

第 9 講: BJT 電晶體簡易 LC 震盪電路設計

參考文獻與網頁:

[1]第十一章基本震盪電路，

<https://ischool-2.shinmin.tc.edu.tw/resource/openfid.php?id=53368>

[2] Colpitts 振盪器，維基百科，

<https://www.wikiwand.com/zh-tw/Colpitts%E6%8C%AF%E7%9B%AA%E5%99%A8>

[3]哈特萊振盪器，維基百科，

<https://www.wikiwand.com/zh->

[tw/%E5%93%88%E7%89%B9%E8%8E%B1%E6%8C%AF%E8%8D%A1%E5%99%A8](https://www.wikiwand.com/zh-tw/%E5%93%88%E7%89%B9%E8%8E%B1%E6%8C%AF%E8%8D%A1%E5%99%A8)

[4]Colpitts Oscillator Explained, <https://www.youtube.com/watch?v=1fgw-ONlAcc>

[5]Colpitts Oscillator NPN Transistor Circuit,

<https://www.youtube.com/watch?v=z761q6rk-tw>

[6]Hartley Oscillator Circuit, https://www.youtube.com/watch?v=3B_sBX_11Zw

[7]Hartley Oscillator circuit simulation on Multisim software,

<https://www.youtube.com/watch?v=Gh-JFXbOcZg>

一、基本概念:

依據[1]，

6.常見正回授方塊圖說明

(1)如圖(11-1-1)所示： $X_i = (X_o - X_f)$ $X_o = X_i + X_f$

$$A_f = \frac{X_o}{X_i} = \frac{X_o}{X_i + X_f} = \frac{X_o}{X_i + \beta X_o} = \frac{AX_i}{X_i + \beta AX_i}$$

$$= \frac{AX_i}{X_i(1 + \beta A)} = \frac{A}{1 + \beta A}$$

故振盪時 A_f 增益無窮大，即

迴路增益 $\beta A = -1 \angle 0^\circ$ 或 $\beta A = 1 \angle 180^\circ = 1 \angle -180^\circ$ 。



圖(11-1-1)回授放大器方塊圖

(2)如圖(11-1-2)所示： $X_i = (X_o + X_f)$ $X_o = X_i - X_f$

$$= \frac{AX_i}{X_i(1 - \beta A)} = \frac{A}{1 - \beta A}$$

故振盪時 A_f 增益無窮大，即

迴路增益 $\beta A = 1 \angle 0^\circ$ 或 $\beta A = -1 \angle 180^\circ = -1 \angle -180^\circ$ 。



圖(11-1-2)回授放大器方塊圖

7.實際的振盪器是不需要輸入訊號($X_i = 0$)，如圖(11-1-3)所示。 βA 為迴路增益，若 $X_f = X_i$ ，則此迴路不需輸入任何信號，即可自行振盪。

$$X_f = X_i \quad \beta X_o = X_i \quad \beta A X_i = X_i \quad \beta A = 1$$

此為正弦波振盪器之振盪條件—巴克豪生準則(Barkhausen criterion)

此為正弦波振盪器之振盪條件—巴克豪生準則(Barkhausen criterion)

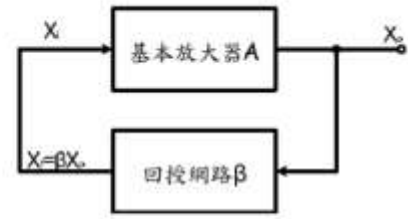
故巴克豪生準則可描述成：

$$\beta A = 1 \angle 2n\pi, n \text{ 為整數或 } \beta A = 1 \angle 0^\circ = -1 \angle 180^\circ = -1 \angle -180^\circ$$

(1). 整個迴路總相位移為 0° 或 360° 。

(2). 總迴路增益值為 1。

當符合上述條件時，就能維持輸出訊號等振幅。因為 $\beta \cdot A$ 會隨輸入頻率而改變，所以在電路剛啟動的瞬間，雜訊中包含了各種不同的頻率，卻只有一種能符合巴克豪生準則，經一段時間後，輸出便只剩下這種頻率。



圖(11-1-3) βA 迴路

8. 振盪器工作時除了必須符合三個振盪條件以外，電路尚須搭配穩定的直流電源及要有頻率控制電路。

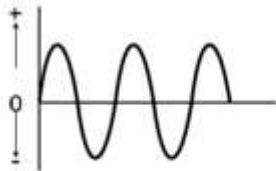
9. 振盪器依迴路增益大小可分為如下四種：

(1). $|\beta A| = 1$ ：臨界振盪，輸出訊號為等幅波振盪器，輸出波形如圖(11-1-4-A)。

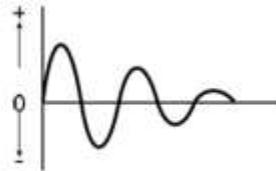
(2). $|\beta A| < 1$ ：無法振盪，形成如圖(11-1-4-B)所示之阻尼振盪(即減幅振盪)。輸出信號振幅逐漸減小，最後導致停止振幅。

(3). $|\beta A| > 1$ ：輸出信號振幅逐漸增大，形成如圖(11-1-4-C)所示之增長振盪現象；但其振幅輸出信號之振幅將被主動元件的非線性特性限制。

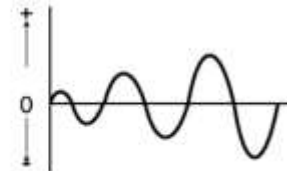
(4). $|\beta A|$ 略大於 1：實際應用上，常令 $|\beta A|$ 約超出 5% 以適應電路之漂移作用。



如圖(11-1-4-A) 臨界振盪



如圖(11-1-4-B) 阻尼振盪



如圖(11-1-4-C) 增長振盪

二、LC 振盪電路：

依據[1]，

1. 高頻振盪器又稱為射頻振盪器(RF)或 LC 振盪器，電路結構如圖(11-3-1)。

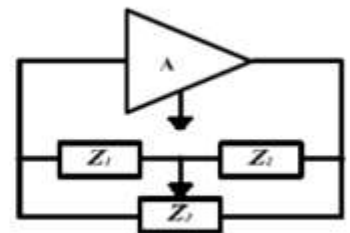
2. 當頻率高於 100kHz 以上的正弦波訊號，就可以採用 LC 振盪器來產生，其振盪頻率由 LC 決定，即 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 。

3. LC 振盪器為利用 LC 共振現象，頻率選擇性很高，所產生的正弦波非常良好。

4. 振盪原理仍然是 LC 正回授迴路相移 0° ，迴路增益 $|\beta A| \geq 1$ 。

5. 放大器採用具倒相 180° 之特性之放大電路，故回授網路須再相移 180° 。

6. 圖(11-3-1)為 LC 振盪器電路結構，表(11-3-1)為高頻振盪器 LC 組成電路種類。



圖(11-3-1) LC 振盪器結構

振盪器類型	電抗元件		
	Z_1	Z_2	Z_3
考畢子振盪器(Colpitts)	C	C	L
哈特萊振盪器(Hartley)	L	L	C
密勒振盪器(Miller)	L(電感性晶體)	L(電感性調諧電路)	C
皮爾斯振盪器(Pierce)	C	C	L(電感性晶體)

- 考畢子(Colpitts)振盪器電路
例題 1:

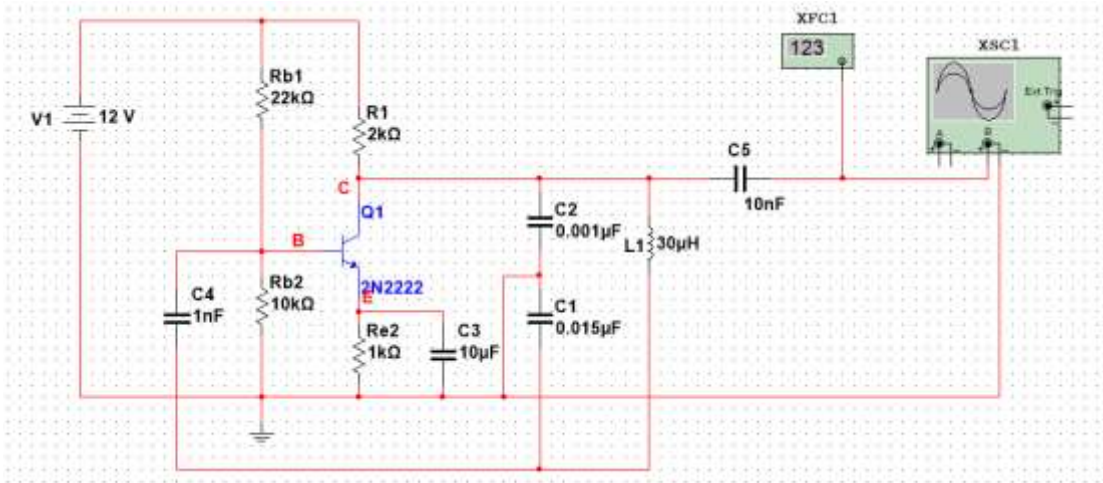


圖 9-1-1 考畢子(Colpitts)振盪器電路

振盪頻率理論值計算如下:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_1C_2/(C_1+C_2))}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{30\times 10^{-6}(0.001\times 10^{-12}\times 0.015/(0.016\times 10^{-6}))}}$$

