



CH12 運算放大器振盪電路及濾波器

實習手冊解答

12-1 電阻電容振盪電路



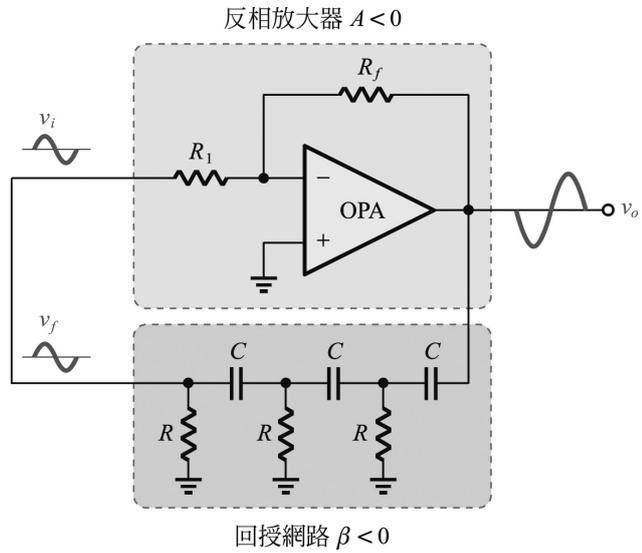
實習知識

1. 振盪 (oscillation) 是指電壓或電流能在一個特定的網路內，連續產生一種具有週期性的波形變化。
2. 振盪器 (oscillator) 是指一種電路不需外加任何信號源，只需加上直流電壓源，便能輸出各種波形、頻率的交流信號。
3. 回授放大器的閉迴路增益 $A_f = \frac{A}{1-\beta A}$ 。
4. 當 $|1-\beta A| > 1$ 時，使得 $|A_f| < |A|$ ，回授放大器的閉迴路增益下降，稱之為負回授。
當 $|1-\beta A| < 1$ 時，使得 $|A_f| > |A|$ ，回授放大器的閉迴路增益增加，稱之為正回授。
5. 巴克豪森準則(Barkhausen criterion)為 $\beta A = \underline{1\angle 0^\circ}$ 。
6. RC 相移振盪器是由一個反相放大器，配合另一個具有 180° 相移的回授網路，將輸入信號作 360° 的相移以產生振盪，而回授網路一般至少使用三節 RC 網路來完成 180° 的相移。

7. 如圖 12-4，相位超前型 RC 相移振盪器：

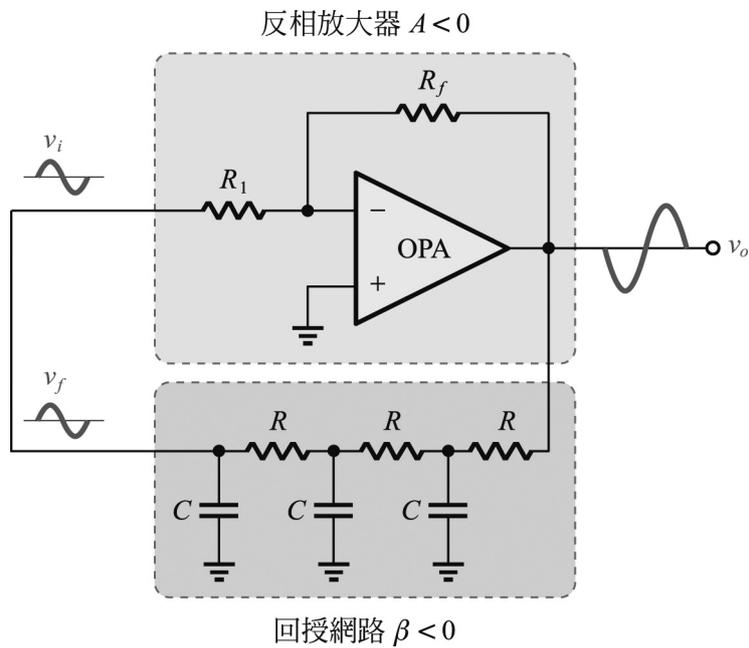
盪器：

- (1) 振盪頻率 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$
- (2) 回授因數 $\beta = -\frac{1}{29}$
- (3) 電壓增益 $A = -29$ 。



