

## 實驗三：光通訊

- 光通訊：1、自由空間 (free space) 光通訊  
2、光纖 (optical fiber) 通訊

## 補充資料：調幅 (AM) 與調頻 (FM)

### (1) 調變：

在通訊或廣播系統中，我們經常利用電子裝置將兩種不同的頻率的訊號加在一起，以產生可以發射的訊號。因為聲頻的訊號在空間中只能傳播一很短的距離就消失了，而射頻的訊號卻可以傳的很遠，所以我們就考慮到將聲頻的訊號變為射頻的訊號的一部份。就好像我們走路，由於體力消耗大，無法做長距離的步行，若要長距離的旅行就得搭汽車或飛機。而射頻訊號就像汽車或飛機一樣地將聲頻訊號載到較遠的地方去。將聲頻及射頻（載波）相合併的程序即稱為調變 (modulation)，目前無線電廣播系統比較常用的調變方式有調幅 (AM) 調頻 (FM) 調相 (PM) 三種。

各種調變方式：

#### a) 類比訊號調變方式

- 角度調變 (Angular modulation)
  - 相位調變 (調相) (Phase modulation, PM)
  - 頻率調變 (調頻) (Frequency modulation, FM)
- 振幅調變 (調幅) (Amplitude modulation, AM)
  - 雙邊帶調變 (Double-sideband modulation, DSB)
  - 單邊帶調變 (Single-sideband modulation, SSB or SSB-AM)
  - 殘邊帶調變 (Vestigial-sideband modulation, VSB)

#### b) 數位訊號調變方式

- 振幅偏移調變 (Amplitude-shift keying, ASK) and its most common form, on-off keying (OOK)
- 相位偏移調變 (Phase-shift keying, PSK)
- 正交振幅調變 (Quadrature amplitude modulation, QAM) 結合 PSK 與 ASK 的方式來作調變
- 頻率偏移調變 (Frequency-shift keying, FSK) (see also audio frequency-shift keying (AFSK)) \*\*Minimum-shift keying (MSK)

### Gaussian minimum-shift keying (GMSK)

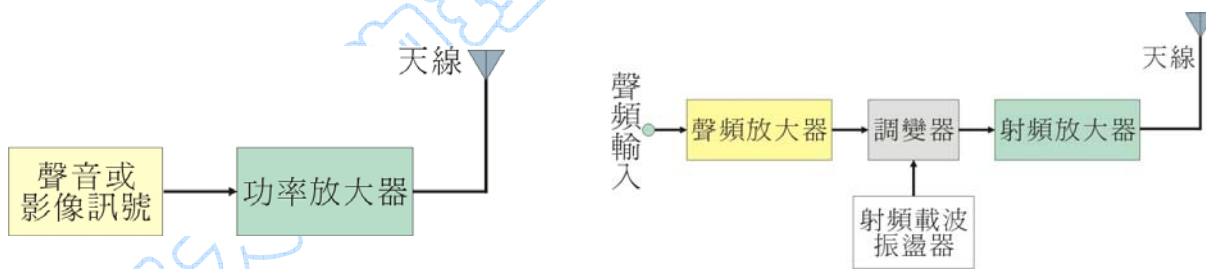
- 連續相位調變 (Continuous phase modulation, CPM)
- 正交分頻多工 (Orthogonal frequency division multiplexing, OFDM) modulation, also known as discrete multitone (DMT).
- Wavelet modulation
- Trellis coded modulation (TCM) also known as trellis modulation
- 正交振幅調變 (Quadrature amplitude modulation, QAM)

### c) 脈波調變方式

- 脈衝編碼調變 (Pulse-code modulation, PCM) (Analog-over-digital)
- 脈衝寬度調變 (Pulse-width modulation, PWM) (Analog-over-analog)
- 脈衝振幅調變 (Pulse-amplitude modulation, PAM) (Analog-over-analog)
- 脈衝相位調變 (Pulse-position modulation, PPM) (Analog-over-analog)
- 脈衝密度調變 (Pulse-density modulation, PDM) (Analog-over-analog)
- 三角積分調變 (Sigma-delta modulation,  $\Sigma\Delta$ ) (Analog-over-digital)

### (2) 發射機概說：

廣播電台要將聲音或影像訊號傳播到遠方，可以採用圖 1 所示的方式。廣播員的聲音由微音器（俗稱麥克風）、影像由光電管轉變為電訊號，經功率放大器後由天線發射出去。此種發射方式因為聲頻訊號的頻率較低（約  $20\text{Hz} \sim 20\text{kHz}$ ），天空傳播過程中，衰減太快且易受雜訊干擾，以致無法傳送到較遠的地方，僅適用於較近的距離發射。因此通常我們都將所欲傳的聲頻及影像訊號加以處理後，才發射出去，這樣才能把訊號傳到較遠的地方。



