



高性能感應馬達驅動器智慧型控制器之研製
Design and Implementation of an Intelligent Controller for
High Performance Induction Motor Drives

計畫編號：NSC 88-2213-E-032-021

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：蕭瑛東 淡江大學電機工程學系

一、中文摘要

本計畫發展速度及磁通控制電路及控制器參數自動調整法則，提供高性能間接向量控制感應馬達驅動器之用。其中包括以模糊邏輯原理為核心的轉子轉速及磁通控制器。並設計一個模糊邏輯轉子電阻估測器，使磁通和轉矩得以解耦控制之。首先，利用MATLAB-SIMULINK來模擬及分析在不同負載及速度指令下驅動器的性能。此外，並利用80196MC單晶片微處理器來實現之。一些試驗結果將用來驗證理論架構。

關鍵詞：感應馬達、向量控制、模糊控制、單晶片微處理器

Abstract

The objective of this project is to design and implement the adaptive speed controller based on fuzzy logic approach for a high-performance indirect vector-controlled induction motor drive. In the proposed system, the fuzzy logic principle is first utilized for the control of rotor flux and speed. A model-reference adaptative scheme is then proposed in which the adaptation mechanism is executed using fuzzy logic. In this work, we use Matlab-Simulink to simulation the behavior and analysis the performance of induction motor drives with the indirect rotor flux oriented control

schema under different loading and speed command. An experimental drive system with the indirect rotor flux oriented controller implemented on a 80196 MC single-chip micro processor, has been tested in laboratory to validate the theoretical development.

Keywords: induction motor, vector control, single-chip micro processor.

二、計畫緣由與目的

對直流馬達而言，因為數學模式簡單，其磁通及轉矩可分別由磁場電流及電樞電流控制，控制上較為容易，因此控制器便宜，故傳統上許多場所使用直流馬達來作驅動裝置[1]。不過，直流馬達卻有構造複雜、維護困難、效率低等缺點。特色是其電刷及換向片容易磨損及產生火花，因此也限制了其使用的場所。至於交流感應馬達因轉子構造不同而分為繞線式及鼠籠式兩種，而以後者具有結構簡單堅固，維護容易，價格便宜，適合應用於各種惡劣環境等優點，應用頗為廣泛[2]，因此交流馬達在工業應用上有逐漸取代傳統直流馬達的趨勢。本文即以感應馬達為討論對象。因為交流感應馬達其數學模型為一高度非線性、耦合且時變的系統，所以其控制較為困難，因此在作交流感應馬達控制時，常利用所謂向量控制的方法[3]，經由解耦來使得交流感應馬達

解耦合來使得交流感應馬達之控制近似直流馬達之控制，使其易於控制。本研究探討以間接轉子磁場導向之向量控制理論為基礎之感應馬達驅動器。利用 MATLAB-SIMULINK 進行模擬分析，至於硬體實作部份，是以 80196MC 單晶片來實現間接轉子磁場導向(Indirect Rotor Flux-Oriented Control)控制理論，以驗證理論之可行性。

三、預期完成之工作

第一年：

- 以 SIMULINK 建立向量控制感應馬達驅動系統之模擬環境
- 完成模糊邏輯速度控制程式
- 完成模糊邏輯磁通控制程式
- 完成模糊邏輯轉子電阻估測器程式
- 製作實驗系統
- 實驗驗證

第二年：

- 設計控制器參數的模糊邏輯自動調適法則
- 以 SIMULINK 進行模擬
- 實現硬體實驗系統
- 系統整合與各控制子系統性能之改進
- 系統性能測試評估
- 與傳統 PI 控制器的性能比較

四、研究方法

(a) 向量控制

向量控制法是利用座標轉換及 d-q 軸理論，將複雜的三相感應馬達動態方程式化為非時變且解耦合的系統，使定子電流分成兩個互相垂直的電流分量，一為轉矩電流分量，用以產生轉矩磁通量；另一為磁通電流分量，用以產生氣隙磁通。如此，便可將感應馬達作類似分激式直流馬達般的解耦控制[3-7]。

