AM modulator and demodulator Lab2

# 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\*\*

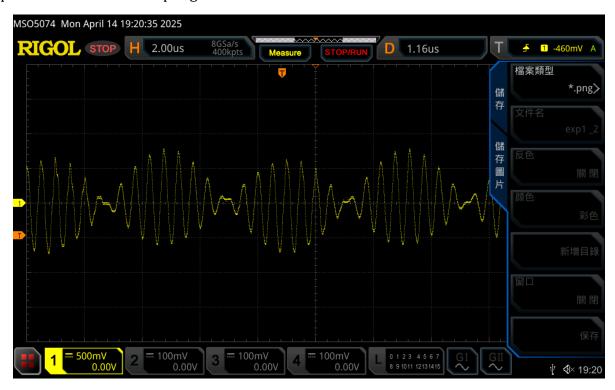
- 1. 請假需依規定提出假單申請,並安排時間補做實驗並將核準過的假單截圖貼於下方,助教才會進行結報的批改。
- 2. 以請假日計算;需在一星期內完成補做驗,二個星期內補交結報(將結報交至 Delay 區)。逾時不進行結報批改。例如:3/1 請假,需在 3/8 前完成補做實驗,3/15 前補交結報。

\_\_\_\_\_

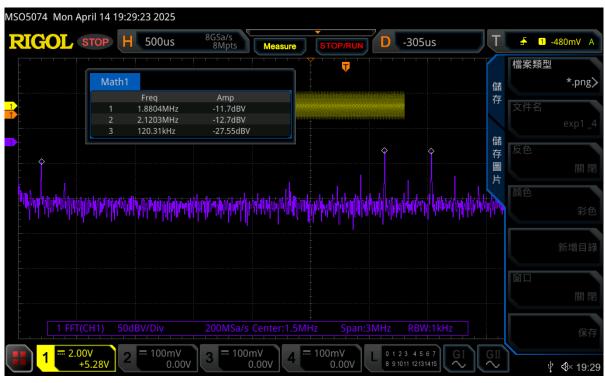
# **REPORT**

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

### 1. Output waveform in DC coupling

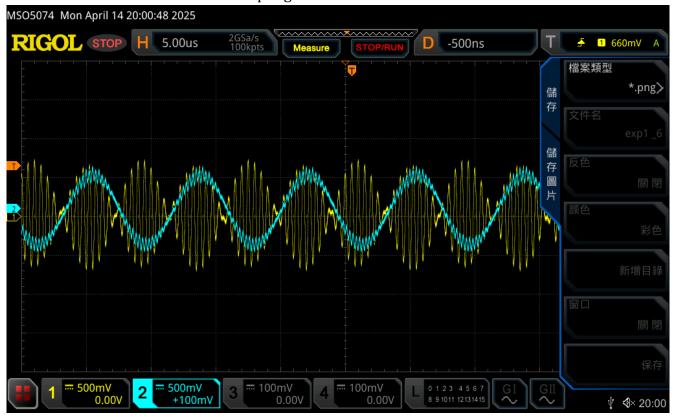


2. Output FFT waveform with data (measured by cursor or peak search)

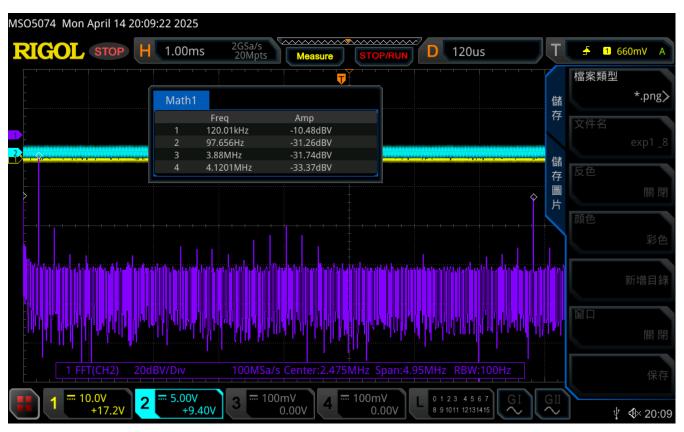


	Modulation(Signal)		Lower sideband		Upper sideband	
	120k	Hz	1.88M	Hz	2.12M	Hz
Magnitude (dB)	-27.55	dB	-12.2		dB	

