

圖 4.1: 馬達驅動器外觀

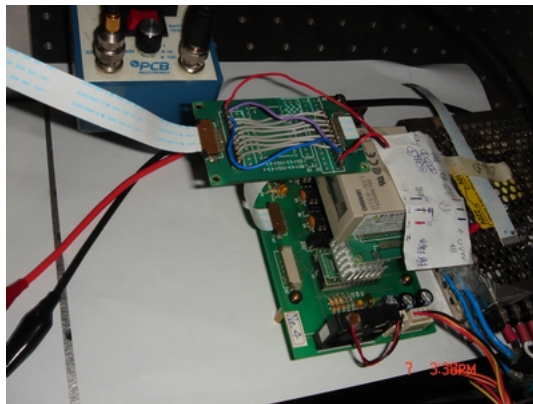


圖 4.2: 馬達驅動器跳線板

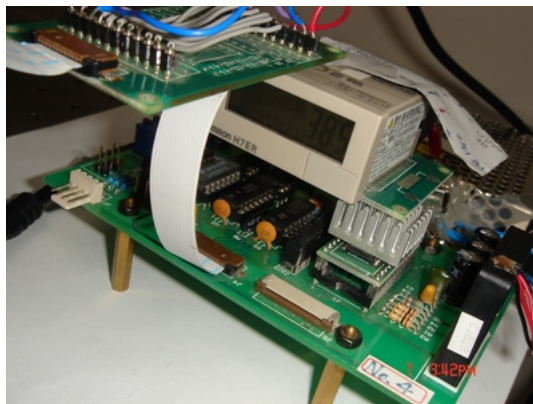


圖 4.3: 馬達驅動器轉速計

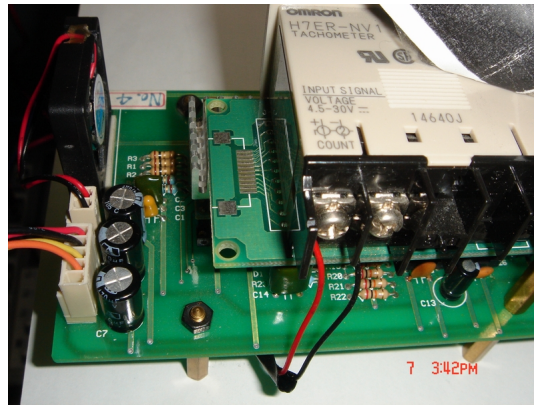


圖 4.4: 馬達驅動計 RF 訊號輸出端

由三相馬達驅動原理，可以知道利用 12 個接腳相對的電阻大小可以分成兩類，第一類的九個接腳排列順序是固定的，而另外一類的三個接腳需要用到跳線方法，利用錯誤嘗試法測試讓馬達可以穩定地正常的旋轉，這三個就需要轉接版轉接跳線如圖 4.2 所示。

馬達驅動器包括了 1. 驅動模組 2. 轉速計 3. RF 訊號輸出 4. 轉接版四個部分，驅動模組上有許多需要提供不同電壓的 IC 所以需要接上正負 12V、5V、GND 等四種電壓，可以由小型的電源供應器提供，由於驅動模組可以偵測馬達的三相電壓，並且將馬達的 RF 訊號經過處理以後由後面 RF 訊號端送出見圖 4.4，RF 訊號是三相馬達驅動的電壓訊號，RF 訊號是馬達轉速的六倍頻率的數位訊號，我們可以經由處理之後即時由 DAQ 卡的計數器通道得到馬達現在的轉速，而 RF 訊號也會顯示在轉速計上面，轉速計顯示的訊號是 rpm(每分鐘多少轉)的十分之一，也就是如圖顯示 385 其實馬達的轉速為 3850rpm。

在這個實驗中我們不採用 RF 訊號當成馬達外力輸入訊號的原因有兩點，第一的原因是 RF 方波訊號只有頻率沒有大小，所以我們需要經過計算得到目前外力訊號的大小，第二是 RF 訊號頻率是真實頻率六倍，想要利用 RF 訊號來得到真實的馬達位置會發現首先也需要經過計算得到真實的頻率，然後主要的問題是 RF 訊號沒有相位資訊，所以我們不採用 RF 訊號來做馬達外力訊號。

雖然 RF 訊號不是很方便，但是根據我們第一點問題可以發現 RF 訊號

可以當成我們變速度自動修正不平衡量的重要參考，由於方程式得知不平衡量與轉速有關係，在 LQG 控制程式中需要不平衡量大小當成參考指標，所以未來我們可以加入這項重要的關係，以利我們真正達成各種轉速的即時控制。

4.1.2 加速規與雷射測速儀

雷射測速儀用來測量速度是相當準確的儀器，因為非接觸式的測量方

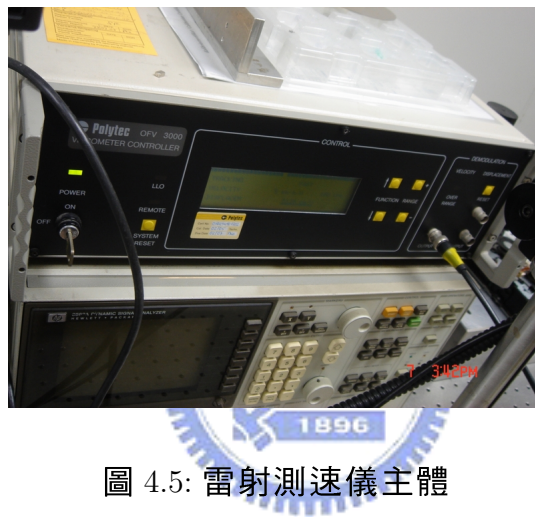


圖 4.5: 雷射測速儀主體



圖 4.6: 雷射測速儀雷射訊號發測接收端

法，所以抗雜訊能力好，響應的頻寬也很大，所以這次實驗在經過考慮之後捨棄原來使用的加速規當成測量 Mecha 震動加速度的儀器，唯一的缺點是雷射測速儀體積十分龐大、價格昂貴。



