

## 實驗單元(四)：相移振盪器電路

### 一、實驗目的

1. 本實驗在於驗證 Barkhausen Criterion。
2. 了解 RC 相移振盪器的工作原理。
3. 觀測 RC 相移振盪器的輸出波形。

### 二、實驗儀器設備與實驗材料

表(一)：實驗儀器設備

儀器名稱	數量
萬用電錶或三用電錶	1 部
示波器	1 台
雙電源供應器	1 台
訊號產生器	1 台

表(二)：相移振盪器電路實驗料表

項次	實驗料號	位 置 碼	元 件 說 明	用量
1	141-0210	R1~R3、R6~R8	1K $\Omega$ 1/4W 5% 碳膜電阻	6 個
2	141-0310	R9	10K $\Omega$ 1/4W 5% 碳膜電阻	1 個
3	141-0327	R4	27K $\Omega$ 1/4W 5% 碳膜電阻	1 個
4	141-0382	R5	82K $\Omega$ 1/4W 5% 碳膜電阻	1 個
5	141-0447	R10	470K $\Omega$ 1/4W 5% 碳膜電阻	1 個
6	141-0451	R11	510K $\Omega$ 1/4W 5% 碳膜電阻	1 個
7	GF06P B10K	R12	VR 10K $\Omega$ 可變電阻	1 個
8	GF06P B100K	R13~R15	VR 100K $\Omega$ 可變電阻	3 個
9	260-W310	C1~C6	0.01 $\mu$ F PE 電容	6 個

項次	實驗料號	位 置 碼	元 件 說 明	用量
10	260-W410	C11~C14	0.1uF PE 電容	4 個
11	205-B112	C7~C10	120uF 電解質電容	4 個
12	430-02V7	D1~D4	Zener Diode 2.7V	4 個
13	uA741CP	U1~U4	OP AMP uA741CP	4 個

### 三、實驗預習

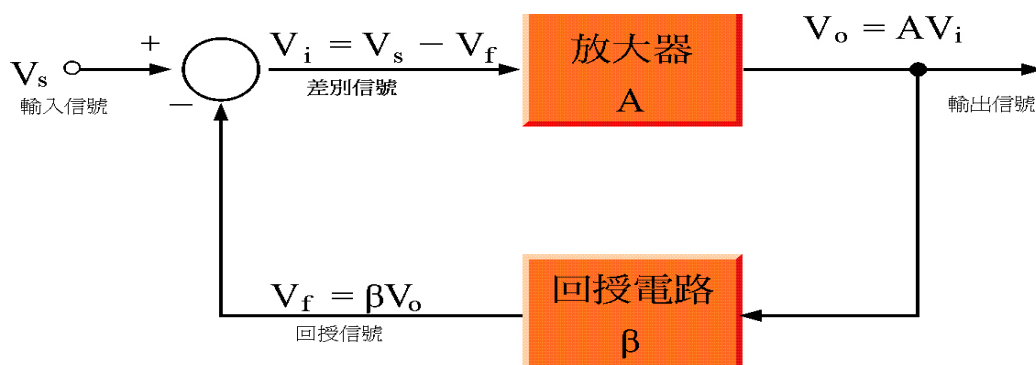
試著回答下列問題。

- 1.參閱實驗電路圖，畫出完整移相振盪器電路，寫出回授  $\beta$  網路的轉換方程式，寫出其振盪頻率公式，計算出該實驗電路的輸出頻率值，完成實驗電路模擬。

### 四、電路說明

#### 1.回授

將一個電路的輸出信號，經由適當的網路送回該電路的輸入端，稱為回授 (feedback)。圖(二)為回授放大器電的方塊圖，放大器的輸出訊號經回授網路取得信號送回輸入端與外來的輸入信號混合經放大器放大。一般放大器電路中都加入負回授電路，以犧牲增益來換得其他優點。至於正回授是可以提高增益確會帶來不穩定，因此一般線性放大器電路並不採用。

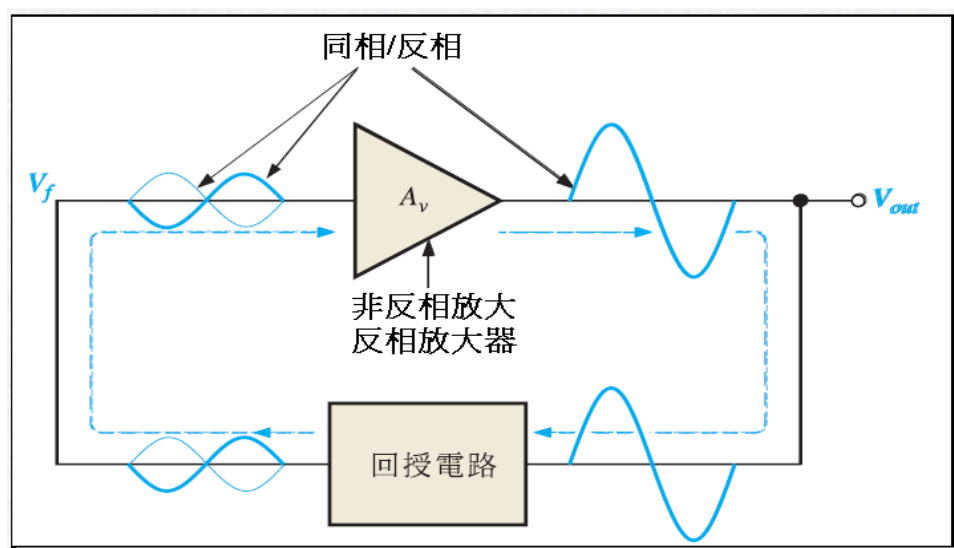


圖(二)：回授放大器電的方塊圖

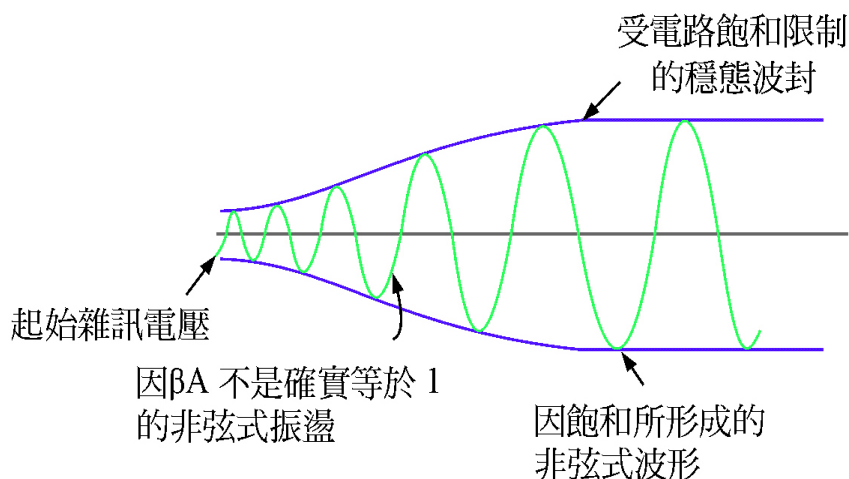
放大器若具有正回授，且正回授達到一定程度以上，電路將會產生振盪，

成為一振盪器電路。振盪器電路不需要任何輸入訊號，只需要提供直流電源供應電壓，就能產生週期性波形的電子電路。

現在將介紹如何產生弦波？在 Barkhausen Criterion 中描述產生弦波需滿足相位差或時間延遲 360 度且增益需大於等於 1 的條件才能產生振盪，若增益過大會使弦波發散；反之則會收斂或無法振盪。圖(三)及圖(四)是來說明振盪器的結構與形式。



圖(三)：振盪器電路方塊圖



圖(四)：穩態振盪波形的形成

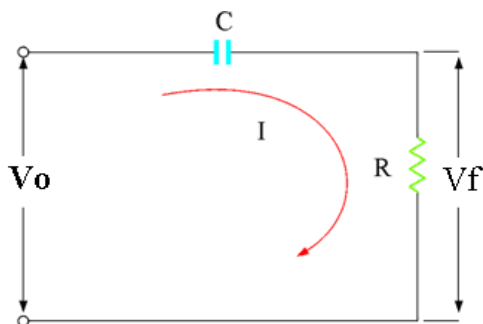
## 2.RC 相移振盪器(phase-shift oscillator)

