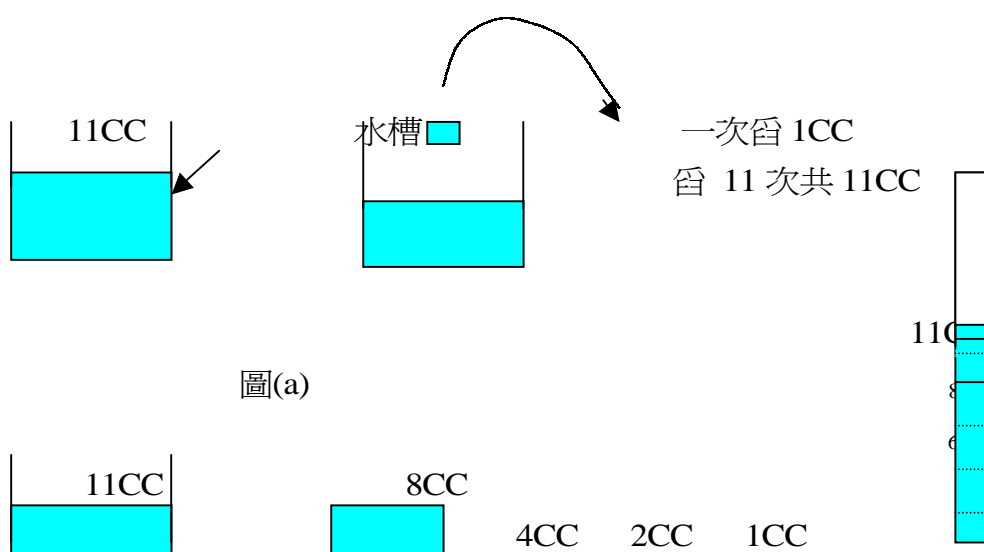


## 一、相關知識：

## (一)A/D 轉換之觀念

如下圖所示，以水量的量測方法為例說明如下，(a)圖中水槽內的水可用 1CC 容量的容器，以一次舀 1CC 的水，直到水舀完為止，記錄舀水的次數，就可算出水量。(b)圖則分別以 1CC、2CC、4CC、8CC 為單位的容器裝水，首先以 8CC 為一單位的容器 舀出 8CC，如此滿一單位的水持續舀出，直到剩下不滿 8CC 時改為以 4CC 為一單位舀出，直到水量不滿 4CC 時...同樣的作法用在 2CC、1CC 直到水舀完為止，然後把各單位所舀出的水量加起來，所得之值即為水量。(c)圖則把水槽的水全部倒入標有刻度的容器內，直接讀取水量。

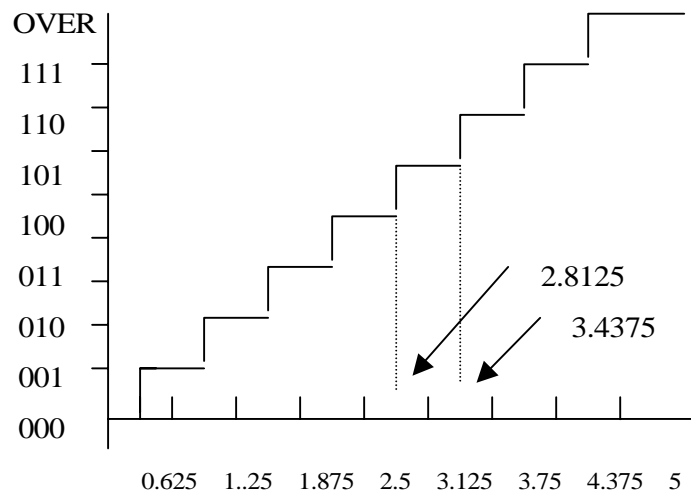


圖(a)

圖(b)

圖(c)

上例(b)圖水槽中水量之測量原理應用在類比電壓與數位電壓之轉換可用下圖之 A/D 轉換曲線表示，圖中之數位輸出 000~111 相當於十進制之 0~7，可將類比輸入電壓(5V)分割成 8 階，每一階為  $\frac{5}{8} = 0.625$ ，亦即 1LSB=0.625V，當類比電壓為 0 時數位值為 000，0.625 時為 0001，依此類推 5V 時為 111 如下圖所示。