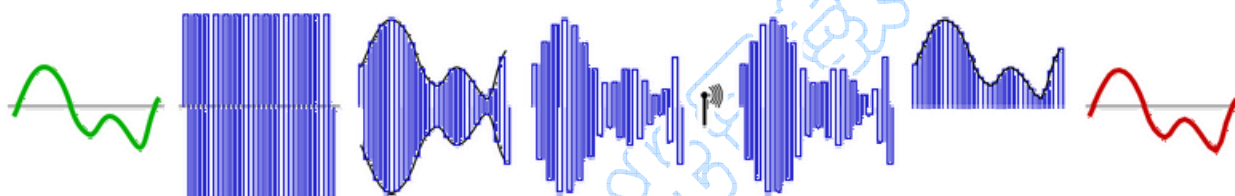
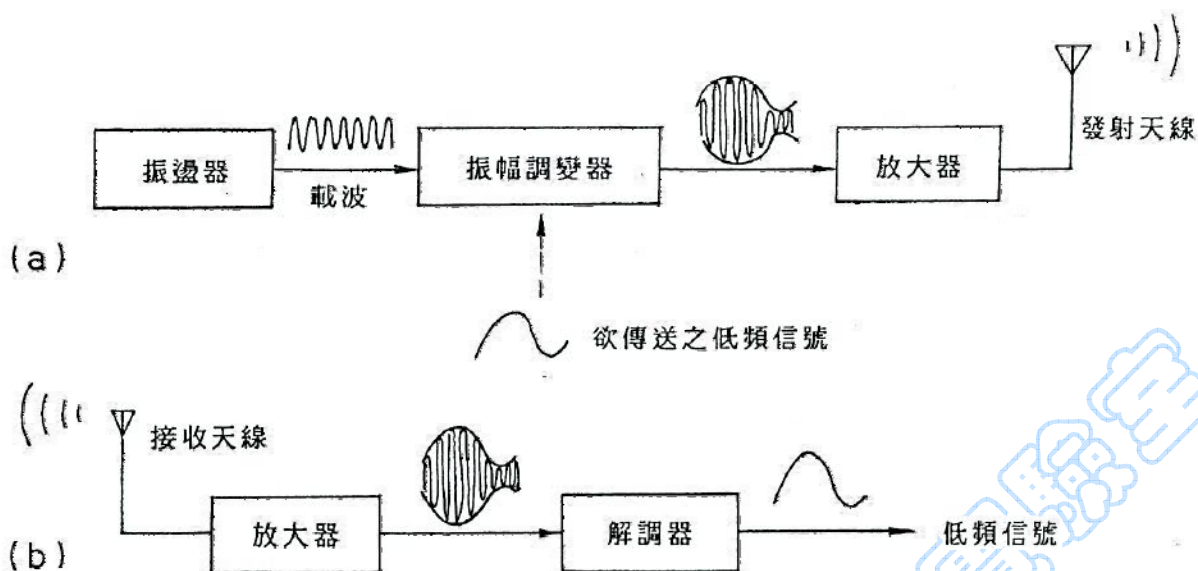
(圖 1)

(圖 2)

圖 2 方塊圖為發射機主要構圖，聲頻訊號經聲頻放大器放大後送入調變器，調變器另一端輸入訊號為高頻率的射頻載波。載波及聲頻訊號經調變器後，即可獲得一載有訊息的射頻訊號，再經射頻放大器提高功率，然後再由天線發射出去。因為它含有較高的能量且不易被衰減，所以廣泛用於發射機中。

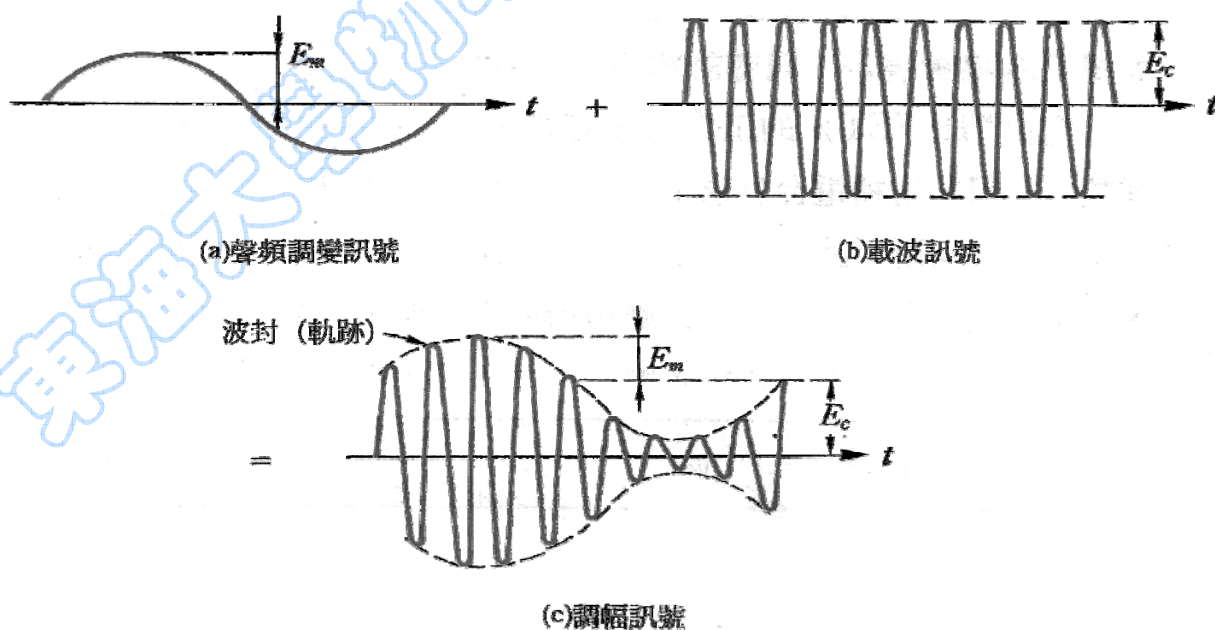
### 註

載波 (carrier wave, 簡稱 CW) 通常是等幅正弦波，可以用正弦波振盪器來產生，它是可以在空間作較長距離的傳送頻率，因為可供發射，所以也叫作射頻 (radio frequency, 簡稱 RF)。通常，射頻的範圍是從  $20\text{kHz}$  到數  $\text{GHz}$  ( $1\text{GHz} = 10^9 \text{Hz}$ )。



(圖 3) 振幅調變 (a)發射部分 (b)接收部分

(3) 調幅 (AM):



(圖 4) 調幅過程與調幅波 (a)+(b)=(c)

