

電工實驗(三)

實驗報告

實驗單元(10)

低通濾波器

(電路模擬與實作)

(ELABSIM101)

班別： 4A

學號： 01053310

姓名： 許少璜

實驗日期： 111/12/26

一、實驗儀器設備

項次	儀器名稱	儀器廠牌及型號	數量	實驗桌別
1	示波器	Tektronix MSO2024	1	19
2	電源供應器	固緯電子 GPC-3030DQ	1	19
3	萬用電表	Agilent 34401A	1	19
4	訊號產生器	固緯電子 AFG-2125	1	19

二、實驗目的

1. 瞭解主動濾波器的原理與設計。
2. 實作低通濾波器特性。
3. 使用 OrCAD 模擬低通濾波器時域與頻域關係

三、請簡介實驗項目

- 計算 U1 電壓放大率的電壓放大範圍值一簡言之，即為放大器的放大倍率。
- [實驗要求]：頻率值=2.95KHz 時有最大輸出振幅，避免振盪現象產生。
- 波形失真或波形飽和現象的改善：訊號產生器調小輸出振幅。
- [實驗要求]：頻率值=2.95KHz 時有最大輸出振幅，避免振盪現象產生。
- 波形失真或波形飽和現象的改善：訊號產生器調小輸出振幅。
- [實驗要求]：改變可變電阻 VR4 5K Ω ，電阻對電路的影響。
- 頻帶 3KHz 內平坦度問題(示波器輸出振幅變化)。
- 繪製出電壓增益對頻率之響應圖。
- 繪製出相位對頻率之響應圖。
- 請務必說明一下您所觀測之波形，為何種波形？何種因素所造成？

四、實驗注意事項

1. 運算放大器電路給定 $\pm 12V$ 電壓。
2. L.P.F. 實驗電路調整時會產生振盪現象，當關閉訊號產生器後，可由示波器觀測出振盪波形，此時需調整可變電阻，使極點移至 s-plane 的左半平面。
3. 輸入波形不可過大(不要超過實驗設定值)，否則會產生波形截止現象。
4. 應瞭解各級輸出振幅大小與頻率之關係，以適當調整可變電阻值。
5. 需瞭解頻帶內平坦度之意義。
6. 方波測試之輸出圖檔，應標示輸入、輸出振幅大小及頻率值。
7. 運算放大器需要接直流偏移量調整 VR10K Ω ，示波器設定：CH1 及 CH2 直流耦合，適當選擇垂直刻度，水平軸時間間距。

五、實驗預習

下列為實驗參考資料—OP 應用資料內容，請同學閱讀後，試著回答下列各題的問題。

- 1.參閱文件“*Active Low-Pass Filter Design*”中L.P.F.實際電路*Low-Pass Multiple-Feedback (MFB) Architecture*及*Low-Pass Sallen-Key Architecture*。期許同學能夠了解上述電路圖，並能簡述其電路特性。[7].
- 2.參閱文件“*Understanding Basic Analog – Ideal Op Amps*”,Page8, Figure 9. *Low-Pass Filter*。期許同學能夠了解上述電路圖，並能簡述其電路特性。[8.]
- 3.參閱實驗單元參考資料：John Bishop, Bruce Trump, R. Mark Stitt *Op-Amp Applications, High Performance Linear Products, “FilterPro MFB and Sallen-Key Low-Pass Filter Design Program”*,Page.2 ~Page.5。期許同學能夠了解低通濾波器的三種型態*Butterworth*、*Bessel*及*Chebyshev* 特性及其優劣點。[5].
- 4.參閱實驗單元附件參考資料：簡文松,“*波的合成*”,1999.07.Page.1~Page.3,及參考工程數學或是訊號與系統，期許同學能夠了解方波函數的 *Fourier* 級數展開式，並能夠在頻域軸上畫出各分量且說明其涵義。
- 5.參閱實驗單元參考資料：王志麟,“*SAW Filter 技術與應用發展趨勢*”,八月號 2002,零元件雜誌,基礎電。期許同學能夠說明 *SAW Filter* 原理、特性及應用範圍。[6].

六、設計程序與電路模擬

1.設計程序—元件之選用

此單元的程序是先測電容，計算電阻，將所求之元件數值代入圖 10-4 ORCAD 模擬電路圖(一)，完成模擬內容。

1.1.電容值與電阻值之修正

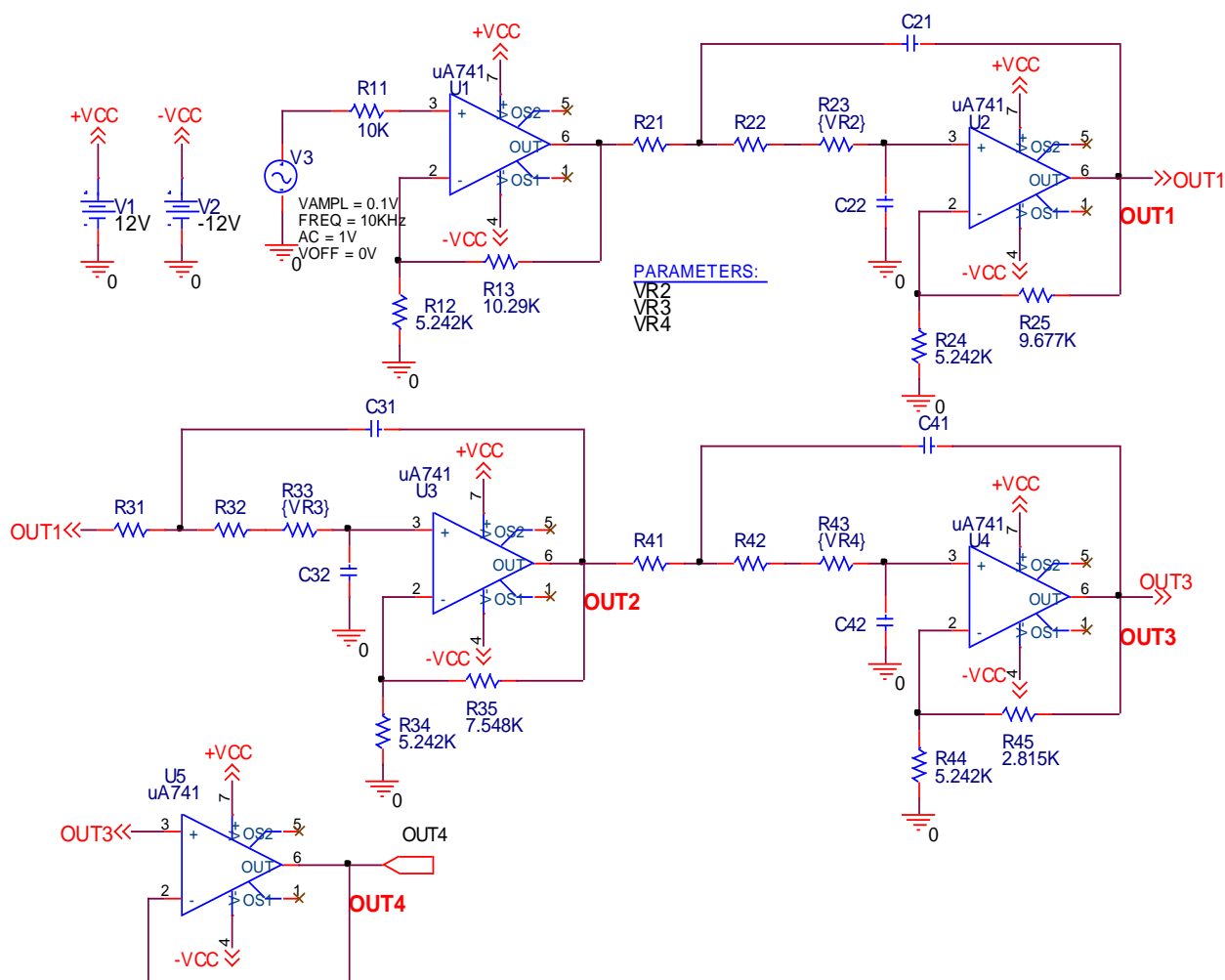


圖 10-4 ORCAD 模擬電路圖(一)

1.2.測量電容值

參閱圖 10-04 ORCAD 模擬電路圖(一)，實驗前應使用 RLC Meter 測量三組電容[C21、C22]、[C31、C32]及[C41、C42]的電容值，各組的電容值會有差異存在，最佳情形為各組電容取相近值以減少差異，誤差越小越好，然後取各組之電容平均值。

表 10-3 元件(電容值)測量值

	第二級	第三級	第四級
電容值	C21= 0.01013uF	C31= 0.00974uF	C41= 0.0105uF
電容值	C22= 0.01015uF	C32= 0.0098uF	C42= 0.00988uF
電容平均值	C23= 0.01014uF	C33= 0.00977uF	C43= 0.01019uF

1.3.計算電阻值與電路模擬驗證：參閱圖 10-4 及圖 10-5。

依據前述計算電阻值公式，完成其他級電阻值 R21、R31 及 R41 之計算，完成圖 10-4 ORCAD 模擬電路圖(一)中相對的模擬數值。

參閱各級電阻 R 與電容 C 之數值，計算電阻值，計算之。

$$\text{第二級: } R21 = \frac{1}{w02C23} = \frac{1}{19076 \times C23} \cong \underline{5.174 \text{ K}\Omega}。$$

$$\text{第三級: } R31 = \frac{1}{w03C33} = \frac{1}{13949 \times C33} \cong \underline{7.36 \text{ K}\Omega}。$$

$$\text{第四級: } R41 = \frac{1}{w04C43} = \frac{1}{7476 \times C43} \cong \underline{12.73 \text{ K}\Omega}。$$

表 10-4 元件(電阻值)計算值

	第二級	第三級	第四級
電阻值	R21= 5.174 KΩ	R31= 7.36 KΩ	R41= 12.73 KΩ
電阻值	R22= 4.764 KΩ R23= 500Ω	R32= 4.86 KΩ R33= 2.5K	R42= 7.73KΩ R43= 5K

◎選用可變電阻，填入選用值。

$$R23 = \underline{500\Omega}。R33 = \underline{2.5K}。R43 = \underline{5K}。$$

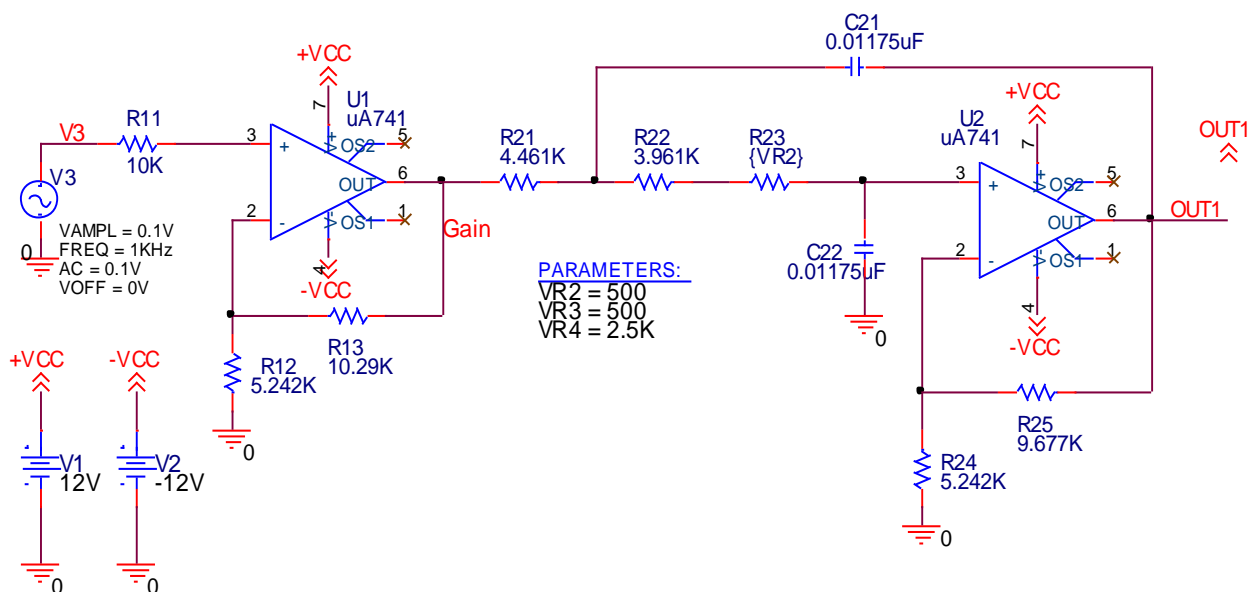


圖 10-5 模擬修正電路 U1 及 U2

2.OrCAD 模擬分析

由上述選用元件之測量及計算值，將圖 10-4 中元件值設定完成。

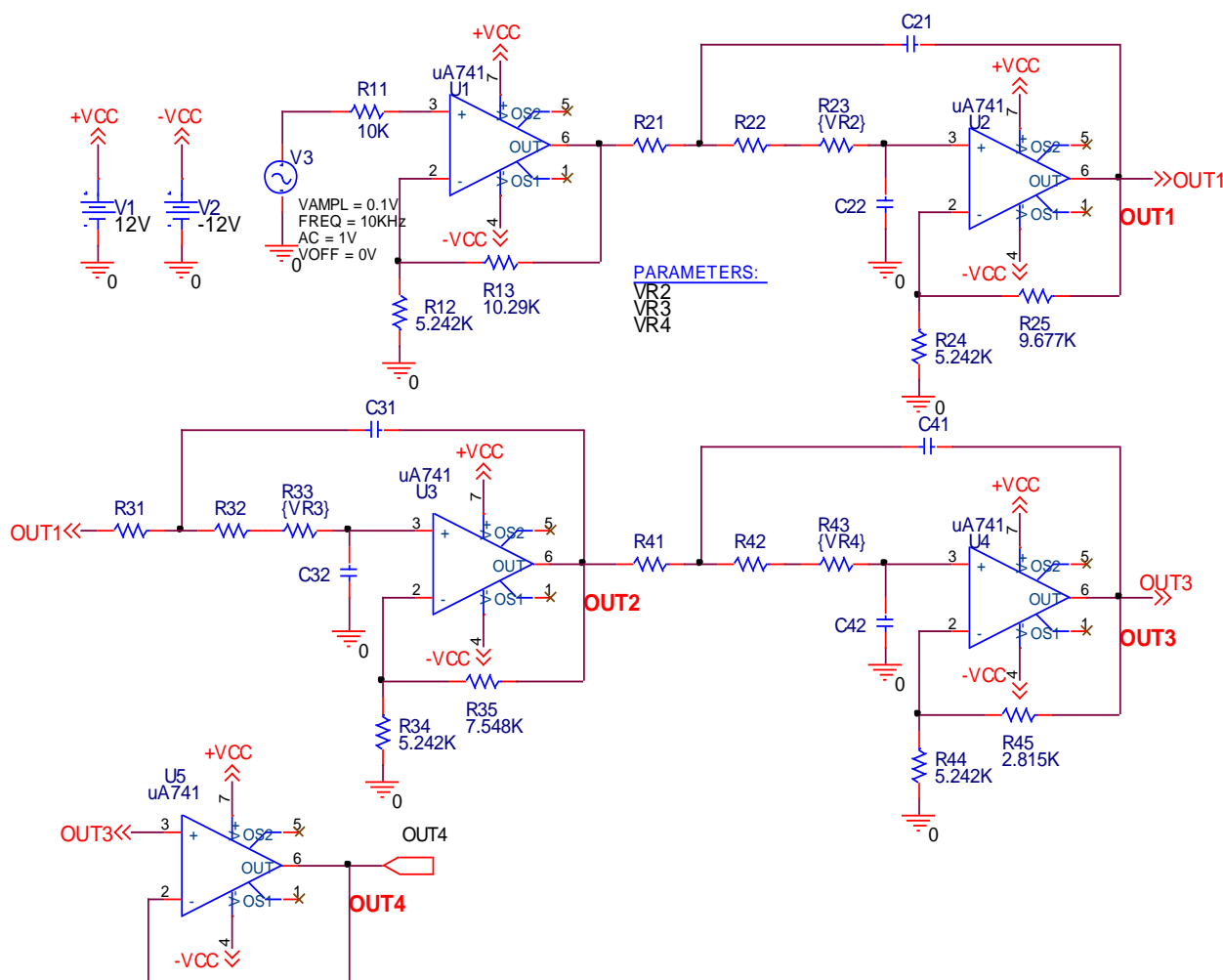


圖 10-6 ORCAD 模擬電路圖(二)

