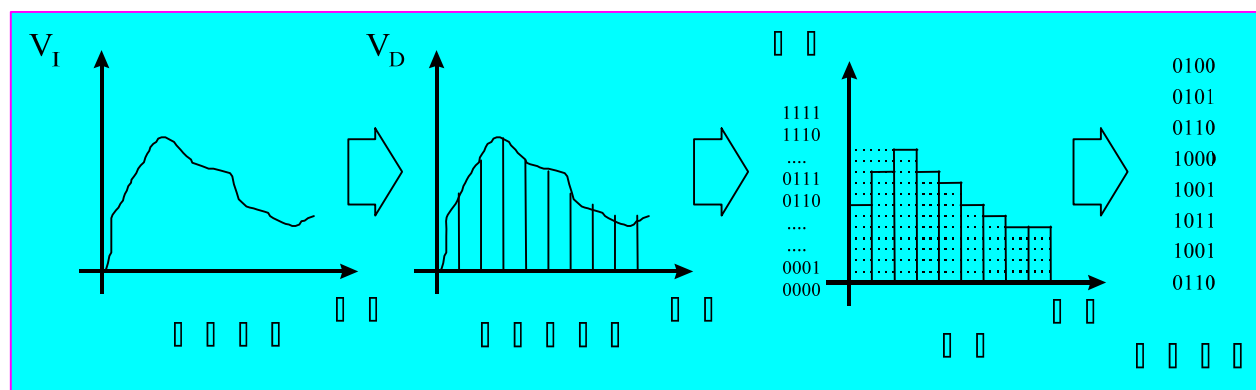


# 類比數位轉換

# 類比/數位轉換原理

- 取樣與保持：將原始類比資料逐一擷取，取樣頻率越高則訊號越不易失真，亦即解析度越高。
- 量化：量化的目的則是將取樣所獲得的資料以『0』與『1』的組合給予編碼，編碼的位元數越高則解析度越高，轉換信號越接近實際之類比信號。



類比 / 數位轉換過程

# 類比/數位轉換之種類

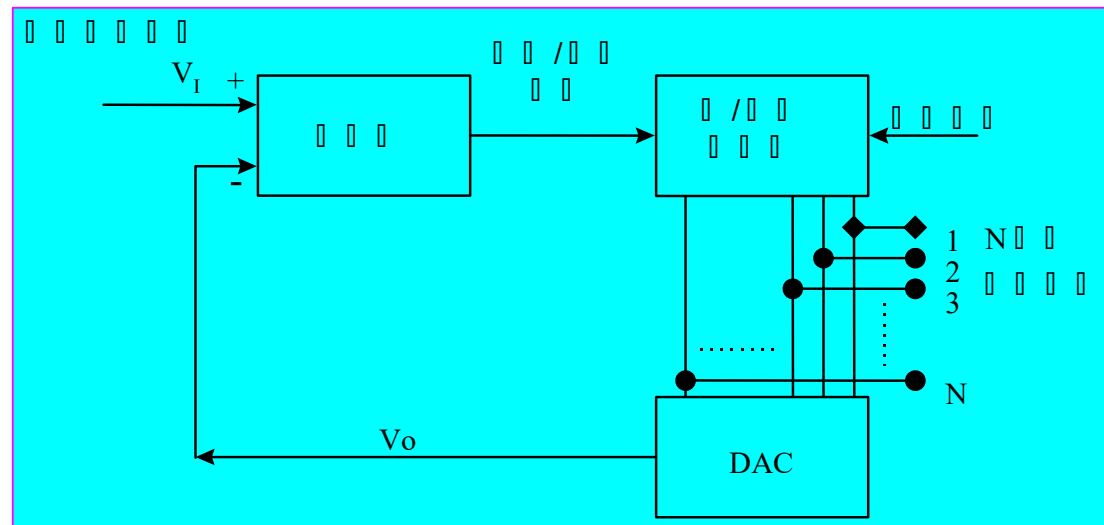
- 回饋型ADC

將取樣後的訊號 $V_I$ 以差動比較器產生正負變化的訊號。

以計數器將此正負變化的訊號記錄並輸出。

輸出的數位訊號，利用DAC轉換成類比訊號，與下一筆類比訊號作比較。

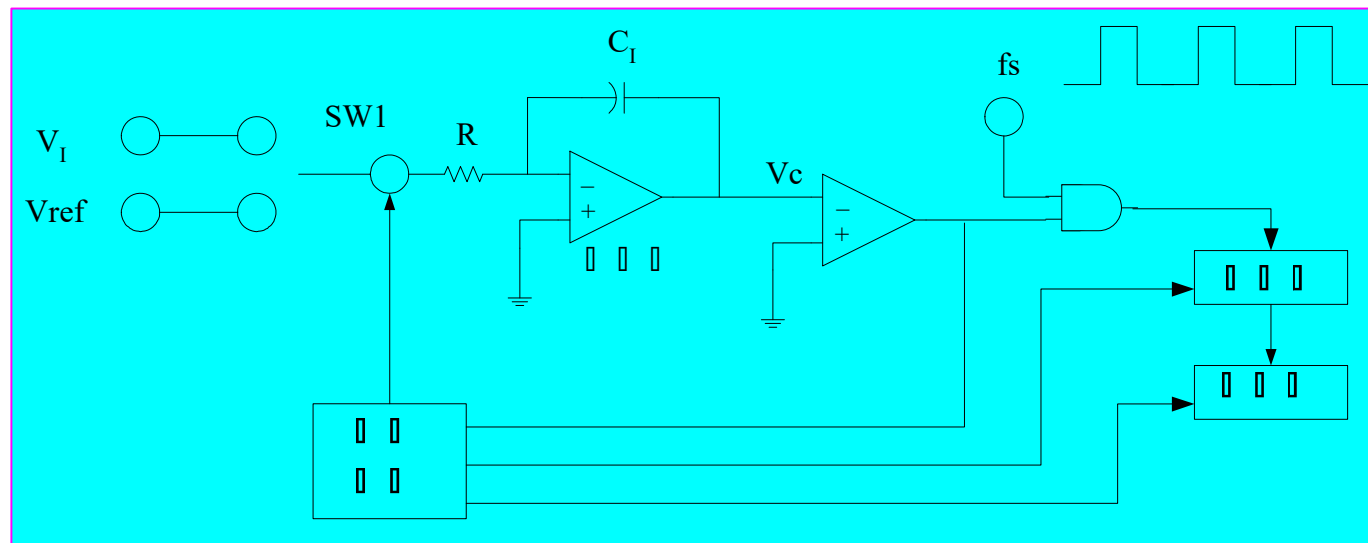
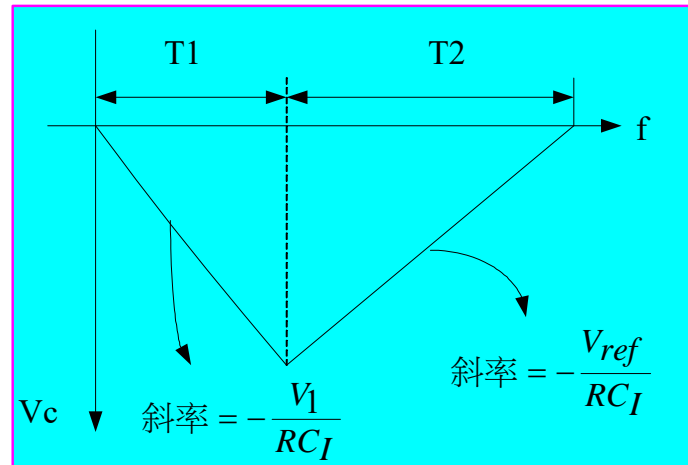
當ADC的輸出電壓 $V_O$ 與類比輸入電壓 $V_I$ 相同時，則計數器停止計數。



