

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	11-1-5	單元名稱	晶體振盪電路			
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	<ol style="list-style-type: none"> 1. 石英晶體的特性。 2. 石英晶體的壓電效應。 3. 石英晶體的物理結構及電路符號。 4. 石英晶體的等效電路及諧振頻率。 5. 石英晶體振盪應用電路。 					
具體學習目標 (例如:能說出、能寫出、能列舉、能運用)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能說出 LC 振盪電路的缺點，並瞭解石英晶體的特性。 2. 瞭解石英晶體的壓電效應。 3. 瞭解石英晶體的物理結構及電路符號。 4. 熟悉石英晶體等效電路及諧振頻率。 5. 能熟悉石英晶體振盪電路的應用。 					
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) 11-1-5-1 石英晶體的特性 1.為何要使用晶體作為振盪器 在 LC 振盪電路中，雖然可以獲得高頻振盪輸出，但是電晶體的輸入電容 C_i 直接並聯在儲能電路的電容器， C_i 會隨電晶體參數及負載而改變；另一個因素為電晶體或負載變化，兩者均會導致儲能電路的 L 及 C 產生變化，造成振盪頻率漂移。 因石英晶體 (Crystal，簡稱 XTAL) 是自然界中穩定度較高，可避免高頻振盪漂移現象。因此，在遙控系統、通訊系統或精密		5 分鐘	11-1-5-1 石英晶體的特性_簡報)	動態簡報	30 秒	簡報 內容如下： 一、石英晶體的特性 (1)堅固耐用、靈敏度高、品質因數很高（可達 2 萬以上，一般 LC 振盪電路約 100 左右），頻寬很窄，不受溫度影響，在高頻振盪器中屬於最穩定與最精確。 (2)晶體產生的振盪頻率與晶體元件的厚度成反比，與切割形狀及大小有關，與電路元件特性及外

<p>的石英錶，常用晶體作為振盪器。</p> <p>2.石英晶體的特性</p> <p>(1)堅固耐用、靈敏度高、品質因數很高（可達 2 萬以上，一般 LC 振盪電路約 100 左右），頻寬很窄，不受溫度影響，在高頻振盪器中屬於最穩定與最精確。</p> <p>(2)晶體產生的振盪頻率與晶體元件的厚度成反比，與切割形狀及大小有關，與電路元件特性及外加的電壓無關。</p> <p>(3)切割厚度與尺寸決定振盪範圍，振盪範圍很大約可達 kHz ~ 數百 MHz。</p> <p>(4)晶體表面產生的電荷量與外加壓力成正比。</p> <p>(5)每個晶體製成後，僅有單一振盪頻率，無法再改變。</p>					<p>加的電壓無關。</p> <p>(3)切割厚度與尺寸決定振盪範圍，振盪範圍很大約可達 kHz ~ 數百 MHz。</p> <p>(4)晶體表面產生的電荷量與外加壓力成正比。</p> <p>(5)每個晶體製成後，僅有單一振盪頻率，無法再改變。</p> <p>二、石英晶體的應用</p> <p>舉凡在遙控系統、通訊系統、石英錶、晶體微音器、晶體耳機、晶體唱頭等，常用晶體作為振盪器。</p>
--	--	--	--	--	---

<p>發展活動</p> <p>11-1-5-2 晶體的壓電效應</p> <p>所謂壓電效應 (Piezoelectric Effect)是具有機械能與電能可逆互換的現象，其說明如下：</p> <p>1.機械能轉為電能</p> <p>如圖 1 所示，在晶體上施加一壓力時，晶體相對的表面會產生異性電荷，一面為「正」，另一面為「負」。若施以張力則表面的電荷會反過來。其電荷量隨所施加力的大小成正比例增減，此為晶體將機械能轉為電能的特性，常用來製作品體唱頭或晶體微音器（麥克風內部元件之一）。</p> <div data-bbox="190 1165 884 1300"> </div> <p>(a)不受外力的晶體 (b)壓縮的晶體 (c)伸張的晶體</p> <p>圖 1 晶體的壓電效應</p> <p>2.電能轉為機械能</p>	5 分鐘	11-1-5-2 晶體的壓電效應_簡報	動態簡報	30 秒鐘	1.簡報內容如教學實施說明的 11-1-5-2。
---	------	---------------------	------	-------	--------------------------

