

實驗十一

11

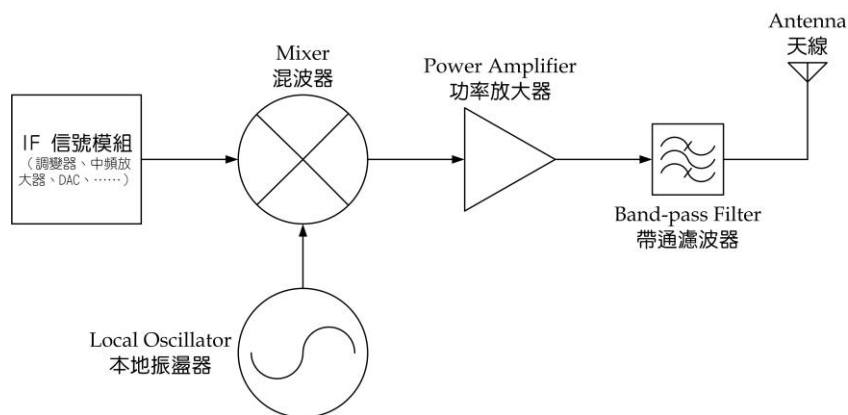
無線通訊模組實驗

11-1 混波器與帶通濾波器量測

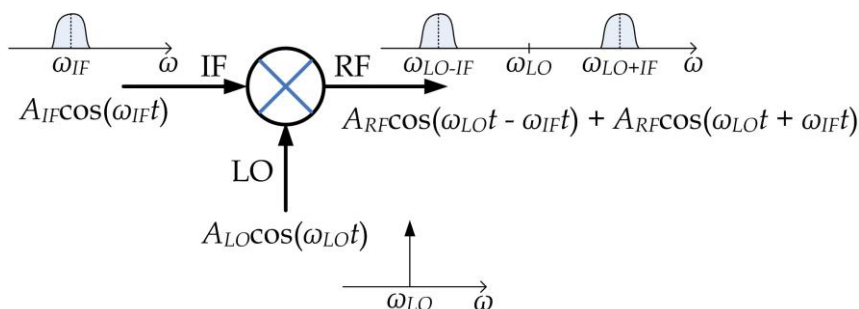
實驗原理：

混波器為無線通訊模組中，作為將載波升頻或降頻的元件。在作為升頻的功能時，如圖一所示。由於理想上可將混波器想成可兩信號相乘的元件，因此，當中頻(IF)信號 f_{IF} 經過混波器，並且加入本地振盪(LO)信號 f_{LO} ，在混波器的射頻(RF)輸出端，會產生 $f_{LO} \pm f_{IF}$ 信號（圖二），經過濾波器將不要的信號濾除，取出想要的信號，經由天線發射。

在射頻輸出端會有 $f_{LO} + f_{IF}$ 、 $f_{LO} - f_{IF}$ 、 f_{LO} 三個頻率信號，一般的通訊系統會擇一選取 $f_{LO} + f_{IF}$ 或 $f_{LO} - f_{IF}$ 信號，因為在實際的情況下，混波器射頻端與本地振盪端之間的隔離度 (RF-LO isolation) 並非無窮大，因此混波器的射頻輸出端仍然有本地振盪信號漏出，這個 f_{LO} 信號則是不希望混附發射的信號，所以在其後再加一濾波器，用以選擇出正確的載波頻率。



圖一、發射機(transmitter)方塊圖。



圖二、(理想狀況下)混波器的工作原理。

混波器基本原理是將兩信號做乘法運算，因此係使用非線性之元件，一般來說可用二極體

(diode) 或場效電晶體 (FET) 設計混波器，但是這些元件的特性通常並非簡單的二次方關係可描述。比如說，二極體電壓－電流關係可表示如下

$$I \sim V = I_0 + v \left(\frac{dI}{dV} \right)_{V_0} + \frac{1}{2} v^2 \left(\frac{d^2 I}{dV^2} \right)_{V_0} + H.O.T.$$

