

## 實習三 振幅調變與解調之分析與模擬

余兆棠

南台科技大學電子系

### 目的

- 本實習主要探討傳統廣播系統相當重要的Full AM (amplitude modulation) 調變與解調技術，一般**振幅調變**泛指Full AM，藉由分析模擬Full AM調變與解調之時域波與頻域頻譜而充分了解振幅調變與解調技術。
- 分析模擬Full AM正常調變與過調變之時域波形，了解**波封檢波器**或稱**包跡檢波器(envelope detector)**做解調之限制。

### 大綱

- Full AM 訊號分析
  - Full AM 調變原理
  - Full AM 數學分析模型
  - 時域上之Full AM 訊號
  - 正常調變訊號
  - 過調變訊號
  - Full AM 訊號之頻譜
  - 範例：單調訊號AM調變(single-tone modulation)
  - 訊號解調
- Matlab/Simulink 模擬
  - Full AM 100% 調變之模擬與探討
  - Full AM 50% 調變之模擬與探討
  - Full AM 過調變之模擬與探討

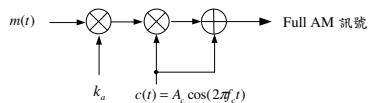
## Full AM調變原理

- 假設  $m(t)$  為一訊息訊號(message signal)，一般稱為基頻訊號。
- 考慮一個載波定義為  $c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)$ 

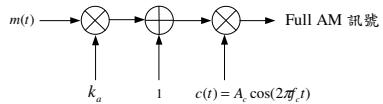
其中  $t$  表示時間(秒)  
 $A_c$  表示載波振幅  
 $f_c$  表示載波頻率
- Full AM的調變原理為訊息訊號乘上載波後再加上載波，可表示為 $\phi_{AM}(t) = m(t) \times k_a \times A_c \cos(2\pi f_c t) + A_c \cos(2\pi f_c t)$  $\phi_{AM}(t) = A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t)$ 其中  $k_a$  為一個常數，一般可稱為振幅靈敏度。

## Full AM數學分析模型

- 型式1： $\phi_{AM}(t) = m(t) \times k_a \times A_c \cos(2\pi f_c t) + A_c \cos(2\pi f_c t)$

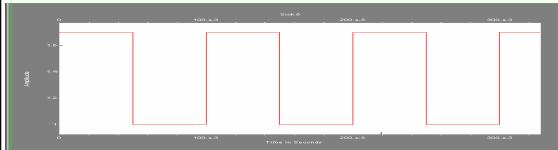


- 型式2： $\phi_{AM}(t) = A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t)$

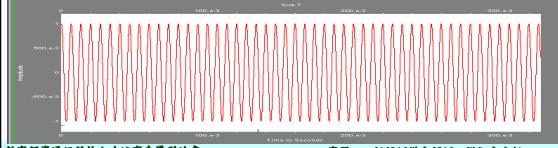


## 訊息與載波訊號

- 訊息訊號(message signal)  $m(t)$



- 載波訊號(carrier signal)  $c(t)$



## 時域上之Full AM訊號

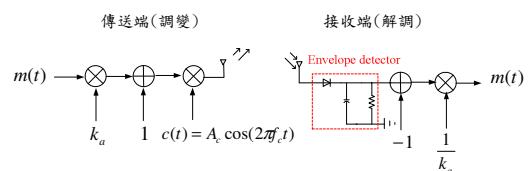
$$\phi_{AM}(t) = A_c(1+k_a m(t)) \cos(2\pi f_c t)$$

原訊號波形與調變後訊號之波封相同  
(原訊號與載波訊號之振幅成比例, 或  
原訊號控制載波訊號之振幅變化)



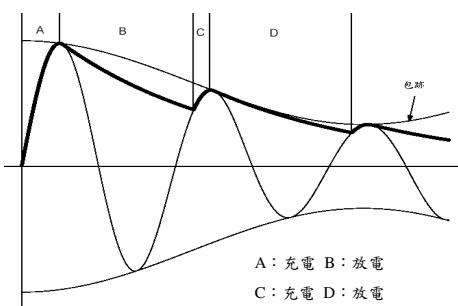
## 訊號解調

- 解調目的是把接收到的AM調變訊號，回復到原始未經調變的訊號的一個程序。
- Full AM訊號的解調方式為使用二極體檢波電路或稱波封檢測器(envelope detector)，首先經由二極體將負電壓濾除，再經由RC充放電路解調訊號，因此完整的Full AM解調架構如下圖所示。