2.1.模擬項目(一)：參數變動下，低通濾波器輸出振幅與頻率之關係。

a.模擬說明：模擬可變電阻對低通濾波器電路特性的影響。

b.模擬電路圖—見圖 10-6 依據實驗電路說明及實驗設計程式所得的元件值來設定。

c.使用參數分析方法，設定模擬 AC sweep 及 Parametric sweep 二種掃描。

一次選擇一個參數，模擬出各相對輸出節點的波形變化，見下列表格 10-5。

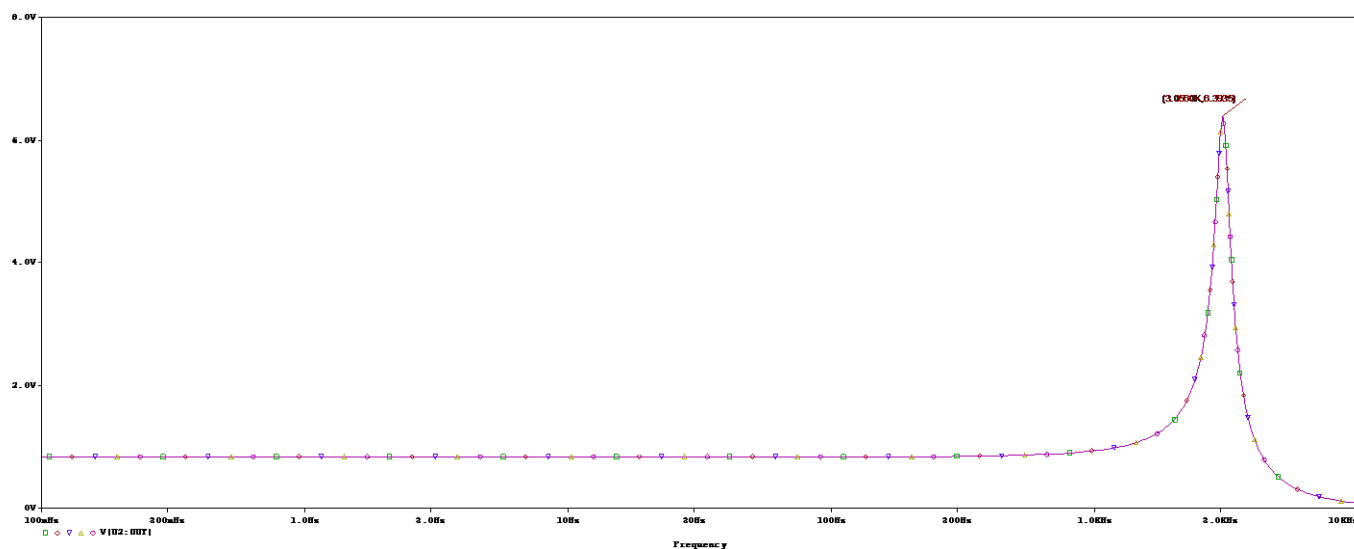
選擇 ☐ Global parametric → Parameter name：見下列表格 10-5

選擇 Sweep type：選擇 ☐ Linear

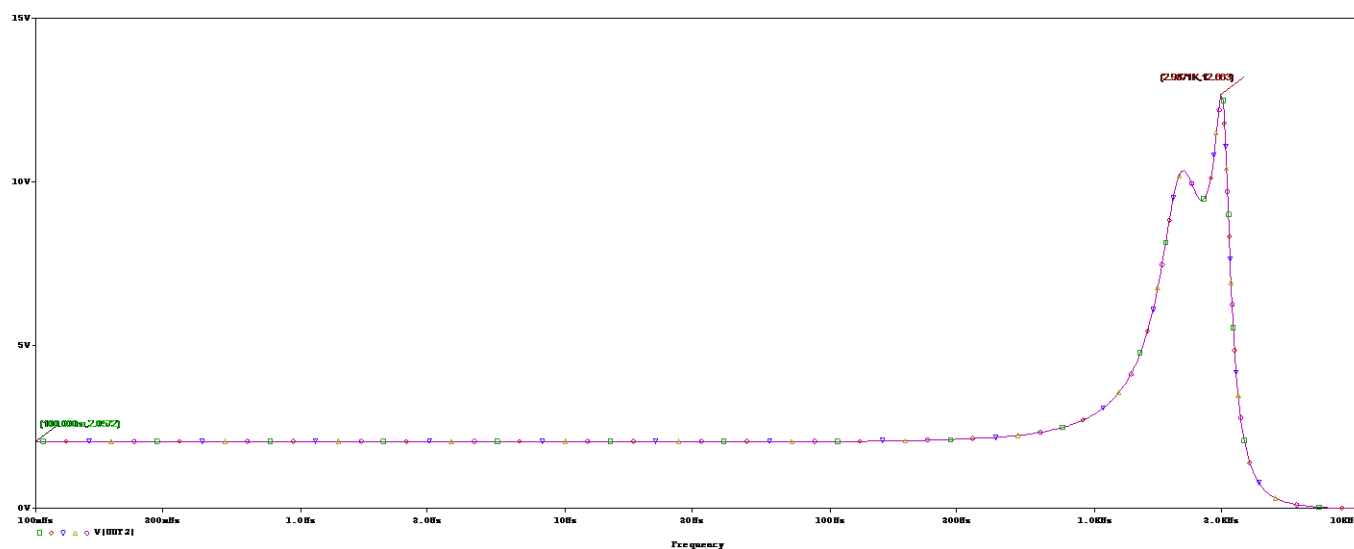
d.實驗模擬項目(一)模擬結果(共 3 張圖)。

2.1.1.模擬結果：分別設定各輸出節點所對應的 VR?、電阻數值，模擬結果使用游標標示各峰值頻率及模擬結果說明。

①.輸出節點 OUT1(VDB)：



②.輸出節點 OUT2(VDB)：



③.輸出節點 OUT3(VDB)：

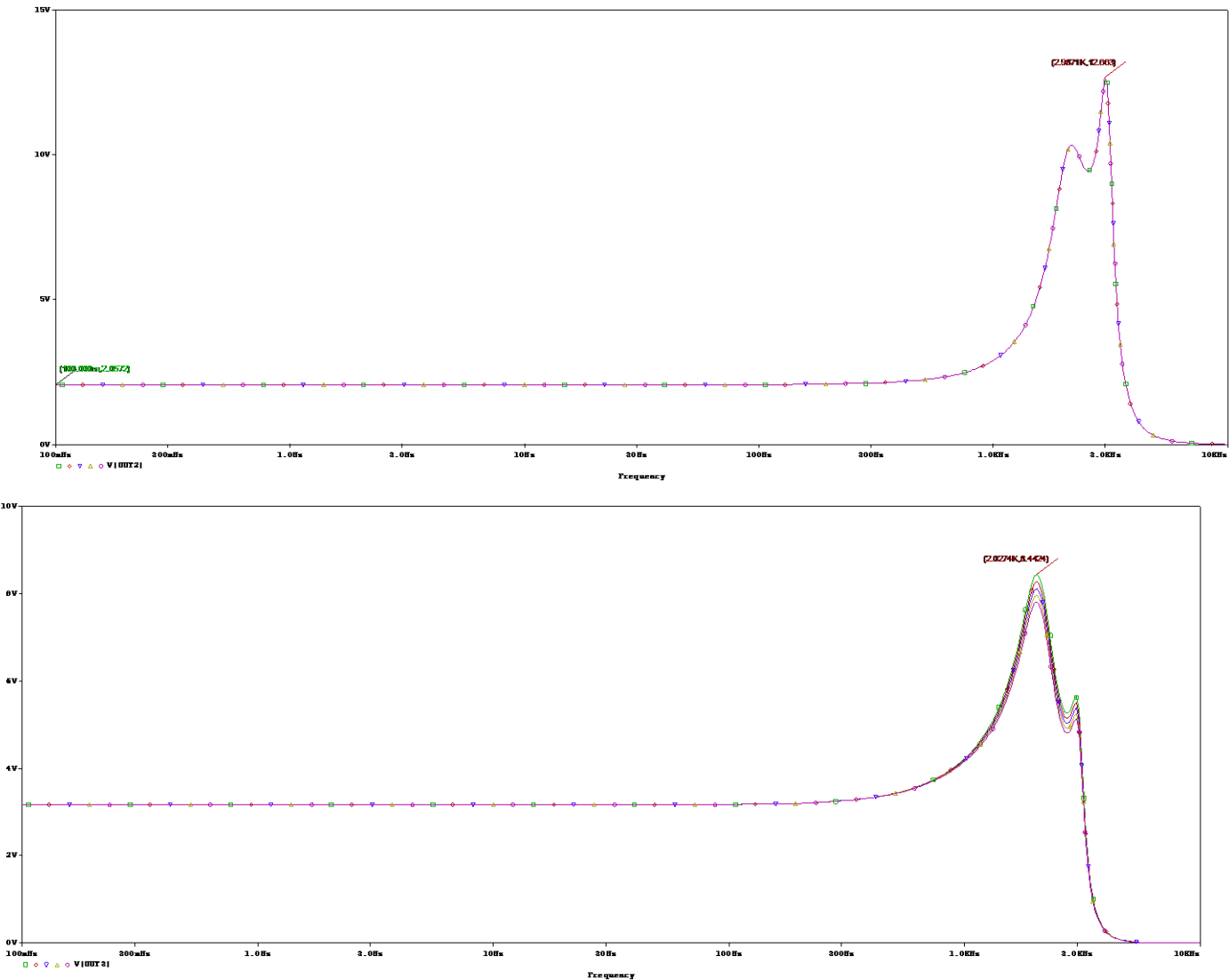


表 10-5 模擬設定與紀錄

輸出節點	Parameter name	參數值設定	游標標示
OUT1(VDB)	VR2	start value：0.01 End value：1000 Increment：200	5 筆資料，使用游標，標示各峰值頻率。
OUT2(VDB)	VR3	start value：0.01 End value：1000 Increment：200	5 筆資料，使用游標，標示各峰值頻率。
OUT3(VDB)	VR4	start value：0.01 End value：1000 Increment：200	5 筆資料，使用游標，標示各峰值頻率。

2.2.模擬項目(二)：低通濾波器輸出振幅對頻率的特性關係。

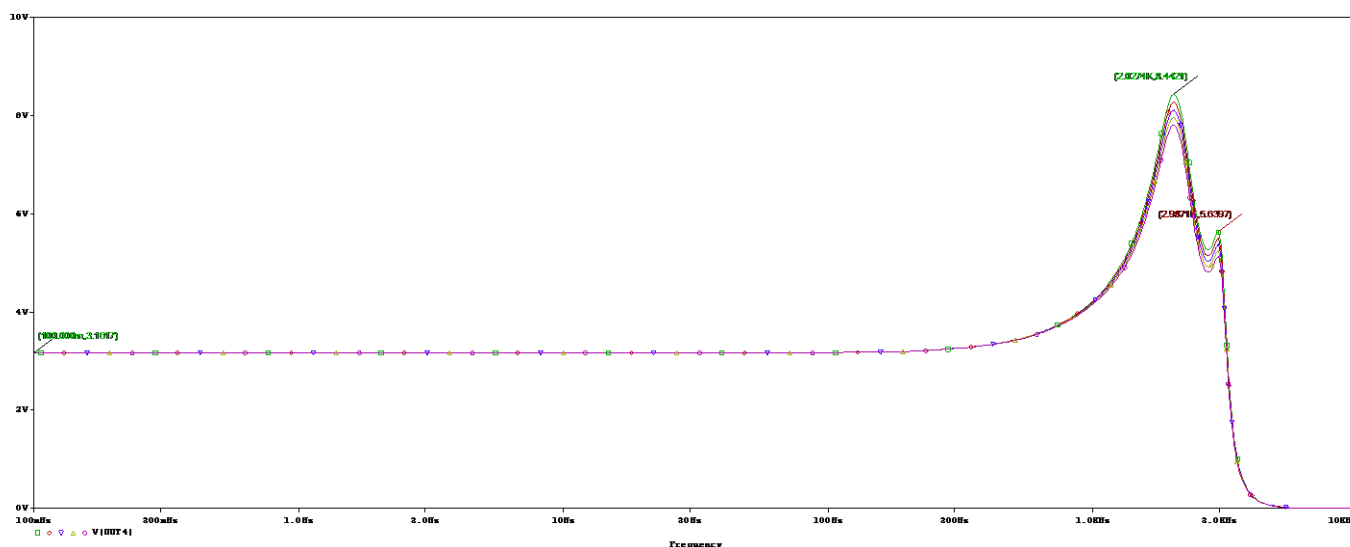
a.模擬說明：由計算所得的電阻值來模擬實驗電路的低通特性，這是模擬完成調整可變電阻後，輸出級[OUT4]電壓振幅對頻率的特性。

b.模擬電路圖一見圖 10-6，此時您需要將 V3 訊號源設定 $AC=0.1V$ ，測試 OUT4(注意：需使用 V 探棒)。

c 模擬項目(二)模擬結果：模擬結果如附錄(一)圖 SIM 10-5 所示。

★注意事項：模擬項目(二)中的模擬參數[VR2、VR3、VR4]需設定為你所設計的參數計算值。

2.2.1.模擬結果：須附上模擬資料：①.輸出節點：輸出級[OUT4]電壓振幅對頻率的特性。



②.實驗模擬分析：此結果可以瞭解 0.1V 輸入下，頻率與輸出電壓的關係，我們可以在發現波一開始都在 2V 至 4V 呈一段直線，但到了大約 300Hz 時，開始快速攀升直到 8.4421V 為第一個最大值，接下來垂直向下，再來到 3KHz 時出現第二個高峰來到 5.6397V，接著垂直向下結束。

2.3.模擬項目(三)：低通濾波器輸入方波之特性(輸入脈波)。

a.模擬項目：時域分析(Time-Domain)。

b.模擬時間(RUN TO TIME)：5 個週期。

c.輸入波形 VPLUSE 之設定，如表格 10-6 及圖 10-7。

d.模擬電路圖一見圖 10-08，頻率依據實驗電路說明所得的元件設計值來設定。

- e.頻率設定為：50Hz、500Hz、750Hz、1KHz、2KHz、3KHz、4KHz 及 5KHz。
- f.Time-Domain 分析，輸出節點為[OUT4]，並使用 FFT 轉換，需標示出各諧波分量頻率值(3KHz 頻帶內至少 5 筆資料)，印出上述時域及頻譜功能之結果。
- g.實驗模擬結果(共 16 張圖)。

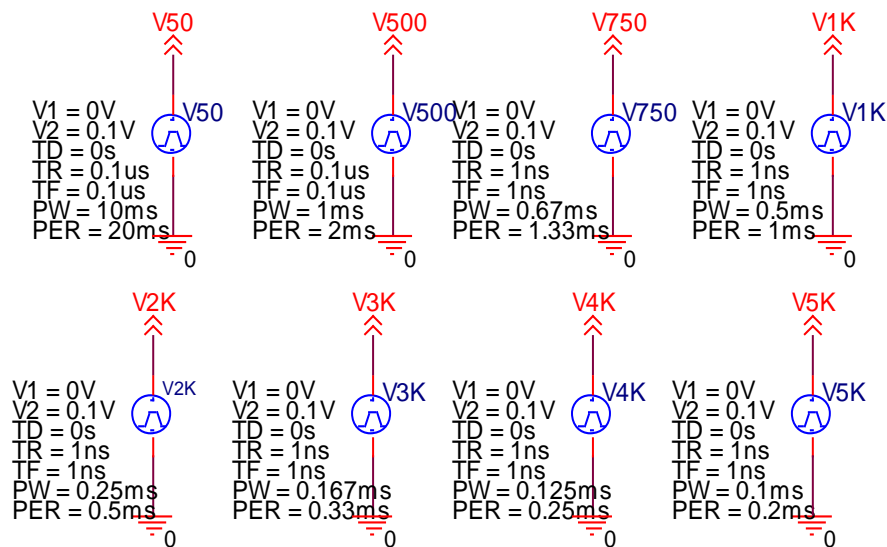


圖 10-7 ORCAD 模擬電路圖(三)

表 10-6 VPLUSE 之設定

輸入波形	輸入參數	名稱	設定值
VPULSE	V1	起始電壓	0V
	V2	波峰電壓	0.1V
	TD	延遲時間	0s
	TR	上升時間	0.1us 或 1ns
	TF	下降時間	0.1us 或 1ns
	PW	脈波寬度	半週期
	PER	週期	輸入訊號之週期