圖 4.7: 雷射訊號能量顯示光棒

雷射測速儀的使用十分簡單，在圖 4.5 的雷射測速儀主機設定好取樣頻率與精度以後，需要注意的就是雷射讀取頭的焦距調整圖 4.6，需要盡量調整讓反射光源能量最大圖 4.7，得到的訊號雜訊才會最小，效果也越準確。

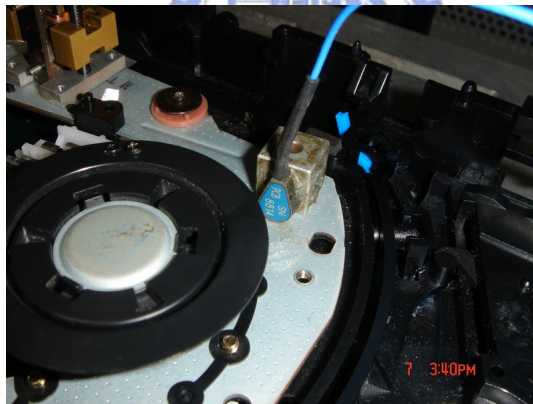


圖 4.8: 加速規與小鋁塊放置的方向位置

在這次實驗使用的控制方法中，由於需要知道外力輸入與 Mecha 速度輸出，所以需要加上加速規當成測量馬達外力的工具，由系統的結構知道，雖然我們想要抵銷的是 Mecha 縱向的震動，由於馬達旋轉造成 Mecha 以一個橢球的軌跡在旋轉，所以我們可以量測橫向速度並且成上一個增益值調整讓馬達的橫向作用力等於縱向作用力。

我們採取的方法是在 Mecha 上利用黏貼加速規專用的蜜臘將一個正方體的空心小鋁塊和 Mecha 貼在一起，在橫向的方向以密臘貼上加速規，如

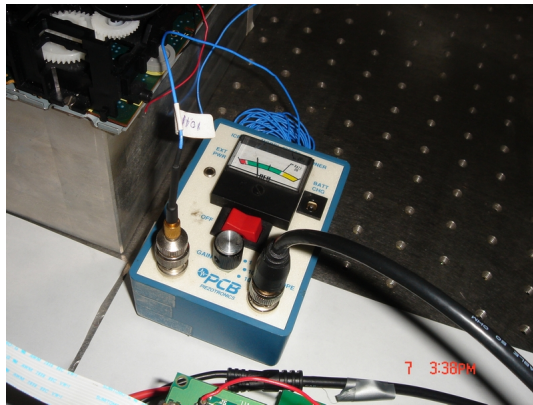


圖 4.9: 加速規的驅動器

圖 4.8 所示，然後旋轉鋁塊方向使得測量得到的加速度訊號超前雷射測速儀量得 Mecha 上的速度訊號九十度的相位差，接下來乘上加速規轉換的增益值，實驗使用的加速規型號是 SN916，經過驅動器後的轉換率是一伏特的電壓等效於 10.4 牛頓的力，接下來再乘上一個增益值使得使用卡爾曼濾波演算法的程式估測出來的結果等於輸入的結果，我們將這個結果當成馬達的縱向輸入力。

另一個實驗結果發現，在以一個相同頻率啟動音圈馬達後以相同的加速規分別測量兩個方向的受力，我們發現 Mecha 對於 VCM 的橫向受力大約是縱向受力的 1/5，再來啟動主軸馬達發現馬達橫向影響力遠大於 VCM 的橫向影響力，所以可以當成純馬達的外力訊號輸入。

不過由於目前工研院可用的加速規只剩下 SN916 與 SN915 這兩枚，基於響應頻帶的關係，他們兩者都會受到低頻訊號的影響，以及高頻雜訊很大的影響，所以會有以下缺點，首先高頻雜訊影響會造成我們外力訊號不精確，因為取樣頻率只有 5kHz 以 DSP 理論來說只有 2500Hz 以下的訊號才能進入，所以影響其時十分有限，最大的問題還是由於低頻訊號，雖然我們的控制法則有能力抵銷掉這個低頻的載波的影響，但是由於 VCM 線圈只能承受 0.09 安培的電流，所以低頻雜訊影響使得我們必須提供的電壓超越這個範圍時我們的控制器等於失去了作用，目前我們並沒有完全解決這個問題，紀錄下來的圖形也是在低頻雜訊幾乎等於零時紀錄的圖形。

這個缺點要克服我們將來可以採用響應頻待適當的加速規或是使用雷射

測速儀等比較高級的測量儀器，另外一個解決方案是在輸入訊號加入帶通濾波器，由於我們的訊號都是周期性的訊號，加上相位問題可以將輸入訊號乘上 $e^{j\omega}$ 調整相位，所以使用帶通濾波器的可行性很高，唯一顧慮的問題就是電腦運算速度的問題，使用太高階的濾波器將會造成電腦運算太慢失去了及時控制的優勢。

