

電晶體共集極組態與直流工作點

National Taiwan Normal University

講師：洪榮裔

一、電晶體集極組態

Q：電晶體的集極組態有啥用？

A：可運用在阻抗匹配用途。

一、電晶體集極組態

如何判定電晶體的組態？

一、電晶體集極組態

● 電晶體組態的判定

某天教師A打算給自己的兩位學生——JOY與EASY來場課外教學，並且為這兩位學生準備了各自的教材供他們參考。然而到了課外教學的時候，MONEY竟然跟教師A臨時要求加入課外教學，因此沒有教材的MONEY只能跟JOY與EASY共用他們自己的教材。

一、電晶體集極組態

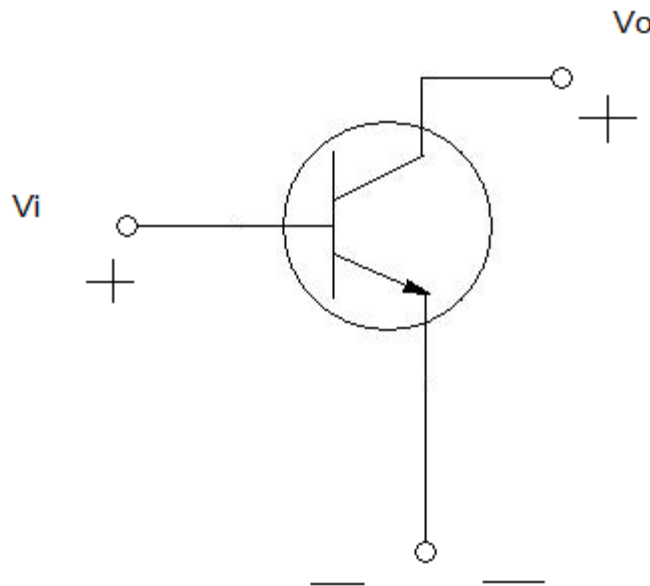
● 電晶體組態的判定

- 若把剛剛的事件人物與物品影射為.....
- 三位學生→電晶體的基極、射極與集極
- 兩個教材→電壓輸入端與電壓輸出端
- 共用教材的學生→共用的電極

一、電晶體集極組態

● 電晶體組態的判定-實例演練

- 底下的電晶體電路的組態是？

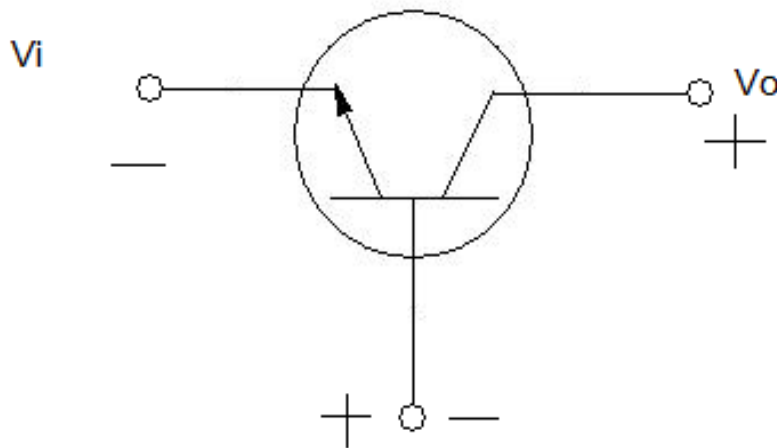


- ANS：共射極組態

一、電晶體集極組態

● 電晶體組態的判定-實例演練

- 底下的電晶體電路的組態是？

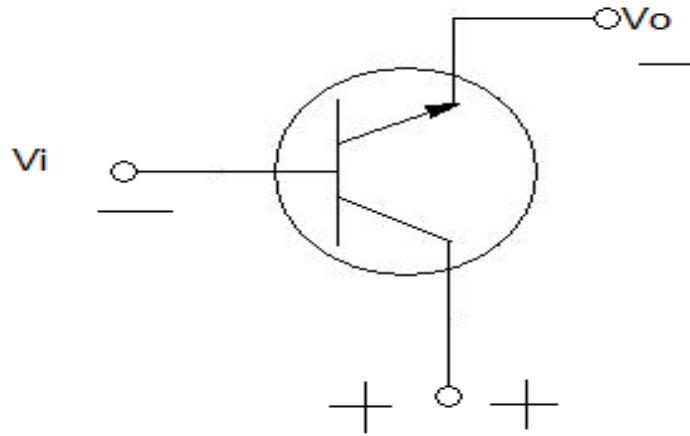


- ANS：共基極組態

一、電晶體集極組態

● 電晶體組態的判定-實例演練

- 底下的電晶體電路的組態是？



- ANS：共集極組態

一、電晶體集極組態

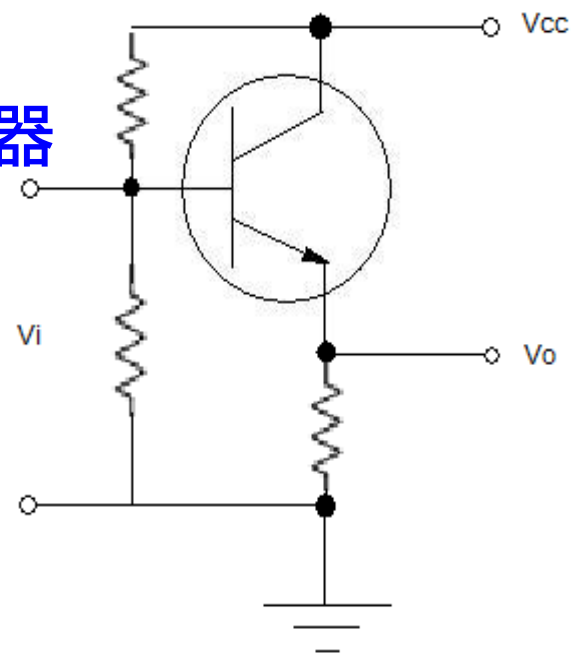
● 例題演練

下圖所示之電晶體放大器稱為

- (A)共集極放大器 (B)共射極放大器
(C)共基極放大器 (D)直流放大器

ANS:

輸入端為基極，輸出端為射極，
所以該電路為共集極放大器。



一、電晶體集極組態

● 基本的電流增益參數

- 目前為止所學到的電流增益參數.....
- $\alpha = I_c / I_E$ $\beta = I_c / I_B$
- 其參數之間的轉換為.....
- $\alpha = \beta / (1 + \beta)$ $\beta = \alpha / (1 - \alpha)$

一、電晶體集極組態

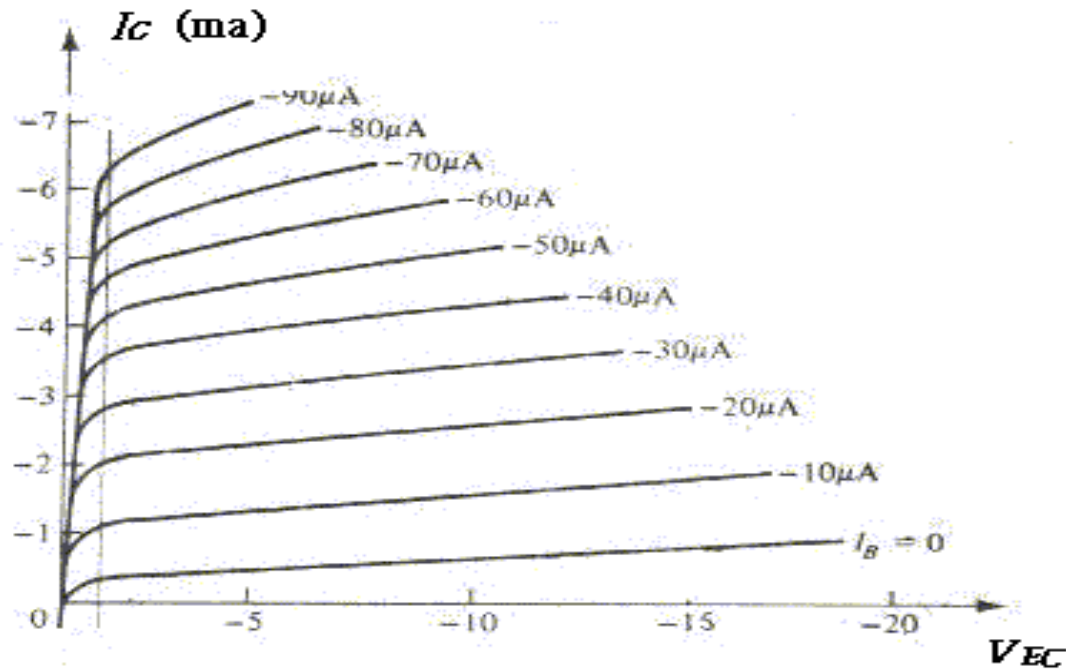
● 基本的電流增益參數

- 因為共集極組態而產生的新電流增益參數—— γ 。
- $\gamma = I_E/I_B$
- 與其他參數的轉換關係.....
- $\gamma = I_E/I_B = (I_B + I_C)/I_B = 1 + \beta$

一、電晶體集極組態

● 特性曲線

同共射極組態只不過把橫軸改為 V_{EC} 。



二、TINA軟體

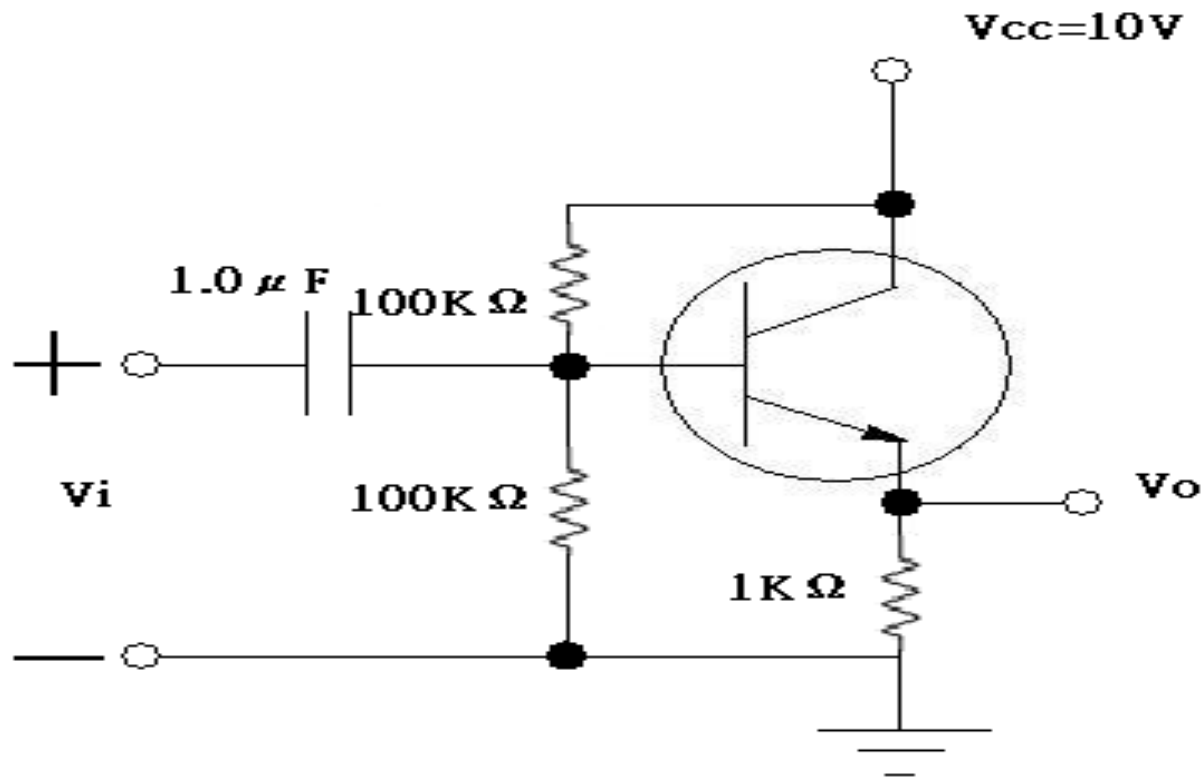
TINA PRO是一個強大的類比/數字電路設計、仿真和分析套裝軟件，具有20000個元件的模型庫、20個分析形式和10種虛擬儀器。

