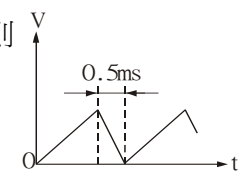
波形產生電路

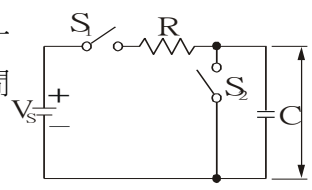
1. 振盪器（Oscillator）與波形產生器
   (1) 振盪器的原理
      回授方法：巴克豪森準則（電子電路內容）
      負電阻方法：弛張振盪器（工業電子內容）
   (2) 振盪器的波形
      弦波：
      非弦波：方波或脈波
   (3) 弦波振盪器
      a. 聲頻（低頻）：RC 元件
         RC 相移、韋恩（Wien）、T 型電橋
      b. 射頻（高頻）：LC 元件
         哈特萊（Hartley Oscillator）、考畢子（Coliptts Oscillator）、壓電晶體
   (4) 非弦波振盪器
      a. 方波
         多諧振盪、樞密特、NE555、邏輯電路
      b. 鋸齒波
         間歇振盪、負電阻、靴帶式
      c. 脈波
         負電阻（弛張振盪器）
      d. 三角波
         OPA 積分器

✐範例練習：

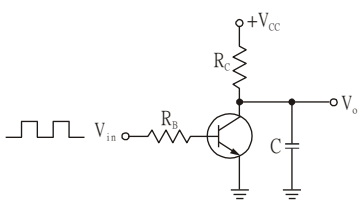
1. 一個只加上直流電源，不需輸入任何其他信號，即能有固定頻率輸出信號的電路，稱為 (A)放大器 (B)固定電壓源 (C)固定電流源 (D)振盪器。
2. 下列哪一種振盪器適用於高頻範圍？ (A)RC 相移振盪器 (B)韋恩電橋振盪器 (C)石英晶體振盪器 (D)無穩態多諧振盪器。
3. 下列哪一種振盪器適用於音頻範圍且輸出信號為正弦波？ (A)單穩態多諧振盪器 (B)韋恩電橋振盪器 (C)石英晶體振盪器 (D)無穩態多諧振盪器。
4. 下列哪一種振盪器輸出信號為方波？ (A)單穩態多諧振盪器 (B)韋恩電橋振盪器 (C)石英晶體振盪器 (D)無穩態多諧振盪器。
5. 下列哪一種振盪器是需要外加觸發信號才能發生振盪？ (A)單穩態多諧振盪器 (B)RC 相移振盪器 (C)無穩態多諧振盪器 (D)史密特振盪器。
6. 石英晶體振盪器的主要優點是 (A)頻率穩定 (B)容易振盪 (C)振幅較大 (D)振幅穩定。
7. 高頻率振盪器採用的是 (A)RC (B)RL (C)LC (D)RLC 網路。
8. 低頻振盪器通常採用 (A)RC (B)RL (C)LC (D)RLC 網路。
9. 如圖所示之鋸齒波，若欲放大此波形，則所需最低的高頻響應 (A)1kHz (B)10kHz (C)50kHz (D)100kHz。



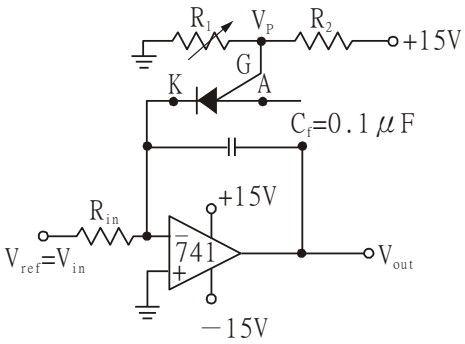
10. 如圖為電容式鋸齒波產生器，若欲得一理想線性之鋸齒波，則應選擇多少時間常數將 S_2 短路？ (A)RC (B)0.9RC (C)0.5RC (D)0.1RC。



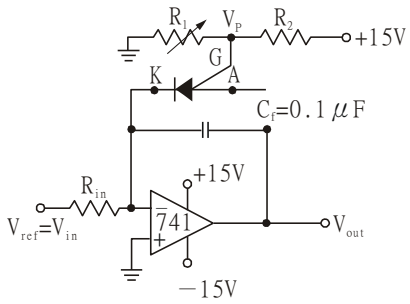
11. 圖中為電晶體式鋸齒波產生器，電容器 C 充電之時間常數為 (A)R_BC (B)$r_{CE}\cdot C$ (C)R_CC (D)$(R_B+R_C)C$。



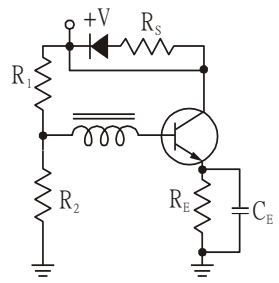
12. 如圖電路中，若將 R_1 的阻值調高，則
(A)鋸齒波振幅變大
(B)鋸齒波振幅變小
(C)不會改變
(D)以上皆非。



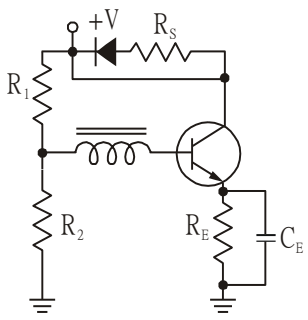
13. 如圖電路中，若將外加電源電壓 V_{in} 提高，則鋸齒波頻率將
(A)提高
(B)下降
(C)沒有影響
(D)以上皆非。



14. 如圖電路的名稱是
(A)無穩態多諧振盪器
(B)樞密特觸發器
(C)間歇振盪器
(D)單穩態多諧振盪器。



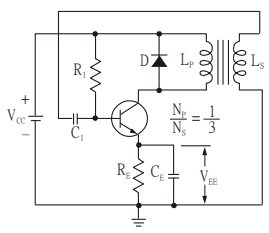
15. 如圖所示，若增加射極電阻 R_E 的值，則
(A)振盪振幅加大
(B)振盪振幅減少
(C)頻率提高
(D)頻率降低。



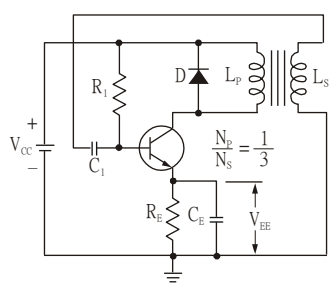
16. 關於間歇振盪器的敘述，下列何者為錯誤？ (A)又稱阻塞振盪器 (B)利用高耦合係數的變壓器完成回授 (C)在導電時間可接受外在控制 (D)在截止時間方可接受外在控制。

17. 間歇振盪器通常應用於 (A)示波器的掃描產生器 (B)R、F 訊號產生器 (C)電視機的垂直掃描振盪器 (D)A、F 訊號產生器。

18. 如圖所示，電路的截止時間可由哪些零件來控制？(A)二極體 D(B)變壓器 T (C)R_1C_1(D)以上零件皆可以。

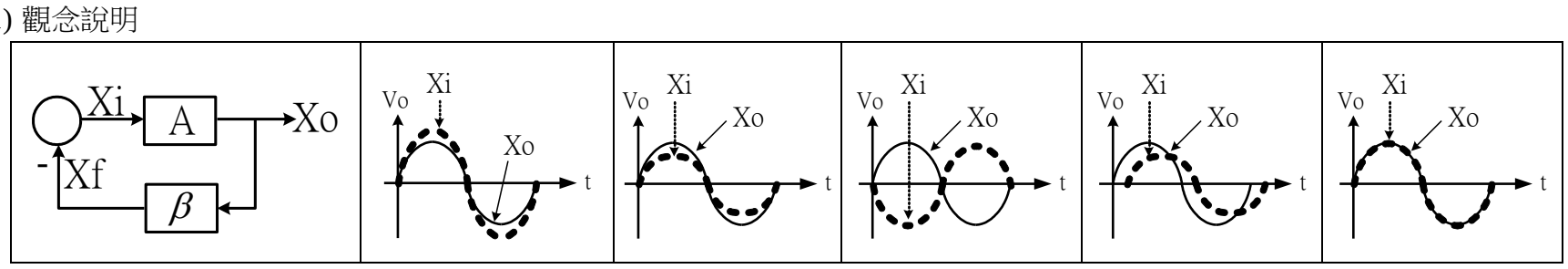


19. 如圖所示，二極體 D 的功用是
(A)提高振盪頻率
(B)提高輸出振幅
(C)降低頻率
(D)保護電晶體。



解答 【1】D【2】C【3】B【4】D【5】A【6】B（A 較好）【7】C【8】A【9】A【10】D【11】C【12】A【13】A【14】C【15】D【16】C【17】C【18】C【19】D

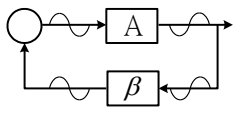
2. 回授式振盪器原理
(1) 觀念說明



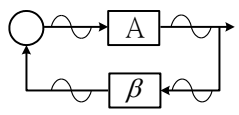
V_i —[$-\beta$]→[A]→ V_o	振盪（飽和、方波）	不振盪	不振盪	不振盪	振盪（弦波）