因此為了完全達到向量控制的目的，磁通的位置必須被精確的控制。一般可將向量控制法分為(1)直接磁場導向(Direct Flux Orientation)與(2)間接磁場導向(Indirect Flux Orientation)。直接磁場導向使用磁通線圈直接量測磁通之大小及位置，或者是利用回授之定子電壓及電流來計算磁通之大小及位置；間接磁場導向則是利用量測之轉子速度，再與其它可量測的訊號，如定子電流來間接算出滑差速度，而得到磁通的同步轉速，再將其積分以獲得磁通之位置。若根據所選擇的磁通可將向量控制法分為(1)轉子磁場導向(Rotor Flux Orientation) [6] 與(2)定子磁場導向(Stator Flux Orientation) [7]。本研究探討的為間接磁場導向。

感應馬達在同步座標系之動態模型如(1)式所示[8]。

$$\begin{bmatrix} v_{qs}^e \\ v_{ds}^e \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s + \sigma p & \omega_e \sigma & \frac{L_m}{L_r} p & \frac{L_m}{L_r} \omega_e \\ -\omega_e \sigma & r_s + \sigma p & \frac{L_m}{L_r} \omega_e & \frac{L_m}{L_r} p \\ -L_{m r} & 0 & r_r + p & L_r(\omega_e - \omega_r) \\ 0 & -L_{m r} & -L_r(\omega_e - \omega_r) & r_r + p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs}^e \\ i_{ds}^e \\ \lambda_{qr}^e \\ \lambda_{dr}^e \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中

$\omega_{sl} = \omega_e - \omega_r$: 滑差速度, r_s, L_s : 定子的電阻及電感,

r_r, L_r : 轉子的電阻及電感, $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}$: 漏電感係數,

p : 微分運算子, L_m, L_r : 轉子電感, V_{qs}^e, V_{ds}^e : q,d軸電壓,

i_{qs}^e, i_{ds}^e : q,d軸電流, $\lambda_{qr}^e, \lambda_{dr}^e$: q,d軸磁勢。

由(1)式可得

$$-L_{m r} i_{qs}^e + r_r \lambda_{qr}^e + \frac{d\lambda_{qr}^e}{dt} + L_r \omega_{sl} \lambda_{dr}^e = 0 \quad (2)$$

$$-L_{m r} i_{ds}^e + r_r \lambda_{dr}^e + \frac{d\lambda_{dr}^e}{dt} - L_r \omega_{sl} \lambda_{qr}^e = 0 \quad (3)$$

為了使磁通完全落在 d 軸上，故令 $\lambda_{qr}^e = 0$ ，而且在定力矩區域操作時，轉子磁通為定值，即 $\frac{d}{dt}\lambda_{dr}^e = 0$ ，所以可將(2)與(3)式改寫如下：

$$\omega_{sl} = \frac{\frac{r_r}{L_r} \frac{L_m}{L_r} i_{qs}^e}{\lambda_{dr}^e} \quad (4)$$

$$\lambda_{dr}^e = L_m \frac{r_r}{L_r} i_{ds}^e \quad (5)$$

而電磁轉矩方程式為

$$T_e = \frac{3 N_p}{2} \frac{L_m}{L_r} i_{qs}^e \lambda_{dr}^e \quad (6)$$

其中 N_p 為感應馬達極數。

由上述之推導可知，透過空間向量控制理論可將感應馬達作類似分激式直流馬達般的解耦控制，即轉矩電流分量 (i_{qs}^e) 控制轉矩 (T_e)；另一為磁通電流分量 (i_{ds}^e)，用以產生氣隙磁通 (λ_{dr}^e)。結合(4)、(5)與(6)式可得到感應馬達在同步旋轉座標下之轉子磁場導向模型，如圖 1 所示。

