

實習八

雙載子接面電體偏壓電路

◆ 實習目的

1. 學習各種雙載子接面電晶體偏壓電路之設計方法。。
2. 藉由實習過程，以瞭解各種雙載子接面電晶體偏壓電路之穩定性。



相 關 知 識

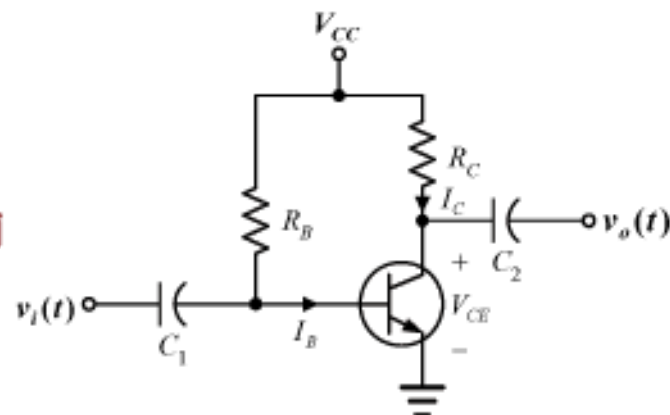
- ◆ 對電晶體施以適當之**直流偏壓**後，便可確立電路之工作點，而有**穩定之工作點**後，當於電晶體之輸入端加入交流訊號 (AC Signal) 後，此交流訊號會以此工作點為中心，配合直流負載線 (DC load line)，便可以分析電晶體之工作情況，以設計符合實際需要之電晶體放大電路。
- ◆ 因構成電晶體 (BJT) 之主要材料為**半導體**，而半導體之電壓和電流，通常很容易會受**周圍溫度**、**電源變動**與**元件老化**等因素之影響而改變，導致**工作點不穩定**之情況，如此將會嚴重影響電晶體放大電路之交流特性。
- ◆ 依電路連接方式與電子電路實際之需求，目前已發展許多雙載子接面電晶體 (BJT) 之直流偏壓電路，而各種電晶體之偏壓電路，皆以**提高穩定度**為主要考量，使電晶體電路能確實發揮吾人所預期之功能，而盡量不受**環境變化**之影響。
- ◆ 本實習將分成 5 個部分，討論**共射極固定偏壓**、**具射極電阻之共射極固定偏壓電路**、**電阻分壓器偏壓電路**與**集極電阻回授偏壓電路**等 4 種常用之 BJT 偏壓電路。另外再使用一部分，以討論偏壓電路之直流負載線之意義與工作點之選擇，對 BJT 放大電路交流操作之影響。



共射極固定偏壓電路

◆ 利用電阻 R_B 連接至 V_{CC} 之正端，以提供基-射極所需之偏壓，即可得到共射極固定偏壓電路，如右圖所示。

◆ 對右圖之固定偏壓電路作直流分析，亦可分為輸入迴路與輸出迴路兩個部份來討論如下：



1. 輸入迴路：利用 KVL 於輸入端迴路可得

$$V_{CC} = I_B \cdot R_B + V_{BE}$$

整理上式，可得基極電流 $I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$ 。

2. 輸出迴路：若電晶體操作於順向活性區，可得集極電流 I_C 與集-射極電壓 V_{CE} 分別為

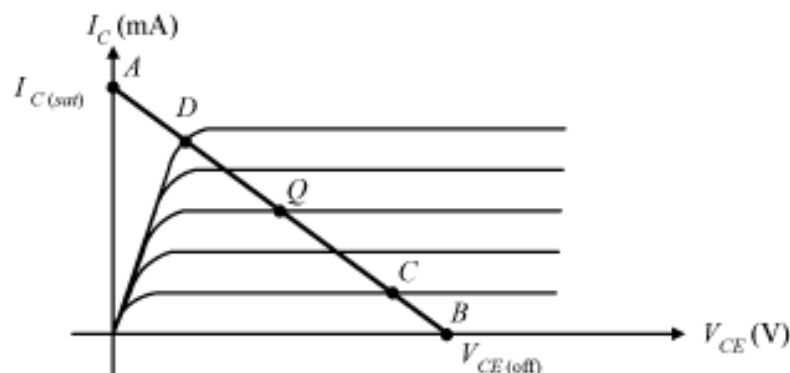
$$I_C = \beta \cdot I_B = \frac{\beta \cdot (V_{CC} - V_{BE})}{R_B} \quad , \quad V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C = V_{CC} - \beta \cdot I_B \cdot R_C$$