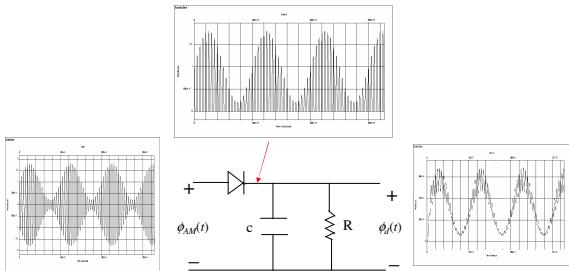
## 圖解波封檢測器解調訊號

圖解RC電路充放電原理



A : 充電 B : 放電  
C : 充電 D : 放電

### 圖解波封檢測器解調訊號(續)



---

---

---

---

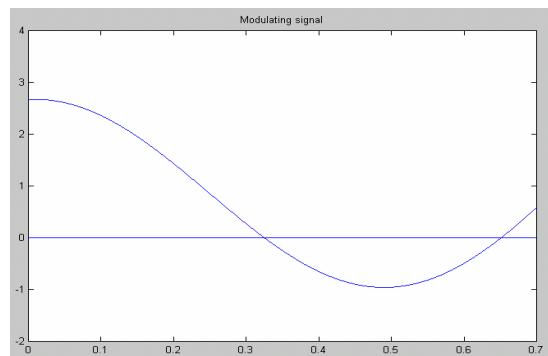
---

---

---

---

### 調變(訊息)訊號



---

---

---

---

---

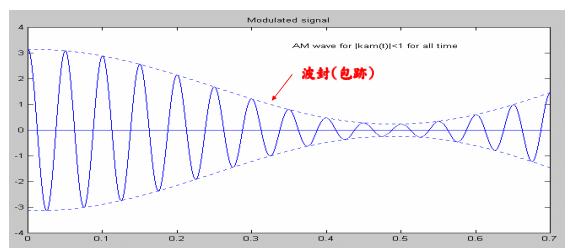
---

---

---

### 正常調變後訊號

- 假設  $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$   
 $\phi_{AM}(t) = A_c [1 + k_a A_m \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t) = A_c [1 + \mu \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t)$   
其中  $\mu$  為調變指數。
- 若  $\mu < 1$ ，調變後訊號之波封(envelope)在 0 之上方，可用波封檢波器解調。



---

---

---

---

---

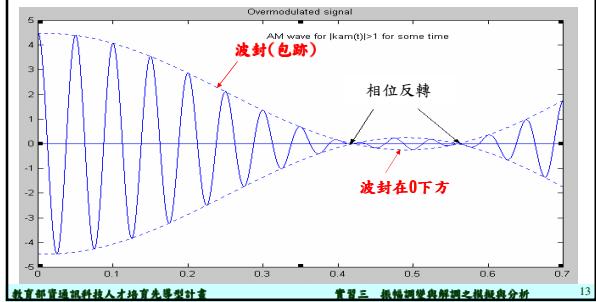
---

---

---

## 過調變訊號

- 若  $\mu > 1$ ，部份調變後訊號之波封在 0 之下方(相位反轉)，無法使用波封檢波器解調。



## Full AM 訊號之頻譜

- Full AM 訊號：

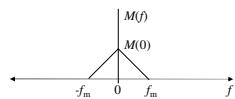
$$\phi_{AM}(t) = A_c(1+k_a m(t)) \cos 2\pi f_c t$$

- 傅利葉轉換：

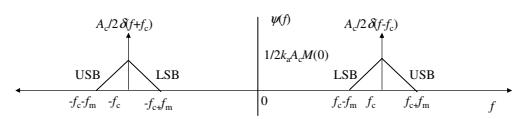
$$\psi_{AM}(f) = \frac{A_c}{2} [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] + \frac{k_a A_c}{2} [M(f - f_c) + M(f + f_c)]$$

## Full AM 訊號之頻譜(續)

- 訊息訊號  $m(t)$  之頻譜  $M(f)$ ：



- Full AM 訊號之頻譜：



### 範例：單調訊號AM調變(single-tone modulation)

- $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t), \quad c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)$

$$\phi_{AM}(t) = A_c [1 + \mu \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t),$$

$\mu = k_a A_m$  : 調變指數

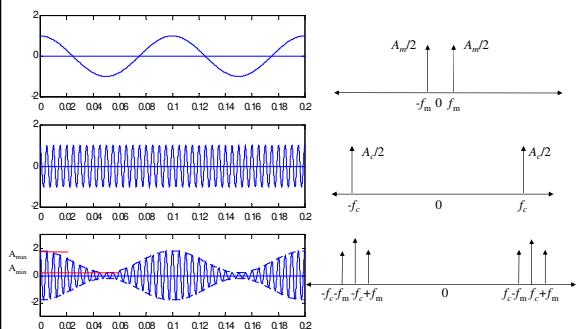
$$\mu = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}}, \quad \frac{A_{\max}}{A_{\min}} = \frac{A_c (1 + \mu)}{A_c (1 - \mu)}$$

