

馬達驅動系統之 USB 型人機監控介面設計

羅永昌

國立勤益科技大學

luoyc@mail.ncut.edu.tw

陳正捷

國立勤益科技大學

k9999plus@yahoo.com.tw

摘要

本論文目的在於設計電腦端之 USB 型人機介面以實現馬達驅動器系統的監控。USB 因為具有特殊優勢在現今已取代許多傳統的連接埠。本論文使用 HID 群組作為 USB 裝置的設計，建構出一個馬達驅動系統的人機介面，對此驅動系統進行馬達的位置以及電流監控。本論文使用 8 位元 PIC 微控制器系列的 PIC18F4550 來實現監控以及 USB 傳輸的控制，並且使用 LabVIEW 設計電腦端的人機介面，實現以電腦進行馬達驅動系統的監控。

關鍵字：通用串列匯流排、監控人機介面

Abstract

A USB Interface on PC to monitor the motor drive system is designed in this paper. USB can be used to substitute for the traditional I/O port because which has particular advantages. First, the HID class is used to design the USB device to communicate PC and motor drive system. The designed USB device can monitor the rotational shaft position and current of motor real-time. Then, an 8-bit PIC micro-controller PIC18F4550 is used to implement the USB monitor device, and the LabVIEW is used to design the interface on PC.

Keyword: Universal Serial Bus、monitor interface

1. 前言

Microchip 公司所研發之可程式微控制器 PIC 系列，由於其效能強大、價格低廉，以及擁有容易且低價的開發工具以利於微控制器的設計，又由於可以依據產品的需求來選擇不同的微控制器，因此在業界被廣泛的運用於各種場合。本論文使用 Microchip 公司之 8 位元 PIC 微控制器系列中的 PIC18F4550 來設計馬達驅動系統的人機監控介面，此微控制器的特點在於其整合 USB 來進行與電腦之間的通訊，本論文運用 USB 與電腦進行通訊，並以圖形控制軟體 LabVIEW 為基礎，建立起電腦端之人機介面，藉由與 PIC18F4550 微控制器作雙向傳輸，以對於馬達驅動系統進行監控。

USB 介面是一種標準的連接介面[1]，允許在

外部硬體與電腦連接的時候，不必經過繁雜的設定即可自動識別外部硬體，藉此實現了硬體熱插拔與即插即用的功能，使得裝置的使用更為簡易方便。USB 介面的特點具有容易運用在各式各樣的週邊裝置、廣泛的應用範圍、同步傳輸的頻寬、使用上的靈活性與穩定性、與電腦之間完善的整合性、價格低廉以及升級容易，使得其已經成為電腦外接裝置領域發展最廣的技術。本文以 HID 群組作為 USB 的監控裝置。原本 HID 群組是針對像是鍵盤、滑鼠之類的輸入裝置進行設定及規劃，然而對於需要透過雙向傳輸，以及適當頻率來執行資料交換的裝置而言，這是一種容易設計以及運用的範例與基礎架構。此外在微軟新版的作業系統當中，都已經整合入 HID 群組的驅動程式，不需要另外為新裝置撰寫電腦端的驅動程式，而在外部裝置的韌體當中也僅需些許的程式即可達到 HID 群組的辨識，這些都可以大幅簡化裝置的設計流程。而在此延伸類型的 HID 裝置，如同機械手臂、I/O 監控系統一般，可設計成在驅動裝置上透過多組開關來達成控制輸出裝置，並利用擷取裝置達到輸入裝置的監看。