▲圖 12-4 OPA 組成的相位超前型 RC 相移振盪器

8. 如圖 12-6，相位落後型 RC 相移振盪器的振盪頻率 $f = \frac{\sqrt{6}}{2\pi RC}$ 。



▲圖 12-6 OPA 組成的相位落後型 RC 相移振盪器



實習項目

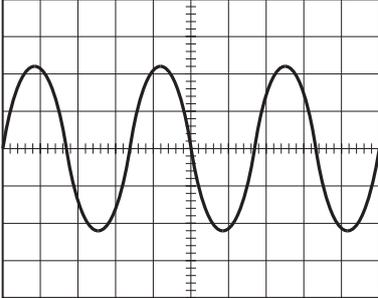
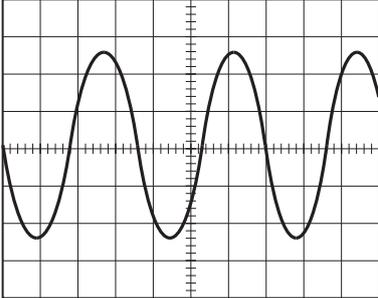
工作一 RC 相移振盪器

動手做－實體電路紮根學習(完整實習步驟詳課本 P202~P205)

STEP
3

利用示波器雙軌跡的 CH1 測量輸入信號 v_i (即回授信號 v_f)，CH2 測量輸出信號 v_o ，並調整可變電阻器 VR ，使輸出波形為最大且不失真之正弦波，並將 v_i 與 v_o 的波形、振幅記錄於表 12-2 中。

▼表 12-2 RC 相移振盪器 v_i 與 v_o 的波形、振幅

$v_i = v_f$		垂直振幅旋鈕 VOLTS/DIV	0.2V
		峰對峰值電壓 V_{p-p}	0.9V
		水平時間旋鈕 TIME/DIV	0.1ms
		週期 T	0.34ms
		頻率 F	2.9kHz
v_o		垂直振幅旋鈕 VOLTS/DIV	5V
		峰對峰值電壓 V_{p-p}	26V
		水平時間旋鈕 TIME/DIV	0.1ms
		週期 T	0.34ms
		頻率 f	2.9kHz

STEP
4

依表 12-2 所測量的 v_i (即 v_f) 與 v_o 波形，將電路的振盪頻率 f 、電壓增益 A 與回授因數 β ，記錄於表 12-3 測量值中。

▼表 12-3 RC 相移振盪器振盪頻率 f 、電壓增益 A 與回授因數 β 的測量值與理論值

項目	振盪頻率 f	電壓增益 A	回授因數 β
測量值	$f = \underline{2.9\text{kHz}}$	$A = \frac{v_{o(p-p)}}{v_{i(p-p)}} = \underline{-28.9}$	$\beta = \frac{v_{f(p-p)}}{v_{o(p-p)}} = \underline{-\frac{1}{28.9}}$
理論值	$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}} = \underline{2.95\text{kHz}}$	$A = -\frac{VR}{R} = \underline{-29}$	$\beta = \frac{1}{A} = \underline{-\frac{1}{29}}$

STEP
5

依回授網路中電阻器 R 與電容器 C 的數值，計算電路振盪頻率 f 的理論值。將電源供應器電源關閉，並拆掉可變電阻 VR 的其中一個接腳，以三用電表的 Ω 檔測量可變電阻 VR 的電阻值 = 66k Ω ，計算反相放大器的電壓增益 A 與回授因素 β ，並記錄於表 12-3 理論值中，同時比較兩者之間的差異。

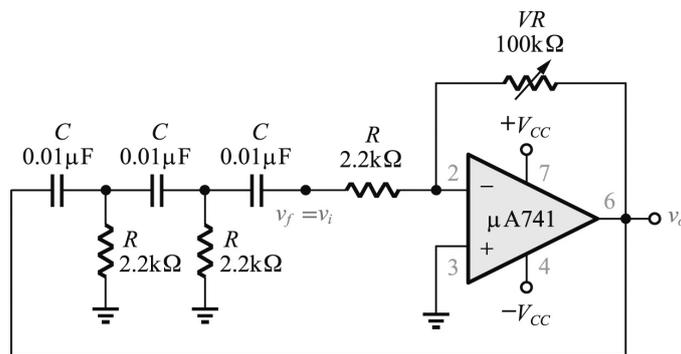
STEP
6

若將可變電阻 VR 電阻值調大，觀察 v_o 波形有何變化？變大 (變大或變小)，此時振盪器是屬於 增幅振盪 (增幅振盪或減幅振盪)。反之，若將可變電阻 VR 電阻值調小，觀察 v_o 波形有何變化？變小 (變大或變小)，此時振盪器是屬於 減幅振盪 (增幅振盪或減幅振盪)。