## (二)A/D CONVERTERT 常用之專有名詞

**解析度：**類比數位轉換中能區分之最小類比輸入值，稱為解析度。在二進位 N 位元的轉換中，以 2 的 N 次方分割滿刻度(Full Scale Rule)所得的值為解析度，通常以 LSB(Least Significant Bit)表示，即  $1\text{LSB} = \frac{\text{FSR}}{2^n}$ 。

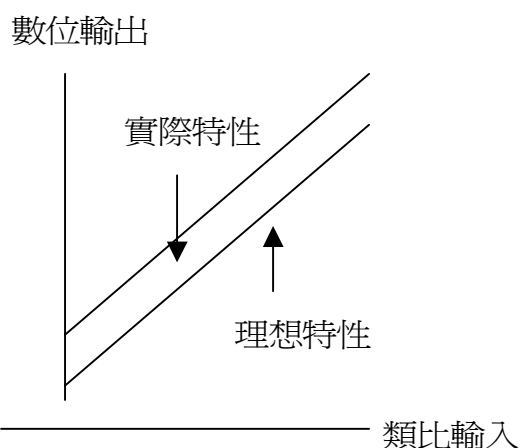
數位類比之轉換實際上是把一連續的值以不連續方式表示，如上圖(類比 / 數位轉換特性曲線)所示，類比電壓是連續的而數位電壓是階梯式的值，其每一階所對應的值等於 1LSB。

**量子化誤差：**以不連續的值表示連續的量，很明顯的會有誤差存在，此誤差稱為量子化誤差。如圖(?)所示，類比電壓 0.3125V、0.625V、0.875V、...~4.725V，分別對應 0001、0010、0011、...~1111，其誤差最大值為  $\pm 0.15625\text{V}$ ，即  $\pm \frac{1}{2} \cdot \text{LSB}$ 。從圖(?)中可看出在 4.88125V 時已經沒有對應的數位值了，是為 OVR(Over Range)狀態。

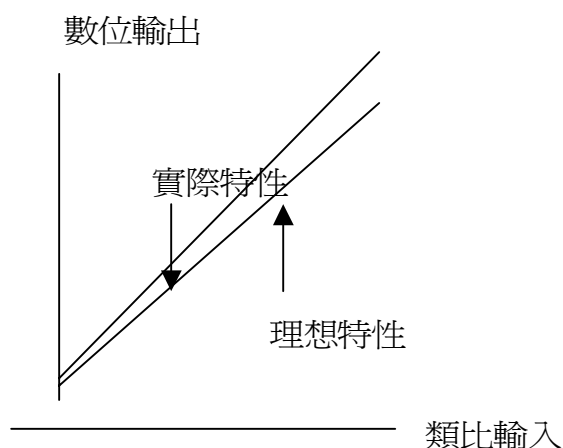
**準確度：**表示測量值與實際值接近的程度。理想的 A/D 轉換器是不會有量子化誤差以外的誤差的，但實際使用時由於零件及雜訊的影響使得電路產生誤差，一般而言誤差越小準確度越高，又準確度分為絕對準確度和相對準確度兩種，絕對準確度為對於標準電壓之誤差率，以 LSB 為單位，相對準確度則是表示滿刻度誤差，以百分比或 ppm 表示。

**Offset 誤差：**如圖(1)所示靜態輸出偏離初值(0)，此偏差量即為 Offset 誤差。

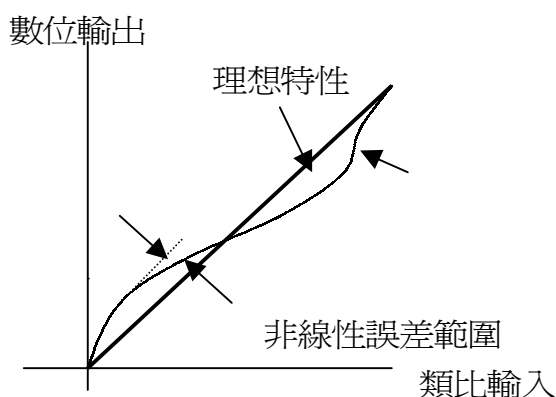
**增益誤差：**為因增益不同所引起的誤差，如圖(2)所示增益誤差使得滿刻度值改變了，轉換曲線斜率也跟著變了。