(2) 放大器分為兩類

a. 反相放大器：

	A<0 β 網路需倒相 180^0，才能達到正回授 除韋恩及雙 T 型振盪兩者其餘屬於此類

b.　非反相放大器：

	A>0 β網路不需倒相 韋恩及雙 T 型振盪兩者屬於此類

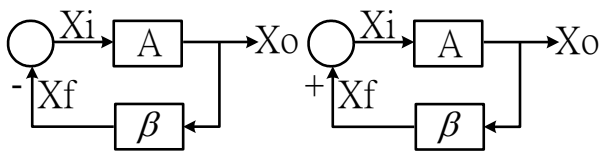
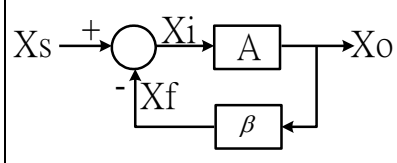
(3) 巴克豪森準則（振盪條件）

由(1)觀念說明中得知,若$X_i=-\beta AX_i$則發生振盪得$-\beta A=1\angle 0^0=1+j0$或$\beta A=-1\angle 0^0=1\angle 180^0$

求出轉移函數,令虛部為零可得振盪頻率,令實部為1可得振盪條件之增益大小

※所有正弦振盪電路，其振盪頻率全可由"回授網路"中求出

(4) 正負回授

	回授中(無論正負回授),$A_f=\dfrac{A}{1+\beta A}$,滿足分母為零得$-\beta A=1\angle 0^0=1+j0$ 或$\beta A=-1\angle 0^0=1\angle 180^0$,$\beta$在負回授中是正值,$\beta$在正回授中是負值
	$X_i=X_S-X_f$ $\Rightarrow \dfrac{X_o}{A}=X_S-\beta X_o \Rightarrow X_o=A\cdot X_S-\beta\cdot A\cdot X_o$ $\Rightarrow (1+\beta\cdot A)\cdot X_o=A\cdot X_S \Rightarrow A_f=\dfrac{X_o}{X_S}=\dfrac{A}{1+\beta\cdot A}$

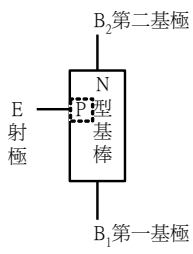
✐範例練習：

1. 何謂巴克豪森準則？　(A)－Aβ=1∠0°　(B)Aβ=1∠0°　(C)－Aβ=1∠180°　(D)Aβ=1∠90°。
2. 一個振盪器欲維持振盪，其基本放大器之增益為 A，回授因數為β，則須　(A)$\dfrac{\beta}{A}\geq -1$　(B)βA≤－1　(C)βA≥－1　(D)$\dfrac{A}{\beta}\leq -1$。
3. 振盪器的頻率通常以　(A)RC 決定　(B)LC 決定　(C)回授網路決定　(D)放大倍數決定。
4. 若反饋放大器的增益是 $A_f=\dfrac{A}{1+\beta A}$，則自激振盪的條件是βA 等於　(A)1∠180°　(B)1∠0°　(C)－1∠180°　(D)1∠90°。
5. 正回授的作用可使　(A)電路的工作更為穩定　(B)電路產生振盪　(C)頻帶寬加大　(D)使放大率減少。
6. 在調整一個實用振盪器時，必須令環路增益|βA|　(A)確等於 1　(B)正反饋而大小不拘　(C)略大於 1.0　(D)符合臨界振盪(critical oscillator)。
7. 某一放大器，其正回授百分數β=0.02，欲使其振盪，則 A_V 值應為若干？　(A)50　(B)60　(C)70　(D)80。

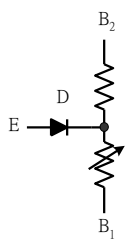
解答　【1】A【2】C【3】C【4】A【5】B【6】C【7】A

3. 補充（負電阻振盪）

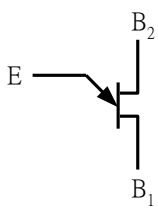
(1) 單接面電晶體（UJT：Unijunction Transistor）



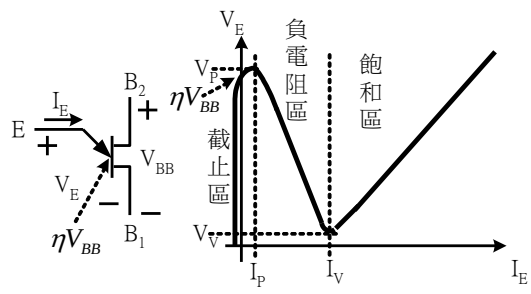
結構



等效電路

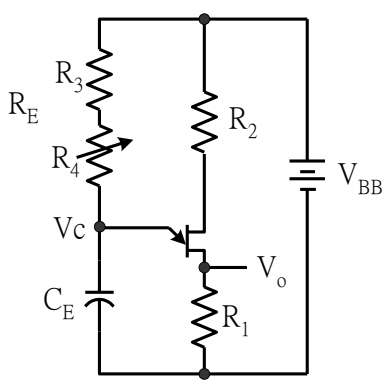


符號

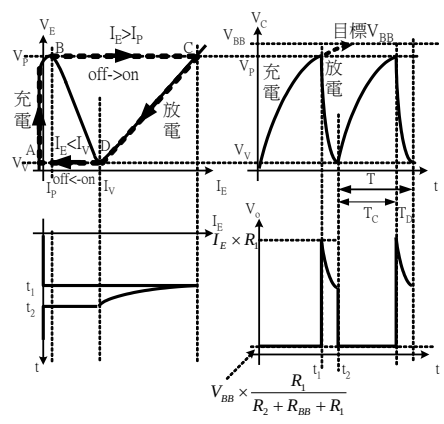


特性曲線　$V_P=\eta V_{BB}+V_D$

(2) 振盪電路



振盪電路



波形圖

(3) 公式

$T_C >> T_D$簡化公式,只考慮充電時間

$$V_P = V_V + (V_{BB} - V_V)\left(1 - e^{-\frac{T_C}{R_E C_E}}\right), V_V \text{忽略}$$

$$T_C = R_E C_E \ln\frac{V_{BB}}{V_{BB} - V_P} = R_E C_E \ln\frac{1}{1-\eta}, \eta = 0.63\text{時} T_C = R_E C_E$$

$$\text{定義本質分離比} = \left.\frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}}\right|_{I_E = 0}$$

(4) 振盪條件

*UJT*由*off*到*on*之條件

$$I_E > I_P \Rightarrow \frac{V_{BB} - V_P}{R_E} > I_P \Rightarrow R_{E\max} = \frac{V_{BB} - V_P}{I_P}$$

*UJT*由*on*到*off*之條件

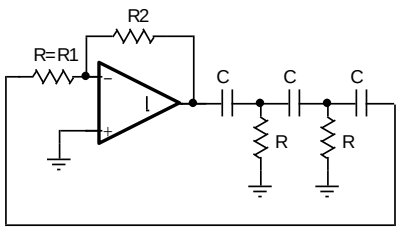
$$I_E < I_V \Rightarrow \frac{V_{BB} - V_V}{R_E} < I_V \Rightarrow R_{E\min} = \frac{V_{BB} - V_V}{I_V}$$

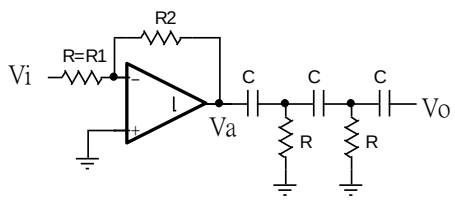
$$\Rightarrow \frac{V_{BB} - V_V}{I_V} < R_E < \frac{V_{BB} - V_P}{I_P}$$

4. 低頻振盪

(1) RC 相移振盪

a. OPA 相位超前





回授網路要造成 180 度相位移，因此最少需要三層 RC 濾波電路，上圖中由於負載效應，因此在 Vo 端會看到一個電阻 R1=R

$$\frac{V_o}{V_a} = \frac{1}{(1-5\alpha^2) + j(\alpha^3 - 6\alpha)} \text{其中} \alpha = \frac{X}{R} = \frac{\frac{1}{\omega C}}{R} = \frac{1}{\omega RC}$$

$$-\beta A = \frac{V_o}{V_a} \times \frac{V_a}{V_i} = \frac{1}{(1-5\alpha^2) + j(\alpha^3 - 6\alpha)} \times \left(-\frac{R_2}{R_1}\right)$$

