



儀錶顯示器應用說明書

HY11P13

4-20mA 測量儀錶顯示器

目錄

1	簡介.....	3
2	原理說明.....	3
2.1	系統架構與類別.....	3
2.2	測量方式的比較.....	4
2.3	測量規格分析.....	5
2.4	測量原理.....	5
2.5	控制晶片.....	8
3	設計規劃.....	10
3.1	硬體說明.....	10
3.2	電路說明.....	10
3.3	軟體說明.....	11
4	技術規格.....	13
5	結論.....	13
6	操作說明.....	14
6.1	操作流程圖.....	14

1 簡介

工業應用上普遍需要量測非電物理量信號，如溫度、壓力、速度、角度等等。往往這些非物理量的信號會透過感測器轉換成電物理量的信號，如電流、電壓、功率、頻率等。而這些量化信號些需再轉換成標準數位通訊訊號或是類比電信號才能傳輸至幾十米甚至幾百米外的監控中心或儀錶上。

這類將物理量信號轉換成類比電信號的裝置稱為傳送器，在工業上，廣泛採用的標準類比傳輸電信號是分別為 0~5V、0~10V 或 4~20mA，而其中以 4~20mA 最為常見。

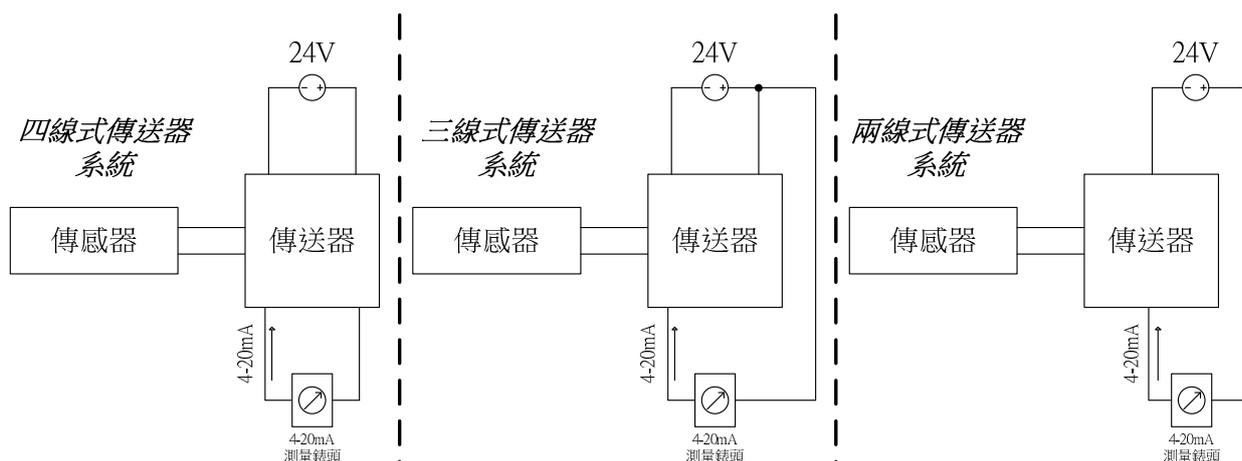
在此，本文將介紹利用由 HYCON 所設計的 HY11P13 晶片能輕易的達到電路設計簡單、消耗電流低於 0.8mA 且造成的迴路壓降小於 2.8V 的優勢，以實現最具成本競爭力、低消耗電流與低迴路壓降的兩線式 4-20mA 電流量測晶片與顯示兼具控制設計的解決方案介紹，祈與各位先進交流。

2 原理說明

2.1 系統架構與類別

採用 4~20mA 傳送信號的原因是其不容易受干擾、電流源的併聯內阻無限大且導線串聯電阻在迴路中不影響信號的精度，故在普通雙絞信號線上可以傳輸數十米。電流信號處於正常操作時不會低於 4mA，此設計規範主要是為了能檢測出傳輸線的斷線狀態。因為當迴路因故障而斷路時環路電流會降至 0mA，故常以 1.5mA 的電流作為斷線警報值；而信號最大為 20mA 則是因為工業安全上的防爆要求，因為 20mA 的電流迴路斷線後產生的火花能量不足以引燃氣體燃料(瓦斯)。

由於電流輸出型的傳送器需將物理量轉換成 4~20mA 的電流信號輸出，必然需要額外提供外部電源。依其架構可區分為：



圖一 傳送器系統架構圖

四線式傳送器：

常見的傳送器設計，需要外接兩條電源線及兩條信號線。

三線式傳送器：

此傳送器是利用信號線與電源線共用一條線的設計，以減少一條線。

兩線式傳送器：

利用 4-20mA 電流迴路即可以供給傳送器電源的設計，使傳送器在電流迴路中可視為一個特別的負載，其耗電電流控制在 4~20mA 之間且依據感測器的輸出大小而變化，因此使得顯示儀表只需要透過兩條線串在迴路中即可。(工業制訂的電流環標準下限為 4mA，因此只要在量程範圍內傳送器至少有 4mA 的電流供給，故使得兩線制感測器的設計成為可能)

