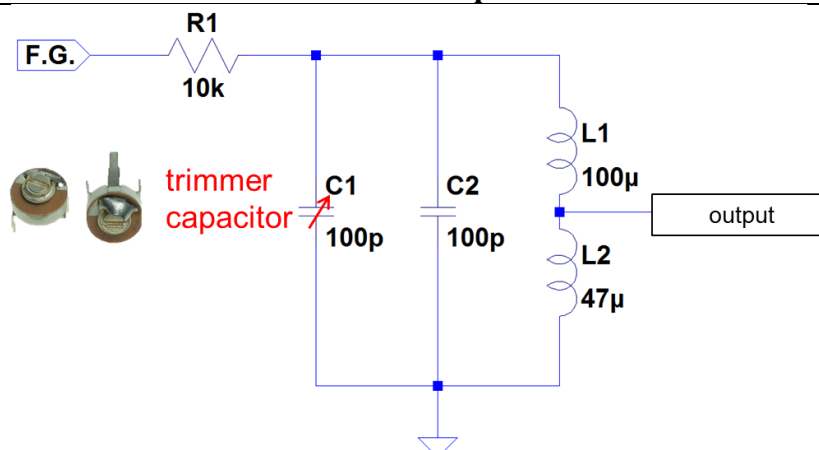


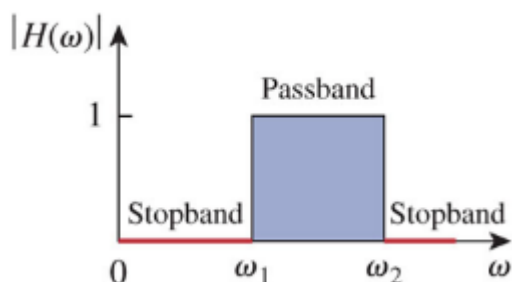
REPORT

Experiment 1: Parallel RLC Tuner Circuit Basic Properties



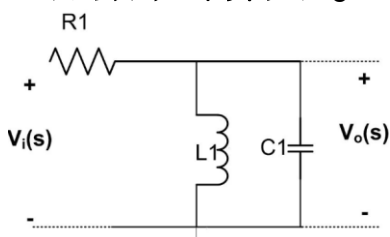
電路分析:

本實驗是一個 bandpass filter，電路功能是將特定頻率的訊號保留下來，並將高頻和低頻訊號濾除，如下圖：

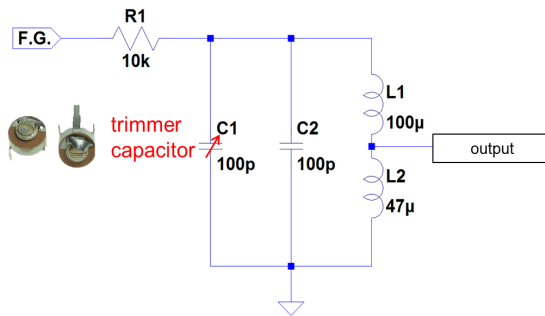


本電路中的 R 是模擬天線的電阻，通過調整兩個並聯的電容，則可以調整電路抓取的中心頻率，進而控制想要接收的訊號頻濾，當然調整電感值也可以改變中心頻率，可以從以下的電路數學計算發現。

電路數學計算與 Quality factor 介紹/推導



$$\begin{aligned}
 H(s) &= \frac{V_o}{V_i} = \frac{Z_C \parallel Z_L}{Z_R + Z_C \parallel Z_L} = \frac{\frac{1}{sC + \frac{1}{sL}}}{R + \frac{1}{sC + \frac{1}{sL}}} = \frac{1}{1 + R \left(sC + \frac{1}{sL} \right)} = \frac{s}{s + Rs \left(sC + \frac{1}{sL} \right)} = \frac{s}{RCs^2 + s + \frac{R}{L}} \\
 &= \frac{L}{R} \times \frac{s}{LCs^2 + s \times \frac{L}{R} + 1} = \frac{L}{R} \times \frac{s}{\left(\frac{s}{\omega_0} \right)^2 + s \times \frac{L}{R} + 1} = \frac{L}{R} \times \frac{jw}{\left(\frac{jw}{\omega_0} \right)^2 + jw \times \frac{L}{R} + 1} = H(\omega) \\
 \rightarrow \omega_0 &= \frac{1}{\sqrt{LC}}, f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \rightarrow |H(\omega_0)| = 1
 \end{aligned}$$



$$\frac{V_o}{V_i} = H(\omega) = \frac{Z}{R_1 + Z}, \quad Z = \frac{1}{\frac{1}{Z_{C_1}} + \frac{1}{Z_{C_2}} + \frac{1}{Z_{L_1} + Z_{L_2}}} = \frac{s(L_1 + L_2)}{s^2(C_1 + C_2)(L_1 + L_2) + 1}$$

let $L = L_1 + L_2, C = C_1 + C_2$ 根據上頁推導，可得：

$$\frac{V_o}{V_i} = H(\omega) = \frac{1}{j(\omega R_1 C - \frac{R_1}{\omega L}) + 1} = \frac{L}{R} \times \frac{j\omega}{\left(\frac{j\omega}{\omega_0}\right)^2 + j\omega \times \frac{L}{R} + 1}$$

$$\text{let } |H(\omega_0)| = 1 \Rightarrow \omega R_1 C - \frac{R_1}{\omega L} = 0 \Rightarrow \omega R_1 C = \frac{R_1}{\omega L} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \sqrt{\frac{1}{(L_1 + L_2)(C_1 + C_2)}}$$

由此可得中心頻率 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1 + L_2)(C_1 + C_2)}}$ ，由於 f_0, L_1, L_2, C_2 為給定的，因此可推得 C_1 的公式為

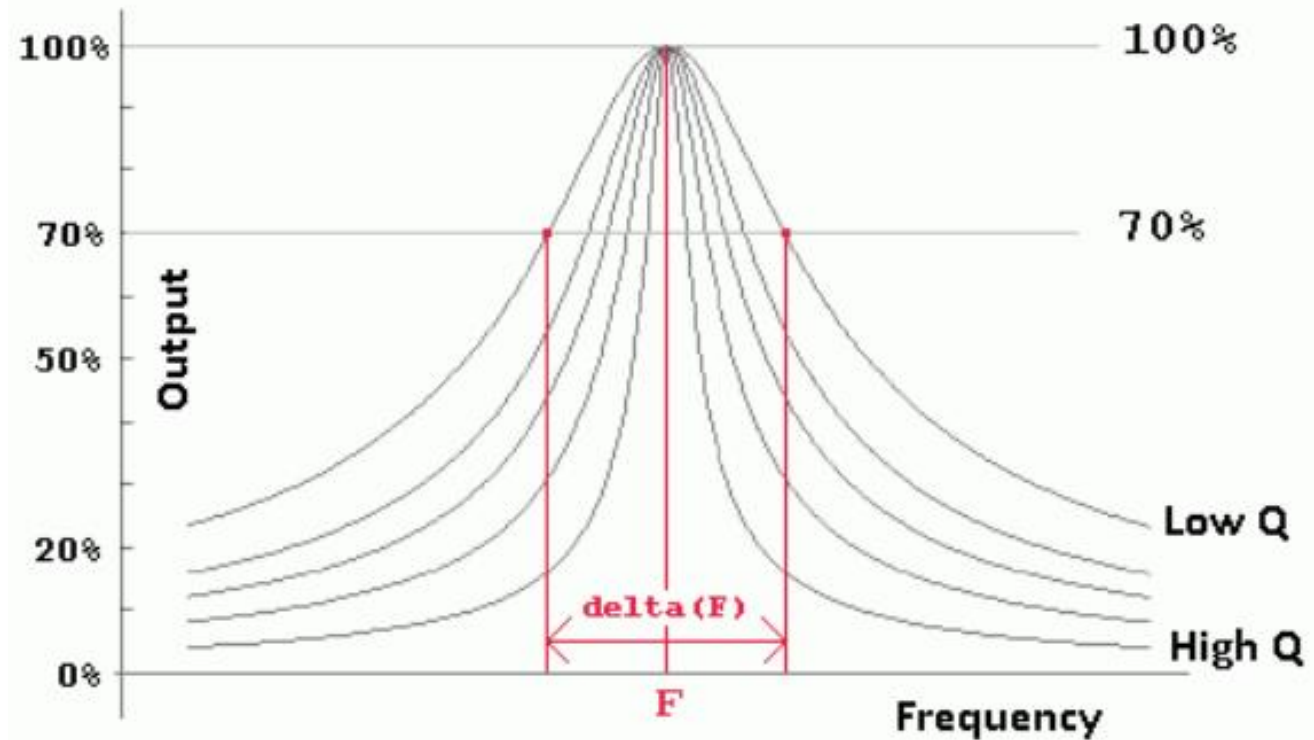
$$C_1 = \frac{1}{4\pi^2(L_1 + L_2)f_0^2} - C_2 = \frac{1}{4\pi^2(147 \times 10^{-6})f_0^2} - 100 \times 10^{-12}$$

$$\text{當 } f_0 = 900 \text{ kHz} \rightarrow C_1 = 112.7345 \text{ pF}$$

$$\text{當 } f_0 = 1 \text{ MHz} \rightarrow C_1 = 72.3149 \text{ pF}$$

$$\text{當 } f_0 = 1.1 \text{ MHz} \rightarrow C_1 = 42.409 \text{ pF}$$

除次之外還有一個 Quality factor $Q = \frac{\omega_0}{\text{Bandwidth}} = R \sqrt{\frac{C}{L}}$ ，其中 Bandwidth 為-3dB 到+3dB 點的寬度 (頻率)，當 Q 越小，代表 band pass filter 過濾出來的頻寬更廣，反之則頻寬越窄，以一般況來說，Q 越大代表 band pass filter 的濾波能力越好，如下圖：



