結報評分標準

圖表	數據	發現問題	電路分析	心得+結論	Reference
15%	15%	10%	30%	20%	10%

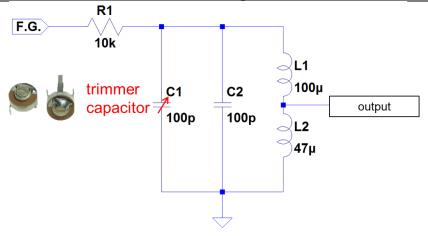
請假後補交結報的規定

1. 請假需依規定提出假單申請,並安排時間補做實驗並將核準過的假單截圖貼於下方,助教才會進 行結報的批改。

2. 以請假日計算;需在一星期內完成補做驗,二個星期內補交結報(將結報交至 Delay 區)。逾時不進行結報批改。例如:3/1 請假,需在 3/8 前完成補做實驗,3/15 前補交結報。

REPORT

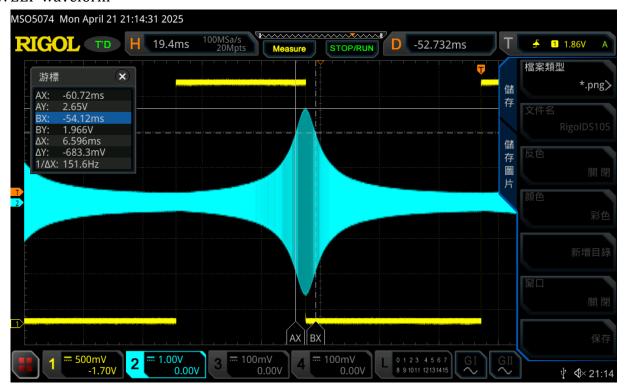
Experiment 1: Parallel RLC Tuner Circuit Basic Properties



2.

f _{L3dB} (Hz)	f ₀ (Hz)	fнзdв (Hz)	$BW = f_{H3dB} - f_{L3dB} (Hz)$	$Q = f_0 / BW$
856k	900k	943k	87k	10.35

AC SWEEP waveform



▲ 訊號分析

首先我們先推導 f_0 (oscillation frequency) 的樣式:

$$I = \frac{V_{in}}{R_{out}} = \frac{V_{in}}{R_1 + \left(\frac{1}{5C_1} + \frac{1}{5C_2}\right) || (sL_1 + 5L_2)}$$

Voot =
$$(V_m - I \cdot R_1) \times \frac{L_2}{L_1 + L_2}$$

$$V_{\text{out}} = \left(1 - \frac{R_1}{R_1 + \left(\frac{1}{5C_1} + \frac{1}{5C_2} \right) || \left(5L_1 + 5L_2 \right)} \right) \times \frac{L_2}{L_1 + L_2} \times V_{\text{in}}$$

$$\frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} = \frac{\left(\frac{1}{5C_1} + \frac{1}{5C_2} \right) || \left(5L_1 + 5L_2 \right)}{R_1 + \left(\frac{1}{5C_1} + \frac{1}{5C_2} \right) || \left(5L_1 + 5L_2 \right)} \times \frac{L_2}{L_2 + L_1}$$

$$\therefore \left(\frac{1}{5C_1} + \frac{1}{5C_2} \right) || \left(5L_1 + 5L_2 \right) = \frac{1}{\frac{1}{5L_1 + 5L_2}} + 5C_1 + 5C_2$$

$$\frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} = \frac{1}{\frac{R_1}{N_1 + N_2}} \times \frac{L_2}{N_1 + N_2} \times \frac{L_2}{N_1 + N_2}$$

$$= 0$$

$$R_1 \left(\frac{-j}{N_1} \left(\frac{1}{L_1 + L_2} \right) + j_N \left(C_1 + C_2 \right) \right) = 0.$$

$$V_0 = \frac{1}{\sqrt{(C_1 + C_2)(L_1 + L_2)}} \qquad f_0 = \frac{1}{2R\sqrt{(C_1 + C_2)(L_1 + L_2)}} + \frac{1}{R_1 + R_2}$$