TINA中的數據可以輸出到任一個喜歡的PCB軟體中。

該軟體具有波德圖、Nyquist圖、數字波形和其它作圖能力。該軟體中的虛擬儀器是：示波器、函數發生器、多用表、信號分析/BODE圖儀，網路分析儀，頻譜分析儀、邏輯分析儀、數字信號發生器和X-Y記錄儀。

二、TINA軟體

這次的實作電路，請參考以下圖片。

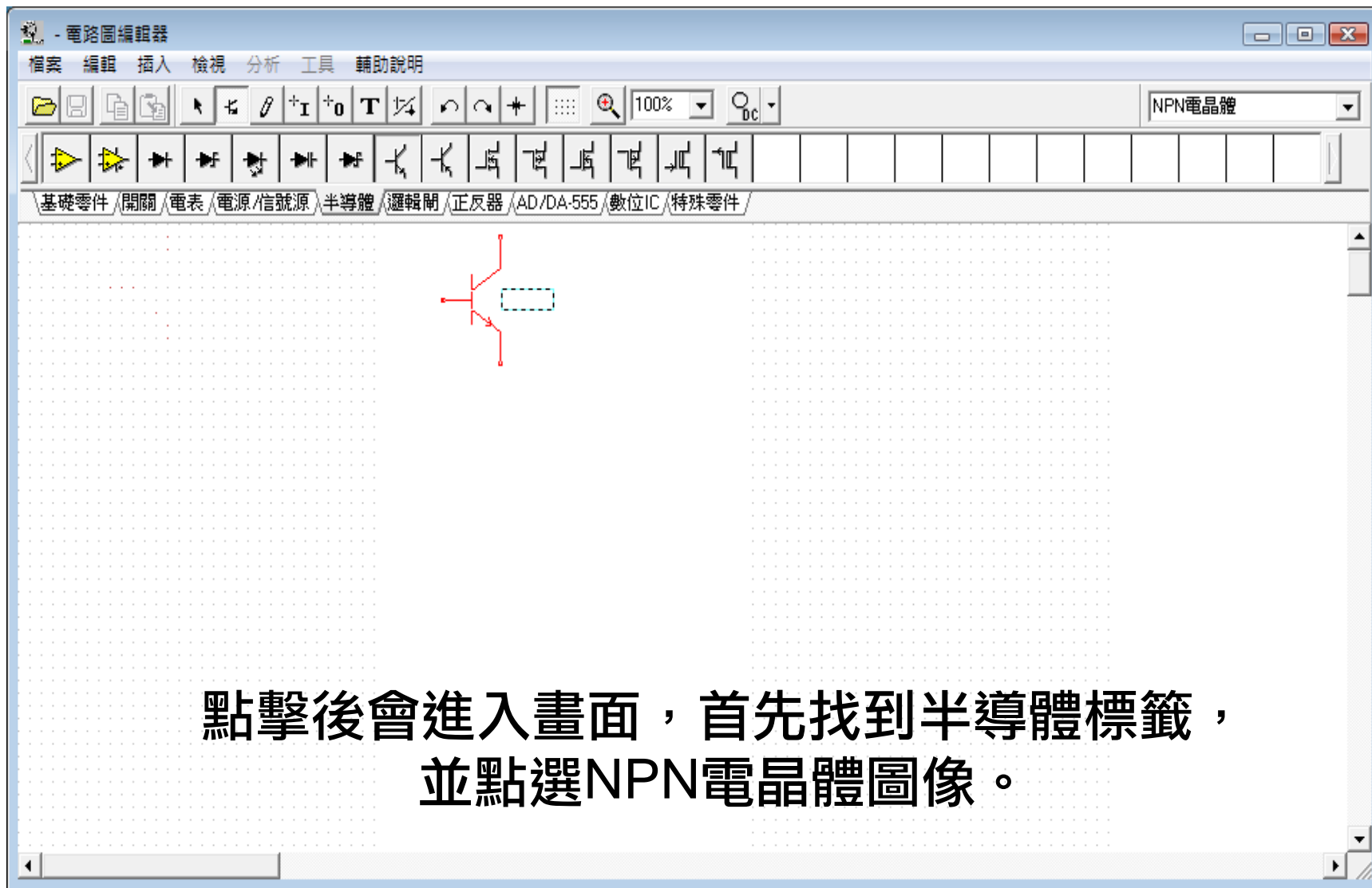


二、TINA軟體

在安裝路徑找到「Schematic Analyser」並開啟。

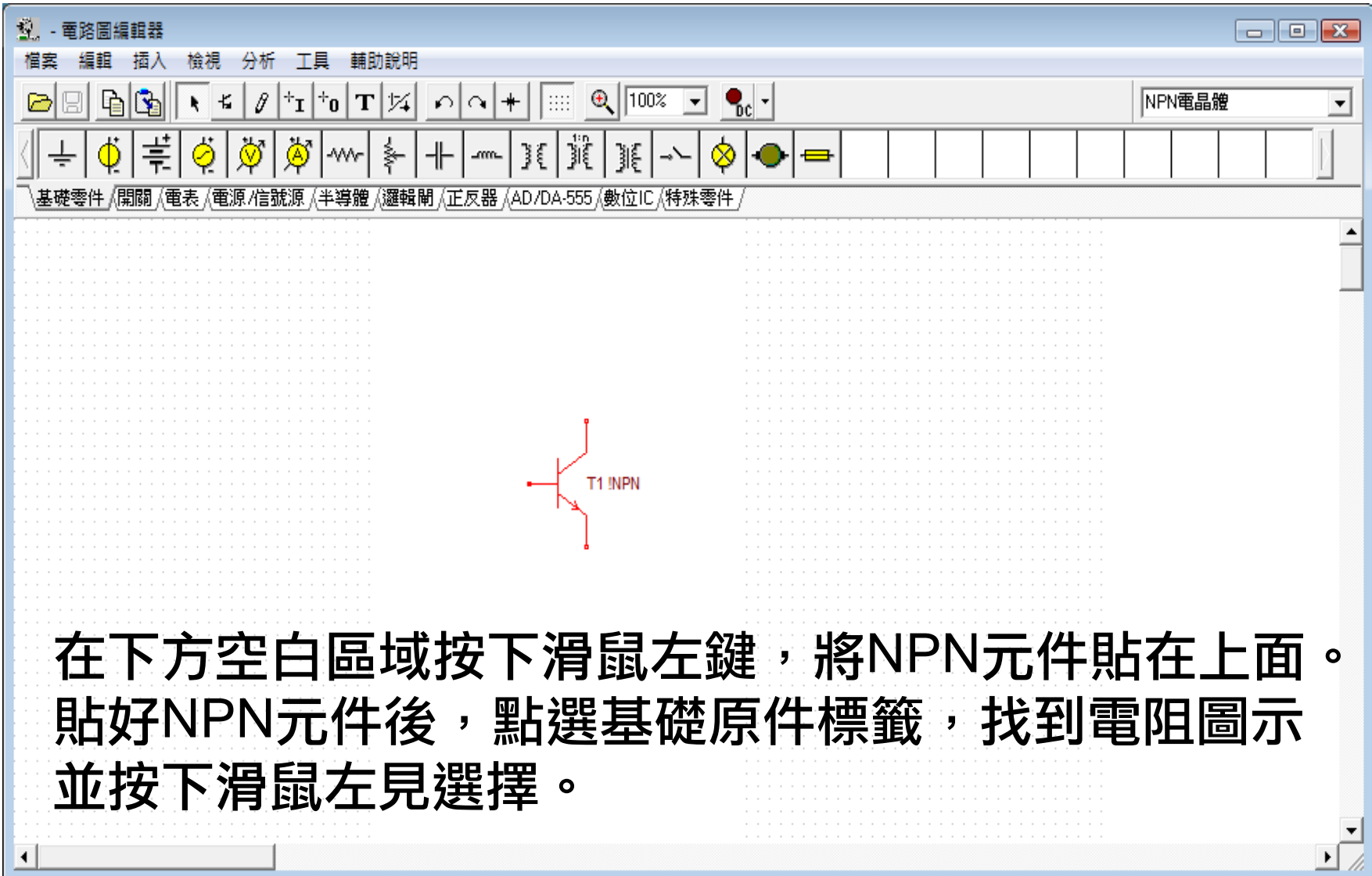


二、TINA軟體



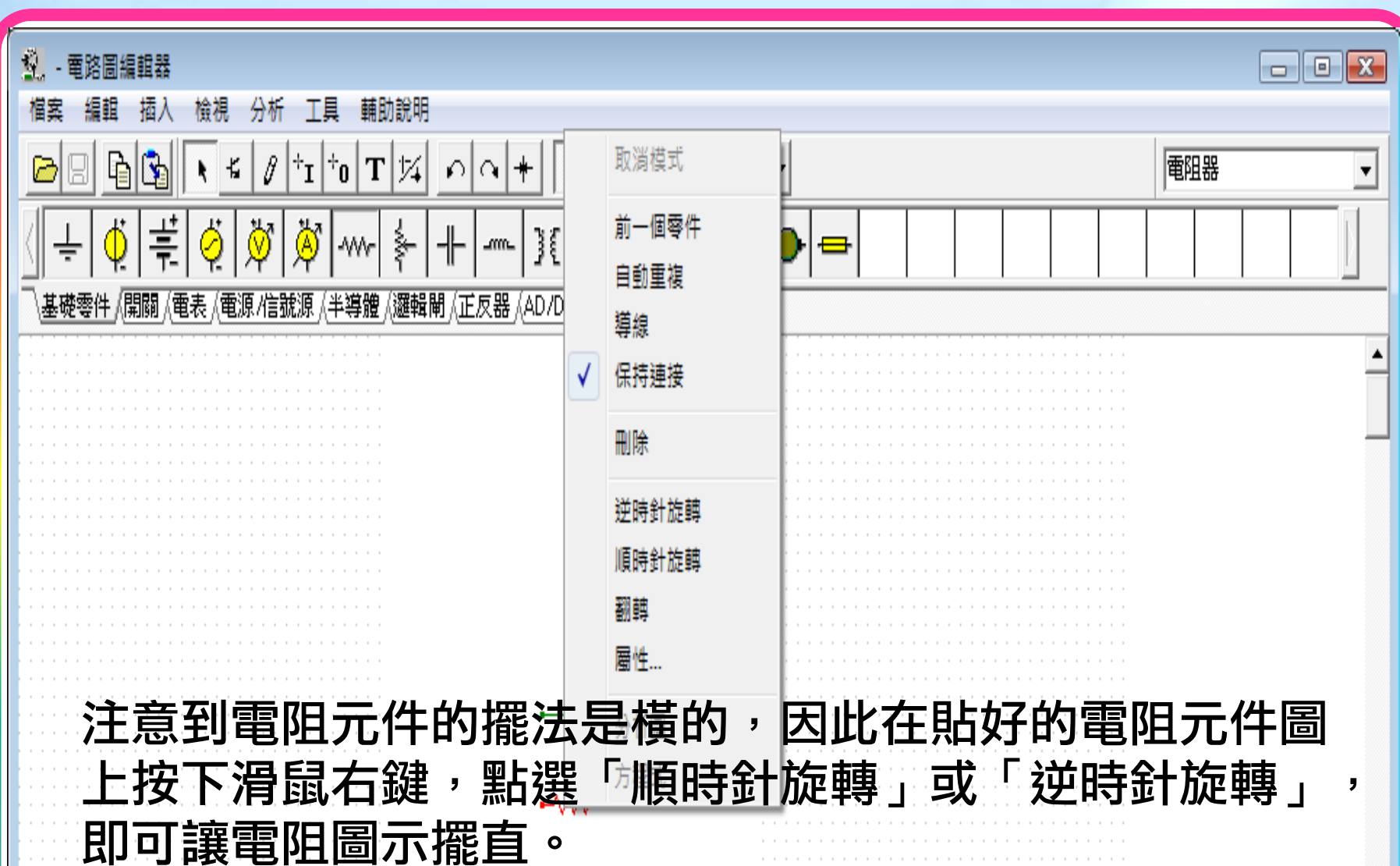
點擊後會進入畫面，首先找到半導體標籤，
並點選NPN電晶體圖像。

二、TINA軟體



在下方空白區域按下滑鼠左鍵，將NPN元件貼在上面。
貼好NPN元件後，點選基礎原件標籤，找到電阻圖示
並按下滑鼠左鍵選擇。

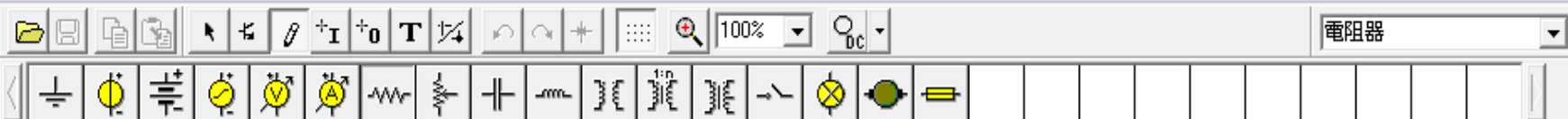
二、TINA軟體