$$= 9.49\times 10^5 \text{ Hz} = 949\text{KHz} \quad (9.1)$$

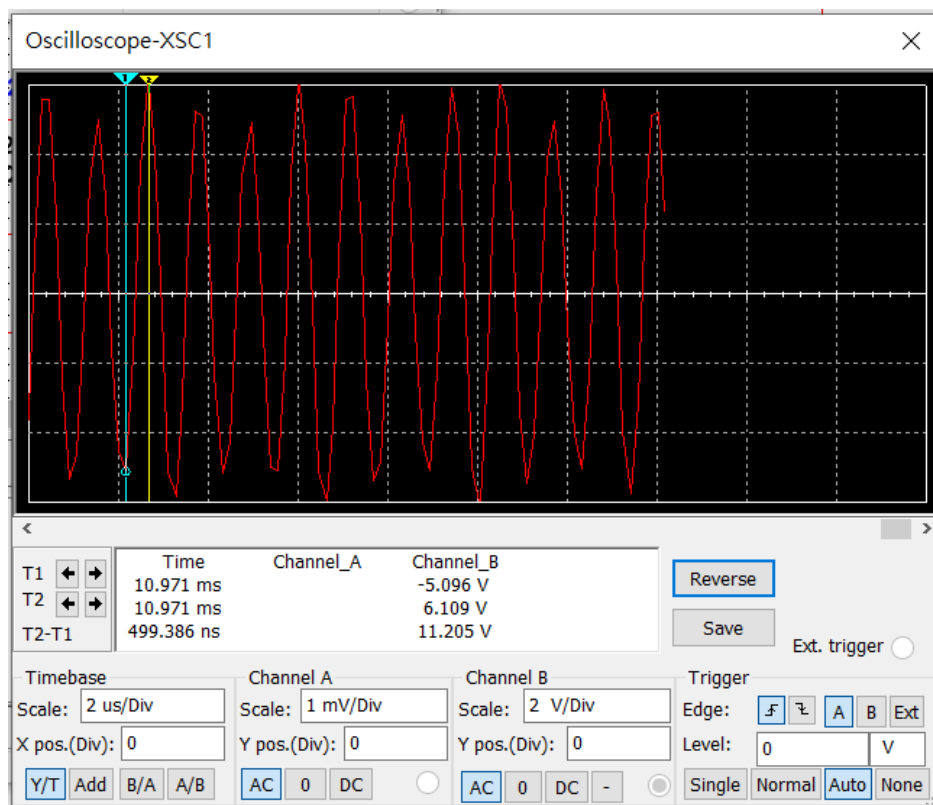


圖 9-1-2 輸出波形，其波峰介於 6.109 ~ -5.096 伏特間

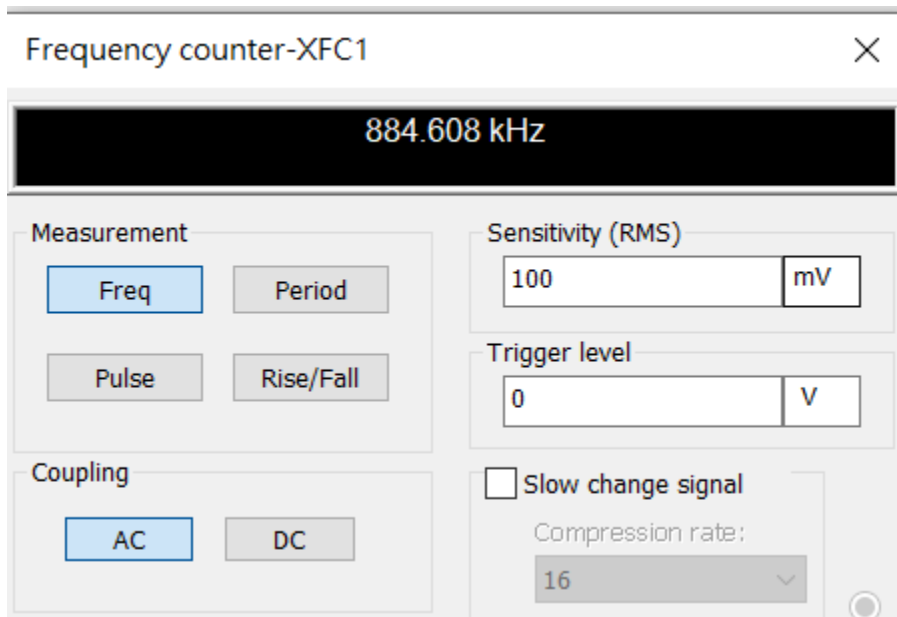


圖 9-1-3 輸出波型之頻率量測 884.608KHz (理論值為 949 KHz)

例題 2:

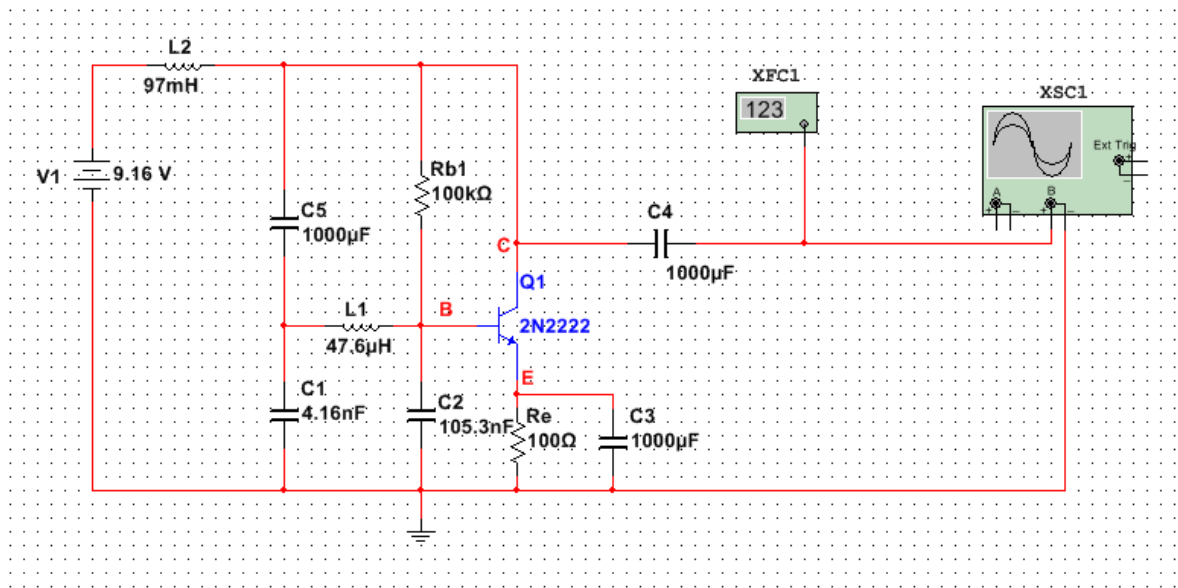


圖 9-2-1 考畢子(Colpitts)振盪器電路

振盪頻率理論值計算如下:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_1C_2/(C_1+C_2))}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{47.6 \times 10^{-6} (4.16 \times 10^{-18} \times 105.3 / (109.46 \times 10^{-9})}} = 3.64 \times 10^5 \text{ Hz} = 364 \text{ KHz} \quad (9.2)$$

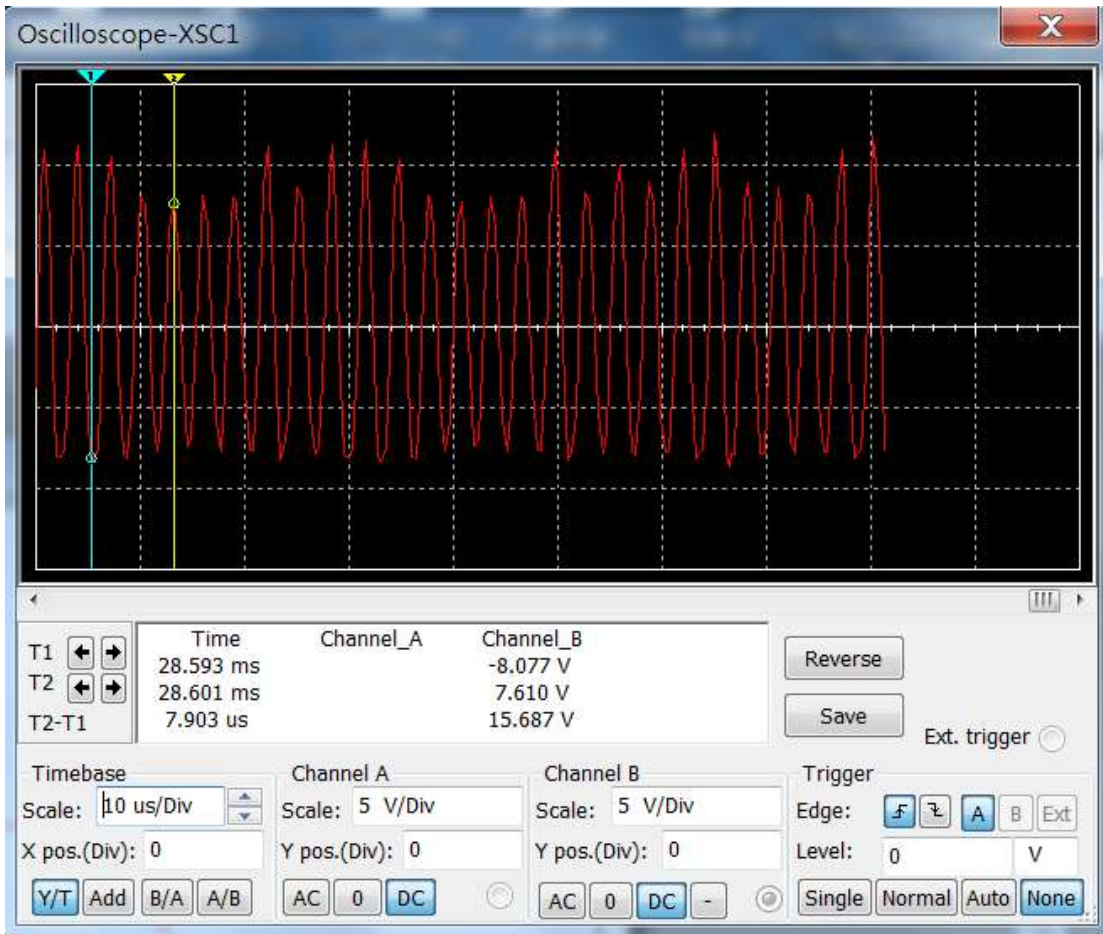


圖 9-2-2 輸出波形，其波峰介於 7.610 ~ -8.077 伏特間

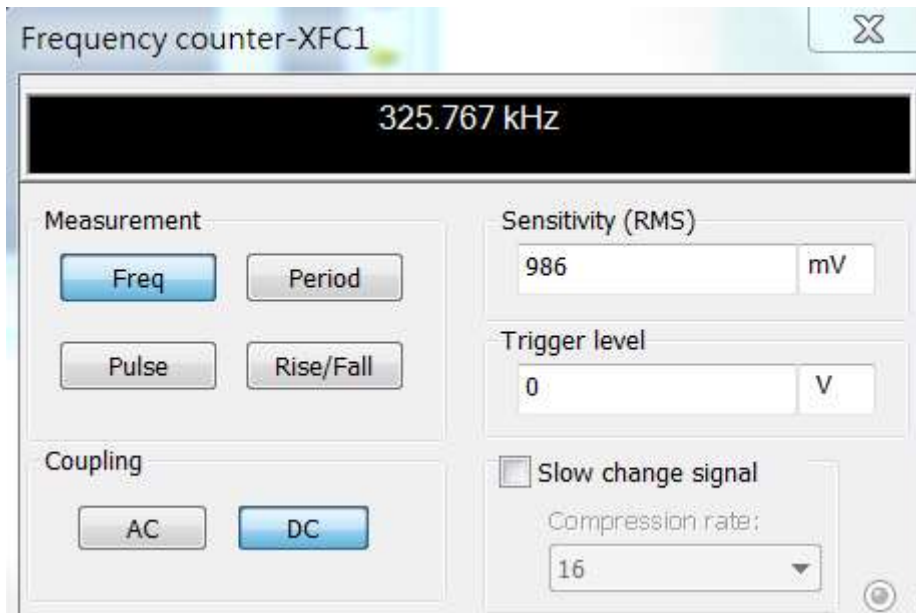


圖 9-2-3 輸出波型之頻率量測 325.767KHz (理論值為 364KHz)