因為我們在知道 f_0 的情況下反推可變電容的值,所以可變電容值為:

$$f_{0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(c_{1} + c_{2})(L_{1} + L_{2})}} \Rightarrow (2\pi f_{0})^{2} = \frac{1}{(c_{1} + c_{2})(L_{1} + L_{2})}$$

$$c_{1} = \frac{1}{(2\pi f_{0})^{2}(L_{1} + L_{2})} - c_{2}$$

透過公式我們可以知道可變電容值為 112.734 pF。

然後我們開始計算 $f_{Hd3B} \cdot f_{Ld3B}$ 的數值:

$$\Rightarrow \begin{cases} \omega_{high} = \frac{1}{2RC} + \sqrt{\left(\frac{1}{2RC}\right)^2 + \frac{1}{LC}} \\ \omega_{low} = -\frac{1}{2RC} + \sqrt{\left(\frac{1}{2RC}\right)^2 + \frac{1}{LC}} \end{cases}$$

▲引用助教簡報的結果(不想找根)

透過前面對震盪頻率 f_0 (oscillation frequency) 的分析,帶入 $C_{eq} = C_1 + C_2$ 、

 $L_{eq} = L_1 + L_2$ 等數據進去進去公式,可以得知:

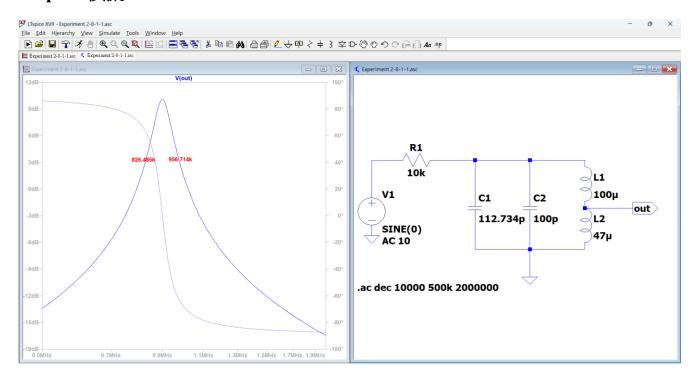
 f_{Hd3B} : 938.185 k

 f_{Ld3B} : 863.374 k

計算 BW (bandwidth)、 Q (quality factor):

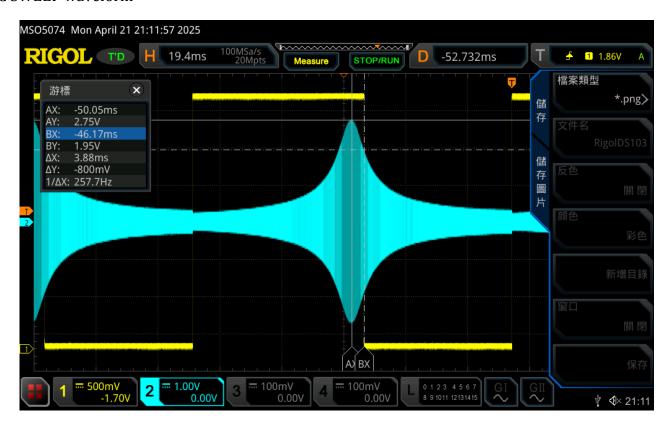
BW =
$$(f_{Hd3B} - f_{Ld3B})$$
 = 74.811k
Q = f_0 / BW = 12.03

▲ LTspice 模擬



f _{L3dB} (Hz)	f ₀ (Hz)	fнзdв (Hz)	$BW = f_{H3dB} - f_{L3dB} (Hz)$	$Q = f_0 / BW$
940k	1M	1.05M	110k	9.09

