

### 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。

---

---

---

---

---

---

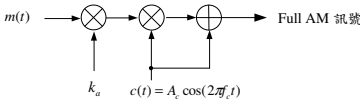
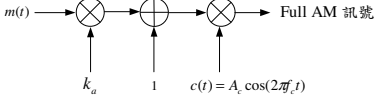
---

---

---

---

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


---

---

---

---

---

---

---

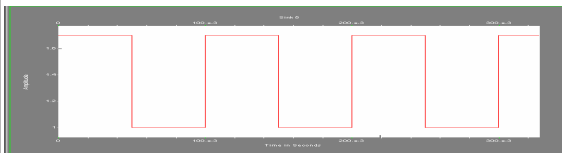
---

---

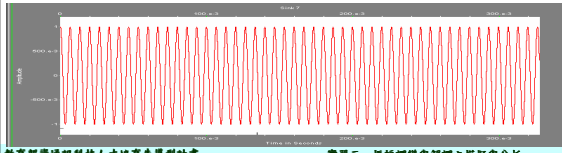
---

## 訊息與載波訊號

- 訊息訊號 (message signal)  $m(t)$



- 載波訊號(carrier signal)  $c(t)$




---

---

---

---

---

---

---

---

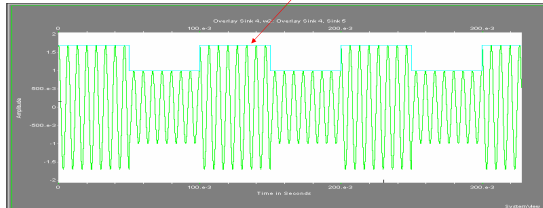
---

---

## 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)




---

---

---

---

---

---

---

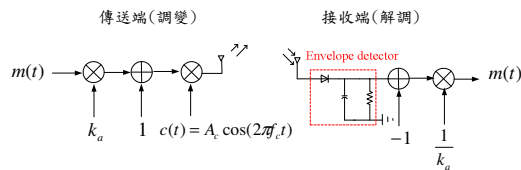
---

---

---

## 訊號解調

- 解調目的是把接收到的AM調變訊號，回覆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。




---

---

---

---

---

---

---

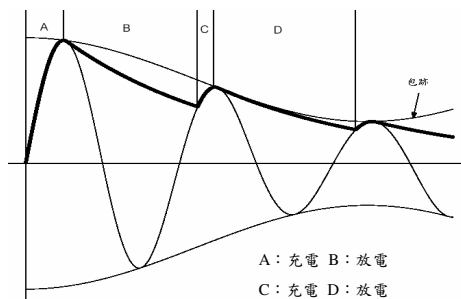
---

---

---

## 圖解波封檢測器解調訊號

圖解RC電路充放電原理




---

---

---

---

---

---

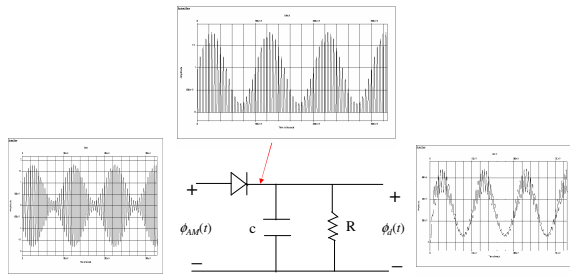
---

---

---

---

## 圖解波封檢測器解調訊號(續)




---

---

---

---

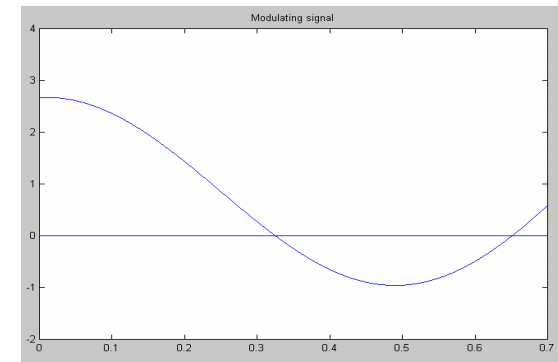
---

---

---

---

## 調變(訊息)訊號




---

---

---

---

---

---

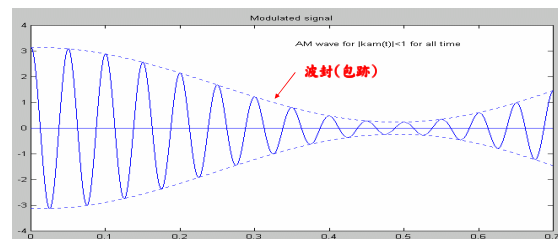
---

---

## 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。




---