所謂調幅就是使載波的波幅隨著聲頻調變訊號的波幅而變化。當調變訊號波幅愈大時，載波波幅也愈大；調變訊號波幅愈小時，載波波幅也隨之變小，如圖 4c 所示。聲頻訊號稱為調變訊號，經調幅後輸出之調變撥稱為調幅波。

由圖 4b 中可以看出，載波訊號本來是一等幅波，經調幅後，其波幅隨調變訊號波幅的大小而變化。其波幅軌跡如圖 4c 中虛線所示，與調變訊號（聲頻訊號）相似。換句話說，調幅波的軌跡就是要傳送的聲頻訊號。

以數學式表示：載波（carrier）訊號為： $E_c(t) = E_c \cdot \sin(\omega_c t)$ （圖 4b）

調幅波調變（modulation）訊號為： $E_m(t) = E_m \cdot \sin(\omega_m t)$ （圖 4a）

調變後訊號： $E(t) = E_c \cdot [1 + m \cdot \sin(\omega_m t)] \cdot \sin(\omega_c t)$ （圖 4c）

調變率（Modulation Index）： $m = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}}$

(4) 調幅百分率：

調幅百分率（percentage modulation）或稱為調幅百分比，通常用來表示調幅的特性，衡量調幅波被調變的深度。其定義為：調變訊號波幅的峰值  $E_m$  與載波訊號波幅的峰值  $E_c$  之比率。如圖 5 所示的調幅波中，用數學式表示為：

$$m = \frac{E_m}{E_c} \times 100\%$$

因為  $E_m = E_{\max} - E_c = E_c - E_{\min}$

$$m = \frac{E_{\max} - E_c}{E_c} \times 100\%$$

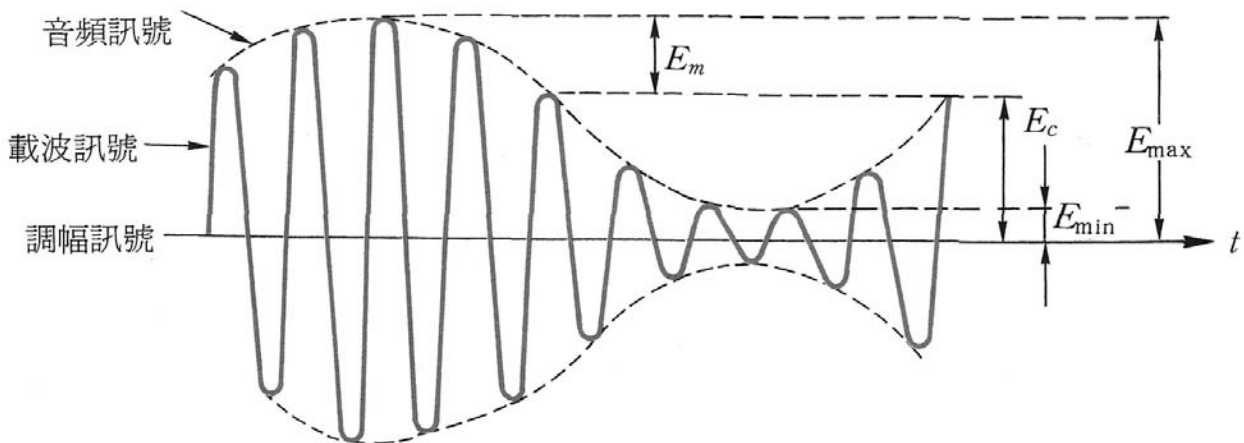
或者  $m = \frac{E_c - E_{\min}}{E_c} \times 100\%$

