



簡易數位化彈簧秤

德霖技術學院 機械工程系

摘要

力的量測是常見的科學活動及交易行為。彈簧秤雖然平價，但不易讀取測值。本專題有鑑於單晶片功能日益增強而價格愈加便宜，因此想開發一種體積小，方便攜帶保管、需求電力小、能顯示數位化秤值的彈簧秤，方便數據讀取。並提供數位化傳輸界面，供主控端擷取數據。對於教學實驗活動的進行更為方便。本專題成品稱為「簡易數位化彈簧秤」，其實用度、普及性、準度以及價位適於中等學校教學實驗及學生專題、科學專題之研究活動。

關鍵字：關鍵字：數位秤、感測器、霍爾元件、彈簧秤

1. 前言

1.1 創作動機

日常所見的彈簧秤雖然平價，但不易讀取測值。本專題有鑑於單晶片功能日益增強而價格愈加便宜，因此想開發一種體積小，方便攜帶保管、需求電力小、能顯示數位化秤值的彈簧秤，方便數據讀取。

1.2 創作目的

我們創作的目的是為了開發一個低價位，功能簡單，可以提供數位化界面的彈簧秤。除了上面有七段顯示器方便使用者讀取秤值外，另提供 I2C 界面供主控端(電腦)擷取數據。中小學物理實驗時用的彈簧秤，其刻度約為總秤量的 2%。因此我們暫定本作品的精確度在 1%

1.3 作品功能

本作品的功能是一種體積小，方便攜帶保管、需求電力小、能顯示數位化秤值的彈簧秤，方便數據讀取。並提供數位化傳輸界面，供主控端擷取數據。對於教學實驗活動的進行更為方便。

1.4 市場競爭力

市場競爭力方面，本專題成品之功能、準度及價位適於中小學教學實驗及科學專題研究活動。目前中小學物理實驗用的拉力彈簧秤精度為：最小的彈簧秤滿刻度 200g 時感度為 5g，最大的彈簧秤滿刻度 5000g 時感度為 100g。



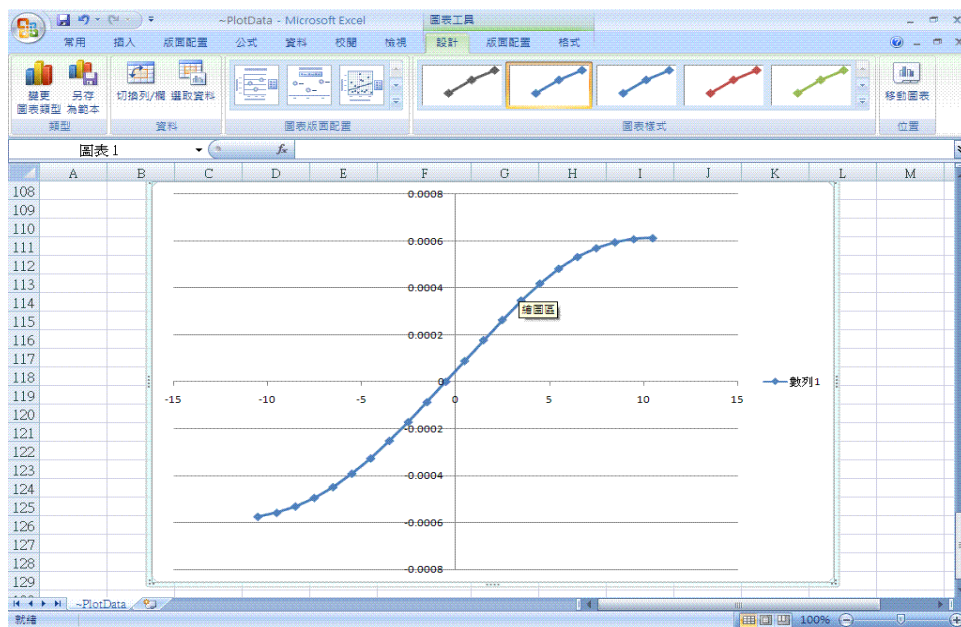
2. 工作原理

2.1 本作品之工作原理

參考本作品結構圖 9，將磁性元件(磁鐵)固定在彈簧秤的負荷端，霍爾元件固定不動。當負荷將彈簧變形使磁性元件移動至平衡位置時，霍爾元件會感應到不同的電壓。在某一小範圍內，此電壓和位移成線性關係。把霍爾電壓訊號經過信號處理電路，將訊號放大並適度偏壓後把電壓校準好，送入單晶片的 A/D 轉換器，即可得到數位化之量值。將此值透過七段顯示器對外顯示。只要在訊號處理部份，把電壓校準好，數位值即可直接代表所需單位之秤值。