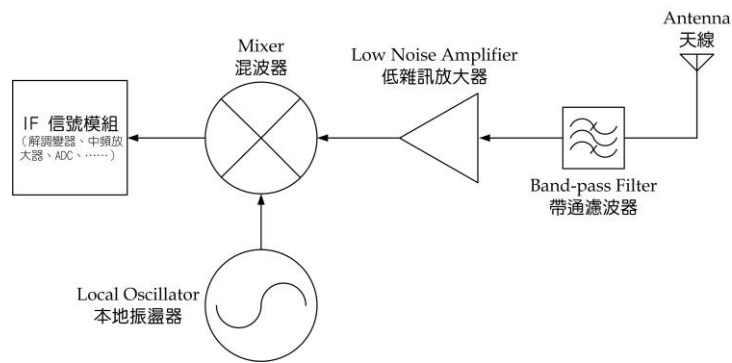
其中 $V = V_0 + v$ ，上式的 v 為小信號。因此當 v 為本地振盪信號與中頻信號相加，即 $v = A_{IF} \cos \omega_{IF} t + A_{LO} \cos \omega_{LO} t$ ，可以預期輸出的信號將會有 v 、 v^2 、 v^3 、.....等項，因此並非理想上的相乘關係，而是會有許多項的弦波成份，例如，其中 v^3 項可產生以下這些成份的弦波

$$\cos 2\omega_{LO} - \omega_{IF} t, \cos 2\omega_{LO} + \omega_{IF} t, \cos 3\omega_{LO} t, \cos 3\omega_{IF} t$$

因此在混波器的射頻輸出，我們可以觀察到除了 f_{LO} 、 $f_{LO} + f_{IF}$ 、 $f_{LO} - f_{IF}$ 信號以外，還有許多其他的頻率成份存在。

$f_{LO} + f_{IF}$ 和 $f_{LO} - f_{IF}$ 因二信號頻率相差 $2f_{IF}$ ，一般的濾波器較易將另一個不需要的頻率（稱為 **image** 頻率）以較佳的效果濾除。但是 f_{LO} 因為和 $f_{LO} + f_{IF}$ 及 $f_{LO} - f_{IF}$ 都只相差 f_{IF} 頻率，相較於 **image** 頻率較難去除。為避免 f_{LO} 隨發射載波發射到空中，造成干擾其它通訊頻段內之正常通信，也因各國的無線通訊法規對此點也都有嚴格限制，因此發射用的升頻器元件應儘量避免讓 f_{LO} 信號傳到射頻端。

當混波器在接收端當降頻器使用時（如圖三），若 $f_{RF} > f_{LO}$ ，則 $f_{IF} = f_{RF} - f_{LO}$ ，但由射頻端進入接收機之信號若為 $f_{LO} - f_{IF}$ ，則經過混波器後仍會產生相同的 f_{IF} 信號，此干擾信號為接收機的映像(**image**)信號。所以在接收機的降頻器前加一個濾波器，用以阻隔此一映像信號，以避免接收機被不正常的干擾。此濾波器稱為映像帶阻濾波器(**image rejection filter**)。另一考量為若 f_{LO} 信號經由此混波器傳到射頻端，則易由接收端經由天線，造成不必要的 f_{LO} 輻射。因此，混波器中本地振盪端到射頻端的隔離度參數，和濾波器中對映像頻率的阻隔度參數，均為判斷元件優劣之重要參數之一。



圖三、接收機(receiver)方塊圖。

一般來說，當我們拿到一份混波器的規格文件時，通常都會看到以下幾個描述一顆混波器的參數。

1. 使用頻段 (RF/LO/IF frequency range)
2. 各埠電壓駐波比 (RF/LO/IF VSWR)

