

成品說明書

研究題目

加速度與斜坡角度
之
微電腦顯示裝置

學生：林志軒

指導老師：鄭宗銘

九十二年十月十五日

目次

一、研究動機	3
二、研究目的	3
三、理論探討	4
四、研究設備及裝置	12
五、實作過程	13
六、研究結果	19
七、討論	20
八、結論	21
九、參考資料	21
附件一	
附件二	

一、研究動機：

每天搭火車和捷運上學的時候都有這樣的經驗，那就是在車子開始啟動後人都會向後仰，直到車子到達某一速度後這種感覺才會消失，起初只覺得這本來就是一種自然的現象，但後來修完高二機械力學動力篇的牛頓第二運動定律後才發現，其實這就是車子在加速的現象。也就因此引發了我對求得火車或捷運列車加速度大小的興趣。一般而言，每一種車子的加速性能都不太一樣，根據牛頓的第二運動定律可知，車子的加速度大小是車子的推力除以車子質量，假如以兩部質量一樣的車子來做比較，那麼加速度值大的車子就表示它的推力比較大，也可以說該車馬力比較大或性能較佳，因此，在開車時能直接顯示出加速度的值，實在是判斷該車性能的一項重要指標。

另外，在斜坡上開車的時候，斜坡角度到底是多少我們並無法正確掌握，一般人都是憑自己的感覺，當車子開上傾斜度較陡的斜坡上才發現馬力不足，要上不上要下不下，這時真的是進退兩難、險象環生。因此，如何在車子一開上較陡的斜坡時，便能即時正確顯示出斜坡的角度，對於開車者的安全可說是提供了一項極為重要的參考數據。

二、研究目的：

本裝置係一機械力學與電學之整合運用，主要是利用所設計的測量儀器，直接由 LCD 顯示幕顯示出在加速運動中之車子的最大加速度值或在爬坡時之斜坡角度；其係利用光遮斷器來讀取運動時擺錘線與鉛垂線所產生的角度，經由單晶片運算，再將結果傳至 LCD 顯示幕上，可讓我們直接由顯示幕上讀取斜坡角度或加速度的值。本裝置之 LCD 顯示幕與測量本體係可分離安裝，在實際應用時可將測量本體置於後車箱或引擎室，LCD 顯示幕則可置於駕駛座前之任意位置，而不會佔用車內空間。

三、理論探討：

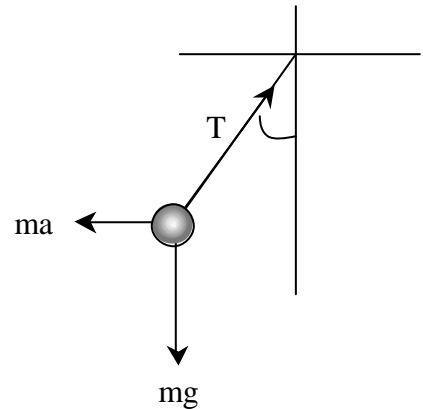
壹、動力學部份

- 一、在加速座標系統(即在車箱內)看水平運動時
水平加速之球體成一靜力平衡狀態

$$F = 0$$

$$\tan \theta = \frac{ma}{mg} = \frac{a}{g}$$

$a = g \cdot \tan \theta$ (本實驗在水平運動會依此公式運算)
(其中 θ 為擺錘角)

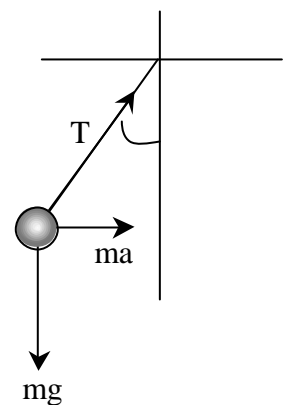


- 二、在慣性座標系統中(即在地面上)看水平運動

球體成一運動狀態，且加速度為 \vec{a}

$$F = m\vec{a}$$

$$\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a}$$



三、 **以加速度座標系統來看(即在車箱內)斜面運動**

(q 為加速度所產生之擺角, a 為斜坡角度)

加速上坡時的靜力平衡如下

$$F = 0$$

$$T = R$$

$$\text{且 } R^2 = (ma_x)^2 + (ma_y + mg)^2$$

$$\tan q = \frac{ma_x}{mg + ma_y} \quad (\text{消掉 } m)$$

$$\tan q = \frac{a_x}{g + a_y}$$

$$\text{其中 } \begin{cases} a_x = a \cdot \cos a \\ a_y = a \cdot \sin a \end{cases}$$

$$\tan q = \frac{a \cdot \cos a}{g + a \cdot \sin a}$$

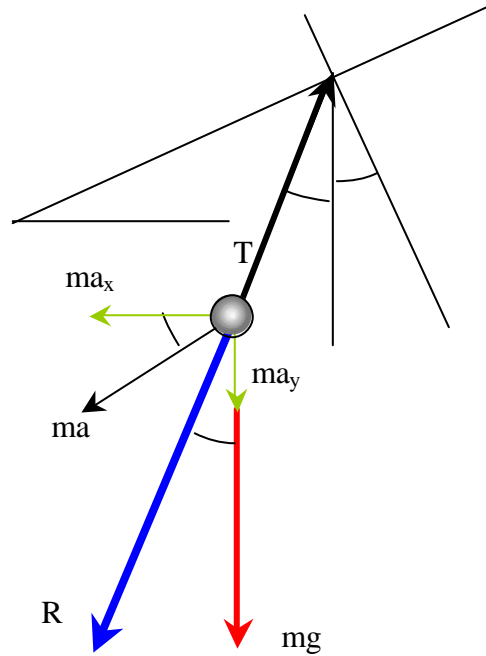
$$(g + a \cdot \sin a) \cdot \tan q = a \cdot \cos a$$

$$g \cdot \tan q = a \cdot \cos a - a \sin a \cdot \tan q \\ = a(\cos a - \sin a \cdot \tan q)$$

$$g \cdot \frac{\sin q}{\cos q} = a \cdot \frac{\cos a \cos q - \sin a \sin q}{\cos q} = a \cdot \frac{\cos(a + q)}{\cos q}$$

$$g \cdot \sin q = a \cos(a + q)$$

$$\text{得 } a = \frac{\sin q}{\cos(a + q)} \cdot g \quad (\text{本實驗在斜坡上加速運動時, 會依此公式運算})$$