- 哈特萊(Hartley)振盪器電路

例題 3:

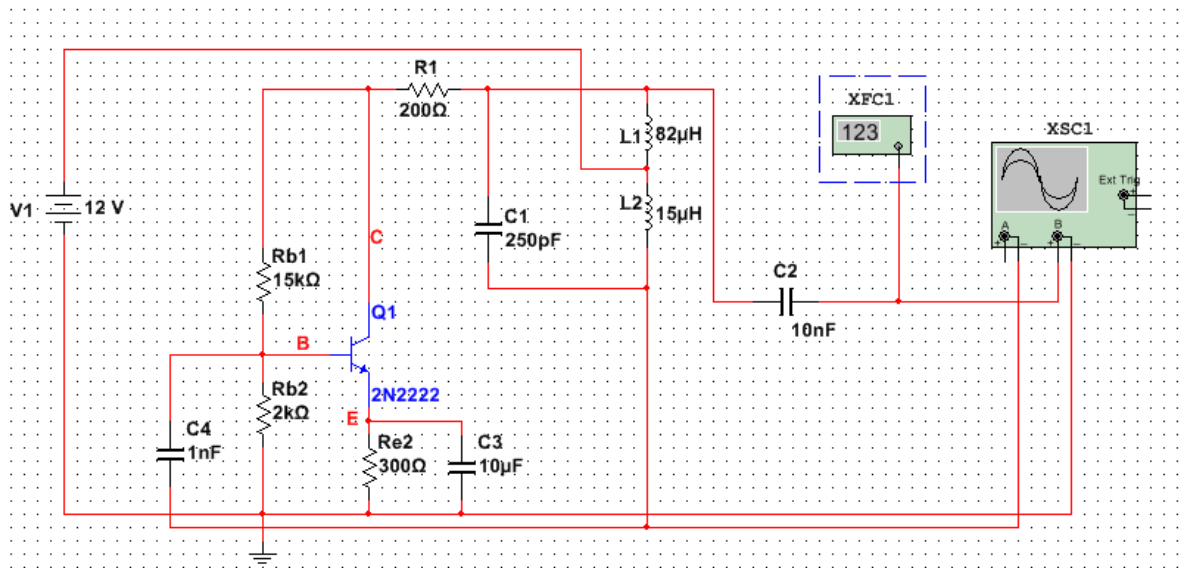


圖 9-3-1 哈特萊(Hartley)振盪器電路

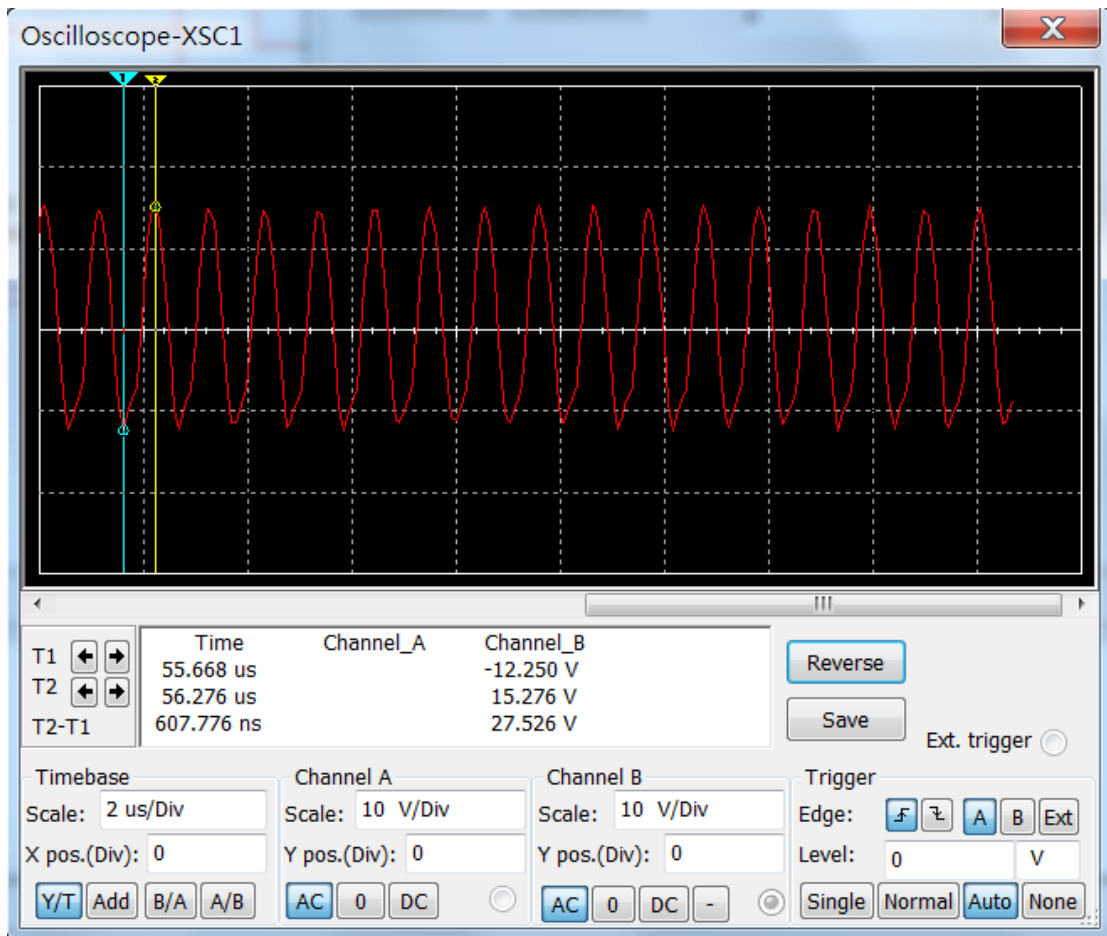


圖 9-3-2 輸出波形，其波峰介於 15.276 ~ -12.250 伏特間

振盪頻率理論值計算如下[6]:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1(L_1+L_2+2M)}} \leq \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1(L_1+L_2)}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{250 \times 10^{-12} \times (82+15) \times 10^{-6}}} = 1.022 \times 10^6 \text{ Hz} = 1.022 \text{ MHz} \quad (9.3)$$

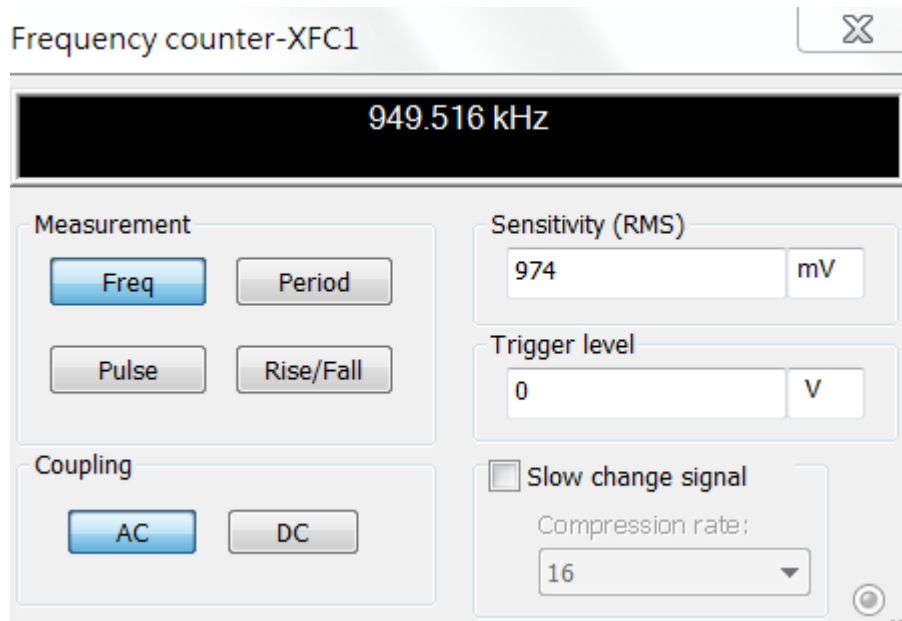


圖 9-3-3 輸出波型之頻率量測 949.516KHz (理論值為 1.022MHz)

三、電路設計

依據[4]、[6]，考畢子(Colpitts)與哈特萊(Hartley)振盪電路模型設定，分陳如下:

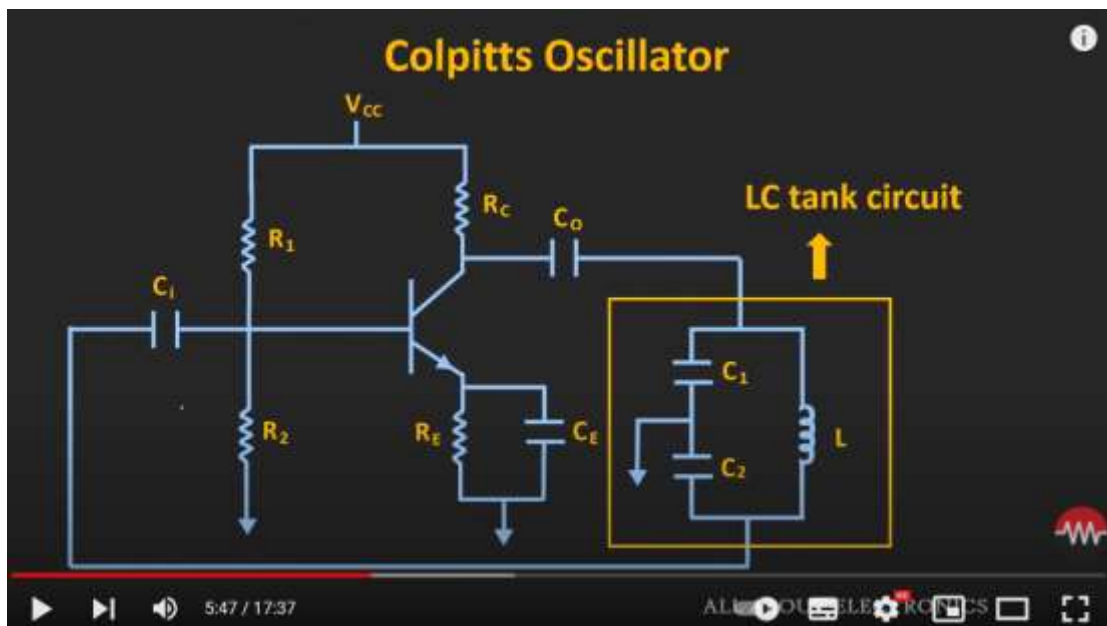


圖 9-4-1 考畢子(Colpitts)振盪電路模型[4]