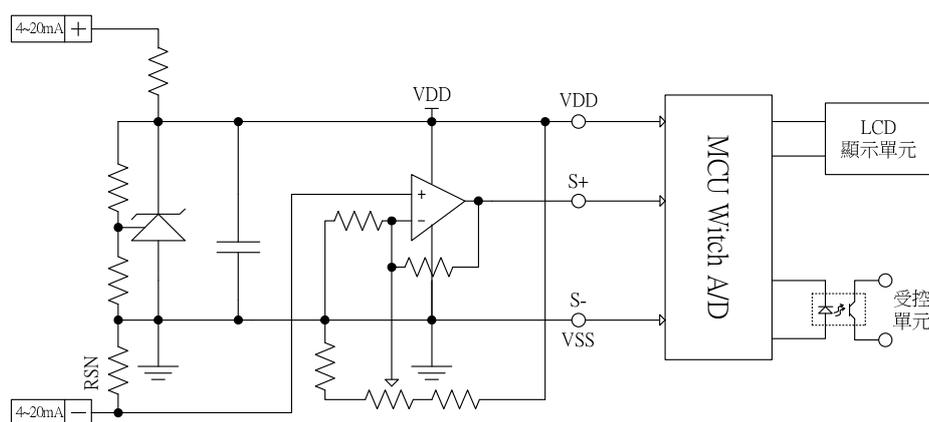
工業應用領域裡，測量點一般在俗稱的現場，而其距離監控中心或儀錶控制器之間可能數十至數百米遠。若能簡單的使用兩條線作為信號傳輸，在成本上絕對有競爭優勢且四線制傳送器和三線制傳送器常因導線內電流不對稱，而必須使用昂貴的遮罩線，而兩線制傳送器可使用非常便宜的雙絞線導線，因此在應用中兩線制傳送器必然是首選。

在兩線式為常首選的情況下，其 4-20mA 信號測量錶頭加入系統迴路後既不能影響信號傳輸的電流大小且造成的環路壓降必須越小越好，更好的是電路設計簡單。故在晶片的選擇時常常難以兩全，而 HYCON 所設計的 HY11P13 晶片能輕易的達到電路設計簡單、消耗電流低於 0.8mA 且造成的迴路壓降小於 2.8V。

2.2 測量方式的比較

目前常見的兩線式 4-20mA 電流信號測量與控制的儀表其電路組成可分為三部分，第一部分為利用 TL431 在迴路電流裡取出儀表晶片所需的工作電壓。第二部分為利用 OPAMP 放大器將類比電流信號轉成類比電壓信號。第三部分則為利用具類比數位轉換測量晶片將類比電壓信號轉為數位信號並顯示於顯示器上或依信號大小進行其他控制事件。

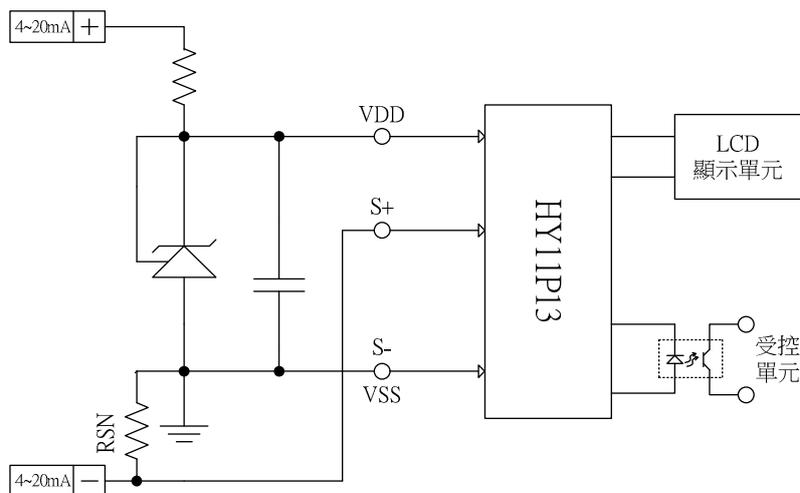
圖二 為常見的 LCD 顯示型儀表控制器的電路示意圖，無論 OPAMP 是否內建其電路受溫度、零點偏移的影響是非常難以避免，且 VDD 造成的環路壓降通常大於 4.3V 而消耗電流則介於 1.5mA~3mA。為了解決上述問題只能多加些成本讓電路複雜、多顆低溫飄係數電阻，但往往如此做了卻發現所設計出的產品跟目前市面上流通的成品其成本不相上下故難具競爭力。



圖二 常見 LCD 顯示型儀表控制器

圖三 為利用 HYCON 所設計的產品規劃成 LCD 顯示型儀表控制器的電路示意圖，由於其電路架構不使用 OPAMP 進行電流電壓轉換故不會像 圖一 OPAMP 的電路受溫度、零點偏移的影響且該晶片低工作電壓與低功耗特色，其 VDD 對環路電壓造成的壓降低於 2.8V 而消耗電流低於 0.8mA。使用 HY11P13 晶片設計的產品，電路架構簡單、造