---

---

---

---

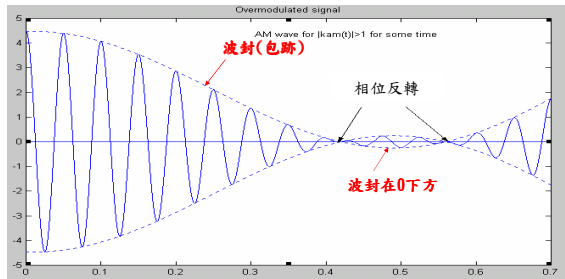
---

---

---

## 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：

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

---

---

---

---

---

---

---

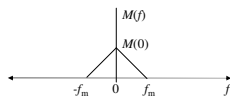
---

---

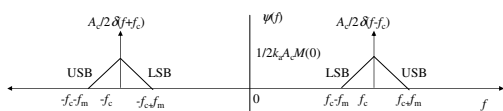
---

## 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)

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

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

$\mu=k_aA_m$ ：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)

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

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

---

---

---

---

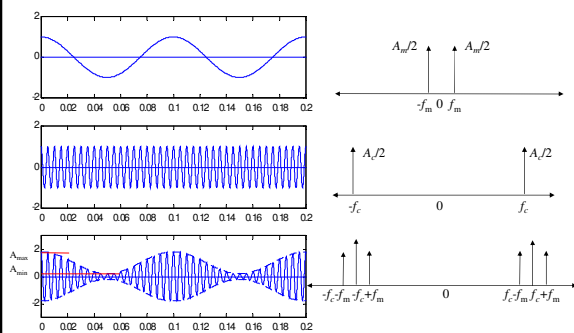
---

---

---

---

### 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

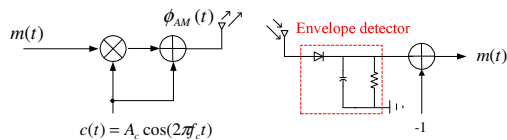
- Full AM 100%調變之模擬與探討
- Full AM 50%調變之模擬與探討
- Full AM 過調變之模擬與探討

### 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：

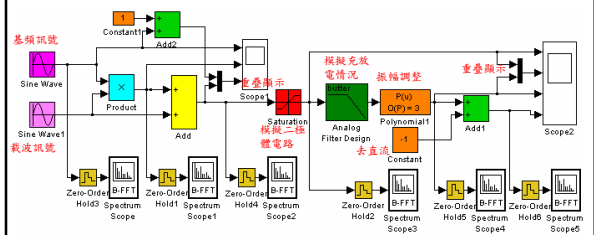


100

- 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。



---

---

---

---

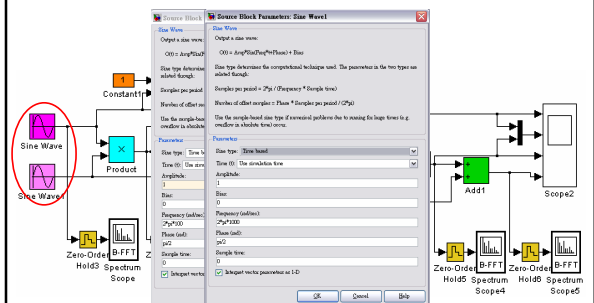
---

---

[illegible]

- 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： $c(t) = \cos(2000\pi t)$