### 範例(續)

$$\begin{aligned}\phi_{AM}(t) &= A_c [1 + \mu \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t) \\ &= A_c \cos(2\pi f_c t) + \frac{1}{2} \mu A_c \cos[(2\pi(f_c + f_m)t] \\ &\quad + \frac{1}{2} \mu A_c \cos[(2\pi(f_c - f_m)t]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\psi_{AM}(f) &= \frac{A_c}{2} [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] \\ &\quad + \frac{\mu A_c}{4} [\delta(f - f_c - f_m) + \delta(f - f_c + f_m)] \\ &\quad + \frac{\mu A_c}{4} [\delta(f + f_c - f_m) + \delta(f + f_c + f_m)]\end{aligned}$$

### 範例(續)



## 範例(續)

$$\text{載波功率 } P_c = \frac{1}{2} A_c^2$$

$$\text{上旁波帶之功率 } P_u = \frac{1}{8} \mu^2 A_c^2$$

$$\text{下旁波帶之功率 } P_l = \frac{1}{8} \mu^2 A_c^2$$

$$\text{功率效益} = \frac{\text{總旁波帶功率}}{\text{總傳送功率}} = \frac{\mu^2}{(2 + \mu^2)}$$

$$\text{頻寬 } B = 2f_m$$

## 大綱

### ● Full AM 訊號分析

- Full AM調變原理
- Full AM數學分析模型
- 時域上之Full AM訊號
- 正常調變訊號
- 過調變訊號
- Full AM訊號之頻譜
- 範例:單調訊號AM調變(single-tone modulation)
- 訊號解調

### ● Matlab/Simulink 模擬

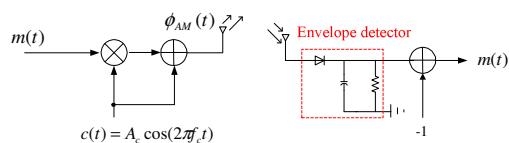
- Full AM 100%調變之模擬與探討
- Full AM 50%調變之模擬與探討
- Full AM 過調變之模擬與探討

## Full AM 調變與解調 (100% 調變)

● 為了方便系統模擬，不考慮振幅靈敏度 $K_a$ ，即假設 $K_a = 1$ ，Full AM調變訊號如下：

$$\phi_{AM}(t) = m(t) \times A_c \cos(2\pi f_c t) + A_c \cos(2\pi f_c t)$$

● 數學分析模型：

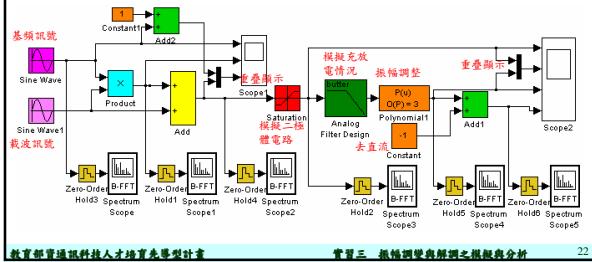


Full AM 調變與解調模擬 (100% 調變)

- 利用Matlab\ Simulink內建Model，模擬Full AM調變與解調系統：

### Step 1：建立模擬系統

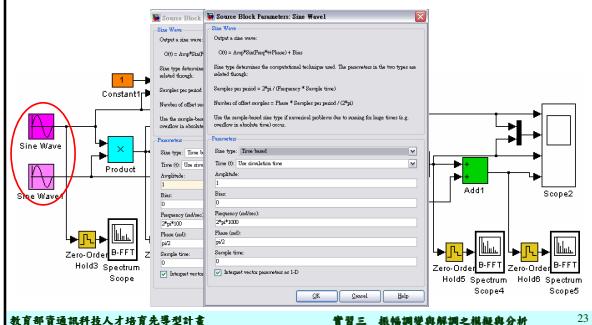
- ① 開啟Matlab\Simulink Browser。
  - ② 開新檔案。
  - ③ 依數學分析模型連結成模擬系統，如下圖所示。



弦波訊號設定

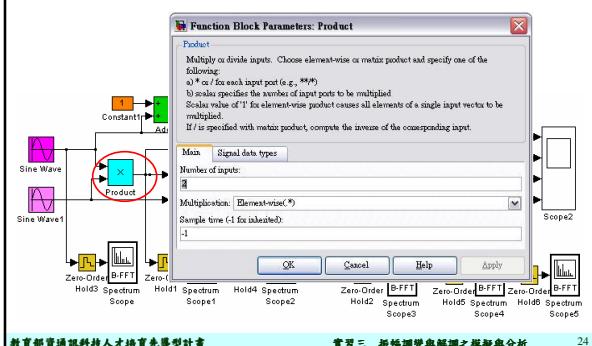
Step 2：設定訊號參數， $\mu = k_a A_m$ ，因省略掉  $k_a$ ，令  $A_m=1$ ，即可產生100%調變。