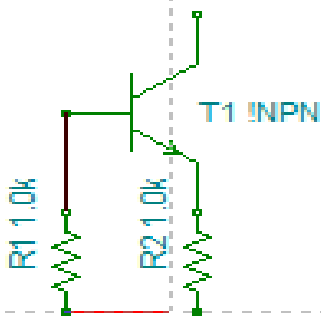
二、TINA軟體

- 電路圖編輯器

檔案 編輯 插入 檢視 分析 工具 輔助說明

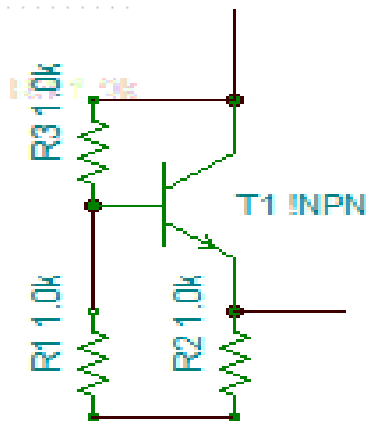


基礎零件 / 開關 / 電表 / 電源 / 信號源 / 半導體 / 邏輯閘 / 正反器 / AD/DA-555 / 數位IC / 特殊零件

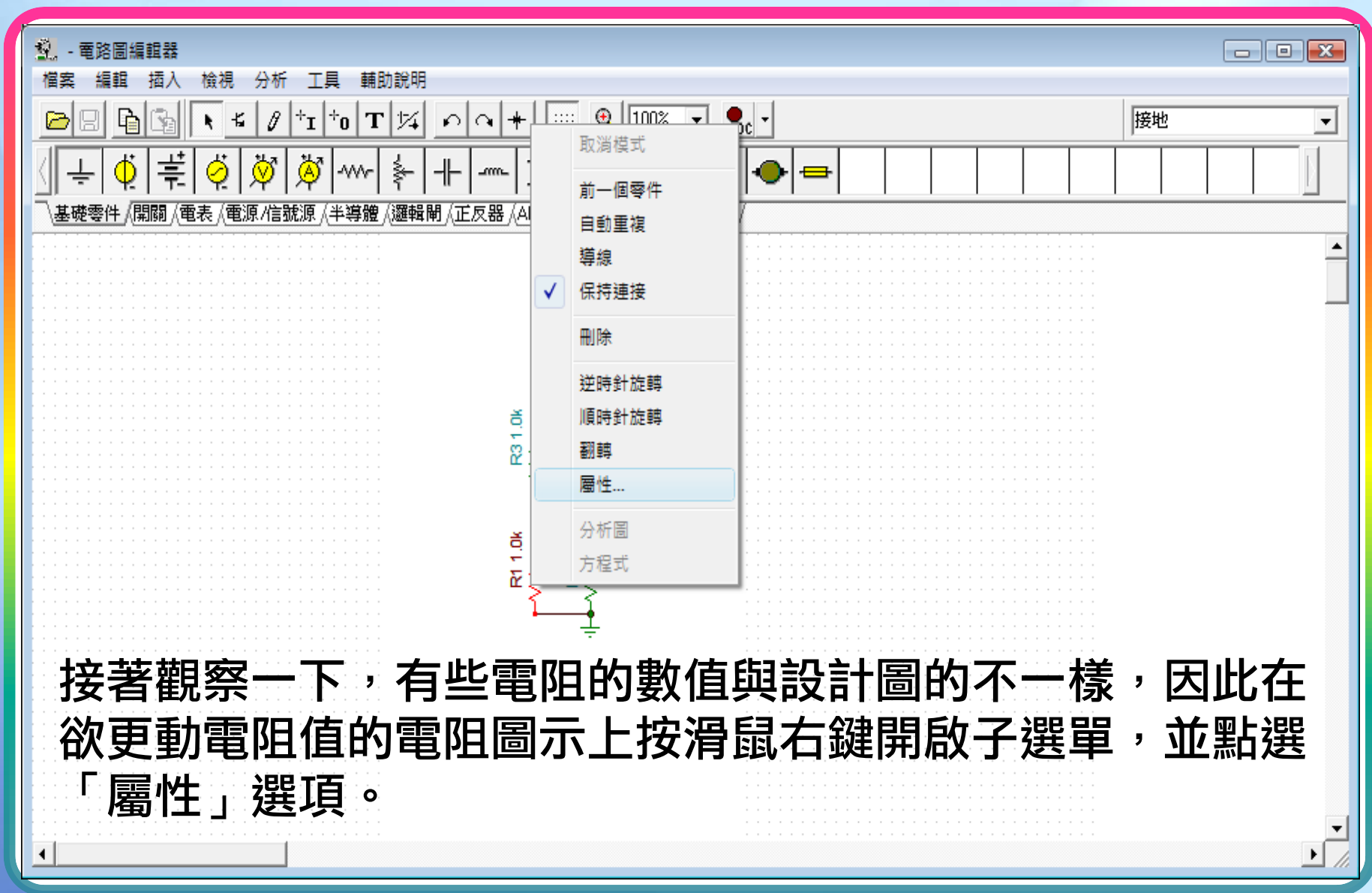


要是元件之間無法直接相連，只要藉由滑鼠，在一個元件接點上按下滑鼠左鍵不放，拖曳到欲接上的接點才放開，這樣接點之間就會產生連接線。

把電阻元件照下圖接好後，點選基礎元件標籤，選擇接地符號，把接地線置入下方電路圖中。

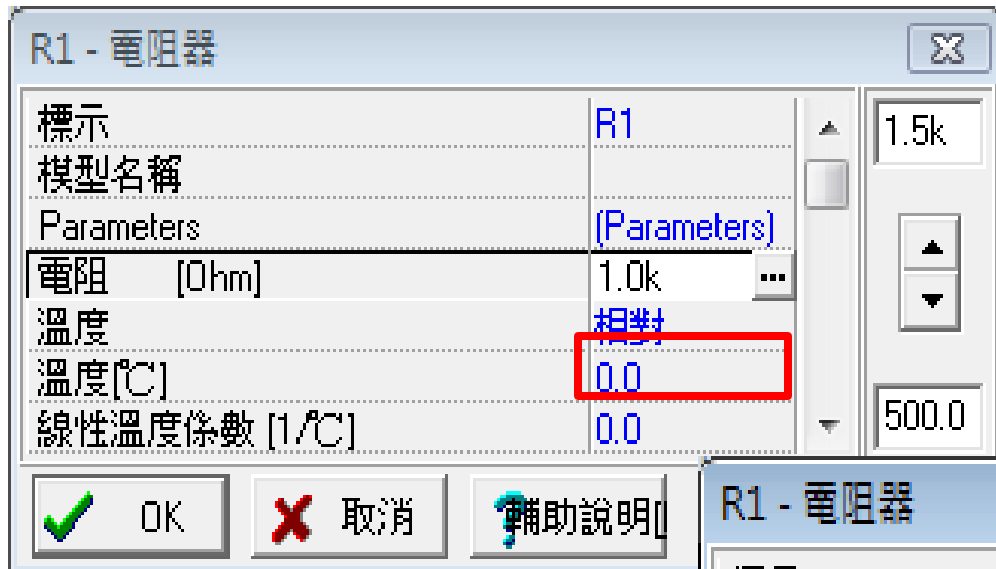


二、TINA軟體



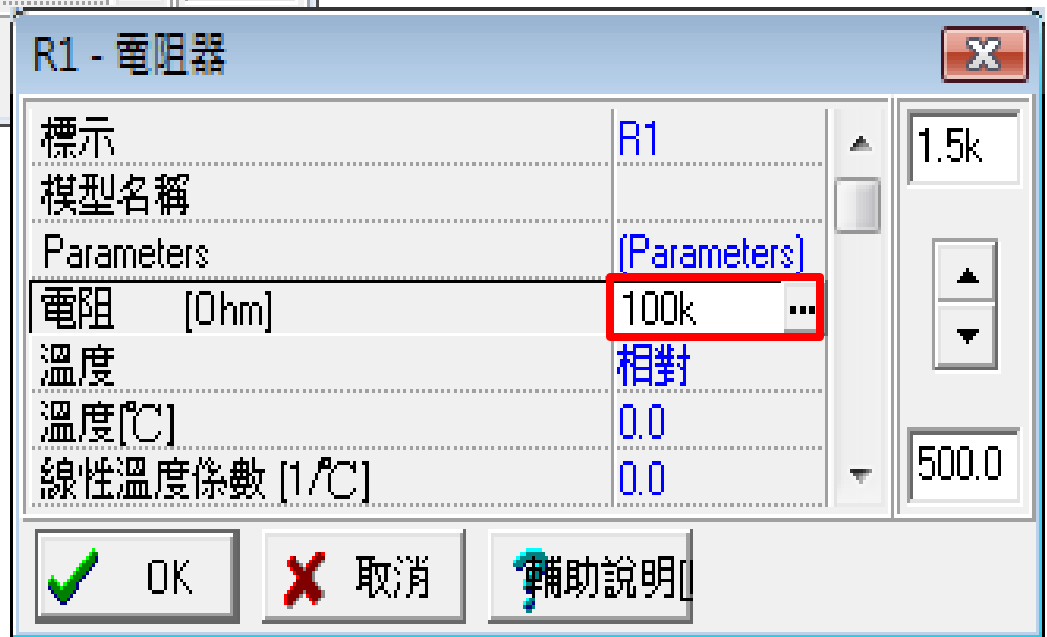
接著觀察一下，有些電阻的數值與設計圖的不一樣，因此在欲更動電阻值的電阻圖示上按滑鼠右鍵開啟子選單，並點選「屬性」選項。

