

國立交通大學
電機與控制工程學系
碩士論文

三相永磁馬達感應電動勢常數的新型鑑別方法

An Electromotive-force Constant Estimation for a Permanent
Magnet Synchronous Motor

研究生：謝孟勳

指導教授：林錫寬 博士

中華民國九十三年六月

誌謝

首先，我想感謝我的指導老師林錫寬教授，在研究所這兩年的生涯中，老師給了我很多的意見與指導。此外，老師在學術研究上所抱持的嚴謹態度、豐富的學識一直是我深感值得效法的典範。

其次，非常感謝林法正教授、張文中教授和蔡清元教授，在百忙之中來幫我進行論文口試，也感謝各位老師對本論文的建議與指正，以及對我個人的勉勵。感謝博士班王世杰學長、方志行學長與李宗原學長以及楊函帆、郭俊宏、林勝章和石富元幾位學長在我研究過程中對我的指導與建議，並感謝我的同窗好友俊傑、豪揚、維娜、得裕，與學弟俊杰、威勳、宇中、存堯、啓昌，陪伴我在實驗室做研究的日子中，給我的鼓勵和支持，使得我在研究所這兩年獲益良多。

最後，我更要感謝我的家人，他們在這段時間內不曾間斷的鼓勵和關懷，使得我能順利完成論文的撰寫。在此僅以本份論文的結果獻給我的家人與其他關心、幫助我師長及朋友，非常的感謝你們。

三相永磁馬達感應電動勢常數的新型鑑別方法

An Electromotive-force Constant Estimation for a Permanent Magnet Synchronous Motor

研究生 : 謝孟勳

Student : Meng-Hsun Hsieh

指導教授 : 林錫寬 博士

Advisor : Dr. Shir-Kuan Lin

國立交通大學
電機與控制工程學系
碩士論文

A Thesis
Submitted to Department of
Electrical and Control Engineering
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master
in
Electrical and Control Engineering
June 2004
Hsinchu, Taiwan, Republic of China
中華民國九十三年六月

三相永磁馬達感應電動勢常數的新型鑑別方法

研究生：謝孟勳 指導教授：林錫寬 博士
國立交通大學電機與控制工程學系

摘要

自從馬達被發明出來，經過不斷的改良與創新，現在馬達在工業界已經是一種不可或缺的重要元件，舉凡辦公室裡面的產品，幾乎都可看到馬達的存在，像是印表機，光碟機，掃描器 ... 等。因此，如何控制馬達便成爲一個重要的學問。

在三相永磁馬達的磁路參數中有一感應電動勢常數 K_{emax} (或稱扭矩常數) (在 m.k.s 制下感應電動勢常數 K_{emax} 等於扭矩常數 K_t)，關係到三相永磁馬達本身的性能、出力大小與可操作的工作轉速，所以不管是馬達設計者或是其使用者都非常在意它，若能事先量測，便可作爲設計三相永磁馬達控制器或挑選三相永磁馬達的參考。

本論文利用一種新的方法，利用讓馬達在單相旋轉時候的特性，將感應電動勢常數快速的計算出來。本實驗透過 ADDA 卡以及驅動 IC(BA6849) 來驗證此方法的可行性，並將此方法實際應用到產品的開發上，希望能加速馬達廠在檢測感應電動勢常數的時間，進而將其檢測感應電動勢列爲產品全部檢測的項目之一，以提高產品的品質。

An Electromotive-force Constant Estimation for a Permanent Magnet Synchronous Motor

Student : Meng-Hsun Hsieh

Advisor : Dr. Shir-Kuan Lin

Department of Electrical and Control Engineering

National Chiao Tung University

ABSTRACT

Since the motor is invented, through people's constant improvement and innovation, the motor becomes a kind of indispensable important component in the industry now. We can nearly all see the existence of the motor in the products inside all offices, it is like a printer, CD-ROM drive, scanner ,etc.. So, how to control the motor becomes an important knowledge.

There is a reaction EMF constant (or called the torsion constant)(the EMF constant under the metric system is Equal to the torsion constant) in the magnetic parameter of the permanent-magnet synchronous motor. It relates to value of the torque, rotational speed that can be operated, and the performance of the motor. So motor designer or user all take notice of it very much . If we can estimate it in advance, can be as a reference of designing the motor controller or selecting the permanent-magnet synchronous motor .

This thesis utilize one new method which is using the characteristic of the motor when let motor rotate in single-phase mode, to calculate the reaction EMF constant fast. This experiment use driver IC(BA6849) and an ADDA(Analog to Digital and Digital to Analog) card to verify the feasibility of this method, and apply this method to the products actually. Hope that can accelerate the time of motor factory's measuring the reaction EMF constant. And then motor factory can make the measuring reaction EMF constant to the list of all products should be measure . In order to improve the quality of the products.

目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
目錄	ii
圖例目錄	iv
表格目錄	vii
第一章 緒論	1
1.1 研究動機	1
1.2 論文架構	3
第二章 基本知識介紹	5
2.1 三相永磁馬達結構	5
2.2 三相永磁馬達旋轉原理	8
2.3 BA6849 驅動 IC 功能簡介 [14]	18
2.4 凌華科技 DAQ-2501 ADDA 卡功能簡介 [15]	23

第三章 實驗原理	29
3.1 公式推導	29
3.2 單相旋轉原理推導	34
3.2.1 原理	34
3.2.2 單相旋轉系統架構介紹	38
第四章 實驗方法	40
4.1 系統架構	40
4.2 實驗數據	42
4.2.1 測量數據計算	43
第五章 產品應用	46
5.1 系統架構	46
第六章 結論與未來發展	56
6.1 結論	56
6.2 未來發展	56
附錄 A 傳統方式簡介	58

圖例目錄

2.1	三相永磁馬達的轉子 (ROTOR) 與定子 (STATOR)[16]	6
2.2	三相永磁馬達內部接線圖 [16]	6
2.3	三相永磁馬達結構圖 [16]	7
2.4	θ_r 與 θ_s 示意圖	8
2.5	霍爾效應示意圖	9
2.6	三相永磁馬達中轉子與定子的展開圖	10
2.7	單相 K_t 圖 (橫軸單位 :degree , 縱軸單位 :g*cm/A)	11
2.8	任意通兩相電流的 K_t 圖 (橫軸單位 :degree , 縱軸單位 :g*cm/A)	11
2.9	霍爾感測器埋設點	13
2.10	霍爾感測器輸出訊號圖	14
2.11	120 度的轉矩漣波	15
2.12	Elementary measurement circuit.	15
2.13	霍爾感測器訊號圖	17
2.14	180 度的轉矩漣波	17
2.15	防止反轉電路 [14]	18
2.16	BA6849 內部系統方塊圖 [14]	19
2.17	BA6849 應用實例 [14]	20
2.18	BA6849 輸入輸出訊號圖 [14]	21
2.19	DAQ-2501	23

2.20	DAQ-2501 轉接板	24
2.21	DAQ-2501 轉接板接腳圖 [15]	26
3.1	三相永磁馬達 Y 接結構 (三線式)	29
3.2	三相永磁馬達的定子與轉子展開圖 $\theta_r = 0$	30
3.3	三相永磁馬達與其驅動器的接法	31
3.4	三相永磁馬達與其驅動器單相接法示意圖	32
3.5	K_{ta} 、 K_{tb} 、 K_{tc} 、 K_{tab} 、 K_{tbc} 、與 K_{tca} (橫軸單位 :degree, 縱軸單位 :g*cm/A)	35
3.6	扭矩常數與電流關係示意圖, $K_{tab} = K_t \sin(\theta_r - \frac{\pi}{2})$	35
3.7	BA6849 霍爾感測器 a 與 K_{tab} 關係圖 (橫軸單位 :degree, 縱軸單位 :g*cm/A)	37
3.8	輸入到 BA6849 的原始霍爾感測器訊號	38
3.9	輸入到 BA6849 的假造霍爾感測器訊號	39
3.10	改造電路示意圖	39
4.1	系統架構	40
4.2	系統流程圖	41
4.3	系統架構實現圖	42
4.4	外接電路板線路圖	43
4.5	外接電路板實作圖	44
4.6	單向操作時三相的電壓波形	44
4.7	$V_a + V_b - 2 \cdot V_c$ (ch1) 以及積分後的波形 (已經把 DC 偏壓值濾掉)(ch2)	45
4.8	$V_a + V_b - 2 \cdot V_c$ (ch1) 以及積分後的波形 (已經把 DC 偏壓值濾掉)(ch2) 關電流	45
5.1	測試機台系統流程圖	47
5.2	系統架構	48
5.3	開關箱內部關係圖	49

5.4	實作電路	51
5.5	第一塊電路板線路圖	52
5.6	第二塊電路板線路圖	53
5.7	視窗畫面	54
5.8	速度控制系統方塊圖	54
A.1	下線反電動勢量測法	59
A.2	待測三相永磁馬達與伺服馬達的接合方法	60
A.3	接合器具	60
A.4	套具套在三相永磁馬達上的情況	61
A.5	$\omega_r = 12000\text{rpm}$ 待測三相永磁馬達的線感應電動勢	62

表格目錄

2.1	三相永磁馬達結構說明表	7
2.2	電流切換點	12
2.3	霍爾感測器的邏輯表	14
2.4	180 度的換相時間表	16
3.1	BA6849 霍爾感測器與三相輸出電壓關係表	37

第一章

緒論

1.1 研究動機

三相永磁馬達又稱為三相同步馬達 (Permanent Magnet Synchronous Motor) 或三相直流無刷馬達 (DC Brushless Motor)。因為其控制性與響應性優越，所以廣被工業界所採用。依照三相永磁馬達輸出功率的大小，可將三相永磁馬達分類為大功率的三相永磁馬達與小功率的三相永磁馬達，本論文所討論的內容乃是針對小功率的三相永磁馬達，其應用範圍如辦公室產品中的光碟機，硬碟機 ... 等的主軸馬達。

在三相永磁馬達的磁路參數中有一感應電動勢常數 K_{emax} (或稱扭矩常數) (在 m.k.s 制下感應電動勢常數 K_{emax} 等於扭矩常數 K_t)，其在三相永磁馬達的電氣數學模型與機械數學模型中所扮演的角色如式 1.1、1.2 所示：

數學模型

$$\begin{bmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_s & -M & -M \\ -M & L_s & -M \\ -M & -M & L_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{i}_a \\ \dot{i}_b \\ \dot{i}_c \end{bmatrix} + \frac{2\omega_r K_{emax}}{P} \begin{bmatrix} \cos(\theta_r) \\ \cos(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta_r + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

機械模型

$$T_e = K_t \left(i_a - \frac{i_b}{2} - \frac{i_c}{2} \right) \cos(\theta_r) + \frac{\sqrt{3}}{2} (i_b - i_c) \sin(\theta_r) = \frac{2J}{P} \dot{\omega}_r + \frac{2B_m}{P} \omega_r + T_L \quad (1.2)$$

由式 1.1，因為驅動器所提供的最大電壓固定，假如我們選用的三相永磁馬達的感應電動勢常數 K_{emax} 太大，將會影響到驅動器所輸出的電流大小（因為內電阻電感以及轉子極數都固定）。

由式 1.2，如果我們想要在固定電流的情況之下，能有更高的轉矩，則我們就必須挑選 K_t 值比較大的三相永磁馬達。

因此，感應電動勢常數 K_{emax} 關係到三相永磁馬達本身的性能、出力大小與可操作的工作轉速，所以不管是馬達設計者或是其使用者都非常在意它，若能事先量測，便可作為設計三相永磁馬達控制器或挑選三相永磁馬達的參考，因此有許多研究都在討論如何準確的估測扭矩常數 [1][2][3]。

一般最常被人用來量測轉矩常數的方式 [1] 如以下所述，是待測三相永磁馬達在不接任何驅動器的情況下，被另一顆伺服馬達帶動旋轉；此鑑別方法所需要注意的要點為伺服馬達必須要能精確的鎖住速度，且需要讓伺服馬達與待測三相永磁馬達互相對心對準，否則將會傷害到兩顆馬達，接著量取待測三相永磁馬達的任兩相的感應電動勢，只要可以測得線電壓的波形，就可間接估測出 K_{emax} 。

此方法的缺點：

- 一．需要有另一伺服驅動系統；
- 二．精密的速度感測器；

三. 待測三相永磁馬達需要與伺服馬達對心連接，相當的不方便，且耗費較多的時間。

本論文利用一種新的鑑別方式，其優點有

- 一. 不需要外掛一顆伺服馬達；
- 二. 不需鎖定三相永磁馬達旋轉速度；
- 三. 可以不用更換定子，只需快速更換轉子，即可進行檢測，因為此參數的變化在於轉子充磁的大小；
- 四. 中間不需要有與伺服馬達對心的步驟。

利用讓三相永磁馬達在單相旋轉時候的特性，將感應電動勢常數快速的計算出來。本實驗透過 ADDA 卡以及驅動 IC(BA6849) 來驗證此方法的可行性，並將此方法實際應用到產品的開發上，希望能加速馬達廠在檢測感應電動勢常數的時間，進而將其檢測感應電動勢列為產品全部檢測的項目之一，以提高產品的品質。

1.2 論文架構

本篇論文總共分爲六章，其中第一章將說明研究的方向；第二章將介紹本實驗所需用到的相關知識；第三章將說明新的鑑別方法；第四章將介紹實驗系統和實驗結果的內容；第五章將介紹將此理論應用到產品的開發；第六章將做一個的討論與總結。

本論文架構可分爲六大章節，分述如下，

第一章 緒論。 先對研究背景及動機進行說明。

第二章 基本知識介紹。 說明三相永磁馬達的內部構造與啓動原理，以及實作時所用到控制卡的基本功能，還有 driver IC BA6849 的基本功能介紹。

第三章 實驗原理。 對本論文所採用的理論以及實驗方法作詳細的推導與介紹。

第四章 實驗方法。 介紹系統實作環境，並展示硬體電路以及成果。

第五章 產品應用。 將此理論應用到產品的開發。在此提出一些基本的功能，以及鑑別的流程。

第六章 結論與未來發展。 將討論本系統之改善，比較其他鑑別的方式，並提出未來產品開發的改進方向及建議。

第二章

基本知識介紹

爲了使讀者對本論文的實驗有更深入的了解，在此將對三相永磁馬達的結構、驅動方式以及一些相關原理以及知識作基本的介紹，讓讀者能清楚了解之後的理論推導與實做的方法。

2.1 三相永磁馬達結構

我們選用的三相永磁馬達(如圖 2.1 所示)是 9 槽 12 極的三相永磁馬達(內部定子有九個槽，外部轉子有 12 極)；外部轉子每極所佔的角度是 30 度，由永久磁鐵所構成；內部的定子則是鐵心繞上線圈，鐵心兩邊的線圈各佔 5 度，因此每槽所佔的機械角度爲 30 度，槽與槽的中心點相距 40 度，其中的空隙爲纏繞線圈的空間；透過霍爾元件感測轉子與定子的相對位置，改變線圈電流的流動方向，產生一正向的扭矩，推動外部轉子，讓三相永磁馬達能夠朝同一方向旋轉。三相永磁馬達內部的接線圖如圖 2.2，細部結構如圖 2.3，其內部各元件的名稱如表 2.1。

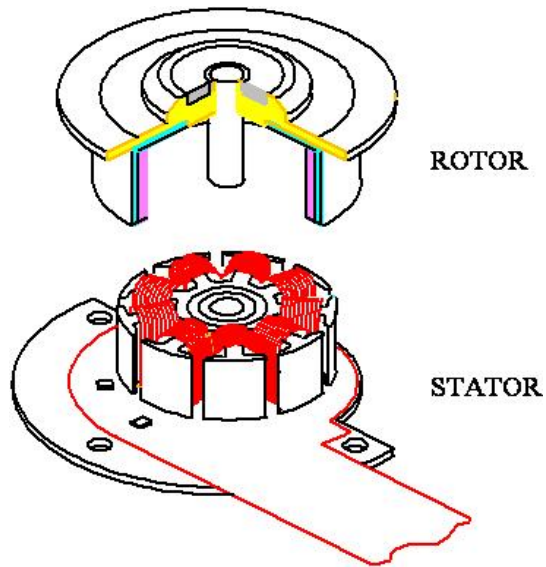


圖 2.1: 三相永磁馬達的轉子 (ROTOR) 與定子 (STATOR)[16]

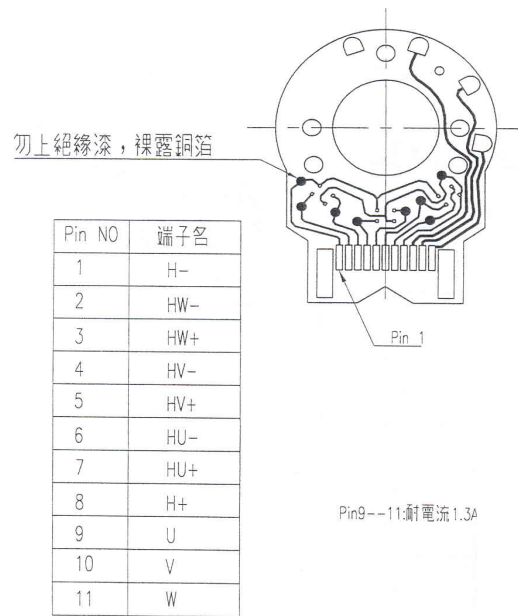


圖 2.2: 三相永磁馬達內部接線圖 [16]

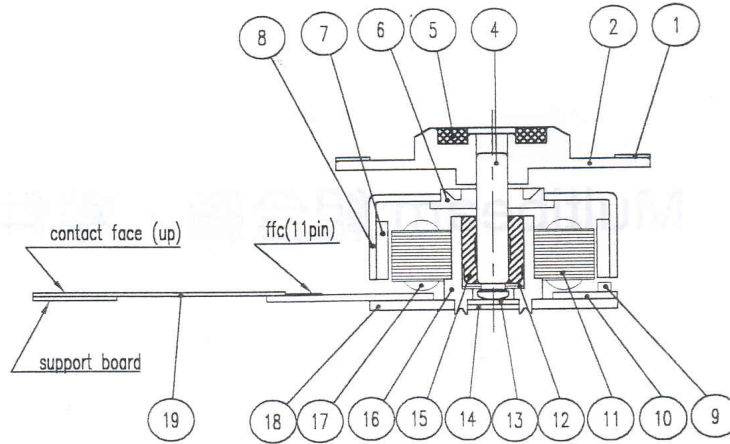


圖 2.3: 三相永磁馬達結構圖 [16]

