

第三章 實驗設計與方法

本論文主要研究骨牌之運動狀態，因此需要製作測量骨牌運動的裝置。然而要測量骨牌運動，必須要製作一個 USB 介面的類比訊號接收器，同時撰寫電腦軟體訊號接收，並設計一個裝在骨牌上的角速度測量裝置。因此本章主要分成三個章節：第一節主要介紹如何設計 USB 介面訊號接收器，再談到訊號傳送至電腦後，電腦軟體介面的製作與使用說明。第二節主要介紹實驗裝置的一個重點部分，即可變電阻改制成角速度量測裝置，它佔實驗裝置中一個非常重要部分，本節從其內部結構性質與轉軸阻抗線性關係，深入的介紹討論它。第三節主要介紹設計一個阻尼振盪系統，來驗證可變電阻轉軸在阻尼振盪時受其內部的摩擦效應影響，進而推算其摩擦係數 μ 。

第一節 自製 USB 轉接介面訊號接收盒與軟體介紹

由於本實驗研究上的需求，我們需要一個接收類比訊號的訊號接收裝置，加上必須配合能輸入到電腦上，所以必須把類比訊號轉換成數位訊號，再由電腦接收數位訊號進行紀錄，因此在製作上可以分成兩個層面，一個層面是屬於硬體上需要製作的問題；另一個層面是屬於軟體上製作的問題，以下我們就以這兩個層面的問題進行詳細的討論。

3-1-1 訊號接收器在硬體方面的介紹

在硬體方面，我們需要做的接收器即一般的類比轉數位訊號接收裝置。然而目前任何週邊裝置與電腦的連結，幾乎都以 USB 連結介面為主流，所以我們就採用了以 USB 連結介面的 ADC (Analog Digital Converter 類比轉數位訊號轉換器) 來當作我們擷取訊號的裝置。[10]

由於工業自動化產品的走向下，從傳統的電磁開關、繼電器進步到工業電子、數位邏輯電路再發展出 CPU (中央處理器 Central Processing Unit) 更進一步單晶片微控制。現階段單晶片微控制器已經成為主流，主要是它已經幾乎將所有的週邊 IC 電路，例如 RAM、ROM、A/D 等，全部融於一個晶片內，並且有以下六項優點：

- (1) 電路運作穩定性高
- (2) 維修費少
- (3) 成本價格低
- (4) 競爭力強
- (5) 體積小不佔空間
- (6) 消耗電力小

加上硬體電路均已簡化，而且軟體程式燒錄簡易，是目前單晶片成為主流的主要原因。一般來說要製作類比轉數位訊號接收器需要用到很多不同功能的單晶片來組合，例如：運算晶片、ADC 晶片、

Comport 轉 USB 介面晶片等，以達到我們實驗上測量的需要。在此我們主要採用以 8051 單晶片為主要運算晶片，在配合其它功能的晶片來組合，完成我們的 USB 介面的 ADC 裝置。

英特爾(Intel)公司生產的單晶片有三種的型號，分別為 8048→8051→8096 它們是一系列而成階梯的產品，而我們採用的 8051 它有以下些特點：

- (1)兩個 16 位元的計時/計數器
- (2)一個與外界進行多工處理的串列通訊埠
- (3)兩個外部中斷偵測點
- (4)微控制器
- (5)211 個可單獨位元定址處理的位元，又稱“布林代數處理器”

我們利用著 8051 單晶片有以上的這些特點，配合我們選定以下兩個附屬晶片，做出第一版的電路：

- (1)晶片訊號 ADC0804LCN：負責類比訊號轉數位訊號的工作。
- (2)晶片訊號 PL-2303HX：負責將 Comport 輸出轉成 USB 介面輸出。

由以上三個晶片加上一些電阻、電容與電感的組合便可形成我們收集訊號用的類比轉數位訊號接收器，其簡易晶片順序如圖 3-1 所示與實際電路圖如圖 3-2 所示，而詳盡的電路圖會放置在附錄一：

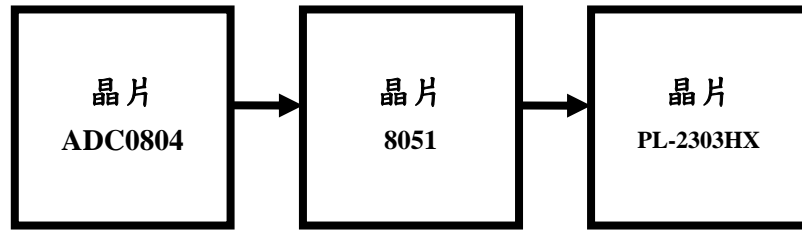


圖 3-1：第一版晶片電路順序圖

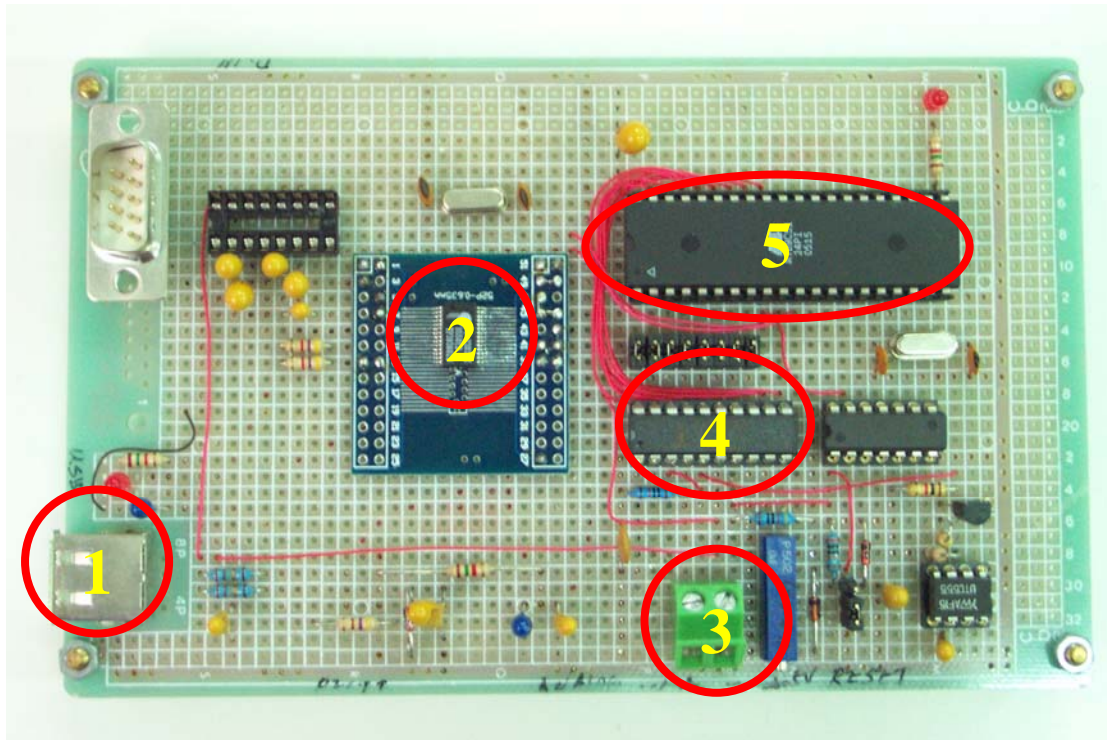


圖 3-2：第一版電路成品圖，說明如下

- | | |
|-----------------|-------------------|
| 1 為 USB 訊號輸出介面。 | 2 為 PL-2303HX 晶片。 |
| 3 為訊號輸入端。 | 4 為 ADC0804 晶片。 |
| 5 為 8051 晶片。 | |