$m$ ：調幅百分率

$E_{\max}$ ：波封（外緣軌跡）的最大波幅

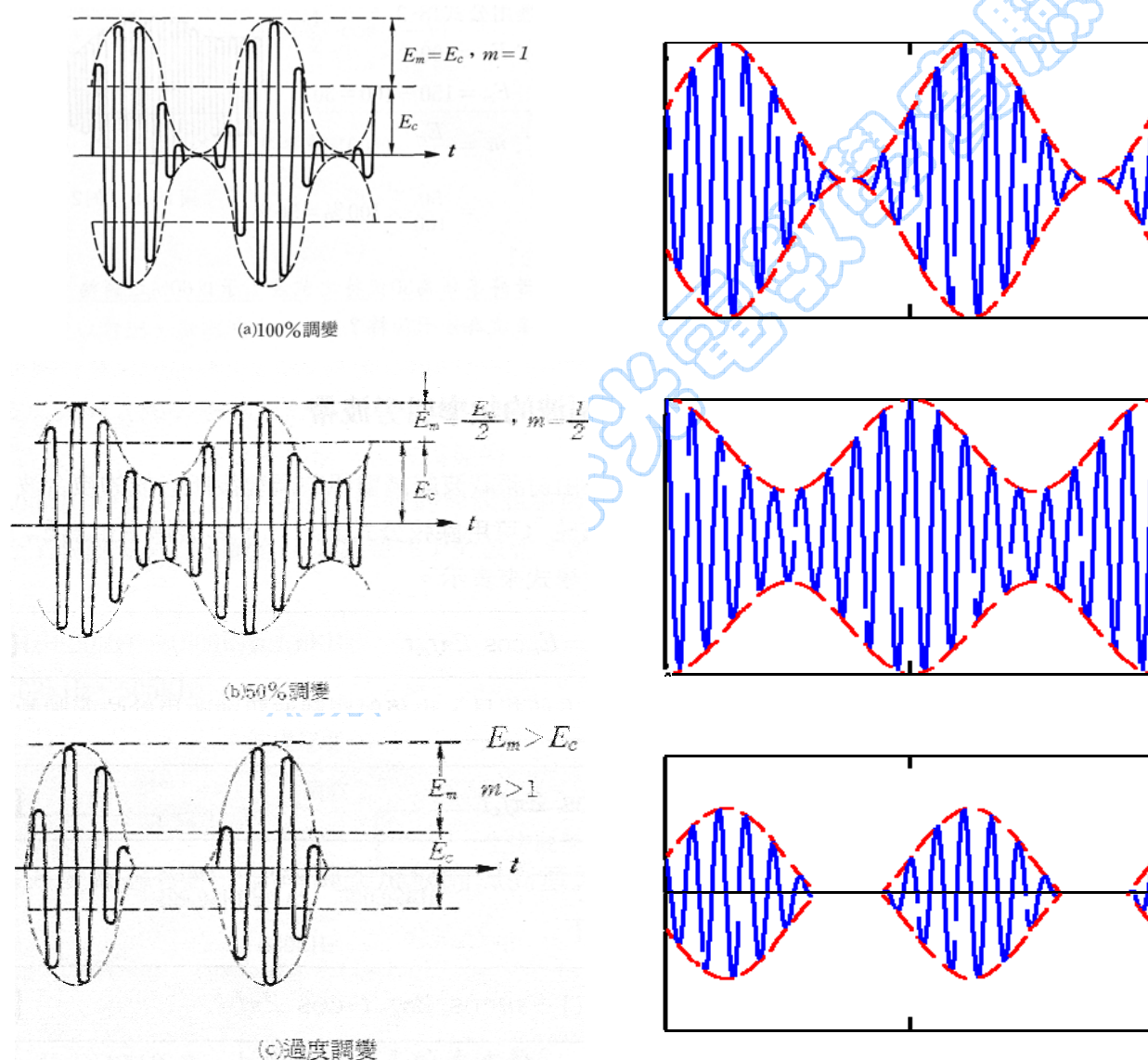
$E_{\min}$ ：波封（外緣軌跡）的最小波幅

$E_c$ ：載波的波幅



(圖 5)

- (a) 全調幅或百分之百調幅：如圖 6a 所示，其  $E_m = E_c$ ， $m = 100\% = 1$ ，此時調幅波之波幅為載波波幅的兩倍，為最佳調幅程度。
- (b) 欠幅波：如圖 6b 所示，其  $E_m = \frac{1}{2}E_c$ ， $m = 50\% = \frac{1}{2}$ ，雖然輸出振幅較小，發射功率低，但不易有失真的情形出現，為正常之調幅方式。
- (c) 過度調幅：如圖 6c 所示，其  $E_m > E_c$ ， $m > 1$ ，此時在波谷部分會造成失真，同時在頻譜上也會形成比正常頻帶為寬的旁波帶，而產生不必要的旁波帶干擾現象。此種方式應予避免。

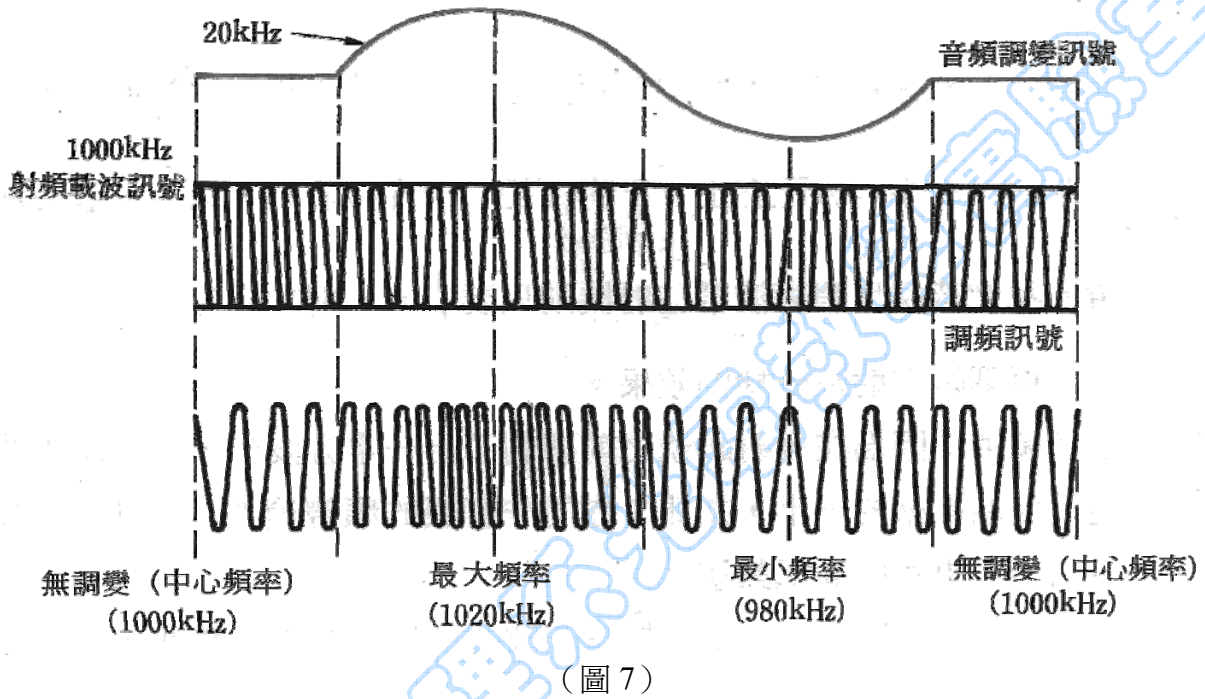


(圖 6)

