

第 8 講: BJT 電晶體共射(Common Emitter, CE)放大電路設計

參考文獻與網頁:

[1]第 6 講: BJT 電晶體共射放大電路

[2]How To Calculate The Voltage Gain of a Transistor Amplifier ,

<https://www.youtube.com/watch?v=-MyVscG-Pew>

[3]Basic BJT Amplifiers,

<http://cdcpc.ce.ncu.edu.tw/classes/EEShortversion/Elect/Ch6%20Basic%20BJT%20Amplifiers.pdf>

[4]How to plot BJT characteristic curves in Multisim,

<https://www.ee-diary.com/2021/10/how-to-plot-bjt-characteristic-curves.html>

[5]Lab 6: BJT Transistor Characteristics on Multisim - IC vs VBE - IC vs VCE,

<https://www.youtube.com/watch?v=4ACuFoVIVg4>

一、共射放大電路小訊號模型:

BJT 電晶體共射放大電路與小訊號模型如圖 8-1, 8-2 所示 ,

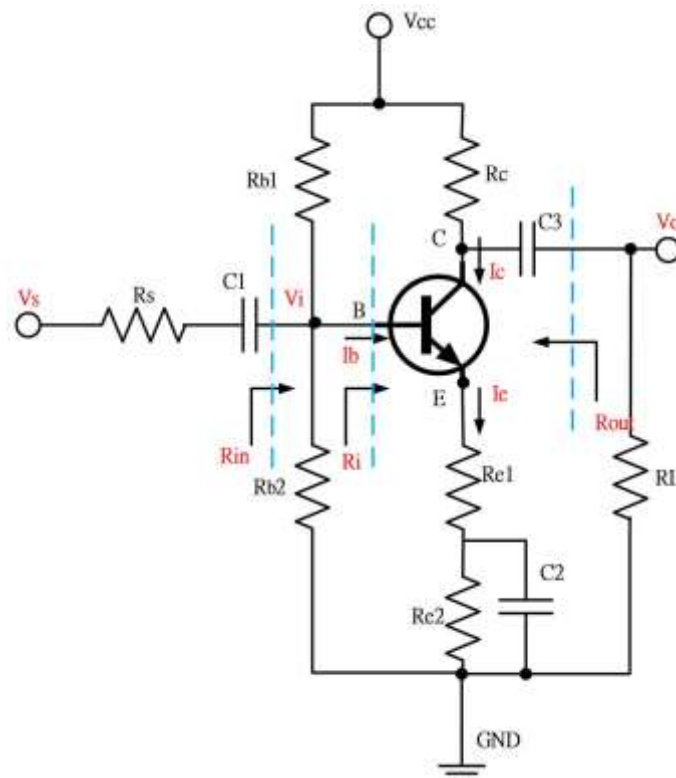


圖 8-1 BJT 電晶體共射放大等效電路

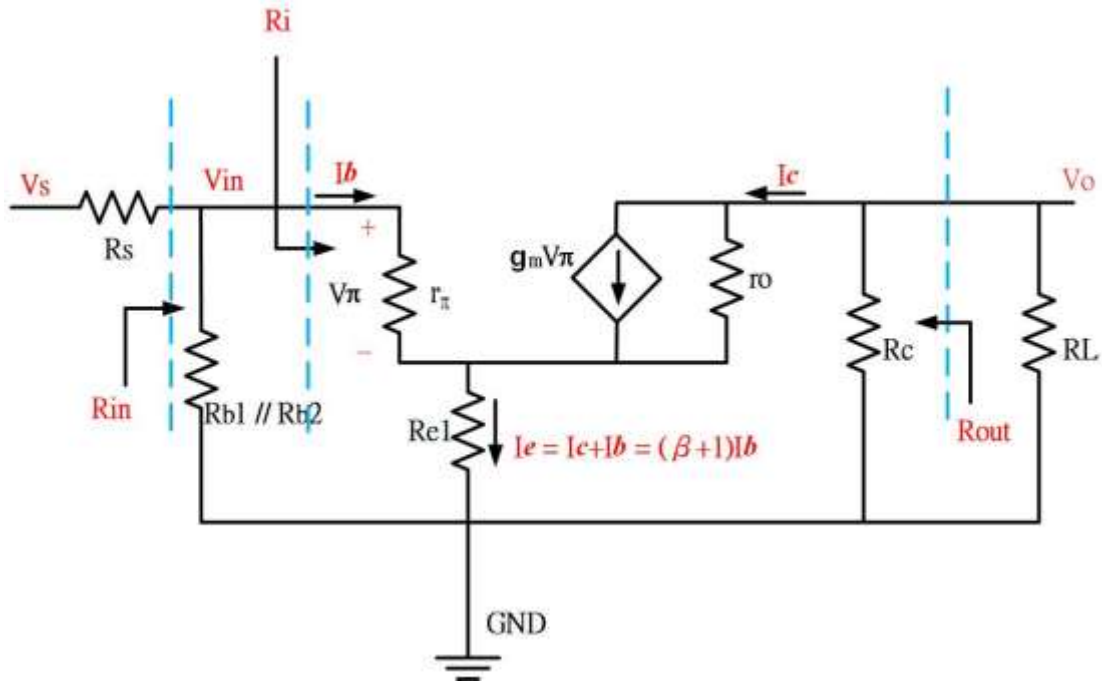


圖 8-3 BJT 電晶體共射型小訊號模型等效電路，使用 npn 電晶體 hybrid- π 模型。

其中，流經電晶體三極的電流(I_b , I_c , I_e)與偏壓電流(I_{BQ} , I_{CQ} , I_{EQ})及訊號電流(i_b , i_c , i_e)關係如(8.1)所示:

$$I_b = I_{BQ} + i_b, \quad I_c = I_{CQ} + i_c, \quad I_e = I_{EQ} + i_e, \quad (8.1)$$

$$\text{電流放大率} \Rightarrow \beta = \frac{I_{CQ}}{I_{BQ}} = \frac{g_m \cdot V_{be}}{V_{be}/r_\pi} = g_m \cdot r_\pi \quad (8.2)$$

$$\text{BE 導通電阻 } r_b = r_\pi = \frac{\beta V_T}{I_{CQ}}, \quad V_T = 0.026, \quad I_{CQ} = \text{Q-point } I_c \quad (8.3)$$

$$R_{bb} = R_{b1} // R_{b2}$$

$$\begin{aligned} \text{輸入電阻} \Rightarrow R_{in} &= \frac{V_i}{i_s} = R_{bb} // (r_\pi + (1 + \beta)R_{e1}) \\ &\cong r_\pi + (1 + \beta)R_{e1} = R_i \end{aligned} \quad (8.4)$$

$$\text{輸出電阻} \Rightarrow R_{out} = R_C \quad (8.5)$$

$$\begin{aligned} \text{電壓放大率} \Rightarrow A_v &= \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_i} \cdot \frac{V_i}{V_s} = \frac{-i_c \cdot R_C}{i_b \cdot (r_\pi + (1 + \beta)R_{e1})} \cdot \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s} \\ &= \frac{-\beta \cdot R_C}{r_\pi + (1 + \beta)R_{e1}} \cdot \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s} \cong -\frac{R_C}{R_{e1}} \cdot \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s} \end{aligned} \quad (8.6)$$