NO.	物件名稱	QTY	NO.	物件名稱	QTY
1	止滑片	1	11	鐵心	1
2	承座基座	1	12	防拔扣	1
4	主軸	1	13	摩擦片	1
5	Hub磁石	1	14	止推片	1
6	軛鐵套	1	15	含油軸承	1
7	磁石	1	16	軸承套	1
8	軛鐵	1	17	漆包線	1
9	霍爾元件	3	18	底板	1
10	PCB板	1	19	FFC	1

表 2.1: 三相永磁馬達結構說明表

2.2 三相永磁馬達旋轉原理

三相永磁馬達外部轉子是由永久帶磁物質所構成，若欲使轉子轉動則必須要使內部定子的磁場依照轉子的位置改變。藉由在內部的定子上繞線圈，用外界的輸入電流造成電磁場的改變，因此而產生轉矩，但內部定子已經固定住，，因此產生了一個反作用力推動外部轉子，所以才能使三相永磁馬達旋轉。在此先複習一下基本觀念，在往後談到相關的知識更能駕輕就熟：

扭矩常數 K_t 我們定義轉子與定子的位置如圖 2.4

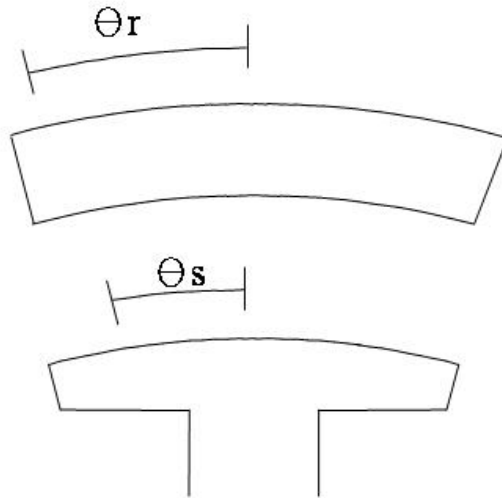


圖 2.4: θ_r 與 θ_s 示意圖

根據弗來明左手定律

$$F = I \cdot L \times B \quad F = N \cdot I \cdot L \times B \text{ (若有 } N \text{ 匝) 其中}$$

I 定義為線圈上的電流

L 定義為線圈上受磁場感應的有效長度

B 定義為磁通密度

三相永磁馬達扭矩則為 $T = F \cdot r = N \cdot I \cdot L \times B \cdot r = K_t \cdot I$ 其中

K_t 定義為扭矩常數

r 定義為力臂

因為 B 與 θ_r, θ_s 的角度有關 $B = B(\theta_r, \theta_s) = B_{max} \cdot \cos[P/2(\theta_r - \theta_s)]$ 其中

P 定義為轉子上永久磁鐵的磁極數

θ_r 定義為轉子上對定子中點的角度差

θ_s 定義為定子上某一點對定子中點的角度差

經由推算以後，我們得知三相永磁馬達的扭矩常數 K_t 會隨著轉子轉動而成 \sin 波變化。 $K_t = 6 \cdot N \cdot B_{max} \cdot L \cdot r \cdot \sin(P\theta_r/2)$

霍爾效應

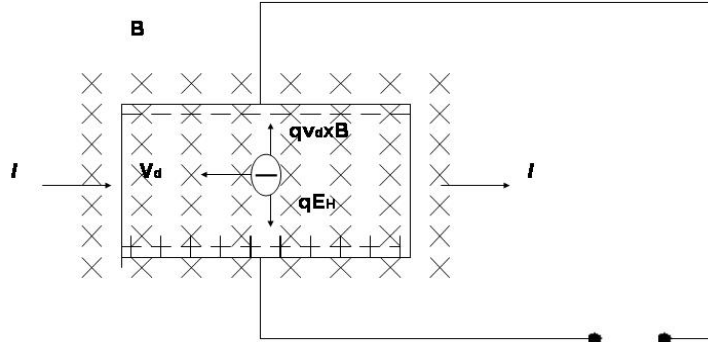


圖 2.5: 霍爾效應示意圖

圖 2.5 為說明霍爾效應的原理，當導體在磁場的附近感應到電位差時，因為電子的流動與磁場的感應會造成橫向的電動勢，此電動勢與磁場的大小變化有關。霍爾效應說明如下：

通電流經一導電材料，施加一和電流垂直之均勻磁場，在電流兩側和磁場垂直方向可量得一電位差，此效應稱為霍爾效應。(如圖 2.5)

驅動方式

對於三相永磁馬達，通常採用的驅動方式有 120 度方波驅動以及 180 度方波驅動。

[120 度六步方波的驅動原理]

我們定義三相永磁馬達的轉子與定子的初始位置如圖 2.6

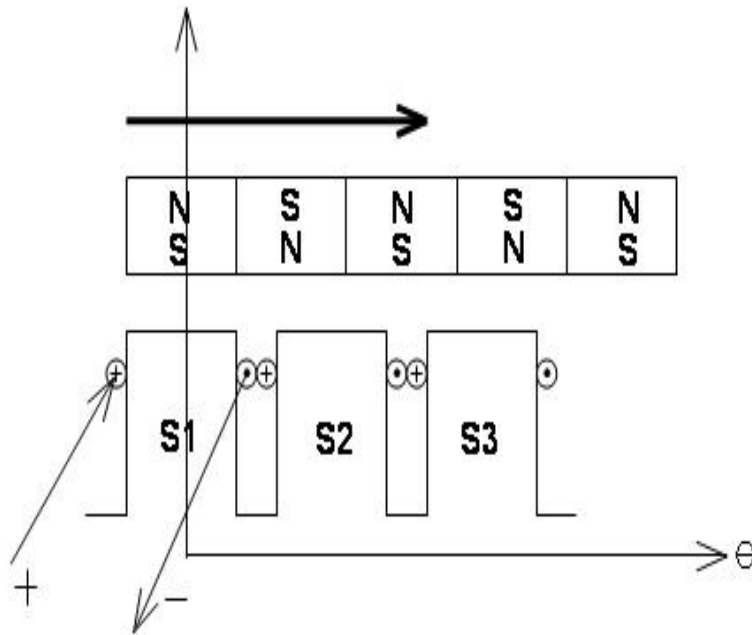


圖 2.6: 三相永磁馬達中轉子與定子的展開圖

圖 2.7 為當三相永磁馬達旋轉時，分別在 S1,S2,S3 三個定子的位置，所量到 K_t 隨著電氣角與機械角變化的波形圖（電氣角 / 機械角 = pole 的數目 / 2 = 6，所以電氣角跑了 360 度，機械角只跑了 60 度，也就是說馬達只轉了 60 度）

圖 2.8 為 S1,S2,S3 三個定子任意通兩相電流的情況下（一個為輸入端，一個為輸出端，另一端為開路）， K_t 隨著電氣角與機械角變化的波形圖。

若要使三相永磁馬達的輸出轉矩維持在最大值，由公式 $T = K_t \cdot I$ 知道，我們必須要將 K_t 維持在最大值，因此藉由圖 2.8 的波形圖我們可以整理切換

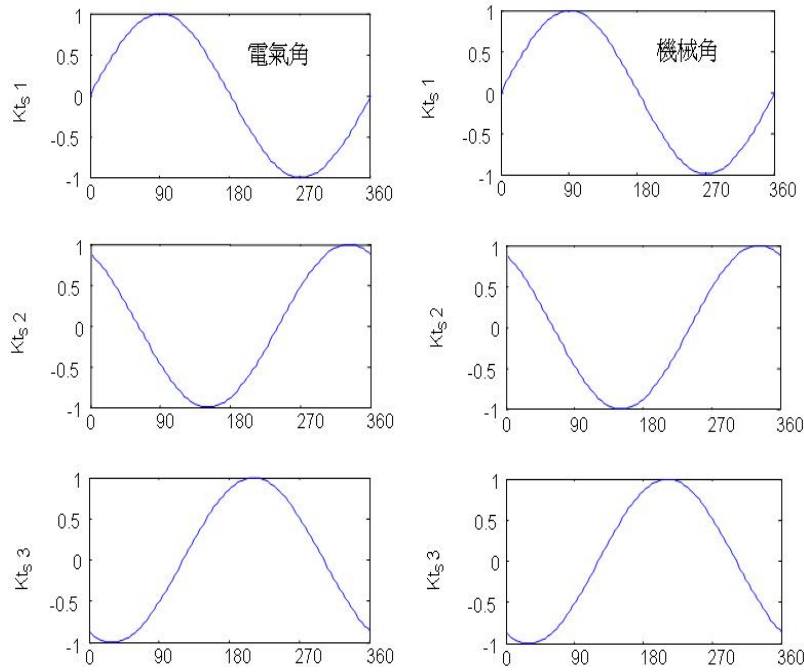


圖 2.7: 單相 K_t 圖 (橫軸單位 :degree , 縱軸單位 :g*cm/A)

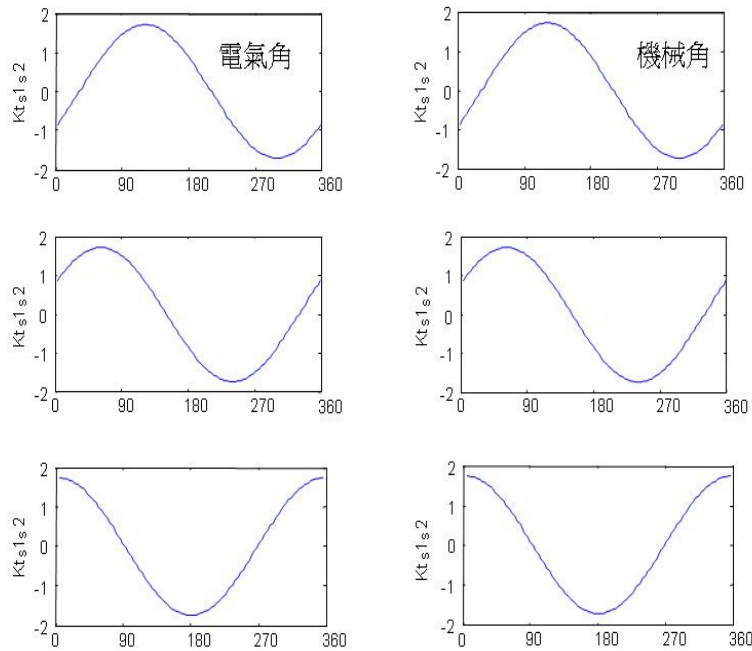


圖 2.8: 任意通兩相電流的 K_t 圖 (橫軸單位 :degree , 縱軸單位 :g*cm/A)

電流的時間點如表 2.2

狀態	通以電流方向	選擇電氣角度
狀態一	S2→S3	[-30,30]
狀態二	S1→S3	[30,90]
狀態三	S1→S2	[90,150]
狀態四	S3→S2	[150,210]
狀態五	S3→S1	[210,270]
狀態六	S2→S1	[270,330]
狀態一	略	略
關鍵切換點 -30,30,90,150,210,270		

表 2.2: 電流切換點

例如在電氣角 [-30,30] 間要使 K_t 在最大值，因此選擇通電流方向為 $S2 \rightarrow S3$

在電氣角 [30,90] 間要使 K_t 在最大值，因此選擇通電流方向為 $S1 \rightarrow S3$

我們透過霍爾感測器來偵測電氣角的位置，此感測器最重要的功能是在無接觸的狀況下感應到磁場的變化，進而確定轉子與定子的相對位置；此霍爾感測器乃是利用著名的霍爾效應（Hall effect）將磁場變化產生的感應電流透過電壓的形式表現出來。在推算出關鍵切換點後，我們就可以將霍爾感測器埋藏在切換點（如圖 2.9 所示），再利用霍爾感測器得到的邏輯訊號，判斷三相永磁馬達的轉子位在哪一個狀態點，然後在改變三相的電壓值。

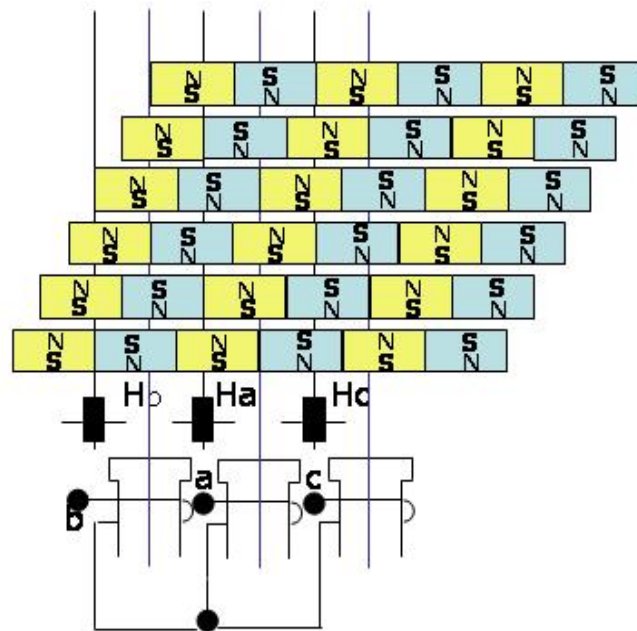


圖 2.9: 霍爾感測器埋設點

經過觀察，我們發現將霍爾感測器埋藏在各個定子的中間點，剛好和切換的時間點重合。可以經由霍爾感測器的換相得知正確的切換時間，以達到最大的扭矩輸出。圖 2.10 是分別是由埋藏好的 H_a ， H_b 以及 H_c 所量測到的霍爾感測器輸出訊號圖。

藉由霍爾感測器的輸出訊號圖，可以整理出如表 2.3 的 6 個狀態。

我們可以透過霍爾感測器知道三相永磁馬達在哪一個狀態點後，再利用電流的切換，便可以達到最大轉矩（如圖 2.11）。

[180 度六步方波的運轉原理]

此方法與 120 度六步方波類似，只是將三相電流，使其兩相為輸入，另一相為輸出；或者使其兩相為輸出，另一相為輸入，因此可以找到六種狀態，同理，為了使 K_t 維持在最大值，以得到最大轉矩，所以我們將六種狀態的 K_t 訊號圖，合在一起比較，藉由圖 2.12 我們便可以得到需要進行換相的電氣角度。

由圖 2.12 可以整理出表 2.4

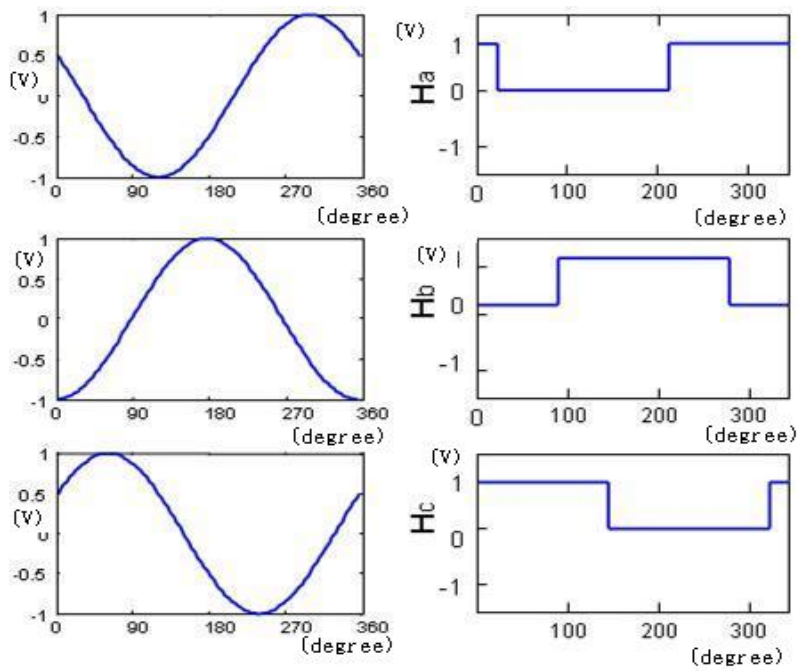


圖 2.10: 霍爾感測器輸出訊號圖

狀態	S1	S2	S3	Ha	Hb	Hc
狀態一	open	+	-	H	L	H
狀態二	+	open	-	L	L	H
狀態三	+	-	open	L	H	H
狀態四	open	-	+	L	H	L
狀態五	-	open	+	H	H	L
狀態六	-	+	open	H	L	L

表 2.3: 霍爾感測器的邏輯表

在判斷出關鍵切換點後，我們仍必須以霍爾感測器偵測換相的電氣角，才能進行電流切換。但是因為霍爾感測器仍埋藏在介於兩定子的中間位置

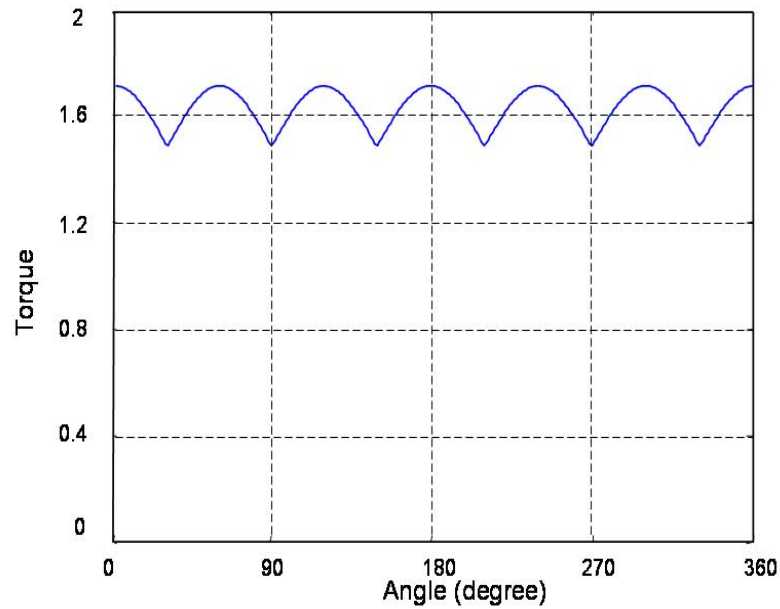


圖 2.11: 120 度的轉矩漣波

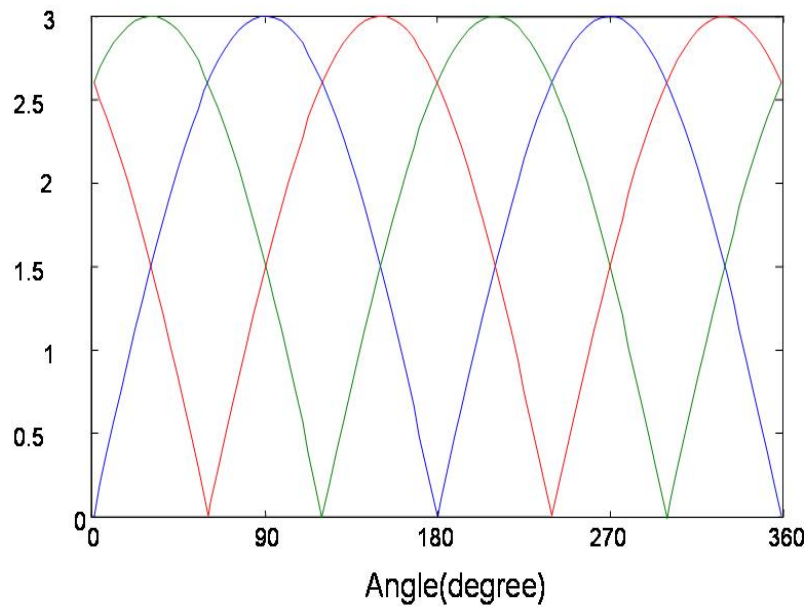


圖 2.12: Elementary measurement circuit.