直流負載線與工作點

◆ **直流負載線** (DC Load Line) 是以電晶體電路之輸出電流與輸出電壓來決定所有可能的直線稱之。

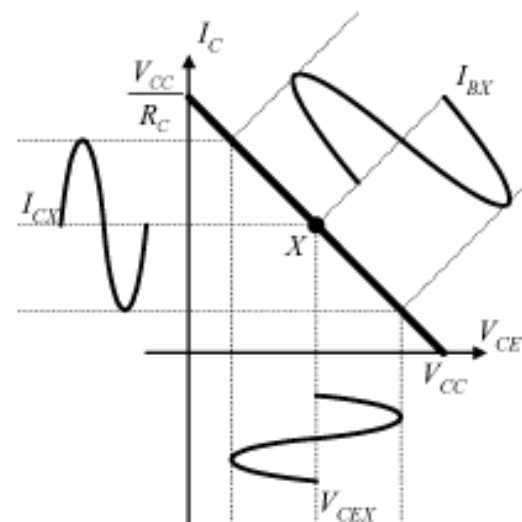
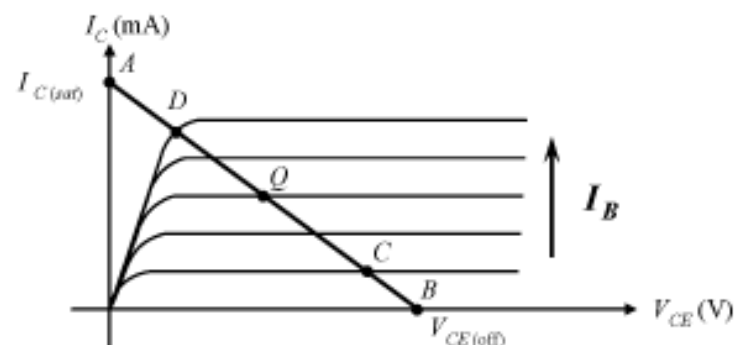
◆ 若以共射極固定偏壓電路為例，以**集極電流** I_C 與**集-射極電壓** V_{CE} 所決定之直線，即為**直流負載線**，如右圖所示。



◆ 上圖中**縱軸**所標示之 $I_{C(Sat)}$ ，表示**電晶體飽和**時之集極電流值，即當電晶體飽和時，**集-射極電壓** $V_{CE(Sat)}$ 非常低 ($V_{CE(Sat)} \approx 0.2V$)，因此可得 $I_{C(Sat)} = V_{CC} / R_C$ ；而**橫軸**所標示之 $V_{CE(Off)}$ 表示 $I_C = 0$ 時，即集-射極可視為**開路**，因此集極電阻 R_C 沒有**壓降**，因此 $V_{CE(Off)} = V_{CC}$ ，將 $I_{C(Sat)}$ (A 點) 與 $V_{CE(off)}$ (B 點) 兩點間連一直線，即可得到一條**最大之直流負載線**。



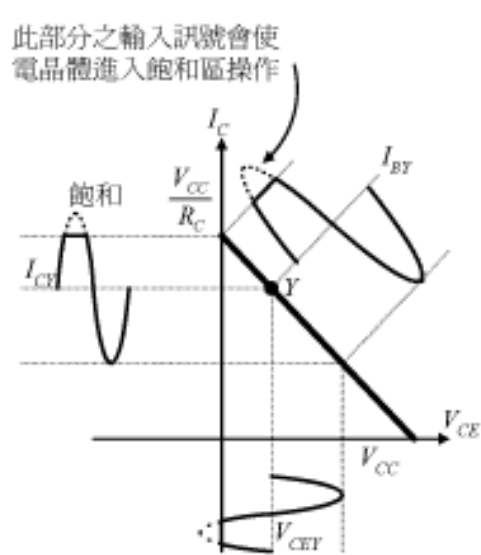
- ◆ 在右圖之直流負載線與輸入電流 I_B 之交點即稱為**工作點** (Operation option) 或稱為**靜態點** (Quiescent point)； Q 點，因此 Q 點之選擇與輸入電流 I_B 有相當密切之關係。
- ◆ 在許多之情況下， Q 點之選擇應盡量接近**直流負載線**之**中心點**，以容許電晶體放大器作**最佳之交流操作**，亦即使電晶體可進行最佳之放大效果。若 Q 點太靠近**截止區** (C 點) 或**飽和區** (D 點)，則電晶體在進行交流操作時，輸出波形易發生**失真**之現象。
- ◆ 若 Q 點選擇之負載線上之 X 點，若於電晶體之輸入端加入**交流訊號**，此交流輸入訊號可確實被放大，即輸出訊號(集極電流 I_C 與集射極電壓 V_{CE}) **無任何失真**之現象發生，如右圖所示。



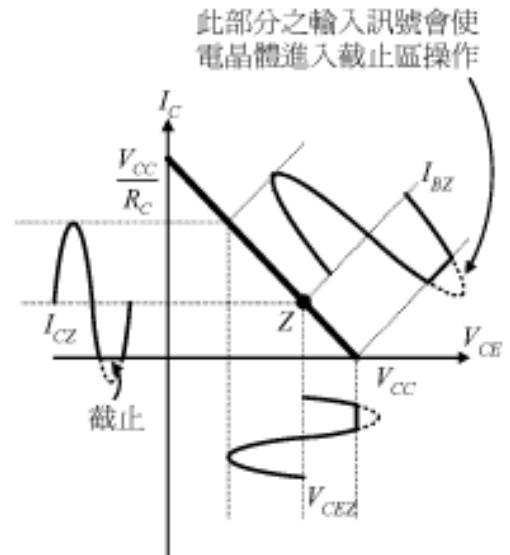
Q 點之選擇於**直流負載線**之**中間**



◆ 若電晶體被偏壓後，由基極(輸入)電流 I_B 所得到之 Q 點，分別為左下圖和右下圖之 Y 和 Z 點，則交流輸入訊號被放大後，由於 Q 點之選擇不當，輸出訊號之上半週或下半週有一部份被截掉，此乃因不當直流偏壓，導致電晶體進入飽和區或截止區操作，因而造成輸出交流訊號之失真。



