



# 電壓源內阻測量儀

德霖技術學院機械工程系

## 摘要

當我們處理電源或信號源時，了解其內阻甚為重要。由於內阻造成之壓降，我們實際可獲得之電壓可能較開路時為低。因此需要透過測量以了解電壓源之內阻，以正確預估不同負載下可獲得之工作電壓。以甲醇燃料電池為例，在它的活化啟動程序中就需要測量燃料電池之內阻。本專題使用已知負載電壓降來推算內阻的方法，利用單晶片量取開路電壓及負載電壓，藉已知之負載電阻，算出電壓源之內阻，並透過七段顯示器顯示測值。本專題成品之功能、準度及價位適於中等學校教學實驗及學生專題、科學專題研究活動。

關鍵字：內阻、類比數位轉換

## 1. 前言

### 1.1 創作背景及構思

學長在作燃料電池專題時，遇到測量內阻的問題。燃料電池啟動時，必須先經過一個活化的過程。活化完成以後才可以正式的把燃料電池接通到負載上。活化過程是不是已經完成，則是要看燃料電池的內電阻是不是已經降低到某個程度。以本系實驗用的燃料電池（ADM-10 2W，一種直接甲醇燃料電池半主動式模組）來說，大概要降到 230 毫歐姆才算是活化完成。

但是專用的燃料電池測試設備很貴，如果要普及燃料電池的應用，或是在學生專題上的使用，實務上會有經濟上的困難。而且這是為了每次燃料電池啟動過程的判定，應該要有平價的測量內阻裝置，才能讓燃料電池的應用輕便化、平民化。

所以我們想要研製一個可以量測內阻的平價實用測量儀。一方面讓學生在做專題或電子學實驗的時候可以運用於各種電壓源(如太陽能電池、熱電偶、普通電池等)內阻的量測，另一方面我們可以更進一步的把測量儀器跟電腦或 PLC 的控制結合起來，讓它組合成一個自動監測燃料電池內阻的裝置，由於它的價格可以平民化，可以促進燃料電池的推廣應用。

### 1.2 創作目的

開發一個低價位，功能簡單但能滿足實用需求的，可以提供數位化界面的內阻量測儀。上面應提供七段顯示器，以顯示內阻值，並提供數位界面，允許外部電腦或 PLC 等讀取測量值。



### 1.3 作品功能

本作品為一數位化界面之簡易內阻測量儀，並提供數位化界面，供電腦或 PLC 取數據。可以運用於各種電壓源(如太陽能電池、熱電藕、普通電池等)內阻的量測，對於學生專題或電子學教學實驗活動的進行非常方便。

### 1.4 市場競爭力

本專題成品之功能、準度及價位適於中等學校教學實驗及學生專題、科學專題研究活動。它的價位可以被接受，而功能可以提供數位化數據，方便學生以數位化進行科學研究活動。

## 2. 工作原理

### 2.1 本作品之工作原理

電壓源內阻的量測原理，如圖 1 所示。內阻為  $R_1$ ，負載電阻為  $R_2$ 。開路(不加負載的)時，電壓錶量得開路電壓為  $V_0$ 。閉路時，電壓錶量得負載電壓為  $V_L$ ，而電流錶量得負載電流為  $I$ 。則電池內阻可由下式求得：

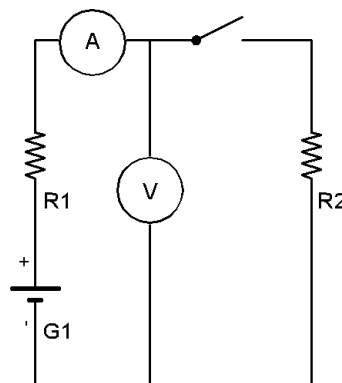
$$R_1 = (V_0 - V_L) / I$$

若負載電阻  $R_2$  為已知，則上式可改為

$$R_1 = ((V_0 - V_L) / V_L) \times (V_L / I)$$

$$R_1 = ((V_0 - V_L) / V_L) \times R_2$$

上式只要量測開路電壓  $V_0$  及負載電壓  $V_L$ ，即可與負載電阻  $R_2$  運算求得電池內阻  $R_1$ 。故圖 1 中之電流錶可以省略。



