

滿足電晶體開關電路的條件：

- 1.開關OFF時，電晶體必須截止
- 2.開關ON時，電晶體必須飽和

使電晶體工作於主動區的條件：

$$I_B \times \beta = I_C$$

使電晶體工作於飽和區的條件：

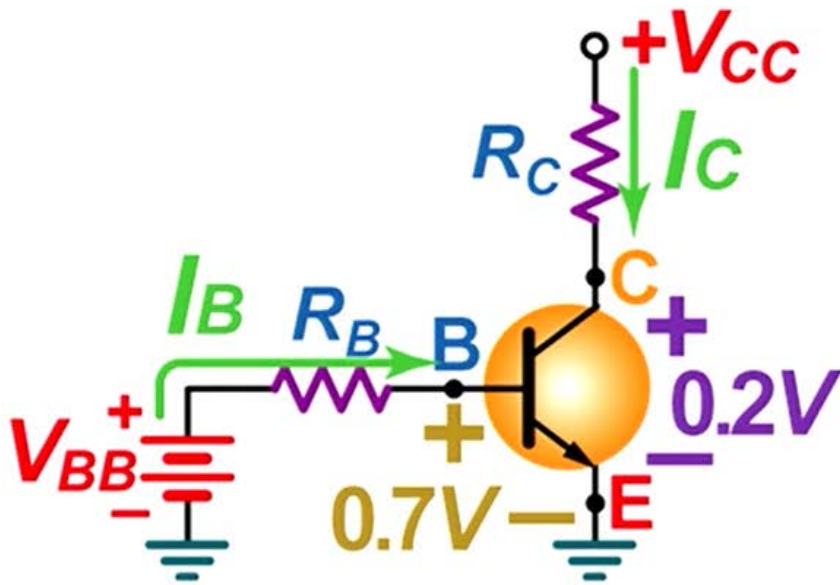
$$I_B \times \beta \geq I_{C(sat)}$$

電晶體飽和的現象

$$V_{BE} = V_{BE(sat)} = +0.7 V$$

$$V_{CE} = V_{CE(sat)} = +0.2 V$$

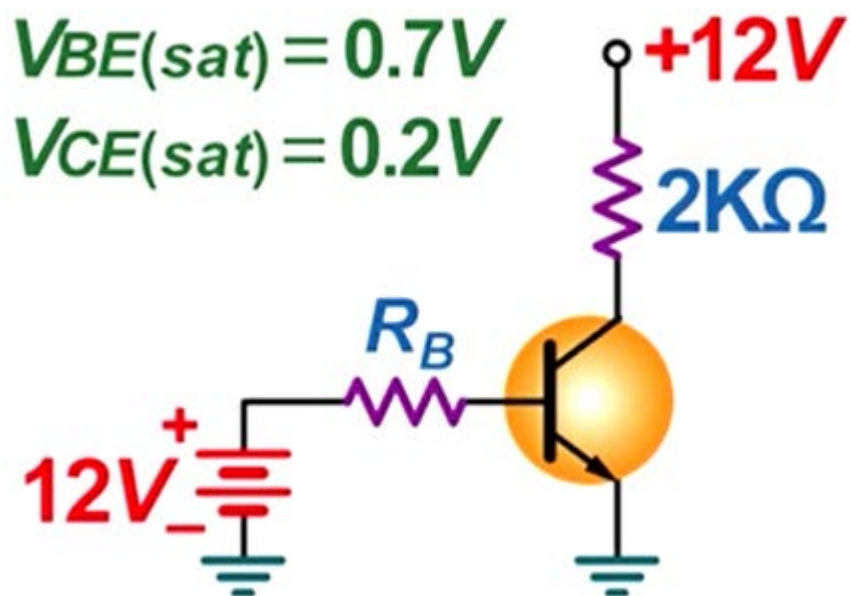
電晶體飽和時的電流計算



$$I_B = \frac{V_{BB} - 0.7V}{R_B}$$

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - 0.2V}{R_C}$$

有一電晶體開關電路如下圖，已知電晶體的 $\beta = 100$ ，試求使電路正常動作的 R_B 電阻範圍



【解析】

$$\text{條件： } I_B \times \beta \geq I_C(\text{sat})$$

$$I_B = \frac{12V - 0.7V}{R_B}$$

$$I_C(\text{sat}) = \frac{12V - 0.2V}{2K\Omega}$$

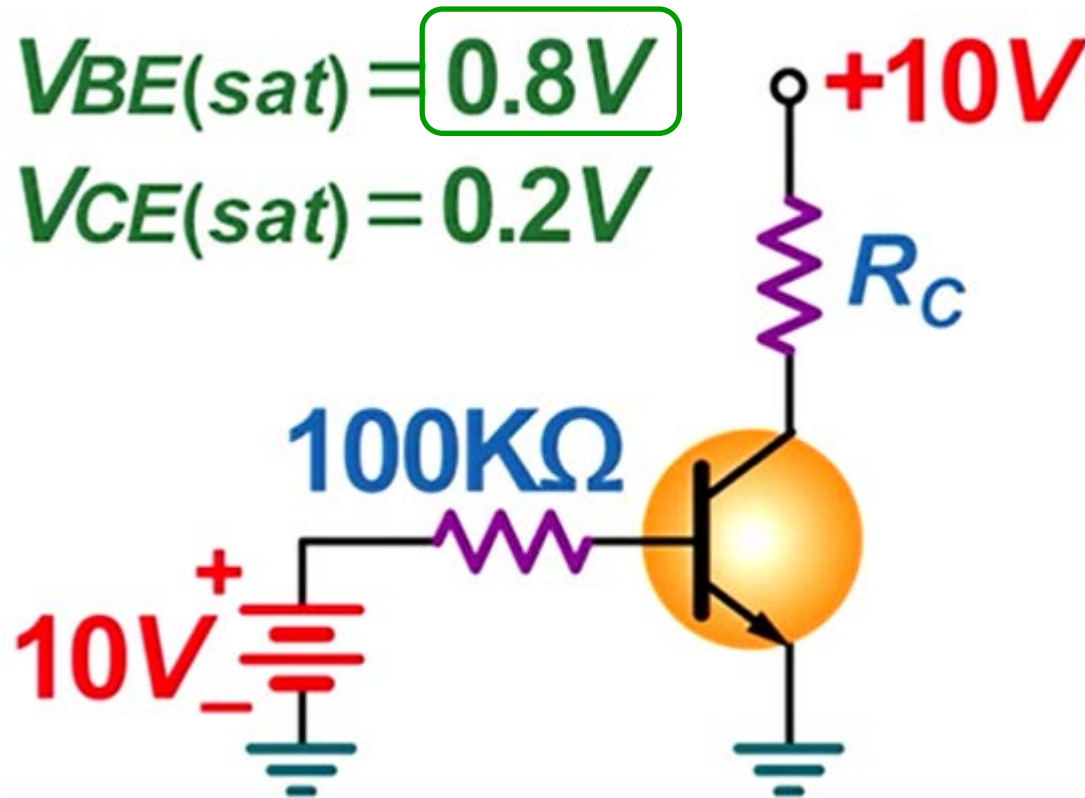
$$I_B \times \beta \geq I_C(\text{sat})$$