上，所以要由這三顆霍爾感測器找出換相點的電氣角，就必須對於霍爾感測器的訊號再做處理。

圖 2.13 左邊是原本的霍爾感測器訊號圖，右邊是經過處理的霍爾感測器

狀態	通以電流方向	選擇電氣角度
狀態一	S2→S3 S1→S3	[-30, 30]
狀態二	S1→S3 S1→S2	[30, 90]
狀態三	S1→S2 S3→S2	[90, 150]
狀態四	S3→S2 S3→S1	[150, 210]
狀態五	S3→S1 S2→S1	[210, 270]
狀態六	S2→S1 S2→S3	[270, 330]
狀態一	略	略
關鍵切換點 -30, 30, 90, 150, 210, 270		

表 2.4: 180 度的換相時間表

訊號圖，我們便可以正確無誤地判斷出所有換相點的電氣角。利用霍爾感測器知道三相永磁馬達在哪一個狀態點後，我們就能利用電流的切換，來達到最大轉矩。

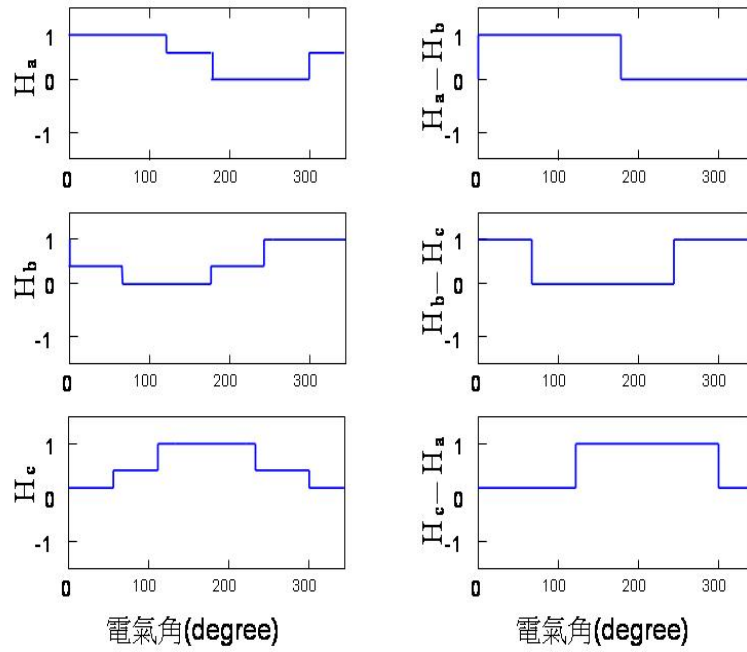


圖 2.13: 霍爾感測器訊號圖

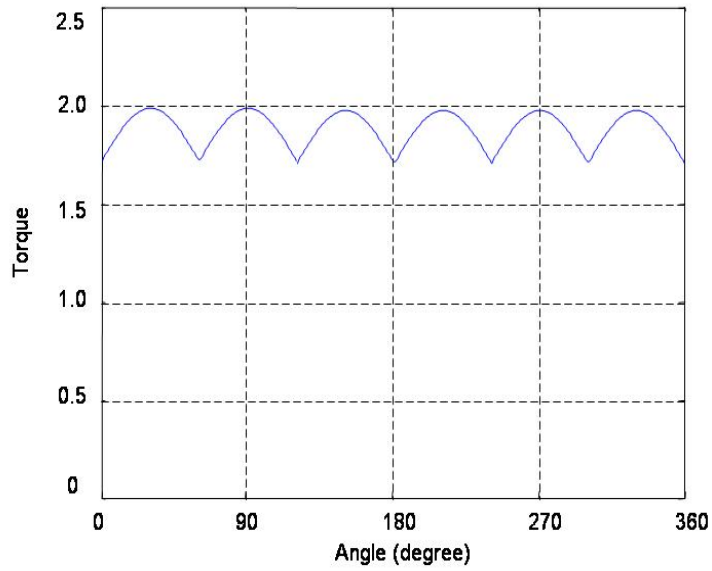


圖 2.14: 180 度的轉矩漣波

2.3 BA6849 驅動 IC 功能簡介 [14]

BA6849 是由 Rohm(羅姆電子股份有限公司 <http://www.rohm.com>) 所生產的三相永磁馬達驅動 IC；此類 IC 受電流命令控制，只要給它電流命令，內建的控制器與電流回授迴路將會自動控制流入三相永磁馬達的電流大小，再在配合馬達上的霍爾感測器回傳的位置訊息，便可讓三相永磁馬達穩定轉動。此 IC 具有以下功能：

1. 內建電源保護以及過熱停止功能。
2. 內建限流元件與霍爾元件偏壓電路。
3. 內建 FG 輸出。
4. 內建旋轉方向偵測。
5. 內建防止反向旋轉電路。
6. 內建短路煞車腳位。

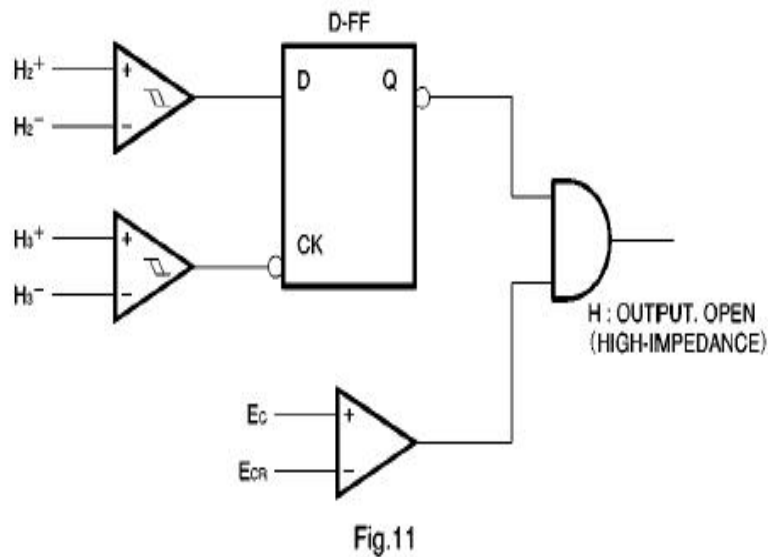


圖 2.15: 防止反轉電路 [14]

圖 2.15 是防止反相旋轉的電路，藉由霍爾元件回傳的訊號，我們可以判斷現在三相永磁馬達旋轉的方向，當偵測到三相永磁馬達處於反相旋轉的情況下，將會令 BA6849 停止驅動三相永磁馬達，如此便可防止三相永磁馬達發生反轉的情形。

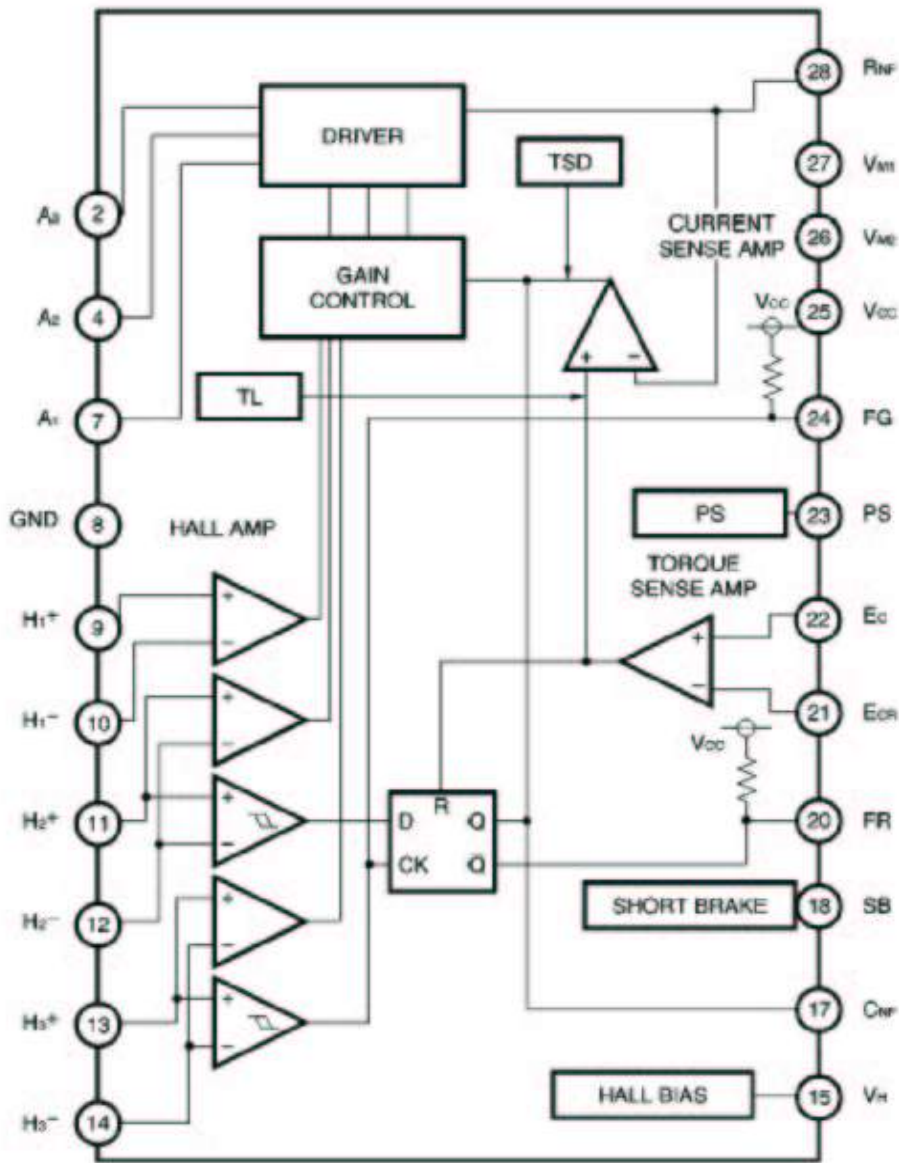


圖 2.16: BA6849 內部系統方塊圖 [14]

圖 2.16 是 BA6849 內部系統方塊圖，我們可以看出，藉由 EC 與 ECR 兩根接腳的比較，判斷出輸入的電流命令，電流命令與電流回授訊號相減得到誤差值，再利用霍爾感測器回傳的位置訊息，控制 DRIVER 內的六橋開關，以及電流大小，使三相永磁馬達能以最快最平穩的方式旋轉。

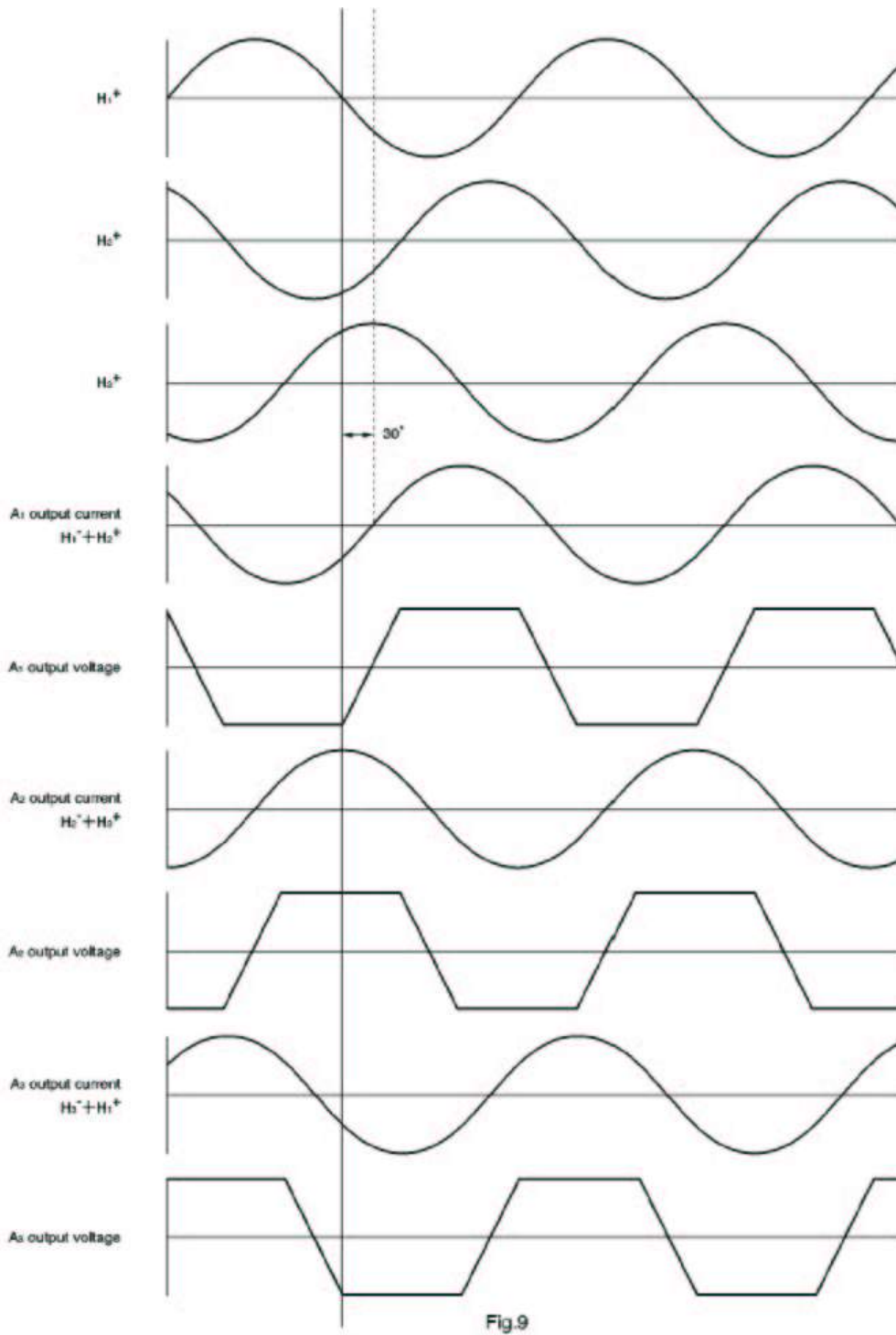


圖 2.18: BA6849 輸入輸出訊號圖 [14]

的霍爾元件傳回來的訊號；15、25 提供霍爾元件的偏壓電壓；21、22 接受電流命令；23 為 BA6849 的電源開關，輸入 5V 可以讓驅動器運作，輸入 0V 驅

動器將會停止作用；24 為 FG 的訊號，可以由此接腳的訊號計算求得三相永磁馬達的轉速；27、28 為提供三相永磁馬達的電壓源。

圖 2.18 是 BA6849 三相輸出訊號，以及所配對的霍爾元件回傳訊號。可以看出 BA6849 乃是以 120 度驅動三相永磁馬達。

2.4 凌華科技 DAQ-2501 ADDA 卡功能簡介 [15]

本實驗所使用的 DAQ-2501(圖 2.19) 是由凌華科技股份有限公司 [15] 所生產的 ADDA 卡，它是一塊高速度，高效率，PCI 介面的多功能類比輸出卡。且提供 Visual C++ 與 VB 的函式庫供使用者呼叫。



圖 2.19: DAQ-2501

我們可透過 DAQ-2501 轉接板 (圖 2.20)，將 DAQ-2501 卡的訊號外接，以便利我們實驗的操作。

其規格如下：

一. 類比輸出：

1. 四個類比輸出；
2. 最高的更新頻率可以到達 1MS/s;
3. 解析度 12bits;



圖 2.20: DAQ-2501 轉接板

4. 輸出範圍可以有 -10V 10V，0V 10V，也可以自訂輸出電壓的上下限。

5. 輸出阻抗 :0.1 歐姆；

二. 類比輸入：

1. 八個通道的類比輸入；

2. 最高的更新頻率可以到達 400KS/s；

3. 解析度 14bits；

4. 輸入範圍可以有 -10V 10V，0V 10V。

5. 輸入阻抗 :1G 歐姆；

6. 三種觸發模式。

三. 數位輸入輸出：

1. 24 個可程式宣告的數位輸入輸出端；

四. 計時器：

1. 兩組可上數下數的計時器；

2. 內部提供的基準頻率 :10MHZ；

3. 外部最高可以輸入的基準頻率 :10MHZ。

五：類比觸發：

1. 解析度 :8bits;
2. 軟體控制正緣或負緣觸發；
3. 頻寬 :400khz;
4. 阻抗 :40K 歐姆。

六：系統同步介面：

1. 可同時控制多張 ADDA 卡。

圖 2.21 為轉接版每個腳位的訊號圖，透過此圖我們可以知道如何接出我們所要用的功能腳位。

DAQ-2501 提供了很多便利的函式讓使用者可以呼叫這些函式去執行其想要做的事情，要使用這些函式，需要先將 D2KDASK.H 這個檔加到程式裡面，如此才能夠使用 DAQ-2501 所提供的函式庫。在此介紹一些基本常用到的函式命令。以下所介紹的函式都是提供 Visual C++ 使用。

