

通訊系統模擬

實習 5

超外差式接收機之模擬與分析

班級：網通四甲

姓名：范盛琮(4A10H023)

陳羿如(4A136058)

指導老師：余兆棠

中華民國 104 年 12 月 02 日

實習 5 超外差式接收機之模擬與分析

1 實習目的

透過本實習我們將了解超外差 AM 接收機的架構，類比 AM 廣播收音機即採用此架構。分別以數學分析以及頻譜分析說明超外差式 AM 接收機之原理。探討並了解超外差式 AM 接收機架構之假像頻率干擾問題。

2 理論分析

2.1 超外差調幅(AM)無線廣播接收機架構

超外差調幅(AM)無線廣播接收機由射頻(radio frequency, RF)放大器，混頻器(mixer)，本地振盪器(local oscillator, LO)，中頻(intermediate frequency, IF)放大器，包跡檢測器，訊息(音頻)放大器，和揚聲器(喇叭)所構成。

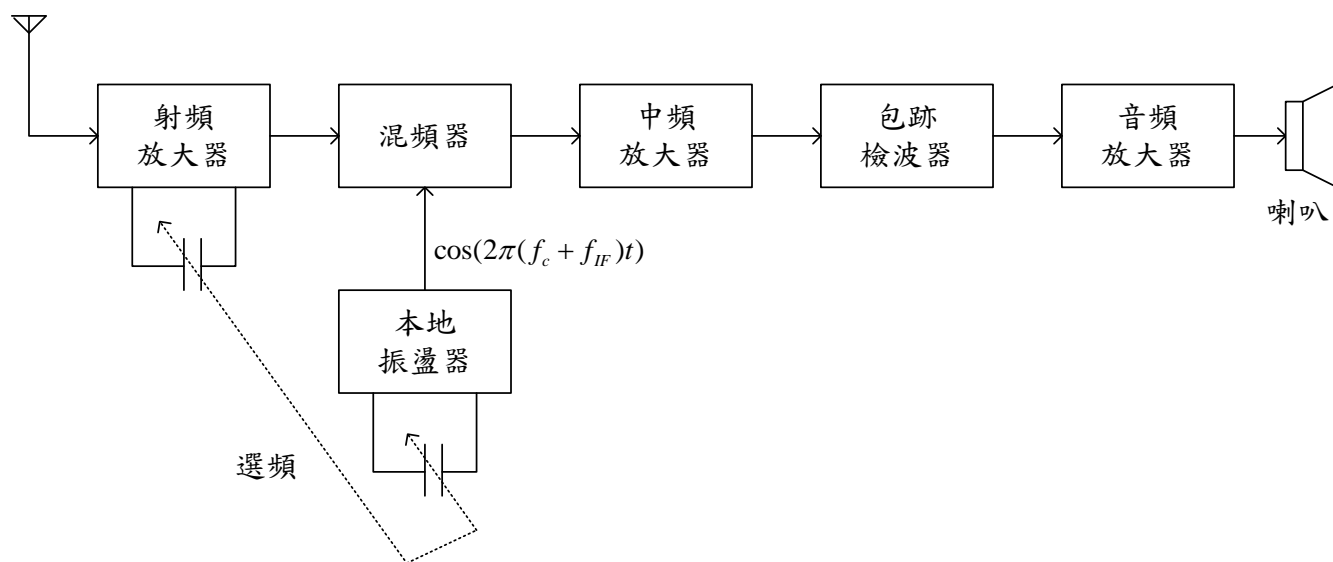


圖 1 超外差調幅(AM)無線廣播接收機的架

2.2 超外差調幅(AM)無線廣播接收機原理說明

從天線接收的訊號經射頻放大器放大，射頻意指高頻，通常是指載波頻率。

兩個可變電容分別被使用來調諧射頻放大器和本地振盪器的頻率，以達到選擇想要接收到射頻訊號之目的（每個電台發射訊號之載波頻率不同）。

本地振盪器的頻率為 $f_{LO} = f_c + f_{IF}$ ，其中 f_c 為想要接收的 AM 無線訊號之載波頻率。

本地振盪器的調諧範圍是 952~2055 kHz。

混頻器輸出頻率為其兩個輸入訊號頻率相加與相減之訊號。（混頻器之數學模型相當於乘法器），其中差值頻率稱為中頻，一般超外差調幅(AM)無線廣播接收機之中頻 $f_{IF} = 455$ kHz。

從天線接收的訊號經放大及混頻處理後，訊號會被轉換至中頻(接續中頻處理器處理)與其他頻帶(被中頻處理器濾除)。這個頻率轉換的優點在於，任何載波頻率的無線電台訊號，皆可使用單一的調諧中頻放大器。

中頻放大器的頻寬被設計成 10 kHz，例如，通過頻帶為 450 kHz 到 460 kHz 的帶通濾波器。

中頻放大 (IF Amplifier) 具濾波功能，具有較窄的頻寬，以確保能隔絕頻寬以外不需要的訊號，因中頻放大器頻寬窄，極容易設計高增益的放大電路，故提供了超外差接收機此接收機大部份的增益，而且關係著接收機的選擇性。

令接收訊號為 $r(t) = A_c[1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t)$

將接收訊號通過混頻器，其輸出訊號表示式為

$$\begin{aligned} y(t) &= r(t) \cos(2\pi(f_c + f_{IF})t) \\ &= A_c[1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi(f_c + f_{IF})t) \\ &= \frac{A_c[1 + k_a m(t)]}{2} \cos(2\pi f_{IF}t) \frac{A_c[1 + k_a m(t)]}{2} \cos(2\pi(2f_c + f_{IF})t) \end{aligned}$$

上述訊號有兩個訊號分量，一個分量的頻譜中心點落於頻率 f_{IF} ，另一個分量的頻譜中心點則落在頻率 $2f_c + f_{IF}$ 。

中頻放大器的輸出是一個調幅訊號，其載波頻率為 f_{IF} 。

載波頻率為 f_{IF} 的調幅訊號通過包跡檢測器，解調得到所選擇到要的電台訊息訊號 $m(t)$ 。

最後，包跡檢測器的輸出被放大，透過揚聲器播放。

2.3 圖解超外差式 AM 接收機系統

兩個傳送端發射 Full AM 訊號，一超外差式 AM 接收機(省略放大電路)接收兩個 AM 訊號之混合訊號。

兩個傳送端之基頻訊號為 $m_1(t)$ 與 $m_2(t)$ 。

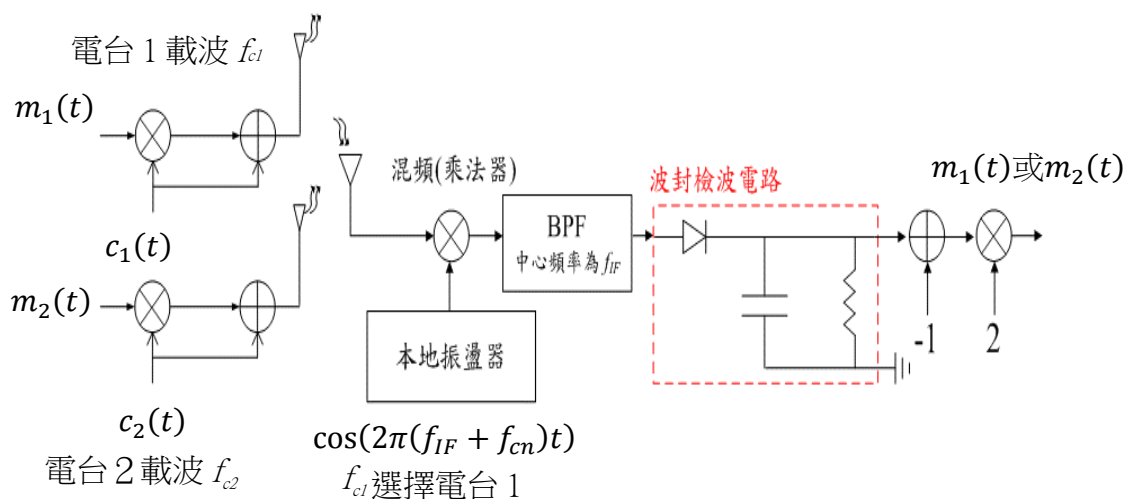


圖 2 超外差式 AM 接收機系統

2.4 圖解超外差式 AM 接收機系統(頻譜分析)