### 3. Vout1 and Vout2 waveform in DC coupling



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



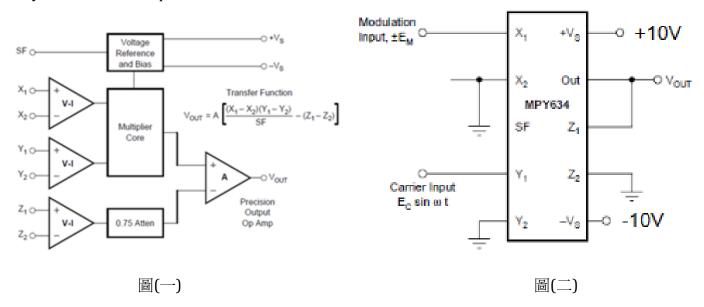
	Modulation(Signal)		Lower sideband		Upper sideband	
	120k	Hz	3.88M	Hz	4.12M	Hz
Magnitude (dB)	-10.48	dB	-32.555		dB	

AM modulator and demodulator

Lab2

#### **Ouestion:**

Why the sideband frequencies are 1.88MHz and 2.12MHz?



從圖(一)和圖(二)我們可以得出 Vout 為:

$$Vort = A \left( \frac{5 \sin(2\pi \cdot 120 k t) \cdot 1 \sin(2\pi \cdot 2M t)}{sF} - Vort \right)$$

$$Vort = \frac{5 \sin(2\pi \cdot 120 k t) \sin(2\pi \cdot 2M t)}{sF(I+A)}$$

然後再透過傅立葉轉換我們可以得知以下的資訊:

Carrier input: sine wave, 
$$2MHz$$
,  $1Vms$ .

Modulation input: sine wave,  $120kHz$ ,  $10Vpp \Rightarrow amplitude = 5V$ .

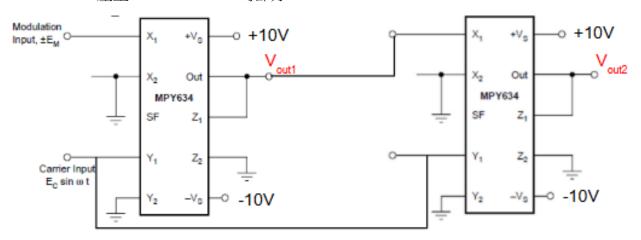
 $V_{DSB-SC} = 5 sin(2\pi \cdot 120kt) \cdot (sin(2\pi \cdot 2Mt))$ 
 $= \frac{5}{2} \left( sin(2\pi(2M+120k)t) + sin(2\pi(2M-120k)t) \right)$ 
 $= \frac{5}{4} \left( e^{i 2\pi(2M+120k)t} - e^{-i 2\pi(2M+120k)t} + e^{i 2\pi(2M-120k)t} - e^{-i 2\pi(2M-120k)t} \right)$ 
 $= \frac{5}{4} \left( \frac{5(f-(2M+120k))}{f-2M} - \frac{5(f+(2M+120k))}{f-2M} + \frac{5(f-(2M-120k))}{f-2M} - \frac{5(f+(2M-120k))}{f-2M} \right)$ 

透過 impulse 的分布然後取實數我們可以發現當頻率 > 0 時,理論上會在  $f = 1.88M \cdot f = 2.12M$  時有峰值。

Is there any other frequency element observed after demodulation?