---

---

---

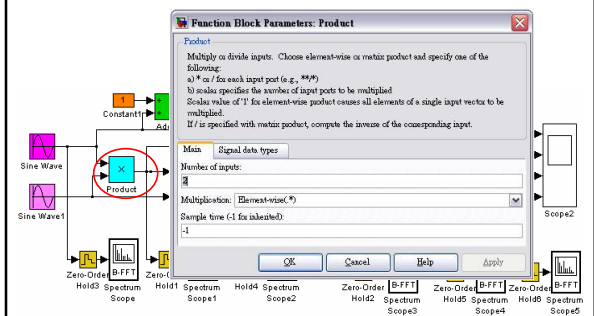
---

---

---

\_\_\_\_\_

- 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。

Function Block Parameters: Add

Sum

Add  $\alpha$  subtract inputs. Specify one of the following:

- a) string containing + or - for each input port, 1 for space between ports (e.g. ++i+)
- b) matrix  $\geq 1$ . A value  $> 1$  sums all inputs; 1 sums elements of a single input vector

Main Signal data types

Icon shape:  auto

List of signs: ++

Sample time (-1 for inherited): -1

OK Cancel Help Apply

教育部資訊科技人才培育先導型計畫 實習三 振幅調變與解調之模擬與分析 25

## Scope參數設定

⑤ 示波器設定，Number of axes這邊設定為，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。

Scope1

Scope1 parameters

General Data history Tip: try right clicking on axes

Axes

Number of axes: 4 ☐ floating scope

Time range: auto

Tick labels: bottom axis only

Sampling

Decimation: 1

OK Cancel Help Apply

time offset: 0 0.02 0.04 0.06 0.08 0.1

教育部資訊科技人才培育先導型計畫 實習三 振幅調變與解調之模擬與分析 26

## 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。

Function Block Parameters: Zero-Order Hold

Zero-Order Hold

Parameters

Sample time (-1 for inherited): 1/1000

OK Cancel Help Apply

教育部資訊科技人才培育先導型計畫 實習三 振幅調變與解調之模擬與分析 27

## 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。

Figure 28: Spectrum Scope parameter dialog box. The 'Scope Properties' tab is selected, showing settings for 'Spectrum Scope'. The 'Amplitude scaling' is set to 'Magnitude-squared'. The 'Line Properties' tab is also visible, showing 'Frequency scale' as 'Hz' and 'Frequency range' as '[-F0/2, F0/2]'. The 'Display Properties' tab is also visible, showing 'Display Properties'.

## Polynomial 多項式設定

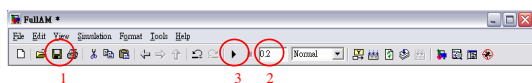
⑧ 多項式(Polynomial)設定，項目分別以逗點隔開，由最右項為最低幕次，以此往左邊類推，即降幕排列  $0x^6 + \dots + 4.5x^1 + 0.45x^0$ ，目的為調整受到低通濾波器影響之振幅。

Figure 29: Polynomial function block parameter dialog box. The 'Polynomial coefficients' field is set to '[0.45;-0.45]'. The 'Polynomial evaluation' section shows the calculation of P(x) given by the polynomial coefficient array P. The 'Polynomial coefficients' field is also highlighted with a red circle.

## 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

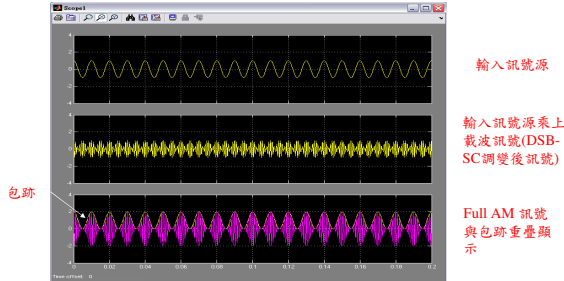
- ① 執行時間設定為0.2秒，此處的時間為模擬的停止時間。
- ② 可以先存檔再執行模擬。



## 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  $\mu = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} = \frac{1-0}{1+0} = 1 = 100\%$




