

表二、高職數位教材發展與推廣計畫－電子學科單元教案設計表

單元編號	11-1-2	單元名稱	RC 相移振盪電路		
對應之課綱	正弦波產生電路			預計本單元總教學時間	50 分鐘
單元內容簡介	1. 以交流串聯 RC 電路說明各元件的電壓相位關係。 2. RC 相移振盪電路的條件及振盪頻率的推導。 3. RC 相移振盪電路的類型。				
具體學習目標 (例如:能說出、能寫出、能列舉、能運用)	1. 瞭解 RC 相移的種類。 2. 瞭解 RC 振盪電路必須滿足巴克豪生準則及振盪頻率的推導。 3. 熟悉 OPA 型、FET 型及 BJT 型的 RC 相移振盪電路。				
教學實施方式說明欄	教學總時間	元件			元件內容說明 (教學實施方式共需包含 8~9 個元件)
		編號	類型	時間	
準備活動 引起動機 (簡報及互動式動畫操作) 11-1-2-1 以交流串聯 RC 電路說明各元件的電壓相位關係。(內文如下) 1.如圖 1 所示，在交流串聯 RC 電路中，由歐姆定律求得各元件的電壓降分別為： 電阻的電壓降 $V_R = I \times R \angle 0^\circ$ ，電容抗的電壓降 $V_C = I \times (-jX_C) = I \times X_C \angle -90^\circ$ 	5 分鐘	11-1-2-1a (交流串聯 RC 電路的電壓相位關係_簡報式) (11-1-2-1)	動態簡報	15 秒	1. 以簡報方式說明交流串聯 RC 電路的各元件對電壓降及相位關係。簡報內容如教學實施說明的 11-1-2-1。
		11-1-2-1b (交流串聯 RC 電路電壓相	互動式動畫	1 分鐘	2. 以互動式動畫方式製作元件 11-1-2-1b，讓同學或老師輸入信號的頻率值、電容值及電阻值，即顯示電容抗、相位差、電阻的電壓降、電容的電壓降及各電壓的相位關係圖。若按下「重新輸入」時，先清除所有資料。

圖 1 交流串聯 RC 電路

各電壓的相位關係如圖 2 所示，以電阻為輸出端時，輸出電壓 V_o 會超前輸入電壓 V_i 相位差為 θ 角，而且 $0 < \theta < 90^\circ$ 。

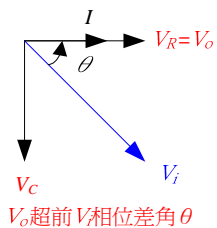


圖 2 各電壓的相位關係

$$\text{因 } \tan \theta = \frac{V_C}{V_o} = \frac{IX_C}{IR} = \frac{X_C}{R} \Rightarrow \theta = \tan^{-1} \left(\frac{X_C}{R} \right)$$

$$\text{將電容抗 } X_C = \frac{1}{2\pi fC} \text{ 代入，則相位差 } \theta = \tan^{-1} \left(\frac{1}{2\pi RfC} \right)$$

故相位差的角度隨電阻 R 及電容 C 的元件大小而改變。

2. 如圖 3 所示電路，將 R 及 C 對調，以電容器作為輸出端時，則輸出電壓 V_o 會滯後輸入電壓 V_i ，如圖 4 所示。

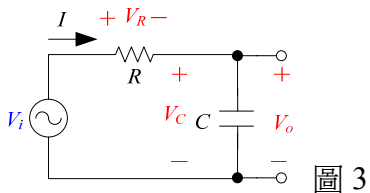


圖 3

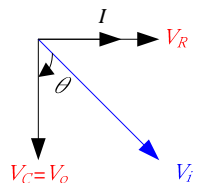


圖 4

位關係-1_ 互動式) (11-1-2-2)

11-1-2-1c (交流串聯 RC 電路電壓相位關係-2_ 互動式) (11-1-2-3)

交流串聯RC電路各元件的電壓相位關係

請輸入信號的頻率值、電容值及輸入電阻值，即可顯示電容抗、相線路電流、電阻的電壓降、電容的電壓降、相位差及各電壓的相位關係圖與波形圖。

若輸入信號的振幅： $V_p=6V$ 相位角度為 0°

重新輸入

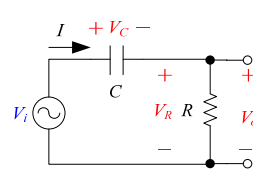
輸入信號頻率 f : Hz, 電容值 C : μF , 電阻值 R : Ω

電容抗 $X_C = \frac{1}{2\pi fC} =$ Ω 線路電流 $I = \frac{V_i}{|Z|} = \frac{V_i}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} =$ A

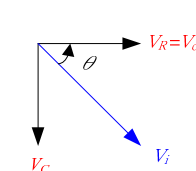
電阻的電壓降： $V_R = I \times R \angle 0^\circ =$ V

