

Implementation of Motor Control System using Modular Programming Structure of eMotion Controller

王進福、鍾翼能 ; 黃繼震

E-mail: 9315037@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

This paper demonstrates how to use the modularized programming structure to develop an embedded digital controller for motor drives. The control programs are constructed by modular program sets, and integrated within the Matlab/Simulink operational interface. We have shown that this approach is effective in building programs used to operate motors under torque, velocity, or position mode.

Keywords : Modularized programming structure ; Digital controller

Table of Contents

封面內頁 簽名頁 授權書	iii	中文摘要	iii
.	iv	英文摘要	v
.	vi	目錄	vii
.	x	表目錄	xix
.	1	第一章 緒論	1
.	1.1	1.1 研究動機	1.1.2
.	1.3	1.3 研究流程	
文獻回顧	3	1.4 本文大綱	4
.	5	2.1 簡介	5
.	6	2.3 人機介面模組建立	7
.	8	2.3.2 eMotion程式建立流程	9
組程式設計	10	2.3.4 系統程式設計	10
.	12	2.4 eMotion/simulink程式建立流程	15
.	20	第三章 無刷馬達的控制架構	20
.	27	3.1 無刷馬達數學模式之建立	20
.	27	3.3 控制系統架構	35
電流回授控制架構	36	3.3.1 無刷馬達	36
3.3.3 無刷馬達位置回授控制架構	37	3.3.2 無刷馬達速度回授的控制架構	36
.	37	3.4 線性馬達控制架構	37
.	41	第四章 感應馬達控制架構	41
構	41	4.2 座標轉換	55
組建立	78	4.3 感應馬達控制系統架	55
.	92	第五章 模擬與實作結果	92
.	92	5.1.1 驅動級保護模組	92
.	92	5.1.2 PWM電壓輸出模組	93
.	93	5.1.3 電流量測模組	93
.	95	5.1.4 位置量測模組	97
組	95	5.1.5 相位量測模	97
.	99	5.1.6 加減速控制模組	99
.	101	5.1.7 位置迴路控制模組	103
.	105	5.1.8 速度迴路控制模組	103
.	105	5.1.9 電流迴路控制模組	107
.	108	5.1.10 差分計算模組	107
.	108	5.1.11 相位分配模組	109
5.1.12 座標轉換模組	111	5.2 硬體實驗模組配置規劃	111
.	116	5.3 基本參數調整	119
.	119	5.3.1 馬達的基本參數	119
.	119	5.3.2 DSP控制模組中的馬達參數	119
迴路開環路測試	121	5.3.3 電流	119
.	123	5.3.4 電流迴路的閉環路設計	124
.	123	5.3.5 速度迴路的開迴路測試	124
.	124	5.3.6 速度迴路的閉環路測試	126
.	126	5.3.7 位置迴路的閉環路測試	128
擬	129	5.4 無刷馬達控制模	129
.	129	5.4.1 無刷馬達速度控制模擬之響應結果	129
5.4.2 無刷馬達位置控制模擬之響應結果	131	5.5 馬達控制實驗及結果	131
.	133	5.5.1 無刷馬達實驗	135
.	133	5.5.2 線性馬達實驗	135

