

實驗單元(八)－RLC 穩態電路

◎實驗單元摘要

此實驗單元包括：一階 RC 穩態電路與 RLC 二階串聯諧振電路，主要來探討 RLC 電路對頻率的關係。實驗測量方式只要是由函數波產生器提供測試訊號，經由輸入不同的頻率值來測量輸出節點數據，再經由 Excell 圖表作圖。另外也由示波器來測量-3dB 頻率值下，所相對的波形圖，並測量兩波形的時間差，計算出相位角度。

◎學習目標

- 1.了解 RC 交流穩態特性(振幅、相位與頻率關係)。
- 2.了解 RLC 二階暫態電路特性、穩態特性及諧振電路特性。
- 3.使用 OrCAD 模擬軟體，模擬出 RLC 交流特性。

◎實驗單元目錄

一、實驗儀器設備與實驗材料表(P.02)

二、實驗預報(P.02)

三、電路說明(P.03)

四、實驗內容(P.08)

■實驗項目(一)：一階 RC 交流穩態電路(P.08)

■實驗項目(二)：RLC 二階串聯諧振電路(P.12)

五、實驗問題與討論(P.14)

六、撰寫實驗結論(P.14)

七、實驗綜合評論(P.15)

八、附上實驗進度紀錄單(照片檔)、麵包板及 PCB 電路板組裝圖檔(照片檔)(P.15)

九、實驗參考資料來源(P.15)

◎實驗內容

一、實驗儀器設備與實驗材料表

表(一)：實驗儀器設備

項次	儀器名稱	數量
1	萬用電錶或三用電錶	1 部
2	示波器	1 台
3	訊號產生器	1 台
4	RLC Meter	1 台

表(二)：實驗材料表

項次	位 置 碼	元 件 說 明	用量
1	R1、R2	10K Ω 1/4W 5% 碳膜電阻	2 個
2	R3	1K Ω 1/4W 5% 碳膜電阻	1 個
3	C1	0.001 μ F PE 電容	1 個
4	C2	0.68 μ F 陶瓷電容	2 個
5	L1	68 μ H 電感	1 個

二、實驗預習

1.當電路學在討論交流電路時，對於基本電路元件電容 C 而言，定義出新名詞：容抗 X_C (capacitive reactance)， $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} (\Omega)$ ，試推導出上述 X_C 的表示式。

2.當電路學在討論交流電路時，對於基本電路元件電感 L 而言，定義出新名詞：感抗 X_L (inductive reactance)， $X_L = \omega L = 2\pi f L (\Omega)$ ，試推導出上述 X_L 的表示式。

3.請列出 RLC 串聯電路阻抗(impedance)大小值表示式 $|Z| = ?$

試說明在何種電路條件下，RLC 串聯諧振電路會產生諧振現象，其諧振頻率(resonant frequency) $f_r = ?$

三、電路說明

1.RC 穩態電路[1]

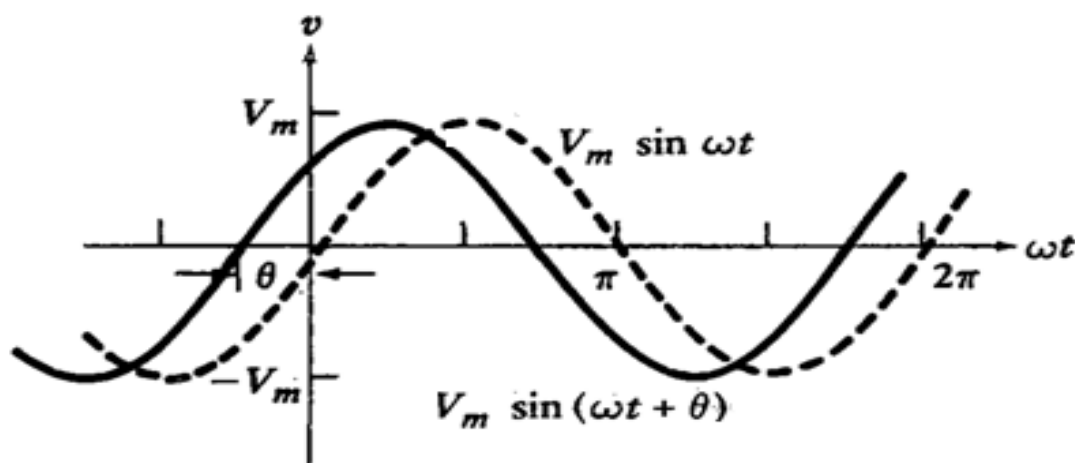
★弦波激勵函數

弦波表示式 $v(t) = V_m \sin(\omega t + \theta)$ (1)

上述中包含一個相角(θ)在其引數($\omega t + \theta$)中。(1)式在圖(十二)中是畫成(ωt)的函數，且相角為原來正弦波(圖中以虛線表示)向左移或超前時間彈數。

因 $V_m \sin(\omega t + \theta)$ 相對應的點發生於 $\theta(\text{rad})$ 或 $(\theta / \omega s)$ 之前，所以 $[V_m \sin(\omega t + \theta)]$ 比 $V_m \sin \omega t$ 領先 $\theta(\text{rad})$ 。