先假設 $m_1(t)$ 以及 $m_2(t)$ 之頻譜 $M_1(f)$ 與 $M_2(f)$ 為



圖 3 $m_1(t)$ 與 $m_2(t)$ 之頻譜

兩訊號分別以載波 $c_1(t) = A_{c1} \cos(2\pi f_{c1}t)$ 與 $c_2(t) = A_{c2} \cos(2\pi f_{c2}t)$ 調變成 Full AM 訊號。

(假設 $f_{c2} > f_{c1}$)

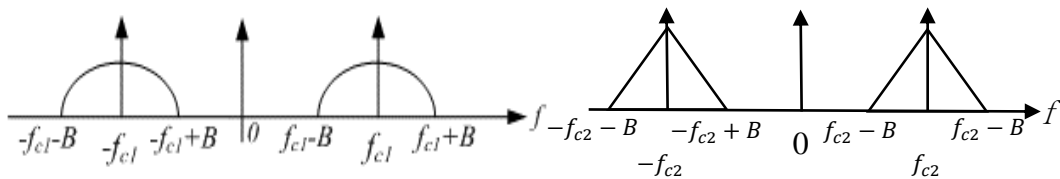


圖 4 兩訊號分別經載波調變後

兩 Full AM 訊號由天線傳送，混合在一起由接收機天線接收，接收訊號之頻譜分別位於不同頻段(即實習二所述之分頻多工)。

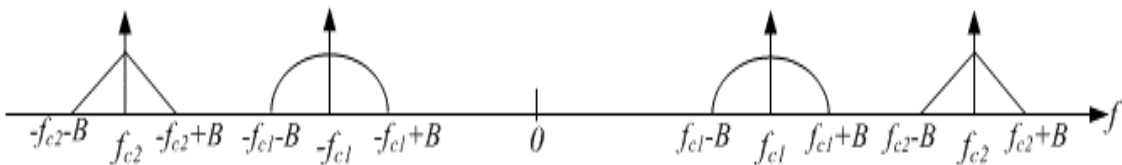


圖 5 兩個訊號相加

假設在接受端選電台 1，接收訊號經本地震盪器頻率 $f_{LO} = f_{c1} + f_{IF}$ 之弦波混頻處理後之頻譜如下所示，其中頻段(以 f_{IF} 為中心)則為我們所要的訊號頻譜，以一帶通濾波器取出。

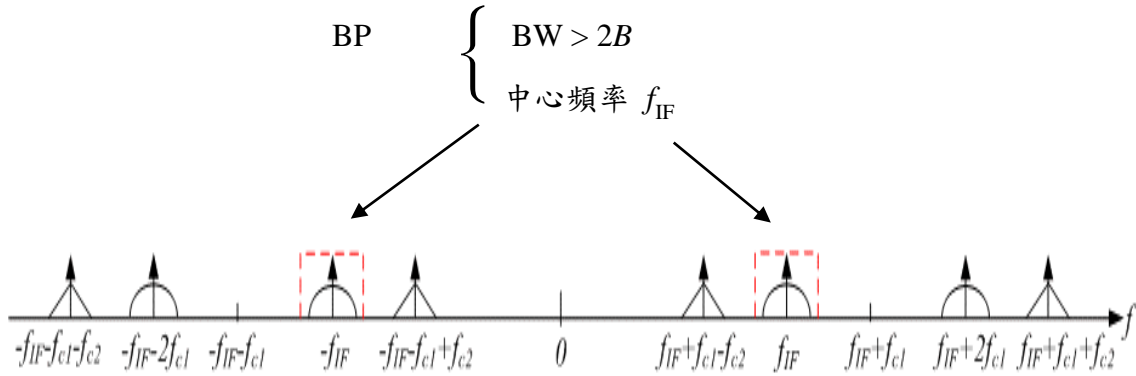


圖 6 經本地震盪器頻率 $f_{LO} = f_c + f_{IF}$ 之弦波混頻處理後

2.5 波封檢波器解調

帶通濾波器輸出訊號形式還是維持 Full AM 調變訊號，只是載波頻率已降至 f_{IF} ，因此我們可以使用波封檢波器將訊號解調。

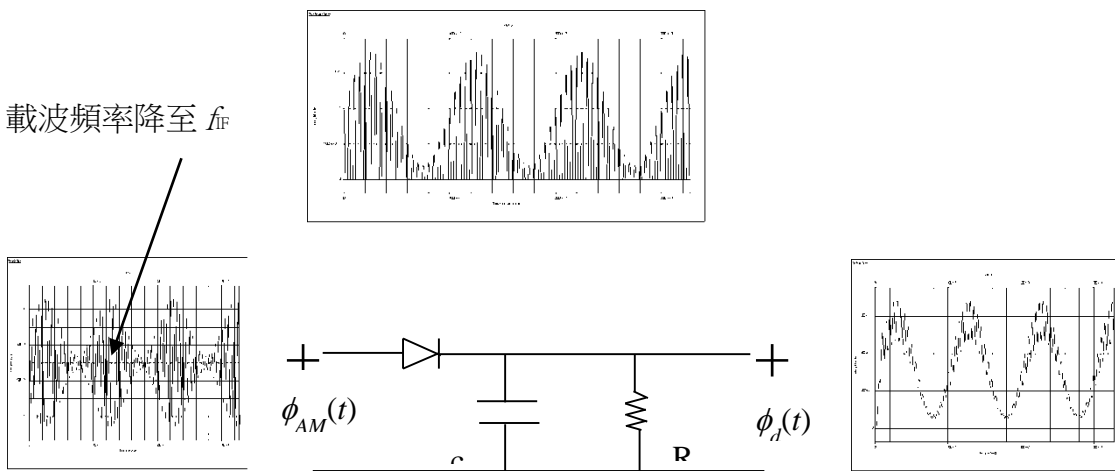


圖 7 波峰檢波器解調過程

2.6 像頻干擾

假設接收端的本地振盪器頻率為 $f_c + f_{IF}$ ，而接收端欲接收的頻率為 f_c ，若此時有一訊號頻率為 $f_c + 2f_{IF}$ ，則會發生什麼情形呢？

接收到上述兩個混合訊號經過本地振盪頻率 $f_c + f_{IF}$ 降頻後，會將 f_c 和 $f_c + 2f_{IF}$ 都降頻至 f_{IF} 上，但是頻率 $f_c + 2f_{IF}$ 並不是我們所要的訊號。