成的迴路壓降小於 2.8V、操作時的消耗電流更可低於 0.8mA，而整個測量電路僅需一顆低溫飄電阻 RSN，大幅地增加系統迴路的使用彈性與產品競爭力。



圖三 HY11P13 晶片用於 LCD 顯示型儀表控制器

2.3 測量規格分析

2.3.1 顯示數值分析

以 20000d 顯示儀錶為例，滿量程的電流變化為 16mA。即每個 1d 的電流變化約為 0.8uA/d，而流經 RSN 電阻後等效每個 1d 電壓變化約為 2.4uV/d。故適合測量此規格的晶片至少須能解析到 1uV 電壓的變化，若考慮產品具有良好的精確度則該晶片必須能解析至 0.8uV 以下的信號，如 表一 儀錶顯示器規格分析。

顯示規格分析				
顯示值 (d)	環路電流變化 (mA)	解析度 (uA/d)	環路RSN電阻 (Ω)	解析度 (uV/d)
1999	16	8.004002	3	24.01
19999	16	0.80004	3	2.40
99999	16	0.160002	3	0.48

表一 儀錶顯示器規格分析

再來，溫度對系統造成的影響是一定會存在，以 100ppm/°C 測量規格而言若不考慮 4-20mA 電流信號本身受溫度的影響，則在測量系統裡屬晶片的量測單元(ADC, 數位類比轉換器)受溫度影響而造成的數值飄移為最重要，故挑選低溫飄係數的測量晶片可省下後段花在系統作溫度補償調整的時間。

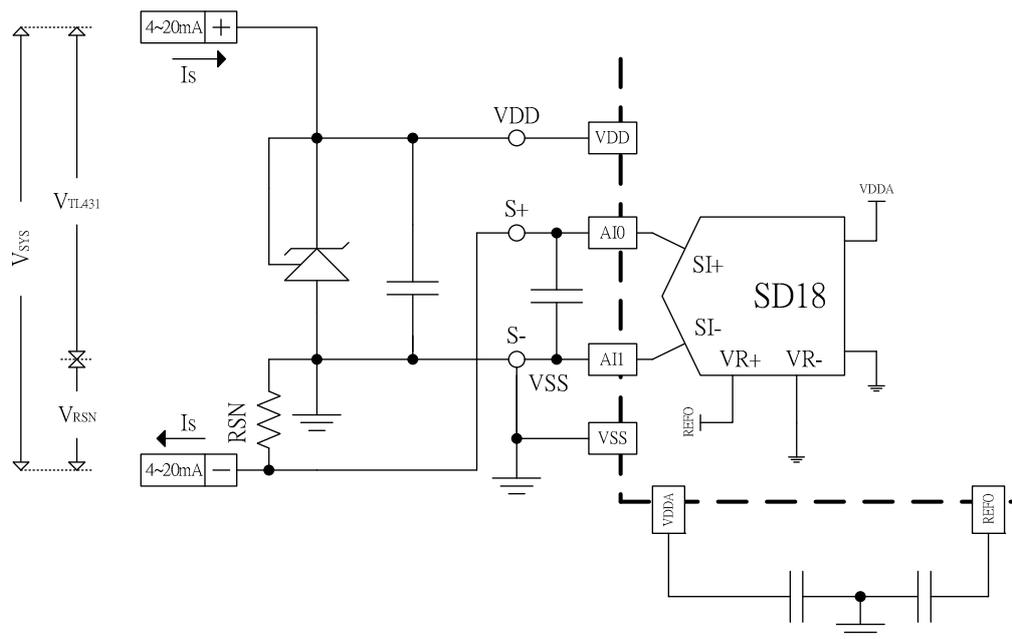
最後，考慮對迴路所造成的壓降一直是二線式儀錶存在的問題。一般迴路電壓會設計在 24V，此迴路電壓必須供給傳送器然後再分別提供串接至系統的儀錶，迴路壓降低能串接的設備就多，故考慮低迴路壓降是有其必要性。

2.4 測量原理

基於達到以上規格的的考量，由紘康公司所開發出的產品 HY11P13 晶片可輕易地解決測量問題。測量架構如 圖四 所示，通常類比數位轉換器具有信號輸入端(SI+,SI-)

與參考電壓端(VR+,VR-)而 SD18(ADC,類比數位轉換器)可測量的信號範圍為 VDD+0.2V 至 VSS-0.2V，參考電壓輸入則由本身所具有的低溫飄參考電壓源 REFO 輸入即可。如此，即達到測量溫度係數約在 100ppm/°C 的效能也可省去選擇低溫飄電阻的麻煩，亦可減少電路受到干擾與增加電流消耗(若系統需要更好的溫度係數規格則可考慮 SD18 參考電壓輸入採用外部輸入方式)。

再來，利用 4-20mA 的電流迴路流經 RSN 電阻（選擇 5ppm/°C）以產生負電壓差輸入 SD18（18-bit,ΣΔADC）進行類比數位轉換。如此，整個測量系統含 SD18 的溫度飄移約在 120ppm/°C 以下。