# 類比/數位轉換之種類

## ❁ 雙斜率型ADC

- ❁ 當時間為0，控制電路將計數器預設為零。
- ❁ 將欲轉換之輸入電壓 $V_I$ 經開關 $SW1$ 切換選擇輸入至積分器。
- ❁ 若輸入信號為正，則積分器輸出信號為圖11-4所示之負斜率 $T1$ 。
- ❁ 經比較器輸出一數位信號 $D0$ 為『1』，此時脈信號 $f_s$ 輸入至計數器計數。
- ❁ 當計數器計數到某一固定數值時，控制電路立即將積分器輸入切換至參考輸入電壓 $V_{ref}$ 並將計數器清為0。
- ❁ 當輸入信號為負電壓，積分器會出現圖11-4之正斜坡( $T2$ )，使積分器輸出電壓為負電壓而禁能時脈信號 $f_s$ 輸入至計數器計數，使計數器無法再計數。



# 類比/數位轉換之種類

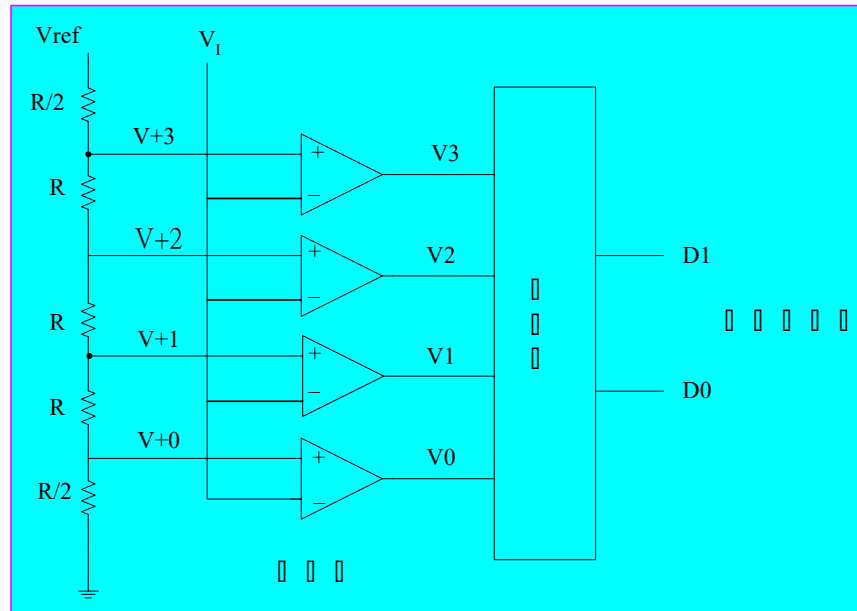
## ❁ 並聯型ADC

- ❁ 並聯型轉換器是所有ADC類型中最簡單的一種。
- ❁ 它利用一個與量測範圍相同大小的參考電壓，並串接一系列的  $2N + 1$  個電阻，而待測的輸入電壓值即由比較器與分壓電阻所產生之  $2N$  個分壓相比得知。
- ❁ 因為每個位元值為平行處理，並聯型轉換器速度非常快，可達到每秒500萬次取樣，但是這種平行模式方法需大量的比較器。

# 類比/數位轉換之種類



## 並聯型ADC

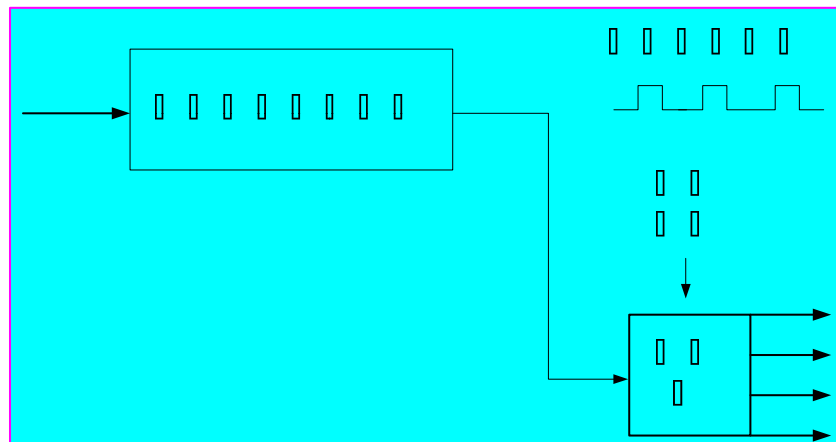


$V_I$	V3	V2	V1	V0	D1	D0
$V_I < 1/8 V_{ref}$	0	0	0	0	0	0
$1/8 V_{ref} < V_I < 3/8 V_{ref}$	0	0	1	1	0	1
$3/8 V_{ref} < V_I < 5/8 V_{ref}$	0	1	1	1	1	0
$5/8 V_{ref} < V_I < 7/8 V_{ref}$	1	1	1	1	1	1

# 類比/數位轉換之種類

## ⚙ 電壓轉頻率型ADC

- ⚙ 電壓對頻率ADC乃於一固定之時間內，將輸入電壓轉換成一個正比於輸入電壓大小之頻率輸出脈衝。
- ⚙ 輸入電壓值的頻率值可依固定時間內計算其脈衝數求得。
- ⚙ 由於輸入信號在計數期間能有效的轉換合成，電壓轉頻率ADC具有高雜訊抑制性。
- ⚙ 此方法非常適用於雜訊多的遙測應用場合。





# ADC使用之注意事項

## ❁ 訊號輸入極性

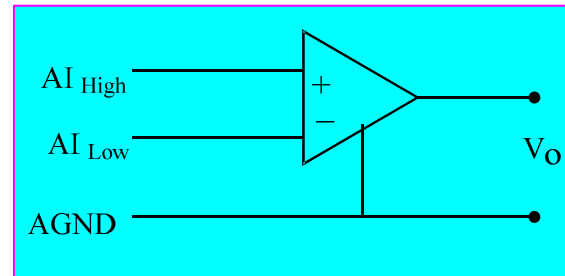
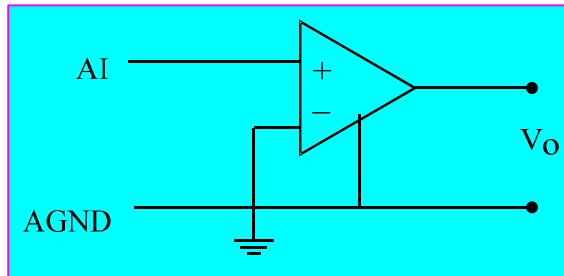
單極性：輸入訊號位準範圍介於0V至參考電壓Vref之間，因此極性只有正電位。要加上準位

雙極性：輸入訊號位準範圍介於- Vref /2至Vref /2之間。

## ❁ 感測訊號輸入接線

單點接：所有訊號源使用相同的參考電壓AGND，因此雜訊干擾的情形相當嚴重。

差動模式：當傳輸距離較遠、訊號較弱、亦或需要抑制雜訊之產生，此類接法可以避免電線雜訊的影響。

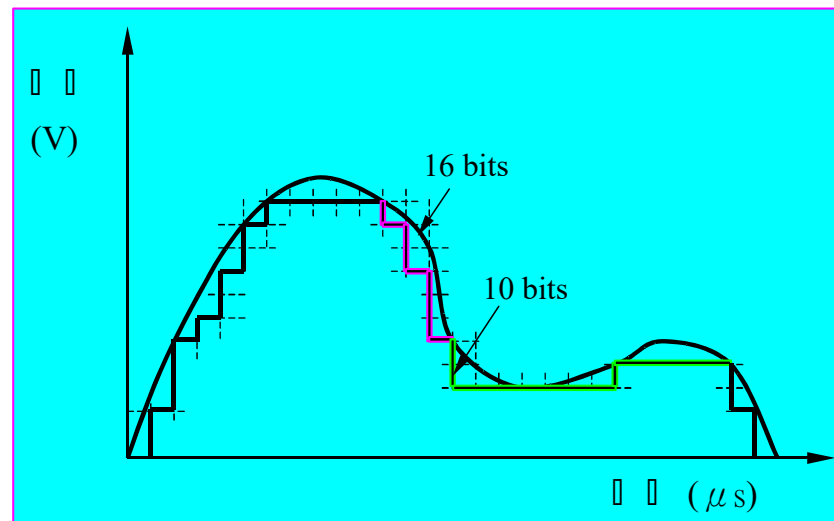


# ADC使用之注意事項

## ❁ 訊號解析度

$$\Delta V_{\min} = \Delta V / 2^N$$

- 若感測器輸出訊號為單極性0V至10V
- ADC部份的解析度為10 bits
- 能夠輸入的最大電位差為10V
- 則最小能解析的訊號為： $10\text{V}/2^{10} = 9.76\text{mV}$



