

實驗單元(七)－晶體振盪器電路

◎實驗單元摘要

本實驗單元介紹高頻振盪器電路。此次是使用石英晶體來等效電感使用。本實驗仍然使用 BJT 及電容等元件，來製作出頻率振盪範圍為 MHz 以上的高頻振盪器電路，實驗電路是可以製作出非準確的高頻振盪器，但是波容易失真。

此次製作出高頻的電路，仍需要考慮電路接地效應，麵包板接線時元件的配置防干擾問題，元件線路匹配問題，雜散電容及雜散電感對電路影響等等問題，實作組裝線路時需要考慮訊號在線路上的傳輸路徑，不要產生過大的線路迴路。線路接地問題，則是前述線路迴路越小越好，接地端就在迴路內，但也不要接成一堆，分不出線路的走向，所以線路接線仍然要注意上述些問題。

◎學習目標

1. 了解如何利用晶體組成晶體振盪電路。
2. 了解晶體振盪電路之用途。

◎實驗單元目錄

- 一、實驗儀器設備與實驗材料表(P.03)
- 二、實驗預報(P.03)
- 三、零組件介紹(P.04)
- 四、電路說明(P.05)
- 五、實驗注意事項(P.08)
- 六、實驗電路模擬(P.08)

七、實驗步驟、實驗電路測試與數據記錄(P.12)

八、實驗問題與討論(P.16)

九、撰寫實驗結論與心得(P.16)

十、實驗綜合評論(P.16)

十一、附上實驗進度紀錄單(照片檔)及麵包板電路圖組裝圖檔(照片檔) (P.16)

十二、實驗參考資料來源(P.16)

◎實驗內容

一、實驗儀器設備與實驗材料表

表(一)：實驗儀器設備

項次	儀器名稱	數量
1	萬用電錶或三用電錶	1 部
2	示波器	1 台
3	電源供應器	1 台

表(二)：晶體振盪器電路實驗材料表

項次	位 置 碼	元 件 說 明	用 量
1	R9、R13	18K Ω 1/4W 5% 碳膜電阻	2 個
2	R10	15K Ω 1/4W 5% 碳膜電阻	1 個
3	R11	510 Ω 1/4W 5% 碳膜電阻	1 個
4	R14	20K Ω 1/4W 5% 碳膜電阻	1 個
5	R15	1.2K Ω 1/4W 5% 碳膜電阻	1 個
6	R16	10K Ω 1/2W 5% 碳膜電阻	1 個
7	R12	可變電阻 1K Ω	1 個
8	C10	120 μ F 電解質電容	1 個
9	C11	4.7nF PE 電容	1 個
10	C12	56pF 陶瓷電容	1 個
11	C13、C14	0.001 μ F PE 電容	2 個
12	C15、C16	0.1 μ F PE 電容	2 個
13	Q3、Q4	2N2222 NPN BJT	2 個
14	X1	4MHz 石英晶體振盪器	1 個

說明：實驗中電容更換值，請自行自零件盒中取用，實驗後請放回原位置。

二、實驗預報

請參閱相關資料，並能夠了解與回答下列各問題。

- 1.試著畫出石英晶體的電路符號、等效電路圖及晶體電阻對頻率的變化，並能夠寫出串聯共振頻率(ω_s)及並聯共振頻率(ω_p)。
- 2.你能夠簡單介紹晶體振盪器的電路原理。

◎繳交上課筆記。

三、零組件介紹

1.壓電晶體

當一個**壓電晶體**(piezoelectric crystal)(俗稱石英晶體)的兩面加上電極，且兩電極間有電位差時，晶體中的束縛電荷就會受到力的作用，如果這元件被恰當的裝置起來，並給予適當的激勵，它就會振動，而其自然振動的頻率便稱為諧振頻率；石英晶體的諧振頻率要依其切割的方法、純度以及搭配電路的裝置情形而定。由於石英晶體對時間與溫度的特性極為穩定，使得採用石英晶體的振盪器具有相當高的穩定性。