我們使用老師介紹我們的一個磁鐵模擬軟體 Vizimag 3.15，這個模擬軟體可以模擬出各種情形的磁力線和磁力強度，還可以知道每一點的磁力強度，我們用這些數據 Excel 算出各種情形的強度及方向，算出他的實際數值，再計算畫出水平分量圖，如圖 1 所示。再用 Excel 畫出的水平分量圖取出中間較直的一個線段，在用找出的線段兩點算出直線分量，再用實際分量和直線分量算出各種情形的線性度就拿來做比較，看哪一種情形的線性度較好，參考圖 2，做為研討。

我們想到物理實驗時用到的彈簧秤，非常傳統，雖然結構簡單，操作方便，但擷取數據就不能自動化。如果把彈簧秤受負荷後的位移量用位移感測器加以檢測並輸出數位化的數據，不但方便判讀，也可以把量測工作數位化，由電腦讀取實驗資料。由於彈簧秤本來就不是很貴的器材，考量價格因素，我們捨棄電感式(LVDT)。光電式在我們的測試中，線性度不太理想，也暫時不考慮。目前計畫採用霍爾元件和磁鐵作為彈簧秤位移量的感測器。



圖一 磁鐵模擬軟體得到的磁力和位移的關係

可以見到中間有一段線性範圍，可利用它來作位移感測，也可以藉此感測彈簧的受力變形



2.2 霍爾元件工作原理

霍爾效應是指當固體導體有電流通過，且放置在一個磁場內，導體內的電荷載子受到洛倫茲力而偏向一邊，繼而產生電壓。電場力會平衡洛倫茲力。霍爾感測元件及

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
4						X1						
5	0.00E+00					X2	-3.5		-2.5			-1.5
6	X	Y	B	H	B Angle	實際分量	直線C分量	絕對誤差	直線C1分量	絕對誤差	直線C2分量	絕對誤差
7	mm	mm	Tesla	A/m	Radians							
8	-49.5	-15.5	0.000152	120.607	4.208498	-7.31783E-05	-0.002765675	0.002692	-0.002808932	0.002736	-0.00283252	0.002759
9	-48.5	-15.5	0.000155	123.3401	4.185567	-7.79291E-05	-0.002708963	0.002631	-0.002751385	0.002673	-0.002774534	0.002697
10	-47.5	-15.5	0.000159	126.1836	4.162109	-8.29188E-05	-0.00265229	0.002569	-0.002693838	0.002611	-0.002716547	0.002634
11	-46.5	-15.5	0.000162	129.1357	4.138112	-8.81532E-05	-0.002595597	0.002507	-0.00263629	0.002548	-0.002658561	0.00257
12	-45.5	-15.5	0.000166	132.1949	4.113513	-9.36448E-05	-0.002538904	0.002445	-0.002578743	0.002485	-0.002605575	0.002507
13	-44.5	-15.5	0.00017	135.3616	4.088297	-9.94E-05	-0.002482211	0.002383	-0.002521196	0.002422	-0.002542588	0.002443
14	-43.5	-15.5	0.000174	138.6348	4.062427	-0.000105427	-0.002425519	0.00232	-0.002463649	0.002358	-0.002484615	0.002379
15	-42.5	-15.5	0.000178	142.0384	4.035825	-0.000111756	-0.002368826	0.002257	-0.002406102	0.002294	-0.002426615	0.002315
16	-41.5	-15.5	0.000184	146.3061	4.008483	-0.00011899	-0.002312133	0.002193	-0.002348554	0.002233	-0.002368629	0.00225