Quality Factor Q 與 Bandwidth 推導:

$$H(\omega) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 + R \left(j\omega C + \frac{1}{j\omega L} \right)}$$

$$\text{let } \left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\omega RC - \frac{1}{\omega L} R \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\rightarrow \left(\omega RC - \frac{1}{\omega L} R \right)^2 = 1 \rightarrow \begin{cases} \omega RC - \frac{1}{\omega L} R = 1 \\ \omega RC - \frac{1}{\omega L} R = -1 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \omega_1 = -\frac{1}{2RC} + \sqrt{\left(\frac{1}{2RC} \right)^2 + \frac{1}{LC}} \\ \omega_2 = \frac{1}{2RC} + \sqrt{\left(\frac{1}{2RC} \right)^2 + \frac{1}{LC}} \end{cases}$$

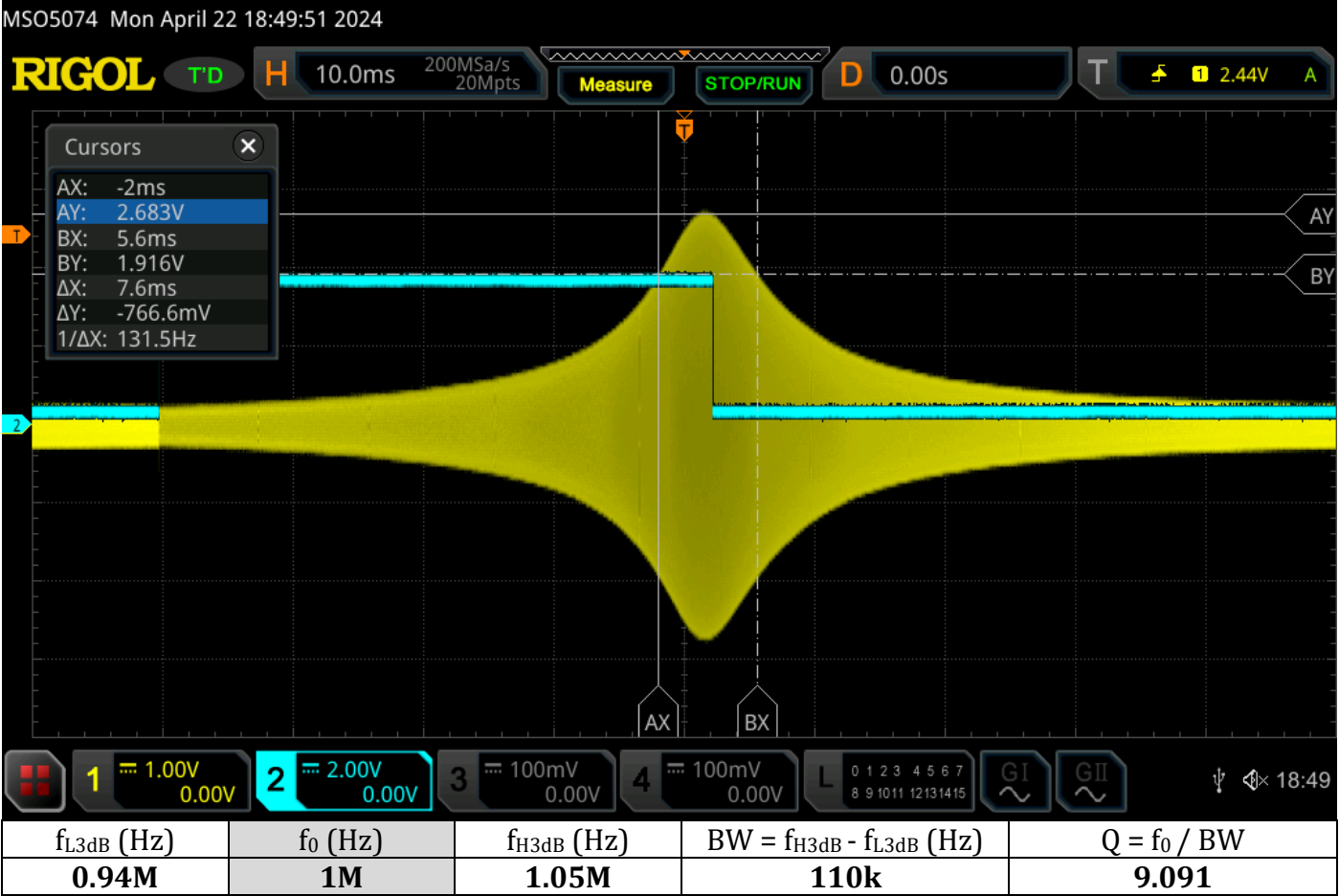
$$\rightarrow \text{Bandwidth} = \frac{1}{2\pi} (\omega_2 - \omega_1)$$

$$\rightarrow \text{Quality Factor} \equiv \frac{f_0}{\text{bandwidth}} = \frac{\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}}{\frac{1}{2\pi} (\omega_2 - \omega_1)} = R \sqrt{\frac{C}{L}}$$

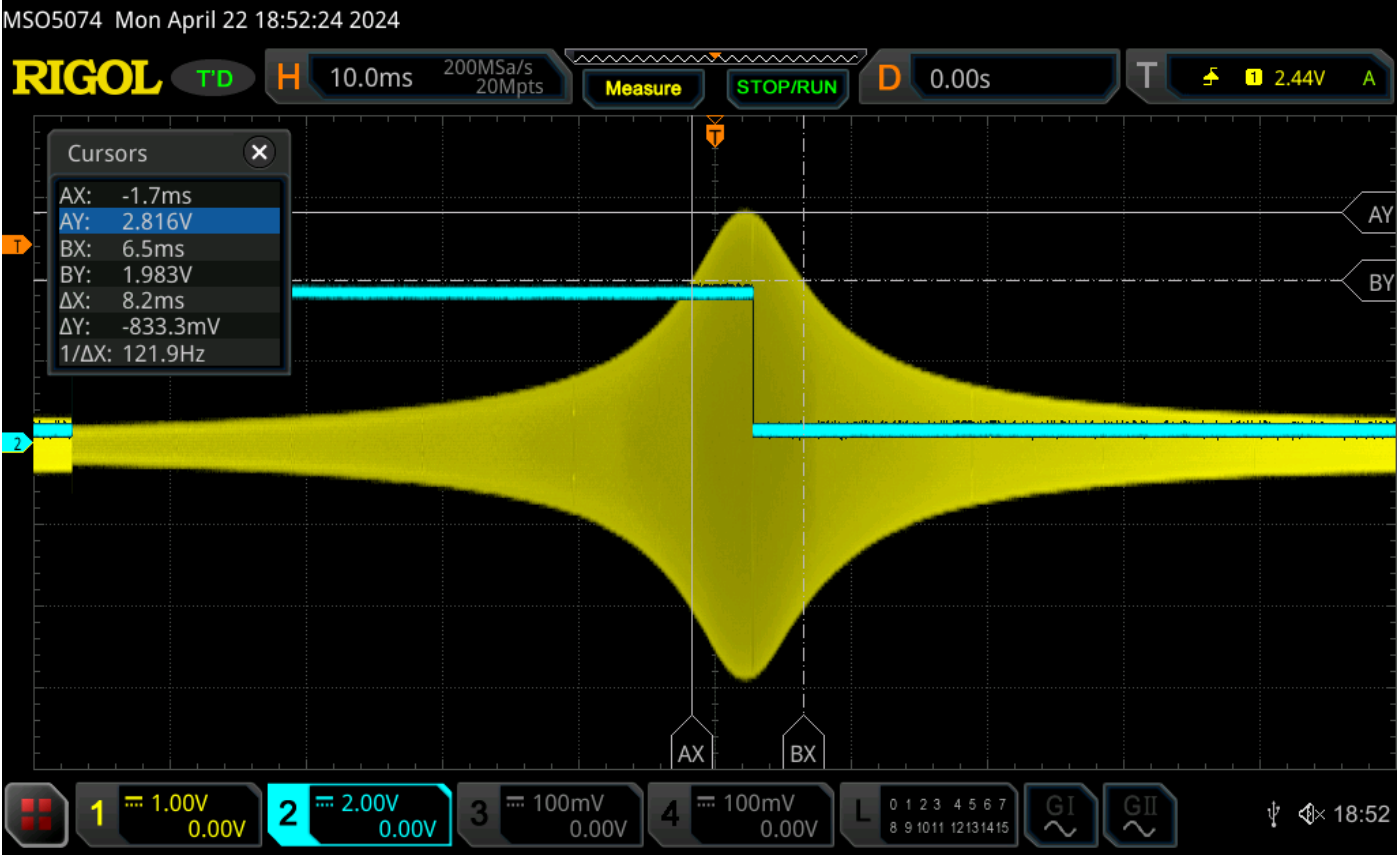
2.