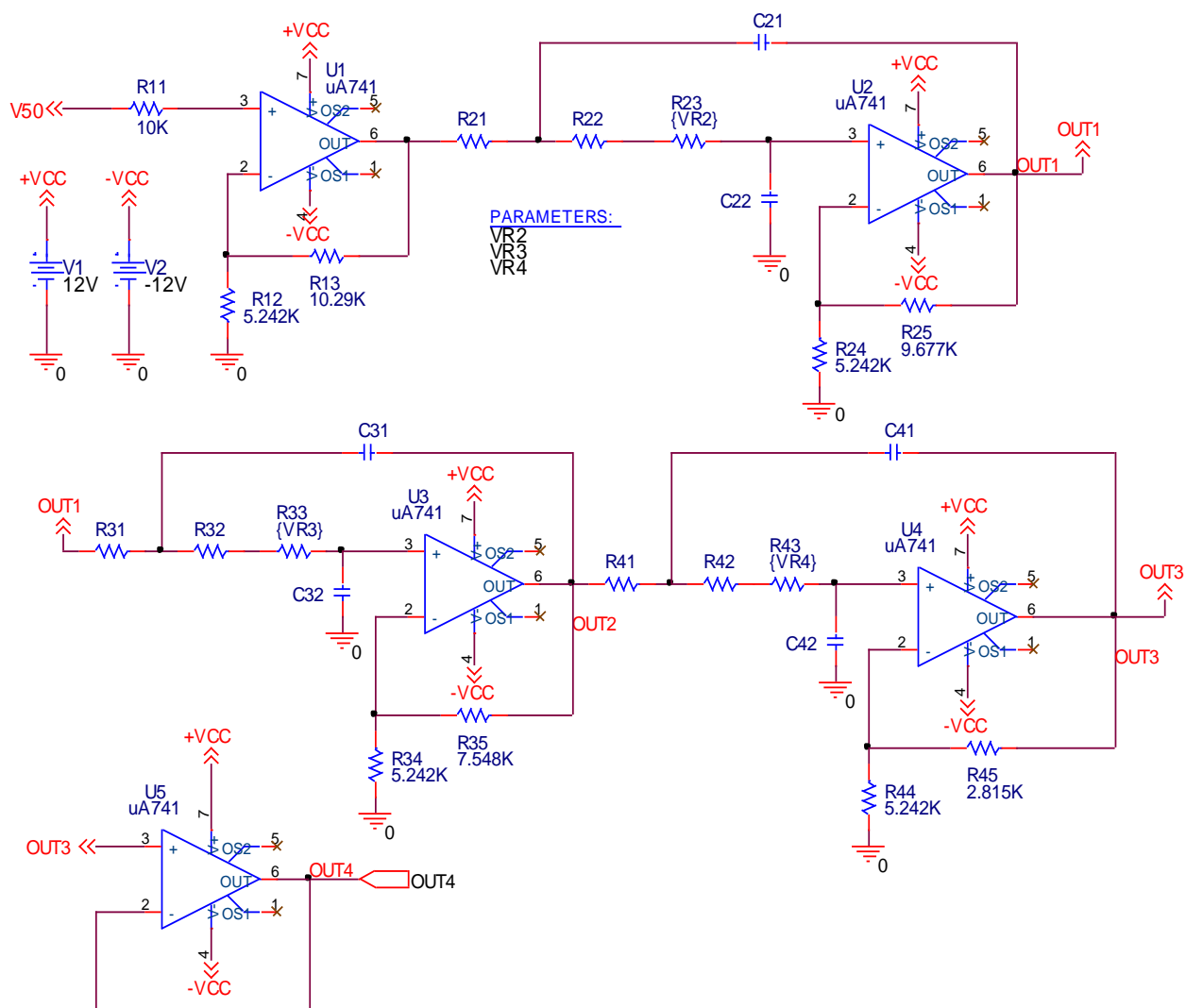
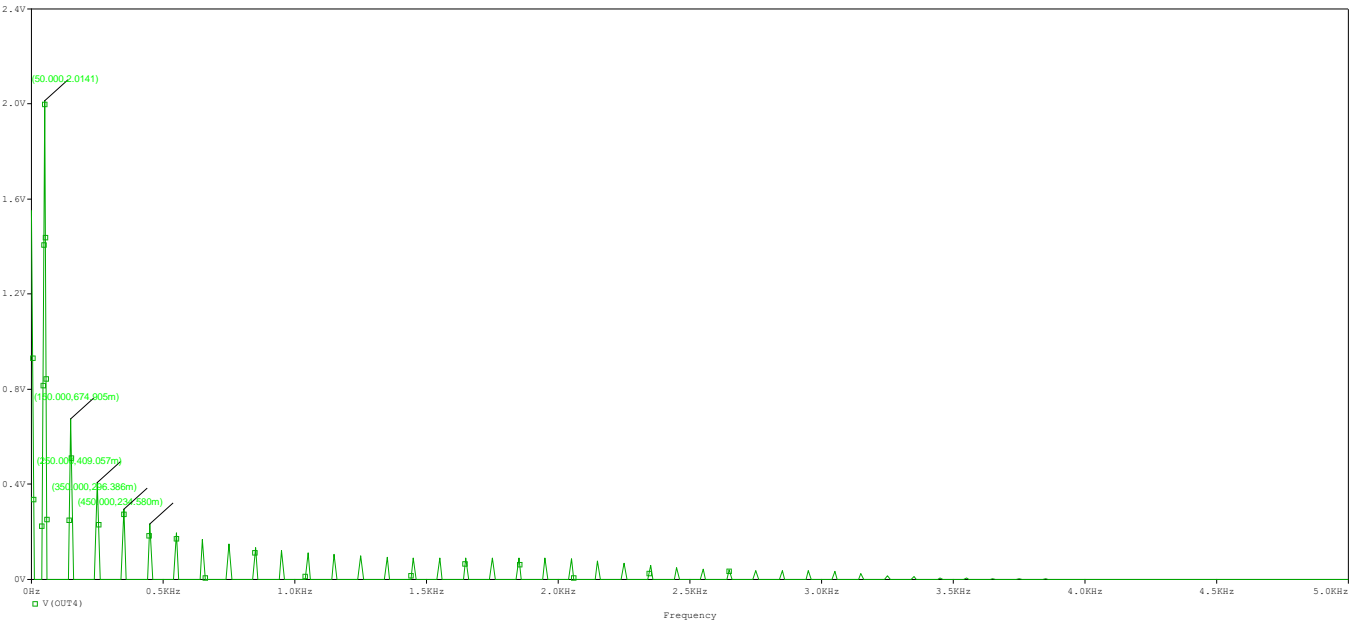
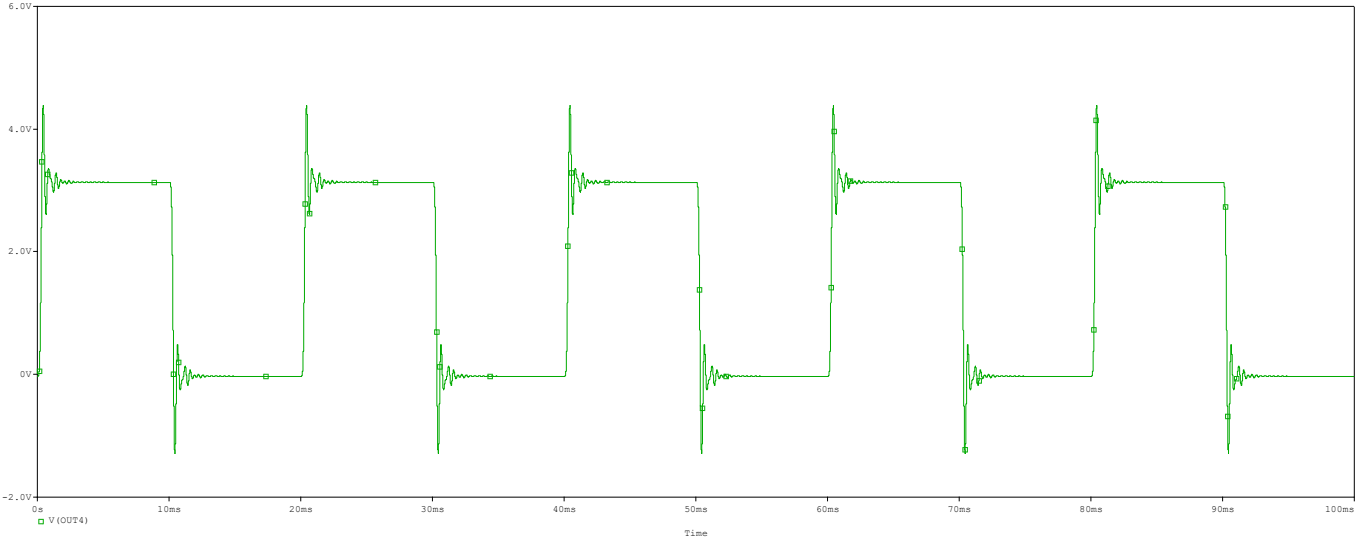


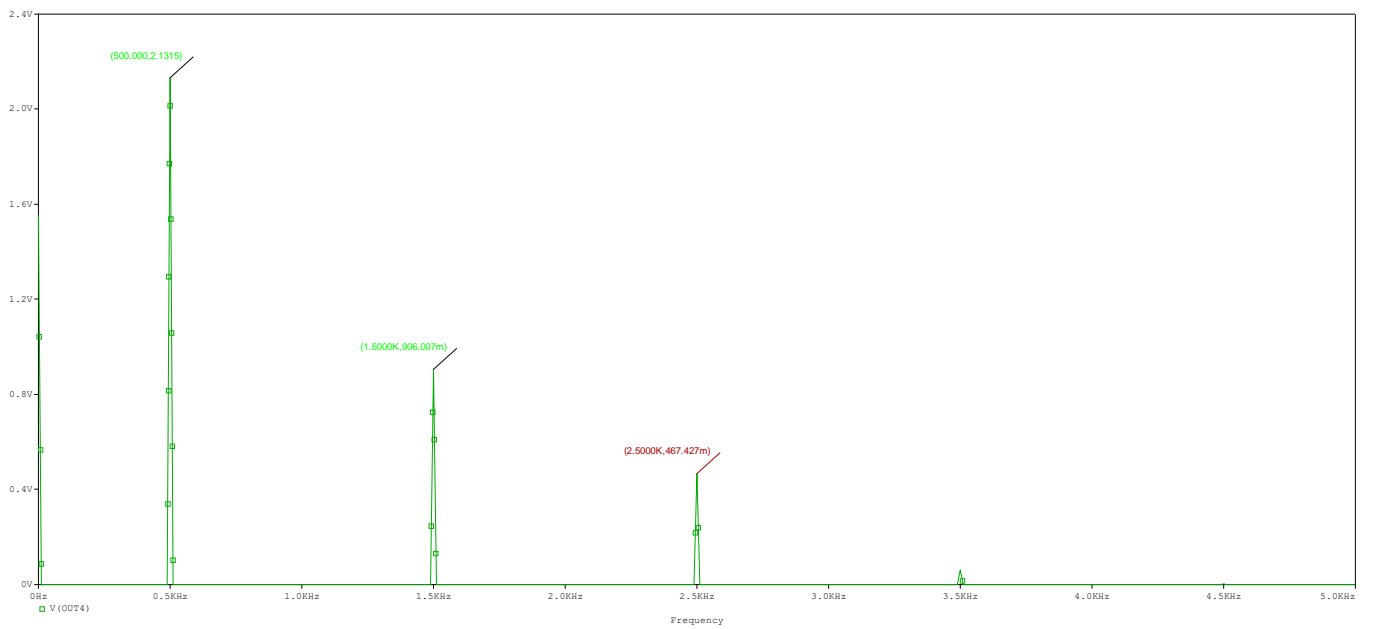
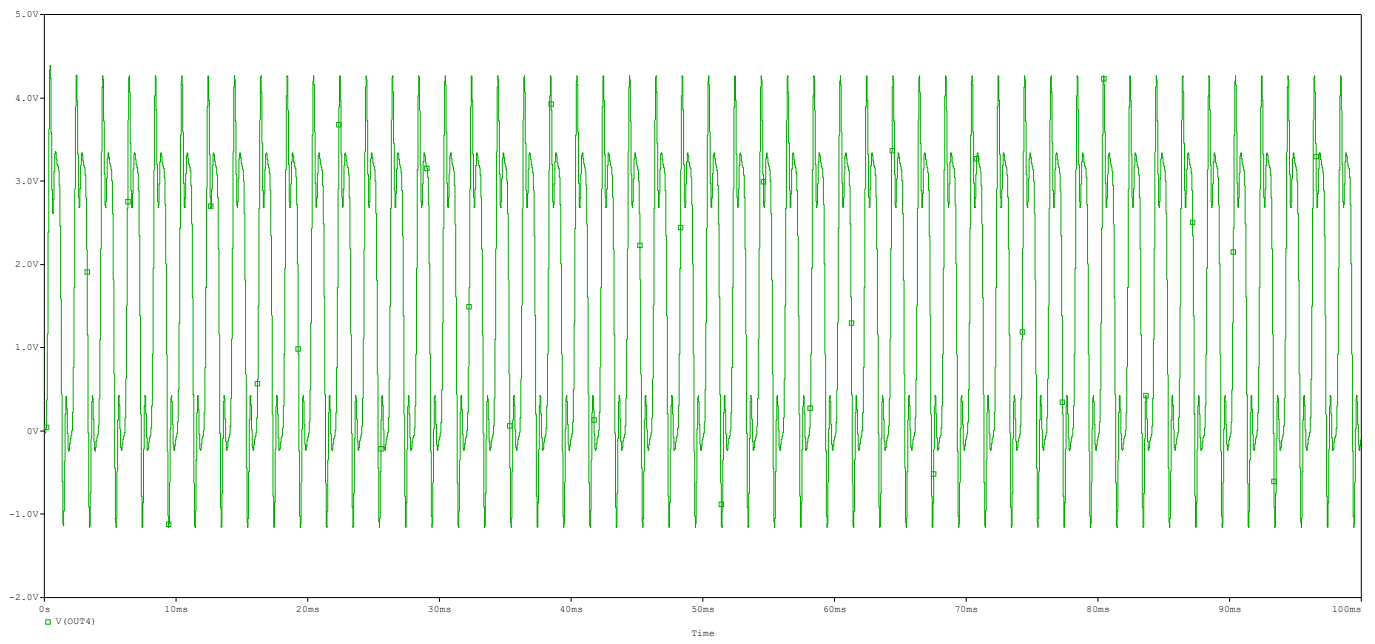
圖 10-8 ORCAD 模擬電路圖(四)

2.3.1. 模擬結果：須附上模擬資料：①. Time-Domain 分析波形②. FFT 轉換③. 實驗模擬分析，須完成表格(10-8)：輸入方波模擬結果說明，可對照補充資料-波的合成來說明。

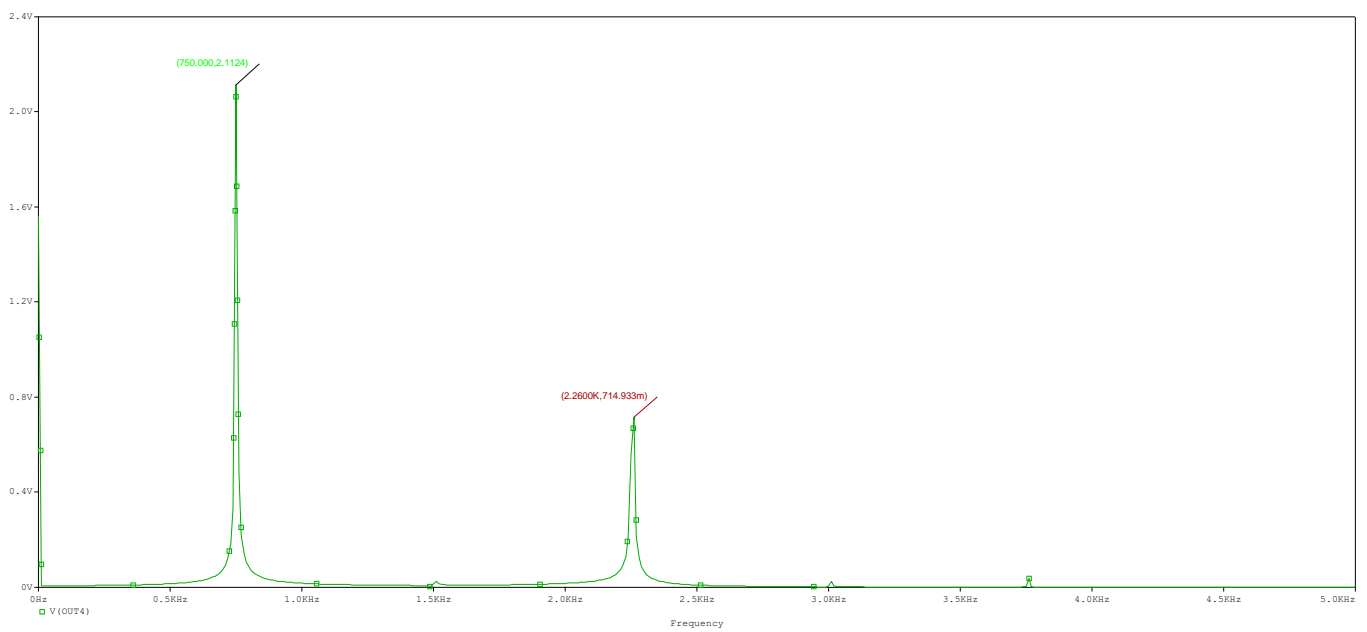
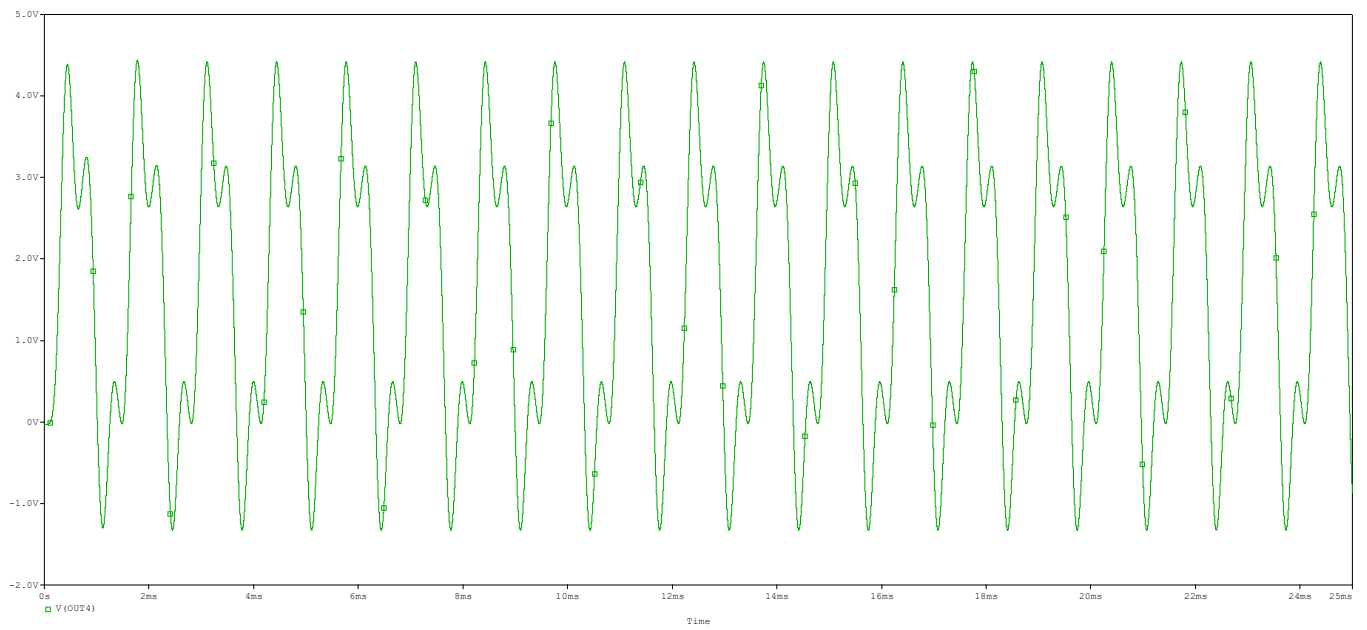
①.50Hz.