除了在之前 modulation 時就有的 120k Hz 的 modulation signal 之外, demodulation 額外多出了 3.88M、4.12M 和 97.656 Hz 的頻率,那這是為什麼呢?

### 1. demodulation 產生 3.88M、4.12M 的部分



從上圖我們可以發現 demodulation 是將第一顆的 output 做為一個 input 然後再繼續對 Carrier input 在做一次 modulation,經過數學推導我們可以知道:

$$Vart_{1} = \frac{5 \sin(2\pi 120kt) \sin(2\pi 2Mt)}{sF(1+A)}$$

$$Vart_{2} = \frac{Vart_{1} \times 1 \times sin(2\pi 2Mt)}{(sF(1+A))^{2}}$$

$$= \frac{5 \sin(2\pi 120kt) \sin^{2}(2\pi \cdot 2Mt)}{(sF(1+A))^{2}}$$

$$= \frac{\frac{5}{2} \sin(2\pi \cdot 120kt) \cdot (1 - as(2\pi \cdot 4Mt))}{(sF(1+A))^{2}}$$

$$= \frac{\frac{5}{2} (\sin(2\pi \cdot 120kt) - sin(2\pi \cdot (20kt)) \cos(2\pi 4Mt))}{(sF(1+A))^{2}}$$

$$= \frac{\frac{5}{2} (\sin(2\pi \cdot 120kt) - \frac{1}{2} (\sin(2\pi \cdot (120k+4M)t) + \sin(2\pi \cdot (120k-4M)t)))}{(sF(1+A))^{2}}$$

$$= \frac{5}{2j(sF(1+A))^{2}} \left( e^{j2\pi \cdot 120kt} - e^{-j2\pi \cdot 120kt} - \frac{1}{2} (e^{j2\pi \cdot 4 \cdot 12Mt} + e^{j2\pi \cdot 2 \cdot 88Mt} + e^{j2\pi \cdot 2 \cdot 88Mt} + e^{j2\pi \cdot 2 \cdot 88Mt} \right)$$

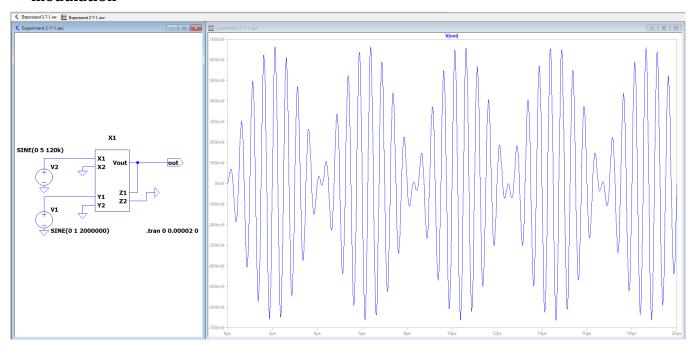
$$= \frac{5}{2j(sF(1+A))^{2}} \left( s(f-1/20k) - s(f+1/20k) - \frac{1}{2} (s(f-4 \cdot 12M) - s(f+3 \cdot 88M) + s(f-3 \cdot 88M)) \right)$$

由上面的數學推導我們可以知道再經過一次 MPY634 IC 後會剩下 120k、3.88M、4.12M 的部分,那 97.656 Hz 的頻率為什麼會產生?

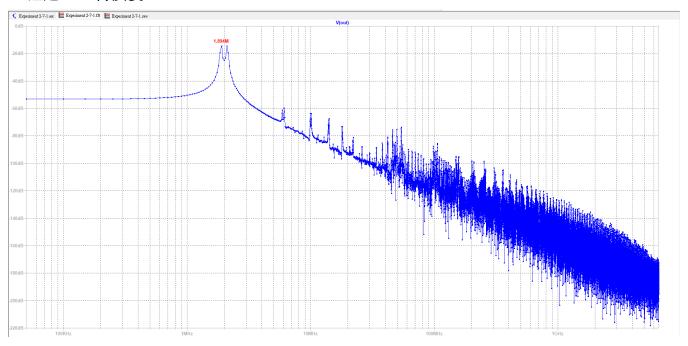
我覺得之所以會有 97.656Hz 的訊號是因為有電源頻率的存在,在每個國家的電網中,都存在著一種同步所有發動機、輸配電設備的頻率,這稱之為電源頻率,然後在台灣電源頻率是 60Hz,因此我推測這預期之外的訊號是透過接地線耦合到工四環境,然後在示波器中被我們觀察出來