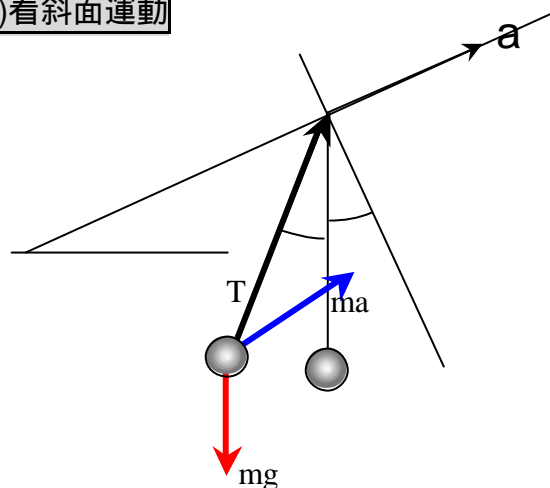
四、 **在慣性座標系統中(即在地面上)看斜面運動**

加速上坡時的球體成一運動狀態

且加速度為 \vec{a}

$$F = m\vec{a}$$

$$\vec{T} + \vec{mg} = m\vec{a}$$

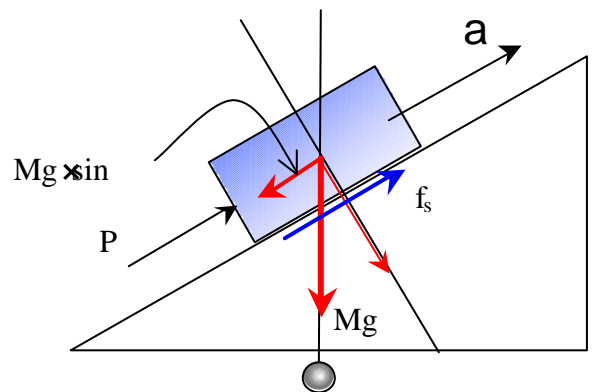


五、汽車推力的計算

P 為車子的推力， f 為滾動摩擦力， f_s 為滑動摩擦力， M 為車子的質量

(一)、靜止狀況

- 1、當 P 等於 0 時， $Mg \times \sin \theta = f_s$
- 2、當 P 不等於 0 時 $Mg \times \sin \theta = p + f_s$

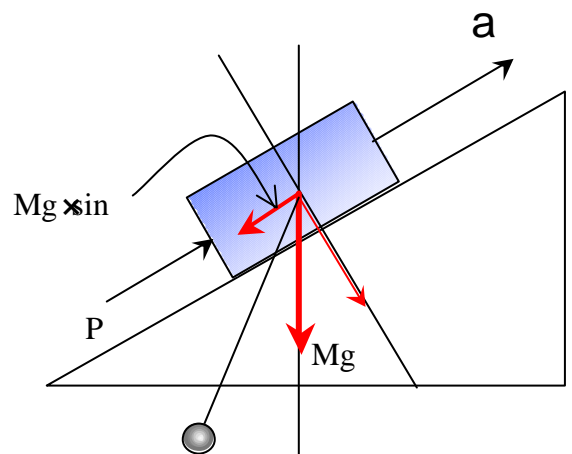


(二)、當物體往上運動時(θ 為加速時擺錘偏移之角度)

- 1、臨界靜止與運動時 $P = Mg \times \sin \theta + f$
- 2、設滾動摩擦數很小而忽略，
則車子往上移時 $f = 0$
 $P - Mg \times \sin \theta = Ma$
 $P = M(g \sin \theta + a)$
 $a = [\sin \theta / \cos(\theta + \phi)] \times g$

車子在斜坡上加速運動之推力

$$P = Mg \times \{ \sin \theta + \sin \theta / \cos(\theta + \phi) \}$$



貳、 電子學部分

一、 單晶片控制器 8051 功能簡介

- (一) 8 位元微電腦控制晶片。
- (二) 4KB 內部程式記憶體，最大可外接擴充至 64KB。
- (三) 128Bytes 內部資料記憶體，最大可外接擴充至 64KB。
- (四) 具有布林代數運算能力(位元邏輯)。
- (五) 4 組可位元定址 I/O 埠 P0、P1、P2、P3。
- (六) 2 組 16 位元計時/計數器 T0、T1。
- (七) 5 個中斷源 INT0、INT1、T0、T1、RXD 或 TXD。
- (八) 1 組全雙工串列埠 UART。

二、 8051 接腳簡要說明(請參考圖 1 及圖 2)

- (一) VCC(40):正電源(+5V)接腳
- (二) VSS(20):地電位(GND)接腳
- (三) RST(9):重置信號輸入腳，重置信號為高態動作，且必須維持至少 2 個機械週期
- (四) /EA(31):外部存取致能
- (五) /EA(31):外部存取致能 ALE/PROG(30):位址門鎖致能/燒錄脈波輸入
- (六) /PSEN(29):程式儲存致能
- (七) P0(32-39):埠 0，8 位元開汲極(OpenDrain)結構之雙向 I/O 埠，可位元定址及個別設定接腳為輸入或輸出。

圖 1 8051 接腳圖

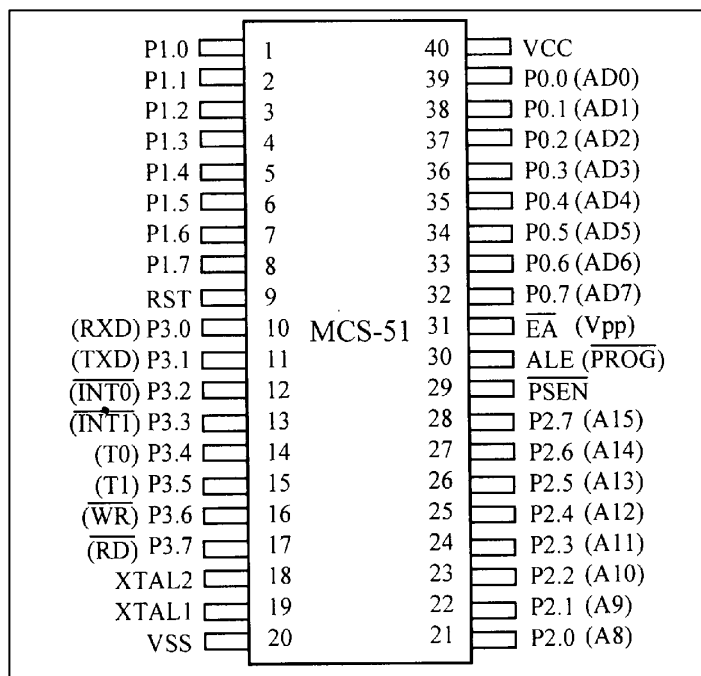


圖 2 實體圖



- (八) P1(1-8):埠 1，8 位元含內部提升電阻(約 20K Ω ~30K Ω)之雙向 I/O 埠，可位元定址，每支腳可推動 4 個 LS 型 TTL 負載。
- (九) P2(21-28):埠 2，8 位元含內部提升電阻約(20K Ω ~30K Ω)之雙向 I/O 埠，可位元定址，每支腳可推動 4 個 LS 型 TTL 負載。
- (十) P3(10-17):埠 3，8 位元含內部提升電阻(約 20K Ω ~30K Ω)之雙向 I/O 埠，