.....	142	5.5.3 座標轉換實驗	.....	146	5.5.4 磁
場導向控制實驗	.....	150	5.5.5 感應馬達實驗	.....
.....	152	第六章 討論與未來研發建議	.....	155	文獻參考
.....	156	圖目錄	圖1.1 研究流程圖	.....	4
圖2.1 eMotion運動控制器實體圖	.....	5	圖2.2 系統示意方塊圖	.....
.....	6	圖2.3 eMotion系統架構	.....	7	圖2.4 eMotion馬達控制示意
圖	.....	7	圖2.5 單模組程式架構圖	.....	8
圖2.6 多	.....	9	圖2.7 鋸齒波產生方塊圖	.....
模組程式聯結架構	.....	10	圖2.8 SAE_WAVE.asm圖	.....	11
.....	12	圖2.10 testAVM. sys圖	.....	14	圖2.11
testAVM. MEM圖	.....	14	圖2.12 testAVM.VAR圖	.....
.....	15	圖2.13 eMotion之Telnet連線畫面	.....	16	圖2.14 eMotion 連線Matlab之畫面
.....	16	圖2.15 Simulink 函數庫的選取畫面	.....	18	圖2.16 新建 Simulink
模擬方塊操作畫面	.....	18	圖2.17 S-Function的參數設定視窗	.....	19
圖2.18自建Simulink馬達控制方塊函數庫	.....	19	圖3.1 無刷馬達等效電路圖	.....
.....	20	圖3.2 無刷馬達方塊圖	.....	25	圖3.3 無刷馬達機電架構
方塊圖	.....	26	圖3.4 無刷馬達電流控制架構方塊圖	.....	27
圖3.5 將速度積分得角度之無刷馬達方塊圖	.....	28	圖3.6 無刷馬達狀態流程圖	.....
.....	28	圖3.7 簡化無刷馬達方塊圖	.....	32	圖3.8 無刷馬達伺服控制
系統方塊圖	.....	32	圖3.9 電流控制迴路	.....	33
圖3.10 無刷馬達控制系統方塊圖	.....	35	圖3.11 無刷馬達電流回授控制系統方塊圖	.....
.....	36	圖3.12 無刷馬達速度回授控制系統方塊圖	.....	36	圖3.13 無刷馬達位置回授控
制系統方塊圖	.....	37	圖3.14 線性馬達示意圖	.....	38
圖3.15 線性馬達實體圖	.....	38	圖3.16 線性馬達驅動系統圖	.....
.....	40	圖4.1 感應電動機每相等效電路圖	.....	43	圖4.2 感應電動機之等效電路圖
.....	45	圖4.3 以定子側為參考的三相感應馬達每一相等效電路圖	.....	45	圖4.4 直流
馬達控制方塊圖	.....	47	圖4.5 定子電流空間向量圖	.....
.....	49	圖4.6 任意旋轉參考座標圖	.....	56	圖4.7 靜止參考座標
.....	57	圖4.8 座標轉換	.....	62	圖4.9 轉
子三相電流與靜止參考座標	.....	65	圖4.10 二維參考座標關係圖	.....
.....	67	圖4.11 直流馬達控制方塊圖	.....	79	圖4.12 轉子磁通位置圖
.....	87	圖4.13 轉子場導控制之感應馬達向量控制方塊圖	.....	89	圖4.14 感應
馬達速度控制方塊圖	.....	90	圖4.15 感應馬達位置控制方塊圖	.....
.....	90	圖4.16 感應馬達電流回授控制架構圖	.....	91	圖4.17 感應馬達速度控制架構圖
.....	91	圖5.1 驅動級保護模組方塊示意圖	.....	92	圖5.2 驅動級保
護模組方塊圖	.....	93	圖5.3 驅動級保護模組參數設定方塊圖	.....
.....	93	圖5.4 PWM電壓輸出模組示意圖	.....	93	圖5.5 PWM電壓輸出模組方塊圖
.....	94	圖5.6 PWM電壓輸出模組參數設定方塊圖	.....	95	圖5.7 電流
量測模組示意圖	.....	95	圖5.8 電流量測模組方塊圖	.....
.....	96	圖5.9 電流量測模組參數設定方塊圖	.....	97	圖5.10 位置量測模組示意圖
.....	97	圖5.11 位置量測模組方塊圖	.....	98	圖5.12 位置
量測模組參數設定方塊圖	.....	98	圖5.13 相位量測模組示意圖	.....
.....	99	圖5.14 UVW相位排列圖	.....	100	圖5.15 相位量測模組方塊圖
.....	100	圖5.16 相位量測模組參數設定方塊圖	.....	101	圖5.17 加減
速控制模組示意圖	.....	101	圖5.18 加減速控制模組方塊圖	.....
.....	103	圖5.19 加減速控制模組參數設定方塊圖	.....	103	圖5.20 位置迴路控制模組示意圖
.....	104	圖5.21 位置迴路控制模組方塊圖	.....	105	圖5.22 位
置迴路控制模組參數設定圖	.....	105	圖5.23 速度迴路控制模組示意圖	.....
.....	106	圖5.24 速度迴路控制模組方塊圖	.....	106	圖5.25 速度迴路控制模組參數設
定圖	.....	106	圖5.26 電流迴路控制模組示意圖	.....	107
圖5.27	.....	107	圖5.28 電流迴路控制模組參數設定方塊圖	.....
電流迴路控制模組方塊圖	.....	107	圖5.29 差分計算模組示意圖	.....	108
.....	108	圖5.30 差分計算模組方塊圖	.....	108	圖5.31 差分計算模組參數設定方塊圖
.....	109	圖5.32	.....	109	圖5.32