圖四 HY11P13 晶片測量架構

ENOB (Vrms), Reference and Input Buffer off

Gain \ OSR	256	512	1024	2048	4096	8192	16384	32768
1/4 (ENCHP=1)	16.49	17.31	18.23	18.75	19.10	19.71	20.04	20.21
1/2 (ENCHP=1)	16.42	17.23	18.03	18.46	18.80	19.37	19.81	20.03
1 (ENCHP=1)	16.20	17.10	17.84	18.40	18.65	19.14	19.59	19.62
2 (ENCHP=1)	16.16	17.08	17.87	18.30	18.39	18.69	19.13	19.50
4 (ENCHP=1)	15.72	16.21	16.87	17.22	17.67	18.28	18.83	19.16
8 (ENCHP=0)	14.85	15.64	16.13	16.70	17.16	17.70	18.06	18.65
16 (ENCHP=0)	14.81	15.33	16.18	16.67	17.04	17.61	18.09	18.60
32 (ENCHP=0)	14.29	14.85	15.51	15.89	16.33	16.81	17.34	17.88
64 (ENCHP=0)	14.03	14.56	15.17	15.63	15.99	16.53	16.93	17.41
128 (ENCHP=0)	13.69	14.12	14.52	14.91	15.31	15.82	16.21	16.56
256 (ENCHP=0 VR = 1)	12.50	13.11	13.55	14.11	14.61	15.10	15.67	16.12

表二 SD18 性能指標 ENOB 數值

接著設計整個測量電路的系統壓降範圍，計算方式如 式一。然後參考 HY11P13 與 TL431 原廠提供的技術資料，並同時評估 SD18 的 ENOB 性能與對系統的環路壓降來選擇合適的 RSN 電阻值。

式一 測量系統電壓降計算公式

$$V_{SYS} \cong V_{TL431} + V_{RSN}$$

本應用解決方案採用 RSN 電阻值為 3Ω 及 TL431 標準 2.5V 穩壓電路設計，故整體迴路壓降落在 $V_{SYS}=2.5V\sim 2.6V$ 之間。而 4-20mA 電流信號流經 RSN 電阻產生相對於 VSS 的電壓變化為 -12mV~-66mV，並輸入至 SD18 信號測量端(SI+,SI-)。

Is=4mA(正常)

$$V_{SYS}=2.5V+3*4mA=2.512V$$

Is=20mA(正常)

$$V_{SYS}=2.5V+3*20mA=2.56V$$

Is=22mA(飄移)

$$V_{SYS}=2.5V+3*22mA=2.566V$$

設置 SD18 的參考電壓輸入為 REFO=1.2V，輸入信號(SI+,SI-)的放大倍率為 16 倍。即輸入信號相對於參考電壓(VR+,VR-)最大電壓約為 1.056V(小於 0.9 倍的參考電壓值為 SD18 最佳測量範圍)。再來，參考 表二 可知此時的 SD18 測量性能 ENOB 約在解析度 18.6bit，換算 ADC 的雜訊抑制(Noise Free)後解析度約為 15.9bit，此時利用軟體做數位率波後約可增加解析度 1~2bit。故實際可得的解析度最少為 17bit(Noise Free)，足以簡易的設計 0~19999 顯示的儀錶頭，如 表三 ADC 能力分析。

ADC 測量能力分析							
最大電流與相對電壓		ADC ΔVR	ADC 解析度		ADC放大倍率與輸入信號		
mA	(mV) to VSS	(V)	Noise Free	(uV/LSB)	Gain	(uV/c)	ΔSI*Gain(mV)
20	-60	1.2	16	18.31	4	9.60048	240
21	-63	1.2	17	9.16	8	19.20096	504
22	-66	1.2	18	4.58	16	38.40192	1056