Q 點之選擇於接近於飽和區

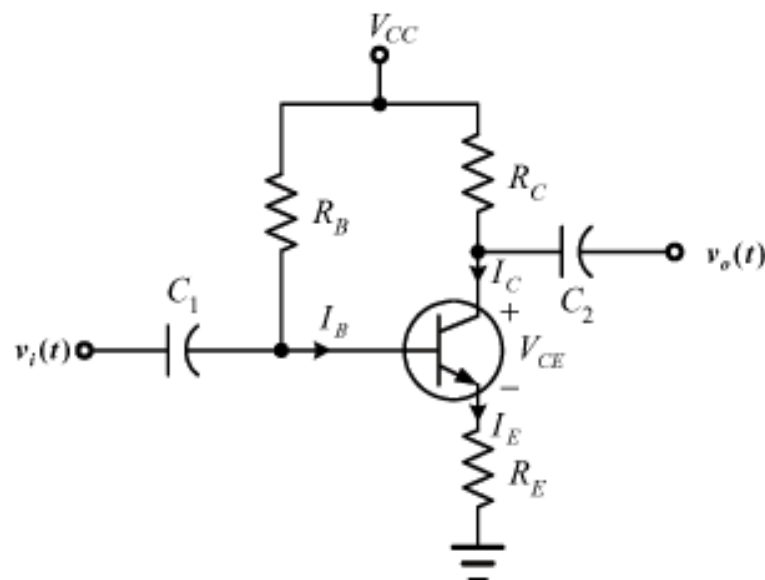


Q 點之選擇於接近於截止區



具射極電阻之固定偏壓電路

- ◆ 前面所討論之固定偏壓電路，集極電流 I_C 會隨 β 值而直接改變，致使 Q 點會產生漂移之缺點，造成偏壓不穩定問題。若於電晶體之射極與地點間增加上射極電阻 R_E ，使 I_C 值受 β 值變化之影響減少，以改善此項問題，如右圖所示。

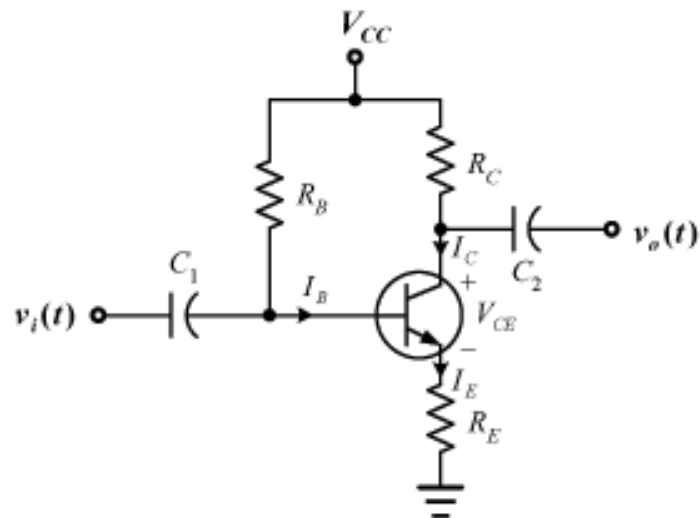


- ◆ 由於射極電阻 R_E 之存在，當 β 值因溫度或其他因素而變化時，會導致 I_C 與 I_E 同時隨之改變，此時亦會使 R_E 壓降改變，以補償 I_C 與 V_{CE} 之變化量，此種機制稱為負回授 (Negative feedback)，雖然將負回授應用於直流偏壓電路會造成增益之降低，但可獲得更穩定之直流工作點。



◆ 利用 **KVL** 於右圖之**輸出迴路**可知，當 R_E 壓降**增加**將會使 I_C 與 I_E 同時隨之**減少**，如此便可減小 I_C 大小受 β 值變化之影響，即可**減少**集極電流 I_C 之改變量，以獲得較**穩定**之 I_C ，亦可得到較穩定之 V_{CE} ，故可獲得較為**穩定之直流工作點** (Q 點)。

◆ 對右圖之偏壓電路作**直流分析**，亦可分為**輸入迴路**與**輸出迴路**兩個部份來討論如下：



1. **輸入迴路**：利用 **KVL** 於輸入迴路可得 $V_{CC} = I_B \cdot R_B + V_{BE} + I_E R_E$ 。

將 $I_B = \frac{I_E}{(1 + \beta)}$ 帶入上式可得**射極電流** I_E 為

$$I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\frac{R_B}{(1 + \beta)} + R_E} = \frac{(1 + \beta) \cdot (V_{CC} - V_{BE})}{R_B + (1 + \beta) \cdot R_E}$$

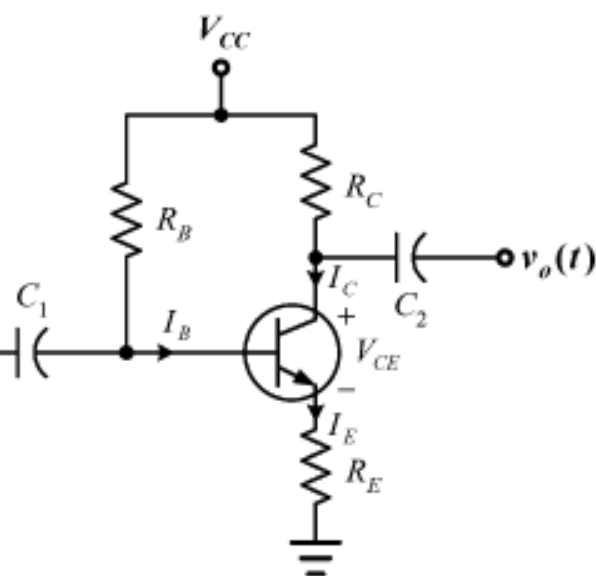


2. **輸出迴路**：若電晶體操作於**主動區**，可得**集極電流** I_C 為

$$I_C \approx I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\frac{R_B}{(1+\beta)} + R_E} = \frac{(1+\beta) \cdot (V_{CC} - V_{BE})}{R_B + (1+\beta) \cdot R_E}$$

