

第四章 實體電路製作與實測結果

4.1 前言

本論文新型轉子磁場導向無感測器感應馬達驅動器之實現大可分為兩部分，硬體系統與控制軟體的設計，其中硬體系統包含了鼠籠式感應馬達及其負載、反流器及其驅動電路、電流偵測電路以及轉速偵測電路，並使用德州儀器公司(TI)所生產的 TMS320F2812 數位訊號處理器(DSP)作為控制器，以 C 語言撰寫軟體程式進行控制。並將整個系統分成數個模組方塊圖，以便於程式偵錯與維護。最後再加以整合測試，並記錄一些實測波形以驗證所提理論之正確性。

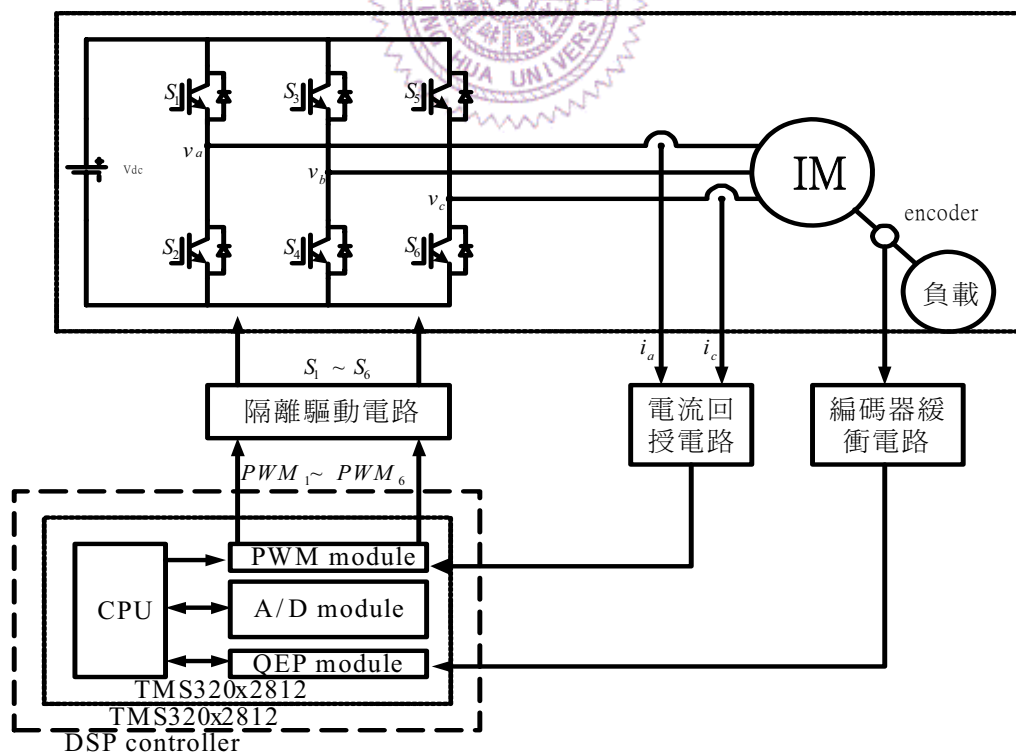


圖 4-1 感應馬達驅動系統

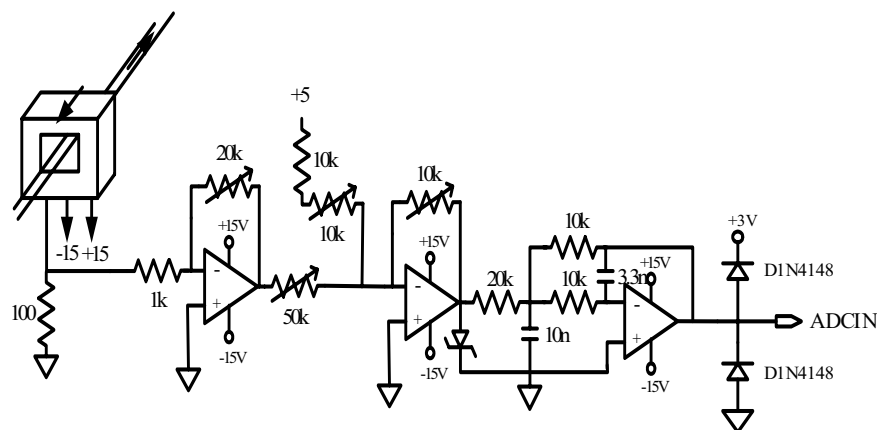
4.2 實體電路製作

在實體電路製作方面大概可分為(1)電流回授電路(2)編碼器緩衝電路(3)隔離驅動電路，而在控制電路部份，吾人採用 TI 所設計之數位訊號處理器(DSP TMS320F2812)為控制核心，以及其內建之副屬模組其中包含(1) PWM 模組(2)類比數位轉換器(ADC)(3)四象限編碼脈衝器(QEP)等周邊介面，另外因為 TMS320F2812 並沒有內建數位類比轉換器(DAC)所以吾人建構一個 12bit(0-4095)範圍為-10 伏特(在數位為 0)到 10 伏特(在數位為 4095)之數位類比轉換器。

電流回授電路:

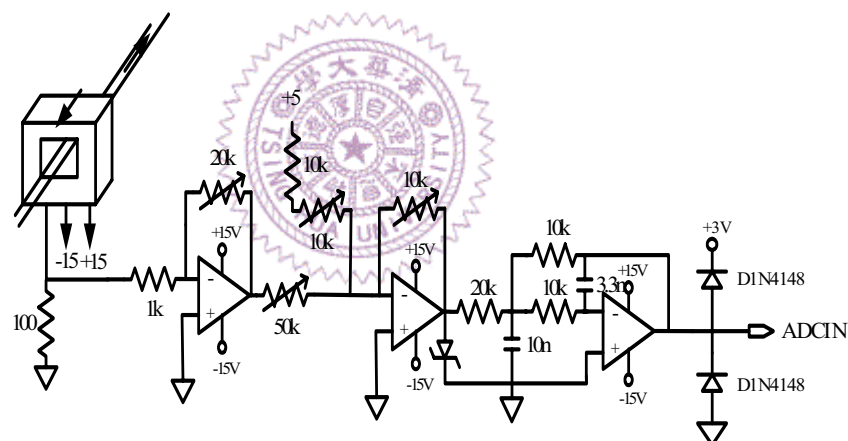
考慮輸入感應馬達的三相電流迴授偵測電路之實現，由於所使用的數位訊號處理器 TMS320F2812 已具有類比轉數位的功能，因此欲偵測三相電流作迴授即不用再增加額外的取樣電路，但是由於其內建類比數位轉換模組本身輸入範圍規定在 0 到 3 伏特，所以外界訊號要作輸入都須要作比例轉換才可以，因此為了完成電流迴授偵測電路，仍然要在數位訊號處理器外部增加一些界面電路，包括、準位調整、比例調整，及濾波電路，經過處理後的訊號才可以提供給數位訊號處理器，此外因為感應馬達基本上是屬於平衡三相系統，具有 abc 三相電流和為零的特性，因此為了減少硬體電路以增加系統的可靠度，僅取樣 a 相和 b 相電流訊號，而 c 相電流則是由 a 相和 b 相去合成，綜合上面所述，為符合 TMS320F2812 內建的類比數位轉換器的規格，使用圖(4-2)所示之電流偵測電路。此電路利用霍爾感測器(Hall Sensor)作為隔離之電流偵測，型號為 LA55-P 其規格如，接著第一級是比例調整是要將訊號線性放大，第二級是準位調整將訊號之零點調到 1.5 伏特，最後一級是為二階主動式濾波器濾除高頻諧波，經過上述處理後的訊號即可送到

TMS320F2812 內建的類比數位轉換模組作為電流迴授之數位訊號，但須注意的是在經過調整後的值進入數位轉換模組必須了解其代表的意義，才可以作數位訊號處理。



TL072

(a)



TL072

(b)