$$\frac{12V - 0.7V}{R_B} \times 100 \geq \frac{12V - 0.2V}{2K\Omega}$$

$$\frac{11.3V}{R_B} \times 100 \geq 5.9mA$$

$$R_B \leq 191.53K\Omega$$

有一電晶體開關電路如下圖，已知電晶體的 $\beta = 80$ ，試求使電路正常動作的 R_C 電阻範圍



【解析】

$$I_B \times \beta \geq I_C(\text{sat})$$

$$\frac{10V - 0.8V}{100K\Omega} \times 80 \geq \frac{10V - 0.2V}{R_C}$$

$$92\mu A \times 80 \geq \frac{9.8V}{R_C}$$

$$R_C \geq 1.33K\Omega$$

改善開關電路進入飽和的方法

飽和條件： $I_B \times \beta \geq I_C(\text{sat})$

$$\frac{V_{BB} - 0.7V}{R_B} \times \beta \geq \frac{V_{CC} - 0.2V}{R_C}$$

V_{BB}	R_B	β	V_{CC}	R_C
增加	減小	增加	減小	增加

感測材料與節能應用實務

(MS_41160)

(Sensor Materials and Practices in Energy Conservation Applications)

陳怡嘉
Yijia Chen Ph.D.

Materials Science and Engineering, NDHU

Engineering Building II, C109 and
Stone & Resource Industry R&D Center

9:10-12:00
Fall, 2019

電晶體直流偏壓電路

DC Analysis of BJT Circuits



雙極性接面電晶體

https://www.youtube.com/watch?v=upe1T1023yo&list=PLI6pJZaOCTf3BGm_O2f4Xy2La0zJ4-4Ij

1. 雙極性電晶體的構造與特性
2. 電晶體之工作原理
3. 電晶體組態簡介
4. 電晶體之放大作用
5. 電晶體之開關作用

高中 陳以熙 電子學 I Unit 4 1 雙極性電晶體的構造及特性 PART A 1080 0511

https://www.youtube.com/watch?v=upe1T1023yo&list=PLI6pJZaOCTf3BGm_O2f4Xy2La0zJ4-4Ij&index=1

高中 陳以熙 電子學 I Unit 4 1 雙極性電晶體的構造及特性 PART B 1080 0511

https://www.youtube.com/watch?v=Z-5OX1vwMPi&list=PLI6pJZaOCTf3BGm_O2f4Xy2La0zJ4-4Ij&index=2

電晶體直流偏壓電路

<https://www.youtube.com/watch?v=05MUfRPWz4&list=PLI6pJZaOCTf380WwFNujVyF2MRUYaJTrz>

1. 直流工作點
2. 固定偏壓電路
3. 回授偏壓電路
4. 分壓偏壓電路

高中 陳以熙 電子學 I Unit 5 2 固定偏壓電路 PART A 1080 0512

<https://www.youtube.com/watch?v=GGwRuDQMSRc&list=PLI6pJZaOCTf380WwFNujVyF2MRUYaJTrz&index=5>

高中 陳以熙 電子學 I Unit 5 3 1 射極回授偏壓電路 PART A 1080 0511

https://www.youtube.com/watch?v=gXE7JSY_z4&list=PLI6pJZaOCTf380WwFNujVyF2MRUYaJTrz&index=8

高中 陳以熙 電子學 I Unit 5 3 1 射極回授偏壓電路 PART B 1080 0511

<https://www.youtube.com/watch?v=cW9T9ptFzYY&list=PLI6pJZaOCTf380WwFNujVyF2MRUYaJTrz&index=9>

高中 陳以熙 電子學 I Unit 5 3 2 集極回授偏壓電路 PART A 1080 0511

<https://www.youtube.com/watch?v=9JDJl6dJLvi&list=PLI6pJZaOCTf380WwFNujVyF2MRUYaJTrz&index=11>

電晶體放大電路

<https://www.youtube.com/watch?v=7AXftiXHofs&list=PLI6pJZaOCTf1atmje9dshKLYw7AZz8VNw>

1. 電晶體放大器工作原理
2. 電晶體交流等效電路
3. 共射極放大電路
4. 共集極放大電路
5. 共基極放大電路

高工 陳以熙 電子學 電晶體放大電路 共射極放大電路 PART A 1080 0206

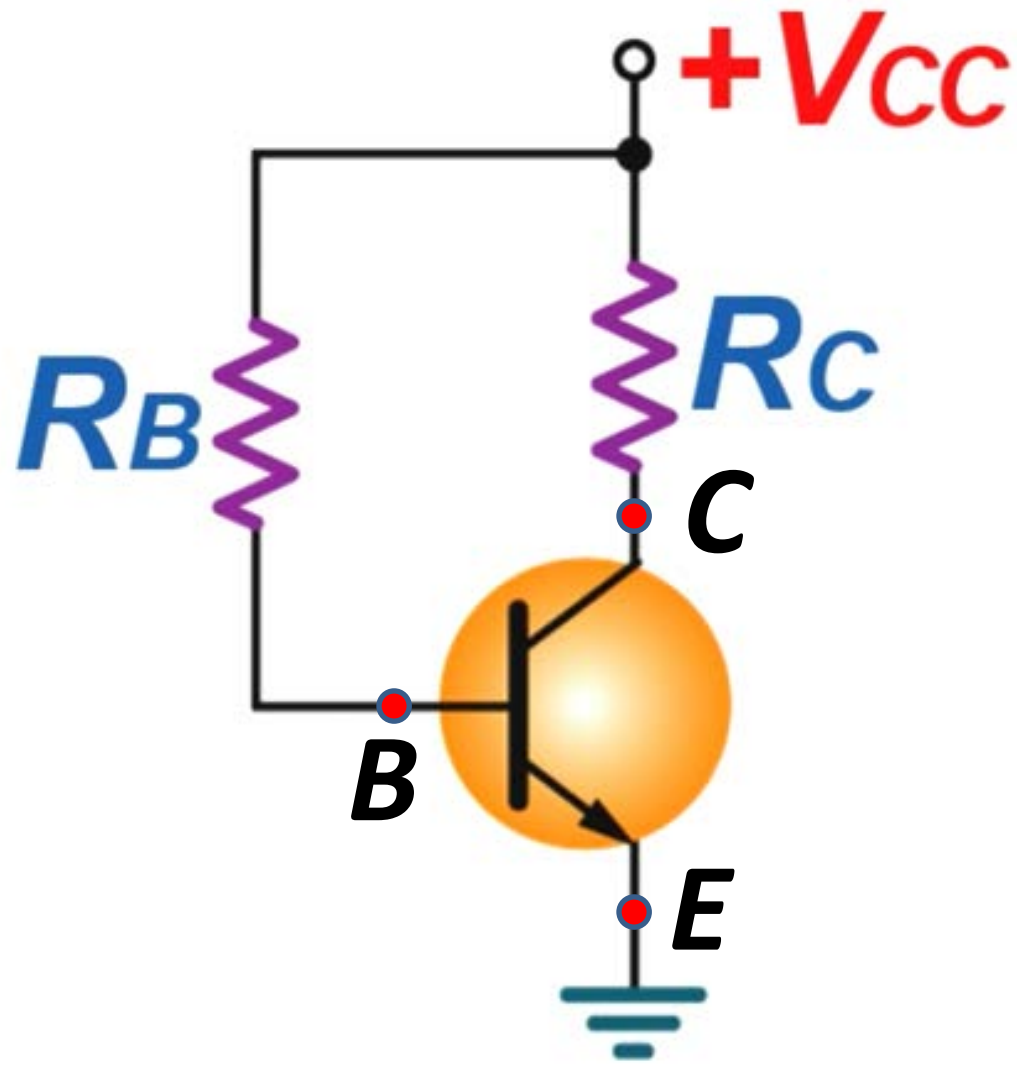
<https://www.youtube.com/watch?v=I0xCPI7LeaU&list=PLI6pJZaOCTf1atmje9dshKLYw7AZz8VNw&index=5>

