

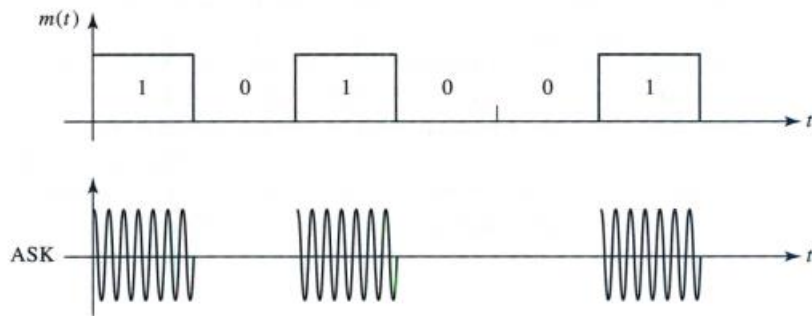
# 實驗十

# 10

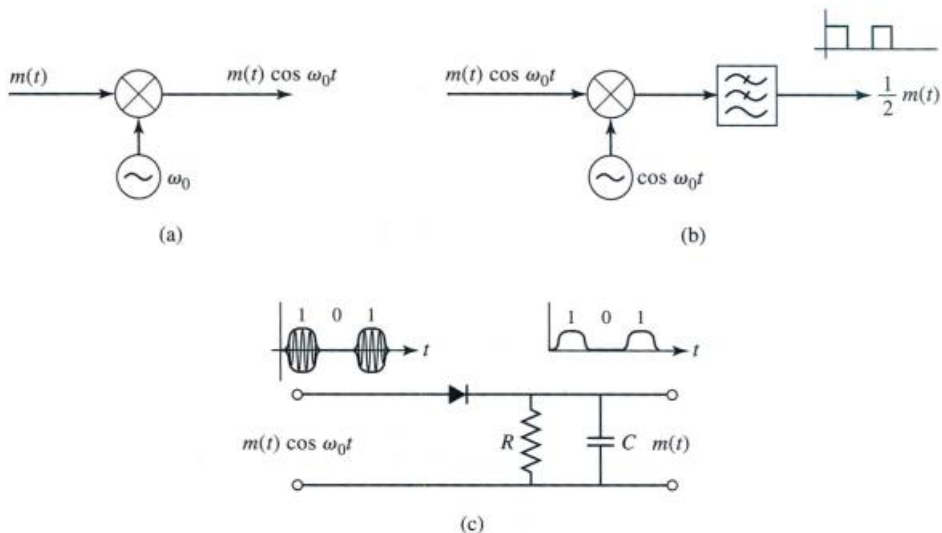
## 訊號的調變與解調

實驗原理：

調變是將訊息承載到較高頻的載波(carrier)以方便進行無線傳送的重要技術，可以透過訊息的波形，調變載波的震幅，頻率或是相位。如果訊息是數位波形，同樣也可以用來調變載波的震幅，頻率或是相位。以圖一中的  $m(t)$  為例，它是一個使用電壓高低代表數位 0/1 的波形，下方為對應的 ASK (amplitude shift keying) 調變後的訊號。當  $m(t)$  為高電位時傳送有振幅的載波，當  $m(t)$  為低電位時，就不傳送載波訊號，此時的震幅為 0。



圖一、ASK 調變之(上)基頻訊號及(下)調變後訊號的時域波形。



圖二、ASK 訊號之(a)調變、(b)解調及(c)使用 rectifier 進行解調的電路圖。

要產生 ASK 調變的訊號，可以使用如圖二(a)的電路，使用混波器將  $\cos(\omega_0 t)$  的本地震盪訊號與  $m(t)$  相乘，或是更簡單的方式是使用  $m(t)$  的訊號來控制開關，在  $m(t)$  為高電位時，讓

$\cos(\omega_0 t)$  可以傳送到輸出端，在  $m(t)$  為低電位時 被切斷，就不傳送載波訊號。而在接收端，如圖二(b)的電路，是將收到的訊號，與  $\cos(\omega_0 t)$  經由混波器相乘，再經過低頻濾波，就可以得到  $m(t)$  的訊號。此種方式，因為在接收端還需要產生  $\cos(\omega_0 t)$  的訊號，電路較為複雜。在圖二(c)的則是使用 diode 作為 rectifier，將訊號的振幅直接解出，再經過 RC 濾波，也可以得到原來輸入的  $m(t)$  的波形，此方式的電路較為簡單。