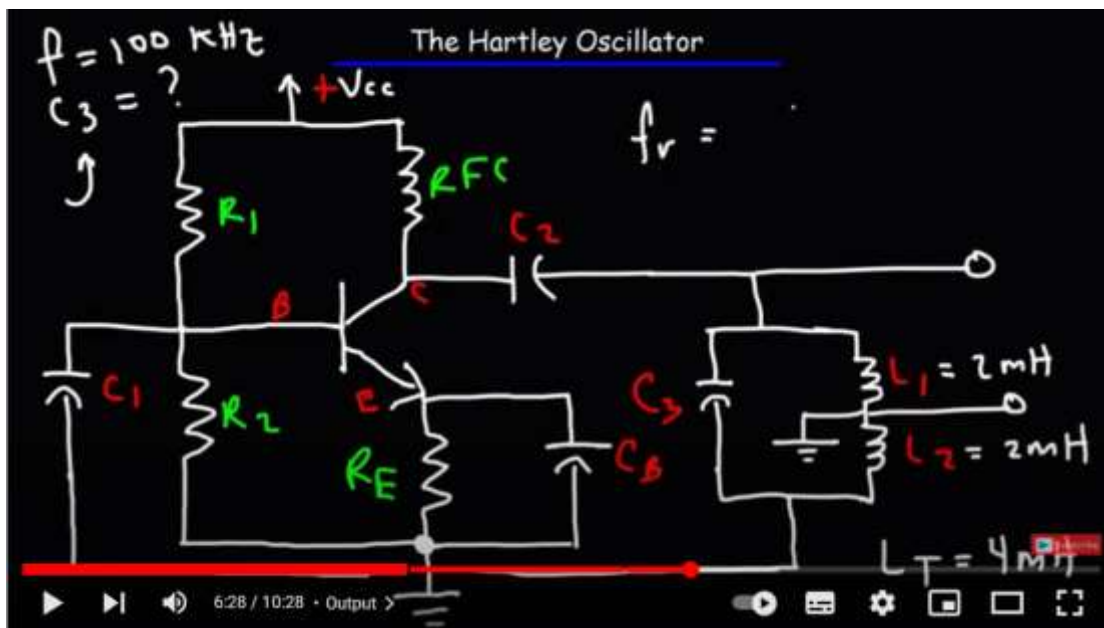


圖 9-4-2 哈特萊(Hartley)振盪電路模型[6]

為求最大振幅輸出，將以上模型修改如下：

- 考畢子(Colpitts)振盪電路

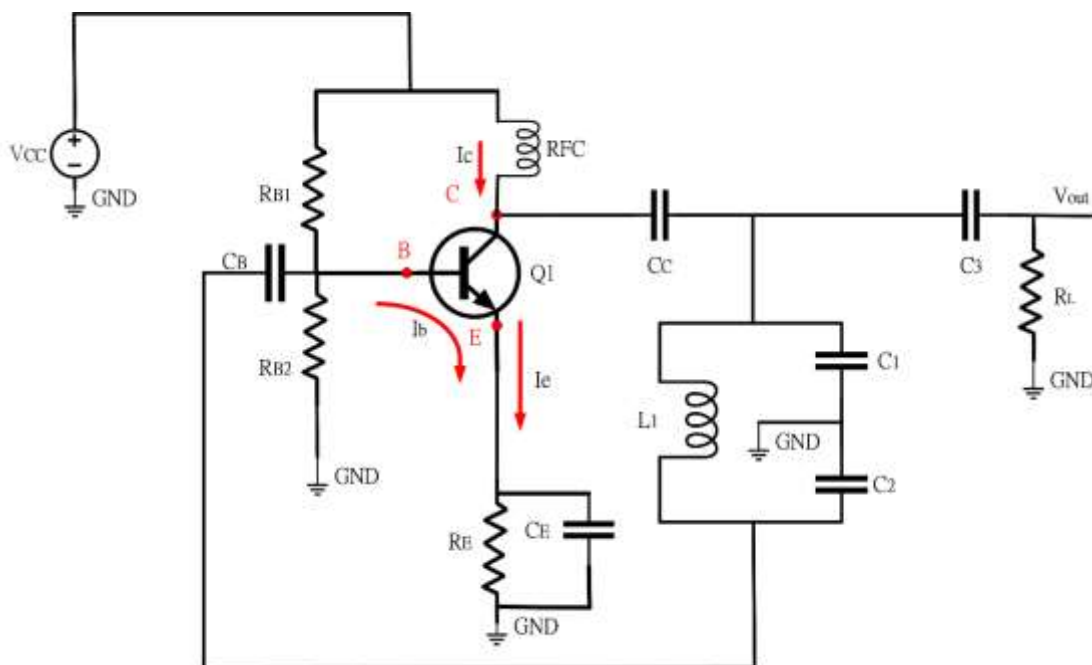


圖 9-5-1 考畢子(Colpitts)振盪電路模型

振盪頻率理論值計算如 (9.1) 所示，或參考以下

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1(C_1C_2/(C_1+C_2))}}$$

(9.4)

● 哈特萊(Hartley)振盪電路

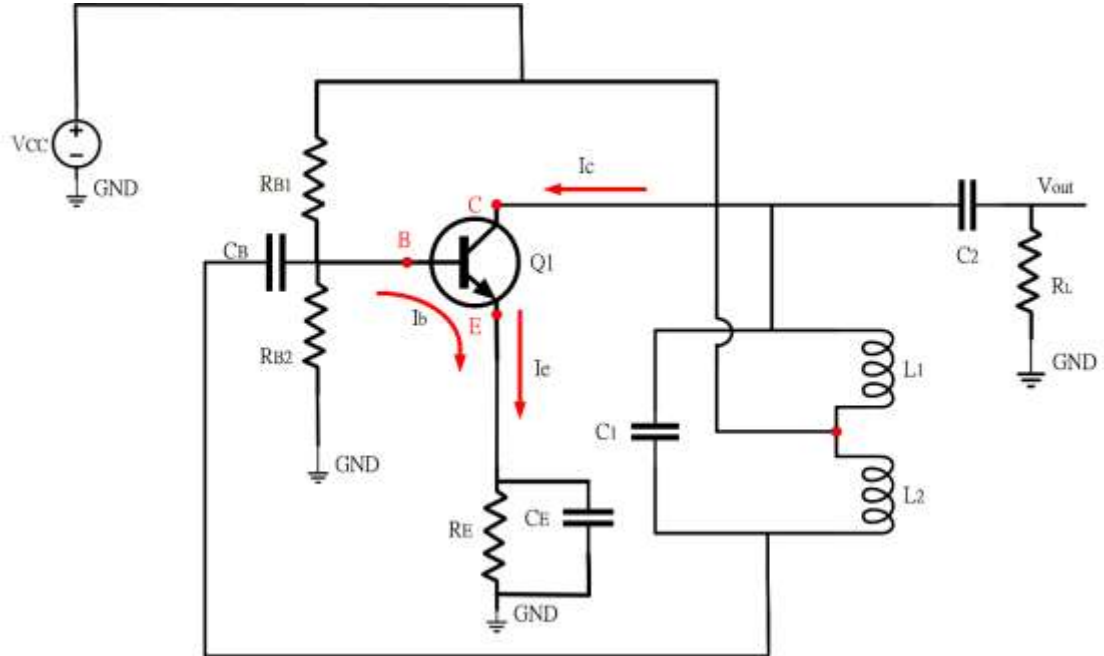


圖 9-5-2 哈特萊(Hartley)振盪電路模型

振盪頻率理論值計算如 (9.3) 所示，或參考如下：

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1(L_1+L_2+2M)}} \leq \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1(L_1+L_2)}}$$

(9.5)