註：比較上節所得之 $I_C = \beta \cdot I_B = \frac{\beta \cdot (V_{BB} - V_{BE})}{R_B}$ 可知，加上**射**

極電阻後， I_C 受 β **變化**之影響明顯的**減少**了。



利用 KVL 於輸出迴路，可得集-射極電壓 V_{CE} 為

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C - I_E \cdot R_E = V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$

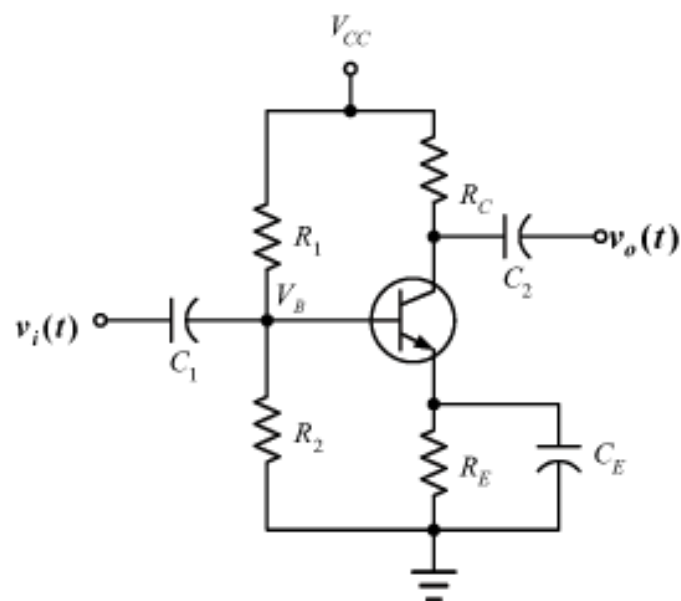
- ◆ 由以上之討論可知，**集極電流** I_C 與**集-射極電壓** V_{CE} 之大小，受 β 值之影響明顯少了，故相對的可**提高偏壓之穩定性**。



電阻器分壓器偏壓電路

◆ 為了提供一個較穩定電晶體之偏壓技術，一種利用雙電阻器分壓器偏壓電路，以提供基-射極接面所需之偏壓，稱為分壓器偏壓電路，如右圖所示。

◆ 只要選擇射極電阻 R_E 之值遠大於 $R_B // \beta$ ，對右圖之分壓器偏壓電路而言，便可使集極電流 I_C 與 β 值無關，故相對具有較佳之偏壓穩定性，因此可改善固定偏壓之 Q 點會隨周圍溫度改變，而產生漂移之缺點。

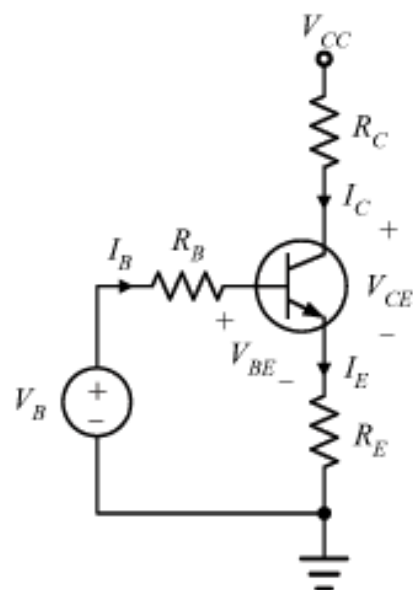


◆ 觀察上圖可知，若 $\beta \cdot R_E > 10R_B$ 之條件成立時，則可將偏壓電阻 R_B 省略，即可令基極電流 I_B 趨近於零，如此可簡化計算之複雜度與提高偏壓穩定度。相同的，對上圖作直流分析（求解 I_B 、 I_C 與 V_{CE} 等 3 個電壓與電流值），亦可分為輸入迴路與輸出迴路兩個部份來討論如下：



- ◆ 對右圖之電晶體電路作**直流分析**時，可假設 C_E 、 C_B 與 C_C **開路**，接著將**輸入迴路**用**戴維寧等效電路**來取代，可得到分壓器偏壓電路之**等效電路**，如右圖所示，其中 $R_B = R_1 // R_2$, $V_B = \frac{R_2 \cdot V_{CC}}{R_1 + R_2}$ 。

- ◆ 當 $\beta \cdot R_E > 10R_B$ 之條件成立時，則對右圖之**直流分析**，可採用**近似分析法**(忽略偏壓電阻 R_B)，即可令基極電流 $I_B \approx 0$ ，以可簡化計算之複雜度。



- ◆ 對右圖偏壓電路之**直流分析**，亦必須分為**輸入迴路**與**輸出迴路**兩個部份討論：

1. **輸入迴路**：因 $I_B \approx 0 \rightarrow R_B$ **無壓降**，可得**基極電壓** V_B 、**射極電流** I_E 與**集極電流** I_C 如下：

$$V_B = I_E \cdot R_E + V_{BE} \rightarrow I_E = \frac{V_B - V_{BE}}{R_E} \quad , \quad I_C \approx I_E = \frac{V_B}{R_E} \quad (V_B \gg V_{BE})$$