可位元定址，每支腳可推動 4 個 LS 型 TTL 負載，另外埠 3 的每一支接腳都兼具第二種功能，如表 1 說明。

埠腳	功能	埠腳	功能
P3.0	RXD(串列埠輸入)	P3.4	TO(計時器0外部時脈輸入)
P3.1	TXD(串列埠輸出)	P3.5	T1(計時器1外部時脈輸入)
P3.2	/INT0(外部中斷0輸入)	P3.6	WR(外部資料記憶體寫信號)
P3.3	/INT1(外部中斷1輸入)	P3.7	/RD(外部資料記憶體讀信號)

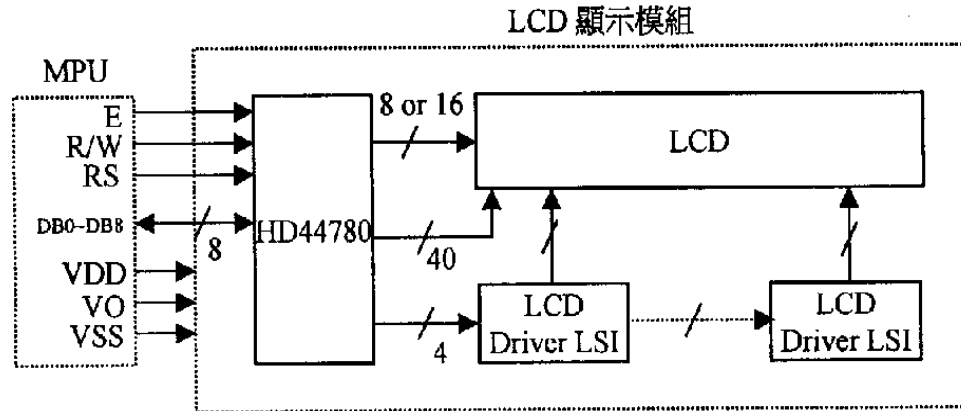
表 1 埠 3 之特殊功用

三、 LCD 顯示器簡要說明

LCD 為顯示裝置之一，因它能顯示大小寫英文字、數字、日文字、與特殊符號等各種字型，所以常應用於計算機、電子儀器、事務機器、電器產品及筆記型電腦等。而 LCD 與 LED 顯示原理不同且本身不會發光，所以在夜間使用時，需要在 LCD 背面加裝光源稱為背光(Back Light)，才能看見圖像。LCD 顯示器也具有低功率消耗及低電壓驅動的特性，因此非常省電，它的介面電路方塊如圖 3 所示。

圖 3 LCD 介面電路方塊圖

常見的 LCD 模組有 16 字 x1 列，16 字 x2 列，20 字 x1 列，20 字 x2 列，40 字



x2 列等多種，皆為 14 隻腳的包裝，因有些 LCD 模組之 VDD 與 VSS 接腳相反，因此，使用前須先測試，而各接腳功能說明及功能則詳如表 2 及表 3 所示。

表 2 LCD 接腳說明

腳位	符號	輸入/輸出(I/O)	功能
14	VSS	I	接地腳。
13	VDD	I	+5V 電源。
12	VO	I	顯示明暗對比控制。

11	RS	I	RS=0，選擇指令暫存器。 RS=1，選擇資料暫存器。
10	R/W	I	R/W=0，將資料寫入LCD。 R/W=1，自LCE讀取資料。
9	E	I	致能
8	DB0	I/O	資料匯流排(LSB)
7	DB1	I/O	資料匯流排
6	DB2	I/O	資料匯流排
5	DB3	I/O	資料匯流排
4	DB4	I/O	資料匯流排
3	DB5	I/O	資料匯流排
2	DB6	I/O	資料匯流排
1	DB7	I/O	資料匯流排(MSB)

表3 為LCD模組之控制接腳功能設定表

E	R/W	RS	功能說明
1	0	0	將指令寫入LCD指令暫存器IR。
1	0	1	將資料寫入LCD之RAM中。
1	1	0	讀取忙碌旗標BF及位址計數器AC內容，其中DB7=BF，DB6-DBC=AC。
1	1	1	由LCD之資料暫存器DR讀取資料。
0	x	X	不動作

表3 LCD控制功能

因為 LCD 內部顯示位置結構中因顯示資料記憶體(DD RAM)共有 80 個位址，所以 HD44780 晶片最多可同時顯示 80 個字型，以下是各種 LCD 模組位址對映表及啟動順序。

40 字 X2 列 LCD 模組位址									
位置	1	2	3	4		37	38	39	40
第一列	00H	01H	02H	03H		24H	25H	26H	27H
第二列	40H	41H	42H	43H		64H	65H	66H	67H

20 字 X2 列 LCD 模組位址									
位置	1	2	3	4		37	38	39	40
第一列	00H	01H	02H	03H		24H	25H	26H	27H
第二列	40H	41H	42H	43H		50H	51H	52H	53H

16 字 X2 列 LCD 模組位址									
位置	1	2	3	4		37	38	39	40
第一列	00H	01H	02H	03H		0CH	0DH	0EH	0FH
第二列	40H	41H	42H	43H		4CH	4DH	4EH	4FH