f_{L3dB} (Hz)	f_0 (Hz)	f_{H3dB} (Hz)	$BW = f_{H3dB} - f_{L3dB}$ (Hz)	$Q = f_0 / BW$
847k	900k	940k	93k	9.677

AC SWEEP waveform



AC SWEEP waveform



MSO5074 Mon April 22 18:59:33 2024



MSO5074 Mon April 22 19:00:12 2024



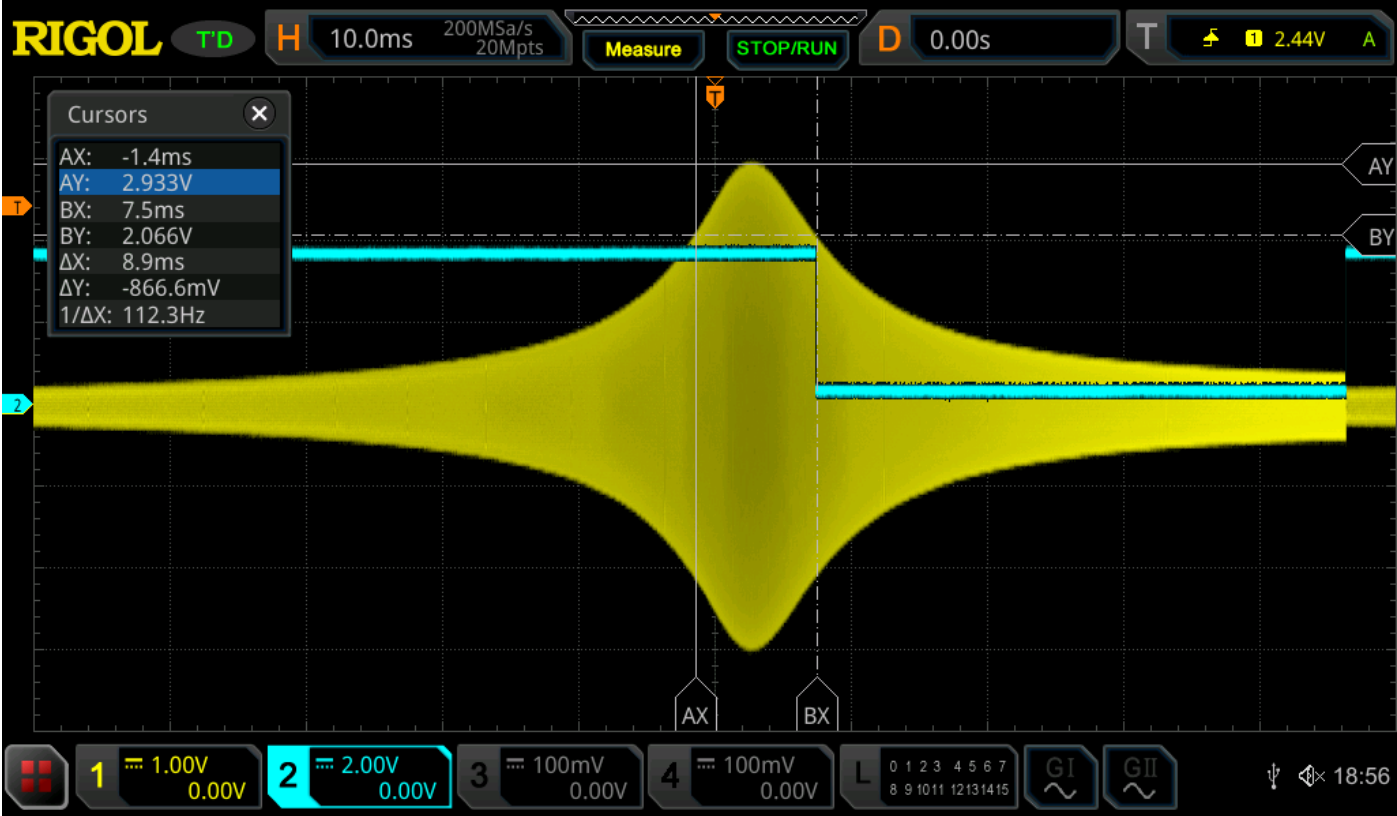
f_{L3dB} (Hz)	f_0 (Hz)	f_{H3dB} (Hz)	$BW = f_{H3dB} - f_{L3dB}$ (Hz)	$Q = f_0 / BW$
1.030M	1.1M	1.165M	135k	8.148

AC SWEEP waveform

MSO5074 Mon April 22 18:53:44 2024



MSO5074 Mon April 22 18:56:48 2024



MSO5074 Mon April 22 18:57:30 2024



Question:

V_{max} 與 f_0 的關係？ $1/(2^{1/2})V_{max}$ 與 f_{3dB} 的關係？quality factor 是什麼？
(需附上數學式)

由上面的電路數學計算與 Quality factor 介紹/推導部分的計算，可以知道 V_{max} 就是中心頻率的位置，而該頻率處的轉移函數值 $|H(\omega_0)| = 1$ ，由計算推出 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 。

而 $1/(2^{1/2})V_{max}$ 分別在 +3dB 和 -3dB 點的位置，由上面的推導得出的結果可以知道在 $(\omega RC - \frac{1}{\omega L})^2 = 1$ 的時候會出現 ω_{+3dB} 和 ω_{-3dB} ，分別為

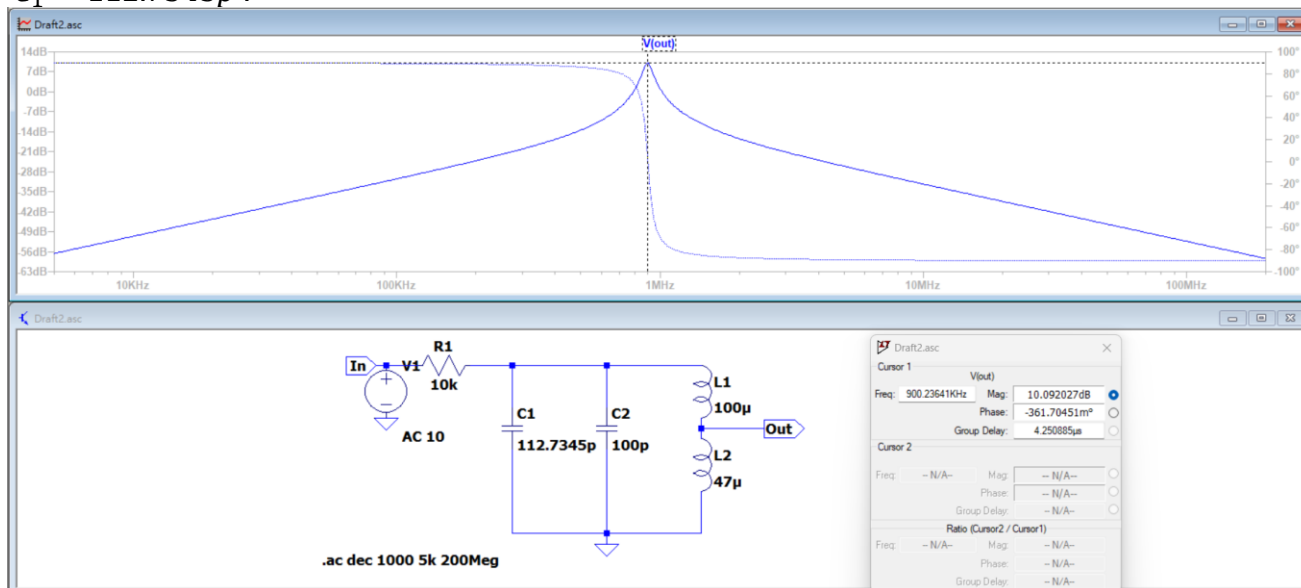
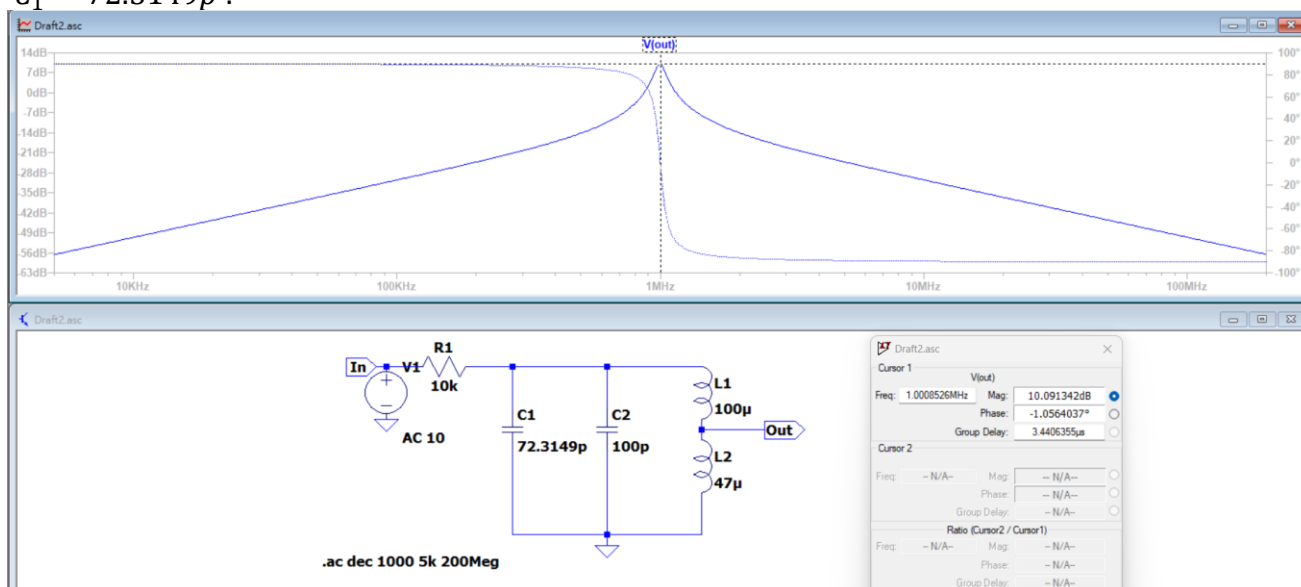
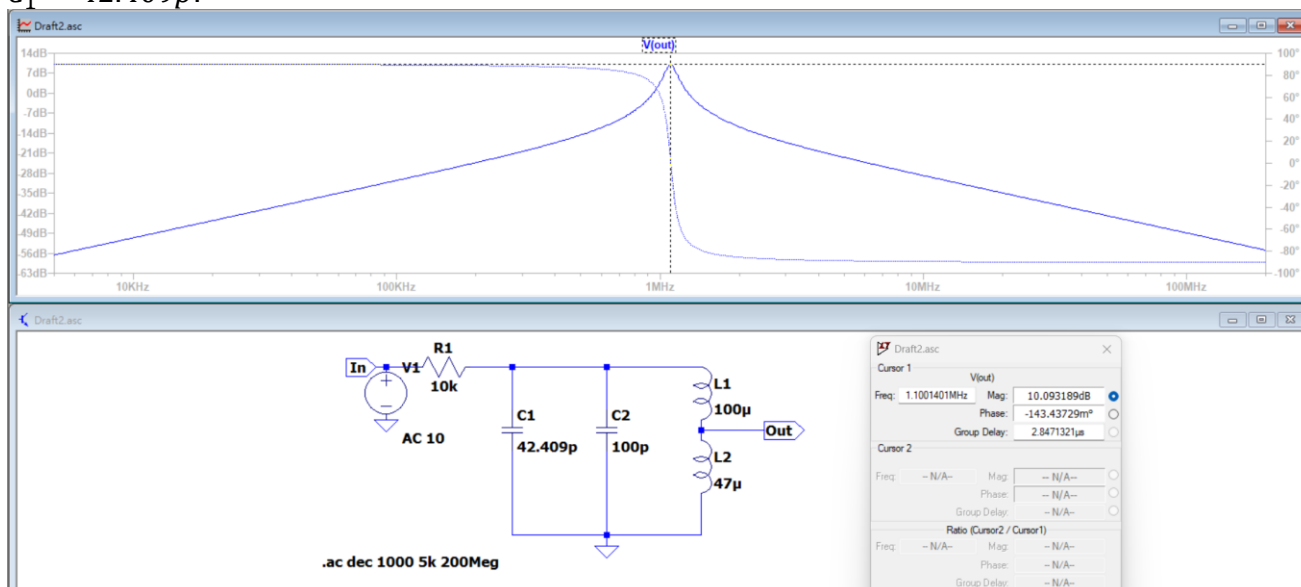
$$\omega_{+3dB} = \frac{1}{2RC} + \sqrt{\left(\frac{1}{2RC}\right)^2 + \frac{1}{LC}}$$

