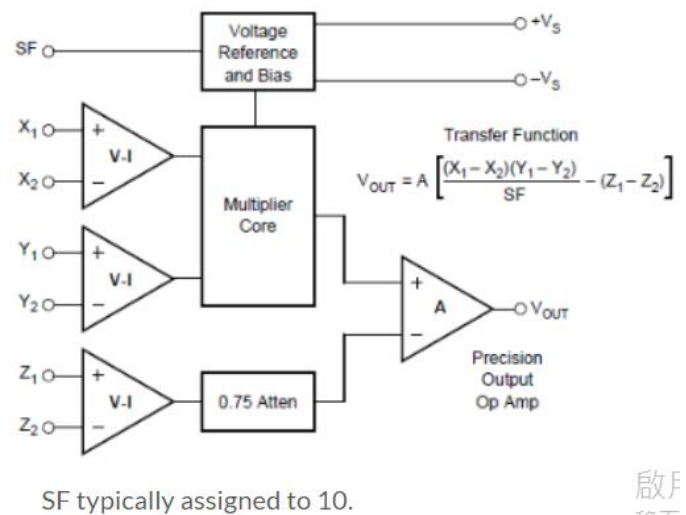
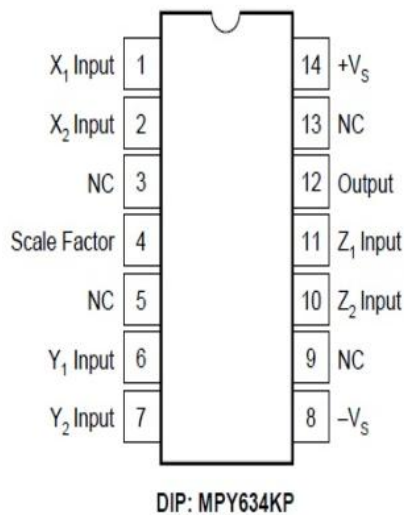


REPORT

Experiment 1: Double Side Band - Suppressed Carrier Modulation and Demodulation

IC 元件(MPY634)介紹與分析:

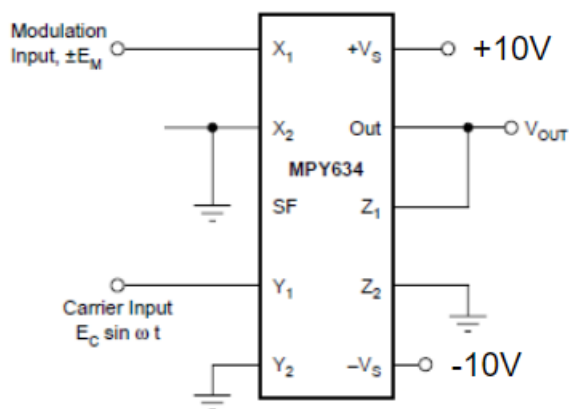
Component-MPY634 Multiplier



MPY634 是一款乘法器 IC，可以用來建構可調幅度的訊號(可以替代乘法 DAC)，其輸出 V_{out} 如下：

$$V_{out} = A \left[\frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{SF} - (Z_1 - Z_2) \right]$$

電路分析與計算:



$$V_{out} = A \left[\frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{SF} - (Z_1 - Z_2) \right]$$

$$\rightarrow V_{out} = A \left[\frac{(X_1 - 0)(Y_1 - 0)}{SF} - (V_{out} - 0) \right]$$

$$\rightarrow V_{out} = A \left[\frac{X_1 Y_1}{SF} - (V_{out} - 0) \right] \rightarrow \frac{V_{out}}{A} = \frac{X_1 \times Y_1}{SF} - V_{out}$$

假設放大器增益 A 趨近無限大

$$\rightarrow \frac{V_{out}}{A} = 0 = \frac{X_1 \times Y_1}{SF} - V_{out} \rightarrow V_{out} = \frac{X_1 \times Y_1}{SF}$$

而本實驗的輸入訊號分別是:

$$X_1 = E_M = 5\sin(2\pi \times 120kt)$$

$$Y_1 = E_C = \sqrt{2}\sin(2\pi \times 2M \times t)$$

MPY634 IC 的 SF 為 10，因此可以獲得以下式子:

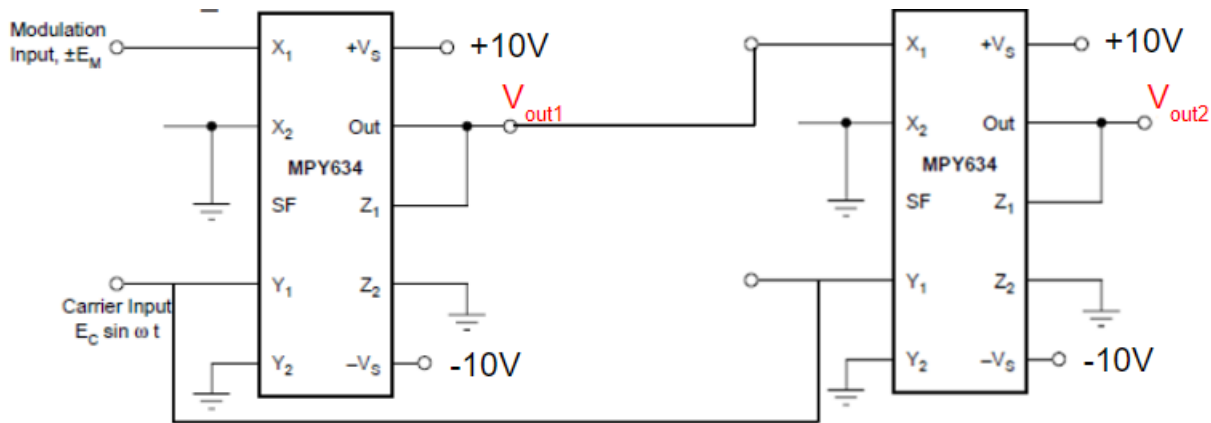
$$\rightarrow V_{out} = \frac{5\sin(2\pi \times 120kt) \times \sqrt{2}\sin(2\pi \times 2M \times t)}{10}$$

$$\rightarrow V_{out} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times (\sin(2\pi \times 120kt) \times \sin(2\pi \times 2M \times t))$$

$$\rightarrow V_{out} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times \left(\frac{\cos(2\pi \times 120kt - 2\pi \times 2M \times t) - \cos(2\pi \times 120kt + 2\pi \times 2M \times t)}{2} \right)$$

$$\rightarrow V_{out} = \frac{\sqrt{2}}{4} \times (\cos(2\pi \times 1.88M \times t) - \cos(2\pi \times 2.12M \times t))$$

由上面的計算可以得出，Lower sideband $f = 1.88M \text{ Hz}$, upper sideband $f = 2.12M \text{ Hz}$



$$V_{out1} = A \left[\frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{SF} - (Z_1 - Z_2) \right]$$

$$\rightarrow V_{out1} = A \left[\frac{(X_1 - 0)(Y_1 - 0)}{SF} - (V_{out1} - 0) \right]$$

$$\rightarrow V_{out1} = A \left[\frac{X_1 Y_1}{SF} - (V_{out1} - 0) \right] \rightarrow \frac{V_{out1}}{A} = \frac{X_1 \times Y_1}{SF} - V_{out1}$$

假設放大器增益 A 趨近無限大

$$\rightarrow \frac{V_{out1}}{A} = 0 = \frac{X_1 \times Y_1}{SF} - V_{out1} \rightarrow V_{out1} = \frac{X_1 \times Y_1}{SF}$$

$$V_{out2} = A \left[\frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{SF} - (Z_1 - Z_2) \right]$$

$$\rightarrow V_{out2} = A \left[\frac{(V_{out1} - 0)(Y_1 - 0)}{SF} - (V_{out2} - 0) \right]$$

$$\rightarrow V_{out2} = A \left[\frac{V_{out1} Y_1}{SF} - (V_{out2} - 0) \right] \rightarrow \frac{V_{out2}}{A} = \frac{V_{out1} \times Y_1}{SF} - V_{out2}$$

假設放大器增益 A 同樣趨近無限大

$$\rightarrow \frac{V_{out2}}{A} = 0 = \frac{V_{out1} \times Y_1}{SF} - V_{out2} \rightarrow V_{out2} = \frac{V_{out1} \times Y_1}{SF}$$

本實驗的輸入訊號分別是:

$$X_1 = E_M = 5\sin(2\pi \times 120kt)$$

$$Y_1 = E_C = \sqrt{2}\sin(2\pi \times 2M \times t)$$

MPY634 IC 的 SF 為 10，因此可以獲得以下式子:

$$\rightarrow V_{out1} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times \left(\frac{\cos(2\pi \times 120kt - 2\pi \times 2M \times t) - \cos(2\pi \times 120kt + 2\pi \times 2M \times t)}{2} \right)$$

$$\rightarrow V_{out2} = \frac{\left(\frac{\sqrt{2}}{4} \cos(2\pi \times 1.88M \times t) - \frac{\sqrt{2}}{4} \cos(2\pi \times 2.12M \times t) \right) \times \sqrt{2} \sin(2\pi \times 2M \times t)}{10}$$