- 電路設計平台: 操作過程請參考 YT 影片
- 網址: <https://www.youtube.com/watch?v=XNMzFQvVIHM>

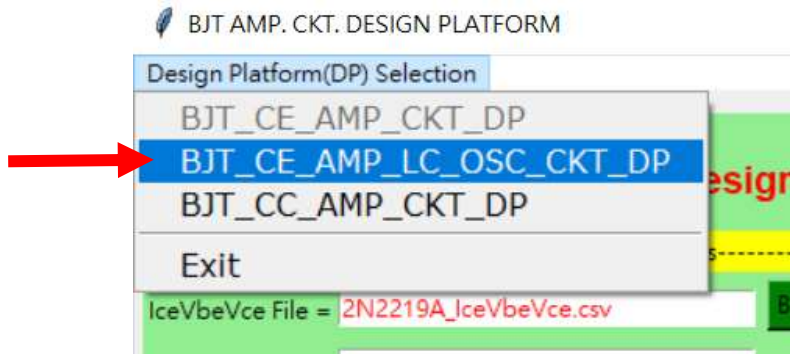


圖 9-6-1 點開電路設計平台，在其左上角選 BJT_CE_AMP_LC_OSC_CKT_DP

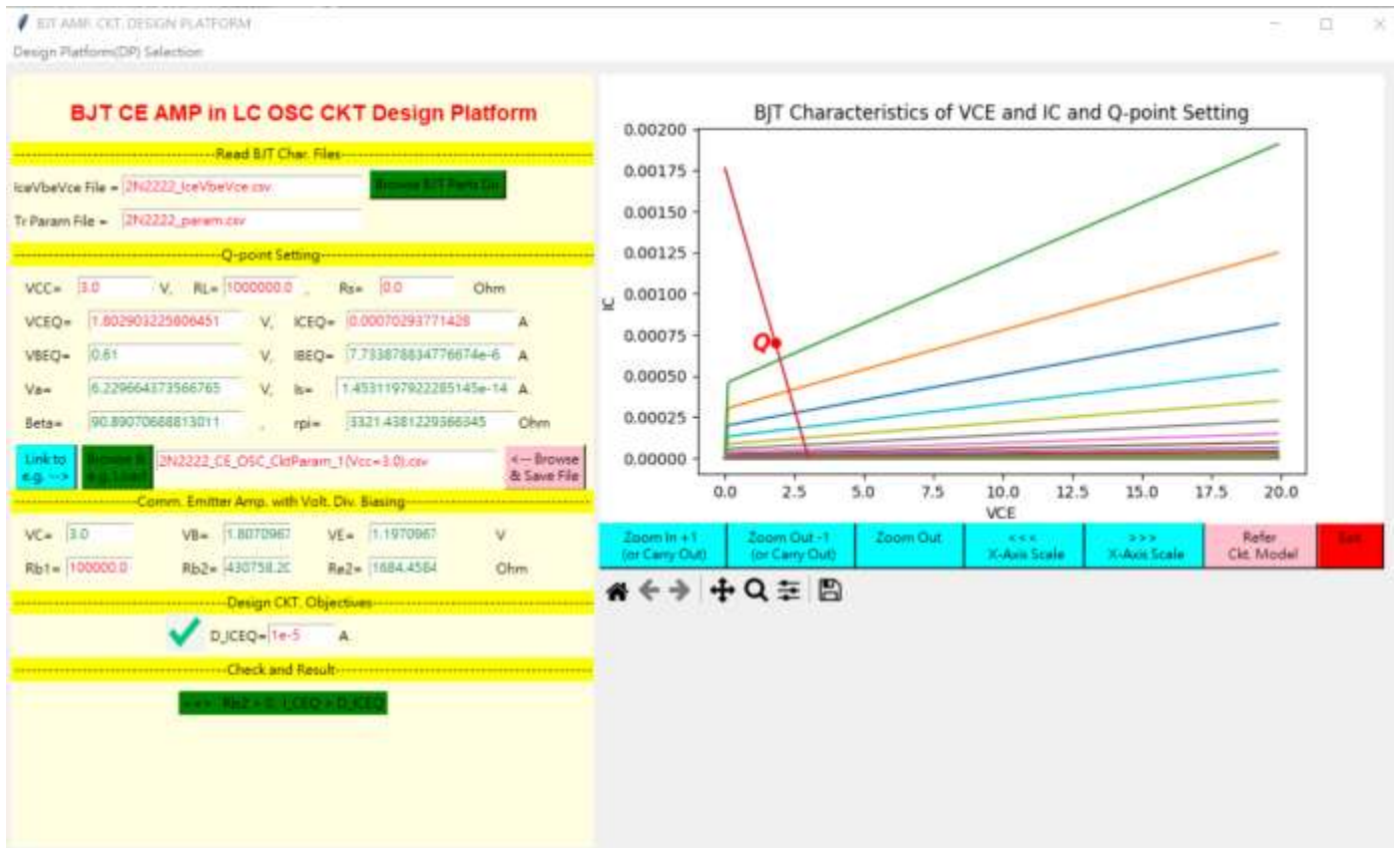


圖 9-6-2 電路設計平台

- 例題 4， $V_{CC} = 3V$ 設計考畢子(Colpitts)振盪電路，其過程如下：
 - 1) 通過上述平台設計 CE 放大器電路，如圖 9-6-1 ~ 9-6-2 所示，
 - 2) 使用前步驟所獲得之電阻值如 R_{b1} , R_{b2} , R_{e2} 與考畢子(Colpitts)振盪所需電容與電感值，實現於 multisim 模擬軟件，其過程如圖 9-7-1 ~ 9-7-4 所示。