## **棊 LTspice 模擬**

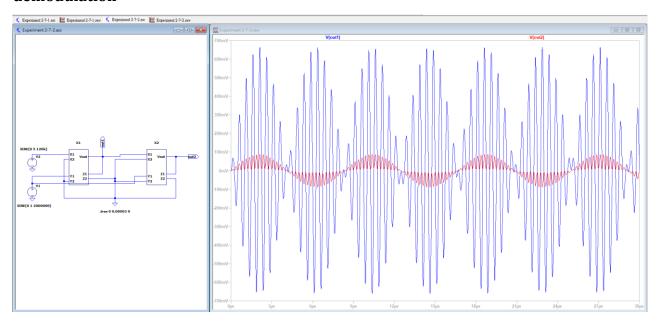
#### modulation



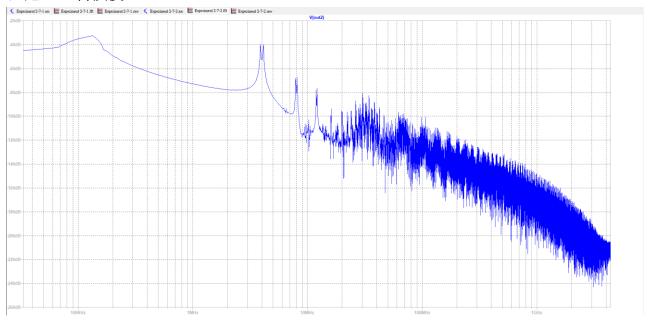
### 經過 FFT 轉換後



# demodulation



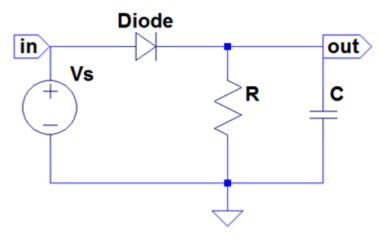
# 經過 FFT 轉換後



# ዹ 結論

實驗一我們用 MPY634 IC 接出 modulation 以及 demodulation 的電路。

### **Experiment 2:The Envelope Detector**



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%	7.75	166.6m	0.9579
50%	5.916	2	0.4947

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



#### ♣ 問題

什麼是包絡檢測器?

包絡檢波器是以高頻訊號為輸入訊號並提供原始訊號的包絡的一種電子線路。電路中的電容器會在上升沿充電,並在訊號下降時通過電阻器緩慢釋放電荷。串聯的二極體將輸入訊號整流,只在正輸入端比負輸入端電位高的時候允許電流流過。

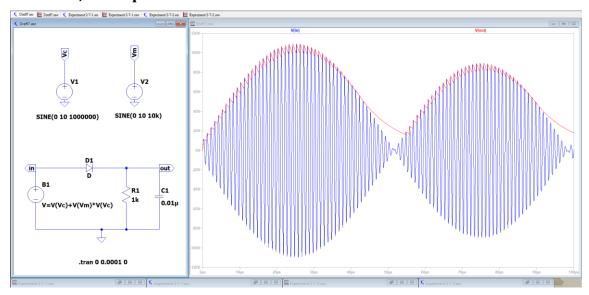
大多數實際的包絡檢波器使用半波或全波整流訊號來轉換交流音訊輸入到直流脈波訊號。然後用 濾波來平滑最終結果。這種濾波是很少完美的,一些「漣波」會保持輸出包絡跟隨,尤其對於低頻輸 入更多濾波會得到更平滑的結果,但會降低響應性;因此,實際的設計必須針對應用進行優化。