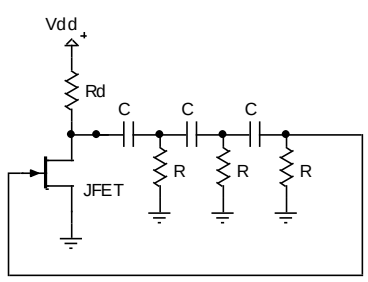
振盪條件

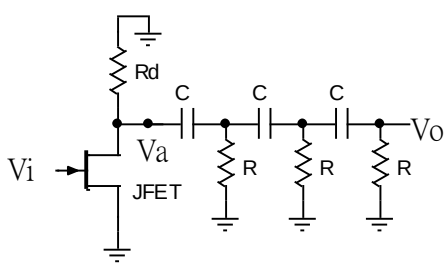
（1）Im（-β A）=0⇨ $\alpha^3 - 6\alpha = 0$ ⇨ $\frac{1}{\omega_o RC} = \sqrt{6}$ ⇨ $f_o = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}}$

（2）Re（-β A）$|_{fo}$≧1⇨ $\frac{1}{1-5\times 6} \times \left(-\frac{R_2}{R_1}\right) \geq 1$ ⇨ $\frac{R_2}{R_1} \geq 29$

回授網路之電阻電容位置調換，稱為相位落後振盪電路，因回授網路無法隔離直流，易造成電路不穩定較少使用，推導方式同上，可得其振盪頻率為 $f_o = \frac{\sqrt{6}}{2\pi RC}$ ，所需震盪增益為 $\frac{R_2}{R_1} \geq 29$

b. JFET 相位超前





$$\frac{V_o}{V_a} = \frac{1}{(1-5\alpha^2) + j(\alpha^3 - 6\alpha)} \text{其中} \alpha = \frac{X}{R} = \frac{\frac{1}{\omega C}}{R} = \frac{1}{\omega RC}$$

$$-\beta A = \frac{V_o}{V_a} \times \frac{V_a}{V_i} = \frac{1}{(1-5\alpha^2) + j(\alpha^3 - 6\alpha)} \times (-g_m \times (r_d // R_d))$$

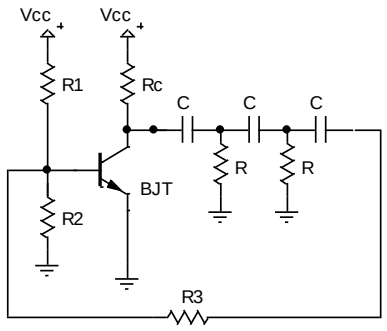
振盪條件

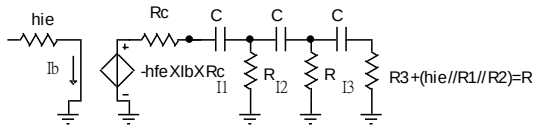
（1）Im（-β A）=0⇨ $\alpha^3 - 6\alpha = 0$ ⇨ $\frac{1}{\omega_o RC} = \sqrt{6}$ ⇨ $f_o = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}}$

（2）Re（-β A）$|_{fo}$≧1⇨ $\frac{1}{1-5\times 6} \times (-g_m \times (r_d // R_d)) \geq 1$ ⇨ $|-g_m \times (r_d // R_d)| \geq 29$

回授網路之電阻電容位置調換，稱為相位落後振盪電路，因回授網路無法隔離直流，易造成電路不穩定較少使用，推導方式同上，可得其振盪頻率為 $f_o = \frac{\sqrt{6}}{2\pi RC}$ ，所需震盪增益為 $|-g_m \times (r_d // R_d)| \geq 29$

c. BJT 相位超前





$$\begin{cases} \left(Rc+\dfrac{1}{j\omega C}\right)\times I1+R\times(I1-I2)+hfeIbRc=0 \\ \dfrac{1}{j\omega C}\times I2+R\times(I2-I3)+R\times(I2-I1)=0 \\ \left(\dfrac{1}{j\omega C}+R\right)\times I3+R\times(I3-I2)=0 \end{cases}$$

$$\frac{I3}{Ib}=\frac{-hfe\times k}{1+3k-(5+k)\alpha^2-j\left[(6+4k)\alpha-\alpha^3\right]}\text{其中}k=\frac{Rc}{R}$$

振盪條件

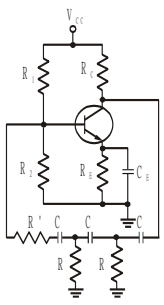
（1）Im（-βA）=0⇨$(6+4k)\alpha-\alpha^3=0$⇨ $f_o=\dfrac{1}{2\pi RC\sqrt{6+4k}}$

（2）Re（-βA）$|_{fo}\geqq 1$⇨ $hfe\geq 4k+23+\dfrac{29}{k}$

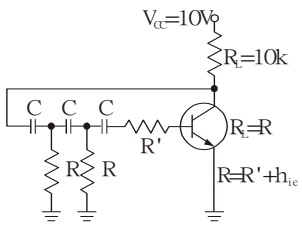
採用電晶體回授網路的輸出端就會因為低輸入阻抗（hie）而產生相當的負載效應，第三節 RC 濾波電路電阻值即為等效電阻

✐範例練習：

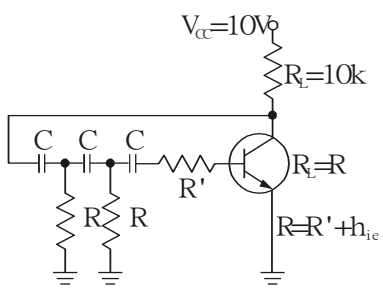
1. 電晶體 CE 線路，用三節 RC 移相式振盪器，每一節各產生幾度移相？ (A)30° (B)60° (C)90° (D)120°。
2. 電晶體的 RC 相移振盪器，可以輸出 (A)正弦波 (B)方波 (C)鋸齒波 (D)脈波。
3. 在 RC 相移振盪器中；若主動元件為 FET，則其振盪頻率 f= (A)$\dfrac{1}{2\pi\sqrt{3}RC}$ (B)$\dfrac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$ (C)$\dfrac{1}{2\pi\sqrt{10}RC}$ (D)$\dfrac{1}{2\pi RC}$ 。
4. 在 RC 相移振盪器中；若主動元件為 FET，欲使 FET 之增益滿足振盪，則|A|必大於$\dfrac{1}{\beta}$，即 (A)A>27 (B)A>26 (C)A>28 (D)A>29。
5. 若 RC 相移振盪器，主動元件為電晶體；當 R_C=R 時，則 f= (A)$\dfrac{1}{2\pi\sqrt{3}RC}$ (B)$\dfrac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$ (C)$\dfrac{1}{2\pi\sqrt{10}RC}$ (D)$\dfrac{1}{2\pi RC}$ 。
6. 一 RC 相移振盪器，如圖所示；若 R'+R_i=R，h_{ie}=2kΩ，R_1=20kΩ，R_2=80kΩ，R=8kΩ，C=0.003μF，R_C=10kΩ，求 f= (A)2000Hz (B)2500Hz (C)3200Hz (D)4000Hz。



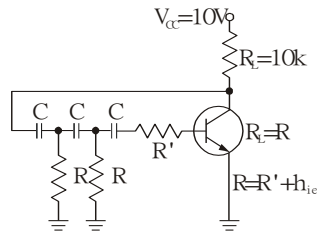
7. 如圖為 RC 相移振盪器，試問該振盪器為何類放大？ (A)甲類 (B)乙類 (C)丙類 (D)丁類。



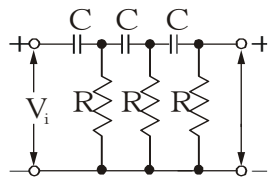
8. 如圖為 RC 相移振盪器，其振盪頻率約為(R_L=R) (A)f=$\dfrac{1}{\omega^2RC}$ (B)f=$\dfrac{1}{2\pi RC\sqrt{10}}$ (C)f=$\dfrac{1}{2\pi\sqrt{RC}}$ (D)以上皆非。



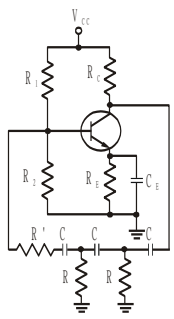
9. 如圖為 RC 相移振盪器，所用電晶體的 h_{fe} 值應在 （h_{oe}，h_{re} 忽略不計）(A)26 (B)46 (C)36 (D)56。