高工 陳以熙 電子學 電晶體放大電路 共集極放大電路 PART A 1080 0206

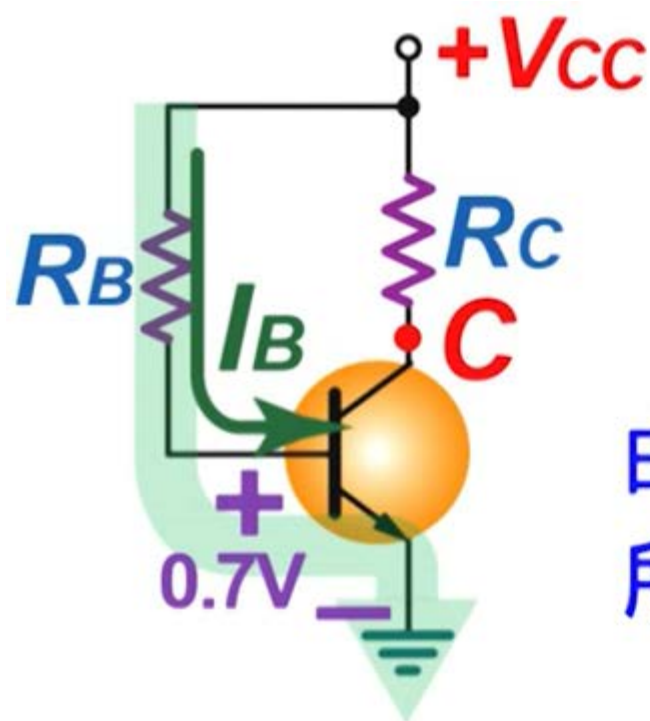
https://www.youtube.com/watch?v=KHAPa_QXkkc&list=PLI6pJZaOCTf1atmje9dshKLYw7AZz8VNw&index=13