17	-40.5	-15.5	0.000189	150.7272	3.98033	-0.000126602	-0.00225544	0.002129	-0.002291007	0.002164	-0.002310642	0.002184
18	-39.5	-15.5	0.000195	155.2982	3.951284	-0.000134602	-0.002198747	0.002064	-0.002233346	0.002099	-0.002252656	0.002118
19	-38.5	-15.5	0.000201	160.0149	3.921381	-0.000142981	-0.002142055	0.001999	-0.002175913	0.002033	-0.002194669	0.002052
20	-37.5	-15.5	0.000207	164.8629	3.890416	-0.000151752	-0.002085362	0.001934	-0.002118366	0.001967	-0.002136683	0.001985
21	-36.5	-15.5	0.000213	169.8322	3.858426	-0.000160893	-0.002028669	0.001868	-0.002060818	0.0019	-0.002078696	0.001918
22	-35.5	-15.5	0.00022	174.9058	3.825304	-0.000170391	-0.001971976	0.001802	-0.002003271	0.001833	-0.002020771	0.00185
23	-34.5	-15.5	0.000227	180.9356	3.790983	-0.00018109	-0.001915283	0.001734	-0.001945724	0.001765	-0.001962724	0.001782
24	-33.5	-15.5	0.000236	187.4686	3.75535	-0.000192584	-0.001858591	0.001666	-0.001888177	0.001696	-0.001904737	0.001712
25	-32.5	-15.5	0.000244	194.1551	3.718342	-0.000204516	-0.001801898	0.001597	-0.00183063	0.001626	-0.001846751	0.001642
26	-31.5	-15.5	0.000253	200.9562	3.67988	-0.000216818	-0.001745205	0.001528	-0.001773082	0.001556	-0.001788764	0.001572
27	-30.5	-15.5	0.000261	207.8278	3.639807	-0.000229416	-0.001688512	0.001459	-0.001715535	0.001486	-0.001730778	0.001501
28	-29.5	-15.5	0.00027	214.7208	3.598099	-0.000242195	-0.001631819	0.00139	-0.001657988	0.001416	-0.001672791	0.001431

圖二 不同形態的組裝位置對磁力和線性度的比較
藉此決定比較適宜的組裝位置

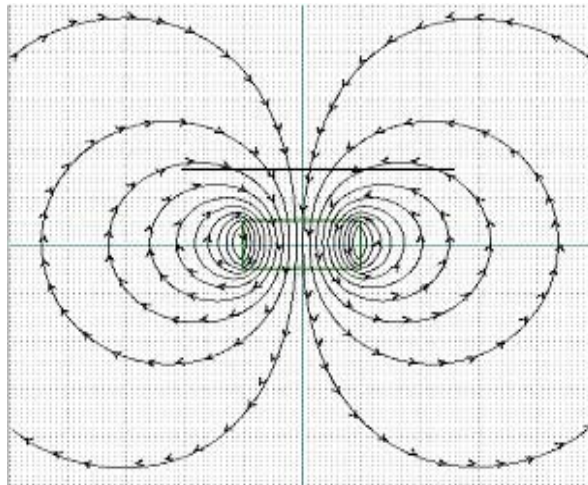
2.3 其它方式的優缺點

感測器部份，電感式(LVDT)線性度、靈敏度都很高。通常感測器內部有超過兩組以上的線圈，位移變化會被轉化為線圈的磁阻變化。此類感測器中最常見的是LVDT(線性差動變壓器)，因具有靈敏度高、精確度高、體積小、質量輕，與耐用等優點，且沒有溫、溼度之限制，故常被應用於許多工業品管的場合中，其作用原理與變壓器類似，讓導磁磁蕊在線圈中移動進而改變線圈電壓感應量，其電訊號輸出量正比於可動磁蕊的位置。但本身價格高，而其驅動電路也很貴。不適用於簡易的彈簧秤。

光電式，利用遮蔽片的位移決定遮蔽光線的多少，而產生不同的電壓。在我們的測試中，線性度不太理想，也暫時不考慮。另外，也可考慮光學編碼器、電容式、渦電流式等位移感測器。但礙於時間經費的限制，在本專題中，暫不考慮。