在晶體上外加一電壓，晶體將產生機械力而造成振動。由於晶體振動引起膨脹及收縮，可在晶體表面獲得交流電壓輸出，該電壓的頻率為固定，只受晶體切割的形狀及厚度而改變（**晶體切割愈薄，頻率愈高**）。此為晶體將電能轉為機械能的特性，常用於晶體耳機及晶體振盪器。

11-1-5-3 石英晶體的物理結構及電路符號

石英晶體是二氧化矽的結晶體，從一塊石英晶體上依照一定方位角切下薄片，如圖 2 所示在它的兩個對應面上塗上銀層作為電極，在每電極上各焊一根導線接到管腳上，再加上外殼（可為金屬、玻璃、陶瓷或塑膠）封裝就構成了石英晶體諧振器，簡稱為石英晶體，如圖 3 所示為封裝類型。

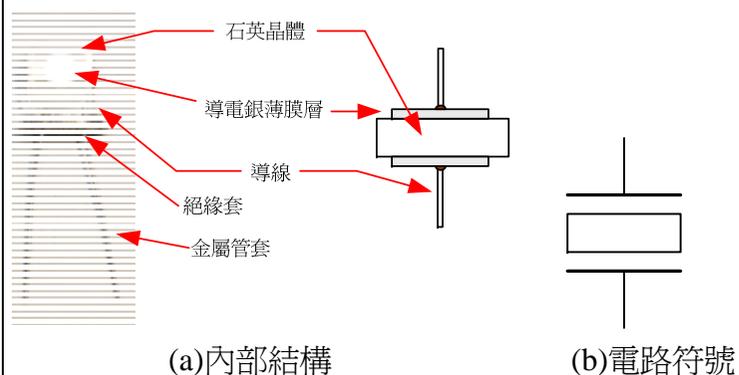


圖 2 石英晶體內部結構及電路符號

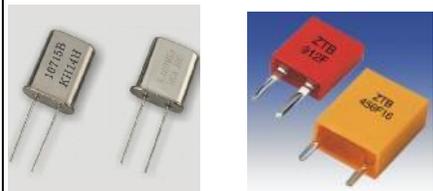


圖 3 石英晶體的封裝類型

11-1-5-4 石英晶體的等效電路及諧振頻率

石英晶體只有再外加交流電壓頻率及晶體的自然諧振頻率

2
分
鐘

11-1-5-3
石英晶體
的物理結
構及電路
符號_動
畫

動畫
並加
入說
明

30
秒
鐘

以 11-1-5-3 的教學實施內容製作動畫及說明。

20
分

11-1-5-4
石英晶體

動態
簡報

2
分

以 11-1-5-4 教學實施內容製作簡報。

相同時，才可產生最大振幅的振盪，而產生交流電壓輸出。換言之，在諧振頻率時，才有最大電流流過晶體的薄膜上。若外加交流電壓的頻率與晶體自然頻率不同，則晶體幾乎不動。

1. 石英晶體的交流等效電路

如圖 4 所示為晶體的交流等效電路，其中電阻 R 等效於晶體振動時的機械摩擦力及電能的損耗，一般約為 100Ω 。電感器 L 等效於晶體振動時的有效質量及慣性，其值約為數十 mH ~數百 mH 。串聯電容器 C_S 等效於晶體振盪的彈性，其值約為 $0.0002pF$ ~ $0.1pF$ 。並聯電容器 C_P 等效晶體本身作為電介質時，兩極版間的電容量，其值約為數 pF ~數十 pF 。

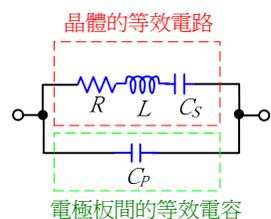


圖 4 晶體的交流等效電路

由等效電路可知具有兩個諧振電路，一個為 RLC 串聯諧振，其特性為阻抗最小，支路電流最大；另一個為 LC 並聯諧振，其特性為阻抗最大，支路電流最小。

2. 石英晶體的諧振頻率

由等效電路可得等效導納為：

$$Y = \frac{1}{R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C_S})} + j\omega C_P$$

$$= \frac{R - j(\omega L - \frac{1}{\omega C_S}) + j\omega C_P \left[R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C_S})^2 \right]}{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C_S})^2}$$