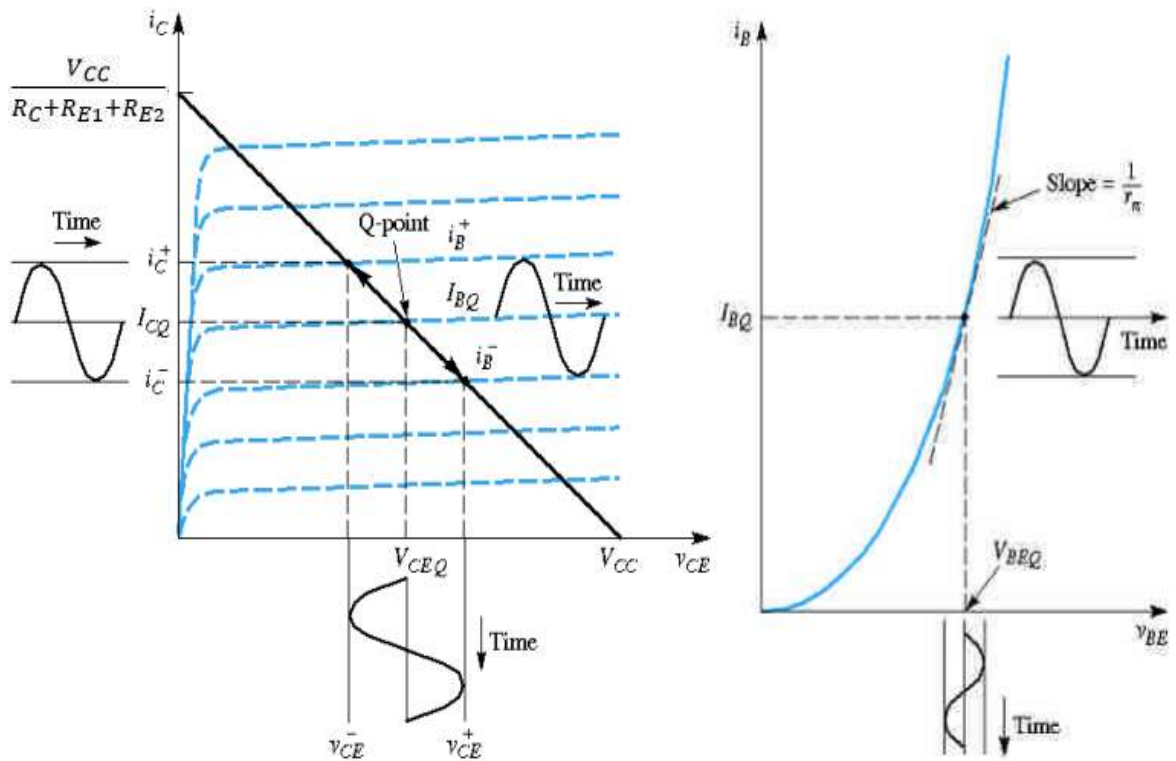


圖 8-4 BJT 電晶體 $I_C - V_{CE}$ 與 $I_B - V_{BE}$ 特性曲線[4]

二、共射放大電路設計思路(過程): 參考圖 8-2

- 1) 給定某顆 BJT 電晶體的 $I_C - V_{CE}$ 與 $I_B - V_{BE}$ 特性曲線，確定工作點 Q-point 後(即 I_{CQ} 、 I_{BQ} 、 V_{CEQ} 、 β)，

$$\beta = \frac{I_{CQ}}{I_{BQ}} \quad (8.7)$$

$$r_b = r_\pi = \frac{\beta V_T}{I_{CQ}}, \quad V_T = 0.026 \quad (8.8)$$

- 2) 給定輸出端的直流電壓，如 $V_C = 0.5 * (|V_{CC}| + |V_{EE}|)$ ，與電阻值 R_{b1} 、 R_{E1} 後使用(8.9) - (8.12)計算出相關電阻值如 R_C 、 R_{e2} 及 R_{b2} ，隨後依據(8.4) - (8.6)計算電壓放大率 A_v 、輸出電阻 R_{out} 與輸入電阻 R_{in} 。

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_C}{I_{CQ}} \quad (8.9)$$

$$R_{e2} = \frac{V_C - V_{CEQ} - (-V_{EE})}{I_{CQ} + I_{BQ}} - R_{e1} \quad (8.10)$$

$$V_B = V_C - V_{CEQ} + 0.7 = \frac{V_{CC} * R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} \quad (8.11)$$

$$\Rightarrow R_{b2} = \frac{R_{b1} \cdot V_B}{V_{CC} - V_B} \quad (8.12)$$

換言之：

- 利用參考網頁[4] (How to plot BJT characteristic curves in Multisim) 與參考網頁[5](Lab 6: BJT Transistor Characteristics on Multisim - IC vs VBE - IC vs VCE)，針對特定電晶體量測特性曲線電路，紀錄電晶體 Ic - V_{CE} 與 Ic - V_{BE} 特性曲線，據此選擇工作點 Q-point，確定 I_{BQ}、I_{CQ}、V_{CEQ}、β。
- 給定輸出端的直流電壓 V_C、電阻值 R_{B1}、R_{E1}。如欲提高電壓放大率 A_v，則調降電阻值 R_{E1}。若要提高輸入電阻 R_i，則設定高電阻值 R_{B1}。

為便利上述設計過程，本課程已撰寫相關 python 程式。點擊 BJT_Amp_menu_DP25.exe，開啟後畫面如圖 8-5 所示，所有紅字處(1~4)皆可修改，綠字處是經計算出數字不可修改。以下簡稱為電路設計平台。