一個振盪器，若是利用 RC 相移電路造成正回授，則稱此振盪電路為 RC 相移振盪器。

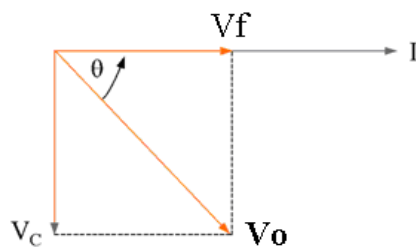
### 2-1.相位領先型 RC 相移振盪器(電流回授型)

圖(五)為一階的 RC 相移網路，其輸入電壓  $V_o$  與輸出電壓  $V_f$  間的相位差

$\theta$  小於  $90$  度，因此要使用 RC 網路相移  $180$  度至少需使用三階 RC 電路，如圖(六)所示。圖(五) $V_f$  的相位領先  $V_o$ ，因此稱為“相位領先型 RC 相移網路”。

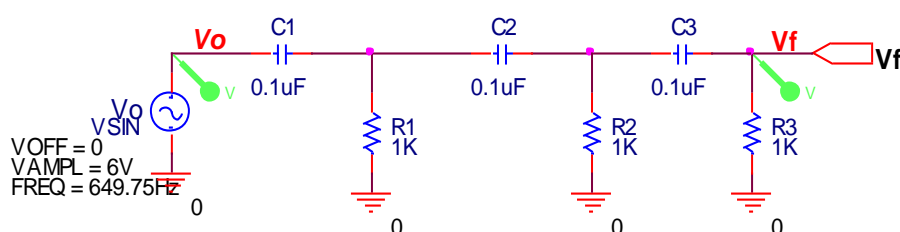


(a). 一階 RC 相移網路



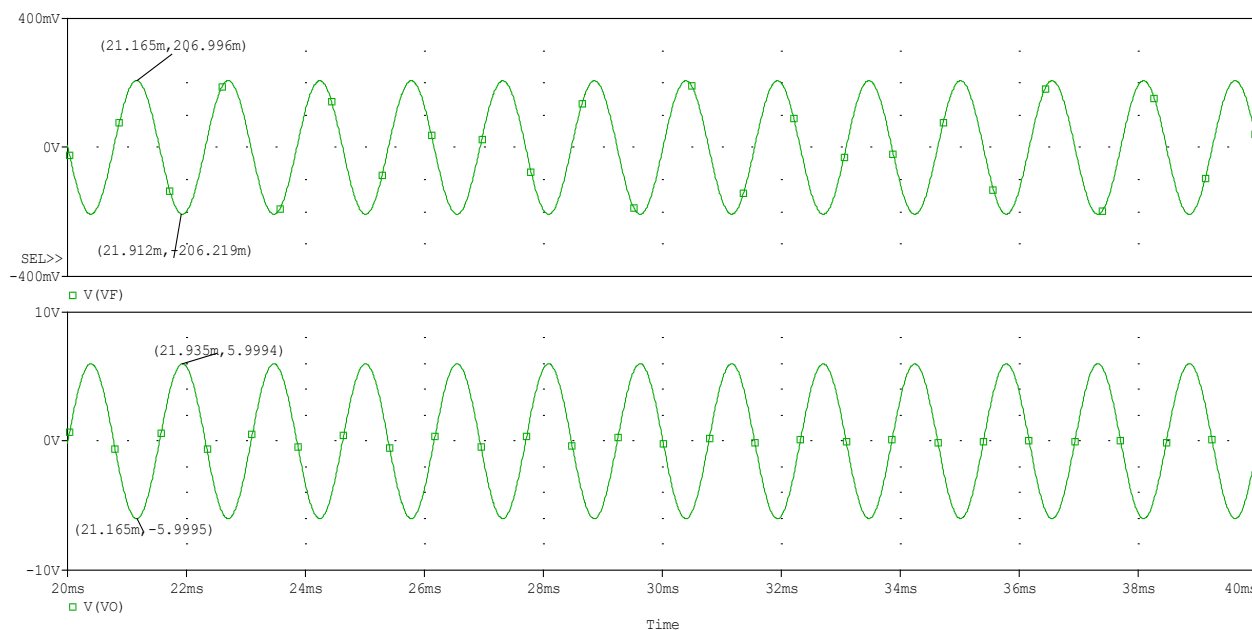
(b). 電壓與電流相位關係

圖(五)：為 RC 相移網路



圖(六)：相位領先型 RC 網路

## 2-2. 相位領先型 RC 網路模擬結果



圖(七)：相位領先型 RC 電路模擬輸出

由上模擬結果可知，利用電容相位落後的特性，串接三階的 RC 電路，在

某一頻率會使輸出相移 180 度，電壓比率  $\left| \frac{V_f}{V_o} \right| = \frac{0.413215(V_{P-P})}{11.9890(V_{P-P})} \approx \left( \frac{1}{29} \right)$ ，輸出與

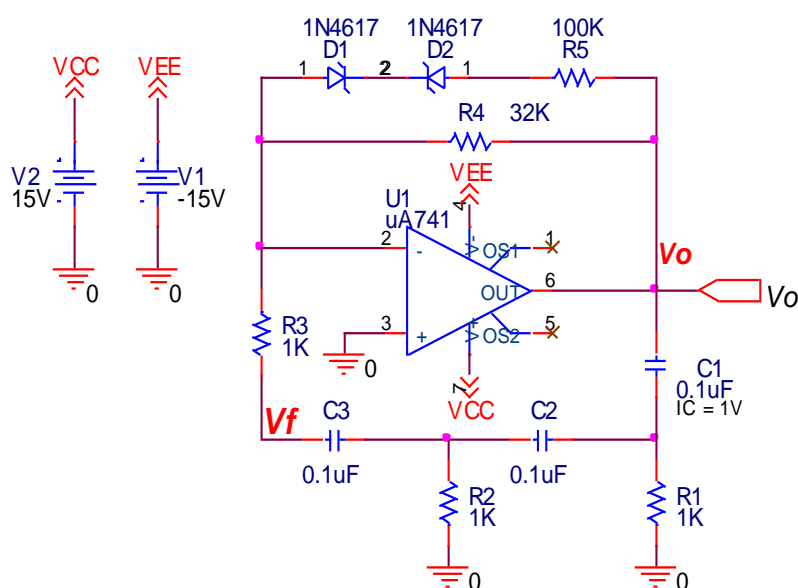
輸入振幅關係為衰減 29 倍，如果加上反相放大器提供(-29)倍電壓增益，則剛好滿足 0 度的相差， $|A\beta|=1$ ，如此回授訊號，經反相放大器放大後的訊號，得到與輸入訊號同相的訊號回授到輸入端，完成正回授，使電路得以產生振盪。

圖(八)為運算放大器所組成的相位領先型 RC 相移振盪器電路(電流回授型)。此一電路回授節點[Vf]經電阻 R3 接至反相放大器的“-”輸入端，由於反相放大器的“-”輸入端為一虛接地點，與地同電位，故反相放大器的輸入端電阻 R3 可以代替最後一階 RC 相移網路的 R，而其回授電流  $I_{R3}$  流經 R4，形成  $V_{R4}$  電壓降，

即  $V_o = -I_{R3} \times R4$ ，運算放大器輸入端  $I_f = I_{R3} = \frac{V_f}{R3}$ ， $V_o = -\frac{V_f}{R3} \times R4$ ，反相放大器

電壓增益  $A = \frac{V_o}{V_f} = -\frac{R4}{R3}$ 。

在弦波振盪中，因為零件與環境的關係，無法使弦波持續穩定振盪，因此通常在負回授路徑上加上齊納二極體，以維持其輸出峰-峰值，其中 D1、D2 及  $R5=120K\Omega$  為波幅限制器電路。 $R4$  取  $32K\Omega$ ，是因為運算放大器內部阻抗及回授電路影響，需要較大的電壓增益值，以維持振盪器持續振盪能力。



圖(八)：相位領先型 RC 相移振盪器(電流回授型)

參閱圖(八)：相位領先型 RC 電路中使用網目分析法，分析三個 RC 相移

網路。取  $C1 = C2 = C3 = C = 0.1\mu F$ ， $R1 = R2 = R3 = R = 1K\Omega$ 。

可得  $V_f = \frac{V_o \times R^3}{R^3 - 5RX_c^2 - j[6R^2X_c - X_c^3]}$ ，取虛部項=0，即  $[6R^2X_c - X_c^3] = 0$ ，

$\because X_c \neq 0, \therefore 6R^2 = X_c^2 = \left(\frac{1}{2\pi f_o C}\right)^2$ ，可算出振盪頻率  $f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$ 。