接著我們將對其電壓輸入的限制與效能做一系列的介紹：

- (1)可輸入訊號端：擁有接收一個訊號端輸入。
- (2)電壓輸入範圍：在 0~5V 之間。
- (3)解析度：8bit（達到 20mV 的解析度）。
- (4)取樣頻率：最高速率達每秒三百組取樣訊號。
- (5)緩衝記憶體：沒有緩衝記憶體的存在。

由於第一個版本的效能未能達到我們的需求，所以我們根據其不足的地方，繼續開發第二個版本的類比轉數位訊號接收器，其主要是更換 8051 單晶片，以它的新品 MSC1212 晶片為主要運算晶片[11]，它是屬於向上相容的晶片，在軟體的製作上完全可以套用，而且擁有比 8051 更好的速度與解析度，在配合後端晶片 PL-2303HX，製作出新的第二代接收器，其主要結構如下：

- (1)晶片訊號 MSC1212：此晶片是 8051 單晶片與 ADC0804LC 晶片的結合體，擁有運算處理與類比轉數位轉訊號的合成晶片。
- (2)晶片訊號 PL-2303HX：負責將 Comport 輸出轉成 USB 介面輸出。

由以上兩個晶片加上一些電阻、電容與電感的組合便可形成我們第二代的收集訊號用的類比轉數位訊號接收器，其簡易晶片順序如圖 3-3 所示與實際電路圖如圖 3-4 所示，而詳盡的電路圖會放置在附錄二：

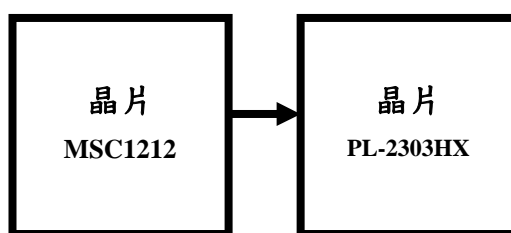


圖 3-3：第二版晶片電路順序圖

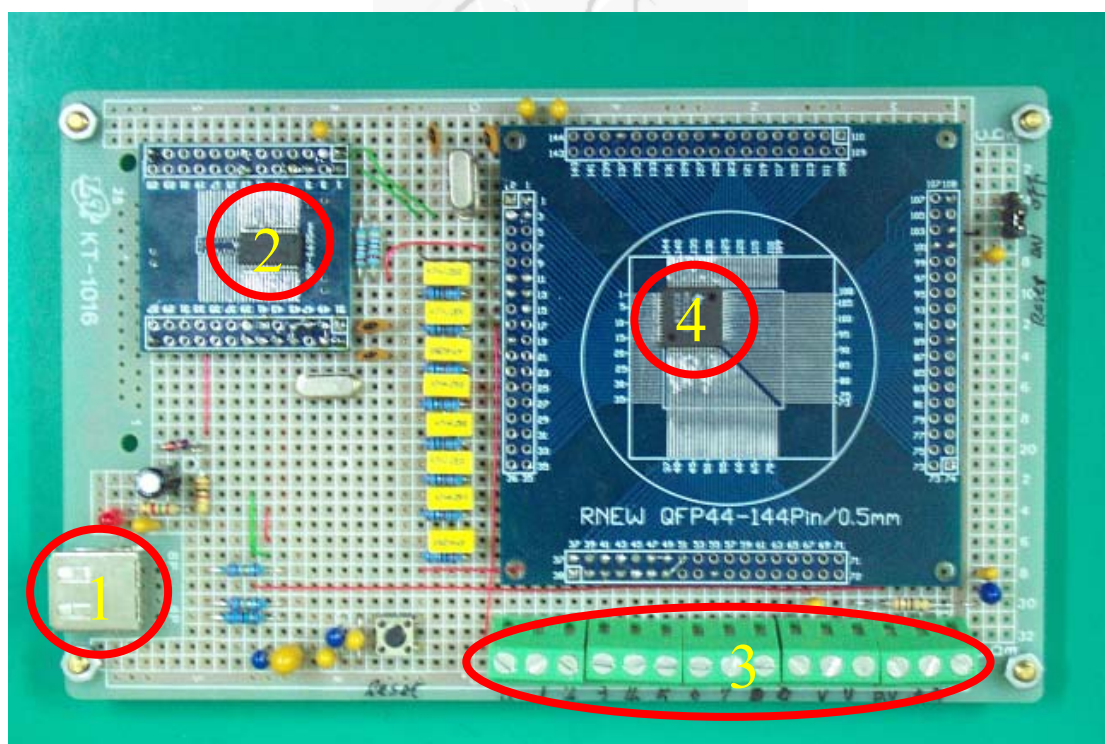


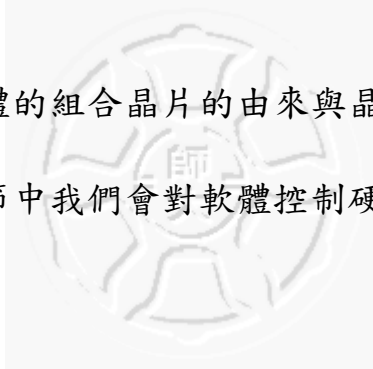
圖 3-4：第二版晶片電路順序圖

- 1 為 USB 訊號輸出介面。
- 2 為 PL-2303HX 晶片。
- 3 為訊號輸入端，共八個訊號輸入端。
- 4 為 MSC1212 微處理晶片。

接著我們將對效能與限制做一系列的介紹：

- (1)可輸入訊號端：擁有同時接收八個訊號端輸入。
- (2)電壓輸入範圍：在 0~5V 之間。
- (3)解析度：在取樣速率 10 Hz 下，可達到 24bit(達到 1 μ V 的解析度)。
- (4)取樣頻率：最高速率達每秒 500 取樣訊號。
- (5)緩衝記憶體：高達 1Mb 的緩衝記憶體。