圖一 電壓源內阻的量測原理， $R_1$  為電池內阻， $R_2$  為負載電阻。  
如果  $R_2$  為已知，則只要量測電壓即可推算內阻  $R_1$

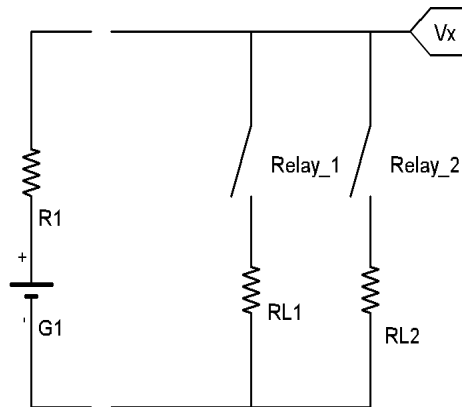


因為電池在活化的過程中是不可以加真正的負載的，所以 R2 就用一個已知的模擬負載電阻。通常我們這個模擬負載電阻會大一點，讓它吃的電流比較小，不會影響電池的性能。

依據上述的原理，本作品的系統結構示意如圖 2 所示。

為了量測不同阻值範圍的內阻，考量誤差的問題，我們需要設置好幾種不同阻值的模擬負載電阻，如圖 2 中的 RL1、RL2。

RL1、RL2 的啟用分別由繼電器 Relay\_1、Relay\_2 控制。當 Relay\_1 和 Relay\_2 均未導通時，在 Vx 上所量到的即是開路電壓 Vo。當 Relay\_1 導通時，在 Vx 上所量到的即是負載電壓 VL1。而當 Relay\_2 導通時，在 Vx 上所量到的即是負載電壓 VL2。我們把 Vx 透過電壓隨藕放大器，增加其抗雜訊的能力，再傳送到 HT46R24 的 AD 輸入腳。經過單晶片內的 A/D 轉換電路把類比的電壓轉換成數位信號，再由單晶片計算處理，就可得知電壓源之內阻。



圖二 本作品內阻的量測原理，包含負載電阻如 RL1 及 RL2，以及繼電器接點如 Relay\_1 及 Relay\_2。左側為電源或信號源，包含電壓 G1 及內阻 R1。透過單晶片訊號可控制繼電器讓已知負載電阻 RL1 或 RL2 為開路或閉路。若繼電器 Relay\_1、Relay\_2 均不導通，則開路電壓 Vo 即可由 Vx 量得。若繼電器 Relay\_1 為 ON，則負載電阻 RL1 導通，在 Vx 上即可量得負載電壓 VL1。同理，透過繼電器 Relay\_2 之導通即可在 Vx 上量得負載電壓 VL2。開路電壓和負載電壓經單晶片內之 A/D 轉換計算後，即可得知電壓源之內阻。

## 2.2 其它各種方式的優缺點

除了上述使用負載電壓降來推算內阻的方法外，還有比較複雜的交流式內阻量測方式，但因為其電路比較複雜，且不適用於其它電壓源的內阻量測。因此本專題暫時不考慮。

## 2.3 本作品的技術來源

有關燃料電池的知識來自上一屆學長的專題經驗。而負載電壓降及分壓的部份，是指導老師依據電路學及電子學的基礎和本組同學探討的結果。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。



## 2.4 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。可以大幅節省元件體積。

## 3. 作品結構

### 3.1 硬體部份

本作品結構圖如圖 5，將待測之外部電壓或信號源送入負載電阻部份以取得分壓。由單晶片信號 L1、L2 控制繼電器之開或關。不同的繼電器用來導通不同的已知負載電阻。如前所述，藉著繼電器開或關，可以取出開路電壓或負載電壓，將此電壓  $V_x$  送入單晶片之 A/D 轉換器接腳。單晶片程式依據已知之負載電阻值，開路電壓及負載電壓，可算出內阻。並將內阻值透過七段顯示器顯示。也可將內阻值透過數位界面接頭，由外部讀取。操作方面，可以選擇「連續量測模式」定時不斷量測並更新顯示值。也可以利用單次量測按鈕，作單次量測並顯示讀值。

### 3.2 軟體部分

主程式 MAIN：

```
WHILE(1)
    IF SINGLE_MS=1， THEN
        CALL ONE_MS
        (ONE_MS 係單次量測副程式)
        更新七段顯示器
        SINGLE_MS=0
        CONTINE_MS=0
    ELSE IF CONTINE_MS=1， THEN
        CALL ONE_MS
        (ONE_MS 係單次量測副程式)
        更新七段顯示器
    ENDIF
END WHILE
```