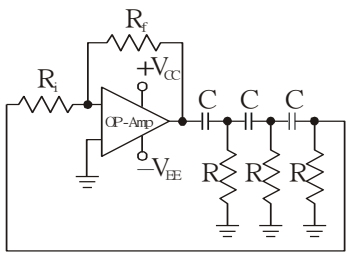
10. 如圖所示電路的 V_o 與 V_i 間，相移角度最大範圍是 (A)0°<θ<90° (B)0°<θ<180° (C)0°<θ<270° (D)0°<θ<360°。



11. 一 RC 相移振盪器，如圖所示；若 R'+R_i=R，h_{ie}=2kΩ，R_1=20kΩ，R_2=80kΩ，R=8kΩ，C=0.003μF，R_C=10kΩ，求電晶體之最小 h_{fe}= (A)41.2 (B)51.2 (C)56 (D)62.45。

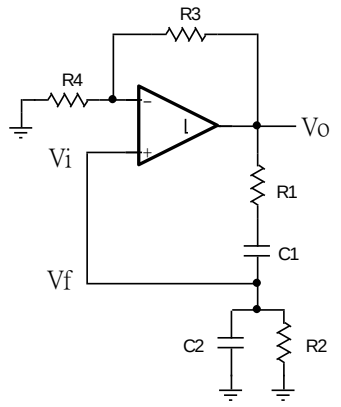


12. 如圖為一運算放大器之相移振盪器，其 R_f 不知道數值；當 R_i 為 1kΩ時，求 R_f 至少應為多少才會振盪？ (A)25kΩ (B)27kΩ (C)29kΩ (D)31kΩ。



解答 【1】B【2】A【3】B【4】D【5】C【6】A【7】A【8】B【9】D【10】C【11】B【12】C

(2) 韋恩電橋（Wien-bridge oscillator）



$$\beta=\frac{V_f}{V_o}=\frac{Z_2}{Z_1+Z_2}=\frac{R_2//(-jX_{C2})}{(R_1-jX_{C1})+[R_2//(-jX_{C2})]}=\frac{R_2X_{C2}}{(R_1X_{C2}+R_2X_{C2}+R_2X_{C1})+j(R_1R_2-X_{C1}X_{C2})}$$

$$-\beta A=\frac{R_2X_{C2}}{(R_1X_{C2}+R_2X_{C2}+R_2X_{C1})+j(R_1R_2-X_{C1}X_{C2})}\times\left(1+\frac{R_3}{R_4}\right)$$

震盪條件

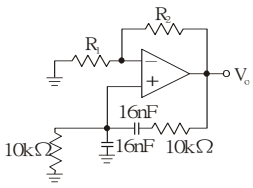
（1）Im（-βA）=0⇨$R_1R_2=X_{C1}X_{C2}$⇨ $f_o=\frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_2C_1C_2}}$

（2）Re（-βA）$|_{fo}$≧1⇨ $\frac{R_2X_{C2}}{(R_1X_{C2}+R_2X_{C2}+R_2X_{C1})}\times\left(1+\frac{R_3}{R_4}\right)=1$⇨ $\frac{R_3}{R_4}=\frac{R_1}{R_2}+\frac{C_2}{C_1}$

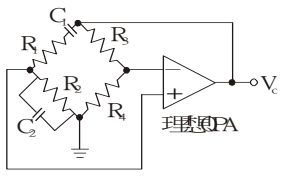
若 R1=R2=R、C1=C2=C 則 $f_o=\frac{1}{2\pi RC}$ ，$\frac{R_3}{R_4}=2$ ，Av=3，$-\beta=\frac{1}{3}$

✐範例練習：

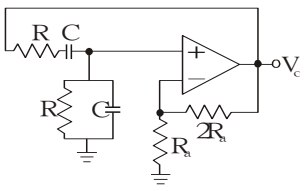
1. 如圖之韋恩橋式(Wien bridge)振盪器產生振盪時，下列特性何者錯誤？ (A)振盪頻率為$\frac{1}{32\pi}\times10^5$Hz (B)輸出電壓振幅大小為 OP 之正負飽和值 (C)電阻比$\frac{R_2}{R_1}$=1 (D)此迴路增益為一實數，相位角為零。



2. 如圖所示之韋恩振盪器，若 $R_1=R_2=R$，$C_1=C_2=C$，且 $R_3\geq 2R_4$，則其振盪頻率 f_o 為 (A)$\frac{1}{\sqrt{RC}}$ (B)$\frac{1}{RC}$ (C)$\frac{1}{2\pi RC}$ (D)$\frac{1}{\sqrt{2\pi RC}}$ 。



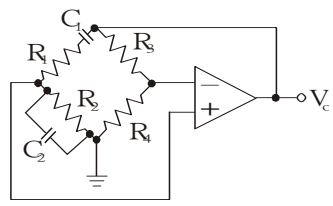
3. 如圖所示振盪器電路，其振盪頻率為多少Hz？ (A)$\frac{1}{2\pi RC}$ (B)$\frac{1}{2\pi\sqrt{RC}}$ (C)$\frac{1}{2\pi R_aC}$ (D)$\frac{1}{2\pi\sqrt{R_aC}}$ 。



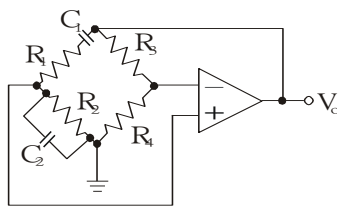
4. 若韋恩電橋中之負回授量大於正回授量，則振盪 (A)繼續 (B)增強 (C)振幅減小 (D)停止。

5. 在韋恩電橋振盪器中，最大正回授量為 (A)$\frac{1}{2}$ (B)$\frac{1}{3}$ (C)$\frac{1}{4}$ (D)$\frac{2}{3}$ 。

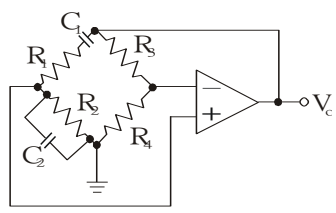
6. 如圖所示，求其振盪頻率= (A)f=$\frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_2C_1C_2}}$ (B)f=$\frac{1}{2\pi R_1C_1\sqrt{R_2C_2}}$ (C)f=$\frac{1}{4\pi RC}$ (D)f=$\frac{1}{6\pi RC}$ 。



7. 如圖所示，若 $R_1=R_2=R$，$C_1=C_2=C$，則 f= (A)f=$\frac{1}{2\pi RC}$ (B)f=$\frac{1}{2\pi RC\sqrt{R_2C}}$ (C)f=$\frac{1}{4\pi RC}$ (D)f=$\frac{1}{6\pi RC}$ 。



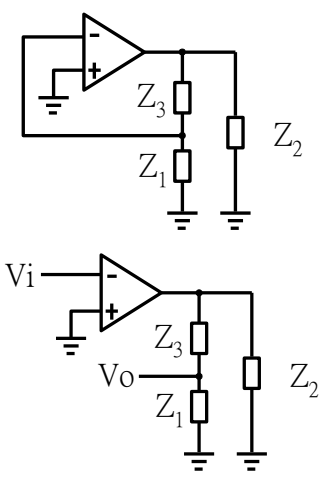
8. 圖中有二條回授路徑，R_3、R_4是 (A)正回授 (B)負回授 (C)可正、可負回授 (D)以上皆非。



解答 【1】C【2】C【3】A【4】D【5】B【6】A【7】A【8】B

5. 高頻震盪

一般震盪電路型式



$$V_A=\frac{\frac{(Z_1+Z_3)\times Z_2}{(Z_1+Z_3)+Z_2}}{R_o+\frac{(Z_1+Z_3)\times Z_2}{(Z_1+Z_3)+Z_2}}\times(-A_vV_i)$$

$$-\beta A=\frac{V_o}{V_A}\cdot\frac{V_A}{V_i}=\frac{Z_1}{Z_3+Z_1}\times\frac{-A_v[(Z_1+Z_2)\cdot Z_3]}{R_o\cdot(Z_1+Z_2+Z_3)+(Z_1+Z_3)\cdot Z_2}$$

其中$Z_1=jX_1, Z_2=jX_2, Z_3=jX_3$

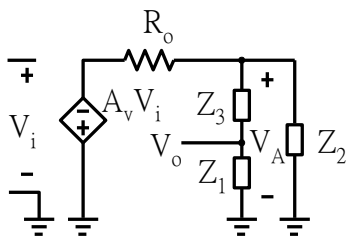
$$\Rightarrow -\beta A=\frac{A_v\cdot X_1\cdot X_2}{jR_o\cdot(X_1+X_2+X_3)-(X_1+X_3)\cdot X_2}$$

震盪條件

（1）Im（-βA）=0⇨$X_1+X_2+X_3=0$

（2）Re（-βA）$|_{fo}$≧1⇨ $\frac{A_vX_1X_2}{-(-X_2)\cdot X_2}=1$⇨ $A_v\frac{X_1}{X_2}=1$