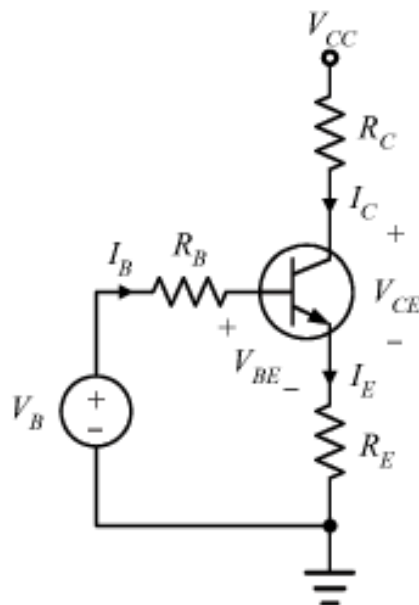
2. 輸出迴路：

利用 KVL 可得

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE} + I_E \cdot R_E$$

因 $I_C \approx I_E$ ，帶入上式，可得集-射極電壓 V_{CE} 為

$$V_{CE} = V_{CC} - I_E (R_C + R_E)$$



- ◆ 由以上計算式可知， I_C 與 V_{CE} 之大小皆與 β 值無關，此種偏壓技術之 Q 點不會受 β 之變動而影響，故有較佳之偏壓穩定性。



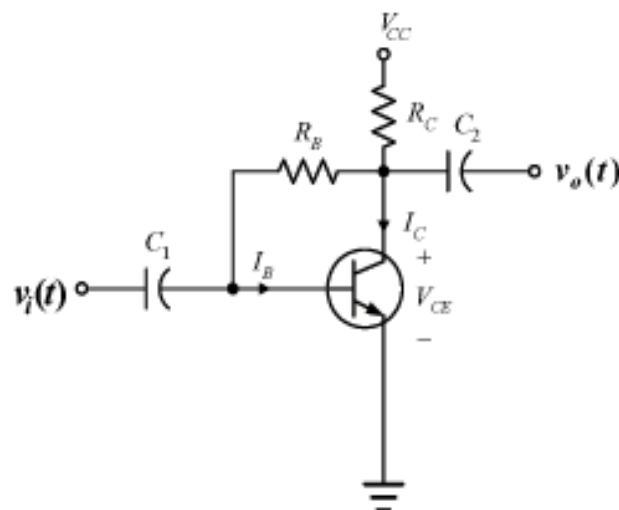
集極回授偏壓電路

◆ 將基極電阻連接至集極，以提供基極所需之偏壓，而不連接至 V_{CC} ，以增加電路之偏壓穩定性，使工作點受 β 值變化之影響更小，稱為集極回授偏壓電路，如右圖所示。

◆ 當電晶操作於順向活性區時，集極回授偏壓電路可提供較穩定工作點之原因敘述於後：

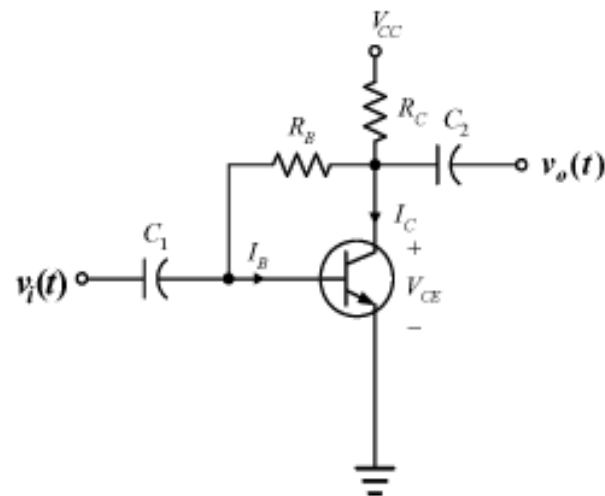
1. 若 β 值受外在環境影響而增加時， I_C 亦會隨之增加，將

導致 R_C 壓降增加。由輸入迴路可知，當 R_C 壓降增加時， I_B 會隨之減少，使 I_C 亦會隨之降低。若這些電阻值設計得當的話，則這些減少之量會因 β 值增加，而造成 I_C 增加量幾乎可完全抵消。



2. 相反的，若 β 值受外在環境之影響而減少時， I_C 亦會隨之減少，將會使 R_C 之壓降減少。由輸入迴路可知，當 R_C 壓降減少時 I_B 會隨之增加，導致 I_C 會隨之增加。若這些電阻值設計得當的話，則這些增加的量，幾乎可完全補償因 β 值減少而造成 I_C 減少之量。

◆ 對右圖偏壓電路之直流分析，亦可分為輸入與輸出兩個迴路來討論如下：



1. **輸入迴路**：利用 KVL 可得 $V_{CC} = (I_B + I_C) \cdot R_C + I_B \cdot R_B + V_{BE}$ ，若 $I_C = \beta \cdot I_B$ (電晶體操作於順相活性區)，可得 $V_{CC} = I_B \cdot [(1 + \beta) \cdot R_C + R_B] + V_{BE}$ ，整理右式可得 I_B 與 I_C 分別為

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta) \cdot R_C} \quad , \quad I_C = \frac{\beta \cdot (V_{CC} - V_{BE})}{R_B + (1 + \beta) \cdot R_C}$$