固定偏壓電路

輸入、輸出方程式



輸入方程式

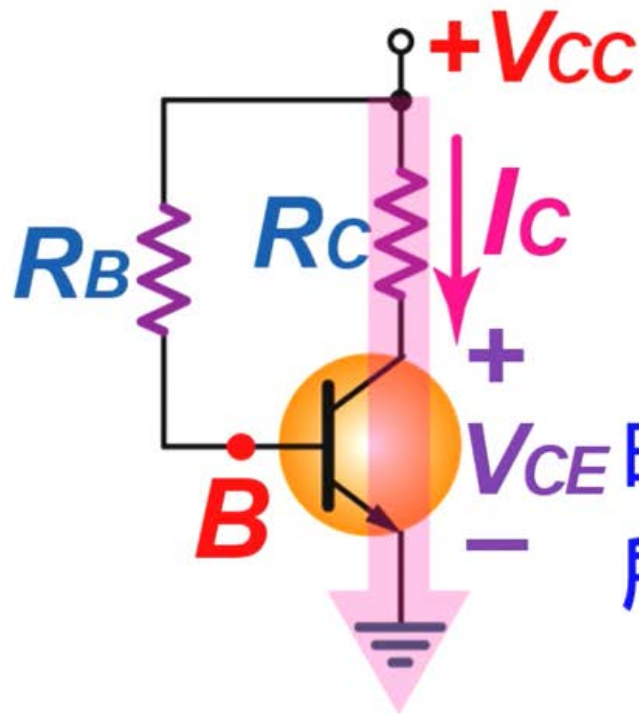


輸入方程式

$$V_{CC} = I_B \times R_B + 0.7V$$

由不包含集極(C極)的電壓迴路所列的電壓方程式

輸出方程式

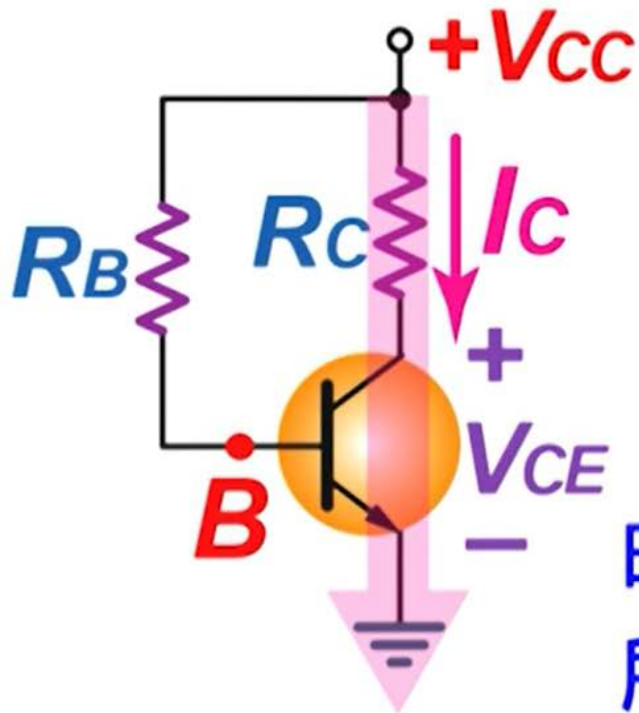


輸出方程式

$$V_{CC} = I_C \times R_C + V_{CE}$$

由不包含基極(B極)的電壓迴路
所列的電壓方程式

求 V_{CC}



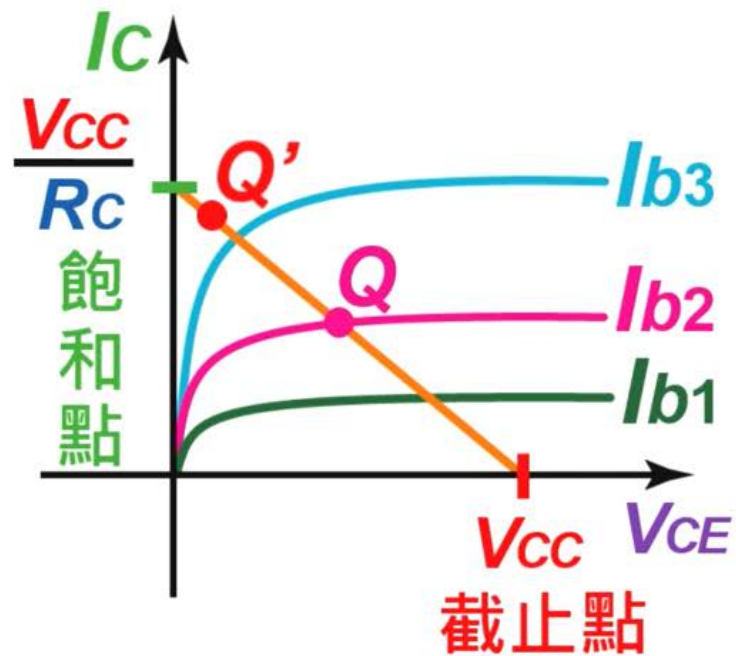
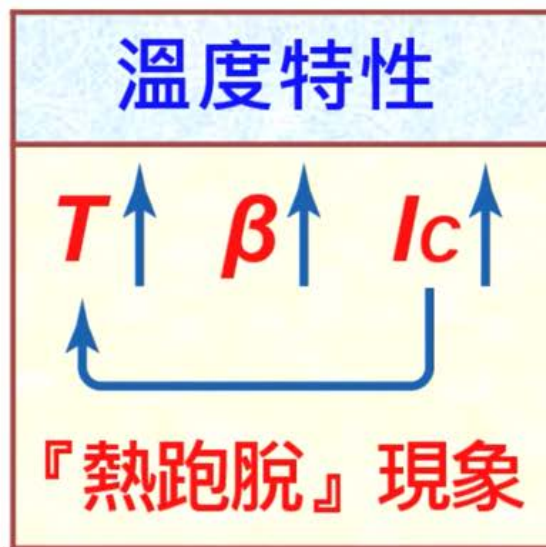
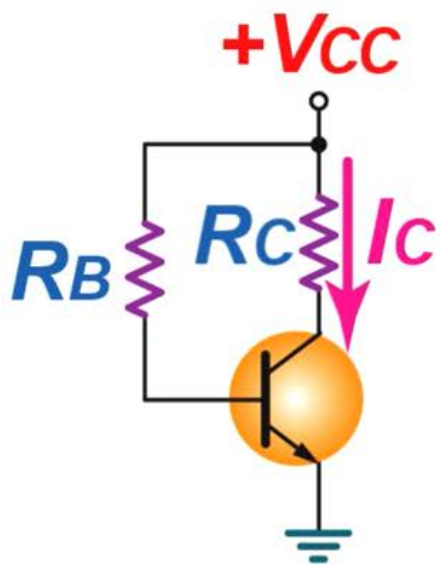
輸出方程式

$$V_{CC} = I_C \times R_C + V_{CE}$$

$$I_C = I_B \times \beta$$

由不包含基極(B極)的電壓迴路
所列的電壓方程式

『熱跑脫』現象

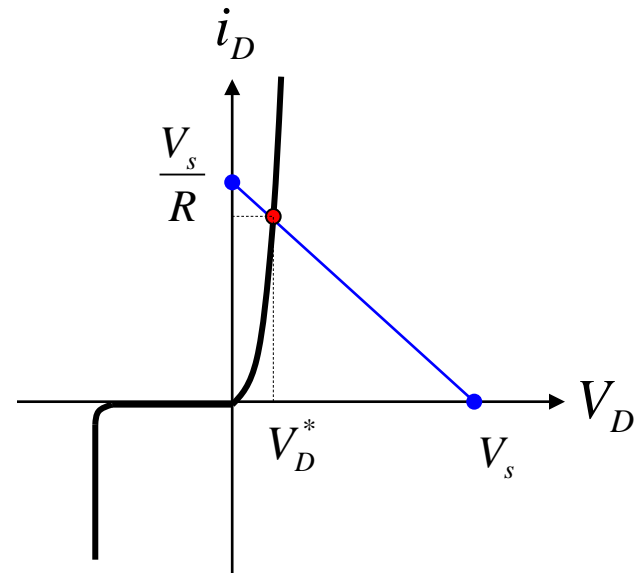
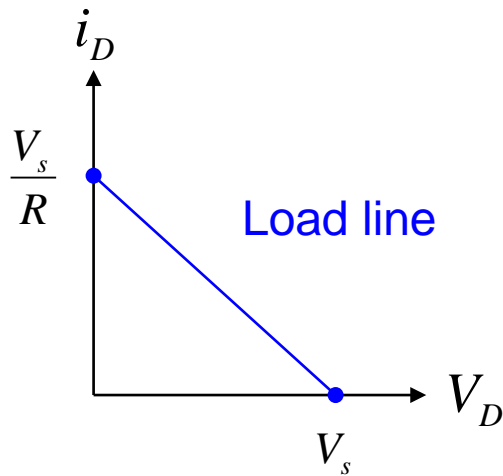
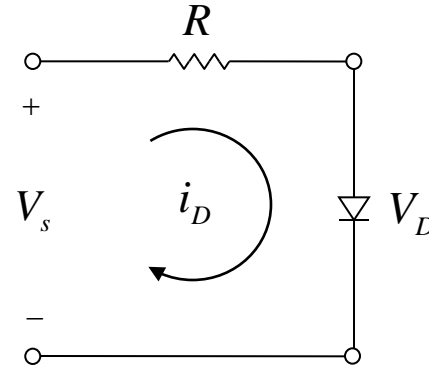