則 X1 與 X2 需為同性質，可分為哈特萊（Hartley Oscillator）及考畢子



（Coliptts Oscillator）兩種

哈特萊（Hartley Oscillator）

若$X_1=\omega L_1, X_2=\omega L_2$則$X_3=\dfrac{1}{\omega C}\Rightarrow \omega_o L_1+\omega_o L_2+\dfrac{1}{\omega_o C}=0$

$\Rightarrow f_o=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{(L_1+L_2)\cdot C}}$且$A_v\ge\dfrac{L_2}{L_1}$

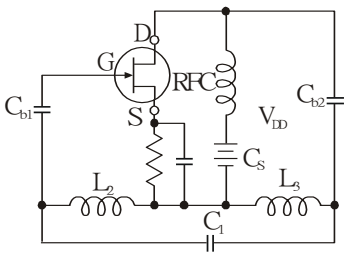
考畢子（Coliptts Oscillator）

若$X_1=-\dfrac{1}{\omega C_1}, X_2=-\dfrac{1}{\omega C_2}$則$X_3=\omega L\Rightarrow -\dfrac{1}{\omega_o C_1}-\dfrac{1}{\omega_o C_2}+\omega_o L=0$

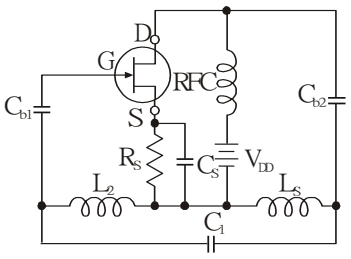
$\Rightarrow f_o=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{L\cdot\left(\dfrac{C_1\cdot C_2}{C_1+C_2}\right)}}$且$A_v\ge\dfrac{C_1}{C_2}$

✐範例練習：

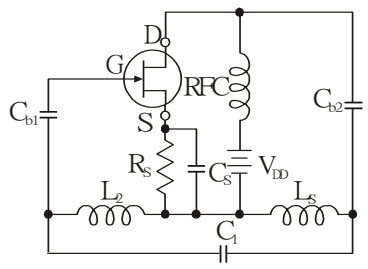
1. 如圖所示為一
(A)考畢子振盪器
(B)韋恩電橋振盪器
(C)布朗遜振盪器
(D)哈特萊振盪器。



2. 如圖所示電路中 C_{b1}，C_{b2}的作用是
(A)濾波電容
(B)LC 槽路的儲能電容
(C)橋式中和用電容
(D)訊號耦合及直流阻隔用電容。

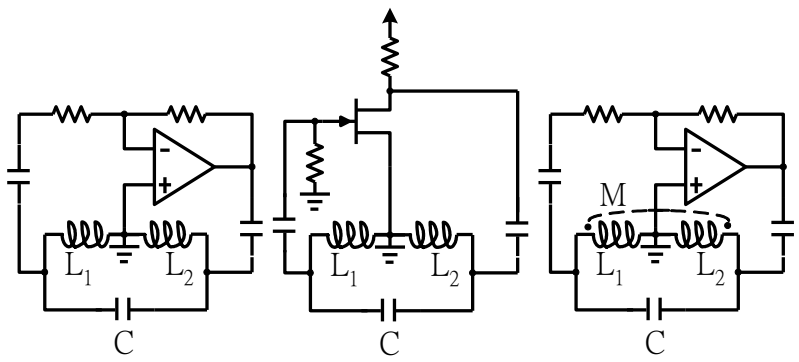


3. 如圖所示，若忽視電晶體之極間電容量，且 L_T 為諧振電路總電感量，則其振盪頻率 f_o 之值約為
(A) $f_o=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{L_T C_{b1}}}$
(B) $f_o=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{L_T C_{b2}}}$
(C) $f_o=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{L_T\cdot(C_{b1}+C_{b2})}}$
(D) $f_o=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{L_T C_1}}$ 。



解答 【1】D【2】D【3】D

(1) 哈特萊（Hartley Oscillator）



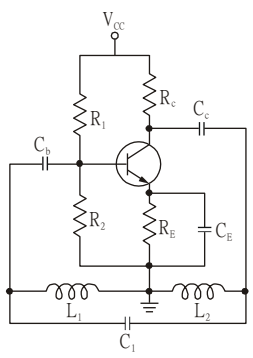
主動元件改 BJT 亦同

$f_o=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{(L_1+L_2)\cdot C}}$且$A_v\ge\dfrac{L_2}{L_1}$

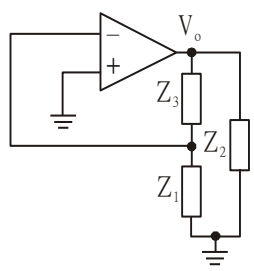
$f_o=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{(L_1+L_2+2M)\cdot C}}$且$A_v\ge\dfrac{L_2+M}{L_1+M}$

✐範例練習：

1. 如圖所示電路，哪一顆電容的主要功能是用來控制振盪頻率？
(A)C_b
(B)C_c
(C)C_E
(D)C_1。

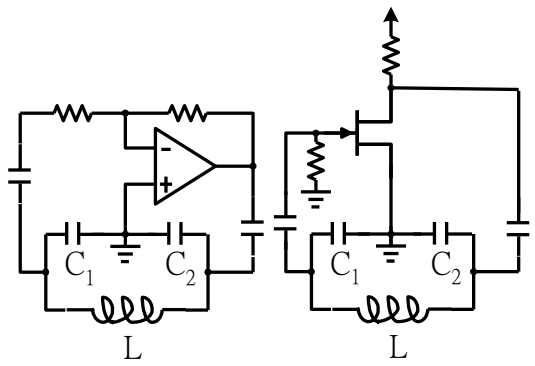


2. 如圖所示之電路表哈特萊(Hartley)振盪電路，則
(A)Z_1 為電阻，Z_2 為電感，Z_3 為電容
(B)Z_1、Z_2 為電容，Z_3 為電感
(C)Z_1、Z_3 為電感，Z_2 為電容
(D)Z_1、Z_2 為電感，Z_3 為電容。



解答 【1】D【2】D

(2) 考畢子（Coliptts Oscillator）

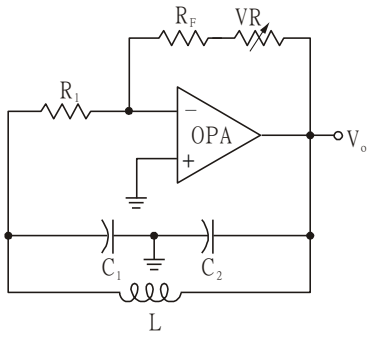


主動元件改 BJT 亦同

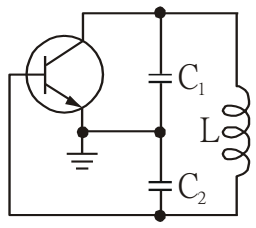
$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\cdot\left(\frac{C_1\cdot C_2}{C_1+C_2}\right)}} \text{ 且 } A_v \ge \frac{C_1}{C_2}$$

✐範例練習：

1. 如圖所示電路為哪一種振盪器？
(A)韋恩振盪器
(B)哈特萊振盪器
(C)晶體振盪器
(D)考畢子振盪器。

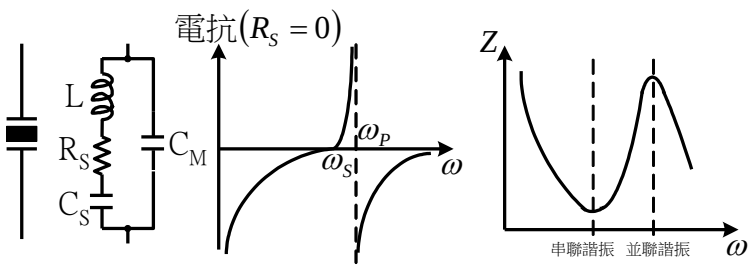


2. 如圖是一個振盪電路的交流部分，下列敘述何者正確？ (A)它是考畢子(Colpitts)振盪器 (B)它是哈特萊(Hartley)振盪器 (C)它只適用於低頻振盪，不能用於高頻振盪 (D)它的振盪頻率為 $\frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_1+C_2)}}$ 。



解答 【1】D【2】A

(3) 石英晶體震盪器（quartz oscillator）



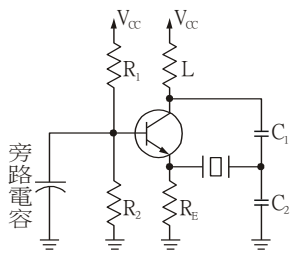
串聯諧振：f 低 C_M 很小（金屬電極）X_{CM} 斷路，諧振頻率為 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC_S}}$，若要激勵晶體在串聯諧振模式下工作，與反饋路徑接成串聯。

