

## 第 5 講: BJT 電晶體偏壓

參考文獻與網頁:

- [1]蕭敏學，大學電子學實習(一):電子電路分析篇，台科大圖書，2013
- [2]YouTube: 吳順德，應用電子電實驗(L7 1BJT 簡介)，  
<https://www.youtube.com/watch?v=6hqHhQPouPs&list=PLXxs-fSMcpYfBBswuFSBfefLbeBmOUbZ2&index=19>
- [3] YouTube: 吳順德，應用電子電實驗(L8 2 戴維寧等效電路在 BJT 分析的應用)  
<https://www.youtube.com/watch?v=kzIOvQeVfYA&list=PLXxs-fSMcpYfBBswuFSBfefLbeBmOUbZ2&index=23>
- [4] YouTube: 吳順德，應用電子電實驗(L8 3 常見的 BJT 偏壓)  
<https://www.youtube.com/watch?v=WLkntGvSLnA&list=PLXxs-fSMcpYfBBswuFSBfefLbeBmOUbZ2&index=24>
- [5]維基百科:雙極性電晶體，  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%8C%E6%9E%81%E6%80%A7%E6%99%B6%E4%BD%93%E7%AE%A1>
- [6]Chapter 5 BJT Biasing Circuits，  
[https://feng.stafpu.bu.edu.eg/Electrical%20Engineering/833/crs-14354/Files/Tutorial%20on%20BJT%20-%20Part%20\(2\).pdf](https://feng.stafpu.bu.edu.eg/Electrical%20Engineering/833/crs-14354/Files/Tutorial%20on%20BJT%20-%20Part%20(2).pdf)
- [7] YouTube: 吳順德，應用電子電實驗(L7 2BJT 的電流特性與三大操作區)  
<https://www.youtube.com/watch?v=SAenstblpvA&list=PLXxs-fSMcpYfBBswuFSBfefLbeBmOUbZ2&index=20>

一、教學，請參考[1]~[7]

BJT 電晶體:

雙極性電晶體（英語：bipolar transistor），全稱雙極性接面型電晶體（bipolar junction transistor, BJT），具有三個終端的電子元件。這種電晶體的工作，同時涉及電子和電洞兩種載子的流動，因此稱為雙極性，由兩種不同摻雜物聚集區域之間的邊界由 PN 接面形成。

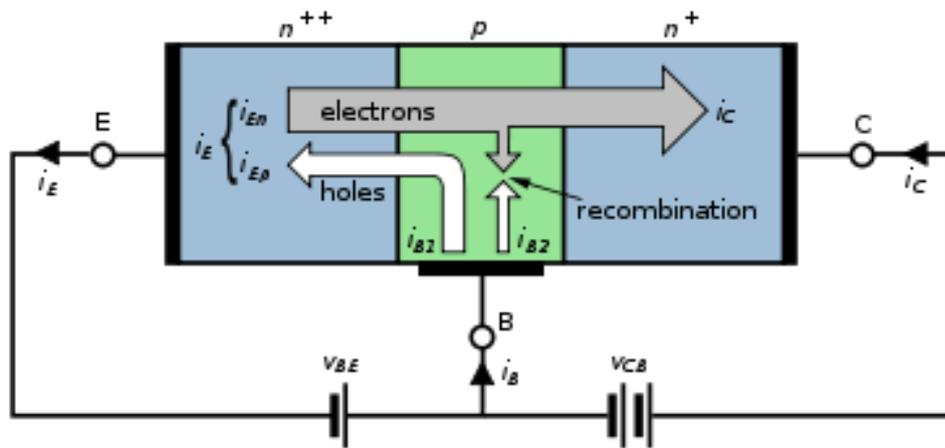


圖 5-1 NPN 電晶體工作涉及電子與電洞運作 [5]

圖 5-1 左邊的藍色區域為射極，中間綠色區域為基極，右邊藍色區域為集極。灰色的箭頭為電子的流動方向示意，射極注入的大部分電子移動到了集極，少部分在基極與電洞複合。白色箭頭為基極的多數載子電洞的流動方向示意。NPN 型雙極性電晶體處於順向主動區的條件是：**在射極接面上具有順向偏壓，而集極接面具有逆向偏壓。**

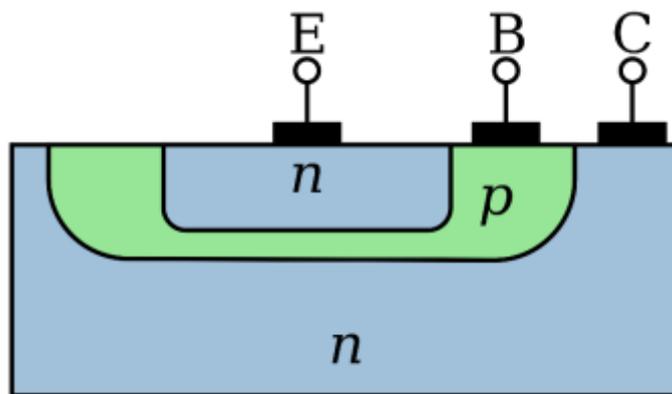


圖 5-2 NPN 型雙極性電晶體的截面圖 [5]