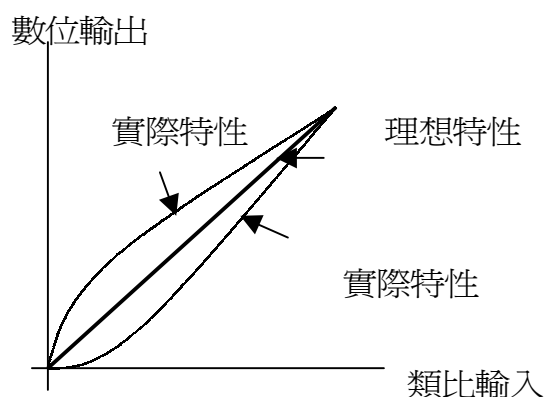
圖(1) Offset 誤差



圖(2) 增益誤差



圖(3) 非線性誤差



非線性誤差：指理想的轉換曲線與實際轉換曲線之偏差量，此誤差使得轉換比為非定值，如圖(3)所示。

微分非線性誤差：理想的 A/D 轉換器每一個數位的碼都有相對的輸入電壓，此相對的輸入電壓一般在 1LSB 範圍內，若此範圍是變動的，此變動量與 LSB 的比值即為微分非線性誤差，數學式子為  $V_d = \frac{|V_n - V_s|}{V_s}$ ， $V_n$  表實際對應的類比輸入電壓範圍， $V_s$  表理論上對應的類比輸入電壓範圍，一般為 1LSB。

取樣&保持：如圖樣(4)(Sampling&Hold)當 A/D 輸入電壓為交流信號時，為了得到一個相對應的轉換值，在轉換進行中輸入信號必須維持定值，此段時間稱為 Aperture Time。所以對交流信號進行 A/D 轉換，必須以單位時間抽取輸入信號，並將其抽取之輸入信號值保持一 Aperture Time 時間，以上動作稱為取樣保持。取樣頻率一般為原始信號頻率的兩倍以上。

## (三)常用的 A/D 轉換方式

## 1. 雙斜率轉換(dual slope)方式

圖(5)為雙斜率轉換電路之方塊圖，其動作原理為如圖(6)所示：

(1)類比輸入電壓積分：方塊圖中類比電壓經電子開關加至積分器，輸入電壓在一定的時間內積分，其積分電壓為：

$$V_{o1} = \frac{-1}{CR} V_i N T \quad \dots\dots\dots(1)$$

其中 N 為 clock 脈波數，T 為 clock 脈波數之週期，由於積分時間為定值所以積分電壓與類比輸入電壓成正比，極性為負。

(2)基準電壓積分：基準電壓為一與輸入電壓極性相反之電壓，積分電路之輸出為一趨向零的積分電壓。其積分電壓為：

$$V_{o2} = V_{o1} - \frac{-1}{CR} (-V_R) n T \quad \dots\dots\dots(2)$$

當  $V_{o2} = 0V$  時轉換完成。而在基準電壓積分期間所用的 clock 脈波數 n 即為轉換後的數位值。

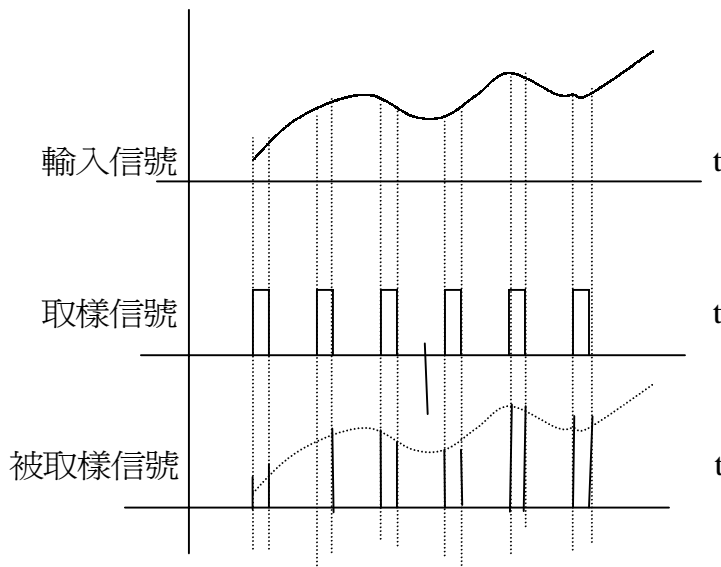
$$\text{當 } V_{o2} = V_{o1} - \frac{-1}{CR} (-V_R) n T = 0$$