電腦端的人機介面是使用美商國家儀器公司所設計的一套圖形控制式程式軟體 LabVIEW。LabVIEW 是一套應用於實驗室中，作為儀表設計或是控制用的軟體，其應用場合可在工廠監控、醫學工程、航太工程等，藉由周邊 I/O 的控制達到對於馬達的即時線上控制[2]，或者加入智慧型演算法分析資訊進而執行監控[3-4]。與傳統文字形式的程式語言不同，其程式架構包括作為 I/O 元件以達成人機介面顯示的前置面板視窗，使用特殊程式方塊設計功能的程式方塊視窗，以及將其組合連接起來的圖像與連接器視窗。並且 LabVIEW 可以結合動態連結程式庫來擴充原本沒有的功能，使得其功能設計的範圍更加擴大。本研究則是在 LabVIEW 之中結合 HID 群組的動態連結程式庫，使得人機介面能夠使用 HID 群組敘述的外部裝置，進行雙向的資料傳輸以達成監控目的。本論文的實作架構是利用電腦端的人機介面，下達對於馬達驅動系統的控制命令，使用人工介面裝置群組的方式經由 USB 傳達至 PIC18F4550 之中，在 PIC18F4550 之中加入閉迴路控制程式，運用脈波寬度調變來控制驅動系統中的開關導通時間，進而改變輸出至馬達的電壓。另外 PIC18F4550 將馬達的資訊經由 USB 傳至電腦端的人機介面中顯示，以達到利用人機介面進行監控的效果。

2. 人機介面的研製

LabVIEW 是美商國家儀器公司所發展出來，具有強大的功能且適用性極高的儀器控制與分析軟體。相較於傳統的程式語言，其程式設計的環境圖形化程式語言(Graphic Language)，可以用圖示的方式來取代傳統文字程式編寫方式，並利用資料流(Dataflow)的觀念來呈現程式的順序。LabVIEW 除了使用圖形方式來設計程式之外，它所擁有的內建功能函數更可以完成大部分的程式設計，因此不需要考慮傳統文字程式編寫中，較難了解與使用之功能。此外還有特別設計可結合使用硬體以及程式庫，如資料擷取、串並列通訊、資料儲存、網路連結等功能。因此被廣泛的運用在工業場合中[5]。

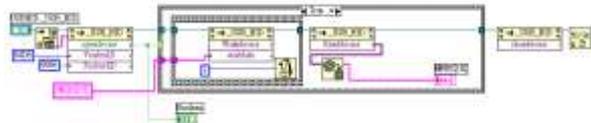


圖 1 使用 LabVIEW 以 ActiveX 載入 HID 類別程式庫

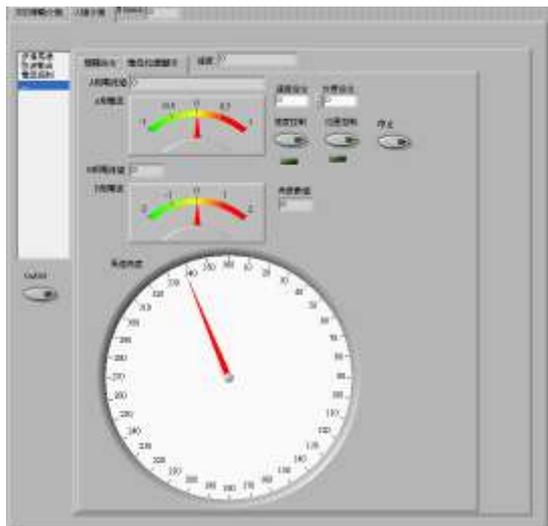


圖 2 步進馬達控制下的人機介面顯示



圖 3 步進馬達控制下之開關狀態顯示

一般馬達驅動系統的人機介面功能，在於使用人機介面來設定系統參數，以對於馬達進行運動控制，並且可將速度、位置以及電流等回授數據顯示在人機介面中。針對本文以 HID 類別的方式，使用 USB 進行控制命令及回授數據的資料交換。其中因為 LabVIEW 並沒有 HID 類別的程式庫，所以改採用 ActiveX 的方式，額外載入具有 HID 類別程式庫的動態連結程式庫(Dynamic Link Library, DLL)來達成。ActiveX 是架構在微軟的 COM(Component Object Model)上，其透過使用 ActiveX 元件，可以讓一個程式能夠使用另一個程式的物件、指令以及函數，並且將結果顯現出來。