一個雙極性電晶體由三個不同的摻雜半導體區域組成，分別是射極區域、基極區域和集極區域。這些區域在 NPN 型電晶體中分別是 N 型、P 型和 N 型半導體，而在 PNP 型電晶體中則分別是 P 型、N 型和 P 型半導體。每一個半導體區域都有一個引腳端接出，通常用字母 E、B 和 C 來表示射極 (Emitter)、基極 (Base) 和集極 (Collector)。

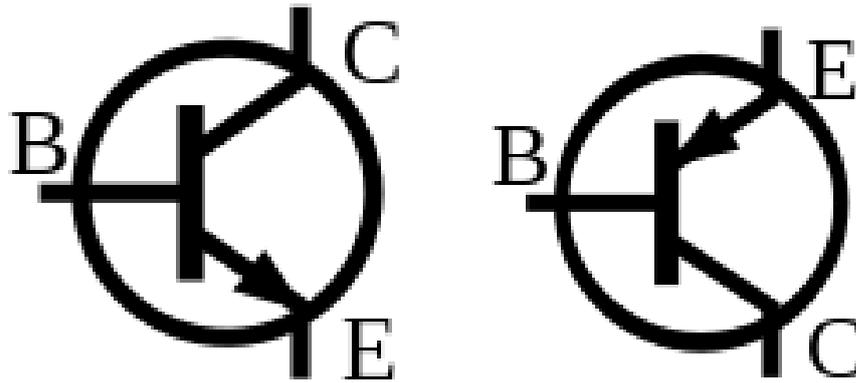


圖 5-3 NPN 型和 PNP 型雙極性電晶體的符號，NPN 型的箭頭指向外側，PNP 型的箭頭指向內側 [5]。

NPN 型半導體中（注意：PNP 型電晶體和 NPN 型電晶體的電壓描述恰好相反），按射極接面（基極-射極接面）、集極接面（基極-集極接面）的偏壓情況，工作區可分為[5]:

- **順向主動區（或簡稱主動區）**：當射極接面順向偏壓，集極接面逆向偏壓時，電晶體工作在主動區。大多數雙極性電晶體的設計目標，是為了在順向主動區得到最大的共射極電流增益  $\beta$ 。電晶體工作在這一區域時，集極-射極電流與基極電流近似成線性關係。由於電流增益的緣故，當基極電流發生微小的擾動時，集極-射極電流將產生較為顯著變化。
- **逆向主動區**：如果把上述處於順向主動區電晶體射極接面、集極接面的偏壓電壓互換，則雙極性電晶體將工作在逆向主動區。在這種工作模式中，射極和集極區域扮演的角色與順向主動區里正好相反，但是由於電晶體集極的摻雜濃度低於射極，逆向主動區產生的效果與順向主動區並不相同。**實際上，這種工作模式幾乎不被採用。**
- **飽和區**：當雙極性電晶體中兩個 PN 接面均處於順向偏壓時，它將處於飽和區，這時，電晶體射極到集極的電流達到最大值，即使增加基極電流，輸出的電流也不會再增加。飽和區可以在邏輯裝置中用來表示**高電位**。
- **截止區**：如果雙極性電晶體兩個 PN 接面的偏壓情況與飽和區恰好相反，那麼電晶體將處於截止區。在這種工作模式下，輸出電流非常小（小功率的矽電晶體小於 1 微安，鍺電晶體小於幾十微安），在數位邏輯中可以用來表示**低電位**。

- **突崩潰**：當施加在集極接面上的逆向偏壓將超過集極接面所能承受範圍時，這個 PN 接面將被擊穿，若電流足夠大會造成元件損壞。

電壓	射極接面偏壓	集極接面偏壓	工作模式
<b>NPN型</b>			
$E < B < C$	順向	逆向	順向-放大
$E < B > C$	順向	順向	飽和
$E > B < C$	逆向	逆向	截止
$E > B > C$	逆向	順向	逆向-放大
<b>PNP型</b>			
$E < B < C$	逆向	順向	逆向-放大
$E < B > C$	逆向	逆向	截止
$E > B < C$	順向	順向	飽和
$E > B > C$	順向	逆向	順向-放大

圖 5-4 電晶體工作區 [5]

