of the proposed multi-axis motion control IP, a XYZ table with three servo axis is constructed and experimental results are presented.

1. 前言

整合多軸伺服及運動控制器於一顆晶片以運用在 XYZ 平台、CNC (電腦數值控制)加工機器、機器人等，以減少系統體積、提升系統性能及穩定性已成為目前控制器的發展趨勢[1-5]。在多軸的自動控制設備上，大都採用永磁同步馬達作為致動器，那是由於永磁同步馬達具有優越的電力密度及高性能的運動控制-快速響應及較佳之精確度[6-8]。因此在多軸自動設備的控制器，就必須具有多顆永磁同步馬達的伺服控制能力及多軸間運動軌跡之協調控制能力。為達到此目的，傳統的多軸的自動控制設備上，具備多顆微處理器以執行多顆永磁同步馬達的伺服控制，及一顆中央微處理器以執行運動軌跡設計及與多顆微處理器間之資料傳輸。如此設計不僅造成電路系統體積增大、資料通訊頻繁及速度減慢，也將造成電路易受干擾而不穩定。解決此問題，FPGA 晶片成為最佳的選擇，因為此晶片具有快速的硬體運算能力、平行處理能力及可嵌入一顆微處理器以進行軟硬體共同設計等優點[9-12]。以單顆的永磁同步馬達伺服控制而言，若以 FPGA 實現，空間向量脈波調變演算法之計算時間 $\leq 1.5 \mu\text{s}$ ；電流向量控制演算法之計算時間 $\leq 2 \mu\text{s}$ 而模糊控制器演算法則之計算時間 $\leq 2 \mu\text{s}$ 。如此快速的計算能力再加上平行計算，使得多軸伺服及運動控制器整合於一顆晶片成為可能。

本文將以 Altera FPGA 晶片及內含一顆 Nios II 嵌入式軟核心處理器為基礎建構之系統整合晶片(SoPC)來發展多軸伺服控制及運動軌跡技術，系統架構如圖 1 所示。FPGA 晶片內將包含多個

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】379期・103年11月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：www.automan.tw