#### ♣ 結論

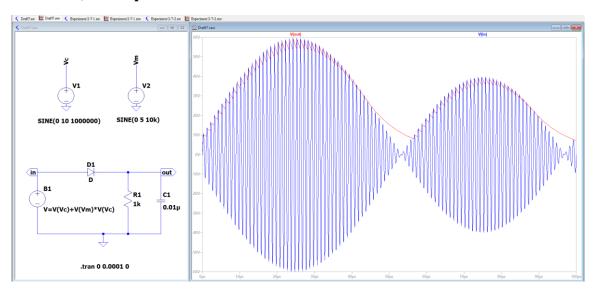
在實驗二中我們用間單的二極體、電阻電容組合出一個包絡檢測器,透過包絡檢測器讓我們可以 直接還原 AM 波到原來長相。

# **↓ LTspice 模擬**

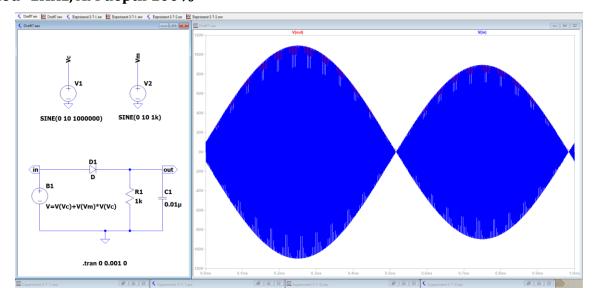
# fmod=10KHz, AM depth 100%



### fmod=10KHz, AM depth 50%

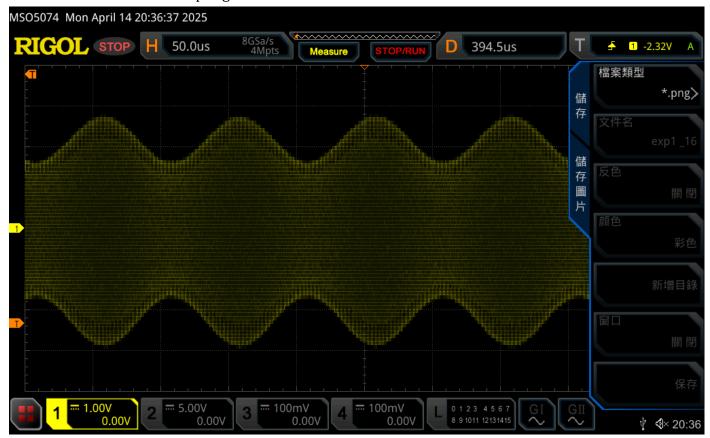


# fmod=1KHz, AM depth 100%

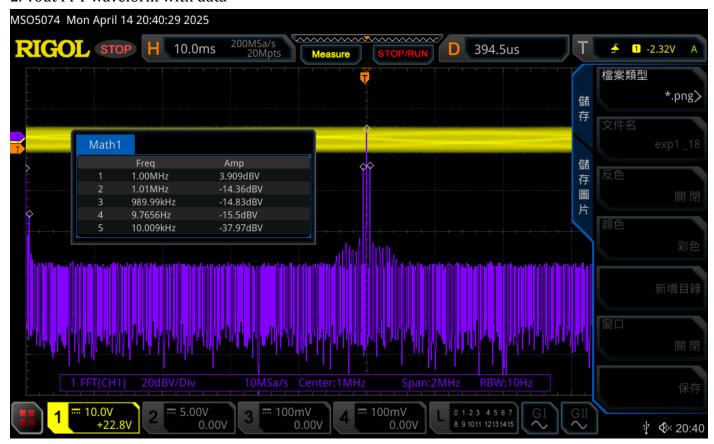


### **Experiment 3:Linear AM Modulator and Demodulation**

### 1. Vout waveform in DC coupling

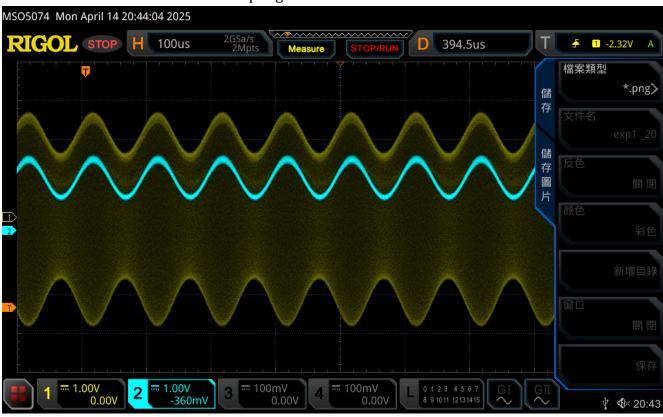