## (5) 調頻 (FM)：

圖 7 所示一個  $1000\text{kHz}$  載波被一個聲頻訊號調變所輸出的調頻波。由圖中可看出當聲頻

訊號振幅為零時，載波頻率保持不變，為 $1000\text{kHz}$ ；當聲頻訊號振幅往正的方向增加時，載波頻率也隨波幅之上升而變高，聲頻訊號上升到正半週峰值時，載波頻率為 $1020\text{kHz}$ ；當聲頻訊號隨之由正半週期峰值下降時，載波頻率也由 $1020\text{kHz}$ 變低，由聲頻訊號振幅降至零時，載波頻率又回復到 $1000\text{kHz}$ ；當聲頻訊號往負的方向減少時，載波頻率也隨之降低，達聲頻訊號負半週峰值時，最低頻率變為 $980\text{kHz}$ 。因此可知載波頻率的變化受聲頻訊號電壓幅度的變化所影響，而成正比例的變化，且聲頻訊號撥被包含在載波的頻率偏移之中。



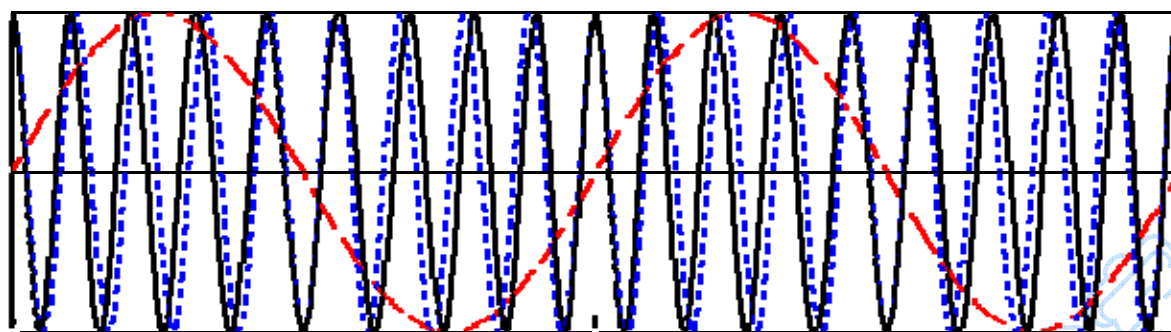
以數學式表示：

載波 (carrier) 訊號為： $E_c(t) = E_c \cdot \sin(\omega_c t)$

調變 (modulation) 訊號為： $E_m(t) = \beta \cdot \sin(\omega_m t)$

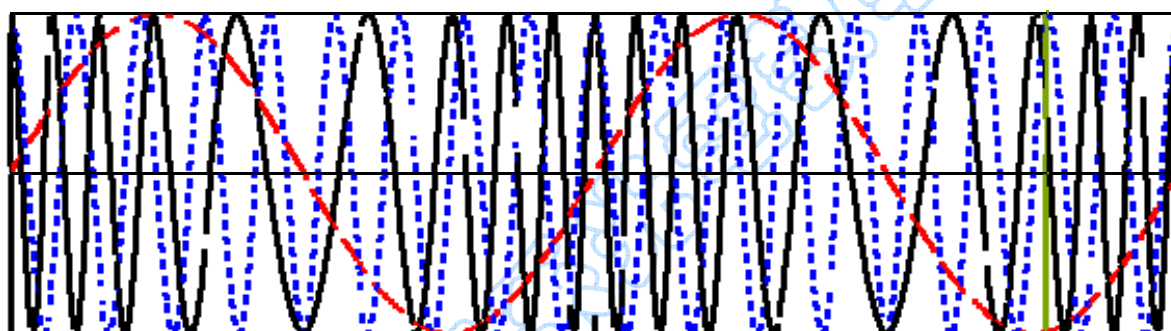
調變後訊號： $E(t) = E_c \cdot \cos[\omega_c t + \beta \sin(\omega_m t)]$

調變率 (Modulation Index)： $\beta = \frac{\Delta\omega}{\omega_m} = \frac{\text{maximum carrier frequency deviation}}{\text{modulation frequency}}$

**Modulation Index ( $\beta$ ) = 1**

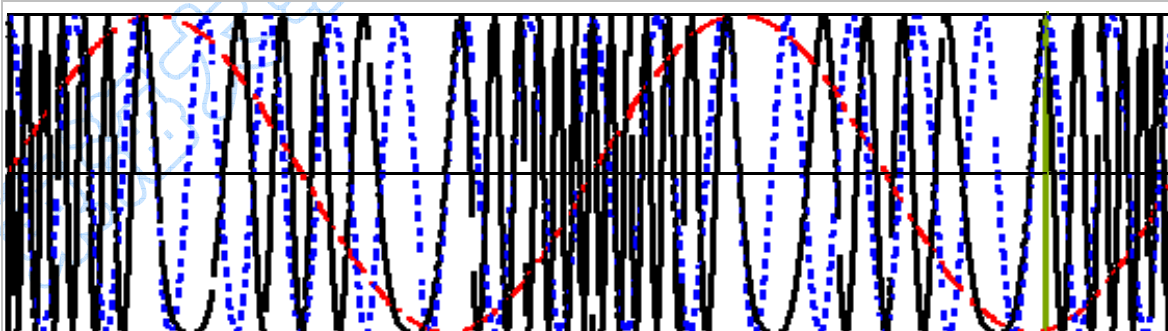
Here, the maximum frequency ( $f_{\max}$ ) causes a maximum deviation of  $1 \times f_{\max}$  in the carrier. From the modulation index formula:

$$\beta = \frac{1}{1} = 1$$

**Modulation Index ( $\beta$ ) = 5**

Here, the maximum frequency ( $f_{\max}$ ) causes a maximum deviation of  $5 \times f_{\max}$  in the carrier. From the modulation index formula:

$$\beta = \frac{5}{1} = 5$$

**Modulation Index ( $\beta$ ) = 25**

Here, the maximum frequency ( $f_{\max}$ ) causes a maximum deviation of  $25 \times f_{\max}$  in the carrier. From the modulation index formula:

$$\beta = \frac{25}{1} = 25$$

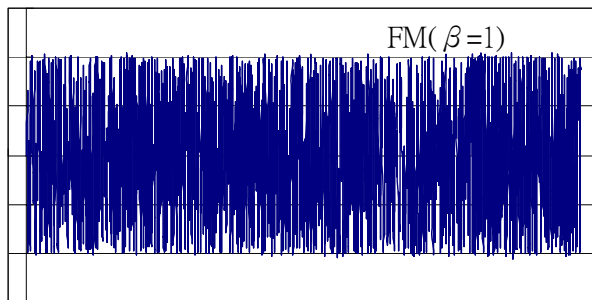
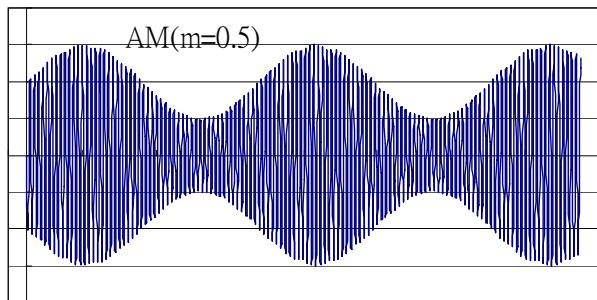
以下是用 EXCEL 做出來的數據圖，參考看看：

調幅 (AM)

調頻 (FM)

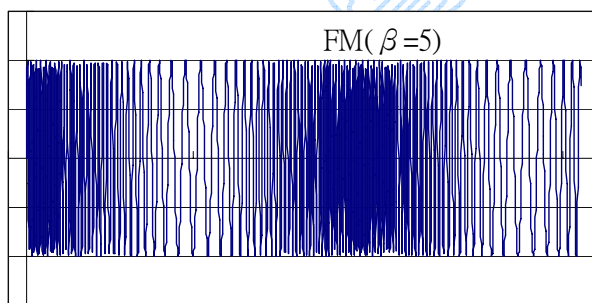
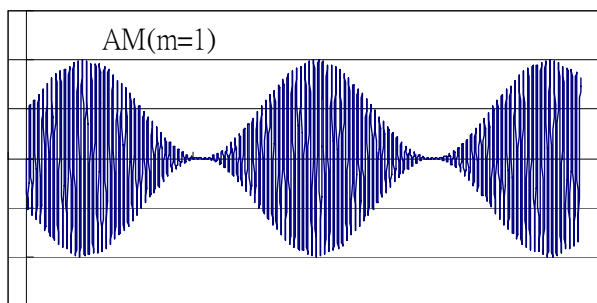
AM(m=0.5)

FM( $\beta=1$ )



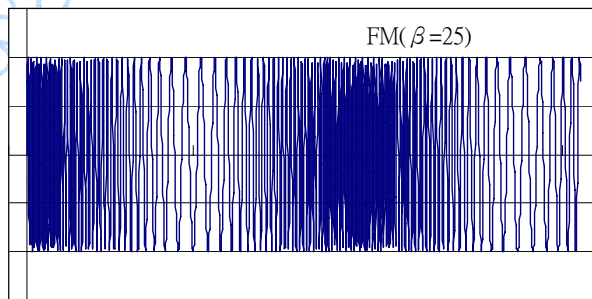
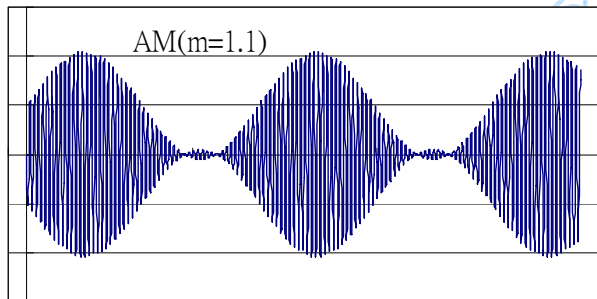
AM(m=1)

FM( $\beta=5$ )

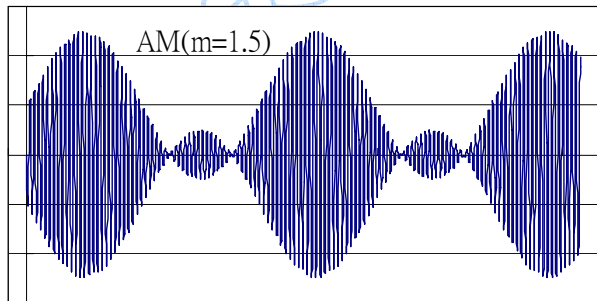


AM(m=1.1)

FM( $\beta=25$ )



AM(m=1.5)