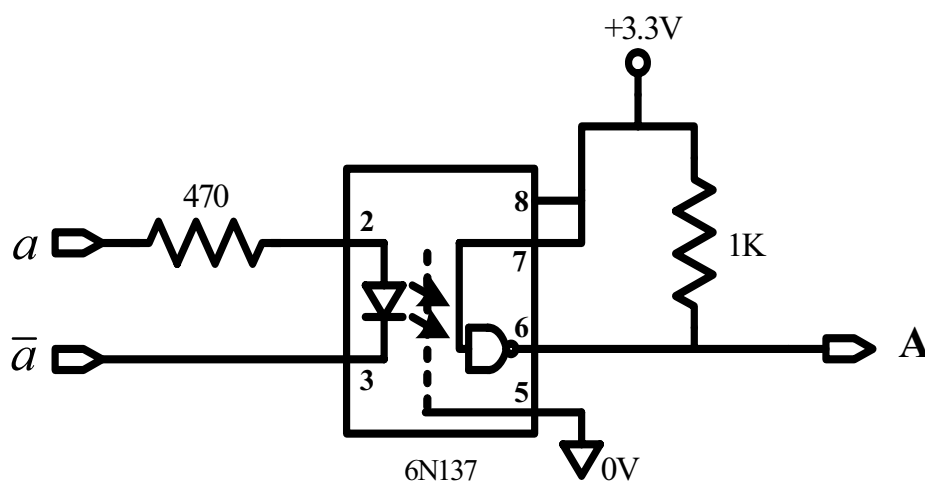
圖 4-2 (a) a 相電流偵測電路

(b) b 相電流偵測電路

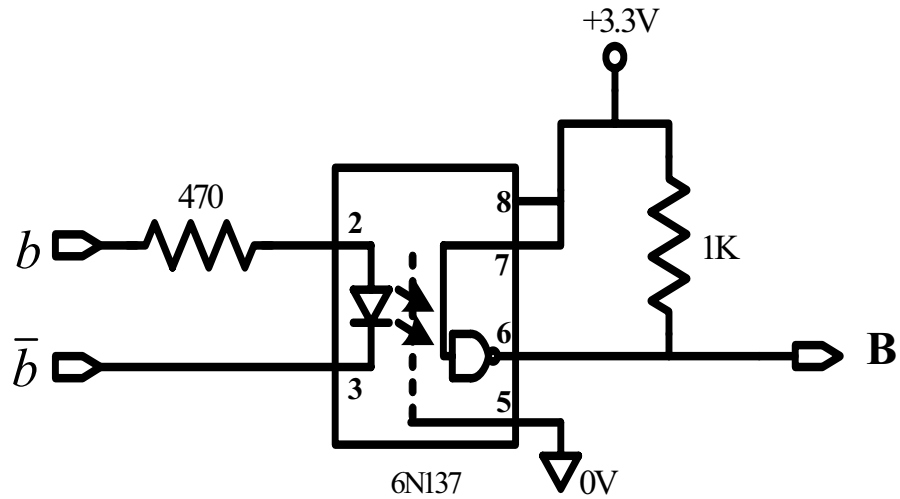
編碼器緩衝電路:

在感應馬達之轉速偵測部份，此感應馬達之轉子附有一顆轉速編碼器(Encoder)，使得轉子每旋轉一週能夠產生兩組 2000 個脈波的方波訊號(a 、 \bar{a} 及 b 、 \bar{b})而這兩組方波訊號為相差 90 度，正轉時為 a 領先 b

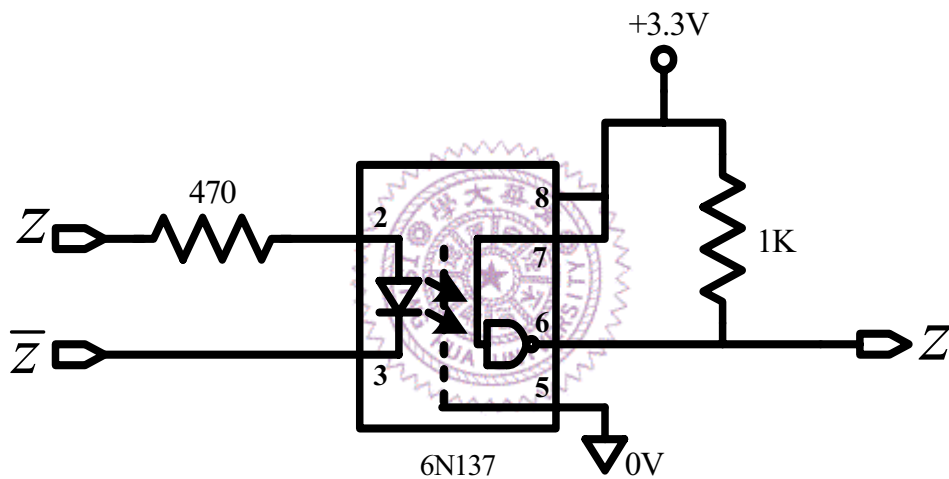
九十度此時轉速編碼器的計數器為向上數，反轉時為 b 領先 a 九十度此時轉速編碼器的計數器為向下數，及一組每旋轉一週能夠產生 1 個脈波的方波訊號(z 、 \bar{z})，提供給數位訊號處理器(DSP)之四象限轉速編碼器(QEP)單元做數位訊號處理，經過轉速編碼器(QEP)單元後轉子每轉一週在 DSP 內的計數器將從零計數到八千因為一週有 360 度所以其解析度為 360 除以八千，可看出有很高的解析度，然而此三組脈波訊號可能會因為馬達旋轉磁場的干擾或是類比電路的雜訊影響而造成轉速的估測誤差，這是因為如果解碼器所產生的方波太過失真將會使數位訊號處理器(DSP)之轉速解碼器(QEP)單元產生誤判而影響轉速偵測，所以在解碼器與數位訊號處理器(DSP)之間亦額外增加了一組介面電路，如圖(4-3)所示。此介面電路提供轉速解碼器(QEP)所需的 3.3 伏特直流電壓，並且使用了三顆高速光耦合 IC-6N137 作為類比電路和數位電路之間的隔離電路，因為隔離了類比端和馬達端的雜訊，所以可以獲得比較正確的轉速脈波。



(a)



(b)



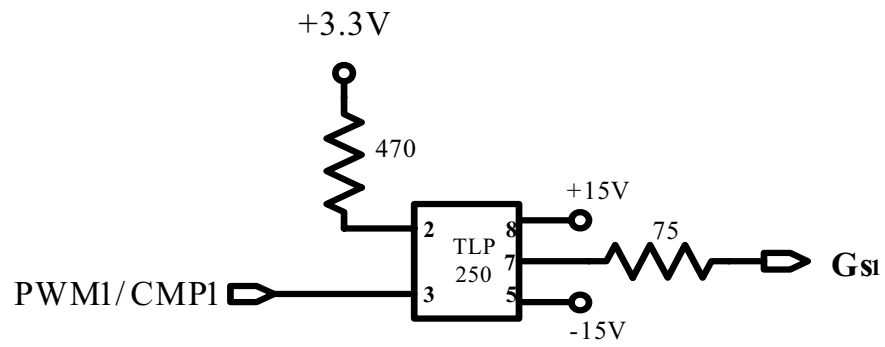
(c)

圖 4-3 轉速偵測電路

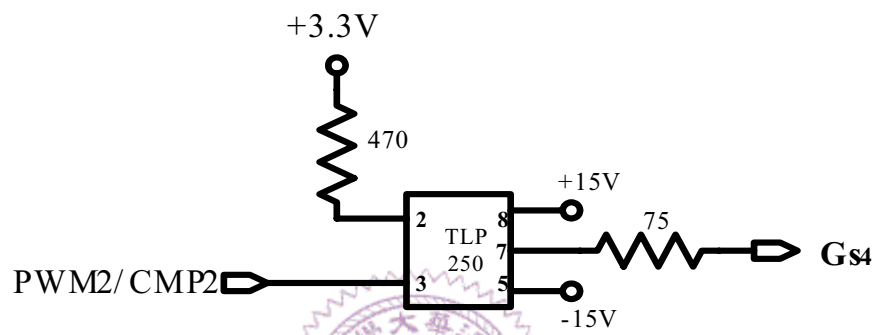
隔離驅動電路

隔離驅動電路的主要功能為使電力電路與閘極控制電路作一隔離功能，以避免因兩者共地而造成控制電路的損壞其次為 DSP 輸出之脈寬調變訊號為一 3.3V 之訊號，而該訊號之能力尚不足以驅動開關電路，因此需藉由隔離驅動電路提供一放大訊號之驅動訊號，以使轉換器能夠正確的工作，一般隔離驅動電路中訊號隔離元件可採用變壓器或光耦合元件，而吾人採用由 TOSHIBA 公司所開發之光耦合隔離器 TLP-250 作