並聯諧振：f 高 C_M 不可忽略，C_M 與 C_S 先並聯，諧振頻率為 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{L\times\frac{C_S\cdot C_M}{C_S+C_M}}}$，若要激勵晶體在並聯諧振模式下工作，與反饋路徑接成並聯。

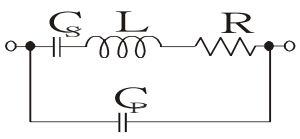
✐範例練習：

1. 石英晶體控制振盪器優於 LC 振盪器者為 (A)振盪範圍廣 (B)電路結構簡單 (C)振盪頻率穩定 (D)振盪頻率容易變更。

2. 如圖所示之電路屬於 (A)考畢子(Colpitts)並聯模式(Parallel-mode 晶體振盪電路 (B)考畢子串聯模式(Series-mode)晶體振盪電路 (C)哈特萊(Hartley)並聯模式晶體振盪電路 (D)哈特萊串聯模式晶體振盪電路。



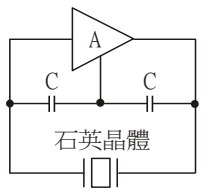
3. 石英晶體之等效電路如圖所示，其並聯與串聯諧振之頻率比為



(A) $\sqrt{1+\frac{C_S}{C_P}}$ (B) $\frac{C_S}{C_P}$

(C) $\sqrt{1+\frac{C_P}{C_S}}$ (D) $\frac{C_P}{C_S}$ 。

4. 如圖振盪器工作時，石英晶體是呈 (A)電阻性 (B)負電阻性 (C)電容性 (D)電感性。



5. 晶體振盪器的石英晶體之用途為 (A)放大 (B)回授 (C)儲能 (D)穩定偏壓。

6. 石英晶體的零阻抗發生於 (A)串聯諧振頻率 (B)並聯諧振頻率 (C)串、並聯諧振頻率 (D)以上皆不可能。

7. 石英晶體中以 (A)Y 切割 (B)X 切割 (C)AT 切割 (D)BT 切割 較適宜作振盪晶體。

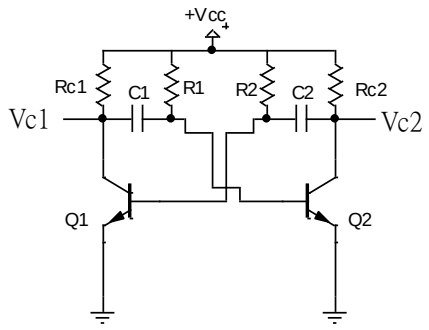
8. 石英晶體的 AT 切割因為具有 (A)零溫度係數 (B)正溫度係數 (C)負溫度係數 (D)正、負溫度係數 故較適宜作晶體振盪元件。

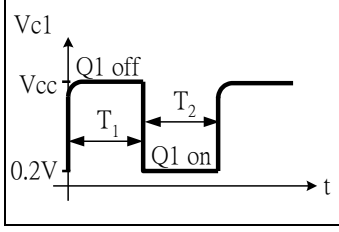
解答 【1】C【2】B【3】A【4】D【5】C【6】A【7】C【8】A

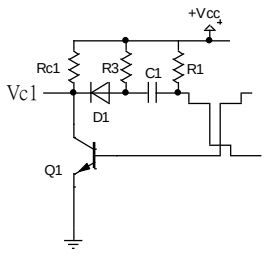
6. 多諧震盪

(1) 無穩多諧震盪

a. 電晶體 BJT 電路型式







$f(t)=f(\infty)+[f(0)-f(\infty)]\times e^{-\frac{t}{\tau}}$

$t=0$時,$Q1:on\rightarrow off,Q2:off\rightarrow on$

$V_{B1(0)}=V_{CE(on)}+V_{BE(on)}-V_{cc},V_{B2(0)}=V_{BE(on)}$

$V_{B1}(t)=V_{cc}+[V_{CE(on)}+V_{BE(on)}-V_{cc}-V_{cc}]\times e^{-\frac{t}{R_2C_2}}$

$t=T_1$時$V_{B1}(T_1)=V_{BE(on)},Q1:off\rightarrow on,Q2:on\rightarrow off$

$V_{B1}(T_1)=V_{cc}+[V_{CE(on)}+V_{BE(on)}-2V_{cc}]\times e^{-\frac{t}{R_2C_2}}=V_{BE(on)}$

$\Rightarrow T_1=R_2C_2\ln\dfrac{2V_{cc}-V_{BE(on)}-V_{CE(on)}}{V_{cc}-V_{BE(on)}}$

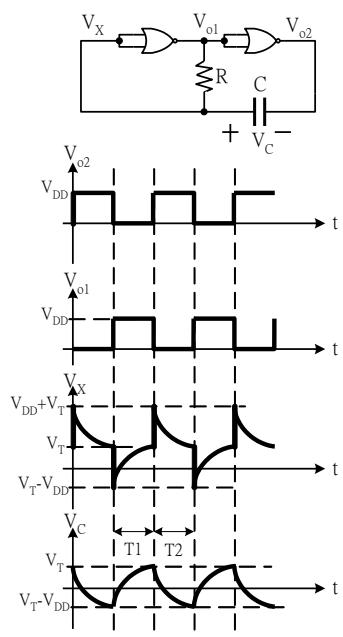
同理可得$T_2=R_1C_1\ln\dfrac{2V_{cc}-V_{BE(on)}-V_{CE(on)}}{V_{cc}-V_{BE(on)}}$

$T=T_1+T_2=(R_1C_1+R_2C_2)\ln\dfrac{2V_{cc}-V_{BE(on)}-V_{CE(on)}}{V_{cc}-V_{BE(on)}}\approx 0.693(R_1C_1+R_2C_2)$

動作條件：$\beta_1R_{C1}\geq R_2$及$\beta_2R_{C2}\geq R_1$

Q1 off 時，C1 會經 R_{C1} 充電而會在 R_{C1} 上產生一壓降，所以 Q1 集極電壓無法立即上昇至 V_{CC} 而產生圓角現象，改良方法如左側下右圖

b. NOR Gate 組成之不穩態振盪器



求$T1:V_C(t)=V_{DD}+[(V_T-V_{DD})-V_{DD}]\times e^{-\frac{t}{RC}}$

$V_C(T1)=V_T=V_{DD}+[(V_T-V_{DD})-V_{DD}]\times e^{-\frac{t}{RC}}$

$\Rightarrow T1=RC\ln\dfrac{V_T-2V_{DD}}{V_T-V_{DD}}$

求$T2:V_C(t)=-V_{DD}+[(V_T-(-V_{DD}))]\times e^{-\frac{t}{RC}}$

$V_C(T2)=V_T-V_{DD}=-V_{DD}+[V_T+V_{DD}]\times e^{-\frac{t}{RC}}$

$\Rightarrow T2=RC\ln\dfrac{V_T+V_{DD}}{V_T}$

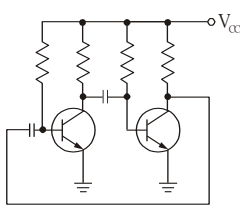
$T=T1+T2=RC\ln\left(\dfrac{V_T-2V_{DD}}{V_T-V_{DD}}\times\dfrac{V_T+V_{DD}}{V_T}\right)$

若$V_T=\dfrac{1}{2}V_{DD}\Rightarrow T=2RC\ln 3$

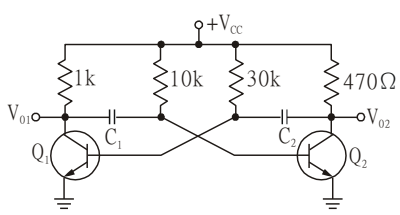
若$V_T=\dfrac{2}{3}V_{DD}\Rightarrow T=RC\ln 10$

✐範例練習：

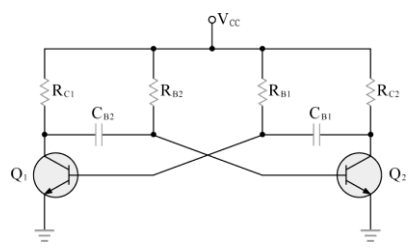
1. 如圖是一電晶體
(A)多諧振盪器
(B)正反器
(C)RC 相移振盪器
(D)韋恩橋式振盪器。