石英晶體資料可自下列公司之網頁查詢相關資料。

http://www.txc.com.tw/tw/c_products/01.html

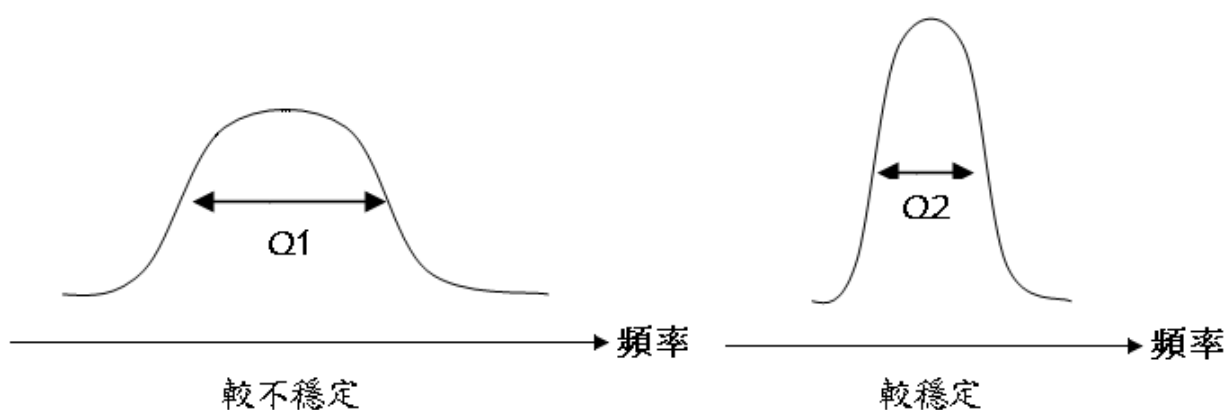
四、電路說明

1.振盪電路最主要是考慮其振盪穩定性，可由兩方面來看：

a.振盪頻率的範圍，如圖(一)所示：

參數 Q 表示可振盪頻率的準確度，其中 $Q_2 > Q_1$ 。

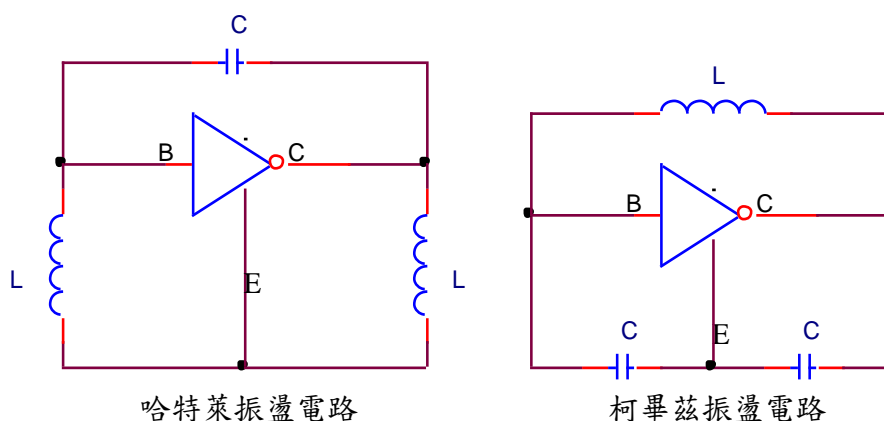
b.振盪頻率、波形、峰-峰值等是否會隨外界環境的改變(如溫度、溼度、壓力等)而產生變化。



圖(一)：振盪電路的振盪穩定性

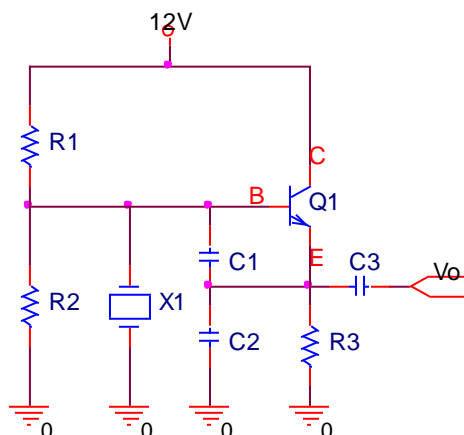
2.振盪器電路介紹

LC 振盪器電路是利用放大器的負電阻特性，抵銷 LC 諧振電路的損耗，以維持振盪器能夠持續振盪，依據 L 與 C 的電路組合可分為哈特萊(Hartley)與柯畢茲(Colpitts)兩種基本型態的振盪電路，見圖(二)所示。

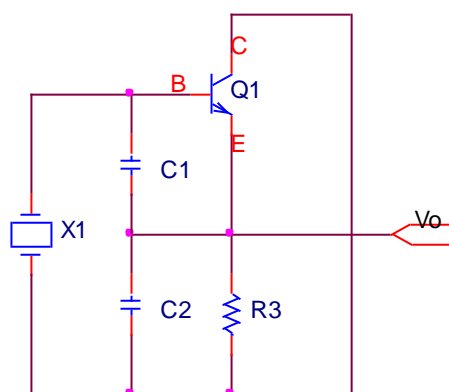


圖(二)：基本型態 LC 振盪電路

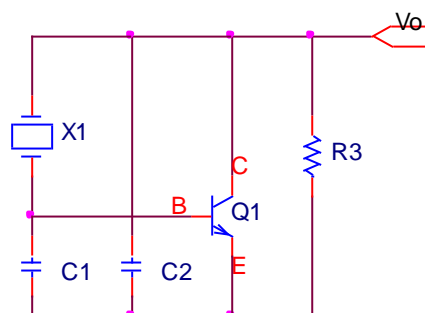
圖(三)為其一典型且常見之實用晶體振盪電路，實驗所介紹之振盪電路為柯畢茲振盪器的變形電路，其等效電路圖，見圖(四)所示。