對於基頻的訊號，因為頻率較低，一般可以直接使用示波器觀察訊號在時域的波形，但對於調變以後的訊號，因為頻率較高，較不容易使用示波器來觀察它的波形。此時就可以使用頻譜分析儀來觀察調變後的訊號的頻譜特性。本實驗將利用 Arduino Uno 版子產生不同頻率的基頻訊號，經由 433MHz 發射器調變到 433MHz 後，再由頻譜分析儀觀察頻域上的特性。

以下說明調變後的頻譜的特性，先假設  $m(t)$  為一個頻率為的正弦波：

$$m_0(t) = \cos(\omega_1 t) \quad (1)$$

此訊號與頻率為本地振盪訊號在混波器相乘之後，可以得到

$$v_o(t) = m_0(t) * \cos(\omega_0 t) = \frac{1}{2} [\cos(\omega_0 t + \omega_1 t) + \cos(\omega_0 t - \omega_1 t)] \quad (2)$$

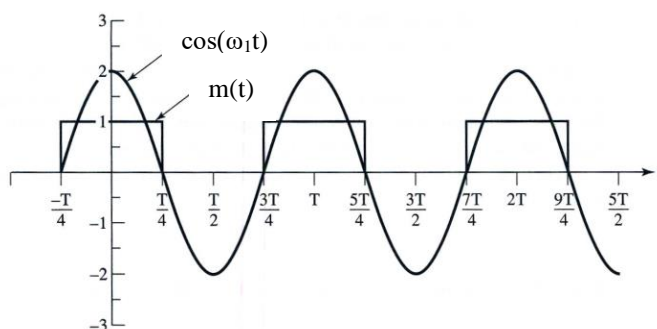
此時輸出訊號會有兩個頻率的成分，分別為  $\omega_0 + \omega_1$  及  $\omega_0 - \omega_1$  項。

如果輸入訊號  $m(t)$  為一個如圖三所示的方波，週期對應的頻率也是  $\omega_1$ ，對於方波的  $m(t)$  可以表示為它的 Fourier series：

$$m(t) = \frac{1}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} A_i \cos(i \cdot \omega_1 t) \quad (3)$$

此時對應在混波器的輸出訊號可以表示為：

$$v_o(t) = m(t) * \cos(\omega_0 t) = \frac{1}{2} \left[ \cos(\omega_0 t) + \sum_{i=1}^{\infty} (A_i \cos(\omega_0 t \pm i \cdot \omega_1 t)) \right] \quad (4)$$



圖三、方波與 cos 波的時域波形。

(4) 表示混波器的輸出訊號包含許多的頻譜成分，由中央的  $\omega_0$  項向高頻每隔  $\omega_1$  就會有一個 tone 訊號，同樣往低頻方向也是每隔  $\omega_1$  就會有一個 tone 訊號，向左右延伸。在本實驗中，我們將輸入不同頻率的方波，觀察在頻譜分析儀上，是否確實可以看到理論預測的間隔  $\omega_1$  的多個 tone。

在實驗中，我們將使用兩種不同的電路來解調訊號。第一種方式，是使用對應的 433MHz 接收模組，此模組基本架構與圖二(b)類似，透過混波器將訊號解回基頻的波形，我們可以使用示

波器來觀察是否有將訊號解回來，解出的訊號因為剛好也在聲頻的範圍，我們也可以使用蜂鳴器，來聽到對應的聲頻的訊號。另一方面，我們也將使用實驗一中使用的晶體檢波器 **power detector**，將 **envelop** 解出後，基本架構如圖二(c)，再用示波器來觀察解出的波形是否與輸入波形的頻率相同。注意此時的接收器是不需要使用 DC 電源的。

#### 實驗器材：

1. USB 頻譜分析儀(Signal hound SA124B)，面板操作參見附錄 A-11
2. Arduino Uno 電路版
3. 433 MHz 或 418 MHz 發射器及接收器
4. 麵包版及杜邦線
5. 4G LTE 天線(700MHz~2700MHz)
6. 蜂鳴器
7. 示波器
8. 晶體檢波器(Agilent 423B)，資料參見附錄 A-2。