4.1.3 功率放大器與 DAQ 卡轉接盒



圖 4.10: 功率放大器

功率放大器 (見圖 4.10) 是一個將輸入訊號增加功率的儀器，因為 VCM 的線圈非常脆弱，不加入限流電路很容易燒毀漆包線線圈，經過我們的測試發現大約 0.02A 即會燒毀線圈，由於目前使用的 VCM 組裝非常耗時，所以除了軟體限制電流之外最後在 VCM 輸入前端在加入一個限流電路，以策萬全。

這個功率放大器有兩個輸入孔，最左列第一排開關切換輸入訊號，第三個開關決定是否增加輸出阻抗值，接下來五個按鈕是決定輸出訊號的功率倍率，以這次實驗而言，以增加 10 倍功率即可順利驅動 VCM 達到理想的結果。

DAQ 卡轉接盒我們使用的型號是 BNC2210，如圖 4.11，其輸入輸出接頭都是以 BNC 接頭輸入輸出，BNC 接頭的優點是外界雜訊干擾較小，與鱷魚



圖 4.11: DAQ BNC 轉接盒

夾夾住電線插入的轉接版比較優點是不容易脫落與訊號不容易因為電線互相接觸而干擾，缺點是價格較高，需要分接的話還要找 T 字接頭來分接，在實驗系統中由於我們需要觀察雷射測速儀的速度訊號、加速規的加速度訊號與 DAQ 卡的輸出訊號，所以我們必須使用到三個 T 字接頭來分接訊號。

4.2 DAQ 卡使用方式

在這個小節中將討論 daq 卡的硬體結構與以 VC 驅動的語法。

經由上一節介紹完各個儀器的使用後我們將實驗平台以圖 4.12 簡化介紹，首先由馬達驅動器提供電流讓馬達轉動，接下來將加速規與雷射測速儀的訊號由資料擷取卡擷取，經由電腦以 LQG 訪法運算以後由資料擷取卡輸出適當的電壓訊號，再經由功率放大器放大訊號給音圈馬達，音圈馬達啟動後 Mecha 上的震動將會減少。

4.2.1 DAQ 卡硬體考量

這次實驗採用的是 NI 公司出品的 PCI-6221 資料節取卡，規格如下，共有八個類比輸入通道，兩個輸出通道，與八個數位輸入輸出通道，還有計數

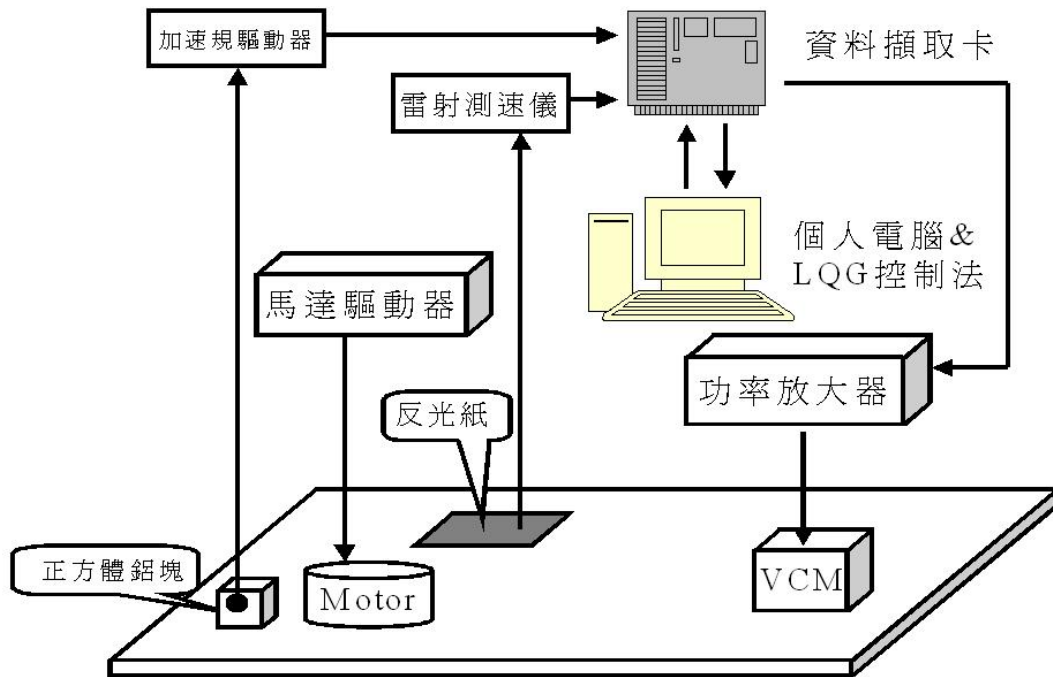


圖 4.12: 實驗平台示意圖

器 / 計時器通道兩個。

我們這次實驗使用了兩個類比輸入通道一個類比輸出通道，未來還可以加入計時器通道及時計算不平衡量，達到更完美的控制結果。

由於我們使用了雙通道輸入，輸出與輸入爲了同步我們共用了一個計時器，所以取樣頻率無法到達輸出最高的 10kHz，所以我們採用了 5kHz 的取樣輸入輸出頻率，不使用太高頻是因爲避免誤差累積，輸入範圍限制在正負 0.5 V 爲了讓 DAQ 卡的 12 bit 精確度充分發揮，輸出限制在正負 0.6V 是爲了避免線圈燒毀。