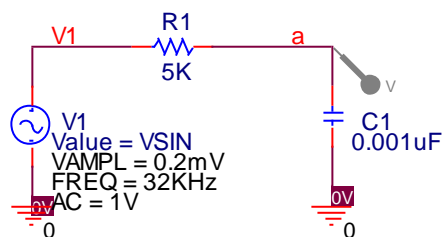
相反的，將 $V_m \sin \omega t$ 描述成比 $V_m \sin(\omega t + \theta)$ 落後 $\theta(\text{rad})$ 或是比 $V_m \sin(\omega t + \theta)$ 領先 $(-\theta)(\text{rad})$ ，或是比 $V_m \sin(\omega t - \theta)$ 領先 $\theta(\text{rad})$ ，也是正確的。



圖(一)：正弦波 $V_m \sin(\omega t + \theta)$ 領先 $V_m \sin \omega t$ 之相角為 $\theta(\text{rad})$

以下列電路圖模擬說明

RC 一階電路



轉移函數(R1=R,C1=C)

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{1}{1 + sRC}$$

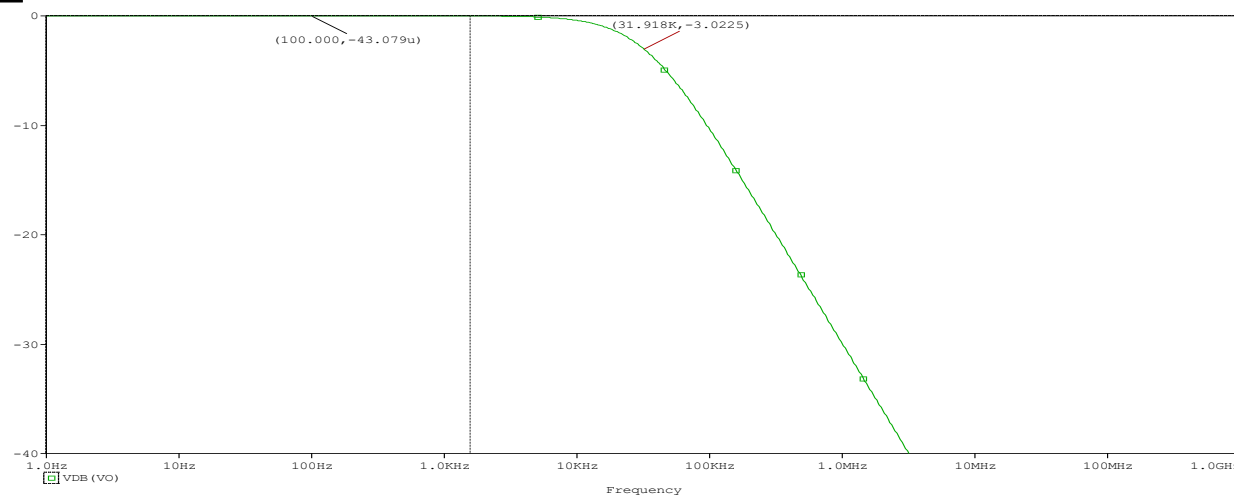
$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega RC} = |H(j\omega)| \angle \phi$$