載波頻率為 $f_c + 2f_{IF}$ 訊號稱為假像頻率或像頻(image frequency)干擾訊號。

2.7 圖解像頻干擾

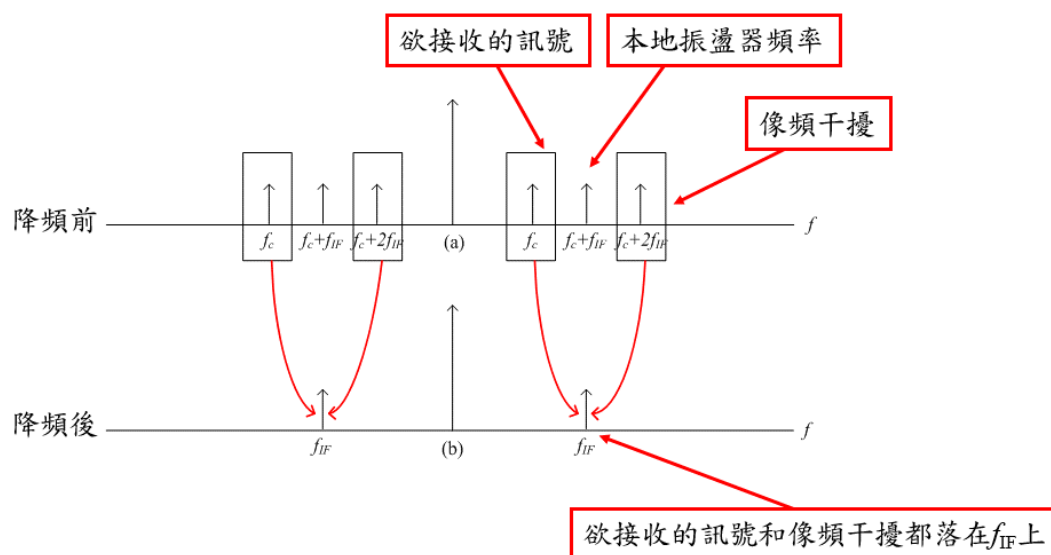
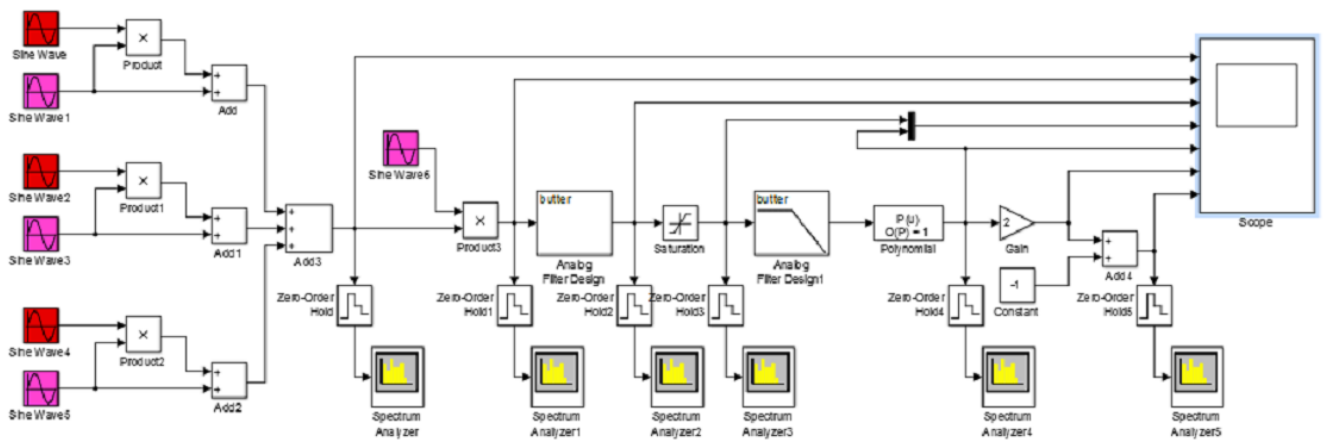