2.4 本作品的技術來源

霍爾元件的感測器基本技術來自上一屆學長的專題經驗。而磁性元件部份的模擬，是本學期初本組同學用老師給我們的一個模擬軟體探討的成果。單晶片的知識，來自上學年的8051程式設計課程，以及盛群半導體辦理的講習和指導老師的教導。



圖三 磁鐵模擬軟體 Vizimag 模擬磁鐵的磁力線

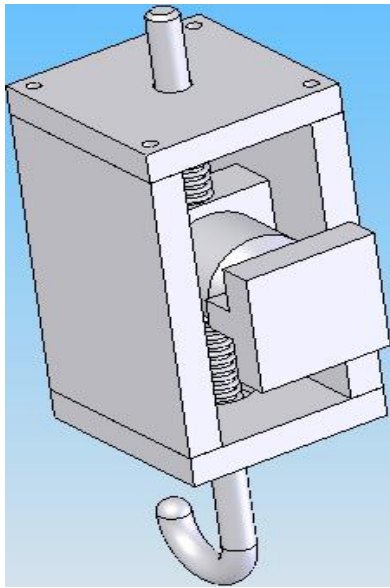
2.5 本作品使用 HOLTEK MCU 之核心功能

使用內建 A/D 功能，外部中斷功能、計時器溢位中斷功能。因此可以大幅節省元件體積。

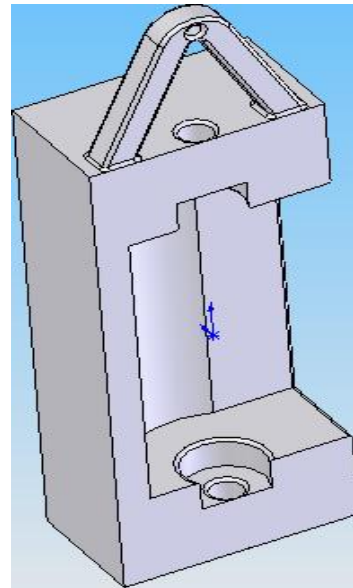
3. 作品結構

3.1 硬體部分

本作品結構如圖 9，將磁性元件(磁鐵)固定在彈簧秤的負荷端，霍爾元件固定不動。當負荷將彈簧變形使磁性元件移動至平衡位置時，霍爾元件會感應到不同的電壓。在某一小範圍內，此電壓和位移成線性關係。把霍爾電壓訊號經過信號處理電路，將訊號放大並適度偏壓後把電壓校準好，送入單晶片的 A/D 轉換器，即可得到數位化之量值。將此值透過七段顯示器對外顯示。為節省電源，可以按鈕選擇進入省電模式。在省電模式下，要顯示量測值時，要按一下「量測按鈕」，則七段顯示器可顯示約二十秒的讀值。實際設計的裝置如圖四，彈簧在內側，牽動圓柱形的磁鐵移動。霍爾感測器(前面方形部份)不動，在不同荷垂下，可以測出不同霍爾電壓。



圖四 彈簧秤硬體結構圖

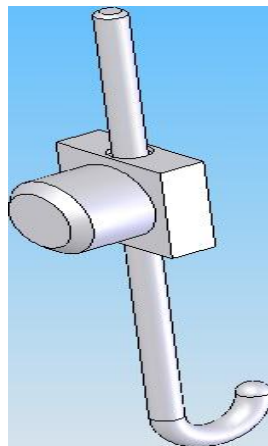


圖五 彈簧秤硬體之左側外殼

3.2 軟體部分

• 主程式 MAIN

```
INITIALIZE
    SEC01_UP = 0
TIME_UP = 1
SW_MS = 0
SW_SAVE = 1
WHILE (1)
    IF SEC01_UP=1 (每隔 0.1 秒), THEN
        IF SW_SAVE= 0 OR TIME_UP = 0 (非節電或單次量測進行中) THEN
            CALL MS
        (MS 為基本量測副程式)
        ENDF
        SEC01_UP=0
    ELSE (DO NOTHING)
    ENDF
END WHILE
```