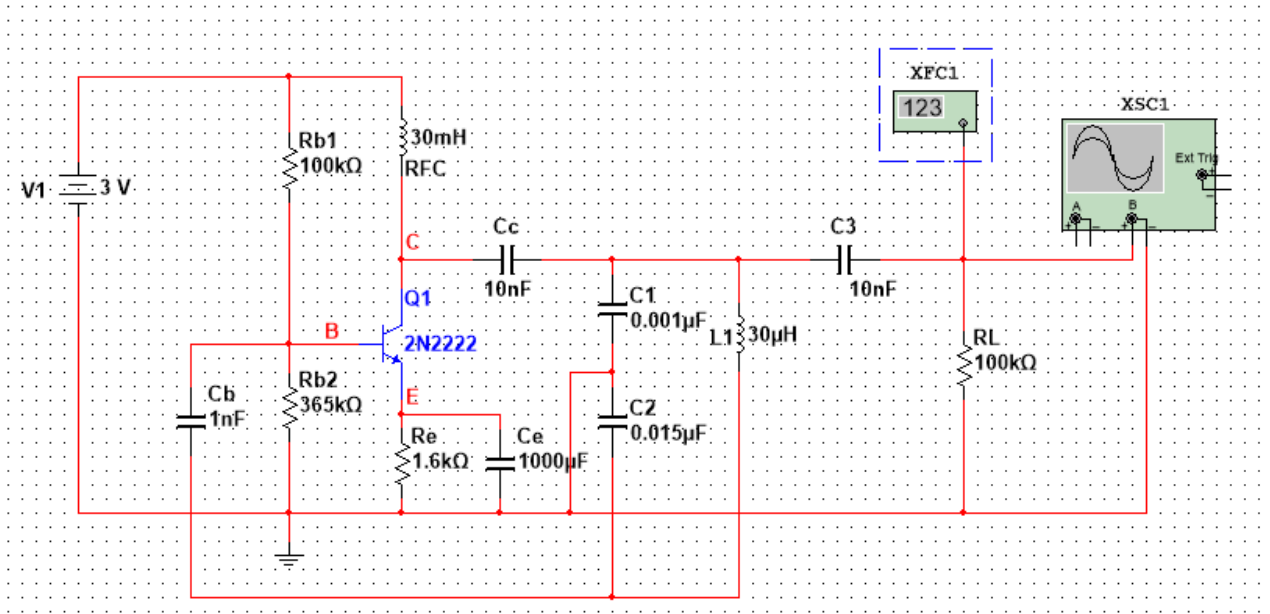


圖 9-7-1 考畢子(Colpitts)振盪模擬電路

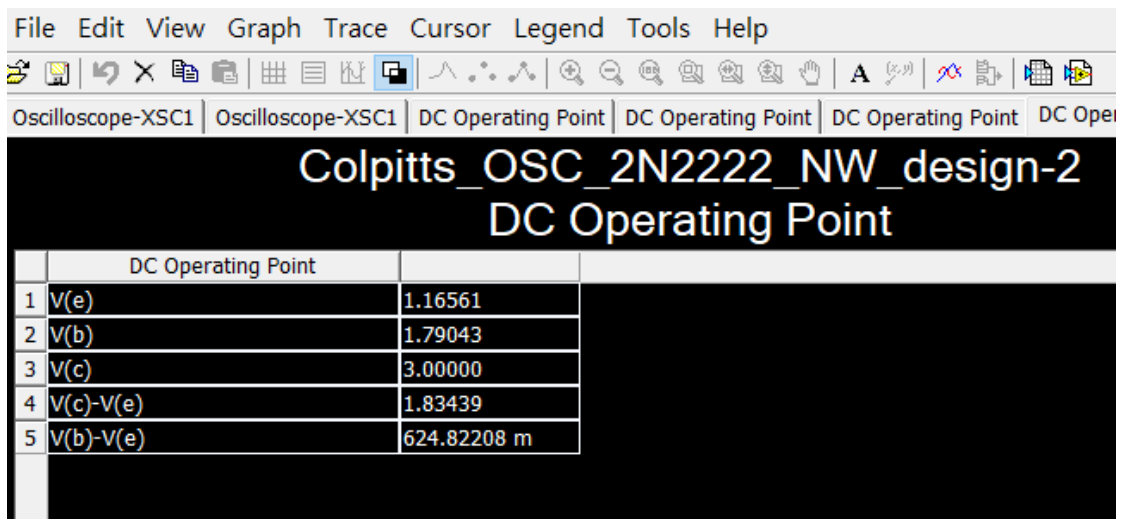


圖 9-7-2 該模擬放大電路偏壓值相較上述電路設計平台(圖 9-6-2)相關數值，其間差異小。

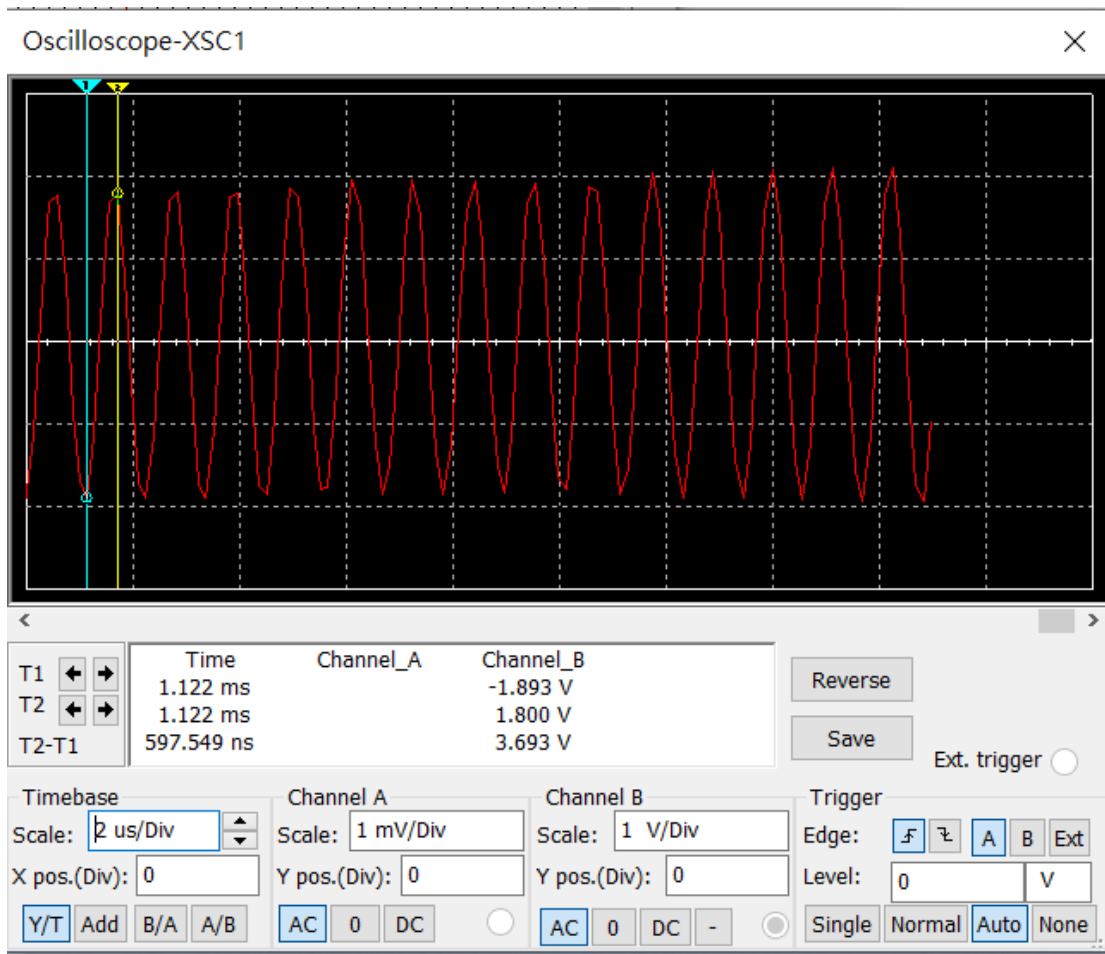


圖 9-7-3 考畢子(Colpitts)振盪電路的振幅變化於 1.800 ~ -1.893 V

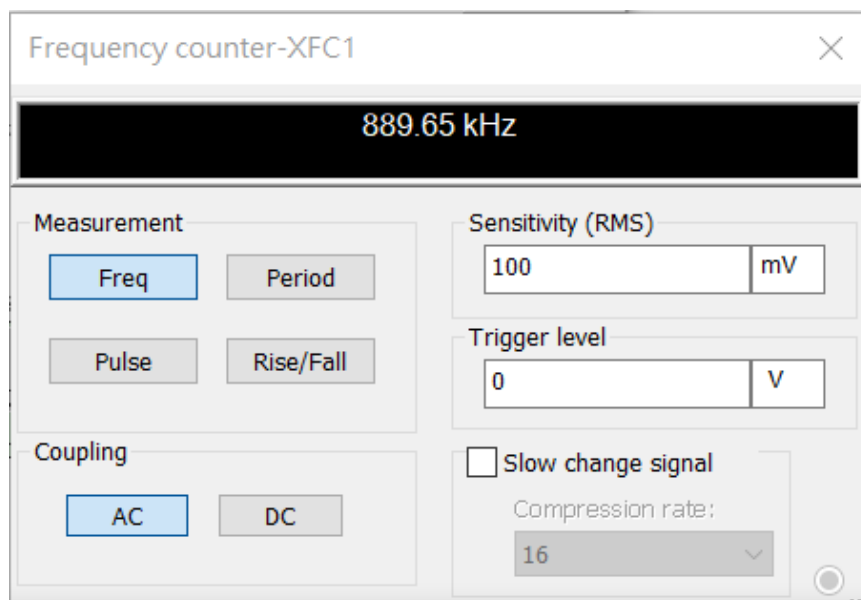


圖 9-7-4 考畢子(Colpitts)振盪電路之頻率約為 889.65kHz

例題 5， $V_{CC} = 3V$ 設計哈特萊(Hartley)振盪電路，其過程如下：

- 1) 上述 CE 放大電路平台相同設計過程，如圖 9-6-1, 9-6-2 所示，
- 2) 使用電阻值如 R_{b1} , R_{b2} , R_{e2} 與哈特萊(Hartley)振盪所需電容與電感值，其操作過程如圖 9-8-1 ~ 9-8-3 所示。

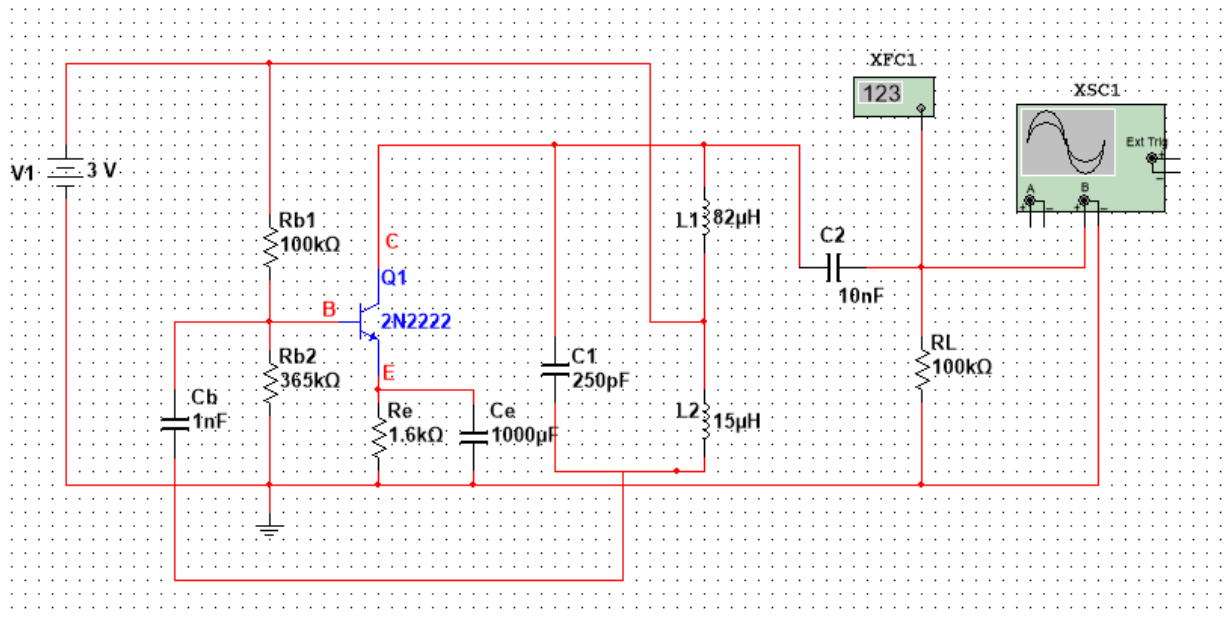


圖 9-8-1 模擬軟體 multisim 實現哈特萊(Hartley)振盪電路

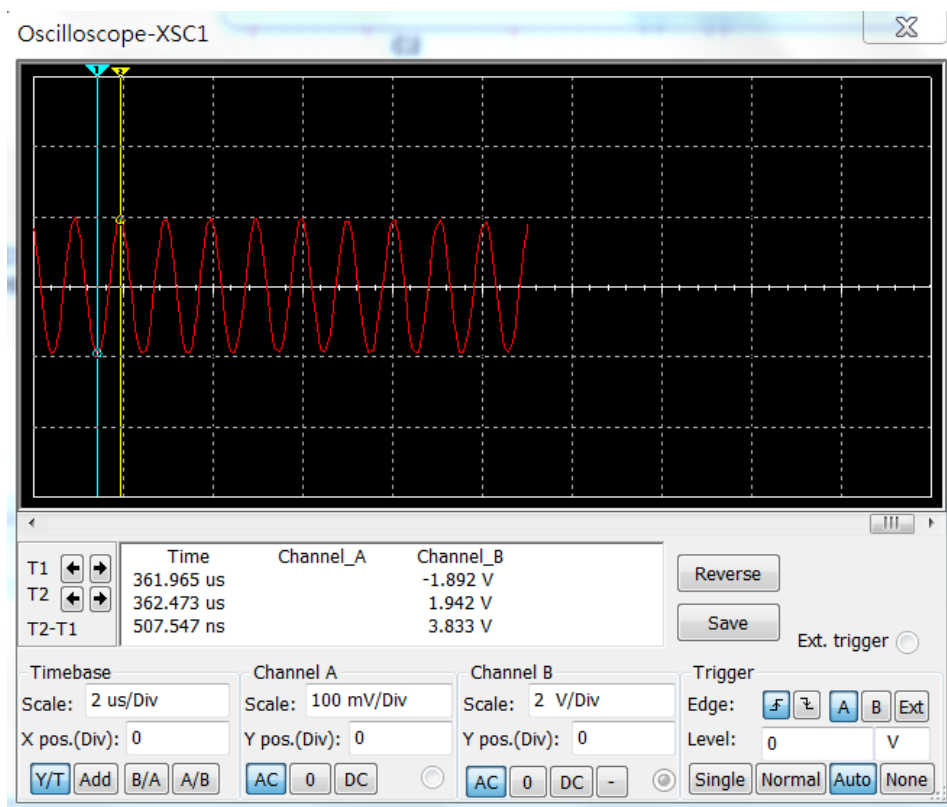


圖 9-8-2 哈特萊(Hartley)振盪電路的振幅變化於 1.942 ~ -1.892 V

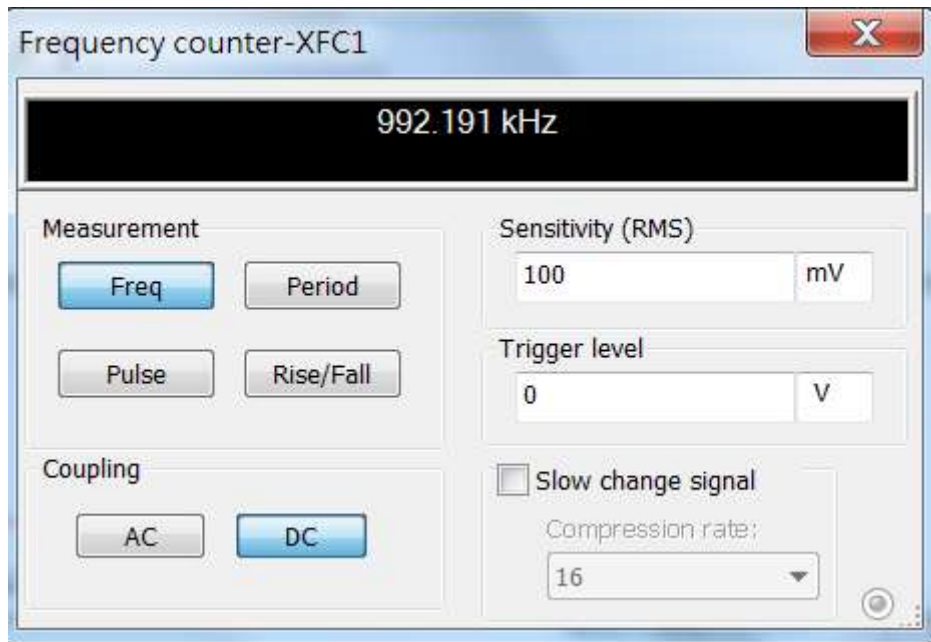


圖 9-8-3 哈特萊(Hartley)振盪電路之頻率約為 992.191kHz

四、作業(完成作業老師驗證後，請寫成書面報告上傳)

作業 9-1: 當 $V_{cc} = 5V$ ，請依據例題 4、5 設計過程，設計考畢子(Colpitts)與哈特萊(Hartley)振盪電路，相關振盪頻率同例題 4, 5，並以 multsim 模擬驗證，*請紀錄設計時間。