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{1 + \omega^2 R^2 C^2}$$

$$\phi = -\tan^{-1}(\omega RC)$$

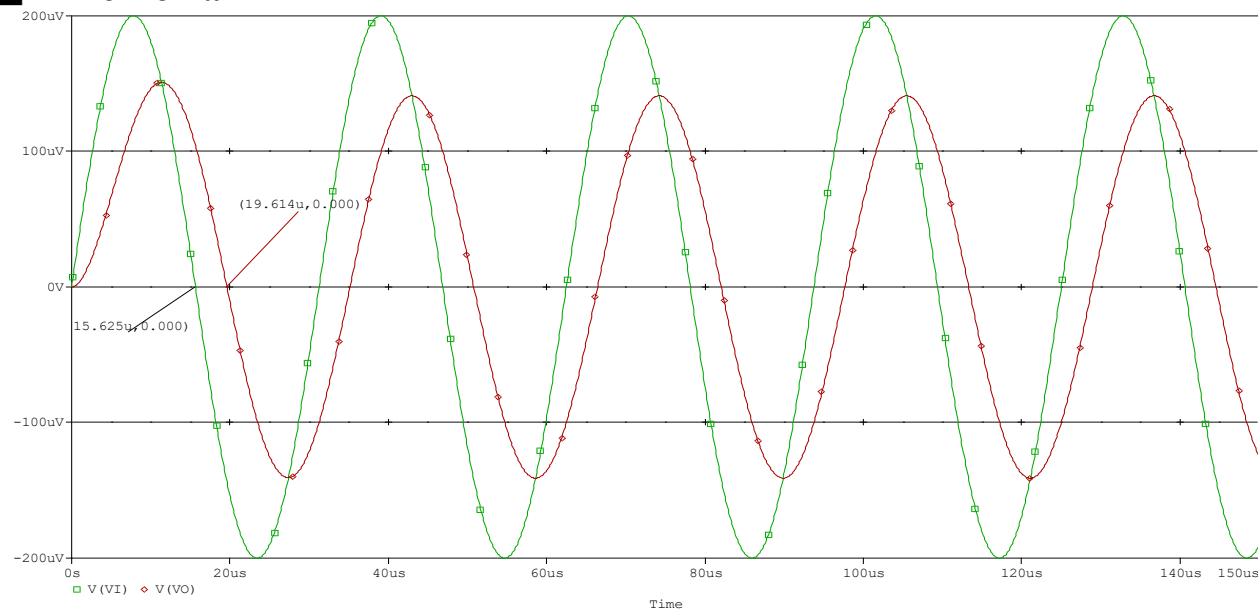
圖(二)：RC 一階電路

AC SWEEP



-3dB 截止頻率約 32KHz

Time Domain



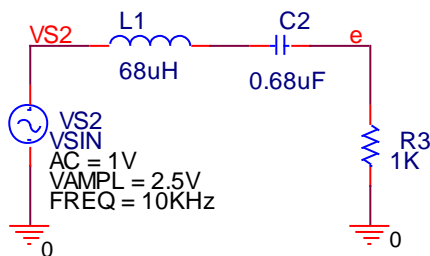
$\Delta t = 3.989\mu s$ ，計算相角 $\phi = 360 \times 32KHz \times 3.989\mu s = 45.953^\circ$ ，此時 $V_o(t)$ 落後

$$V_i(t), V_o(t) = V \sin(\omega t - 45.953^\circ)。$$

圖(三)：AC SWEEP 與 Time Domain 模擬輸出

2.RLC 二階串聯諧振電路

由 ORCAD 軟體模擬 RLC 串聯諧振電路，AC SWEEP 掃描方式，此電路的頻率響應圖及時域波形如下所示。



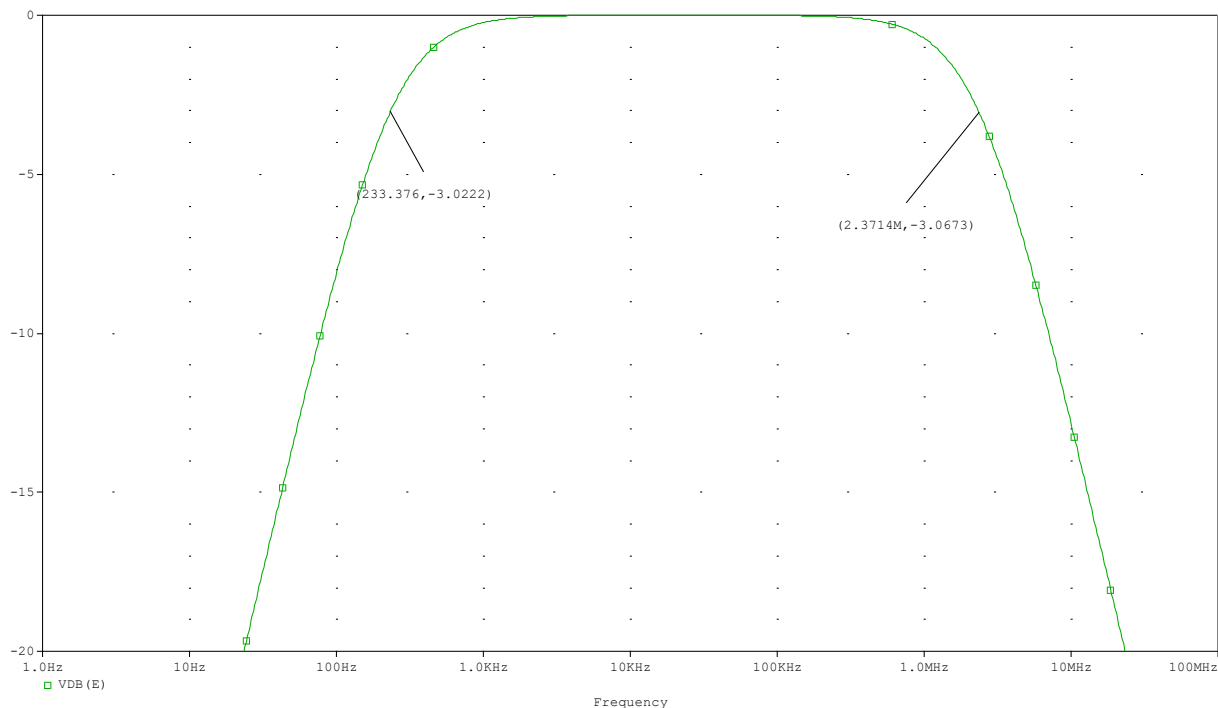
圖(四)：RLC 串聯諧振電路模擬電路圖(使用 DB 探棒)