- ① 基頻(訊息)訊號： $m(t) = \cos(200\pi t)$   
 ② 載波訊號： $c(t) = \cos(2000\pi t)$



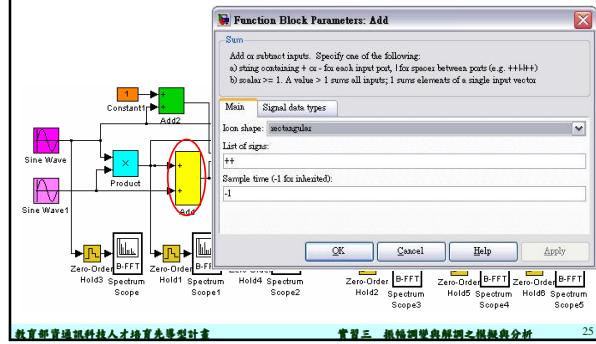
乘法器設定

- ③ 乘法器設定，Number of inputs 設定為 2，表示為兩個乘法輸入。



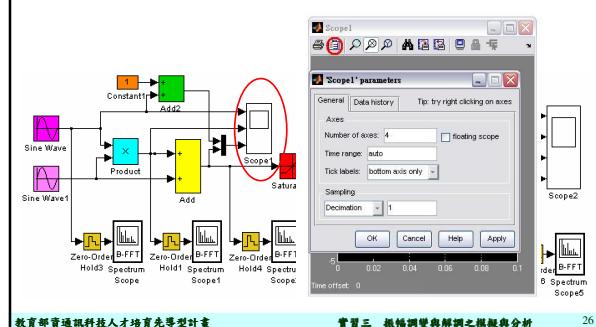
## 加法器設定

④ 加法器設定，List of signs 設定為++，表示兩個加法輸入。



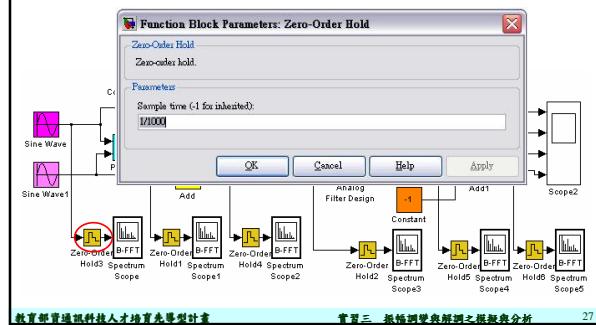
## Scope參數設定

⑤ 示波器設定，Number of axes這邊設定為4，Time range為想要顯示的時間終點，設定為auto的話會跟所設定的環境模擬時間一樣。



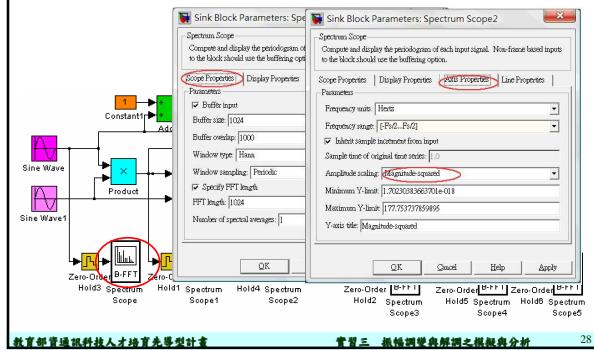
## Zero-Order Hold之取樣時間設定

⑥ 頻域訊號的零階保持設定，可依頻譜器需求而定。



## Spectrum Scope參數設定

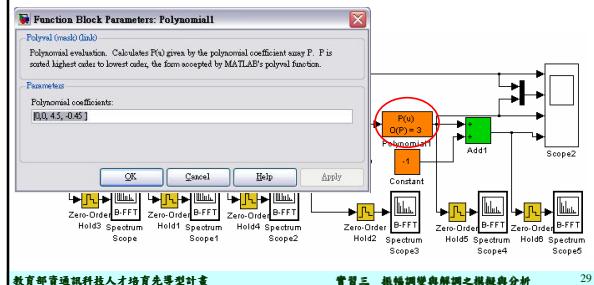
⑦ 頻域訊號的頻譜分析器設定，參數可依實際需求設定。



教育部資訊科技人才培育先導型計畫 實習三：模擬測量與解調之振幅與分析 28

## Polynomial多項式設定

⑧ 多項式(Polynomial)設定，項目分別以逗點隔開，由最右項為最低幕次，以此往左邊類推，即降冪排列  $0x^4 + \dots + 4.5x^1 + 0.45x^0$ ，目的為調整受到低通濾波器影響之振幅。