公式(1)代入上式得

$$\frac{-1}{CR} V_i N - \frac{-1}{CR} (-V_R) n T = 0$$

$$V_i N = V_R n$$

$$n = V_i N / V_R$$



圖( 4 )Sampling

## (3) Counter&amp;Latch

上述中  $n$  的值由 Counter 計數求得，但在下個轉換開始時 Counter 必須歸零。為了使輸出在下一個轉換完成之前仍保有上一個轉換值，在電路中加有 Latch 電路，以 Latch 轉換終了時的計數值。

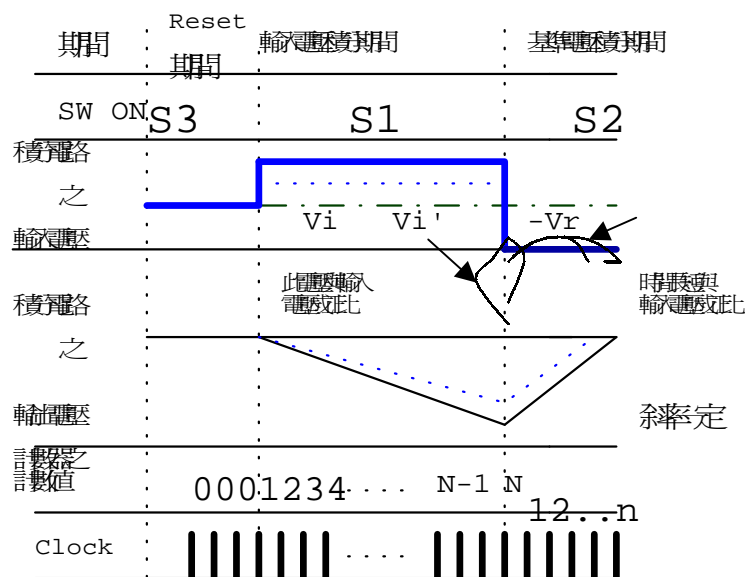


圖 (5)

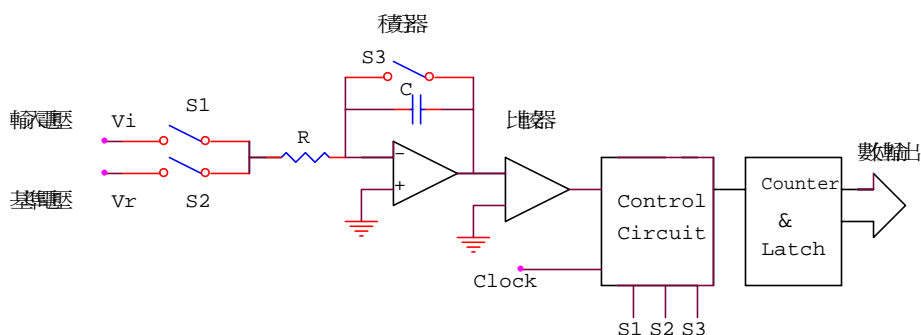


圖 (6)

## 2. 逐次比較方式

逐次比較的觀念就像使用天平測量物體的重量，例如：一個 23g 的物體，以 8g、4g、2g、1g 的法碼測重量，一開始擺上 8g 一顆，天平往物體邊傾斜，加法碼 8g 一顆總共 16g，天平仍然不平衡，再加法碼 8g 一顆總共 24g，超過 23g 天平往法碼邊傾斜，去掉 8g 改放 4g 一顆總共 22g，天平變往物體邊傾斜，只好再加一個 1g 法碼，此時天平為平衡狀態。

圖(7)為逐次比較電路之方塊圖，其動作原理為：

圖中之逐次比較暫存器(SAR：Successive Approximation Register)輸出之數位電壓經由 D/A 轉換器轉換成類比電壓再與類比輸入電壓做比較，所得的結果再傳至控制電路，當  $V_i > V_d$  時，控制電路再輸出信號控制逐次比較暫存器加大輸出，此加大後的值若  $> V_i$ ，則逐次比較器的值必須再變小，如此反覆比較，直到  $V_i = V_d$ ，比較才停止，此時逐次比較暫存器所輸出之數位電壓即為 A/D 轉換值。

例如：一個 4bit 的 A/D 轉換器，每階 0.2V，1LSB=0.2V 類比輸入電壓  $0 \leq V_i \leq 3V$ ，當輸入電壓為 1.9V 時：