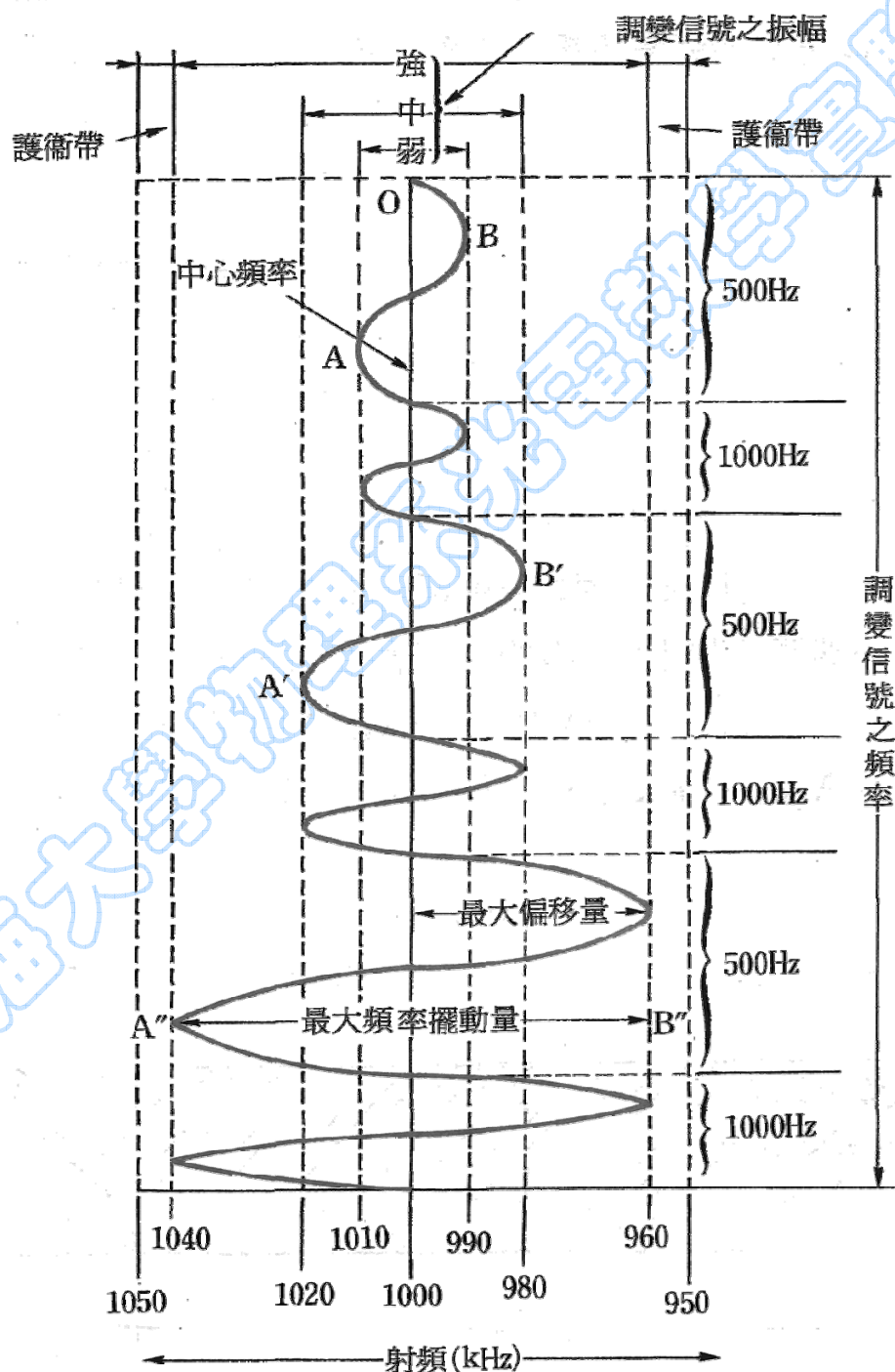




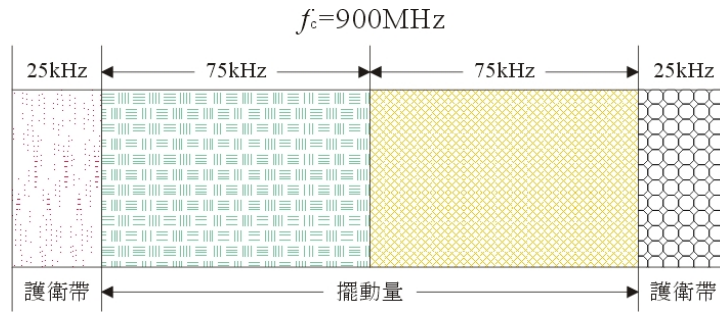
## (6) 調頻術語：

調頻廣播系統中有其特定使用的術語，今分別解釋如下：

- 中心頻率 (center frequency)：指未經調變的載波頻率，即聲頻調變訊號振幅為零時的載波頻率，亦稱為休止頻率 (rest frequency)，如圖 7 所示之  $1000\text{kHz}$ 。
- 頻率偏移量：調頻波中最高頻率 (或最低頻率) 與中心頻率的差額稱之為偏移頻率量，通常簡寫為  $\Delta f$ 。如圖七所示為  $1020\text{kHz} - 1000\text{kHz}$  (或  $1000\text{kHz} - 980\text{kHz}$ ) =  $20\text{kHz}$ 。
- 頻率擺動量 (frequency swing)：調頻波中最高頻率與最低頻率之差額稱之為頻率擺動量。頻率擺動量為頻率偏移量的兩倍，如圖 7 所示為  $1020\text{kHz} - 980\text{kHz} = 40\text{kHz}$ 。



(圖 8)



(圖 9)

- (d) 最大頻率偏移量：載波頻率可以變化的最大量。頻率偏移量與聲頻調變訊號波幅成正比關係，若聲頻調變訊號波幅愈大則頻率偏移量愈大，它所佔的頻率範圍愈寬，如此在一定頻譜範圍內所能設置的電台數量愈少。為能設立較多電台，我國政府規定調頻廣播電台發射調頻波的頻率偏移量最大為  $75\text{kHz}$ ，則載波之頻率係以中心頻率為基礎，上、下之擺動量在  $150\text{kHz}$ 。
- (e) 護衛帶：為防止相鄰兩店台西相互干擾，政府除了規定最大偏移量為  $75\text{kHz}$  外，還在主頻帶之最大頻率擺動量的兩側，各再保留一部份頻帶，此保留之頻率即稱為護衛帶。調頻廣播電台之護衛每邊為  $25\text{kHz}$ 。
- (f) 頻帶寬度：如圖 8 所示為一調頻廣播電台之頻帶，其中心頻率為  $90\text{MHz}$ ，依規定偏移量為  $75\text{kHz}$ ，所以最高頻率為  $90\text{MHz} + 75\text{kHz}$ ，最低頻率為  $90\text{MHz} - 75\text{kHz}$ 。且每一端還要加上  $25\text{kHz}$  的護衛帶。因此，此一電台之最高頻率為  $90\text{MHz} + 75\text{kHz} + 25\text{kHz} = 90\text{MHz} + 100\text{kHz}$ ；最低端頻率為  $90\text{MHz} - 75\text{kHz} - 25\text{kHz} = 90\text{MHz} - 100\text{kHz}$ ，其波寬為  $200\text{kHz}$ 。