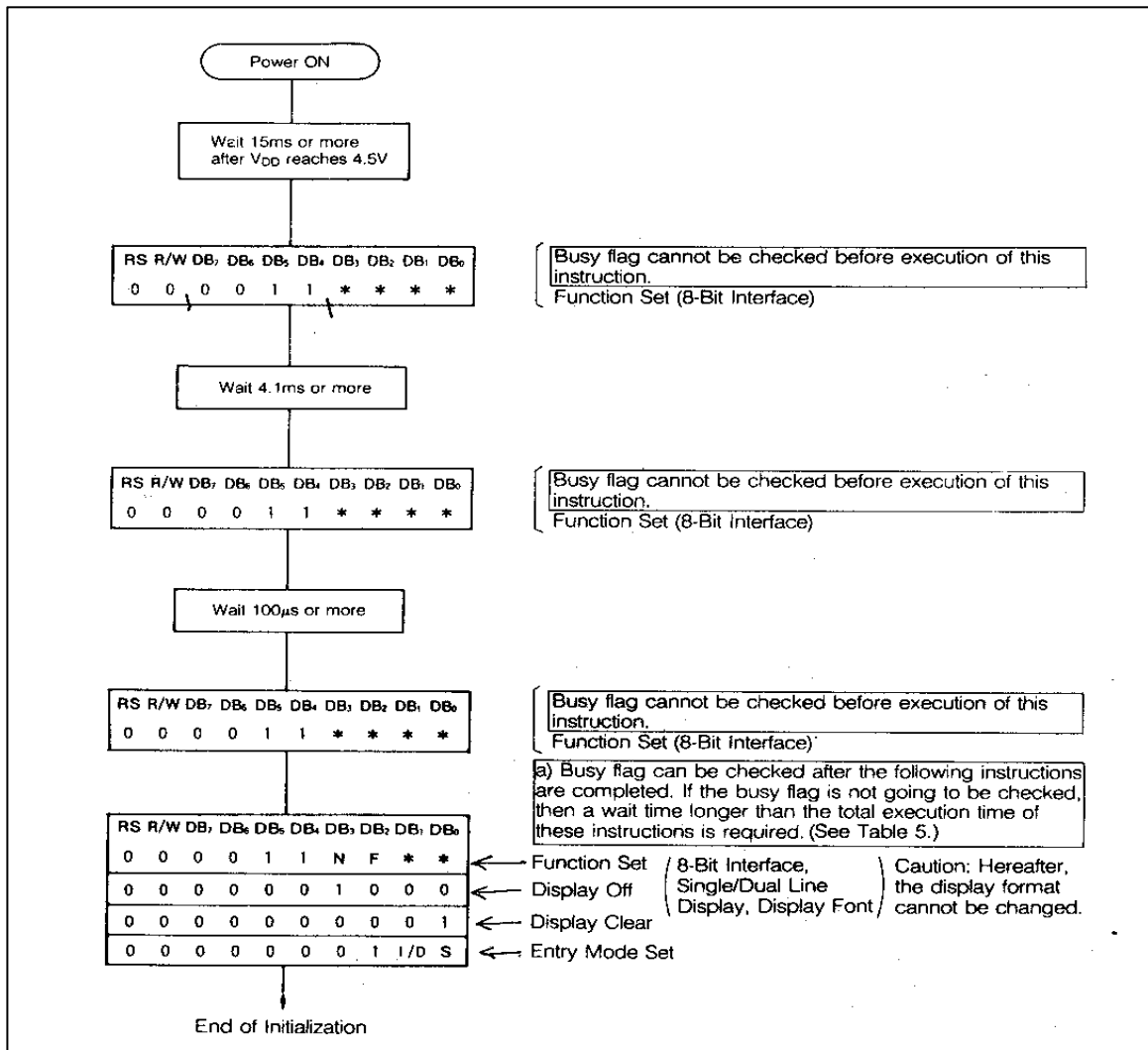


圖4 LCD之啟動順序

四、 控制電路

控制電路圖，利用 Protel98 電腦輔助繪圖軟體完成，其完整電路詳如圖 5 所示。

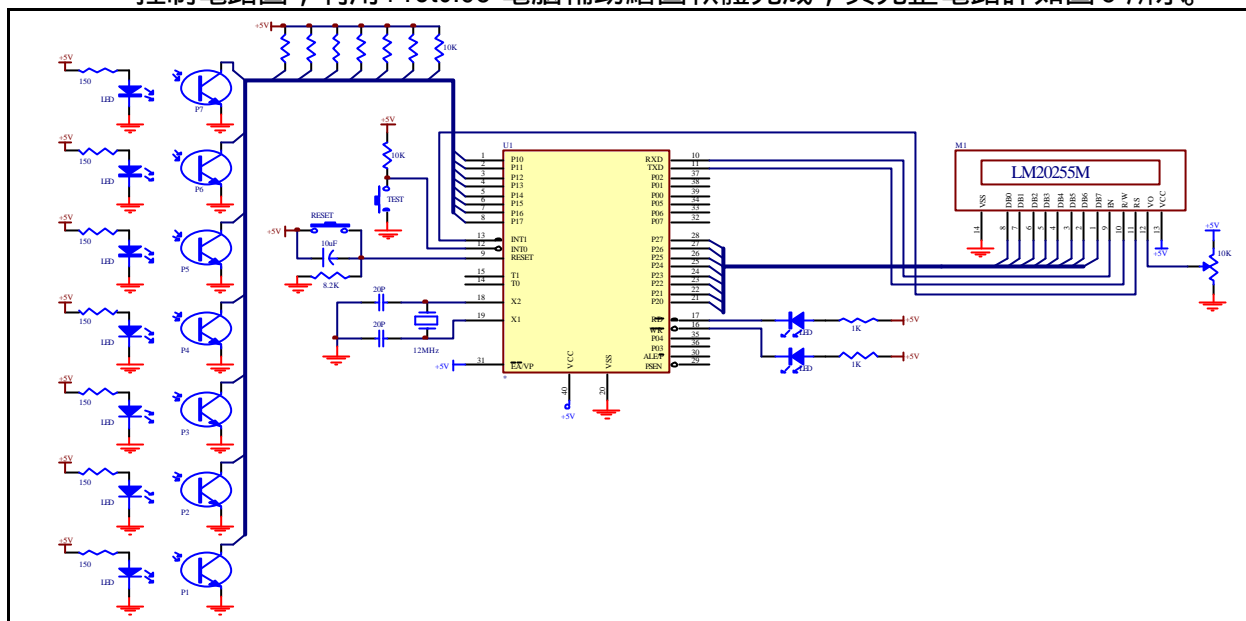


圖 5 完整電路

五、 LCD 顯示器電路

顯示器採用 LCD 顯示器，型號為 LM20255M，2 排各 16 字共可顯示出 32 個字，如此不但較省電亦可同時顯示出較多的字，由於需要顯示出即時的速度值及加速度值，還有工作的狀態，所以使用 LCD 顯示器是最方便了，而且為了在夜間亦能看到工作狀況，所用的顯示器需有背光，才不會到了晚上就無法使用。

LCD 顯示器之 DATA 信號共有八條，由 AT89C51 之 P2 即 1~8 腳輸出，而控制線則由 P3.0、P3.1、P3.3 輸出作為控制。

六、 電源電路

包含單晶片、液晶顯示器、感測器等主要元件所需電源主要為 5V，可由乾電池或直接採用現成的 DC power 提供。

七、 單晶片之周邊電路

單晶片要能動作，一定要提供時脈振盪信號，本電路由 12MHz 之石英晶體振盪器提供該時脈信號，接在單晶片第 18、19 腳間。

在單晶片的第 9 腳接一個由按鈕開關(標示為 RESET)、電阻及電容所構成之系統開機自動重置電路，於第一次送電時或程式進行中只要按一下按鈕開關即可將系統重新設置，且左上角的第一個 LED 會亮。