一．基本宣告：

D2K_Register_Card():

將系統的硬體與軟體初始化，此函式必須在所有應用函式之前被宣告。

D2K_Release_Card():

在 DAQ-2501 沒有被使用的時候，可呼叫此函式，將資源釋放出來給其他的程式或硬體使用。

二．類比輸入：

D2K_AI_CH_Config():

此函式可以設定類比輸入的電壓值範圍；必須要在開始類比輸入之前宣告完畢。

D2K_AI_Config():

此函式可以設定類比輸入的觸發來源，觸發模式，輸入模式... 等功能；再進行連續類比輸入時，必須要先宣告此函式；

D2K_AI_ContScanChannels():

此函式一執行之後，就會依照你所設定的觸發模式，當接收到開始類比輸入的訊號時，就開始執行類比輸入的動作，直到暫存器放滿，或是接收到停止

Pin Assignment

Connector CN1 Pin Assignment

AO_0	1	35	AGND
AO_1	2	36	AGND
AO_2	3	37	AGND
AO_3	4	38	AGND
AOEXTREF_A/AI_0	5	39	AGND
AI_1	6	40	AGND
EXTTRIG/AI_2	7	41	AGND
AOEXTREF_B/AI_3	8	42	AGND
AO_4/AI_4	9	43	AGND
AO_5/AI_5	10	44	AGND
AO_6/AI_6	11	45	AGND
AO_7/AI_7	12	46	AGND
AO_TRIG_OUT_A	13	47	EXTWFTRG_A
AO_TRIG_OUT_B	14	48	EXTWFTRG_B
GPTC1_SRC	15	49	VCC
GPTC0_SRC	16	50	DGND
GPTC0_GATE	17	51	GPTC1_GATE
GPTC0_OUT	18	52	GPTC1_OUT
GPTC0_UPDOWN	19	53	GPTC1_UPDOWN
RESERVED	20	54	DGND
AF11	21	55	AF10
PB7	22	56	PB6
PB5	23	57	PB4
PB3	24	58	PB2
PB1	25	59	PB0
PC7	26	60	PC6
PC5	27	61	PC4
DNGD	28	62	DGND
PC3	29	63	PC2
PC1	30	64	PC0
PA7	31	65	PA6
PA5	32	66	PA4
PA3	33	67	PA2
PA1	34	68	PA0

* Pin 9-12 are AI<4..7> for DAQ-2501 ;
AO<4..7> for DAQ-2502

* The external references inputs and the external analog trigger share the analog input pins 5, 7, and 8

圖 2.21: DAQ-2501 轉接板接腳圖 [15]

類比輸入的訊號，才會停止。

D2K_AI_ContVScale():

此函式可以將類比輸入儲存到暫存器的值由 16 進位轉到電壓的單位。

D2K_AI_ContScanChannelsToFile():

此函式可以將暫存器的值存到電腦硬碟裡面，當暫存器半滿時，再將類比輸入的值儲存到硬碟內，可節省 cpu 的處理時間。

D2K_AI_ContBufferSetup():

此函式宣告一個暫存器的空間，讓類比輸入的值可以暫存，以達到連續類比輸入的功能；如果要用雙暫存器的模式，就必須宣告兩個不同的暫存器。

D2K_AI_ContBufferReset():

重設由 D2K_AI_ContBufferSetup() 所宣告的暫存器。

D2K_AI_AsyncDblBufferMode():

設定是否要使用雙暫存器的功能。

D2K_AI_AsyncDblBufferHalfReady():

檢查暫存器是否已經半滿，如果已經半滿，就會有訊號通知使用者。

三. 類比輸出:

D2K_AO_CH_Config():

此函式可以設定類比輸出的電壓值範圍，可以設定由外部輸入電壓決定或是內部由 ADDA 卡預設；必須要在開始類比輸出之前宣告完畢。

D2K_AO_Config():

此函式可以設定類比輸出的觸發來源，觸發模式，輸出模式 ... 等功能；再進行連續類比輸出時，必須要先宣告此函式；

D2K_AO_Group_VUpdate():

一次同時更改四個類比輸出端的輸出值。

四. 數位輸入輸出:

D2K_DIO_PortConfig():

設定每個 port 是輸出或是輸入。

D2K_DI_ReadLine():

一次讀取一個位元的值。

D2K_DI_ReadPort():

一次讀取一組 port 的值。

D2K_DO_WriteLine():

一次寫入一個位元的值。

D2K_DO_WritePort():

一次寫入一組 port 的值。

五. 計時器:

D2K_GCTR_Setup():

控制計時器操作在特定的模式。

D2K_GCTR_Control():

設定計時器的模式，例如外部觸發或是內部觸發，震盪頻率由外部輸入或是內部輸入 ... 等功能，都在這個函式宣告。

D2K_GCTR_Reset():

清除計時器內的值。

利用上面所列舉的函式，我們可以自己撰寫 Visual C++ 的程式，以操控 ADDA 卡來達到我們所需要的功能。

第三章

實驗原理

3.1 公式推導

假設圖 3.1 為三相永磁馬達的模型，我們定義電流流進三相永磁馬達的方向為正。

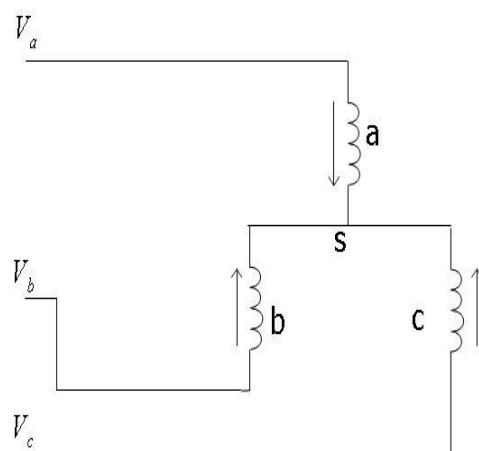


圖 3.1: 三相永磁馬達 Y 接結構 (三線式)

首先，我們定義此三相永磁馬達轉子與定子的相對初始位置如圖 3.2。

即當轉子的旋轉角度 θ_r 為正，轉子將向右平移，而定子保持不動。

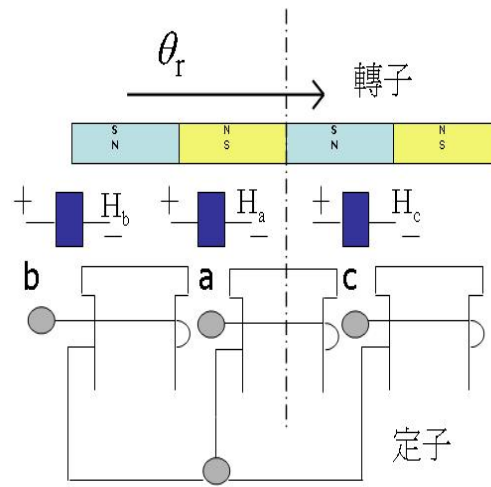


圖 3.2: 三相永磁馬達的定子與轉子展開圖 $\theta_r = 0$

由圖 3.2 的模型，我們可以將三相永磁馬達的電氣模型以及機械模型寫成如下所示：

電氣模型

$$\begin{bmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_s & -M & -M \\ -M & L_s & -M \\ -M & -M & L_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{i}_a \\ \dot{i}_b \\ \dot{i}_c \end{bmatrix} + \frac{2\omega_r K_{emax}}{P} \begin{bmatrix} \cos(\theta_r) \\ \cos(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta_r + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

R：三相永磁馬達的內阻值。

L_s ：三相永磁馬達的內感值。

P：三相永磁馬達轉子的極數。

M：三相永磁馬達定子間的互感。

θ_r ：轉子與定子相對的角度 (圖 3.2 所示 $\theta_r = 0^\circ$)

ω_r ：三相永磁馬達的轉動速度。

機械模型

$$T_e = K_t \left(i_a - \frac{i_b}{2} - \frac{i_c}{2} \right) \cos(\theta_r) + \frac{\sqrt{3}}{2} (i_b - i_c) \sin(\theta_r) = \frac{2J}{P} \dot{\omega}_r + \frac{2B_m}{P} \omega_r + T_L \quad (3.2)$$

T_e ：三相永磁馬達的輸出扭矩。

J ：轉子的慣量 (moment inertia)。

B_m ：三相永磁馬達阻尼常數 (damping ratio)。

T_L ：三相永磁馬達的負載。

而三相永磁馬達與驅動器的接法如圖 3.3，驅動器是由三個電橋 Leg₁、Leg₂、Leg₃ 所組成，每個電橋有兩個功率元件，可以是電晶體、MOSFET、IGBT 等電力電子元件。

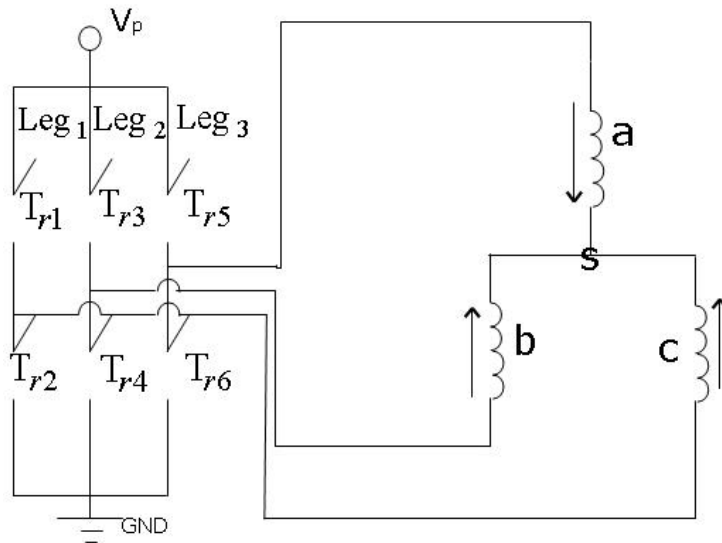


圖 3.3: 三相永磁馬達與其驅動器的接法

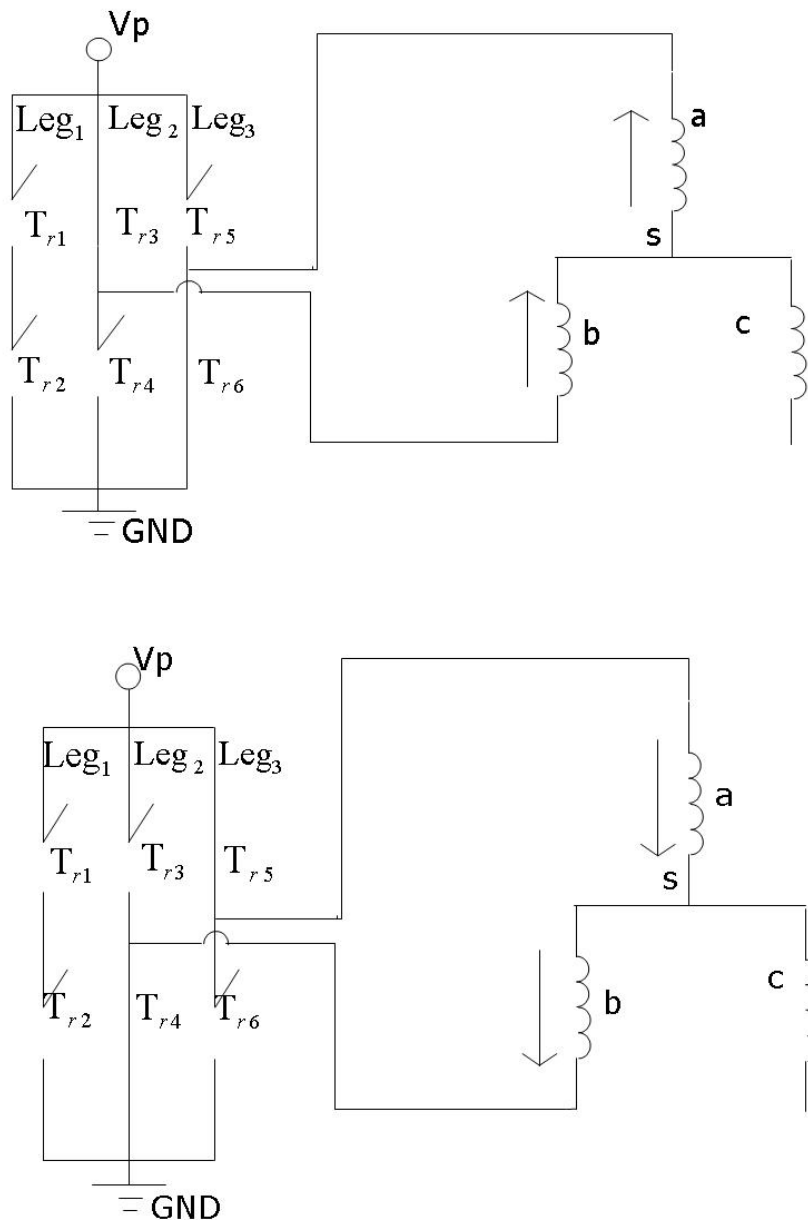


圖 3.4: 三相永磁馬達與其驅動器單相接法示意圖

有了這些基本定義，我們開始推導公式。假設三相永磁馬達是以單相的方式旋轉，換言之只有 ab 兩相通有電流，即驅動器上只有 T_{r3} 、 T_{r4} 、 T_{r5} 、 T_{r6} 此四個功率元件有作開關的動作，而 T_{r1} 與 T_{r2} 一直是在開的狀態，如圖 3.4。此時，我們可以得到 $i_a = -i_b = i$ ， $i_c = 0$ 。因此，我們可以將 (3.1) 式改寫成：

$$V_{as} = V_a - V_s = Ri + L_s \frac{di}{dt} - M \frac{d(-i)}{dt} + \frac{2\omega_r K_{emax}}{P} \cos \theta_r \quad (3.3)$$

$$V_{bs} = V_b - V_s = -Ri - M \frac{di}{dt} + L_s \frac{d(-i)}{dt} + \frac{2\omega_r K_{emax}}{P} \cos(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) \quad (3.4)$$

$$V_{cs} = V_c - V_s = (-M) \frac{di}{dt} - M \frac{d(-i)}{dt} + \frac{2\omega_r K_{emax}}{P} \cos(\theta_r + \frac{2\pi}{3}) \quad (3.5)$$

由 (3.3)(3.4)(3.5) 式可推出 V_w 之值為 (3.6)

$$V_w \equiv \frac{V_a + V_b - 2V_c}{-3} = \frac{2\omega_r K_{emax}}{P} \cos(\theta_r + \frac{2\pi}{3}) \quad (3.6)$$

因爲 $\omega_r = \frac{d\theta_r}{dt}$ ，代入 (3.6) 式可得

$$V_w dt = \frac{2K_{emax}}{P} \cos(\theta_r + \frac{2\pi}{3}) d\theta_r \quad (3.7)$$

將 (3.7) 式雙邊積分可得變數 Ψ

$$\Psi \equiv \int_{t_0}^t V_w dt = \frac{2K_{emax}}{P} \sin\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) + \Psi_0 \quad (3.8)$$

由 (3.8) 式，我們發現 Ψ 是一個振幅為 $2K_{emax}/P$ 的正弦波加上一個直流偏壓值 Ψ_0 。因此，只要量測 Ψ 的交流訊號的振幅大小，再除以 $2/P$ ，便可以得到 K_{emax} 的值。

3.2 單相旋轉原理推導

前面我們提到要使三相永磁馬達在單相的方式旋轉，才能有式 3.8 的結果，而 BA6849 驅動 IC 是三相驅動的 IC，接下來將說明如何製造假訊號，讓 BA6849 變成一顆單相的驅動 IC。

3.2.1 原理

首先，我們來思考一下，我們是如何讓三相永磁馬達旋轉；我們透過霍爾感測器來偵測轉子與定子之間的相對位置，然後判斷出該給三相何種電位才會讓三相永磁馬達的扭矩是最大的情況。而我們現在只要讓三相永磁馬達以單相的模式旋轉，而不考慮其扭矩的大小以及轉矩鏈波的波形是否平穩，所以我們只要能夠讓三相永磁馬達的扭矩恆正，就可以達成讓三相永磁馬達操作在單相旋轉的模式底下。

之前的基本觀念有提到，三相永磁馬達的扭矩等於扭矩常數 K_t 與電流 i 的內積；假設我們讓三相永磁馬達只通 ab 兩相，因此扭矩常數為 $K_{ta} - K_{tb} = K_{tab}$ (如圖 3.5)，因為 K_{tab} 在三相永磁馬達出廠的時候已經固定住了，我們無法更改，而電流 i 卻可以透過我們輸給三相永磁馬達的端電壓來控制，所以我們只要夠配合 K_{tab} 的正負波形，通以相同相位的正負電流，便可讓扭矩恆正，推動馬達旋轉，(如圖 3.6)。

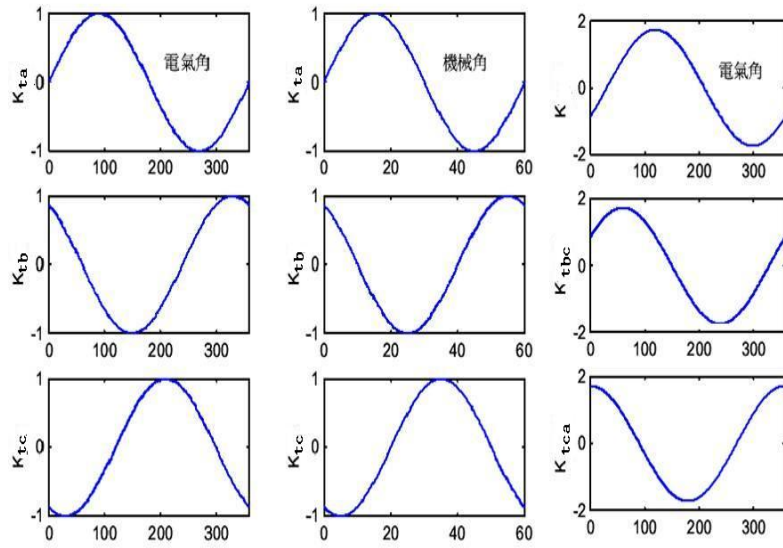


圖 3.5: K_{ta} 、 K_{tb} 、 K_{tc} 、 K_{tab} 、 K_{tbc} 、與 K_{tca} (橫軸單位:degree, 縱軸單位:g*cm/A)