3. 混波器本地振盪埠與中頻埠之間的隔離度 (LO-to-IF isolation) 以及混波器本地振盪埠與射頻埠之間的隔離度 (LO-to-RF isolation)
4. 轉換損失 (conversion loss) 或轉換增益 (conversion gain)
5. IP_3 (third-order intercept point) 或 P_{1dB} (1 dB compression)

第一項和第二項主要是描述可用頻段及其各埠反射係數，在其它元件也都常見。比較特別的是第三、四、五項。第三項描述本地振盪信號漏到中頻埠與射頻埠的大小，本地振盪信號漏至射頻/中頻端的壞處已在前面提及。第五項為描述元件非線性的特性（參見思考問題 11-1）。第四項則是描述信號從中頻頻段轉換到射頻頻段後，功率的損失或增加量，比如說，若有一中頻頻段 2.4 GHz 且其功率為 10 dBm 的信號輸入至混波器的中頻端，在混波器的本地振盪端有 10 GHz 且功率為 5 dBm 的信號輸入，混頻後射頻端輸出的信號為 7.6 GHz，經量測後發現此 7.6 GHz 信號的功率大小為 2 dBm，10 dBm 的中頻信號轉換後變成 2 dBm 的射頻信號，我們就可以說此混波器在 +5 dBm 本地振盪輸入時，其轉換損失為 8 dB。其中要注意的是，轉換損失會隨著本地振盪信號功率大小的不同而改變，我們可以調整本地振盪信號的功率大小，使混波器操作在轉換損失最小的狀況，以降低整個系統的功率損耗。一般來說，在一份混波器的規格文件也會看到廠商建議的本地振盪輸入功率範圍，或是轉換損失對不同本地振盪輸入功率所作的曲線。

本節實驗將量測混波器的特性以及帶通濾波器的插入損耗特性，將量到的數據記下，以便 11-2 節實驗時可利用。

實驗器材：

1. 微波信號源(Agilent N5183A)
2. 頻譜分析儀(Agilent E4408B)，面板操作參見附錄 A-16
3. 微波介質振盪器(dielectric resonator oscillator, DRO - 10 GHz)
4. 帶通濾波器
5. 可調式衰減器
6. 混波器(Mini-circuits ZX05-153-S+)，資料參見附錄 A-17
7. 轉接頭(N-SMA)
8. 同軸線(SMA coaxial cable)
9. 網路分析儀(Agilent N5230A、E5071C)

實驗目的：

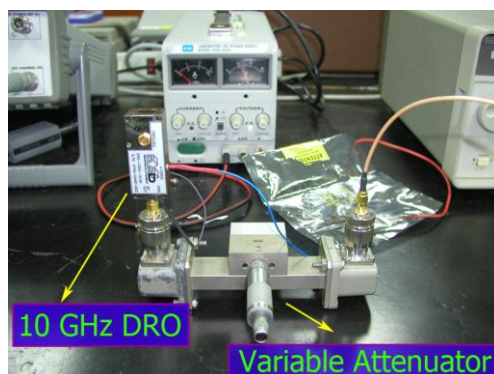
學習量測混波器元件和帶通濾波器元件，以獲得基本特性與相關參數。

實驗步驟：

第一部份：混波器特性量測

1. 將可調式衰減器與介質共振腔振盪器相接，以此為本地振盪器信號模組。

2. 將 DC 電源 18V 加於介質共振腔振盪器，在作實驗的過程中，需注意電源線是否有短路的現象。之後將介質共振腔與可調式衰減器的輸出透過同軸線 1（如圖四），輸出至頻譜分析儀，透過頻譜分析儀觀察輸出信號的頻率及其輸出功率；調整可調式衰減器使其經同軸線 1 至頻譜分析儀之輸出功率為 $P_{LO}=10\text{dBm}$ ，然後接至混波器的本地振盪端。