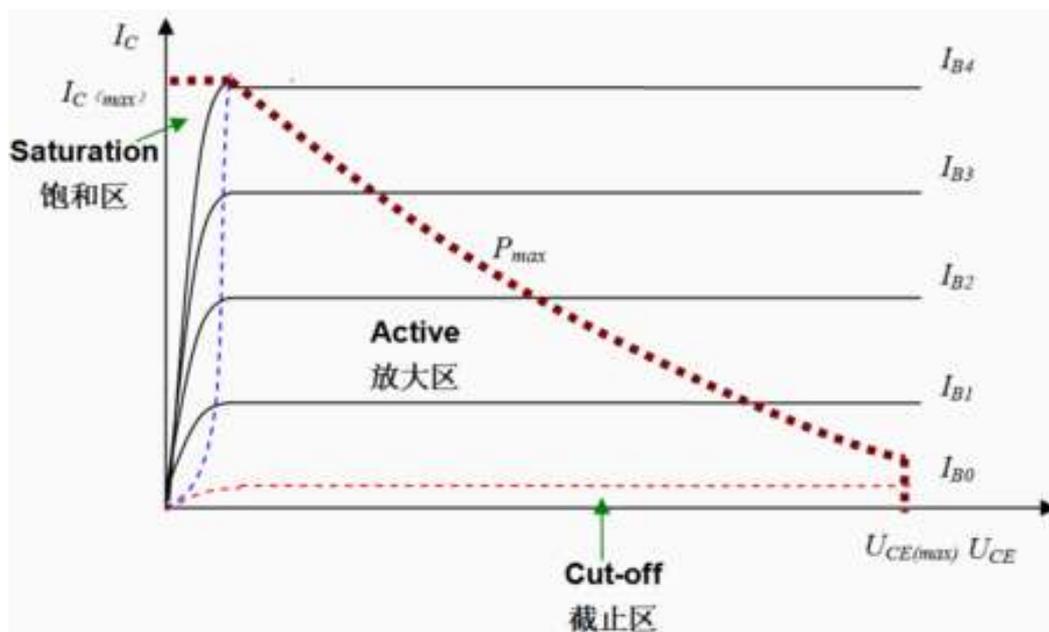


圖 5-5 雙極性電晶體的輸出特性曲線 [5]

## BJT主動區電流關係

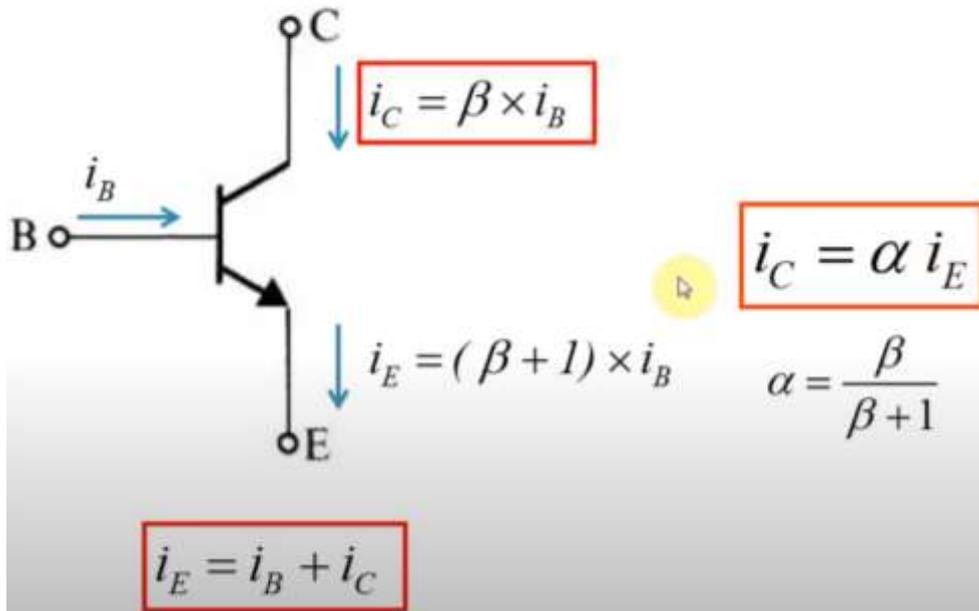


圖 5-6 主動區電流 [4]

## Tests for Saturation Mode

- \*  $\frac{i_C}{i_B}$  lower than  $\beta$  ?
- \*  $V_{CE} \leq 0.2V$  ?