### 2. Vout FFT waveform with data



	Modulation(S	Carrier		
	10k	Hz	1M	Hz
Magnitude (dB)	-37.97	dB	3.909	dB

3. Vout1and Vout2 waveform in DC coupling



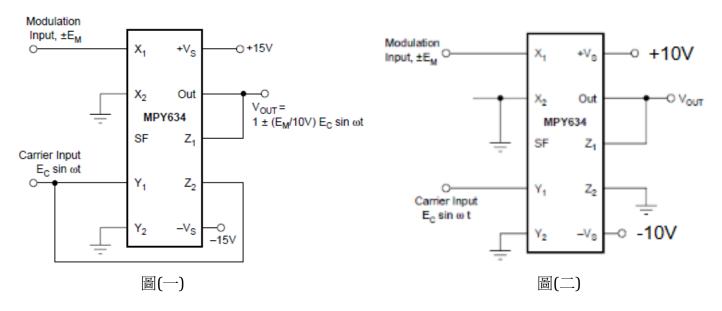
4. Vout2 FFT waveform with data (measured by cursor or peak search)



	Modulation(	Signal)	Carrier		
	10k	Hz	1M	Hz	
Magnitude (dB)	-9.521	dB	-30.99	dB	

### Question:

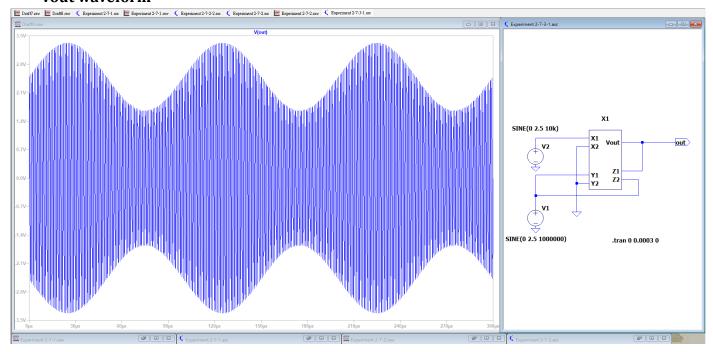
Compare with exp1 (DSB-SC), do you find any difference?