相位分配模組示意圖	110	圖5.33 相位分配模組方塊圖	110
.	110	圖5.34 相位分配模組參數設定方塊圖	110
圖5.35 二相旋轉(de-qe)座標至二相靜止(ds-qs)座標轉換示意圖	111	圖5.36 二相旋轉(de-qe)座標至二相靜止(ds-qs)座標轉換方塊圖	111
圖5.37 二相旋轉(de-qe)座標至三相靜止(as-bs-cs)座標轉換方塊圖	112	圖5.38 二相靜止(ds-qs)座標至二相旋轉(de-qe)座標轉換示意圖	112
圖5.39 二相靜止(ds-qs)座標至二相旋轉(de-qe)座標轉換方塊圖	113	圖5.40 二相靜止(ds-qs)座標至三相靜止(as-bs-cs)座標轉換方塊圖	113
圖5.41 三相靜止(as-bs-cs)座標至二相旋轉(de-qe)座標轉換方塊圖	114	圖5.42 三相靜止(as-bs-cs)座標至二相靜止(ds-qs)座標轉換方塊圖	115
圖5.43 滑差估測(Slip Estimation)方塊圖	115	圖5.44 硬體實驗模組配置	116
圖5.45 伺服界面電路方塊圖	117	圖5.46 伺服界面信號定義方塊圖	118
圖5.47 實驗之系統程式方塊圖	118	圖5.48 電流迴路開環路一階系統方塊圖	121
圖5.49 電流迴路開環路系統程式方塊圖	122	圖5.50 電流迴路閉環路系統程式方塊圖	122
圖5.51 速度開迴路系統方塊圖	125	圖5.52 速度迴路開迴路測試系統程式方塊圖	125
圖5.53 速度迴路閉環路測試系統程式方塊圖	126	圖5.54 位置迴路閉環路測試系統程式方塊圖	128
圖5.55 -a 速度命令波形	129	圖5.55 -b 電樞電流波形	130
圖5.55 -c 轉子轉速波形	130	圖5.56 -a 模擬位置命令波形	131
圖5.56 -b 轉子位置波形	131	圖5.56 -c 電樞電流波形	132
圖5.56 -d 轉子轉速波形	132	圖5.57 Matlab 之實驗畫面	134
圖5.58 FPGA程式下載之Telnet畫面	134	圖5.59 無刷馬達實驗硬體圖	135
圖5.60 無刷馬達開迴路電壓控制程式方塊圖	136	圖5.61 無刷馬達開路電壓波形	137
圖5.62 無刷馬達開迴路電流控制程式方塊圖	137	圖5.63 無刷馬達開迴路電流響應	137
圖5.64 無刷馬達閉迴路電流控制程式方塊圖	138	圖5.65 無刷馬達加入電流回授控制後的電流響應	138
圖5.66 無刷馬達閉迴路扭力控制程式方塊圖	139	圖5.67 無刷馬達閉迴路扭力控制輸出響應	139
圖5.68 無刷馬達閉迴路速度控制程式方塊圖	140	圖5.69 無刷馬達閉迴路速度控制輸出響應	140
圖5.70 無刷馬達閉迴路位置控制程式方塊圖	141	圖5.71 無刷馬達步階命令位置控制響應	141
圖5.72 線性馬達實驗硬體圖	142	圖5.73 線性馬達閉迴路扭力控制程式方塊圖	143
圖5.74 線性馬達閉迴路扭力控制輸出響應	143	圖5.75 線性馬達閉迴路速度控制程式方塊圖	144
圖5.76 線性馬達閉迴路速度控制輸出響應	144	圖5.77 線性馬達位置控制程式方塊圖	145
圖5.78 線性馬達位置控制響應	145	圖5.79 三相靜止座標至二相靜止座標轉換方塊圖	146
圖5.80 三相靜止座標至二相靜止座標轉換響應波形	146	圖5.81 二相靜止座標至二相旋轉座標轉換方塊圖	147
圖5.82 二相靜止座標至二相旋轉座標轉換響應波形	147	圖5.83 二相旋轉座標至二相靜止座標轉換方塊圖	148
圖5.84 二相旋轉座標至二相靜止座標轉換響應波形	148	圖5.85 二相靜止座標至三相靜止座標轉換方塊圖	149
圖5.86 二相靜止座標至三相靜止座標轉換響應波形	149	圖5.87 磁場導向控制閉迴路位置控制實驗方塊圖	150
圖5.88 磁場導向控制閉迴路位置控制實驗響應波形	150	圖5.89 磁場導向控制閉迴路速度控制實驗方塊圖	151
圖5.90 磁場導向控制閉迴路速度控制實驗響應波形	151	圖5.91 感應馬達實驗硬體圖	152
圖5.92 感應馬達閉迴路速度控制程式方塊圖	153	圖5.93 感應馬達閉迴路速度控制響應輸出圖	153
圖5.94 感應馬達閉迴路位置控制程式方塊圖	154	圖5.95 感應馬達閉迴路位置控制響應輸出圖	154
表目錄 表5.1 Kr值計算	120	表5.2 i值計算	126
表5.3 v值計算	122	表5.4 kp值計算	126
.	122	. . . . .	129