4.2.2 DAQ 卡軟體考量

PCI-6221 這張卡在 VC 環境下只能以 ANSI C 的標準語法驅動，先以一個簡單的類比通道輸入範例解釋驅動 DAQ 卡的 ANSI C 標準語法，範例取自 NI 公司的範例程式，範例如下圖 4.15 所示，啓動方法分成四個步驟，第一個步驟是初使化資料擷取卡，初使化包括建立 TASK 功能、設定輸入輸出通道、

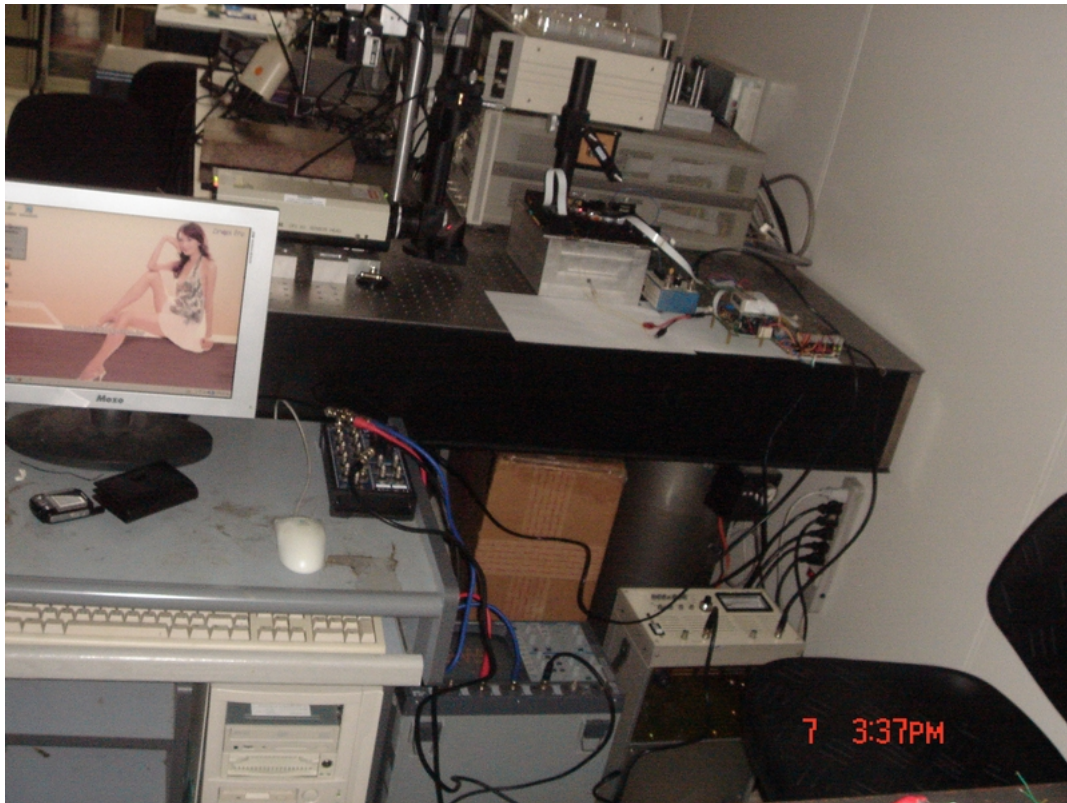


圖 4.13: 實際實驗平台

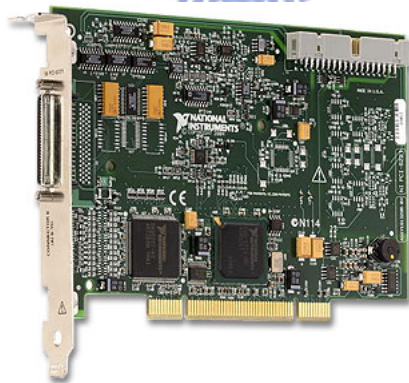


圖 4.14: DAQ 卡 NI6221

設定擷取頻率，三項功能，PCI-6221 的功能有六大類—類比輸入與輸出、數位輸入與輸出、計數器與計時器六種功能，可以在建立對應的 TASK 名稱以利我們撰寫程式的便利性，接下來是設定輸入輸出的通道，以本範例為例，這張卡在個人電腦上被定義為 dev1，其中 dev 的意義為 device，想要採用類比