AC SWEEP waveform



▲ 訊號分析

帶入數據進去計算可變電容的公式中:

$$f_{0} = \frac{1}{2\pi \sqrt{(c_{1} + c_{2})(L_{1} + L_{2})}} \Rightarrow (2\pi f_{0})^{2} = \frac{1}{(c_{1} + c_{2})(L_{1} + L_{2})}$$

$$c_{1} = \frac{1}{(2\pi f_{0})^{2}(L_{1} + L_{2})} - c_{2}$$

透過公式我們可以知道可變電容值為 72.315 pF。

然後我們開始計算 f_{Hd3B} 、 f_{Ld3B} 的數值:

$$\Rightarrow \begin{cases} \omega_{high} = \frac{1}{2RC} + \sqrt{\left(\frac{1}{2RC}\right)^2 + \frac{1}{LC}} \\ \omega_{low} = -\frac{1}{2RC} + \sqrt{\left(\frac{1}{2RC}\right)^2 + \frac{1}{LC}} \end{cases}$$

▲引用助教簡報的結果(不想找根)

透過前面對震盪頻率 f_0 (oscillation frequency) 的分析,帶入 $C_{eq} = C_1 + C_2$ 、

 $L_{eq} = L_1 + L_2$ 等數據帶進去公式,可以得知:

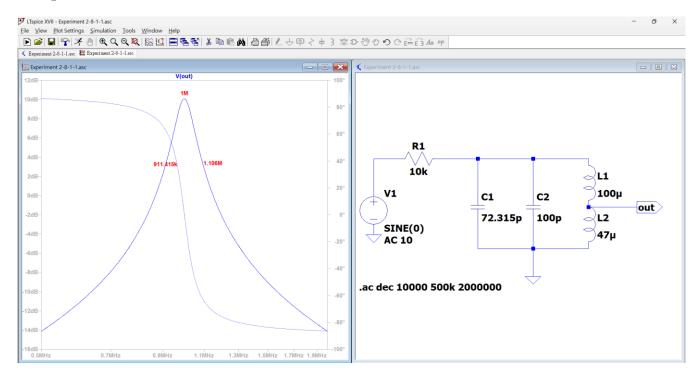
 f_{Hd3B} : 1.047 M

 $f_{Ld3B}:954.884 \text{ k}$

計算 BW (bandwidth)、 Q (quality factor):

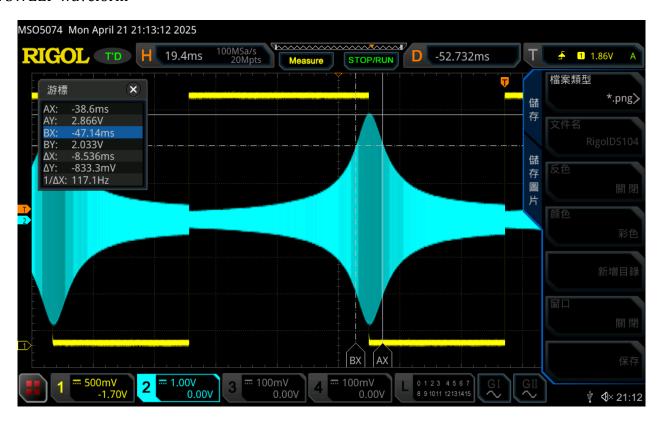
BW =
$$(f_{Hd3B} - f_{Ld3B})$$
 = 92.116 k
Q = f_0 / BW = 10.856

▲ LTspice 模擬



f _{L3dB} (Hz)	f ₀ (Hz)	fнзdв (Hz)	$BW = f_{H3dB} - f_{L3dB} (Hz)$	$Q = f_0 / BW$
1.043M	1.1M	1.171M	0.128M	8.59