相位差 $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{1}{2\pi RfC} \right) =$ $^\circ$

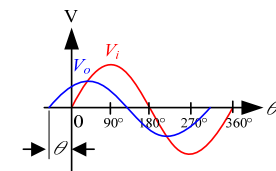
電容的電壓降： $V_C = I \times X_C \angle -90^\circ =$ V



交流串聯RC電路



各電壓的相位關係



V_i 與 V_o 波形的相位關係

互動式動畫

1 分鐘

2. 以互動式動畫方式製作元件 11-1-2-1c，讓同學或老師輸入信號的頻率值、電容值及電阻值，即顯示電容抗、相位差、電阻的電壓降、電容的電壓降及各電壓的相位關係圖。若按下「重新輸入」時，先清除所有資料。

交流串聯RC電路各元件的電壓相位關係-2

請輸入信號的頻率值、電容值及輸入電阻值，即可顯示電容抗、相線路電流、電阻的電壓降、電容的電壓降、相位差及各電壓的相位關係圖與波形圖。

若輸入信號的振幅： $V_{ip}=6V$ 相位角度為 0°

重新輸入

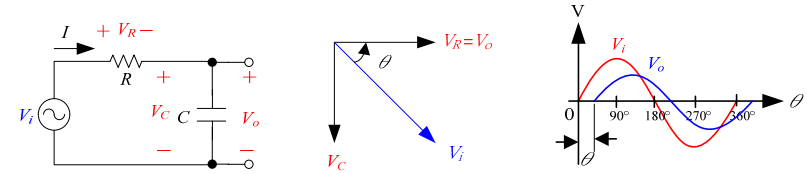
輸入信號頻率 f : Hz , 電容值 C : μF , 電阻值 R : Ω

電容抗 $X_c = \frac{1}{2\pi f C} =$ Ω 線路電流 $I = \frac{V_i}{|Z|} = \frac{V_i}{\sqrt{R^2 + X_c^2}} =$ A

電阻的電壓降： $V_R = I \times R \angle 0^\circ =$ V

相位差 $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{1}{2\pi f C R}\right) =$ $^\circ$

電容的電壓降： $V_c = I \times X_c \angle -90^\circ =$ V



交流串聯RC電路-2

各電壓的相位關係

V_i 與 V_o 波形的相位關係

發展活動

11-1-2-2 RC 相移振盪電路的條件及振盪頻率的推導（簡報及互動式動畫操作）

1.由巴克豪生準則知，欲獲得自激式振盪必須滿足

$|\beta A| = 1 \angle 0^\circ$ ，欲組成 RC 相移振盪電路有兩種模式，如圖

5 所示由反相放大器（反相輸出 180° ）及 RC 組成超前相移 180° 的 β 網路。或者如圖 6 所示由反相放大器（反相輸出 180° ）及 RC 組成滯後相移 180° 的 β 網路。兩者的 βA 均為 0° 或 360° ，可能產生自激式振盪。

20分鐘

11-1-2-2a
（滿足巴克豪生準則的 RC 相移模式_簡報）
(11-1-2-4)