$$V_{CC} = V_{CE} + I_C R_C$$

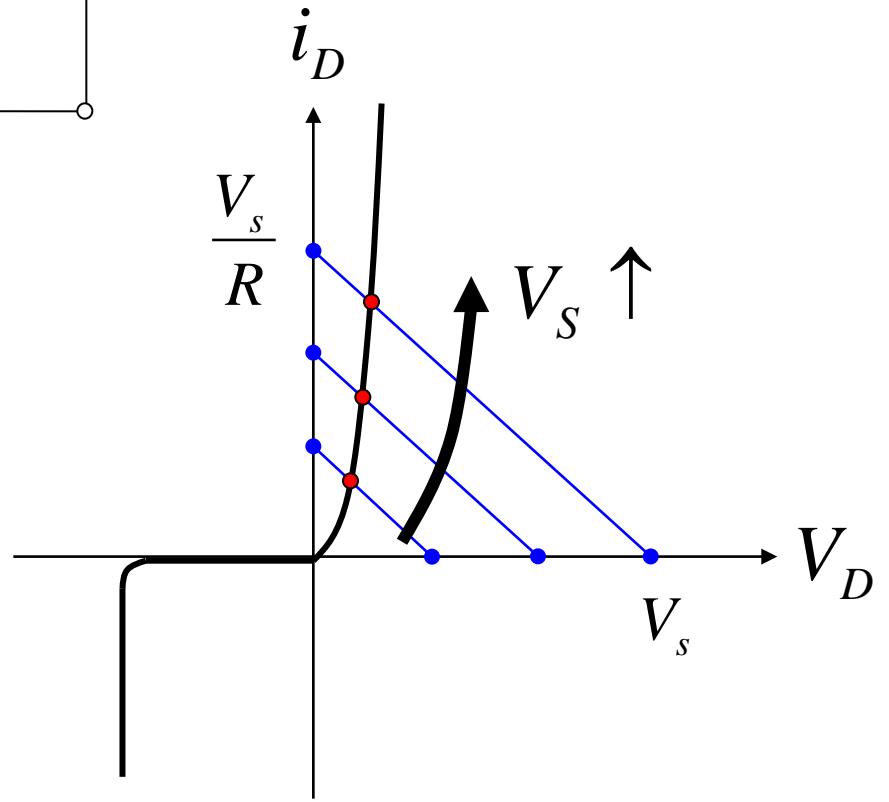
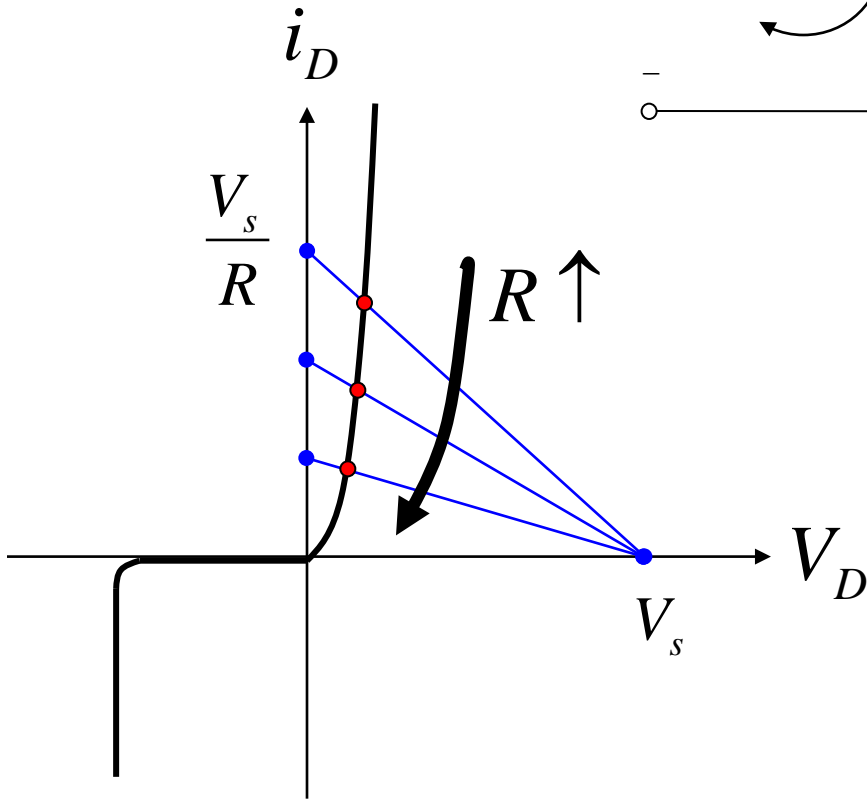
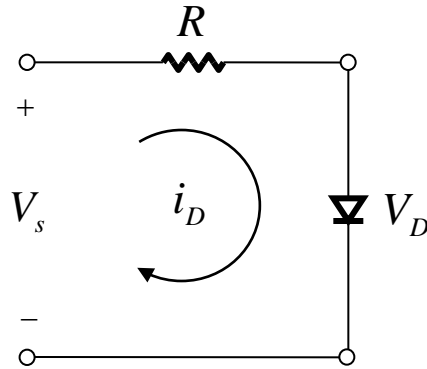
Load Line at Forward Bias