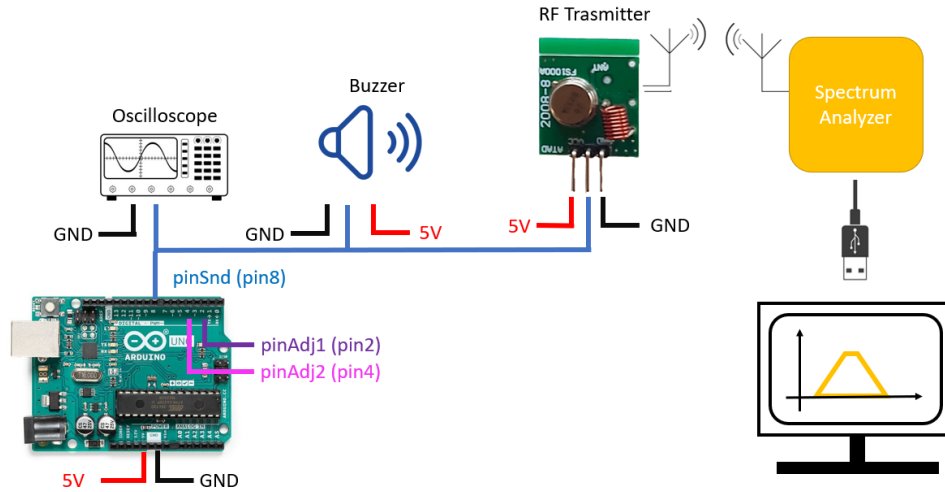
#### 實驗目的：

觀察基頻訊號及調變後訊號的特性，並觀察解調後訊號的特性。

#### 實驗步驟：

##### 第一部分、調幅調變頻譜分析

1. 如圖六(a)所示，將 Arduino 的 **pinSnd** 接到蜂鳴器、RF 發射器以及示波器，此接點的電壓會是產生調幅調變的 **envelop (m(t))**。
2. Arduino 產生的 **Envelop** 有 4 種模式，透過 **pinAdj1** 和 **pinAdj2** 連接 5V 或 GND 控制。參照圖六(b)的真假值表，可以利用 **pinAdj1** 和 **pinAdj2** 產生 1kHz/2kHz/3kHz 的方波或是一段未知的旋律。
3. 將 USB 頻譜分析儀 SMA 接頭接上 4G LTE 天線，將 USB 連接埠接到電腦，開啟 **Spike**。
4. 參考 RF 模組的包裝，將頻譜分析儀的中心頻設為 RF 發射器模組的載波頻率，初始頻寬設為 10 MHz。
5. 利用 **peak search** 找到功率最大的頻率，以該頻率為中心，重新設定中心頻率，並將頻寬縮小為 30kHz。
6. 理論頻譜應如圖七所示，中心頻率的功率最大，中心頻率兩側的功率呈對稱分布，並以方波頻率(1kHz/2kHz/3kHz)為周期出現。
5. 改變 **pinAdj1** 和 **pinAdj2** 的電壓，產生 1kHz/2kHz/3kHz 的方波，觀察 **envelop** 頻率改變時，頻譜的能量分布會如何變化。