圖四、介質共振腔與可調式衰減器。

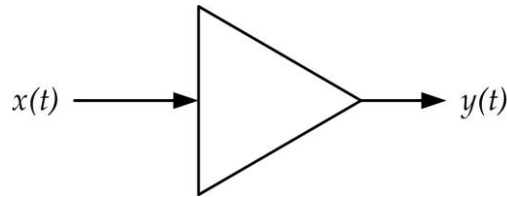
3. 混波器升頻轉換損失量測：微波信號源頻率調整為 $f_{IF}=2.4\text{ GHz}$ ，輸出端經另一同軸線 2 接至頻譜分析儀，調整微波信號源輸出功率至頻譜分析儀讀數為 -50 dBm 。
4. 將微波信號源輸出端經同軸線 2 接至混波器的中頻端，然後將混波器的射頻端直接接至頻譜分析儀，由微波信號源至混波器的中頻輸入功率從 -50 dBm 每隔 10 dB 慢慢增加到 10 dBm ，並記錄每一次的射頻輸出信號的大小。其中，因為混波器的非線性特性，其射頻輸出的主要信號包含了 $LO+IF$ 及 $LO-IF$ 的頻率成份，並且因為混波器的本地振盪端與射頻/中頻端並非完全隔離(isolated)，因此在混波器的射頻輸出亦會觀察到本地振盪信號。故每一次需記錄的射頻輸出信號大小包含三個頻率項： $LO-IF = 7.6\text{ GHz}$ 、 $LO+IF = 12.4\text{ GHz}$ 、以及 $LO = 10\text{ GHz}$ 的信號大小。
5. 混波器降頻轉換損失量測：調整可調式衰減器使本地振盪器信號模組經同軸線 1 之輸出功率為 $P_{LO}=10\text{dBm}$ ，仍接至混波器的本地振盪端；微波信號源的輸出端經同軸線 2 接至混波器的射頻端，頻率調整為 $f_{RF}=12.4\text{ GHz}$ ，然後將混波器的中頻端以同軸線 2 直接接至頻譜分析儀，調整微波信號源輸出功率至頻譜分析儀讀數為 -50 dBm 。
6. 由微波信號源至混波器的中頻輸入功率從 -50 dBm 每隔 10 dB 慢慢增加到 10 dBm ，並記錄每一次混波器的中頻端於 2.4GHz 輸出信號的大小。
7. 改變步驟 5，微波信號源頻率調整為 $f_{RF}=7.6\text{GHz}$ ，混波器的中頻輸入功率從 -50dBm 每隔 10dB 慢慢增加到 10dBm ，並記錄每一次混波器的中頻端於 2.4GHz 輸出信號的大小。

第二部份：帶通濾波器特性量測

1. 校準網路分析儀，使用完整二埠校準，頻率為 $5\text{GHz}\sim 13\text{GHz}$ 。
2. 量測第一個帶通濾波器之穿透損失(insertion loss, IL)、輸入及輸出埠的反射損失(return loss, RL)，分別記錄 7.6GHz 、 10GHz 、 12.4GHz 的大小，並儲存網路分析儀之量測圖檔。
3. 量測第二個帶通濾波器，重覆步驟 2。

※各組思考問題 11-1：

1. 查資料，試述 **third-order intercept point (IP₃)** 以及 **1 dB gain compression** 的定義為何，並說明兩者有何關連。這兩個參數在收發系統中重要性為何？
2. 試考慮一非線性電路元件，其輸入輸出信號的關係可以簡單表示成下面的式子，若輸入信號 $x(t) = A\cos\omega_1 t + A\cos\omega_2 t$ 至此元件，試問其輸出信號有哪些弦波的成份存在，各成份的大小也請表示出來。



$$y(t) = \alpha_1 x(t) + \alpha_2 x(t)^2 + \alpha_3 x(t)^3$$

3. 頻譜分析儀的解析頻寬(**resolution bandwidth**)和掃描時間(**sweep time**)的功能為何？有何關係？實驗時，在何種狀況下需要調整解析頻寬或掃描時間？可否調成任意小的解析頻寬及任意快的掃描時間？
4. 解釋下列與頻譜分析儀上功能有關的名詞：
(1) 『reference level』、(2) 『video bandwidth』、(3) 『zero span』