當諧振發生時，虛部為零，亦即：

鐘
的等效電
路及諧振
頻率_簡
報

鐘

$$-\left(\omega L - \frac{1}{\omega C_s}\right) + \omega C_p \left[R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C_s}\right)^2 \right] = 0$$

因電阻值很小，故可省略 R 項，經化簡可得：

$$\left(\omega L - \frac{1}{\omega C_s}\right) \left[-1 + \omega C_p \left(\omega L - \frac{1}{\omega C_s}\right) \right] = 0$$

$$\text{可得 } \omega L - \frac{1}{\omega C_s} = 0 \text{ 或 } -1 + \omega C_p \left(\omega L - \frac{1}{\omega C_s}\right) = 0$$

由上式可知，晶體振盪有兩個諧振頻率，其定義為：

(1) 串聯諧振頻率

$$\text{因 } \omega L - \frac{1}{\omega C_s} = 0, \text{ 即 } \omega L = \frac{1}{\omega C_s}, \text{ 則串聯諧振頻率為}$$

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_s}}。$$

(2) 並聯諧振頻率

$$\text{因 } -1 + \omega C_p \left(\omega L - \frac{1}{\omega C_s}\right) = 0, \text{ 整理可得 } \omega L = \frac{1}{\omega} \left(\frac{1}{C_s} + \frac{1}{C_p} \right),$$

$$\text{則並聯諧振頻率為 } f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{eq}}}, \text{ 其中 } C_{eq} = \frac{C_s C_p}{C_s + C_p}。$$

因 $C_p \gg C_s$ ，使得 $C_{eq} \approx C_s$ ，亦即 $f_p \approx f_s$ 。圖 5 所示為石

英晶體的電抗與頻率特性曲線，當頻率 $f < f_s$ 或 $f > f_p$ 時，晶體呈現電容性；當則頻率 $f_s < f < f_p$ 時，晶體呈現電感性。

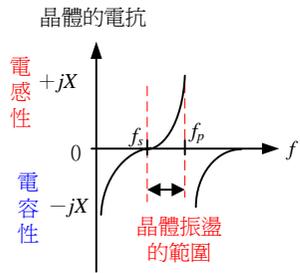


圖 5 所示為石英晶體的電抗與頻率特性曲線

3. 石英晶體的品質因素

由於石英晶體的等效電阻 R 及串聯電容 C_s 很小，而等效電感量

遠大於等效電容量，故品質因數 $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$ 很大，一般約為 3000

~10000 以上，使得諧振頻寬 $BW = \frac{f_s}{Q}$ 很小，且 $f_p \approx f_s$ ，所以石

英晶體可得高穩定且精準的振盪頻率。

11-1-5-5 石英晶體振盪的應用電路

石英晶體振盪器一般應用在晶體唱針、麥克風（微音器）、石英錶及遙控器發射與接收。而石英晶體的振盪頻率與晶體的諧振頻率有關，與外接的電路元件無關。以下為常用的電路：

1. 串聯諧振式皮爾斯晶體振盪電路

如圖 6 所示為串聯諧振式皮爾斯晶體振盪電路，晶體以串聯模式工作，電阻 R_1 及 R_2 為直流偏壓電阻，電容器 C_E 為旁路電容， C_C 為耦合電容可微調輸出振盪頻率， RFC 為射頻抗流圈以提供直流偏壓而隔離射頻交流。