# ADC使用之注意事項

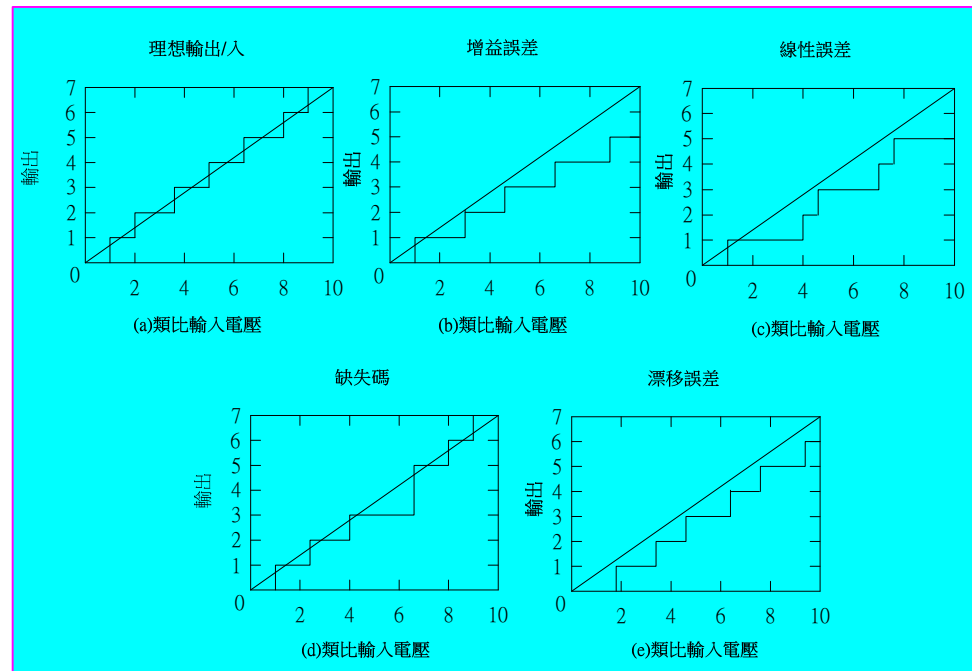
## ✿ 精確度

- 假設每一個獨立的誤差值為 $\sigma_i$

- 誤差值總和為： $\sigma_{\text{總和}} = \sqrt{\sum_i \sigma_i^2}$

## ✿ 線性度

## ✿ 缺失碼



# 類比/數位轉換器ADC0804輸出碼

## ⚙️ ADC0804輸出碼種類

- 單極性二進位碼
- 單極性BCD碼
- 偏移二進位碼
- 1的補數
- 2的補數

數 值	10伏特 滿刻度	二進碼	互補式 二進碼	反相式 二進碼	反向互補 二進碼
+FS	1.0				
+FS-1LSB	9.9	10011001	01100110		
+1/2FS	5.0	01010000	10101111		
+1LSB	0.1	00000001	11111110		
ZERO	0.0000	00000000	11111111	00000000	11111111
-1LSB	-0.1			00000001	11111110
-1/2FS	-5.0			01010000	10101111
-FS+1LSB	-9.9			10011001	01100110

單極性BCD碼

# 類比/數位轉換器ADC0804輸出碼

## ADC0804輸出碼種類

數 值	5伏特 滿刻度	二進碼	互補式 二進碼	反相式 二進碼	反向互補 二進碼
+FS	5.0				
+FS-1LSB	4.9805	11111111	00000000		
+1/2FS	2.5	10000000	01111111		
1/2FS-1LSB	2.4805	01111111	10000000		
+1LSB	0.0195	00000001	11111110		
ZERO	0.0000	00000000	11111111	00000000	11111111
-1LSB	-0.0195			00000001	11111110
-1/2FS+1LSB	-2.4805			01111111	10000000
-1/2FS	-2.5			10000000	01111111
-FS+1LSB	-4.9805			11111111	00000000
-FS	-5.0				

單極性二進位碼

# 類比/數位轉換器ADC0804輸出碼

## ⚙️ ADC0804輸出碼種類

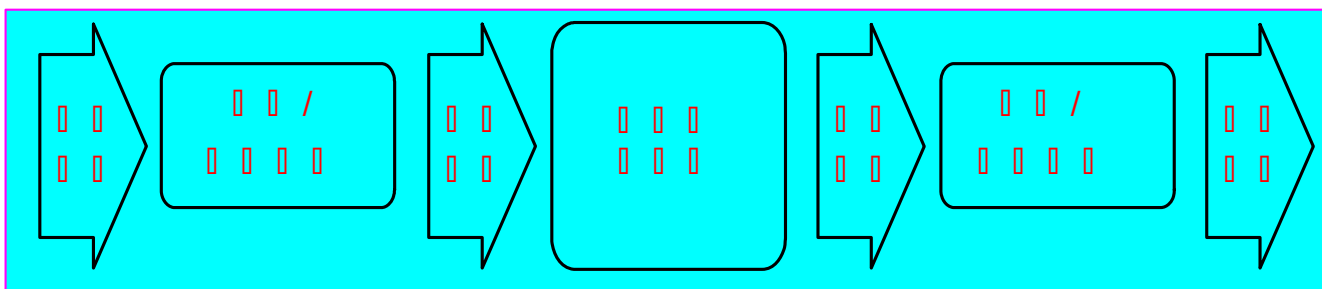
數 值	10伏特 滿刻度	偏 移 二進碼	偏移補償 二 進 碼	2的補數
+FS	5.0			
+FS-1LSB	4.9609	11111111	00000000	01111111
+1LSB	0.0391	10000001	01111110	00000001
ZERO	0.0000	10000000	01111111	00000000
-1LSB	-0.0391	01111111	10000000	11111110
-FS+1LSB	-4.9609	00000001	11111110	10000001
-FS	-5.0	00000000	11111111	10000000

雙極性二進碼

DAC

# DAC簡介

- 自然界中的物理量，往往是呈現連續的類比訊號。
- 欲將外界物理量的變化量傳入微電腦中進行運算，或是要由微電腦輸出命令驅動裝置時，就需要將訊號進行數量化之轉換。