參考資料：

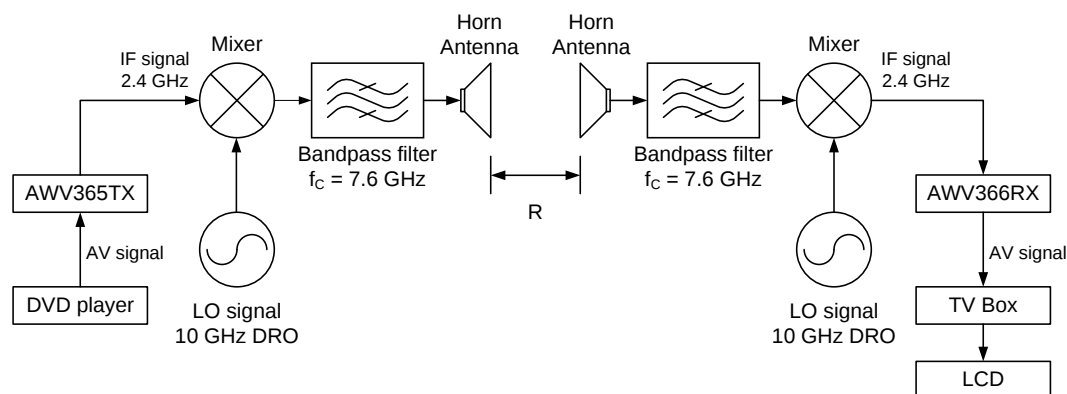
- [1] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 4th ed., John -Wiley, 2011.
- [2] K. Chang, *RF and Microwave Wireless Systems*, John-Wiley, 2000.
- [3] B. Razavi, *RF Microelectronics*, Prentice-Hall, 1998.
- [4] B. Leung, *VLSI for Wireless Communication*, Prentice-Hall, 2002.
- [5] S. Haykin, *Communication System*, 4th ed., John -Wiley, 2001.
- [6] *Manual of Agilent E4408B Spectrum Analyzers User's Guide*.
- [7] *Manual of Agilent 5183A Signal Generator Operation and Service Guide*.

11-2 無線通訊收發模組系統量測

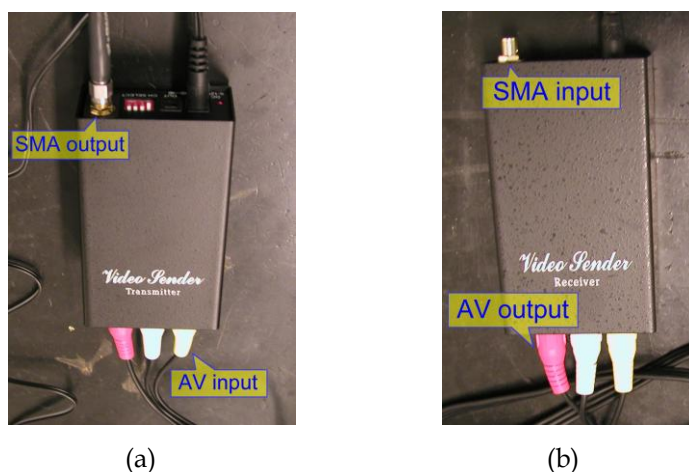
實驗原理：

整個系統的通訊鏈路計算（link budget），在設計系統以及評估收發系統的效能，扮演相當重要的角色。在實驗二，我們知道衰減量（attenuation）以及插入損失（insertion loss）的定義。實驗四中也知道如何利用 Friis 公式計算信號經過一段路徑之後，信號的衰減狀況。前一節 11-1 節也知道何謂混波器的轉換損失（conversion loss）與帶通濾波器的插入損失。本節將利用以上所學過的知識，來計算信號從發射機經空氣再通過接收機，分析一個完整的通訊鏈路並且學習計算出通訊鏈路。