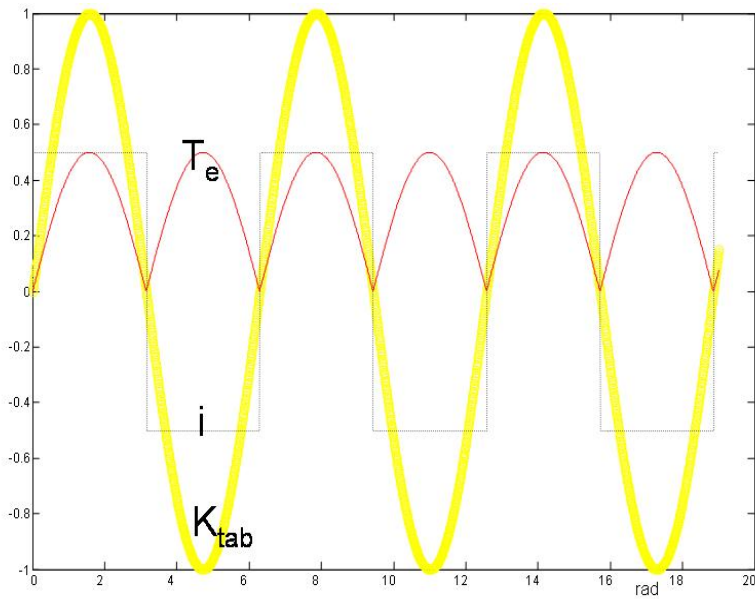


圖 3.6: 扭矩常數與電流關係示意圖, $K_{tab} = K_t \sin(\theta_r - \frac{\pi}{2})$

我們知道三相永磁馬達的機械模型如下所示：

$$T_e = K_t \left((i_a - \frac{i_b}{2} - \frac{i_c}{2}) \cos(\theta_r) + \frac{\sqrt{3}}{2} (i_b - i_c) \sin(\theta_r) \right) = \frac{2J}{P} \dot{\omega}_r + \frac{2B_m}{P} \omega_r + T_L \quad (3.9)$$

因爲三相永磁馬達操作在單相模式底下，因此電流 $i_a = -i_b = i$ ， $i_c = 0$ ，代入上式運算：

$$\begin{aligned} T_e &= K_t \left((i_a - \frac{i_b}{2} - \frac{i_c}{2}) \cos(\theta_r) + \frac{\sqrt{3}}{2} (i_b - i_c) \sin(\theta_r) \right) \\ &= K_t \left((i - \frac{-i}{2}) \cos(\theta_r) + \frac{\sqrt{3}}{2} (-i) \sin(\theta_r) \right) \\ &= K_t \left(\frac{3i}{2} \cos(\theta_r) - \frac{\sqrt{3}}{2} (i) \sin(\theta_r) \right) \\ &= K_t \sqrt{3} i \sin(\theta_r - \frac{\pi}{2}) \end{aligned} \quad (3.10)$$

而我們該在何時通正電流，何時通負電流呢？由上面計算的結果我們發現， K_{tab} 波形正負交變的時間點正好與霍爾感測器 H_a 所量測訊號的正負交變時間點重合，因此我們可以透過霍爾感測器 H_a 的幫助，通知我們假訊號的切換時間點，如圖 3.7。

假訊號的切換時間點知道了之後，該做什麼訊號才能讓 BA6849 輸出我們想要的電壓值呢？透過 BA6849 所提供的霍爾感測器與輸出電壓準位的相關邏輯表（如表 3.1），我們可以發現，透過霍爾感測器的位準，可以讓 BA6849 輸出六種不同的準位，也就是六步方波，我們挑選其中的兩步來實現單相的旋轉模式。

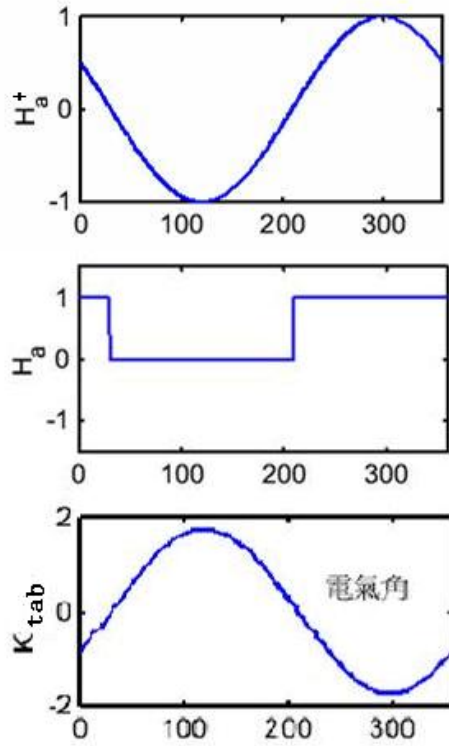


圖 3.7: BA6849 霍爾感測器 a 與 K_{tab} 關係圖 (橫軸單位 :degree , 縱軸單位 :g*cm/A)

state	T_{r1}	T_{r2}	T_{r3}	T_{r4}	T_{r5}	T_{r6}	H_a^+	H_a^-	H_b^+	H_b^-	H_c^+	H_c^-
1	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	L	M	M	M	H	M
2	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF	M	M	L	M	H	M
3	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	H	M	L	M	M	M
4	ON	OFF	ON	OFF	OFF	ON	H	M	M	M	L	M
5	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	M	M	H	M	L	M
6	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	L	M	H	M	M	M
H:2.6V			L:2.4V				M:2.5V					

表 3.1: BA6849 霍爾感測器與三相輸出電壓關係表

3.2.2 單相旋轉系統架構介紹

如圖 3.2 所示，霍爾感測器 H_a 、 H_b 、 H_c 各有其相對應的輸出，分別為 H_a^+ 、 H_a^- 、 H_b^+ 、 H_b^- 、 H_c^+ 、 H_c^- (如圖 3.8)。我們以驅動 IC BA6849 (made by ROHM) 來驅動這顆三相永磁馬達。這顆驅動器是以 180° 六步方波來驅動這顆三相永磁馬達，換言之 BA6849 是三相的驅動器。爲了讓它能操作在單相模式，首先三相永磁馬達的 c 相繞阻不能接到驅動器上，三相永磁馬達上的 H_a^+ 、 H_a^- 經比較器轉換成數位訊號後在輸入 BA6849。三相永磁馬達上 H_b^+ 、 H_b^- 、 H_c^+ 、 H_c^- 的訊號並沒有用到。輸入到 BA6849 的 H_b^+ 、 H_b^- 、 H_c^+ 、 H_c^- 訊號是靠 H_a^+ 、 H_a^- 假造出來的，如圖 3.9。改造後的電路如圖 3.10。

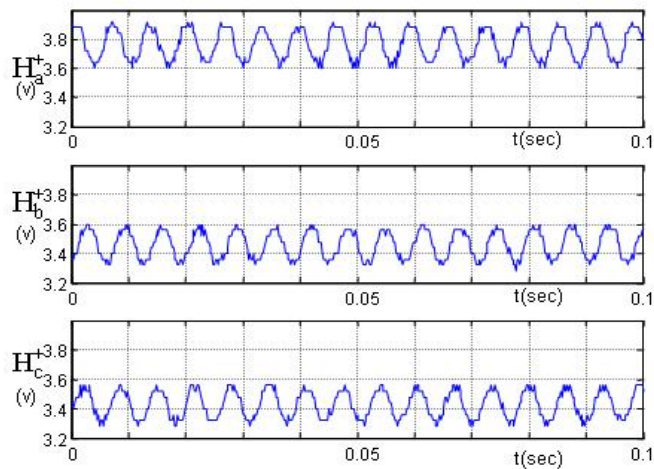


圖 3.8: 輸入到 BA6849 的原始霍爾感測器訊號

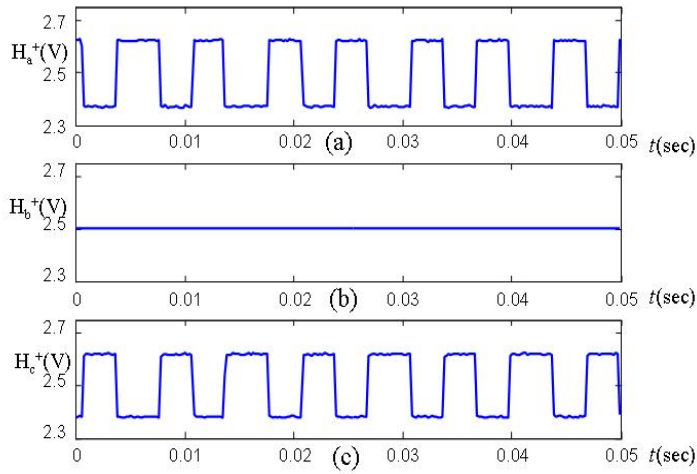


圖 3.9: 輸入到 BA6849 的假造霍爾感測器訊號

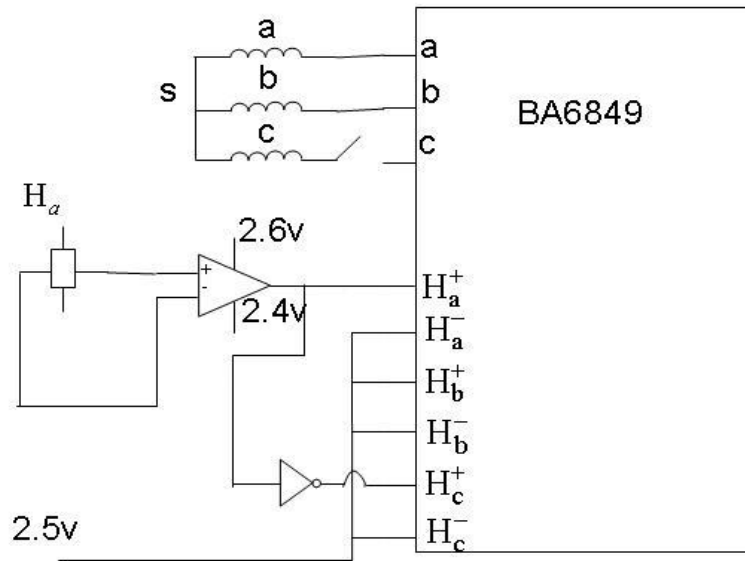


圖 3.10: 改造電路示意圖

透過圖 3.10的電路，就可以將圖 3.9的波形輸入到 BA6849 內部，如此就可以讓三相永磁馬達以單相旋轉，且三相激磁的六個換相狀態變成只有兩個換相狀態如圖 3.4。

第四章

實驗方法

4.1 系統架構

本實驗的系統架構如圖 4.1，經由電腦透過 DAQ-2501，送訊號給外部電路板內的驅動 IC-BA6849，透過假訊號的製造，讓 BA6849 以單相旋轉的模式驅動三相永磁馬達，再將電壓訊號抓入電腦作分析處理。

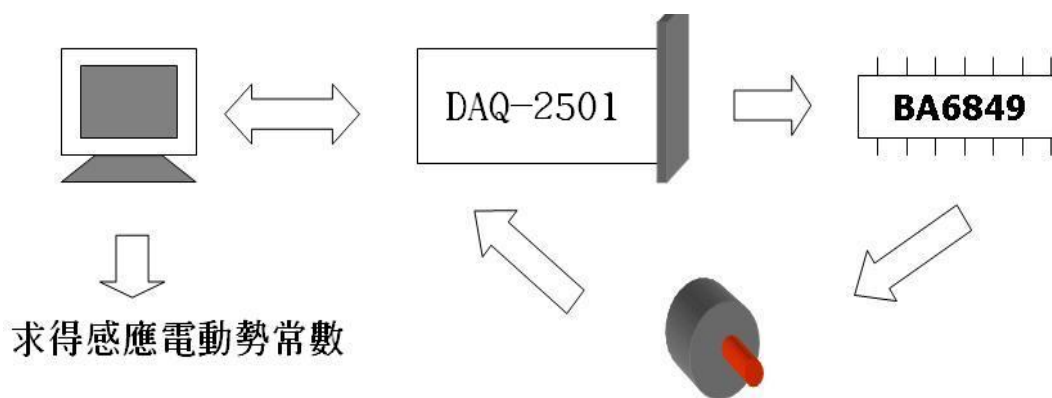


圖 4.1: 系統架構

圖 4.2 為本實驗的系統流程圖。由運動控制卡送出電流命令，BA6849 在內部已經將電流作回授，變成一閉迴路系統，再由三相永磁馬達三端接腳

透過硬體電路的計算，算出 V_ω 與 Ψ 的電壓波形，透過運動控制卡 ADC0 與 ADC1 將電壓波形抓入電腦做計算，便可求得感應電動勢常數 K_{emax} 。整個系統實現的架構如圖 4.3。

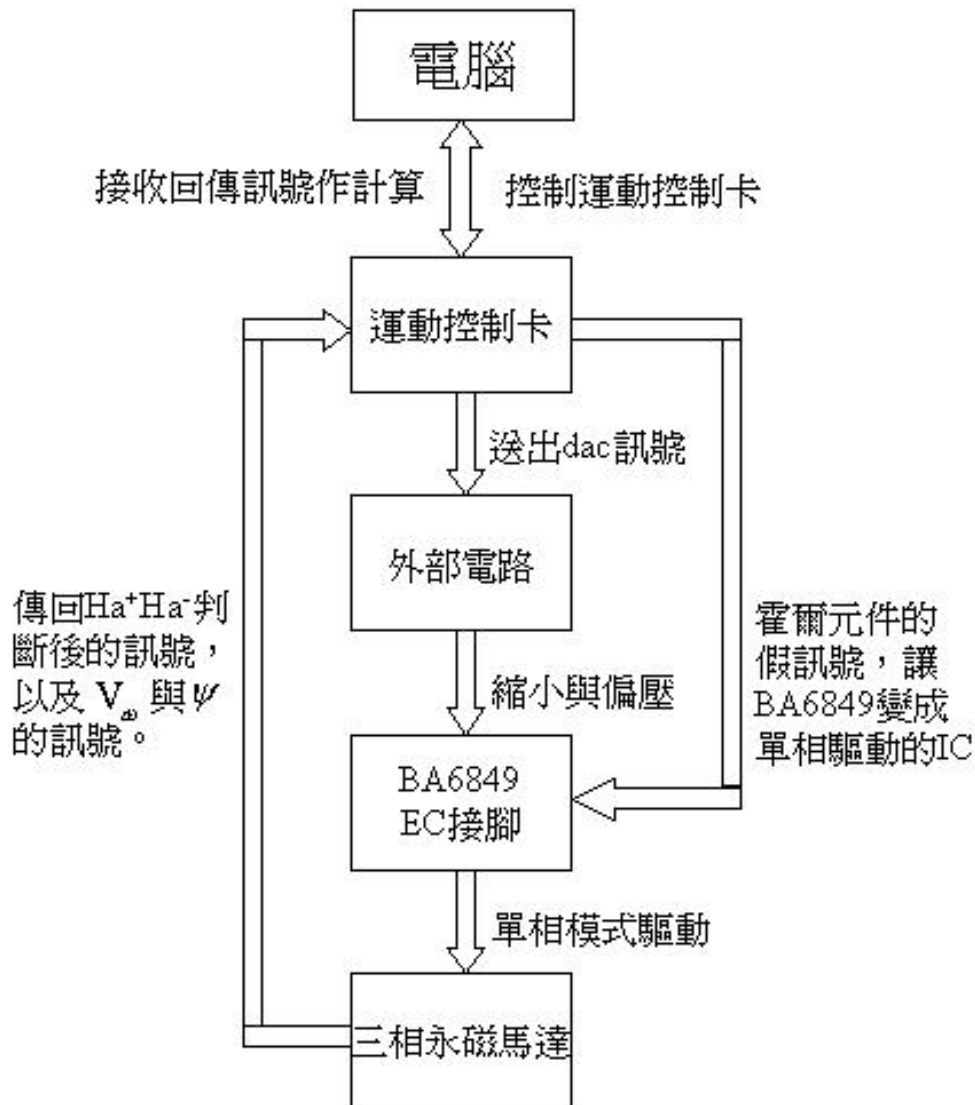


圖 4.2: 系統流程圖

圖 4.4 為外接電路板的線路圖。首先，透過運動控制卡 DAC0 送出 10 伏特 -10 伏特的電壓，將此訊號作縮小與偏壓，變成 1.5 伏特 3.5 伏特，在輸入 BA6849 的 EC 接腳，以控制輸入三相永磁馬達的電流大小，進而控制三相永磁馬達的旋轉速度。此時分別量測三相永磁馬達的三相端電壓值，透過硬體