AC SWEEP waveform



▲ 訊號分析

帶入數據進去計算可變電容的公式中:

$$f_{0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(c_{1} + c_{2})(L_{1} + L_{2})}} \Rightarrow (2\pi f_{0})^{2} = \frac{1}{(c_{1} + c_{2})(L_{1} + L_{2})}$$

$$c_{1} = \frac{1}{(2\pi f_{0})^{2}(L_{1} + L_{2})} - c_{2}$$

透過公式我們可以知道可變電容值為 42.409 pF。

然後我們開始計算 f_{Hd3B} 、 f_{Ld3B} 的數值:

$$\begin{split} & \because \omega > 0, select\ positive\ \omega \\ & \Rightarrow \begin{cases} \omega_{high} = \frac{1}{2RC} + \sqrt{\left(\frac{1}{2RC}\right)^2 + \frac{1}{LC}} \\ \omega_{low} = -\frac{1}{2RC} + \sqrt{\left(\frac{1}{2RC}\right)^2 + \frac{1}{LC}} \end{cases} \end{split}$$

▲引用助教簡報的結果(不想找根)

透過前面對震盪頻率 f_0 (oscillation frequency) 的分析,帶入 $C_{eq} = C_1 + C_2$ 、

 $L_{eq} = L_1 + L_2$ 等數據帶進去公式,可以得知:

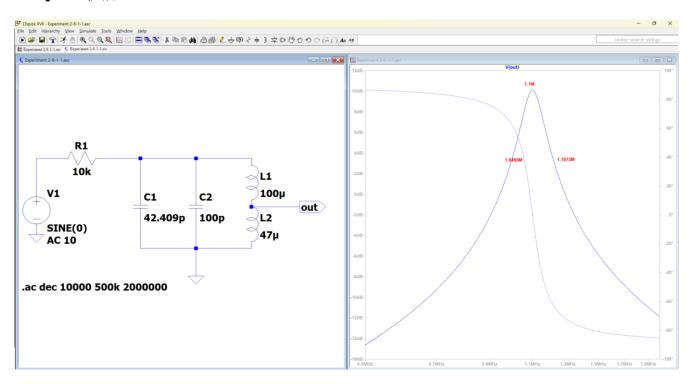
 $f_{Hd3B}: 1.1573 \text{ M}$

 f_{Ld3B} : 1.0455 M

計算 BW (bandwidth)、 Q (quality factor):

BW =
$$(f_{Hd3B} - f_{Ld3B})$$
 = 111.8 k
Q = f_0 / BW = 9.839

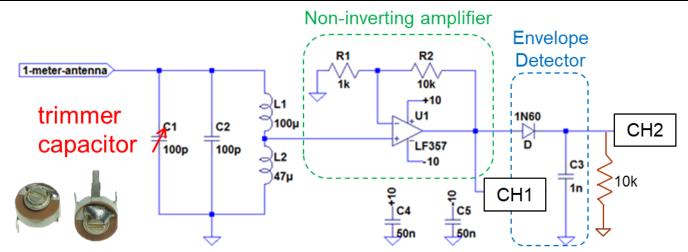
棊 LTspice 模擬



ዹ 結論

在實驗一中,我們透過簡單的 RLC 電路建構出一個 bandpass filter, 然後再透過調整電容參數來移動震盪頻率,最後在正確的頻率上測量 BW 等相關數據。

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

5-1 Waveform of CH1 and CH2 (time-domain) Note: align ground of both channel



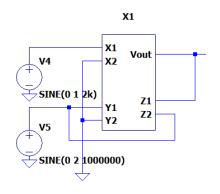
♣ 問題

1. 助教的 AM station 發射的訊號如何模擬?

這是我在做 LTspice 模擬時遇到的問題之一,那時候接收到訊號就直接紀錄,也沒多做討論。

	Carrier	Lower sideband	Upper sideband
Frequency (Hz)	999.99k	998.04	1.002
Magnitude (dB)	-10.89	-15.07	-17.8