動態簡報

15秒

1. 說明 11-1-2-2 教學實施內容，呈現流程及方式如下：
(1)以簡報方式

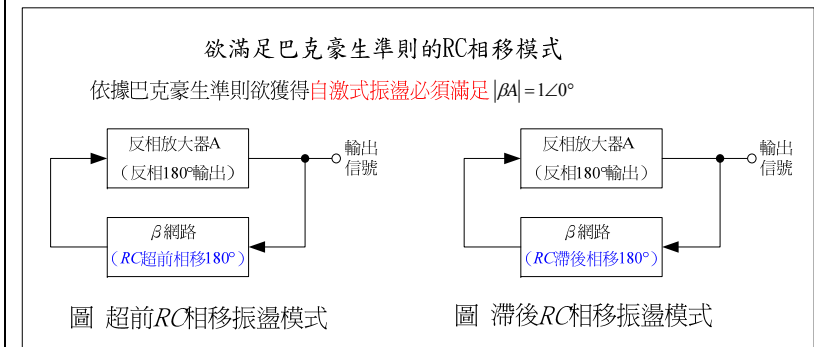


圖 超前RC相移振盪模式

圖 滯後RC相移振盪模式

11-1-2-2b

互動

2

(2)以互動式動畫製作 11-1-2-2b 元件，當輸入 RC 相移的組數時，

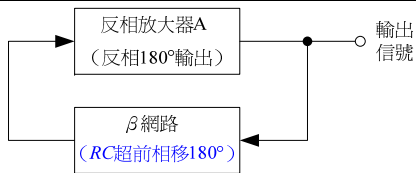


圖 5 超前相移振盪模式

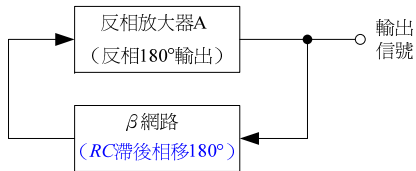


圖 6 滯後相移振盪模式

2. 因為單級 RC 串聯電路的電壓或電流相移角度小於 90°，欲完成 180° 的相移必須至少採用三組 RC 相移電路。

(1) 若採用三組 RC 相移，則每組相移角度為 $\frac{180^\circ}{3} = 60^\circ$ 。

(2) 採用 N 組 RC 相移，則每組相移角度為 $\frac{180^\circ}{N}$ ，組數愈多，每組相移角度就會愈小。

3. 圖 7 為三組 RC 超前相移電路，為避免負載效應，設計時， $R_1 = R_2 = R_3 = R$ ， $C_1 = C_2 = C_3 = C$ ，使每一組 RC 相移相同。

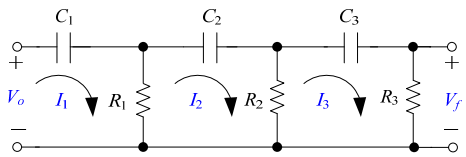


圖 7

依據迴路分析法：

$$\text{由 } I_1 \text{ 迴路：} (R - jX_C)I_1 - RI_2 = V_1$$

$$\text{由 } I_2 \text{ 迴路：} -RI_1 + (2R - jX_C)I_2 - RI_3 = 0$$

$$\text{由 } I_3 \text{ 迴路：} -RI_2 + (2R - jX_C)I_3 = 0$$

$$\text{解聯立可得 } I_3 = \frac{R^2 V_o}{(R^3 - 5RX_C^2) + j(X_C^3 - 6R^2 X_C)}$$

(RC 相移角度換算_互動式)
(11-1-2-5)

式動
畫

分
鐘

程式判斷組數是否大於或等於 3，若「正確」，即可顯示每組相移的角度。若「錯誤」，則彈出對話框顯示「組數小於 3，無法產生自激式振盪，請重新輸入」。當按下關閉鍵，立即清除資料。若按下「重新輸入」時，先清除所有資料。

RC 相移角度換算

因單級 RC 串聯電路的電壓或電流相移角度小於 90°，將 $\frac{180^\circ}{90^\circ} = 2$
欲完成 180° 相移的組數至少要三組 RC 相移，則每組相移角度為 $\frac{180^\circ}{3} = 60^\circ$

故 RC 的組數愈多，每組相移角度就會愈小。

請輸入 RC 相移的組數，即可顯示每組相移的角度。

採用多少組 RC 相移： 則每組相移角度為 $\frac{180^\circ}{N} = \text{}^\circ$

重新輸入

11-1-2-2c
(三組 RC 相移電路求回授因數及振盪頻率_簡報)
(11-1-2-6)

動態
簡報

15
秒

(3) 以簡報方式說明三組 RC 超前相移電路推導回授因數及振盪頻率。

使用三組 RC 超前相移電路推導回授因數及振盪頻率

設計時，使 $R_1 = R_2 = R_3 = R$ ， $C_1 = C_2 = C_3 = C$ ，每一組 RC 相移相同可避免負載效應。

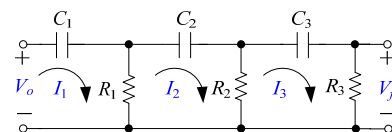


圖 三組 RC 超前相移電路

依據迴路分析法：

$$\text{由 } I_1 \text{ 迴路 } (R - jX_C)I_1 - RI_2 = V_1$$

$$\text{由 } I_2 \text{ 迴路 } -RI_1 + (2R - jX_C)I_2 - RI_3 = 0$$

$$\text{由 } I_3 \text{ 迴路 } -RI_2 + (2R - jX_C)I_3 = 0$$

解聯立可得

$$I_3 = \frac{R^2 V_o}{(R^3 - 5RX_C^2) + j(X_C^3 - 6R^2 X_C)}$$

$$\text{回授因數 } \beta = \frac{V_f}{V_o} = \frac{I_3 R}{V_o} = \frac{R^3}{(R^3 - 5RX_C^2) + j(X_C^3 - 6R^2 X_C)}$$

欲獲得 β 相移 180°，上式的虛部必須為零，則 $X_C^3 - 6R^2 X_C = 0 \Rightarrow X_C^2 = 6R^2 \Rightarrow X_C = \sqrt{6}R$

又 $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$ 代入，則 RC 相移振盪電路的頻率為 $f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$

11-1-2-2d
(互動式 RC 振盪電路)
(11-1-2-7)

