

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 1173 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。

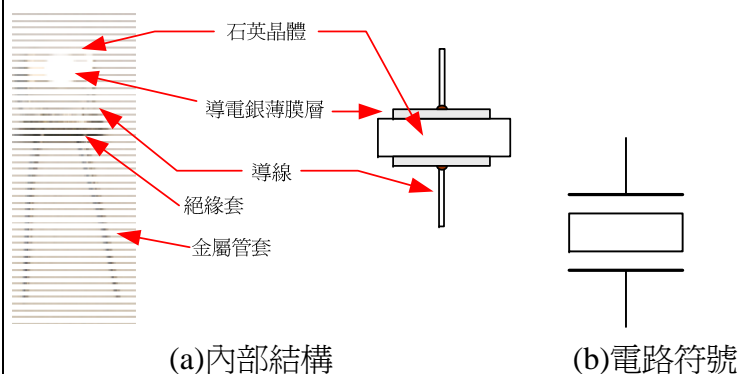


圖 2 石英晶體內部結構及電路符號

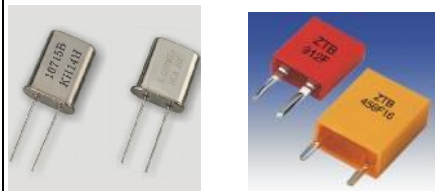


圖 3 石英晶體的封裝類型

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。

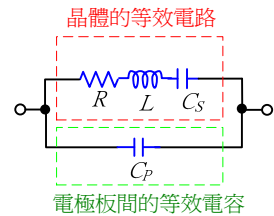


圖 4 晶體的交流等效電路

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：

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

可得 $\omega L - \frac{1}{\omega C_s} = 0$ 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

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

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_s}}。$$

(2) 並聯諧振頻率

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

則並聯諧振頻率為 $f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{eq}}}$ ，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。

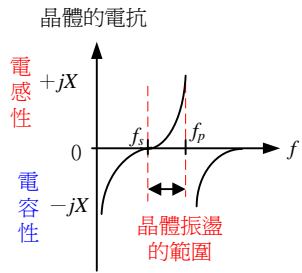


圖 5 所示為石英晶體的電抗與頻率特性曲線

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

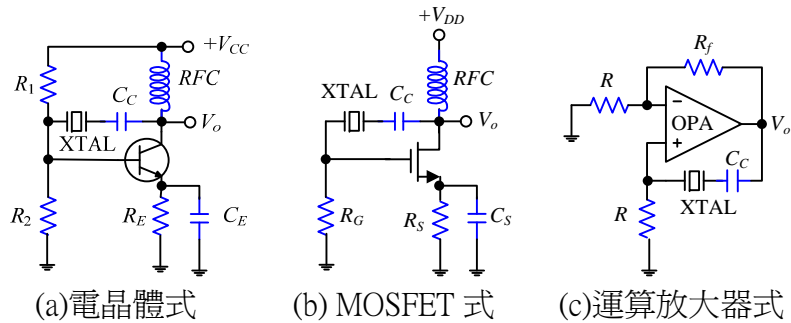


圖 6 串聯諧振式皮爾斯晶體振盪電路

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。

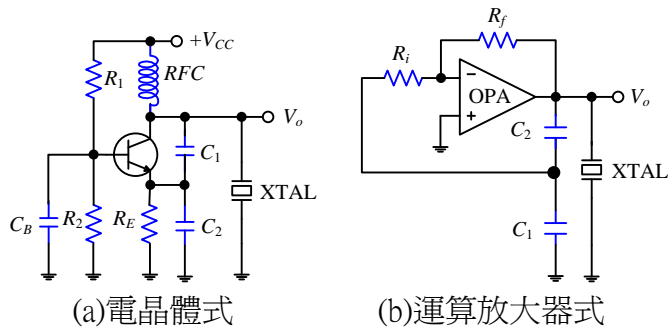


圖 7 並聯諧振式皮爾斯晶體振盪電路

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。

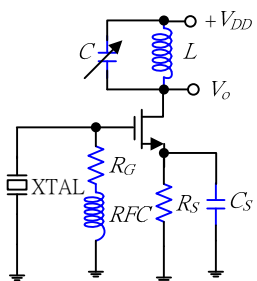


圖 8 米勒晶體振盪電路

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)

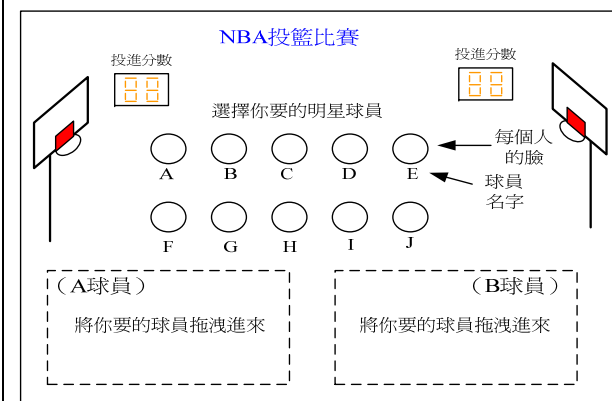
互動式
動畫網
頁

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)3.72MHz(C)5.84MHz(D)15.9MHz。

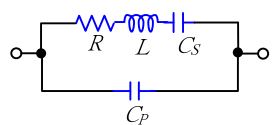
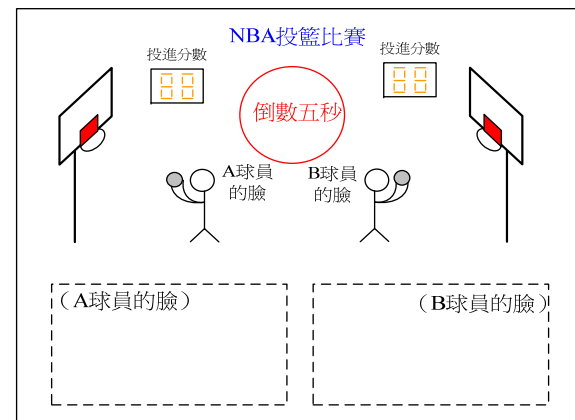


圖 9

SOL：D

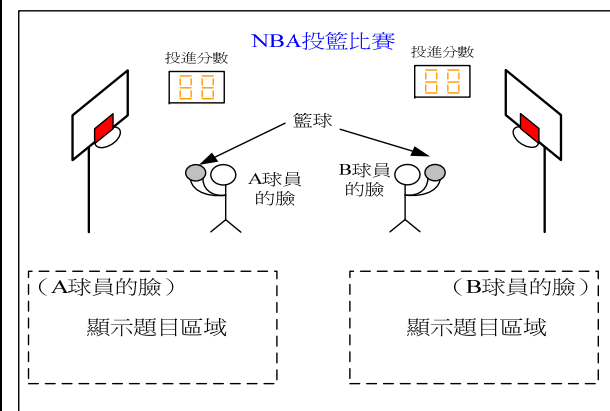
詳解： $f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_s}} = \frac{0.159}{\sqrt{10\text{mH} \times 0.01\text{pF}}} = 15.9\text{MHz}$

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。

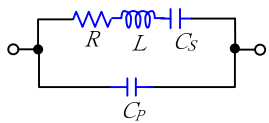


圖 10

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。

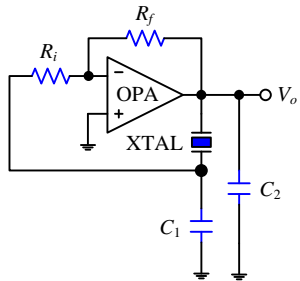


圖 11

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