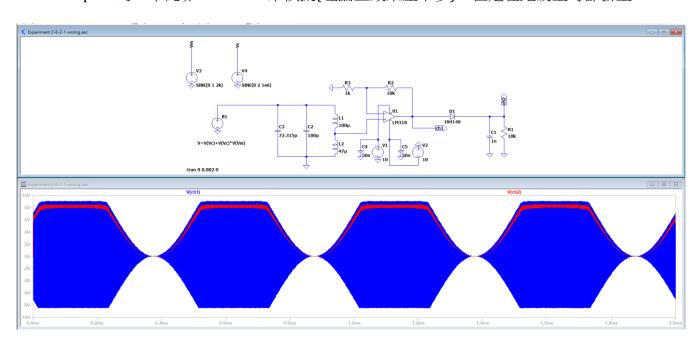
根據第一個表格我們可以發現到 Carrier 的頻率為 1 M(Hz), 然後再根據後面的 lower sideband、upper sideband 的關係式得知 Modulation 的頻率為 2k (Hz)。



再依據 Lab7 的 DSB-LC LTspice 接線圖模擬出助教傳輸的波。

2. 為什麼在模擬 LTspice 時會出現波型看起來像是被切到的樣子?

如題,這問題是我在模擬 LTspice 時發現的狀況,原本我是沒有要 MPY634 IC 來模擬 LTspice 的,單純靠 AM wave 來模擬(理論上效果差不多),但是在跑波型時卻發生:



如上圖,我用 COM Label + bv voltage modal 實踐的波型卻會發生類似圖型頂部被切到的現象,這讓我思考很久,直到我看到後面的 Opamp 才恍然大悟...

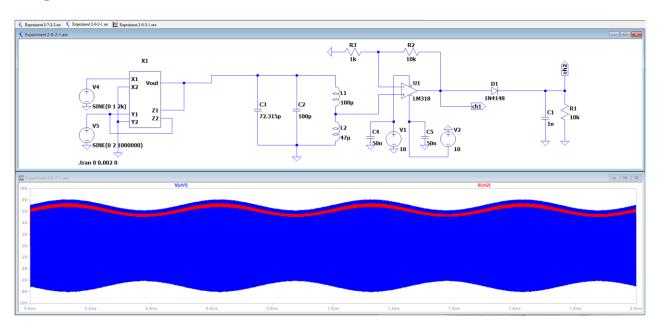
$$\frac{V_{in}}{V_{in}} = \frac{V_{in} - V_{in}}{10 \, \text{k}} \Rightarrow V_{in} - V_{in} = 10 \, \text{Vin}$$

$$V_{in} = \frac{V_{in} - V_{in}}{10 \, \text{k}} \Rightarrow V_{in} - V_{in} = 10 \, \text{Vin}$$

$$V_{in} = \frac{V_{in} - V_{in}}{10 \, \text{k}} \Rightarrow V_{in} = 10 \, \text{Vin}$$

透過將中間的 LM318 模型理想化我們可以發現這個 Opamp 的 gain 有 11 倍之高,即使我的 Carrier 、 Modulation 波的振幅定為 1 都會出事,因為 Vout 的電壓會受到 Opamp 的供電壓 所限制,而 MPY634 IC 之所以不會出現這問題是因為他在輸出 modulated 的波型時會自動把 Vout 除上 SF 值,而這值通常為 10。