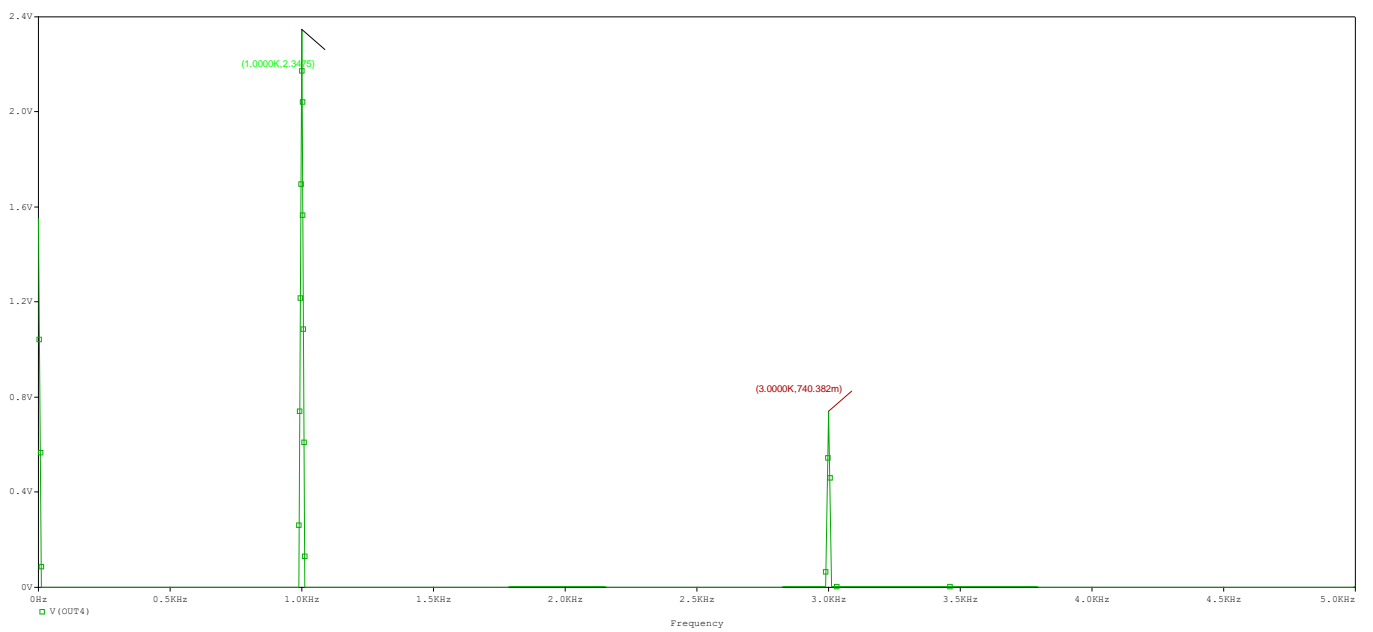
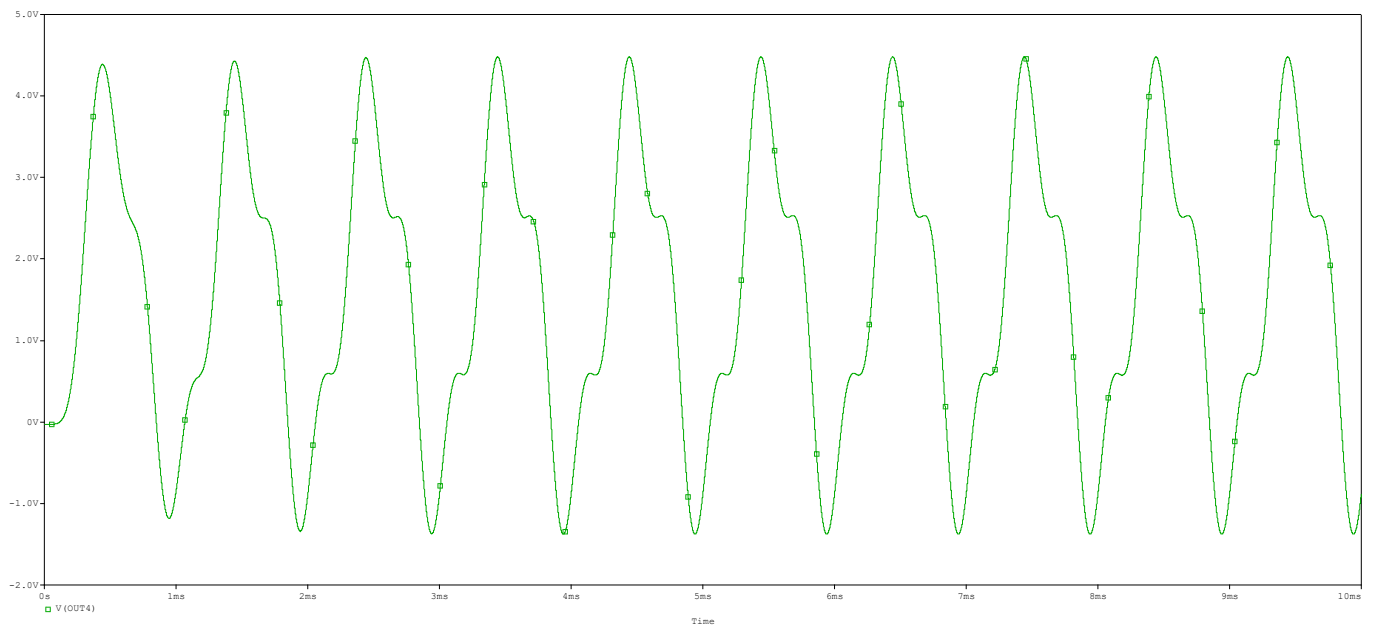
②.500Hz.



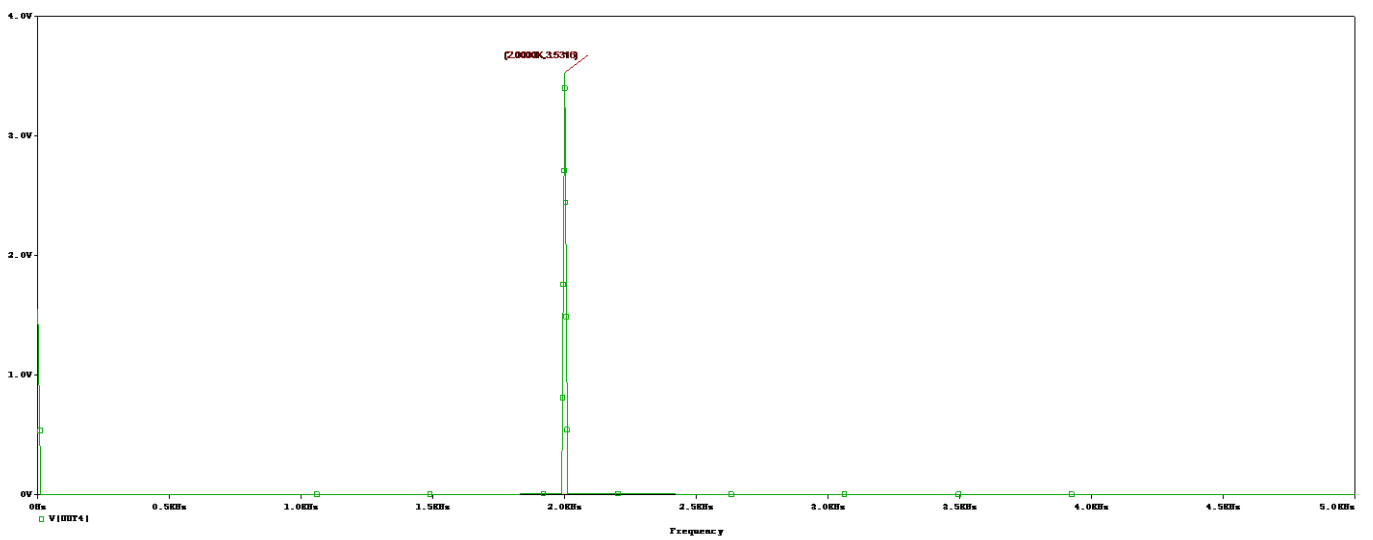
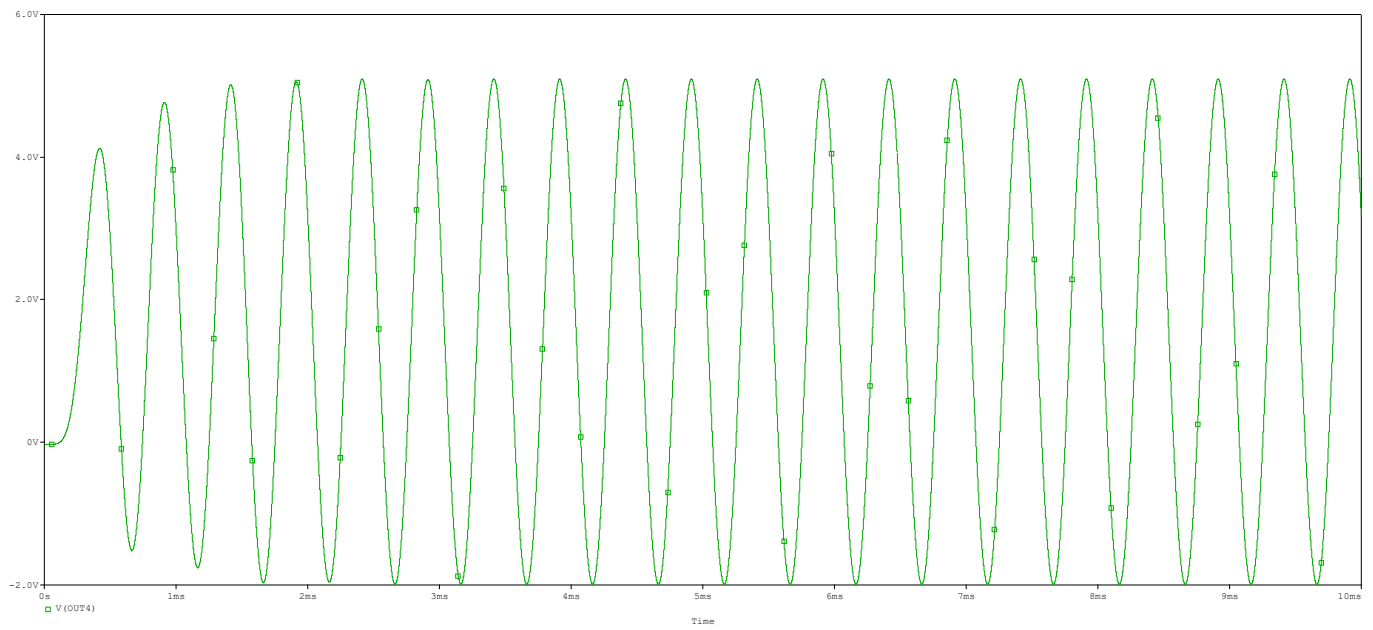
③.750Hz.



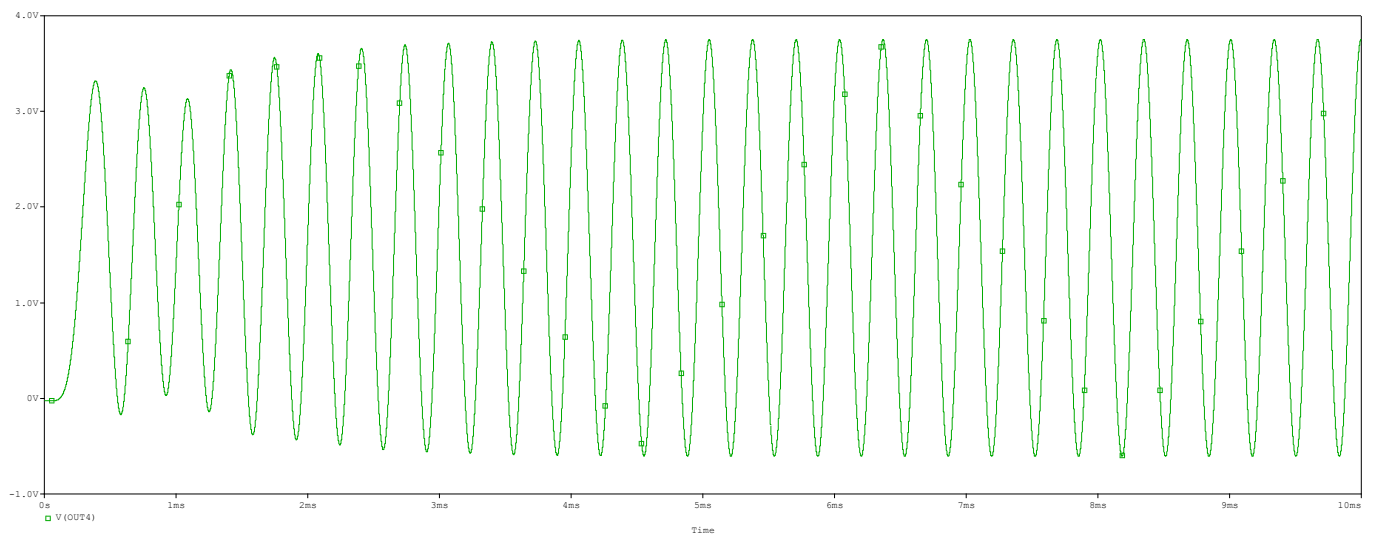
④.1KHz.