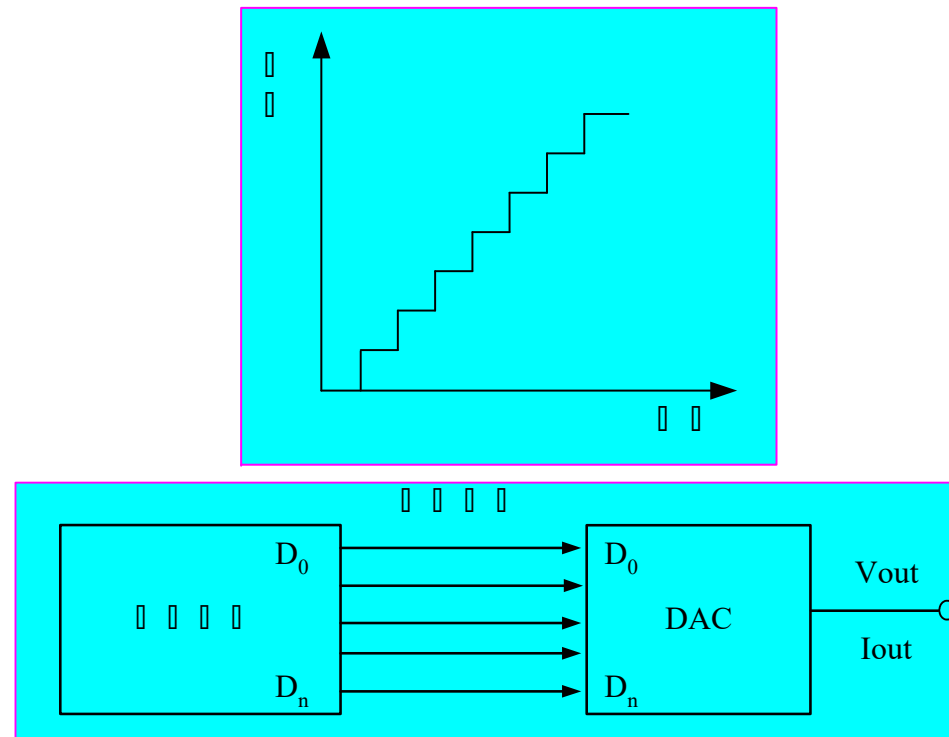


微電腦系統資料訊息處理流程



# DAC工作原理

- DAC是一種將並列的數位信號(數值)轉換成電壓的一種裝置。



# DAC 種類

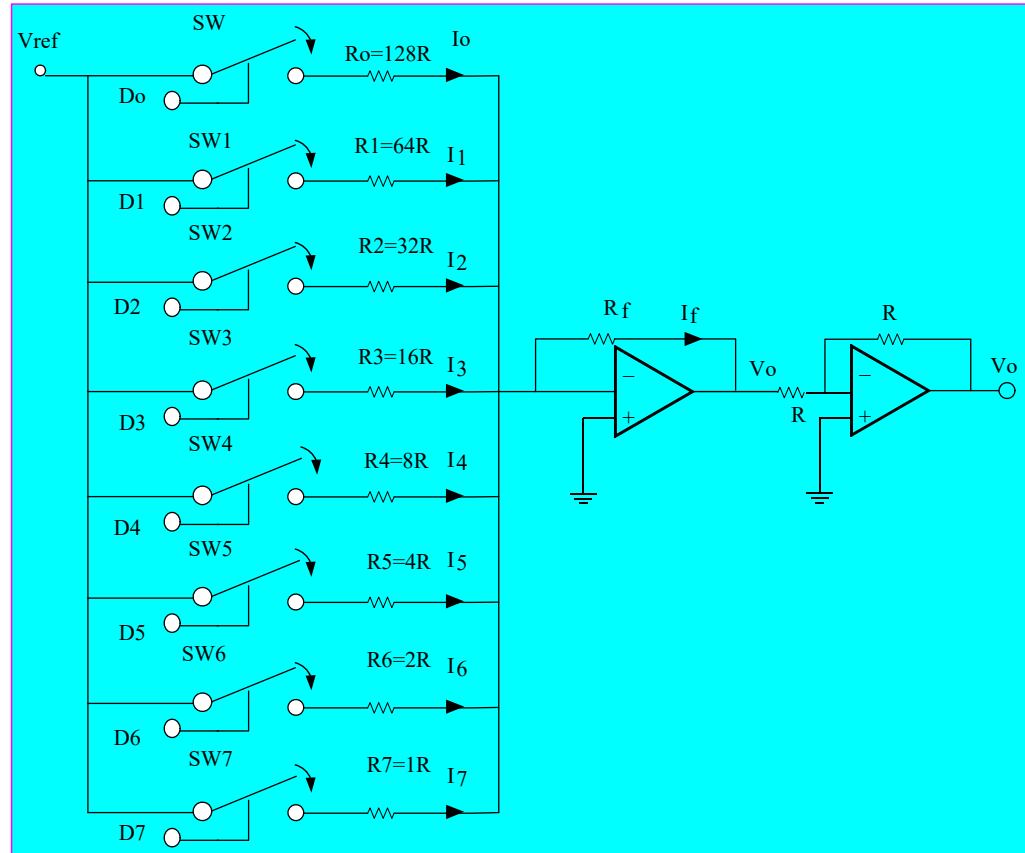
## ⚙ 加權電阻型DAC

$V_{ref}$  : DAC內部參考電壓

$D_0 \sim D_7$  : 數位信號

當 $D_0 \sim D_7$ 任何一位元的資料為1，則相對於數位信號之開關 $SW_0 \sim SW_7$ 則導通(閉合)

當 $D_0 \sim D_7$ 任何一位元的資料為0，則相對於數位信號之開關 $SW_0 \sim SW_7$ 則開路



## DAC 種類 (續)

### ✿ 加權電阻型DAC

$$V_- = V_+ = 0, \quad I_{\pm} = 0$$

$$I_n = V_{ref} / R_n$$

$$I_f = I_0 + I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7$$

$$\begin{aligned} V_o &= -I_f R_f \times \left(-\frac{R}{R}\right) = I_f R_f \\ &= (I_0 + I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7) R_f \\ &= V_{ref} \times R_f \left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_7}\right) \\ &= V_{ref} \times R_f \left(\frac{D_0}{2^7 \times R} + \frac{D_1}{2^6 \times R} + \frac{D_2}{2^5 \times R} + \cdots + \frac{D_7}{2^0 \times R}\right) \\ &= \frac{V_{ref} \times R_f}{2^7 \times R} (2^0 \times D_0 + 2^1 \times D_1 + 2^2 \times D_2 + \cdots + 2^7 \times D_7) \end{aligned}$$

$$R = \frac{R_f}{2}$$

$$V_o = \frac{V_{ref}}{2^8} (2^0 \times D_0 + 2^1 \times D_1 + 2^2 \times D_2 + \cdots + 2^7 \times D_7)$$

## DAC 種類 (續)

### ❁ 加權電阻型DAC

$$V_0 = \frac{V_{ref}}{2^N} \times \sum_{i=0}^{N-1} 2^i D_i$$

當  $V_{ref}=5V$ ， $D_7 \sim D_0=10110000$ ，則

$$\begin{aligned} V_0 &= \frac{V_{ref}}{2^8} \times (2^0 \times 0 + 2^1 \times 0 + 2^2 \times 0 + 2^3 \times 0 + 2^4 \times 1 + 2^5 \times 1 + 2^6 \times 0 + 2^7 \times 1) \\ &= \frac{5V}{2^8} \times (16 + 32 + 128) \\ &= \frac{5V}{256} \times 176 = 3.4375V \end{aligned}$$