作業 9-2: 請用相關範例電路載入後修改電路參數，重複上述作業 9-1，滿足電路設計目標，並*紀錄設計時間。

作業 9-3: 依據所設計 LC 振盪電路之偏壓電路，請計算工作點電流 I_{CEQ} = ?，並與電路設計平台相對應之數值比較。

作業 9-4: 將上述設計好的兩種電路，以電子元件連接(或焊接)，並以示波器等相關儀器量測其振盪頻率、振幅與電晶體偏壓等參數。

附錄：作業 9-1(參考用)

1. 電路設計平台

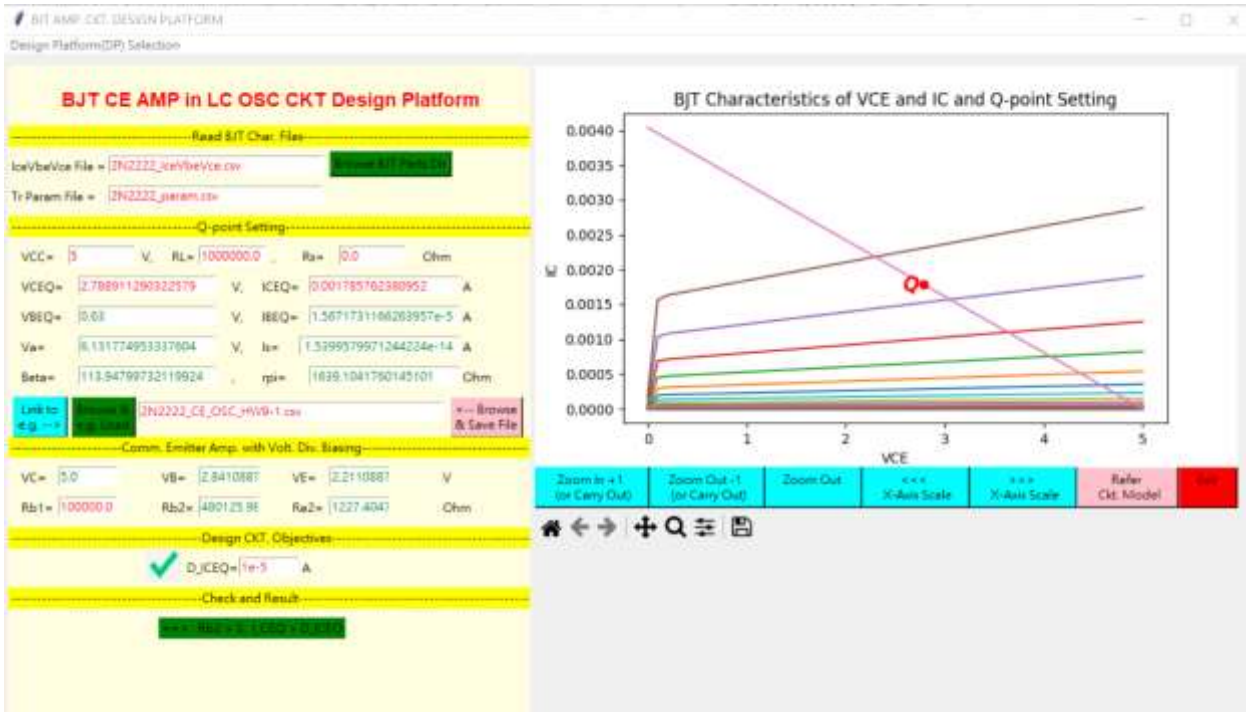


圖 A-1 電路設計平台

2. 模擬電路圖

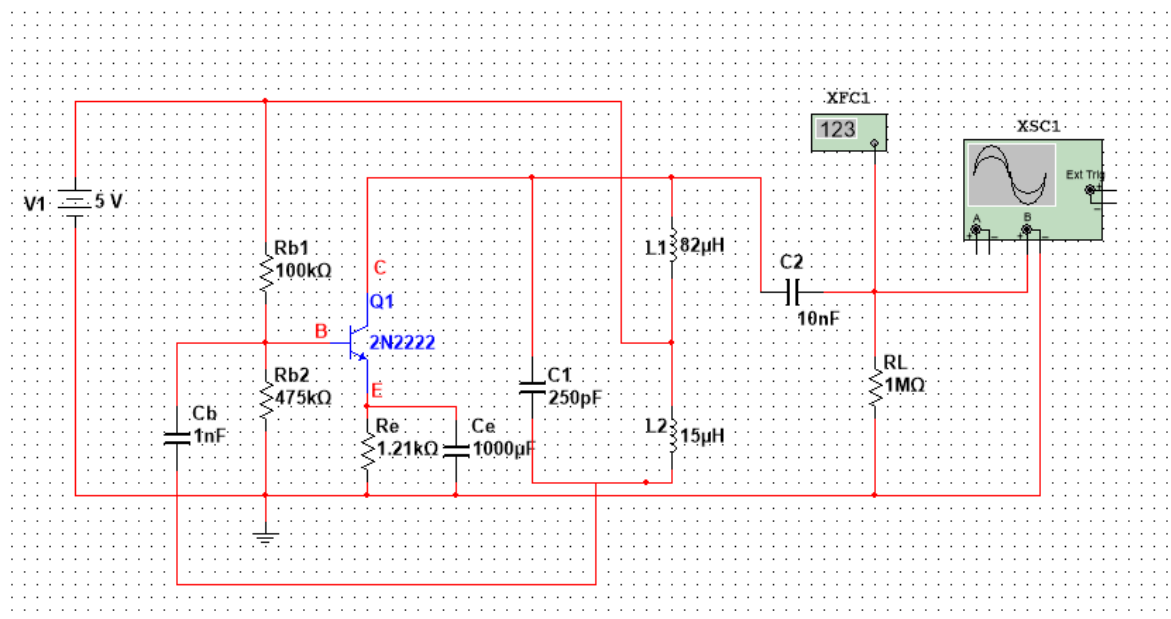


圖 A-2-1 考畢子模擬振盪電路

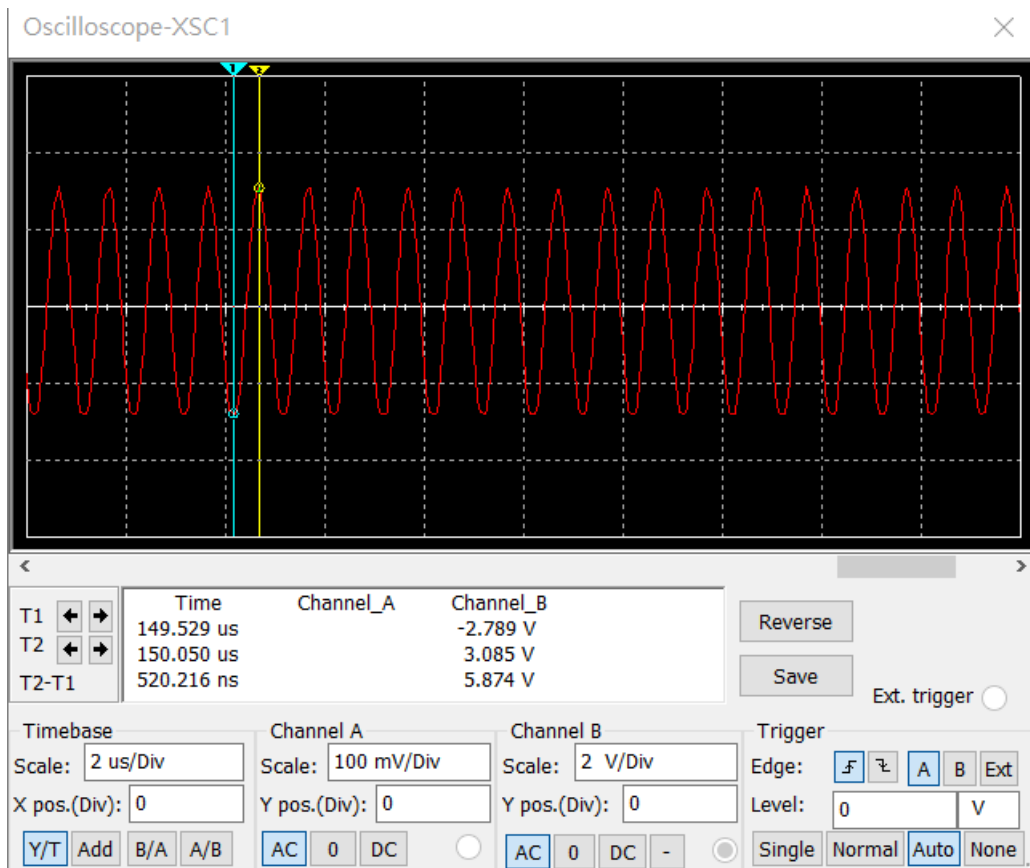


圖 A-2-2 電阻 RL 端輸出波形 VPP=5.874V

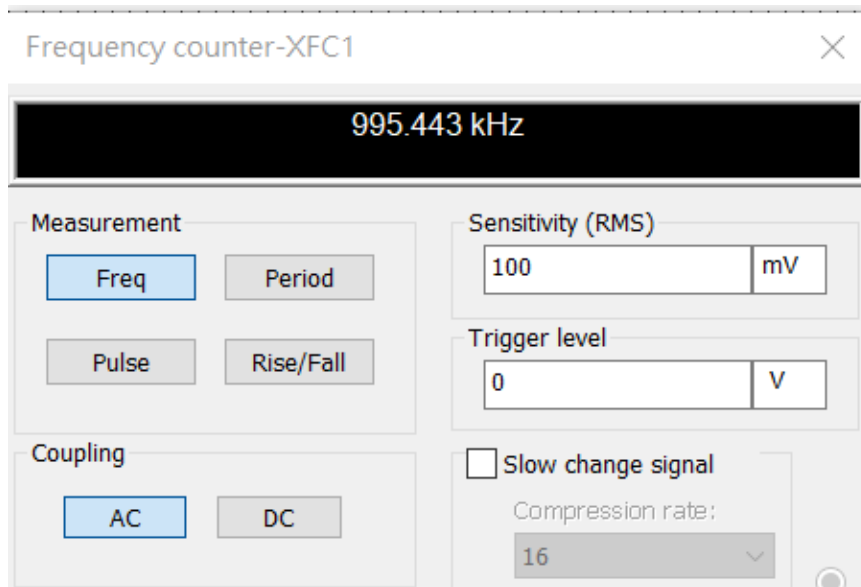
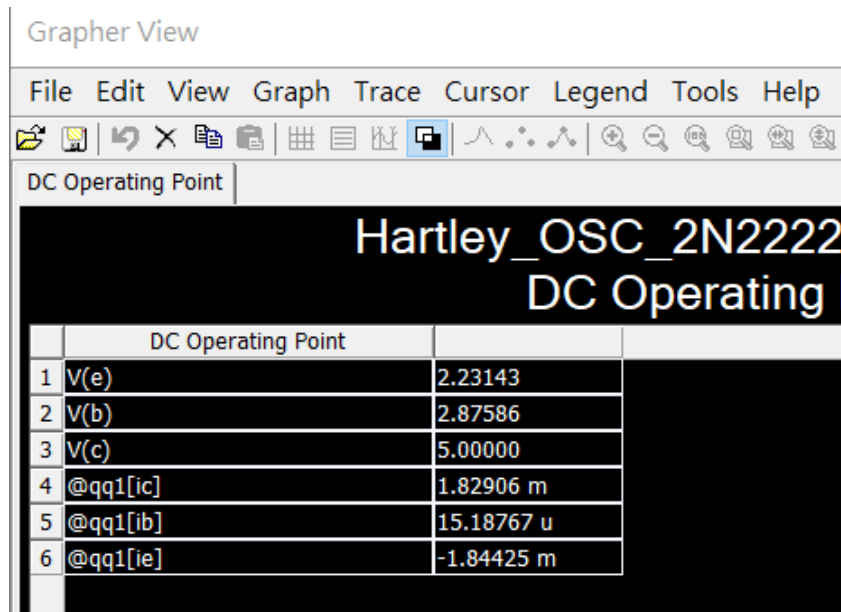