---

---

---

---

---

---

---

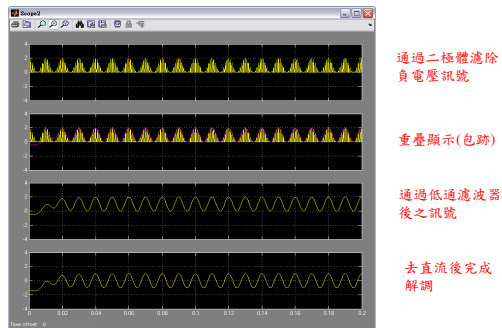
---

---

---

## 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。




---

---

---

---

---

---

---

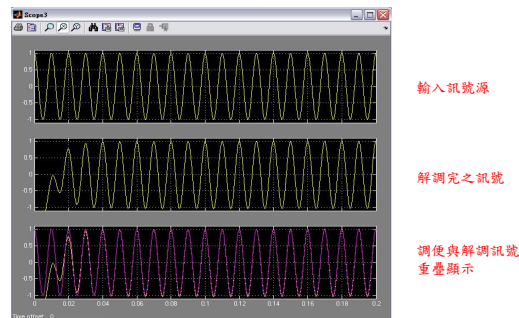
---

---

---

## 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。




---

---

---

---

---

---

---

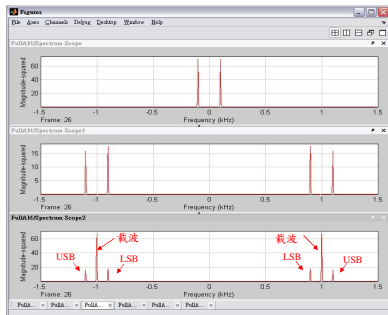
---

---

---

## 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。



輸入訊號源

輸入訊號源乘  
上載波訊號

再加上載波訊號

$$P_c = \frac{1}{2} A_c^2 = 0.5(W)$$

$$P_s = \frac{1}{8} \mu^2 A_c^2 = 0.125(W)$$

$$P_t = \frac{1}{8} \mu^2 A_c^2 = 0.125(W)$$

## 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。



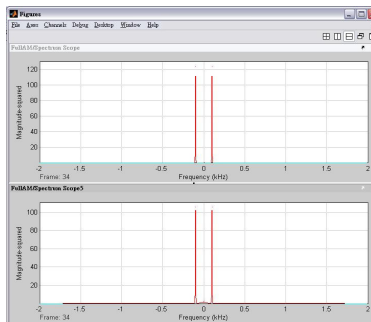
接收端訊號通過二  
極體之頻譜

通過低通濾波器後  
之頻譜

將通過低通濾波器後  
之訊號減1(dc term)以  
達成解調。

## 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，並且驗證了前面所分析的結果。



輸入訊號  
源之頻譜

解調完訊  
號之頻譜

## 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。

Source Block Parameters: Sine Wave1

Number of offset samples = Phase \* Samples per period / (2 $\pi$ )

Use the sample-based time type if numerical problems due to rounding fix is overflow in absolute time) occur.

Parameters

Size type: Time based

Time (s): Use simulation time

Amplitude: 0.5

Phase (rad): 0

Frequency (rad/sec): 2 $\pi$ \*1000

Phase (rad):  $\pi/2$

Sample time: 0

☒ Interpret vector parameter as 1-D

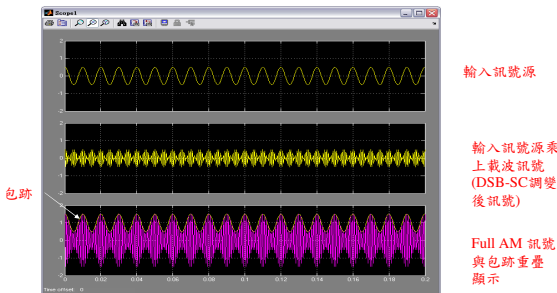
OK Cancel Help

教育館資訊科技人才培育先導型計畫 實習三 振幅調變與解調之模擬與分析 37

## Full AM 調變與解調(50%調變)時域模擬結果

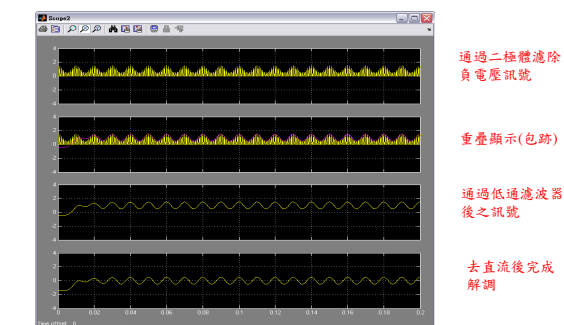
### Step 4：模擬結果分析

- 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  $\mu = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} = \frac{1.5 - 0.5}{1.5 + 0.5} = \frac{1}{2} = 50\%$