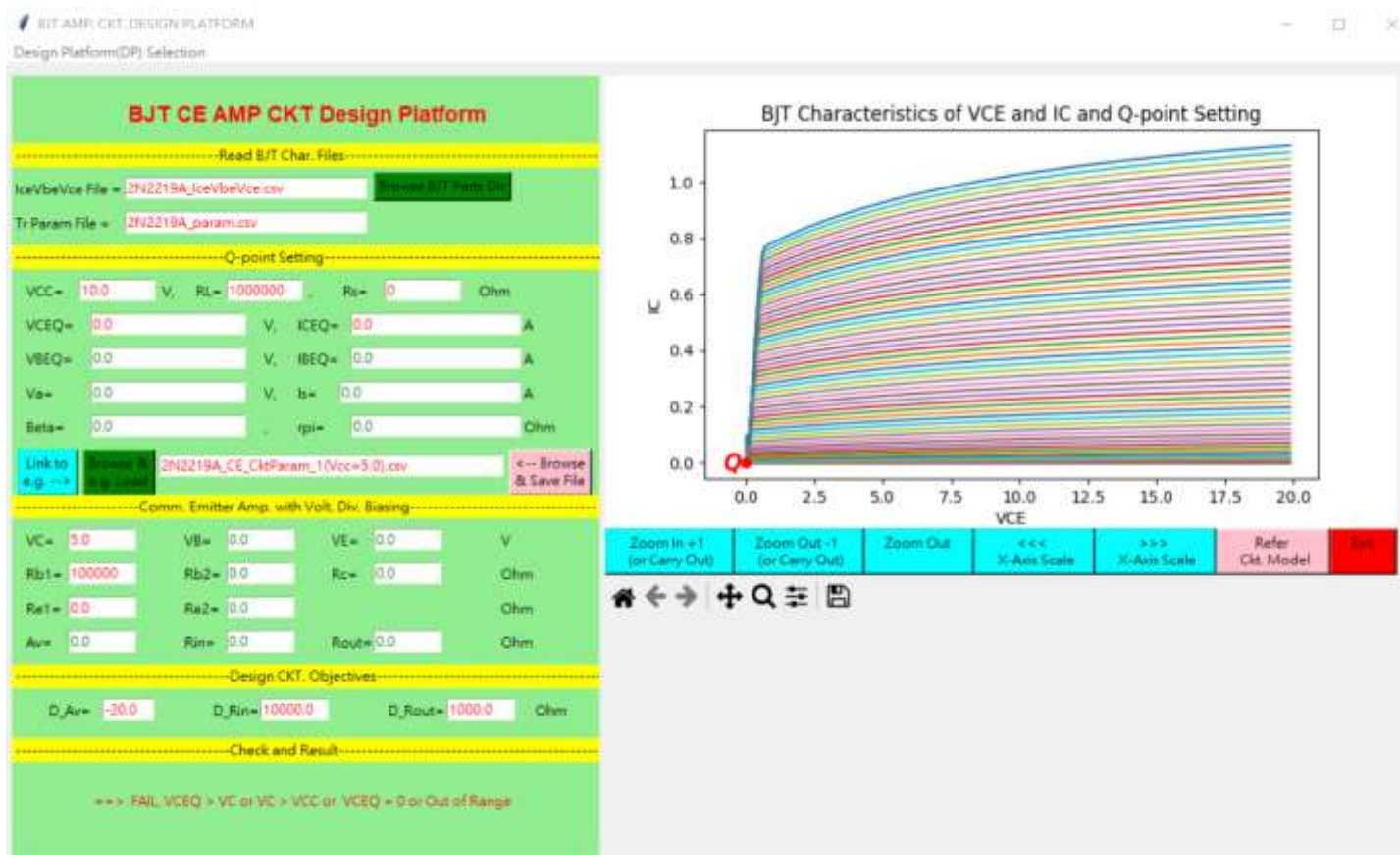


圖 8-5-1 電路設計平台: 左半圖為選擇區，可選定不同電晶體與電路結構，右半圖顯示被選定電晶體特性區線與工作點 Q-point 位置。

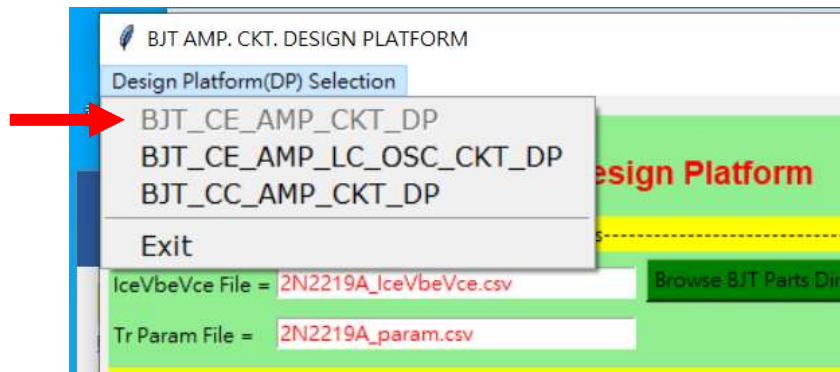


圖 8-5-2 電路設計平台左上角選單 Design Platform Selection，可選擇不同的電路結構，如共射放大電路(BJT_CE_AMP_CKT_DP)，共射放大與 LC 振盪電路(BJT_CE_AMP_LC_OSC_CKT_DP)與共基放大電路(BJT_CC_AMP_CKT_DP)等三種電路。