$$V_s = i_D R + V_D$$

$$i_D = \frac{V_s - V_D}{R}$$



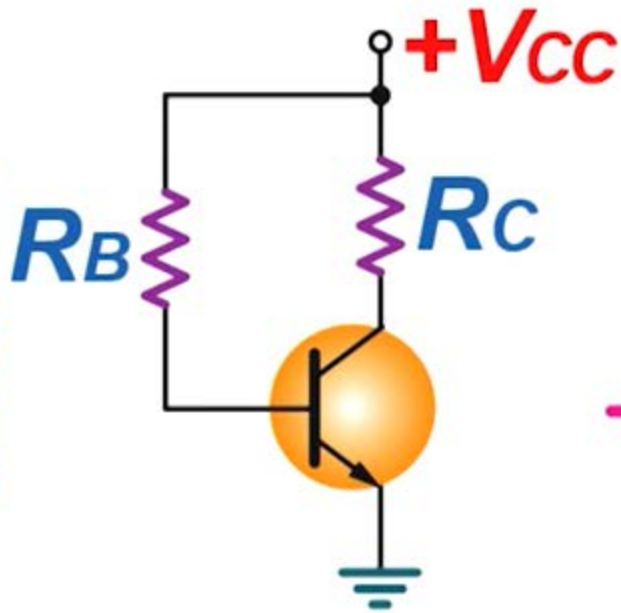
Load Line at Forward Bias



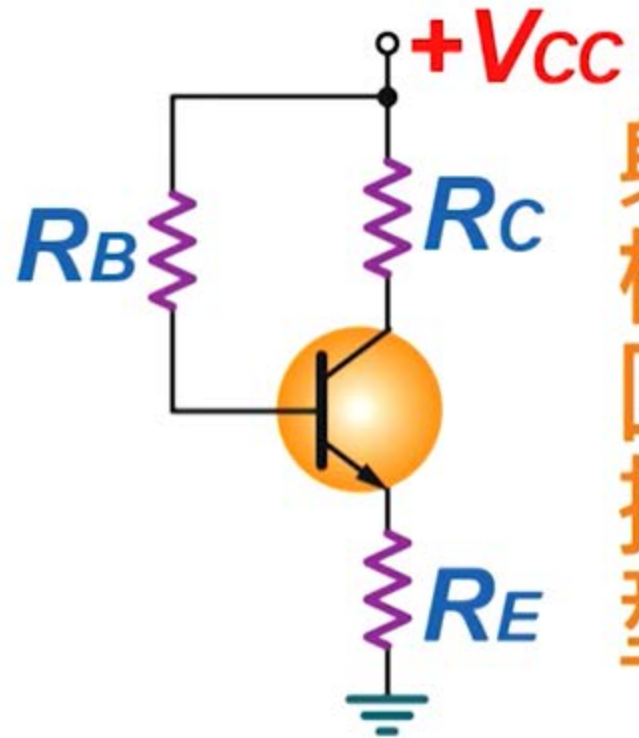
射極回授偏壓電路

射極回授電路

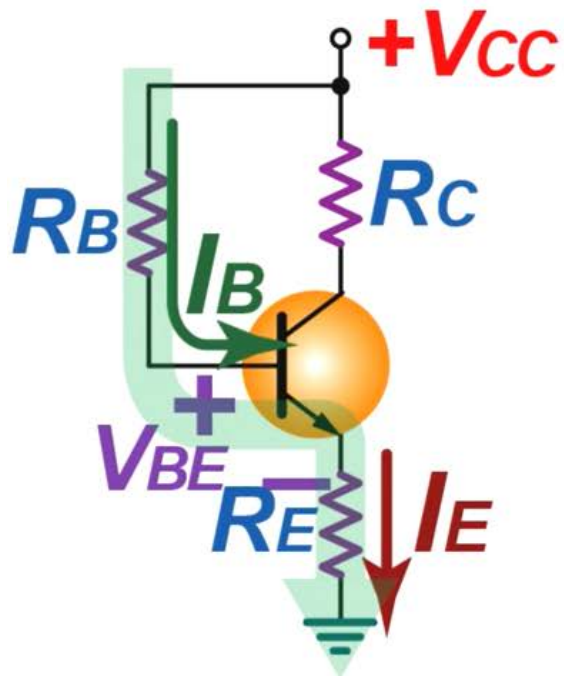
固定型



射極回授型



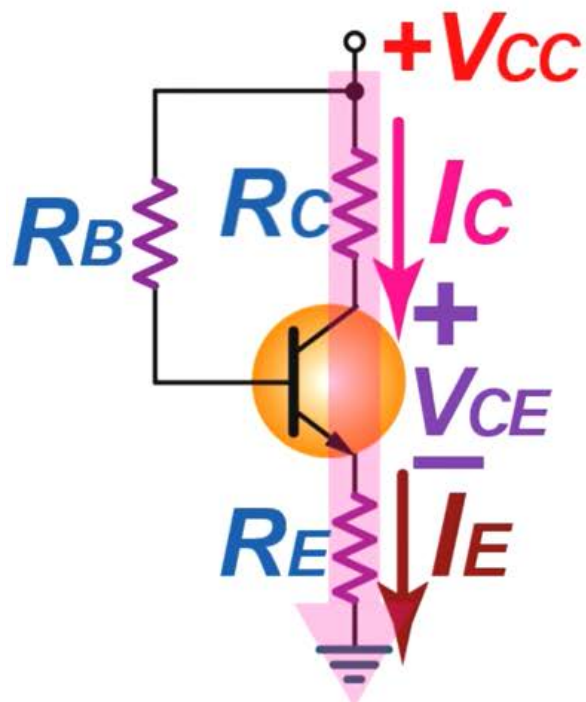
輸入方程式



輸入方程式

$$V_{CC} = I_B \times R_B + V_{BE} + I_E \times R_E$$

輸出方程式



輸出方程式

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

從輸入方程式求 I_B

輸入方程式： $V_{CC} = I_B \times R_B + V_{BE} + I_E \times R_E$

$V_{CC} = I_B \times R_B + V_{BE} + I_B \times (1 + \beta) \times R_E$

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

從輸入方程式求 I_E

輸入方程式： $V_{CC} = I_B \times R_B + V_{BE} + I_E \times R_E$

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

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

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

從輸入方程式得到 I_B 及 I_E

$$V_{CC} = I_B \times R_B + V_{BE} + I_E \times R_E$$

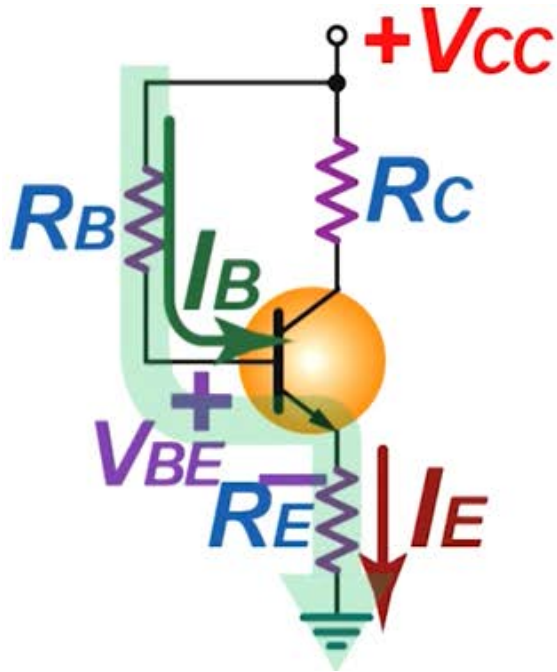
求 I_B

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

求 I_E

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

I_B 及 I_E 公式

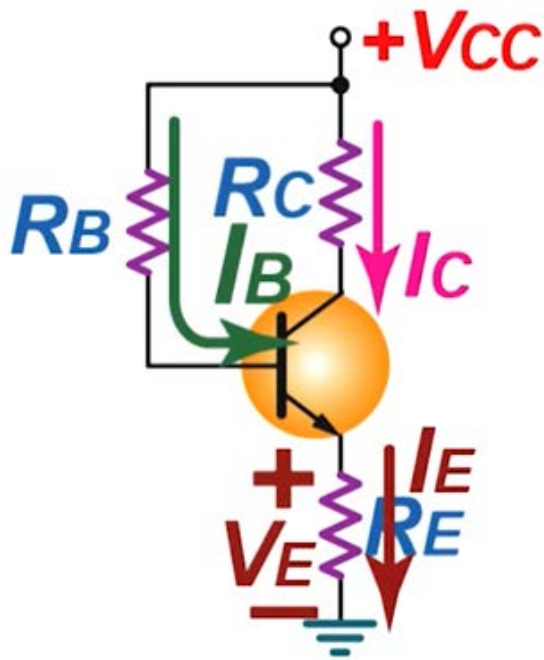


求 I_B	R_B 值維持不變
	R_E 值調整為： $R_E \times (1 + \beta)$
求 I_E	R_E 值維持不變
	R_B 值調整為： $\frac{R_B}{(1 + \beta)}$

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

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

溫度特性



$T \uparrow \quad \beta \uparrow \quad I_C \uparrow \quad I_E \uparrow \quad V_E \uparrow \quad I_B \downarrow$

$$V_E = I_E \times R_E$$

$$V_{CC} = I_B \times R_B + V_{BE} + I_E \times R_E$$

V_E

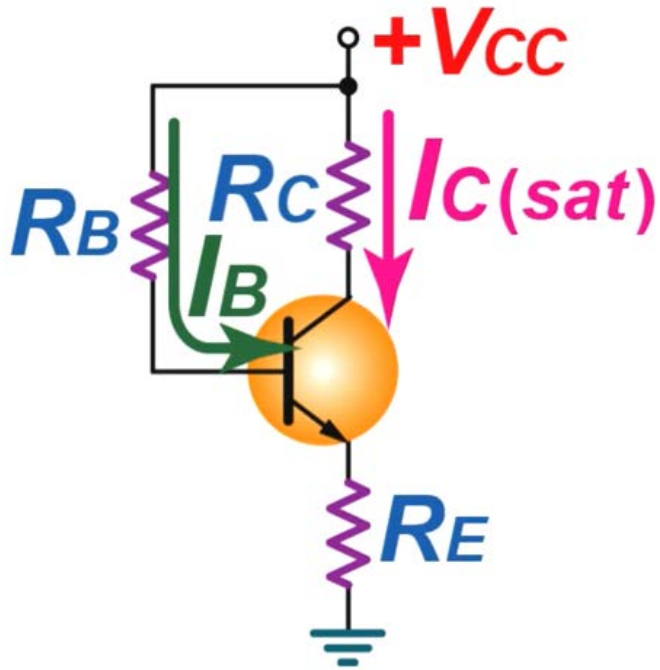
$T \uparrow \quad \beta \uparrow \quad I_C \uparrow \quad I_E \uparrow \quad V_E \uparrow \quad I_B \downarrow \quad I_C \downarrow$