在單晶片的第 12 腳，接一個白色的按鈕開關(標示為 TEST)，當需要進行加速度測試時，只要按此按鈕開關即可進行之，且左上角的第二個 LED 會亮。

在單晶片的第 1~7 腳，接七個光遮斷器，負責將偵測位置作 128 等份的區分，當光被遮斷時相對的接腳訊號為高電位(Hi)，當光沒有被遮斷時相對的接腳訊號為低電位(Lo)，採二進碼進行編碼。

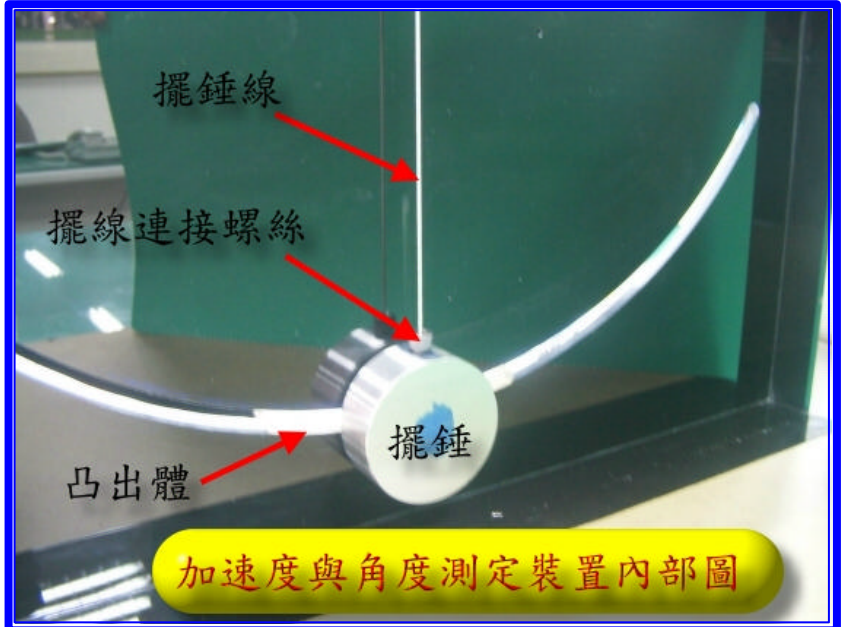
八、 程式設計

本電路之程式部份乃由 C 語言所撰寫，採模組化方式進行，因此容易修改及閱讀。

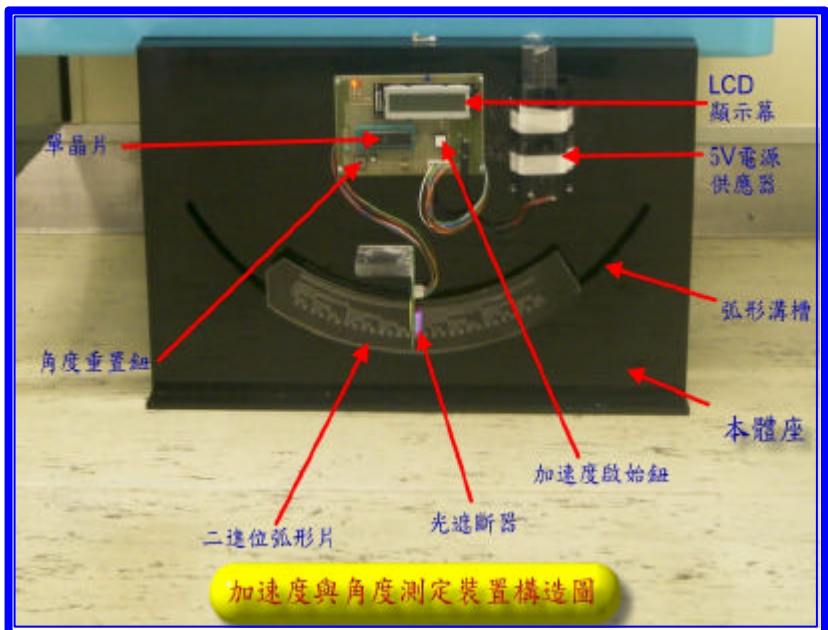
九、 完整程式 如附件一

四、 研究設備及裝置：

實驗之加速度與斜坡角度顯示裝置主要包括：測量本體、A/D 轉換裝置及 LCD 顯示幕。其測量本體包含有一封閉盒箱及一後蓋板等二部份，其中：該封閉盒箱上端設有一小孔便於細繩穿過而於一適當長度懸吊一圓形擺錘，該圓形擺錘之中心向兩側延伸設有一弧形凸出體於擺錘之一側面，該凸出體並凸出於封閉箱之前蓋板的弧形溝槽中，當擺錘擺動時凸出體便沿著弧形溝槽而移動。



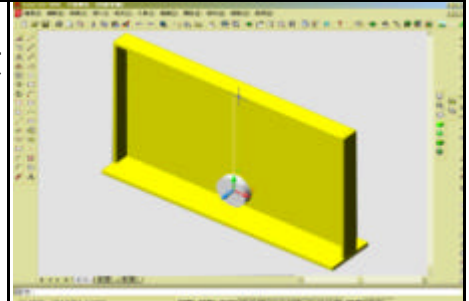
其 A/D 轉換裝置係由一條黏附於弧形凸出體上之二進位孔帶，經由訊號感測器將所取得之訊號傳至單晶片由 LCD 顯示幕將單晶片所運算的結果顯示在視窗上，其顯示項目包括角度值及加速度值二種，其顯示幕之面板上另設有角度歸零鈕及加速度啟動鈕。本實驗器材是由一 5V 電壓之電源所供應。



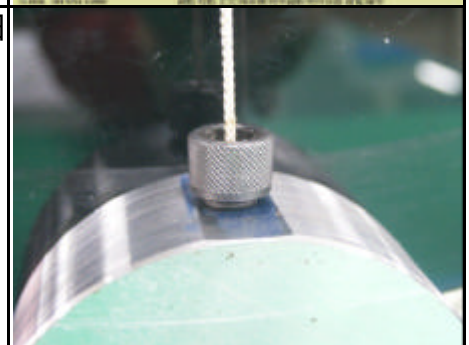
五、實作過程

一、測量本體的製作過程

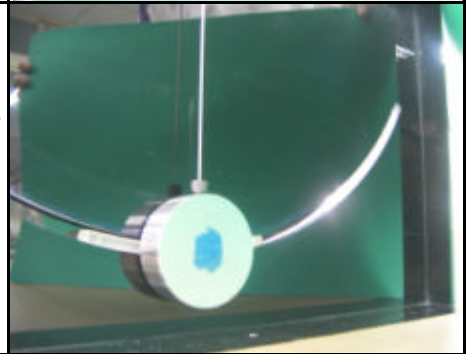
依照實際尺寸，利用電腦繪圖軟體 AutoCAD 繪製測量本體與擺錘之立體圖，以做為加工零件的參考。