(7) 調變百分率：

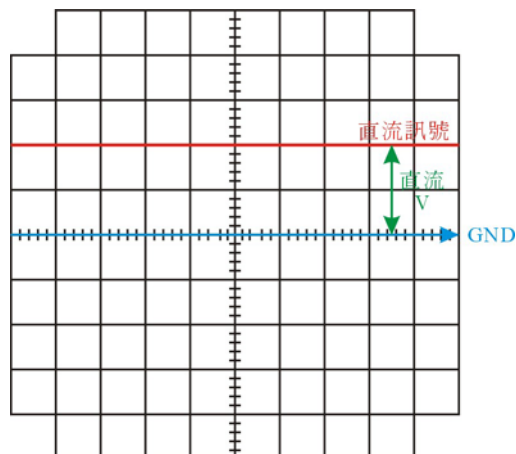
係指調頻波實際的頻率偏移量與最大許可頻率偏移量之比值，且以百分率記之。

$$\beta = \frac{\Delta\omega}{\omega_m} = \frac{\text{實際頻率偏移量}}{\text{最大許可頻率偏移量}} \times 100\%$$

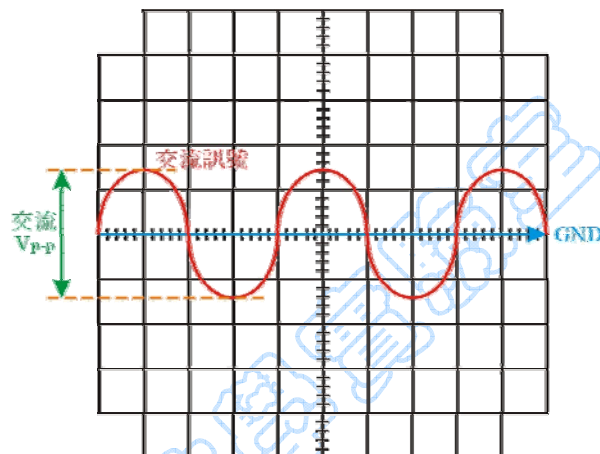
目前，我國政府規定調頻廣播電台得最大頻率偏移量為  $\pm 75\text{kHz}$  而電視廣播則以  $\pm 25\text{kHz}$  為其 100% 調變的偏移量。

本實驗使用 829nm 的半導體雷射，半導體不能提供負壓，否則會崩潰毀損。因此，……  
雷射電流源提供的為直流電壓  
訊號產生器與 CCD 提供的為交流電壓

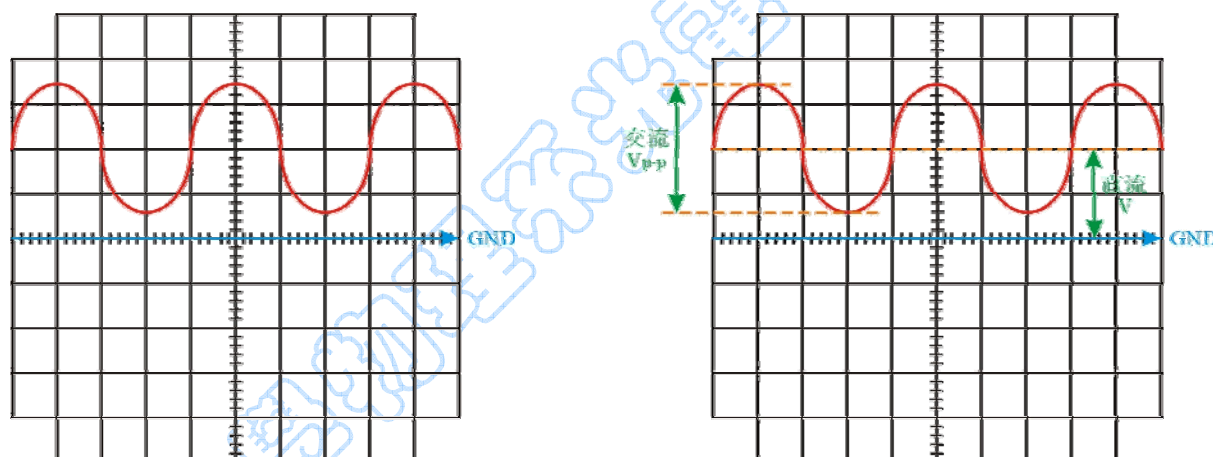
直流訊號：



交流訊號



直流訊號+交流訊號



參考資料：

- 1、大二物理實驗講義
- 2、[http://www.rfcafe.com/references/electrical/frequency\\_modulation.htm](http://www.rfcafe.com/references/electrical/frequency_modulation.htm)
- 3、[http://www.rfcafe.com/references/electrical/amplitude\\_modulation.htm](http://www.rfcafe.com/references/electrical/amplitude_modulation.htm)
- 4、維基百科，<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/調變>
- 5、維基百科，<http://zh.wikipedia.org/調幅>
- 6、電子學實習，全威圖書
- 7、光電科技概論，五南圖書

100/02/22 (二) 整理更新