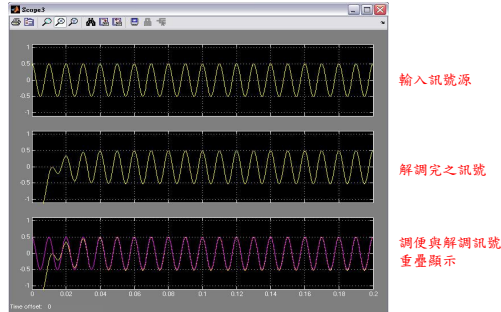
## Full AM 調變與解調(50%調變)時域模擬結果(續)

- 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。




---

---

---

---

---

---

---

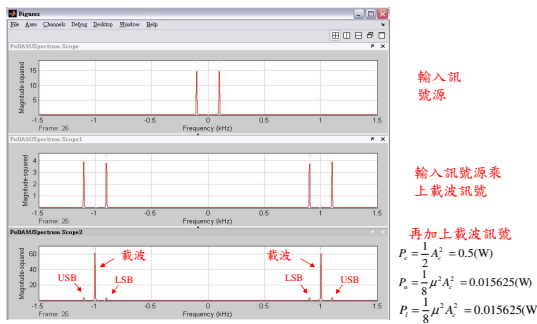
---

---

---

## 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。




---

---

---

---

---

---

---

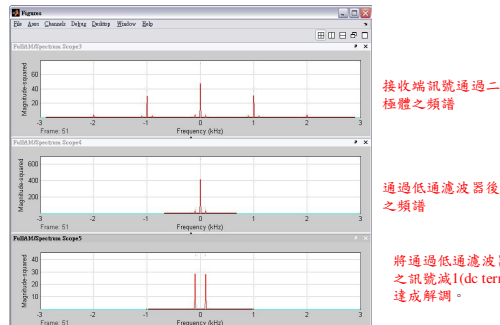
---

---

---

## 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。




---

---

---

---

---

---

---

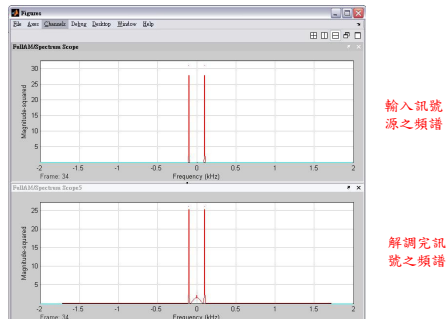
---

---

---

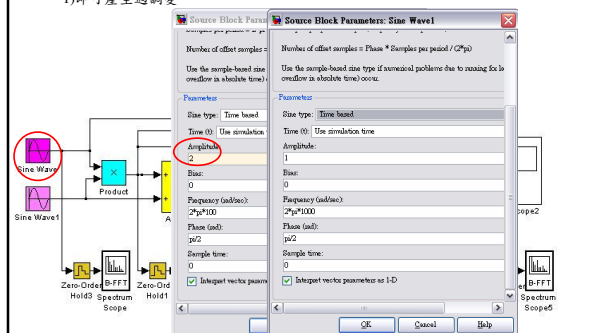
### Full AM 調變與解調(50%調變)頻域模擬結果(續)