圖 8 像頻干擾圖示

我們可以在接收端前端加上 RF 訊號濾波器，先將不需要的訊號(上述的頻率 $f_c + 2f_{IF}$)濾去，這樣可以避免像頻干擾的發生

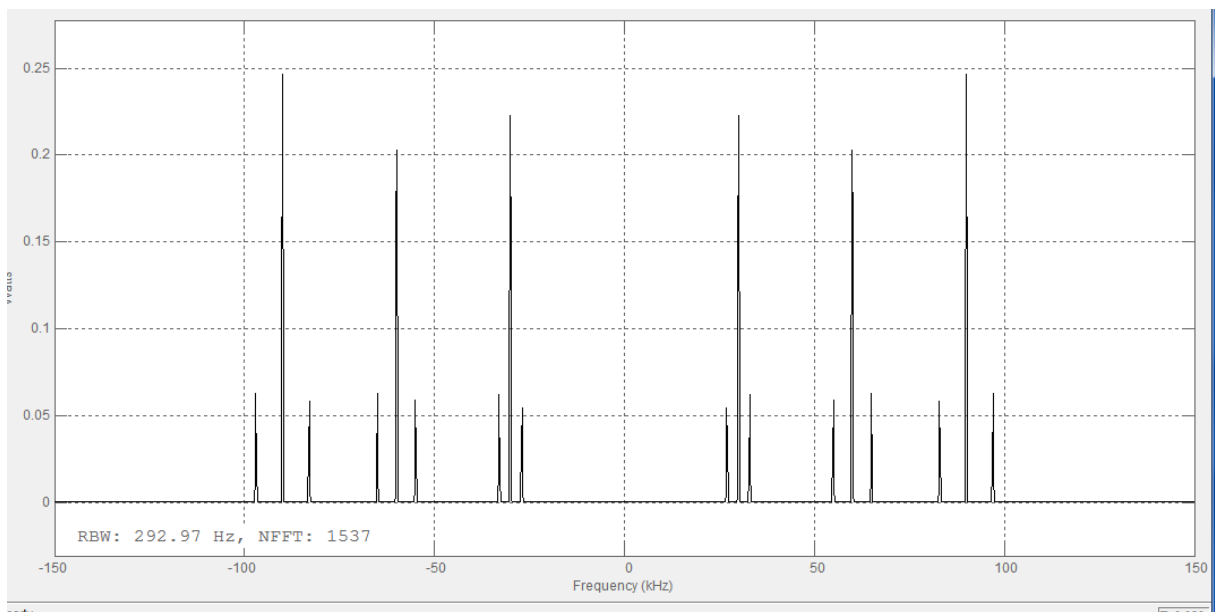
3 實習方法與步驟

3.1 超外差 AM 接收機系統架構



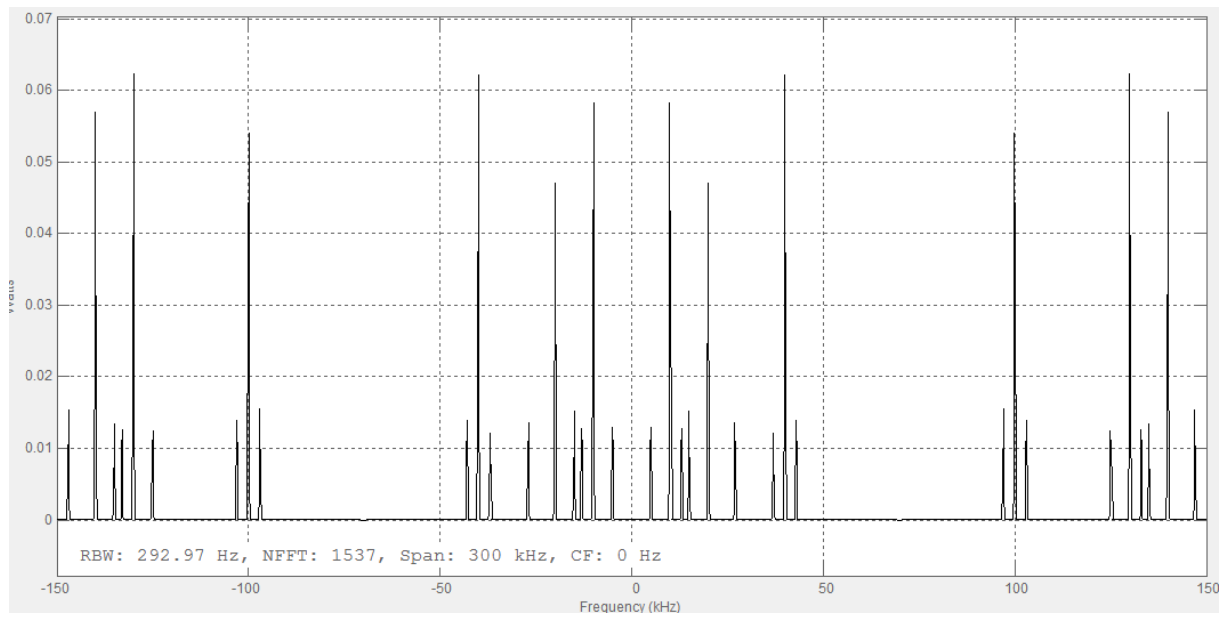
圖九 超外差式 AM 接收機模擬方塊圖

在頻域觀察接收機接收訊號(通道內訊號，假設無其他射頻訊號源)，如圖十



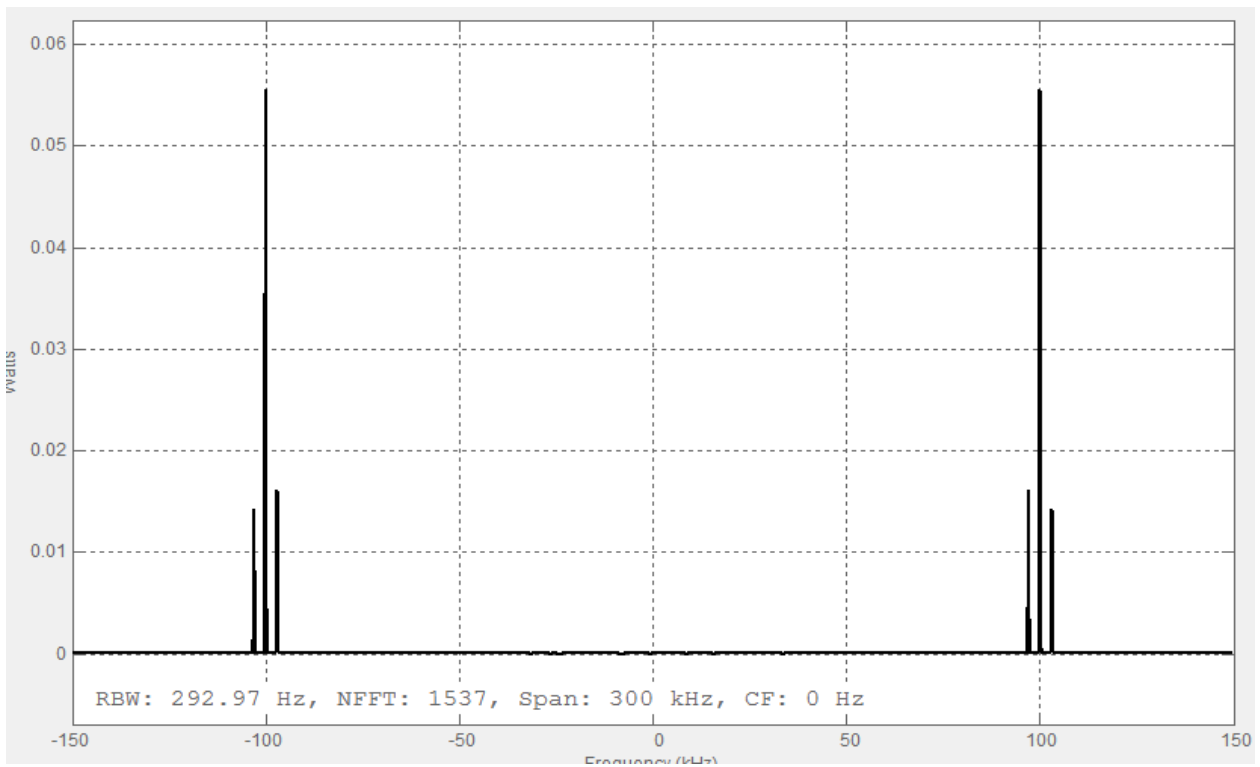
圖十 各信號乘上載波後相加

接收到訊號經本地震盪器混波後之頻譜如圖十一。