(A)逐次比較器以最高位元為 1 輸出，即 SAR=1000， $V_d = 0.2 \times 8 = 1.6V$ ，此時  $V_i > V_d$ 。

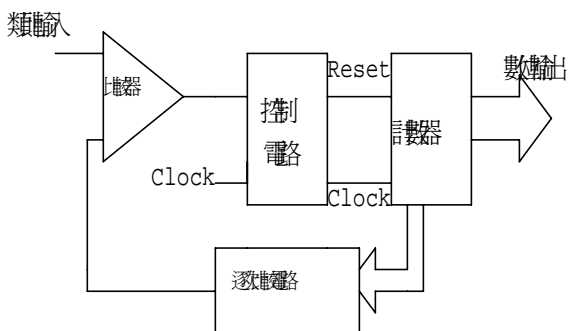
(B)SAR 加碼為 1100， $V_d = 0.2 \times 12 = 2.4V$ ， $V_i < V_d$ ，比較繼續。

(C)SAR 改碼為 1010， $V_d = 0.2 \times 10 = 2V$ ，由於轉換器之量子化誤差為 +0.1V 所以 D/A 轉換器被加上 -0.1V 的 Offset 電壓， $V_i = V_d$ ，比較器輸出為 H，比較停止，數位輸出為 1010。

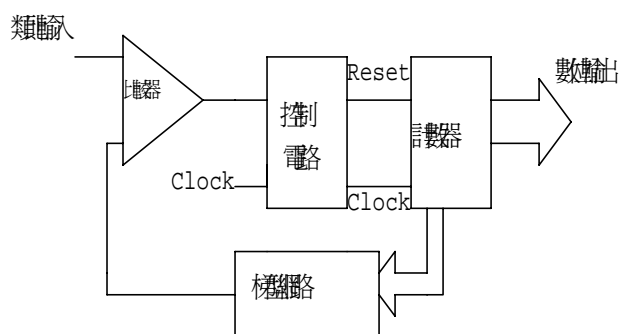
### 3. 梯型網路方式

梯型網路 A/D 轉換方式之方塊圖如圖(8)所示，其動作原理為：

圖中之計數器從零往上計數，再經由 D/A 轉換電路轉換成階梯電壓，此階梯電壓與類比電壓做比較，當階梯電壓上升到比類比電壓高時，比較器輸出一信號控制計數器停止計數，此時計數器的值即為數位輸出值。



圖(7)



圖(8)

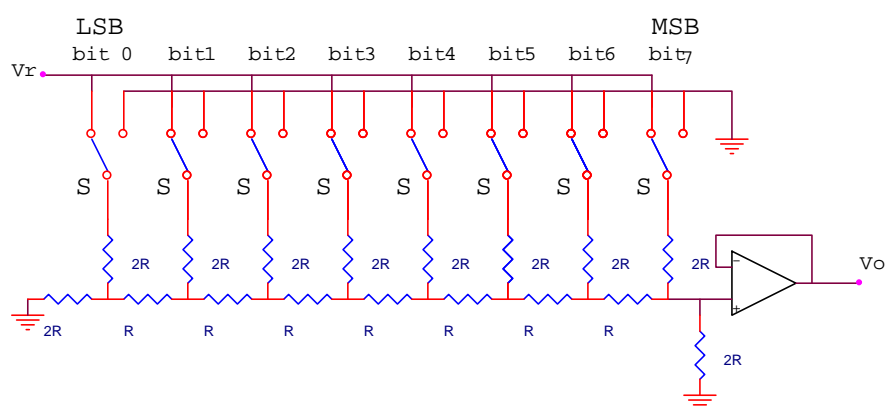
## (四)常用的 D/A 轉換方式

## 1. 電壓相加方式

參考電路如圖(9)所示,  $S_0 \sim S_7$  中若只有  $S_0$  接  $V_r$ , 其他為接地則  $V_i = \frac{1}{3} V_r$ , 若只有  $S_1$  接  $V_r$ , 而其他為接地則  $V_i = \frac{1}{3} \frac{1}{2} V_r$ , 依此類推,  $S_2$ 、 $S_3$ 、... $S_7$  接  $V_r$ ,

其他接地則  $V_i = \frac{1}{3} \frac{1}{4} V_r$ 、 $V_i = \frac{1}{3} \frac{1}{8} V_r$ 、... $V_i = \frac{1}{3} \frac{1}{128} V_r$ 。若  $S_0 \sim S_7$  皆接  $V_r$  則

$$V_i = \frac{1}{3} V_r \left( 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} + \frac{1}{64} + \frac{1}{128} \right)。$$