當晶體工作在諧振頻率時，阻抗最小，正回授量最大，電路才會振盪。若振盪頻率低於或高於晶體頻率時，阻抗會增加，回授量減少，電路無法持續振盪。

8
分
鐘

11-1-5-5
石英晶體
振盪的應
用電路_
簡報

動態
簡報

1
分
30
秒

以 11-1-5-5 教學實施內容製作簡報

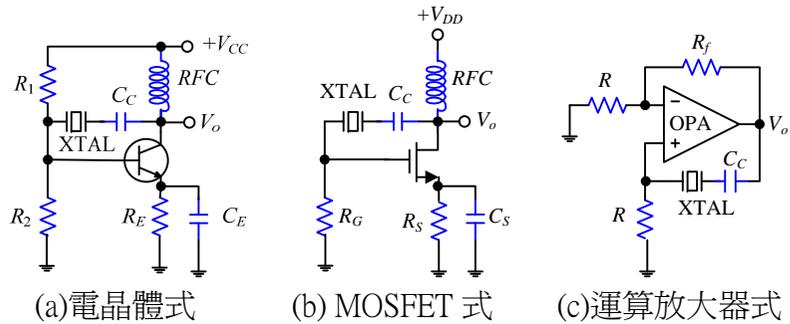


圖 6 串聯諧振式皮爾斯晶體振盪電路

2. 並聯諧振式皮爾斯晶體振盪電路

如圖 7 所示為並聯諧振式皮爾斯晶體控制振盪電路，晶體與 C_1 及 C_2 並聯，晶體如同考畢子振盪電路中的電感。電路中的晶體成電感性，當工作於並聯諧振頻率時，晶體的電感抗最大，輸出電壓也會最大，該電壓經 C_1 及 C_2 分壓後， C_2 兩端的正回授電壓會最大，故可以持續振盪。 C_1 及 C_2 的功能在調整相位。

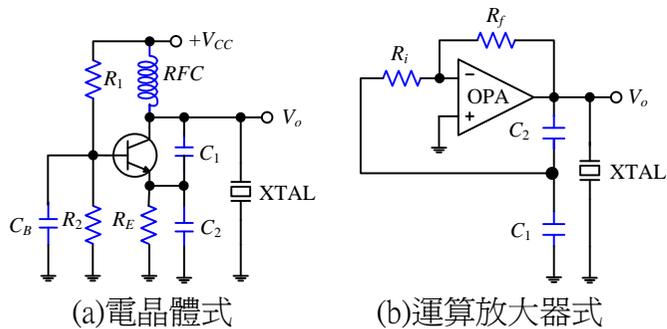


圖 7 並聯諧振式皮爾斯晶體振盪電路

3. 米勒晶體振盪電路

如圖 8 所示為米勒晶體振盪電路，利用汲極及閘極的極際電容 C_{dg} 作為回授網路。當晶體在並聯諧振頻率時，在輸入端的閘極與源極的回授電壓最大，造成電路振盪。電路使用時，需要調整 LC 調諧電路使諧振在晶體的並聯諧振頻率，且增益達到最大，才可確保電路持續振盪。

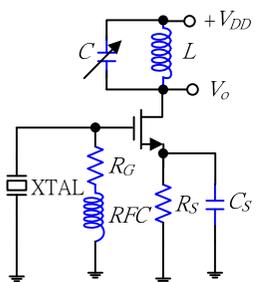


圖 8 米勒晶體振盪電路

結論：石英晶體必須呈電感性的電抗，才能產生持續的振盪。

綜合活動

一、即時練習

1. 為何採用石英晶體作為高頻振盪電路？(A) 電路簡單 (B) 耗電量較小 (C) 振盪頻率較穩定 (D) 振盪範圍廣。

SOL : C

2. 石英晶體振盪電路欲維持振盪，則石英晶體的性質必須為何者？(A) 電感性 (B) 電阻性 (C) 電容性 (D) 以上皆可。

SOL : A

詳解：石英晶體必須呈電感性與電路配合，才可產生持續振盪。

3. 晶體振盪電路是由何種方式產生？(A) 電磁效應 (B) 壓電效應 (C) 相移作用 (D) 體積改變。

SOL : B

4. 所謂「壓電效應」是指何種轉換？(A) 機械與磁場 (B) 電能與磁場 (C) 電能與機械能 (D) 以上皆是。

SOL : C

5. 石英晶體振盪頻率由何者決定？(A) 外加電流 (B) 切割厚度 (C) 外加電壓 (D) 以上皆可。

SOL : B

詳解：石英晶體振盪頻率與厚度成反比。

10分鐘

11-1-5-6
(即時練習_晶體振盪單元)

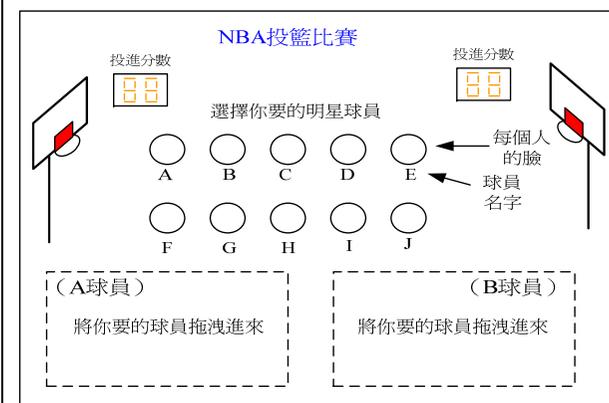
互動式動畫網頁

10分鐘

以「遊戲搶答方式」看誰投進分數最多為優勝。
使用 11-1-1b 的動畫元件，但是題目改為 11-1-5-6 的即時練習共 10 個題目。互動式動畫元件，呈現方式如下：

