

# 目 錄

中文摘要 .....	I
英文摘要 .....	II
誌 謝 .....	IV
目 錄 .....	V
圖目錄 .....	VII
表目錄 .....	XI
第 一 章 緒 論 .....	1
1.1 研究動機 .....	1
1.2 文獻回顧 .....	2
1.3 本論文之貢獻 .....	3
1.4 本論文之內容概述 .....	3
第二章 內嵌式永磁同步電動機之數學模型與轉矩控制策略 .....	6
2.1 前言 .....	6
2.2 內嵌式永磁同步機之數學模式導演 .....	6
2.3 內嵌式永磁同步電動機之最大轉矩控制策略 .....	24
2.4 負載轉矩估測器 .....	28
第三章 新型鎖相迴路速度控制器 .....	37
3.1 前言 .....	37

3.2 鎖相迴路簡介.....	38
3.3 新型鎖相迴路控制策略.....	43
3.4 控制器設計準則.....	57
第四章 實體製作與實測結果.....	66
4.1 前言.....	66
4.2 功率電路製作.....	66
4.3 控制器製作.....	71
4.4 實測結果.....	76
第五章 結 論.....	85
參考文獻.....	87



## 圖目錄

圖 2.1 理想三相內嵌式永磁同步電動機之結構示意圖 .....	8
圖 2.2 理想三相內嵌式永磁同步電動機等效電路圖 .....	9
圖 2.3 $F_a$ 投影至直交軸之示意圖 .....	10
圖 2.4 永久磁鐵感應至 a 相繞組， $q_r$ 位置與 $I_{af}$ 之關係 .....	13
圖 2.5 內嵌式永磁同步機在同步座標下之數學模型等效電路 .....	21
圖 2.6 內嵌式永磁同步電動機在轉子座標下電氣與機械動態模型 .....	21
圖 2.7 轉子座標之直軸、交軸電流控制器 .....	23
圖 2.8 本篇論文所採用之轉矩控制策略 .....	27
圖 2.9 降階估測器方塊圖 .....	30
圖 2.10 本論文使用之負載轉矩估測器方塊圖 .....	34
圖 2.11 (a)為轉速響應，(b)控制器輸出，(c)估測之負載轉矩 .....	36
圖 3.1 鎖相迴路之基本架構 .....	39
圖 3.2 相位頻率偵測器之輸入輸出關係 .....	39
圖 3.3 電壓控制震盪器之輸入輸出關係 .....	40
圖 3.4 鎖相迴路速度控制器之架構圖 .....	40
圖 3.5 轉速命令 $100\text{rad/sec}$ ，轉子轉速 $90\text{rad/sec}$ 時相位頻率偵測器之輸出與其平均值 .....	42

圖 3.6 轉速命令 $100\text{rad/sec}$ ，轉子轉速 $95\text{rad/sec}$ 時相位頻率偵測	42
器之輸出與其平均值	42
圖 3.7 $f_r$ 頻率不同時相位頻率偵測器之平均輸出	43
圖 3.8 新型鎖相迴路速度控制器	45
圖 3.9 新型相位頻率偵測器	45
圖 3.10 虛擬相位差產生器之輸入輸出關係	46
圖 3.11 新型相位頻率偵測器於 $0 <  \Delta f  \leq \Delta f_M$ 時之數學模型	49
圖 3.12 新型相位頻率偵測器於 $\Delta f = 0$ 之數學模型	50
圖 3.13 $ \Delta f  > \Delta f_M$ 時之系統等效方塊圖	51
圖 3.14 $0 <  \Delta f  \leq \Delta f_M$ 時系統之方塊圖	54
圖 3.15 $0 <  \Delta f  \leq \Delta f_M$ 時將增益 $(\frac{K_e}{2p})$ 移至相位迴圈內之等效方塊圖	54
圖 3.16 將圖 3.15 中 $C_s(s)$ 與 $C_p(s)$ 合併之等效方塊圖	55
圖 3.17 新型鎖相迴路速度控制器只考慮相位誤差之等效數學	55
模型	55
圖 3.18 新型鎖相迴路速度控制下之轉速響應	58
圖 3.19 新型鎖相迴路速度控制系統於 $t_2$ 時間內之數學模型	61
圖 3.20 新型鎖相迴路速度控制器響應結果	65
(轉速命令 $100\text{rad/sec}$ )	65
圖 4.1 內嵌式永磁同步電動機驅動系統	67

圖 4.2 電流偵測電路.....	68
圖 4-3 轉速偵測電路 .....	69
圖 4.4 隔離驅動電路.....	70
圖 4.5 數位-類比轉換器電路圖 .....	71
圖 4.6 各週邊電路與數位訊號處理器之資料傳輸方塊圖 .....	73
圖 4.7 程式流程圖 .....	75
圖 4.8 內嵌式永磁同步電動機驅動器硬體電路雛型 .....	78
圖 4.9 內嵌式永磁同步電動機機電模組 .....	78
圖 4.10 轉子座標直軸電流之步階響應( $i_{ds}^{r*}=3.82A$ ).....	79
圖 4.11 轉子座標交軸電流之步階響應( $i_{qs}^{r*}=3.82A$ ).....	79
圖 4. 13 轉速步階響應與轉子座標直軸電流、交軸電流 .....	80
( $\omega_s = 239.7rad/sec$ , $T_{Load} = 0N\cdot m$ ).....	80
圖 4. 14 加載下之轉速步階響應與轉子座標直軸電流、交軸電流... 81	
( $\omega_s = 239.7rad/sec$ , $T_{Load} = 1N\cdot m$ ) .....	81
圖 4. 15 無載下，轉速命令 500rpm 之鎖相結果( $F_s=833Hz$ ,).....	81
圖 4. 16 無載下，轉速命令 1000rpm 之鎖相結果( $F_s=1667Hz$ ,) .....	82
圖 4. 17 無載下，轉速命令 2000rpm 之鎖相結果( $F_s=3333Hz$ ,) .....	82
圖 4. 18 無載下，轉速命令 3000rpm 之鎖相結果( $F_s=5000Hz$ ,) .....	83
圖 4. 19 有載下，轉速命令 500rpm 之鎖相結果( $F_s=833Hz$ ,).....	83

圖 4. 20 有載下，轉速命令 1000rpm 之鎖相結果( $F_s=1667\text{Hz}$ ,) ..... 84



## 表目錄

表 2.1 內嵌式永磁同步電動機之參數值表.....	35
表 3.1 速度伺服控制所需之規格 .....	57
表 3.2 電腦模擬速度伺服控制所需之規格.....	63