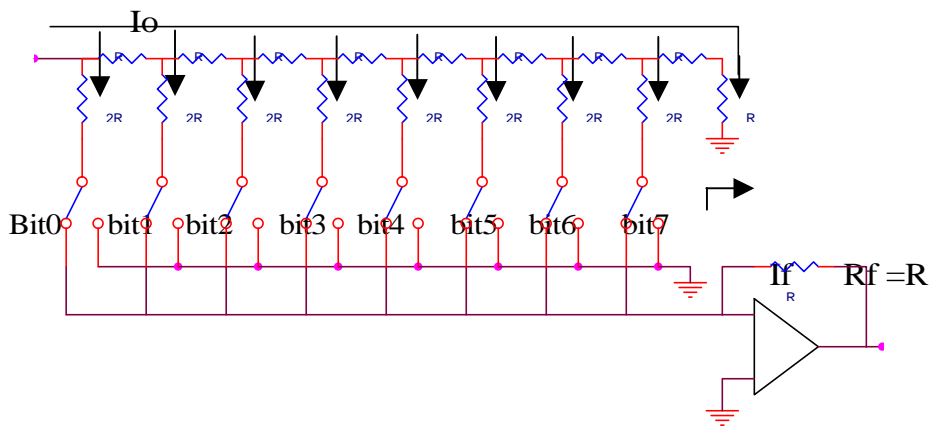


$$V_o = \frac{1}{3} V_r \left( 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} + \frac{1}{64} + \frac{1}{128} \right)$$

圖(9)

## 2. 電流相加方式

參考電路如圖(10)所示，圖中若只有  $S_0$  接 OPA 輸入端，其餘  $S_W$  皆接地，依分流原理則流經  $R_f$  之電流  $I_f = I_o/2$  ( $I_o = V_r/R$ )，若只有  $S_1$  接 OPA 輸入端，其餘  $S_W$  皆接地，則  $I_f = (I_o/2) \cdot \frac{1}{2} = I_o/4$ ，依此類推， $S_2$ 、 $S_3$ 、... $S_7$  對應的  $I_f$  分別是  $I_o/8$ 、 $I_o/16$ 、 $I_o/256$ 。若全部  $S_W$  皆接 OPA 輸入端則圖中之輸出電壓  $V_o = -\frac{V_r}{R} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} + \frac{1}{64} + \frac{1}{128} + \frac{1}{256} \right)$ 。

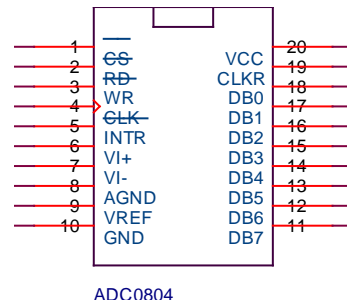


圖(10)

$$V_o = -\frac{V_r}{R} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{32} + \frac{1}{64} + \frac{1}{128} + \frac{1}{256} \right)$$

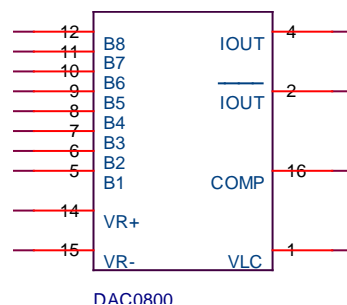


## ADC0804 接腳介紹：



- 1.DB0 ~DB7：數位輸出
- 2.CS：晶片選擇
- 3.RD：資料讀取
- 4.WR：資料寫入
- 5.INTR：A/D 轉換完畢時此接腳輸出"0"，接受資料讀取。當資料讀取完畢時在再恢復為"1"。
- 6.AGND：類比輸入接地端。
- 7.CLKR：外接電阻，配合 CLK 端使用，請參考測試電路。
- 8.VI+、VI-：類比電壓輸入端，單端輸入時 VI-接地。
- 9.VREF：參考電壓(2.56V)