輸入通道為 0，所以就使用成 "Dev1/ai0"，取樣頻率為 1kHz，完成這三個步驟後資料擷取卡初使化完成。

第二步驟就是啓動 TASK 的功能，第三步驟開始擷取資料，將資料存放在指定的陣列裡，第四步驟就是停止擷取的動作。

```

#include <stdio.h>
#include "NIDAQmx.h"
#define DAQmxErrChk(functionCall) { if( DAQmxFailed(error=(functionCall)) ) { goto Error; } }
int main(int argc, char *argv[])
{
    int32 error=0;
    TaskHandle taskHandle=0;
    int32 read;
    float64 data[1000];
    char errBuff[2048]='\0';
    /**/ DAQmx Configure Code
    DAQmxErrChk (DAQmxCreateTask("",taskHandle));
    DAQmxErrChk (DAQmxCreateAIVoltageChan(taskHandle,"Dev1/ai0","",DAQmx_Val_Cfg_Default,-10.0,10.0,DAQmx_Val_Volts,NULL));
    DAQmxErrChk (DAQmxCfgSampClkTiming(taskHandle,"",10000.0,DAQmx_Val_Rising,DAQmx_Val_FiniteSamps,1000));
    /**/ DAQmx Start Code
    DAQmxErrChk (DAQmxStartTask(taskHandle));
    /**/ DAQmx Read Code
    DAQmxErrChk (DAQmxReadAnalogF64(taskHandle,1000,10.0,DAQmx_Val_GroupByChannel,data,1000,&read,NULL));
    printf("Acquired %d points\n",read);
Error:
    if( DAQmxFailed(error) )
        DAQmxGetExtendedErrorInfo(errBuff,2048);
    if( taskHandle!=0 ) {
        /**/ DAQmx Stop Code
        DAQmxStopTask(taskHandle);
        DAQmxClearTask(taskHandle);
    }
    if( DAQmxFailed(error) )
        printf("DAQmx Error: %s\n",errBuff);
    printf("End of program, press Enter key to quit\n");
    getchar();
    return 0;
}

```

圖 4.15: 範例程式圖

這次實驗設定雙通道擷取的語法如下，資料存取的方法是在指定的陣列上交錯存放資料，方法為首先 DAQmxCreateAIVoltageChan 的第二個變數以 "Dev1/ai0:1" 輸入及意為一次擷取通道 0 通道 1 的資料，再來當我們開始啓動擷取功能時的指令 "DAQmxReadAnalogF64" 的第六個變數選擇 2，意及存放兩筆資料在指定的陣列上。

設定輸入輸出同步的輸出 TASK 功能設定的方法如下，首先定義輸入或是輸出的取樣頻率，一般而言先設定輸入的取樣頻率是一個比較方便的方式，再來在初始化類比輸出的 TASK 時，在設定取樣頻率的指令 DAQmxCfgSampClkTiming 的第二個變數設定為 "/Dev1/ai/SampleClock" 即可將類比輸出的計時器和類比輸入的計時器同步。

4.2.3 DAQ 卡使用注意事項

經過實驗不斷的修改程式提出以下建議，資料存放的陣列宣告比實際上

使用的陣列大一些，不要宣告的剛剛好，這樣容易出現錯誤訊息。

不要及時顯示資料也不要及時存取資料，在硬碟存取的速度遠慢於在記憶體上存取所以如果需要紀錄資料擷取卡上的資料時，最好先宣告一個陣列暫存，程式結束後再接資料寫入硬碟。

4.3 實驗結果與模擬結果比較

在這一小節中將擷取實驗的各個結果跟之前模擬的結果作一個完整的比較。

我們的實驗分成兩個部分，一個是啓動 VCM 控制進行制振動作的實驗，驗證 LQG 方法實現在這個平台上的效果，另一個實驗是紀錄平台未啓動控制器的速度與加速度的訊號，將這兩個訊號與模擬作比較，也驗證利用側向力計算縱向力方法的正確性。

制振實驗的步驟如下，將儀器與機台架設完成以後，首先啓動光碟機上的主軸馬達，再來按下 VC 對話視窗中的 "CFG" 按鍵，也就是進行初始化設定 DAQ 卡的步驟，接著按 "START" 按鍵啓動 LQG 方法的功能，此時已經計算出該輸出的電壓大小了，爲了確保實驗安全我們另外設置 "VCM" 按鈕，按下以後方輸出電壓經過功率放大器到 VCM 的線圈上，4.3.1 小節紀錄分析了這個制振實驗的結果。

實驗紀錄的步驟說明如下，前兩個步驟與制振實驗的步驟相同，將 "START" 按鈕的功能改成啓動 LQG 方法並且宣告記憶體空間紀錄訊號，接著按 "START" 按鍵啓動紀錄的功能，紀錄雷射測速儀得到的速度訊號 (此時已轉成電壓訊號) 與加速規上的得到的馬達外力造成的加速度訊號，接著結束程式，將紀錄得到的資料與模擬的結果一一分析比較，驗證實驗是否正確。