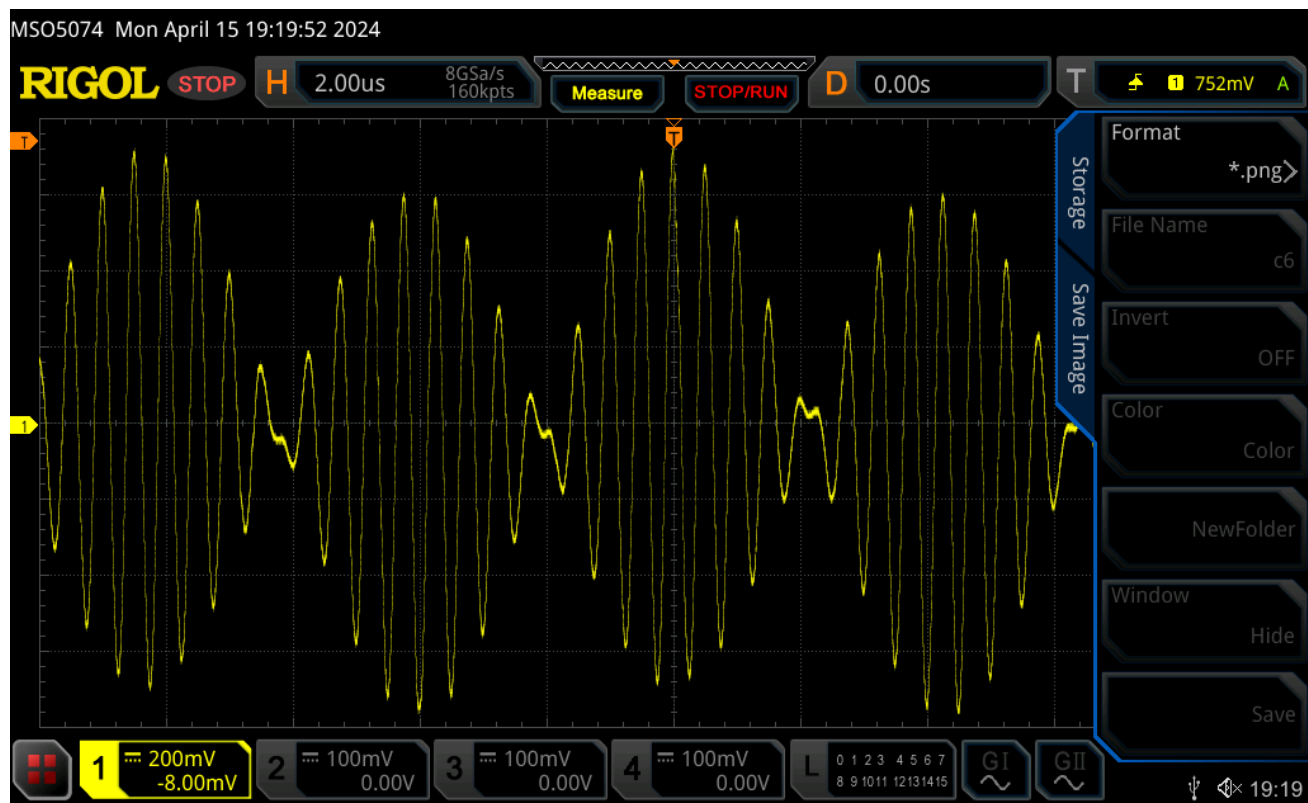
$$\rightarrow V_{out2} = \frac{1}{20} \cos(2\pi \times 1.88Mt) \times \sin(2\pi \times 2Mt) - \frac{1}{20} \cos(2\pi \times 2.12Mt) \times \sin(2\pi \times 2Mt)$$

$$\rightarrow V_{out2} = \frac{1}{40} (\sin(2\pi \times 1.88M \times t + 2\pi \times 2M \times t) - \sin(2\pi \times 1.88M \times t - 2\pi \times 2M \times t)) \\ - \frac{1}{40} (\sin(2\pi \times 2.12M \times t + 2\pi \times 2M \times t) - \sin(2\pi \times 2.12M \times t - 2\pi \times 2M \times t))$$

$$\rightarrow V_{out2} = \frac{1}{40} (2\sin(2\pi \times 120k \times t) + \sin(2\pi \times 3.88M \times t) - \sin(2\pi \times 4.12M \times t))$$

由上面的計算可以得出 V_{out2} 的振幅最大值為三個波形的振幅相加

1. Output waveform in DC coupling



2. Output FFT waveform with data (measured by cursor or peak search)

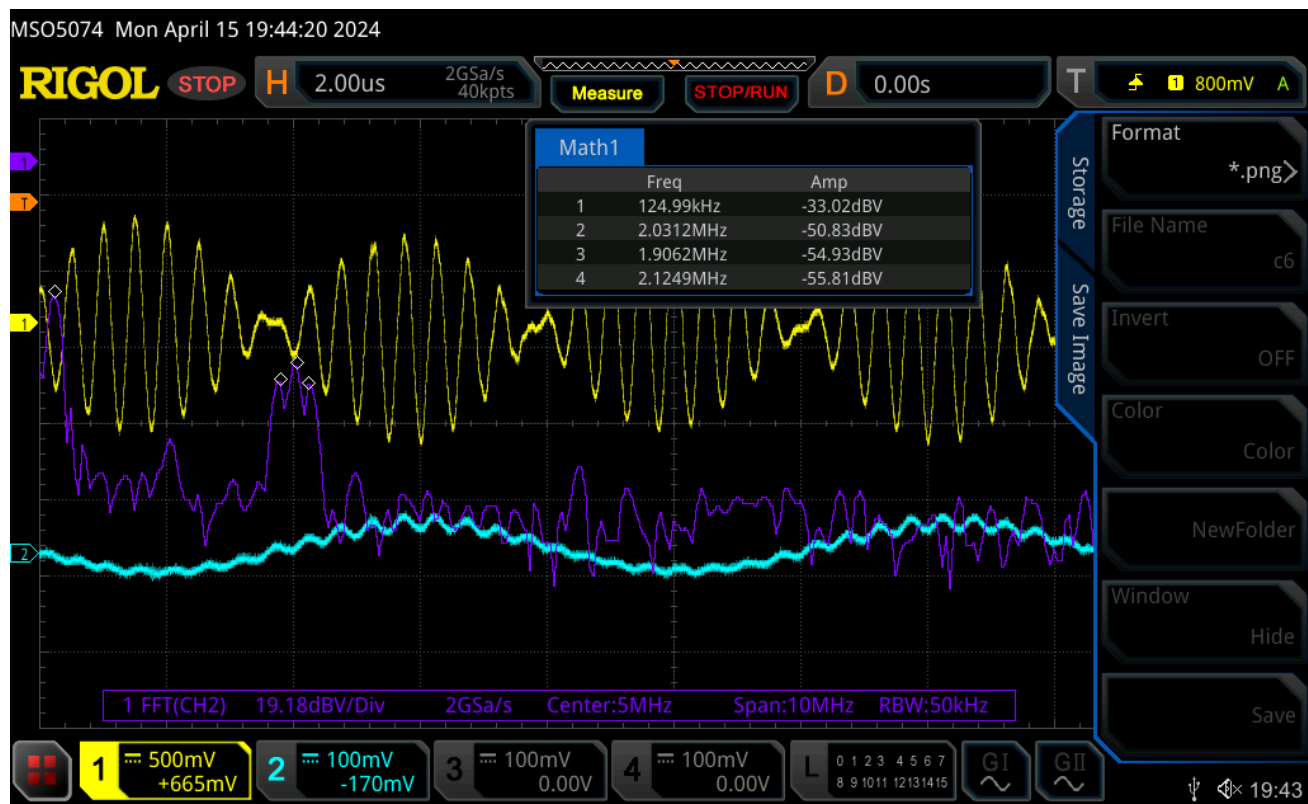


| | Modulation(Signal) | | Lower sideband | | Upper sideband | |
|----------------|--------------------|----|----------------|----|----------------|----|
| | 120k | Hz | 1.88M | Hz | 2.12M | Hz |
| Magnitude (dB) | -19.55 | dB | -8.576 | dB | -9.135 | dB |

3. Vout1 and Vout2 waveform in DC coupling



4. Vout2 FFT waveform with data (measured by cursor or peak search)



| | Modulation(Signal) | | Lower sideband | | Upper sideband | |
|----------------|--------------------|----|----------------|----|----------------|----|
| | 120k | Hz | 3.88M | Hz | 4.12M | Hz |
| Magnitude (dB) | -33.02 | dB | -51.45 | dB | -50.45 | dB |

| Math1 | | |
|-------|-----------|-----------|
| | Freq | Amp |
| 1 | 124.99kHz | -33.44dBV |
| 2 | 359.37kHz | -47.43dBV |
| 3 | 609.37kHz | -49.29dBV |
| 4 | 242.18kHz | -50.27dBV |
| 5 | 4.1249MHz | -50.45dBV |
| 6 | 3.8828MHz | -51.45dBV |
| 7 | 1.0468MHz | -51.64dBV |
| 8 | 484.37kHz | -54.27dBV |
| 9 | 210.93kHz | -54.3dBV |
| 10 | 2.1328MHz | -54.59dBV |

(後來補的 FFT-peak 圖，上面忘記量到 3.88M 和 4.12M)

Question:

Why the sideband frequencies are 1.88MHz and 2.12MHz?

根據本結報第 2、3 頁的公式推導與計算可得出。

Is there any other frequency element observed after demodulation?

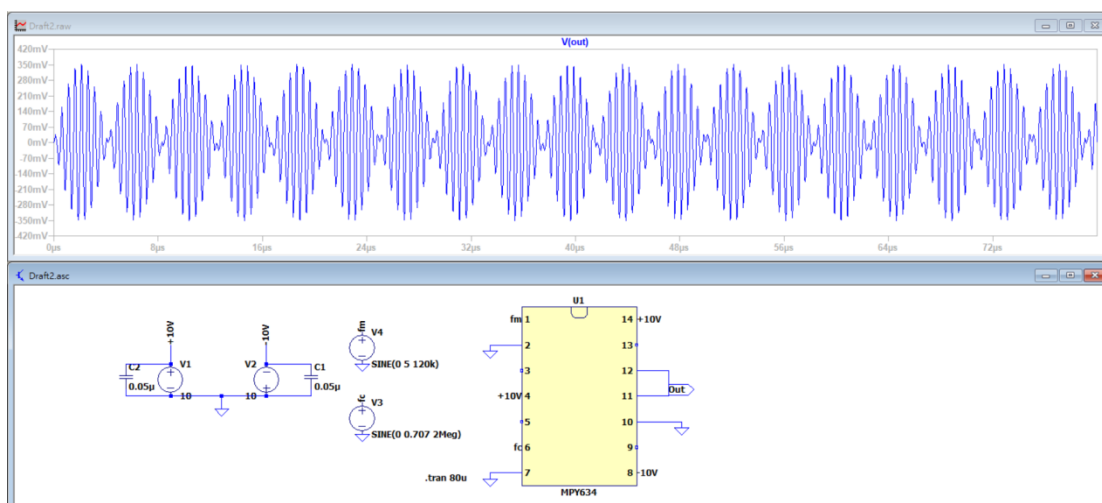
除了 120k、3.88M 和 4.12M 之外，可以發現 FFT 上還有 1.90M、2.03M 和 2.12M 三個訊號特別突出。