中斷程式 S\_BUTTON：

中斷因素 = 單次量測按鈕被按下。  
程式動作 = 設定旗標 SINGLE\_MS 為 1  
返回



中斷程式 C\_BUTTON：

中斷因素 = 連續量測按鈕被按下。  
程式動作 = 將旗標 CONTINUE\_MS 反向 (0 變 1 或 1 變 0)  
返回

基本量測副程式 MS：

設定 MS 訊號為 1  
執行延遲副程式，等待電路穩定  
啟動 A/D 轉換功能  
得到轉換值，存到轉換暫存器 AD\_TMP  
返回

單次量測副程式 ONE\_MS：

設定無負載 (所有負載 OFF 掉)  
CALL 基本量測副程式 MS  
AD\_TMP 存入 AD\_NOLOAD  
設定 ERROR\_1 = 最大  
LOOP i  
    設定負載 Li 為 ON  
    將負載電阻 RL\_i 值存入 R\_LOAD  
    CALL 基本量測副程式 MS  
    CALL 內阻計算副程式 RI\_CAL  
    內阻值存入 RI2  
    估計誤差，存入 ERROR\_2  
    比較 ERROR\_1 及 ERROR\_2，若 ERROR\_2 < ERROR\_1，則 RI = RI2  
    若 ERROR\_2 < ERROR\_TH，精度已足，則結束 LOOP  
END\_LOOP i  
(得內阻，存於 RI)  
設定無負載 (所有負載 OFF 掉)  
設定 MS 訊號為 0  
返回



## 4. 測試方法

### 4.1 模擬內阻

為了驗證所測量之內阻為正確。需要有已知之內阻作比對。因此我們設計一個模擬內阻，其內包含了「已知電壓源」及數個「已知電阻」，如圖 3 所示。電壓有兩種，一種是由兩個乾電池構成，由兩個指撥開關控制電壓為 1.5V 或 3.0V。另一種是由直流電源供應器提供。直流電源供應器的優點是其等效內阻甚低，在測低內阻時，不會影響結果。另有數個指撥開關控制所用的「已知內阻」值。我們採用的內阻有 0.5 歐姆、10 歐姆、100 歐姆、1k 歐姆、10k 歐姆、100k 歐姆，以代表不同範圍的內阻值。



圖三 模擬內阻裝置

上面設置了「已知電壓源」及數個「已知電阻」。由指撥開關控制電壓為 1.5V 或 3.0V。另有數個指撥開關控制所用的「已知內阻」值。

### 4.2 負載電阻

由計算式可知，若內阻和負載電阻比例相差過大，則量測及計算誤差會很大。為了配合不同範圍的內阻值，以求得適當的精度，我們採用的負載電阻有 10 歐姆、120 歐姆、1.5k 歐姆、20k 歐姆、分別由透過不同繼電器來控制。其裝置如圖 4 所示。



圖四 負載電阻及控制電路

由單晶片送來之控制信號驅動不同負載電阻，以取得負載電壓及開路電壓，據以估算內阻。



#### 4.3 測試程序

依次選擇不同的內阻，分別以不同的負載電阻加載，以量測開路電壓  $V_o$  及負載電壓  $V_L$ 。將這些電壓值代入公式計算內阻。並將計算之內阻與實際內阻值比較，求得相對誤差，以驗證本方法之可行性。

#### 4.4 測試結果

實際量測各「已知內阻」，得內阻值為 0.7 歐姆、10.1 歐姆、98.4 歐姆、984 歐姆、9.85k 歐姆、98.2k 歐姆。實際量測各「負載電阻」，得負載電阻值為 10 歐姆、117.2 歐姆、1.47k 歐姆、19.9k 歐姆。

Ri	$V_o$	VL1	VL2	VL3	VL4
0.7	3	2.8	2.97	3	3
10.1	3	1.478	2.755	2.98	3
98.4	3	0.274	1.63	2.812	2.99
984	3	0.0298	0.323	1.813	2.86
9850	3	0.0029	0.353	0.393	2.01
98200	2.97	0.0002	0.0035	0.0449	0.509

表 1：開路電壓  $V_o$  及負載電壓  $V_L$

在不同內阻  $R_i$  (單位=歐姆) 之下，所測得的開路電壓  $V_o$  及負載電壓  $V_L$  (單位=伏特)。 $V_L1\sim V_L4$  分別為不同負載電阻  $R_L1\sim R_L4$  下所測得之負載電壓。