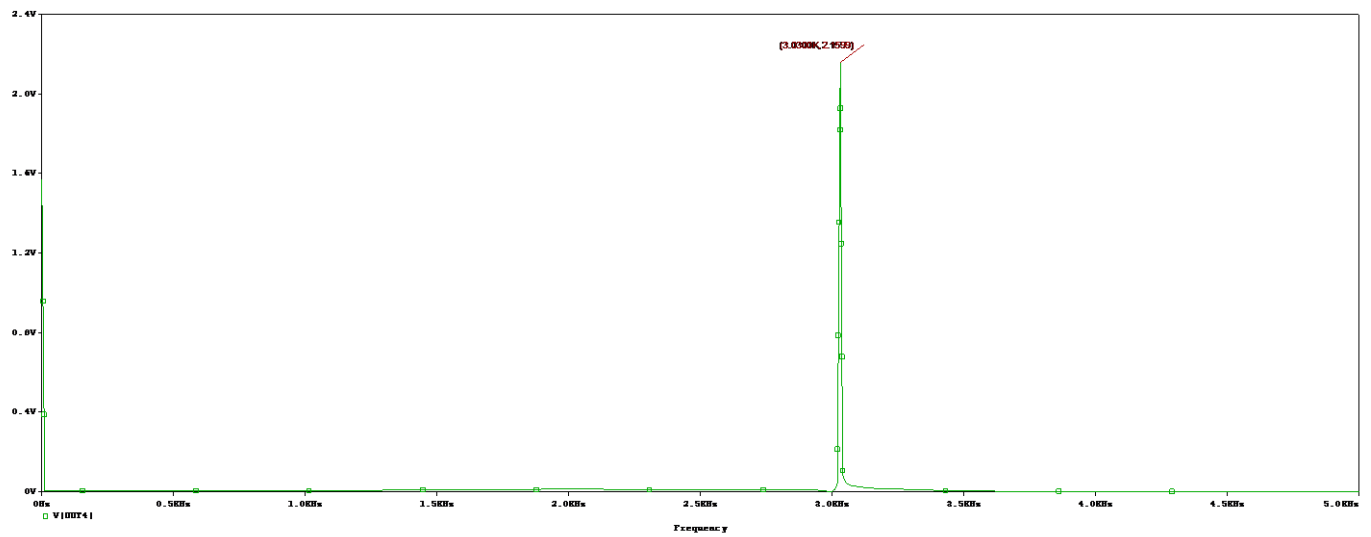


⑤.2KHz.

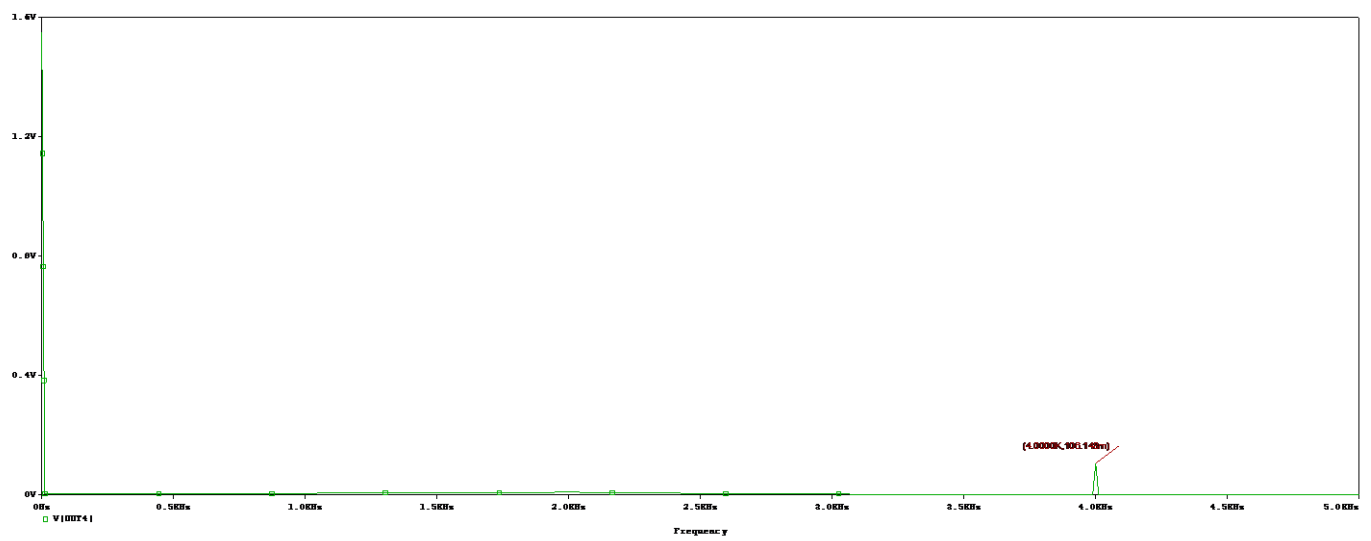
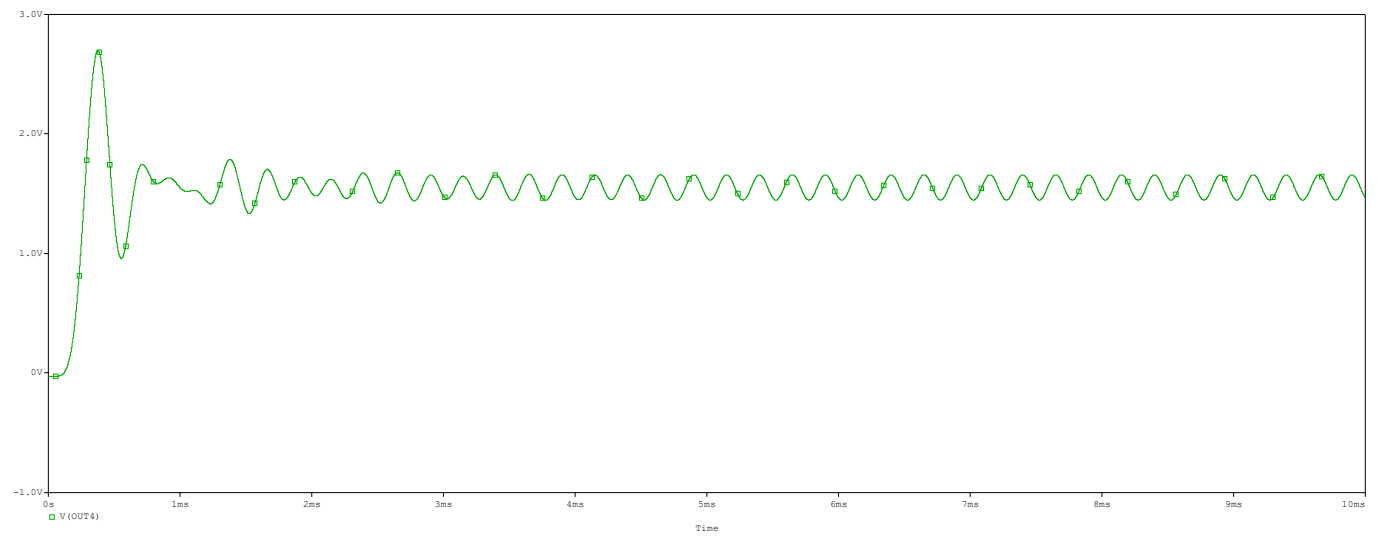


⑥.3KHz.

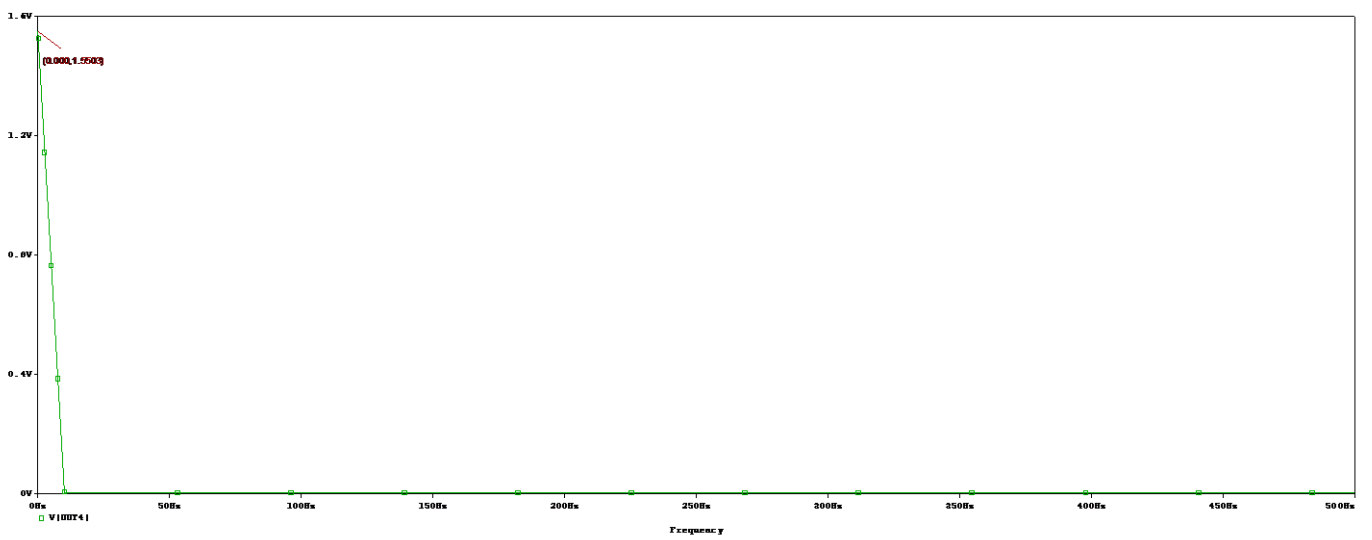
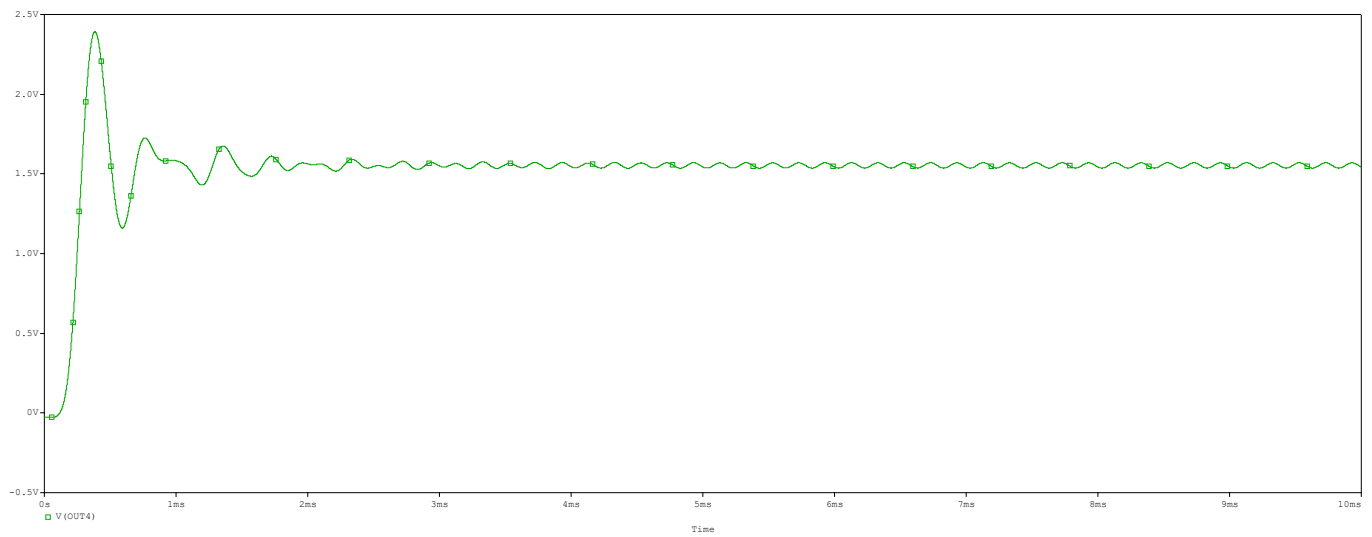




⑦.4KHz.



⑧.5KHz.



表格 10-8 輸入方波模擬結果及模擬說明

輸入頻率	輸出何種波形	頻譜特性	造成原因
50Hz	方波	可以看到頻譜呈現逐漸往下的趨勢，在 3.5KHz 幾乎消失	電壓狀態改變時，剛開始時高次諧頻振盪，隨時間波的合成，產生理想方波
500Hz	方波	因為電壓條大，導致可見頻譜剩下大約三根	當電壓調大時，方波會隨著時間有變化，開始偏離原本的理想方波
750Hz	方波	因為電壓條大，導致可見頻譜剩下大約兩根	當電壓調更大時，已經看不出原本理想方波的樣子了
1KHz	方波趨近於正弦波	當電壓來到 1KHz，我們可以看到頻譜只剩兩根	當電壓來到 1KHz，方波已接近於正弦波
2KHz	正弦波	當波型變成理想正弦波，頻譜變成只有一根	電壓狀態來到 2KHz，波隨著時間改變呈理想正弦波
3KHz	正弦波	當波型變成理想正弦波，頻譜變成只有一根	電壓狀態來到 $\sqrt{2}$ KHz，波隨著時間改變呈完美正弦波
4KHz	正弦波	當電壓調到更大，而理想正弦波也開始有變化，頻譜唯一的一根也變短	因為電壓過大，導致波開始出現不規則正弦波
5KHz	正弦波	當電壓調到更大，而理想正弦波也開始有變化，頻譜唯一的一根也變短	因電壓過大，因此離完美正弦波相差很大

3.實驗模擬問題與討論

a.依模擬項目(一)之結果，請分析在參數變動之下，有那些二階電路特性會影響此模擬結果。

VR2 選用 $1K\Omega$ ，而 VR3 選用 $5K\Omega$ ，VR4 則選用 $10K\Omega$ ，我們可以看出 VR2 因為只有 $1K\Omega$ ，因此波行陡峭，尖峰值出現在頻率 3.056K。VR3 選用到 $5K\Omega$ ，因此波型顯得比 VR2 緩，尖峰值則出現在 2.9871K。最後 VR4 雖然選用到 $10K\Omega$ ，但波型跟 VR3 其實非常相像，但尖峰值一樣出現在 2.9871K，我想當參數選用越小，結果會變化越大，且波型會更為陡峭。

b.依模擬專案(二)之結果，在電路板實測波形時，示波器上所觀測的波形振幅與此項模擬結果有何關聯性存在，請說明其涵義。

我們可以觀察到不管是模擬還是示波器上的都是顯示正弦波，而會有這樣的結果，我想是因為電壓改變所造成的原因，因為電壓越大，而跑出來的波型會從方波變成正弦波，此結果可以瞭解 0.1V 輸入下，頻率與輸出電壓的關係。

c.依模擬專案(三)之結果，大家在工程數學及訊號與系統學科中都曾經推導出方波函數經 Fourier 級數展開後所出現數學式，請說明數學推導結果與此項模擬結果有何關聯性存在。

在訊號與系統中，我們了解到當正弦波一直疊加時，會從一開始的正弦波變成方波，而在本次的電工實驗裡，我們看到當電壓不斷地調高，波行也會從一開始的方波慢慢的轉變成正弦波。

4.撰寫實驗模擬結論和心得

在這次的低通濾波器模擬實驗，我們在模擬項目(一)中，當選用值越小，波峰會越陡峭，且波型只會有一個高點，但當把選用值直接選到 $5K\Omega$ ，我們可以看到，波型反而沒那麼陡，且出現了兩個高峰。而在模擬項目(二)裡，因為 $0.1V$ 的輸入下，而波型跟項目一的二和三很相像。最後的模擬項目(三)，我們可以看出，當輸入頻率越低，輸出波型會是越完美的方波，一但把輸入頻率調高，會逐漸從原本的方波變成正弦波，但到了一定的值，一樣會形成完美正弦波。而這次實驗，一開始在接電路都非常的順，但後面因為元件上的設定錯誤，導致模擬結果一直出不來，也還好有隔壁組的救援，才知道哪邊元件沒設定到，也在最後一刻有把所有該跑出來的波型以及結果跑完，雖然過程非常波折，也很氣餒，但看到最後的結果，其實一切都很值得，也學習到很多低通濾波器模擬相關知識。