表三 ADC 能力分析

我們來計算 4-20mA,20000d 顯示儀錶，其每 1d 有多少 SD18 的內部分度(c)，即內外比值為何

SD18 內部最小分度(1c)電壓訊號解析能力

$$1c=REFO/2^{17}=1.2V/2^{17}=9.16uV/c$$

4-20mA,20000d 每 1d 電壓值

$$V_{1d}=(20mA-4mA)*RSN/2 \times 10^4=48mV/2 \times 10^4=2.4uV$$

每 1d 電壓值經由 SD18 放大

$$V_{1d \times 16}=2.4uV*16=38.4uV$$

每 1d 電壓值經由 SD18 以 17bit 解析度測量

$$1d : 1c=38.4uV : 9.16uV \cong 1 : 4$$

內/外比值是 1 : 4，即外部 1d 代表內部 4c。

2.5 控制晶片

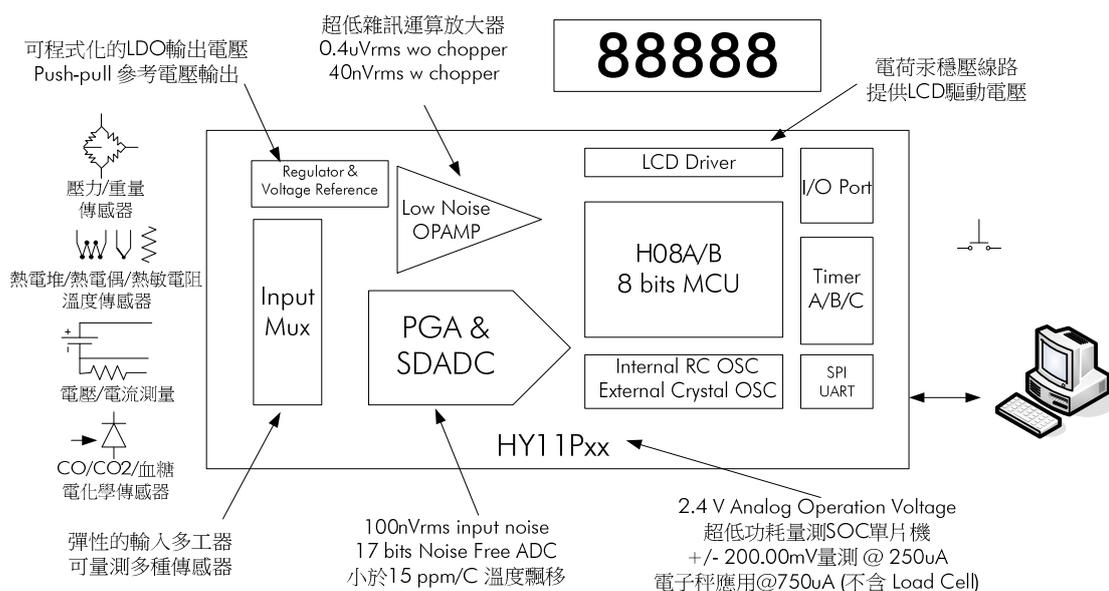


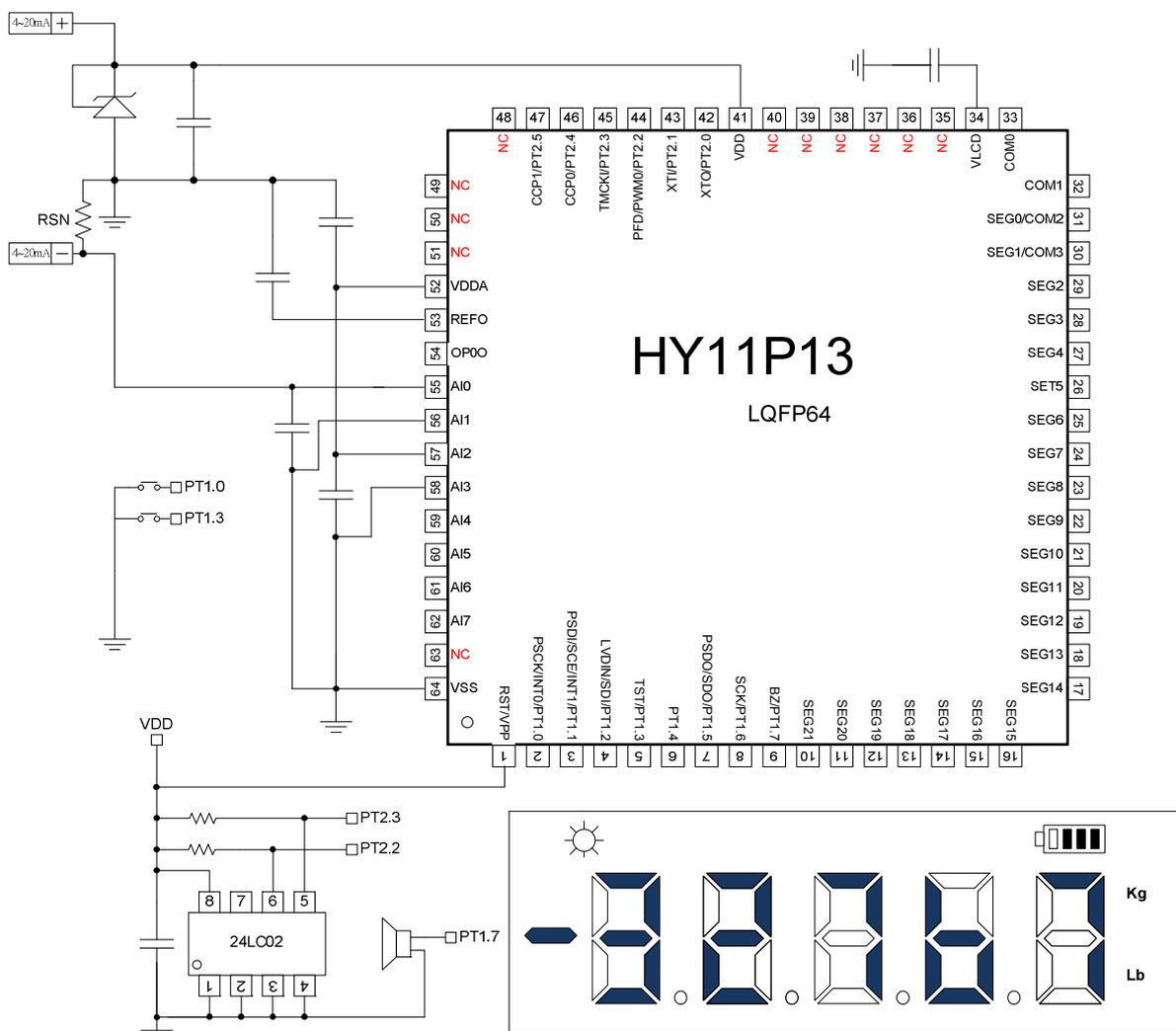
圖 五 HY11P13 高性能 8bit OTP 單片機

- 8 位元加強型精簡指令集，共有 69 個指令包含硬體乘法指令及查表指令
- 2.0V to 3.6V 工作電壓範圍，-40°C~85°C 工作溫度範圍。
- 外部石英震盪器及內部高精度 RC 震盪器，6 種 CPU 工作時脈切換選擇，可讓使用者達到最佳省電規劃
 - a. 運行模式 300 μ A@2MHz
 - b. 待機模式 3 μ A@32KHz
 - c. 休眠模式 1 μ A
- 4KWord OTP (One Time Programmable) Type 程式記憶體，256Byte 資料記憶體
- Brownout and Watch dog Timer，可防止 CPU 進入死機模式