$\because V_f = \frac{V_o \times R^3}{R^3 - 5RX_c^2} = \left(-\frac{1}{29}\right)V_o, \therefore \beta = \frac{V_f}{V_o} = \left(-\frac{1}{29}\right)$  (代表衰減 29 倍，反相)。負回

授迴路為反相放大器電路，電壓增益級由電阻  $R4$  及  $R3$  所決定。

當兩個 Zener Diode 都不導通時，此時迴路增益為

$$A\beta = \left(-\frac{1}{29}\right) \times \left(-\frac{R4}{R3}\right) = \left(-\frac{1}{29}\right) \times \left(-\frac{32K}{1K}\right) = 1.103 > 1$$

因此開始振盪。由於迴路增益大於 1，所以振盪器振幅會增加直到峯值超過二極體的崩潰電壓  $V_z$ ， $D1$  及  $D2$  導通，此時電阻器  $R5 = 100K\Omega$  的並聯作用降低了增益並將振幅限制在  $V_z$  左右，以維持穩定的波幅。

當  $D1$  及  $D2$  導通時，電阻  $R4$ ， $R5$  為並聯關係，並聯電阻  $= 24.242K\Omega$ ，此時迴路增益為

$$A\beta = \left(-\frac{1}{29}\right) \times \left(-\frac{(R4//R5)}{R3}\right) = \left(-\frac{1}{29}\right) \times \left(-\frac{24.242K}{1K}\right) = 0.836 < 1$$

若取  $R5 = 220K\Omega$ ，則迴路增益  $= 0.963 < 1$ 。

若取  $R5 = 32K\Omega$ ，則迴路增益  $= 0.552 < 1$ 。

在取  $R5 = 220K\Omega$  時，增益下降有限，導致振幅衰減速度太慢，如此可導致振盪器快速達到飽和狀態。若在  $R5$  取得過小時，振幅衰減過快，將導致振盪器輸出波形嚴重失真。由上計算結果，選取  $R5 = 100K\Omega$ ，迴路增益為 0.836，應可合乎振盪電路之需求。

移相振盪器的振盪頻率  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$ ，將  $R = 1K\Omega$ ， $C = 0.1\mu F$ ，代入上述公式內。

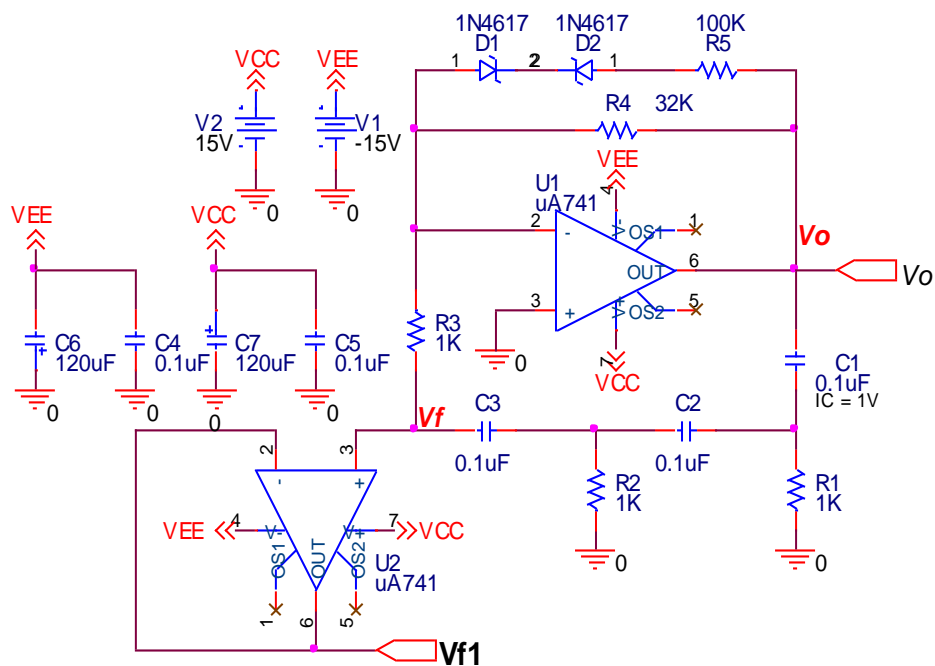
$$\text{frequency} = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{6} \times 1000 \times 0.1 \times 10^{-6}} = 649.75\text{Hz}$$

## 2-3.移相振盪器電路模擬結果(電流回授型)

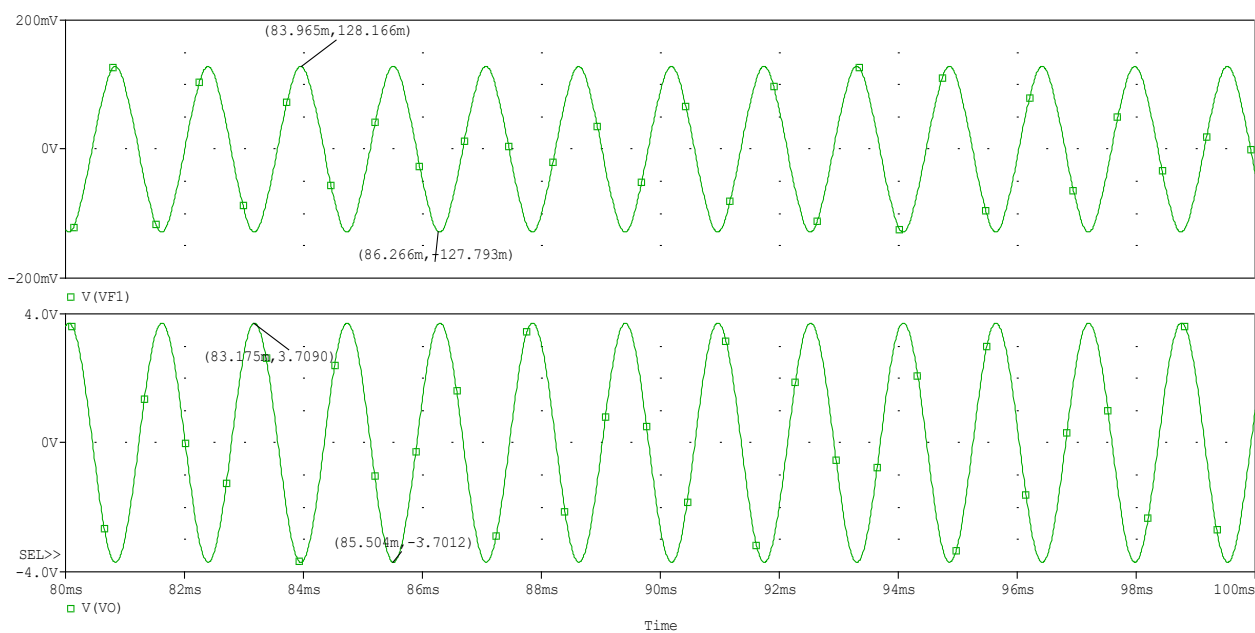
a.  $V_o$  與  $V_f$  之電壓關係：

$V_o(V_{P-P}) = 7.421(V)$ ,  $V_f(V_{P-P}) = 0.256(V)$ ，反相放大器增益 = -28.988。

b. 振盪頻率 = 650Hz。

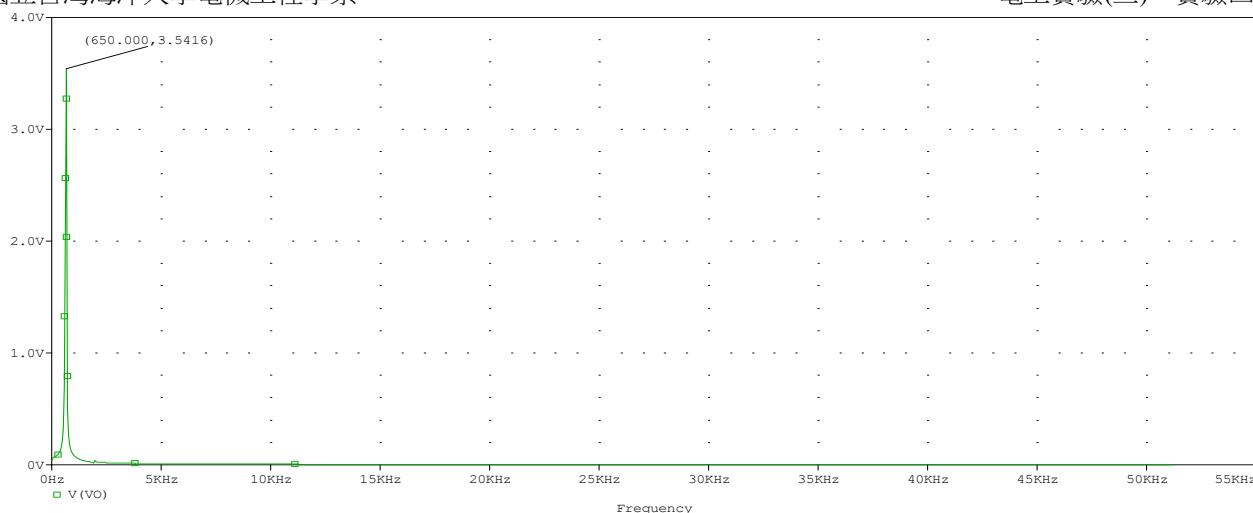


圖(九)：相位領先型 RC 相移振盪器模擬電路圖(電流回授型)