二、TINA軟體

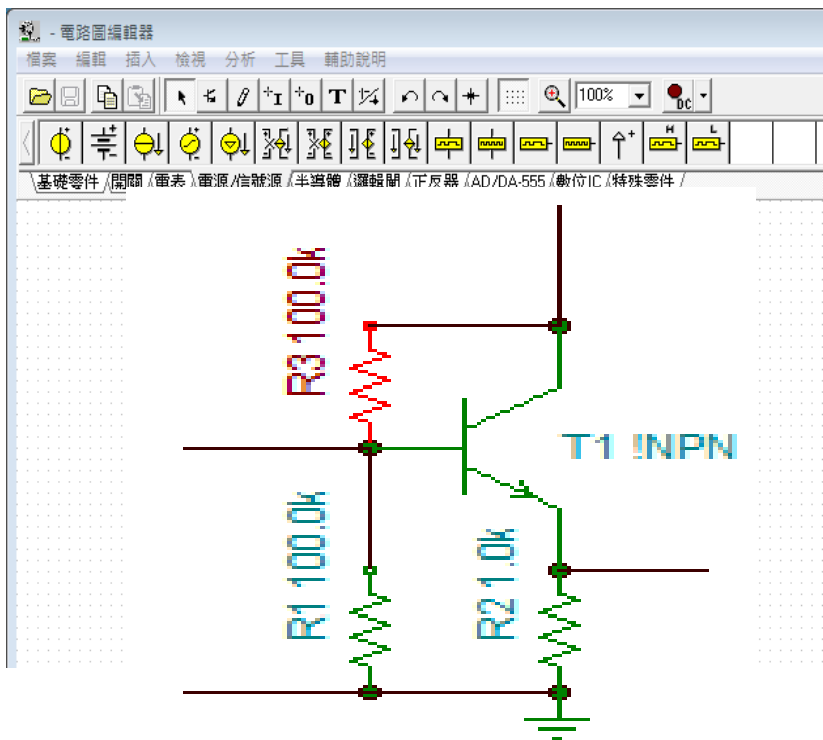


開啟電阻屬性視窗後，
找到電阻欄位。

找到電阻欄位之後，
把裡面的數值改為
正確的數值(100K)。

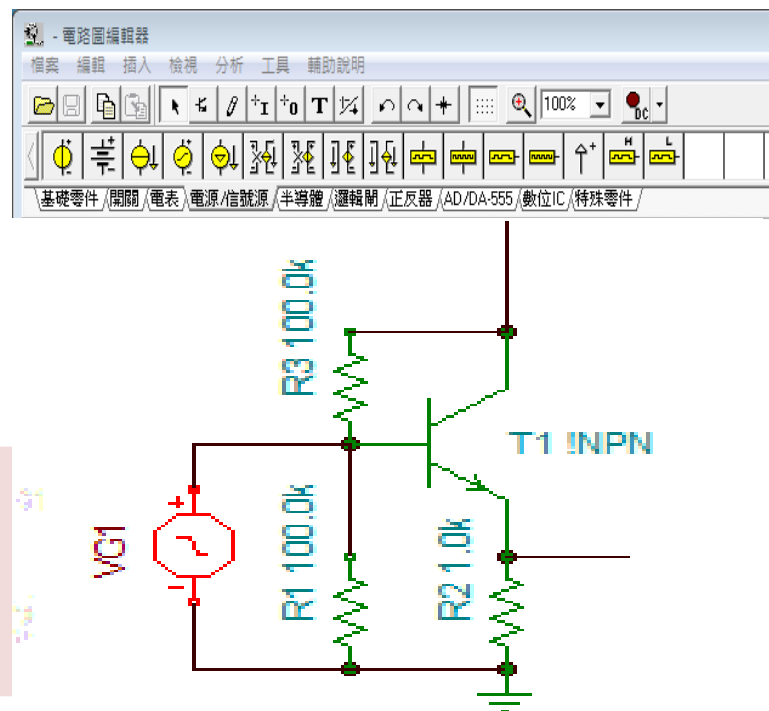


二、TINA軟體



補好接線後，先找到「電源/訊號源」標籤，點選「電壓產生器」圖示，並將之貼到如下圖的位置。

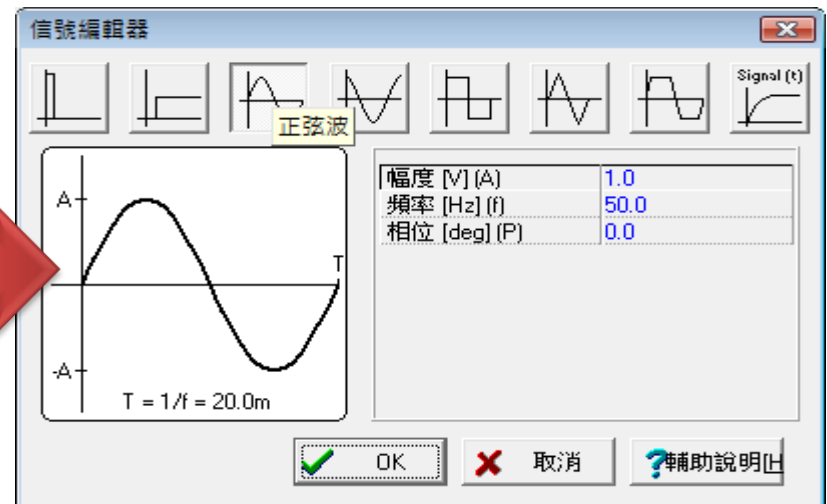
接著按下OK按鈕，即可看到畫面上的電阻數值改變了，接著再把提供電源以及訊號源的接線給補上去(如左圖)。



二、TINA軟體



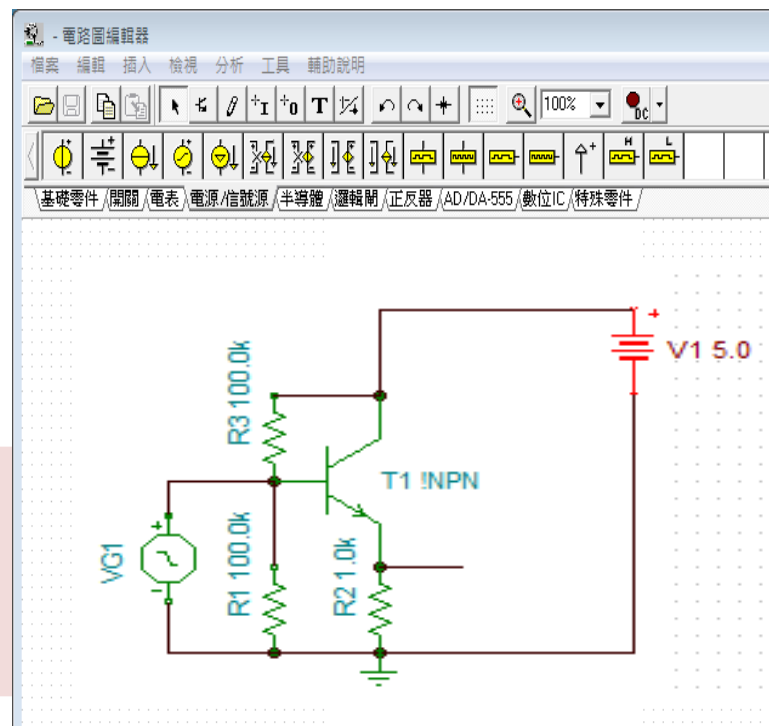
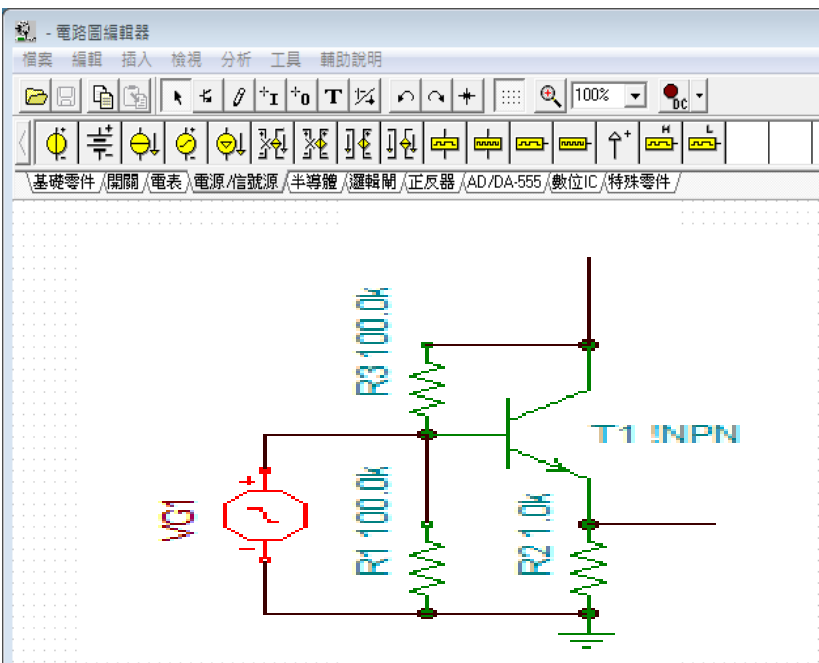
接著調整電壓源的內容，在圖示上方按下滑鼠右鍵開啟子選單後，點擊「屬性」選項進入屬性視窗。找到屬性視窗內的「信號」欄位，點選右方的「...」按鈕。接著進入訊號編輯器畫面，找到上方的正弦波圖示並點擊滑鼠左鍵，讓波形改為正弦波後，按下「OK」鍵，完成訊號源的設定。



二、TINA軟體

接著裝上Vcc直流偏壓，在「電源/信號源」標籤下，找到「電池」圖示並點選。

將電池貼在電路圖上，並把接線照以下的圖示連接起來。



二、TINA軟體

V1 - 電池

標示	V1	7.5
模型名稱		
Parameters	(Parameters)	
電壓 [V]	5.0	
內阻 [Ohm]	0.0	
輸出入狀態	無	
錯誤	無	2.5