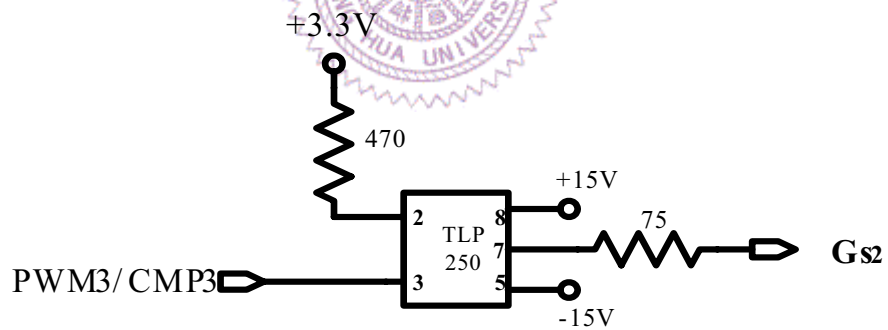
為隔離驅動電路之設計，如圖(4-4)所示。



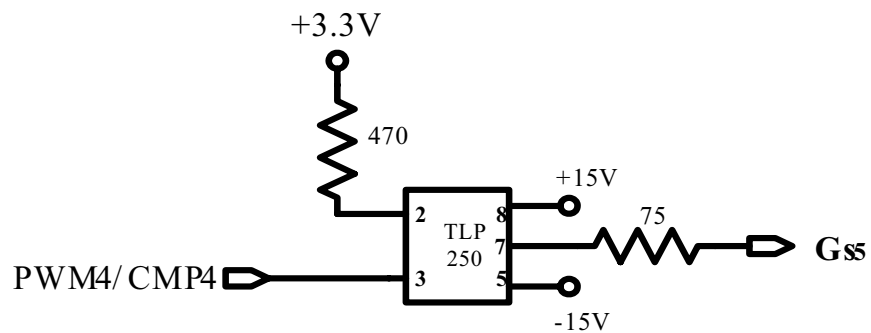
(a)



(b)



(c)



(d)

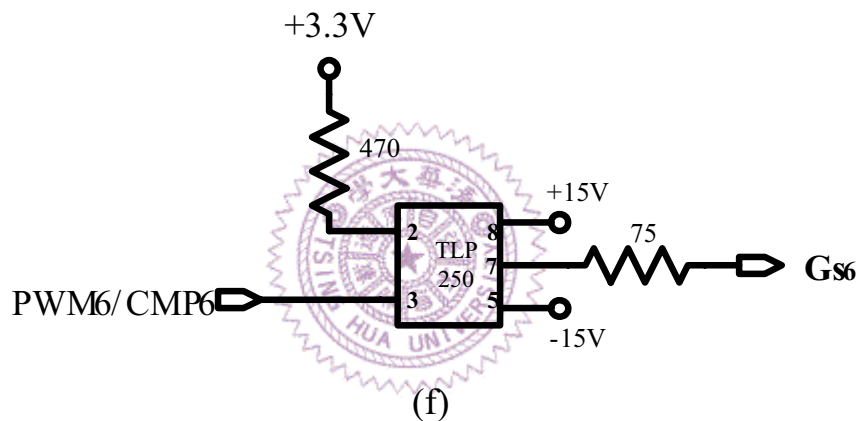
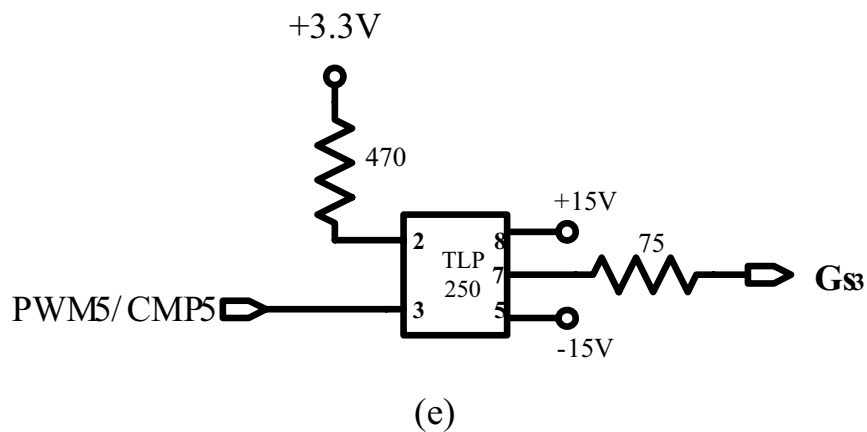


圖 4-4 開極隔離驅動電路

4.3 數位控制器設計

在數位控制器的實現上，類比控制電路常有：零件易隨使用時間耗損而老化、易受溫度變化而偏移及電路元件組成較複雜導致系統可靠度較低等缺點，而相對於類比控制電路，數位控制器則具有以下優點：(1)可重複藉由軟體修正系統設計，使系統升級容易(2)使用數位元件使系統的穩定性提高、飄移減少、雜訊隔離能力強(3)整合許多電路功能於 IC 晶片內，使得所需外部零件減少，縮小系統體積並降低成本。且隨著微控制器技術的進步，即發展出具有快速運算能力、高位元數、專為處理

數位信號之數位信號處理器(DSP)，且有不少 DSP 為專用場合應用而設計，如多媒體處理、通訊網路、馬達控制等，以德州儀器公司(TI)所設計 C2000 系列之 DSP，即屬於專為數位控制與馬達控制而設計，在此系列晶片上，即內建許多和數位控制相關之周邊支援設備因此吾人就選用 TMS320F2812 它是 TI 在 2X 系列的最新產品其具有強大的功能。TMS320F2812 是由 TI 公司所出品的一顆 32 位元混合信號 DSP 元件，可提供 150-MIPS 運算速度、單週期 32x32 位元乘法累加計算能力、256KB 內建快閃記憶體和晶片內建 12 位元類比數位轉換器(ADC)，以 32 位元 TMS320F28xTMDSP 核心為基礎，能夠高效率執行 C/C++ 程式，還享有一個虛擬浮點數學程式庫支援，可大幅減少應用發展的困難程度。而圖(4-5)所示為程式流程圖，其中包含主程式流程圖及中斷服務常式流程圖，在主程式運作中，主要是要將 DSP 作一些周邊之初始化的動作，其包含運作環境設定、控制演算中各項變數之初始值設定、ADC 模組之初始化設定、QEP 模組初始化設定、PWM 模組初始化設定、中斷服務常式控制暫存器設定和等待中斷迴圈等。在中斷服務常式中，主要由 GP timer 1 之連續上數/下數模式來產生周期中斷，而中斷頻率為 10KHz，當產生中斷後就馬上進入服務常式中，先抓取 A/D 轉換模組所儲存之訊號轉換結果，及讀取 QEP 暫存器儲存之結果，而 QEP 暫存器是參考 GP timer 2，最後將得到所有控制策略所須要之資訊，再進行一些數值轉換動作，例如標么化、Q 格式設定等等，將所有的數值轉成可供 DSP 運算之數值，之後便執行控制策略，並將控制器所得之結果轉回三相訊號，去和三角波做調變，進而產生 PWM 控制信號，經由 PWM 模組輸出開關切換信號給隔離驅動電路，再送到 IGBT 模組，這種過程一再返復的進行而其頻率為 10KHz，而當程式送出開關切換信號後就馬上離開此中斷服務常式，回到程式中斷點，去等待下一次中斷的產生。