至此我們對於硬體的組合晶片的由來與晶片本身的基本效能都已介紹完畢，在下一節中我們會對軟體控制硬體的部分做詳盡的介紹。



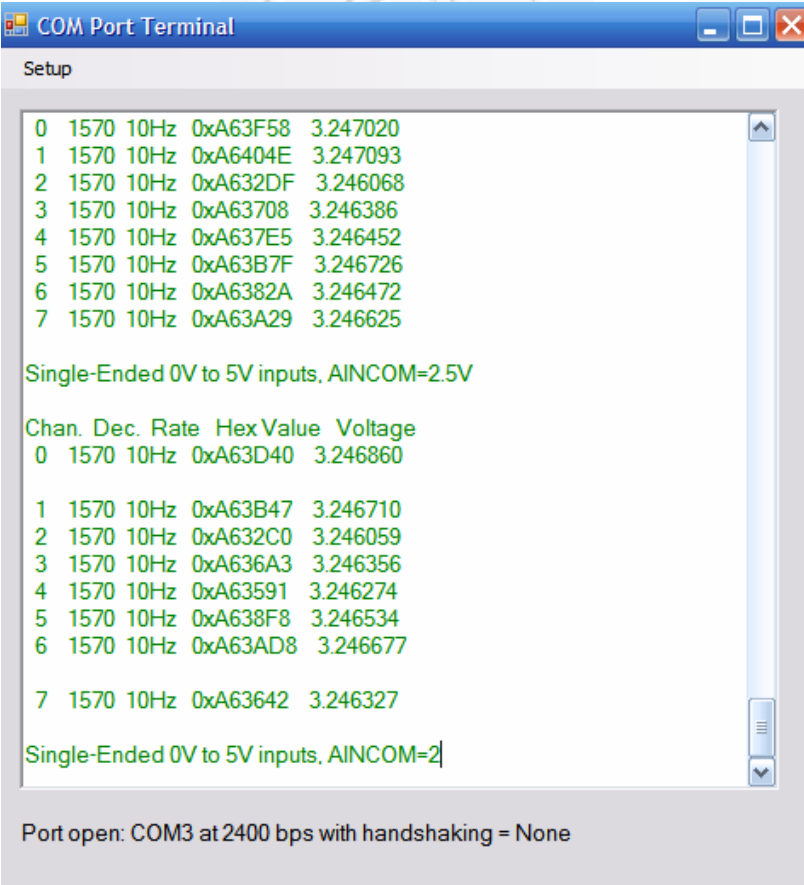
3-1-2 訊號接收器在軟體上的介紹

在軟體方面，我們需要解決的問題有兩個方面，一個方面是類比轉數位訊號接收盒與電腦的溝通，它屬於硬體溝通方面的問題。另一個方面是軟體控制硬體運作，它是屬於軟體控制的問題。此單元我們針對這兩個方面的問題，做一一的介紹與解說。

軟硬體溝通之問題：在製作好類比轉數位訊號接收盒後，接下來就是必須解決接收盒接上電腦的問題，一開始測試的時候要先知道硬體是否正常工作，因此我們必須先測試當類比訊號轉成數位訊號時，在 Comport 的介面下是否有輸出訊號到電腦，於是我們利用 Visual Basic Net 2005 寫了一個簡單的讀取訊號的程式[12]。

在第一版的軟硬體溝通製作中，當硬體有傳輸 0~255 其中之一的數字訊號到電腦接收，其數字訊號便會在螢幕中顯示出來，這表示類比訊號經過 ADC 晶片成功的轉成數位訊號，再由 8051 晶片的 Comport 轉接埠將數位訊號傳送到電腦上接收，其接收的訊號會顯現在螢幕上，其軟體介面溝通訊號如下圖 3-5 所示。由於這些訊號的顯示是以 ACSII 的編碼方式，所以顯示當電腦傳送開始的訊號，便會在螢幕上收到一個編碼訊號，需要經電腦轉譯回數值，但這個訊號的反應表示硬體的前半部溝通已經完成，可以接下來下一個步驟來進行。

接下來我們將針對第二版的類比轉數位訊號接收器加以介紹，在第二版的軟硬體溝通製作中，當硬體有傳輸 $0 \sim 2^{24}$ 其中之一的一個數字訊號到電腦接收，其數字訊號便會在螢幕中顯示出來，這表示類比訊號經過MSC1212 晶片成功的轉成數位訊號，並直接地由Comport轉接埠將數位訊號傳送到電腦上接收[14]，其接收的訊號會顯現在螢幕上，其軟體介面接收訊號如下圖 3-6 所示。由訊號看得出有八個訊號端同時輸入訊號，且讀出各自的電壓值，這也表示硬體的介面已經溝通完成，而在後半段的Comport輸出介面轉成USB輸出介面，皆與第一版的訊號接受器相同，在此便不重複介紹。



```
COM Port Terminal
Setup
0 1570 10Hz 0xA63F58 3.247020
1 1570 10Hz 0xA6404E 3.247093
2 1570 10Hz 0xA632DF 3.246068
3 1570 10Hz 0xA63708 3.246386
4 1570 10Hz 0xA637E5 3.246452
5 1570 10Hz 0xA63B7F 3.246726
6 1570 10Hz 0xA6382A 3.246472
7 1570 10Hz 0xA63A29 3.246625

Single-Ended 0V to 5V inputs, AINCOM=2.5V
Chan. Dec. Rate Hex Value Voltage
0 1570 10Hz 0xA63D40 3.246860

1 1570 10Hz 0xA63B47 3.246710
2 1570 10Hz 0xA632C0 3.246059
3 1570 10Hz 0xA636A3 3.246356
4 1570 10Hz 0xA63591 3.246274
5 1570 10Hz 0xA638F8 3.246534
6 1570 10Hz 0xA63AD8 3.246677

7 1570 10Hz 0xA63642 3.246327

Single-Ended 0V to 5V inputs, AINCOM=2

Port open: COM3 at 2400 bps with handshaking = None
```

圖 3-6：讀取 Comport 輸出軟體介面

以下我們將針對這兩個版本的控制軟體部分加以介紹。

軟體控制問題：我們製作軟體方面主要利用現今很普遍的軟體 Visual Basic.Net 2005 它的操作介面是以物件的方式主寫，因此在製作上相對的比較容易，在製作軟體上我們主要分成幾個部分：(1)控制原理 (2)基本的操作按鍵(3)圖表顯示(4)數值資料(5)版權宣告；我們將以此五個部分做詳細的解說。

(1)控制原理：在軟體控制硬體的方面，我們在第一版接收器上，主要先由電腦發送一個訊號給 8051 晶片接收，當其晶片接收訊號後，就會傳送 ADC 上的訊號至電腦上，電腦接收到訊號後再傳送一個訊號到 8051 晶片，以此模式做循環，其原理如下如圖 3-7 所示。