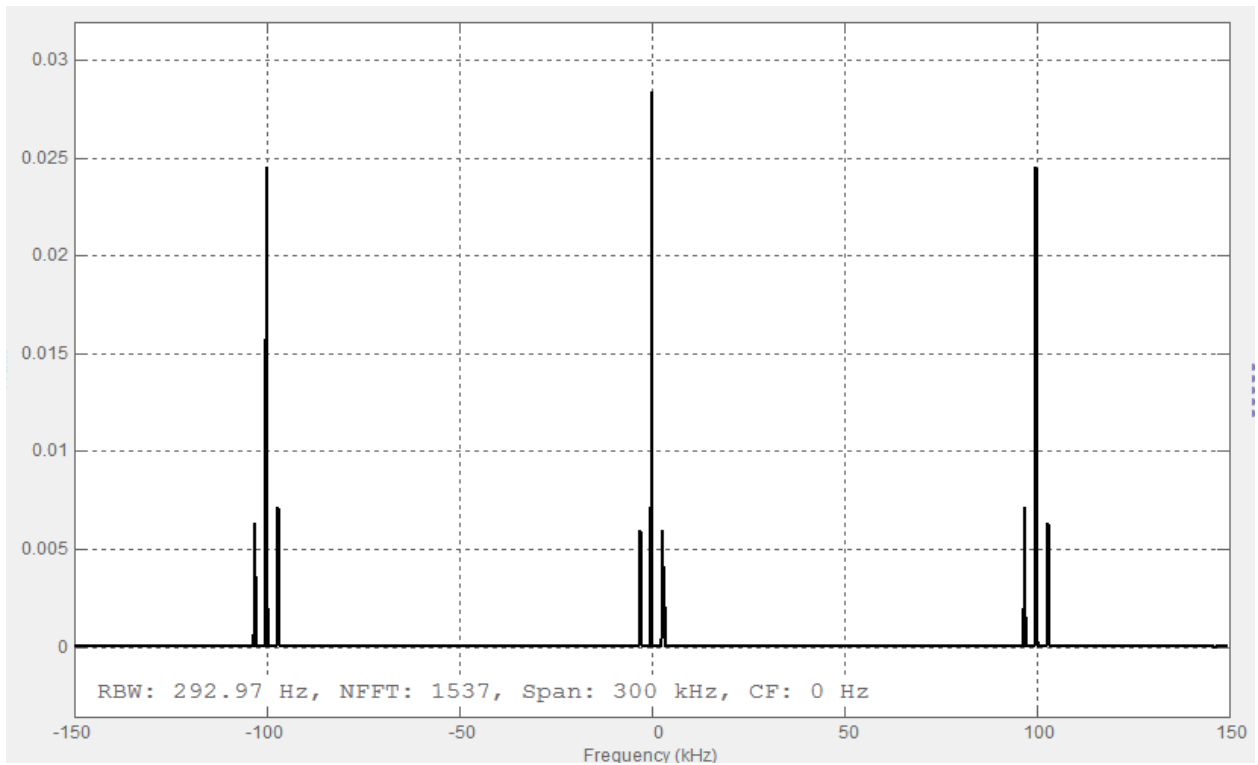
圖十一 經本地震盪器混波後之頻譜

用帶通濾波器將中頻， $f_{IF} = 500\text{kHz}$ 正負各 10 kHz 以外的訊號濾除，如圖十二



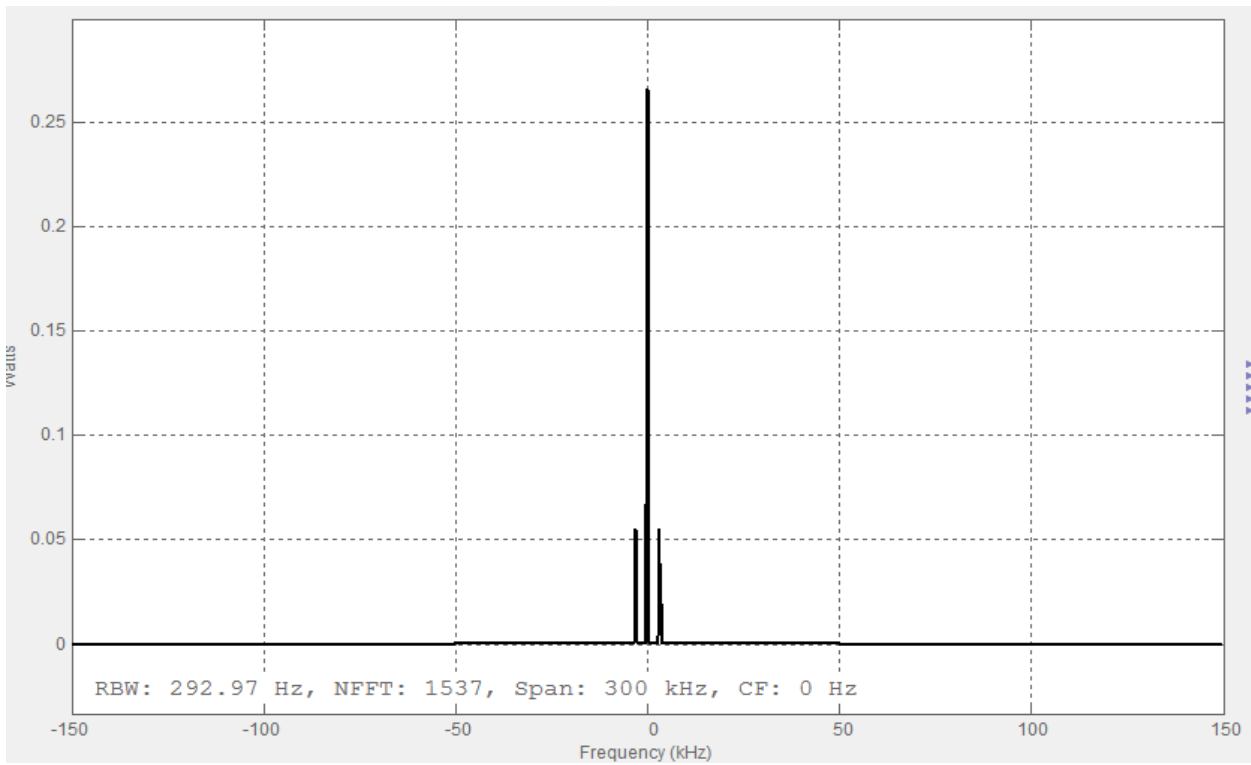
圖十二 經過帶通濾波器濾波後之頻譜

濾波完的訊號再經過二極體整流，如圖十三



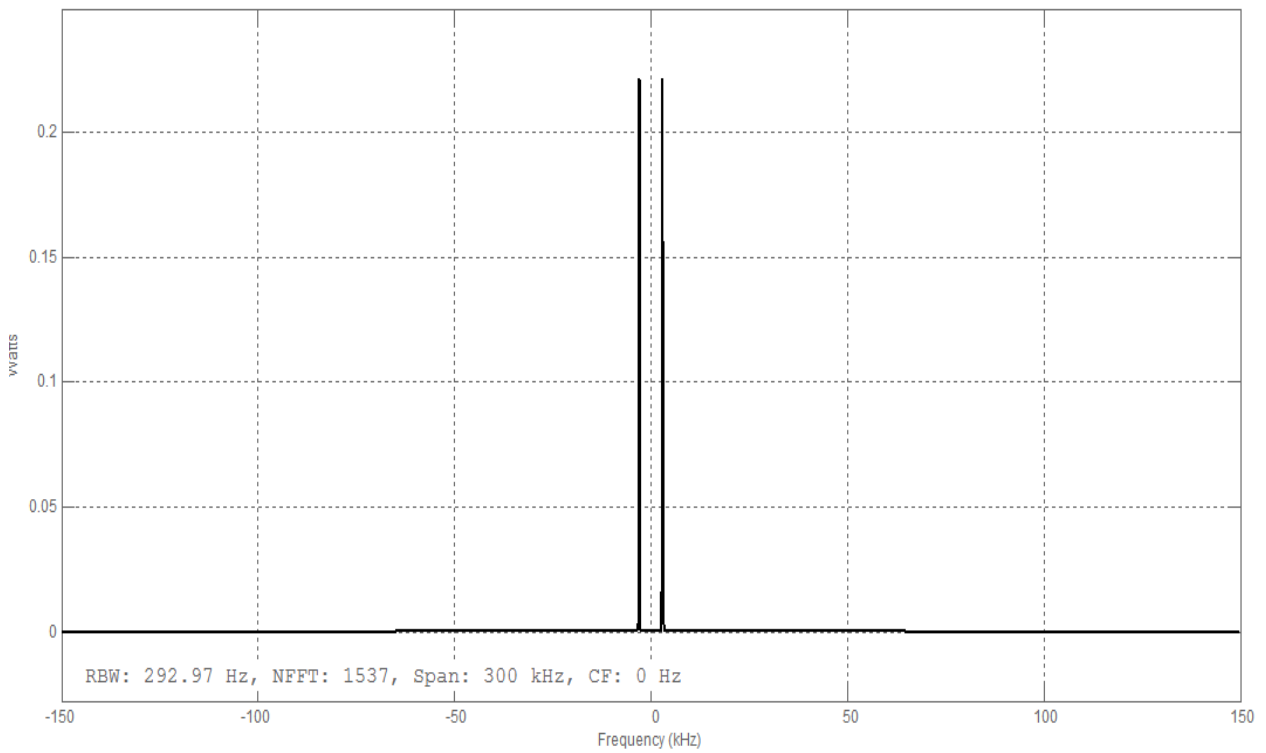
圖十三 經二極體整流後之頻譜

使用低通濾波器得到 10 kHz 以內之訊號，即信號 $f_{m1} = 3\text{kHz}$ ，如圖十四



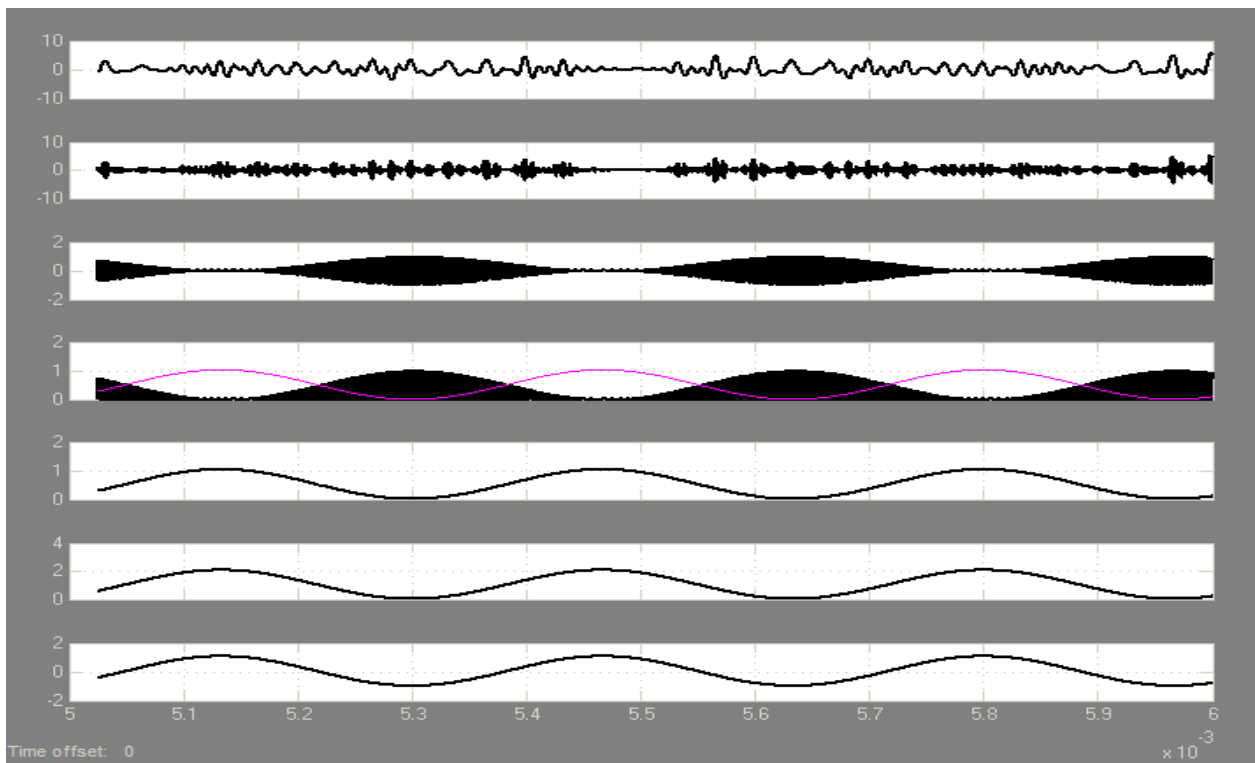