圖(十)：移相振盪器電路模擬輸出(time-domain) (電流回授型)

使用游標標示出相鄰峰值的時間差，則可以計算出兩波形的相位差。



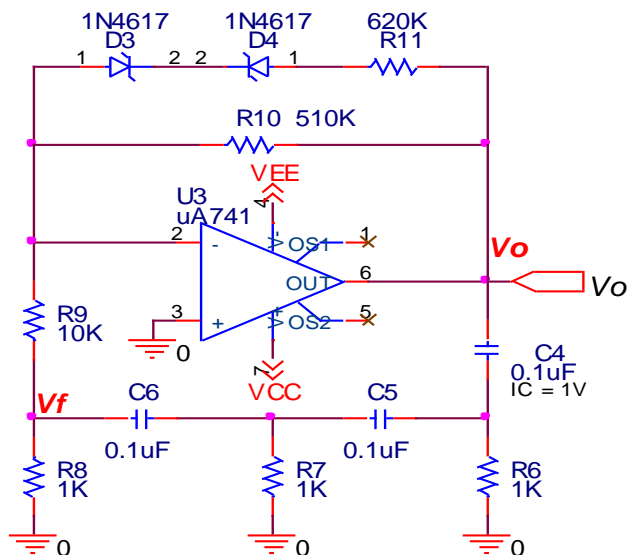
圖(十一)：移相振盪器電路模擬輸出(FFT) (電流回授型)

經由 FFT 轉換，使用游標標示可得知振盪頻率值，而是否有諧波分量的存在，可了解輸出波形是否有失真。

#### 2-4.相位領先型 RC 相移振盪器(電壓回授型)

圖(十二)為相位領先型 RC 相移振盪器(電壓回授型)，運算放大器電路組成反相放大器，其電壓增益為  $A = \left( -\frac{R_{10}}{R_9} \right)$ 。

輸入訊號( $V_f$ )為回授電壓，輸入訊號( $V_f$ )經反相放大器放大，輸出訊號( $V_o$ )與輸入訊號反相，輸出訊號又經三級 RC 移相網路移相 180 度。所以輸入訊號經反相放大器反相 180 度後又經三級 RC 移相網路移相 180 度而得到與輸入訊號同相的訊號回授到輸入端，完成正回授，使電路得以產生振盪。



圖(十二)：相位領先型 RC 相移振盪器(電壓回授型)



其中 D3、D4 及  $R_{11}=620K\Omega$  為波幅限制器電路。當兩個 Zener Diode 都不導通時，此時迴路增益為

$$A\beta = \left(-\frac{1}{29}\right) \times \left(-\frac{R_{10}}{R_9}\right) = \left(-\frac{1}{29}\right) \times \left(-\frac{510K}{10K}\right) = 1.758 > 1$$

因此開始振盪。由於迴路增益大於 1，所以振盪器振幅會增加直到峯值超過二極體的崩潰電壓  $V_z$ ，D1 及 D2 導通，此時電阻器  $R_{11}=620K\Omega$  的並聯作用降低了增益並將振幅限制在  $V_z$  左右，以維持穩定的波幅。

當 D1 及 D2 導通時，電阻  $R_{10}$ ， $R_{11}$  為並聯關係，並聯電阻 =  $279.823K\Omega$ ，此時迴路增益為

$$A\beta = \left(-\frac{1}{29}\right) \times \left(-\frac{(R_{10} // R_{11})}{R_3}\right) = \left(-\frac{1}{29}\right) \times \left(-\frac{279.823K}{10K}\right) = 0.965 < 1$$

若取  $R_{11}=510K\Omega$ ，則迴路增益 =  $0.879 < 1$ 。

在取  $R_{11}$  過大電阻時，增益下降有限，導致振幅衰減速度太慢，如此可導致振盪器快速達到飽和狀態。若在  $R_{11}$  取得過小時，振幅衰減過快，將導致振盪器輸出波形嚴重失真。由上計算結果，選取  $R_{11}=620K\Omega$ ，迴路增益為 0.965，應可合乎振盪電路之需求。

移相振盪器的振盪頻率  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$ ，將  $R=1K\Omega$ ， $C=0.1\mu F$ ，代入上述公

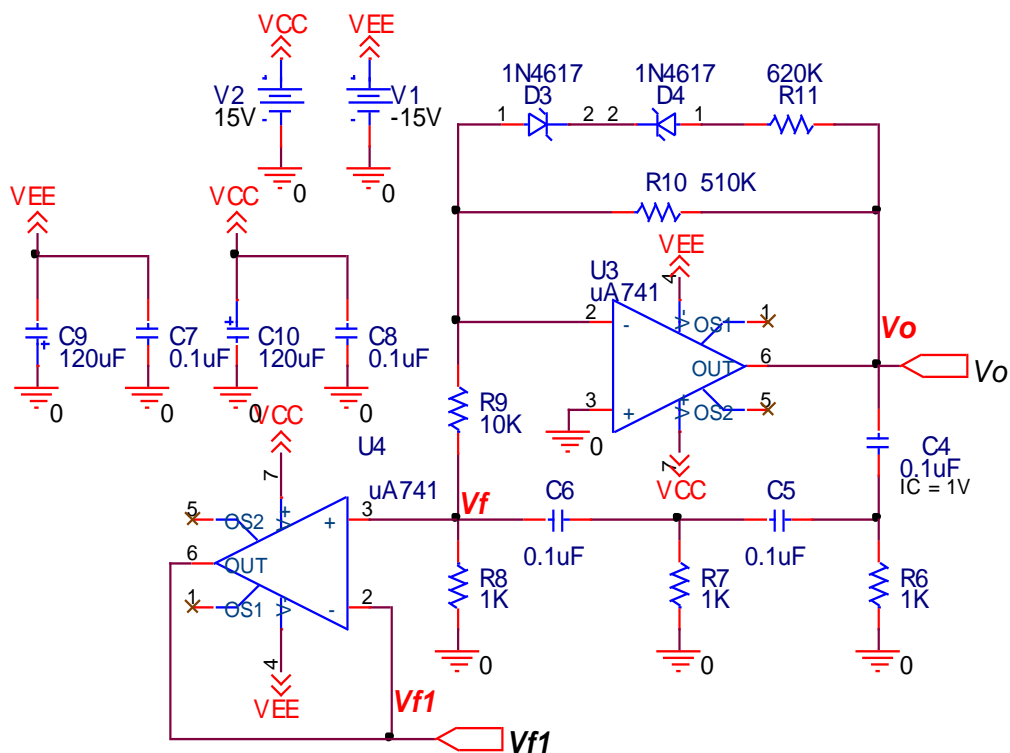
$$\text{式內。frequency} = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{6} \times 1000 \times 0.1 \times 10^{-6}} = 649.75\text{Hz}$$