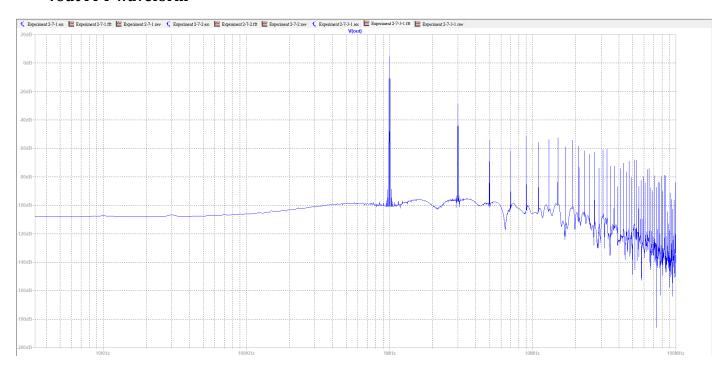
圖一是 DSB-LC modulation 部分的接法,圖二是 DSB-SC modulation 的解法,從接線圖上我們可以發現在 Z2 的腳位上兩者的處理方式截然不同,DSB-SC 只會傳輸一次 Carrier 訊號,但是 DSB-LC 卻會傳輸兩次 Carrier 訊號,這在能量的消耗上會有很顯著的差距,

# **↓ LTspice 模擬**

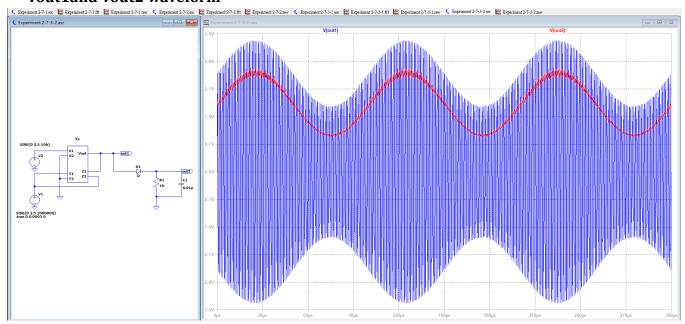
### **Vout waveform**



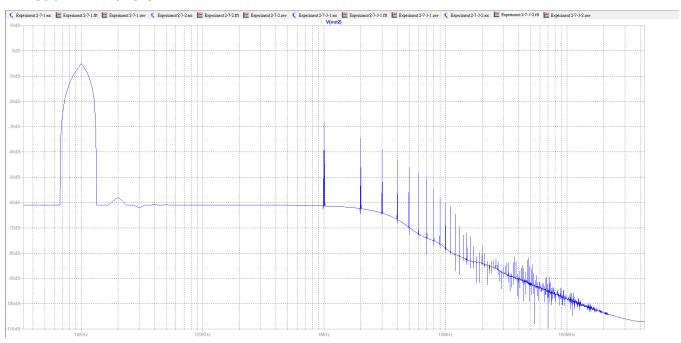
### **Vout FFT waveform**



### Vout1and Vout2 waveform



### **Vout2 FFT waveform**



# ♣ 結論

結合實驗一及實驗二的結果,透過 envelope detector 我們可以簡單地將 AM 訊號轉換成原本的輸入訊號

### ♣ 心得

本週實驗延續上次濾波器的內容,與上週不一樣的是這週進入了調變(modulation)與解調變(demodulation)的實作階段。相較於之前的實驗,這次充滿新鮮感。過去我們總是使用麵包板搭配開學時發放的模組電子材料進行實驗,但這次首次使用了 TI 電路板。看著電路板上密密麻麻的電子元件,感覺既新奇又酷炫,這是之前實驗從未體驗過的。

實驗內容主要應用了通訊原理課程中所學的知識,例如調變技術與訊號處理,這些理論基礎在實作中發揮了巨大作用,讓實驗進展格外順利。我們成功實現了調變訊號生成、濾波處理及解調還原的流程。然而,實驗中一些結果令人在意,例如解調後的訊號在特定情況下出現誤差,可能是濾波器設計或同步問題所致。

### ♣ 引用

#### MPY634

https://e2echina.ti.com/blogs/b/analogwire/posts/mpy634

### ● 電源頻率

https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%B7%A5%E9%A2%91

### • Envelope detector

https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%8C%85%E7%BB%9C%E6%A3%80%E6%B3%A2%E5%99%A8

#### DSB-LC

https://chchoiw.github.io/posts/2020/06/signals\_systems4/