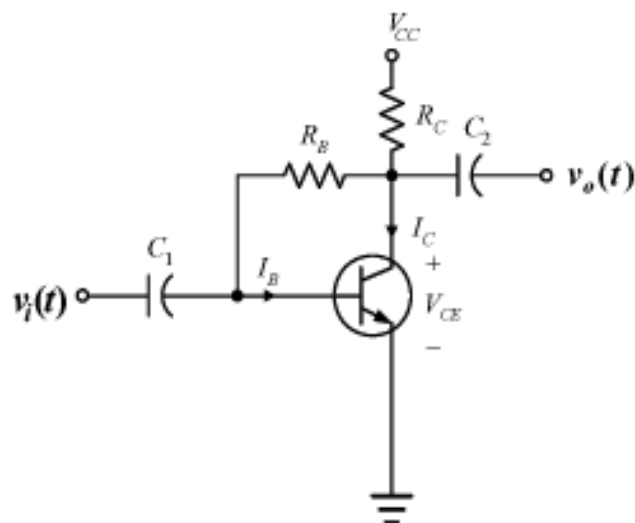
2. 輸出迴路：利用 KVL 可得

$$V_{CC} = (I_B + I_C) \cdot R_C + V_{CE}$$

整理上式可得集-射極電壓 V_{CE} 為

$$V_{CE} = V_{CC} - (I_B + I_C) \cdot R_C$$

- ◆ 觀察上式可知， V_{CE} 之大小與 β 值無關，此種偏壓技術之 Q 點不易受 β 之變動而影響，故有較佳之偏壓穩定性。



實習步驟與結果

(一) 射極固定偏壓電路

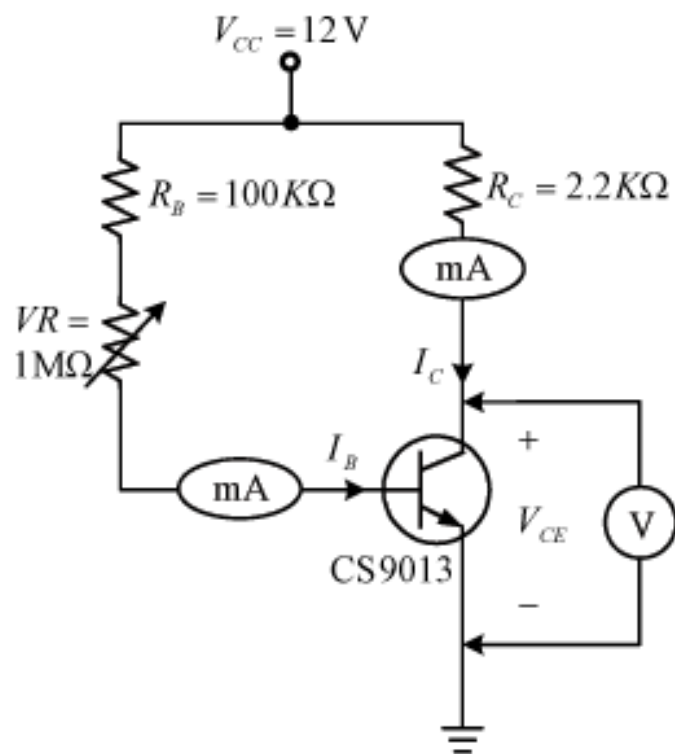
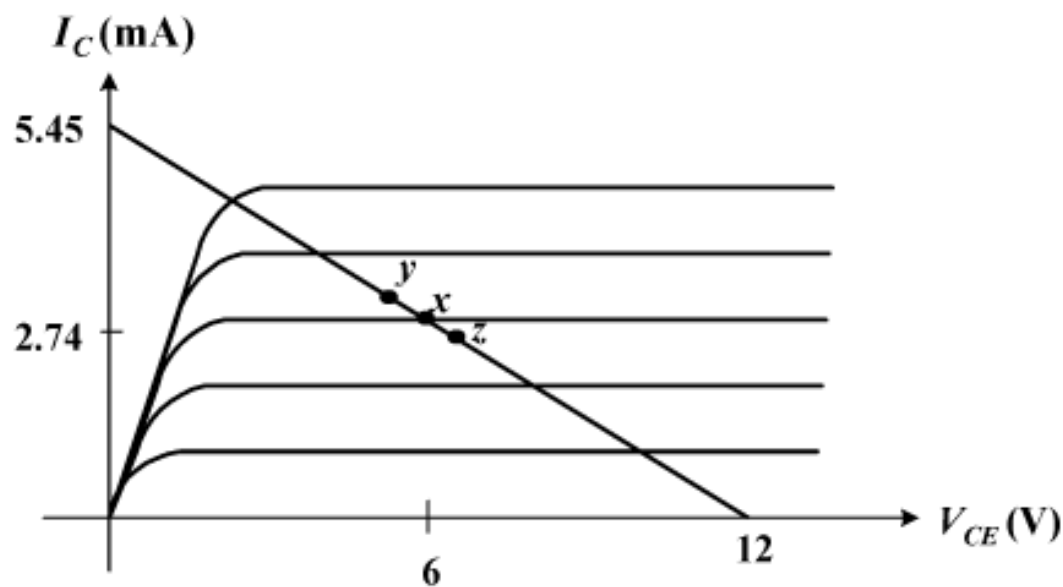


表 8-1 射極固定偏壓電路之 I_C 、 I_B 、 V_{CE} 與 β 值

基極電阻 ($R_B + VR$) = 988 $K\Omega$

偏壓參數 測量狀況	I_C	I_B	V_{CE}	$\beta = \frac{I_C}{I_B}$
測量值	2.74mA	11.5 μA	6V	238
理論值	2.72mA	11.4 μA	6.02V	240
加熱後之測量值	2.84mA	11.5 μA	5.76V	247