## 2-5.移相振盪器電路模擬結果(電壓回授型)

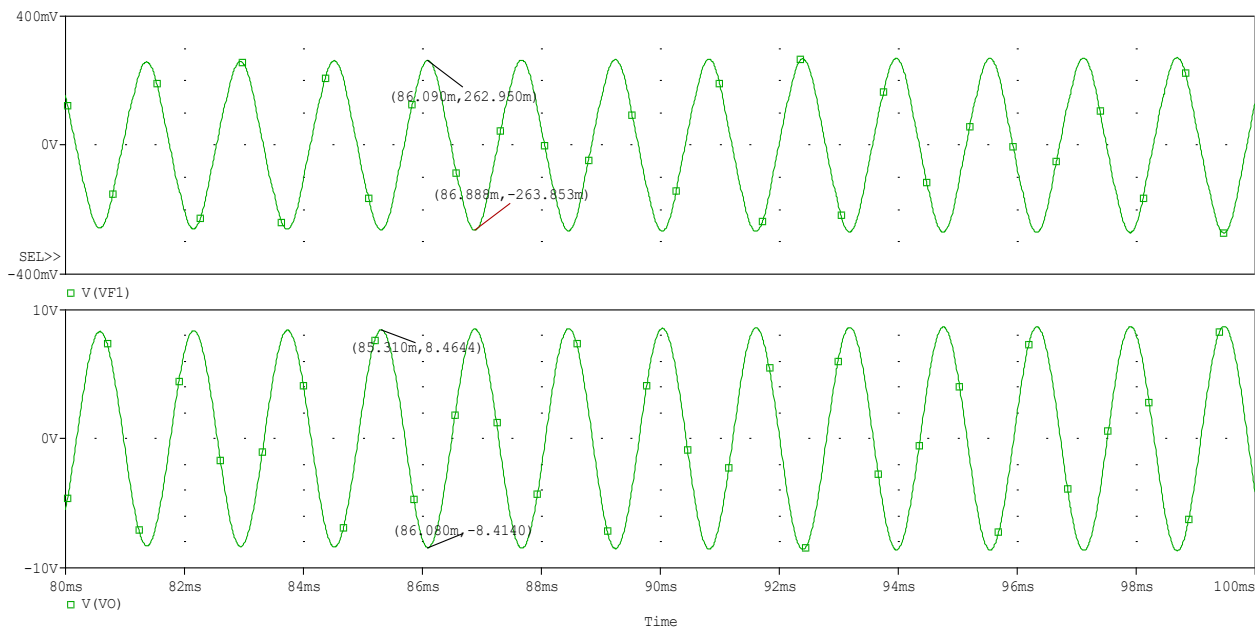
a.  $V_o$  與  $V_f$  之電壓關係：

$V_o(V_{P-P}) = 16.844(V)$ ,  $V_f(V_{P-P}) = 0.531(V)$ ，反相放大器增益 = -31.721。

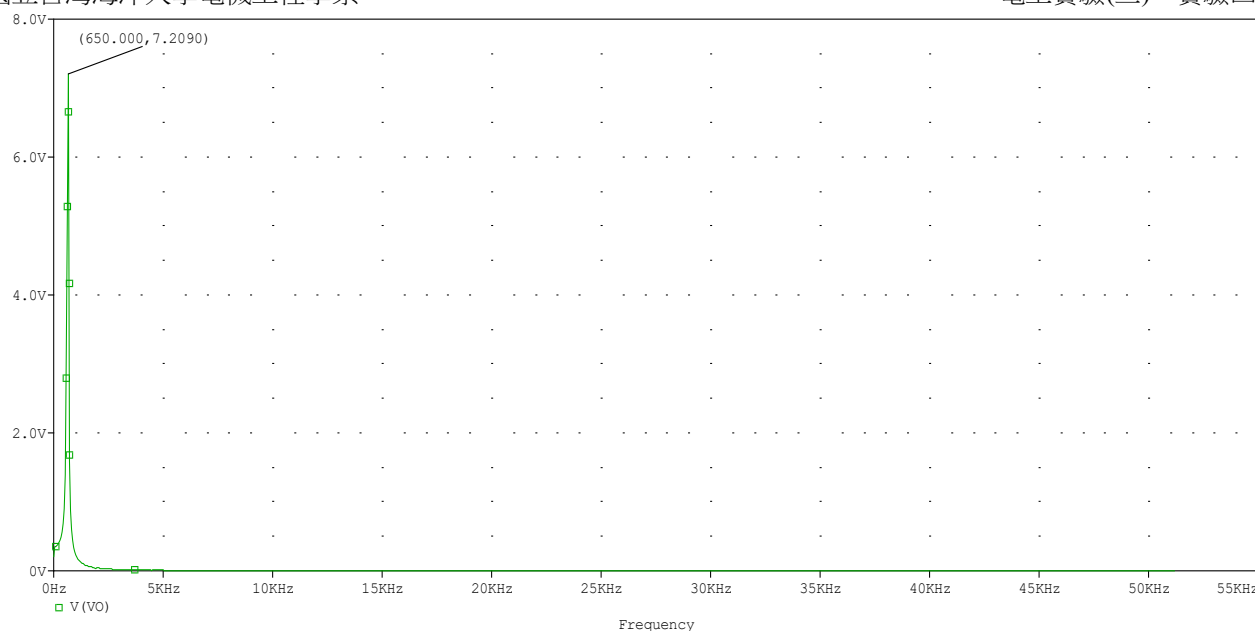
b. 振盪頻率 = 650Hz。



圖(十三)：相位領先型 RC 相移振盪器模擬電路圖(電壓回授型)



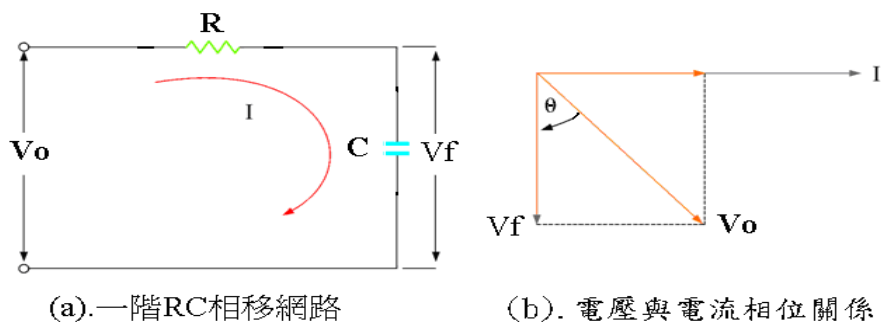
圖(十四)：移相振盪器電路模擬輸出(time-domain) (電壓回授型)



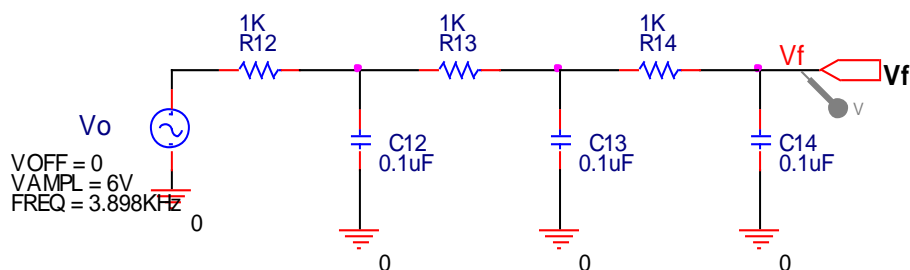
圖(十五)：移相振盪器電路模擬輸出(FFT) (電壓回授型)

### 3. 相位落後型 RC 相移振盪器

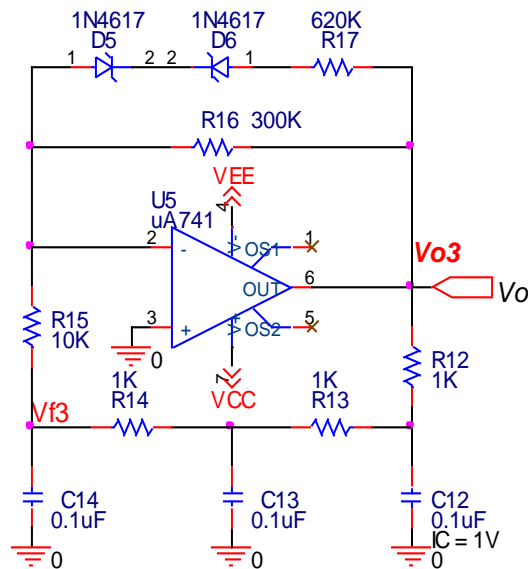
圖(十六)為一階的 RC 相移網路，其輸入電壓  $V_o$  與輸出電壓  $V_f$  間的相位差  $\theta$  小於  $90^\circ$  度，因此要使用 RC 網路相移  $180^\circ$  度至少需使用三階 RC 電路，如圖(十七)所示。圖(十六) $V_f$  的相位落後  $V_o$ ，因此稱為“相位落後型 RC 相移網路”。有關相位落後型 RC 相移振盪器電路模擬及 RC 網路分析可參閱前述說明。



圖(十六)：相位落後型 RC 相移網路



圖(十七)：相位落後型 RC 網路



圖(十八)：相位落後相移振盪器

圖(十八)是由運算放大器組成的相位落後相移振盪器。由於反相放大器的“ $-$ ”輸入端為虛接地，與地同電位，故反相放大器的輸入端電阻  $R15$  會與最後一級  $RC$  相移網路的  $C$  並聯。經網目分析法，可得振盪頻率會等於