2. 欲使圖無穩態多諧振盪器振盪，則 Q_1 之 h_{fe} 至少應大於 (A)10 (B)22 (C)30 (D)45 (E)60。

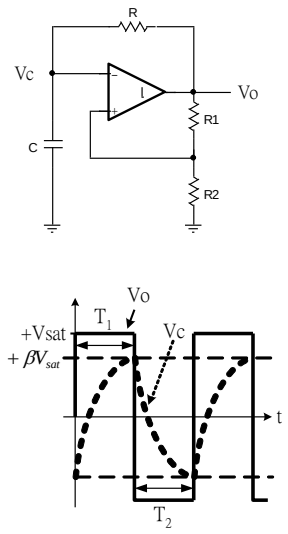


3. 如圖所示，是哪一種振盪器？
(A)石英晶體振盪器
(B)RC 相移振盪器
(C)韋恩電橋振盪器
(D)無穩態多諧振盪器。



解答 【1】A【2】C【3】D

c. OPA 電路型式



充電期間:T_1

$$V_C(t)=V_{sat}+\left(-\beta V_{sat}-V_{sat}\right)\times e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$V_C(T_1)=V_{sat}-(1+\beta)\times V_{sat}\times e^{-\frac{T_1}{RC}}=\beta V_{sat}$$

$$\Rightarrow(1+\beta)\times e^{-\frac{T_1}{RC}}=1-\beta\Rightarrow T_1=RC\ln\left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right)$$

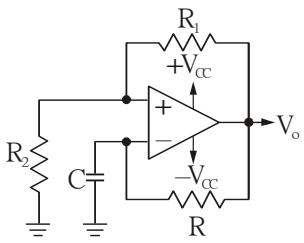
放電路徑相同

$$T_2=RC\ln\left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right)$$

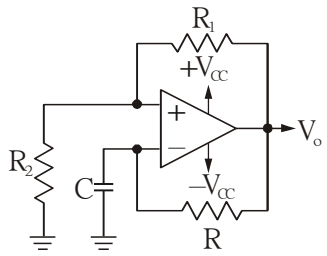
$$T=T_1+T_2=2RC\ln\left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right),\text{其中}\beta=\frac{R_2}{R_1+R_2}$$

✐範例練習：

1. 如圖所示之方波振盪電路，下列敘述何者錯誤？ (A)C 之數值增加，則振盪頻率下降 (B)R_2之數值增加，則振盪頻率增加 (C)對實際 OPA 而言，V_o之峰對峰值接近 $2V_{CC}$ (D)對實際 OPA 而言，V_o之工作週期(duty cycle)約為 50%。



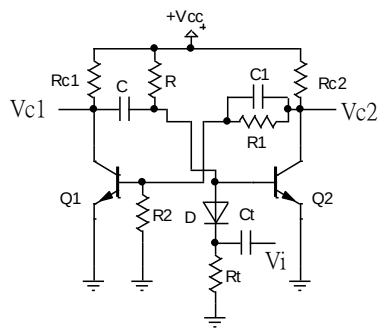
2. 如圖所示之方波振盪電路，如 V_o之最大值為±12V，R_1=R_2=10kΩ，則跨於電容器兩端電壓之最大值約為何（不計正負號）？ (A)1V (B)3V (C)6V (D)12V。



解答 【1】B【2】C

(2) 單穩態多諧震盪

a. 電經體組成之單穩態振盪器



初始狀態$Q1$為off而$Q2$為on,觸發信號進入時$Q1$為on而$Q2$為off,最終$Q1$為off而$Q2$為on

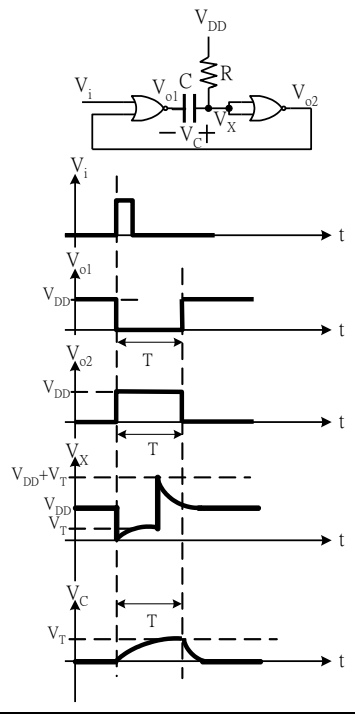
觸發瞬間$V_{B2}(0)=-V_{CC}$,最終穩態$V_{B2}(t)=V_{CC}$

$$V_C(t)=V_{CC}+\left[-V_{CC}-V_{CC}\right]\times e^{-\frac{t}{RC}}$$

當$V_{B2}=0.6V$時$Q2$為on,求$V_C(t)=0$所需時間即為脈波時間

$$0=V_{CC}+\left[-V_{CC}-V_{CC}\right]\times e^{-\frac{t}{RC}}\Rightarrow t=0.693RC$$

b. NOR Gate 組成之單穩態振盪器



$$\text{求}T:V_C(t)=V_{DD}+\left[0-V_{DD}\right]\times e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$V_C(T)=V_T=V_{DD}+\left[0-V_{DD}\right]\times e^{-\frac{t}{RC}}$$

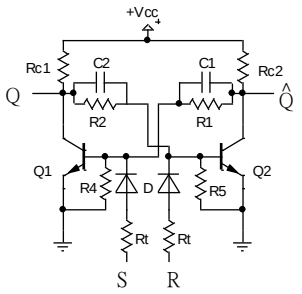
$$\Rightarrow T=RC\ln\frac{V_{DD}}{V_{DD}-V_T}$$

$$\text{若}V_T=\frac{1}{2}V_{DD}\Rightarrow T=RC\ln 2$$

$$\text{若}V_T=\frac{2}{3}V_{DD}\Rightarrow T=RC\ln 3$$

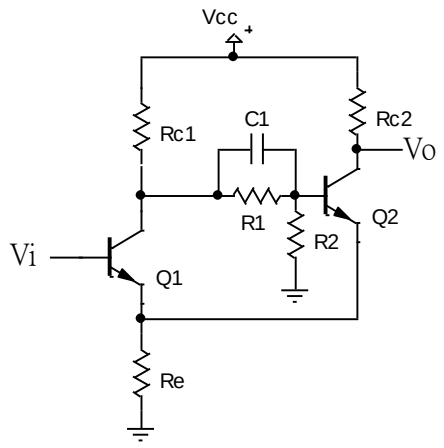
(3)

(4) 雙穩態多諧震盪



7. 樞密特觸發電路

(1) 電晶體組成



$R_{C1} > R_{C2}$, Q1為off且Q2為on

$I_{C1(sat)} = \dfrac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_{C1} + R_e}, I_{C2(sat)} = \dfrac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_{C2} + R_e}$

$V_o = V_{CE2(sat)} + I_{C2(sat)} \cdot R_e$

$V_i > V_{BE1} + I_{C2(sat)} \cdot R_e, V_i > V_{UT}$

$V_{UT} = V_{BE1} + I_{C2(sat)} \cdot R_e$

$V_{oH} = V_{CC}$

$V_i < V_{BE1} + I_{C1(sat)} \cdot R_e, V_i < V_{LT}$

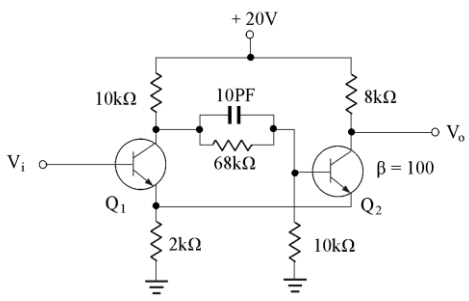
$V_{LT} = V_{BE1} + I_{C1(sat)} \cdot R_e$

$V_{oL} = V_{CE2(sat)} + I_{C2(sat)} \cdot R_e$

$V_H = V_{UT} - V_{LT} = \left(I_{C2(sat)} - I_{C1(sat)}\right) \cdot R_e$

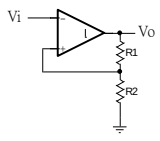
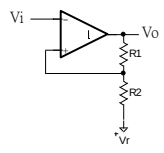
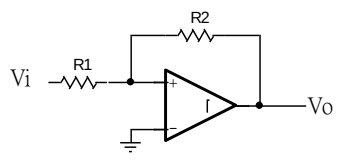
✐範例練習：

1. 如圖，Q_1、Q_2 的導通 V_{BE} 偏壓與飽和 $V_{CE(sat)}$ 偏壓分別為 0.5V 與 0V，求此電路的上臨界電壓 V_{UT} 為多少伏特？(A)4.5　(B)3.5　(C)1.5　(D)0.5　V。