在第二版上主要先由電腦發送一個訊號給 MSC1212 晶片接收，當其晶片接收訊號後，就會傳送自身的訊號至電腦上，電腦接收到訊號後再傳送一個訊號到 MSC1212 晶片，以此模式做循環，其原理如下如圖 3-8 所示。

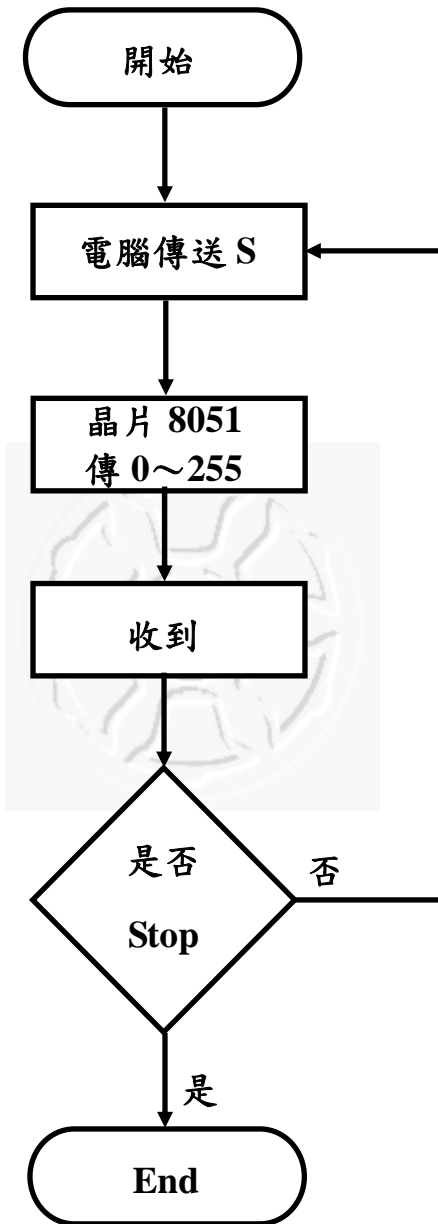


圖 3-7：第一版訊號接收器控制原理圖

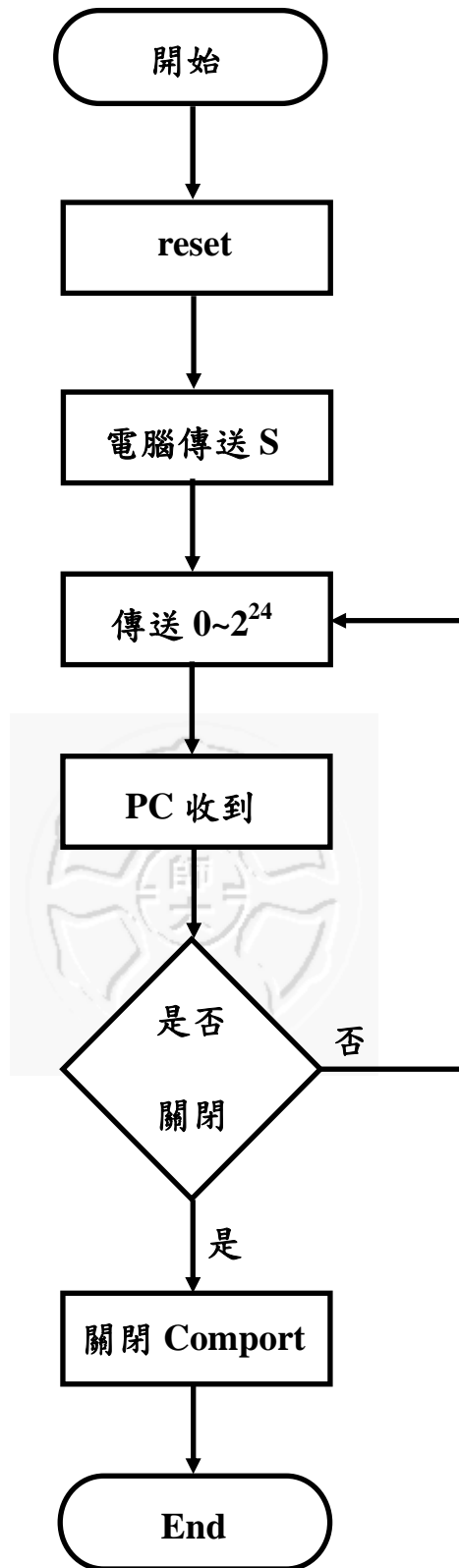


圖 3-8：第二版訊號接收器控制原理圖

由於這兩版的主要控制晶片是相容的，所以也只有在控制原理上有些差異，在以下其他部分的軟體製作皆是相同的，因此一併介紹之。

(2)基本的操作按鍵：我們製作此程式的主要基本按鍵分成以下幾個

檔案功能：開啟新檔、開啟舊檔、另存新檔、結束

(I)開啟新檔：建立新的實驗資料檔案。

(II)開啟舊檔：開啟舊有的實驗資料檔案。

(III)另存新檔：另外存一個新的實驗資料檔案。

(IV)結束：關閉軟體控制程式。

編輯功能：剪下、複製、貼上(第一版才有的功能)