互動
式動
畫

2
分
鐘

(4) 以互動式動畫製作 11-1-2-2d 元件，讓老師或學生可輸入參數，即可顯示振盪頻率及波形。若按下「重新輸入」時，清除所有資料。

$$\text{回授因數 } \beta = \frac{V_f}{V_o} = \frac{I_3 R}{V_o} = \frac{R^3}{(R^3 - 5RX_c^2) + j(X_c^3 - 6R^2 X_c)}$$

欲獲得 β 相移 180° ，上式的虛部必須為零，則

$$X_c^3 - 6R^2 X_c = 0 \Rightarrow X_c^2 = 6R^2 \Rightarrow X_c = \sqrt{6}R$$

又 $X_c = \frac{1}{2\pi f C}$ 代入，則 **RC 相移振盪電路的頻率為**

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$$

【結論】

(1) 電路振盪時，回授因數值為

$$\beta = \frac{R^3}{R^3 - 5RX_c^2} = \frac{R^2}{R^2 - 5X_c^2} = \frac{R^2}{R^2 - 5 \times (6R^2)}$$

$$= \frac{R^2}{R^2 - 30R^2} = -\frac{1}{29}$$

(2) 由巴克豪生準則，欲發生振盪電路必須 $|\beta A| \geq 1$ ，亦即

$|A| \geq \frac{1}{|\beta|}$ ，故放大器的電壓增益必須採用 $|A| \geq 29$ 才可自激振盪。

11-1-2-3 RC 相移振盪電路的類型

RC 相移振盪電路依放大器類型分為運算放大器型、場效應電晶體型及雙極性電晶體型。

1. 運算放大器型 RC 相移振盪器

如圖 8 所示電路，利用反相放大器反相輸出 180° 與 RC 回

11-1-2-2e
(結論_簡報)
(11-1-2-8)

動態
簡報
15
秒

(5) 以簡報方式說明

結 論

(1) 欲使電路自激式正弦波振盪，其回授因數值為

$$\beta = \frac{R^3}{R^3 - 5RX_c^2} = \frac{R^2}{R^2 - 5X_c^2} = \frac{R^2}{R^2 - 5 \times (6R^2)} = \frac{R^2}{R^2 - 30R^2} = -\frac{1}{29}$$

(2) 由巴克豪生準則，欲發生振盪電路必須 $|\beta A| \geq 1$ ，亦即 $|A| \geq \frac{1}{|\beta|}$ ，

故放大器的電壓增益必須採用 $|A| \geq 29$ 才可自激振盪。

以簡報方式呈現下圖：

RC 相移振盪電路依放大器類型分類

1. 運算放大器型 RC 相移振盪電路。
2. 場效應電晶體型 RC 相移振盪電路。
3. 雙極性電晶體型 RC 相移振盪電路。

互動式 RC 超前相移電路的振盪頻率及輸出波形

如圖所示為 RC 超前相移電路，若 $R_1 = R_2 = R_3 = R$ ， $C_1 = C_2 = C_3 = C$ ，則

$$\text{回授因數 } \beta = \frac{R^3}{R^3 - 5RX_c^2}$$

$$\text{振盪電路的頻率為 } f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$$

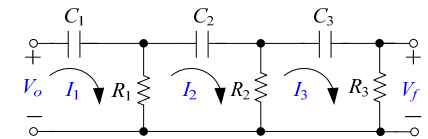


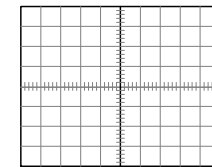
圖 三組 RC 超前相移電路

請輸入電阻及電容值，即可顯示 RC 振盪電路的輸出波形及振盪頻率。

電阻值 R: Ω

電容值 C: μF

重新輸入



輸出信號振盪頻率
 f_o : Hz

輸出波形 (繪圖時，以正弦波顯示)

20
分
鐘
11-1-2-3a
(RC 相移
振盪電路
的類型_簡
報)
(11-1-2-9)

動態
簡報
15
秒

授電路相移 180° ，完成 360° ，亦即 0° 相移振盪。

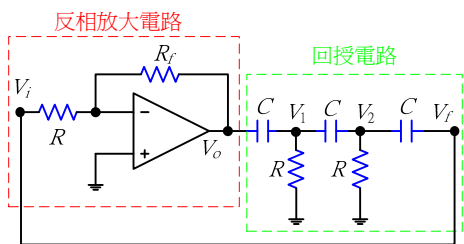


圖 8

因回授因數 (率) $\beta = -\frac{1}{29}$ ，使反相放大器的增益

$|A_v| = \left| -\frac{R_f}{R} \right| \geq 29$ 。欲產生自激式的正弦波振盪，必須採

用 $R_f \geq 29R$ ，此時振盪頻率為 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$ 。