4.3.1 實驗結果說明

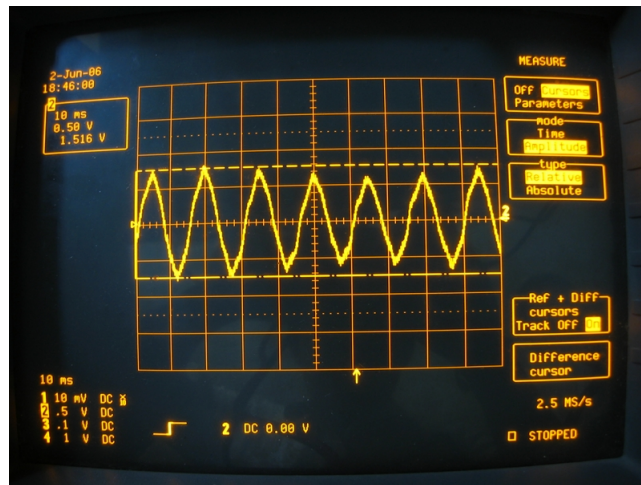


圖 4.16: 未啟動 VCM 的 Mecha 震動速度訊號

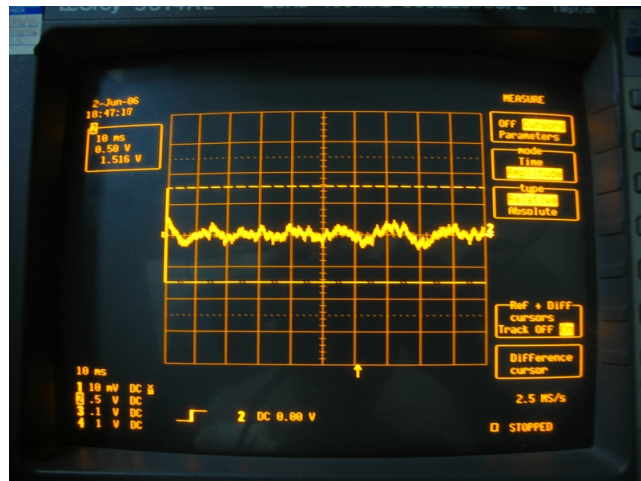


圖 4.17: 啟動 VCM 之 Mecha 震動速度訊號

圖 4.16 是主軸馬達在 400 rpm 時由雷射測速儀量得未啟動 VCM 制振時 Mecha 上的震動速度訊號，圖 4.17 為啟動 VCM 後雷射測速儀測得的震動速度訊號圖，啟動制振機制後訊號峰對峰值約為原來的八分之一。

我們還分別作了各種轉速下的制振實驗，當轉速越高時，由於硬體的限制，在一個週期下控制力的次數越來越少所以制振的效果也越來越差，而在系統的共振頻附近控制的效果比例非常好，這是由於共振頻下的震動很大，在這個週期下可以輸出控制力的次數比高轉速下的控制力次數還多，所以壓縮震動的比例很高，與模擬結果相同。

4.3.2 Mecha 震動速度與馬達外力加速度訊號分析

Mecha 上震動的速度訊號是不是與加速規量得的加速度訊號落後 90 度與加速規量測側向力的方向有關，如果兩者未達落後 90 度表示加速規的方向並非在正確的方向，所以我們必須調整其方向使兩者達到速度訊號落後加速度訊號 90 度的關係，才算正確的架設實驗平台。

由圖 4.18 我們可以看到，加速度訊號超前速度訊號九十度，但是也隱約看出有一個低頻的飄移訊號，驗證了我們在 4.1 小節的推論，在紀錄上也只能採用低頻訊號在電壓 0V 附近時的資料記錄，根據模擬的結果與實驗結果比較可以發現在實驗結果與模擬的結果十分相似，圖中的鋸齒雜訊是由於取樣頻率無法夠高以及加速規本身有些許量測雜訊的關係造成。



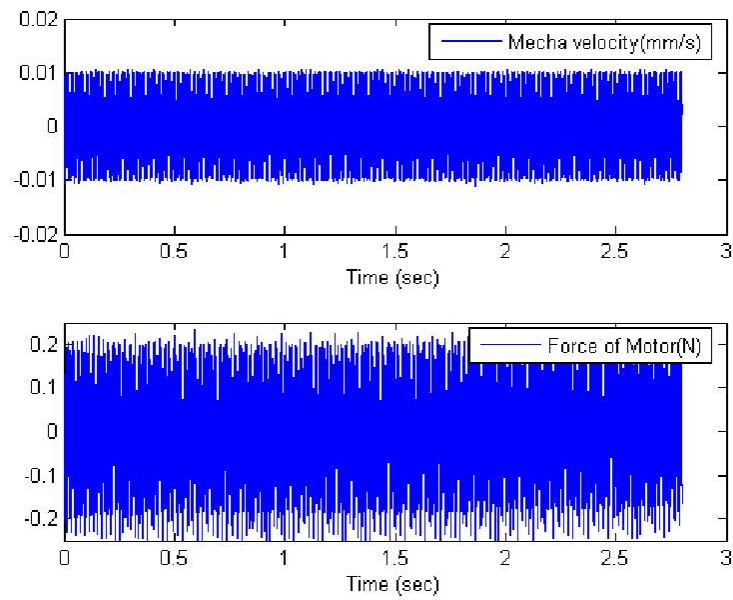


圖 4.18: 由 daq 卡擷取的實際 Mecha 速度與馬達提供外力圖

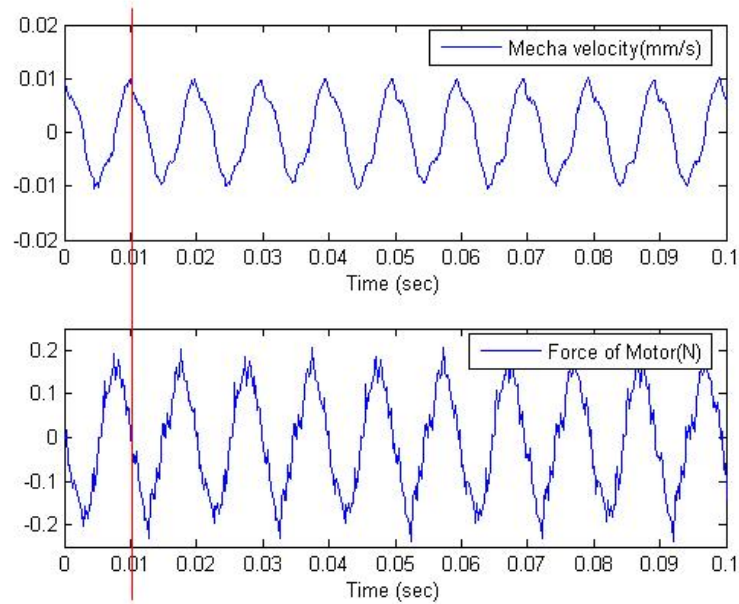


圖 4.19: 圖 4.18 0 秒到 0.1 秒的詳細資料

4.3.3 Mecha 速度與 VCM 輸入電壓訊號分析

接下來觀察 LQG 模擬圖中的施力方向與速度訊號比較後，發現模擬圖中的施力和速度訊號幾乎是反相的，而圖 4.20 紀錄的實驗結果與模擬的結果完全相同可以驗證模擬的結果。