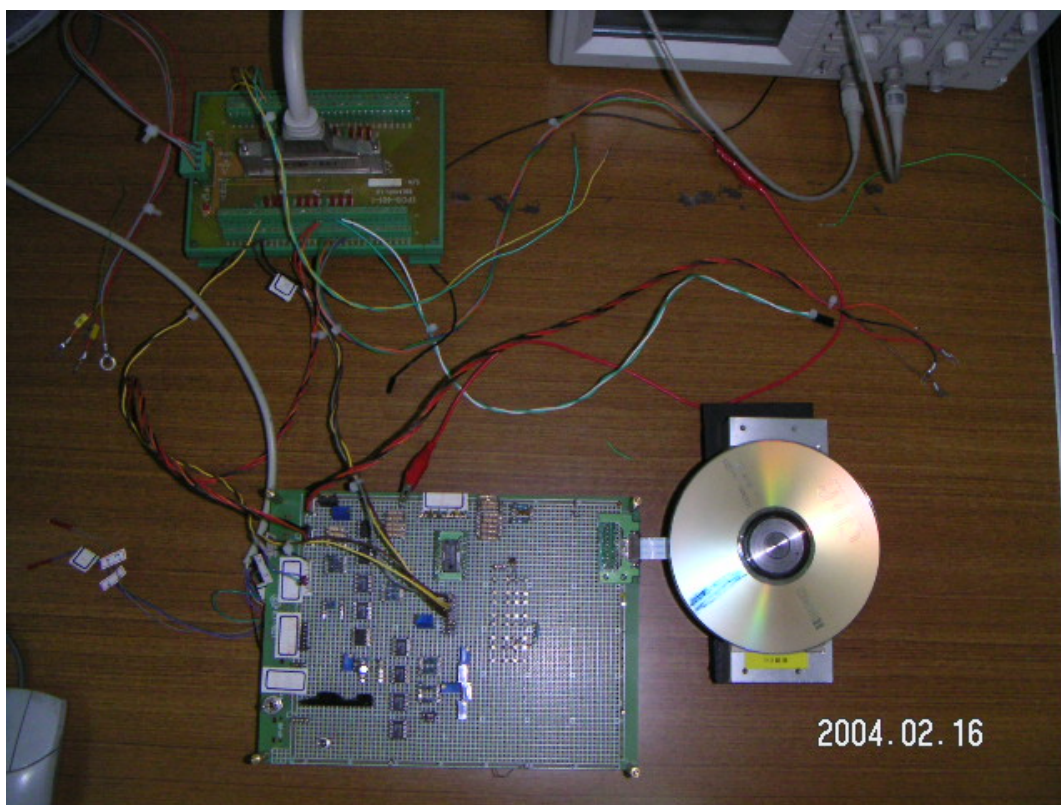


圖 4.3: 系統架構實現圖

電路的加減與積分，可以求得 V_ω 與 Ψ 的電壓波形。同時間，透過三相永磁馬達上面的霍爾元件送回來的訊號，可以讓三相永磁馬達以單相模式旋轉。圖 4.5 為實作的電路板。

4.2 實驗數據

圖 3.8 是三相永磁馬達上霍爾元件的輸出訊號，彼此相差 120° 電角。但為了讓三相永磁馬達在單相模式下操作，我們不可以把 (圖 3.8) 的訊號直接接到三相永磁馬達的驅動器內。須經過訊號的修改，得到了 (圖 3.9) 的訊號。再將其輸入到 BA6849。由圖 4.6，我們發現 $H_a^+ - H_a^-$ 的正與負的邏輯正好作為相電流 i 轉態的依據。我們可以發現 i 的週期為 360° 的電角，而且正負電流對稱。三相永磁馬達的確是操作在單相旋轉得模式下。

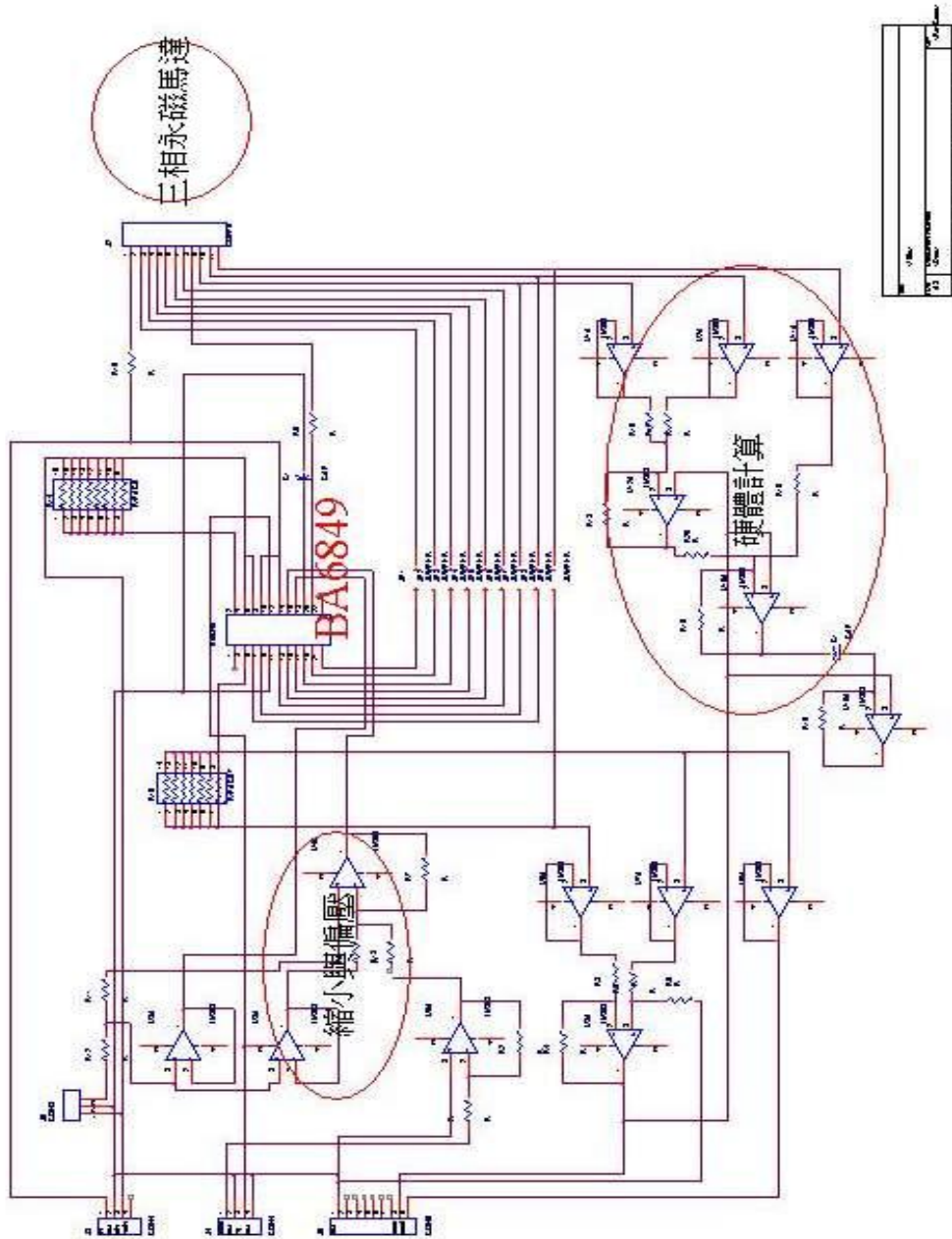


圖 4.4: 外接電路板線路圖

4.2.1 測量數據計算

當三相永磁馬達可以單相旋轉，就滿足 $i_a = -i_b = i$ ， $i_c = 0$ 的條件。抓取三相的電壓 V_a 、 V_b 、 V_c 出來作第 3.7 式的運算，可以得到如 (圖 4.7)。

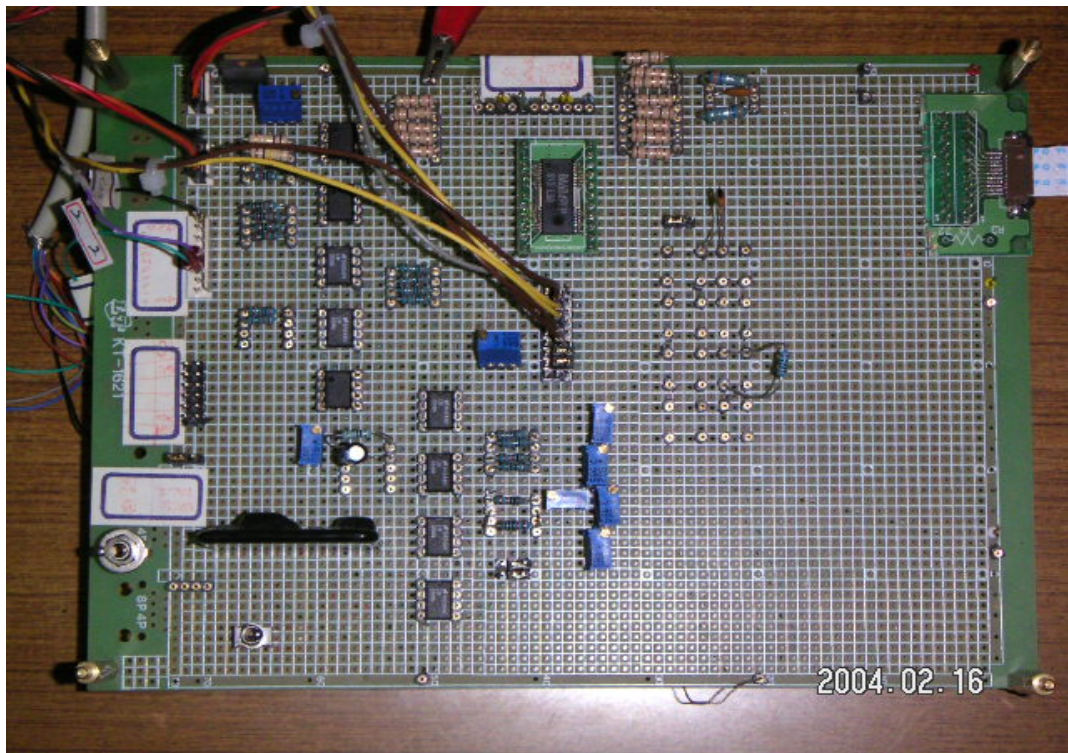


圖 4.5: 外接電路板實作圖

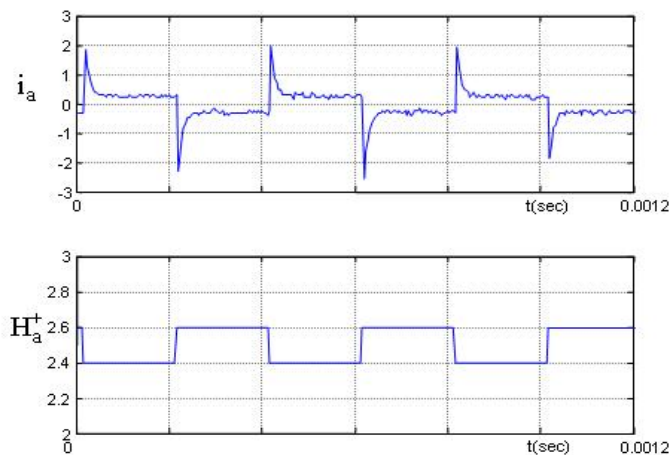


圖 4.6: 單向操作時三相的電壓波形

若將驅動器的電源關掉，即電流為 0 的情況下。我們所量測到的訊號 ((圖 4.8)) 依然跟單相旋轉通電流 ((圖 4.7)) 的數據差不多。為了求得更精準的

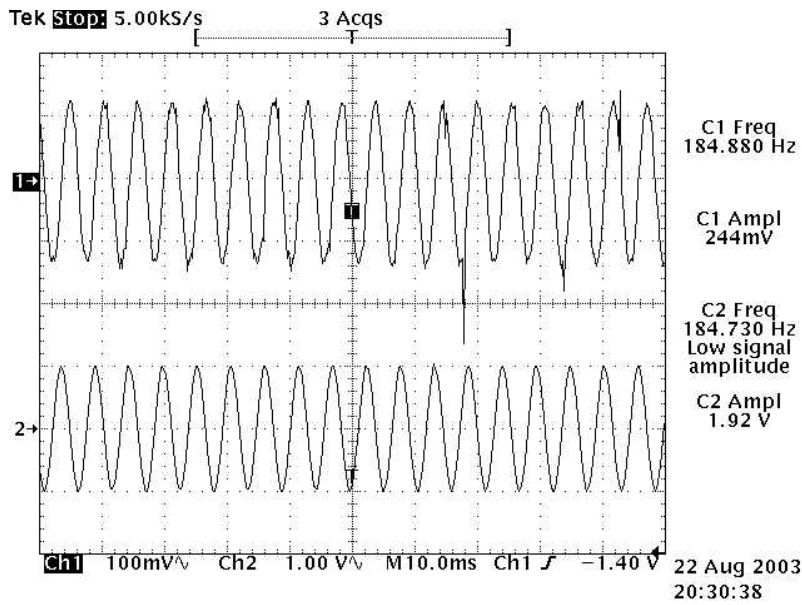


圖 4.7: $V_a + V_b - 2 \cdot V_c$ (ch1) 以及積分後的波形 (已經把 DC 偏壓值濾掉)(ch2)

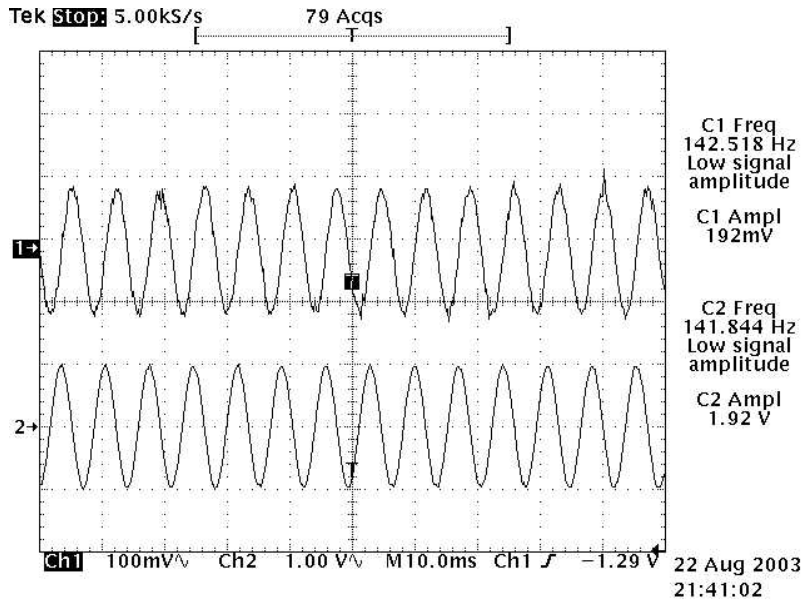


圖 4.8: $V_a + V_b - 2 \cdot V_c$ (ch1) 以及積分後的波形 (已經把 DC 偏壓值濾掉)(ch2) 關電流

數據，我們將抓到的 $V_a + V_b - 2 \cdot V_c$ 的訊號丟入 matlab 裡做數位積分的運算。將一個週期拿出來獨自做積分。在取所有求的數據的平均值。我們可以得到 $K_{emax} = 0.00465 \pm 0.0005 \text{ Volt}/(\text{rad}/\text{sec})$ 。

第五章

產品應用

依據本論文提出的理論，配合上產業界的需求，我們可以製作一台專門檢測感應電動勢常數的測試機具，提供給三相永磁馬達的製造工廠一個不錯的檢驗方式，能夠快速且全面的鑑別其所生產的三相永磁馬達感應電動勢常數是否符合其要求。

5.1 系統架構

有了上面的想法，我們提出一套流程，應用本論文所提出的方法，期望能使鑑別的時間縮短，達到既快速且準確的目標。圖 5.1 為我們所構想的流程，我們只需更換待測的三相永磁馬達，接著讓電腦自行去控制計算感應電動勢常數，算出結果之後再通知是否符合我們所設定的規格，透過這樣的流程，我們可以不斷的更換三相永磁馬達，以達到快速鑑別的目的。

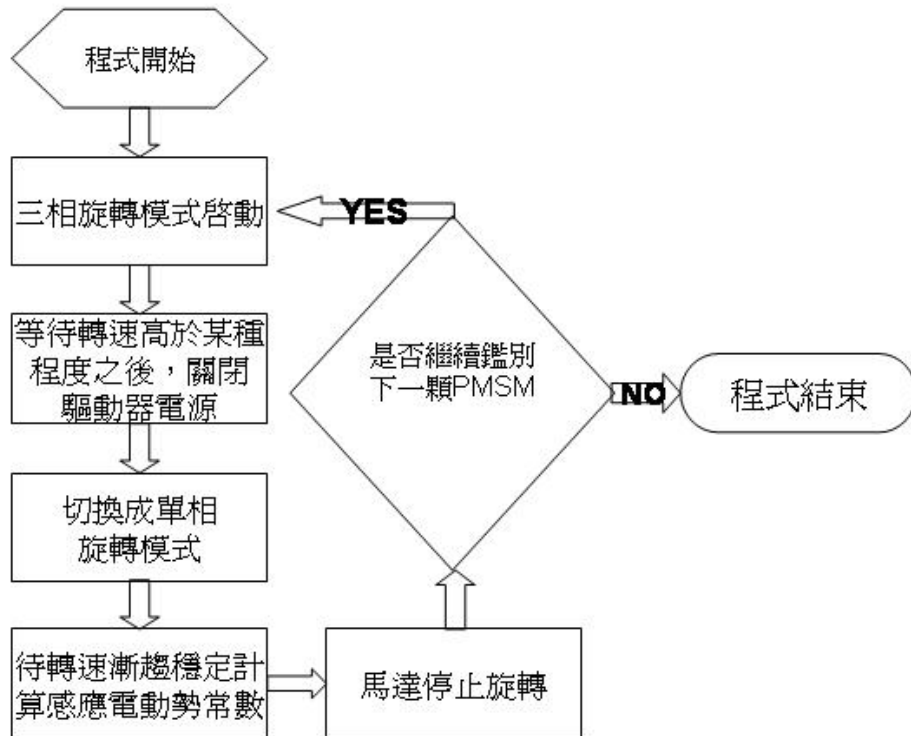


圖 5.1: 測試機台系統流程圖

因爲三相永磁馬達在單相旋轉的模式中，會有轉矩的死點存在，當轉子停在此死點的時候，就無法自己啓動；爲了解決這個問題，我們先利用三相模式帶動三相永磁馬達旋轉，旋轉一段時間之後，關閉電源，利用其慣性，讓三相永磁馬達能持續轉動一段時間，再將旋轉方式改爲單相旋轉模式，等待速度到達一穩定的階段（不需鎖定速度），再透過 ADDA 卡將三相的電壓值抓回電腦計算，最後求得感應電動勢常數 K_{emax} 。若要在鑑別另一顆三相永磁馬達，則將三相永磁馬達換上之後，在執行程式即可繼續鑑別。