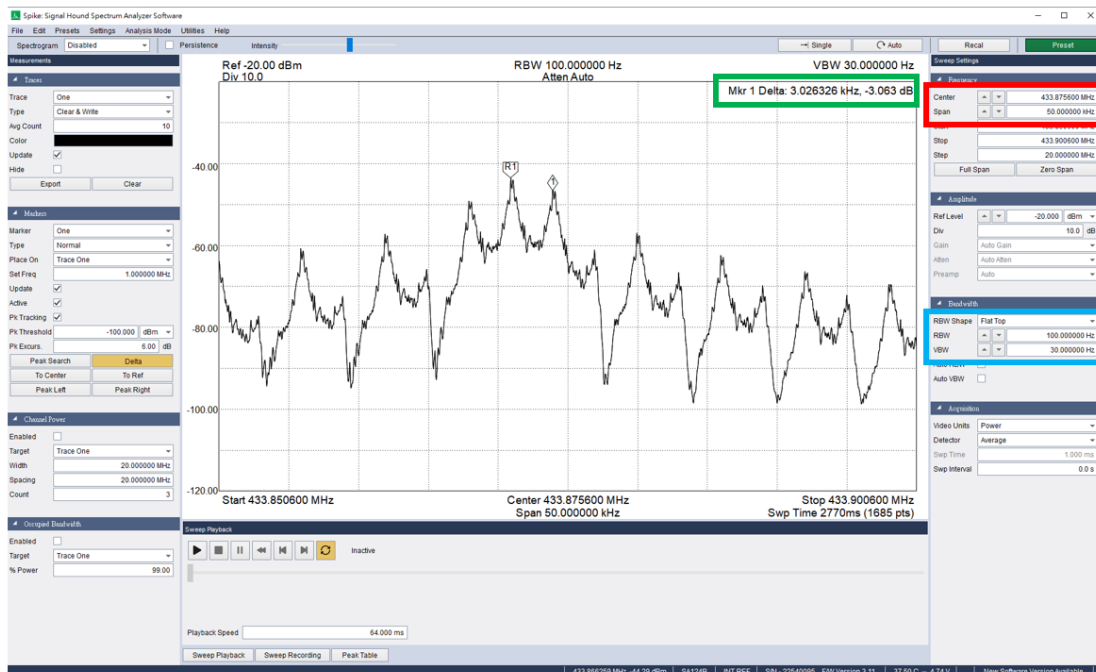


(a)

	pinAdj1	pinAdj2
1 kHz	Gnd	5V
2 kHz	5V	Gnd
3 kHz	5V	5V
Melody	Gnd	Gnd

(b)

圖六、(a) Arduino 調變模組接線圖 (b) 調變控制真假值表

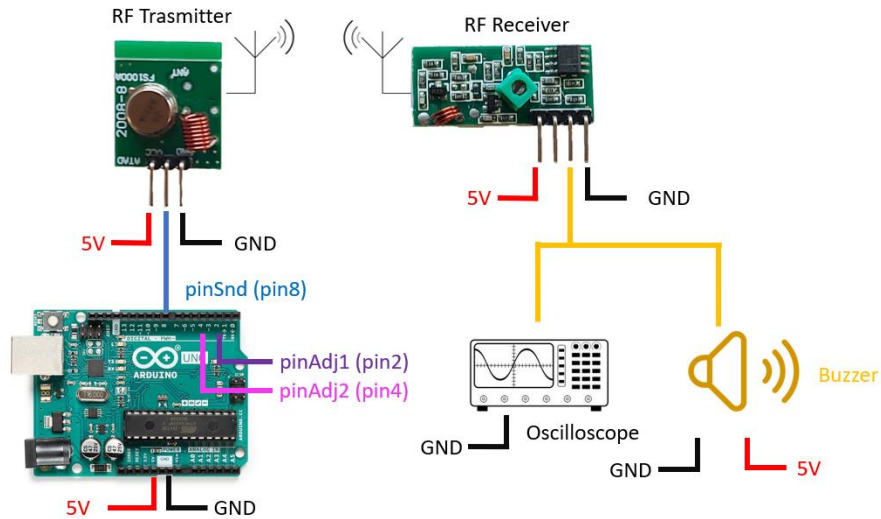


圖七、Spike 軟體設置與 Arduino 輸出 3kHz 頻譜時的頻譜範例。中心頻率設定如紅框(Center:433.8756 MHz; Span: 50 kHz)；頻譜分析解析度如藍框(RBW: 100Hz; VBW: 30Hz)；頻譜週期出現的間隔如綠框