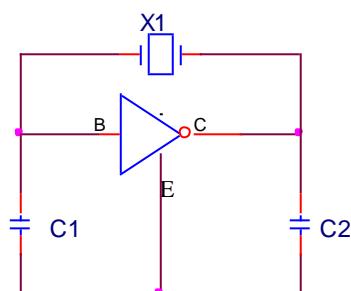
圖(三)：實用的晶體振盪電路



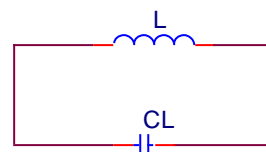
a. 首先以交流觀點來看



b. 以射極電位為基準



c. 將電晶體改畫為放大器電路符號

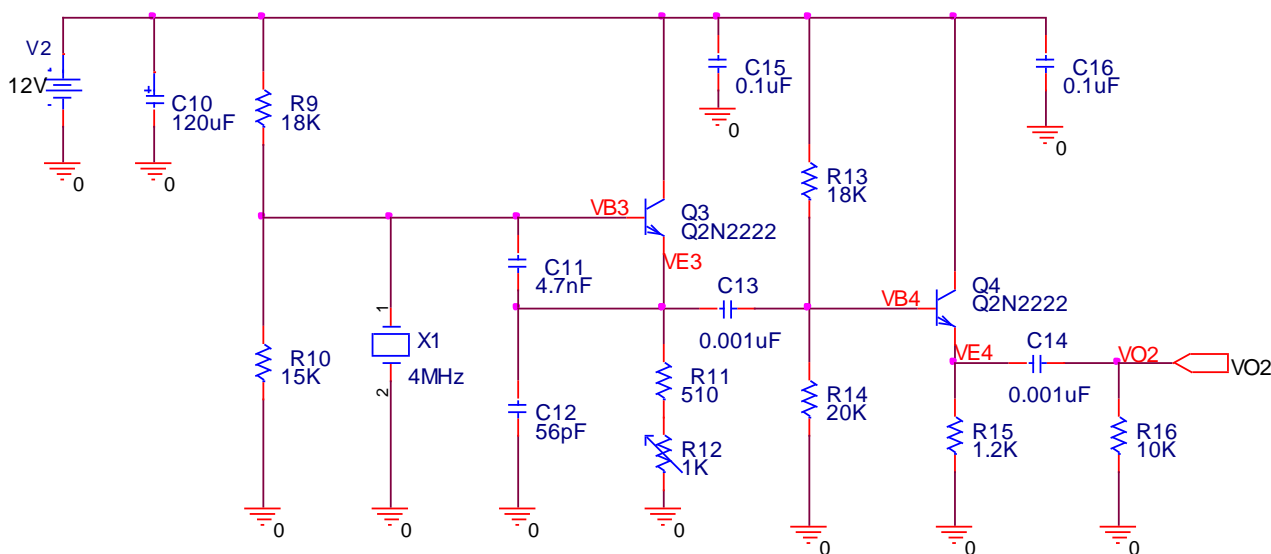


d. 將石英晶體改為等效阻抗

圖(四)：晶體振盪器的等效電路

晶體振盪器電路經由外力觸發後都會振盪起來，但若沒有持續刺激，振盪波形便會逐漸衰減，故週邊電路的搭配須有能力持續觸發，本實驗便是利用 BJT

造成的增益並且加上回授，不斷補充諧振電路的能量，使其能持續振盪，這就是何以振盪電路中會有電晶體所組成之放大器的原因。



圖(五)：晶體振盪器電路

參考圖(五)：晶體振盪器電路，此一電路為柯匹茲型石英晶體振盪電路。圖中在射極端由 R11 與串聯電阻 R12 VR 1K Ω 取得回授電壓，經 C11 回授至基極以造成正回授。石英晶體基本上可以利用機械加工的方式來決定振盪的頻率 f_o ，但電路動作時會因為外加電容而使振盪頻率有所偏移，即電容器 (C_{11}, C_{12})，此電容值稱為負載電容量 C_L ，會些微改變頻率值。但是此一變化值的範圍僅有數十 ppm，故此電路振盪頻率的穩定度相當高。

電路的振盪頻率是由石英晶體振動決定的，因此只要頻率決定後，就可選擇適當的石英晶體。電路圖中負載電容量之公式為 $C_L = \frac{1}{\frac{1}{C_{11}} + \frac{1}{C_{12}}}$ 。 C_L 中的比值 $\frac{C_{11}}{C_{12}}$ 值可以改變振盪波形，也可以使振盪停止，當 $\frac{C_{11}}{C_{12}}$ 值較小時，會因回授增益過大使得輸出波形失真，當 $\frac{C_{11}}{C_{12}}$ 值較大時，會因回授增益過小而使振盪衰減至停止。