BJT CE AMP CKT Design Platform

-----Read BJT Char. Files-----

1 IceVbeVce File =

Tr Param File =

-----Q-point Setting-----

2 VCC= V, RL= , Rs= Ohm

VCEQ= V, ICEQ= A

VBEQ= V, IBEQ= A

Va= V, Is= A

Reta= , rpi= Ohm

-----Comm. Emitter Amp. with Volt. Div. Biasing-----

3 VC= VB= VE= V

Rb1= Rb2= Rc= Ohm

Re1= Re2= Ohm

Av= Rin= Rout= Ohm

-----Design CKT. Objectives-----

4 D_Av= D_Rin= D_Rout= Ohm

-----Check and Result-----

5 ==> FAIL, VCEQ > VC or VC > VCC or VCEQ = 0 or Out of Range

選取電晶體元件目錄

1

2

3

4

5

讀取範例或已存電路參數

讀取範例的電路圖

儲存電路參數

顯示範例的CSV檔案名稱

圖 8-5-3 電路設計平台左半圖開啟選定範例(如 2N2219A_CE_CktParam_1(Vcc=5.0).csv)之開啟畫面

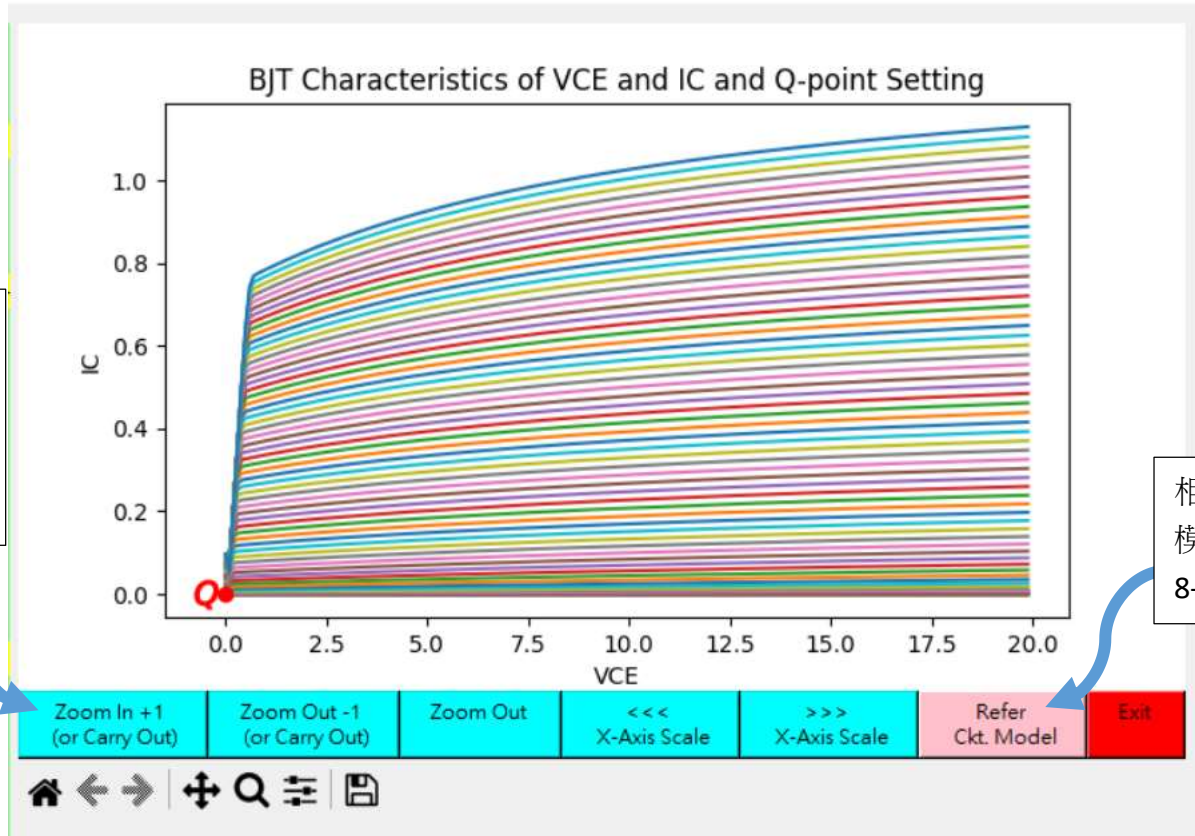


圖 8-5-4 電路設計平台右半圖顯示工作點 Q-point 所在之處。

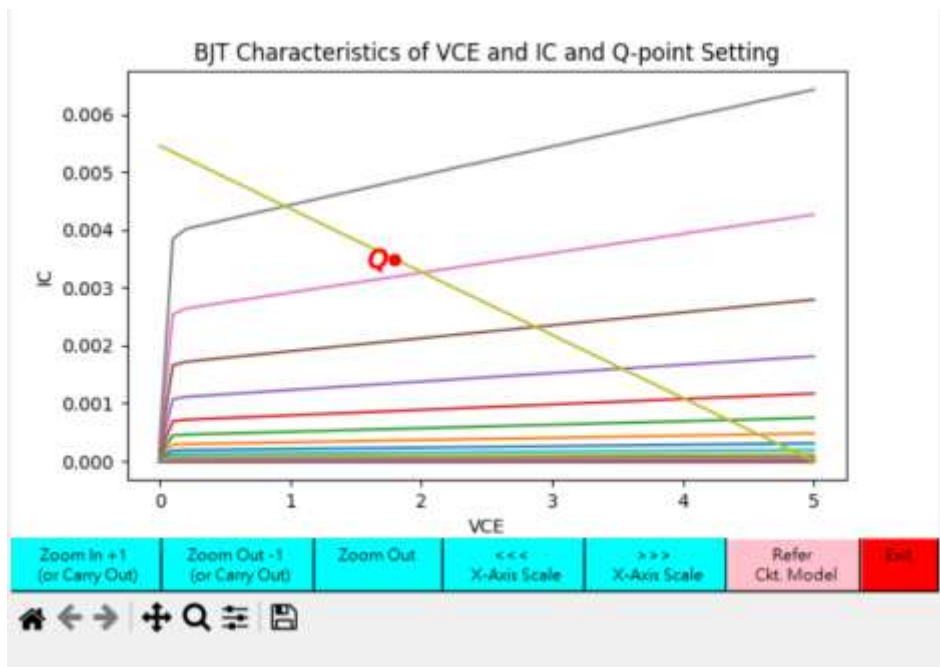


圖 8-5-5 經按鍵 <Zoom In + 1 (or Carry Out)>與 <<< X-Axis >使用後，電路設計平台呈現 Q-point 與相關晶體特性曲線圖。

BJT CE AMP CKT Design Platform

-----Read BJT Char. Files-----

IceVbeVce File = Browse BJT Parts Dir

Tr Param File =

-----Q-point Setting-----

VCC= V, RL= , Rs= Ohm

VCEQ= V, ICEQ= A

VBEQ= V, IBEQ= A

Va= V, Is= A

Beta= , rpi= Ohm

Link to e.g. -->
Browse & e.g. Load

<-- Browse & Save File

-----Comm. Emitter Amp. with Volt. Div. Biasing-----

VC= VB= VE= V

Rb1= Rb2= Rc= Ohm

Re1= Re2= Ohm

Av= Rin= Rout= Ohm

-----Design CKT. Objectives-----

D_Av=

 D_Rout= Ohm

-----Check and Result-----

|Av| > |D_Av|, Rout < D_Rout

圖 8-5-6 按鍵 <Zoom In + 1 (or Carry Out)>後，電路設計平台計算出電晶體小訊號模型參數(如 Early voltage V_a 、電流放大率 Beta(或 β)、逆向飽和電流 I_s 、內阻 r_{pi} (或 r_{π})、電路相關偏壓電阻值(如 R_{b2} , R_c , R_{e2})與電路電壓放大率 A_v ，電路輸出入電阻 R_{out} , R_{in} 等。此外，該範例電路滿足三項期望值(D_{Av} , D_{Rin} , D_{Rout})中，其中兩項 $|A_v| > |D_{Av}|$, $R_{out} < D_{Rout}$ 。

操作過程請參考以下 YouTube 影片網址:

<https://www.youtube.com/watch?v=CMIJmBkl-s>

<https://www.youtube.com/watch?v=XNMzFQfVIHM>

<https://www.youtube.com/watch?v=ftjXV1uRktA>

開啟範例(2N2219A_CE_CktParam_1(Vcc=5.0).csv)過程為例，執行上述過程(圖 8-5-1 ~ 6)與點擊右半圖中按鍵 < link to e.g. → >後，直接產生以下畫面:

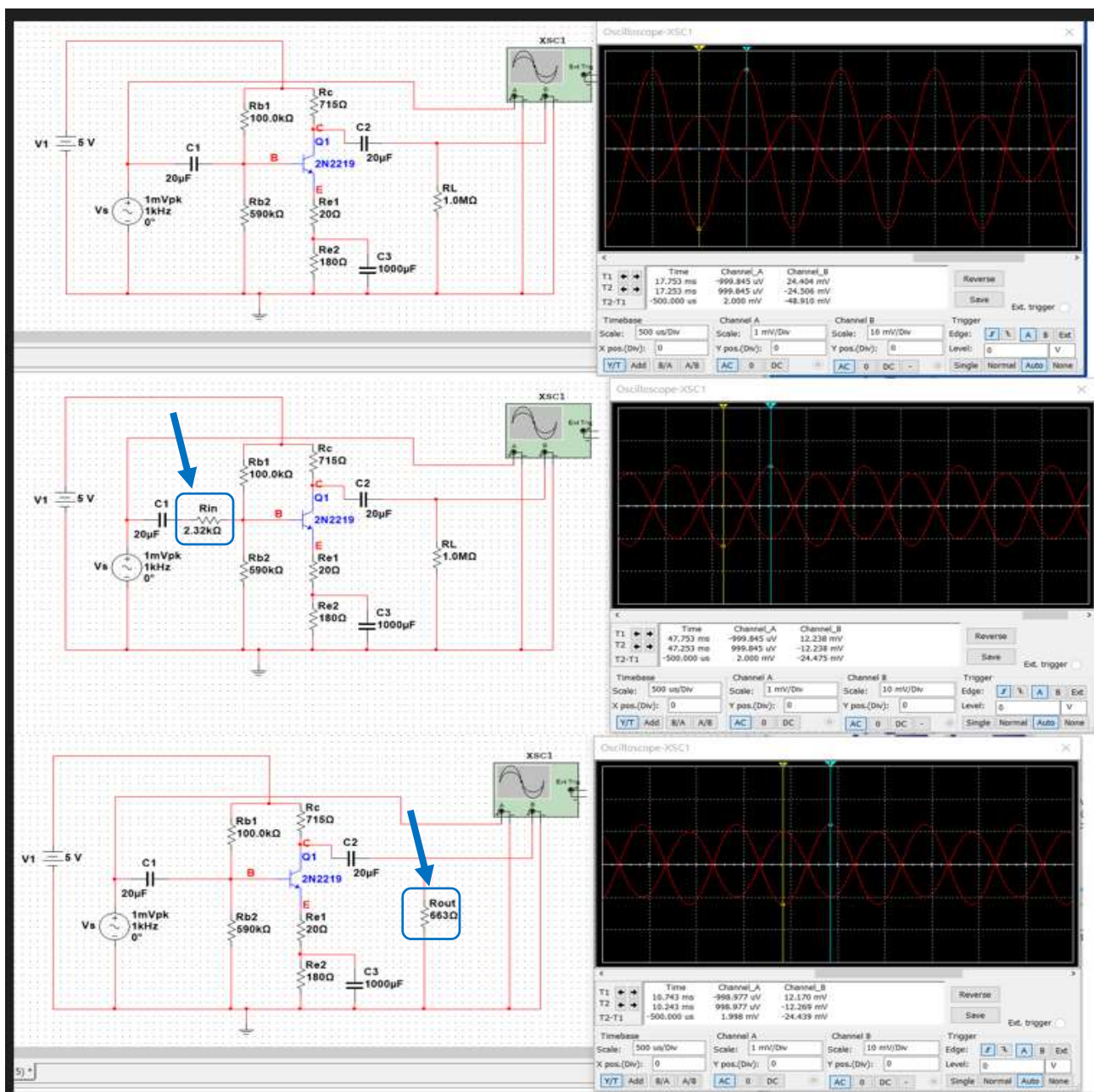


圖 8-6 使用套裝模擬軟體 Multisim V12，三項電路模擬圖分別呈現原設計電路、輸入電阻檢測與輸出電阻檢測電路圖。電壓放大率 A_v 、輸入出電阻 R_{in} 、 R_{out} 設計值與模擬值分別為 -25.89 (設計值), -24.45 , $2.737\text{K}\Omega$ (設計值), $2.32\text{K}\Omega$, 713Ω (設計值), 663Ω 。

三、 作業(完成作業老師驗證後，請寫成書面報告上傳)