2. 場效應電晶體型 RC 相移振盪電路

如圖 9 所示電路，利用共源極放大電路產生反相 180° 輸出與 RC 回授電路相移 180° ，完成 360° 相移。

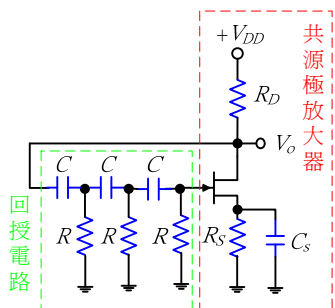


圖 9

在場效應電晶體電路中，閘極與源極間必須提供逆向偏壓，才能使電晶體在飽和區，以線性放大。故 N 通道接面型場效應電晶體的放大電路，必須滿足 $V_{GD} < V_P < V_{GS} < 0$ 條件。

11-1-2-3b
(運算放大器型 RC 相移振盪器_互動式)
(11-1-2-10)

互動式動畫
2 分鐘

1. 以互動式動畫製作 11-1-2-3b 元件，當老師或學生輸入電容值及各電阻值後，程式必須判斷 R_f 是否大於或等於 R ，若「正確」，則顯示振盪頻率的值與波形。若「錯誤」，則彈出訊息顯示「輸入值必須滿足 $R_f \geq 29R$ ，請重新輸入」，待關閉視窗時，立即清除各輸入值，讓使用者重新輸入。或者按下「重新輸入」時，清除所有資料。

1. 運算放大器型 RC 相移振盪電路

回授因數 (率) $\beta = -\frac{1}{29}$

反相放大器的增益 $A_v = \left| -\frac{R_f}{R} \right| \geq 29$

欲產生自激式的正弦波振盪，必須採用 $R_f \geq 29R$

此時振盪頻率為 $f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$

請輸入電阻及電容值，即可顯示輸出波形及振盪頻率。

電容值 C: μF

電阻值 R: Ω

電阻值 R_f : Ω

 Hz."/>

輸出信號振盪頻率 f_o : Hz

輸出波形 (繪圖時，以正弦波顯示)

11-1-2-3c
(場效應電晶體型 RC 相移振盪電路_互動式)
(11-1-2-11)

互動式動畫
2 分鐘

2. 以互動式動畫製作 11-1-2-3c 元件，當老師或學生輸入電容值及各電阻值後，程式必須判斷 $|A_v| = |g_m \times R_D|$ 是否大於或等於 29，若「正確」，則顯示振盪頻率的值與波形。若「錯誤」，則彈出訊息顯示「 R_D 值必須滿足 $|g_m \times R_D| \geq 29$ ，請重新輸入」，待關閉視窗時，立即清除各輸入值，讓使用者重新輸入。或者按下「重新輸入」時，清除所有資料。

$$\text{互導增益 } g_m = \frac{2I_{DSS}}{V_P} \times \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)$$

$$\text{回授因數 (率) } \beta = -\frac{1}{29}$$

$$\text{共源極放大電路增益 } |A_v| = |g_m(r_d // R_D)| \geq 29$$

上式中，若 $r_d \gg R_D$ ，則 $|A_v| = |g_m \times R_D| \geq 29$ 。

$$\text{振盪頻率爲 } f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}}$$

3. 雙極性電晶體型 RC 相移振盪電路

如圖 10 所示電路，使用共射極放大電路產生反相 180° 輸出，因電路必須考慮雙極性電晶體的輸入組抗，故電路設計時，必須滿足 $R_3 + (R_1 // R_2 // r_\pi) = R$ ，才可獲得正弦波零位移。

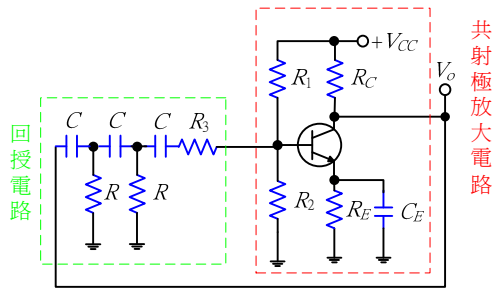


圖 10
利用迴路目分析法可得：

$$\text{由 } I_1 \text{ 迴路：} (R_C + R - jX_C)I_1 - RI_2 = -\beta I_b R_C$$

$$\text{由 } I_2 \text{ 迴路：} -RI_1 + (2R - jX_C)I_2 - RI_3 = 0$$

$$\text{由 } I_3 \text{ 迴路：} -RI_2 + (2R - jX_C)I_3 = 0$$

11-1-2-3d (雙極性電晶體型 RC 相移振盪器_簡報式) (11-1-2-12)

動態簡報
15 秒

2. 場效應電晶體型 RC 相移振盪電路

在場效應電晶體電路中，閘極與源極間必須提供逆向偏壓，才能使電晶體在飽和區，以線性放大。故 N 通道接面型場效應電晶體的放大電路，必須滿足 $V_{GD} < V_P < V_{GS} < 0$ 條件。

$$\text{互導增益 } g_m = \frac{2I_{DSS}}{V_P} \times \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right) \quad \text{回授因數 (率) } \beta = -\frac{1}{29}$$