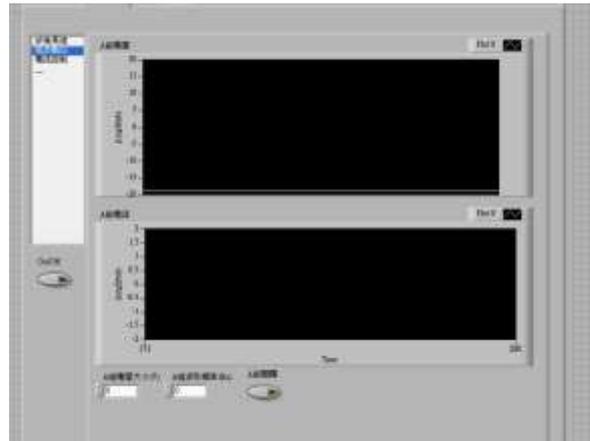


圖 4 交流波形輸出狀況下的人機介面

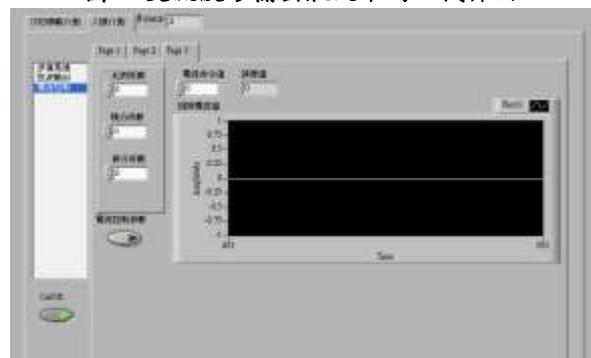


圖 5 閉迴路控制狀況下的人機介面

3. 硬體實現與人機介面的結合

為了表現人機介面對於馬達驅動器的監控，本論文中使用一個自製的電源驅動板，並以 PIC18F4550 的數位輸出作為電源驅動板的開關控制命令，藉由開關切換來控制輸出波形，進而針對馬達授控體進行控制。

此電源驅動板使用四對功率晶體的來對輸出波形進行控制，並且使用互補的開關控制命令讓一對功率晶體的上下臂開關導通或截止，使得輸出波形可以是直流匯流排電壓或者零電壓，由控制導通時間責任比來使其輸出波形等效於直流或交流波形。



圖 6 電源驅動板構造圖

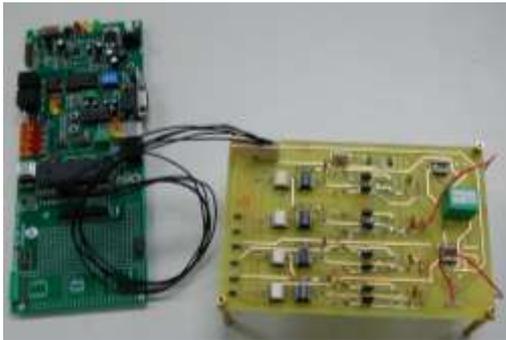


圖 7 電源驅動板與控制訊號連接圖

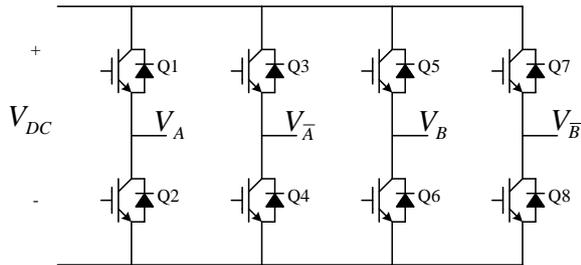


圖 8 功率晶體電路圖

步進馬達的特點，在於它能依據線圈的激磁順序，可以精確的位移控制。本文使用步進馬達來呈現馬達驅動控制系統對於受控馬達進行速度以及位置控制。

步進馬達可以依據其激磁方式分成屬於全步進式的單相激磁式與二相激磁方式，以及半步進式的一二相激磁方式，尚有微步進式的電流控制型。本文使用全步進的單相激磁來實現步進馬達的運動控制。本論文中使用一顆二組線圈、輸入電壓 12 伏特、全步進角為 1.8° 的步進馬達進行運動控制，其中步進馬達與馬達驅動板的連接如圖 9 所表示。

其利用開關導通順序的以切換改變線圈電壓，進而控制線圈的激磁。其中晶體開關 Q1 與 Q2 的命令為反相關係，當 Q1 導通 Q2 截止時，A 相線圈的電壓等同於直流匯流排電壓，這時 A 相線圈流過電流產生激磁，使得馬達被吸引到 A 相線圈的位置。反之若是 Q1 截止 Q2 導通時，A 相線圈的電壓為零電壓，此時線圈無激磁。