- 18bit 全差動輸入 $\Sigma\Delta$ ADC 類比數位轉換器
 - a. 內置 PGA (Programmable Gain Amplifier) 及可有 1/4, 1/2, 1~128 倍 10 種輸入信號放大倍率選擇
 - b. 內置輸入零點調整，可針對不同應用增加其量測範圍
 - c. 內置高阻抗輸入緩衝器(32 以上輸入倍率不適用)
 - d. 內置絕對溫度感測器。
- 超低輸入雜訊(<1 μ Vpp)運算放大器，可提供高輸出阻抗小訊號的放大及小電流的電壓轉換
- 1.2V 低溫飄係數參考電壓源輸出，具有 Push-Pull 驅動能力，可提供傳感器驅動電壓
- 10mA 低壓差穩壓電源輸出，可有 4 種不同輸出電壓選擇
- 4x20 LCD 液晶驅動器
 - a. Static、1/2、1/3、1/4 Duty 及 1/2、1/3 Bias 軟體選擇
 - b. 內建 Charge Pump 穩壓線路，提供 4 種 LCD 偏壓
- 8 bits Timer A
- 16 bits Timer B 模組具 Capture/Compare 功能

- 16 bits Timer C 模組具 PWM/PFD 波形產生功能
- 串列通訊 SPI 模組

3 設計規劃

3.1 硬體說明



圖六 HY11P13 應用電路圖

3.2 電路說明

HY11P13 晶片工作電壓的取得是利用信待測號源為一電流變化迴路特性，在此迴路下透過穩壓晶片 TA431 的即可穩出 2.5V 的電位差供給 HY11P13 使用。

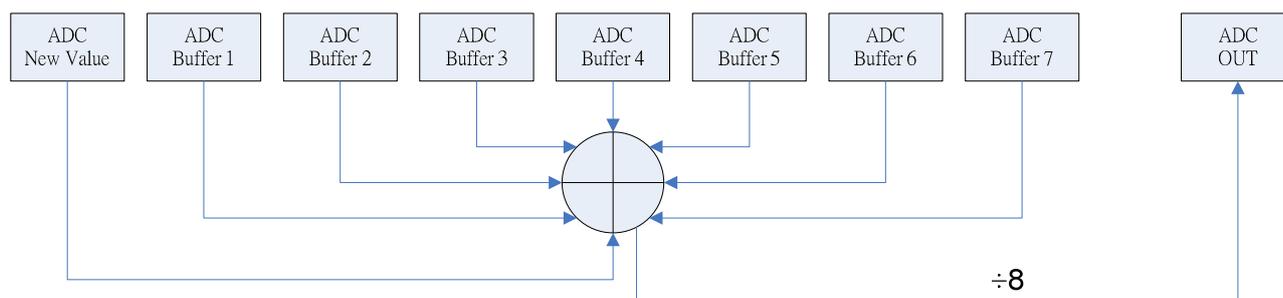
量測 4-20mA 電流變化，則是利用測量串接於電流迴路的 RSN 電阻上的電壓變化。此電壓變化相對於晶片為一負電位的變化，故測量時不可使用 HY11P13 內部的輸入緩衝器。