$f_o = \frac{\sqrt{6}}{2\pi RC}$ ，其中  $R12=R13=R14=R$ ， $C12=C13=C14=C$ ，其衰減倍率為

$\frac{Vf3}{Vo3} = -\frac{1}{29}$ ，故只要反相放大器電壓增益大於 29 倍，就可以產生振盪。

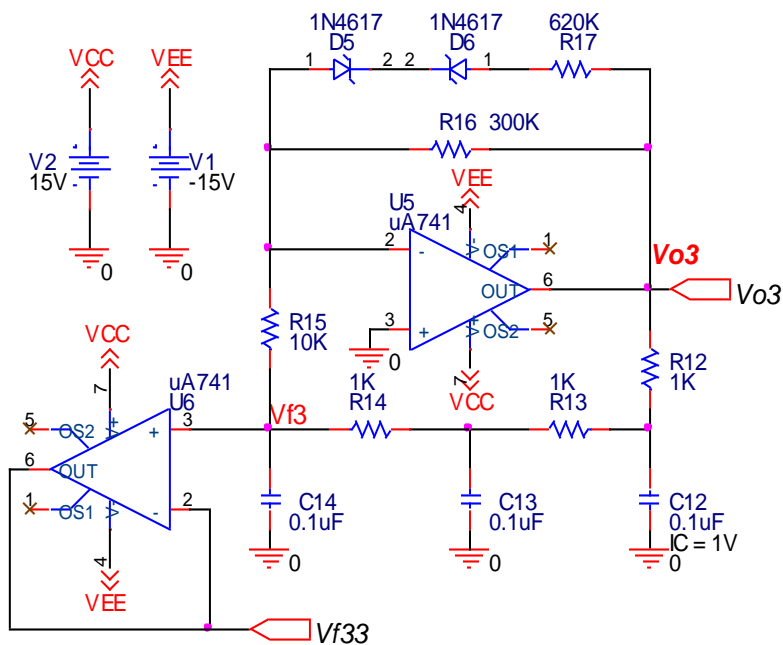
其中  $D5$ 、 $D6$  及  $R17=620K\Omega$  為波幅限制器電路。有關波幅限制器電路相關說明，可參閱電路圖(十二)：相位領先型  $RC$  相移振盪器(電壓回授型)之說明。

### 3-1.移相振盪器電路模擬結果(相位落後型)

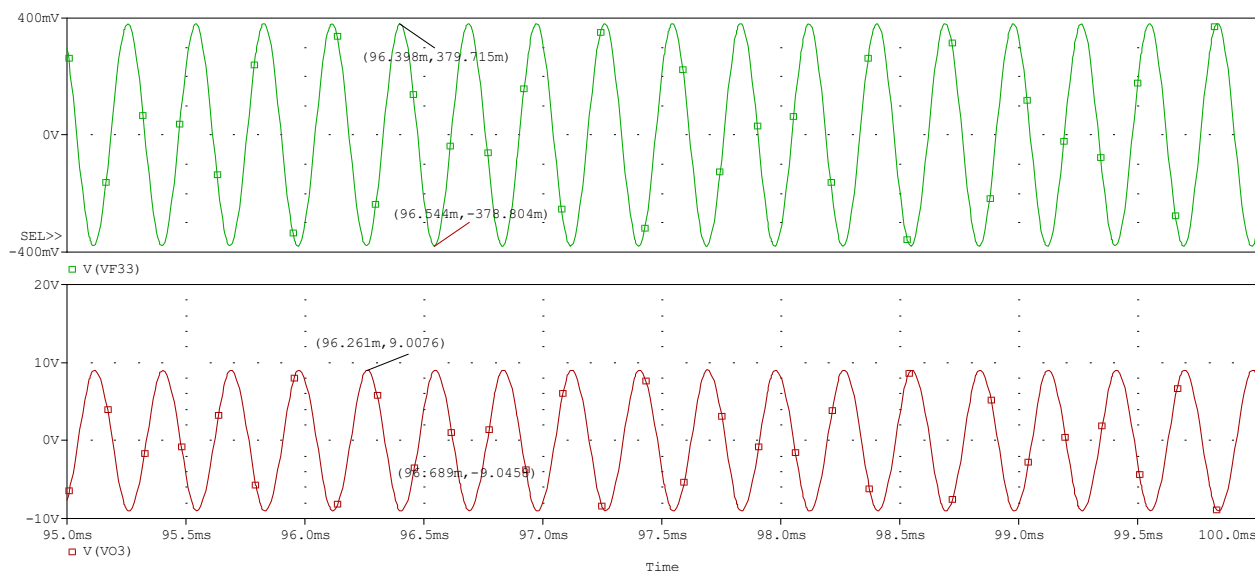
a.  $Vo3$ 與 $Vf3$ 之電壓關係：

$Vo3(V_{p-p}) = 18.0534(V)$ ,  $Vf3(V_{p-p}) = 0.7585(V)$ ，反相放大器增益 = -23.8。

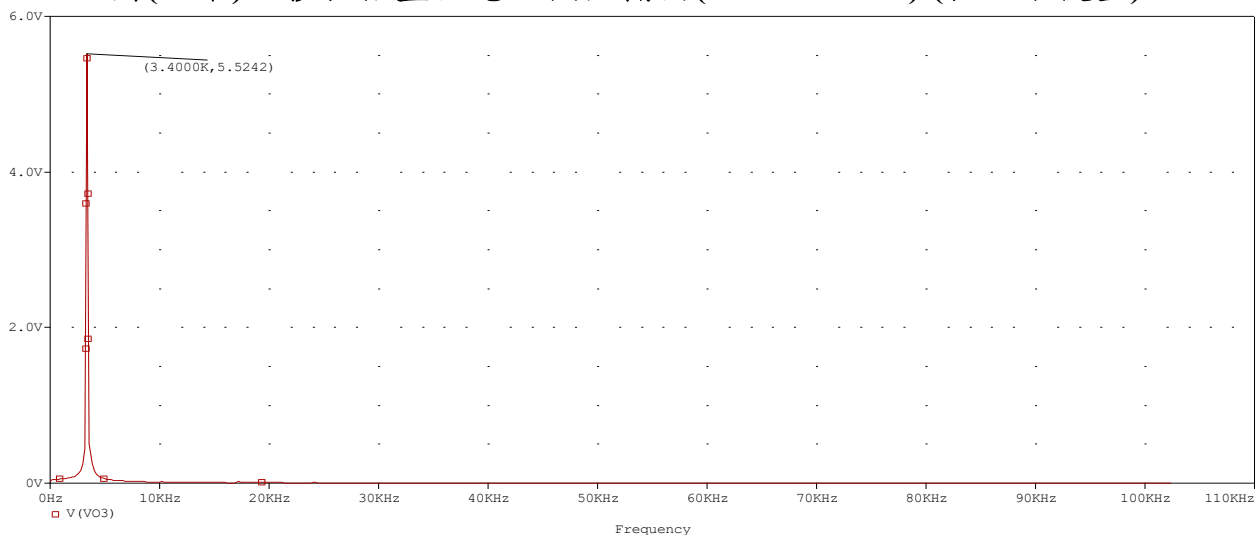
b. 振盪頻率 = 3.4KHz。



圖(十九)：相位落後型 RC 相移振盪器模擬電路圖



圖(二十)：移相振盪器電路模擬輸出(time-domain) (相位落後型)



圖(二十一)：移相振盪器電路模擬輸出(FFT) (相位落後型)

## 五、實驗注意事項

1. 測量電壓及電阻時，請設定為 4 位半顯示測量值。
2. 下列各實驗步驟所需擷取之輸出波形圖，應使用示波器的測量功能，測量出頻率值及峰-峰值( $V_{p-p}$ )，若未顯示上述之測量結果，則需重新擷取波形。
3. 依實驗要求計算、設計電阻值之後，在實作時該如何選擇 5%標準碳膜電阻與可變電阻呢？



圖(二十二)：可變電阻之選擇

### ◎說明如下所示：

假設計算得到  $R=3.215\text{K}\Omega$ ，您不可以拿  $3\text{K}\Omega$  碳膜電阻與可變電阻  $2\text{K}\Omega$  來使用，您的電阻調整範圍為  $3\text{K}\Omega\sim5\text{K}\Omega$ ，這樣與計算值比較，無法達到有效的數值調整，可以使用下列計算方式來取得適當的數值。

$$R2 = \text{電阻計算 } R - \text{可變電阻的一半} = 3.215\text{K}\Omega - \frac{VR \ 2\text{K}\Omega}{2} = 2.215\text{K}\Omega，選$$