(Delta: 3kHz)。

## 第二部分、RF 接收模組解調

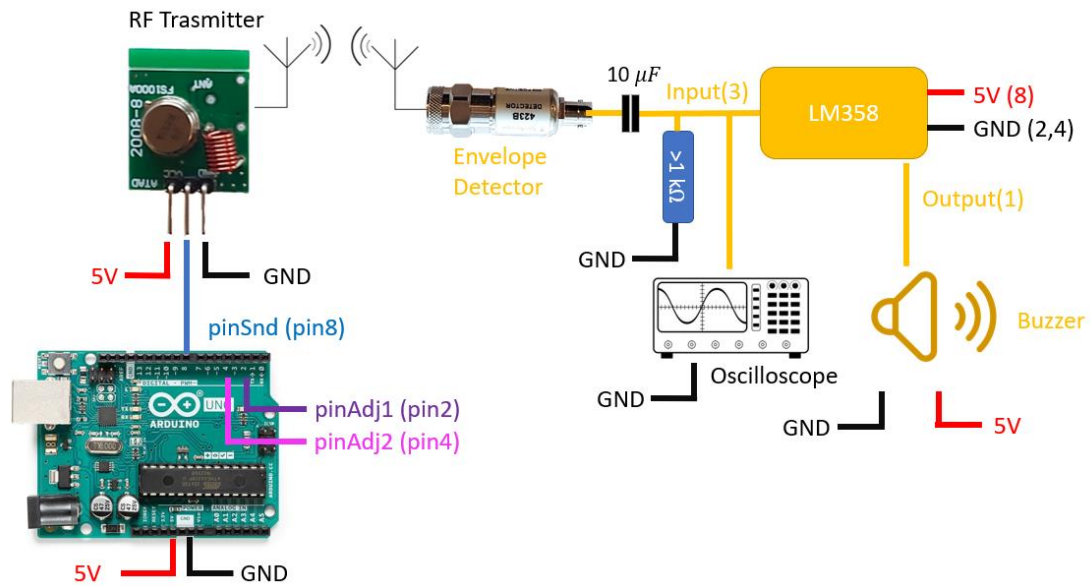
1. 如圖八所示，使用 RF 接收模組解調訊息，並將解調訊息驅動蜂鳴器。
2. 參照圖六(b)，調整 pinAdj1 和 pinAdj2 電壓，產生未知的旋律訊號，仔細聆聽並準備哼給老師或助教聽。



圖八、RF 接收模組解調實驗

## 第三部分、晶體檢波器解調

1. 如圖九所示，使用晶體檢波器搭配運算放大器，即可解調 RF 發射模組的訊號。
2. 使用 N-Type/SMA 轉接頭，將晶體檢波器與 4G LTE 天線連接，並用 BNC/鱷魚夾的轉接線將晶體檢波器的電壓接到 LM358 運算放大器的輸入端。
3. LM358 在此做為比較器，當晶體檢波器的輸入電壓高於 0mV 時，LM358 就會將輸出電壓放大到 5V，並利用輸出電壓觸發接收端的蜂鳴器。
4. 改變 pinAdj1 和 pinAdj2 的電壓，產生未知的旋律訊號，仔細聆聽。此旋律應該與實驗二的未知旋律相同。



圖九、晶體檢波器解調實驗

※ 各組思考問題 10-1 :

1. 若方波的 duty cycle=50%，週期為  $T$ ，震幅為  $V_0$ ，請推導(3)中  $A_i$  的表示式。並與量測所的結果比較，是否符合式子的預測。
2. 我們是使用方波進行調變，而不是正弦波，不過仍然可以聽到音樂的曲調，請說明可能的原因。
3. 天線尺寸與可傳送距離
4. 如果改用正弦波輸入到發射器中，
5. 如果圖二(a)的發射端與(b)的接收端的本地振盪器的訊號頻率相同，但是兩者間有一個  $\theta$  的相位差，對於解調出來的訊號有何影響？

# 實驗十 實驗紀錄表

組別：

## 訊號的調變與解調

Modulating signal time domain waveform

Signal type	Vmax (V)	Vmin (V)	Duty cycle (%)	Period	Measured Frequency (Hz)
1kHz					
2kHz					
3kHz					

請擷取時域波形，並使用 **marker** 量測震幅，週期及頻率

Modulated signal frequency domain spectrum

Signal type: 1kHz:

<i>n</i>	Frequency (MHz)	Magnitude (dBm)
0		
+1		
+2		
-1		
-2		

Signal type: 2kHz:

<i>n</i>	Frequency (MHz)	Magnitude (dBm)
0		
+1		
+2		
-1		
-2		

Signal type: 3kHz:

<i>n</i>	Frequency (MHz)	Magnitude (dBm)
0		
+1		
+2		
-1		
-2		

請擷取頻域波形，並使用 marker 量測震幅及頻率

#### Demodulated signal by receiver

Signal type	Vmax (V)	Vmin (V)	Duty cycle (%)	Period	Measured Frequency (Hz)
1kHz					
2kHz					
3kHz					

請擷取時域波形，並使用 marker 量測震幅，週期及頻率

#### Demodulated signal by power detector

Signal type	Vmax (V)	Vmin (V)	Duty cycle (%)	Period	Measured Frequency (Hz)
1kHz					
2kHz					
3kHz					

請擷取時域波形，並使用 marker 量測震幅，週期及頻率