為什麼 1.90M、2.03M 和 2.12M 這三個頻率會突出呢？

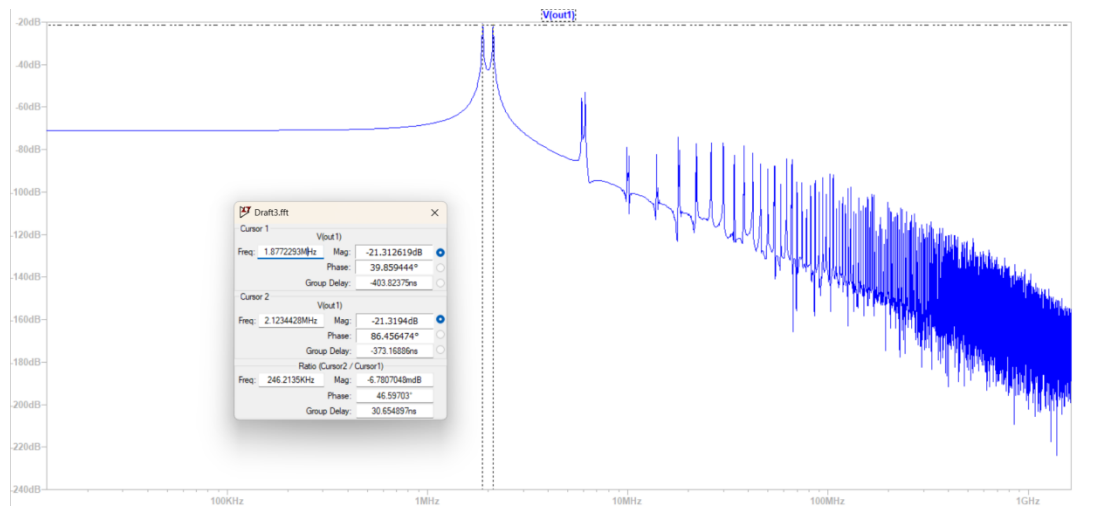
由於實際電路中會使用 mos 來構建出作為開關、電流源或放大器使用的電路，而 mos 本身在頻率響應的狀況下，需要考慮寄身電容的存在，又由於本實驗操作在較高的頻率，因此寄身電容的部分會變成一個阻抗，將輸入訊號傳遞到 Output 端。

LTSpice Simulation:

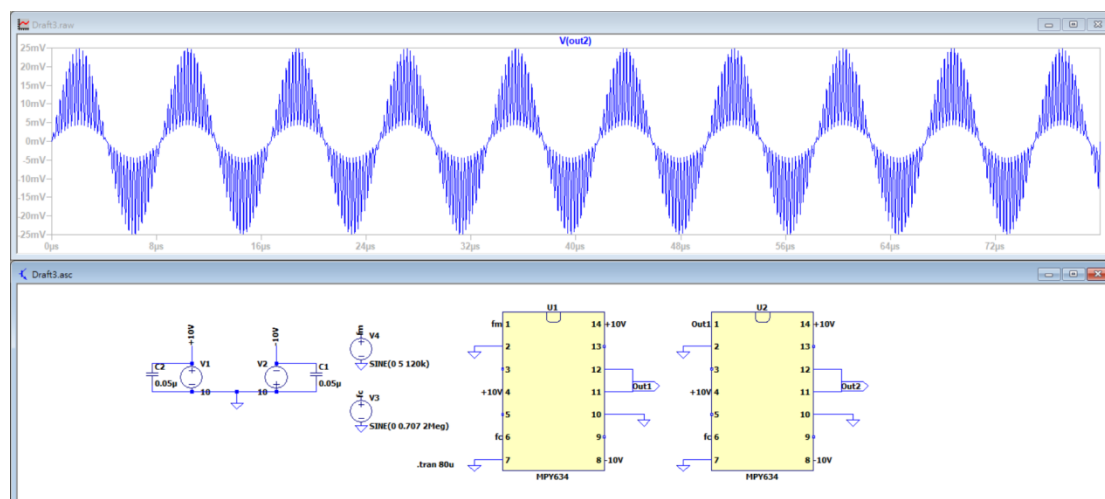
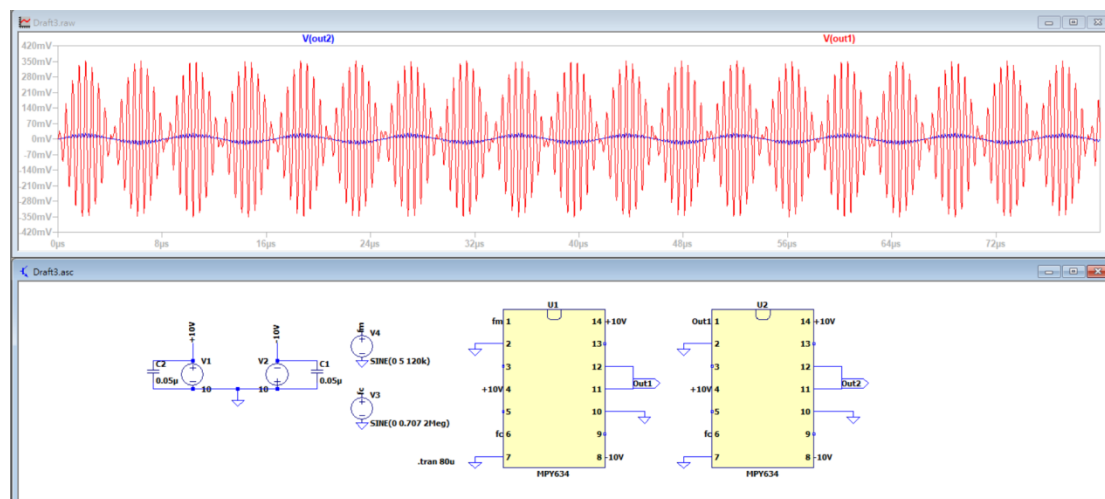
1. Output waveform in DC coupling



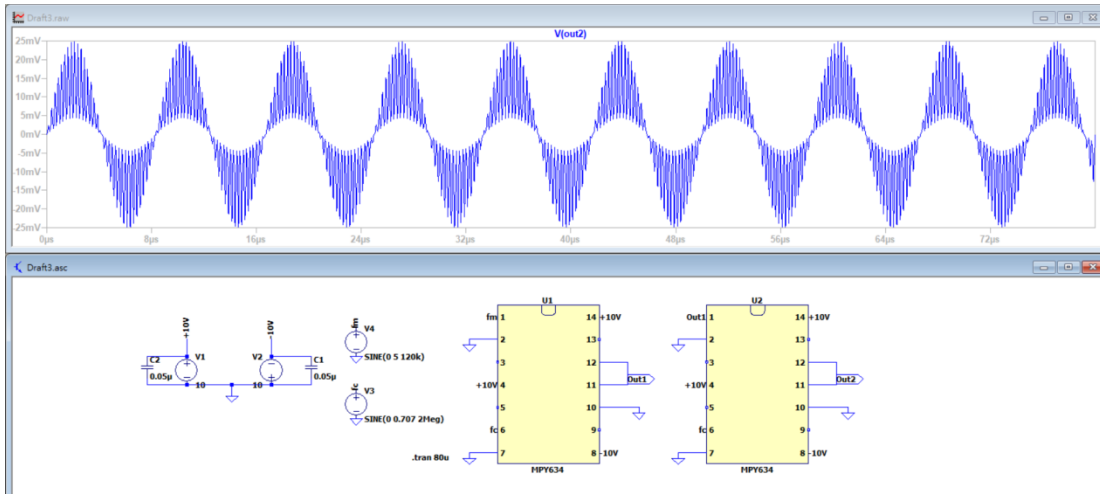
2. Output FFT waveform with data (measured by cursor)



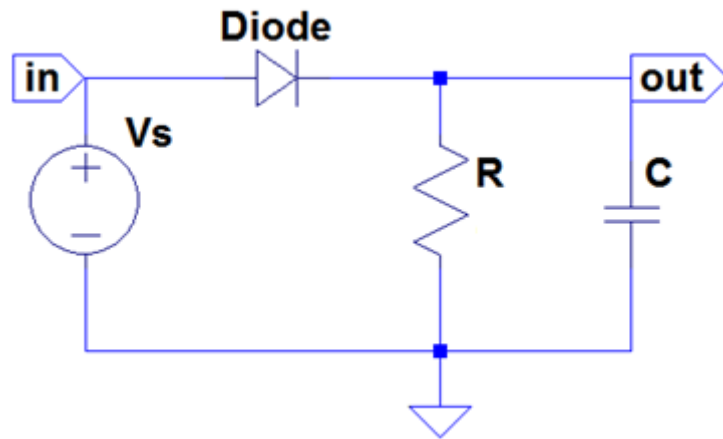
3. Vout1 and Vout2 waveform in DC coupling



4. Vout2 FFT waveform with data (measured by cursor)



Experiment 2: The Envelope Detector

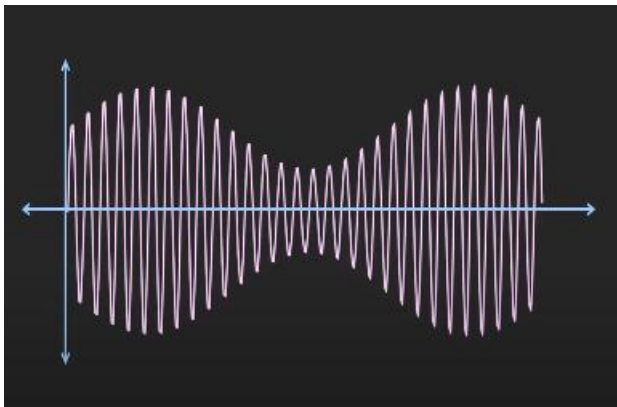


電路分析:

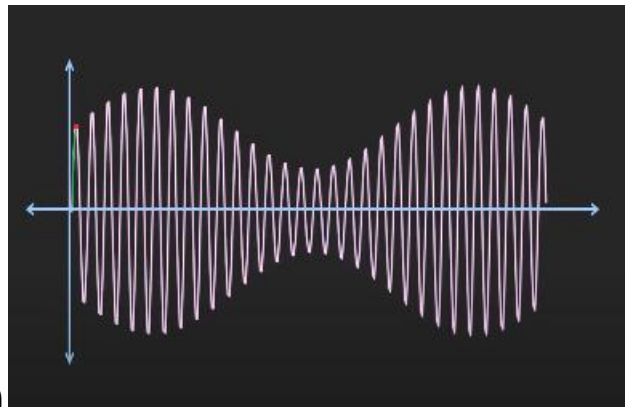
簡單來看，因為有 Diode 的存在，因此當 V_s 是正且超過 Diode 的 cut-in voltage 的時候，才會有電流流過去並將電容充電，否則將變成 Diode 斷路然後電容放電使電阻 R 上產生電流。