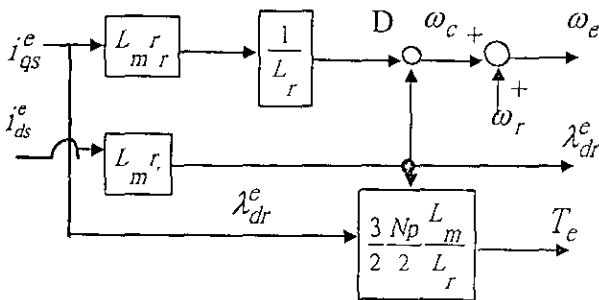


圖 1 同步旋轉座標下之轉子磁場導向模型

同時電磁轉矩方程式可改寫成

$$T_e = \frac{3 N_p}{2} \frac{L_m}{L_r} i_{qs}^e \lambda_{dr}^e \quad (18)$$

(b) 模糊邏輯控制

模糊控制、類神經網路和專家系

統都是近年來極熱門的智慧型控制方法。其中，模糊控制是根據 1965 年 Zadeh 所提出的模糊集合理論，已經成功的應用於許多的領域之中。從技術觀點而言，模糊邏輯主要有兩個應用領域。第一個是對資訊不明確之系統，以模糊邏輯不要求數學模式的優點來設計控制器，第二個則是利用模糊控制器的非線性特性來改善傳統控制器線性操作方式下的性能。所以，模糊控制器可以說是傳統回授控制的另一替代的方法。

典型的模糊邏輯控制包含三個主要的步驟，即模糊化(fuzzification)、推論(inference)和解模糊化(defuzzification)。模糊系統的輸入和輸出都是模糊資訊，但在實際工程應用上，量測到的資訊幾乎都是明確數值，如速度和位置等。所以必須提供一種方法作為其轉換橋樑，將明確資訊轉換成模糊資訊的過程即稱為模糊化。規則庫儲存了許多以語言形式表達的控制規則，它們是根據專家對控制系統特性的瞭解所推導出來的控制策略。其規則通常以 IF-THEN 條件式敘述語句表達。模糊推論為模糊控制系統的重心，在以模糊理論為基礎下，有模擬人類推理決策的能力。也就是依據外界輸入的模糊輸入變數，再配合知識庫儲存的各項資訊，推論出模糊輸出變數。解模糊則是把模糊輸出變數轉換成明確數值。

五、結論與成果

本文探討間接磁場導向控制方法，除了以 SIMULINK 軟體建立整個磁場導向控制控制之模擬架構，並實際以 80196MC 單晶片實現間接轉子磁場導向控制技術於感應馬達的速度控制

向控制技術於感應馬達的速度控制上。

在模擬與實作的比較方面，由於SIMULINK 軟體本身有浮點運算器來輔助計算，無量化及移位的問題，但其缺點在於計算的時間間隔須取得極小，所以其模擬所耗費的時間也就較長。而 80196MC 組合語言是採用固定點運算，並無浮點運算器來輔助計算，所以運算模式(mode)之選取正確與否，會影響系統量化的誤差大小，這是在實作上撰寫程式時須注意的地方。另外，從實作所得到的響應曲線圖中可以發現暫態響應與模擬結果比較並不理想，其原因為硬體電路本身的延遲及 A/D 轉換受到干擾所造成的結果。改善的方法可嘗試將 A/D 轉換以獨立的電路來實現以減低雜訊干擾的程度。

六、參考文獻

- [1]P. C. Sen, Thyristor DC Drive, Wiley Interscience, 1981.
- [2]P. N. Miljanic, "The Through pass inverter and its application to speed control of Induction motor," IEEE Trans. on PAS, vol. PAS-87, 1968, p. 234-241.
- [3]Vas, P, Vector Control of AC Machines, Oxford University Press, 1990.
- [4]B. K. Bose, "Power Electronics and AC Drives," Prentice-Hall, New Jersey, 1986.
- [1]許溢适譯著，"AC 伺服系統的理論與設計實務,"文笙書局，民國八十一年。
- [6]D. W. Novotny and T. A. Lipo, "Vector Control and Dynamics of AC Drives," pp. 258-262, Oxford University Press Inc., New York, 1996.
- [7]D. W. Novotny and T. A. Lipo,

"Vector Control and Dynamics of AC Drives," pp. 309-313, Oxford University Press Inc., New York, 1996.

- [8]Simulink User's Guide, 1992.
- [9]鄭錦聰編著，"MATLAB 入門引導," 北市，全華科技圖書股份有限公司，民國八十一年。
- [10]Intel 8XC196MC User's Manual, 1992.
- [11]呂明憲，"向量控制變頻器之轉子磁通估測法,"碩士論文，國立台灣技術學院電機研究所控制組，民國八十四年六月。
- [12]鄭乃文，"定子磁通導向之感應機向量控制系統分析與設計," 碩士論文，國立台灣技術學院電機研究所控制組，民國八十五年六月。