作業 8-1: 請使用電路設計平台設計 CE 放大電路，滿足以下電路設計目標

VCC=10V，電晶體 2N2222，隨後使用套裝模擬軟體 Multisim V12 驗證，

1) $|A_v| > 20$ ，

2) 輸入電阻 R_{IN} 大於 10K，

3) 輸出電阻 R_{OUT} 小於 1K。

***請紀錄設計時間。**

作業 8-2: 請用相關**範例電路載入後修改電路參數**，重複上述作業 8-1，滿足電路設計目標，**並*紀錄設計時間。**

作業 8-3: 請使用**共射放大電路小訊號模型**與你所設計放大電路，**分析計算**以下三個電路參數，並與電路設計平台的相對應參數比較，

1) $|A_v|$ ，

2) 輸入電阻 R_{IN} ，

3) 輸出電阻 R_{OUT} 。

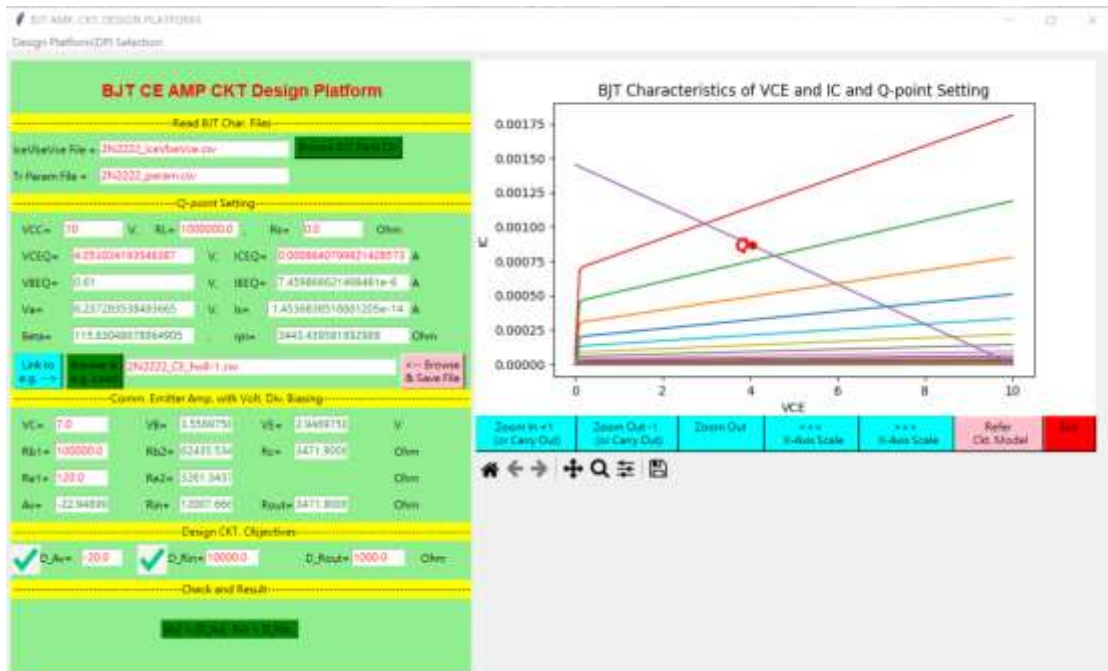
作業 8-4: 依據上述作業結果，安裝實際電路。

1) 測量電晶體 2N2222 偏壓值(V_B 、 V_C 、 V_E)，並比較上述電路設計平台設計值與套裝模擬軟體 Multisim V12 模擬值，

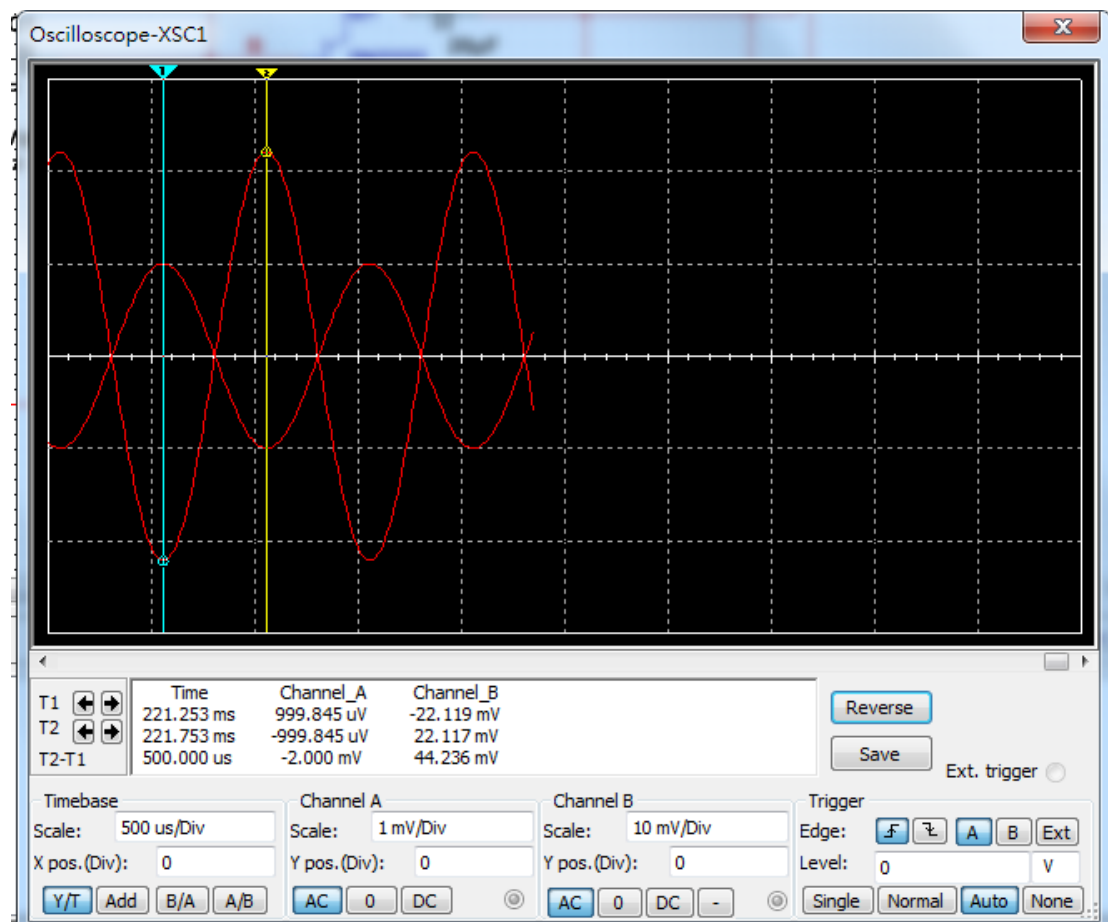
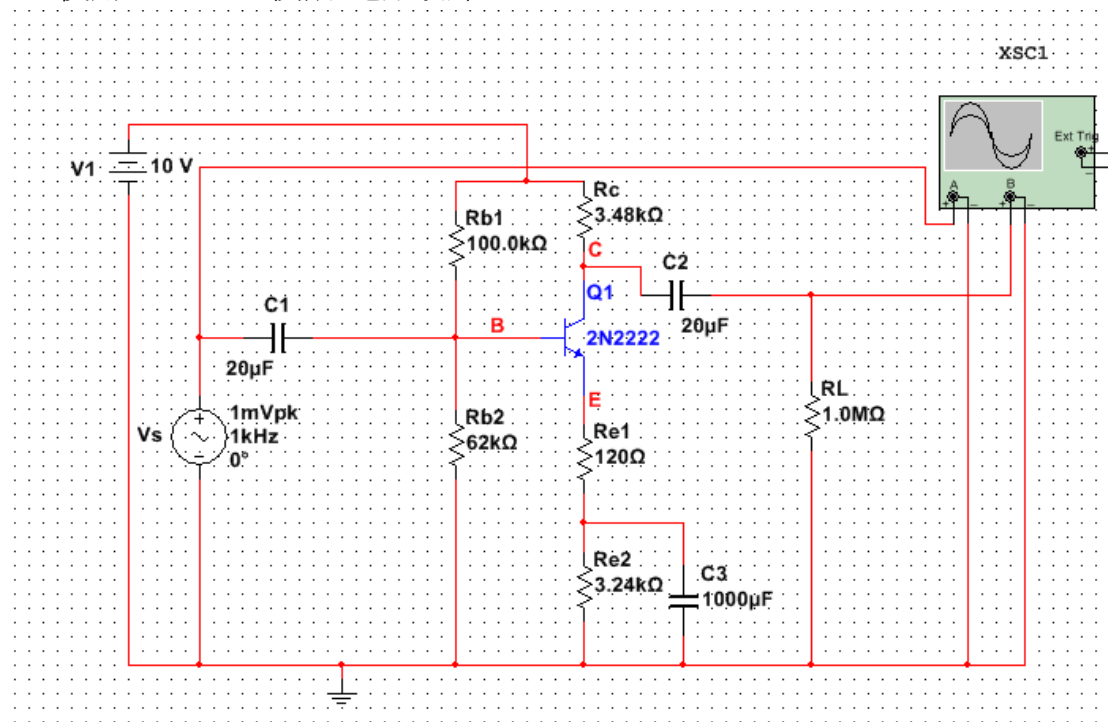
2) 測量電路放大率 A_v 、輸出入電阻 R_{OUT} 、 R_{IN} ，並比較上述電路設計平台設計值與套裝模擬軟體 Multisim V12 模擬值。

附錄: 作業 8-1 (參考用)