振盪條件： $\frac{C_{12}}{C_{11}} > \frac{1}{A} - 1$, if $A = 0.95$ then, $\frac{C_{12}}{C_{11}} > 0.053$ 。

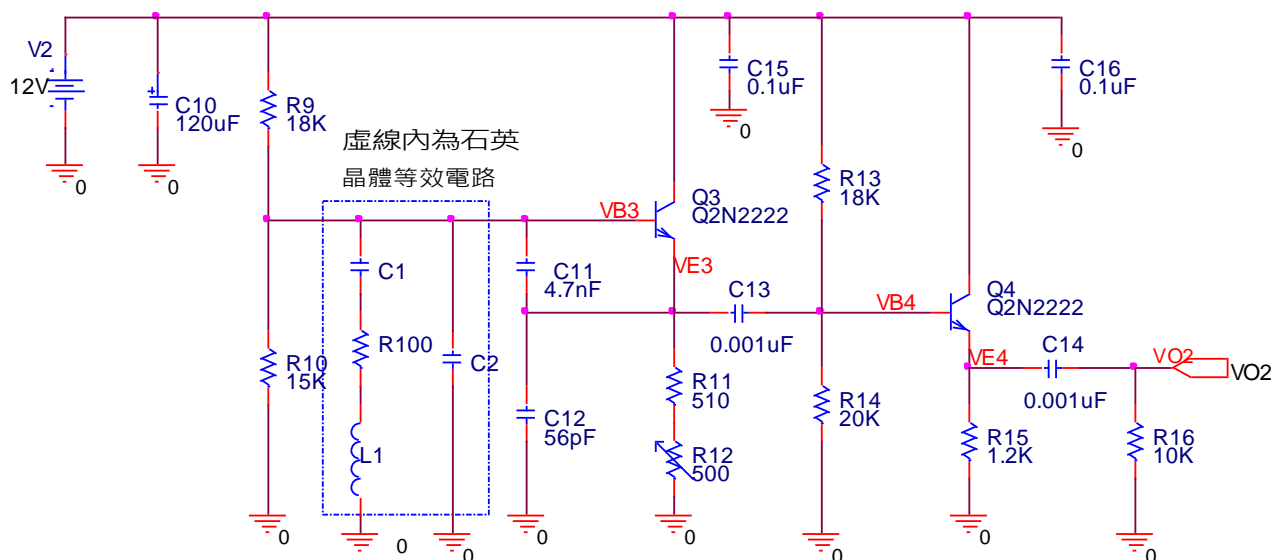
石英晶體振盪電路中，主要目的是精準頻率的取得，若需更高的頻率，可利用 LC 諧振電路，取得高次諧波，若需要精準的低頻率基準訊號，則可利用數位計數器或正反器的方法將其除頻，因此石英晶體常被應用在計時電路上。

五、實驗注意事項

- 1.電晶體需測量出 B、C、E 接腳。
- 2.更換電容後，請將剩餘元件放回原來的零件盒內，不要浪費材料。
- 3.請確實記錄實驗數據，並寫下數值單位；頻率單位：MHz，電壓單位：V。
- 4.實驗數據紀錄準確值需紀錄到小數點下第幾位，則依示波器的測量值為準。
- 5.頻率穩定度測試需紀錄測試日期及時間。
- 6.使用萬用電表測量電壓、電阻時，請設定為 4 位半顯示測量值。

六、實驗電路模擬

(一)、直流偏壓的計算



圖(7-1)：模擬晶體振盪器電路

- 1.參閱圖(7-1)：模擬振盪器電路。依據電子學直流分析，計算圖(7-1)中所示的共集極放大器的直流參數值，並將計算值記錄於表格(7-1)內。

表格(7-1)：計算直流參數值

電晶體 Q3		
計算值	計算值	由 $I = V/R$ 得計算值
$V_{BQ2} =$	$V_{R9} =$	$I_{R9} =$
$V_{EQ2} =$	$V_{R10} =$	$I_{R10} =$
$V_{CE2} =$	$V_{R11} =$	$I_{R11} =$
電晶體 Q4		
計算值	計算值	由 $I = V/R$ 得計算值
$V_{BQ4} =$	$V_{R13} =$	$I_{R13} =$
$V_{EQ4} =$	$V_{R14} =$	$I_{R14} =$
$V_{CEQ4} =$	$V_{R15} =$	$I_{R15} =$

※附上計算結果，可在紙上書寫，拍照，貼圖。

(二)、實驗模擬項目：晶體振盪器電路模擬

■ Features

- . Resistance welded type crystal units.
- . Low profit product of HC-49U type .
- . A great number of standard frequencies .
- . High frequency pullability and low equivalent series resistance.
- . Lower cost and highy mass production capacity.
- . The best choice of PC,STB ,LCDM and Cable Modem
- . Lead free parts are available for option.