		Reference	Value	VR1	AC	DC	DF	FREQ	PHASE	TD	VAMPL	VOFF
1	SCHEMATIC1:PAGE1:VS2	VS2	VSIN		1V	0V	0V	10KHz	0	0	2.5V	0V

圖(五)：V2 VSIN 波形之文字設定\

◎模擬結果：

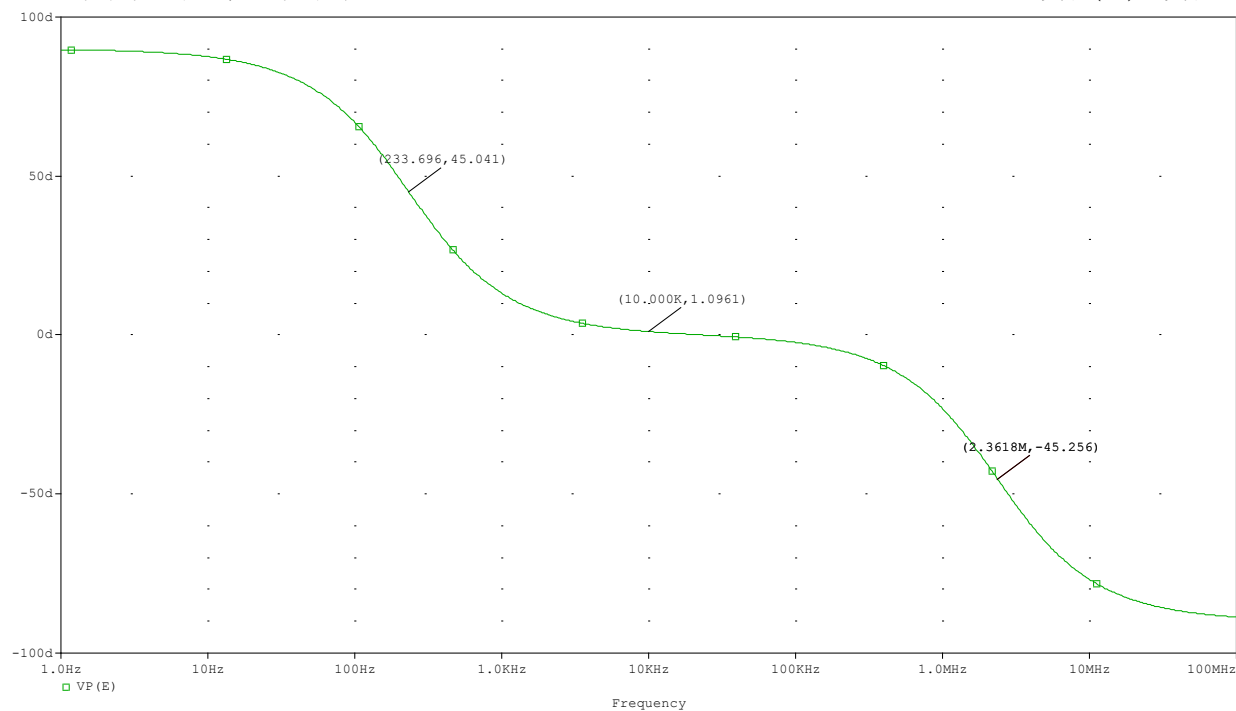
a.AC SWEEP(頻率響應)



圖(六)：RLC 串聯諧振電路模擬輸出(使用 dB 探棒)

測量值： $f_L = 233.376\text{Hz}$ (-3dB 頻率)， $f_H = 2.3714\text{MHz}$ (-3dB 頻率)