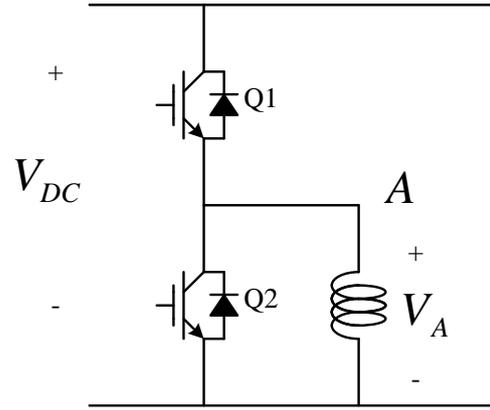


圖 9 步進馬達的連接方式



圖 10 步進馬達與馬達驅動板的連接

而人機介面在此可下達步進馬達的速度或位置控制命令，將命令經由 USB 傳送到 PIC18F4550 之中，其中依據命令下達開關的導通順序以及導通時間，進而達到定速或位置控制。

圖 11 為下達正轉命令，轉速命令為每秒 5 步全步進的電壓波形圖。依據單相激磁的控制方式，激磁順序為 $A \rightarrow B \rightarrow \bar{A} \rightarrow \bar{B} \rightarrow A$ 的迴圈，每切換一次激磁則步進馬達將會移動一個全步進角。圖 12 為下達反轉命令，轉速命令為每秒 5 步全步進的電壓波形圖，激磁順序為 $\bar{A} \rightarrow \bar{B} \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow \bar{A}$ 的迴圈。圖 13 則為下達順時針方向，且相對啟動位置距離 50° 的位置命令。因為採用全步進控制方式無法剛好移動到命令位置，所以改取最接近的 28 步全步進角，距離為 50.4° 。

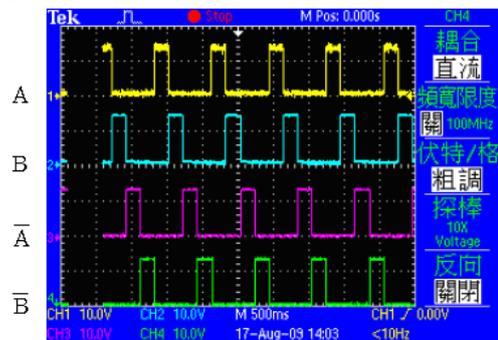


圖 11 正轉命令下步進馬達的激磁電壓波形圖

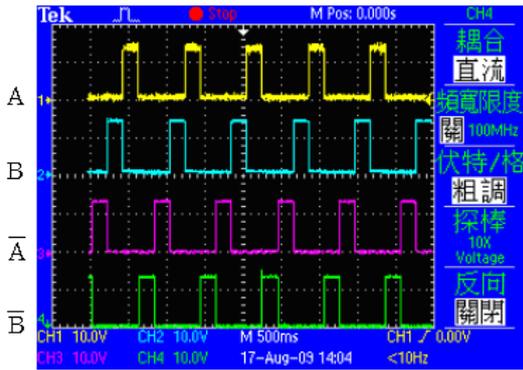


圖 12 反轉命令下步進馬達的激磁電壓波形圖

在交流馬達的控制中，多半會採取改變弦波頻率的方式來控制馬達轉速。通常都是取用直流匯流排電壓與零電壓兩種狀態進行脈寬控制，藉由控制開關的切換使得輸出波形得以近似於弦波。本論文利用正弦脈寬調變策略(Sinusoidal Pulse Width Modulation, SPWM)產生弦波電壓命令[6]。利用弦波波形與三角截波比較，可產生脈寬調變的開關命令訊號而讓功率晶體導通或截止。