1. 電路 Q 點決定

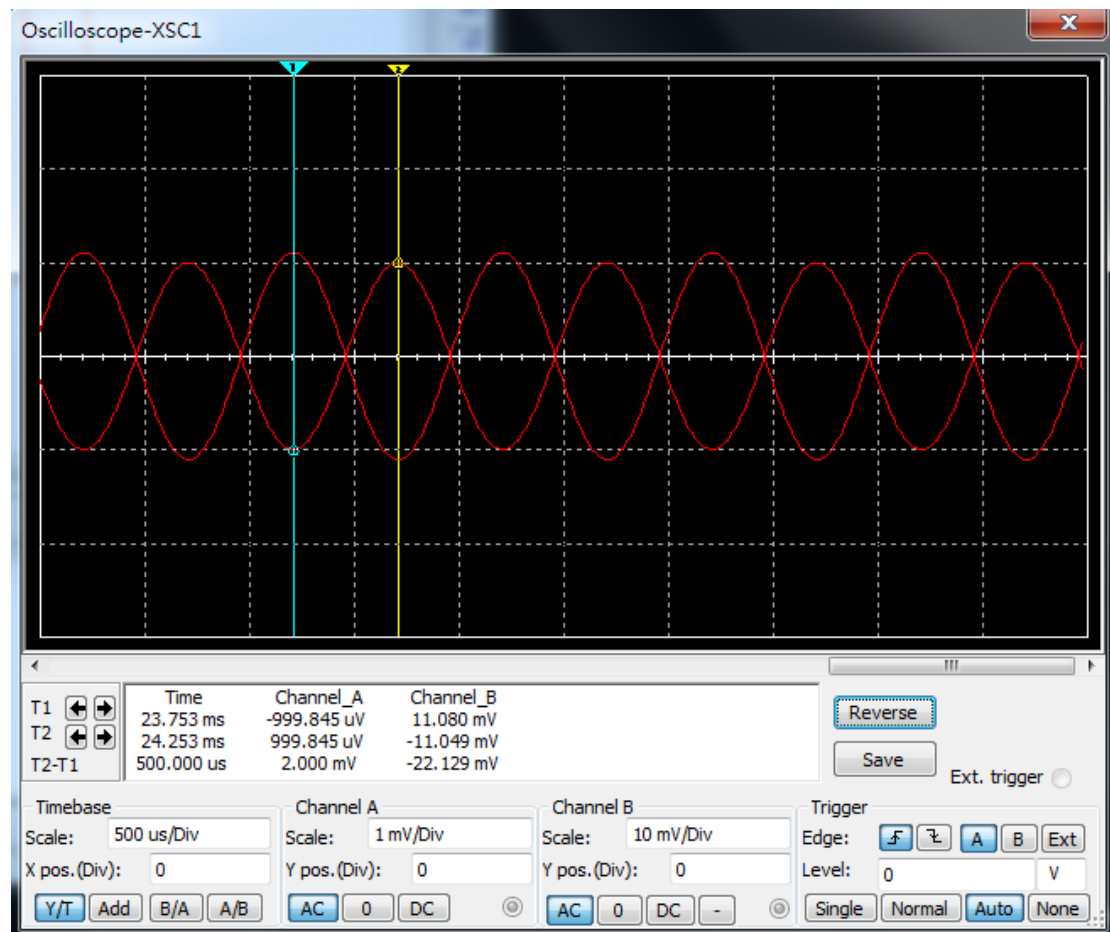
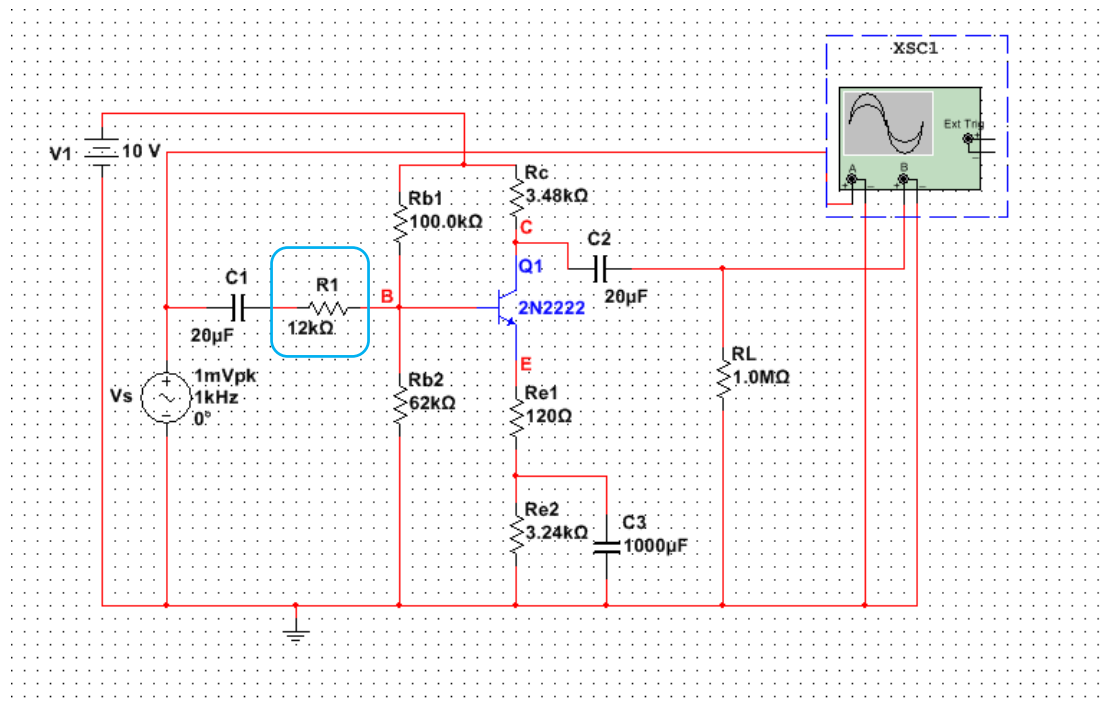