在該封閉盒箱上端設有一小孔，再以一細繩穿過而於一適當長度懸吊一圓形擺錘，其中，細繩的固定端到擺錘的中心點剛好是 300mm。



於該封閉箱之前蓋板製作一半徑也是 300mm 的弧形溝槽，其槽寬為 10mm，以容納附著在圓形擺錘上之弧形凸出體，該凸出體並凸出於封閉箱之前蓋板的弧形溝槽約 10mm。



二、單晶片的燒錄

將燒錄器連接於電腦，並將單晶片插入燒錄器準備燒錄



開啟燒錄程式以進行單晶片之燒錄



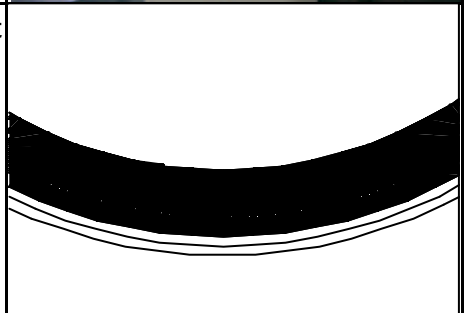
接著下來，就是要製作一片將角度轉換成電子訊號的轉換介面板，在這裡我們共經過三次的改良才完成。

三、弧形片的製作過程：

第一次：我們先利用 AutoCAD 繪出圓弧區，再於圓弧區靠近下緣部內繪製一連串圓弧狀的小圓孔，直徑為 1mm，其間隔各為一度。



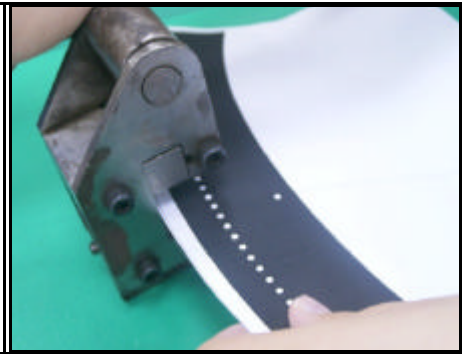
靠近上緣部則只繪製一小孔，其目的就是利用光遮斷器來讀取上緣部小圓孔以作歸零的動作，而讀取下緣部之小圓孔時，則可因累積孔數而得知所擺動的角度。



當該圖繪製完成並且列印出來後，便沿著邊緣裁剪下來，並使用護貝機將該弧形片護貝以增加其強度。



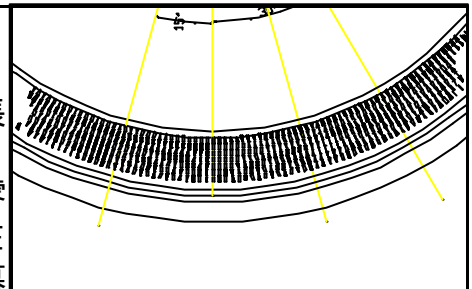
再利用小衝孔器將孔洞一一衝出。



本以為衝完孔的弧形板便可使用，然而，當我們將之移至光遮斷器作訊號截取試驗時才發現：原來上緣的孔只能歸零，卻無法判斷正負號，因此，當遮斷器來回讀取小圓孔時，角度值全都亂了，這時真的慌了起來，因為最重要的數據如果無法求出，那麼這個試驗就等於失敗了。

經過與老師仔細的討論之後，老師建議我改採用二進位數的讀孔法，也就是我在上數值控制時，老師曾經介紹過的讀取二進位 NC 孔帶的原理，也就這樣我們決定改變設計

第二次：這一次我們也是利用 AutoCAD 的電腦繪圖軟體繪出所需要的二進位孔帶圖，其主要在弧形片的徑向位置上等分七個長方孔，並沿周向等分成 128 度，然後以 +63 度定為歸零位址，也就是說，在單晶片裡預定零點為 -63 度，當遮斷器讀到 +63 的位址時時，在單晶片的運算結果就等於 0 度，而 LCD 顯示幕上當然也會是 0 度。



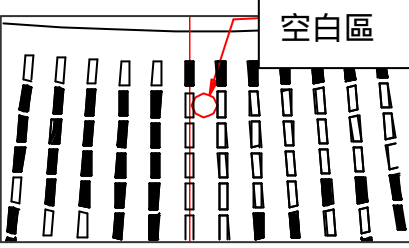
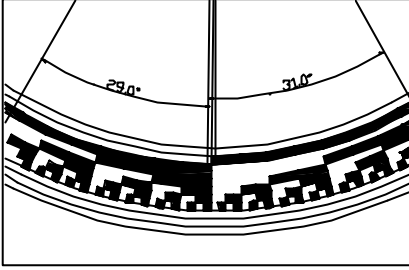

同樣將二進位孔帶圖的輪廓剪下並將黑色長方孔一一割除，經護貝後黏附於凸出體上。



二進位孔帶之弧形與該圓弧槽同圓心；當擺錘擺動時凸出體便沿著弧形溝槽而移動，黏附其上的二進位孔帶便會擺到一平衡的位置，經由七燈的遮斷器裝置，將所取得之訊號傳至單晶片運算，最後再將結果顯示出來。

結果，竟然又出現了嚴重的錯誤數據，這次的失敗才真叫人灰心，因為一切的理論應該都沒有錯，但為什麼就是無法顯示出正確的數值呢？

我只好再請教指導老師查看問題所在，經過指導老師仔細的研究後才發現

<p>原來這一次所用的二進位孔帶在黑色長方格與白色長方格之間多出了中間空白區。當感測器在判讀時便讀到全白區，當然所得到的訊號便會出現錯誤。</p>	
<p>後來，老師便再次建議我嘗試改變圖面設計。</p> <p>第三次：經過了兩次的實驗失敗之後，這一次對於訊號的截取原理已有相當的把握了，我依著老師的建議，將中間空白的區域去掉，只留黑白相間的區隔，之後便形成了如右圖的形狀。</p>	
<p>裝上光遮斷器再做一次實驗後，結果，令人非常興奮的正確數據終於顯示出來也就是說，當弧形片置中時，我們若按下角度重置鈕後，則 LCD 顯示幕上便出現 0 的數字，而當弧形片向左擺時，顯示幕出現正的角度；當弧形片向右擺時，顯示幕上則出現負的角度。</p>	