$$\omega_{-3dB} = -\frac{1}{2RC} + \sqrt{\left(\frac{1}{2RC}\right)^2 + \frac{1}{LC}}$$

$$f_{+3dB} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{2RC} + \sqrt{\left(\frac{1}{2RC}\right)^2 + \frac{1}{LC}} \right)$$

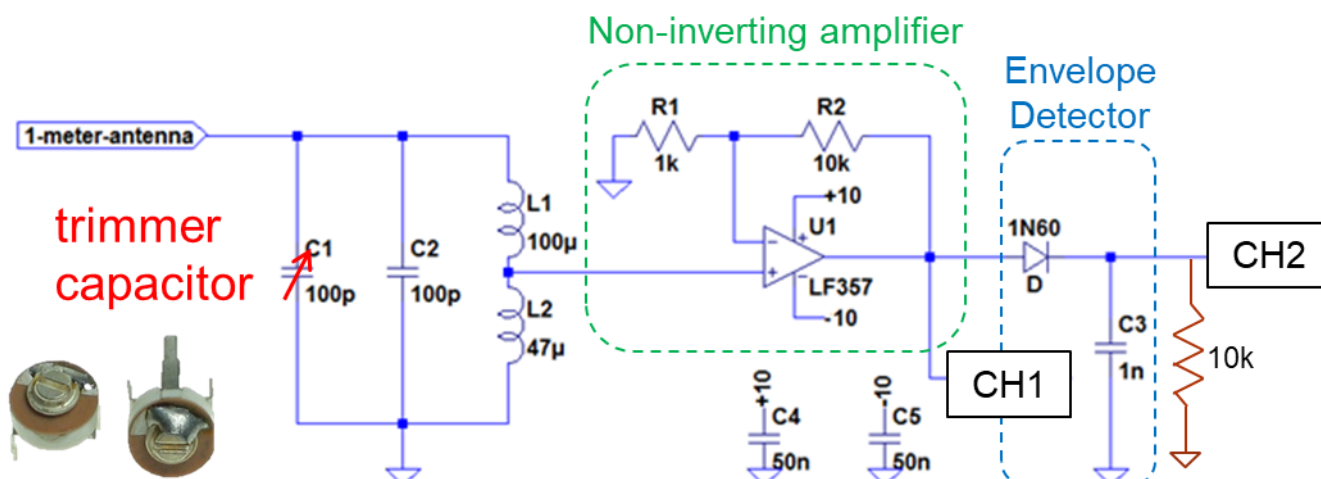
$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi} \left(-\frac{1}{2RC} + \sqrt{\left(\frac{1}{2RC}\right)^2 + \frac{1}{LC}} \right)$$

Quality factor 在上面電路數學計算與 Quality factor 介紹/推導也有詳細介紹與計算，這邊不再重複回答。

LTSpice Simulation: $C_1 = 112.7345p$: $C_1 = 72.3149p$: $C_1 = 42.409p$:

Experiment 2: Parallel RLC Tuner Circuit with amplifier

(111 年缺料, 改"LM318"替代)

**NOTICE: Please add decouple capacitor between +10V, -10V, Ground****電路分析:**

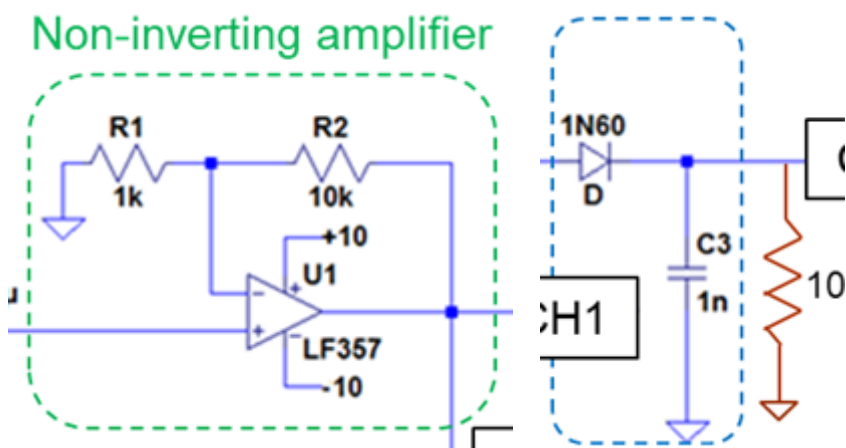
本電路由三部分組成，分別是 band pass filter、non-inverting amplifier 和 envelope detector。

第一部分的 band pass filter 在實驗一有詳細分析，這裡不再贅述。

第二部分的正迴授放大器(如下左圖)，是為了將第一部分為了維持高品質的濾波效果而寧願選擇降低輸出訊號大小的接收訊號放大，好讓後續解調或存在。根據放大器公式可以算出倍率:

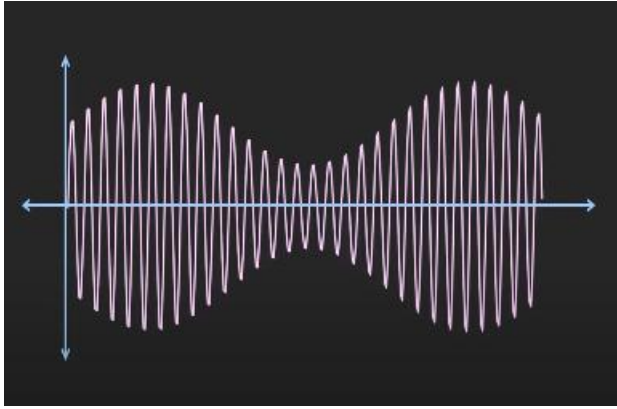
$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{in} = \left(1 + \frac{10}{1}\right) V_{in} = 11V_{in}$$