2. 使用 Multisim 模擬 電路設計



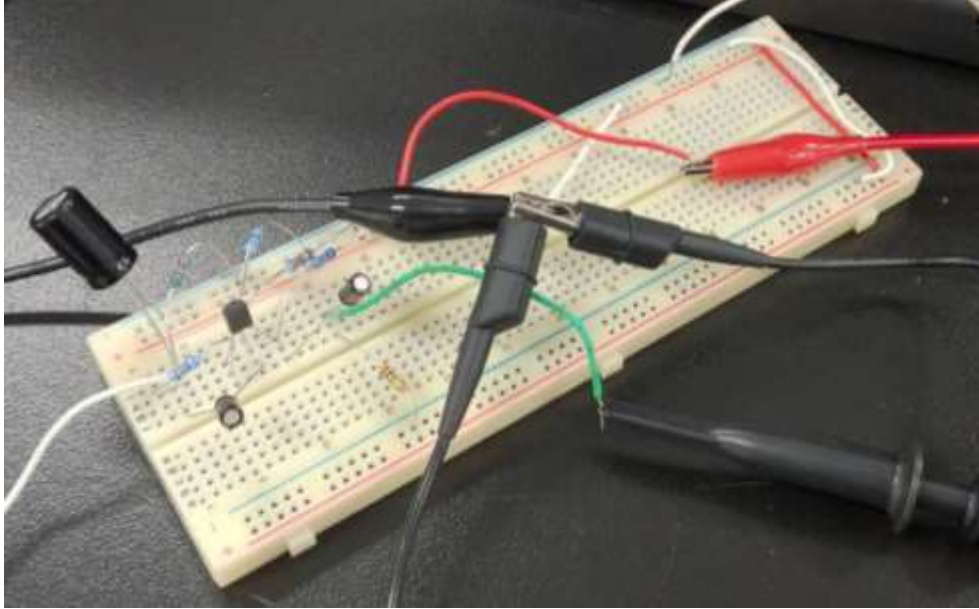
$$A_v = -44.236/2 = -22.118$$

另外加 $R1 = 12\text{k}\Omega$ ，輸出波形為原來半值，驗證 $R_{in} = 12\text{k}\Omega$

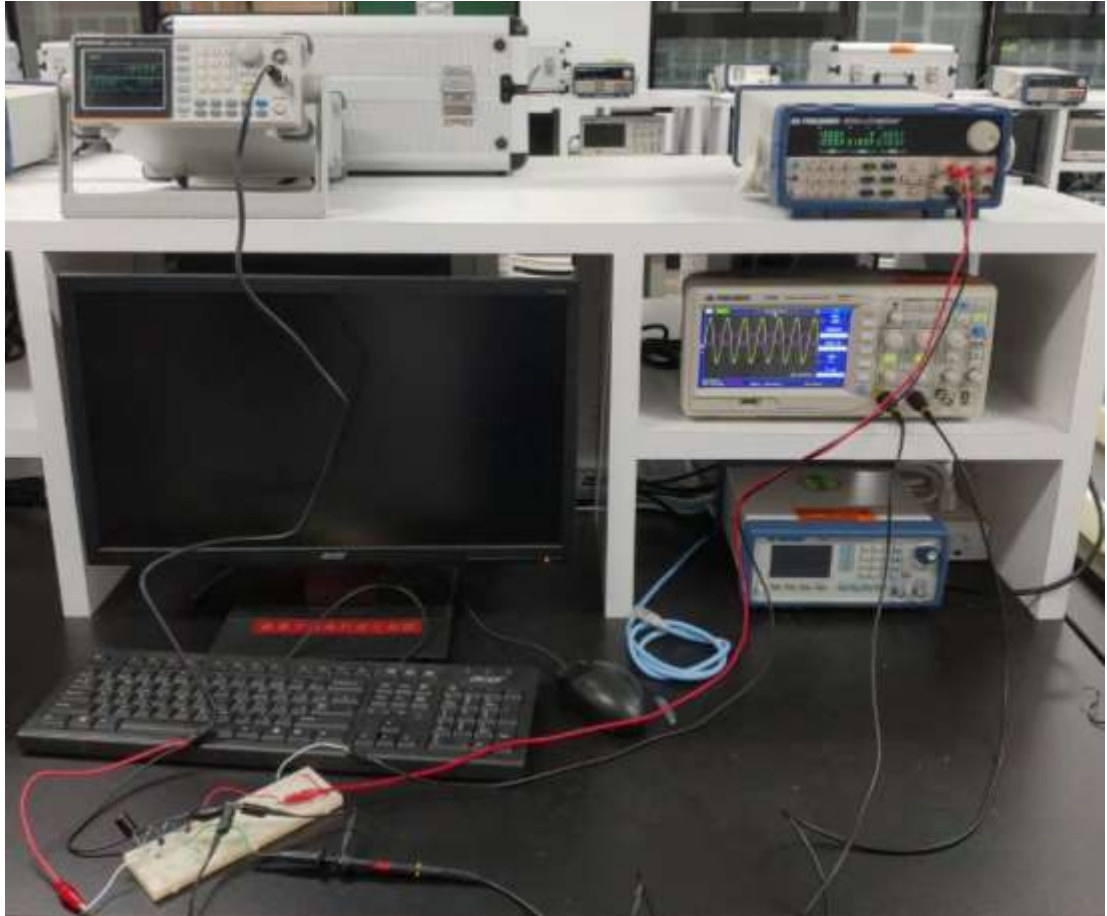


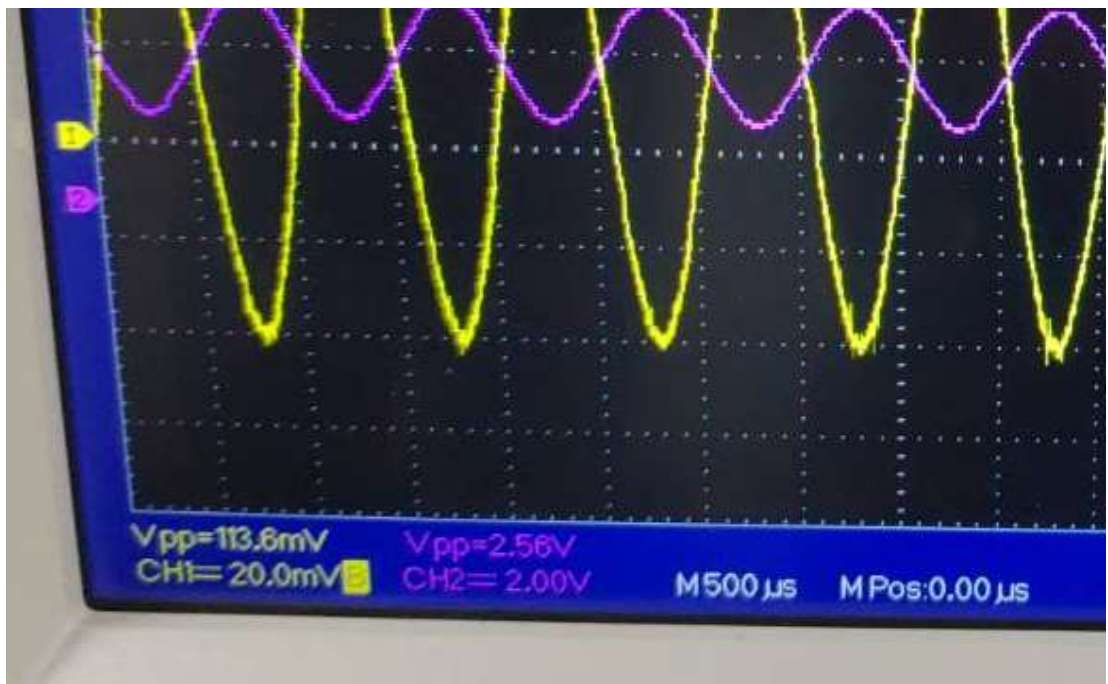
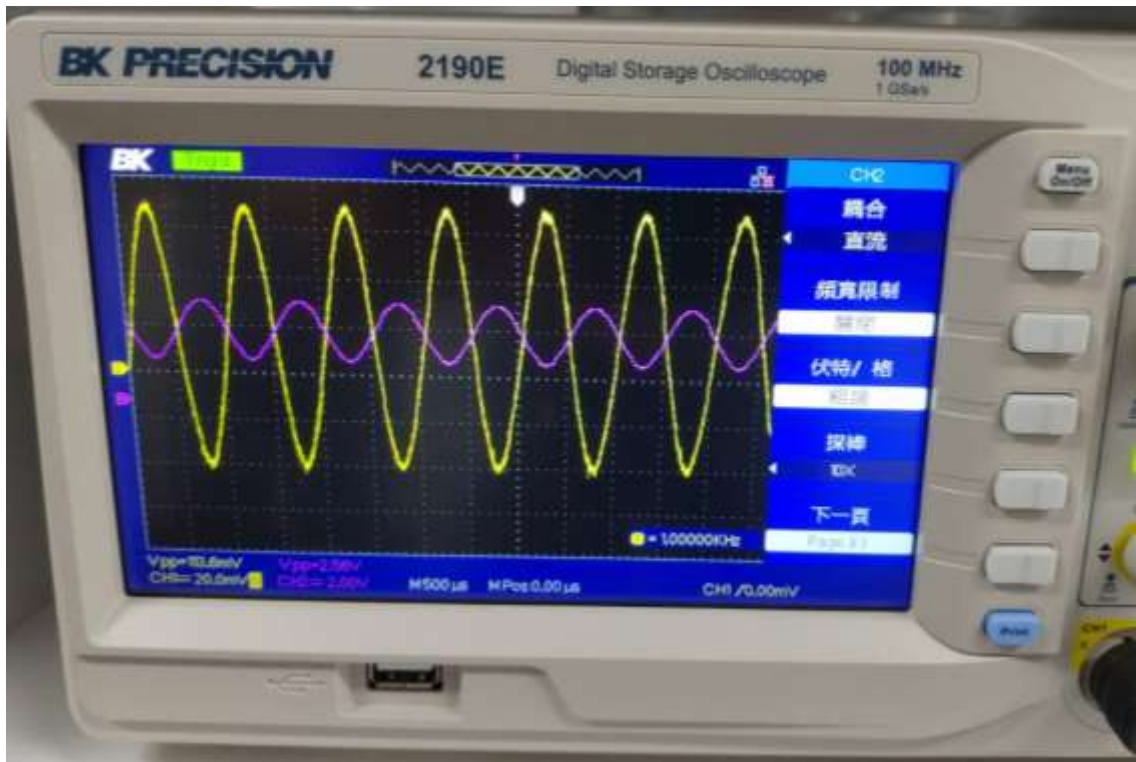
附錄: 作業 8-2 (參考用)

1. 電路實現



2. 電路量測





$$A_v = 2.56 / 113.6\text{mV} = 22.5$$