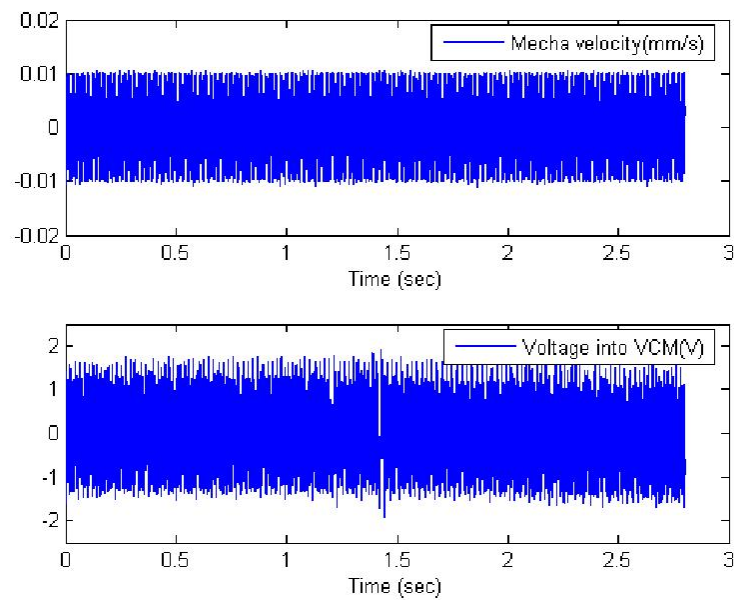


圖 4.20: Mecha 上的震動速度與預計輸入 VCM 的電壓

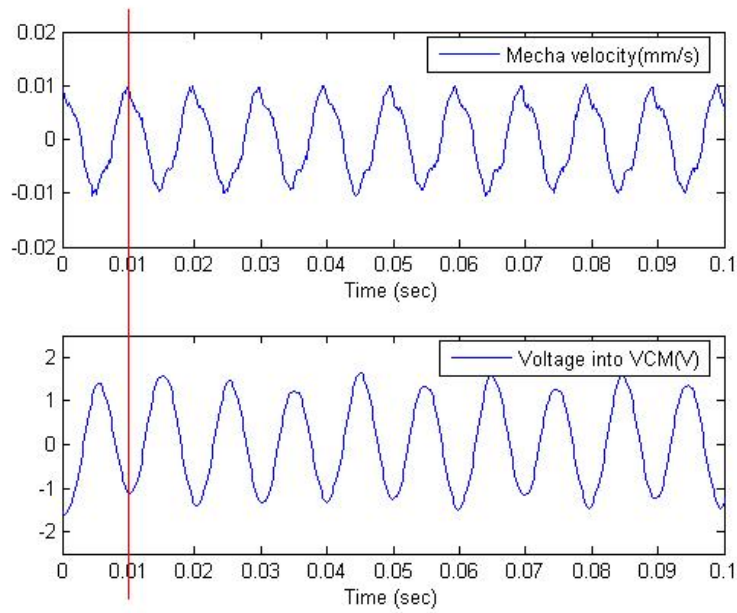


圖 4.21: 圖 4.20 0 秒到 0.1 秒的資料

4.3.4 卡爾曼濾波器估測 Mecha 速度

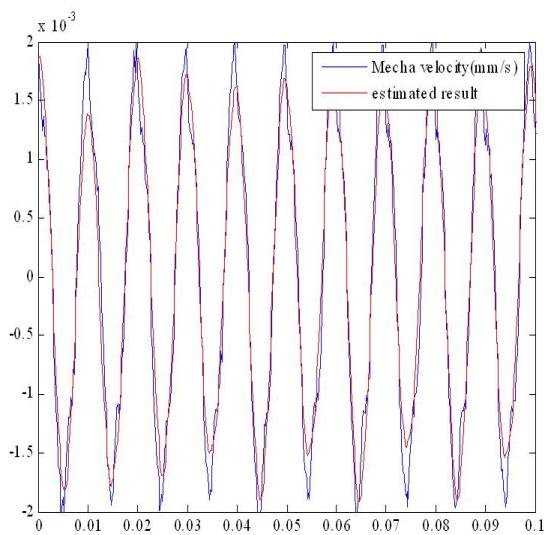


圖 4.22: Mecha 速度 (藍色) 與卡爾曼濾波器估測結果 (紅色)

這是我們將系統啓動一段時間以後，然後啓動 DAQ 卡紀錄 5 秒鐘的資料數據，由於將整段訊號結果的圖形放上去將很難看出估測情形，所以我們只有在圖中放上去 0 秒到 0.1 秒的估測狀況，我們可以看出估測與實際還是有些誤差，因為 DAQ 卡取樣頻率夠快 PC 計算效能夠好，使用卡爾曼濾波器估測的效果確實不錯。