教育部資訊科技人才培育先導型計畫 實習三：模擬測量與解調之振幅與分析 29

## 模擬環境設定、存檔與執行模擬

### Step 3：模擬環境設定、存檔與執行模擬

- ① 執行時間設定為0.2秒，此處的時間為模擬的停止時間。
- ② 可以先存檔再執行模擬。

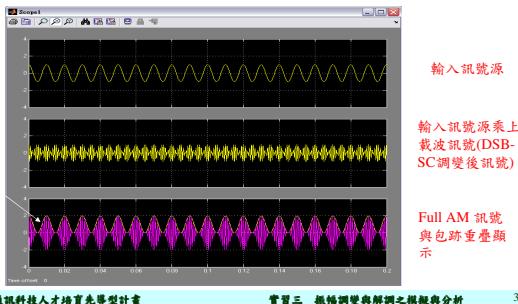


教育部資訊科技人才培育先導型計畫 實習三：模擬測量與解調之振幅與分析 30

## Full AM 調變與解調(100% 調變)時域模擬結果

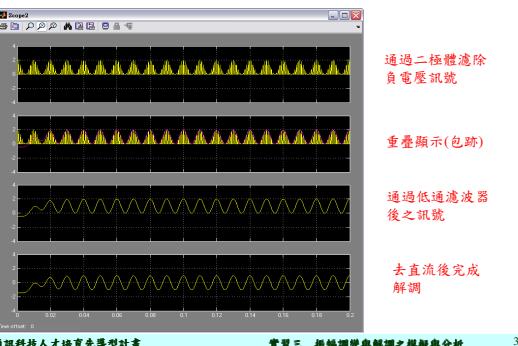
### Step 4：模擬結果分析

- ① 在時域觀察傳送端訊號：首先我們在時域上觀察傳送端之訊號，由下圖可觀察到Full AM訊號傳送端調變的過程。調變指數  $\mu = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} = \frac{1-0}{1+0} = 1 = 100\%$



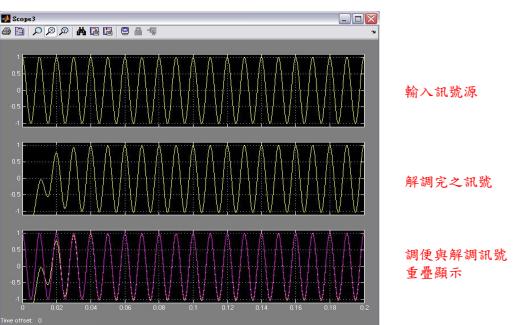
## Full AM 調變與解調(100% 調變)時域模擬結果(續)

- ② 在時域觀察接收端訊號：在時域上觀察接收端之訊號，由下圖中可觀察到Full AM訊號接收端解調變的過程。



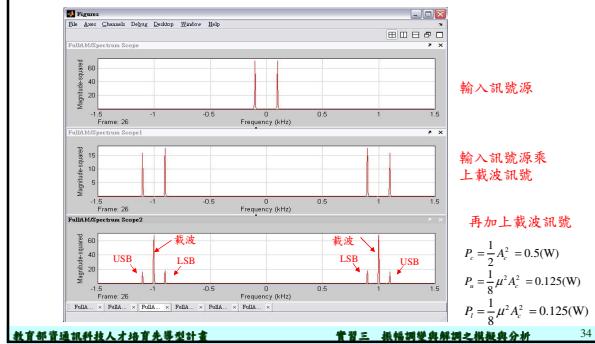
## Full AM 調變與解調(100% 調變)時域模擬結果(續)

- ③ 在時域觀察訊號：由此可很明顯觀察輸入訊號源與解調完之訊號，並且驗證了前面所分析的結果。



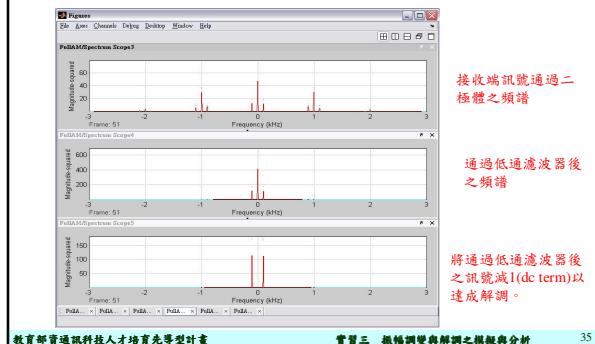
## Full AM 調變與解調(100% 調變)頻域模擬結果

- ④ 在頻域觀察傳送端訊號：首先我們先在頻域上觀察傳送端之訊號，由下圖中可觀察到Full AM訊號傳送端調變的過程。



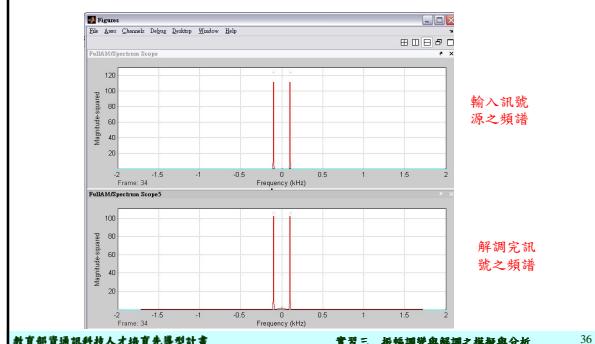
## Full AM 調變與解調(100% 調變)頻域模擬結果(續)