這樣子持續充放電將形成包絡線，又由於是利用電容的充電和放電去阻止輸出電壓下降，因此 RC 值的選擇是需要特別考慮的一點。以下為各階段的說明：

假設輸入訊號為下左圖(2-1)且將 Diode 視為理想二極體

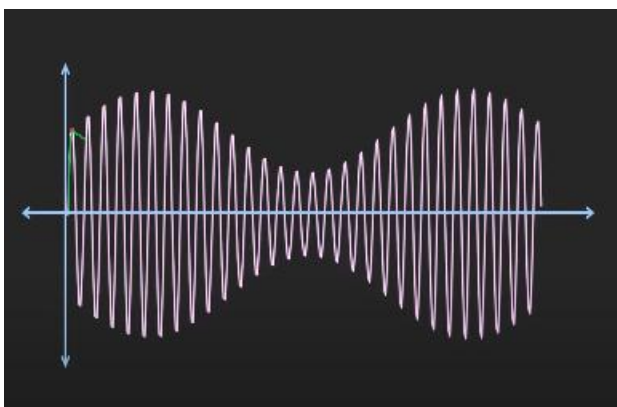


(2-1)

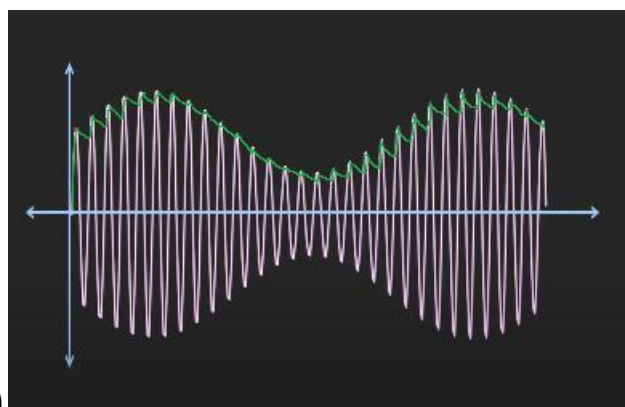


(2-2)

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。



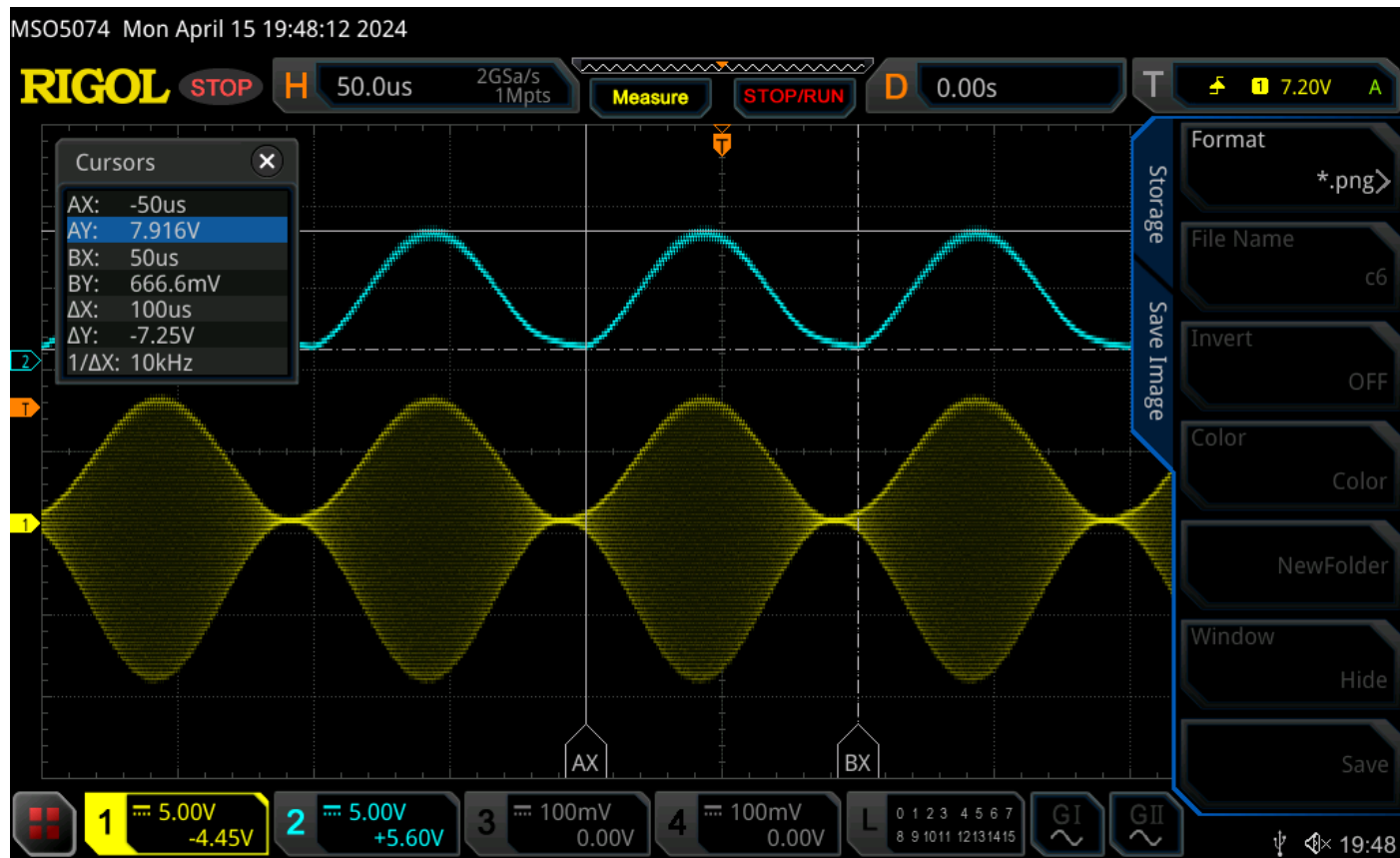
(2-3)



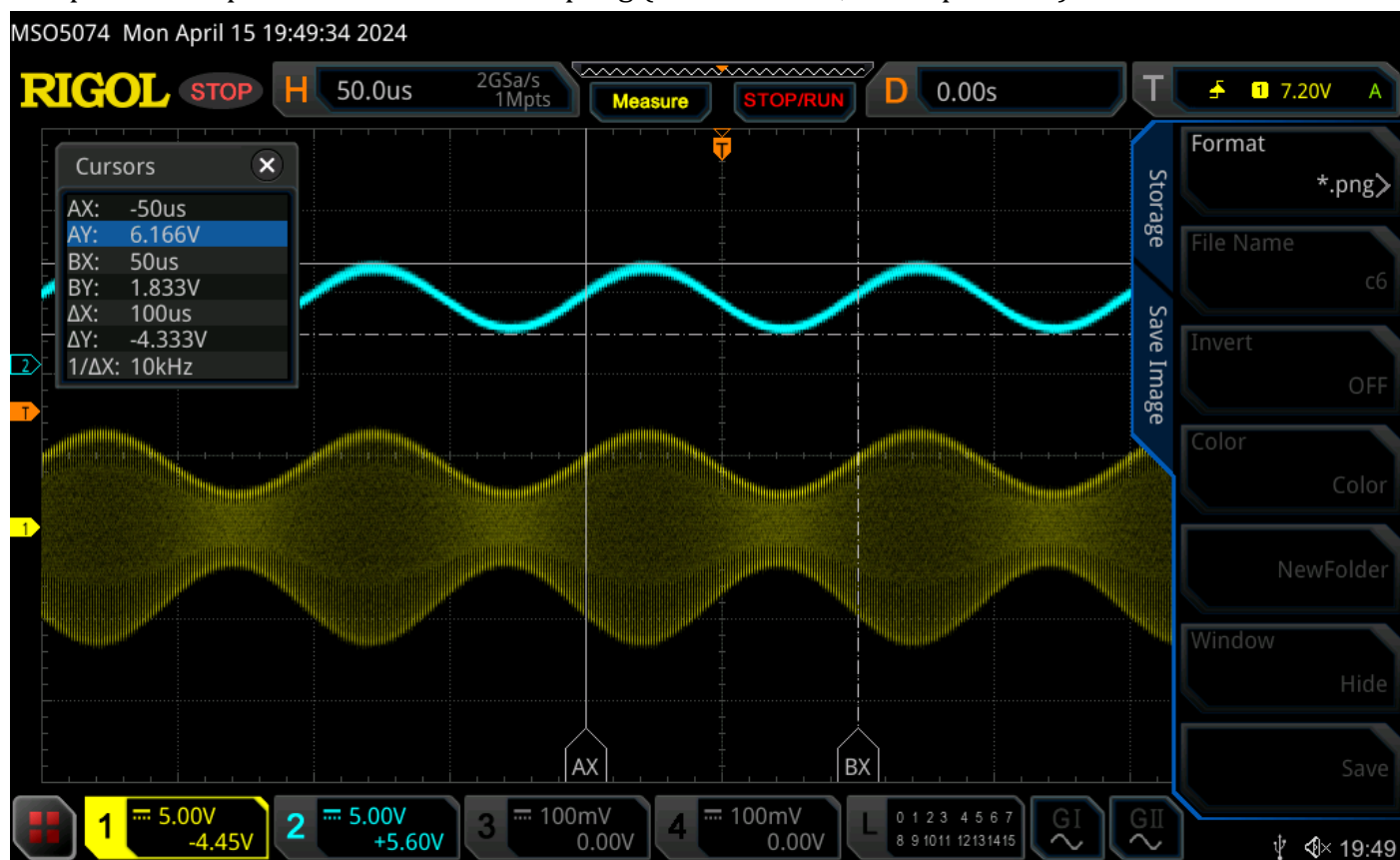
(2-4)