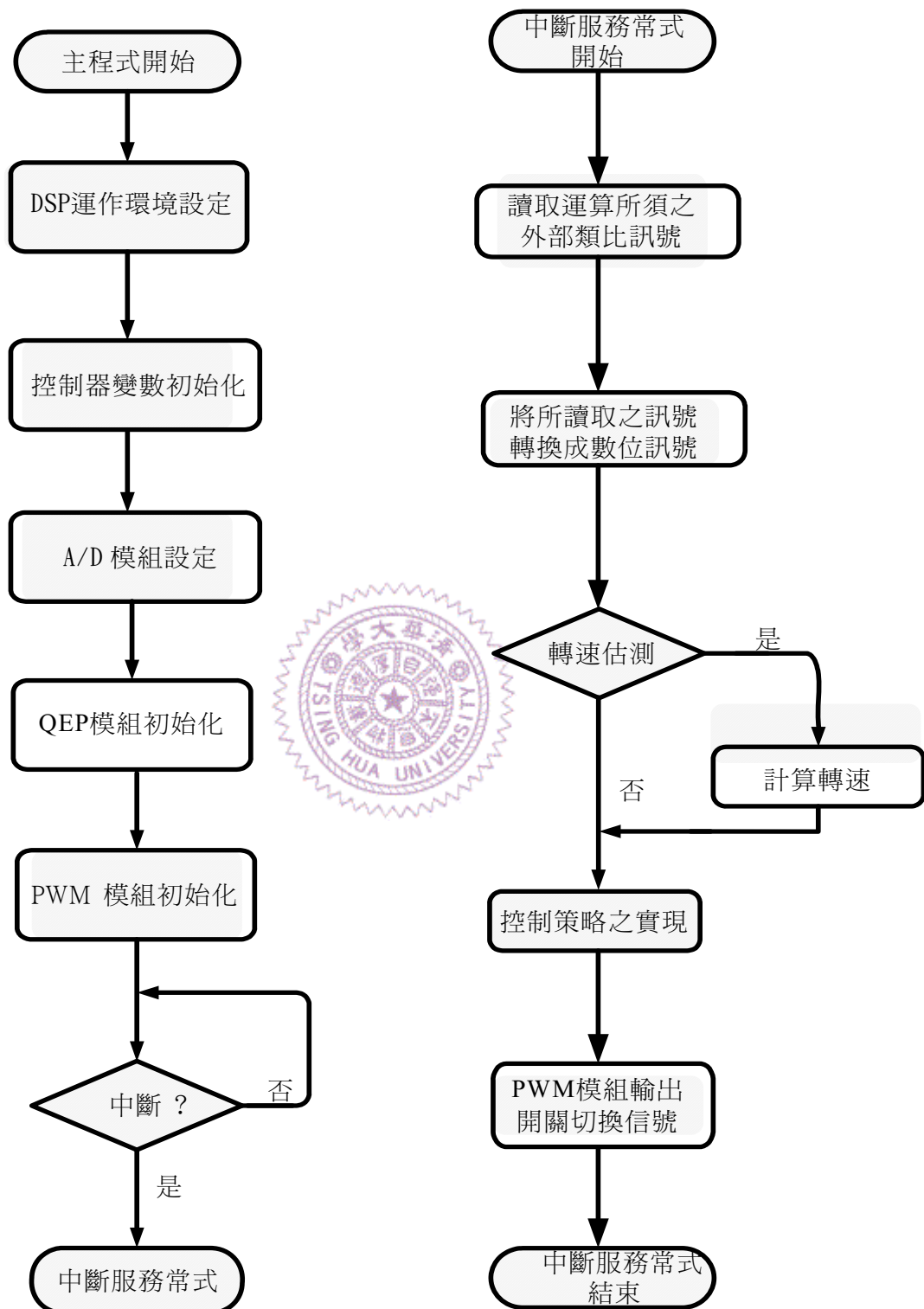


圖 4-5 DSP 控制器之程式流程圖

4.4 實測結果

為驗證本論文所提出之新型轉子磁場導向無感測器感應馬達驅動器之可行性，根據前兩節所規劃之各電路模組進行硬體電路之製作，及程式之撰寫，於製作完成後，先針對單獨電路進行測試，經確定功能無誤後再加以整合，最後完成新型轉子磁場導向無感測器感應馬達驅動器硬體電路雛形，如圖 4-6 所示。並利用其實際控制一感應馬達，及在馬達轉子側連結一永磁發電機做為負載，永磁發電機之輸出側連結一電阻性負載，藉由變動負載及轉子轉速來測試新型驅動器之控制能力，並量測暫態和穩態之轉速和電流波形，以印證本論文所提控制策略之可行性。