圖 A-2-3 電阻 RL 端輸出波形頻率 Freq. = 995.443KHZ



	VB(V)	VE(V)	IBEQ(A)	ICEQ(A)
電路設計平台	2.84	2.21	15.671u	1.785m
Multisim Design CKT.	2.875	2.23	15.187u	1.828m

圖 A-2-4 電路設計平台與模擬電路偏壓與電流相較，彼此差異甚小。

3. 電路實務安裝與檢測

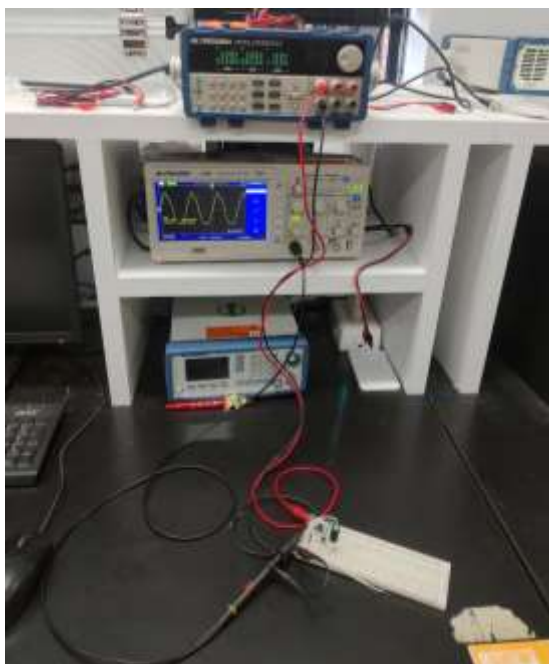


圖 A-3-1 電路實務安裝與量測

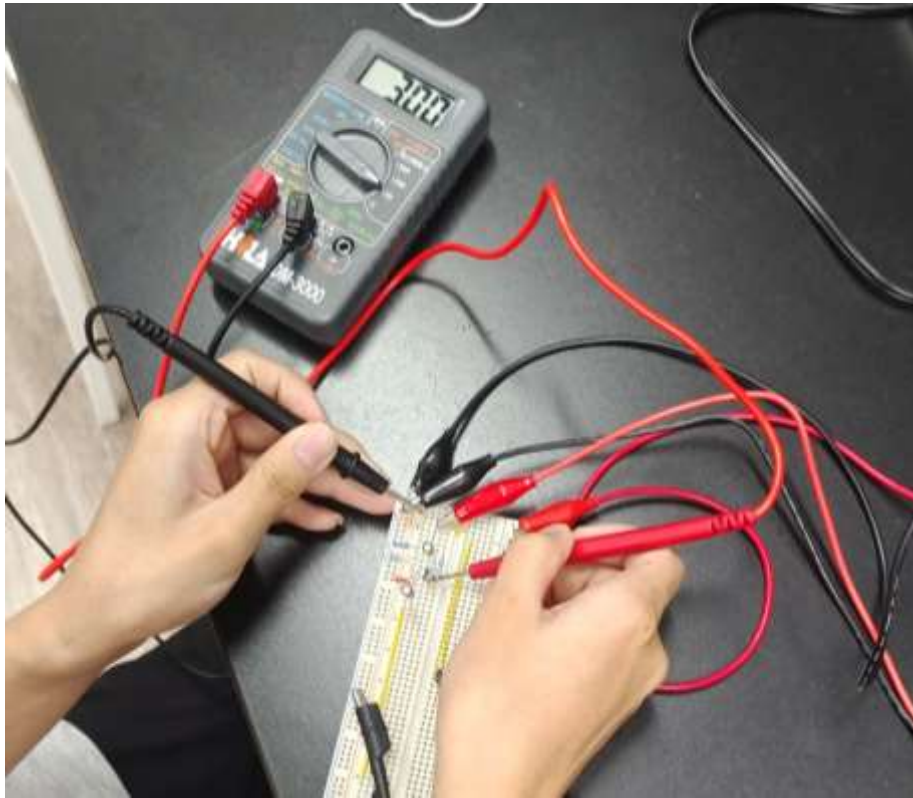


圖 A-3-2 VB 偏壓電壓量測， $V_B = 3.0V$
(為此量測，需先切斷 feedback 連接線，即電容 C_b 連接電晶體之處)

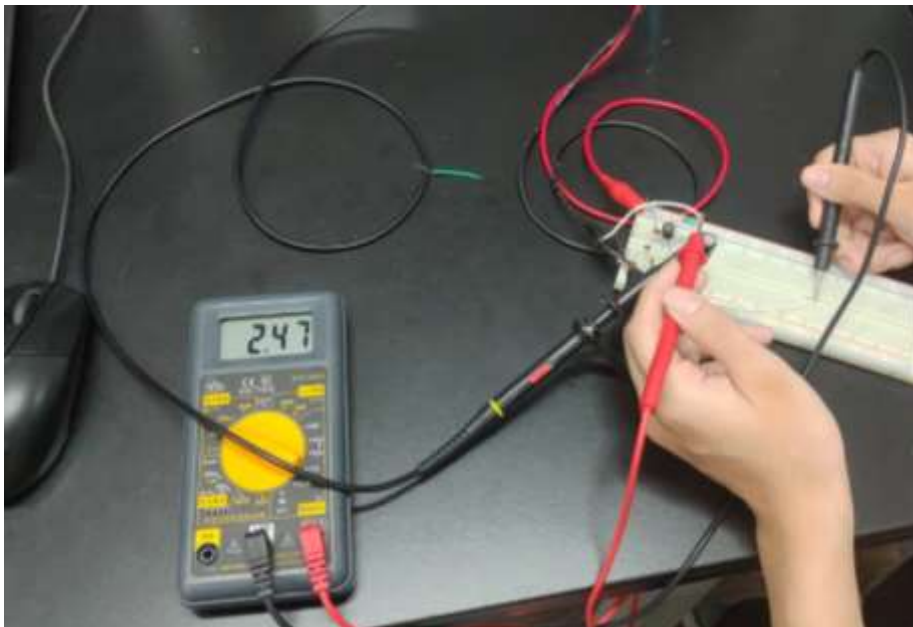


圖 A-3-3 VE 偏壓電壓量測， $V_E = 2.47V$

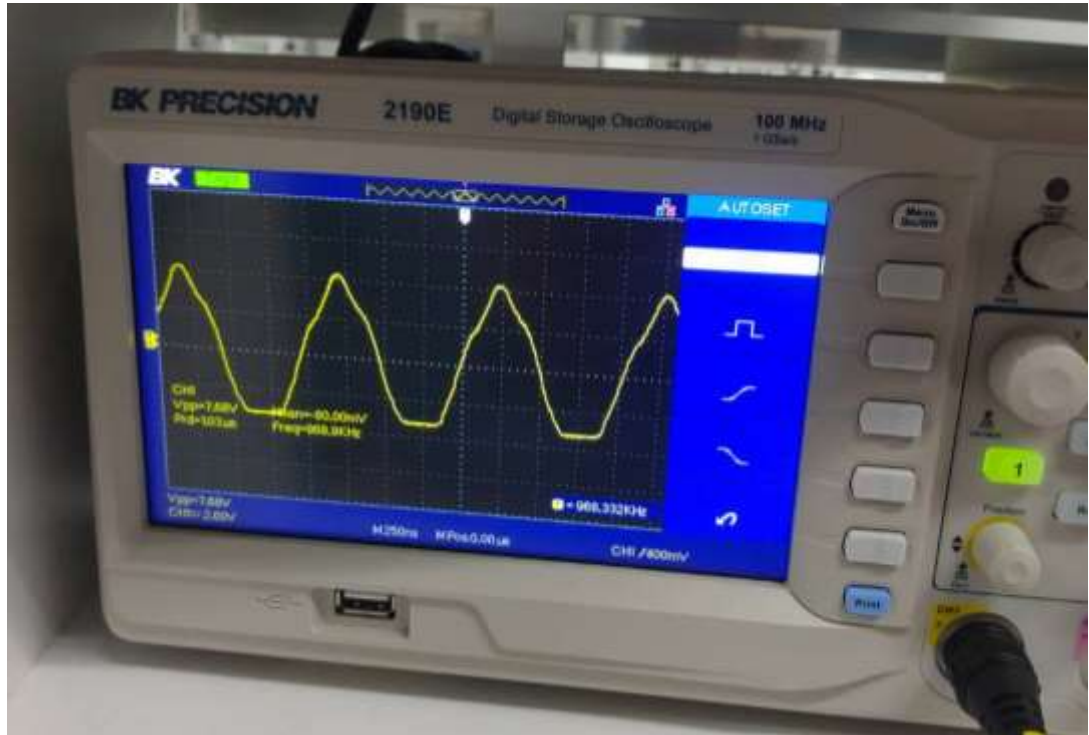


圖 A-3-4 振盪電路電阻 R_L 端振盪波形， $V_{PP} = 7.68V$ ， $Freq=968.9KHz$

表 A 設計、模擬與實務比較表

	VB(V)	VE(V)	振盪 VPP(V)	振盪 Freq.(KHz)
電路設計平台	2.84	2.21		
Multisim Design CKT.	2.875	2.23	5.874	995.443
實際電路	3.0	2.47	7.68	968.9