圖四為本實驗的基本方塊圖，在本節實驗中，我們將量測信號在不同的點時，其功率的大小，並透過記錄各單一元件的特性，計算整個系統的通訊鏈路，並且比對量測的結果討論其中的差異。



圖四、系統架構。



圖五、無線影音(a)發射模組 AWV365TX 及(b)接收模組 AWV366RX。

在本實驗中，中頻訊號使用無線影音傳送器發射模組 AWV365TX（圖五 a）所輸出之信號。該模組可將 DVD 播放器、電視、或是監視攝影機所輸出之 AV 端子信號，經過 FM 調變之後升頻至 2.4GHz，輸出端為 SMA 接頭，可接上天線傳送信號，然後利用該模組所對應的接收模組

AWV366RX (圖五 b)，將訊號降頻，並且解調出影音訊號，輸出至螢幕、監視器、或電視機等影音輸出設備。本實驗中將不使用 AWV365TX/AWV366RX 所附之偶極天線，直接將其輸出之信號視為中頻訊號，如圖四所示經混波器及 10GHz 介質共振腔振盪器升頻至 7.6GHz 及 12.4GHz，再經帶通濾波器將 7.6GHz 影音訊號經過發射端的號角天線傳送至接收端。接收端的號角天線收下信號之後，經帶通濾波器、混波器及 10GHz 介質共振腔振盪器降頻至 2.4GHz，之後再利用 AWV366RX 將影音訊號解調出來，輸出至液晶螢幕。

實驗器材：

- 1~9. 同 11-1 節
10. 號角天線及支座
11. 轉接器(HP X281A adapter N-WR90)
12. 無線影音傳送系統(AWV365TX/AWV366RX)
13. 電視盒
14. DVD 播放器
15. 液晶螢幕
16. 尺

實驗目的：

學習發射、接收通訊模組工作原理，儀器組合通訊模組中，各功能方塊，並使用適當儀器量測發射到接收路徑中信號大小。

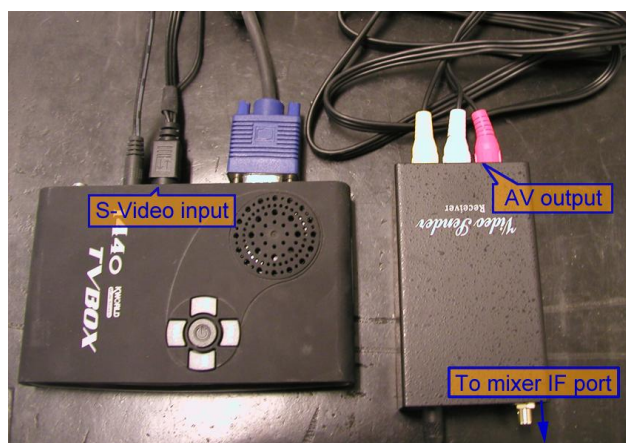
實驗步驟：

1. 用網路分析儀量測同軸線於 2.4 GHz、7.6 GHz、10 GHz 之損失，將需要之數字記下。
2. 將 DVD 播放器輸出信號之 AV 端子與 AWV365TX 之 AV 端子相連接，並且將 AWV365TX 的輸出端與混波器的 IF 端用同軸線相接，如圖六及圖七所示。
3. 以介質振盪器為本地振盪信號。輸出大小依 11-1 節混波器 LO 輸入端測量所決定之大小。
4. 如圖八所示，將混波器、帶通濾波器、發射天線裝好。
5. 參考發射端裝置，將接收端的接收天線、帶通濾波器、降頻器接好。
6. 將降頻器 IF 端輸出與 AWV366RX 輸入端相連接，AWV366RX 的 AV 端子輸出端與電視盒的 AV 轉 S 端子轉接線相接，再將液晶螢幕的 D-sub 輸入端接上電視盒之 D-sub 輸出端。發射和接收天線距離 100cm 以上。
7. 將 DVD 播放器、電視盒、AWV365TX、以及 AWV366RX 的電源接上。**注意** AWV365TX 所使用的變壓器，其直流輸出電壓必須為 12V，而 AWV366TX 所使用的變壓器，其直流輸出電壓為 9V。
8. 放入一張 DVD 並播放，觀察液晶螢幕上的影像與聲音訊號狀況。
9. 用頻譜分析儀量測每一功能方塊之輸出點，且校除連接頻譜分析儀之同軸線損失，並和每一