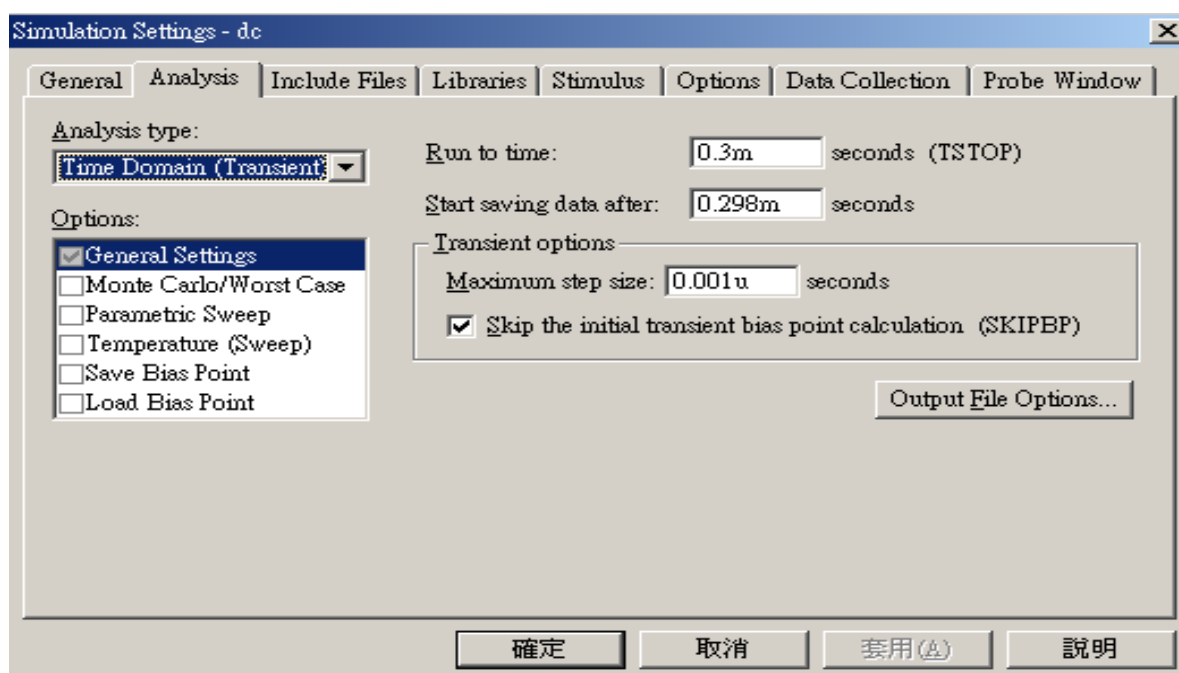
■ Electrical Specifications

Item	Type	9B
Frequency Range		3.2 ~ 90MHz
Frequency Tolerance (at 25 °C)		± 30 ppm or customer specify
Frequency Stability Over Operating Temperature Range		± 30 ppm or customer specify
Operating Temperature Range		-10 ~ +60°C or customer specify
Shunt Capacitance (Co)		7 pF Max.
Driver Level		1 ~ 500 uW (100 uW typical)
Load Capacitance		Series, 16pF, 20pF, 30pF, 32pF or specify
Aging		± 3ppm per year Max.
Storage Temperature Range		-40 ~ +85°C

■ Equivalent Series Resistance (ESR)

Fundamental		3rd Overtone	
3.2 ~ 3.685Mhz	200 ohms max.	27 ~ 30Mhz	100 ohms max.
3.686 ~ 4.9Mhz	150 ohms max.	30 ~ 50Mhz	80 ohms max.
5 ~ 9.99Mhz	80 ohms max.	50 ~ 90Mhz	60 ohms max.
10 ~ 14Mhz	40 ohms max.		
14.001 ~ 30Mhz	30 ohms max.		