(I)剪下：擷取實驗數據至暫存檔。

(II)複製：複製實驗數據至暫存檔。

(III)貼上：把暫存檔的資料放到所指定的地方。

設定：當 USB 連接線接在不同的插槽時，會出現其 port 的編號，在此我們要選定其正確的編號，才能正常使用。

(I) 啟動：開始紀錄實驗的資料。

(II) 清除：清除實驗的資料，回到最初未開始的狀態。

(3) 圖表顯示：把電腦所讀取到的數位實驗資料，轉換成時間對電壓的圖形，顯示在軟體的繪圖區。

(4) 數值資料：把電腦所接受到的數位資料，完整的依序顯示在軟體的資料表格上。

(5) 版權宣告：由於版權的因素，所以我們在程式中宣告我們的智慧財產權，其宣告如下圖 3-9。

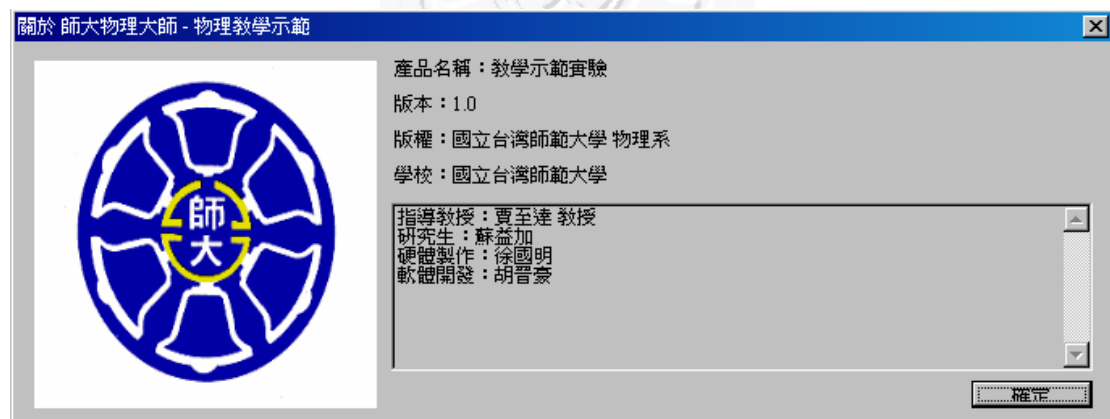


圖 3-9：版權宣告

由以上詳細的介紹軟體，在製作與使用方面應該都已經有一定的認識了，而最後的軟體介面成品，其第一版的控制介面就如下圖 3-10 所示。

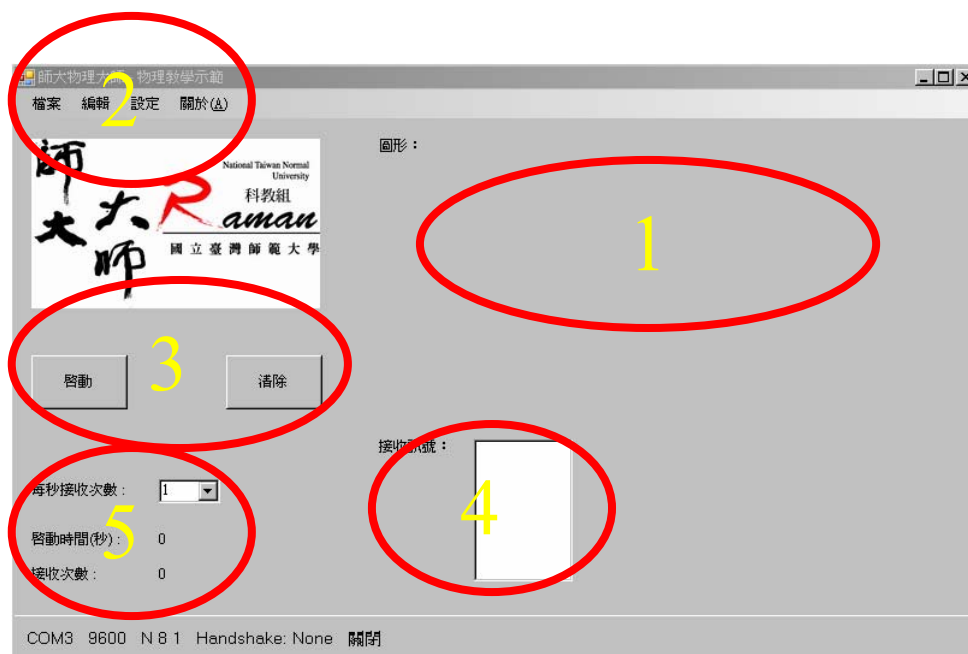


圖 3-10：第一版完整的控制程式

其軟體介面的說明如下：

1.圖表顯示：此區顯示電腦收集到的訊號，並把這些訊號以時間對電壓做出即時圖形，並在此區顯現出來。

2.基本的操作按鍵：此區主要在建立檔案、存檔等基本操作功能。

3. **啟動與清除**：此區在控制實驗的進行與停止，並可清除不要的實驗資料，重新開始實驗。

4. **數值資料**：此區會顯示即時顯現出電腦收到的訊號，並以 0V ~5V 的電壓顯現出來。

5. **實驗資訊**：此區可以調整頻率快慢，並即時告知經過的時間與已經收集訊號的數目。

以上到此皆為介紹為了控制第一版 ADC 電路所寫出的軟體控制介面，接下來我們將介紹控制第二版 ADC 電路所寫出的軟體控制介面，第二版的複合式 MSC1212 晶片效能比前版的 8051 單晶片好，因此在此控制介面上更易使用，其控制介面如圖 3-11 所示。

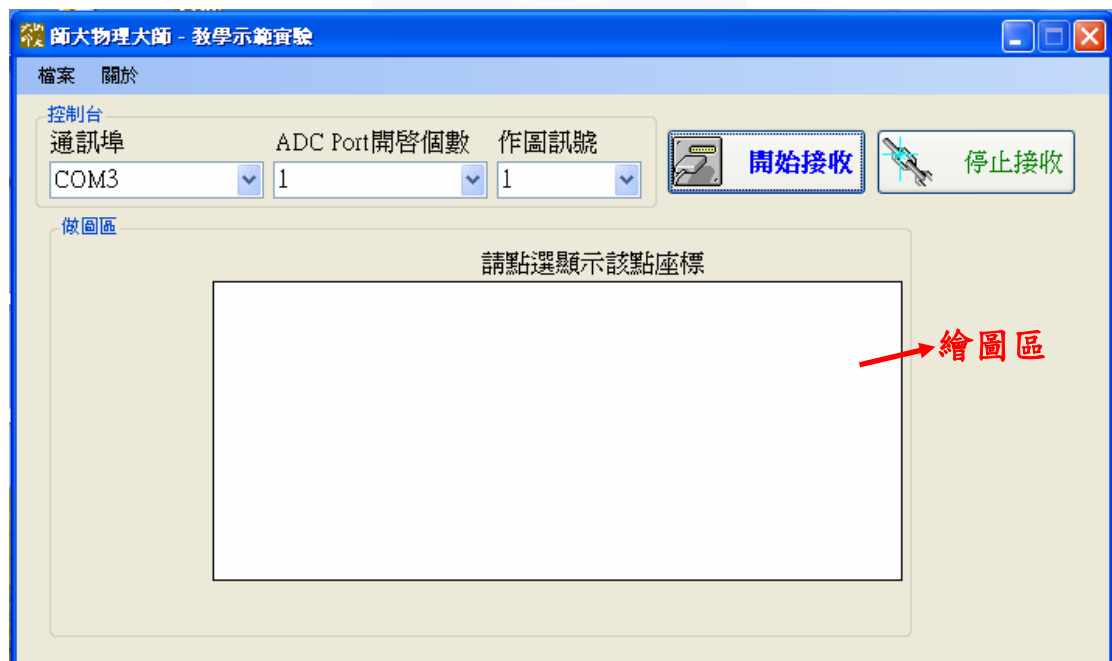


圖 3-11：第二版完整的控制程式

其軟體介面的說明如下：

1.通訊埠：當自製的外接 ADC 訊號接收器利用 USB 轉接線與電腦相連接時，電腦的通用序列匯流排控制器會自動排定一個適合的 Comport 埠，之後我們再把電腦所排定的位置輸入至此即可。