- ⑤ 在頻域觀察接收端訊號：接下來我們先在頻域上觀察接收端之訊號，由下圖中可觀察到Full AM訊號接收端解調過程的頻譜。



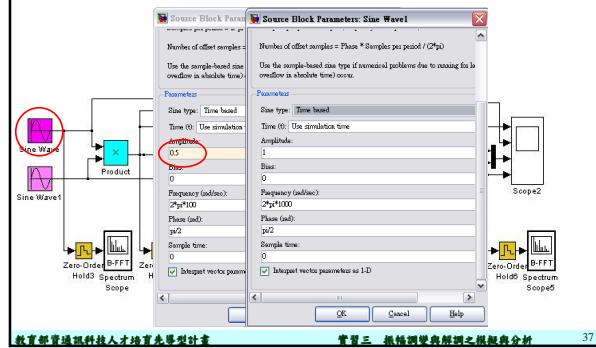
## Full AM 調變與解調(100% 調變)頻域模擬結果(續)

- ⑥ 在頻域觀察訊號：由此可明顯觀察輸入訊號源與解調完之頻譜，並且驗證之前面所分析的結果。



## Full AM 調變與解調(50%調變)

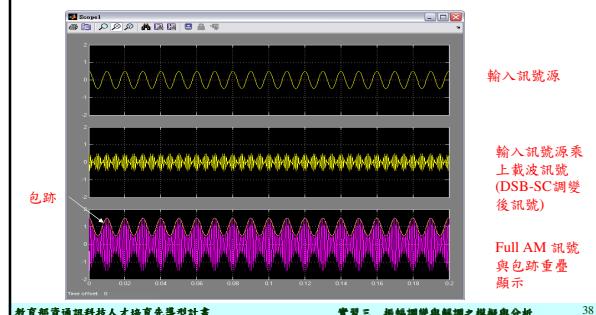
- 在此，修改「Step 2：設定訊號參數」之基頻訊號 $m(t)$ 參數的振幅 $A_m$ 為0.5即可完成50%調變。



## Full AM 調變與解調(50%調變)時域模擬結果

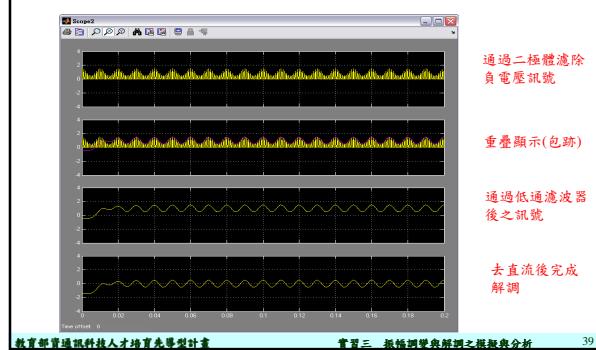
### Step 4：模擬結果分析

- ① 在時域觀察傳送端訊號：首先我們在時域上觀察傳送端之訊號，由下圖可觀察到Full AM訊號傳送端調變的過程。調變指數  $\mu = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} = \frac{1.5 - 0.5}{1.5 + 0.5} = 50\%$



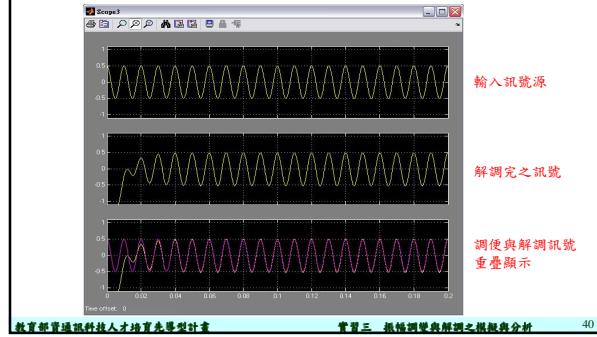
## Full AM 調變與解調(50%調變)時域模擬結果(續)