第五章

結論與未來發展

5.1 前言



本論文是以 VCM 取代光碟機上的集振器 (Absorber)，透過個人電腦與 NI 的資料擷取卡應用 LQG 的控制方法達到主動式制振的效果，本章將總結這個題目的結果與未來發展。

5.2 結論

這個實驗平台是張啓伸學長提出的，原來的構想是應用 "Design of an Adaptive Dynamic Absorber to Reduce Optical Disk Drives Vibration at Multiple Rotating Speeds" [1] 提到的制振方法去實現，後來發現這個方法我們暫時無法想到適當的方法去解決這個問題，經過與吳敏德學長討論之後決定應用已有的 LQG 的方法去實現控制，經過一番努力在實做上也達到了不錯的效果，所以使用 VCM 取代集振器的想法目前已經確定可以實現。

在口試的過程中林君明教授也提到 LQG 方法容易受到參數的影響有控制效果不彰的問題，所以後來發展出一套 LTR/LQG 的方法來避免掉 LQG 方法對於參數太過靈敏的問題，雖然目前這個實驗系統沒有因為系統老化造成參數變化太大的情形，不過商品化後這的確是一個很大的問題，如果目前這個架構要繼續研究發展，相信這是一個很好的方向。

雖然實驗已經達到預期的效果，但是，仍然有許多其他可以繼續發展的空間，首先是使用多個 VCM 達到整個平面的制振效果，可以更有效的使整個平台的周期性震動變小，也可以讓改變 VCM 的形狀讓系統更適合放置在光碟機裡，目前已經有學弟繼續研究改變 VCM 構造與形狀讓這個機構可以實現在各種世售光碟機上，也嘗試更換更高匝數的線圈來實現體積更小效果更佳並且在耗電與效能間找到最佳的平衡。

另外我們可以敲擊錘敲打平台檢測各個位置最佳的效果，來尋找最適當的 VCM 放置位置使得制振的效果最佳。

5.3 未來發展



考慮到達到商品化的要求最大的問題在於測量儀器的問題，雖然控制系統可以將程式載入馬達的 DSP 控制晶片裡，但是，要找到適合頻帶的加速規，或是雷射測速儀並不適合在量產中實現，應該可以參考”應用 RBF 類神經網路於超音波馬達之位置控制”[10]，利用模糊控制達成，而且可以避免掉我們使用過多測量儀器的缺點。

另外由於 LQG 的方法有適應性，見 Kalma Filtering 說明我們可知可以考慮應用來克服偶發性的震動雜訊，比如光碟機運作時附近有人跑步造成的偶發性震動，不過由於當時與我們訂定下來的要求不同所以沒有進行這個方向繼續研究，工研院的技術報告有做這個方面研究，使用的方法是應用適應性濾波的方法，這也是接下來很好的研究方向。

若是克服了問題可以量產後，將大幅改善固定週期雜訊問題，甚至達到變轉速下也一樣可以達到效果，目前由於硬體的關係還沒有直接作到可以隨

著轉速調整參數的功能，不過我們實作的實驗中發現只要取樣頻率夠快都可以在各種轉速下達到很不錯的控制效果，所以對於這個應用來說是十分可行的應用，將來可以這個控制機構可以應用在汽車、機車上改善馬達造成的固定震動甚至突發性震動，讓我們乘客駕駛起來更加舒適。



參考文獻

- [1] C. S. Chang , T. S. Liu, T. R. Jeng , W. J. Ho, H. C. Huang ,and S. K. Lin”Design of an Adaptive Dynamic Absorber to Reduce Optical Disk Drives Vibration at Multiple Rotating Speeds”,*ISOM* 2005.
- [2] C. S. Chang , H. C. Huang ,and S. K. Lin ”Active Vibration Absorber with LQG Control in Optical Disk Drive”,*ISOM* 2005.
- [3] C. S. Chang, T. S. Liu, ”Design of Adaptive Dynamic Absorber to Reduce Optical Disk Drive Vibration at Multiple Rotating Speeds,” *Jpn. J. Appl. Phys.* 40, 1120-1123, 2006.
- [4] Haykin S. *Adaptive Filter Theory* , Prentice-Hall International, 3ed edition, 1996.
- [5] Jer - Nan Junang ,”Applied System Identification” , *Prentice-Hall*,1994.
- [6] J. W. Heo, J. Chung, and J. M. Park, ”Vibration and Noise Reduction of an Optical Disk Drive by Using a Vibration Absorber”, *IEEE Transaction on Consumer Electronics* 48, 874-878 ,2002.
- [7] J. S. Bay, ”Fundamentals of linear state space systems,” *McGraw-Hill* , Boston, 1999.
- [8] Yi-De Chen, Chyun-Chau Fuh, and Pi-Cheng Tung ”Application of Voice Coil Motors in Active Dynamic Vibration Absorbers ”*IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, VOL. 41, NO. 3, MARCH 2005.
- [9] 葉原誌,”以音圈馬達作為懸空型的振動吸收器研究”,雲林科技大學機械工程研究所碩士論文 ,2004.

- [10] 杜孟奇, ” 應用 RBF 類神經網路於超音波馬達之位置控制 ”, 國立中央大學機械工程研究所碩士論文, 2001.
- [11] ” 光碟機制振技術之研究開發 ” 工研院電光所技術報告, 2002.
- [12] 魏克新, 王云亮, 陳志敏著, 林群超譯, ” 自動控制系統設計與 Matlab 語言 ” 全華科技圖書股份有限公司, 2003.