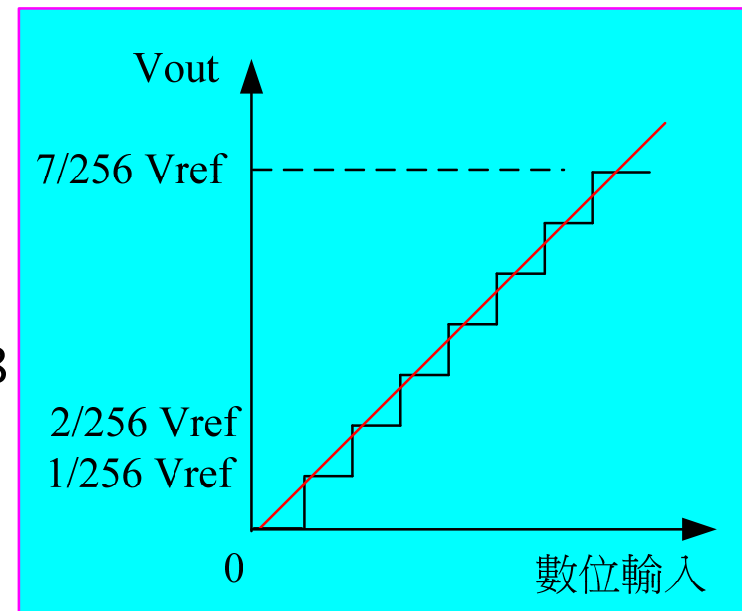
# DAC使用之注意事項

## ❁ DAC之線性度

線性度是指一個DAC對數位信號轉換曲線。從最小數值(00000000)至最大數值(11111111)的輸入是否依一定的比例輸出其電壓，如圖10-7。

好的DAC的線性誤差為 $\pm 1/2\text{LSB}$ ，對8位元的DAC，其線性誤差應小於

$$\pm \frac{1}{2} \times \frac{1}{2^8} \times V_{ref} = \frac{V_{ref}}{512}$$



# DAC使用之注意事項

## ❁ DAC之解析度

$$\text{解析度} = \frac{1}{2^N}$$

解析度就是DAC每一階之輸出變化量。N愈大，則DAC的解析度愈高，反之亦然。

以一8位元ADC為例，若其Vref=5V，則

$$\text{解析度} = \frac{1}{2^8 - 1} \times 5V = 0.0195312V$$

# DAC使用之注意事項

## ❁ DAC之精確度

精確度代表著實際輸出值與理想值之間之差量。當一個DAC的實際輸出值與理想理論值差量愈小，則表示其精確度愈高。

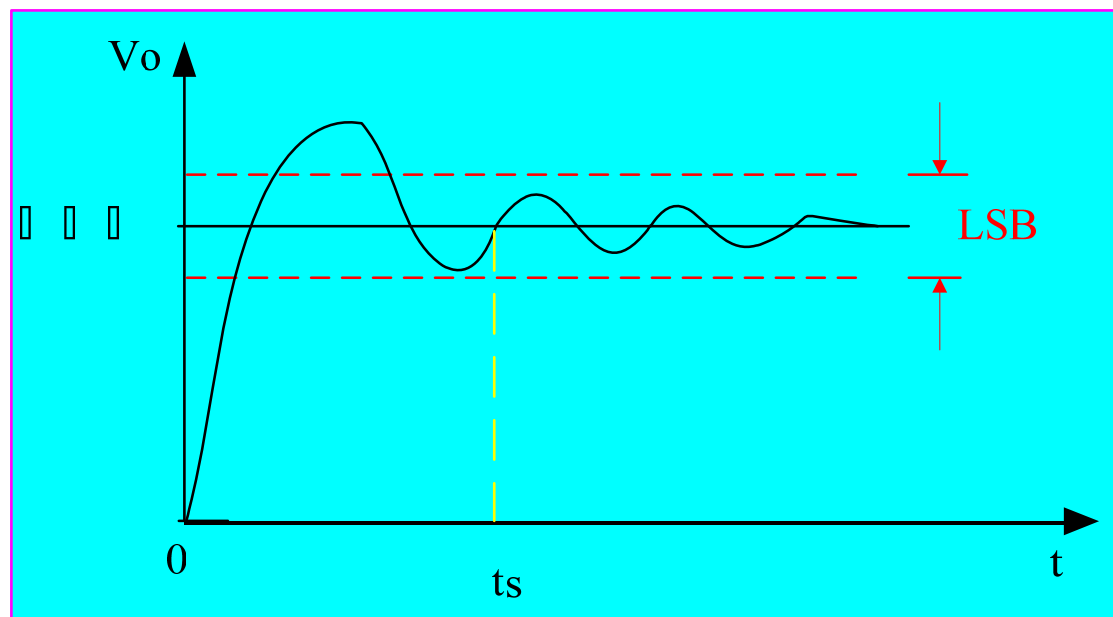
$$\text{絕對精確度} = \frac{\text{實際輸出} - \text{理想輸出}}{\text{理想的輸出}} \times 100\%$$

$$\text{相對精度} = \frac{\text{實際輸出} - \text{理想輸出}}{\text{理想的滿刻度輸出}} \times 100\%$$

# DAC使用之注意事項

## ❁ DAC之安定時間

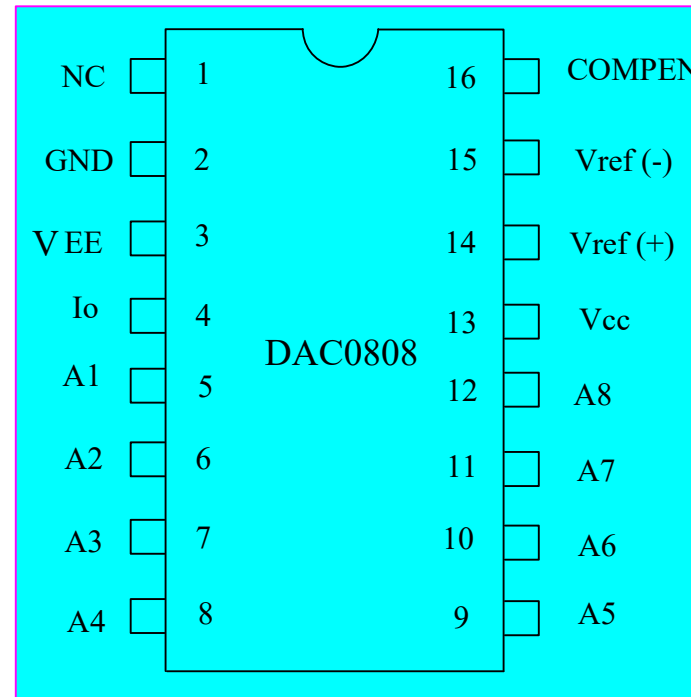
安定時間代表著當數位數值信號輸出至DAC後，直到DAC產生一穩定的電壓輸出為止的一段響應時間 $t_s$ 。一般DAC之安定時間定義為其輸出值與理想值誤差在 $\pm 1/2\text{LSB}$ 內之最短時間。





# 8位元數位類比轉換器DAC0808

- 8位元、數位類比轉換器
- 解析度：1/256
- 精確度：0.019%
- 安定時間：150ns
- 線性度：±1LSB
- R-2R梯型類比轉換器
- 輸出型態：電流輸出

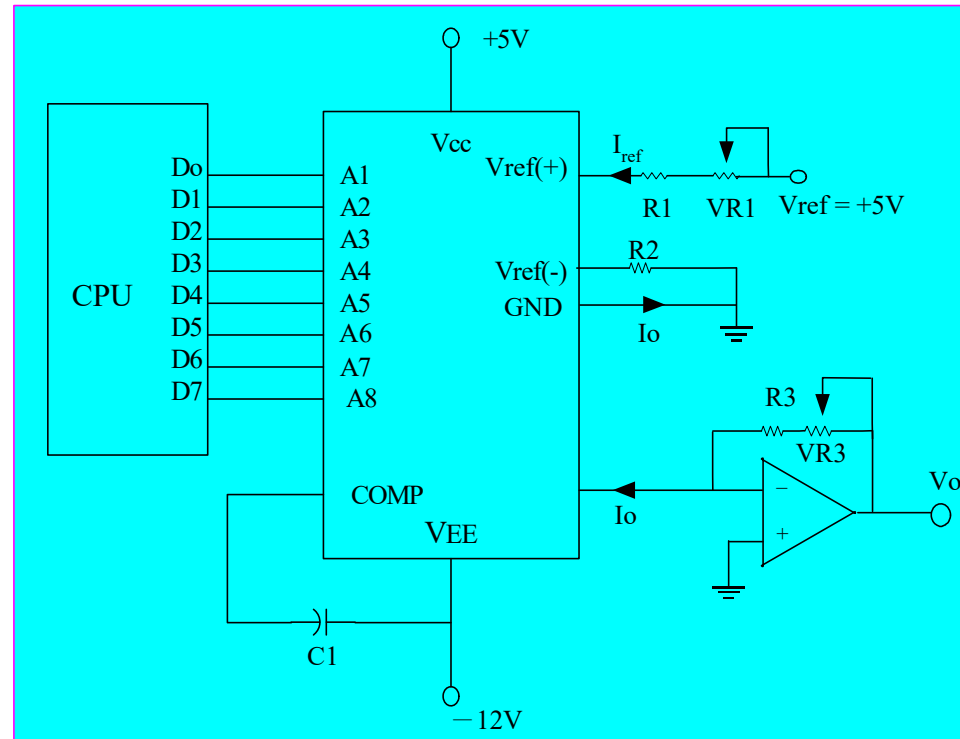


接腳	A1~A8	V <sub>cc</sub>	V <sub>EE</sub>	NC	GND	I <sub>o</sub>	Vref (±)	COMPE N
功能	數位輸入 接腳	+4.5V ↓ +18V	-4.5V ↓ ~-18V	空腳	接地 腳	電流 輸出	參考 電壓 之+- 接腳	接上電容 以防止高 頻振盪