(二) 具射極電阻之共射極固定偏壓電路

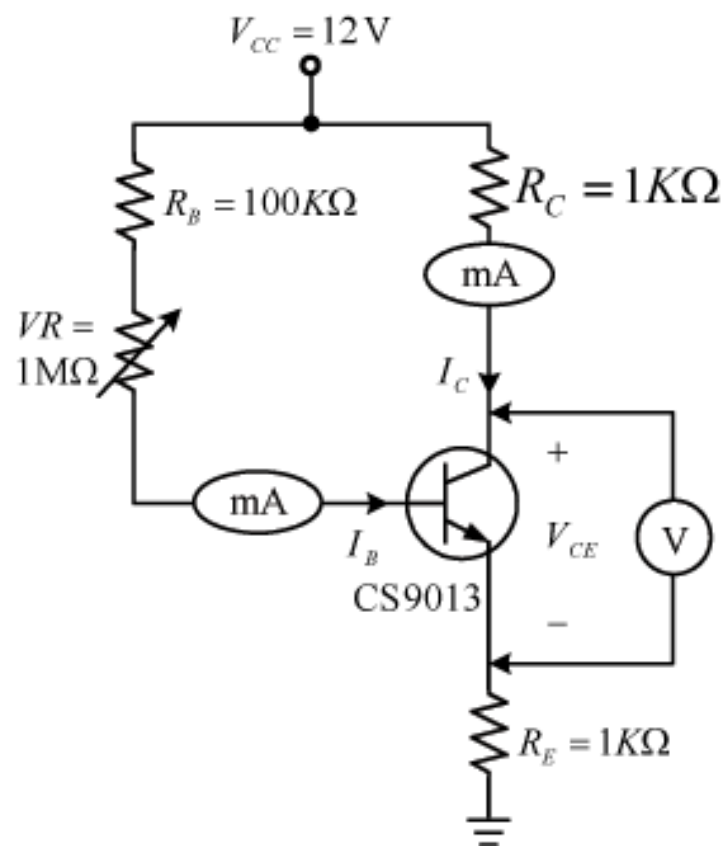
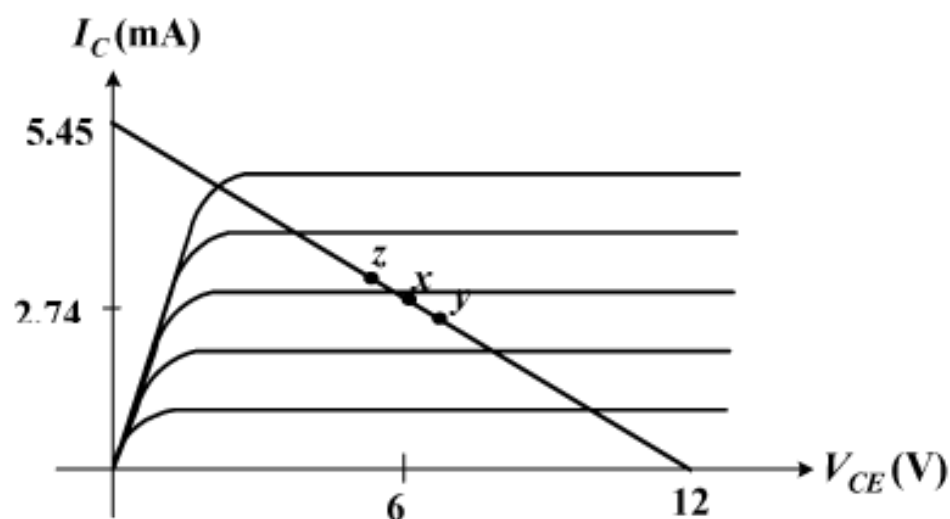


表 8-2 具射極電阻之共射極固定偏壓電路之 I_C 、 I_B 、 V_{CE} 與 β 值

基極電阻 ($R_B + VR$) = 750 $k\Omega$

偏壓參數 測量狀況	I_C	I_B	V_{CE}	$\beta = \frac{I_C}{I_B}$
測量值	2.72mA	11.6 μA	6V	234
理論值	2.76 mA	11.5 μA	6.4V	240
加熱後之測量值	2.8mA	11.6 μA	5.85V	241