因此經過第二部分後的訊號，理想上將會被放大 11 倍，但是實際放大結果還是會受後方解調電路影響，而非真的 11 倍。

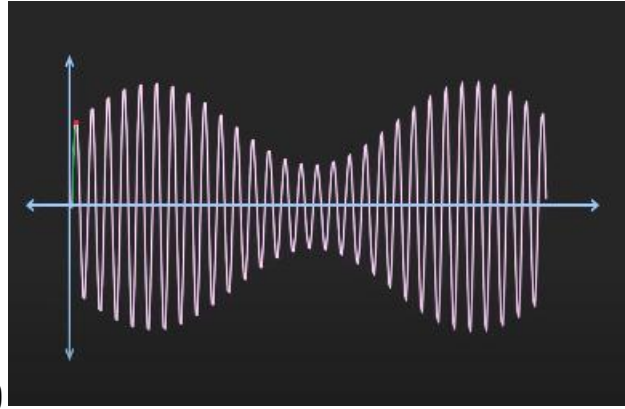


第三部分為一個 envelope detector(如下右圖)，其運作過程如下:

假設輸入訊號為下左圖(2-1)且將 Diode 視為理想二極體

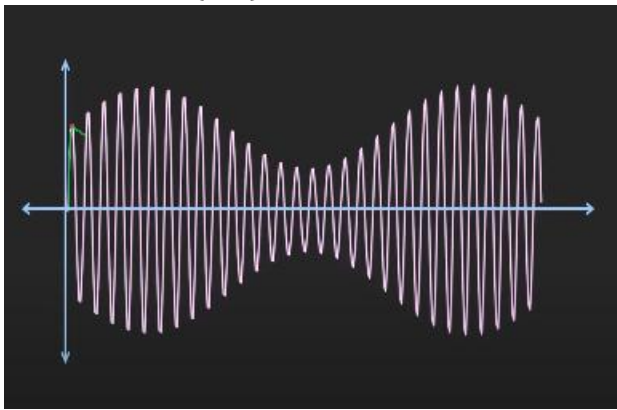


(2-1)

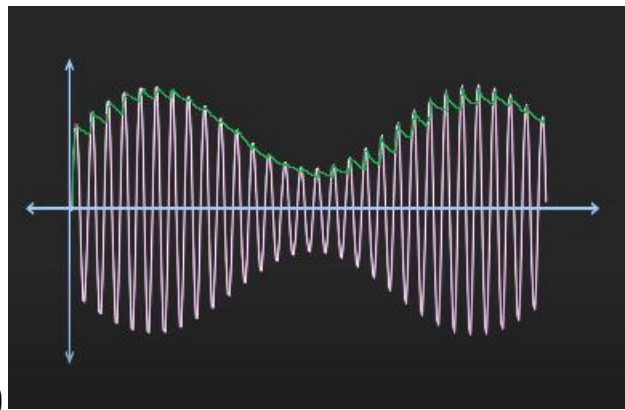


(2-2)

當訊號剛進入 envelope detector 時，Diode 將短路，讓電容充電到上右圖(2-2)紅色點的電壓。而當輸入訊號開始下降時，電容這時候的跨壓就會比輸入訊號高，因此開始放電維持輸出電壓的穩定，如下左圖(2-3)直到輸入訊號電壓比電容跨壓高。



(2-3)



(2-4)

就這樣周而復始就會形成如右上圖(2-4)的鋸齒狀訊號輸出。因此此部分電路有解調功能。

AM modulation 的數學分析:

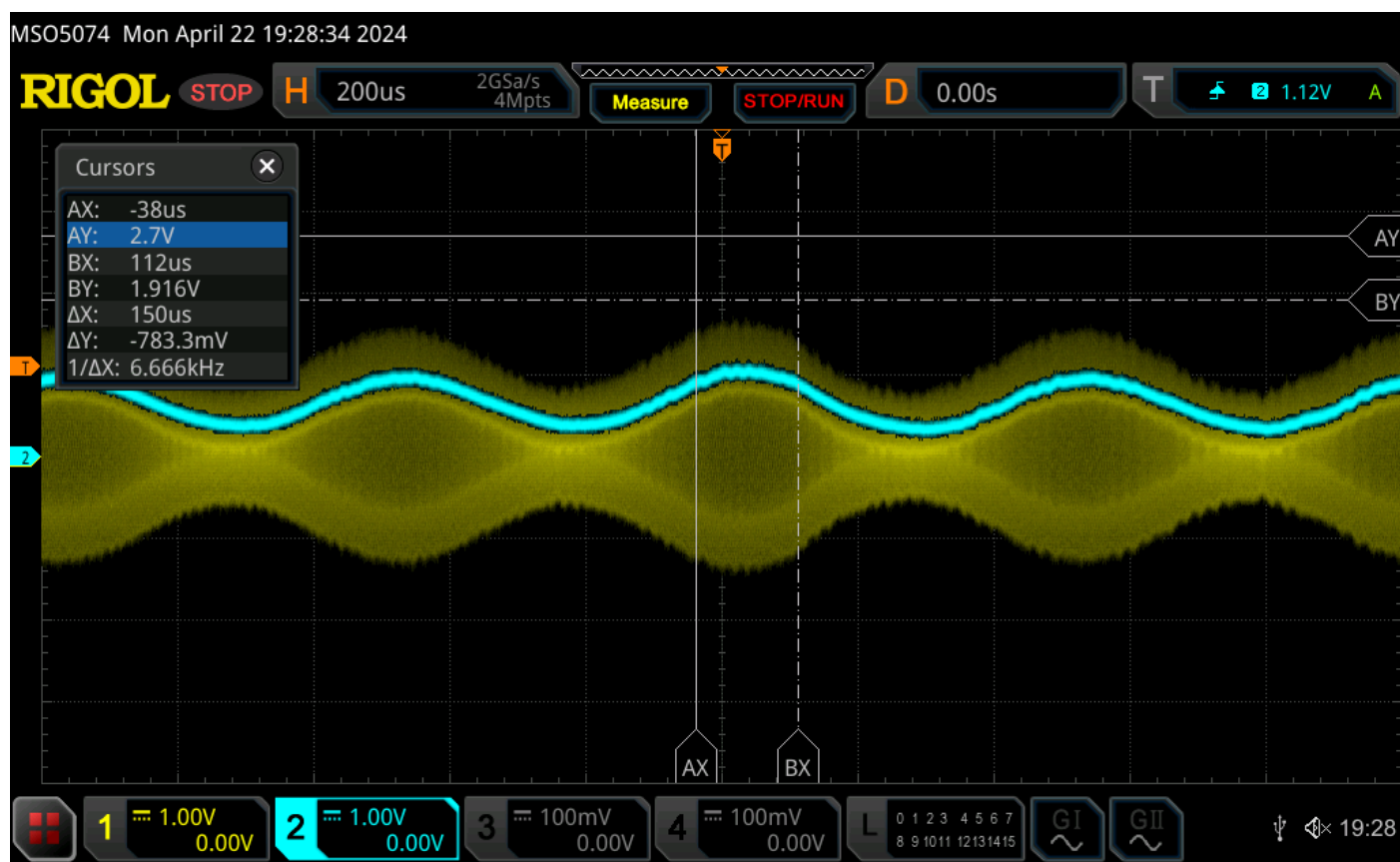
$$\begin{aligned}
 V_{AM}(t) &= A_{AM} \sin(2\pi f_{AM} t) \\
 &= (A_c + A_m \sin(2\pi f_m t)) \sin(2\pi f_c t) \\
 &= A_c \sin(2\pi f_c t) + A_m \sin(2\pi f_m t) \times \sin(2\pi f_c t) \\
 &= A_c \sin(2\pi f_c t) + 0.5 A_m [\cos(2\pi(f_m - f_c)t) - \cos(2\pi(f_m + f_c)t)] \\
 &= A_c \sin(2\pi f_c t) + 0.5 \frac{A_m}{A_c} A_c [\cos(2\pi(f_m - f_c)t) - \cos(2\pi(f_m + f_c)t)]
 \end{aligned}$$

本實驗中：

$$\begin{aligned}
 f_c &= 1\text{MHz}, f_m = 2\text{kHz}, \text{depth} = 100\% \\
 A_c &= 0.5\text{V} \rightarrow A_m = 0.5\text{V}
 \end{aligned}$$