# 8位元數位類比轉換器DAC0808

- 應用電路
- $I_{ref}=2\text{mA}$
- C1：頻率補償電容
- uA741：電流/電壓輸出轉換器

$$I_{ref} = \frac{V_{ref}}{R_1 + VR_1}$$



$$V_0 = I_0(R_3 + VR_3) = I_{ref}(R_3 + VR_3) = \frac{V_{ref}}{(R_1 + VR_1)} \times (R_3 + VR_3)$$

R2	R1	VR1	R3	VR3	C1
2KΩ	680Ω	1KΩ	680Ω	1KΩ	33pF

# 8位元數位類比轉換器DAC0808

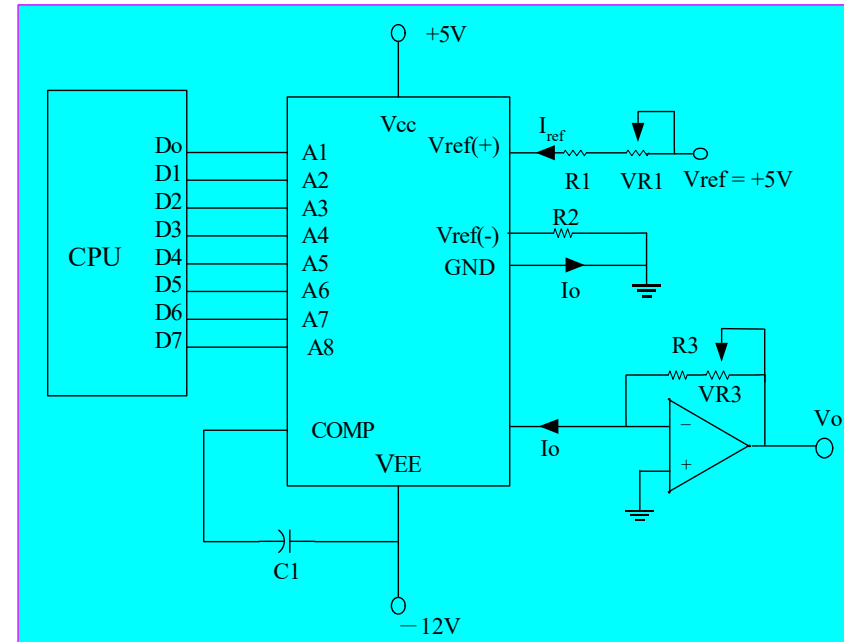
## 應用電路

$$V_0 = 5V \times \left( \frac{1}{2^1} D_0 + \frac{1}{2^2} D_1 + \frac{1}{2^3} D_2 + \cdots + \frac{1}{2^8} D_7 \right)$$

$$V_0 \text{最小值} = 5V \times 0 = 0V$$

$$V_0 \text{最大值} = 5V \times \frac{255}{256} = 4.9805V$$

$$\text{解析度為1LSB} = 5V \times \frac{1}{256} = 0.0195312V$$





# 聲音的數位化

- 什麼是聲音？
  - 聲音是像光一樣的波長的現象，但是這是巨觀來看，它其實是牽涉到空氣中的分子在一些實體設備運作下被壓縮與放大的結果。
    - 例如，一個音效系統中的喇叭前後的震動產生一個縱向的壓力波，而這個波就是我們所接受到的聲音。
    - 因為聲音是一個壓力波，它是一個連續的數值，而不是數位資料。
    - 即使這樣的壓力波是縱向的，它們仍然有波的特質與行為，如反射(反彈，**bouncing**), 折射(強度的不同的波進入媒介後角度的改變與繞射(沿著物體周圍彎曲))。
    - 假使我們希望使用聲音的數位版本，必須形成聲音資訊的數位表示方式。

# 數位化(Digitization)

- 數位化意味著轉換成一串數字。
- 下圖是聲音的一維表示圖：振幅值取決於一個一維的變數，就是時間。

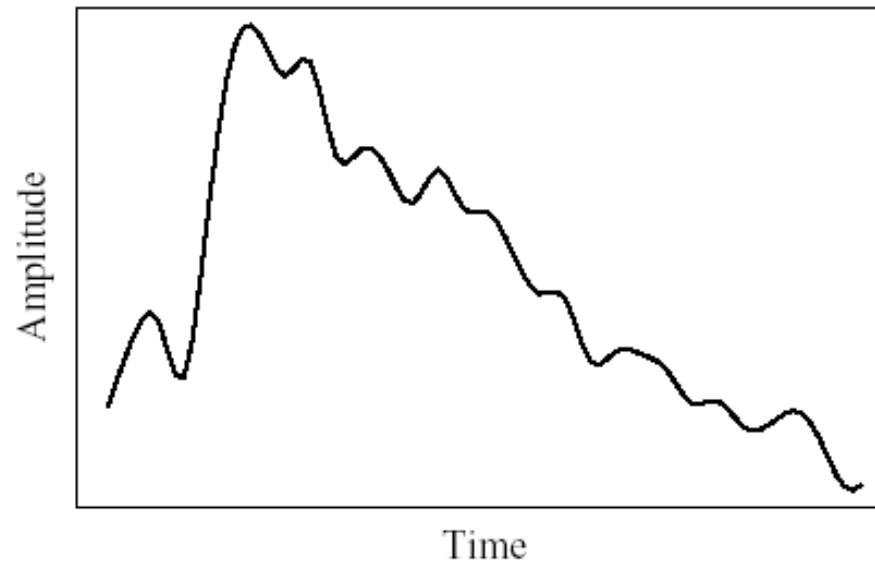


Fig. 6.1: An analog signal: continuous measurement of pressure wave.

# 數位化(Digitization)

- 上圖必須把時間及振幅 作為數位化的參數，也就是取樣時要將它們記錄：一個時間對應一個振幅。
  - 取樣就是測量我們想要知道訊號上的數值，取樣的間距通常會是許多相同大小的區間。
  - 第一種取樣方式，就是利用在相同長度的時間間隔做測量。這樣測量的速率叫做測量頻率(*sampling frequency*) (見下圖a)。
  - 對聲音而言，典型的取樣頻率是8 kHz (8,000 samples per second) 到48 kHz. 這個範圍是經由理論所謂Nyquist理論(後面會討論)所決定。
  - 在振幅或電壓的象限來取樣叫做**quantization**(如下圖b)。

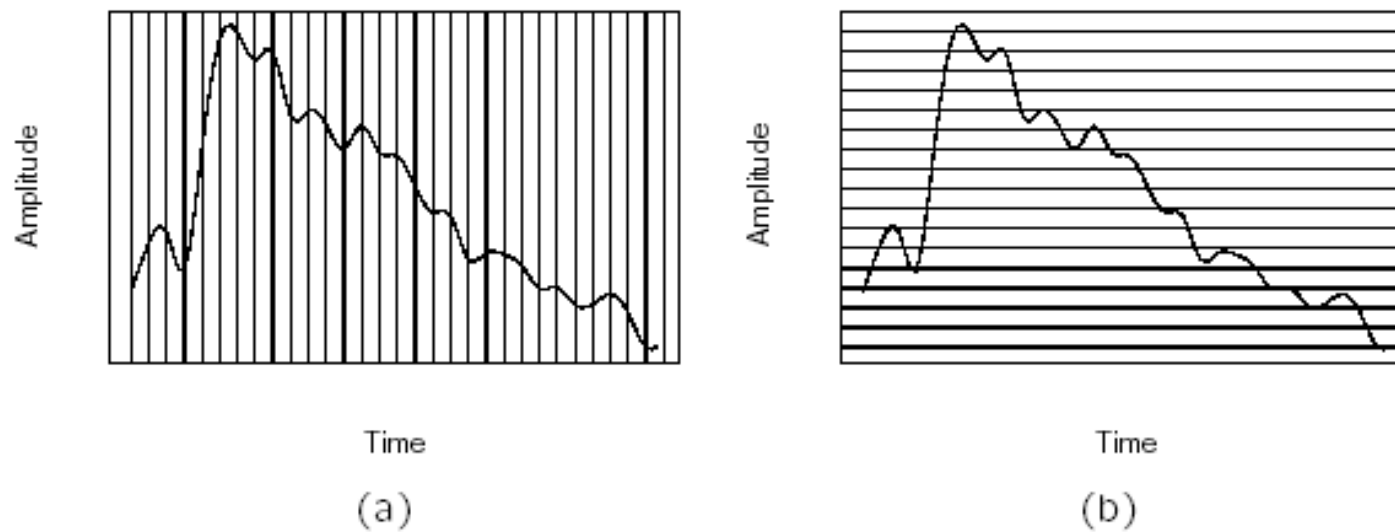


Fig. 6.2: Sampling and Quantization. (a): Sampling the analog signal in the time dimension. (b): Quantization is sampling the analog signal in the amplitude dimension.