圖 5-7 BJT 電晶體飽和檢測 [4]

# 主動區直流參數計算

## Example 1 :

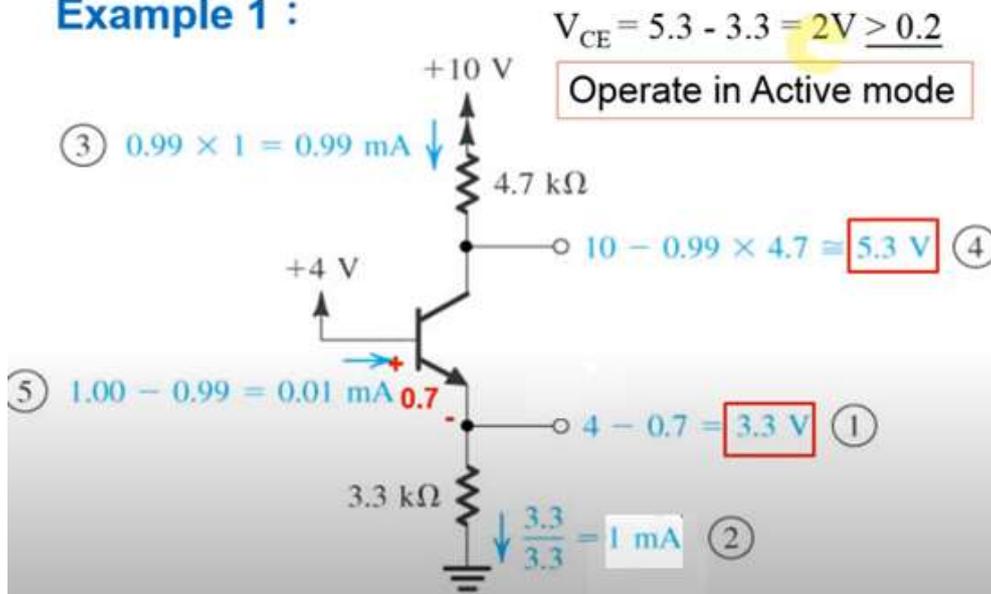
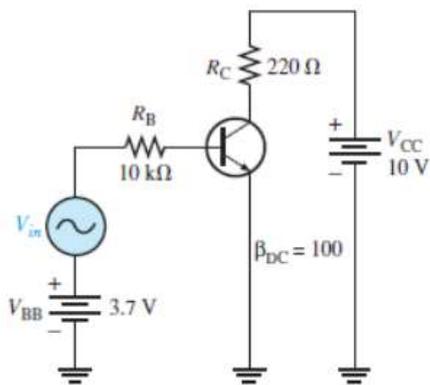


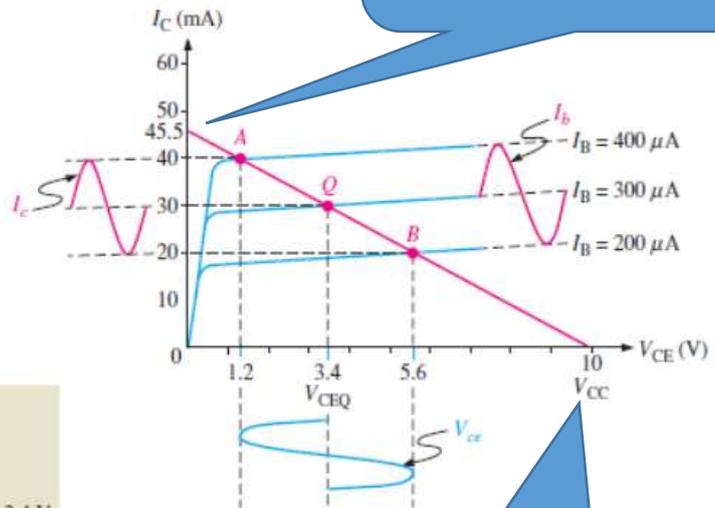
圖 5-8 BJT 電晶體主動區或飽和區之檢測 [4]



$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - 0.7 \text{ V}}{R_B} = \frac{3.7 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega} = 300 \mu\text{A}$$

$$I_{CQ} = \beta_{DC} I_{BQ} = (100)(300 \mu\text{A}) = 30 \text{ mA}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 10 \text{ V} - (30 \text{ mA})(220 \Omega) = 3.4 \text{ V}$$



若 BJT 電晶體飽和，則  $I_C$  為  $\frac{10 - 0.2}{.22\text{K}} \approx 10 / .22\text{k} = 45.45\text{mA}$

若  $I_C = 0$ ，則  $V_{CE} = 10\text{V}$

圖 5-9 Q-point 計算 ( $V_{CEQ}$ 、 $I_{BQ}$  與  $I_{CQ}$ )