2.ADC Port 開啟個數：由於此晶片能夠允許八個訊號同時輸入至 ADC 訊號接收器，所以可以視需求開啟所需要的訊號輸入端。

3.開啟接收與停止接收：此區在控制實驗的進行與停止，並可清除不要的實驗資料，重新開始實驗。

4.作圖訊號請點選顯示的開始座標：當訊號輸入到自製的 ADC 訊號接收器後，可以選定繪畫出哪一個輸入端電壓對時間的關係圖，其關係圖會在繪圖區顯示出來。

5.檔案：此區主要在開啟檔案、存檔等基本操作功能。

軟體版面全部的說明已經在此結束，至於寫作程式的程式碼，其中包含 8051 微晶片程式碼與 PC 軟體控制程式碼，加上我們為了便利有興趣的使用者來使用這套軟體，也有把這整套軟體程式製作成安裝檔案，其安裝介面如圖 3-12 所示，此程式只需下載安裝即可使用，

這些全部都會附在附錄六上，是屬於開放性質的程式碼(Open Source)，對於有興趣在此方面的研究者可以參考並引用之。



圖 3-12：安裝軟體介面圖

第二節 可變電阻內部結構介紹與分析

此節我們主要介紹用來測量骨牌倒下時，裝置在骨牌轉軸上的可變電阻。由於實驗時骨牌倒下，會帶動固定在轉軸上的可變電阻，因此可變電阻會產生電阻值的變化，如果我們選定一個固定的電壓源，則此電阻值的變化將會轉變成電壓的變化，再由我們自製的類比訊號轉數位訊號接收器接收其電壓訊號，由此方式便可進行骨牌實驗的測量。

我們早期最普遍使用的電阻器，屬於高溫真空中分離有機化合物之碳，使其附著於瓷棒上並加以切割而成。於自動化後大量生產，其電阻值範圍較寬廣，可寬達 $0.15 \Omega \sim 22 M\Omega$ 而且品質安定，可提供各種引線整型產品、價格便宜，為各類電子產品廣泛地使用。一般來說可變電阻用途在於消費性電子成品、半專業樂器的電子成品、通信用成品等，其組成結構主要由應用電阻片、端子、軸(柄)、摺動子、外殼等組立而成，其內部結構如圖 3-13 所示。其機制是利用摺動子於電阻片上的碳銀膜接觸在不同的位置產生對應不同的電阻值變化，而可變電阻操作壽命和成品中的摺動子、電阻片等材料之表面的特性有密切關係，一般來說最多可以轉動十萬次，此可變電阻便要報銷。