REFERENCES

[1] "FPGA 中的DSP核心設計", 俊原科技股份有限公司。

[2] 張智星, "Matlab程式設計與應用", 清蔚科技股份有限公司, 2000年2月。

[3] 鈦思科技股份有限公司 編著, "視覺化建模環境 Simulink入門與進階", 2001年11月, 初版一刷。

[4] 王偉修, 劉昌煥 著, "PC-Based 馬達控制器即時發展系統 Simu-Drive", 微鋒自動科技股份有限公司發行, 1998年。

- [5] 黃科憲, "永磁式同步電動機之效率改善", 碩士論文, 國立台灣科技大學電機系, 91年5月。
- [6] 許哲嘉, "永磁式同步電動機之參數調整", 碩士論文, 國立台灣科技大學電機系, 91年5月。
- [7] 邱森泰, "永磁式同步電動機伺服驅動系統之控制器參數調整", 碩士論文, 國立台灣科技大學電機系, 91年5月。
- [8] 劉昌煥 著, "電機機械", 東華書局, 92年5月, 第二版。
- [9] 劉昌煥 著, "交流電機控制", 東華書局, 92年5月, 第二版。
- [10] 林志一, 張嘉峰, 楊政達, 曾龍圖, "VisSim 動態系統模擬 與即時控制", 台科大圖書股份有限公司, 2002年9月初版。
- [11] 唐佩忠 "VHDL 與數位邏輯設計", 高立圖書有限公司, 91年8月1日, 四刷發行。
- [12] 黃英哲, 董勝源, "TMS320C240原理與C語言控制應用實習", 長高科技股份有限公司2002年8月初版。
- [13] "DSP C語言與Simulink界面聯結操作手冊", 俊原科技股份有限公司, 90年7月, Ver. 1.0。
- [14] 陳文耀 編著, "電動機控制工程", 復文書局, 1998年1月, 五版發行。
- [15] 孫樹威 譯, "電機機械-Applying MATLAB", 美商麥克羅 希爾國際股份有限公司台灣分公司, 2002年12月, 初版一刷。
- [16] 廖東成, 王順源 譯, "電動機控制", 台灣培生教育出版有限公司, 91年5月, 一版一刷。
- [17] 詹前茂 著, "電機驅動控制 理論與實驗", 新文京開發出版 股份有限公司, 92年8月, 初版。
- [18] 黃繼震, "全數位化馬達控制參數自調適技術研究報告", 經濟部科專計畫, 90年4月, Ver 1.0。
- [19] 林義讓, 林清樺 編譯, "線性搬運技術與應用", 全華科技圖書股份有限公司, 84年3月, 再版一刷。
- [20] 廖聰明, "無刷馬達變頻器模組研究", 中山科學研究院委託 計畫期末報告, 91年12月。
- [21] Peter Vas, "Vector Control of AC Machines", Oxford University Press, 1990.
- [22] D. W. Novotny and T. A. Lipo, "Vector Control and Dynamics of AC Drives", Oxford University Press, 1996.
- [23] Chee-Mun Ong, "Dynamic Simulink of Electric Machinery", Using Matlab/Simulink, Pearson Education Taiwan Ltd, 2003.