(三) 電阻分壓器偏壓電路

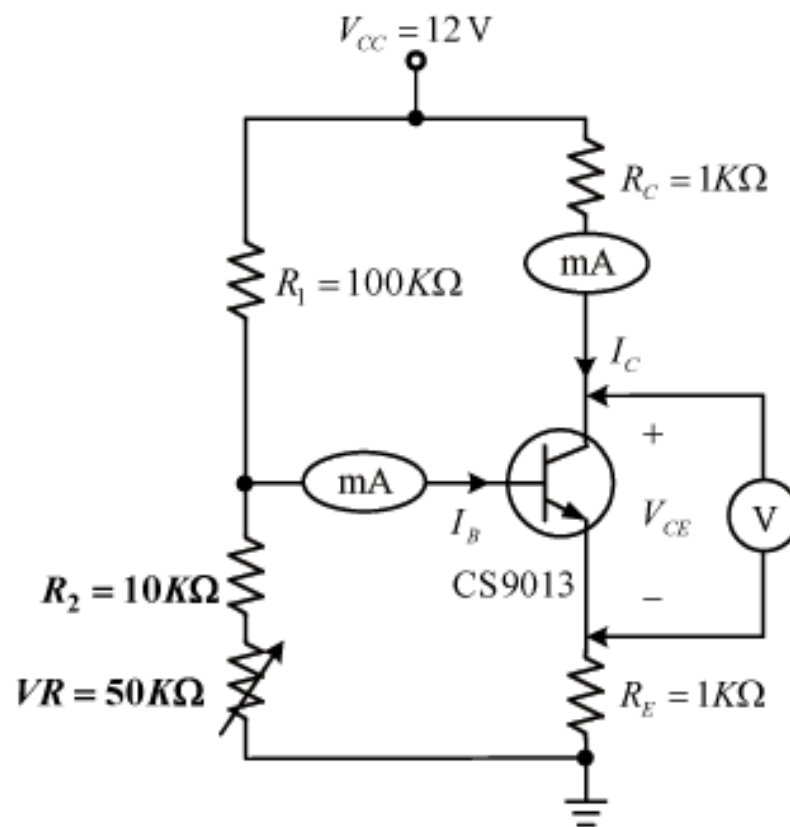
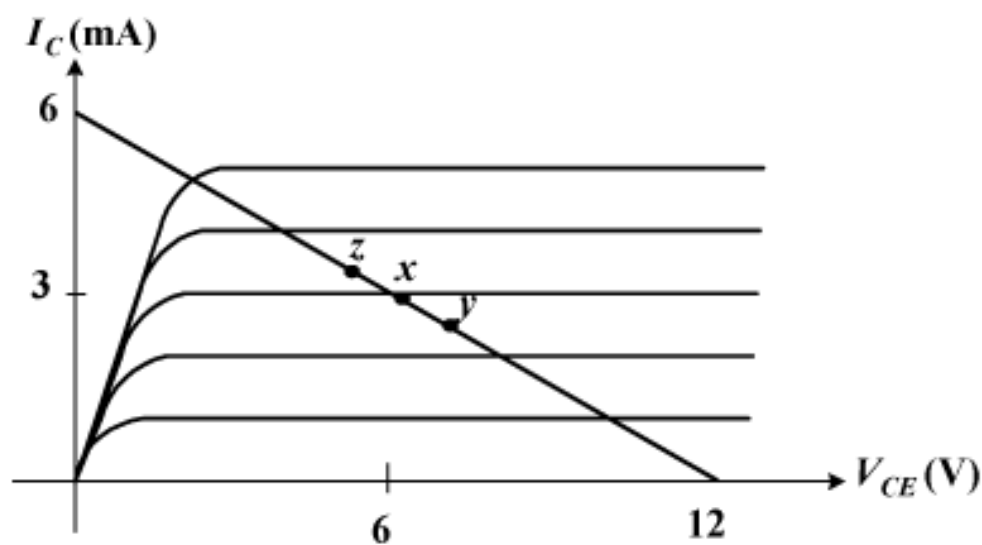


表 8-3 電阻分壓器偏壓電路之 I_C 、 I_B 、 V_{CE} 與 β 值

基極電阻 $R_1 \parallel (R_2 + VR) = \underline{33.3} \text{ K}\Omega$

偏壓參數 測量狀況	I_C	I_B	V_{CE}	$\beta = \frac{I_C}{I_B}$
測量值	3.05mA	12.6 μA	6V	242
理論值	3.24 mA	13.5 μA	5.84V	240
加熱後之測量值	3.09mA	12.2 μA	5.93V	253



(四) 集極回授偏壓電路

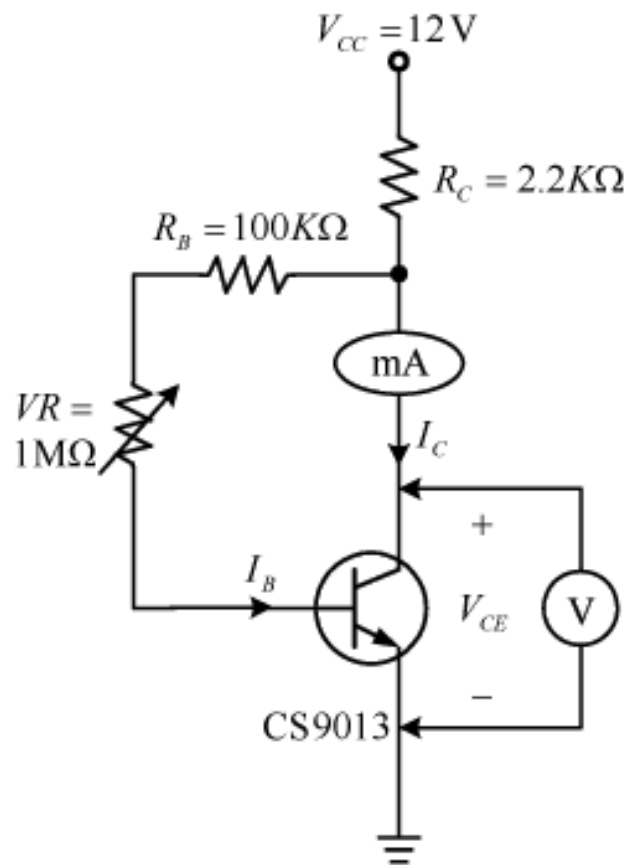


表 8-4 集極回授偏壓電路之 I_C 、 I_B 、 V_{CE} 與 β 值

基極電阻 ($R_B + VR1$) = 477 $K\Omega$

偏壓參數 測量狀況	I_C	I_B	V_{CE}	$\beta = \frac{I_C}{I_B}$
測量值	2.72mA	11.3 μA	6V	240
理論值	2.69 mA	11.2 μA	6.06V	240
加熱後之值	2.81mA	10.9 μA	5.8V	257