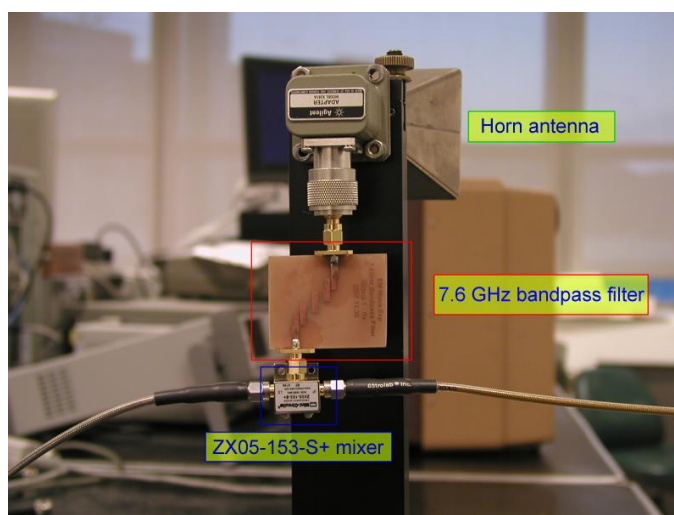
方塊單獨量測結果比較，記錄於表中，若有不同亦記錄下來並探討原因。注意：此紀錄應由接收端或發射端開始較為實際？



圖六、DVD 播放器與 2.4 GHz 信號發射模組 AWV365TX。



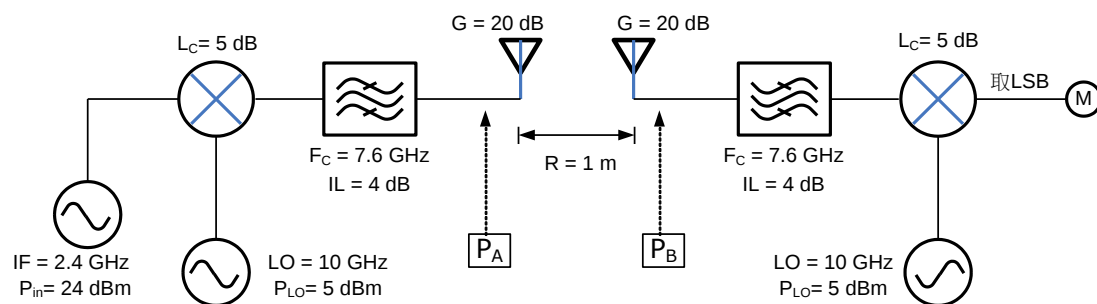
圖七、電視盒與 2.4 GHz 信號接收模組 AWV366RX。



圖八、發射端。

※各組思考問題 11-2：

1. 無線通訊模組中，每個方塊單獨量測時，每一個之反射損失(return loss, RL)一般至少要多才可？若反射損失不佳時會有何影響？例如一邊為 $RL = 15\text{dB}$ ，另一邊為 $RL = 5\text{dB}$ 。另一情形為二者反射損失皆為 5dB ，就你所知的影響論述。
2. 以數學式表示調頻(frequency modulation, FM)的定義，並分別寫出其調變指數(modulation index)定義。並試以電腦模擬軟體(如：Matlab 等)模擬在頻域及時域之圖形。
3. 下圖為某一收發系統，試問 P_A 、 P_B 、以及 P_M （也就是 M 處的功率）大小各為多少 W？