七、實驗步驟

參考實驗圖 10-6 ORCAD 模擬電路圖(二)。

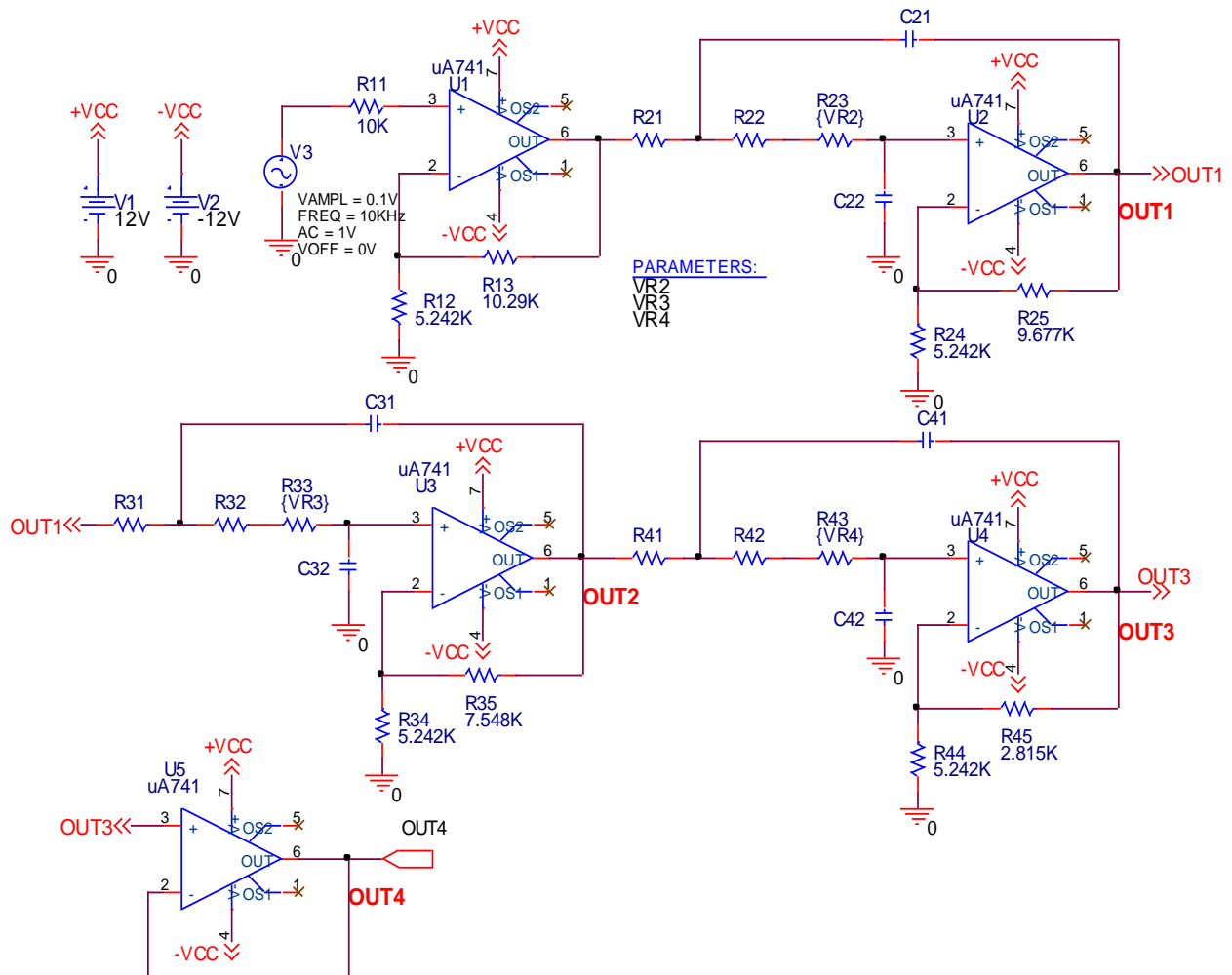


圖 10-6 ORCAD 模擬電路圖(二)

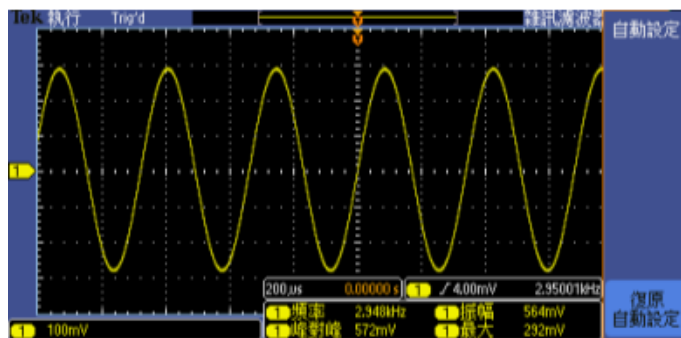
★實驗設計：需要自行計算及選用的實驗電阻值，並依電阻標準值配對成所需要之阻值。

★電容值[C21、C22]，[C31、C32]，[C41、C42]，需要配對選用相近電容值。

1. 測試項目[一]：第一級電壓放大級

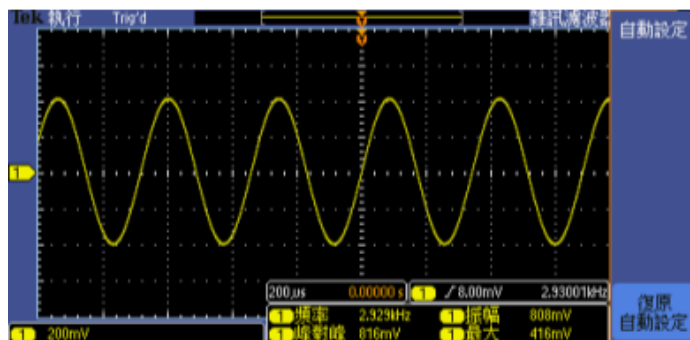
a. 擷取 U1 電壓放大率的輸出波形。

VO2(2.95KHz)



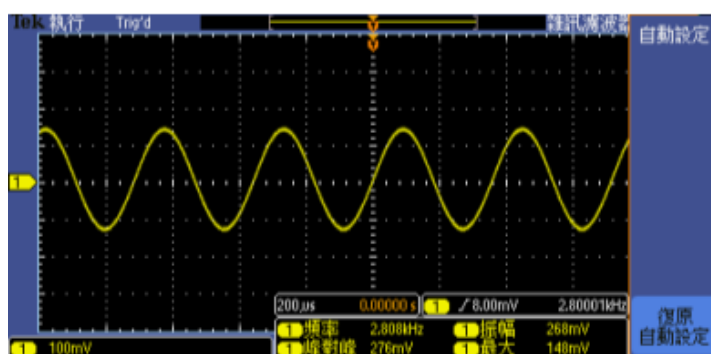
MSO2024B - 下午 05:41:56 2022/12/12

VO3(2.93khZ)



MSO2024B - 下午 05:43:10 2022/12/12

V04(2.88KHz)

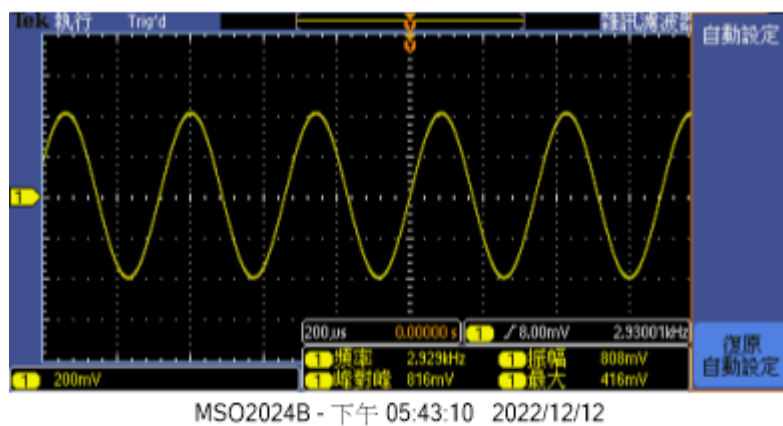


MSO2024B - 下午 05:44:30 2022/12/12

b. 確認 U1 級正常電壓放大功能。

2. 測試項目[二]：第二級 Sallen & Key L.P.F. Network(一)

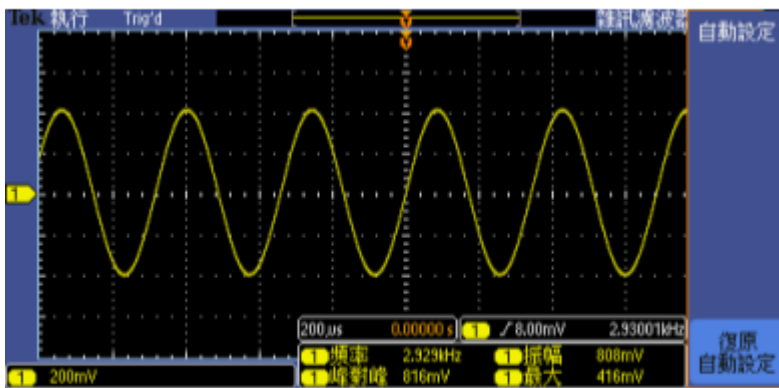
a. **[實驗要求]**：改變可變電阻 VR2，使得 CH2 波形變化的情形(即為改變頻率值，弦波訊號經低通濾波器的作用，會由示波器觀測出振幅大小變化情形，其中在某一頻率值時會有最大振幅出現)，能接近前面 ORCAD 模擬輸出節點 [OUT1]的結果，指在頻率值=2.95KHz 時有最大輸出振幅。若過度調整可變電阻 VR2，會產生振盪現象，應避免振盪現象產生。



b. 實驗說明：見實驗問題與討論。

3. 測試項目[三]：第三級 Sallen & Key L.P.F. Network(二)

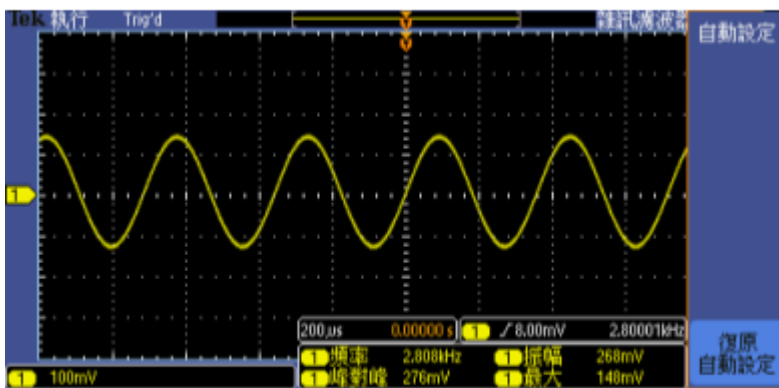
a. **[實驗要求]**：改變可變電阻 VR3，使得 CH 2 波形變化的情形(即為改變頻率值，弦波訊號經低通濾波器的作用，會由示波器觀測出振幅大小變化情形，其中在某一頻率值時會有最大振幅出現)，能接近前面 ORCAD 模擬輸出節點[OUT2]的結果，指在頻率值=2.95KHz 時有最大輸出振幅。



b.實驗說明：見實驗問題與討論。

4.測試項目[四]：第四級 Sallen & Key L.P.F. Network(三)及第五級 Buffer AMP

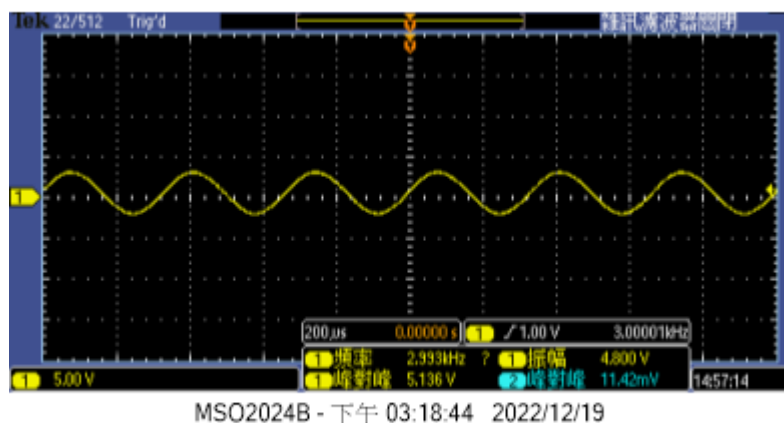
a.[實驗要求]：改變可變電阻 VR4，先觀測 TP4 波形振幅變化情形，觀測出此電阻對電路的影響。



b.實驗說明：見實驗問題與討論。

5.測試項目[五]：實驗微調整與實驗規格

- a.為在頻帶內波幅不致於變化太大,故要求 3KHz 內平坦度問題。示波器 CH2 連接 OUT 節點，再次微調可變電阻 VR1、VR2、VR3、VR4，使得輸出振幅能有較好的平坦度。



- b.所謂平坦度：指改變訊號產生器的頻率變化，由示波器所觀測的波形變化情形，依實驗規格在[2Hz~3KHz]頻帶內輸出振幅變化需維持在容許的誤差範圍內。
- c.最後應合乎實驗規格之要求：[增益、平坦度、 $f_c = 3KHz$ 、ripple]。

6.測試項目[六]：初步測試實驗結果

- a.實驗測試與實驗記錄：完成下列表格 10-9 之內容及作圖，需合乎實驗規格。

表 10-9 記錄濾波器輸出振幅

頻率	振幅	頻率	振幅	頻率	振幅
100Hz	3.00V	2.6KHz	2.82V	3.1KHz	1.68V
500Hz	3.12V	2.7 KHz	2.84V	3.2KHz	1.12V
1KHz	3.08V	2.8 KHz	2.92V	3.3KHz	0.8V
1.5KHz	2.96V	2.9KHz	2.8V	3.4KHz	0.64V
2KHz	3.08V	2.95KHz	2.6V	3.5KHz	0.5V
2.2KHz	3.04V	3KHz	2.32V	4.0KHz	0.2V
2.5KHz	2.84V	3.05KHz	2.02V	4.5KHz	0.16V

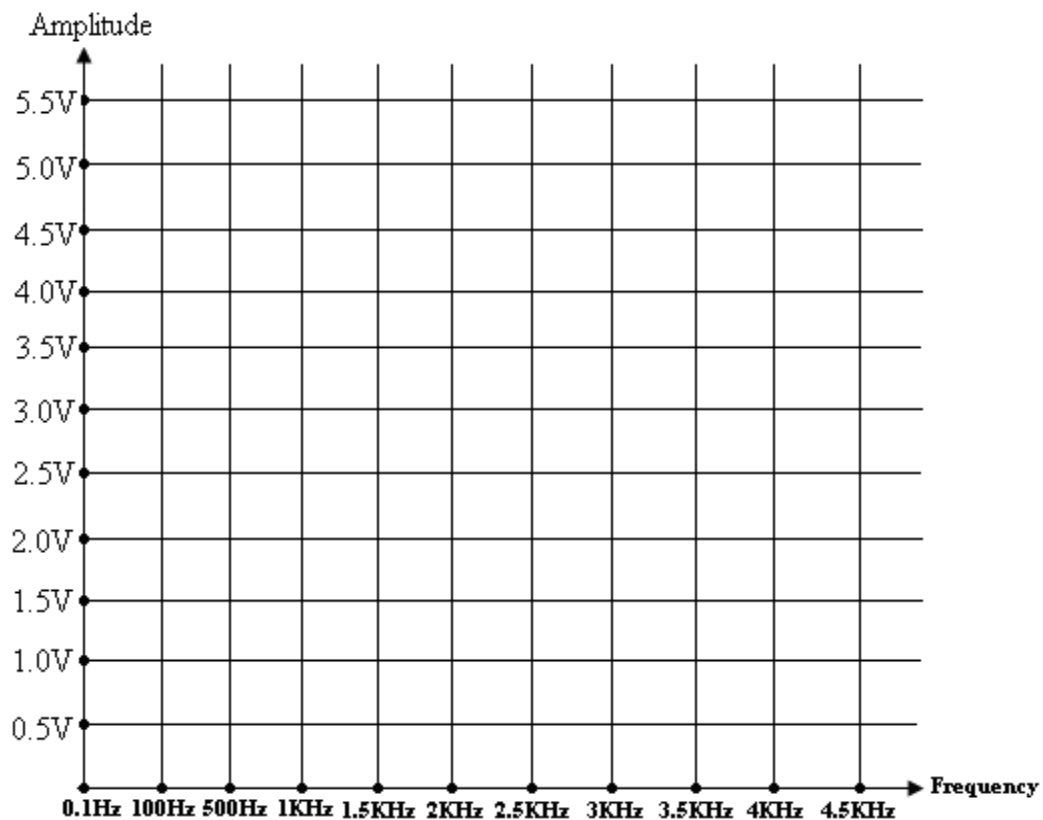
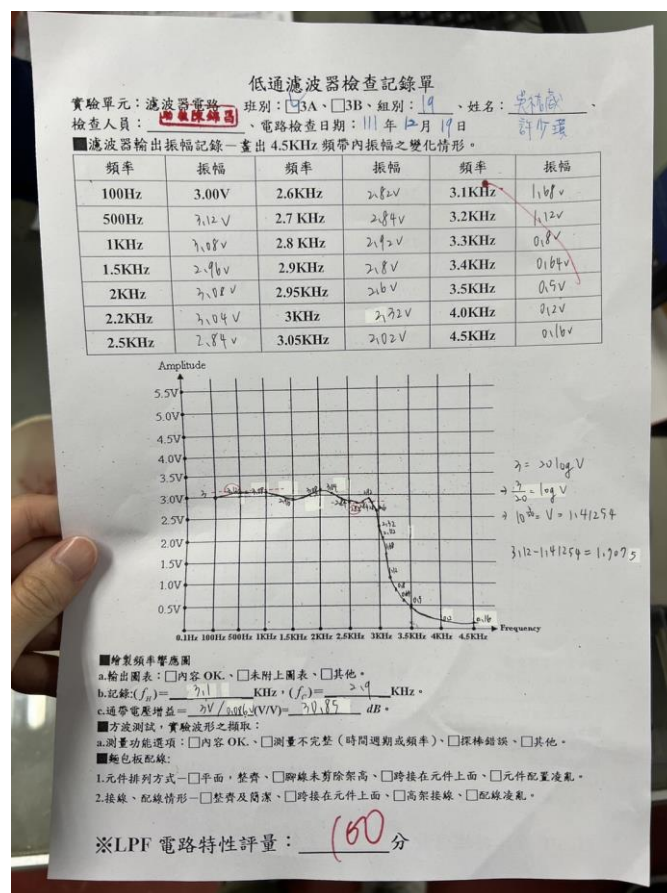