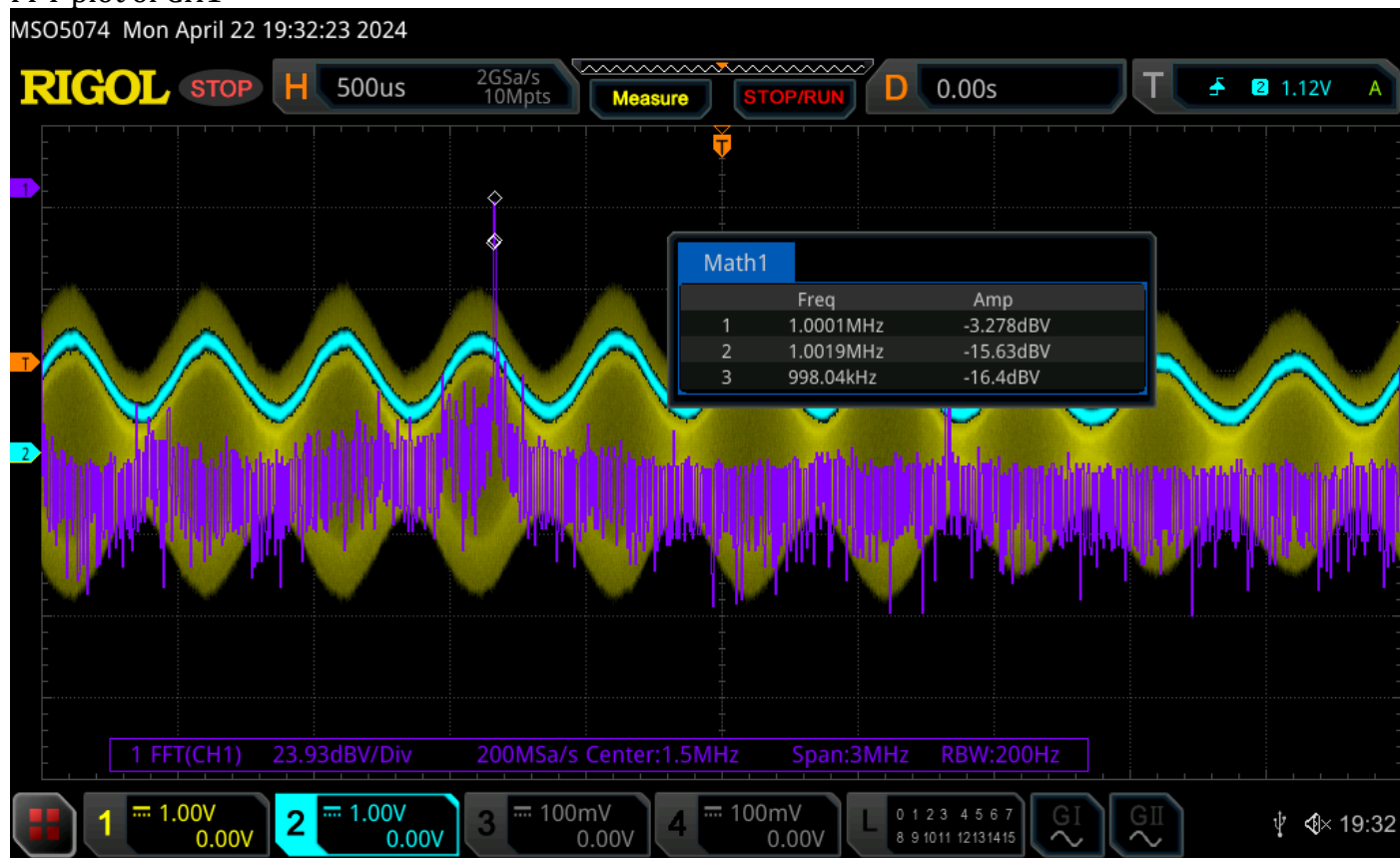
5-1

Waveform of CH1 and CH2 (time-domain) Note: align ground of both channel



5-2

FFT plot of CH1



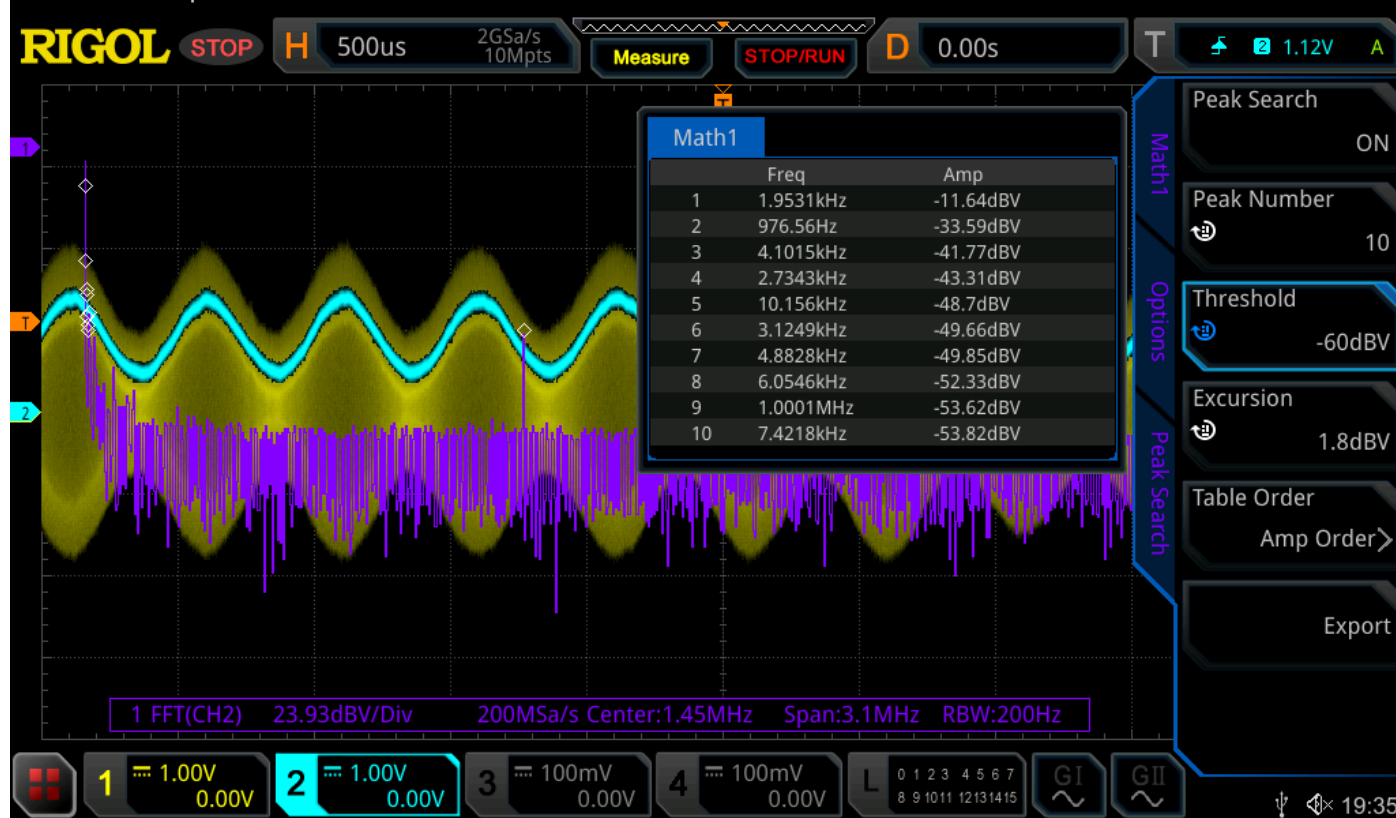
5-3

	Carrier	Lower sideband	Upper sideband
Frequency (Hz)	1M	998k	1.002M
Magnitude (dB)	-3.278dB	-16.4dB	-15.63dB