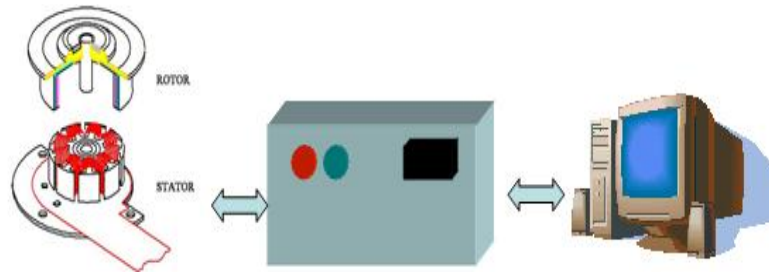


圖 5.2: 系統架構

整個系統的發展架構，如圖 5.2 所示，透過 pc 控制數位轉類比、類比轉數位控制卡 (ADDA card)，在本論文中，ADDA card 選用凌華科技所發展的 DAQ-2501，4/8-CH、12-Bit、1 MS/s、Analog Output Multi-Function DAQ Card；透過此控制卡，控制與三相永磁馬達連接的介面電路，介面電路將會放置在開關箱中，但本論文並未將開關箱作出，只做出內部的介面電路，開關箱內部包含的硬體架構如圖 5.3 所示，由開關箱再連接三相永磁馬達。當我們要鑑別三相永磁馬達的感應電動勢常數時，只需更換三相永磁馬達，在 PC 端執行程式，再由開關箱上面的燈號來判斷三相永磁馬達的感應電動勢常數是否在規格之內，檢驗完畢再換下一顆三相永磁馬達，因為感應電動勢常數是根據轉子充磁的程度而改變大小，因此定子可以不用更換，只需更換轉子即可，這樣就可以更加加快鑑別的速度

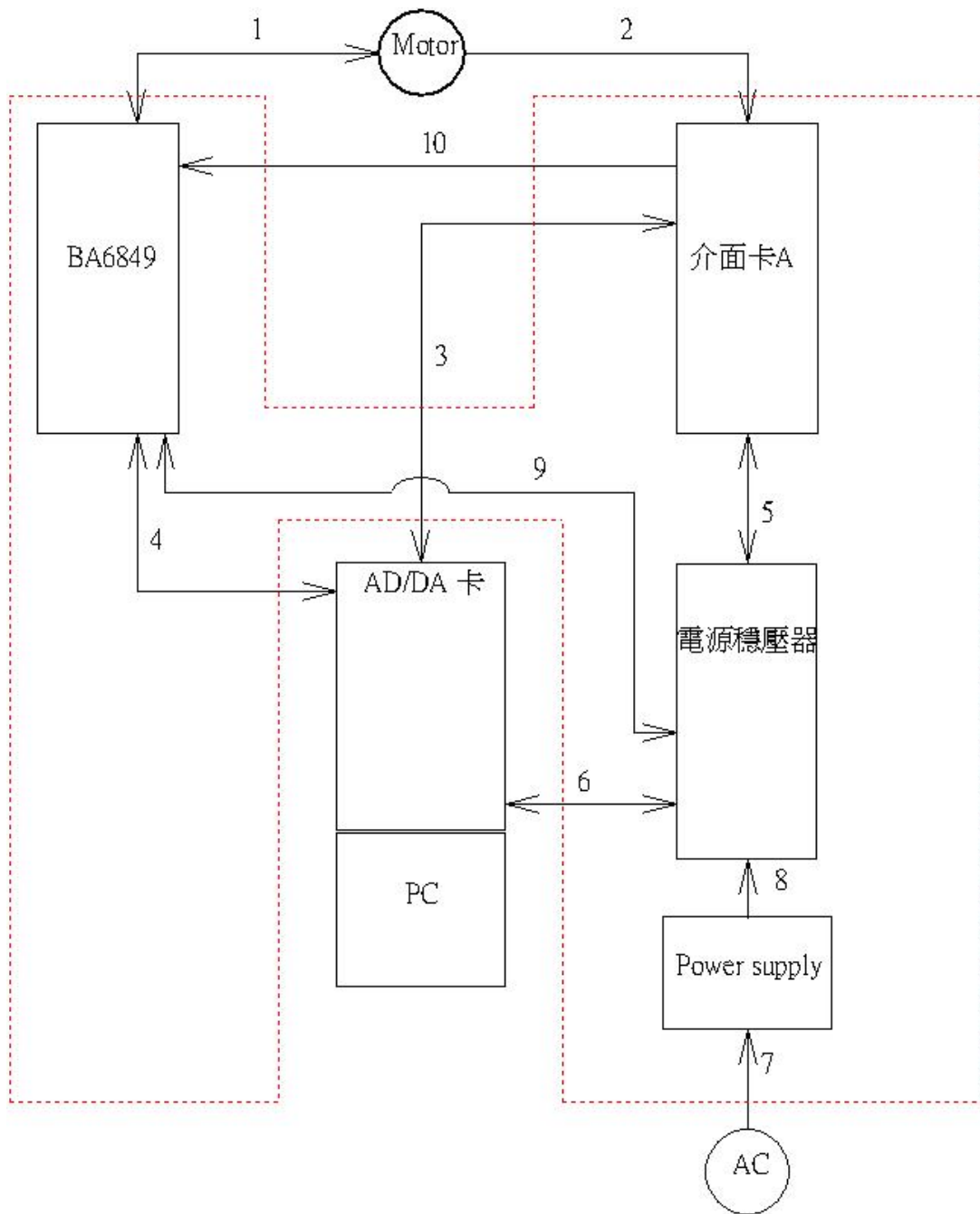


圖 5.3: 開關箱內部關係圖

在虛線內部的區塊，即是要放在開關箱內部的電路，其中包括了 BA6849 驅動 IC 的周邊電路、介面卡 A (製造假訊號和預留 DIO (數位輸入輸出) 的腳位)、電源穩壓電路、以及電源供應器。每個區塊的說明如下：

BA6849 驅動 IC 週邊電路：

此區塊包含了 BA6849 驅動 IC、控制 EC 電壓值的電路、ECR 的分壓及穩壓

電路、繼電器控制 BA6849 的電源、繼電器控制三相與單相的切換、以及量測三相電壓的電路。

介面卡 A:

此區塊包含了製造假訊號和預留 DIO 的腳位、以及切換電源供應器的繼電器。

電源穩壓電路:

此區塊包含了將電源供應器提供的電壓轉成所需要的電壓值，並有穩壓的電路。

電源供應器:

將 110V 轉成直流電壓值。

中間的訊號傳輸說明如下:

1. 馬達三相的電壓訊號、以及提供三相永磁馬達上的霍爾元件的正附偏壓電源。
2. 霍爾元件的訊號， H_a^+ 、 H_a^- 、 H_b^+ 、 H_b^- 、 H_c^+ 、 H_c^- 。
3. H_{a+} 整成方波的訊號、處理完的霍爾元件訊號、DIO 的訊號。
4. 馬達三相的電壓訊號、FG 的訊號、EC 的命令、電流訊號。
5. 共地、15V、-15V、12V、5V、斷電訊號。
6. 共地。
7. 110V 交流電源。
8. 5V、共地、15V、-15V。
9. 5V、共地、15V、12V、-15V。
10. 處理過或未處理的霍爾元件訊號。

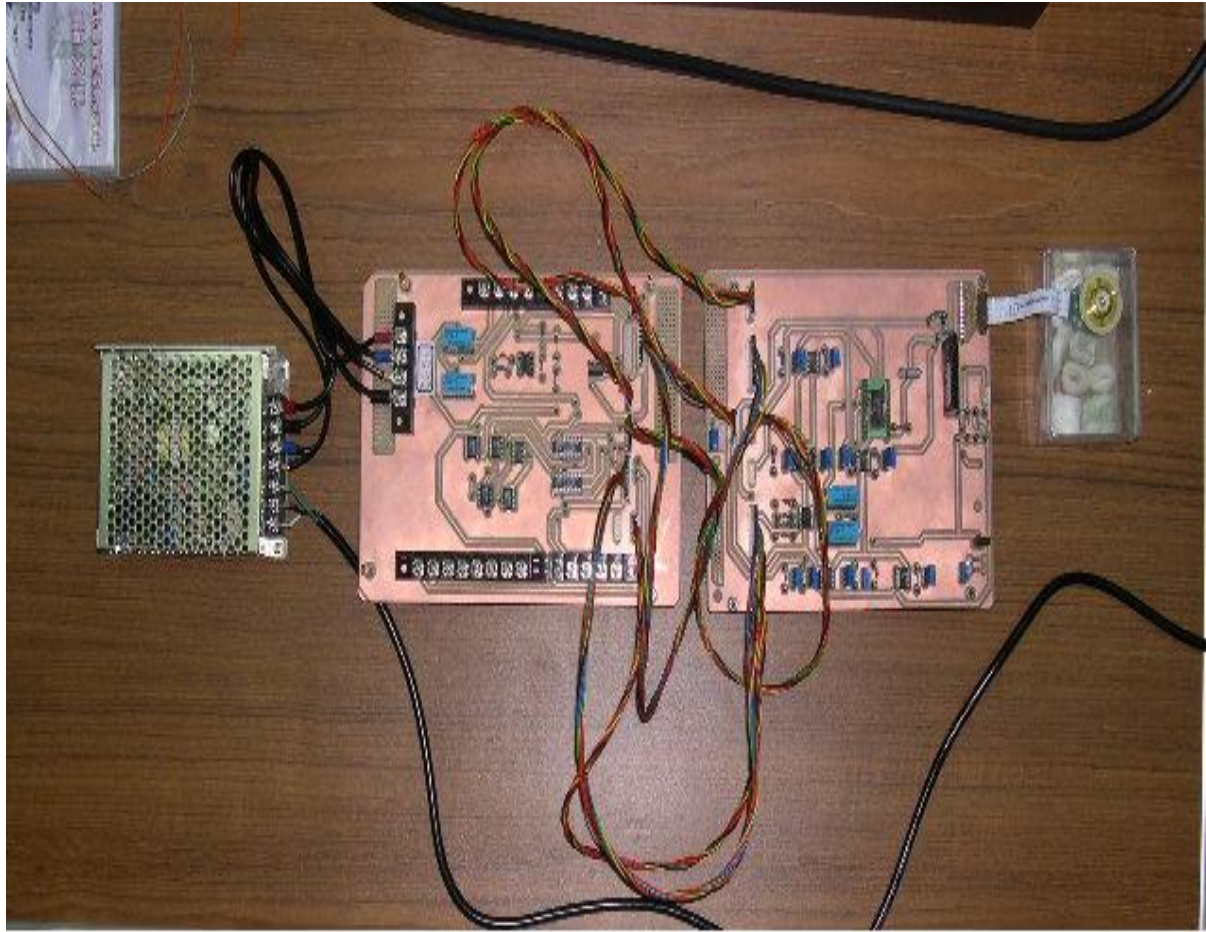


圖 5.4: 實作電路

圖 5.4 為實作的電路，由左方開始數過來，第一個是電源供應器，第二塊電路板包含了介面卡 A 以及電源穩壓電路，第三塊電路板是 BA6849 週邊電路，最右邊的是我們所使用的三相永磁馬達。圖 5.5 為第一塊電路板的線路圖，圖 5.6 為第二塊電路板的線路圖。在這些電路中，我們使用了繼電器來當作開關，透過 ADDA 卡的 DO(Digital Outout) 的功能，控制光電晶體的開關，再間接控制繼電器的開或關，如此的設計，是為了保護 ADDA 卡，以及要有較大的電流才能推動繼電器的開或關。此外，對於切換霍爾元件的訊號，我們透過多功器 IC4053 來選擇輸入 BA6849 的訊號為假造的或是真實的。