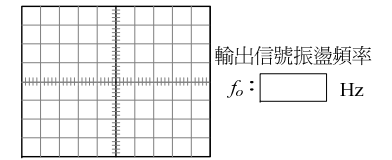
共源極放大電路增益 $|A_v| = |g_m(r_d // R_D)| \geq 29$ 若 $r_d \gg R_D$ ，則

$$|A_v| = |g_m \times R_D| \geq 29 \quad \text{此時振盪頻率爲 } f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}}$$

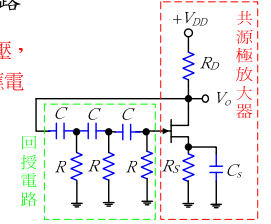
假設該電路在飽和區工作，而互導增益值為 $g_m = 4\text{mS}$ ，請輸入電阻及電容值，即可顯示輸出振盪頻率及波形。

電阻值 R: Ω 電阻值 R_D : Ω
電容值 C: μF

重新輸入



輸出波形 (繪圖時，以正弦波顯示)



3. 以簡報方式說明 (共 2 頁)

3. 雙極性電晶體型 RC 相移振盪電路

如圖所示使用共射極放大電路產生反相 180° 輸出，因考慮雙極性電晶體的輸入阻抗，故必須滿足 $R_3 + (R_1 // R_2 // r_\pi) = R$ ，才可獲得正弦波零位移。

利用迴路目分析法可得：

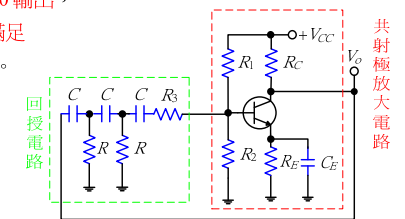
$$\text{由 } I_1 \text{ 迴路：} (R_C + R - jX_C)I_1 - RI_2 = -\beta I_b R_C$$

$$\text{由 } I_2 \text{ 迴路：} -RI_1 + (2R - jX_C)I_2 - RI_3 = 0$$

$$\text{由 } I_3 \text{ 迴路：} -RI_2 + (2R - jX_C)I_3 = 0$$

$$\text{解聯立可得 } I_3 = \frac{-\beta R^2 I_b R_C}{[R^2(3R_C + R) - X_C^2(5R + R_C)] - jX_C[6R^2 + 4RR_C - X_C^2]}$$

$$\frac{I_3}{I_b} = \frac{-\beta R^2 R_C}{[R^2(3R_C + R) - X_C^2(5R + R_C)] - jX_C[6R^2 + 4RR_C - X_C^2]}$$



解聯立可得

$$I_3 = \frac{-\beta R^2 I_b R_C}{\left[R^2(3R_C + R) - X_C^2(5R + R_C) \right] - jX_C \left[6R^2 + 4RR_C - X_C^2 \right]}$$

$$\frac{I_3}{I_b} = \frac{-\beta R^2 R_C}{\left[R^2(3R_C + R) - X_C^2(5R + R_C) \right] - jX_C \left[6R^2 + 4RR_C - X_C^2 \right]}$$

欲獲得 β 相移 180° ，上式的虛部必須為零，則

$$6R^2 + 4RR_C = X_C^2$$

將 $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$ 代入，則振盪頻率為 $f_o = \frac{1}{2\pi RC \sqrt{6 + \frac{4R_C}{R}}}$

此時迴路增益為：

$$\frac{I_3}{I_b} = \frac{-\beta R^2 R_C}{R^2(3R_C + R) - X_C^2(5R + R_C)}$$

並將 $6R^2 + 4RR_C = X_C^2$ 代入，整理可得

整理可得

$$\frac{I_3}{I_b} = \frac{-\beta RR_C}{R(3R_C + R) - (6R + 4R_C)(5R + R_C)}$$

若 $\beta = \frac{I_3}{I_b} \geq 1$ ，則 $\beta RR_C \geq 29R^2 + 23RR_C + 4R_C^2$

故欲使電路達振盪條件必須滿足回授因數（率）

$$\beta \geq \left(\frac{29R}{R_C} + \frac{4R_C}{R} + 23 \right)$$

若 $R_C = R$ 則回授因數 $\beta \geq 56$ ，振盪頻率 $f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{10}RC}$ 。

11-1-2-3e
(雙極性
電晶體型
RC 相移振
盪電路_互
動式)

(11-1-2-13)

互動
式動
畫

3
分
鐘

欲獲得 β 相移 180° ，上式的虛部必須為零，則 $6R^2 + 4RR_C = X_C^2$

將 $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$ 代入，則振盪頻率為 $f_o = \frac{1}{2\pi RC \sqrt{6 + \frac{4R_C}{R}}}$