28 步全步進角

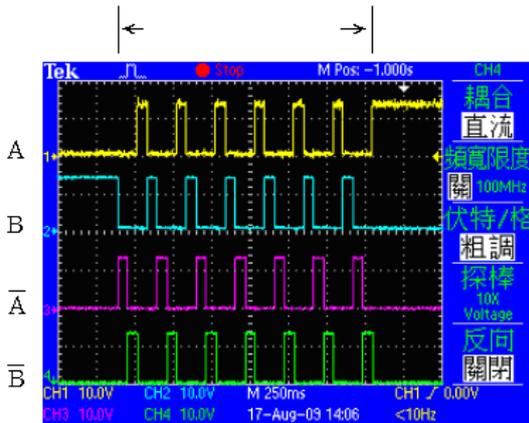


圖 13 位置控制下步進馬達的激磁電壓波形圖

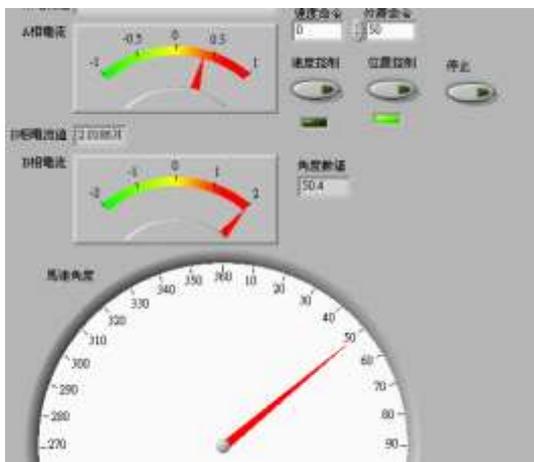


圖 14 位置控制下人機介面的位置表示圖

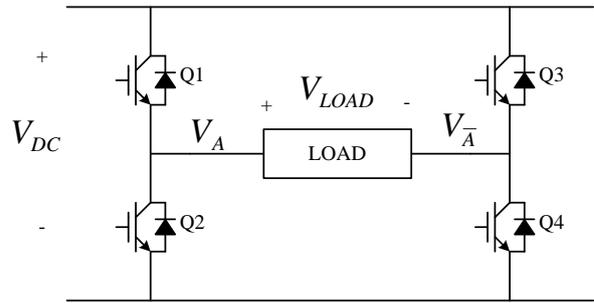


圖 15 弦波控制中與負載的連接

當 A 相導通時，其中負載電壓 $V_{LOAD} = V_{DC}$ ；另當 \bar{A} 相導通時，其中負載電壓 $V_{LOAD} = -V_{DC}$ ，利用這兩種狀態來達成弦波波形的輸出。而三角截波與弦波波形則都利用 PIC18F4550 處理，並採用離散運算方式來進行。將正弦波以 Z 轉換的轉移函數表示，可得到離散式的弦波運算：

$$y(n) = 2 \cos(2\pi f T_s) y(n-1) + \sin(2\pi f T_s) x(n-1) - y(n-2) \quad (1)$$

其中 $y(n)$ 為第 n 項輸出， $y(n-1)$ 為第 $n-1$ 項輸出， $y(n-2)$ 為第 $n-2$ 項輸出， $x(n-1)$ 為第 $n-1$ 項輸入， f 為弦波頻率， T_s 為離散運算的取樣週期。如此可產生一個範圍在 -1 到 1 之間，且頻率為 f 的弦波。並且將其放大到所欲輸出的大小值來跟三角截波做比較，而得到功率晶體的開關命令。而在每相輸出都加上低通濾波器以濾除高頻率的成分，使其輸出更接近弦波波形，如圖 17 及圖 18。