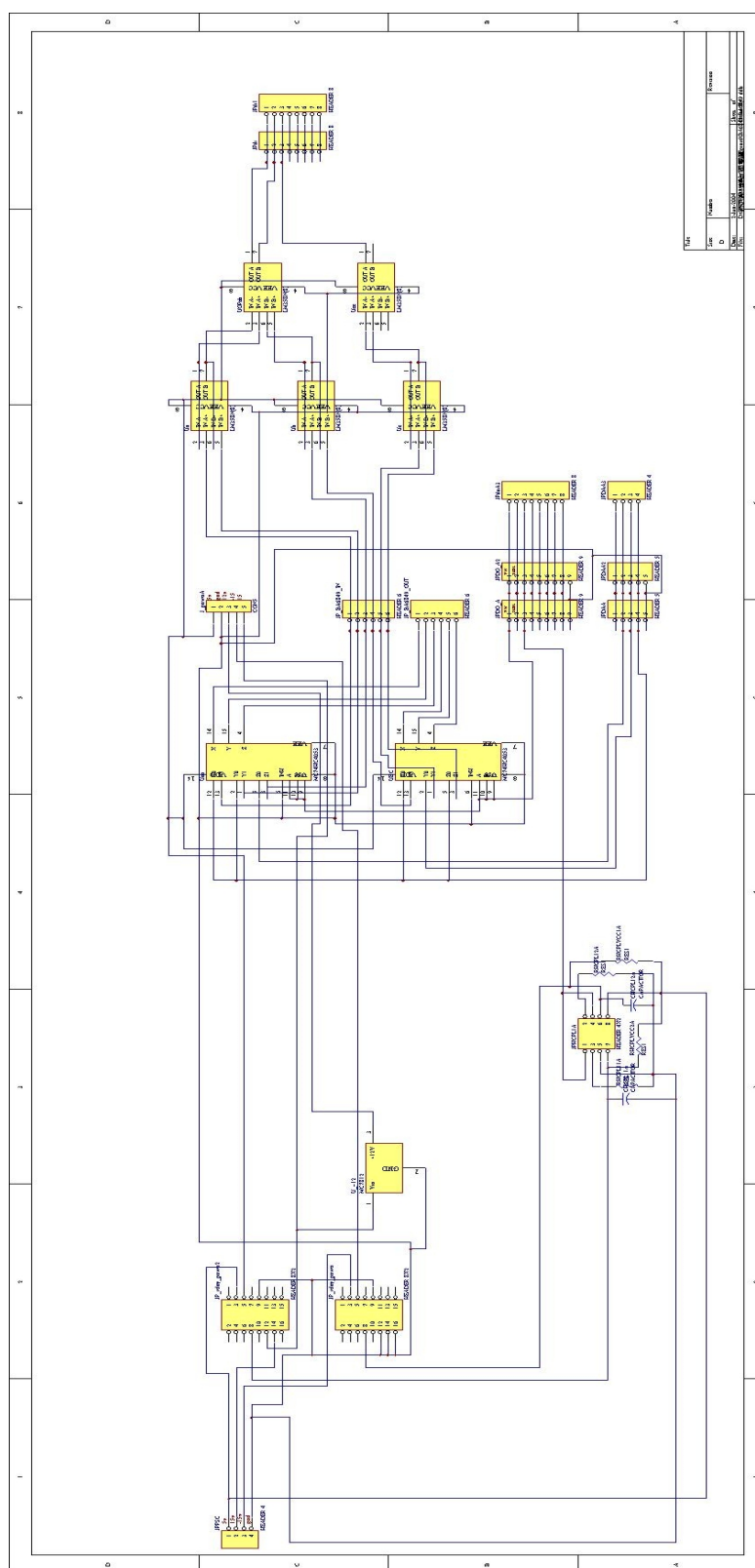


圖 5.5: 第一塊電路板線路圖

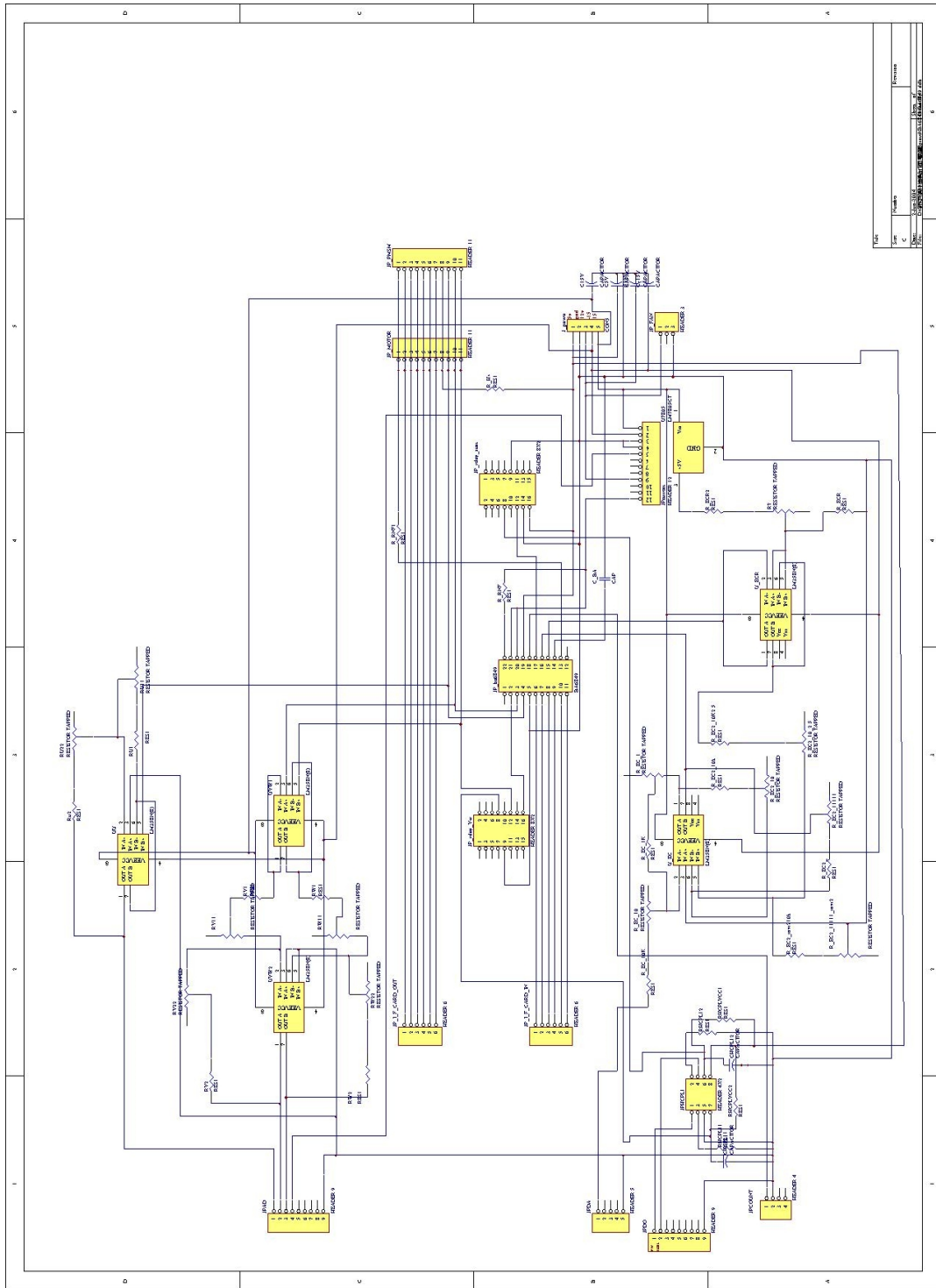


圖 5.6: 第二塊電路板線路圖



圖 5.7: 視窗畫面

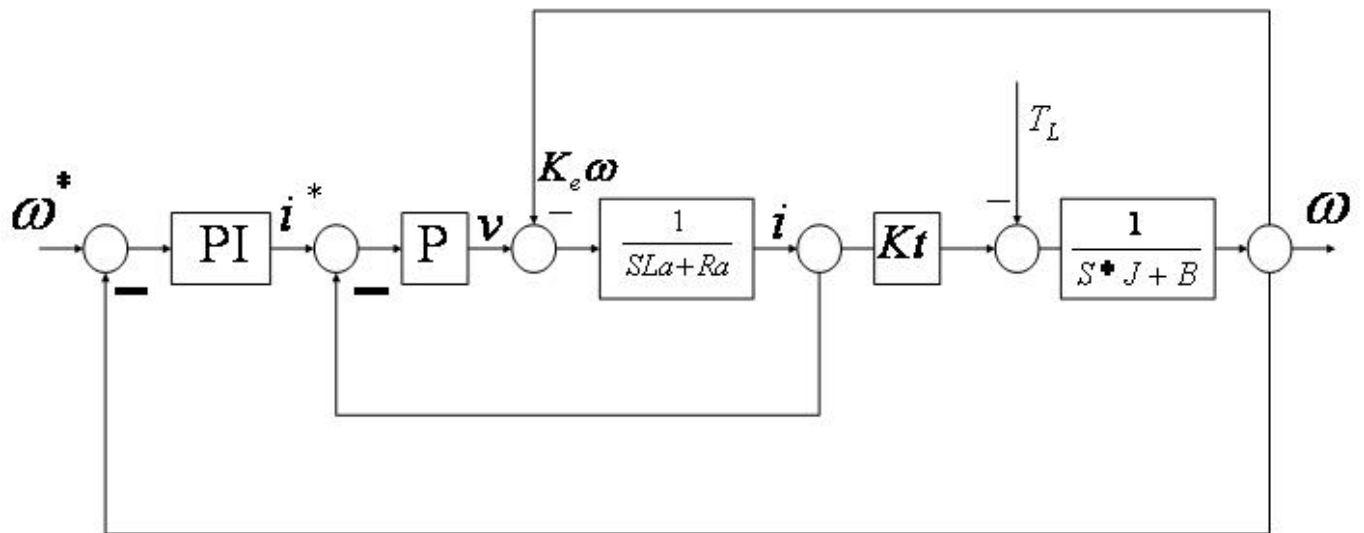


圖 5.8: 速度控制系統方塊圖

圖 5.7 為整個系統的視窗介面，此視窗介面是由 Visual C++6.0 所建構而成，此程式具備下列功能：

1. 可以重複的量測感應電動勢常數；

2. 可量測三相永磁馬達現在的轉速，以及電流大小；
3. 可控制三相永磁馬達的轉速；透過 adda 卡，以及速度的回授，我們採用最簡單的 PI(比例積分) 控制器來控制三相永磁馬達的轉速 (圖 5.8)。
4. 量測三相永磁馬達由低速到高速的上升時間。利用 adda 卡測試時間的功能，我們可以設定初始速度與停止速度，量測此三相永磁馬達的加速能力。
5. 透過速度的控制，只要我們將速度命令加到最高，當系統穩定之後，此時三相永磁馬達的速度就是三相永磁馬達所能到達的最高速度。可分別測試無載與有載的情況下，三相永磁馬達的最高轉速。

第六章

結論與未來發展

6.1 結論

感應電動勢常數 K_{emax} 關係到三相永磁馬達本身的性能、出力大小與可操作的工作轉速。本論文的貢獻在於能夠快速、方便、且準確的鑑別出感應電動勢常數，此方法的發現，能幫助三相永磁馬達生產廠提高其品質保證，經過全面且快速的鑑定，挑出不良品，以提供使用者高品質的保證。

6.2 未來發展

本論文之後所提出的測試機具，還屬於雛形的階段，能有許多功能可以整合進來。大致上有下列二種功能：

1. 三相永磁馬達內電阻與內電感的鑑別。 [11]
2. 三相永磁馬達轉動慣量以及阻尼係數的鑑別。

除此之外，關於電路的設計，可以將電路裡面的反相放大器電路，利用具有反相放大器功能的 IC 取代，如此可以將電路板面積縮小；而轉接版也

可以拿掉，將接頭直接連接到電路板上，省去了接線的麻煩；這些在未來都可以加以改進，讓整個機台具有美觀，整齊，不佔空間的優點。

附錄 A

傳統方式簡介

下線 (off-line) 反電動勢量測法

傳統量測轉矩常數的方式是將待測三相永磁馬達以另一顆伺服馬達帶動旋轉，且伺服馬達必須要能精確的鎖住速度。接著抓取待測三相永磁馬達的任兩相的感應電動勢的變化，就可測得三相永磁馬達兩相的線電壓的波形。我們將 V_{ab} 定義為待測三相永磁馬達 ab 兩相的線電壓，因待測馬達並無接上任何驅動器，故此時 $i_a = i_b = i_c = 0$ ，則透過 (3.1) 我們可以得到 (A.1) 式。

$$V_{ab} = V_a - V_b = V_{as} - V_{bs} = \frac{-\sqrt{3}2\omega_r K_{emax}}{P} \sin(\theta_r - \frac{\pi}{3})$$

$$K_{emax} = \max(V_{ab}) \frac{2}{\sqrt{3}P\omega_r} \quad (\text{A.1})$$

ω ：轉速。

由 (A.1) 可知，只要測得 V_{ab} 的振幅值，接著除以 $P/(\sqrt{3}2\omega_r)$ ，便可得到正確的 K_{emax} 。

圖 A.1 為下線反電動勢量測法的實現設備；左上角圈選的儀器為控制右下角伺服馬達的機台，其可以設定要讓伺服馬達定速旋轉，依照前面所說的計算方式，便能鑑別出感應電動勢 K_{emax} 。

圖 A.2 為三相永磁馬達與伺服馬達連接的情況，兩者乃是透過圖 A.3 的接合器具，將左邊的套具套在三相永磁馬達上 (如圖 A.4)，利用右方的黑色墊片，讓伺服馬達能夠帶動三相永磁馬達。



圖 A.1: 下線反電動勢量測法

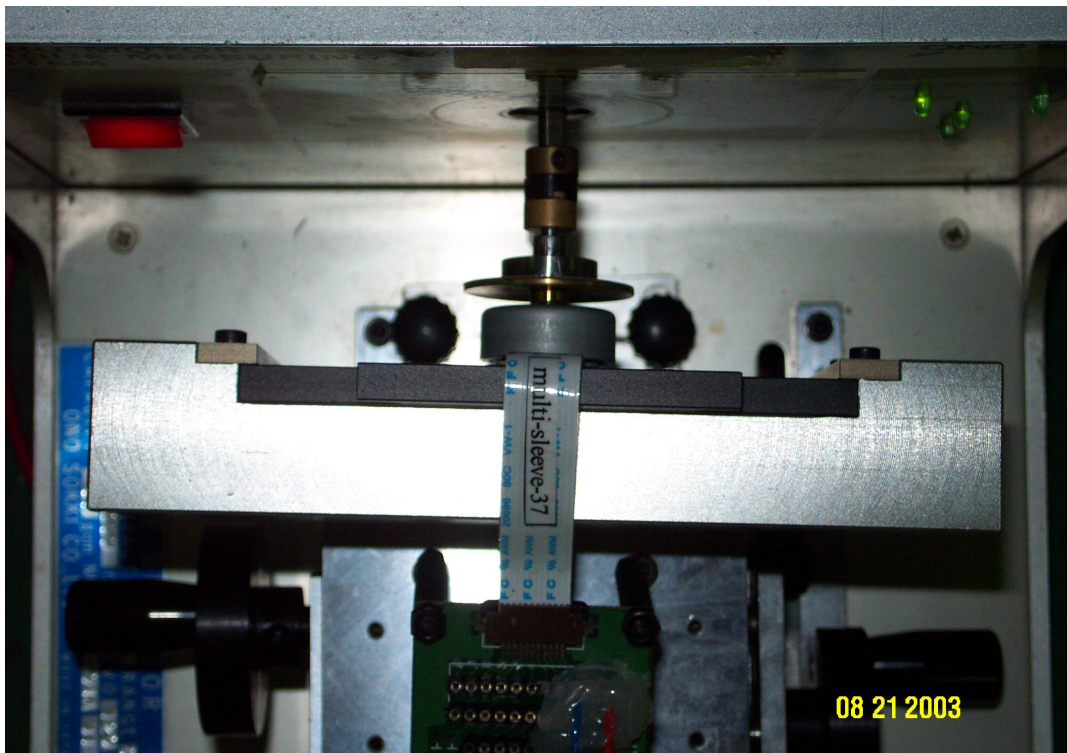


圖 A.2: 待測三相永磁馬達與伺服馬達的接合方法



圖 A.3: 接合器具

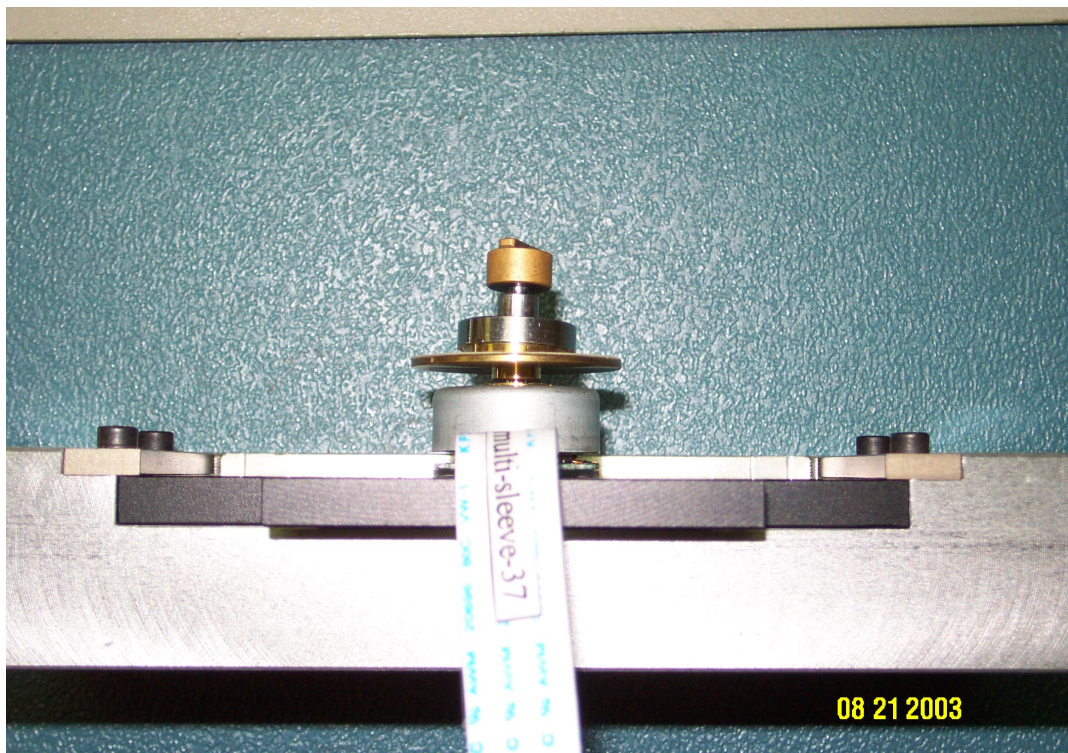


圖 A.4: 套具套在三相永磁馬達上的情況

圖 A.5為伺服馬達在轉速 12000rpm(電氣角) 下所量測到的波形，經過計算之後，可以得知實驗用的三相永磁馬達的感應電動勢常數 $K_{emax} = 0.00475\text{Volt}/(\text{rad}/\text{sec})$

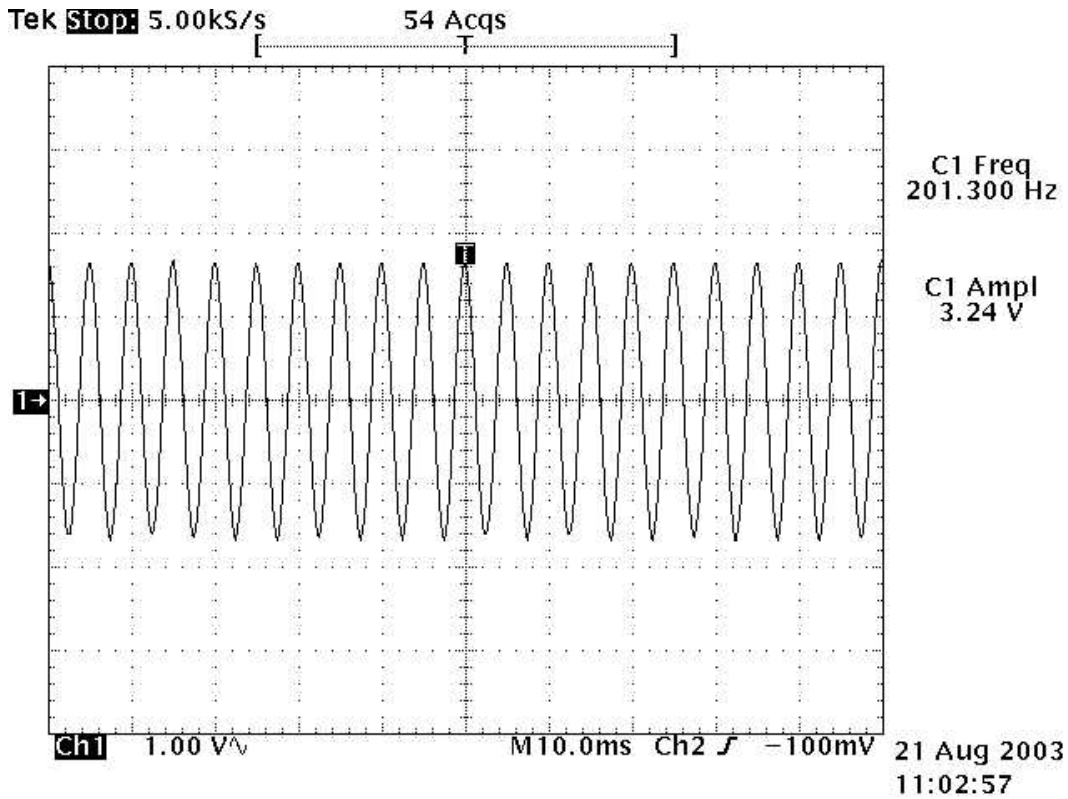


圖 A.5: $\omega_r = 12000\text{rpm}$ 待測三相永磁馬達的線感應電動勢

參考文獻

- [1] C. Delecluse, D. Grenier, "A Measurement Method of the Exact Variations of the Self and Mutual Inductances of a Buried Permanent Magnet Synchronous Motor and its Application to the Reduction of Torque Ripples.", *Proceedings of the 1998 5th International Workshop on Advanced Motion Control, AMC.*, pp. 191-197 , 1998.
- [2] T. Takaharu, and M. Nobuyuki, "Sensorless brushless DC Motor Drive with EMF Constant Identifier", *IECON Proceedings.*, v1, p 14-19, 1994.
- [3] T. Hisashi, K. Takashi, and T. Hirokazu, "Real-Time Estimation Method of Brushless DC Servomotor Parameters", *Processdings of the Power Conversion Conference PCC.*, v2, PCC-Nagaoka., p673-678, 1997.
- [4] D. W. Novotny and T. A. LIPO, *Vector Control and Dynamocs of AC Drivers*, New York: Oxford, 1996.
- [5] 侯捷, *C++ Primer 3rd 中文版*, 碁峰資訊股份有限公司, 2001 .
- [6] 劉濤, *VC++ 開發 Windows 程式活用 100 例*, 數位人資訊股份有限公司, 2003 .
- [7] 趙貴祥, *DC 無刷電動機與控制電路*, 文笙書局股份有限公司, 1995 .
- [8] 陳家宏, *小型電動機的基礎知識*, 文笙書局股份有限公司, 1995 .
- [9] S. J. Wang, C. H. Fang, and S. K. Lin, "A flux estimation method of a permanent-magent synchronous motor", *ISAMT2003*, 2003,p281 .

-
- [10] S. J. Wang, and S. K. Lin, "Inductance and resistance measurement of a permanent-magnet synchronous motor", to appear in *2004 World Congress on Intelligent Control and automation*.
- [11] S. J. Wang, C. H. Fang, and S. K. Lin, "A approach to the measurement of the inductance of a permanent-magnet synchronous motor", *ISAMT2003*, 2003,p275 .
- [12] 林錫寬，謝孟勳，王世杰，"一種量測三相永磁馬達感應電動勢常數或扭矩常數的方法"，*2004年中華名國自動控制研討會*，競賽論文 80348。
- [13] 蔡明志，*Visual C++6 教學手冊*，碁峰資訊股份有限公司，1999.
- [14] 羅姆電子股份有限公司網站 <http://www.rohm.com>。
- [15] 凌華科技股份有限公司網站 <http://www.adlink.com.tw>。
- [16] 元智大學電機工程研究所，92 學年度選修科目 -光碟技術 Optical Disc Technology 課程講義。