Ri	RL_1	RL_2	RL_3	RL_4
0.7	<b>0.714</b>	1.184	0	0
10.1	<b>10.3</b>	<b>10.42</b>	9.866	0
98.4	<b>99.49</b>	<b>98.5</b>	<b>98.28</b>	66.56
984	996.7	<b>971.3</b>	<b>962.4</b>	<b>974.1</b>
9850	10335	878.8	<b>9751</b>	<b>9801</b>
98200	148500	99335	95766	<b>96216</b>

表 2：由不同之負載電阻估算之內阻值

在不同內阻  $R_i$  (單位=歐姆) 之下，經由不同之負載電阻  $R_L1\sim R_L4$  之負載電壓  $V_L1\sim V_L4$  所算得之內阻  $R_{I_1}\sim R_{I_4}$ 。由表中數值可知，若所選用之負載電阻和實際內阻比例相差太遠，則誤差很大。粗體字為誤差較小的案例。因此，估算不同範圍之內阻，應選用不同的負載電阻為宜。



Ri	相對誤差			
	誤差 1	誤差 2	誤差 3	誤差 4
0.7	<b>0.020408</b>	0.691198	-1	-1
10.1	<b>0.019574</b>	<b>0.031931</b>	<b>-0.02319</b>	-1
98.4	<b>0.011068</b>	<b>0.001072</b>	<b>-0.00123</b>	-0.32363
984	<b>0.012918</b>	<b>-0.01286</b>	<b>-0.02192</b>	<b>-0.01003</b>
9850	0.049221	-0.91078	<b>-0.01001</b>	<b>-0.00492</b>
98200	0.512118	<b>0.011562</b>	<b>-0.02479</b>	<b>-0.0202</b>

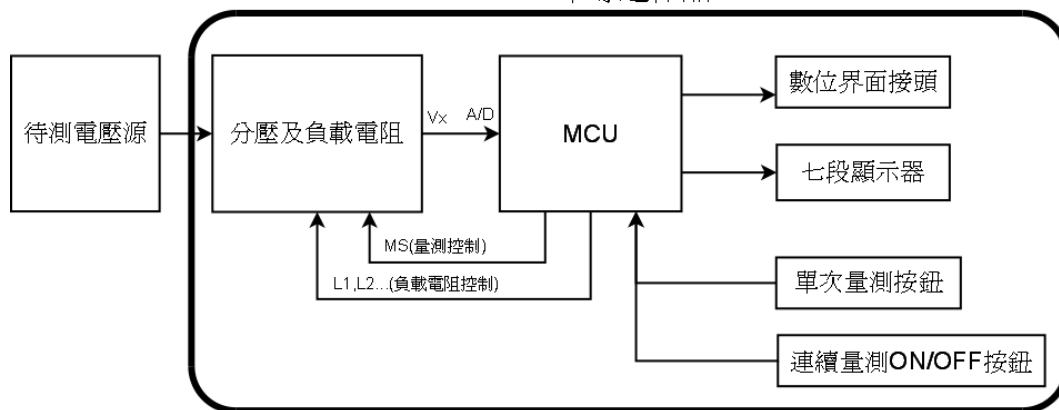
表 3：估算內阻值相對誤差表

由不同之負載電阻估算之內阻，與實際內阻值相比，求得相對誤差。粗體字為相對誤差較小之案例。由此可以評估不同負載電阻所適合估算之內阻範圍。

## 5. 參考文獻

1. HT46xx 微控制器理論與實務寶典，鍾啟仁著，全華科技圖書，2004 年。
2. 感測器，陳瑞和著，全華科技圖書，2000 年。
3. 燃料電池實驗教材，翁芳柏、徐耀昇著，亞太燃料電池科技，2006 年。
4. 實用電子電路實作應用，舒福壽著，台科大圖書，2001 年。
5. 電子學，李秀峰著，新文京出版，2004 年。

### 本專題作品



圖五 本作品之結構圖

待測之外部電壓送入分壓及負載電阻部份，由單晶片控制以取出開路電壓及負載電壓，送入單晶片之 A/D 轉換器。單晶片程式依據已知之負載電阻值，開路電壓及負載電壓，可算出內阻。並將內阻值透過七段顯示器顯示。也可將內阻值透過數位界面接頭，由外部讀取。操作方面，可以選擇「連續量測模式」不斷量測並更新顯示值。也可以利用單次量測按鈕，作單次量測並顯示讀值。