圖(7-2)：石英晶體 Data Sheet[3]



圖(7-3)：晶體振盪器電路模擬設定

1. 首先參閱圖(7-1)、圖(7-2)及圖(7-3)：模擬晶體振盪器電路，振盪頻率值為

4.000MHz。

2. 元件數值的選擇或測量

a. 石英晶體之等效電路－(參考石英晶體 Data Sheet)

①. 等效並聯電容 $C_2 = 7\text{pF}(\text{Max})$ ，設定值 = _____ pF。

②. 等效串聯電容 $C_1 = 10\text{pF}(\text{選用值})$ 。

③. 等效串聯電阻(ESR)， $10 \sim 14\text{MHz} = 40\Omega(\text{Max})$ ，設定值 $R_{100} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ 。

④. 等效串聯電感(計算值)，使用前電路說明串聯諧振頻率公式＝

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_r}} \text{， 求出電感值 } L_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{mH。}$$

b. 其他電容值，請參閱實驗材料表。

c. 電感 L_1 初始值設定 $IC = 0.1\text{mA}$ 。

d. 可變電阻值自行調整至輸出波形不失真。

3. 使用 Bias Point 偏壓模擬，記錄下偏壓值及偏流值，完成表格(7-2)之內容。

表格(7-2)：紀錄模擬直流參數值

電晶體 Q3		
電壓值	電阻壓降	電流參數值
$V_{BQ2} =$	$V_{R9} =$	$I_{R9} =$
$V_{EQ2} =$	$V_{R10} =$	$I_{R10} =$
$V_{CE2} =$	$V_{R11} =$	$I_{R11} =$
電晶體 Q4		
電壓值	電阻壓降	電流參數值
$V_{BQ4} =$	$V_{R13} =$	$I_{R13} =$
$V_{EQ4} =$	$V_{R14} =$	$I_{R14} =$
$V_{CEQ4} =$	$V_{R15} =$	$I_{R15} =$

4. 以 Time-Domain 觀測輸出節點波形為不失真波形。
5. 選取 FFT 轉換頻率圖，輸出應標示基本波及諧波分量頻率值及峰-峰值大小。
6. 其次需更換 2 組[C11、C12]不同電容比率值，完成表格(7-3)內容。
7. 分析 Time-Domain 波形、FFT 諧波分量與更改電容比率之關係。

表(7-3)：記錄更換不同電容比率值之結果

C11 電容值	C12 電容值	$\frac{C11}{C12}$ 比率值	模擬結果
			★振盪器需要振盪： 1.記錄振盪頻率＝_____Hz。 2.輸出波形是否失真： <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否。
			★振盪器需要振盪： 1.記錄振盪頻率＝_____Hz。 2.輸出波形是否失真： <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否。

(三)、實驗模擬問題與討論

寫出您在實驗模擬過程中所遇到的實驗問題，並紀錄如何解決問題。

(四)、撰寫實驗模擬結論和心得

七、實驗步驟、實驗電路測試與數據記錄

(一)、偏壓電路測量：藉由偏壓電路量測，以了解振盪電路的偏壓電路設計。

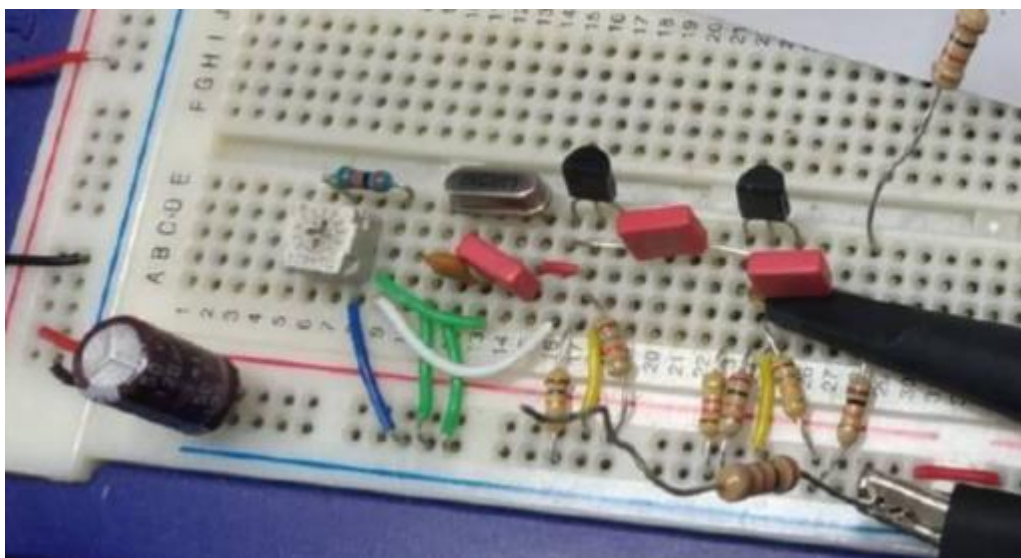
1.連接線路注意事項：依下圖(7-4)：晶體振盪電路一偏壓電路連接元件。注意電晶體的接腳「CBE」位置。