24LC02 則是用於儲存校正參數、系統設定值..等等資料的記憶晶片。PT1.0 與 PT1.1 具校正、設置、歸零與內碼顯示功能。

3.3 軟體說明

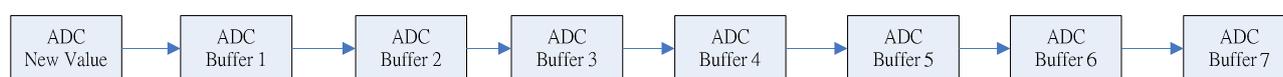
3.3.1 簡易型數位濾波器與原理

由於信號放大到 16 倍，SD18 的輸出 Bit 只能達到 $\pm 15\text{bit}$ (Noise Free)，如果使用數位濾波方式則可以再將 SD18 的解析度提升 1~2bit。此簡易型數位濾波器的工作原理為取八筆 SD18 輸出的平均值，即每次將新的 SD18 輸出數值與先前的 7 個數值相加後除以 8，並計算將結果輸出到 ADC OUT 暫存器，如圖七 SD18 輸出數據與數位濾波器示意圖。



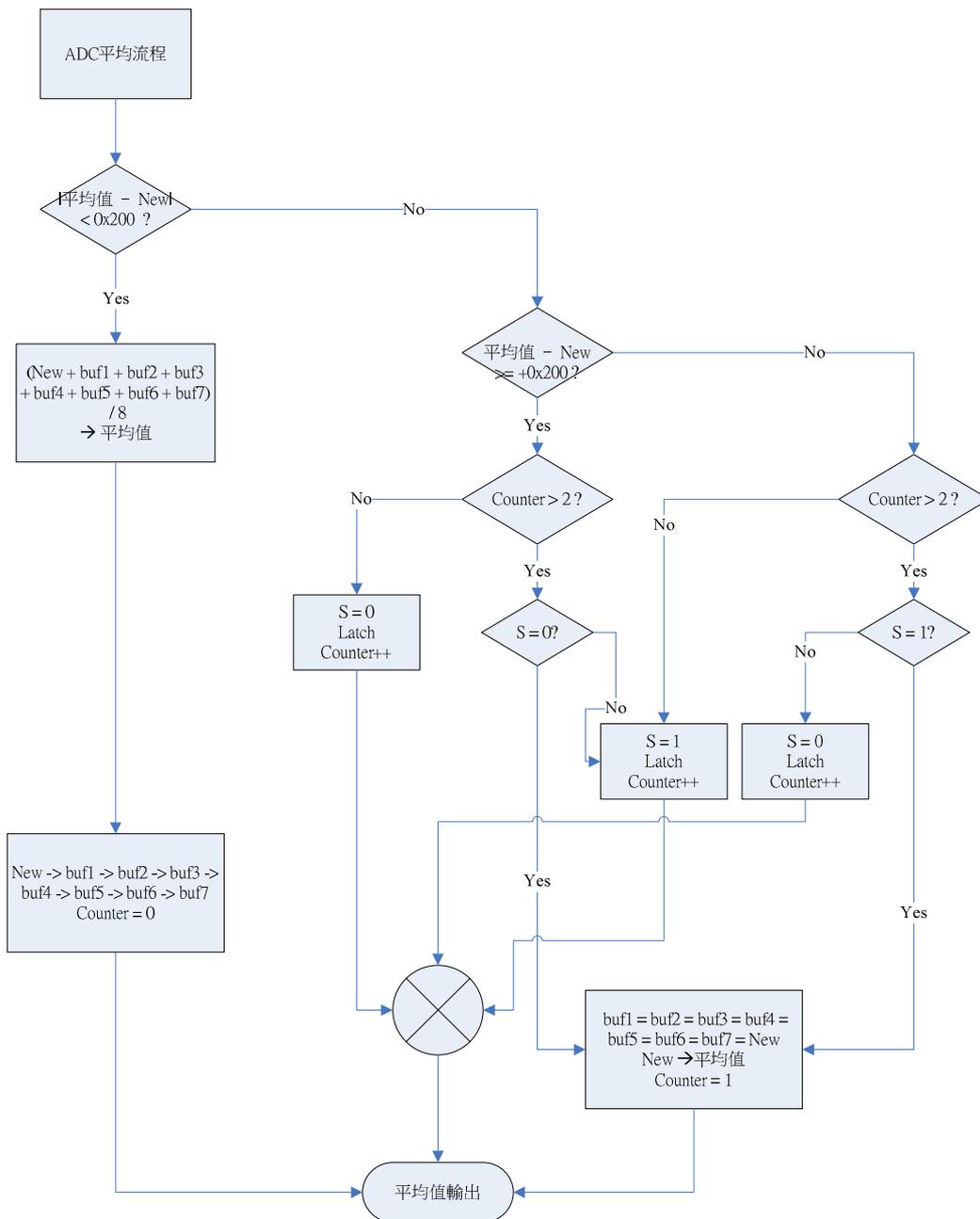
圖七 SD18 輸出數據與數位濾波器

當 SD18 平均輸出 ADC OUT 後，將其視為新值並推移到 Buffer 1 而原 Buffer 1 資料則移到 Buffer 2...以此類推至 Buffer 6 移到 Buffer 7，捨去原 Buffer 7 資料，如圖八 數位濾波器資料推移圖。