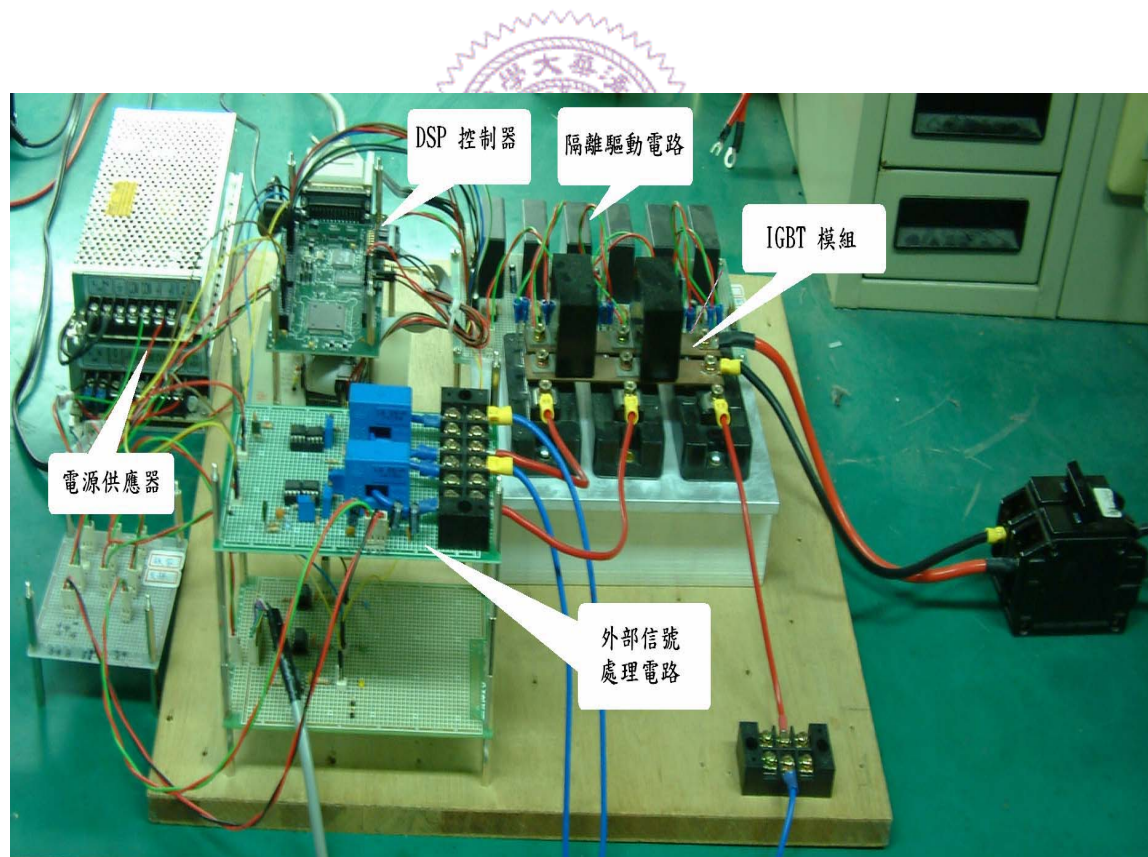


圖 4-6 新型轉子磁場導向無感測器感應馬達驅動器硬體電路

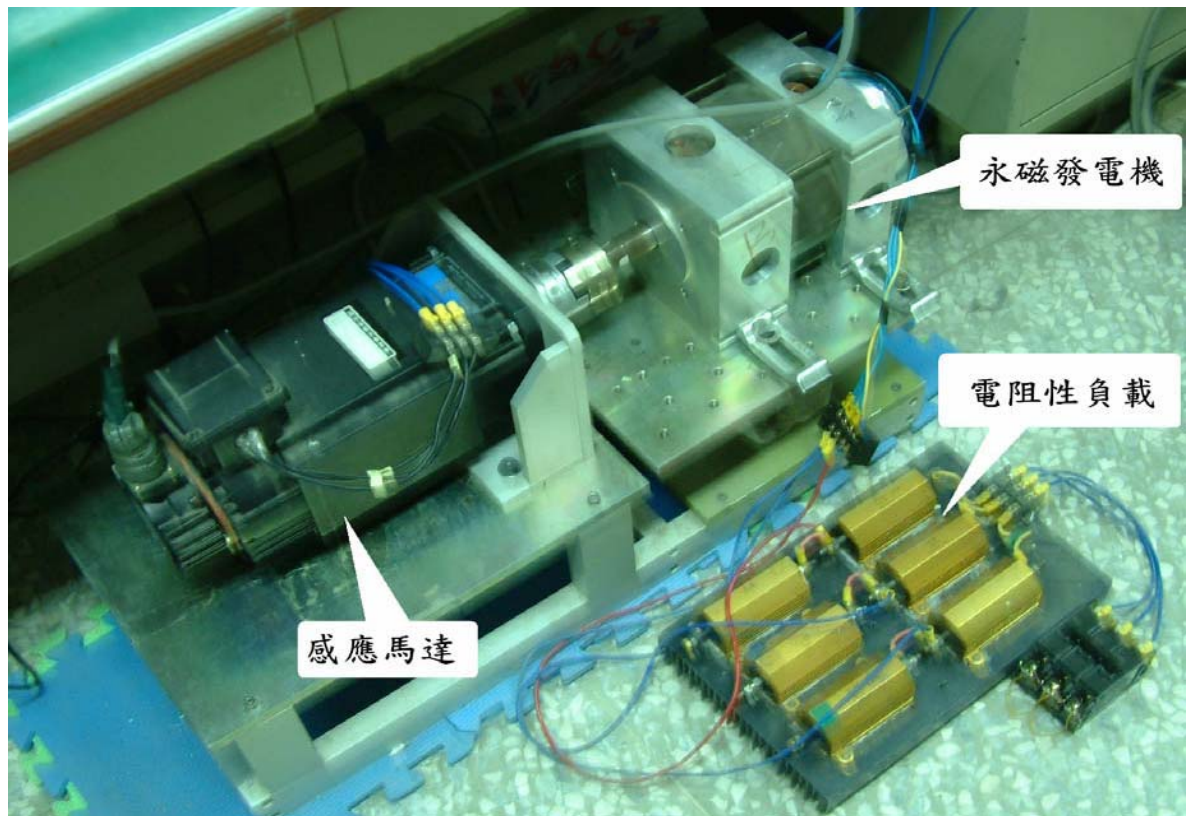


圖 4-7 感應馬達機電模組

圖 4-8、圖 4-9、及圖 4-10 分別為輕載下啟動到 900rpm，1500rpm 及 1800rpm，之轉子轉速、同步框直軸電流及交軸電流響應圖，為了達到柔性啟動之目地，由圖中可看出在尚未起動就先有直軸電流(i_{ds}^e)，此可事先建立起轉子磁場，再由圖中可看出從加速直到，到達轉速命令時之直軸電流並不受影，改變的只是交軸電流，此可以獲得瞬時轉矩響應，合乎轉子磁場導向之特性。

圖 4-11 為輕載下，在 900rpm 及 1500rpm 兩速率間作轉速變化，由圖中亦可看出直軸電流並不受影，而交軸電流跟隨著轉速響應作變化，証明感應馬達已在解耦合下操作。