# 數位化

- 因此決定要如何將聲音資料數位化，我們需要知道下列的問題：
  - 取樣速率是多少？
  - 資料可以量化到什麼程度，量化的量是一致的嗎？
  - 聲音資料的格式為何? (檔案格式)

# Nyquist Theorem

- 訊號可以被拆成一組正弦波的總和，左圖顯示有比重的正弦撥可以建立一個複雜的訊號。

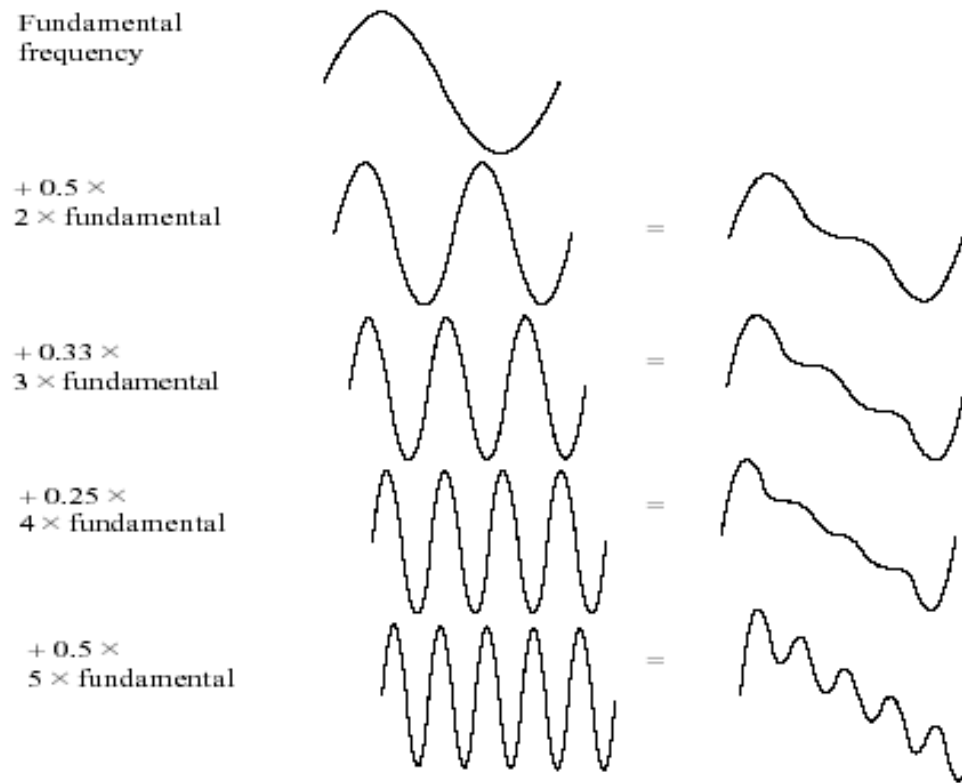
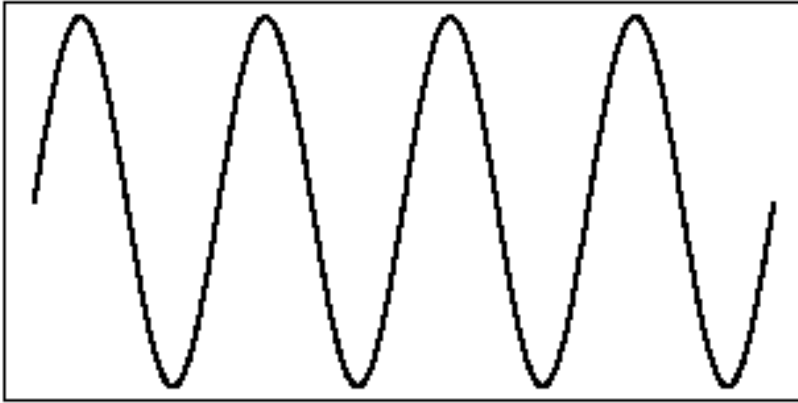


Fig. 6.3: Building up a complex signal by superposing sinusoids

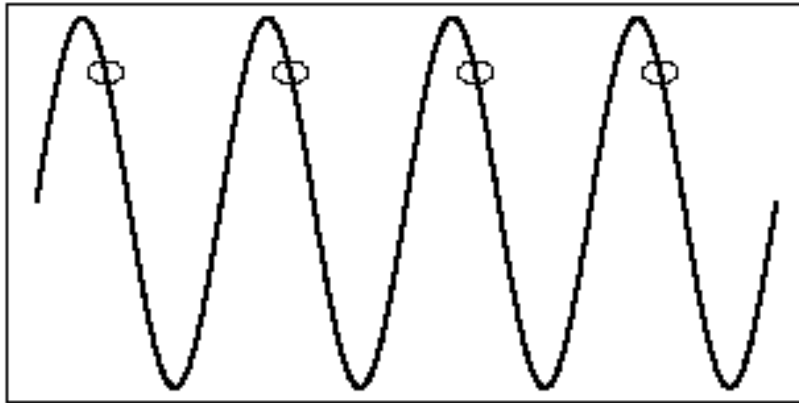
# Nyquist Theorem

Nyquist理論是要告知取樣的頻率要多快才可以還原本來的聲音。



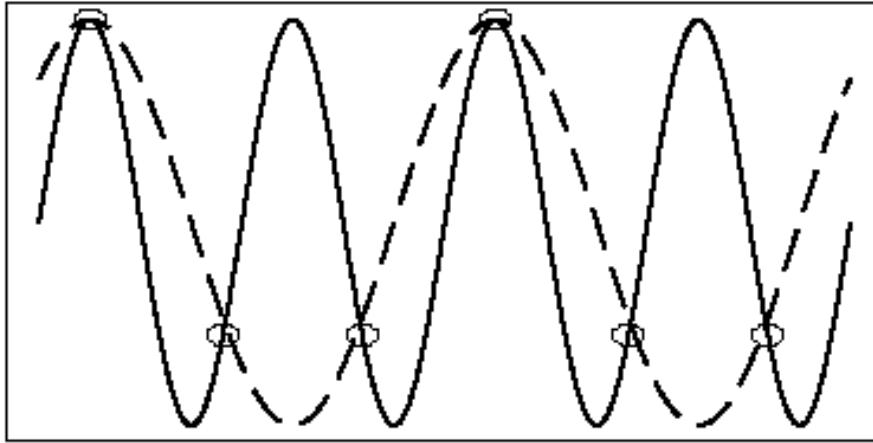
(a)

圖(a)顯示單一的一個正弦波：它是一個單純的頻率 (只有電子儀器才能產生如此的聲音)。



(b)

假使取樣速率恰好與實際頻率相等，圖(b)顯示會還原一個錯誤的訊號：它只是一個沒有頻率的常數。  
再來，如果取樣變成了1.5倍



(c)

圖(c)顯示所得到仍是一個不正確頻率的波 (**alias**)，這個波的頻率小於原來訊號：是原來的一半 (頂點間的波長是原來的兩倍)。  
因此正確的取樣頻率必須至少是原來訊號的兩倍，這就是所謂的**Nyquist rate**。

Fig. 6.4: Aliasing. (a): A single frequency. (b): Sampling at exactly the frequency produces a constant. (c): Sampling at 1.5 times per cycle produces an *alias* perceived frequency.