圖八 數位濾波器資料推移圖

由於平均輸出的反應時間比較慢，當有較大的 ADC 值變化時，需要跳過此平均程式。即當 SD18 輸出的新值大於原平均值超過 0x200 時，先記錄此新 SD18 值，但不加入平均值運算，如果下一次輸出的 SD18 值還是超過原平均值 0x200 時則將新值取代所有 SD18 的 Buffer 並輸出至 ADC OUT；但如果 SD18 值沒有超過 0x200 則捨棄先前記錄值，並回到原來的平均流程。數位濾波處理流程如圖九 所示。



圖九 數位濾波器資料處理流程圖

4 技術規格

電源接點	: 二線制電流環取電(4-20mA 電流輸入)
電流環路壓降	: < 2.8V
功耗	: < 0.8mA
溫度飄移	: < 120ppm/°C
資料顯示	: 5 位元 LCD 顯示
資料更新率	: 1/sec
解析度	: 0.001mA
顯示值	: 0~19999
適用範圍	: 壓力, 溫度, 流量, PH 計各種傳送器
工作溫度	: -40°C ~ +85°C
存貯溫度	: -55°C ~ +125°C
相對濕度	: < 95% (20±5°C 條件) 無結露
具有防反接保護, 24V 過電壓過電流保護	

5 結論

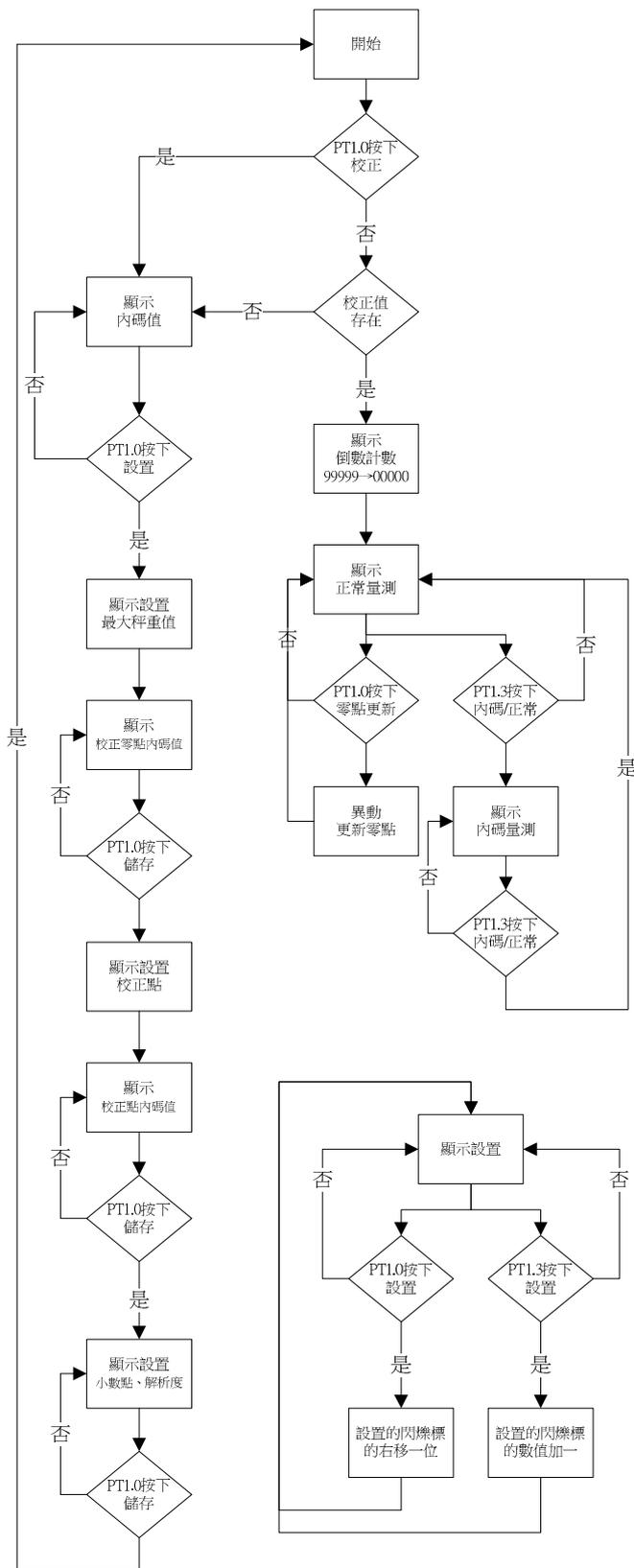
此應用解決方案是採用 HY11P13 晶片以簡單的電路架構實現 4-20mA 兩線制無給電測量儀錶頭, 該方案具有以下特色:

- 電路簡單並具高測量解析度與低溫飄係數。
- 低環路電壓降與低電流消耗特色。
- I/O 具±10mA 負載能力, 對於控制需求的擴充彈性高且容易設計。
- 信號取樣率高達 250KHz, 資料更新率可依實際需求進行調整。

HY11P13 是一款非常適合應用於電流或電壓信號且性價比高的測量晶片, 在此分享予各位先進。

6 操作說明

6.1 操作流程圖



圖十 操作流程圖