1. 選擇角色 (角色扮演)：

以 NBA 的任意 10 個球員讓同學選擇人物，相同人物不能再選 (亦即 A、B 不能同一個人物)。當兩人同時選取後才進入下個比賽開始倒數五秒的畫面。



2. 倒數計時的畫面：

6.在何種情況下，石英晶體的阻抗會為零？(A)並聯諧振頻率(B)截止頻率(C)串聯與並聯諧振頻率的中點(D)串聯諧振頻率。

SOL：D

詳解：當串聯諧振時，阻抗會最小（理想時為零）。

7.下列有關振盪電路的敘述何者錯誤？(A)RC振盪電路屬於低頻振盪(B)石英晶體是一種壓電材料(C)石英晶體振盪電路輸出的頻率最穩定(D)石英晶片愈薄，振動頻率愈低。

SOL：C

詳解：石英晶片愈薄，振動頻率愈高。

8.有關石英晶體振盪器敘述何者錯誤？(A)並聯諧振時阻抗最小(B)可設計為脈波振盪器(C)串聯回授諧振時正回授量最大(D)振盪器的輸出頻率穩定。

SOL：A

詳解：並聯諧振時阻抗最大。

9.有關石英晶體特性敘述何者錯誤？(A)晶體的品質因數很高(B)溫度升高時，晶體的穩定性變差(C)晶體的諧振頻率很精確(D)晶體的振盪頻率與外加電壓無關。

SOL：B

10.如圖 9 所示為晶體的等效電路，若 $R=100\Omega$ ， $L=10\text{mH}$ ， $C_s=0.01\text{pF}$ ， $C_p=4\text{pF}$ ，求串聯振盪頻率為何？(A)795kHz(B)3.72 MHz(C)5.84MHz(D)15.9MHz。

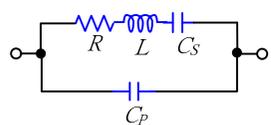
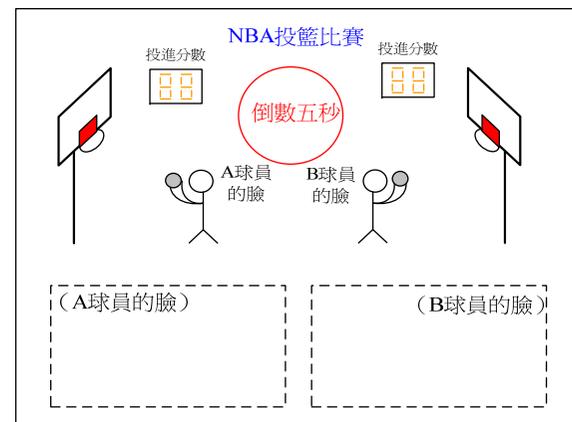


圖 9

SOL：D

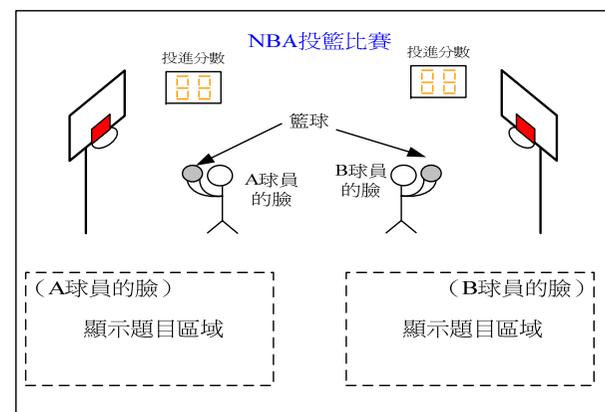
詳解： $f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_s}} = \frac{0.159}{\sqrt{10\text{mH} \times 0.01\text{pF}}} = 15.9\text{MHz}$