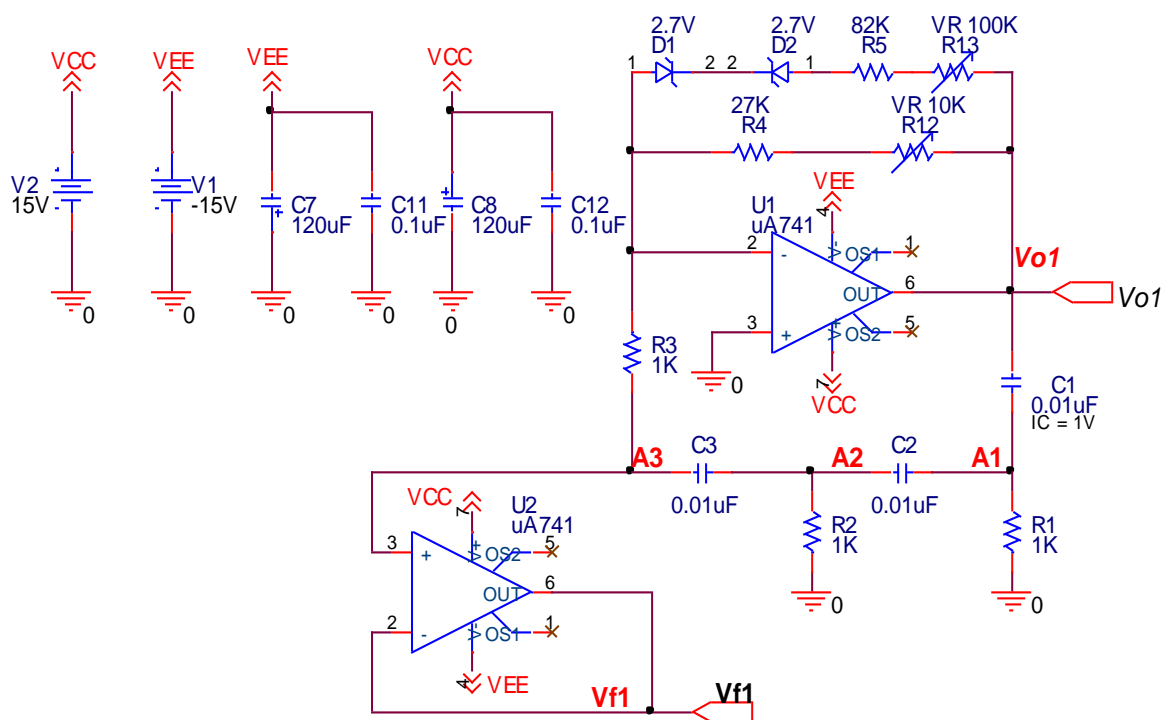
用  $R2=2.2\text{K}\Omega$ ， $R1=2\text{K}$ 。這樣您的電阻調整範圍為  $2.2\text{K}\Omega\sim4.2\text{K}\Omega$ ，其計算值  $R$  會落在調整範圍的一半值上，如此，可以達到最佳的數值調整。

### ◎實驗報告中有加上電路模擬項目，請參閱電路說明。

## 六、實驗項目與實驗步驟

### ■實驗實作電路(一)、相位領先型 RC 相移振盪器(電流回授型)

1. 請先使用萬用電表測量電阻值  $R1 \sim R3$ ，使用 RLC Meter 測量電容值  $C1 \sim C3$ ，然後取電阻值及電容值的平均值，代入振盪頻率值之計算公式，計算頻率值，填入表格(3-1)內。
2. 接好圖(3-1)：實驗電路圖(1)之電路，其中  $D1$ 、 $D2$ 、 $R5$  及  $R13$  等元件暫且不要接線。
3. 接上雙電源 $\pm 15V$ 。以示波器觀測節點[Vo1]訊號，適當調整可變電阻  $R12$ ，使得電路振盪，在調整的過程中，您會發現由於控制太靈敏以致於非常難以控制輸出峰-峰值( $V_{p-p}$ )，這是因為調整可變電阻  $R12$  是來改變反相放大器的電壓增益。記錄正弦波之週期、頻率及電壓( $V_{p-p}$ )，完成表格(3-2)內容。
4. 為了可以得到穩定的輸出振幅，將波幅限制器電路加到上述電路中，即接妥好  $D1$ 、 $D2$ 、 $R5$  及  $R13$  等元件。
5. 調整可變電阻  $R12$  及  $R13$ ，以示波器觀測節點[Vo1]訊號，輸出應為最大無失真正弦波波形。
6. 測量下列節點波形，擷取下列表格(3-2)中各節點的波形。使用示波器測量各相對節點波形，需顯示相角差及峰-峰值( $V_{p-p}$ )，並完成表格(3-2)內容。
7. 室溫下穩定度測試，了解溫度對振盪電路影響。測試節點[Vo1]，將電路置於實驗桌面，記錄振盪頻率值，記錄測試時間，經 30 分鐘後，再次記錄振盪頻率值，完成表格(3-3)內容，擷取測試前、後之波形。



圖(3-1)：實驗電路圖(1)

表(3-1)：測量元件值及計算振盪頻率值

電阻值	電容值	計算振盪頻率值
R1=	C1=	
R2=	C2=	
R3=	C3=	
電阻平均值 =	電容平均值 =	

■擷取下列各實驗波形圖：

- 節點[Vo1] 波形(實驗步驟 3.)--未接上 D1、D2。
- 節點[Vo1] 波形(實驗步驟 6.)--接上 D1、D2。
- 節點[Vo1, A1] 波形(實驗步驟 6.) --接上 D1、D2。
- 節點[Vo1, A2] 波形 (實驗步驟 6.) --接上 D1、D2。
- 節點[Vo1, Vf1] 波形(實驗步驟 6.) --接上 D1、D2。



表(3-2)：測量數據與測量波形

各相對節點	觀 測 結 果
節點[Vo1] (實驗步驟 3.)	①.輸出振盪頻率=_____Hz。 ②.波形峰-峰值( $V_{p-p}$ )=_____。
節點[Vo1] (實驗步驟 6.)	①.輸出振盪頻率=_____Hz。 ②.波形峰-峰值( $V_{p-p}$ )=_____。
節點[Vo1, A1] (實驗步驟 6.)	①.測量相角差 $\Delta\theta$ =_____。 ②.節點[A1] 波形峰-峰值( $V_{p-p}$ )=_____。 ③.電壓比率 = $\frac{Vo1}{VA1}$ =_____。
節點[Vo1, A2] (實驗步驟 6.)	①.測量相角差 $\Delta\theta$ =_____。 ②.節點[A2] 波形峰-峰值( $V_{p-p}$ )=_____。 ③.電壓比率 = $\frac{Vo1}{VA2}$ =_____。
節點[Vo1, Vf1] (實驗步驟 6.)	①.測量相角差 $\Delta\theta$ =_____。 ②.節點[Vf1] 波形峰-峰值( $V_{p-p}$ )=_____。 ③.電壓比率 = $\frac{Vo1}{Vf1}$ =_____。