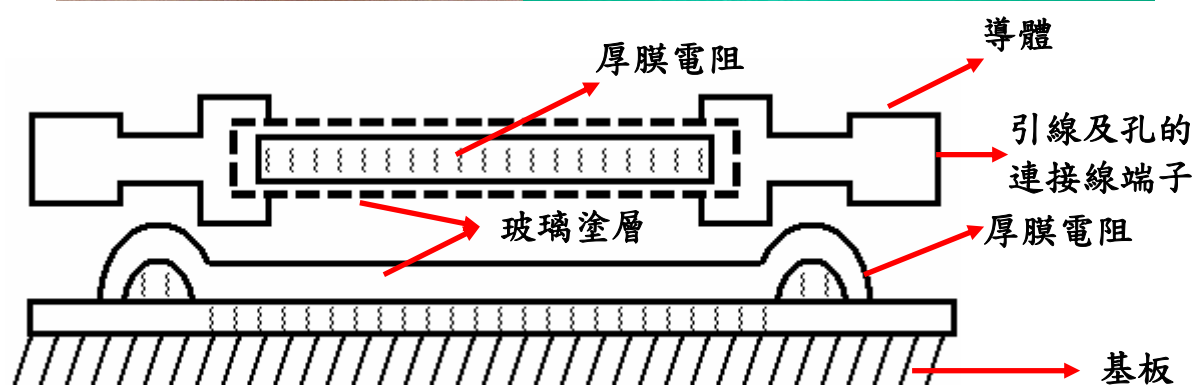


圖 3-13：可變電阻真實結構與示意圖

在本實驗中我們選用的可變電阻其有以下幾點特性：

- (1) 轉軸直徑 φ ：6 mm。
- (2) 電阻值範圍：0~10K Ω 。
- (3) 轉軸可變範圍：十轉。
- (4) 轉軸摩擦力小。

當我們知道可變電阻基本的結構後，接下來要檢驗的便是其轉軸變化的角度與電阻是否呈現線性關係，我們由實驗來驗證：

實驗中我們會用的到角度變化約在 0~90 度之間，但是我們檢測可變電阻角度隨電阻值變化範圍從 0~180 度，其檢測裝置如圖 3-14 所示。



- 1 為三用電表。
- 2 角度旋轉盤。
- 3 電阻固定凹槽。
- 4 底座。

圖 3-14：檢驗電阻隨角度變化裝置

我們利用光學的角度旋轉器接上可變電阻，並固定其轉頭，以每五度的小角度測量其電阻值，其結果如下圖 3-15 所示。

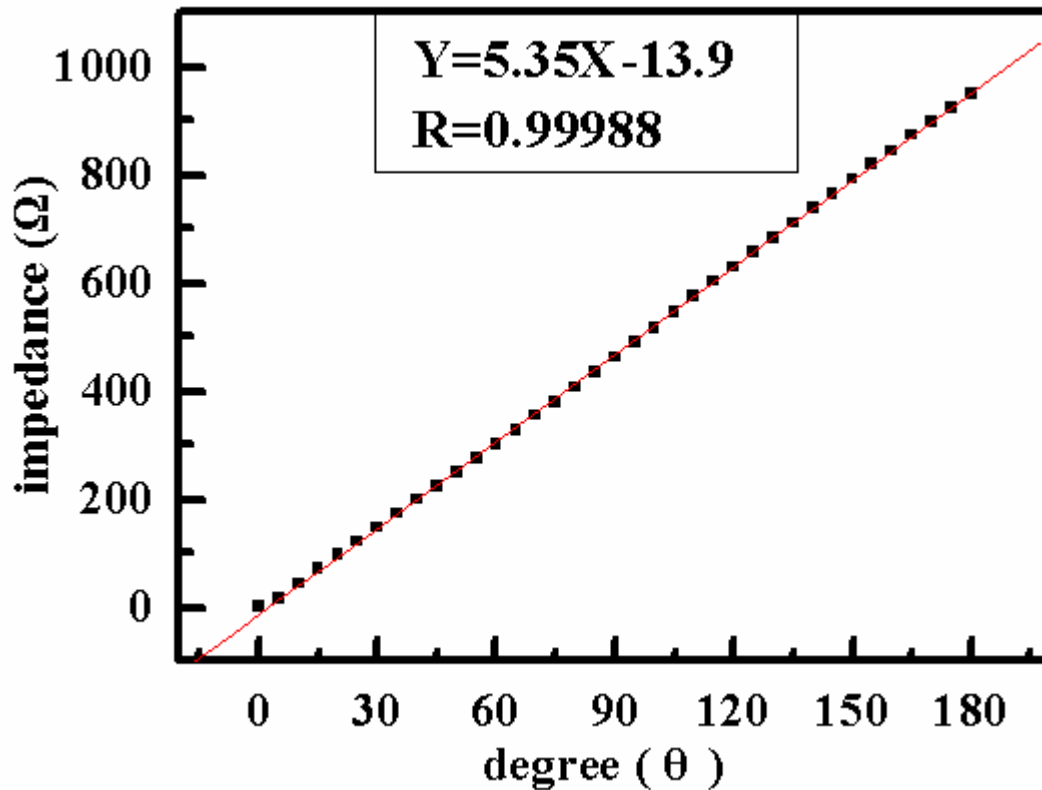


圖 3-15：電阻值隨角度的變化

由其檢測結果利用線性模擬，其相關係數 $R \approx 1$ ，再加上我們由可變電阻的內部結構如下圖 3-16 所示，它的阻抗構造為規則的圓環結構，我們可以知到一般電阻的阻抗和電刷所碰觸到的長度位置呈現性關係，因此在這兩種證據輔助之下，我們可以大膽的使用其角度對電阻的變化屬於線性關係，所以我們實驗骨牌倒下時測量到的電壓的變化，可以直接的利用線性轉換原則轉換回角度隨時間的變化，由此便可以順利的進行分析與討論。由此可變電阻佔整個實驗重要性非常的環節，因此我們以此一整節來介紹它的特性與測量其角度與電阻的線性特質，來支持我們實驗的基礎。

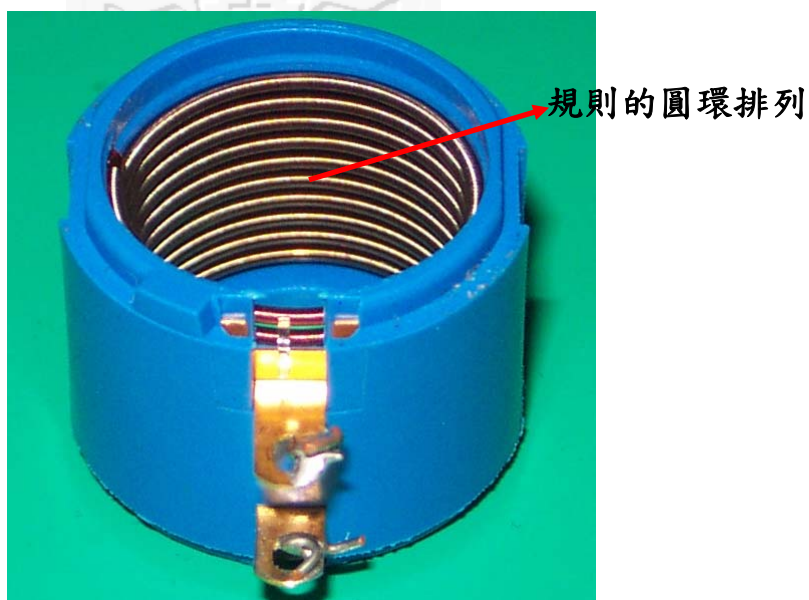


圖 3-16：可變電阻的內部結構

接下來我們需要處理的問題是如何把電阻值的改變轉換成電壓訊號。我們根據可變電阻的電路來詳細的討論，其可變電阻的電路圖

如圖 3-17 所示，電路中 A、B 兩端的電阻值是固定的，可變電阻的電阻值變化只會和 A、C 兩端有關係，當我們固定電壓輸入在 A、B 兩端時，由簡單的電路分比關係，我們便可以把 A、C 兩端的電阻值的變化轉換成電壓變化輸出，再由我們自行設計的電壓訊號讀取裝置讀出其訊號。但是實驗時我們只利用可變電阻四十分之一的電阻值變化，因此在轉換成電壓變化時，電壓訊號變化會太微弱，因此我們需要一個線性的放大電路，來放大我們輸出的訊號，其放大電路如圖 3-18 所示，其放大效果為五倍。由以上所談到可變電阻內部特性與結構，並對其輸出電壓訊號加以放大來配合我們的實驗，已經做了一個完整的介紹，下一節我們將討論其可變電阻的內部摩擦力效應的影響。

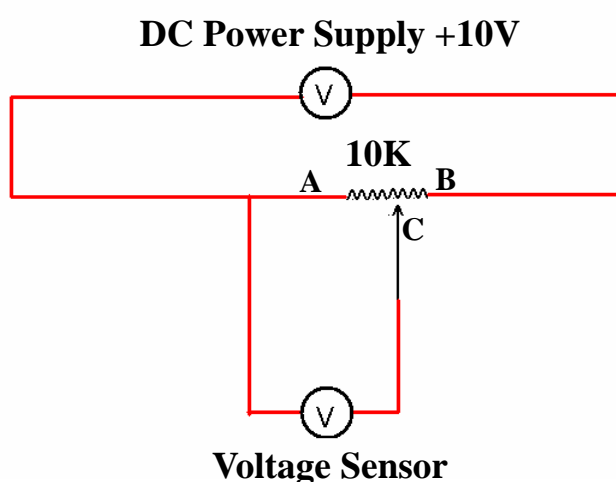


圖 3-17：可變電阻電路示意圖

放大電路

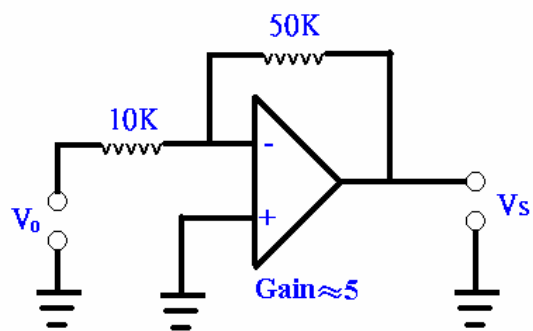


圖 3-18：放大電路



第三節 利用阻尼震盪系統驗證可變電阻的乾摩擦係數

由於我們研究骨牌倒下運動時，在其轉軸上裝置一個可變電阻當作測量裝置進行實驗，在實驗裝置上是屬於侵入式的裝置，為了證明其可變電阻的摩擦係數是很小，在進行骨牌實驗時是可以忽略的，因此我們利用一個阻尼單擺的運動測量[15][16][17][18]，計算可變電阻內的摩擦係數值，加以證明我們實驗時的裝置不會造成骨牌運動很大的影響，測出來的實驗值是很正確的。