OK 取消 輔助說明

由於電池的電壓與設計圖不符，在電池圖示上方點擊滑鼠右鍵開啟子選單後，點選「屬性」選項進入屬性視窗。

找到「電壓」欄位，將欄位內的值改為設計圖上的值(10)。

V1 - 電池

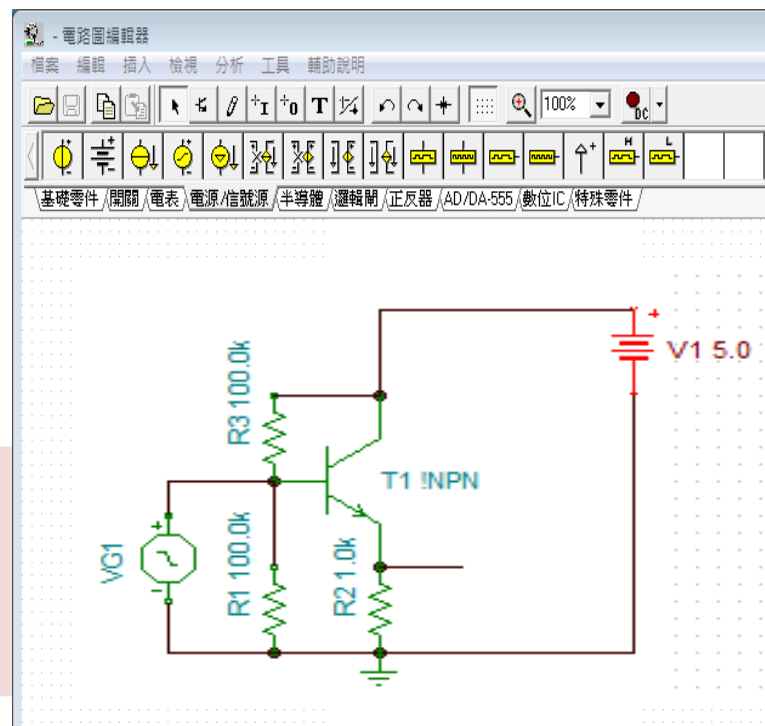
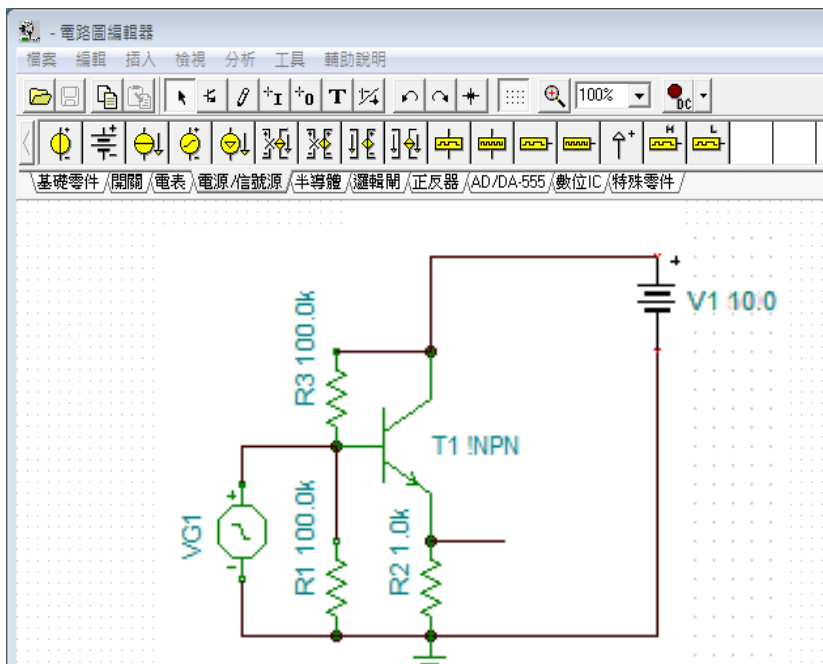
標示	V1	7.5
模型名稱		
Parameters	(Parameters)	
電壓 [V]	10	
內阻 [Ohm]	0.0	
輸出入狀態	無	
錯誤	無	2.5

OK 取消 輔助說明

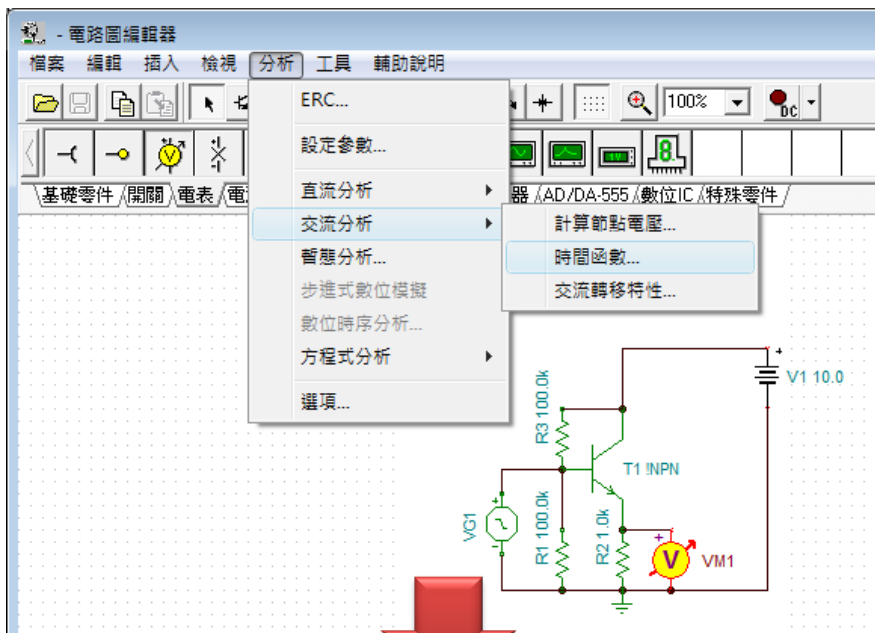
二、TINA軟體

電壓表的部分，在「電表」標籤找到「電壓表」圖示並選取。

將電池貼在電路圖上，並把接線照以下的圖示連接起來。



二、TINA軟體

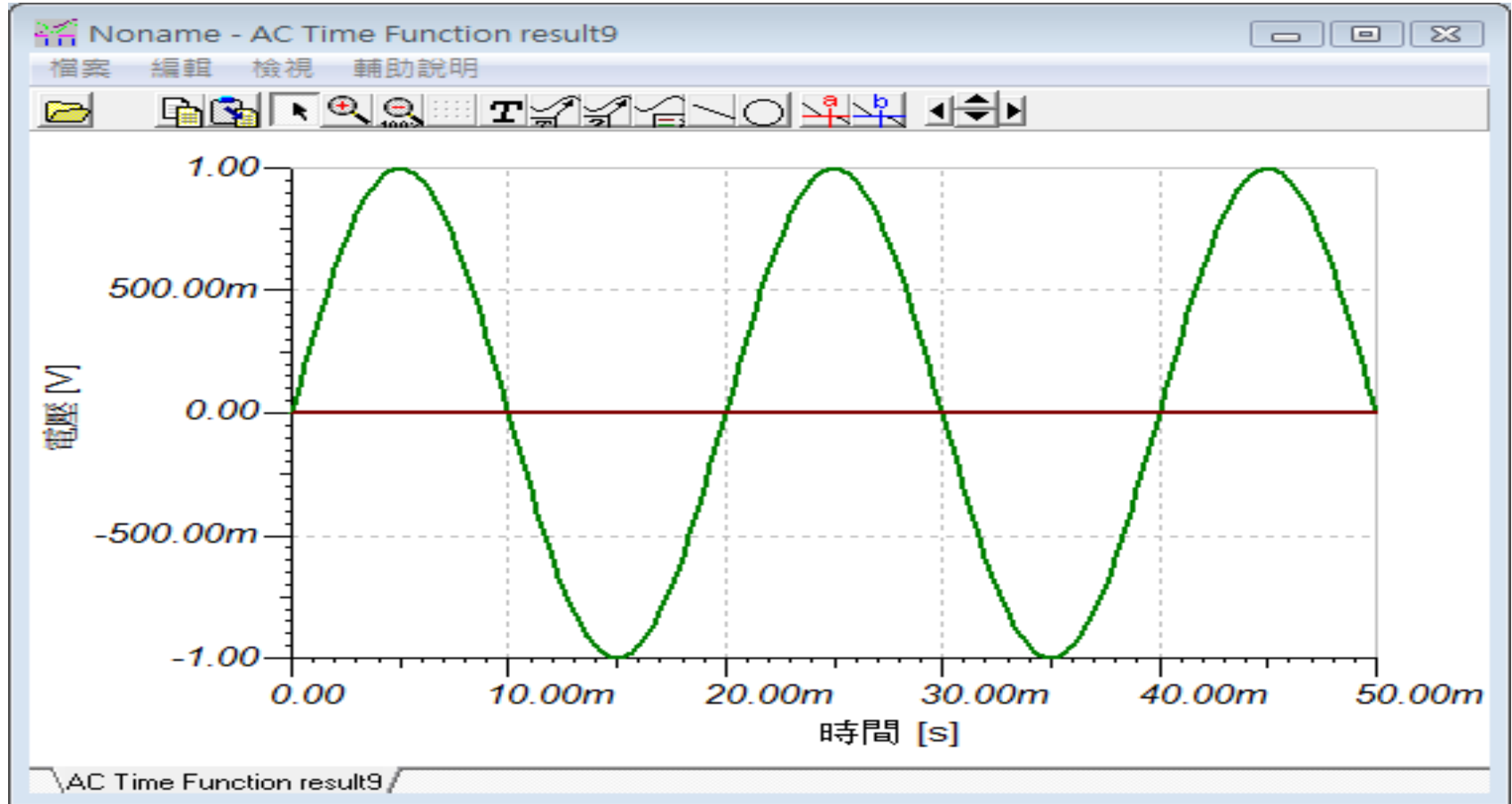


接下來就可以進行分析，在最上方的工具列找到，依「分析」→「交流分析」→「時間函數」的順序，開啟分析視窗。在開啟分析視窗後，確認左下角的「繪製激勵訊號」欄位有打勾，之後找到中間的「終止時間」欄位。