棊 LTspice 模擬



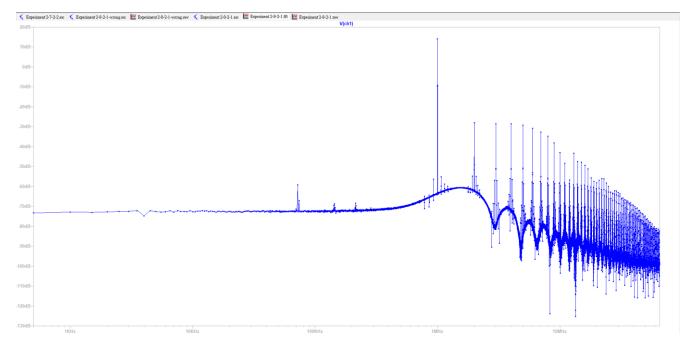
5-2 FFT plot of CH1



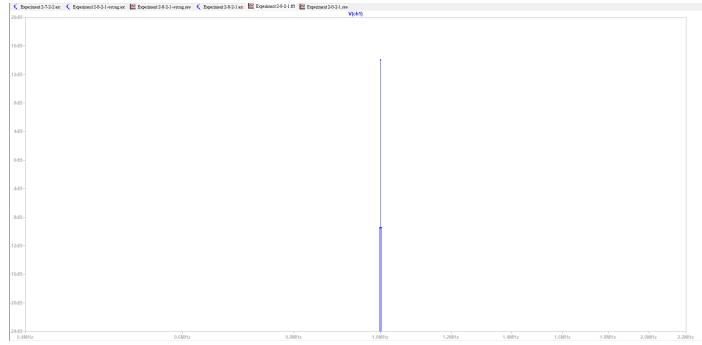
5-3

	Carrier	Lower sideband	Upper sideband
Frequency (Hz)	999.99k	998.04k	1.002M
Magnitude (dB)	-10.89	-15.07	-17.8

棊 LTspice 模擬



我們試著把 1M 附近的波放大:



可以觀察到 998k、1.002M 頻率的存在

▲ 訊號分析

$$V_{nt} = \sin(2\pi f_{c}t) + \frac{2 \cdot 1}{5F} \sin(2\pi f_{c}t) \sin(3\pi f_{m}t)$$

$$= \sin(2\pi f_{c}t) + \frac{2}{5F} \left[\cos(2\pi (998k)t) - \cos(2\pi (1.902M)t) \right]$$

$$= \sin(2\pi f_{c}t) + \frac{2}{5F} \left[\cos(2\pi (998k)t) - \cos(2\pi (1.902M)t) \right]$$

$$= \frac{1}{2} \left[(e^{2\pi i/Mt} - e^{-2\pi i/Mt}) + \frac{1}{5F} (e^{-2\pi i/Mt} + e^{-2\pi i/Mt} + e^{-2\pi i/Mt}) + \frac{1}{5F} (e^{-2\pi i/Mt} + e^{-2\pi i/Mt} + e^{-2\pi i/Mt}) \right]$$

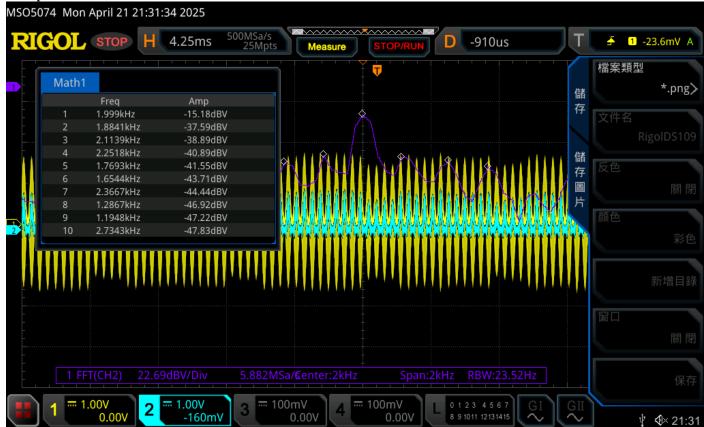
$$= \frac{1}{2} \left[(\delta(f - iM) - \delta(f + iM)) + \frac{1}{5F} \left(\delta(f - 998k) + \delta(f + 998k) - \delta(f - i/002M) - \delta(f + i/002M) \right) \right]$$

$$= \frac{1}{2} \left[(\delta(f - iM) - \delta(f + iM)) + \frac{1}{5F} \left(\delta(f - 998k) + \delta(f + 998k) - \delta(f - i/002M) - \delta(f + i/002M) \right) \right]$$