圖六 秤鈎的構造圖

彈簧套在上下的柱上、圓柱形磁鐵固定在中間，形成一個完整的結構



- **中斷程式 MS_SW**

中斷因素 = 量測按鈕被按下。

程式動作：

設定旗標 SW_MS 為 1，

設 TIME_UP 為 0

返回

- **中斷程式 SAVE_SW：**

中斷因素 = 省電模式按鈕被按下。

程式動作：

將旗標 SW_SAVE 反向 (0 變 1 或 1 變 0)

返回

- **中斷程式 TICKED：**

中斷因素 = 計時器溢位。

程式動作：

將時基計數器 TICKS 加 1，

IF TICKS > SEC_01 (0.1 秒)：

設 SEC01_UP 為 1

設 TIME_01SEC = TIME_01SEC + 1

設 SHOW_01SEC = SHOW_01SEC + 1

TICKS = 0

ENDIF

IF SHOW_01SEC > 200 (二十秒)，

設 TIME_UP 為 1

SHOW_01SEC = 0

ENDIF

返回

- **基本量測副程式 MS：**

啟動 A/D 轉換功能

執行延遲副程式，等待電路穩定

得到轉換值，存到量值變數 METER

將 METER 值線性化處理，以提高準確度，再存回量值變數 METER

依 METER 值，更新七段顯示器

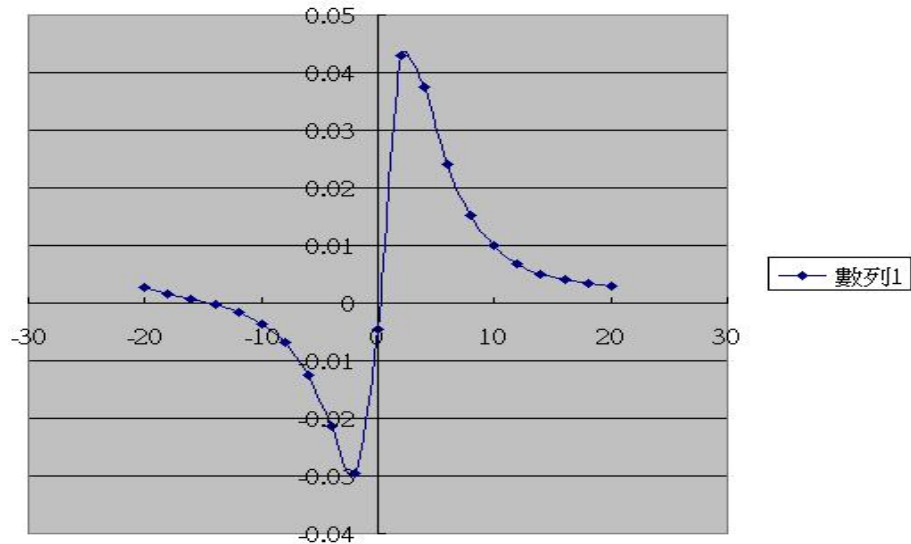
返回



4. 測試方法

4.1 測試程序

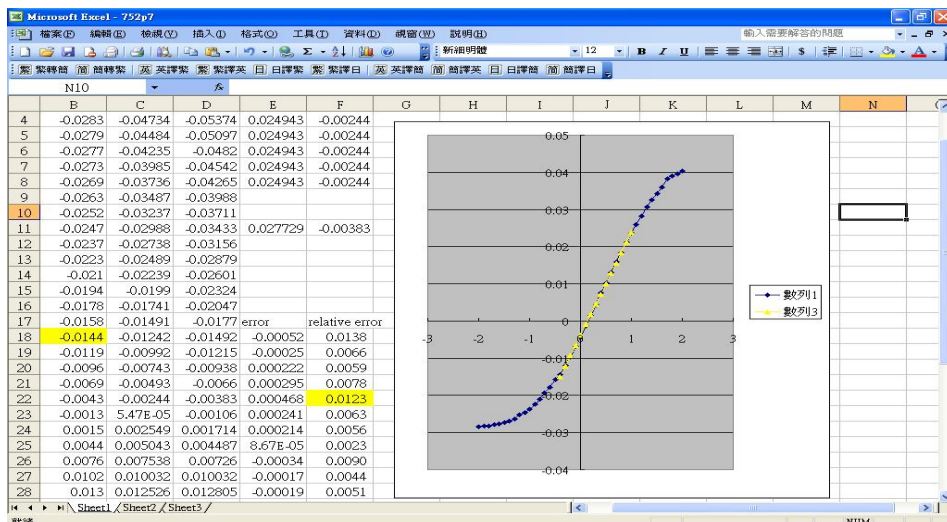
我們測量磁鐵在不同位移下的霍爾電壓值。再用測量出來的數據，用 Excel 畫出如圖 7、我們再用這個圖取他中間比較線性的區域，作為設計範圍。圖 8 的中間部份數據即是我們採用的設計範圍。