## DAC0800 接腳介紹：



VLC：用來判斷 B1~B8 的信號準位，若使用 TTL 邏輯準位，則 VLC 需接地

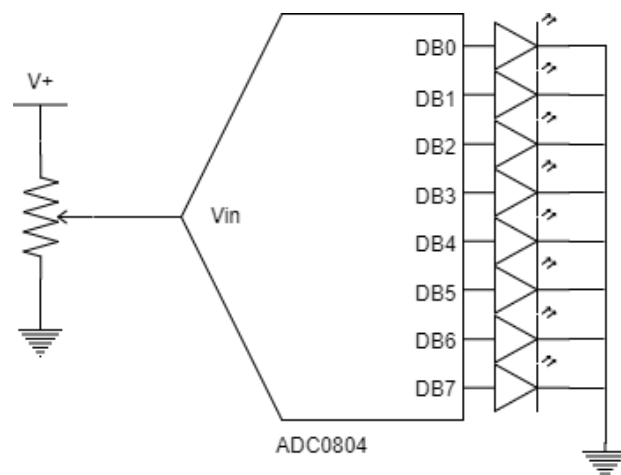
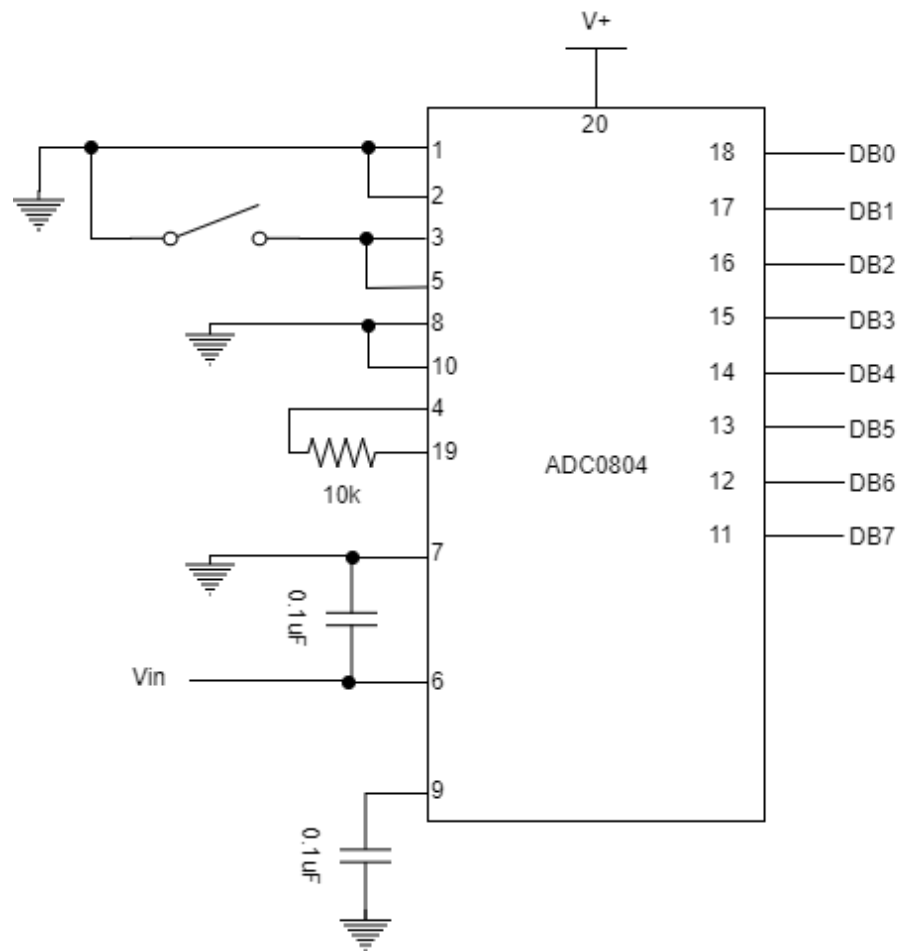
- $\overline{IOUT}$  與 IOUT：類比輸出，兩者總和為滿刻度電流  $I_{FS}$
- Vee：負電源輸入端，Pin 3 負電壓範圍 -4.5V~-18V
- Vcc：正電源輸入，Pin 13 使用 +5V
- B1~B8：資料匯流排(D7~D0)，B1 為高位元(MSB)，B8 為低位元(LSB)
- VR+：正參考電壓輸入端

加一電阻 Rref，用來取得滿刻度電流  $I_{FS} = V_{ref}/R_{ref}$

滿刻度電流範圍為 0.2mA ~ 4mA

- VR-：負參考電壓輸入端
- Comp：頻率補償接腳，接一個電容到 Vee

## A/D 轉換測試電路



## D/A 轉換測試電路