- ② 在時域觀察接收端訊號：接下來我們在時域上觀察傳送端之訊號，由下圖中可觀察到Full AM訊號接收端解調的過程。



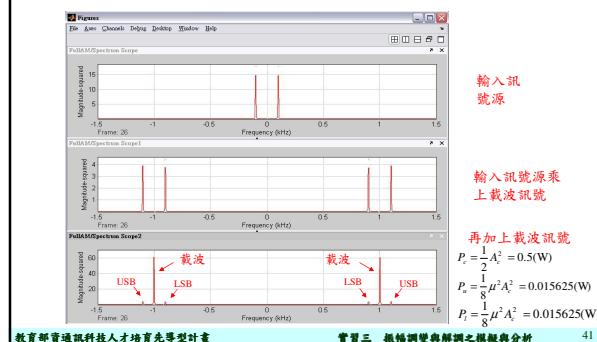
## Full AM 調變與解調(50%調變)時域模擬結果(續)

- ③ 在時域觀察訊號：由此可很明顯觀察輸入訊號源與解調完之訊號，並且驗證了前面所分析的結果。



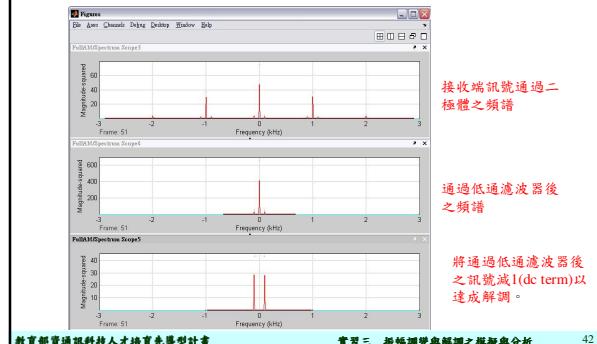
## Full AM 調變與解調(50%調變)頻域模擬結果

- ④ 在頻域觀察傳送端訊號：首先我們先在頻域上觀察傳送端之訊號，由下圖中可觀察到Full AM訊號傳送端調變過程的頻譜。



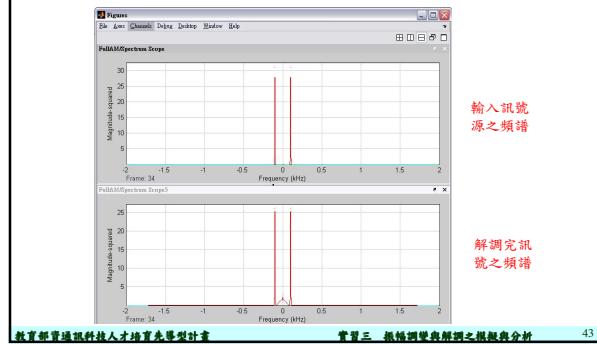
## Full AM 調變與解調(50%調變)頻域模擬結果(續)

- ⑤ 在頻域觀察接收端訊號：接下來我們先在頻域上觀察接收端之訊號，由下圖中可觀察到Full AM訊號接收端解調過程的頻譜。



## Full AM 調變與解調(50%調變)頻域模擬結果(續)

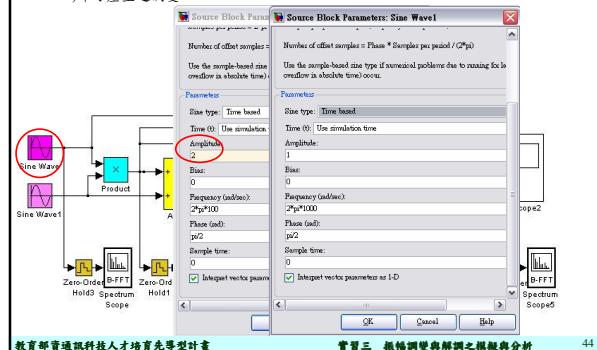
- ⑥ 在頻域觀察訊號：由此可很明顯觀察輸入訊號源與解調完之頻譜，並且驗證了前面所分析的結果。