解答　【1】A

(2) OPA 組成

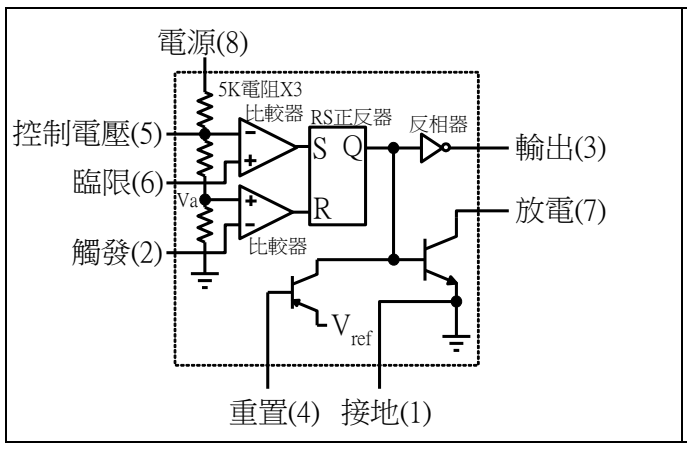
反相樞密特觸發電路	反相樞密特觸發電路	非反相樞密特觸發電路
		
$V_U = +V_{sat} \times \dfrac{R_2}{R_1 + R_2}$ $V_L = -V_{sat} \times \dfrac{R_2}{R_1 + R_2}$ $V_H = V_U - V_L$	$V_U = \left(+V_{sat} - V_r\right) \times \dfrac{R_2}{R_1 + R_2} + V_r$ $V_L = \left(-V_{sat} - V_r\right) \times \dfrac{R_2}{R_1 + R_2} + V_r$ $V_H = V_U - V_L$	$V_{LT} = -\dfrac{R_1}{R_2} V_{sat}, V_{UT} = \dfrac{R_1}{R_2} V_{sat}$ $V_H = 2 \times \dfrac{R_1}{R_2} V_{sat}$

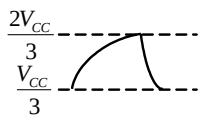
✐範例練習：

1. 下列哪一種振盪器是需要外加觸發信號才能發生振盪？　(A)單穩態多諧振盪器　(B)RC 相移振盪器　(C)無穩態多諧振盪器　(D)史密特振盪器。

解答　【1】A

8. 555 計時器





$V_2 \ge V_a, V_5 > V_6 \Rightarrow S=0, R=0$

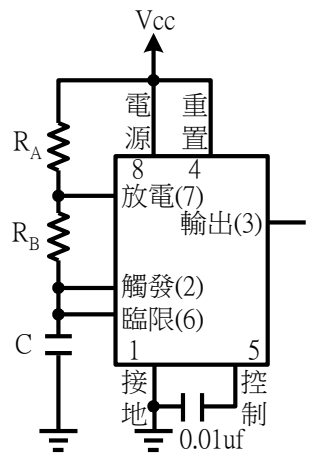
$V_2 < V_a \Rightarrow S=0, R=1 \Rightarrow Q=0$,輸出為1,充電

$V_2 > V_a, V_6 < V_5 \Rightarrow S=0, R=0 \Rightarrow Q=0$,輸出為1,充電

$V_2 > V_a, V_6 \ge V_5 \Rightarrow S=1, R=0 \Rightarrow Q=1$,輸出為0,放電

$V_2 > V_a, V_5 > V_6 \Rightarrow S=0, R=0 \Rightarrow Q=1$,輸出為0,放電

(1) 無穩態多諧震盪電路



充電時

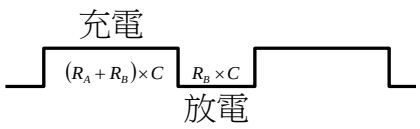
$V_C(0)=\frac{1}{3}V_{CC}, V_C(\infty)=V_{CC}, V_C(t)=V_{CC}+\left(\frac{1}{3}V_{CC}-V_{CC}\right)\times e^{-\frac{t}{\tau}}$

$\frac{1}{3}V_{CC}=V_{CC}-\frac{2}{3}V_{CC}\times e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow e^{-\frac{t}{\tau}}=\frac{1}{2}$

$t=0.693\times(R_A+R_B)\times C$

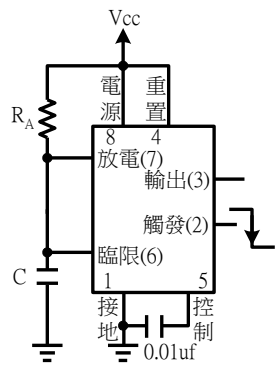
同理,放電時$t=0.693R_BC$

故$T=0.693\times(R_A+2R_B)\times C$



責任週期$(Duty\quad cycle)=\frac{T_{on}}{T}=\frac{R_A+R_B}{R_A+2R_B}$

(2) 單穩態多諧電路



觸發信號$<\frac{1}{3}V_{CC}$之負緣動作

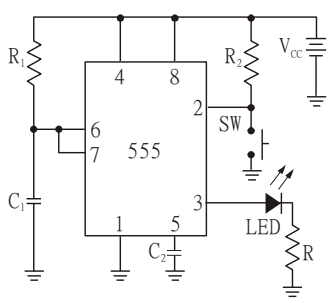
$V_C(0)=0, V_C(t)=\frac{2}{3}V_{CC}, V_C(t)=V_{CC}+(0-V_{CC})\times e^{-\frac{t}{\tau}}$

$\frac{2}{3}V_{CC}=V_{CC}-V_{CC}\times e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow e^{-\frac{t}{\tau}}=\frac{1}{3}$

$t=1.1\times R_A\times C$

✐範例練習：

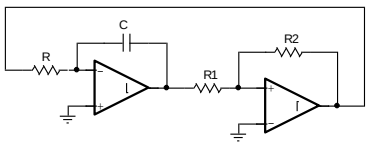
1. 555 是一個具有幾支接腳的積體電路？ (A)8 支 (B)14 支 (C)16 支 (D)20 支。
2. 555 當哪一腳的電壓高於$\frac{2}{3}V_{CC}$時,第 3 腳輸出為低電位？ (A)第 2 腳 (B)第 4 腳 (C)第 6 腳 (D)第 8 腳。
3. 555 當哪一腳的電壓低於$\frac{1}{3}V_{CC}$時,第 3 腳輸出為高電位？ (A)第 2 腳 (B)第 4 腳 (C)第 6 腳 (D)第 8 腳。
4. IC 555 定時器的內部結構不包含以下何者？ (A)一個放大器 (B)兩個比較器 (C)一個正反器 (D)一個集極開路 NPN 電晶體。
5. 555 定時 IC 之最大供給或吸入電流為 (A)16mA (B)400μA (C)160mA (D)200mA。
6. 555 定時 IC 可製作 (A)非穩態電路 (B)雙穩態電路 (C)史密特電路 (D)以上皆可。
7. 555 IC 之 RESET（重置）腳於不使用時應接至 (A)+V_{CC} (B)GND (C)TRIGGER 腳（第 2 腳） (D)THRESHOLD（第 6 腳）。
8. 如圖所示由 IC 555 所組成的電路，若 R_1=100kΩ，C_1=100μF，當按鈕開關 SW 按一下後放開，則LED約亮多少時間後又熄滅？(A)1.1 秒 (B)6.93 秒 (C)10 秒 (D)11 秒。



9. 555 定時 IC 可適用之電壓範圍為 (A)4.75～5.25V (B)3～18V (C)4.5～16V (D)－15～+15V。

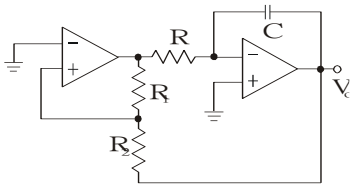
解答 【1】A【2】C【3】A【4】A【5】D【6】A【7】A【8】D【9】C

9. 方波、三角波產生器

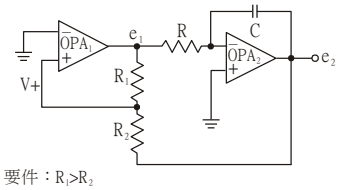
	積分器$Q = C \times V = I \times t \Rightarrow t = \frac{C \times V}{I} = \frac{C \times 2 \times \beta \times V_{cc}}{\frac{V_{cc}}{R}} = 2 \times \beta \times R \times C \therefore T = 4 \times \beta \times R \times C$ 史密特$\left(\frac{\beta \times V_{cc}}{R_1} + \frac{V_{cc}}{R_2}\right) \times \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{V_{cc} \times (R_1 + \beta R_2)}{R_1 + R_2} = 0 \Rightarrow \beta = \frac{R_1}{R_2}$

✐範例練習：

1. 如圖所示，如電路發生振盪時，則 V_o 輸出波形為　(A)方波　(B)梯形波　(C)正弦波　(D)不規則波形　(E)三角波。



2. 如圖所示，設 R_1=30kΩ，R_2=10kΩ，R=15kΩ，C=0.1μF，求 e_2 之極大值為多少伏特？　(A)5V　(B)－5V　(C)3V　(D)－3V。



解答　【1】E【2】A【3】【4】【5】【6】【7】【8】【9】【10】【11】【12】【13】【14】【15】