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。

1. Input and output waveforms in DC coupling (fmod=10KHz , AM depth 100%)

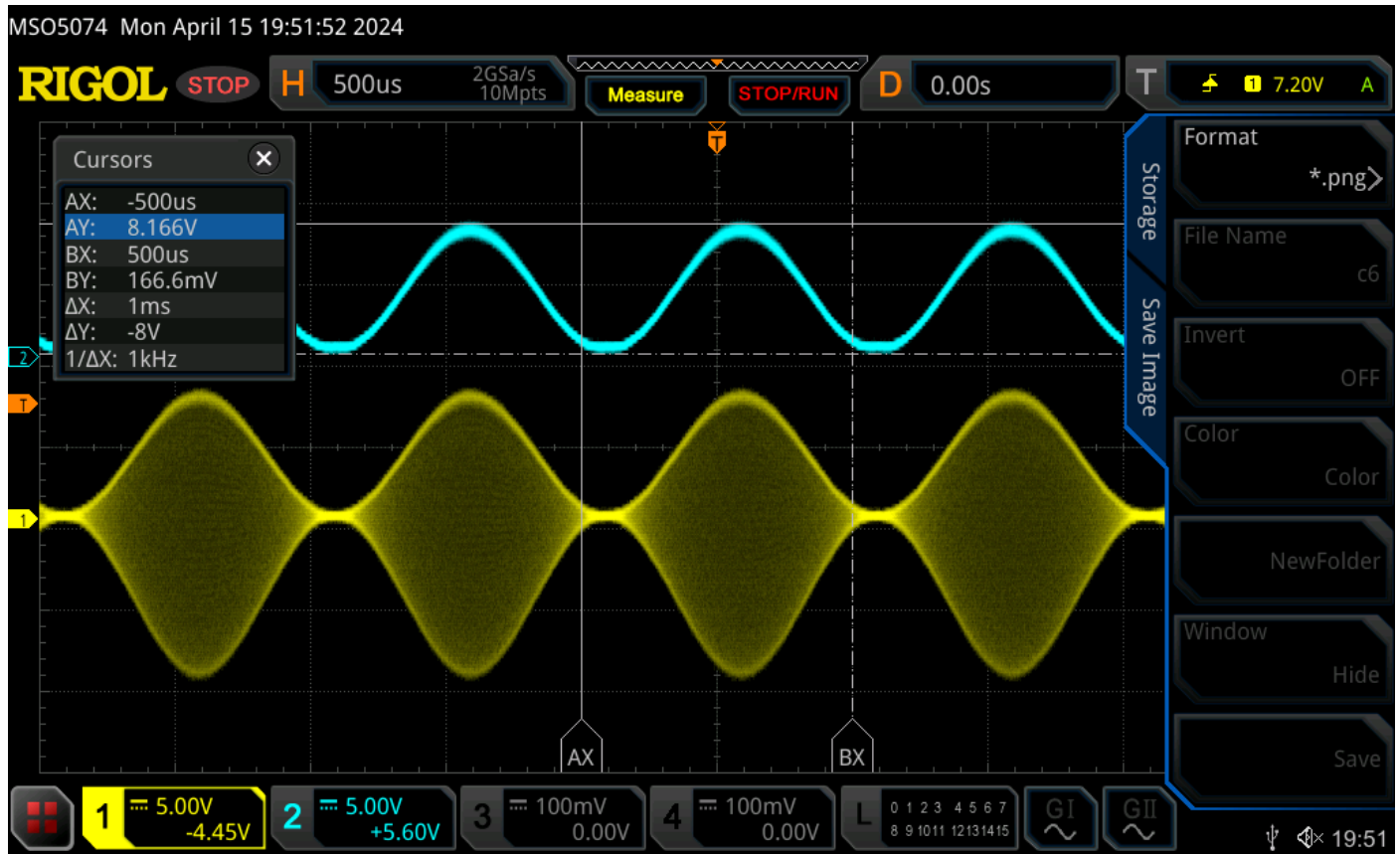


2. Input and output waveforms in DC coupling (fmod=10KHz , AM depth 50%)



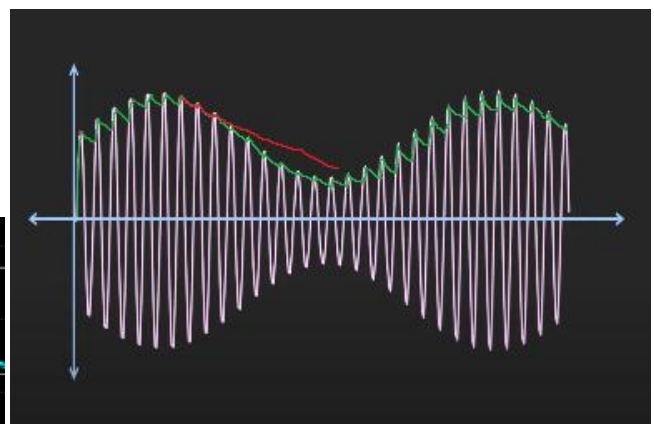
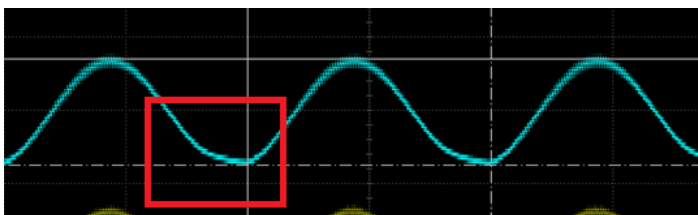
| Theoretical value | Vmax | Vmin | Measured AM modulation index |
|-------------------|--------|---------|------------------------------|
| 100% | 7.916V | 666.6mV | 0.845 |
| 50% | 6.166V | 1.833V | 0.542 |

3. Input and output waveforms in DC coupling (fmod=1KHz, AM depth 100%)



Question:

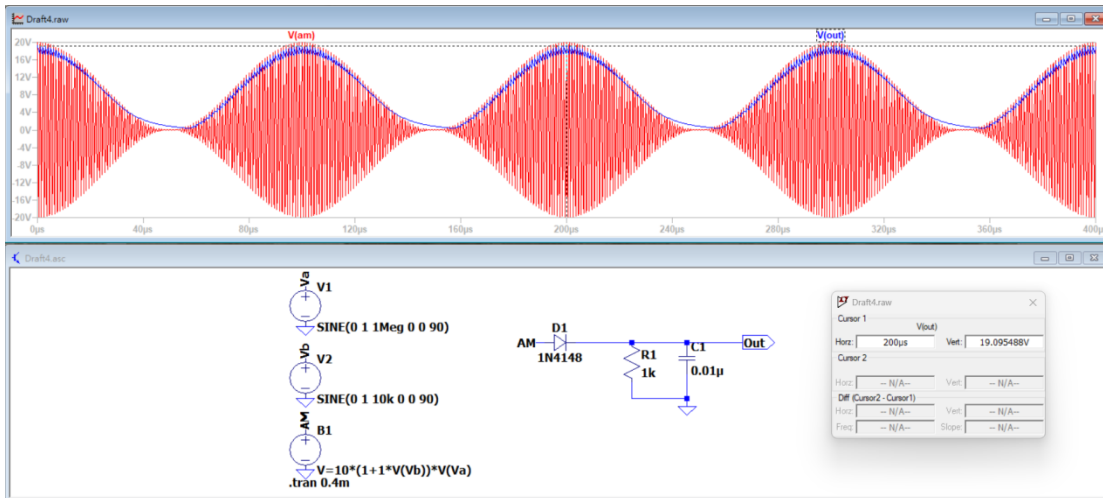
為什麼 **demodulation** 後的訊號看起來有一段不圓滑的區域？如下左圖



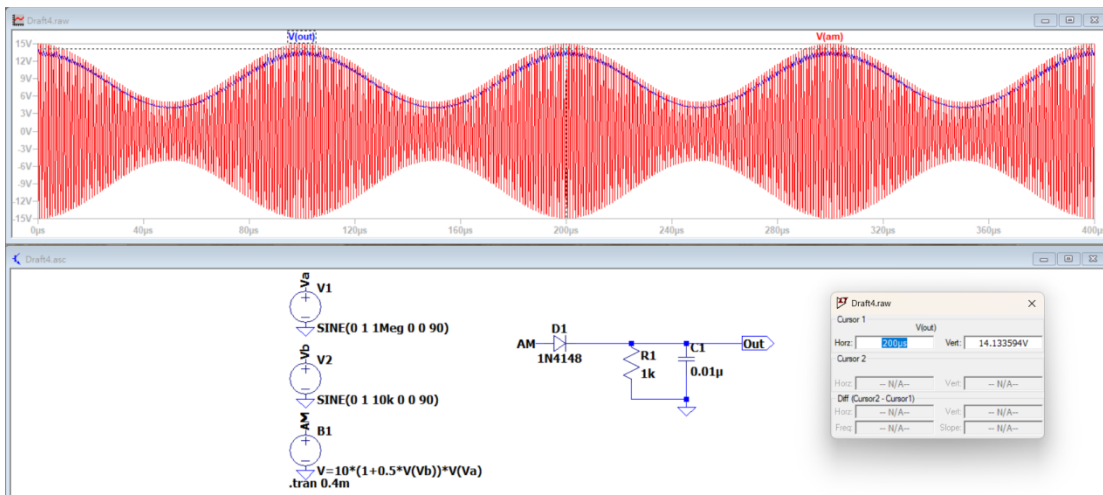
這是因為當波行整體正在下降時，電容放電的速度小於輸出波行下降的速度所導致，右上圖紅色線段為示意區段。

LTSpice Simulation:

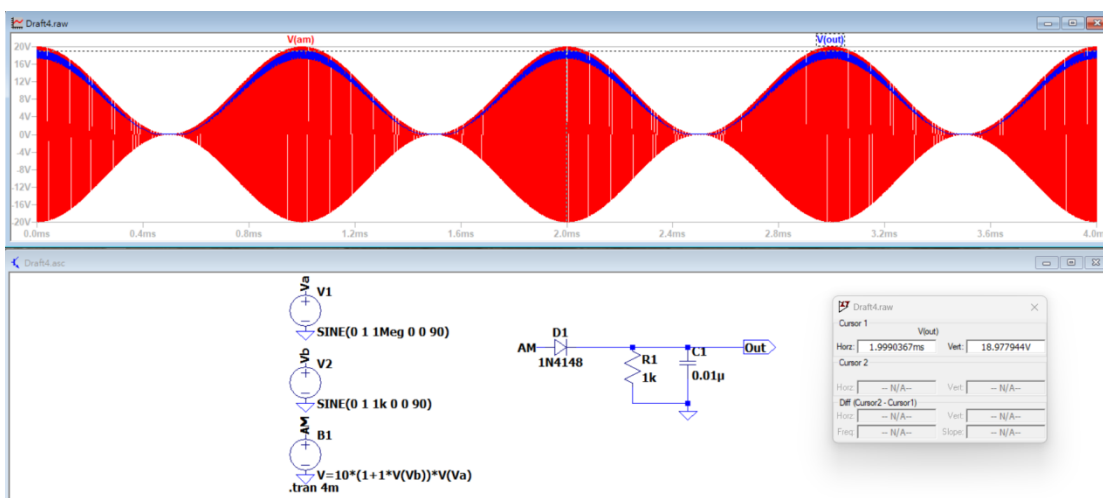
1. Input and output waveforms in DC coupling (fmod=10KHz , AM depth 100%)



2. Input and output waveforms in DC coupling (fmod=10KHz , AM depth 50%)

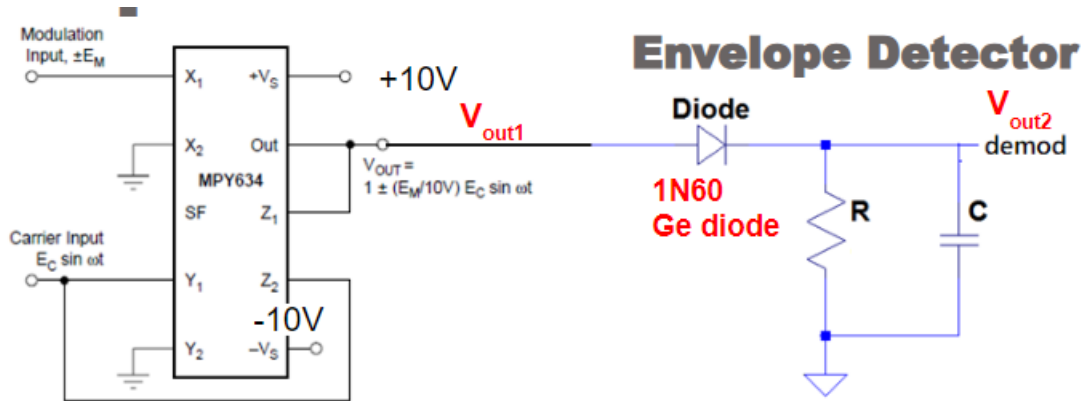


3. Input and output waveforms in DC coupling (fmod=1KHz, AM depth 100%)



Experiment 3: Linear AM Modulator and Demodulation

電路分析與計算:



這部分的電路結合了第一小時驗和第二小實驗，因此簡單說明一下:

$$V_{out1} = A \left(\frac{(X_1 - X_2) \times (Y_1 - Y_2)}{SF} - (Z_1 - Z_2) \right)$$

$$\rightarrow V_{out1} = A \left(\frac{(X_1 - 0) \times (Y_1 - 0)}{SF} - (V_{out1} - Y_1) \right)$$

$$\rightarrow \frac{V_{out1}}{A} = \frac{X_1 \times Y_1}{SF} - V_{out1} + Y_1$$

假設放大器增益 A 同樣趨近無限大

$$\rightarrow 0 = \frac{X_1 \times Y_1}{SF} - V_{out1} + Y_1 \rightarrow V_{out1} = \frac{x_1 \times y_1}{SF} + y_1$$

本實驗的輸入訊號分別是:

$$X_1 = E_M = 5\sin(2\pi \times 10kt)$$

$$Y_1 = E_C = 5\sin(2\pi \times 1M \times t)$$

MPY634 IC 的 SF 為 10，因此可以獲得以下式子:

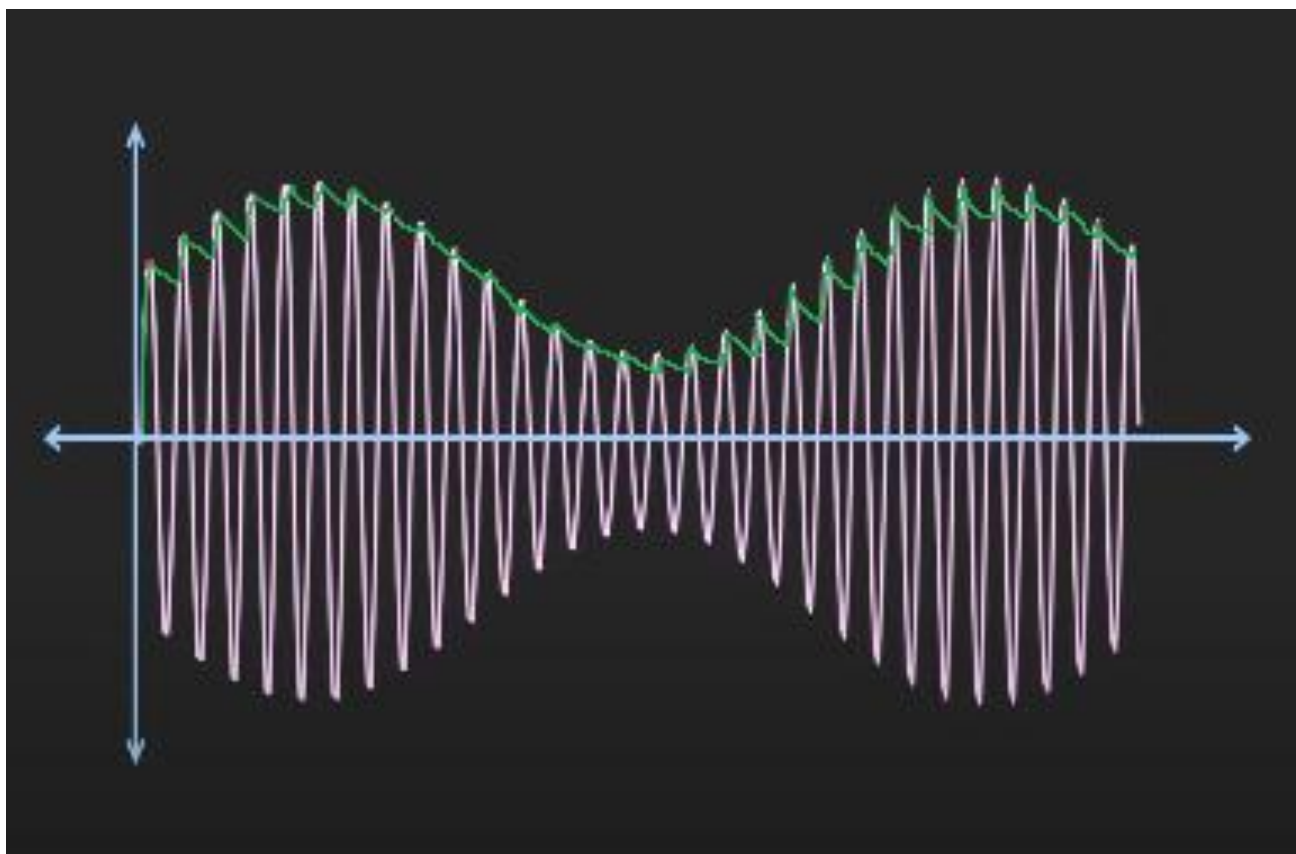
$$\rightarrow V_{out1} = \frac{5\sin(2\pi \times 10kt) \times 5\sin(2\pi \times 1M \times t)}{10} + 5\sin(2\pi \times 1M \times t)$$

$$\rightarrow V_{out1} = \frac{5}{2} \times (\sin(2\pi \times 10kt) \times \sin(2\pi \times 1M \times t)) + 5\sin(2\pi \times 1M \times t)$$

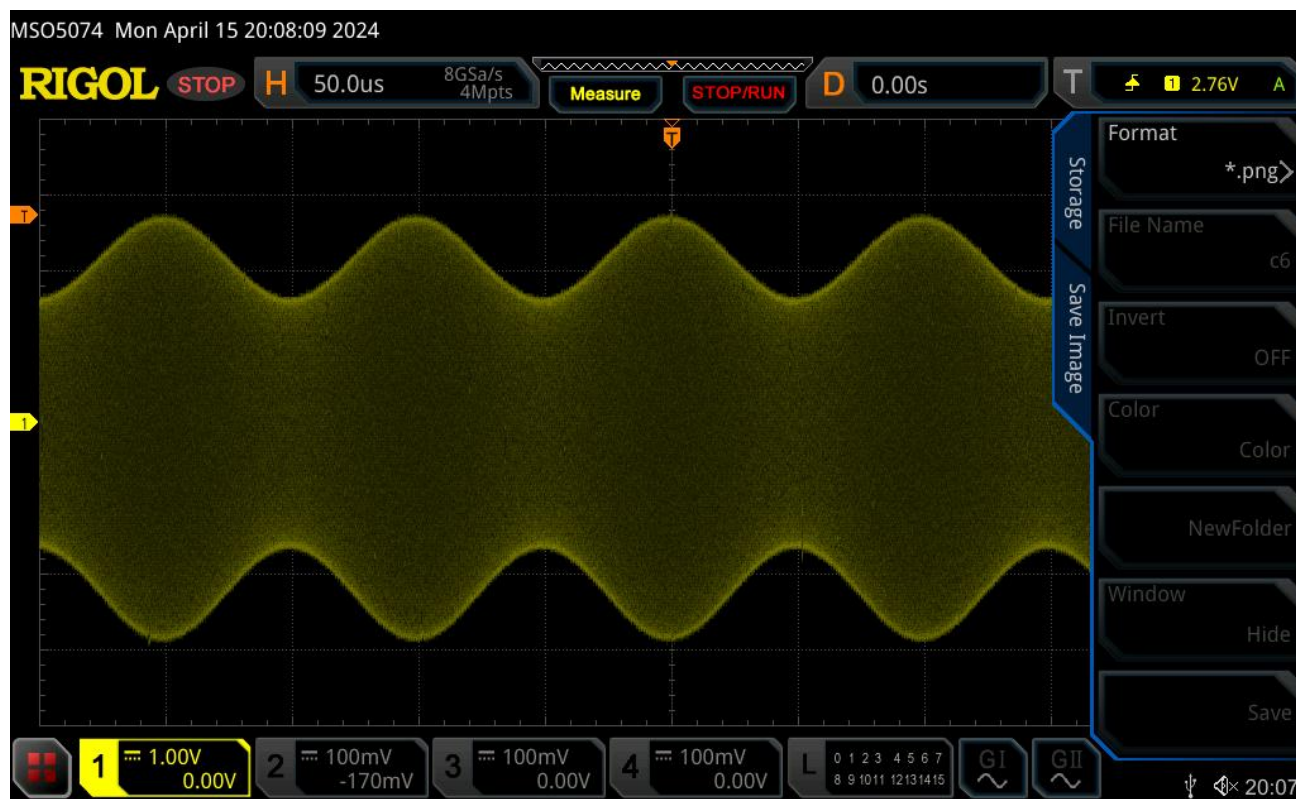
$$\rightarrow V_{out1} = \frac{5}{2} \times \left(\frac{\cos(2\pi \times 10kt - 2\pi \times 1Mt) - \cos(2\pi \times 10kt + 2\pi \times 1Mt)}{2} \right) + 5\sin(2\pi \times 1M \times t)$$

$$\rightarrow V_{out1} = \frac{5}{4} \times (\cos(2\pi \times 0.99M \times t) - \cos(2\pi \times 1.01M \times t)) + 5\sin(2\pi \times 1M \times t)$$