問題與討論

一、請問圖 12-7(a) RC 相移振盪器中的回授網路是相位領先還是相位落後？



(a) 電路圖

▲圖 12-7 RC 相移振盪器

解 回授網路是相位領先

二、相位領先型 RC 相移振盪器的振盪頻率 f 、回授因數 β 與電壓增益 A 為何？

解 相位超前型 RC 相移振盪器的振盪頻率 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}}$ ，回授因數 $\beta = -\frac{1}{29}$ ，
電壓增益 $A = -29$ 。

12-2 韋恩電橋振盪電路



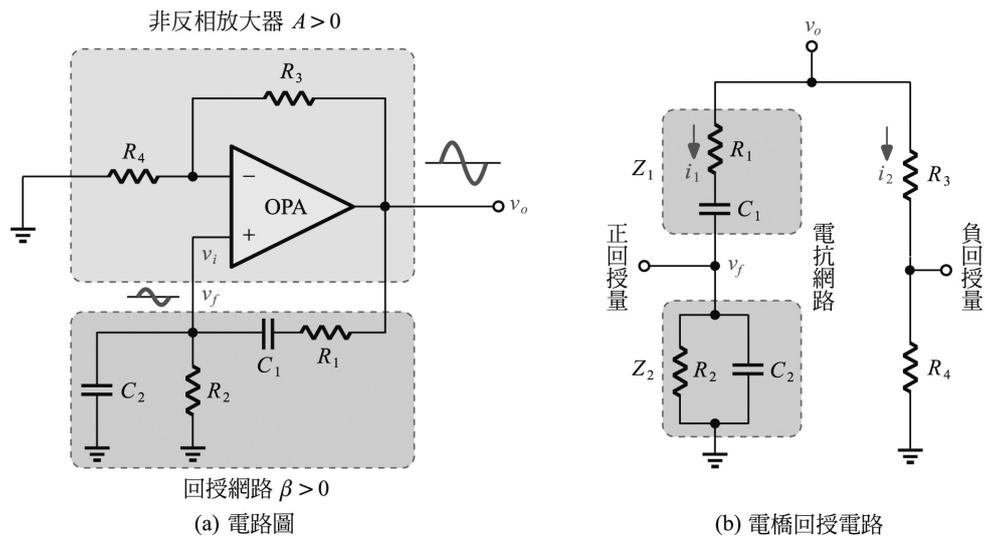
實習知識

1. 韋恩電橋振盪器是由一個非反相放大器，配合另一個具有 0° 相移的電橋型式回授網路，將輸入信號作 0° 的相移以產生振盪。
2. 如圖 12-10，韋恩電橋振盪器由 R_1 、 C_1 、 R_2 、 C_2 組成正回授電路，以決定振盪器的振盪頻率。
3. 如圖 12-10，由 R_3 、 R_4 組成負回授電路，以決定振盪器的電路增益與穩定輸出信號的振幅。
4. 如圖 12-10，韋恩電橋振盪器：

(1) 振盪頻率 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_2C_1C_2}}$

(3) 電壓增益 $A = 1 + \frac{R_3}{R_4}$ 。

(2) 回授因數 $\beta = \frac{1}{A}$



▲圖 12-10 OPA 組成的韋恩電橋振盪器



實習項目

工作一 韋恩電橋振盪器

動手做－實體電路紮根學習(完整實習步驟詳課本 P211~P213)

STEP
3

利用示波器雙軌跡的 CH1 測量輸入信號 v_i (即回授信號 v_f)，CH2 測量輸出信號 v_o ，並調整可變電阻器 VR ，使輸出波形為最大且不失真之正弦波，並將 v_i 與 v_o 的波形、振幅記錄於表 12-4 中。

▼表 12-4 韋恩電橋振盪器 v_i 與 v_o 的波形、振幅

$v_i = v_f$		垂直振幅旋鈕 VOLTS/DIV	2V
		峰對峰值電壓 V_{p-p}	7.7V
		水平時間旋鈕 TIME/DIV	0.2ms
		週期 T	0.63ms
		頻率 f	1.58kHz
v_o		垂直振幅旋鈕 VOLTS/DIV	5V
		峰對峰值電壓 V_{p-p}	23V
		水平時間旋鈕 TIME/DIV	0.2ms
		週期 T	0.63ms
		頻率 f	1.58kHz