- 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。



## Full AM 調變與解調(過調變)

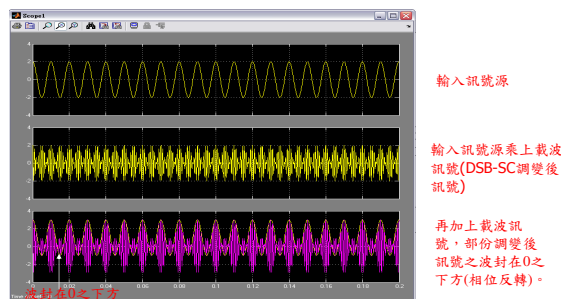
- 在此，修改「Step 2：設定訊號參數」之基頻訊號 $m(t)$ 參數的振幅 $A_m$ 為2(大於1)即可產生過調變。



### Full AM 調變與解調(過調變)時域模擬結果

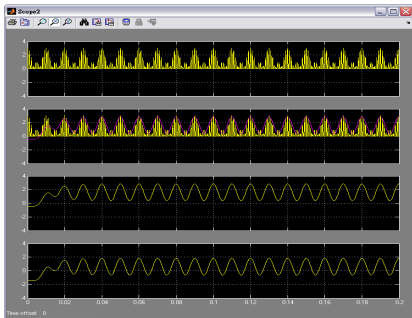
#### Step 4：模擬結果分析

- 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  $\mu = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} = \frac{2 - (-0.5)}{2 + (-0.5)} = \frac{2.5}{1.5} = 166.7\%$



## Full AM 調變與解調(過調變)時域模擬結果(續)

- ② 在時域觀察接收端訊號：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。



通過二極體濾除  
負電壓訊號

重疊顯示(包跡)

通過低通濾波器  
後之訊號

去直流後完成解  
調，因過調變產生相  
位反轉，解調訊號與  
原基頻訊號不同。

---

---

---

---

---

---

---

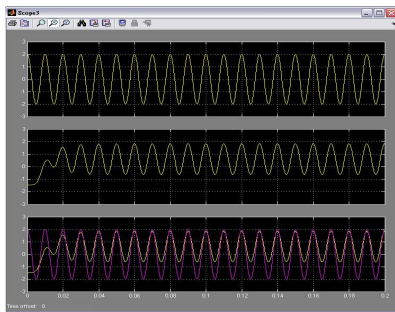
---

---

---

## 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。



輸入訊號源

解調完之訊號

去直流後完成成  
解調，因過調變  
產生相位反轉，  
解調訊號與原基  
頻訊號不同。

---

---

---

---

---

---

---

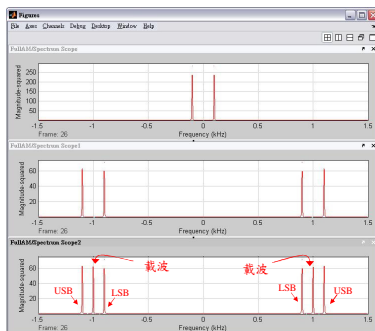
---

---

---

## 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。



輸入訊號源

輸入訊號源乘  
上載波訊號

再加上載波訊號

---

---

---

---

---

---

---

---

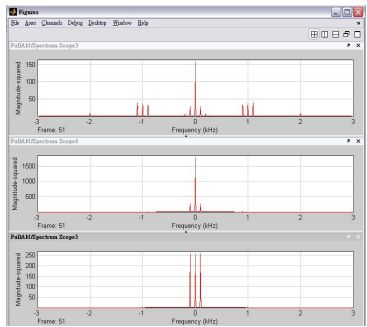
---

---



## 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。



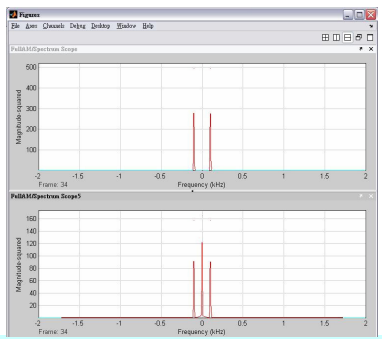
接收端訊號通過  
二極體之頻譜

通過低通濾波  
器後之頻譜

將通過低通濾波  
器後之訊號減1後之  
頻譜。

## 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。



輸入訊號源  
之頻譜，頻  
率為100 Hz

因過調變產生相位  
反轉，解調後訊號  
仍有直流項，無法  
觀察頻率差異。