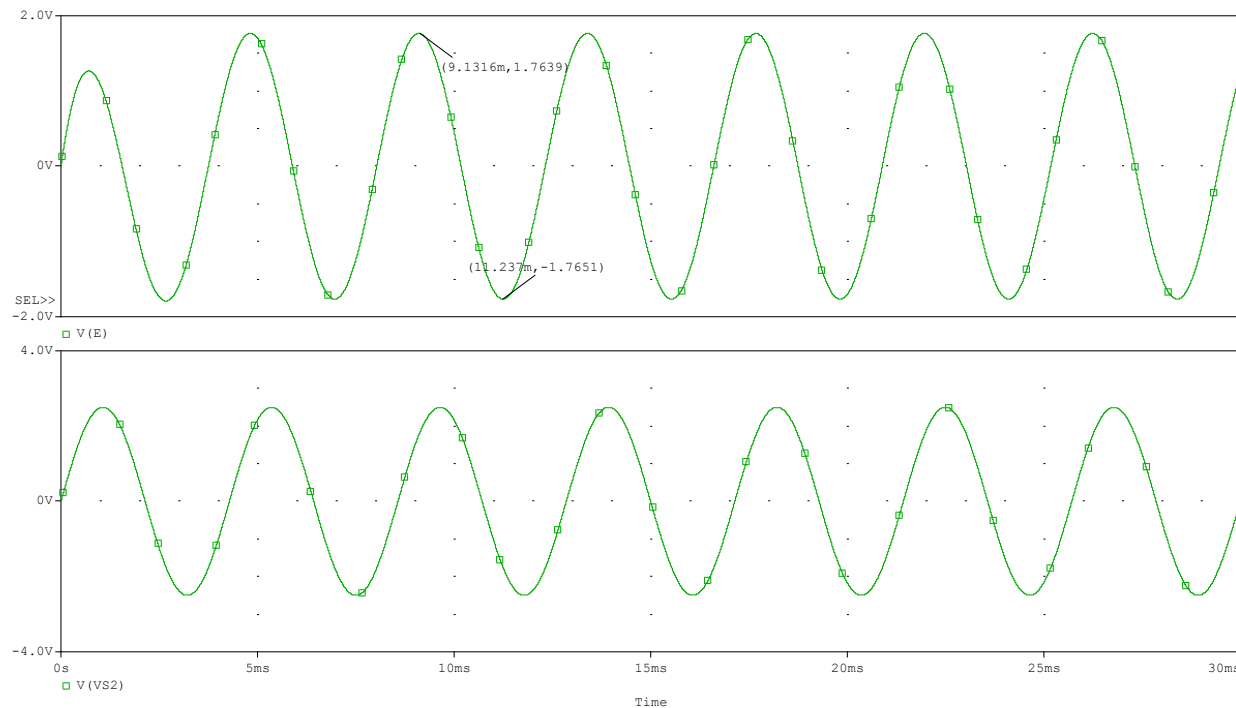
b.相位圖：-3dB 頻率相對相角度。



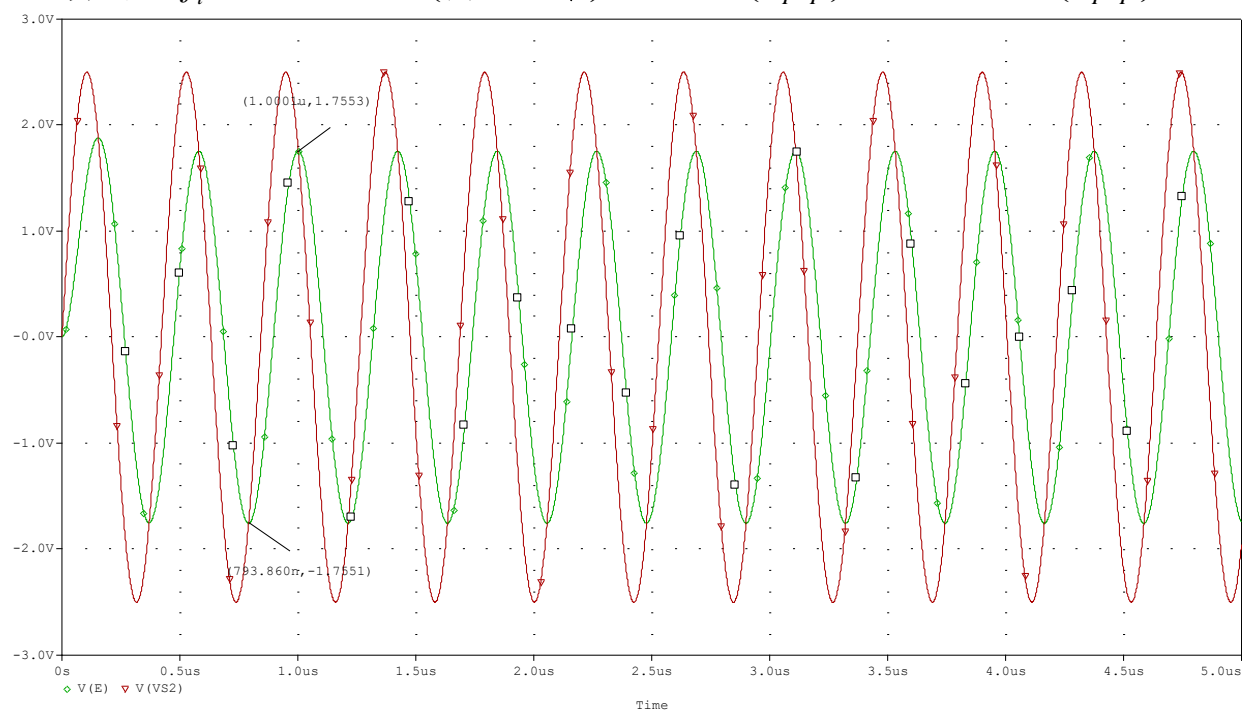
圖(七)：RLC 串聯諧振電路模擬輸出(使用 VP 探棒)

c.時域測試資料(Time Domain)：

$$f_i = 233.276\text{Hz (輸入頻率)}, VS2 = 5(V_{P-P}), V_e = 3.529(V_{P-P})$$

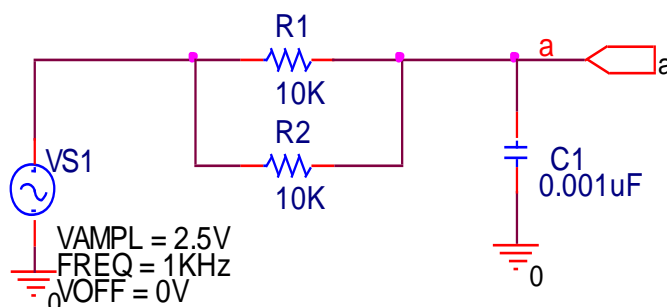


圖(八)：RLC 串聯諧振電路模擬輸出(使用電壓探棒)

d.時域測試資料(Time Domain)：**測試資料：** $f_i = 2.3714\text{MHz}$ (輸入頻率)， $VS2=5(V_{P-P})$ ， $VE=3.4952(V_{P-P})$ **圖(九)：RLC 串聯諧振電路模擬輸出(使用電壓探棒)**