四、量測實驗

本研究包括室內實驗與室外實際量測兩階段。

室內實驗

在室內實驗的初期製作時，由於二進位板設計上的缺失，導致輸出數據的錯誤，經過修正設計後，其輸出顯示的值已完全符合公式運算的結果；其傾斜角度之值的顯示與精密游標量角器量出來的數值完全吻合，換言之，只要將本裝置適當地安裝在車上便可正確的顯示出車子爬坡時的傾斜角度；另外，在加速度量測方面，主要是截取擺錘擺動後與垂直線的夾角，再經單晶片依所輸入的公式運算後顯示出其加速度值，所以室內實驗是將該裝置以一推力推動使產生一擺角而讀取，經比對該擺動角度再經公式運算後的值與顯示裝置所讀取加速度值的結果也證實非常正確，可見本裝置可以精確的應用在實際量測。

室外實際量測

傾斜角量測實驗

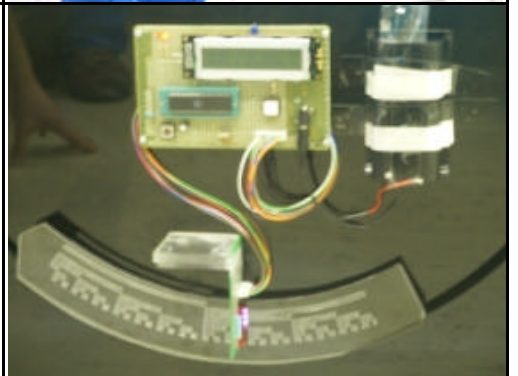
將本儀器固定於車內，先開至平面道路上，檢測角度為歸零狀態，將本儀器的角度重置鈕按下，然後將車子開至南港往內湖之成功橋的斜坡路段做斜角量測，結果電子顯示幕馬上顯示出一 9° 的角度。

加速度量測實驗

接下來就是要進行實際車子加速度值的量測實驗；我們選擇在捷運列車上量測。其實驗路段是選定在板南線的昆陽到後山埤站之間。並來回測試三次。根據台北捷運公司運務課所提供的數據為：(捷運列車最高速度：80km/hr)
當列車啟動加速時以碼錶開始計時，直到列車停止加速為止，我們實際量測其加速時間約為 18sec。



按下加速度啟始鈕後，開始量測捷運列車向前行進時之加速度，二進位弧形片會向後擺，訊號直接傳至單晶片運算，並由 LCD 顯示幕顯示其加速度值。



捷運列車之加速度量測

計算值

- ① 車子由靜止狀態持續加速至 80km/hr
相當於 22.2 m/sec
- ② 利用馬錶計算該加速時間大約為 18sec
- ③ 利用基本公式 $v = v_0 + at$ 求得加速度值
a 約為 1.23m/sec²

實際量測值

在來回三次的測試結果，本量測儀器上的電子顯示幕之加速度值均為 1.2m/sec²。



一般道路之汽車加速度量測

計算值

- ① 將車子由靜止狀態持續加速至 100km/hr
- ② 利用馬錶計算該加速時間大約為 8.5sec
- ③ 經由公式 $V=V_0 + at$ 得知此時的 a 值約為 $3.3m/sec^2$ 。

實際量測值

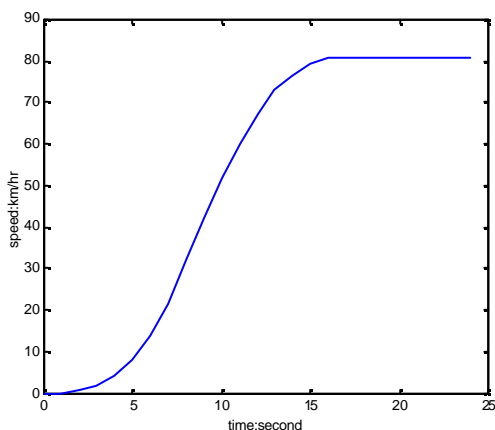
- ① 在車子加速前按下加速度起始鈕
- ② 車子由靜止狀態持續加速至 100km/hr
- ③ LCD 顯示幕顯示出 a 值約為 $3.2m/sec^2$ 。

五、電腦程式模擬

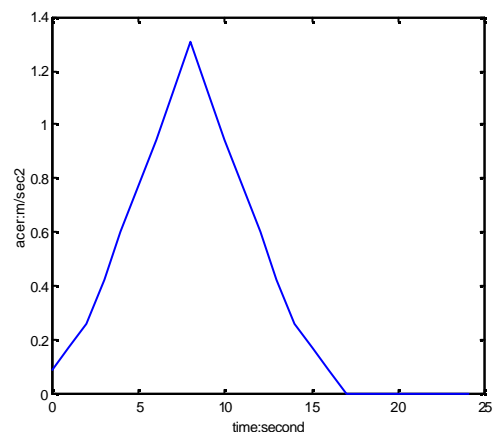
在電腦模擬方面我們係利用程式模擬出車子最大速度及時間關係圖、車子最大加速度及時間關係圖及本裝置在各種不同的摩擦係數所產生的誤差

1. 平面加速度模擬(斜坡度 = 0?)

車子最大速度及時間關係圖



車子最大加速度及時間關係圖

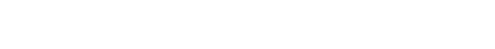


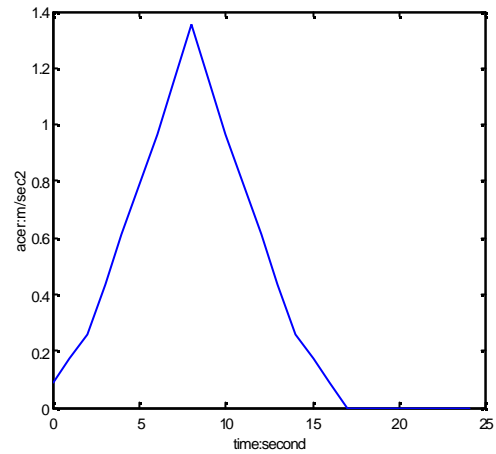
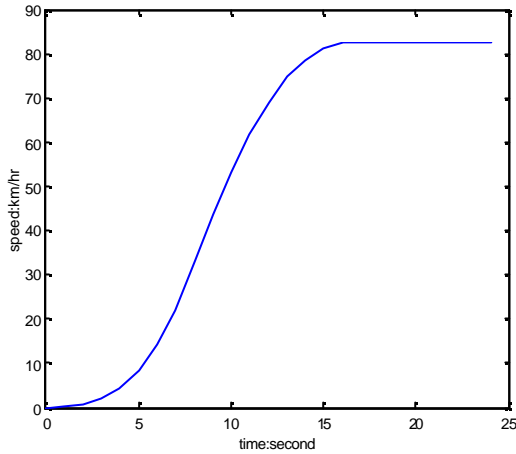
2. 斜坡加速度模擬(斜坡度 = 9?)