圖十四 低通濾波後之頻譜

將通過低通濾波器後之訊號減 1(dc term)以達成解調，如圖十五。



圖十五 解調完後之頻譜

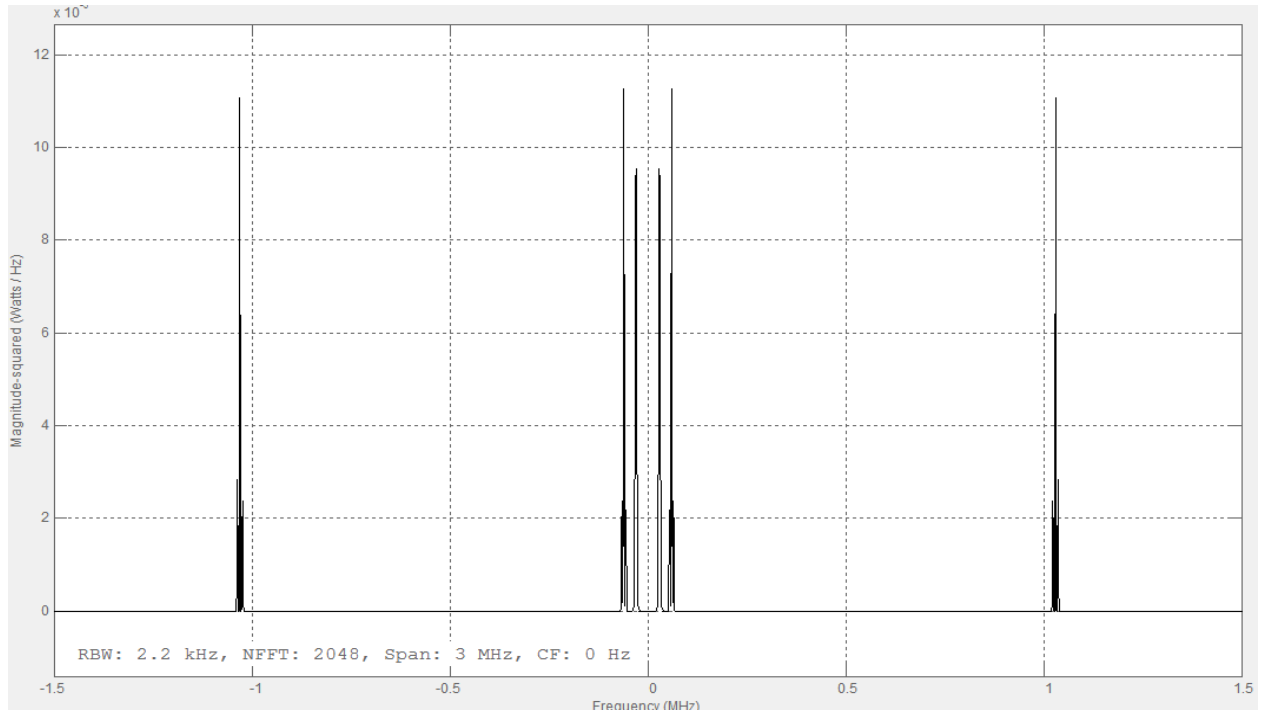
在時域觀察接收機訊號如圖十六。



圖十六 超外差式 AM 接收機系統時域圖

3.2 假像頻率模擬

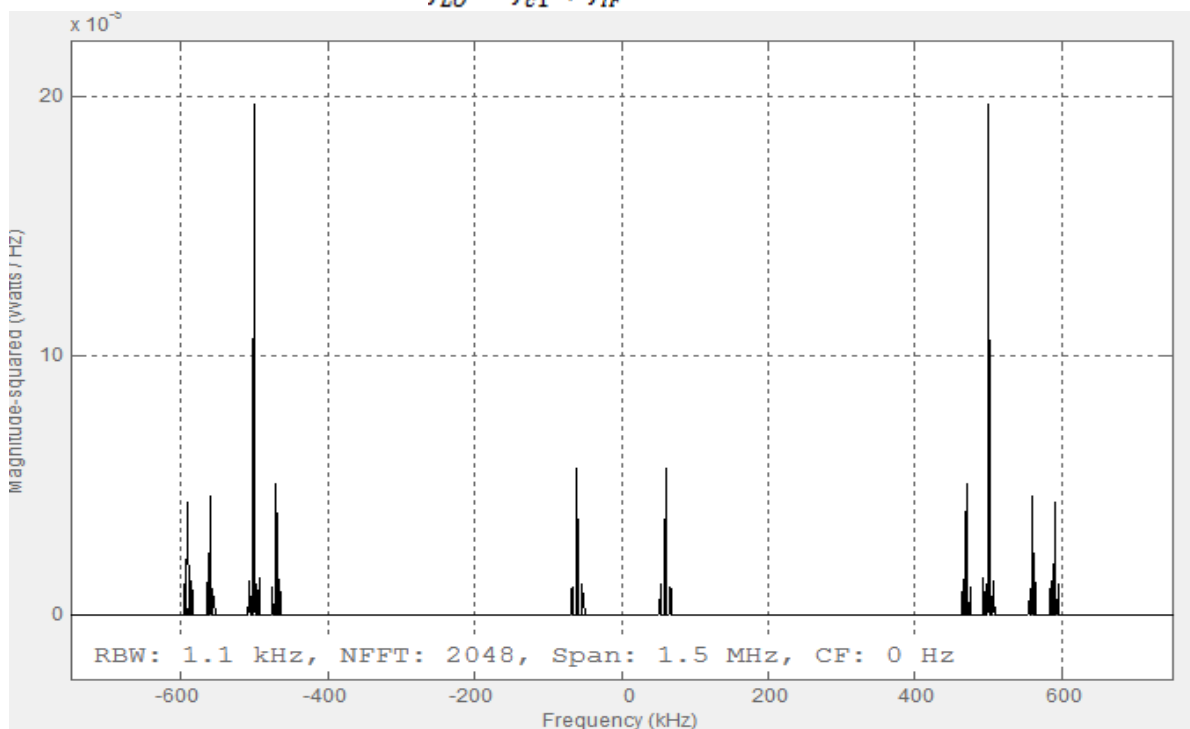
使用前述相同的架構，在此若要干擾信號 1，信號 3 載波頻率改為 $f_{c3} = f_{c1} + 2f_{IF}$
 $= 35\text{k} + 1000\text{k} = 1035\text{kHz}$ ，當做像頻干擾來源。在頻域觀察傳送端訊號如圖十七。