圖 10-09 頻帶內測試增益圖



7.測試項目[七]：繪製頻率響應圖

a.實驗測試與實驗記錄：依據上述電壓增益對頻率之響應圖，寫出 LPF 實測規格值：

①.截止頻寬(f_H)= 2.95KHz，漣波頻寬(f_c)= 2.9K。

②.漣波 ☐ 是， ☒ 否小於 $0.5dB$ 。

③. $f_{input} = 100Hz$ ， $V_{in}(V_{p-p}) = \underline{150mV}$ ， $V_{out}(V_{p-p}) = \underline{3.12V}$ 。

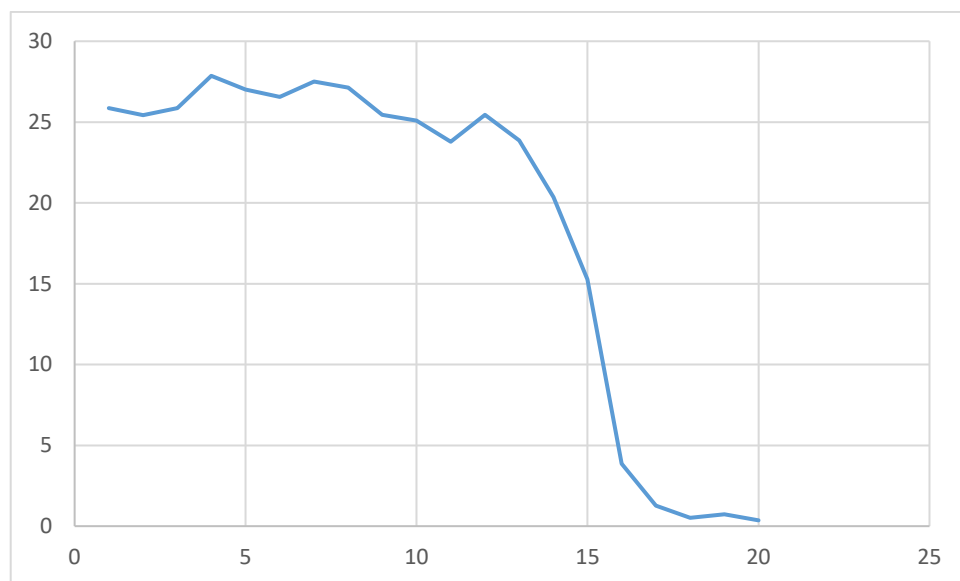
④.通帶電壓增益 $= 20 \times \log\left(\frac{V_{out}}{V_{in}}\right) = \underline{25.906dB}$ 。

b.請繪製出電壓增益對頻率之響應圖及繪製出相位對頻率之響應圖。

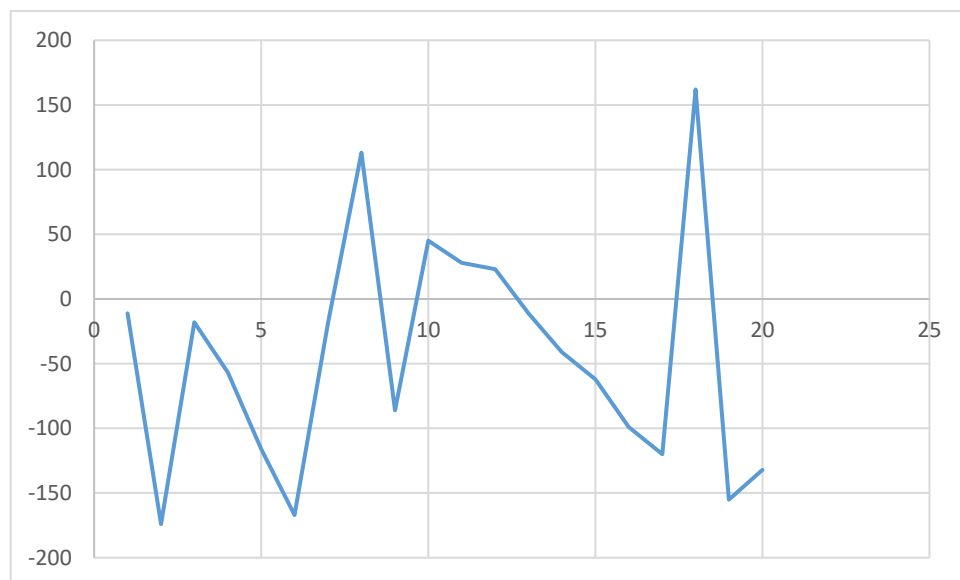
表 10-10 頻率響應圖測試記錄

輸入頻率 (Hz)	輸入振幅 約 0.1V	記錄 輸出振幅(V)	計算增益 (dB)	測量 相位差(θ)
2	0.116V	3V	25.86dB	-11
10	0.118V	3V	25.42 dB	-174
100	0.116	3V	25.86 dB	-18
500	0.112V	3.12V	27.86 dB	-57
1K	0.114V	3.08V	27.02 dB	-116
1.5K	0.110V	2.92V	26.55 dB	-167
2K	0.112V	3.08V	27.5 dB	-18
2.2K	0.112V	3.04V	27.14 dB	113
2.5K	0.110V	2.8V	25.45 dB	-86
2.6K	0.110V	2.76V	25.09 dB	45
2.7K	0.116V	2.76V	23.79 dB	28
2.8K	0.110V	2.8V	25.45 dB	23
2.9K	0.114V	2.72V	23.86 dB	-11
3K	0.112V	2.28V	20.36 dB	-41
3.1K	0.110V	1.68V	15.27 dB	-62
3.5K	0.114V	0.44V	3.86 dB	-99
4K	0.110V	0.14V	1.27 dB	-120
5K	0.110V	0.056V	0.51 dB	162
7K	0.110V	0.08V	0.73 dB	-155
9K	0.110V	0.04V	0.36 dB	-132

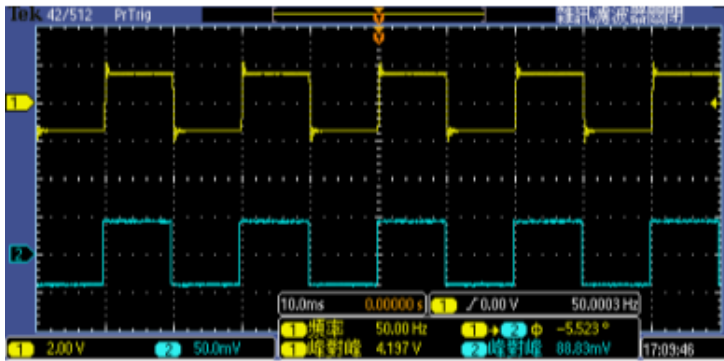
①. 畫出 $Gain(dB)$ vs. 頻率輸出圖：



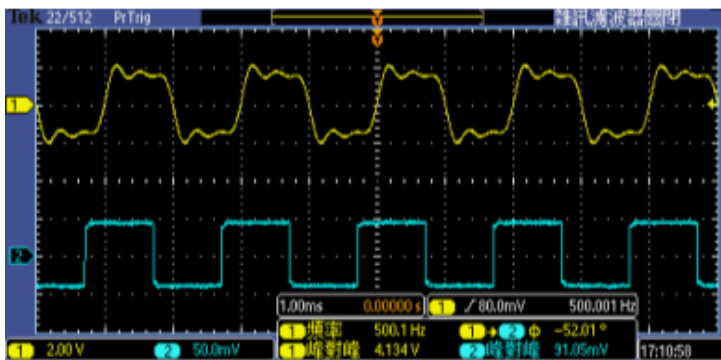
②. 畫出 $Phase(dB)$ vs. 頻率輸出圖：



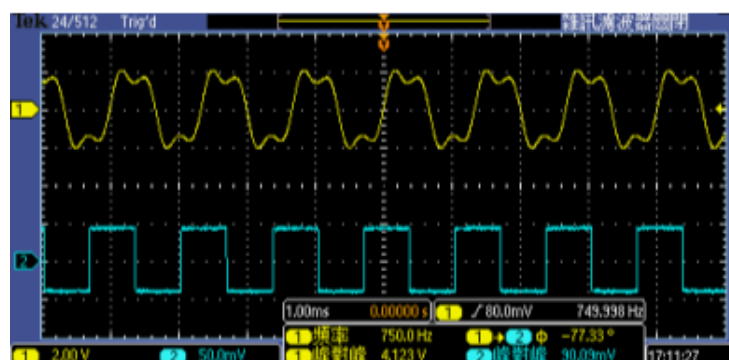
- 8.測試項目[八]：方波測試，實驗測量與實驗波形之擷取，節點[OUT4]，完成表格10-11 內容。
- a.50Hz.



- b.500Hz.

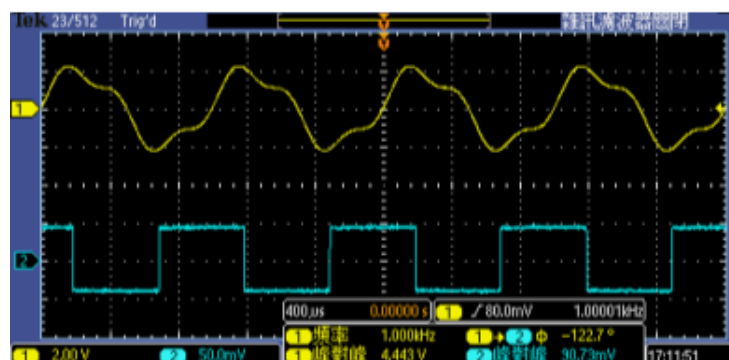


c.750Hz.



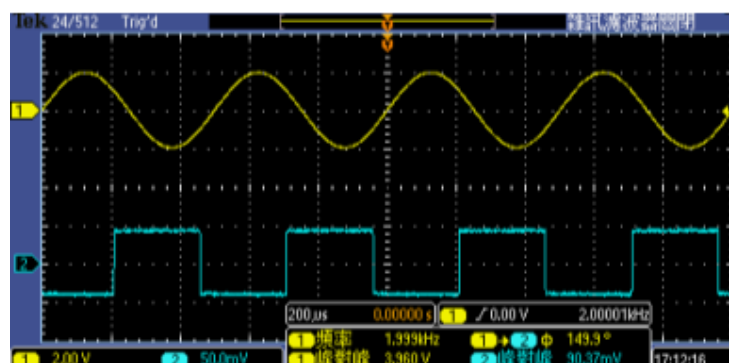
MSO2024B - 下午 05:32:58 2022/12/19

d.1KHz.



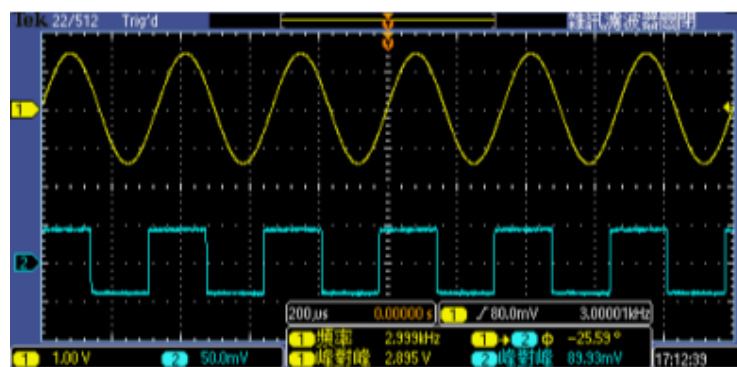
MSO2024B - 下午 05:33:21 2022/12/19

e.2KHz.



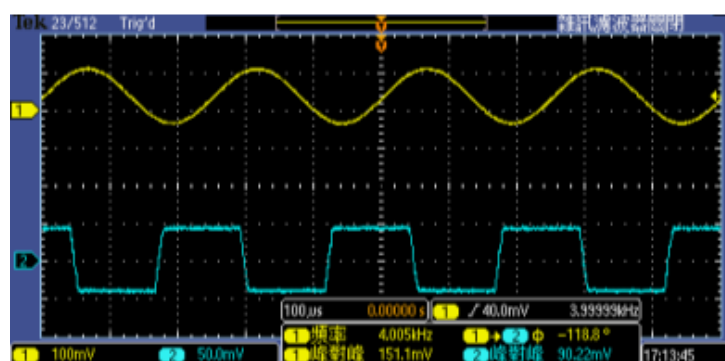
MSO2024B - 下午 05:33:46 2022/12/19

f.3KHz.



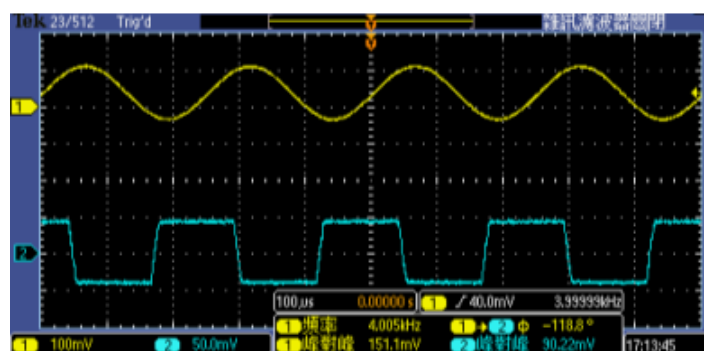
MSO2024B - 下午 05:34:09 2022/12/19

g.4KHz.



MSO2024B - 下午 05:35:15 2022/12/19

h.5KHz.



MSO2024B - 下午 05:35:15 2022/12/19

表格 10-11 方波測試結果說明

輸入頻率	輸出波形的特性	說明造成此一波形特性的原因
50Hz	理想方波	因為電壓狀態改變，隨時間波的合成，因此產生理想方波
500Hz	主體為方波，但開始有不規則	因為電壓狀態過高，隨時間波的合成，因此波形開始有所變化
750Hz	主體為方波，但開始有不規則	因為電壓狀態過高，隨時間波的合成，因此波形開始有所變化
1KHz	已經不像方波，有點想正弦波	因為電壓狀態過高，隨時間波的合成，因此波形開始變成正弦波
2KHz	理想正弦波，波幅較大	因為電壓狀態過高，隨時間波的合成，因此波形產生理想正弦波
3KHz	理想正弦波，波幅較窄	因為電壓狀態過高，隨時間波的合成，因此波形產生理想正弦波
4KHz	理想正弦波，波幅較大	因為電壓狀態過高，隨時間波的合成，因此波形產生理想正弦波
5KHz	理想正弦波，波幅較大	因為電壓狀態過高，隨時間波的合成，因此波形產生理想正弦波