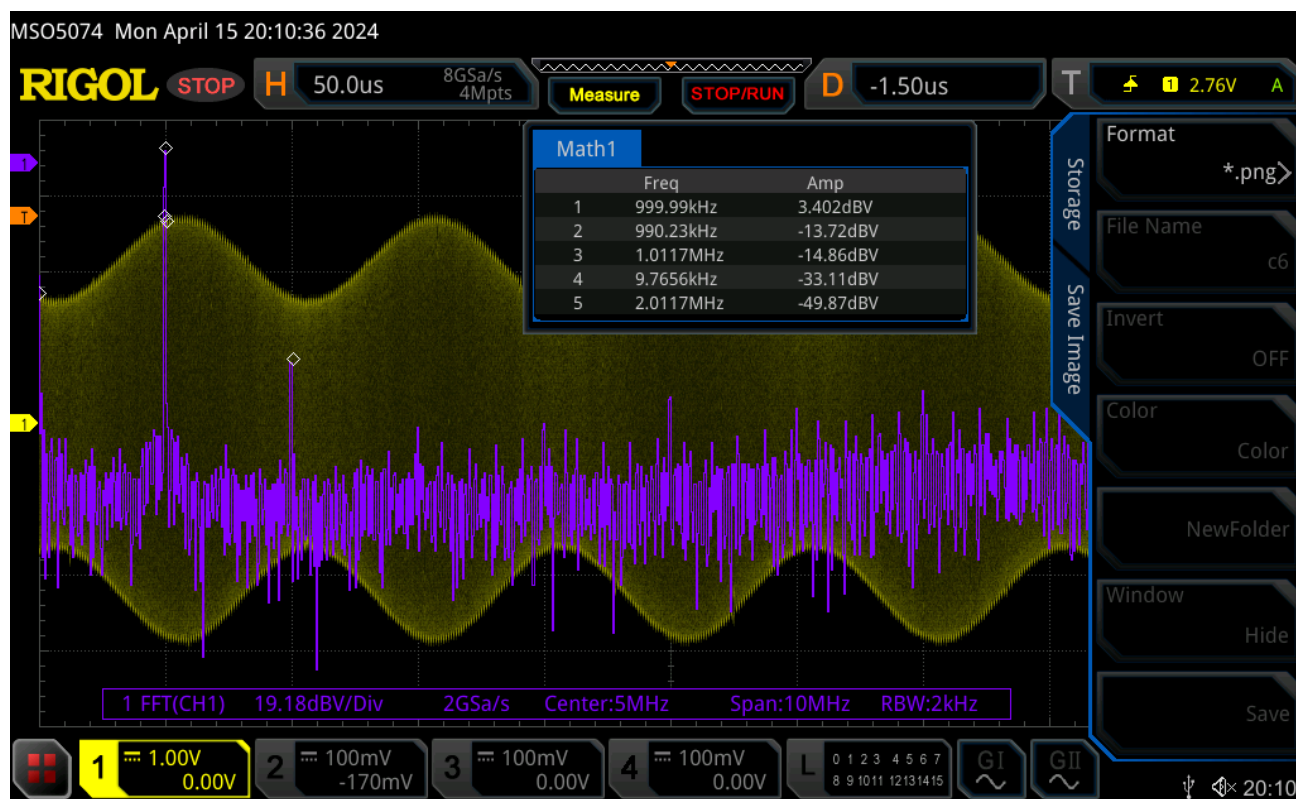
而後面的 **envelope detector** 電路會將 V_{out1} 處理成類似如下的綠色鋸齒狀波形圖的輸出 V_{out2} :