平衡

功用：當電晶體工作溫度上升時，穩定Q點。

飽和條件



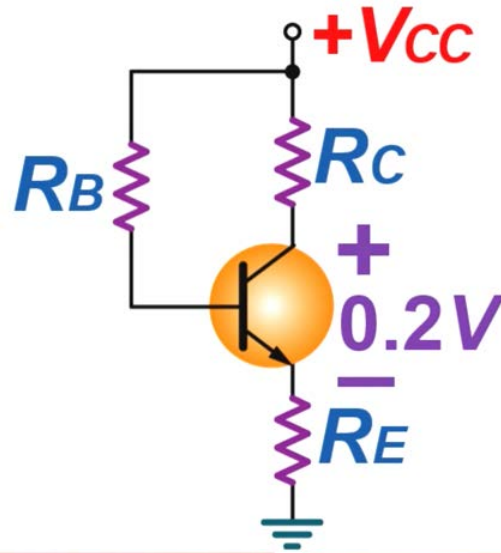
飽和條件-1

$$V_{CE} = V_{CE}(sat) = 0.2V$$

飽和條件-2

$$I_B \times \beta \geq I_C(sat)$$

飽和條件



飽和條件-1

$$V_{CE} = V_{CE(sat)} = 0.2V$$

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - 0.2V}{R_C + R_E}$$

飽和條件-2

$$I_B \times \beta \geq I_{C(sat)}$$

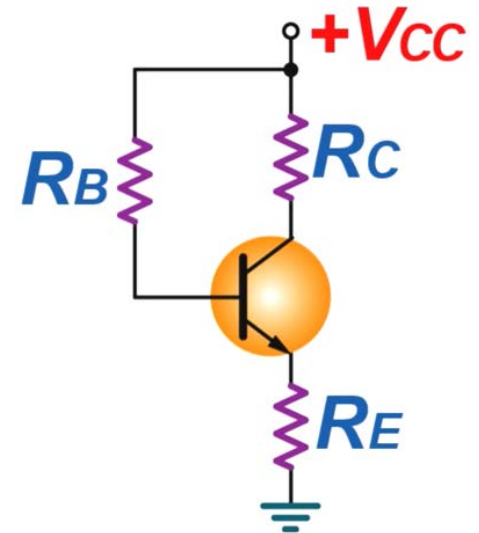
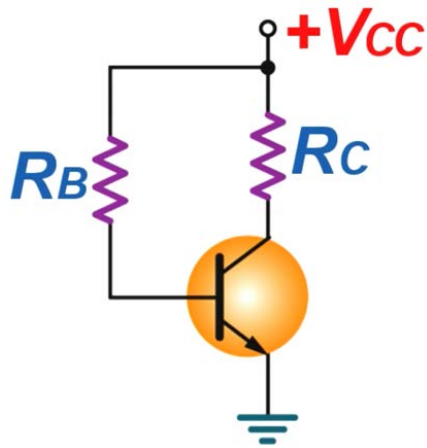
$$I_B = \frac{V_{CC} - 0.7V}{R_B + R_E \times (1 + \beta)}$$

飽和條件

$$\frac{V_{CC} - 0.7V}{R_B + R_E \times (1 + \beta)} \times \beta \geq \frac{V_{CC} - 0.2V}{R_C + R_E}$$

$$\beta \geq \frac{R_B + R_E \times (1 + \beta)}{R_C + R_E}$$

飽和條件



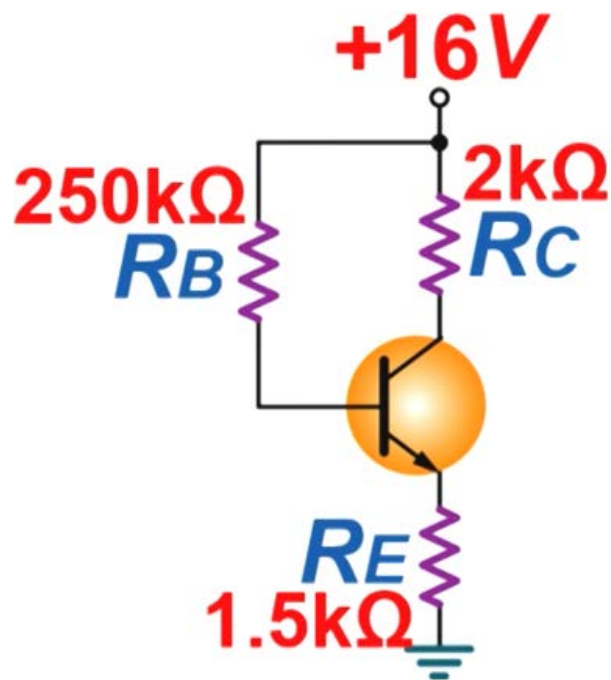
固定型偏壓

$$\beta \geq \frac{R_B}{R_C}$$

射極回授型偏壓

$$\beta \geq \frac{R_B + R_E \times (1 + \beta)}{R_C + R_E}$$

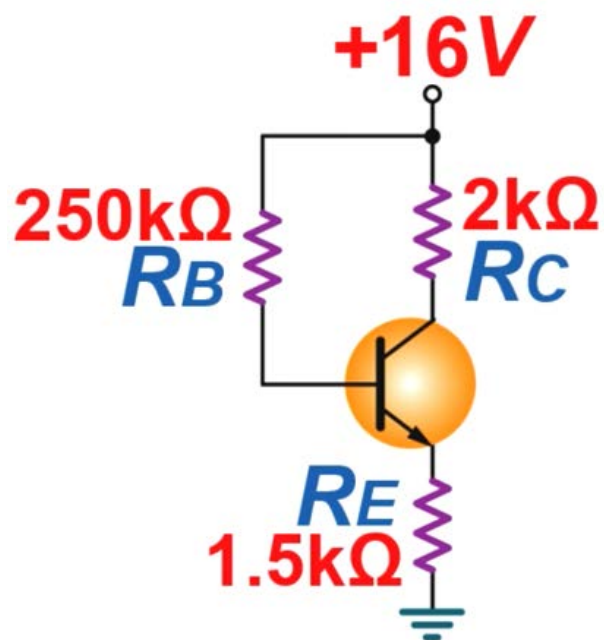
飽和條件範例



如左圖偏壓電路，已知 R_B 電阻為 $250\text{k}\Omega$ ， R_C 電阻為 $2\text{k}\Omega$ ， R_E 電阻為 $1.5\text{k}\Omega$ ，試問欲使該電晶體飽和， β 值至少為下列何者？