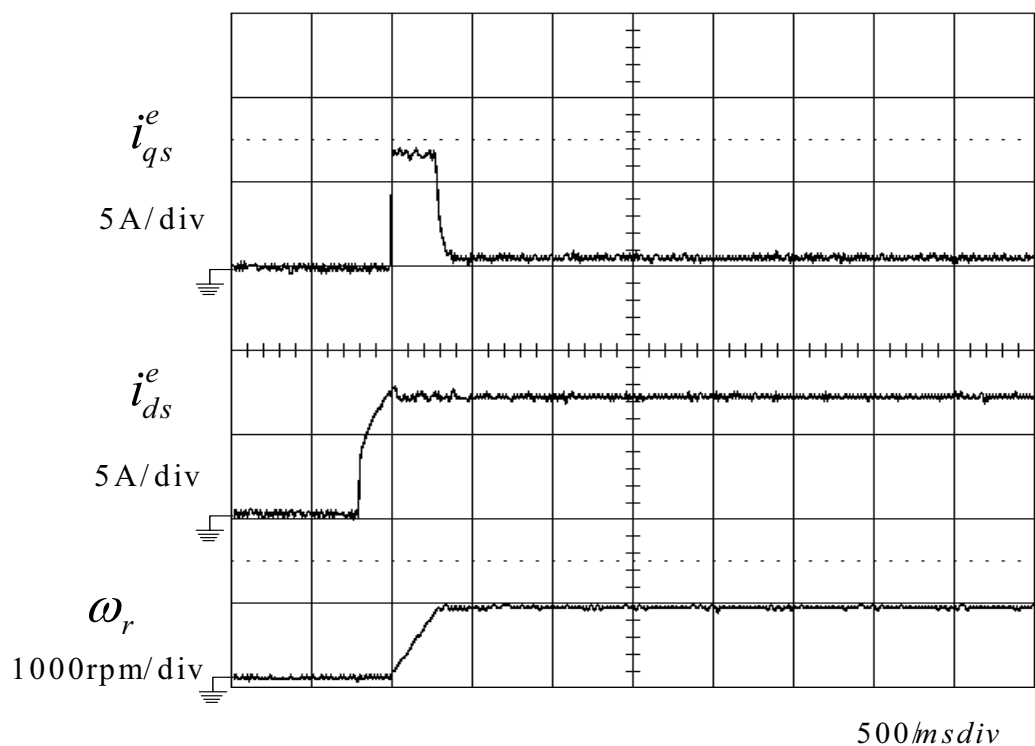


圖 4-8 輕載下啟動到 900rpm 之轉子轉速、同步框下

直軸及交軸電流響應圖

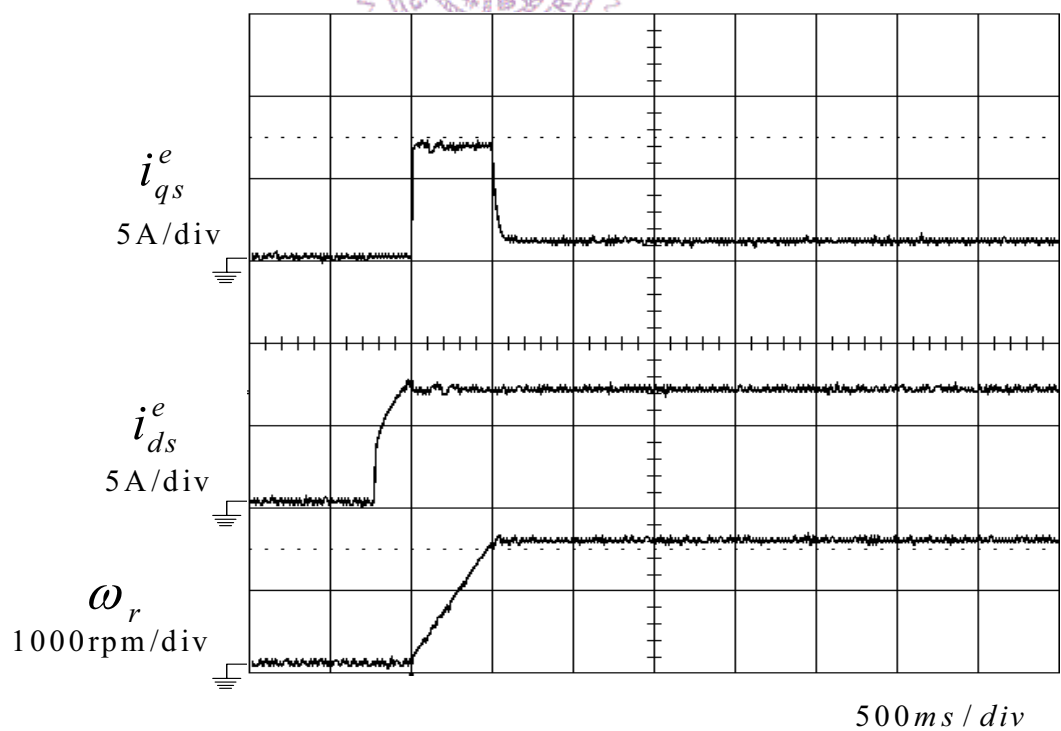


圖 4-9 輕載下啟動到 1500rpm 之轉子轉速、同步框下

直軸及交軸電流響應圖

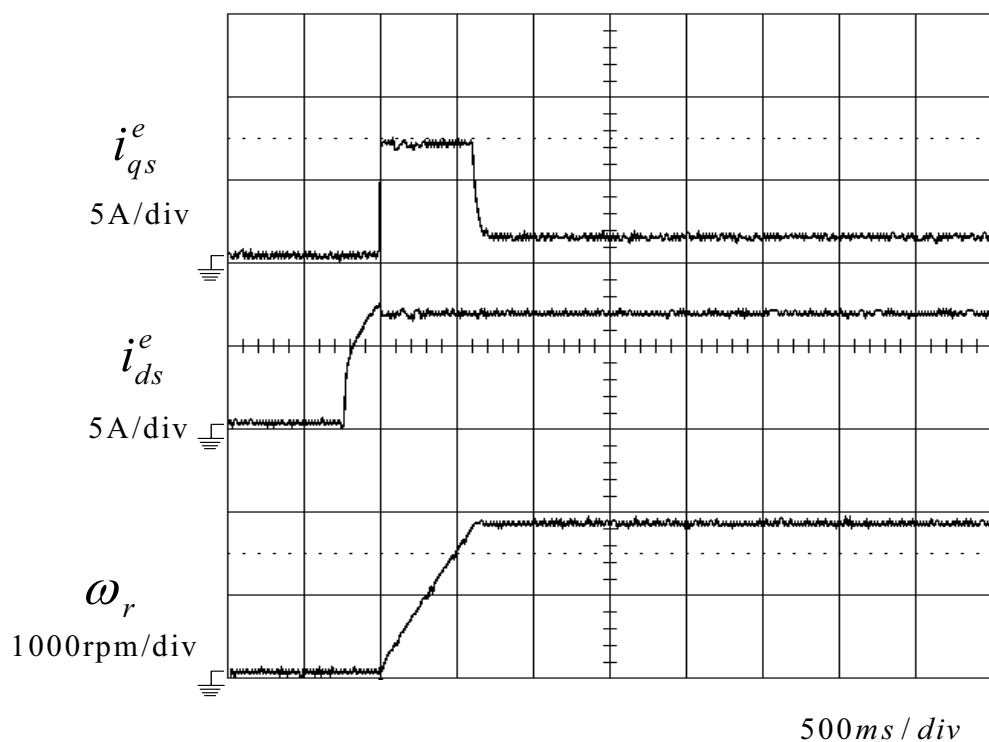


圖 4-10 輕載下啟動到 1800rpm 之轉子轉速、同步框下
直軸及交軸電流響應圖

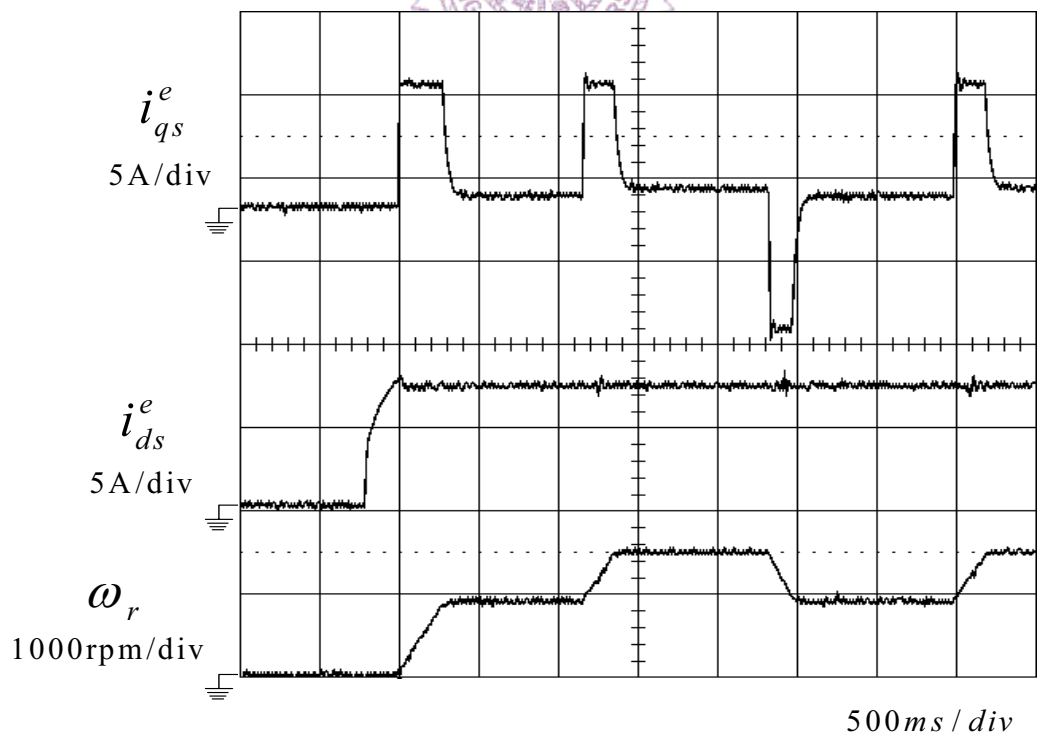


圖 4-11 輕載下變動轉速之轉子轉速、同步框下直軸
及交軸電流響應圖

圖 4-12 為從 0rpm 到 900rpm，且負載變化時之轉子轉速、同步框下之直軸與交軸電流，從交軸電流可看出負載變化的情形，而直軸電流可維持不變，再從轉子轉速可以看出其幾乎不受負載變化的影響，此即合乎轉子磁場導向之特性。