由於之前電壓源的訊號周期設定是20ms，若要觀察到較完整的輸出入狀態，則需要將觀察時間延長，因而在此將「終止時間」欄位數值改為50m。



二、TINA軟體



之後按下OK，就可以看到電壓源訊號與電壓表數值的圖形，其中綠色是輸入波形、紅色是輸出波形。

二、TINA軟體

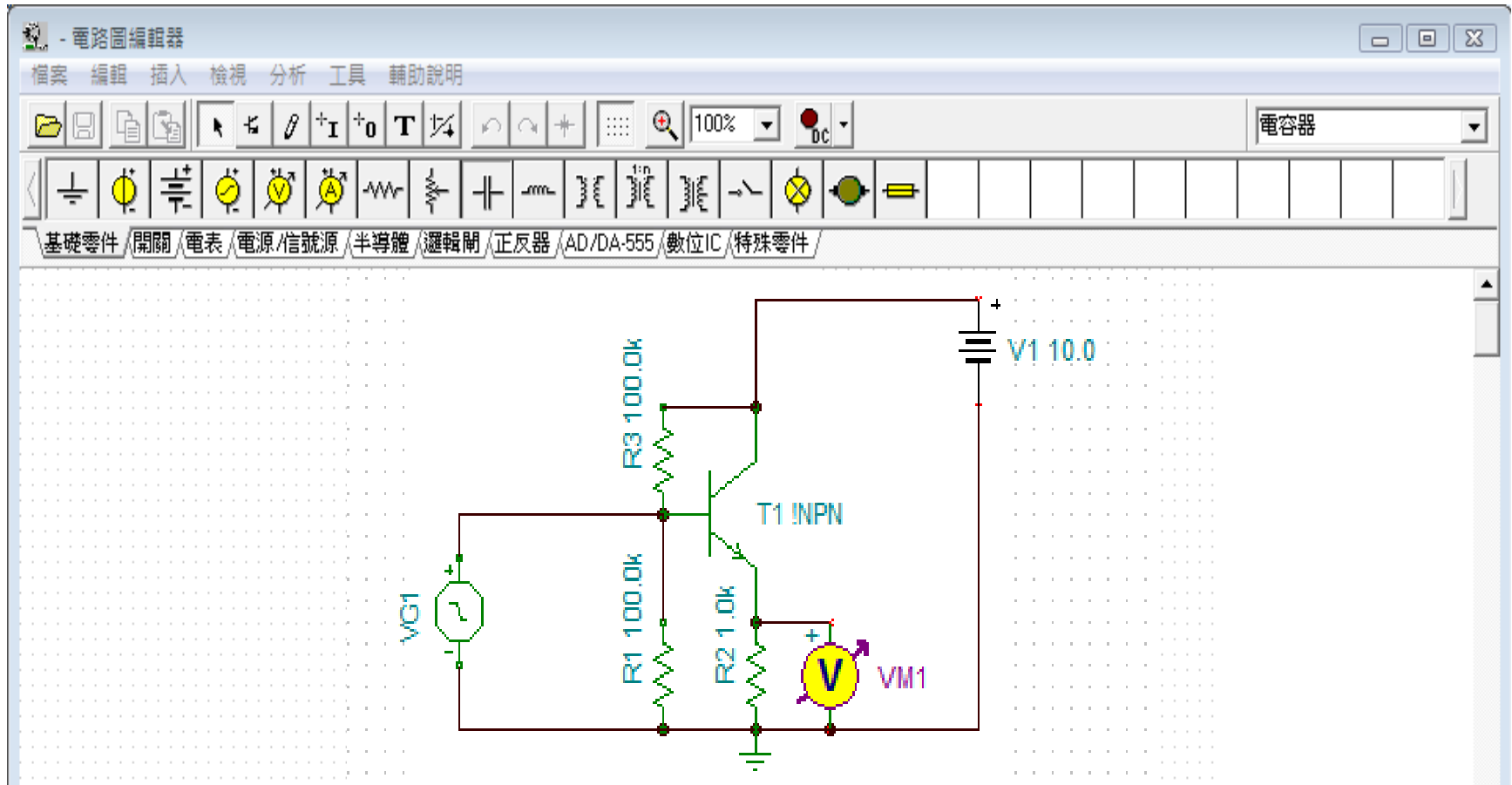
Q：然而上述的波形圖，與我們理解的共集極組態的放大器特性相悖。
WHY?

二、TINA軟體

A：這是因為輸入訊號的頻率太高，輸出端來不及響應的原因所致。

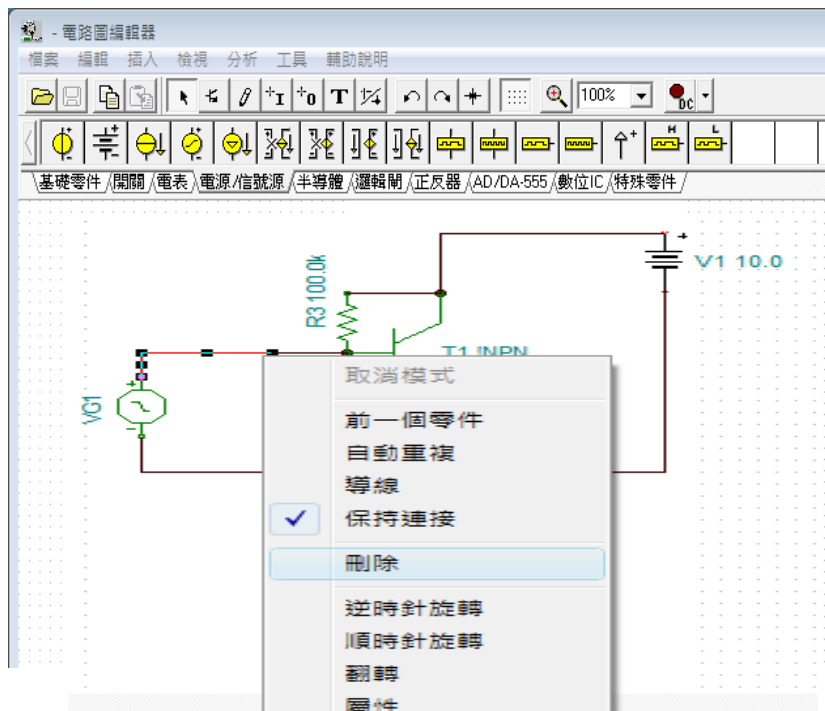
解決辦法：需加上一加速電容器，提升放大器響應速度。

二、TINA軟體



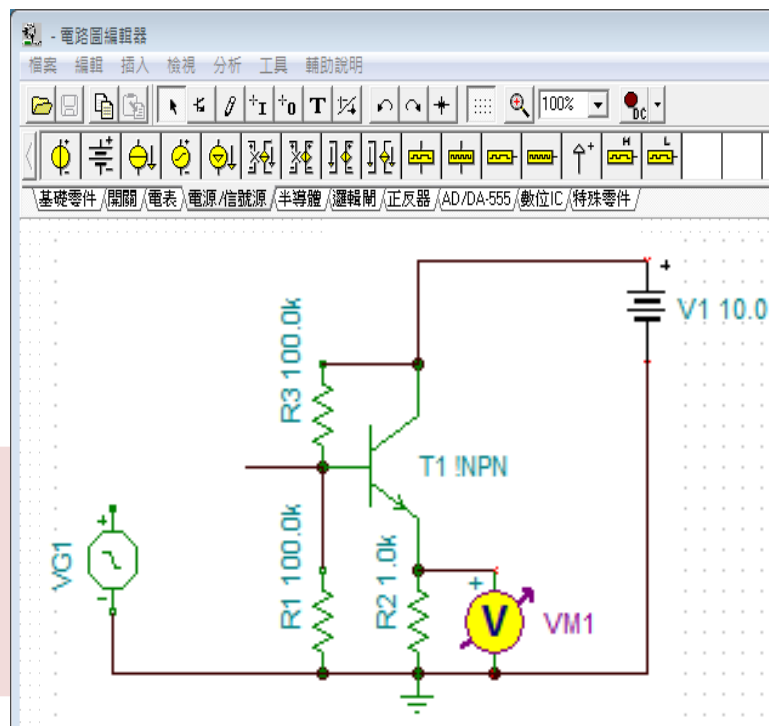
那麼現在開始加上加速電容，首先將用滑鼠左鍵按住「電壓源」圖示不放，將之往左邊拖曳。