四、實驗數據測量與記錄

■實驗項目(一)：一階 RC 交流穩態電路

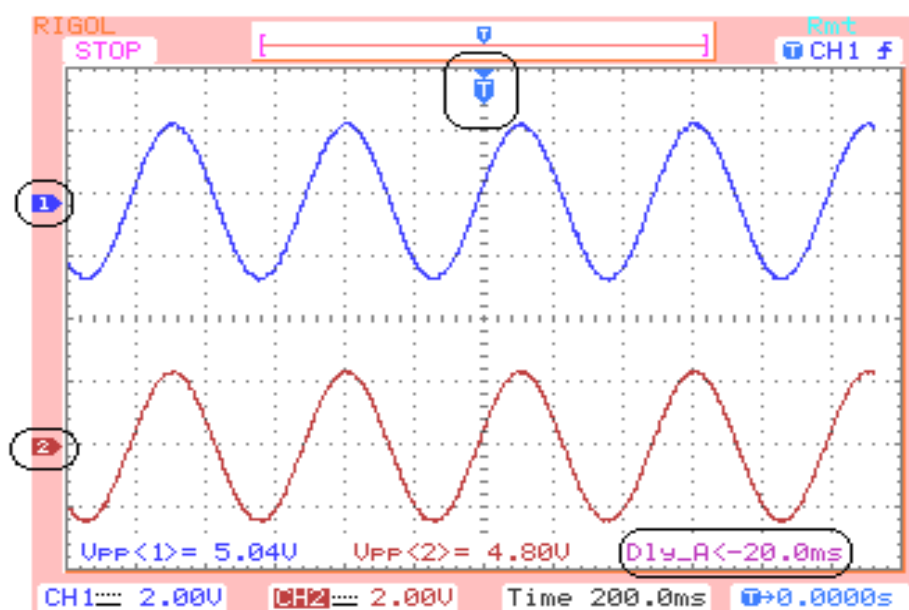


圖(8-1)：實驗電路圖(一)

- 參閱圖(8-1)使用麵包板組裝上述電路接線。
- 計算出-3dB 截止點頻率理論值 $f_c = \frac{1}{2\pi RC2} = \underline{\hspace{2cm}}$ KHz(代入上述電阻及電容值之測量值)。
- 示波器設定：
 - 探棒 CH1＝節點[VS1]，CH2＝節點[a]，示波器視窗中兩波形分開。
 - CH1、CH2 輸入設定以「直流」耦合方式。測試探棒×1。
 - 垂直解析度－1V/格。水平掃描時間－200ms/格。
 - 觸發面板設定－

觸發方式－邊緣觸發	觸發方式－自動
信源選擇－CH1	耦合－直流
邊緣類型－無關	Level 旋鈕－不用設定

- 水平面版－水平觸發點游標定於螢幕中心位置點。
- 測量功能鍵－測量 CH1、CH2 之電壓(峰-峰值)及時間差或相位差。
- 說明示波器使用－兩波形延遲時間之測量：見圖(8-2)，輸入為 5(Vp-p)。



圖(8-2)：示波器設定(延遲時間)

4. 訊號產生器(F.G.)設定：F.G.輸出端接至電路輸入端 VS1 節點，調整(F.G.)振幅約為 2.5V 之正弦波(F.G.面板上振幅)，頻率值設定為 2Hz。
5. 示波器 CH1 探棒需與節點[VS1]並接，使用示波器電壓測量功能鍵，測量 CH1 的峰-峰值電壓，示波器測得約為 $5(V_{p-p})$ 之正弦波。
6. 示波器兩波形延遲時間之測量結果與調整。
 - a. $Dly_A < 20.0ms$ 表示 CH1 與 CH2 延遲時間小於 20ms，受限於示波器水平時間軸的解析度，無法顯示出更小的時間差，如果將兩波形重疊顯示，將發現時間軸上的兩訊號交疊在一起，如此可將兩訊號的時間延遲視為 0sec。
 - b. 當 F.G.頻率改變後，CH2 節點振幅大小會變小，此時需改變垂直軸的刻度，盡量讓 CH1 與 CH2 兩訊號在螢幕上能夠顯示有相同的波形大小，
 - c. 當 F.G.頻率改變後，示波器也需要改變時間軸的刻度，於示波器螢幕中顯示幾個週期波形就可以，如此較易測得兩訊號的時間延遲。
7. 測量數據，將測量值填入表格(8-1)中。
 - a. 測量 CH1 電壓大小(峰-峰值)約 $5(V_{p-p})$ ，當訊號產生器(F.G.)調整頻率時，有時候(F.G.)輸出振幅改變大小，此時需調整一下振幅旋鈕，示波器測量電壓值，依示波器的解析度，請記錄到小數點第二位。

b.適當調整水平掃描時間及垂直刻度，測得[CH1，CH2]之電壓(峰-峰值)及[CH1，CH2]之間的相位差或時間延遲，將數據記錄於表格(8-1)中且計算出 dB 值，依序改變表格(8-1)之頻率值，完成表格(8-1)內容。

c.使用 Excel 軟體繪製頻率響應圖(包含大小及相位)，其中相位範圍取 $[+180^\circ \sim -180^\circ]$ 。例如：相位差 $=280^\circ$ ，需轉換為 (-80°) 。