5-4

FFT plot of CH2

MSO5074 Mon April 22 19:36:11 2024



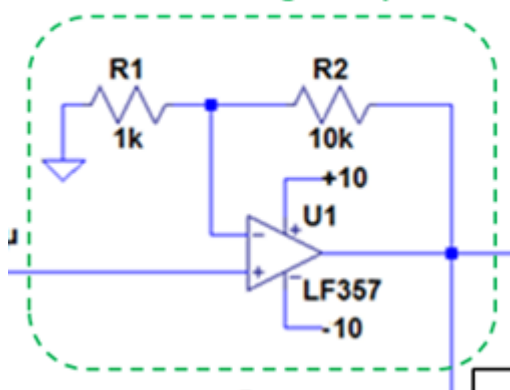
5-5

	Modulation
Frequency (Hz)	1.9531k
Magnitude (dB)	-11.64dB

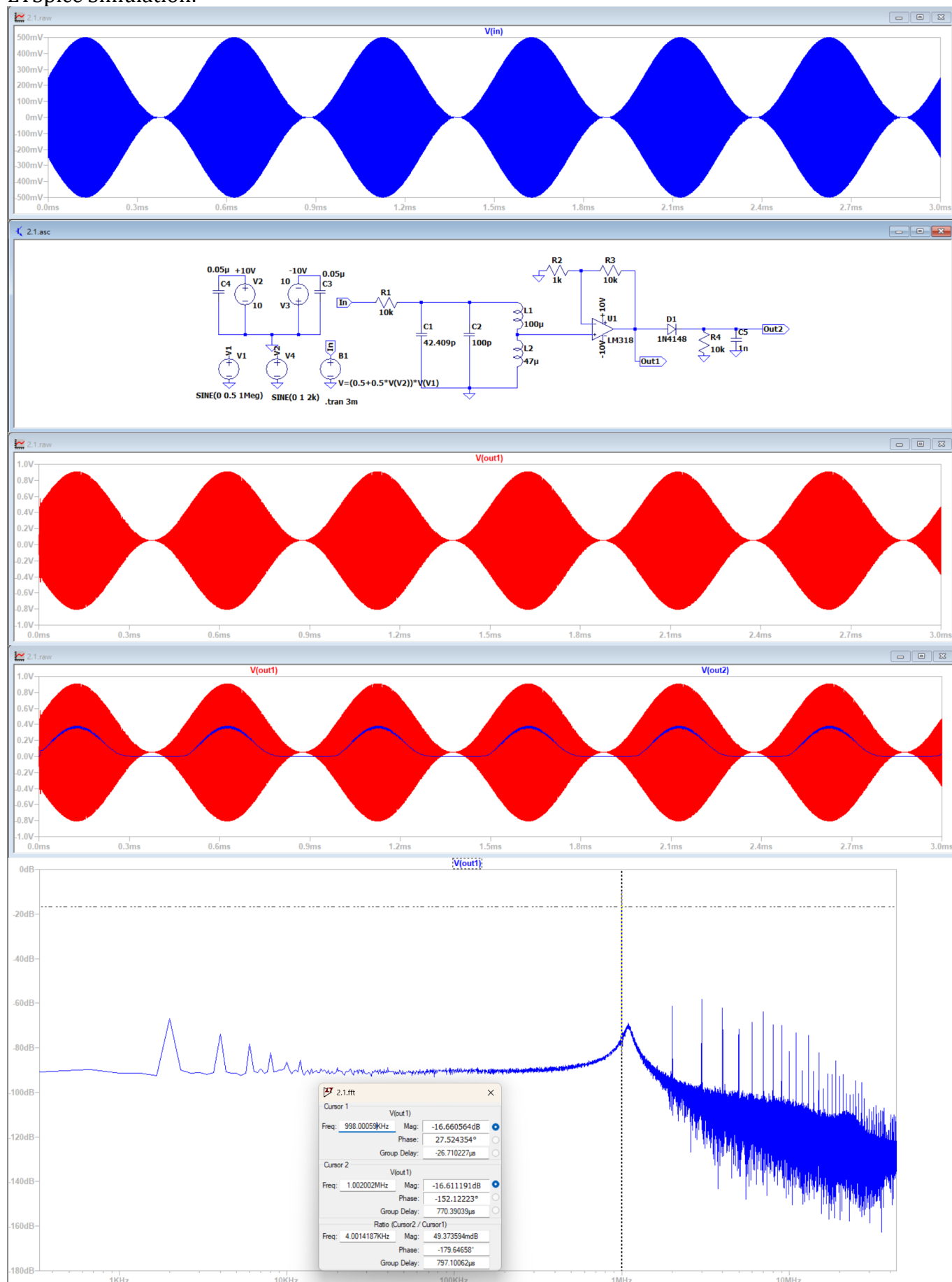
Question:

非反向放大器的倍率？

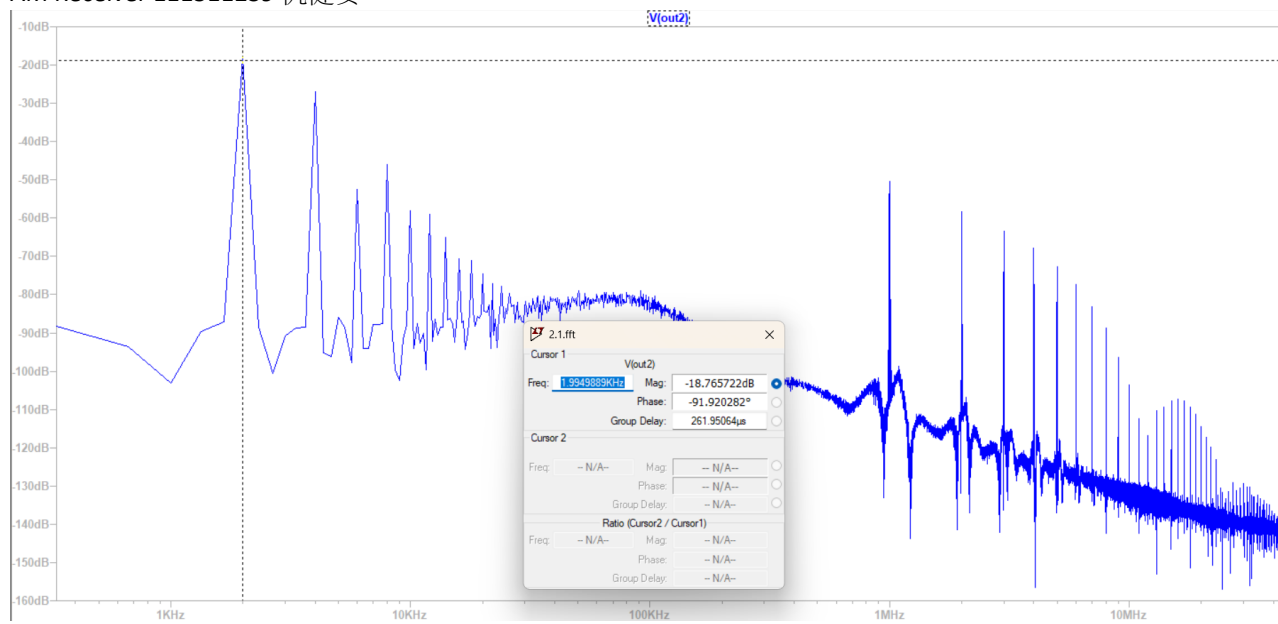
$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{in} = \left(1 + \frac{10}{1}\right) V_{in} = 11V_{in} \rightarrow A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 11$$

Non-inverting amplifier

LTSpice Simulation:

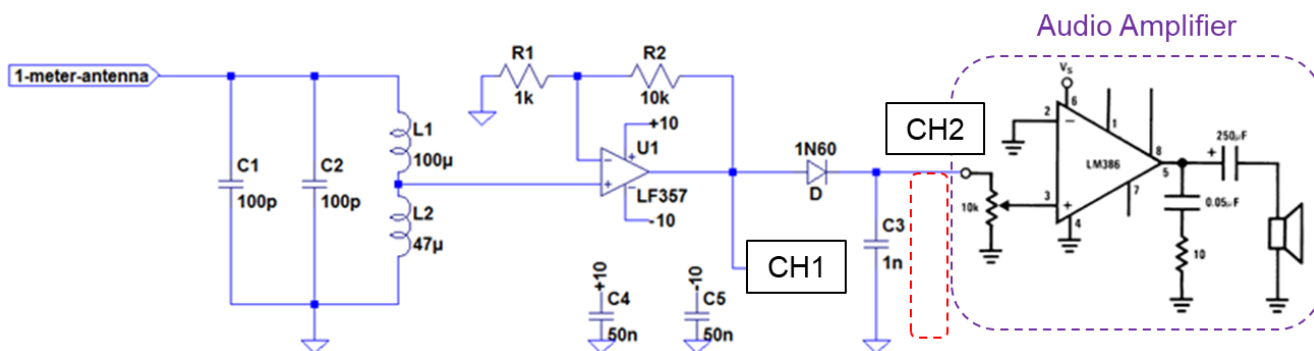


(Cursor 擋住在 998k 和 1002k 處的大小。)



(Vout1 振幅與解調出來的訊號都怪怪的，估計是因為使用的是 1N4148 而非 1N60)