二、TINA軟體

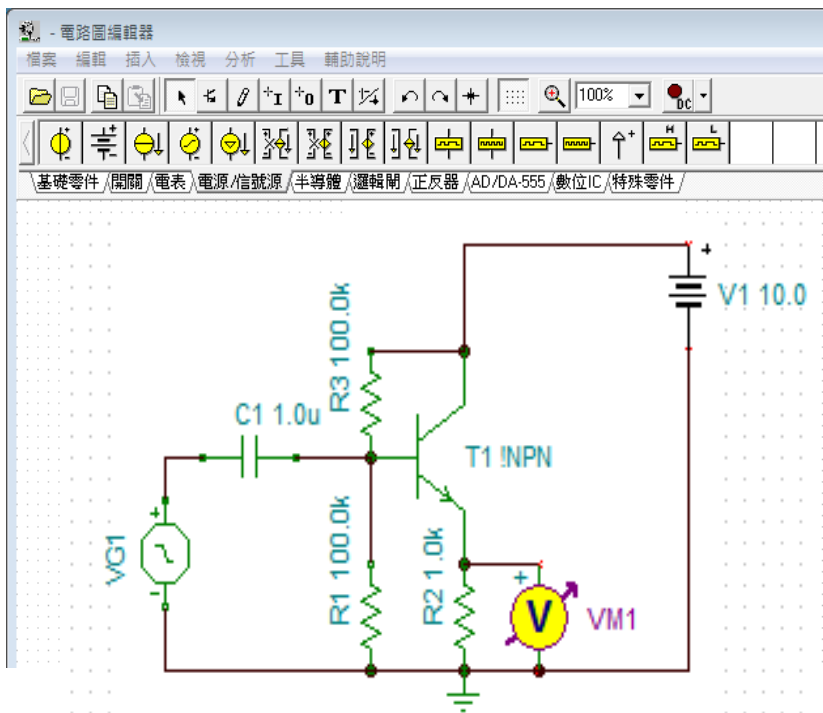


在上端的接線上按下滑鼠右鍵，開啟子選單後，選擇「刪除」選項。

接著在「基礎零件」標籤下，找到「電容」圖示。



二、TINA軟體

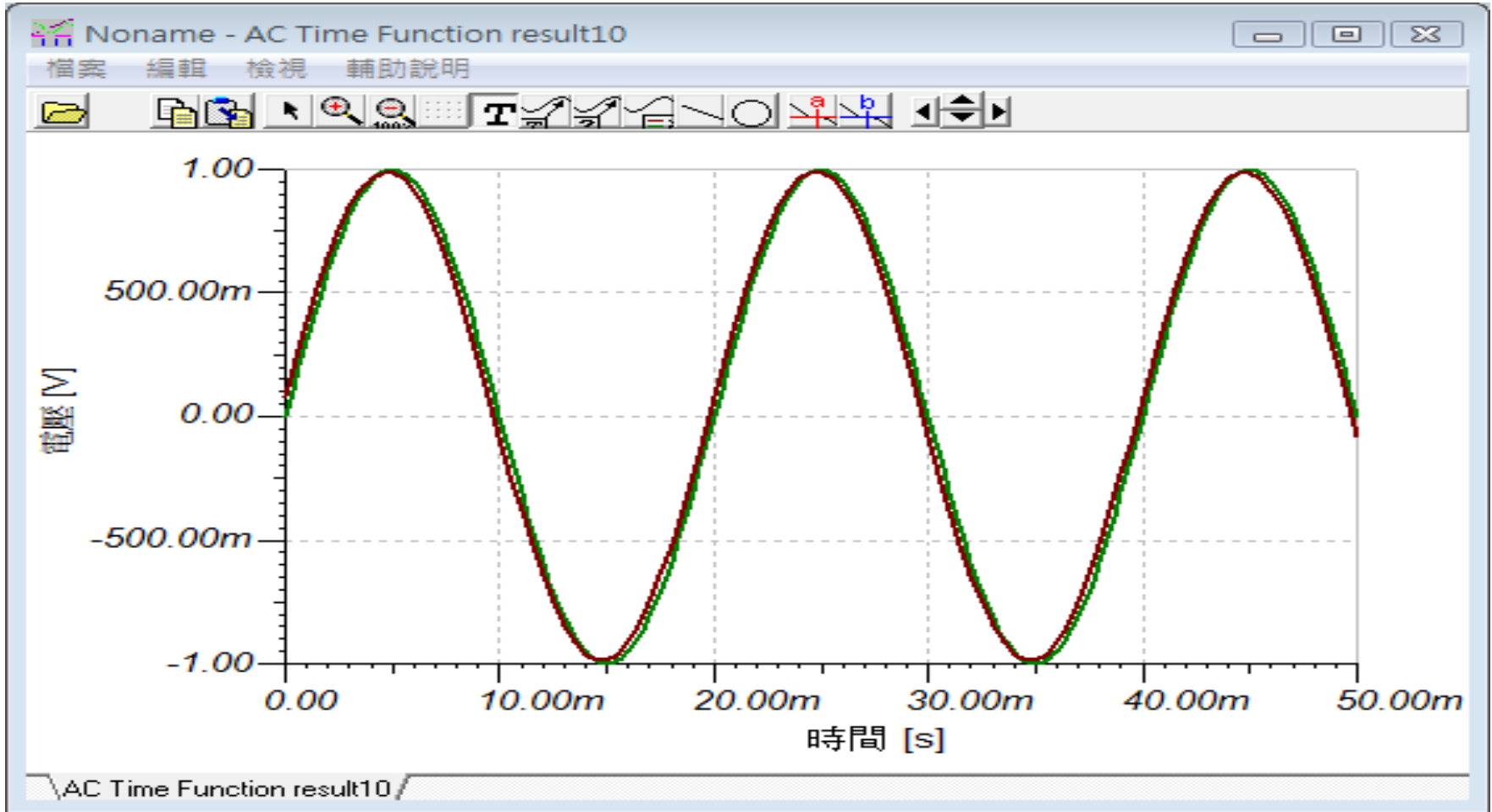


將「電容」圖示拖到下方電路圖上後，依照如左圖的方式將接線接上去。

接著再按照上方工具列的「分析」→「交流分析」→「時間函數」的順序，開啟分析視窗，確認設定如下圖無誤後並按下「OK」鍵。



二、TINA軟體



接著就可看到正確的輸出、輸入波形圖了！

三、電晶體直流工作點

- 電晶體直流工作點？
- 直流負載線的繪製
- 電晶體放大器訊號的失真
- 溫度對電晶體的影響

三、電晶體直流工作點

Q:電晶體電晶體直流工作點位置有啥用?

A:使電晶體能夠工作在線性區內，以得到不失真的輸出訊號。

三、電晶體直流工作點

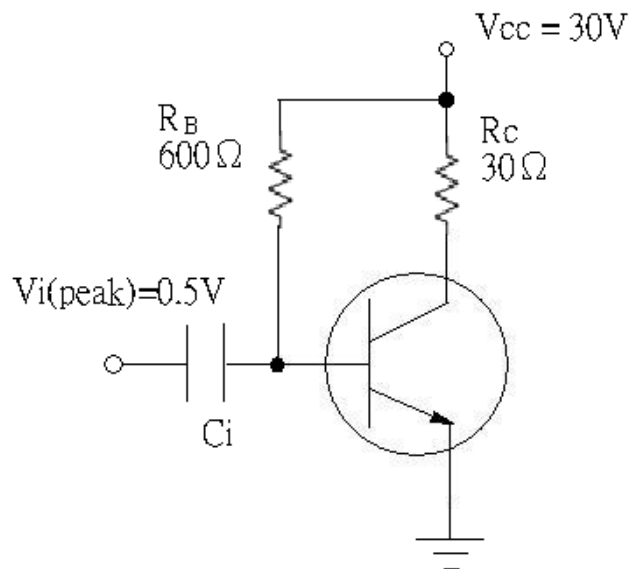
● 直流負載線的繪製

- 該注意的大前提.....
- 根據之前所教的，當一個電晶體在作為放大電路使用時，需要工作在線性區內才行。
- 工作在線性區→ V_{CE} 不為0V、 I_C 不為0A。

三、電晶體直流工作點

● 直流負載線的繪製

- 設有以下電路.....



- 問題：VCC與 I_C 、 V_{CE} 的關係為？

三、電晶體直流工作點

● 直流負載線的繪製

- 考慮一下 V_{CC} 直流偏壓的方程式，由圖中可以知道.....

- $V_{CC} = I_C R_C + V_{CE}$

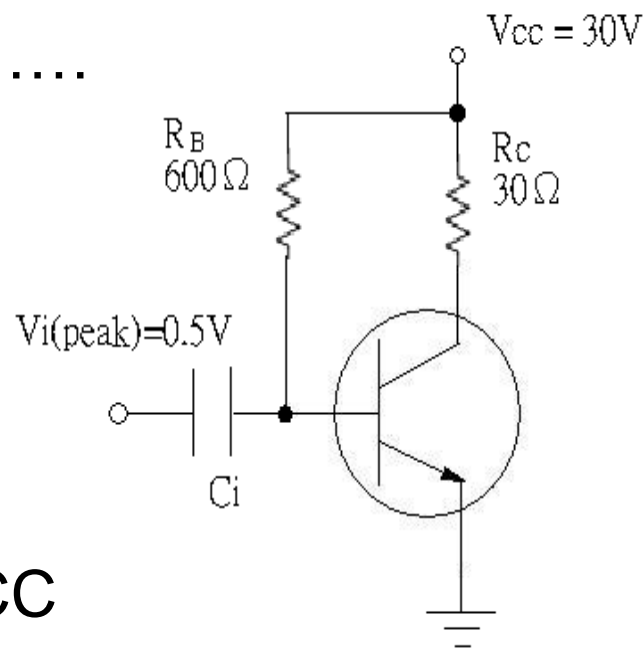
- 試想：

I_C 為0A時 V_{CE} 為何？

V_{CE} 為0V時 I_C 為何？

ANS： I_C 為0A時， $V_{CE} = V_{CC}$

V_{CE} 為0V時， $I_C = V_{CC}/R_C$

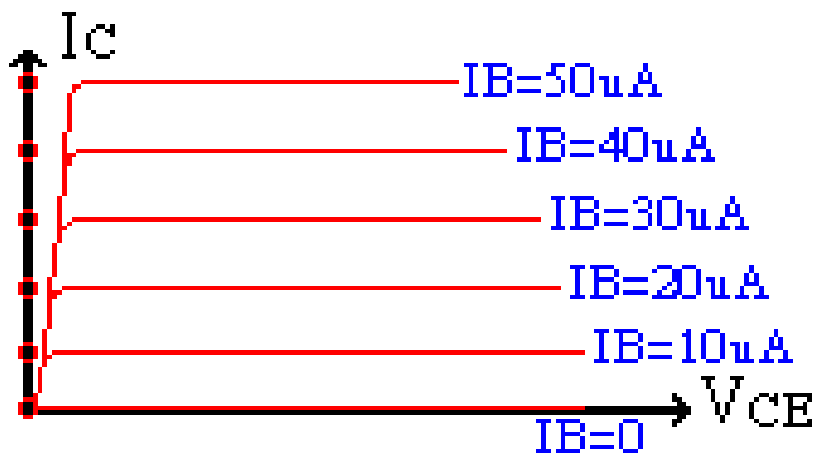


三、電晶體直流工作點

● 直流負載線的繪製

- 現已知 I_C 為0A時， $V_{CE} = V_{CC}=30V$ ；
 V_{CE} 為0V時， $I_C = V_{CC}/R_C=1A$

- 給予以下的圖：

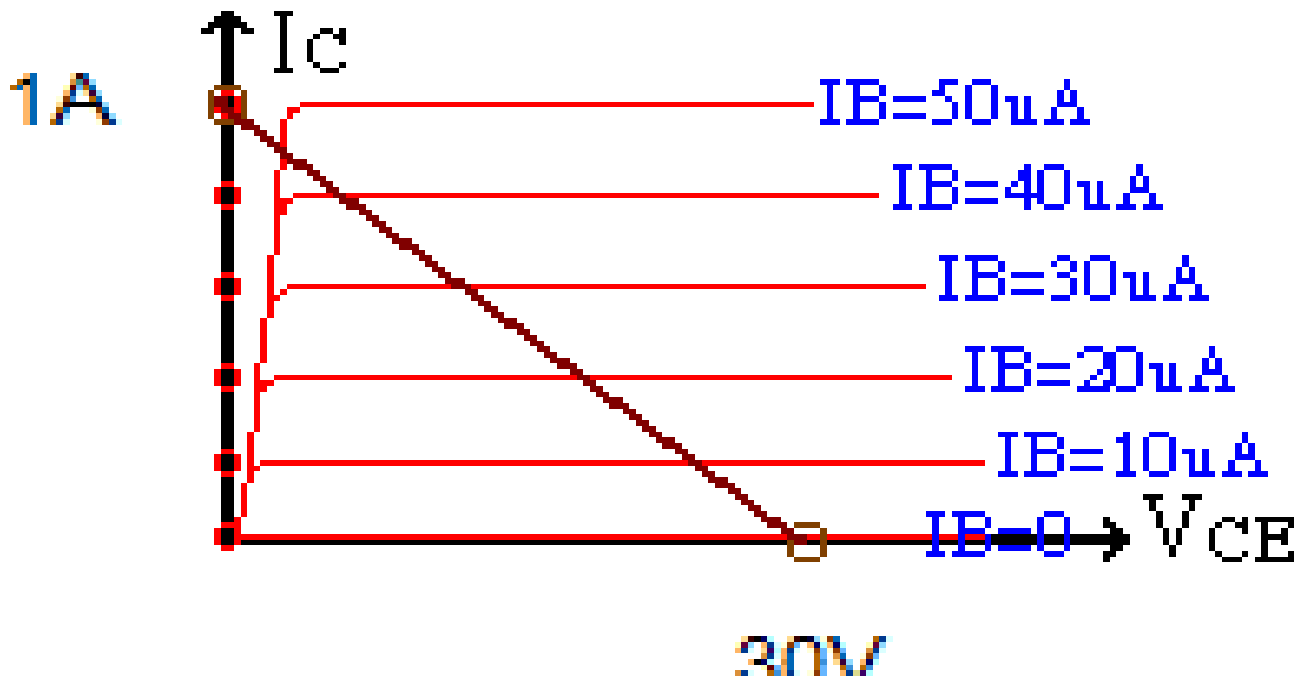


- 於縱軸找到1A的點、於橫軸找到30V的點
將其標註後並連線起來

三、電晶體直流工作點

● 直流負載線的繪製

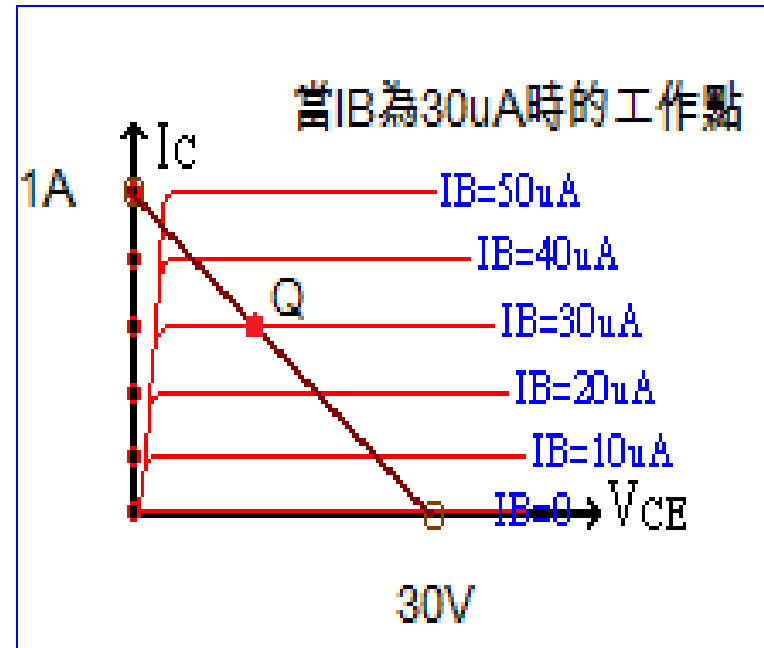
把兩點連在一起後，便畫出直流負載線了！



三、電晶體直流工作點

● 電晶體放大器訊號的失真-工作點

- 何為工作點？
- ANS：工作點就直觀來講，就是直流負載線與電晶體在特定 I_B 值下的特性曲線所交之交點(如下圖)