8.測量-3dB 截止點頻率：又稱半功率截止頻率。

a.計算公式： $10 \times \log \frac{P_o}{P_i} = 10 \times \log \frac{1}{2} \approx -3(\text{dB})$ 。

另以電壓計算時公式： $10 \log \frac{P_o}{P_i} = 10 \log \frac{V_o^2}{V_i^2} = 20 \log \frac{V_o}{V_i}$ ，

$P = \frac{V^2}{R}$ ， $\frac{P_o}{P_i} = \frac{V_o^2}{V_i^2} = \frac{1}{2}$ ， $\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ，表示輸出與輸入電壓比為 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍。

b.依據電路模擬 $f_c = 31.9\text{KHz}$ ，相位差約 45° 。

c.CH1=節點[VS1]，CH2=節點[a]。

d.調整訊號產生器輸出頻率約 32KHz，然後使用頻率微調旋鈕微調頻率，

使得節點[a]輸出振幅 $=\frac{5(V_{p-p})}{\sqrt{2}} = 3.54(V_{p-p})$ ，此時記錄頻率值，即為-3dB 截

止點頻率=_____KHz，測量與記錄出相位差=_____度，並記錄

CH1 對 CH2 的相位是☐相位超前或是☐相位落後之關係。

e.擷取上述截止點頻率的波形，CH1 對 CH2 的相位差為☐超前或是☐落後。

◎擷取節點[a]—(-3dB)截止點頻率波形：DC 耦合。

表(8-1)：頻率響應數據

頻率 $f(\text{Hz})$	輸入振幅約略值 $\doteq 5(V_{p-p})$	記錄輸出振幅 (V_{p-p})	計算 $20 \log \frac{V_{O_{p-p}}}{V_{i_{p-p}}}$ (dB)	記錄 CH1 及 CH2 之間的相 位差
2				
10				
100				
500				
1000				

頻率 $f(\text{Hz})$	輸入振幅約略值 $\cong 5(V_{p-p})$	記錄輸出振幅 (V_{p-p})	計算 $20 \log \frac{V_{o_{p-p}}}{V_{i_{p-p}}}$ (dB)	記錄 CH1 及 CH2 之間的相 位差
3000				
5000				
7000				
9000				
10E3				
30E3				
50E3				
70E3				
90E3				
100E3				
300E3				
500E3				
700E3				
900E3				
1000E3				

◎測試說明：輸出振幅會隨輸入頻率增加而減少，故需要適當調整示波器得水平掃描時間及垂直刻度，以利實驗數據之測量。

9.完成上述實驗記錄之後(請確實記錄)，將數據填入 Excell 檔案中(先建立表格)，並分別計算 dB 值及相位差，並使用 Excell 完成下列圖表，附於實驗報告中。

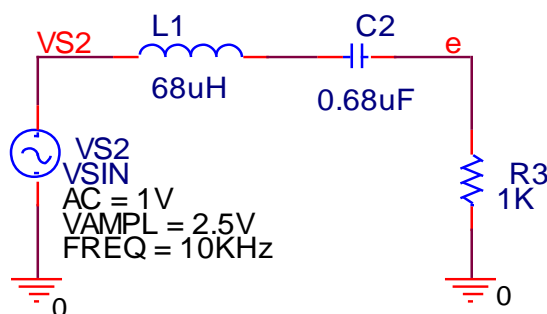
a.E3 表示科學記號為 10^3 ，E-6 表示科學記號為 10^{-6} 。

10.繪製出電壓增益對頻率之響應圖及相位對頻率之響應圖。

a.頻率響應圖(Excell 作圖)－增益對頻率之關係。

b.頻率響應圖(Excell 作圖)－相位對頻率之關係。

■實驗項目(二)：RLC 二階串聯諧振電路



圖(8-3)：實驗電路圖(二)

1. 參閱圖(8-3)焊接電路板上電路接線。

2. 訊號產生器設定：

a. 訊號產生器輸出端接至節點[VS2]。

b. 調整輸出振幅約為 2.5(V)之正弦波(F.G.面板上振幅)，頻率值=10KHz。

3. 示波器的設定：

a. 示波器探棒 CH1=節點[VS2]，CH2=節點[e]，將兩波形分開。

b. CH1、CH2 輸入以「直流」耦合方式。測試探棒×1。

c. 垂直解析度—1V/格。水平掃描時間—200ms/格。

d. 觸發面板設定—

觸發方式—邊緣觸發	觸發方式—自動
信源選擇—CH1	耦合—直流
邊緣類型—無關	Level 旋鈕—不用設定

e. 水平面版—水平觸發點游標定於螢幕中心位置點。

4. 測量數據，將測量值填入表格(8-2)中。

a. CH1 電壓(峰-峰值)約 $5(V_{p-p})$ 。

b. 訊號產生器輸出頻率=10KHz，調整適當的水平掃描時間，測得[CH1, CH2]之電壓(V_{p-p})振幅，其中 CH2 之(V_{p-p})電壓振幅，需調整 CH2 垂直軸刻度以利觀測數據，將數據記錄於表格(8-2)中。