## Waveform Distortion:

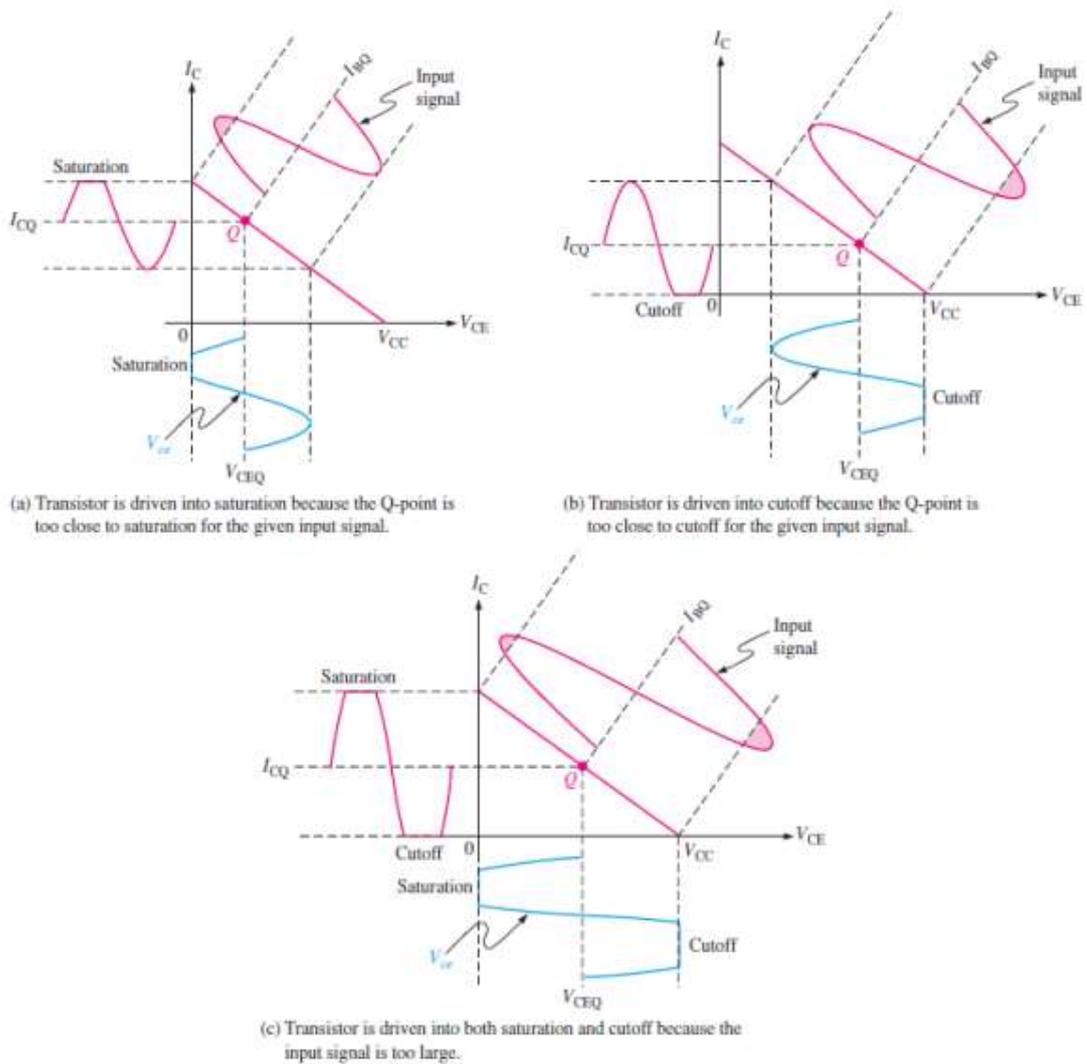


圖 5-10 Q-point 設定: (a) 若 Q-point 設定太高，以致於輸出訊號失真(部分被切掉)，(b) 若 Q-point 設定太低，以致於輸出訊號失真(部分被切掉)，(c) 當訊號輸入太大，則輸出訊號失真(部分被切掉) [6]

**Example 1:** Determine the Q-point and find the maximum peak value of the base current for linear operation. Assume  $\beta_{DC} = 200$ .

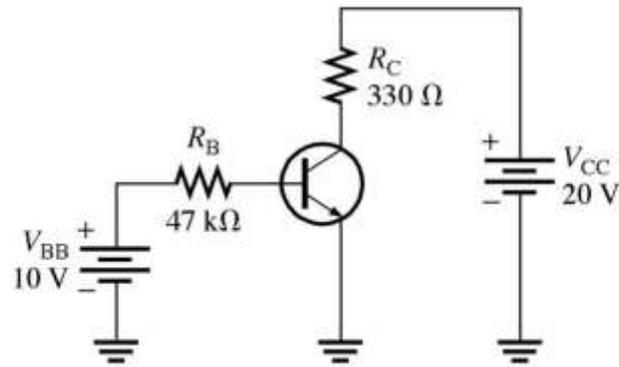


圖 5-11(A) 例題 1 [6]