2.考量雜散電容、雜散電感及接地阻抗對電路的影響，組裝麵包板時，接線路應力求簡潔，不要有過長接線存在，並注意訊號流迴路。

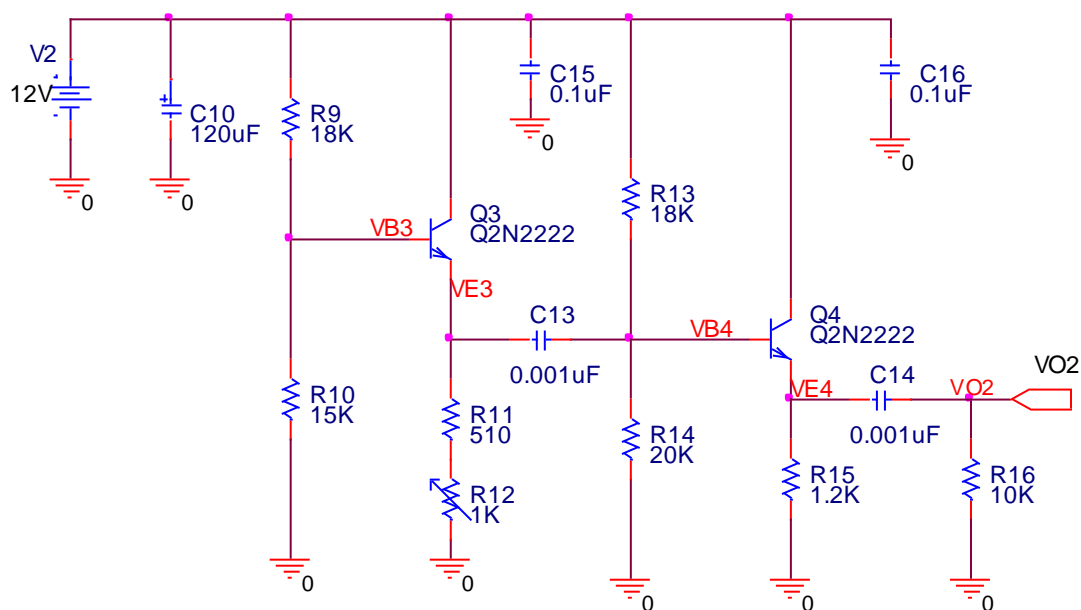
3.元件電感兩端接腳不要剪短。

4.接 12V 使用三用電表測量下列電壓值，計算電流值，並將各項數據填入表格(7-4)

內。(使用間接測量法計算 I_E ， I_R 值，測量電壓後，電流= V/R)。



圖(7-6)：麵包板電路簡潔接線



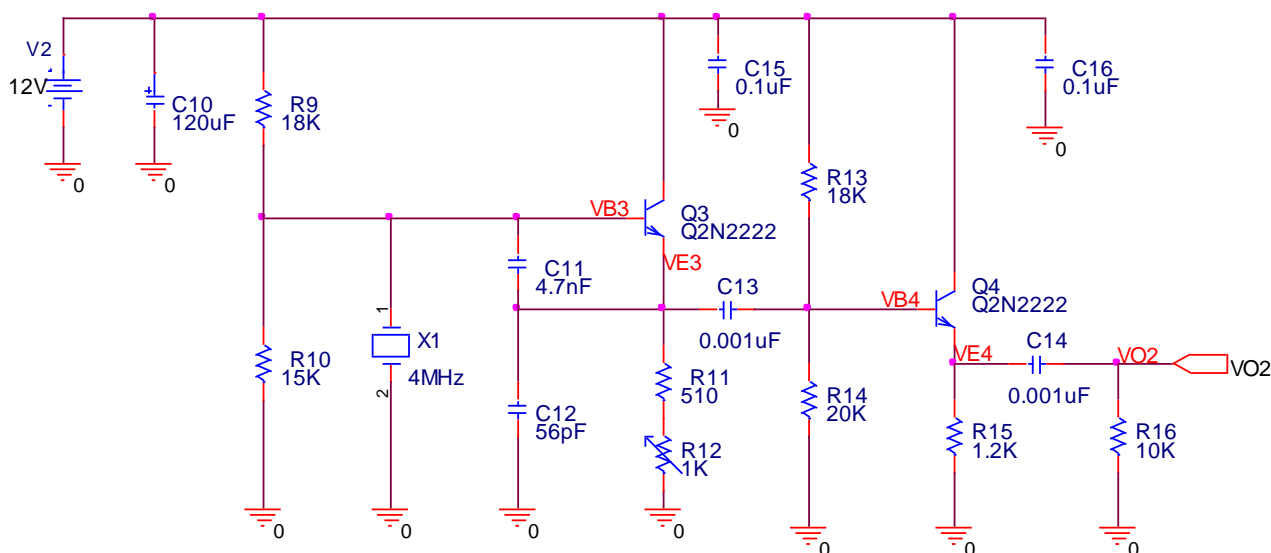
圖(7-4)：石英晶體振盪電路－偏壓電路

表(7-4)：BJT Q3、Q4 偏壓電路測量

電晶體 Q3		
測量值	電阻壓降	電流參數值
$V_{BQ2} =$	$V_{R9} =$	$I_{R9} =$
$V_{EQ2} =$	$V_{R10} =$	$I_{R10} =$
$V_{CE2} =$	$V_{R11} =$	$I_{R11} =$
$V_{BE3} =$		