此時迴路增益為： $\frac{I_3}{I_b} = \frac{-\beta R^2 R_C}{R^2(3R_C + R) - X_C^2(5R + R_C)}$ ，並將 $6R^2 + 4RR_C = X_C^2$ 代入

整理可得 $\frac{I_3}{I_b} = \frac{-\beta RR_C}{R(3R_C + R) - (6R + 4R_C)(5R + R_C)}$

若 $\beta = \frac{I_3}{I_b} \geq 1$ ，則 $\beta RR_C \geq 29R^2 + 23RR_C + 4R_C^2$

故欲使電路達振盪條件必須滿足回授因數（率） $\beta \geq \left(\frac{29R}{R_C} + \frac{4R_C}{R} + 23 \right)$

若 $R_C = R$ 則回授因數 $\beta \geq 56$ ，振盪頻率 $f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{10}RC}$

4. 以互動式動畫製作 11-1-2-3e 元件，當老師或學生輸入電容值及

各電阻值後，程式判斷是否 $\beta \geq \left(\frac{29R}{R_C} + \frac{4R_C}{R} + 23 \right)$ ，若「正確」，

則顯示振盪頻率的值與波形。若「錯誤」，則彈出訊息顯示「輸

入值必須滿足 $\beta \geq \left(\frac{29R}{R_C} + \frac{4R_C}{R} + 23 \right)$ ，請重新輸入」，待關閉視窗

時，立即清除各輸入值，讓使用者重新輸入。或者按下「重新輸入」時，清除所有資料。

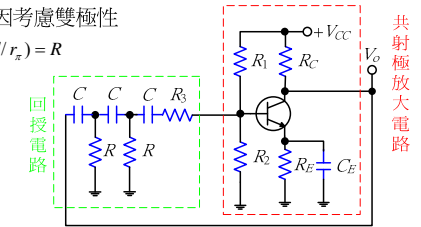
3. 雙極性電晶體型RC相移振盪電路

使用共射極放大電路產生反相180°輸出，因考慮雙極性電晶體的輸入阻抗，故必須須滿足 $R_3 + (R_1 // R_2 // r_{\pi}) = R$ ，才可獲得正弦波零位移。

欲使電路達振盪條件必須滿足回授因數（率）

$$\beta \geq \left(\frac{29R}{R_C} + \frac{4R_C}{R} + 23 \right)$$

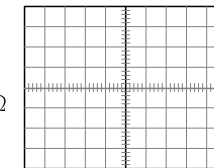
輸出信號的振盪頻率 $f_o = \frac{1}{2\pi RC \sqrt{6 + \frac{4R_C}{R}}}$



請輸入電阻及電容值，即可顯示β值、振盪頻率及波形。

電阻值R: Ω 電阻值RC: Ω

電容值C: μF



回授因數（率）

β值 =

輸出信號振盪頻率

f_o: Hz

輸出波形（繪圖時，以正弦波顯示）

綜合活動

一、即時練習

1. 如圖 11 所示電路中 $R=1k\Omega$ ，欲達成振盪電路，則 R_f 最少需採用多少電阻值？（A） $1k\Omega$ （B） $10k\Omega$ （C） $29k\Omega$ （D） $290k\Omega$ 。

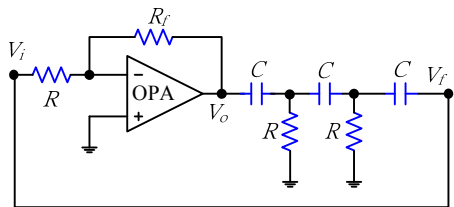


圖 11

SOL: C

詳解： $\because |A_v| = \left| \frac{R_f}{R_i} \right| \geq 29 \Rightarrow R_f \geq 29 \times 1k\Omega = 29k\Omega$

5
分
鐘

11-1-2-4
（即時練習）
（11-1-2-14）

動態
簡報

15
秒

以即時練習的每一題製作為動態簡報方式，先顯示題目，待同學求解後才給答案及解答。

2.如圖 12 所示電路中， $R=1k\Omega$ ， $R_f=30k\Omega$ ， $C=1\mu F$ ，求該電路的振盪頻率為多少 Hz？(A) 50.3Hz (B) 64.9Hz (C) 91.8Hz (D) 112.5Hz。

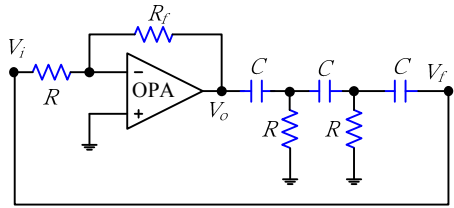


圖 12

SOL : B

詳解：
$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC} = \frac{1}{2\pi\sqrt{6} \times 1k\Omega \times 10\mu F} = 64.9 \text{ Hz}$$