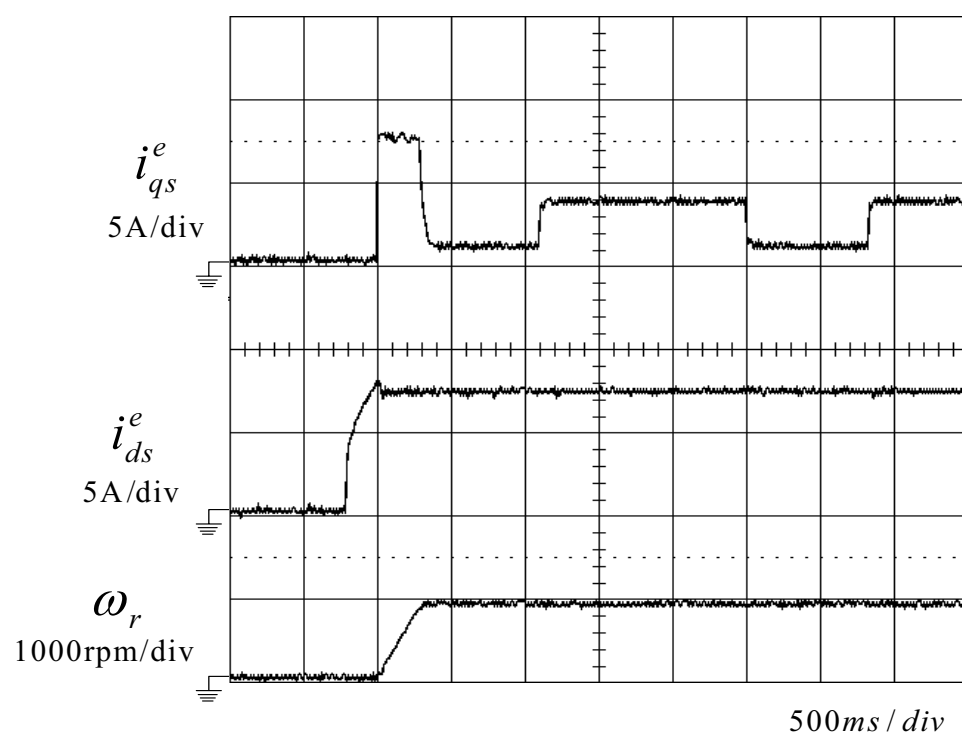


圖 4-12 於 900rpm 下負載變動之轉子轉速、同步框下直軸及交軸電流響應圖

圖 4-13 為從 0rpm 到 1500rpm，且負載變化時之轉子轉速、同步框下之直軸與交軸電流，從交軸電流可看出負載變化的情形，而直軸電流可維持不變，再從轉子轉速可以看出其幾乎不受負載變化的影響，此即合乎轉子磁場導向之特性。

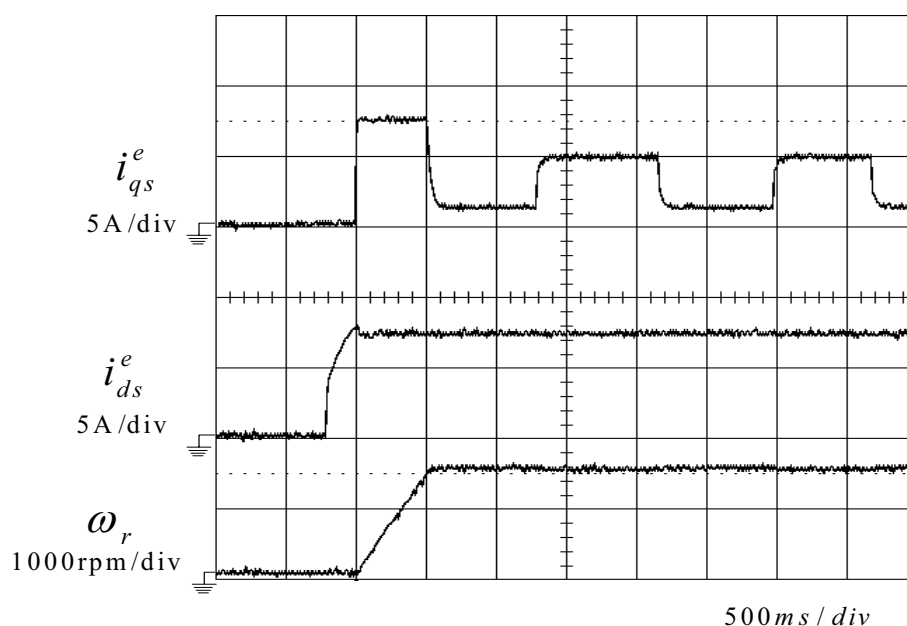


圖 4-13 於 1500rpm 下負載變動之轉子轉速、同步框下直軸
及交軸電流響應圖

圖 4-14 為從 0rpm 到 1800rpm，且負載變化時之轉子轉速、同步框下之直軸與交軸電流，從交軸電流可看出負載變化的情形，而直軸電流可維持不變，再從轉子轉速可以看出其幾乎不受負載變化的影響，此即合乎轉子磁場導向之特性。

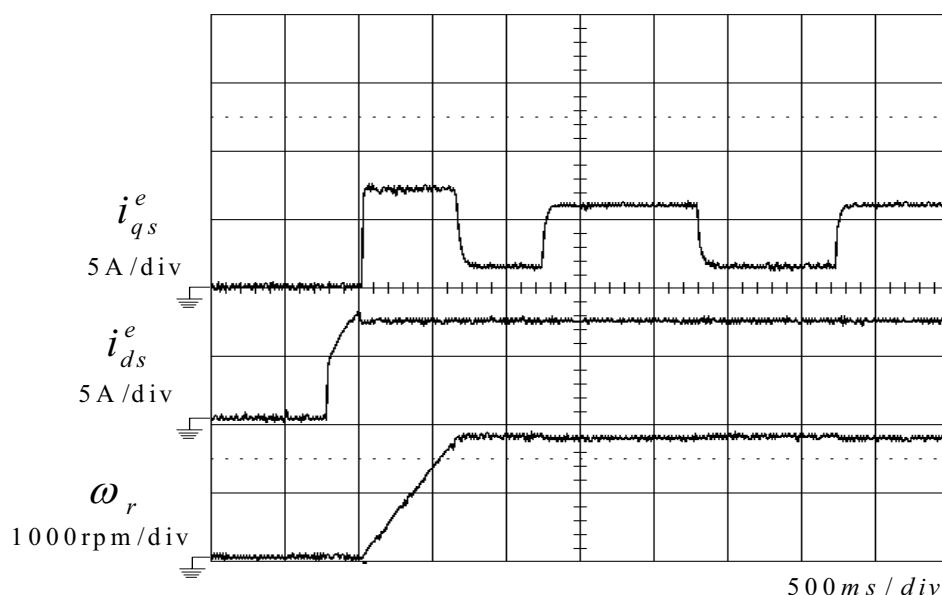


圖 4-14 於 1800rpm 下負載變動之轉子轉速、同步框下直軸
及交軸電流響應圖

圖 4-15 為從 0rpm 啟動到 900rpm 之估測轉速、實際轉速、同步框下之直軸與交軸電流、可看出實際轉速可追到轉速命令並且直軸電流並不受影，改變的只是交軸電流，此可以獲得瞬時轉矩響應，合乎轉子磁場導向之特性，証明本論文所提出估測理論之可行性。