圖十七 接收到三個 Full AM 訊號之頻譜

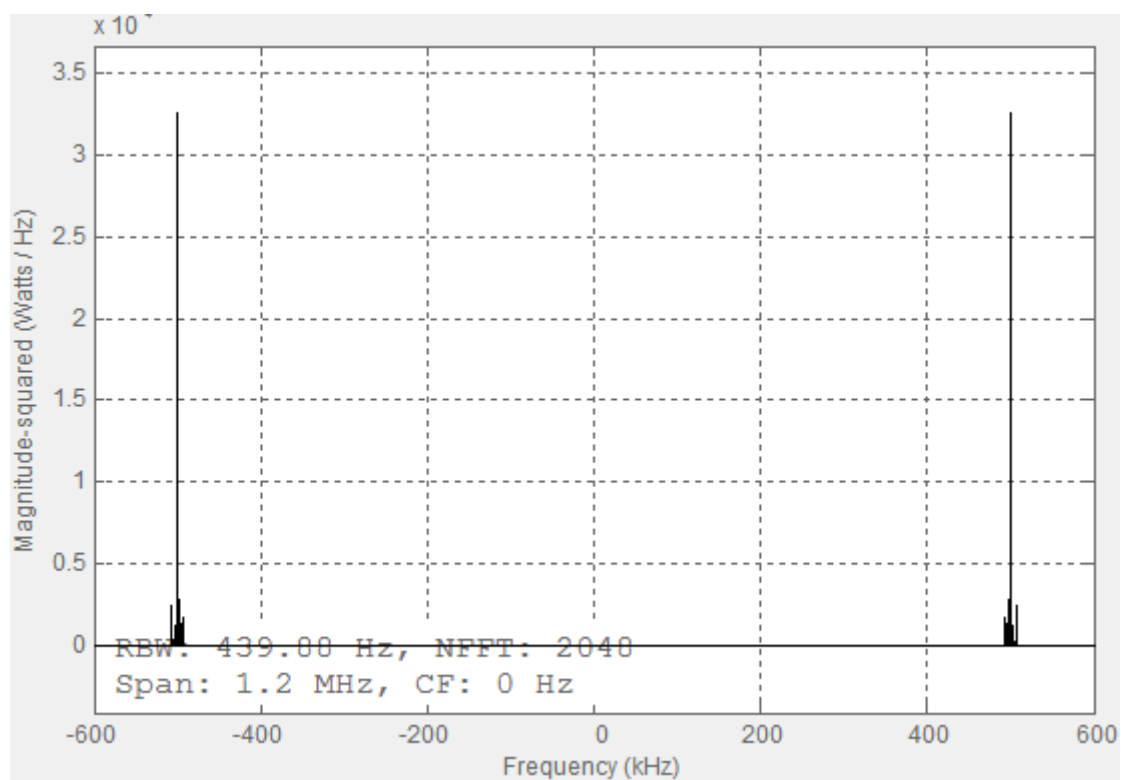
接收到訊號經本地震盪器混波後之頻譜如圖十八。

$$f_{LO} = f_{c1} + f_{IF} = 535\text{kHz}$$



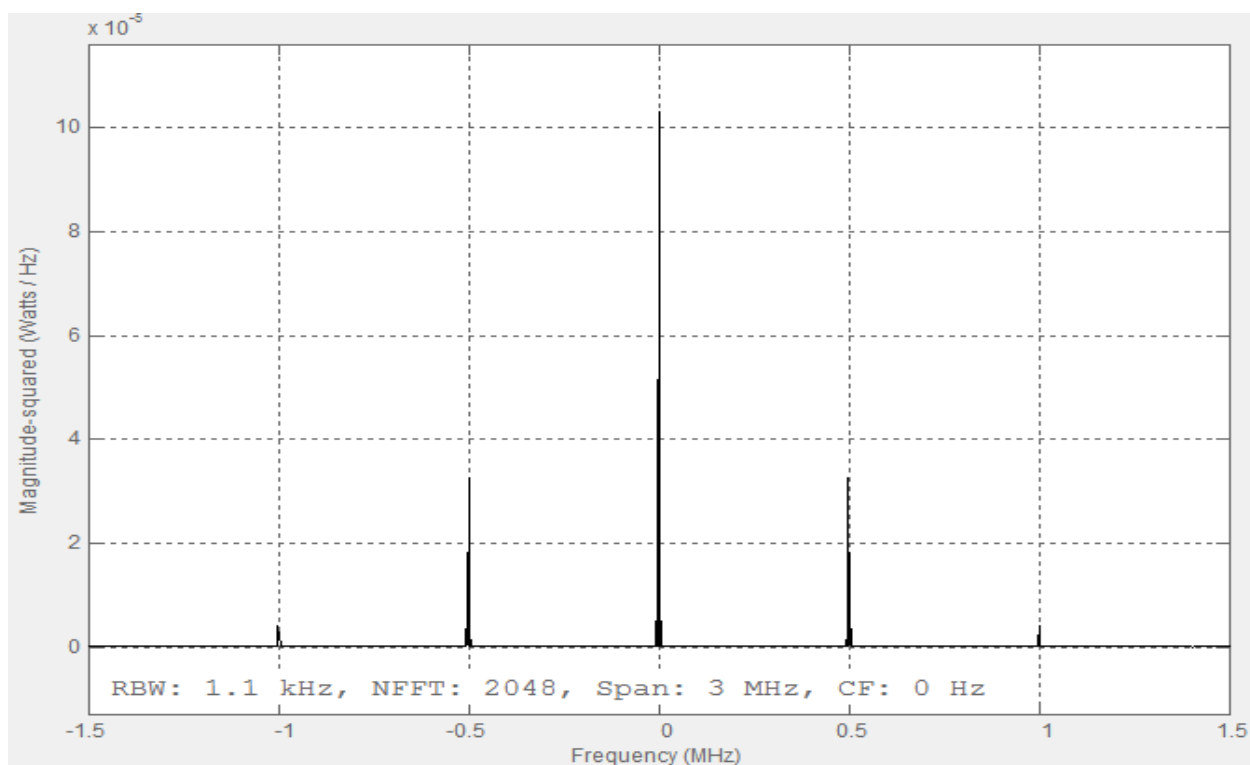
圖十八 經本地震盪器混波後之頻譜

使用帶通濾波器將中頻 $f_{IF} = 500\text{kHz}$ ，正負各 10 kHz 以外的訊號濾除，如圖十九。



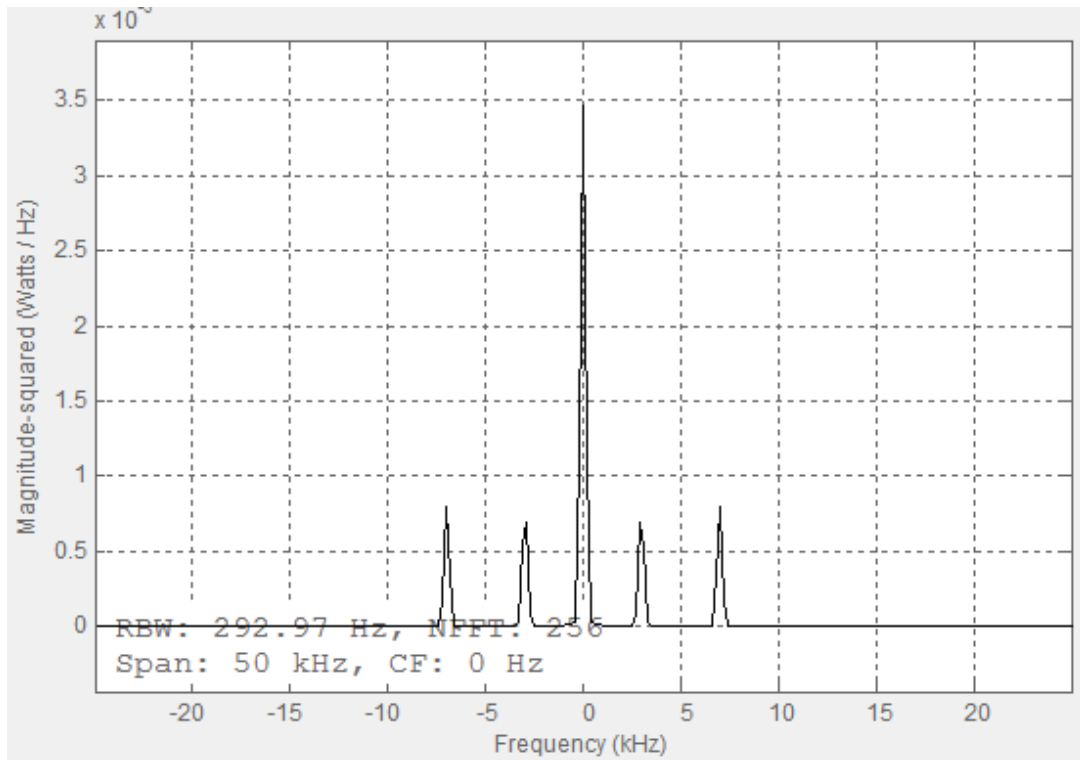
圖十九 經帶通濾波後之頻譜

濾波完的訊號再經過二極體整流，如圖二十。



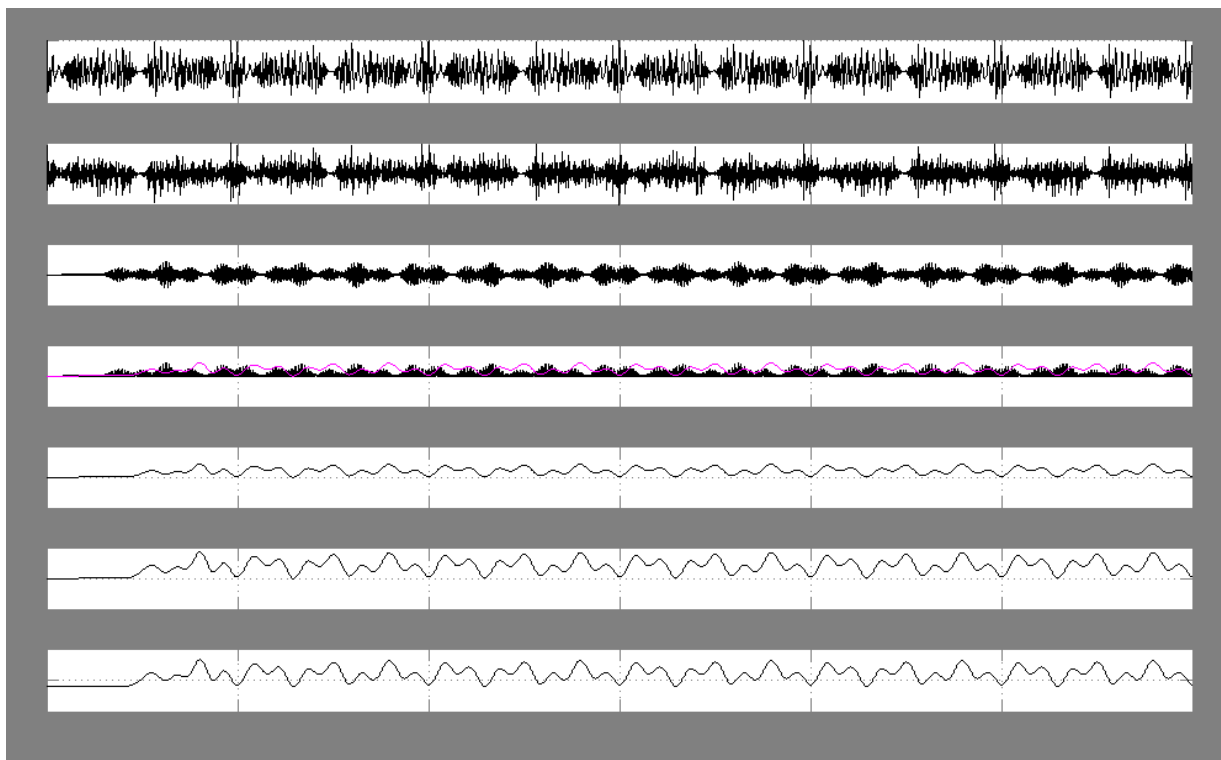
圖二十 經二極體整流後訊號之頻譜

將通過低通濾波器後之訊號減 1，得到兩個基頻訊號(直流成份未濾除)，即想要接收的電台 1 訊號受到干擾如圖二十一。



圖二十一 經低通濾波器濾波後之頻譜

在時域觀察接收機訊號如圖二十二。



圖二十二 假像頻率模擬時域圖

4 結果與討論

由以上模擬測試，讓我們知道收音機是如何接收的訊號的，還有為什麼會有干擾的產生，清楚的了解超外差 AM 接收器的架構，及接收端利用簡單電路去解決前面實習的無法同步理想狀態。

5 參考文獻

- S. Haykin, Communication Systems, John Wiley & Sons, New York, 3rd Edition, 1994.
- R.E. Zimer and W.H. Tranter, Principle of. Communications : Systems, Modulation and Noise, 5th. Edition, 2002.
- RC.T Lee, Mao-Ching Chiu, and Jung-Shan Lin, Communication Engineering - Essentials for computer Scientists and Electrical Engineers, John Wiley, 2007.
- Matlab/Simulink online help manual.