電晶體 Q4		
測量值	電阻壓降	電流參數值
$V_{BQ4} =$	$V_{R13} =$	$I_{R13} =$
$V_{EQ4} =$	$V_{R14} =$	$I_{R14} =$
$V_{CEQ4} =$	$V_{R15} =$	$I_{R15} =$
$V_{BE4} =$		

3.依據實驗電路圖(7-5)組裝晶體振盪器電路－完整電路，連接其他元件，石英晶體－4.000MHz 無方向性。



圖(7-5)：石英晶體振盪電路－完整電路

4.接直流電源+12V，使用示波器觀測輸出節點[VO2]波形，如果沒有輸出波形，這需要適當更換電容值，才能夠在示波器觀測到輸出節點[VO2]波形，並與電路模擬結果相比較，檢驗表格(7-4)，所測數據是否有誤。產生弦波後，調整可變電阻 R12，可改變輸出峰-峰值大小。

(二)、電容對電路的影響：需要更改電容值，得到不同的電容比值，藉由不同電容比值，以了解電容對振盪電路的影響，需擷取波形。

1.自行組合 C11、C12 電容值，電容值可為 33pF、220pF、470pF、1000pF、2200pF、

3300pF、4700pF 等或其他電容，同時調整可變電阻 R11。觀測且記錄輸出節

點[VO2]波形變化的情形(有無波形失真)，並完成下列表格(7-5)的內容。

2.調整正確的輸出波形，努力的達到不失真波形，振盪頻率應為 4.000MHz，擷

取節點[VO2]波形，應測量頻率值及峰-峰值大小(V_{p-p} 值)。

表(7-5)：電容比值對電路的影響(含不震盪之情形)

更改電容值 C11	更改電容值 C12	$\frac{C_{11}}{C_{12}}$ 比值關係	輸出波形之要求
C11=	C12=	$\frac{C_{11}}{C_{12}} =$	★振盪器需要振盪： 1.記錄振盪頻率=_____Hz。 2.輸出波形是否失真： <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否。
C11=	C12=	$\frac{C_{11}}{C_{12}} =$	★振盪器需要振盪： 1.記錄振盪頻率=_____Hz。 2.輸出波形是否失真： <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否。

☆注意：石英振盪器電路，振盪器頻率主要由石英晶體來決定頻率值，改變 C11 和 C12 只能決定起振條件及失真度。

(三)、穩定度測試—了解振盪頻率的頻率漂移特性。

1.時間穩定度—將電路板置於室溫中，先行擷取波形，紀錄初始數據，經 30 分

鐘後，重新擷取波形及測量輸出頻率值，將記錄結果之。

表(7-6)：溫度測試

	頻 率 值	測試時間
測試前頻率值		年 月 日 時 分
溫度測試(30 分鐘) 測試後頻率值		年 月 日 時 分

八、實驗問題與討論

- 1.請問可變電阻 R12 在振盪電路中的作用？
- 2.擬改變晶體振盪器電路的輸出頻率時，您可以更改那些元件值？
- 3.晶體振盪器電路輸出波形失真時(峰-峰值大小可變)，如何改善？
- 4.振盪器電路頻率穩定度是重要的實驗規格，上述實驗結果那種電路有較佳的頻率穩定度，請說明原因。

九、撰寫實驗結論與心得

十、實驗綜合評論

- 1.實驗測試說明、實驗補充資料及老師上課原理說明，是否有需要改善之處。
- 2.實驗模擬項目內容，是否有助於個人對實驗電路測試內容的了解。
- 3.實驗測量結果，是否合乎實驗目標及個人的是否清楚瞭解其電路特性。
- 4.就實驗內容的安排，是否合乎相關課程進度。
- 5.就個人實驗進度安排及最後結果，自己的評等是幾分。
- 6.在實驗項目中，最容易的項目有那些，最艱難的項目包含那些項目，並回憶一下，您在此實驗中學到了那些知識與常識。

十一、附上實驗進度紀錄單(照片檔)及麵包板電路圖組裝圖檔(照片檔)

十二、實驗參考資料來源

- [1].Sedra & Smith, Microelectronic Circuits, Copyright by Oxford University Press, Sixth Edition ,P.1053～P.1059, 2010.
- [2].陳連春編譯,電晶體電路設計應用鐵則,全華圖書公司,第一版,P.367～P.396,,,
- [3].石英晶體，台灣晶技

http://www.txc.com.tw/tw/c_products/01.html