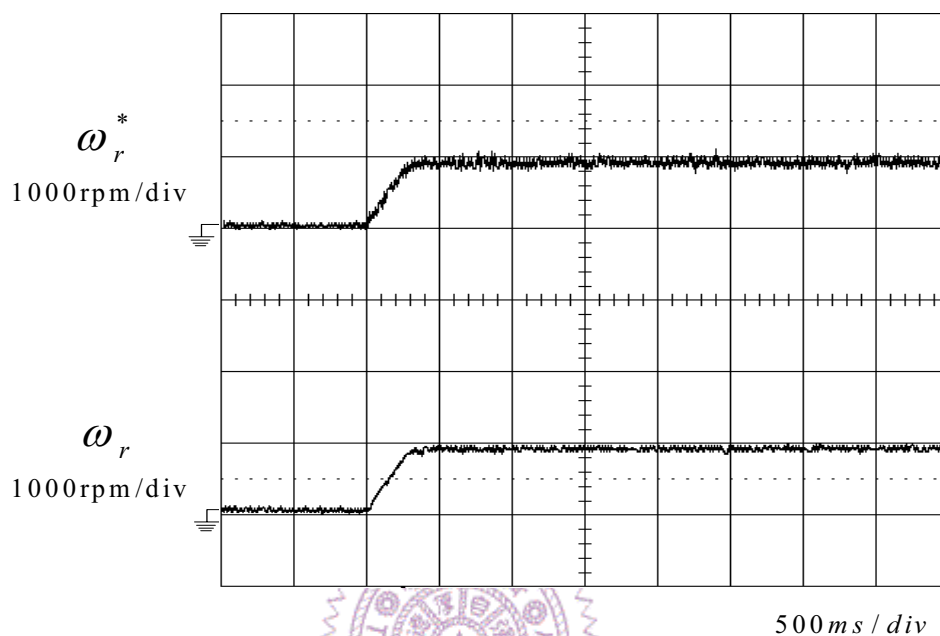


圖 4-15(a)輕載下啟動到 900rpm 之轉子估測轉速圖及實際轉速圖

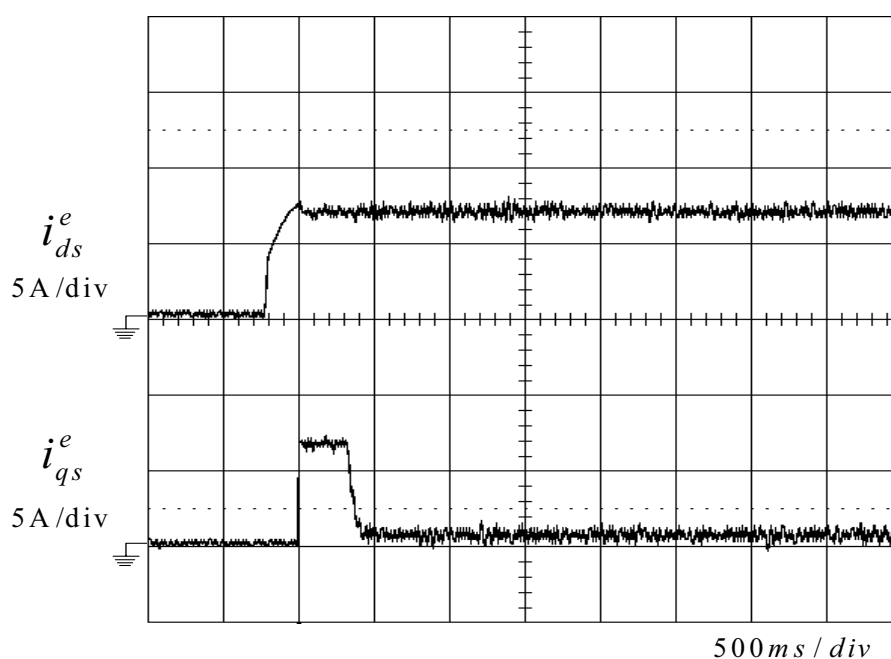


圖 4-15(b)輕載下啟動到 900rpm 之同步框下直軸與交軸電流

圖 4-15

(a)輕載下啟動到 900rpm 之轉子估測轉速圖及實際轉速圖

(b)輕載下啟動到 900rpm 之同步框下直軸與交軸電流

圖 4-16 為從 0rpm 啟動到 1800rpm 之估測轉速、實際轉速、同步框下之直軸與交軸電流、可看出實際轉速可追到轉速命令並且直軸電流並不受影，改變的只是交軸電流，此可以獲得瞬時轉矩響應，合乎轉子磁場導向之特性，証明本論文所提出估測理論之可行性。

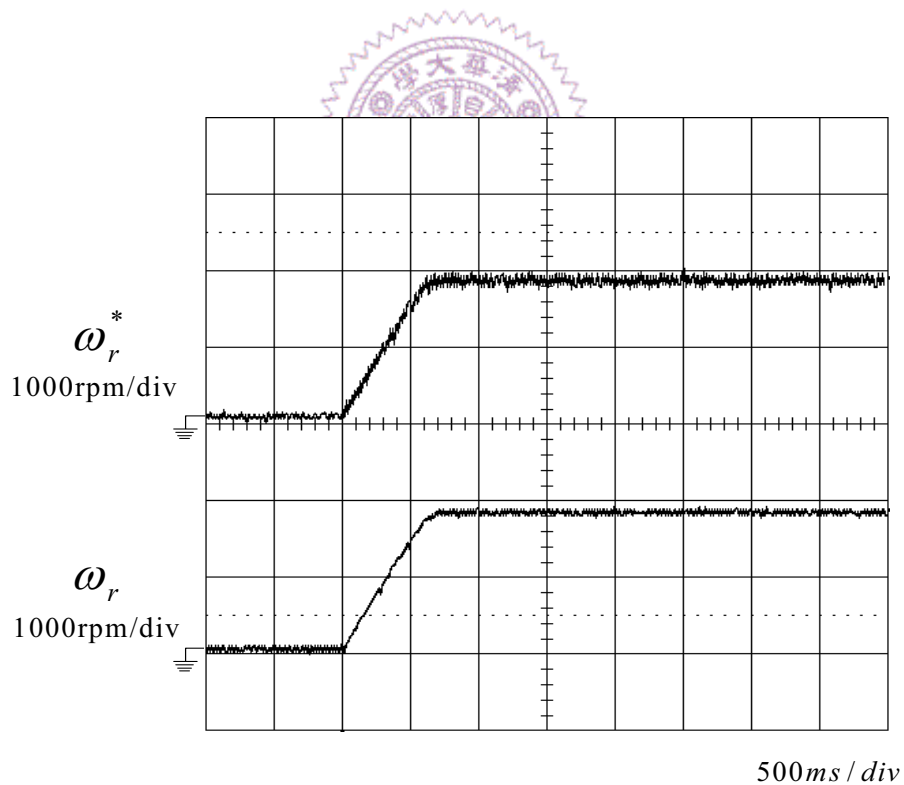


圖 4-16 (a)輕載下啟動到 1800rpm 之轉子估測轉速圖及實際轉速圖

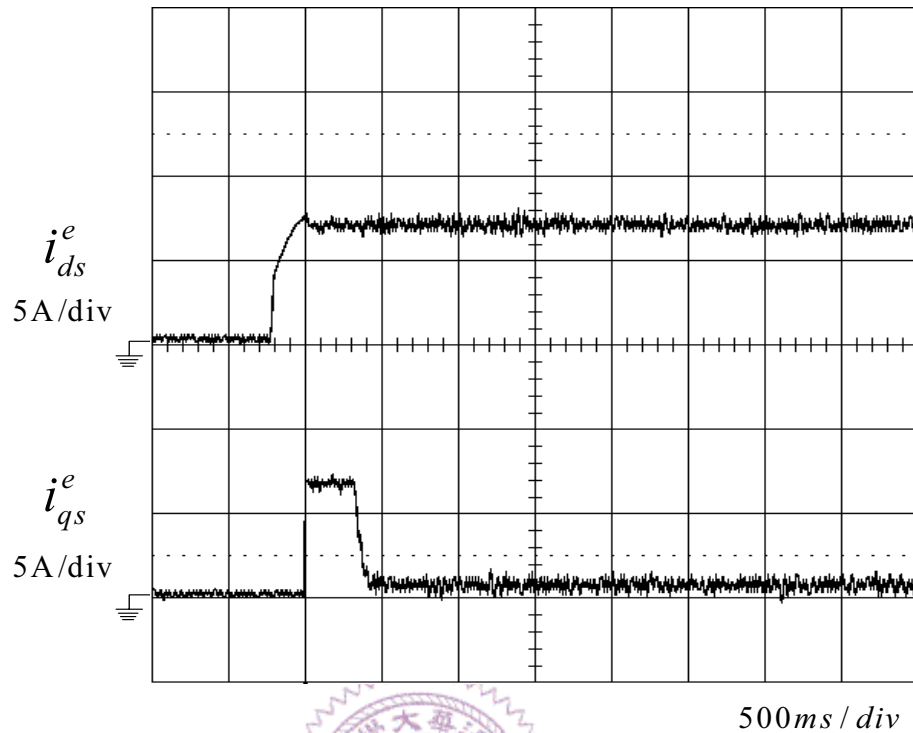


圖 4-16 (b)輕載下啟動到 1800rpm 之轉子估測轉速圖及實際轉速圖

圖 4-16

(a)輕載下啟動到 1800rpm 之轉子估測轉速圖及實際轉速圖

(b)輕載下啟動到 1800rpm 之同步框下直軸與交軸電流

從以上的幾個實驗結果可以得知本論文所提控制策略之可行性由轉子轉速實測圖可看出幾乎不受到負載變動所影響，而變動轉速之結果也顯示出其具有良好之性能，而從輸出的同步框下交軸與直軸電流可以得知其具有解耦合特性，從種種現象可以得知確實符合吾人預期的性能。