c. 依據前項.b.步驟及依序改變表格(8-2)之頻率值，完成表格(8-2)內容。

d. 改變訊號產生器頻率時，也會改變輸出振幅，只要稍微調整輸出振幅旋鈕，

即可修正輸出振幅約為 $5(V_{p-p})$ ，即 $5(V_{p-p})$ 電壓需固定值。

e.使用 Excel 軟體繪製 V_{R3} 對頻率的諧振曲線圖的頻率響應圖。

f.輸出圖表：頻率響應圖(Excell 作圖)－ V_{R3} 對頻率之關係。

表(8-2)：RLC 串聯諧振電路測量數據

測試頻率 $f(\text{Hz})$	輸入振幅固定值 $VS2 = 5(V_{p-p})$	記錄 $V_{R3}(\text{V})$	測試頻率 $f(\text{Hz})$	輸入振幅固定值 $VS2 = 5(V_{p-p})$	記錄 $V_{R3}(\text{V})$
2			20E3		
10			30E3		
100			40E3		
1000			50E3		
2000			60E3		
3000			70E3		
4000			80E3		
5000			90E3		
6000			100E3		
7000			200E3		
8000			300E3		
9000			400E3		
10E3			500E3		
15E3			1000E3		

◎測試說明：輸出振幅會隨輸入頻率增加而減少(高頻)，輸出振幅也會隨輸入頻率減低而減少(低頻)，故需要適當調整示波器得水平掃描時間及垂直刻度，以利實驗數據之測量。

5. 測量出-3dB 截止點頻率

※注意事項：下列頻率調整時，仍然需注意訊號產生器的輸出振幅大小需維持 $5(V_{p-p})$ ，如有改變請微調訊號產生器振幅旋鈕。

a.依據電路模擬 $f_{-3\text{dB}(\text{下})} = 233.376\text{Hz}$ ，相位差約 45° 。

b.依據電路模擬 $f_{-3dB(上)} = 2.3714\text{MHz}$ ，相位差約 -45° 。

c.CH1＝節點[VS2]，CH2＝節點[e]。

d.調整訊號產生器輸出頻率 233Hz，然後使用頻率微調旋鈕微調頻率，使得

節點[e]輸出振幅 $= \frac{5(V_{P-P})}{\sqrt{2}} = 3.54(V_{P-P})$ ，此時記錄頻率值，即為 $f_{-3dB(下)}$ 截

止點頻率＝_____KHz，測量與記錄出相位差＝_____度，並記

錄 CH1 對 CH2 的相位是 ☐ 相位超前或是 ☐ 相位落後之關係。

e.擷取上述波形，需測量頻率值、延遲時間及節點[e]輸出振幅。

◎擷取節點[e]— $f_{-3dB(下)}$ -3dB 截止點頻率波形：DC 耦合。

f.調整訊號產生器輸出頻率約 2.37MHz，然後使用頻率微調旋鈕微調頻率，

使得節點[E]輸出振幅 $= \frac{5(V_{P-P})}{\sqrt{2}} = 3.54(V_{P-P})$ ，此時記錄頻率值，即為

$f_{-3dB(上)}$ 截止點頻率＝_____KHz，測量與記錄出相位差＝_____

度，並記錄 CH1 對 CH2 的相位是 ☐ 相位超前或是 ☐ 相位落後之關係。

g.擷取上述波形，需測量頻率值、延遲時間及節點[e]輸出振幅。

◎擷取節點[e]— $f_{-3dB(上)}$ -3dB 截止點頻率波形：DC 耦合。

五、實驗問題與討論

1.RLC 串聯諧振電路有定義 Q 值，請問在您所畫出的 V_{R3} 對頻率的諧振曲線圖中，如何來表示此 Q 值。如何更改 RLC 串聯諧振電路中之元件以得到高 Q 值電路？

2.相位有超前及落後兩種，您在示波器上觀測波形時，您如何判斷是那一種相位差情形？

六、撰寫實驗結論與心得

七、實驗綜合評論

- 1.實驗測試說明、實驗補充資料及老師上課原理說明，是否有需要改善之處。
- 2.實驗模擬項目內容，是否有助於個人對實驗電路測試內容的了解。
- 3.實驗測量結果，是否合乎實驗目標及個人的是否清楚瞭解其電路特性。
- 4.就實驗內容的安排，是否合乎相關課程進度。
- 5.就個人實驗進度安排及最後結果，自己的評等是幾分。
- 6.在實驗項目中，最容易的項目有那些，最艱難的項目包含那些項目，並回憶一下，您在此實驗中學到了那些知識與常識。

八、附上實驗進度紀錄單(照片檔)、麵包板及 PCB 電路板組裝圖檔(照片檔)

九、實驗參考資料來源

- [1]陳盛有,陳長安編譯,“工程電路分析”,東華書局出版,第四版,P.301～P.311,1992.