# Nyquist Theorem

- **Nyquist Theorem:** 假使一個訊號是**band-limited**(也就是訊號內有低頻率極限  $f_1$  及高頻率極限  $f_2$ ，所以取樣速率應該至少  $2(f_2 - f_1)$ ).
- **Nyquist frequency:** Nyquist速率的一半。
  - 因為它無法還原頻率大於**Nyquist frequency**的訊號，所以大多數系統有一個**antialiasing filter**可以限制取樣器輸入訊號的頻率內容在Nyquist frequency範圍內。
- 取樣頻率，真實頻率及Alias Frequency的關係如下：
  - $f_{alias} = f_{sampling} - f_{true}$ ; for  $f_{true} < f_{sampling} < 2 f_{true}$

# ADC0804 sampling rate and resolution

- ADC0804
- Resolution: 8 bits
- Sample rate: 10 kSPS (max)
- Sound frequency:

人耳可以感知到的聲音，其頻率範圍為20 Hz至20,000 Hz

依據**Nyquist Theorem** **ADC 0804** 最大解析頻率為 **5 KHz**

- 低音吉它：頻響在700~1KHz之間  
     提高撥弦音為60~80Hz  
     電貝司：低音在80~250Hz  
     撥弦力度在700~1KHz

- 低音鼓：27~146Hz  
     低音：60~80Hz  
     敲擊聲：2.5KHz

- 人聲
 

	低音	基準音區	中音	高音
男	82~392Hz	64~523Hz	123~493Hz	164~698Hz
女	82~392Hz	160~1200Hz	220~1.1KHz	

- 鋼琴：低音在80~120Hz  
臨場感2.5~8KHz，聲音隨頻率的升高而變單薄
- 小提琴：174~3.1KHz  
豐滿度：240~400Hz  
撥弦聲：1~2KHz  
明亮度：7.5~10KHz
- 大提琴：61~2.6KHz  
豐滿度：300~500Hz



# 訊號對雜訊比

## Signal to Noise Ratio (SNR)

- 正確訊號與雜訊的能量比就叫做*signal to noise ratio* (**SNR**)
  - 測量訊號品質的方法。
- SNR通常是以decibel為單位(**dB**)，而1 dB就是1**bel**的十分之一。以db為單位SNR值被定義成電壓平方的以10為底的對數，詳細定義如下：：
  - $SNR = 10\log_{10} V_{signal}^2 / V_{noise}^2 = 20\log_{10} V_{signal} / V_{noise}$

# 訊號對雜訊比

## Signal to Noise Ratio (SNR)

- 訊號的能量是與電壓的平方成正比。例如：假設訊號電壓為雜訊訊號電壓的十倍，那SNR就是  $20\log_{10}(10)=20\text{dB}$ 。
- 就能量而言，10把小提琴的能量當然是一把小提琴能量的十倍，然而以能量比的SNR就是10dB, or 1B.
- 通常我們所聽到四周的聲音的層級就是靠decibel來區分，也就是以我們可以聽到最安靜的聲音來做比例，下表就是四周聲音大概的分級。

Table 6.1: Magnitude levels of common sounds, in decibels

Threshold of hearing	0
Rustle of leaves	10
Very quiet room	20
Average room	40
Conversation	60
Busy street	70
Loud radio	80
Train through station	90
Riveter	100
Threshold of discomfort	120
Threshold of pain	140
Damage to ear drum	160

$\mu=100$ 或255;  $A = 87.6$

對於安靜的聲音有比較好的解析度

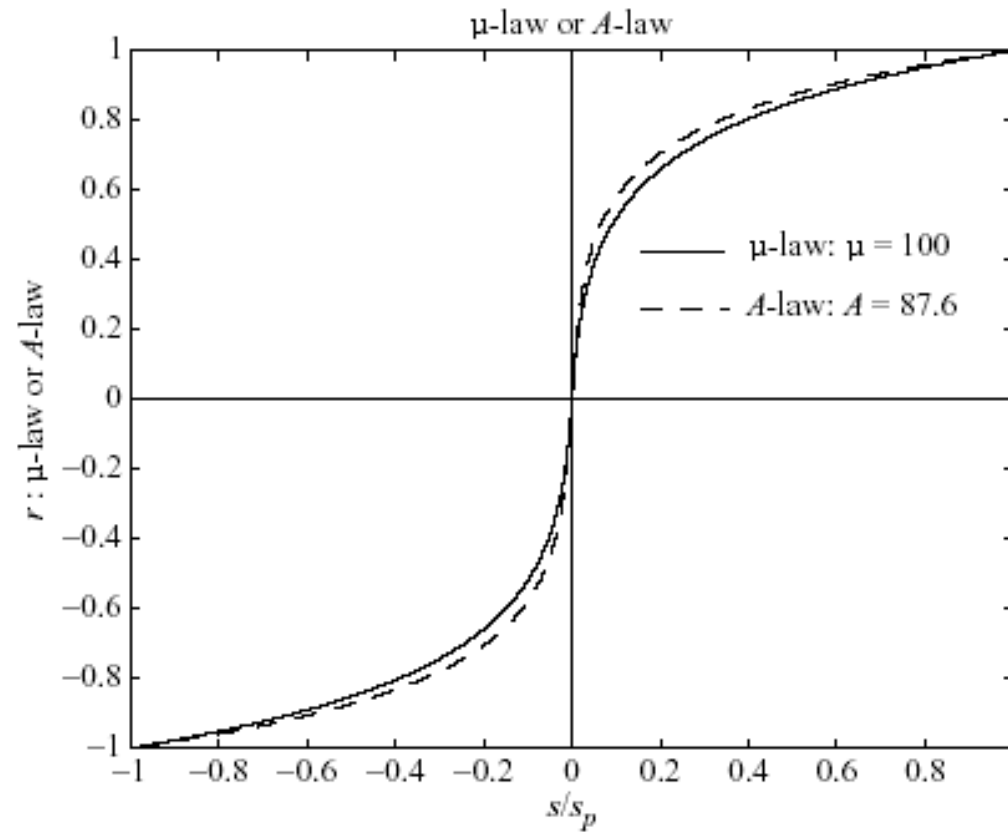


Fig. 6.6: Nonlinear transform for audio signals

# 聲音的過濾(filter)

- 在取樣與AD轉換之前，聲音訊號通常也會做過濾來清除不需要的頻率訊號。而要保留的訊號與其應用有關：
  - 對語音而言，頻率是保留在50Hz到10kHz之間，通常可以利用一個可以濾掉較低及較高頻訊號波的**band-pass filter**將其它的訊號去掉。
  - 一個音樂的訊號一般是落在20Hz與20kHz之間
  - 在DA轉換器的末端，高頻可以在輸出重現
    - 因為取樣及量化，原來平順的訊號會被一系列含有所有可能頻率的step functions所取代。
  - 所以在解碼端，在DA線路後端會使用一個**low-pass filter**。

# 聲音品質與資料速率

- 當較多的位元用來量化時，未壓縮的資料速率相對也會增加。立體聲(Stereo):在傳送一個數位聲音訊號，頻寬會倍增。

Table 6.2: Data rate and bandwidth in sample audio applications

Quality	Sample Rate (KHz)	Bits per Sample	Mono/ Stereo	Data Rate (uncompressed) (kB/sec)	Frequency Band (KHz)
Telephone	8	8	Mono	8	0.200-3.4
AM Radio	11.025	8	Mono	11.0	0.1-5.5
FM Radio	22.05	16	Stereo	88.2	0.02-11
CD	44.1	16	Stereo	176.4	0.005-20
DAT	48	16	Stereo	192.0	0.005-20
DVD Audio	192 (max)	24 (max)	6 channels	1,200.0 (max)	0-96 (max)