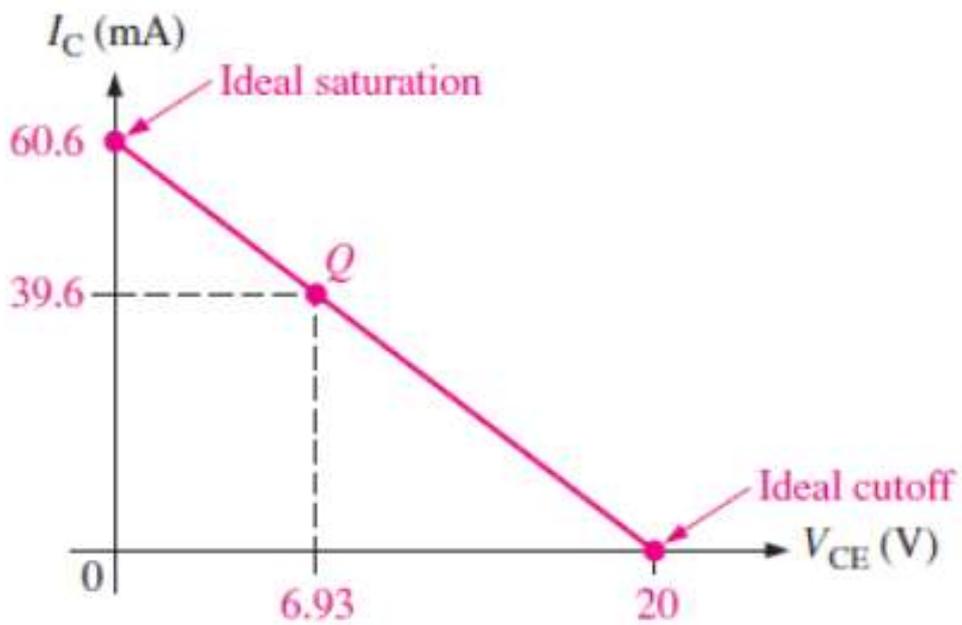


圖 5-11(B) Q-point 設定 [6]

**Solution:**

The Q-point is defined by  $I_C$  and  $V_{CE}$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{10V - 0.7V}{47K\Omega} = 198\mu A = I_{BQ}$$

$$I_C = \beta_{DC} I_B = (200)(198\mu A) = 39.6mA = I_{CQ}$$

$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} - I_C R_C = 20V - 13.07 \\ &= 6.93V = V_{CEQ} \end{aligned}$$

$$*I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} = I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{20V}{330\Omega}$$

$$*I_{C(cutoff)} = 0$$

$$I_{C(sat)} - I_{CQ} = 60.6 - 39.6 = 21mA$$

$$I_{CQ} - I_{C(cutoff)} = 39.6 - 0 = 39.6mA$$

$\therefore$  Q-point is in closer to saturation than the cutoff

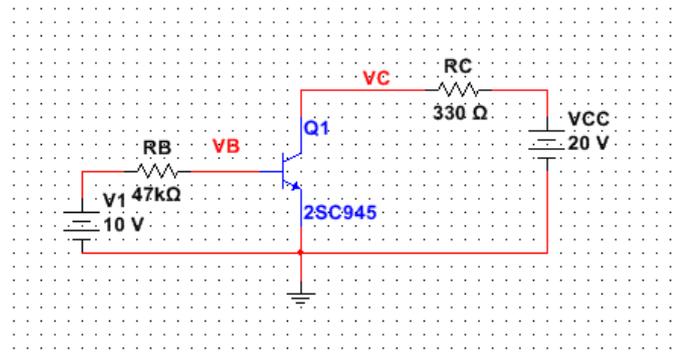
$\therefore$  21mA is the maximum peak variation ( $I_{C(max)}$ ) of the collector current

$$\therefore I_{b(peak)} = \frac{I_{C(peak)}}{\beta_{DC}} = \frac{21mA}{200} = 105\mu A \text{ \#}$$

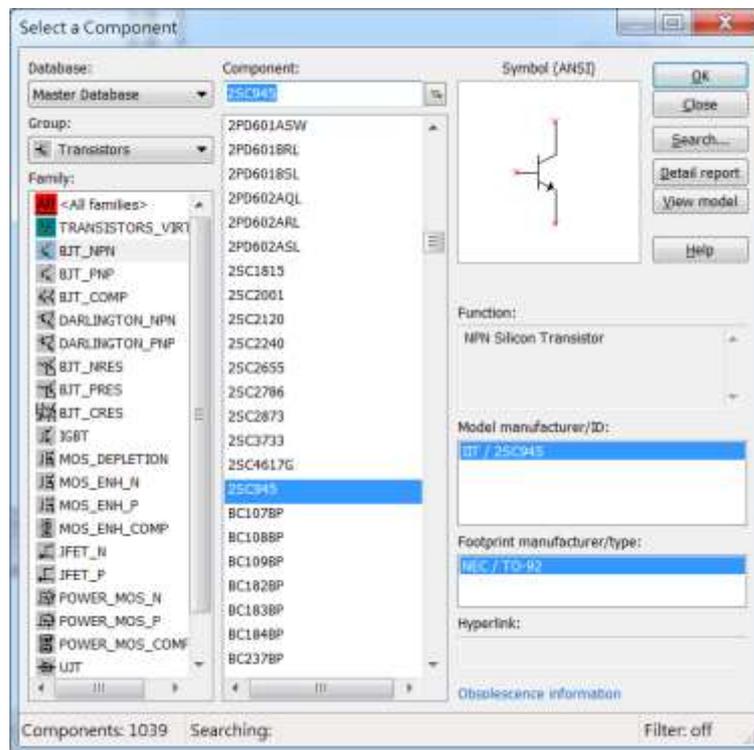
二、作業:

5-1: BJT 電晶體偏壓電路如圖 5-11(A) example 1 ,

- 找出 Q-point 的  $V_{CEQ}$  、  $I_{BQ}$  與  $I_{CQ}$  。
- $\beta = I_{CQ} / I_{BQ} = ?$



- BJT 電晶體 Place→Component→Transistors→2SC945



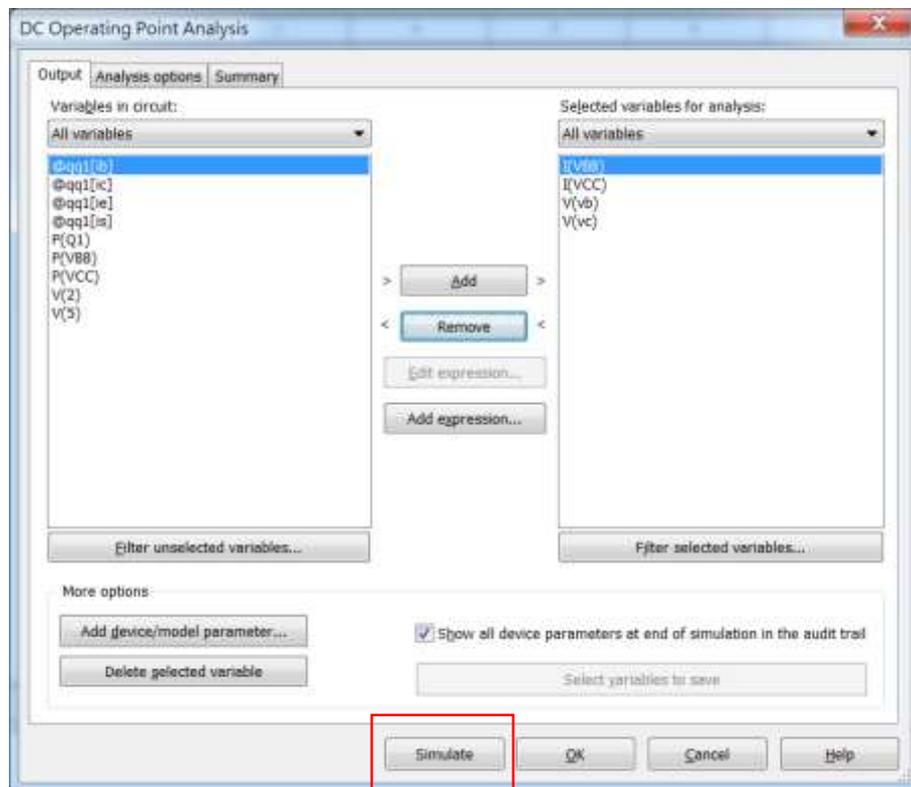
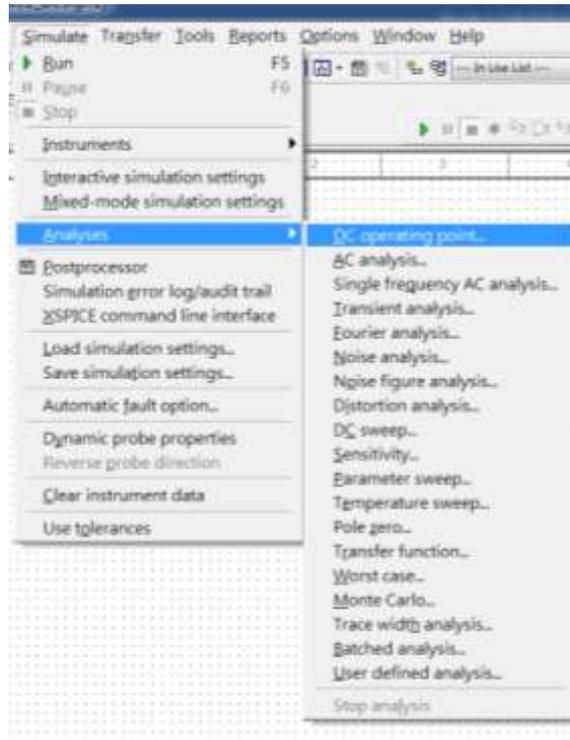
以下為 2SC945 參數表(datasheet)