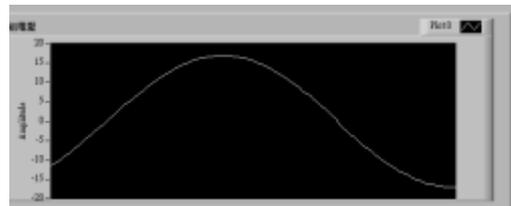


圖 16 人機介面中所顯示所產生的弦波波形

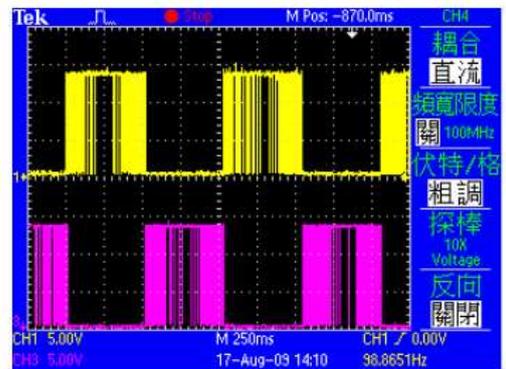


圖 17 弦波控制中所產生的電壓輸出波形

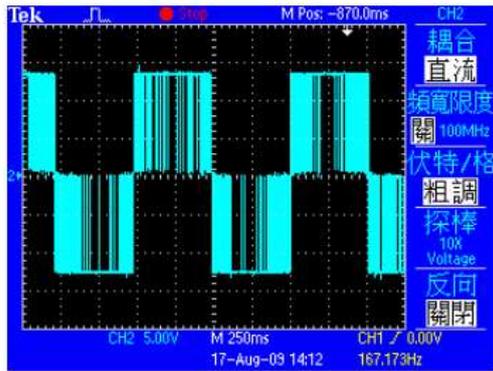


圖 18 負載上的輸出電壓波形

一般驅動系統都會具備閉迴路控制器，以針對授控目標之回授值與命令值所產生誤差，利用控制器來減少誤差值以提升系統的響應速度。本文將對於一個一階系統的負載進行閉迴路電流控制，其回授負載電流與命令電流做比較，再將比較後的誤差值輸入到比例-積分-微分控制器(PID controller)，接著將控制器輸出的電壓命令值再與三角截波比較，因而產生脈寬調變波形至負載，進而控制負載電流。

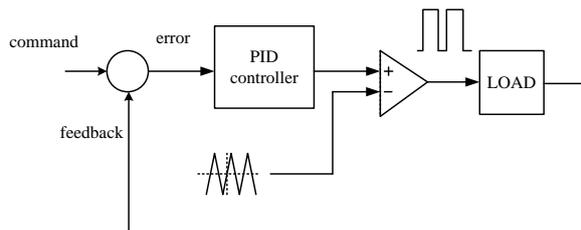


圖 19 閉迴路 PID 控制架構

在本文所設計之人機介面中，可以自行設定比例參數、積分參數以及微分常數，並藉此來改變整體控制系統的響應。

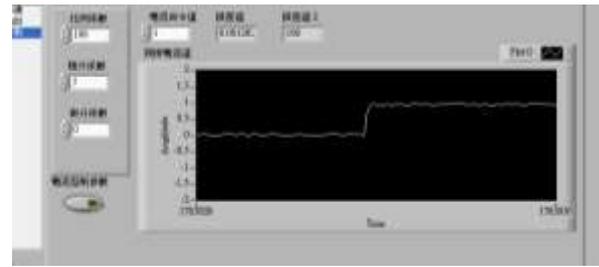


圖 20 人機介面顯示閉迴路電流控制

4. 結論及建議

本論文提出在電腦端設計人機介面，利用此人機介面來對馬達驅動系統進行即時線上監控。其使用 USB 控制器 IC，設計出針對馬達驅動系統之 USB 型人機監控介面。在實驗部分則是利用 PIC18F4550 控制馬達驅動系統，而達到馬達驅動控制的主要三種目的：馬達運動控制、輸出波形控制以及閉迴路控制系統。由於人機介面利用圖控軟體 LabVIEW 進行設計，可根據不同的功能需求設計對應該功能之顯示以及控制介面。並且利用 USB 連接介面中之 HID 類別的方式，與電腦端的人機介面進行即時的資料交換，以達到對於馬達驅動系統的即時線上監控。

參考文獻

- [1] 許永和，介面設計與實習—使用 LabVIEW，初版，全華科技圖書股份有限公司，2006。
- [2] 王保仁，結合 LabVIEW 於切換式磁阻馬達之驅動與監控，國立中山大學電機工程學系研究所，碩士論文，2003。
- [3] 張培農，智慧型交通監控系統，明志科技大學機電工程研究所，碩士論文，2005。
- [4] 陳瓊興，蔡昇偉，吳育昌，LabVIEW 7.X 實用教本，初版，台科大圖書股份有限公司，民 95。
- [5] 劉昌煥，交流電機控制：向量控制與直接轉矩控制原理，三版，東華書局，民 94
- [6] Goulart, T.J. and Consonni, D., Automated system for measuring electrical three-phase power components, Education, IEEE Transactions on Volume 44, Issue 4, Nov. 2001 Page(s):336 – 341.