1. Vout waveform in DC coupling

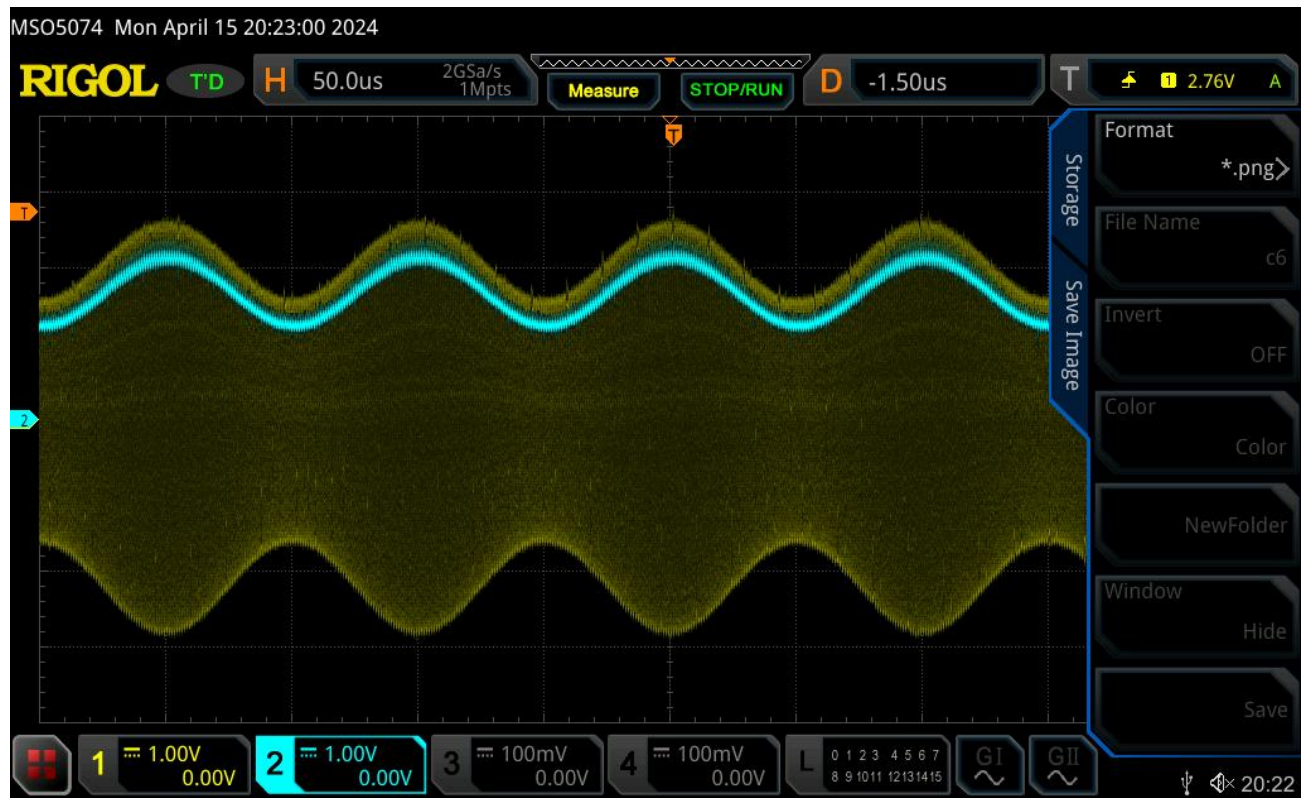


2. Vout FFT waveform with data (measured by cursor or peak search)

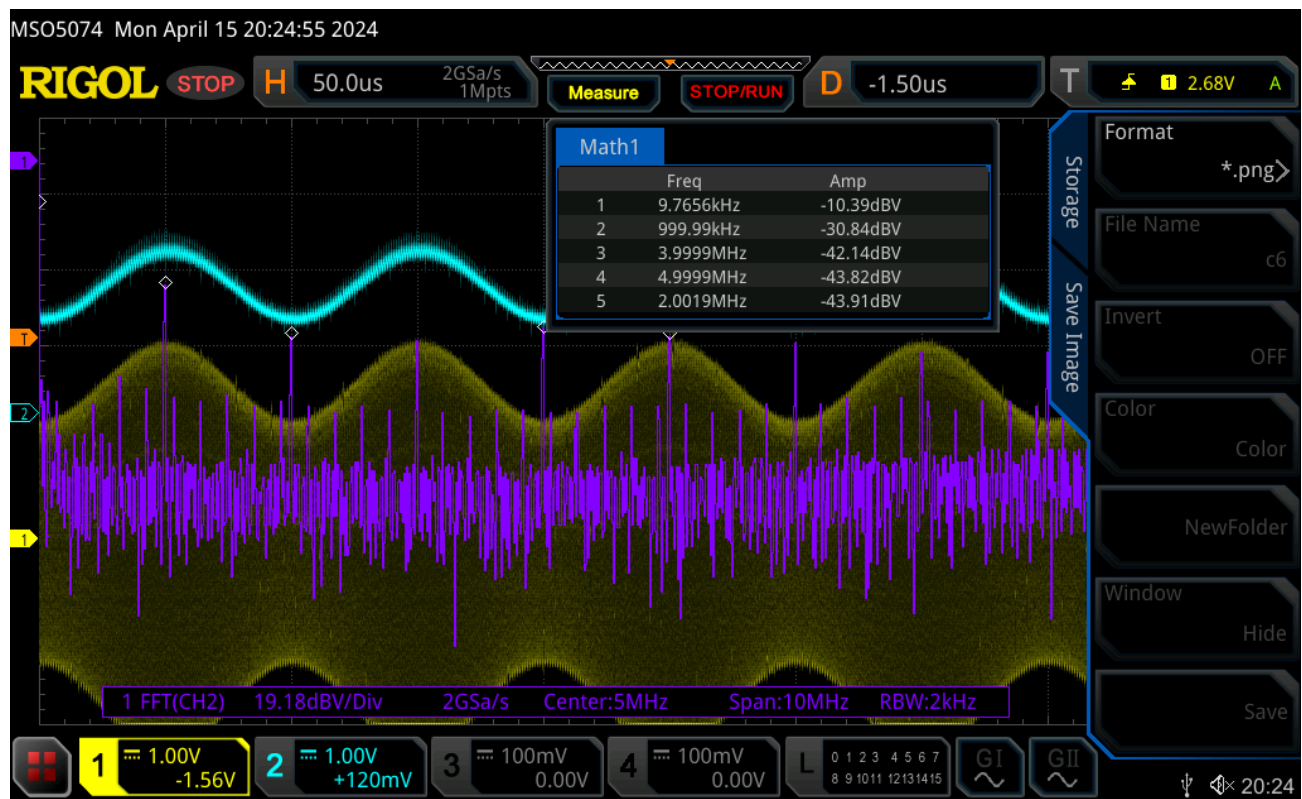


| | Modulation(Signal) | | Carrier | |
|----------------|--------------------|----|---------|----|
| | 10k | Hz | 1M | Hz |
| Magnitude (dB) | -33.11 | dB | 3.402 | dB |

3. Vout1and Vout2 waveform in DC coupling



4. Vout2 FFT waveform with data (measured by cursor or peak search)

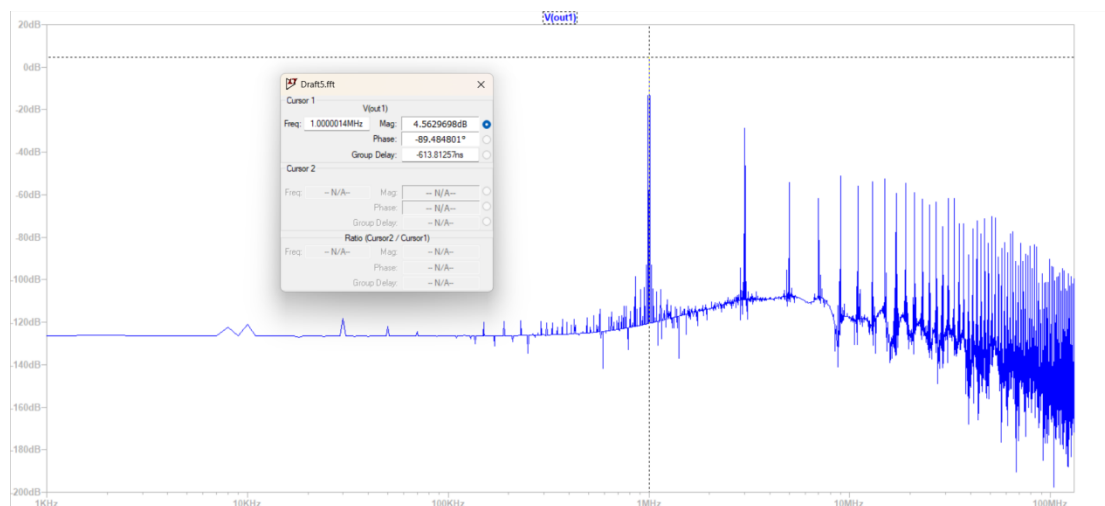
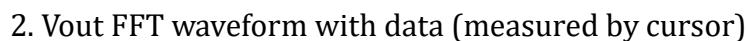


| | Modulation(Signal) | | Carrier | |
|----------------|--------------------|----|---------|----|
| | 10k | Hz | 1M | Hz |
| Magnitude (dB) | -10.39 | dB | -30.84 | dB |

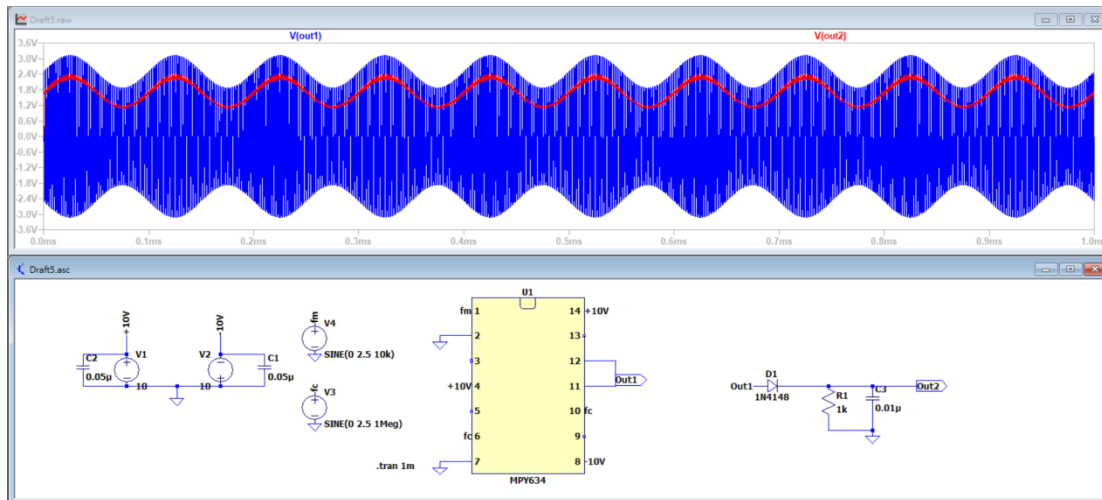
Compare with exp1 (DSB-SC), do you find any difference?

接著是實驗一解調出來的輸出會比實驗二解調出來的輸出還要鋸齒，也就是更需要去率波。

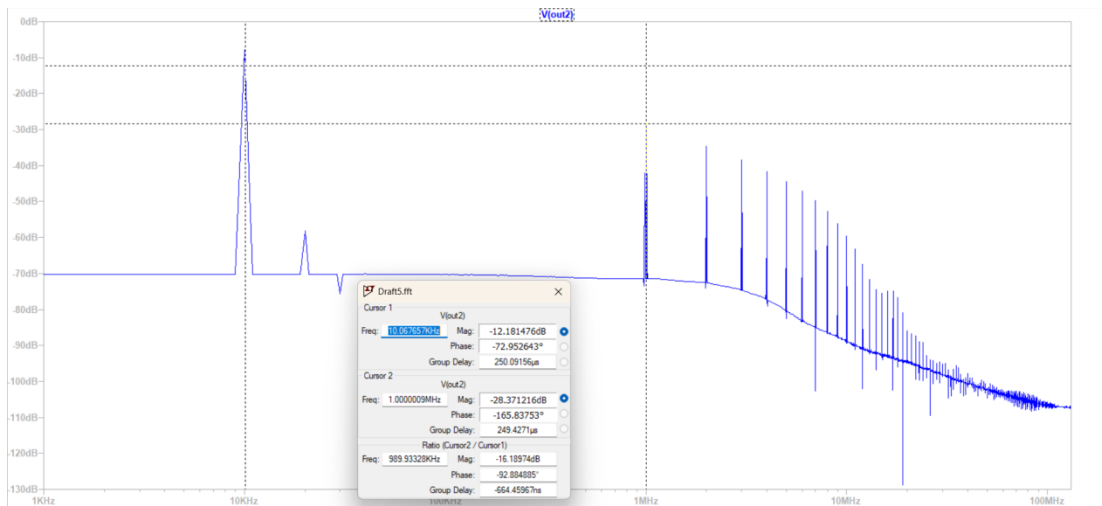
1. Vout waveform in DC coupling



3. Vout1 and Vout2 waveform in DC coupling



4. Vout2 FFT waveform with data (measured by cursor)



實驗心得:

這次實驗是第一次使用 **module board** 上面的乘法 IC，由於是歷屆共用的板子與線材，因此真的是問題一堆，一開始我們這組的板子上面三個 IC 有兩個是壞掉的，杜邦線也有好幾條是斷路，導致我們的實驗一直出現錯誤很難 **debug**，結果最後沒有趕上 **demo** 的名額很可惜。

這次的實驗不難，主要是讓我們了解 **AM** 訊號的 **carier** 和 **modulation** 訊號之間的關係，並用乘法 IC 去模擬出來 **AM** 訊號，最後解調來獲得原始訊號，但是板子一直出問題真的很搞心態。

實驗結論:

實驗一利用 **MPY634** 乘法 IC 去模擬 **AM** 訊號，並利用另一顆 **MPY634** IC 來做解調的動作，本實驗重點在於要解調需要有 **AM** 訊號的 **Carrier** 輸入，才可以正確解調。

實驗二利用 **RC** 電路配上二極體，構成一個 **envelope detector**，這樣的電路結構可以透過電容的充放電機制，配合二極體的導通與斷路，將 **AM** 訊號解調，本實驗重點在於選取適當的 **RC** 值，來確保解調出的訊號適當。

實驗三結合實驗一和實驗二，用 **MPY634** 乘法 IC 構建出一個 **AM** 訊號，並用 **envelope detector** 解調，本實驗重點在於不需要知道 **AM** 訊號的 **Carrier** 輸入，即可正確解調。

Reference:

CSDN. (2020/11/12) **MPY634U** 四象限模拟乘法器。檢自:

<https://blog.csdn.net/zhuoqingjoking97298/article/details/109638143> (2024/04/21)

Youtube. (2021) **AM Demodulation - Envelope Detector Explained (with Simulation)**. retrieve from:

<https://www.youtube.com/watch?v=4JrryefRNfK> (2024/04/21)

維基百科。 (2024/02/17) 快速傅立葉變換。檢自:

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%BF%AB%E9%80%9F%E5%82%85%E9%87%8C%E5%8F%B6%E5%8F%98%E6%8D%A2> (2024/04/21)

維基百科。 (2023/12/27) 振幅調變。檢自:

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%8C%AF%E5%B9%85%E8%AA%BF%E8%AE%8A> (2024/04/21)