3.如圖 13 所示電路，若 $R_S=10k\Omega$ ， $R=2k\Omega$ ， $C=0.1\mu F$ ， $C_S=0.01\mu F$ ，求振盪頻率約為多少？(A) 32.5Hz (B) 91.8Hz (C) 275.4Hz (D) 325 Hz。

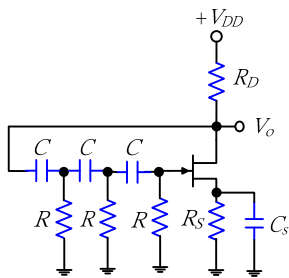


圖 13

SOL : D

詳解：
$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC} \cong \frac{0.065}{RC} = \frac{0.065}{2k\Omega \times 0.1\mu F} = 325 \text{ Hz}$$

二、RC 相移振盪電路學習單

1. 如圖 a 所示電路中 $R_f=50k\Omega$ ，欲達成振盪電路，則 R 最大不可超過多少電阻值？(A) 3kΩ (B) 2kΩ (C) 1k

(11-1-2-15)

以學習單的模式做為課後練習

Ω (D) $0.5k\Omega$ 。

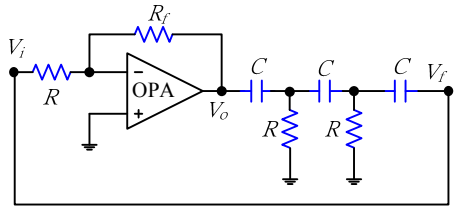


圖 a

SOL : A

詳解： $\because |A_v| = \left| \frac{R_f}{R_i} \right| \geq 29 \Rightarrow R \leq \frac{R_f}{A_v} = \frac{87k\Omega}{29} = 3k\Omega$

2.如圖 b 所示電路中， $R=100\Omega$ ， $R_f=30k\Omega$ ，欲產生 120Hz 的正弦波，則 C 需採用多少電容值？ (A) $4.7\mu F$ (B) $5.4\mu F$ (C) $7.4\mu F$ (D) $47\mu F$ 。

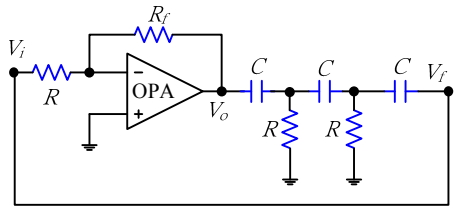


圖 b

SOL : B

詳解： $f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}} \approx \frac{0.065}{RC} \Rightarrow C = \frac{0.065}{100 \times 120} \approx 5.42\mu F$

3.如圖 c 所示電路，若場效應電晶體的互導增益 $g_m=5mS$ ， $r_d=50k\Omega$ ， $R=1k\Omega$ ，欲產生正弦波振盪，求 R_d 最少需採用多少電阻值？ (A) $4k\Omega$ (B) $5k\Omega$ (C) $6k\Omega$ (D) $7k\Omega$ 。

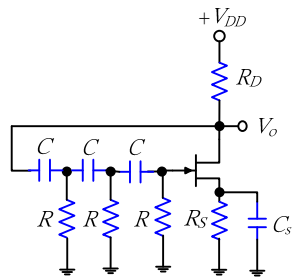


圖 c

SOL : D

詳解： $\because |A_v| = |g_m(r_d // R_D)| \geq 29 \Rightarrow \frac{r_d \times R_D}{r_d + R_D} \geq \frac{29}{g_m}$
 $\Rightarrow \frac{50k\Omega \times R_D}{50k\Omega + R_D} \geq \frac{29}{5mS} = 5.8 \Rightarrow R_D \geq \frac{5.8k\Omega \times 50k\Omega}{50k\Omega - 5.8k\Omega} = 6.56k\Omega$

4.如圖 c 所示電路，若場效應電晶體的互導增益 $g_m=5mS$ ， $r_d=50k\Omega$ ， $C=0.01 \mu F$ ，欲產生 1kHz 的正弦波振盪，則 R 需採用多少電阻值？ (A) 4.7k Ω (B) 5.6k Ω (C) 6.5k Ω (D) 7.4k Ω 。

SOL : C

詳解： $f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}} \approx \frac{0.065}{RC} \Rightarrow R = \frac{0.065}{1kHz \times 0.01\mu F} = 6.5k\Omega$

合計：	50 分 鐘	合 計：	14 分 45 秒	15 個元件
-----	--------------	---------	--------------------	--------

可供設計參考資源列表 (請填入至少 3 項)

參考資源(線上資源或參考書籍)

簡 述

電子學 II 總複習高分講義(含實習)，陳興財編著，松崗出版社。

第十一章基本振盪電路第一節正弦波振盪電路

電子學實習 II，陳興財及王敏男編著，五南出版社。

第十一章基本振盪電路實驗第一節 RC 振盪電路實驗