教育部資訊科技人才培育先導型計畫 實習三 振幅調變與解調之振幅與分析 43

## Full AM 調變與解調(過調變)

- 在此，修改「Step 2：設定訊號參數」之基頻訊號 $m(t)$ 參數的振幅 $A_m$ 為2(大於1)即可產生過調變。

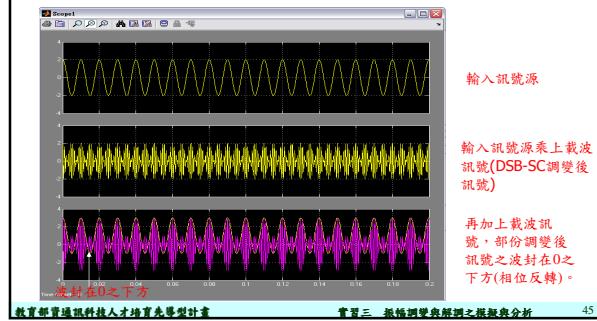


教育部資訊科技人才培育先導型計畫 實習三 振幅調變與解調之振幅與分析 44

## Full AM 調變與解調(過調變)時域模擬結果

### Step 4：模擬結果分析

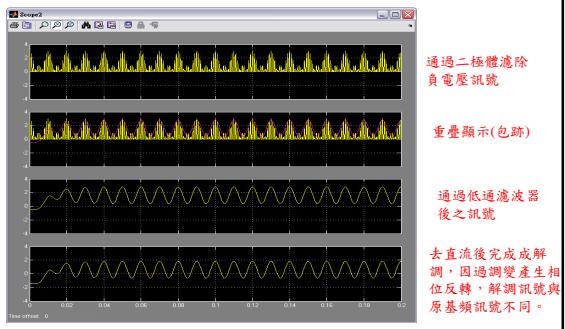
- ① 在時域觀察傳送端訊號：首先我們在時域上觀察傳送端之訊號，由下圖可觀察到Full AM訊號傳送端調變的過程。調變指數  $\mu = \frac{A_{\text{max}} - A_{\text{min}}}{A_{\text{max}} + A_{\text{min}}} = \frac{2 - (-0.5)}{2 + (-0.5)} = \frac{2.5}{1.5} = 166.7\%$



教育部資訊科技人才培育先導型計畫 實習三 振幅調變與解調之振幅與分析 45

## Full AM 調變與解調(過調變)時域模擬結果(續)

- ② 在時域觀察接收訊號：由下圖中可觀察到過調變的Full AM訊號接收端解調過程之波形。



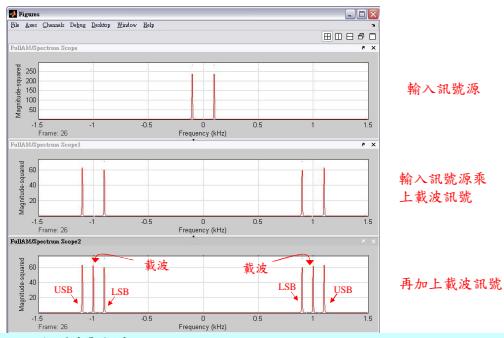
## Full AM 調變與解調(過調變)時域模擬結果(續)

- ③ 在時域觀察訊號：觀察輸入訊號源與解調完之訊號，因過調變產生相位反轉，解調訊號與原基頻訊號不同，由此驗證了前面分析的結果。



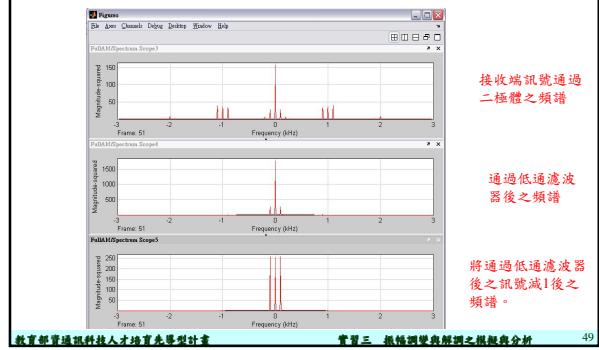
## Full AM 調變與解調(過調變)頻域模擬結果

- ④ 在頻域觀察傳送端訊號：由下圖中可觀察到Full AM訊號傳送端調變的過程。



## Full AM 調變與解調(過調變)頻域模擬結果(續)

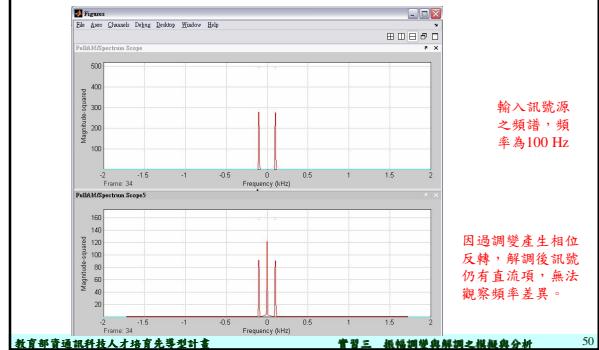
- ⑤ 在頻域觀察接收端訊號：由下圖中可觀察到Full AM訊號接收端解調過程的頻譜。



教育部資訊科技人才培育先導型計畫 實驗三 振幅調變與解調之振幅與分析 49

## Full AM 調變與解調(過調變)頻域模擬結果(續)

- ⑥ 在頻域觀察訊號：由此可很明顯觀察輸入訊號源與解調完之頻譜，並且驗證了前面所分析的結果。



教育部資訊科技人才培育先導型計畫 實驗三 振幅調變與解調之振幅與分析 50