圖七 霍爾電壓和位移關係圖

4.2 測試結果

取上述測後，中間比較線性的區域，作為設計範圍。圖中我們比較的結果顯示，在線性部份，其誤差在百分之一以下，如表 1 之 relative error 一欄所示。符合我們簡易經濟的需求目標。



圖八 霍爾電壓和位移線性圖



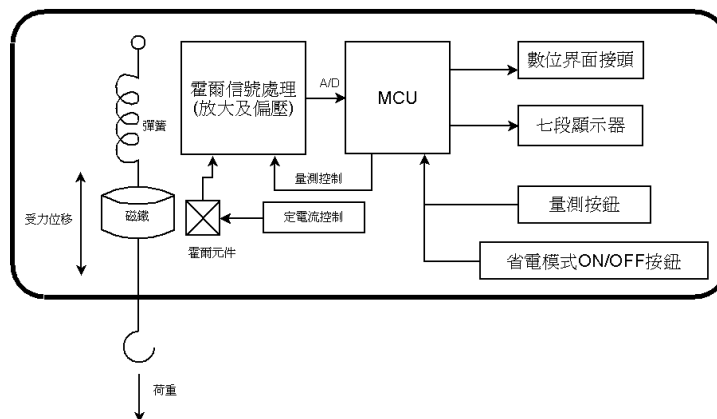
位移	電壓	迴歸值	error	Relative error
-0.4	-0.0144	-0.01492	-0.00052	0.0138
-0.3	-0.0119	-0.01215	-0.00025	0.0066
-0.2	-0.0096	-0.00938	0.000222	0.0059
-0.1	-0.0069	-0.0066	0.000295	0.0078
0	-0.0043	-0.00383	0.000468	0.0123
0.1	-0.0013	-0.00106	0.000241	0.0063
0.2	0.0015	0.001714	0.000214	0.0056
0.3	0.0044	0.004487	8.67E-05	0.0023
0.4	0.0076	0.00726	-0.00034	0.0090
0.5	0.0102	0.010032	-0.00017	0.0044
0.6	0.013	0.012805	-0.00019	0.0051
0.7	0.0158	0.015578	-0.00022	0.0058
0.8	0.0184	0.018351	-4.9E-05	0.0013
0.9	0.0212	0.021124	-7.6E-05	0.0020
1	0.0236	0.023897	0.000297	0.0078

表一 線性區域相對誤差表

5. 參考文獻

- HT46xx 微控制器理論與實務寶典，鍾啟仁著，全華科技圖書，2004 年。
- 感測器，陳瑞和著，全華科技圖書，2000 年。
- 實用電子電路實作應用，舒福壽著，台科大圖書，2001 年。
- 電子學，李秀峰著，新文京出版，2004 年。

簡易數位化彈秤結構示意圖



圖九 本作品之結構，將磁性元件(磁鐵)固定在彈簧秤的負荷端，霍爾元件固定不動。當負荷將彈簧變形使磁性元件移動至平衡位置時，霍爾元件會感應到不同的電壓。在某一小範圍內，此電壓和位移成線性關係。把霍爾電壓訊號經過信號處理電路，將訊號放大並適度偏壓後把電壓校準好，送入單晶片的 A/D 轉換器，即可得到數位化之量值。將此值透過七段顯示器對外顯示。