我們設計的阻尼單擺實驗主要裝置有：(1)可變電阻、(2)剛體轉軸(3)自製訊號量測器。其裝置如圖 3-19 所示。

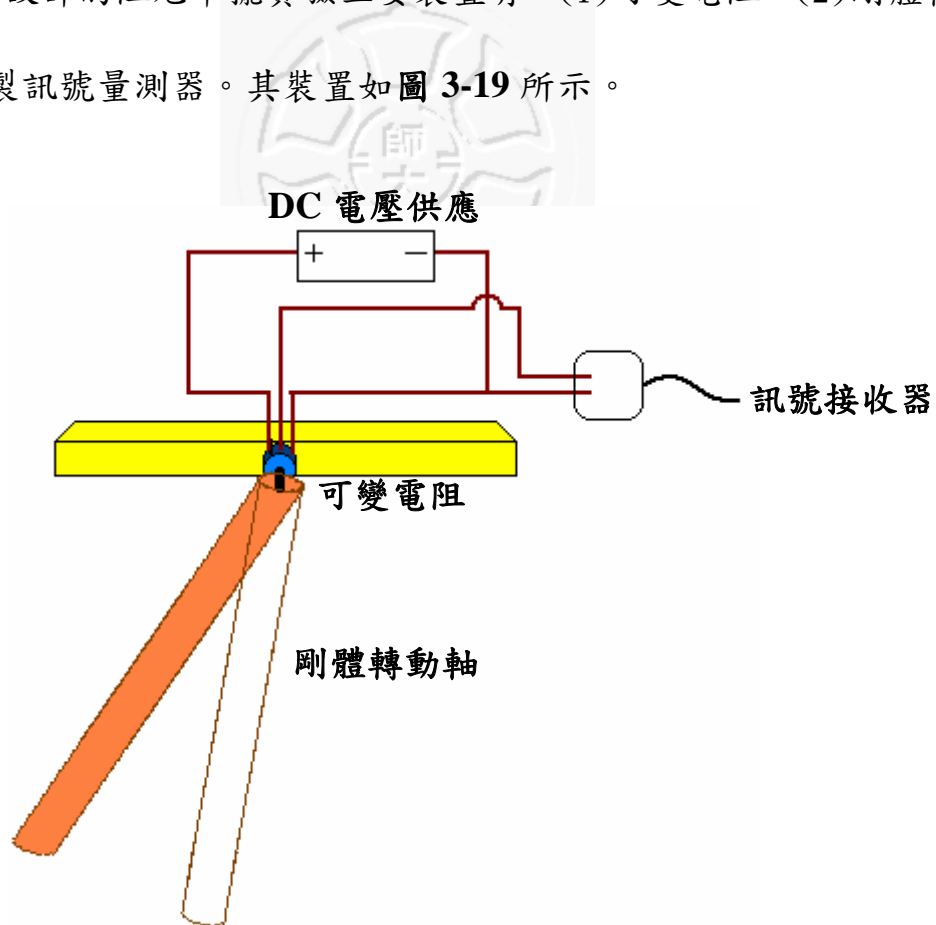


圖 3-19：阻尼單擺實驗裝置圖

實驗時我們利用不同的角度當作起始條件，進行阻尼單擺的實驗，其實驗結果如下圖 3-20 所示，很明顯可以看得出來不論在何種起始角度條件下進行實驗，其振幅在阻尼效應下衰減的關係為線性衰減，是屬於乾摩擦的阻尼效應。

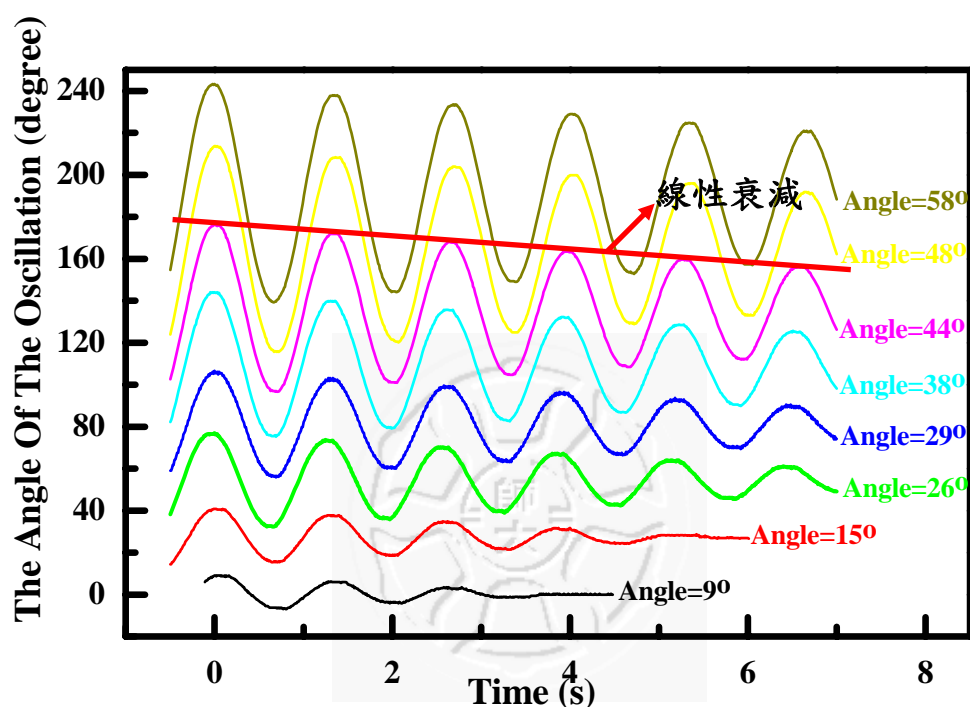


圖 3-20：不同角度下的阻尼實驗

當我們已經知道其是乾摩擦下的阻尼運動，我們就可以找出每個週期的端點座標，再利用每個端點損失的能量等於一個週期下所行進的路徑與摩擦力的乘積，便可以找出可變電阻的乾摩擦係數，以下就是我們的實驗結果，如表 3-1 所示。

半擺角 (degree)	乾摩擦係數 μ	μ 之平均值	μ 之標準差
9	0.0987	0.1184	0.0138
15	0.1087		
26	0.1099		
29	0.1097		
38	0.1160		
44	0.1227		
48	0.1277		
59	0.1280		
73	0.1446		

表 3-1：乾摩擦係數值

由表 3-1 之結果，我們所量測出可變電阻的乾摩擦係數非常的小，平均只有 0.118，因此我們在進行骨牌實驗時，是可以忽略可變電阻的摩擦力效應。因為其摩擦係數非常的小，而且實驗時骨牌並不會進行週期性的倒臥，全部都是第一次倒下就結束運動，加上乾摩擦效應跟路徑成正相關，再加上可變電阻轉軸與骨牌轉軸同軸，其重量主要是壓附在骨牌底座上，所以可變電阻轉軸不會受到很大的正向力，因此我們在這方面也可以有效的忽略可變電阻的摩擦力造成損失能量的部分。由以上這些關係，我們已經可以大膽的使用可變電阻當作我們進行測量骨牌運動時的角速度測量裝置。