4. 微波在傳送信號時，有哪些因素可能會影響傳播？

實驗十一 實驗紀錄表

11-1 混波器與帶通濾波器量測

混波器升頻轉換損失量測紀錄表($P_{LO}=10\text{dBm}$)

$P_{IF}(\text{dBm})$ (2.4GHz)	$P_{RF} @ f_{LO} + f_{IF} (\text{dBm})$ (12.4GHz@10GHz+2.4GHz)	$P_{RF} @ f_{LO} - f_{IF} (\text{dBm})$ (7.6GHz@10GHz-2.4GHz)	IF/RF @ $f_{LO}-f_{IF}$ 轉換損失(dB)
-50			
-40			
-30			
-20			
-10			
0			
10			

混波器降頻轉換損失量測紀錄表($P_{LO}=10\text{dBm}$)

$P_{RF}(\text{dBm})$ (7.6GHz)	$P_{IF} @ f_{LO} - f_{RF} (\text{dBm})$ (2.4GHz@10GHz-10GHz)	RF @ $f_{LO}-f_{IF}$ /IF 轉換損失(dB)
-50		
-40		
-30		
-20		
-10		
0		
10		

帶通濾波器量測紀錄表 (附網路分析儀量測結果圖)

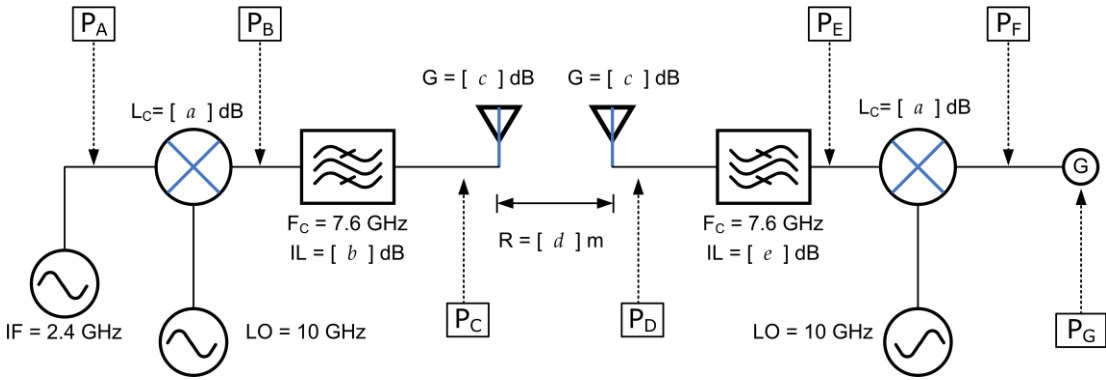
		7.6GHz	10GHz	12.4GHz
BPF - 1	穿透損失(dB)			
	反射損失(dB) S11 、 S22			
BPF - 2	穿透損失(dB)			
	反射損失(dB) S11 、 S22			

11-2 無線通訊收發模組系統量測

元件紀錄表

帶通濾波器 穿透損失 (dB)			混波器			天線距離 (m)	發射天線 增益 (dB)	接收天線 增益 (dB)
			升頻轉換損失 (dB)		降頻轉換損失 (dB)			
同軸線 1 穿透損失 (dB)			同軸線 2 穿透損失 (dB)			利用 Friis 公式計算發射天線、接收天線增益、天線距離及波長 (dB)		
2.4GHz	7.6GHz	10GHz	2.4GHz	7.6GHz	10GHz	$G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2$		

通訊收發模組量測紀錄表 (記得校除使用之同軸線損失)



	P _G	同軸線 1	P _F	降頻混波器 [f]	P _E	帶通濾波器 [e]	P _D
損失或增益							
理論功率值							
量測功率值							
量測頻率 (GHz)							

	P _C	帶通濾波器 [b]	P _B	升頻混波器 [a]	P _A	同軸線 2	信號源輸出
損失或增益							
理論功率值							
量測功率值							
量測頻率 (GHz)							