STEP
4

依表 12-4 所測量的 v_i (即 v_f) 與 v_o 的波形，將電路的振盪頻率 f 、電壓增益 A 與回授因數 β ，記錄於表 12-5 測量值中。

▼表 12-5 韋恩電橋振盪器振盪頻率 f 、電壓增益 A 與回授因數 β 的測量值與理論值

項目	振盪頻率 f	電壓增益 A	回授因數 β
測量值	$f = \underline{1.58\text{kHz}}$	$A = \frac{v_{o(p-p)}}{v_{i(p-p)}} = \underline{2.98}$	$\beta = \frac{v_{f(p-p)}}{v_{o(p-p)}} = \underline{\frac{1}{2.98}}$
理論值	$f = \frac{1}{2\pi RC} = \underline{1.59\text{kHz}}$	$A = 1 + \frac{VR}{R_1} = \underline{3}$	$\beta = \frac{1}{A} = \underline{\frac{1}{3}}$

STEP
5

依據回授網路中電阻器 R 與電容器 C 的數值，計算電路振盪頻率 f 的理論值。將電源供應器電源關閉，並拆掉可變電阻 VR 的其中一個接腳，以三用電表的 Ω 檔測量可變電阻 VR 的電阻值 = 4.45k Ω ，計算非反相放大器的電壓增益 A 與回授因素 β ，並記錄於表 12-5 理論值中，同時比較兩者之間的差異。

STEP
6

若將可變電阻 VR 電阻值調大，觀察 v_o 波形有何變化？變大 (變大或變小)，此時振盪器是屬於 增幅振盪 (增幅振盪或減幅振盪)。反之，若將可變電阻 VR 電阻值調小，觀察 v_o 波形有何變化？變小 (變大或變小)，此時振盪器是屬於 減幅振盪 (增幅振盪或減幅振盪)。



問題與討論

一、韋恩電橋振盪器的電橋回授電路平衡條件為何？

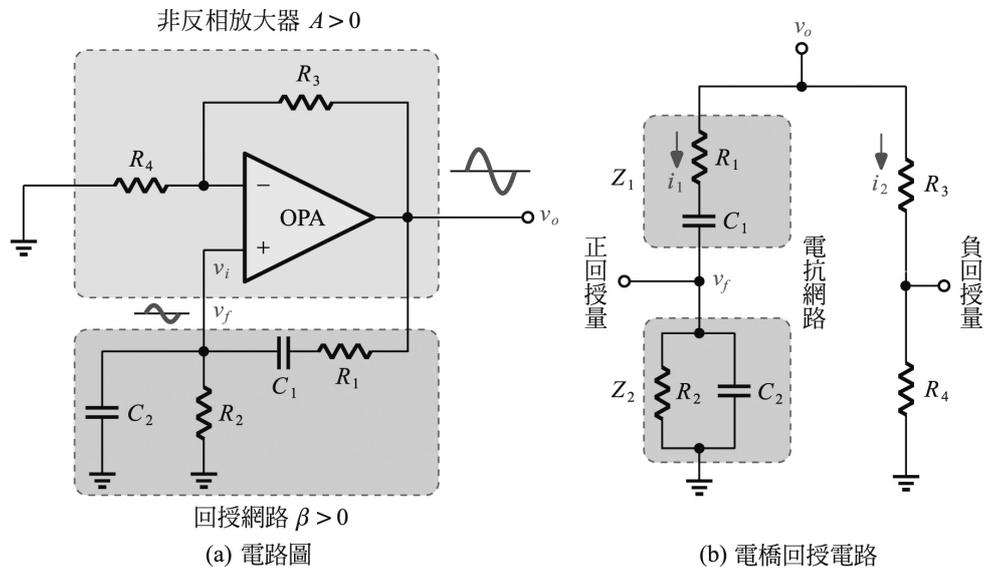
解 當電橋回授電路平衡時，正回授量等於負回授量，電路產生振盪。

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{C_2}{C_1} + \frac{R_1}{R_2}$$