計分表以 LED 先顯示「0」，並出現紅色字「5、4、3、2、1」，經過五秒後跳到下個比賽開始畫面。



3. 比賽開始畫面：

(1)將左邊的第一個題目同時顯示在虛線區域，讓同學搶答，按下選項時，該球員開始投籃。如果「答對」者，籃球會「投進」網，此時分數會顯示，而且該球員的題目區域也會顯示「0」（分數計算為，每投進一顆球算兩分）。如果「答錯」者，籃球「不會」進網，不計分，並在該球員的題目區域顯示「X」。



(2)當題目答對且進球得分後，在兩個顯示區域同時進行下一個題目。直到 10 題完成後，畫面顯示「比賽

結束」，優勝者，舉起獎盃。

二、晶體振盪電路的學習單

1.採用石英晶體振盪電路主要的原因為何？(A)振盪範圍廣泛
(B)振盪頻率穩定(C)耗電量低(D)電路簡單。

SOL：B

2.有關石英晶體敘述何者錯誤？(A)振盪頻率較精確(B)具有
壓電效應(C)晶體愈薄，振動頻率愈低(D)振盪頻率很穩定。

SOL：C

詳解：晶體愈薄，振動頻率愈高。

3.下列敘述石英晶體特性何者錯誤？(A)穩定度高，頻寬很大(B)
輸出電路 LC 迴路的諧振頻率等於晶體的振盪頻率(C)振盪頻
率不受電晶體特性的影響(D)品質因數愈高，輸出振幅愈大。

SOL：A

詳解：品質因數愈高，頻寬愈窄，穩定度愈高。

4.下列何者為石英晶體振盪器的主要特性？(A)輸出電壓較大
(B)輸出電流較大(C)相位容易漂移(D)頻率穩定。

SOL：D

5.石英晶體振盪電路中，當振盪頻率介於晶體串聯諧振頻率及並
聯諧振頻率之間時，晶體的阻抗呈現何種特性？(A)電容性(B)
電感性(C)電阻性(D)中性。

SOL：B

6.如圖 10 所示為晶體的等效電路，若 $R=100\Omega$ ， $L=10\text{mH}$ ，
 $C_S=0.01\text{pF}$ ， $C_P=4\text{pF}$ ，求並聯振盪頻率為何？(A) 795kHz (B)
3.72 MHz (C) 5.84MHz (D) 15.9MHz。

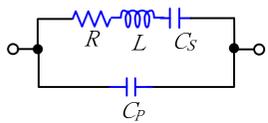


圖 10

SOL：C

11-1-5-7

學習單方式作為課後練習作業。

詳解：因 $C_p \gg C_s$ ，使得 $C_{eq} = C_s // C_p \approx C_s$ ，故

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \times C_{eq}}} \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{L \times C_s}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{210mH \times 0.01pF}} = 15.9MHz$$

7.如圖 10 所示為晶體的等效電路，若 $R=100\Omega$ ， $L=10mH$ ， $C_s=0.01pF$ ， $C_p=4pF$ ，求並聯振盪頻率與串聯振盪頻率之比值為何？ (A) 1 (B) 1.2 (C) 1.4 (D) 1.6。

SOL : A

詳解： $\frac{f_p}{f_s} = \sqrt{1 + \frac{C_s}{C_p}} = \sqrt{1 + \frac{0.01pF}{4pF}} \approx 1$

8.如圖 11 所示電路中，何者為決定輸出頻率？ (A) R_f (B) C_1 (C) C_2 (D) XTAL。

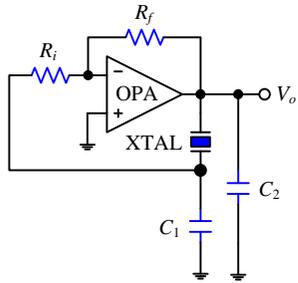


圖 11

SOL : D

合計：

50
分
鐘

合
計：

15
分
鐘

7 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
電子學總複習講義，王金松編著，全華文化事業公司。	第十一章基本振盪電路第四節 LC 振盪器
電子學 II，徐慶堂 黃天祥編著，台科大圖書公司	第十一章基本振盪電路第一節正弦波振盪電路
http://www.dz3w.com/info/basic/0082434.html	石英晶體諧振器的結構與原理