八、實驗問題與討論、實驗數據分析

1.在調整可變電阻時，會影響到電路的一些參數，以致很容易產生振盪現象，請問是何種原因造成振盪現象？

當頻率值超出實驗設定值以及電路調整時都會產生振盪現象。

2.綜合上述實驗，改變可變電阻 VR2、VR3 及 VR4 時，觀測測試節點正弦波振幅大小變化的情形，紀錄說明你所觀測的結果。

從實驗結果，我們可以看出，當輸入頻率逐漸提高時，正弦波的振幅會逐漸變高，而波型則不變。

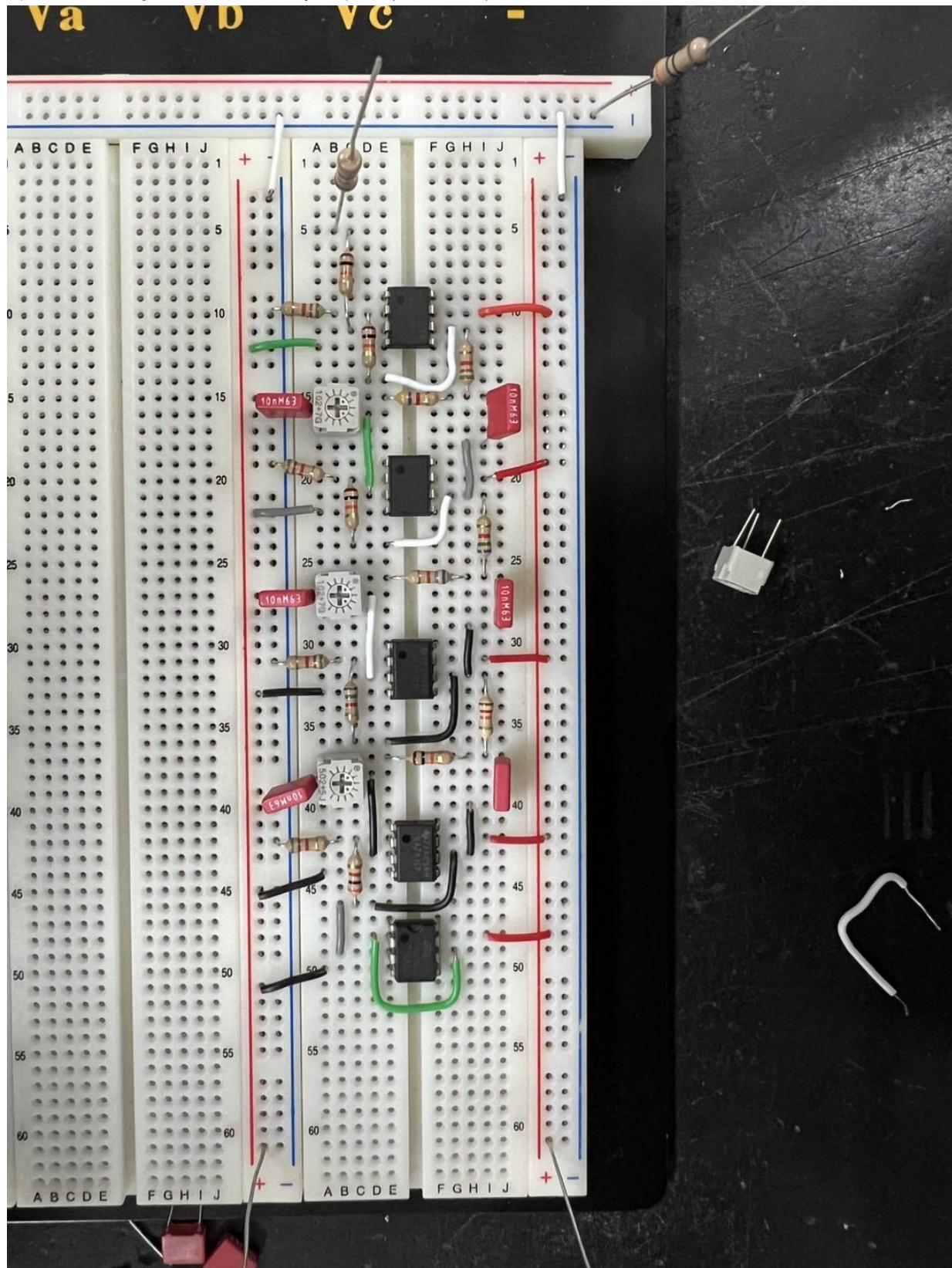
3.請簡述說明方波測試結果。

一開始會先出現理想方波，但電壓狀態調高改變時，波會隨著時間波的合成，產生理想正弦波

九、撰寫實驗結論與心得

在一開始的實驗項目中，我們可以看出，因為上電阻的選用不同，而輸出波型的高低會不一樣，在調整可變電阻上，我們可以看出，當把可變電阻條大時，波也會一起變大，反之調小時，波也會跟著變小。在頻率響應圖上，看到當輸入頻率調整至 3.5K，輸出值會像溜滑梯一樣下墜，但在 3.5K，前後都是呈現相較平整的狀況。在最後一項實驗裡，跟模擬的一樣，當輸入值越小，波會呈現一個完美方波，但當把值調大，會從原本的方波變成正弦波，但到了一定值，就會出現完美正弦波。在這次的實作項目上，比起模擬，順暢許多也快非常多，從一開始電路連接到開始測量以及跑結果，基本上都沒有太多的狀況，頂多因為沒插好導致波型沒跑好而已，因此實作項目可說是非常完美。

十、附上麵包板電路組裝圖檔(照片檔)



※附錄(一)：附上，上課筆記(紙本照片檔)

$$C21 = 0.01013 \mu F$$

$$C22 = 0.01015 \mu F$$

$$C23 = 0.01014 \mu F$$

$$C31 = 0.00974 \mu F$$

$$C32 = 0.0098 \mu F$$

$$C33 = 0.00977 \mu F$$

$$C41 = 0.0105 \mu F$$

$$C42 = 0.00988 \mu F$$

$$C43 = 0.01019 \mu F$$

$$R21 = \frac{1}{19076 \times C23} = 5.174 K\Omega$$

$$R22 = 4.764 K\Omega$$

$$R23 = 500 \Omega$$

$$R31 = \frac{1}{13949 \times C33} = 7.36 K\Omega$$

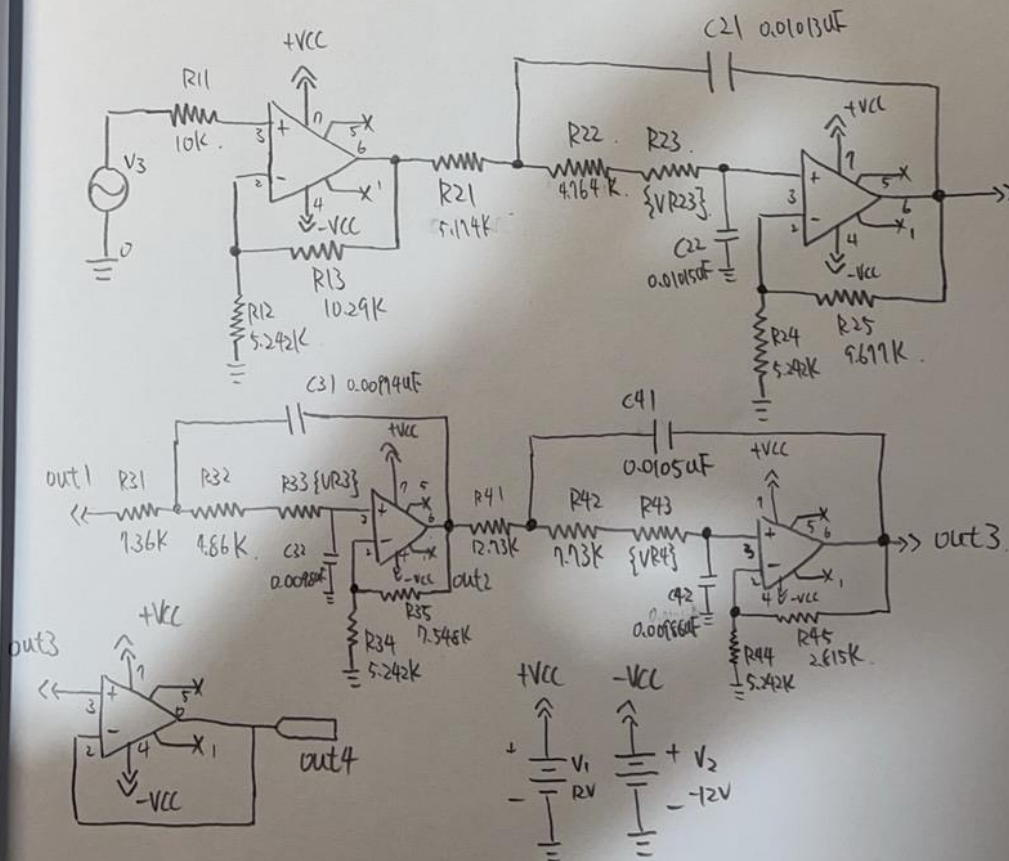
$$R32 = 4.86 K\Omega$$

$$R33 = 2.5 K\Omega$$

$$R41 = \frac{1}{7476 \times C43} = 12.73 K\Omega$$

$$R42 = 7.73 K\Omega$$

$$R43 = 5 K\Omega$$



◎實驗電路檢查記錄單(簽單保管好)

◎上課班別: ☐1A、☐1B、☐2A、☐2B、☒3A、☐3B 組別: EA19 姓名: 許中庭◎實驗單元(7): 文士電橋振盪器電路

◎實驗電路實作檢查

☒檢視麵包板配線: ☐有缺失、☐自行改善中、☐改善後檢查, 合格。☒實驗電路實作測試: ☐有缺失、☐自行改善中、☐改善後檢查, 合格。☒實驗數據檢視: ☐有缺失、☐自行改善中、☐改善後檢查, 合格。◎完成實作檢查時段: ☒正課時段、☐開放時段、☐沒有逾期、☐逾期 天(周)。◎完成實作檢查助教簽章: 陳錦昌。 111年 11月 21日。◎實驗單元(8): 方波產生器電路

◎實驗電路實作檢查

☒檢視麵包板配線: ☐有缺失、☐自行改善中、☐改善後檢查, 合格。☒實驗電路實作測試: ☐有缺失、☐自行改善中、☐改善後檢查, 合格。☒實驗數據檢視: ☐有缺失、☐自行改善中、☐改善後檢查, 合格。◎完成實作檢查時段: ☒正課時段、☐開放時段、☐沒有逾期、☐逾期 天(周)。◎完成實作檢查助教簽章: 陳錦昌。 111年 11月 28日。◎實驗單元(9): 石英晶振盪器電路

◎實驗電路實作檢查

☒檢視麵包板配線: ☐有缺失、☐自行改善中、☐改善後檢查, 合格。☒實驗電路實作測試: ☐有缺失、☐自行改善中、☐改善後檢查, 合格。☒實驗數據檢視: ☐有缺失、☐自行改善中、☐改善後檢查, 合格。◎完成實作檢查時段: ☒正課時段、☐開放時段、☐沒有逾期、☐逾期 天(周)。◎完成實作檢查助教簽章: 陳錦昌。 111年 12月 28日。◎實驗單元(10): 伯頓濾波

◎實驗電路實作檢查

☒檢視麵包板配線: ☐有缺失、☐自行改善中、☐改善後檢查, 合格。☒實驗電路實作測試: ☐有缺失、☐自行改善中、☐改善後檢查, 合格。☒實驗數據檢視: ☐有缺失、☐自行改善中、☐改善後檢查, 合格。◎完成實作檢查時段: ☒正課時段、☐開放時段、☐沒有逾期、☐逾期 天(周)。◎完成實作檢查助教簽章: 陳錦昌。 111年 12月 19日。

◎實驗單元():

◎實驗電路實作檢查

☐檢視麵包板配線: ☐有缺失、☐自行改善中、☐改善後檢查, 合格。☐實驗電路實作測試: ☐有缺失、☐自行改善中、☐改善後檢查, 合格。☐實驗數據檢視: ☐有缺失、☐自行改善中、☐改善後檢查, 合格。◎完成實作檢查時段: ☐正課時段、☐開放時段、☐沒有逾期、☐逾期 天(周)。◎完成實作檢查助教簽章: 。 年 月 日。

◎實驗單元():

◎實驗電路實作檢查

☐檢視麵包板配線: ☐有缺失、☐自行改善中、☐改善後檢查, 合格。☐實驗電路實作測試: ☐有缺失、☐自行改善中、☐改善後檢查, 合格。☐實驗數據檢視: ☐有缺失、☐自行改善中、☐改善後檢查, 合格。◎完成實作檢查時段: ☐正課時段、☐開放時段、☐沒有逾期、☐逾期 天(周)。◎完成實作檢查助教簽章: 。 年 月 日。

下列為實驗參考資料—OP 應用資料內容，請同學閱讀後，試著回答下列各題的問題。

1. 參閱文件“*Active Low-Pass Filter Design*”中 L.P.F. 實際電路 *Low-Pass Multiple-Feedback (MFB) Architecture* 及 *Low-Pass Sallen-Key Architecture*。期許同學能夠了解上述電路圖，並能簡述其電路特性。[7].

MFB 電路是二階低通級，可用於在低通濾波器的傳遞函數中實現複雜的極點對，以及設置相應電路元件的值等於濾波器多項式的係數。從電路圖中，我們可以看到 MFB 濾波器架構及其理想傳遞函數，同樣，傳遞函數看起來與我們在標準式有很大不同。

2. 參閱文件“*Understanding Basic Analog – Ideal Op Amps*”, Page 8, Figure 9. *Low-Pass Filter*。期許同學能夠了解上述電路圖，並能簡述其電路特性。[8.]

當頻率為零時，電容阻抗是無窮大的，並且當頻率是無窮大時，電容阻抗為零，這些端點是從終值定理推導出來的，我們可以從中得到一個粗略的電容器的影響的想法，而當電容器與電阻器一起使用時，它們的形成稱為斷點，在低通濾波器電路都會有一個電容與反饋電阻並聯。

3. 參閱實驗單元參考資料：John Bishop, Bruce Trump, R. Mark Stitt *Op-Amp Applications, High Performance Linear Products, “FilterPro MFB and Sallen-Key Low-Pass Filter Design Program”*, Page.2 ~Page.5。期許同學能夠了解低通濾波器的三種型態 *Butterworth*、*Bessel* 及 *Chebyshev* 特性及其優劣點。[5].

Butterworth，具有最平坦的可能通帶幅度響應，而脈衝響應具有適度的過沖和安定。優點則是能在通帶內提供最平坦的幅度響應以及具有良好的全方位性能。其脈衝響應優於 *Chebyshev*，而衰減率優於 *Bessel*。

Chebyshev，在截止頻率以上的衰減比 *Butterworth* 更陡。對於偶數階濾波器，所有振幅變化高於 0dB 增益直流響應，於奇數階濾波器，所有振幅變化均低於 0 dB 增益直流響應，因此截止頻率為 -0dB，而對於給定的極點數，可以通過允許更多的通帶波來實現更陡峭的截止頻率。優點則是提供比 *Butterworth* 更好的通帶以外的衰減，缺點則為通帶中的波可能讓人討厭。階躍響應中有相當大的振幅。

Bessel，由於其線性相位響應，因此具有出色的脈衝響應，而增加準確的脈衝響應，可以使其變得更富。優點因為供最佳階躍響應因此超調和振鈴非常小。缺點則是與 *Butterworth* 相比，它表現出通帶以外的衰減速度更慢。

- 4.參閱實驗單元附件參考資料：簡文松,“波的合成”,1999.07.Page.1~Page.3,及參考工程數學或是訊號與系統，期許同學能夠了解方波函數的 Fourier 級數展開式，並能夠在頻域軸上畫出各分量且說明其涵義。
- 5.參閱實驗單元參考資料：王志麟,“*SAW Filter* 技術與應用發展趨勢”,八月號 2002,零元件雜誌,基礎電。期許同學能夠說明 *SAW Filter* 原理、特性及應用範圍。[6].

版權所有,抄襲必究,COPY 零分

◎實驗課程進度紀錄(附在實驗報告中)

◎上課班別：☐1A、☐1B、☐2A、☐2B、☒3A、☐3B 組別：19 姓名：許少璜

◎實驗單元(十)：低通濾波器

一、附上實驗工作日志紀錄

1.實驗進度記錄：應確實記錄，實驗電路檢查時，會查驗、檢視實驗數據。

①.工作日期：111年12月12日、工作時數：5小時、☒:上課時段、☐:開放時段。

■實驗進度說明：完成電路連接，以及模擬電路連接

②.工作日期：111年12月19日、工作時數：7小時、☒:上課時段、☐:開放時段。

■實驗進度說明：完成所有實驗

③.工作日期：____年____月____日、工作時數：____小時、☐:上課時段、☐:開放時段。

■實驗進度說明：_____

④.工作日期：____年____月____日、工作時數：____小時、☐:上課時段、☐:開放時段。

■實驗進度說明：_____

⑤.工作日期：____年____月____日、工作時數：____小時、☐:上課時段、☐:開放時段。

■實驗進度說明：_____

⑥.工作日期：____年____月____日、工作時數：____小時、☐:上課時段、☐:開放時段。

■實驗進度說明：_____

二、依上課說明寫上實驗注意事項。

應了解各級輸出振幅大小與頻率之關係，以適當調整可變電阻值。

需了解頻帶內平坦度之意義。

方波測試之輸出圖檔，應標示輸入、輸出振幅大小及頻率值。

三、記錄實驗問題之解決策略，包括一問題之描述、分析造成問題的原因及提出解決問題的方法。依實驗過程，請記錄之。

模擬元件電阻叫錯。

-後面因為助教的提醒有更改

在模擬(一)的設定值，不確定要設定多少

-隔壁組同學的提醒，才知道如何設定

四、請先行自我評量：我對我的作業評分，自評得分=90分。

項次	滿分	評比	評分標準	項次	滿分	評比	評分標準
1	20%	15	電路裝配的正确性	4	20%	20	實驗數據記錄的正确性
2	20%	15	儀器操作程度的正确性	5	10%	10	工作安全與環境維護
3	20%	20	電路測試的正确性	6	10%	10	工作計畫內容

◎類比教學實驗室實驗課上課日誌(附在實驗報告中)

1.使用日期： 111 年 12 月 19 日

2.上課時段

課程名稱： 電工實驗 、實驗單元、 低通濾波器

上課班別： 3A 、分組： 19 、姓名： 許少璜 及 吳佑葳

3.開放時段

班別： _____ 、實驗桌別： _____ 、姓名： _____

◎實驗開始前，請檢查儀器與探棒。

1. 實驗儀器是否損壞?☐是、☒否。如果勾選「是」，請簡述損壞的原因或理由：

2. 實驗桌儀器或測試探棒(2 支/每組)是否遺失或增多?☐是、☒否。如果勾選「是」，請把遺失的物品名稱寫下，把多餘探棒繳交給助教：

◎完成實驗後，請再行打勾。

3. 實驗零件是否放回零件櫃？ ☒是

4. 借用之實驗器材或測試線是否歸定位？ ☒是

5. 所有的儀器電源是否關閉？ ☒是

6. 實驗桌面是否清理乾淨？ ☒是

◎離開前，別忘了您的個人物品，歡迎下次再來，謝謝。