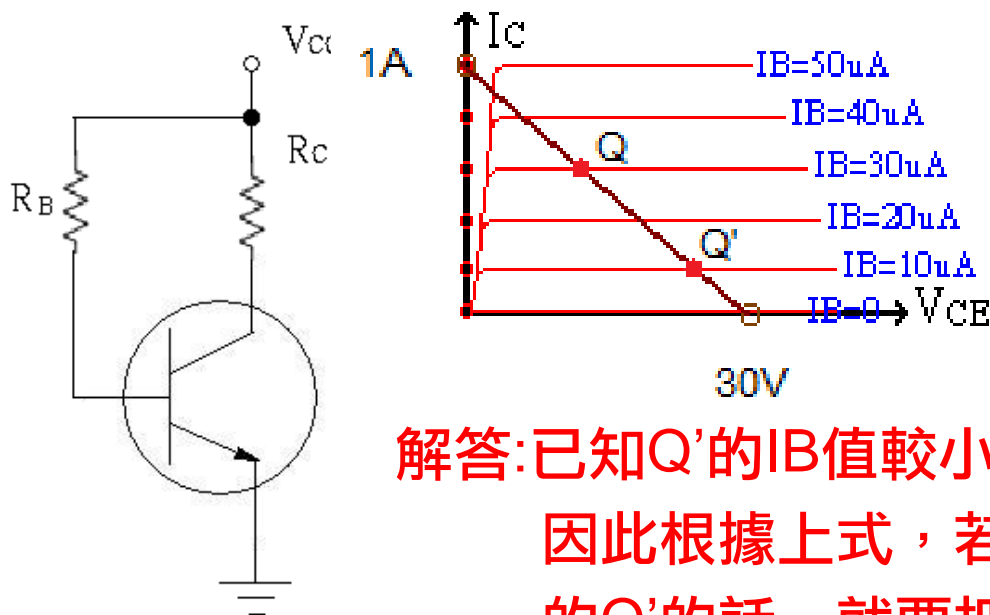


三、電晶體直流工作點

● 例題演練

如下圖所示電路，為一偏壓電路與其直流輸出附載線，若原工作點在Q位置，欲修正工作點至Q'位置，則應
(A)減少 R_B (B)增加 R_B (C)減少 R_C (D)增加 R_C

【94統測】

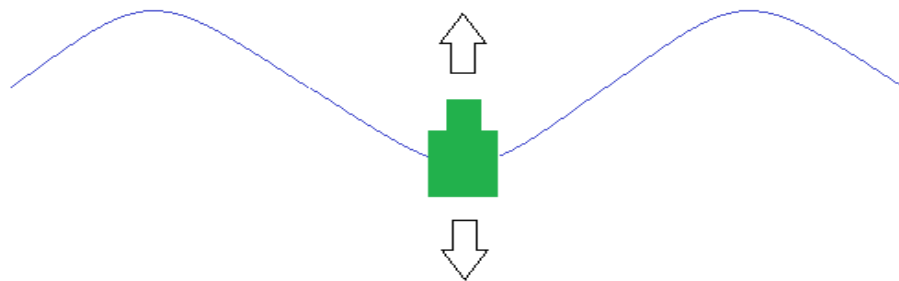


解答:已知Q'的 I_B 值較小，且： $I_B = (V_{CC} - V_{BE}) / R_B$
因此根據上式，若要讓工作點Q移到 I_B 值較小的Q'的話，就要把 R_B 值調大，故選(B)

三、電晶體直流工作點

那，知道工作點，對電晶體放大器訊號的失真問題有什麼幫助嗎？

假設你手上有個寶特瓶，在不放任何東西的狀況下，把它丟到海面的話會怎樣呢？若你丟的位置其海水深度有30公分的話，則該寶特瓶可以隨著海浪一起載浮載沉，其上下擺動的幅度與襲來的海浪幾乎同步(如下圖)。



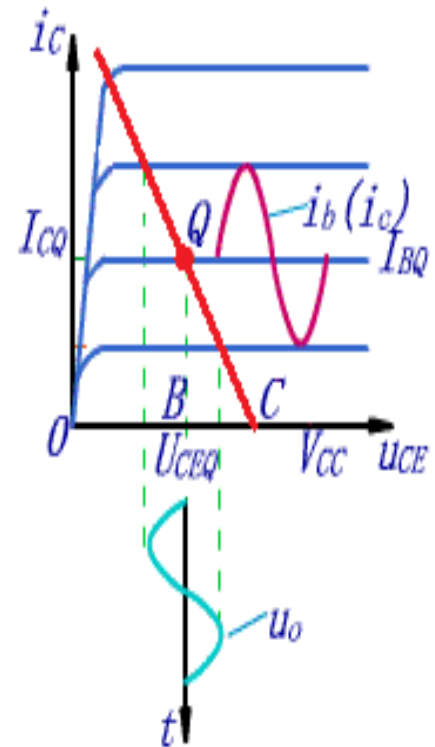
三、電晶體直流工作點

假設在保特瓶內加入沙子，則結果會如何呢？如果加的量不多的話，或許該寶特瓶還可以繼續跟著海浪一起上下漂浮，但當寶特瓶重到一定程度的話……則搞不好在隨海浪漂浮的過程中，會直接撞到海床也說不定喔！

三、電晶體直流工作點

● 電晶體放大器訊號的失真

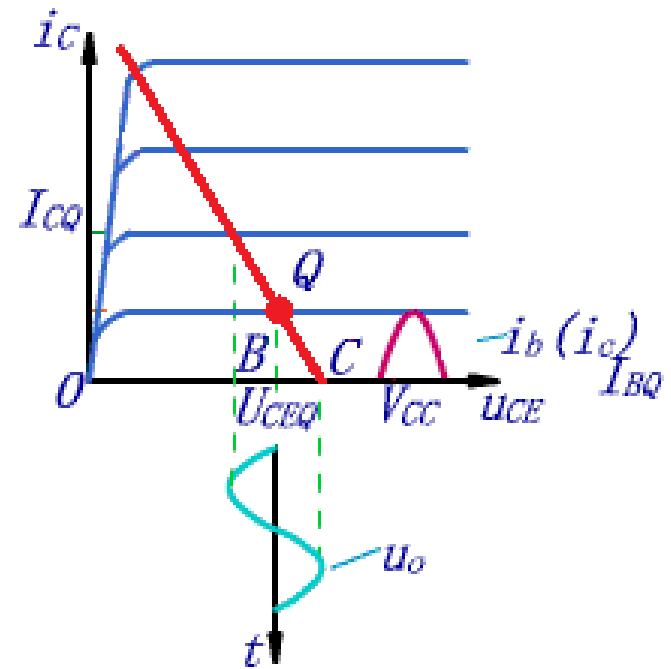
- 回想一下前面所提的事件，若把該事件中的事物替換一下的話……
 - 寶特瓶→工作點位置
 - 海的波動→放大器輸入訊號波形
 - 寶特瓶的上下飄動→放大器的輸出波形
 - 海床→截止區
 - 將之套用於原來的特性曲線圖的話？
 - 就會變成右圖：



三、電晶體直流工作點

● 電晶體放大器訊號的失真

- 要是工作點Q太靠近截止區的話，就會變成右圖，可看到輸出波形被截掉了，與輸入不合。



三、電晶體直流工作點

● 溫度對電晶體的影響

- 當室溫產生變化時，電晶體的特定參數也隨之改變：
- I_{CO} 、 V_{BE} 、 β 三個參數會隨溫度產生變化。
- I_{CO} ：溫度每上升10度C時，便增加一倍
- $I_{CO}(T_2) = I_{CO}(T_1) 2^{((T_1 - T_2)/10)}$

三、電晶體直流工作點

● 溫度對電晶體的影響

- 溫度每上升1度C時，矽質電晶體 V_{BE} 下降約2.5mV，鍺質電晶體 V_{BE} 下降約1mV
- 矽質： $\Delta V_{BE}/\Delta T = -2.5\text{mV}/^\circ\text{C}$
- 鍺質： $\Delta V_{BE}/\Delta T = -1\text{mV}/^\circ\text{C}$
- β 隨溫度上升而上升，上升值與電晶體的種類有關，並不固定。

三、電晶體直流工作點

● 例題演練

- 下列有關溫度對雙接面電晶體參數的影響，何者錯誤？
- (A) β 隨著溫度增加而增加
- (B) 溫度每上升 1°C ，矽質電晶體 V_{BE} 約下降 2.5mV
- (C) 溫度每上升 10°C ， I_{CO} 約增加一倍
- (D) 溫度對 β 、 V_{BE} 沒有影響。

【89台北專夜→電子】

解 • 溫度對 I_{CO} 、 V_{BE} 、 β 三者皆有影響

答 • 故選(D)

三、電晶體直流工作點

● 溫度對電晶體的影響-穩定因數(S)

- 電晶體在溫度變化時， I_{co} 、 V_{BE} 與 β 變化率對 I_c 的影響程度。
- $S = \Delta I_c / \Delta I_{co}$ (V_{BE} 、 β 定值)
- $S' = \Delta I_c / \Delta V_{BE}$ (I_{co} 、 β 定值)
- $S'' = \Delta I_c / \Delta \beta$ (V_{BE} 、 I_{co} 定值)
- 穩定因數 S 的範圍，介於 $1 \sim 1 + \beta$ 之間，而當 S 數值越小，表示穩定性越好，反之則整體電路趨於不穩定。

三、電晶體直流工作點

● 例題演練

Q. 就電晶體的穩定因數 S 而言，下列何者的數值最佳且可能實現？

(A)0 (B)0.5 (C)2 (D)100

A. 穩定因數 S 的值介於 $1 \sim 1 + \beta$ 之間，且數值越低越好，故選(C)