根據分析我們可以預估會監測到 1M(未標紅線)、998k、1.002M 的頻率。

5-4

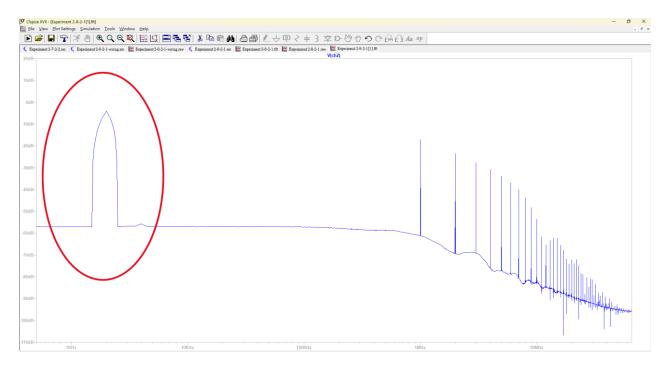
FFT plot of CH2



5-5

	Modulation			
Frequency (Hz)	1.999k			
Magnitude (dB)	-15.18			

▲ LTspice 模擬



用LTspice 模擬可以發現 2k的訊號特別明顯(紅筆圈起來的部分)。

▲ 訊號分析

為什麼在這裡 2k 的部分會那麼明顯呢?

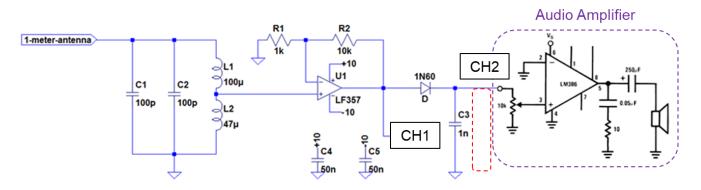
我覺得是因為 envelope detector 的關係所造成的,根據電容的阻抗我們可以發現到當我的頻率越高,阻抗就會越小,這樣通過電容的部分會增加,1M 及附近的訊號皆是如此。這樣比較下來,2k 訊號因為在低頻的緣故因此衰減不至於那麼嚴重,所以 FFT 過後 2k 頻率占比反而會增加。

$$Z_C = rac{1}{j\omega C}$$
 ,

♣ 結論

在實驗二中我們透過接收助教發送的訊號,再依序經過 bandpass filter 、Opamp、envelope detector 等等的設置觀察不同階段的訊號。

Experiment 3: AM radio receiver



What sound do you hear from the speaker?

根據實驗二的結果我們可以猜測到我們聽到的聲音大致上是 2k(Hz)。

♣ 結論

在實驗三中我們接續實驗二的設置,但不同的是我們這次將訊號接上揚聲器,聆聽並記錄聽到的聲音。



這次的實驗完全出乎我的預料!原本以為只有三個實驗,電路結構也不算太複雜,心想應該 能輕鬆搞定,沒花多少時間就能完成。然而,當我接好電路開始進行測量時,問題卻接踵而 來。

在實驗一的過程中,我們需要調整可變電容,讓 bandpass filter 的頻率響應能夠精確地落在指定位置。我很快進入狀態,順利找到了助教要求的高斯分布曲線,信心滿滿地以為一切順利。然而,問題來了:不管我怎麼調整,就是無法將頻率精準調到正確的數值…這個問題困擾了我整整半小時以上。在此期間,我嘗試了各種方法:仔細檢查電路連線是否正確、確認各元件是否正常,甚至換了一顆 100pF 的電容重新測試,但這些努力通通無效,問題依然存在。我一度懷疑是自己的操作失誤,還是電路設計有什麼隱藏的陷阱。

經過反覆摸索和思考,我決定再試試其他可能性。最後,我找來三顆電容,通過並聯 + 串聯的方式接出一個等效 150pF 的電容,然後重新調整。這一招竟然奏效了!訊號終於順利移動到指定的 900kHz 頻率上,完成了實驗要求。回想起來,這個 bug 真是讓人頭痛,沒想到會在電容的選擇上卡關這麼久。這次的經驗讓我深刻體會到,實驗中任何一個小細節都可能成為關鍵,絕對不能掉以輕心!

♣ 引用

● RLC 電路

https://zh.wikipedia.org/zh-tw/RLC%E7%94%B5%E8%B7%AF