車子最大速度及時間關係圖



車子最大加速度及時間關係圖





裝置側斜對加速度值之影響
擺錘與側壁間之摩擦參考值

側斜度 = 0? 參考值 = 1.0
側斜度 = 5? 參考值 = 0.9
側斜度 = 9? 參考值 = 0.8

參考值(基準值為 1)	最高速度	加速度	誤差
0.8	64.2750	1.0452	0.0052
0.9	72.3443	1.1771	0.07009
1.0	80.4260	1.3093	0.00715

六、研究結果

本研究包括室內實驗、室外實際量測及電腦模擬三階段。在室內實驗的初期製作時，由於二進位板設計上的缺失，導致輸出數據的錯誤，經過修正設計後，其輸出顯示的值已完全符合公式運算的結果；其傾斜角度之值的顯示與精密游標量角器量出來的數值完全吻合，換言之，只要將本裝置適當地安裝在車上便可正確的顯示出車子爬坡時的傾斜角度；另外，在加速度量測方面，主要是截取擺錘擺動後與垂直線的夾角，再經單晶片依所輸入的公式運算後顯示出其加速度值，所以室內實驗是將該裝置以一推力推動使產生一擺角而讀取，經比對該擺動角度再經公式運算後的值與顯示裝置所讀取加速度值的結果也證實非常正確，可見本裝置可以精確的應用在實際量測。

在室外的實際測量方面，首先是將該裝置放在學校老師的車子內，尋一適當的場所，將車子由靜止狀態持續加速至 100km/hr，一方面利用馬錶計算該段時間大約為 8.5sec，經由公式 $V=V_0 + at$ 得知此時的 a 值約為 $3.3m/sec^2$ ，於此

同時利用本裝置所顯示出來的加速度值約為 $3.2m/sec^2$ ，其值已非常接近，然仍有些微的誤差，經檢討後確定是因為擺錘面與側面板之少許摩擦所影響，因此若能在接觸面間的材料作改良以降低摩擦係數，應可達到比較正確的結果。另外，在捷運列車上的實驗是選定在板南線的昆陽到後山埤站之間，經向台北捷運公司運務課詢問的資料是，捷運列車最高速度為 $80km/hr$ ，而我們實際量測其加速時間約為 $18sec$ ，經由公式 $V = V_0 + at$ 得知此時的 a 約為 $1.23m/sec^2$ ，然本量測儀器上的電子顯示幕之加速度值是為 $1.2m/sec^2$ ，可見本實驗裝置之量測準確度沒有問題。

七、討論

本實驗從開始策劃到製作，發現了一些值得探討的問題：

1. 如何決定擺錘的重量與擺繩的長度

依力學的原理來看，本裝置之擺錘的重量並不影響加速度時其擺角的大小，但在實際的情況之下因為有空氣阻力及元件的摩擦因素，因此，擺錘採用約 $1.5kg$ 重來實施；而擺繩長度則採一般鐘擺的基本長度 $30cm$ ，而實驗結果也證實這樣的決定是適當的。

2. 如何降低各元件間的摩擦問題

摩擦的問題會直接影響到所截取角度的數值，所以選擇低摩擦係數的材質將有助於精度的提高；另在程式上也可依已知摩擦作修正。

3. 二進位孔帶如何作得更精確

本實驗的二進位孔之弧形片是由 AutoCAD 所繪出，其準確度並沒有問題，但是切割孔時則有些許偏差，若能改以機械衝孔將可大為提升其感測器讀取的正確度。

4. 七燈感測裝置安裝時的精確度如何控制

本實驗之七燈感測裝置是將七個獨立的光遮斷器連在一起，其高低與直度都有不可避免的誤差存在，因此，若能以夾具型的組裝方式進行連接也可直接改善讀取數值的精確度。

5. 側向傾角對本裝置精確度的影響

本裝置另一項須克服的缺失就是在量測時若車子的側向傾角超過大約 5 度以上，由於擺錘與側板的摩擦增大，也會導致擺錘角度的減少，因此降低元件摩擦也有助於消除側向傾角對本裝置的影響。

九、 結論

經過本組的研究與實驗，總結如下：

1. 車子爬坡的傾斜角度與行進的加速度確實可以藉由本裝置的顯示幕直接讀取，而且誤差甚微。
2. 本裝置在實際應用時可將測量本體置於後車箱或引擎室，LCD 顯示幕則可置於駕駛座前之任意位置，而不會佔用車內空間。
3. 本裝置可以裝在大貨車上以測出卡車之載重極限(未超重之最大重量)時所產生的最大加速度值，來做為判斷爾後卡車載重時是否超重的依據。
4. 新車性能測試也可利用本裝置直接測出其汽車公司所標示的極限加速度是否正確。
5. 本裝置未來也可在顯示裝置的基板上加裝車重資料輸入鍵，如此顯示幕將可直接顯示出該車之最大之推力，對於車子性能可以更為清楚了解。
6. 目前本裝置之單晶片所燒入之公式為 $a = g \cdot \frac{\sin \theta}{\cos(\alpha + \theta)}$ ，因此對於車子所處的路面坡度及車子加速度隨時可測出，因為在水平時斜坡之傾斜角 $\theta = 0^\circ$ ，本裝置之單晶片會以 $a = g \cdot \tan \theta$ 來做運算；若係在斜坡上時，傾斜角 $\theta > 0^\circ$ ，則以 $a = g \cdot \frac{\sin \theta}{\cos(\alpha + \theta)}$ 之公式運算，換言之，本裝置無論在水平面或斜坡上均可正確顯示出加速度的值。
7. 本裝置之外觀尺寸係一等比例放大的組裝，實際應用時，其測量本體約可為目前尺寸的二分之一。

十、 參考資料

高職機械力學 第一冊 第五章 直線運動

高職機械力學 第一冊 第七章 動力學基本定律及應用 (牛頓第二運動定律)

高職機械製造 第二冊 第十二章 電腦輔助製造 (數值控制機械)

數值控制機械 王飛達、林英明編著 長諾資訊圖書公司

「8051C 語言寶典」 鄧錦城 先生 編著