二、韋恩電橋振盪器的振盪頻率 f 、回授因數 β 與電壓增益 A 為何？

解 韋恩電橋振盪器的振盪頻率 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$ ，回授因數 $\beta = \frac{1}{A}$ ，

$$\text{電壓增益 } A = 1 + \frac{R_3}{R_4}。$$



12-3 石英晶體振盪電路



實習知識

1. 一般高頻振盪電路是利用 電容器 與 電感器 並聯後的儲能作用來產生振盪，而其振盪頻率是由電容器與電感器所組成的諧振電路來決定，所以又稱為 LC 振盪器。
2. 一般常見的高頻振盪器有 阿姆斯特壯 振盪器、哈特萊 振盪器、考畢子 振盪器與 石英晶體 振盪器。
3. 在許多電路中均使用晶體來擔任振盪器的工作，所以我們通稱為 晶體 振盪器。
4. 當對晶體施加電壓時，則晶體的表面會發生變形而產生機械應力，即將電能轉變為機械能，我們就稱此種效應為 壓電效應 (piezoelectric effect)。
5. 由於石英晶體的材質硬度高、靈敏度佳、操作電壓低、機械結構堅固耐用以及品質因數 Q 可以高達 10^6 的優異特性，使得大多數的晶體振盪器皆採用石英晶體作為材質，以獲得穩定且精確的振盪頻率。



實習項目

工作一 石英晶體振盪器

動手做－實體電路紮根學習(完整實習步驟詳課本 P222~P223)

STEP
3

利用示波器的 CH1 測量輸出信號 v_o ，並且將輸出信號 v_o 的波形與振幅記錄於表 12-9 中。

▼表 12-9 石英晶體振盪器 v_o 的波形與振幅

v_o		垂直振幅旋鈕 VOLTS/DIV	1V
		峰對峰值電壓 V_{p-p}	5V
		水平時間旋鈕 TIME/DIV	100ns
		週期 T	284ns
		頻率 f	3.52MHz

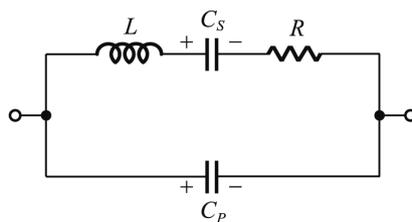


問題與討論

一、請說明石英晶體的結構與特性為何？

解 1. 結構：

晶體是指一些大自然的結晶材料，例如石英(quartz)、電氣石(tourmaline)或人造晶體等。石英晶體的等效電路如下圖所示，其中 R 為等效電阻， C_s 為等效電容，而 L 則為等效電感，而 C_p 為電極間的靜電容量。



2. 特性：

當對晶體的表面施加機械應力時，在晶體的兩對應面間會產生電位差，即將機械能轉變為電能；相反地，當對晶體施加電壓時，則晶體的表面會發生變形而產生機械應力，即將電能轉變為機械能，我們就稱此種效應為壓電效應(piezoelectric effect)。我們對晶體施加一個交流電壓時，則晶體會產生振盪，而振盪的頻率是由晶體的幾何形狀與尺寸大小來決定。

二、請說明石英晶體振盪器的優點為何？

解 石英晶體的材質硬度高、靈敏度佳、操作電壓低、機械結構堅固耐用以及品質因數 Q 可以高達 10^6 的優異特性。

12-4 施密特觸發器



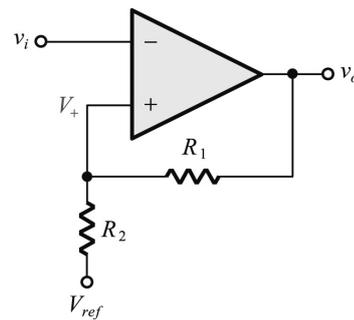
實習知識

1. 多諧振盪器根據電路結構可以區分為三種類型，即 無穩態多諧振盪器 (astable multivibrator)、單穩態多諧振盪器 (monostable multivibrator) 與 雙穩態多諧振盪器 (bistable multivibrator)。
2. 施密特觸發器 (Schmitt trigger) 是一種雙穩態多諧振盪器，依據電路架構可分為反相施密特觸發器與非反相施密特觸發器兩種。
3. 如圖 12-20，反相施密特觸發器：

$$(1) \text{ 上限電壓 } V_U = \frac{V_{ref} \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_{sat} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}}{1}$$

$$(2) \text{ 下限電壓 } V_D = \frac{V_{ref} \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} - V_{sat} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}}{1}$$

$$(3) \text{ 遲滯電壓 } V_H = \frac{2V_{sat} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}}{1} \circ$$



▲圖 12-20 反相施密特觸發器