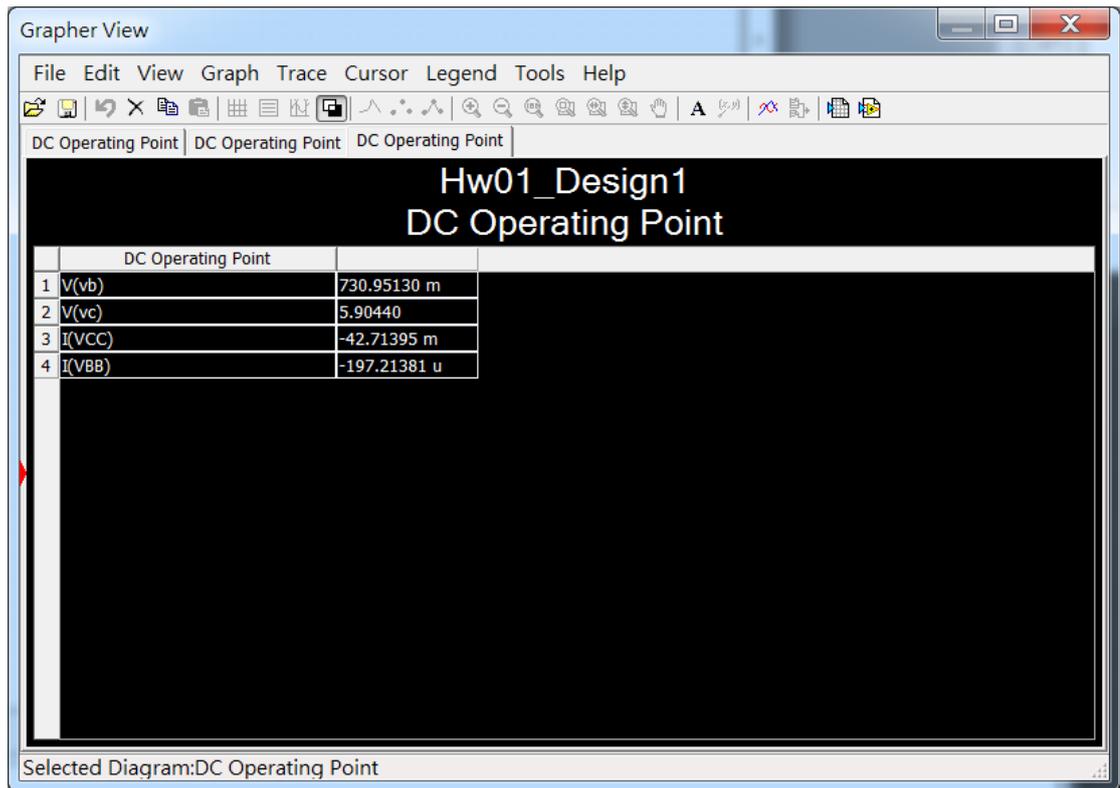
**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T<sub>a</sub> = 25 °C)**

SYMBOL	CHARACTERISTIC	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	TEST CONDITIONS
h <sub>FE1</sub>	DC Current Gain	50	185			V <sub>CE</sub> = 6.0 V, I <sub>C</sub> = 0.1 mA
h <sub>FE2</sub>	DC Current Gain	90	200	600		V <sub>CE</sub> = 6.0 V, I <sub>C</sub> = 1.0 mA
NF	Noise Figure		0.8	15	dB	V <sub>CE</sub> = 6.0 V, I <sub>C</sub> = 0.1 mA, R <sub>G</sub> = 2.0 kΩ, f = 1.0 kHz
f <sub>T</sub>	Gain Bandwidth Product	150	250	450	MHz	V <sub>CE</sub> = 6.0 V, I <sub>E</sub> = -10 mA
C <sub>ob</sub>	Collector to Base Capacitance		3.0	4.0	pF	V <sub>CB</sub> = 6.0 V, I <sub>E</sub> = 0, f = 1.0 MHz
I <sub>CBO</sub>	Collector Cutoff Current			100	nA	V <sub>CB</sub> = 6.0 V, I <sub>E</sub> = 0
I <sub>EBO</sub>	Emitter Cutoff Current			100	nA	V <sub>EB</sub> = 5.0 V, I <sub>C</sub> = 0
V <sub>BE</sub>	Base to Emitter Voltage	0.55	0.62	0.85	V	V <sub>CE</sub> = 6.0 V, I <sub>C</sub> = 1.0 mA
V <sub>CE(sat)</sub>	Collector Saturation Voltage		0.15	0.3	V	I <sub>C</sub> = 100 mA, I <sub>B</sub> = 10 mA
V <sub>BE(sat)</sub>	Base Saturation Voltage		0.86	1.0	V	I <sub>C</sub> = 100 mA, I <sub>B</sub> = 10 mA

- DC 分析設定

Simulate → Analyses → DC operating point





5-2: 請設計 BJT 電晶體偏壓電路，使得 (1)  $V_{CQ} \cong 0.5 V_{CC}$  ， (2)  $I_{BQ}$  、  $I_{CQ} = ?$