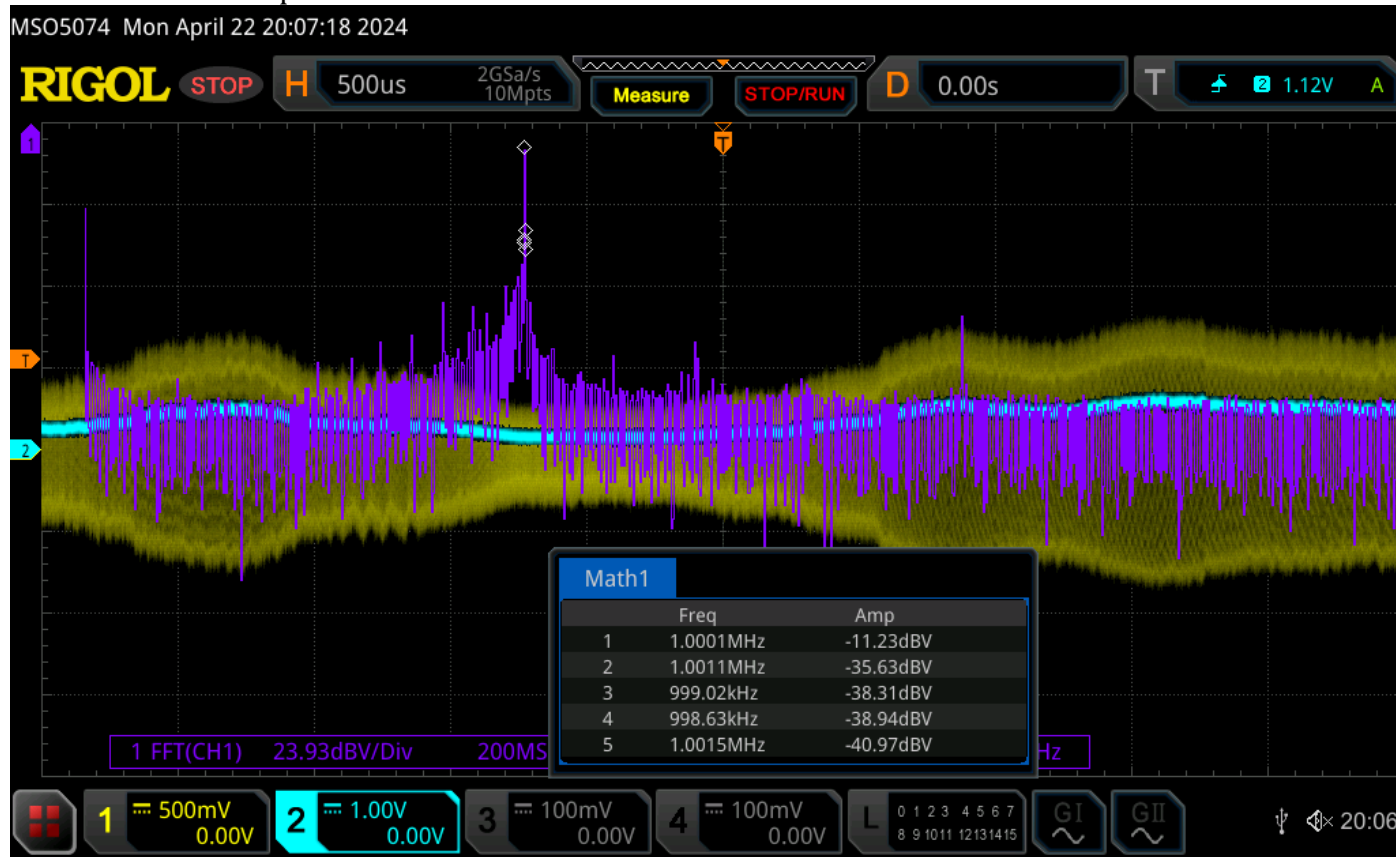
Experiment 3: AM radio receiver



電路分析:

本電路的前三部分與實驗二功能幾乎相同，後方則是將解調後的訊號輸入進電子實驗(一)期末專題的音樂播放電路，來播放接收到的音樂。

Waveform and FFT plot of CH1



Waveform and FFT plot of CH2

MSO5074 Mon April 22 20:07:33 2024



Question:

各級電路的功能？

在實驗二和實驗三的電路分析有詳細分析，這裡簡單講述各階段的功能，如下：



天線接收訊號，由 Bandpass filter 過濾訊號擷取需要的頻率，再由放大器將擷取的訊號增幅，然後透過 envelope detector 解調，最後由音樂播放電路將解調後的音樂訊號由喇叭撥出。

實驗心得:

這次實驗結合了上學期的音樂播放電路實際做出了一個類似於收音機的裝置，我覺得電子實驗有越來越像生活周遭物品貼近，讓我認識平常周遭的電子設備原來可以透過這些簡單的電路就被實現出來，而且這次是第一次直接接收空間中的電磁波訊號，不像往常實驗都一定要有線對接，我覺得非常酷!

實驗結論:

實驗一是簡單的 band-pass filter，實驗重點是透過調整可變電容 C1 的大小，來抓取訊號的不同頻率，換句話說就是改變電容值調整中心頻率大小。

實驗二結合實驗一的 band-pass filter 過濾使用訊號線模擬的天線所捕捉之電磁波訊號後，又接上放大電路把訊號放大，最後再連接 envelope detector 電路將放大後的 AM 訊號解調，實驗重點在於調整可變電容 C1 的大小，控制 f_0 的大小，以此來順利抓取訊號。

實驗三是實驗二的延伸，重點一樣為調整可變電容 C1 的大小，控制 f_0 的大小，以此來順利抓取聲音訊號，再透過喇叭電路將解調後的訊號播放出。

Reference:

中文百科。(未知) 帶通濾波器。檢自:

<https://www.newton.com.tw/wiki/%E5%B8%B6%E9%80%9A%E6%BF%BE%E6%B3%A2%E5%99%A8>
(2024/04/28)

維基百科。(2024/03/29) 調頻廣播。檢自: [https://zh.wikipedia.org/zh-](https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%B0%83%E9%A2%91%E5%B9%BF%E6%92%AD#:~:text=%E9%80%9A%E5%B8%B8%E4%BE%86%E8%87%AA%20%E9%8C%84%E9%9F%B3%E5%AE%A4%20%E7%9A%84%E7%AF%80%E7%9B%AE%E8%B3%87%E6%96%99%E7%9A%84%E9%9B%BB%E8%A8%8A%E8%99%9F%E8%88%87%E7%89%B9%E5%AE%9A%E9%A0%BB%E7%8E%87%E7%9A%84%20%E8%BC%89%E6%B3%A2%20%E6%B7%B7%E5%90%88%EF%BC%8C%E7%84%B6%E5%BE%8C%E9%80%B2%E8%A1%8C%E5%BB%A3%E6%92%AD%E3%80%82%20%E5%9C%A8AM%E7%9A%84%E6%83%85%E6%B3%81%E4%B8%8B%EF%BC%8C%E6%A0%B9%E6%93%9A%E5%8E%9F%E5%A7%8B%E8%A8%8A%E8%99%9F%EF%BC%8C%E9%80%9A%E9%81%8E%E6%94%B9%E8%AE%8A%E8%BC%89%E6%B3%A2%E7%9A%84%20%E6%8C%AF%E5%B9%85,%E9%9A%A8%E6%99%82%E9%96%93%E5%AE%8C%E6%88%90%E8%A9%B2%E6%B7%B7%E5%90%88%EF%BC%88%E8%AA%BF%E8%A3%BD%EF%BC%89%E3%80%82%20%E5%9C%A8FM%E7%9A%84%E6%83%85%E6%B3%81%E4%B8%8B%EF%BC%8C%E8%BC%89%E6%B3%A2%E7%9A%84%20%E9%A0%BB%E7%8E%87%20%E6%98%AF%E8%AE%8A%E5%8C%96%E7%9A%84%E3%80%82%20%E7%84%A1%E7%B7%9A%E9%9B%BB%E6%8E%A5%E6%94%B6%E6%A9%9F%EF%BC%88%E3%80%8C%E6%94%B6%E9%9F%B3%E6%A9%9F%E3%80%8D%EF%BC%89%E5%8C%85%E5%90%AB%E4%B8%80%E5%80%8B%E8%A7%A3%E8%AA%BF%E5%99%A8%EF%BC%8C%E7%94%A8%E6%96%BC%E5%BE%9E%E5%BB%A3%E6%92%AD%E6%B3%A2%E4%B8%AD%20%E6%8F%90%E5%8F%96%20%E5%8E%9F%E5%A7%8B%E7%AF%80%E7%9B%AE%E7%B4%A0%E6%9D%90%E3%80%82)

tw/%E8%B0%83%E9%A2%91%E5%B9%BF%E6%92%AD#:~:text=%E9%80%9A%E5%B8%B8%E4%BE%86%E8%87%AA%20%E9%8C%84%E9%9F%B3%E5%AE%A4%20%E7%9A%84%E7%AF%80%E7%9B%AE%E8%B3%87%E6%96%99%E7%9A%84%E9%9B%BB%E8%A8%8A%E8%99%9F%E8%88%87%E7%89%B9%E5%AE%9A%E9%A0%BB%E7%8E%87%E7%9A%84%20%E8%BC%89%E6%B3%A2%20%E6%B7%B7%E5%90%88%EF%BC%8C%E7%84%B6%E5%BE%8C%E9%80%B2%E8%A1%8C%E5%BB%A3%E6%92%AD%E3%80%82%20%E5%9C%A8AM%E7%9A%84%E6%83%85%E6%B3%81%E4%B8%8B%EF%BC%8C%E6%A0%B9%E6%93%9A%E5%8E%9F%E5%A7%8B%E8%A8%8A%E8%99%9F%EF%BC%8C%E9%80%9A%E9%81%8E%E6%94%B9%E8%AE%8A%E8%BC%89%E6%B3%A2%E7%9A%84%20%E6%8C%AF%E5%B9%85,%E9%9A%A8%E6%99%82%E9%96%93%E5%AE%8C%E6%88%90%E8%A9%B2%E6%B7%B7%E5%90%88%EF%BC%88%E8%AA%BF%E8%A3%BD%EF%BC%89%E3%80%82%20%E5%9C%A8FM%E7%9A%84%E6%83%85%E6%B3%81%E4%B8%8B%EF%BC%8C%E8%BC%89%E6%B3%A2%E7%9A%84%20%E9%A0%BB%E7%8E%87%20%E6%98%AF%E8%AE%8A%E5%8C%96%E7%9A%84%E3%80%82%20%E7%84%A1%E7%B7%9A%E9%9B%BB%E6%8E%A5%E6%94%B6%E6%A9%9F%EF%BC%88%E3%80%8C%E6%94%B6%E9%9F%B3%E6%A9%9F%E3%80%8D%EF%BC%89%E5%8C%85%E5%90%AB%E4%B8%80%E5%80%8B%E8%A7%A3%E8%AA%BF%E5%99%A8%EF%BC%8C%E7%94%A8%E6%96%BC%E5%BE%9E%E5%BB%A3%E6%92%AD%E6%B3%A2%E4%B8%AD%20%E6%8F%90%E5%8F%96%20%E5%8E%9F%E5%A7%8B%E7%AF%80%E7%9B%AE%E7%B4%A0%E6%9D%90%E3%80%82
(2024/04/28)

Wikiwand。(未知) 振幅調變。檢自: [https://www.wikiwand.com/zh-](https://www.wikiwand.com/zh-tw/%E6%8C%AF%E5%B9%85%E8%AA%BF%E8%AE%8A)

tw/%E6%8C%AF%E5%B9%85%E8%AA%BF%E8%AE%8A

(2024/04/28)