◎室溫下穩定度測試：

■擷取下列各實驗波形圖：

a.節點[Vo1] (測試前頻率

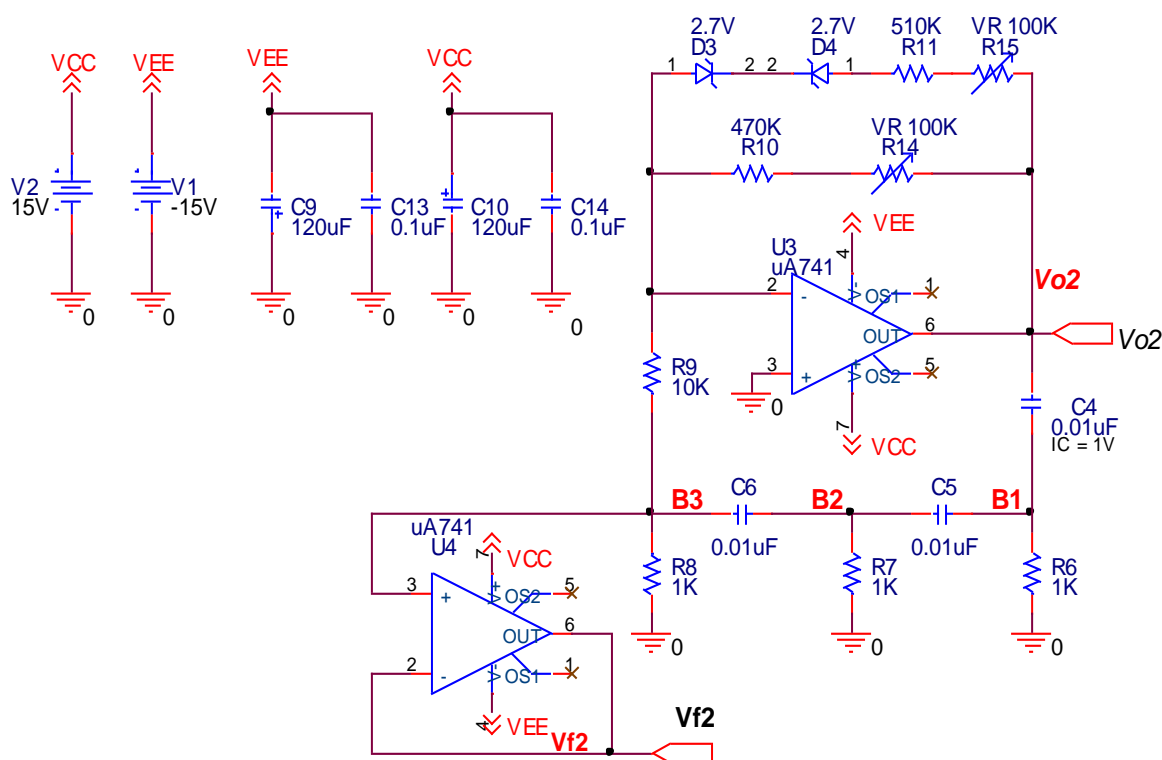
b.節點[Vo1] (頻率變化值)

表(3-3)：溫度測試(實驗步驟 7.)

	頻 率 值	測試時間
測試前頻率		年    月    日 時    分
溫度測試(30 分鐘) 頻率變化值		年    月    日 時    分

## ■實驗實作電路(二)：相位領先型 RC 相移振盪器(電壓回授型)

8. 請先使用萬用電表測量電阻值  $R6 \sim R8$ ，使用 RLC Meter 測量電容值  $C4 \sim C6$ ，然後取電阻值及電容值的平均值，代入振盪頻率值之計算公式，計算頻率值，填入表格(3-4)內。
9. 接好圖(3-2)：實驗電路圖(2)之電路，其中  $D3$ 、 $D4$ 、 $R11$  及  $R15$  等元件暫且不要接線。



圖(3-2)：實驗電路圖(2)

10. 接上雙電源 $\pm 15V$ 。以示波器觀測節點[Vo2]訊號，適當調整可變電阻  $R14$ ，使得電路振盪，在調整的過程中，您會發現由於控制太靈敏以致於非常難以控制輸出峰-峰值( $V_{p-p}$ )，這是因為調整可變電阻  $R14$  是來改變反相放大器的電壓增益。記錄正弦波之週期、頻率及電壓( $V_{p-p}$ )，完成表格(3-5)內容。
11. 為了可以得到穩定的輸出振幅，將波幅限制器電路加到上述電路中，即接妥好  $D3$ 、 $D4$ 、 $R11$  及  $R15$  等元件。
12. 調整可變電阻  $R14$  及  $R15$ ，以示波器觀測節點[Vo2]訊號，輸出應為最大無失真正弦波波形。
13. 測量下列節點波形，印出下列表格(3-5)中各節點的波形。使用示波器測量各相對節點波形，需顯示相角差及峰-峰值( $V_{p-p}$ )，並完成表格(3-6)內容。

14.室溫下穩定度測試，了解溫度對振盪電路影響。測試節點[Vo2]，將電路置於實驗桌面，記錄振盪頻率值，記錄測試時間，經 30 分鐘後，再次記錄振盪頻率值，完成表格(3-6)內容。

表(3-4)：測量元件值及計算振盪頻率值

電阻值	電容值	計算振盪頻率值
R6=	C4=	
R7=	C5=	
R8=	C6=	
電阻平均值 =	電容平均值 =	

■擷取下列各實驗波形圖：

- 節點[Vo2] 波形(實驗步驟 10.) --未接上 D3、D4。
- 節點[Vo2] 波形(實驗步驟 13.) --接上 D3、D4。
- 節點[Vo2, B1] 波形(實驗步驟 13.) --接上 D3、D4。
- 節點[Vo2, B2] 波形(實驗步驟 13.) --接上 D3、D4。
- 節點[Vo2, Vf2] 波形(實驗步驟 13.) --接上 D3、D4。

表(3-5)：測量數據與測量波形

各相對節點	觀 測 結 果
節點[Vo2] (實驗步驟 10.)	①.輸出振盪頻率=_____Hz。 ②.波形峰-峰值( $V_{p-p}$ )=_____。
節點[Vo2] (實驗步驟 13.)	①.輸出振盪頻率=_____Hz。 ②.波形峰-峰值( $V_{p-p}$ )=_____。
節點[Vo2, B1] (實驗步驟 13.)	①.測量相角差 $\Delta\theta$ =_____。 ②.節點[B1]波形峰-峰值( $V_{p-p}$ )=_____。 ③.電壓比率 = $\frac{Vo2}{VB1}$ =_____。

各相對節點	觀 測 結 果
節點[Vo2, B2] (實驗步驟 13.)	①.測量相角差 $\Delta\theta =$ _____。 ②.節點[B2]波形峰-峰值( $V_{P-P}$ )= _____。 ③.電壓比率 $= \frac{Vo2}{VB2} =$ _____。
節點[Vo2, Vf2] (實驗步驟 13.)	①.測量相角差 $\Delta\theta =$ _____。 ②.節點[Vf2]波形峰-峰值( $V_{P-P}$ )= _____。 ③.電壓比率 $= \frac{Vo2}{Vf2} =$ _____。

◎室溫下穩定度測試：

■擷取下列各實驗波形圖：

a.節點[Vo2] (測試前頻率)

b.節點[Vo2] (頻率變化值)

表(3-6)：溫度測試(實驗步驟 14.)

	頻 率 值	測 試 時 間
測試前頻率		年      月      日 時      分
溫度測試(30 分鐘) 頻率變化值		年      月      日 時      分

七、實驗問題與討論

■實驗實作電路(一)：

1. 請說明可變電阻 R12 在相移振盪器電路的作用？
2. 就步驟[3]及步驟[6] 實驗結果，請說明各節點[Vo1]、[A1]、[A2]及[Vf1]之間的相位關係有何種關係式存在。
3. 就步驟[3]及步驟[6] 實驗結果，請說明各節點[Vo1]、[A1]、[A2]及[Vf1]之間的電壓比率有何種關係式存在。
4. 在調整可變電阻 R13 時，請記錄下輸出波形變化的情形。
5. 請問可變電阻 R13 對相移振盪器電路有何作用？
6. 就步驟[7]實驗結果，請您分析一下，電路元件對頻率漂移特性之影響。

## ■實驗實作電路(二)：

7. 請說明可變電阻 R14 在相移振盪器電路的作用？
8. 就步驟[10]及步驟[13] 實驗結果，請說明各節點[V<sub>o2</sub>]、[B1]、[B2]及[V<sub>f2</sub>]之間的相位關係有何種關係式存在。
9. 就步驟[10]及步驟[13] 實驗結果，請說明各節點[V<sub>o2</sub>]、[B1]、[B2]及[V<sub>f2</sub>]之間的電壓比率有何種關係式存在。
- 10.在調整可變電阻 R15 時，請記錄下輸出波形變化的情形。
- 11.請問可變電阻 R15 對相移振盪器電路有何作用？
- 12.就步驟[14]實驗結果，請您分析一下，電路元件對頻率漂移特性之影響。

## 八、撰寫實驗結論與心得

## 九、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。

## 十、附上實驗進度紀錄單(照片檔)及麵包板電路圖組裝圖檔(照片檔)

## 十一、參考資料來源

- [1].SEDRA & SMITH ，“MICROELECTRONIC CIRCUITS”，Copyright by Oxford University Press,Inc, sixth edition 2010,P.1040～P.1050.
- [2].“電子元件與電路理論”，張順雄、張忠誠、李榮乾編譯，東華書局出版,第三版,1999 ,P.1008～P.1012.