- (A) 100 (B) 120 (C) 160 (D) 180

【解析】



飽和條件：

$$\beta \geq \frac{R_B + R_E \times (1 + \beta)}{R_C + R_E}$$

$$\beta \geq \frac{250\text{k}\Omega + 1.5\text{k}\Omega \times \beta}{2\text{k}\Omega + 1.5\text{k}\Omega}$$

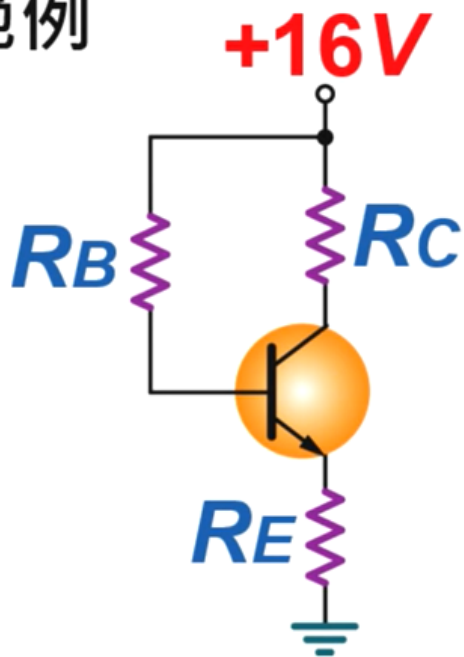
$$3.5 \times \beta \geq 250 + 1.5 \times \beta$$

$$2 \times \beta \geq 250$$

$$\beta \geq 125$$

飽和條件範例答案

範例



如左圖偏壓電路，已知 R_B 電阻為 $250\text{k}\Omega$ ， R_C 電阻為 $2\text{k}\Omega$ ， R_E 電阻為 $1.5\text{k}\Omega$ ，試問欲使該電晶體飽和， β 值至少為下列何者？

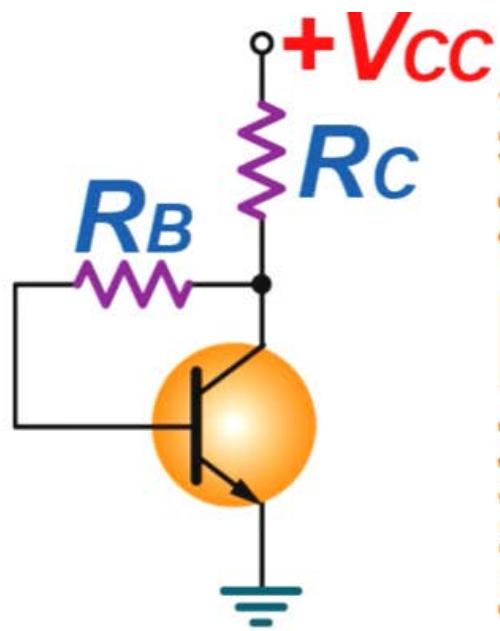
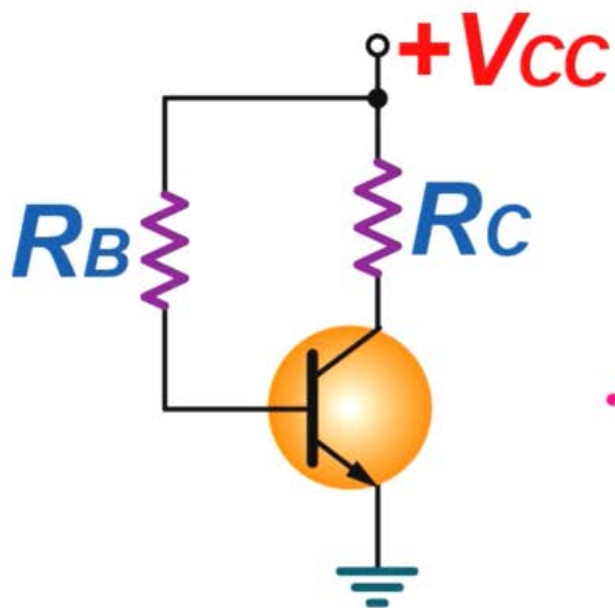
- (A) 100 (B) 120 (C) 160 (D) 180

$$\beta \geq 125$$

答案選(C)

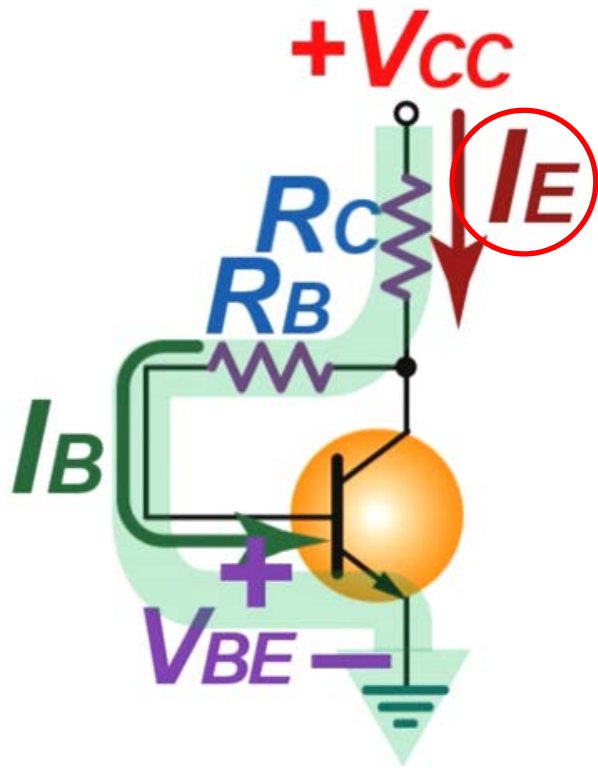
集極回授偏壓電路

固定型



集極回授型

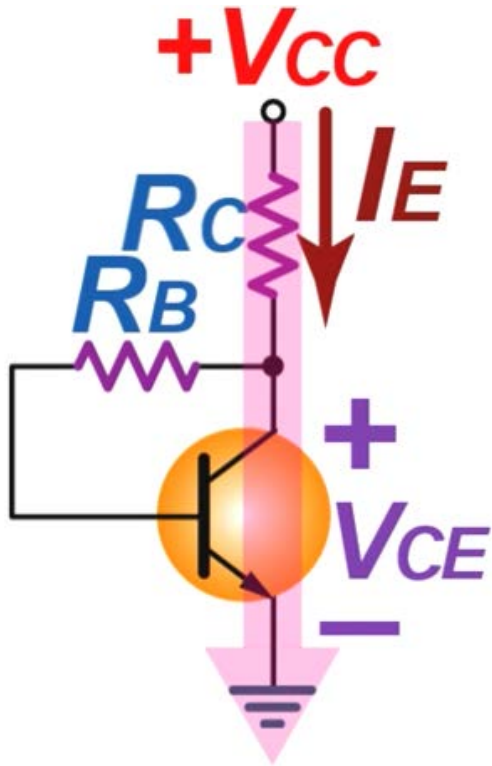
輸入方程式



輸入方程式

$$V_{CC} = I_E \times R_C + I_B \times R_B + V_{BE}$$

輸出方程式



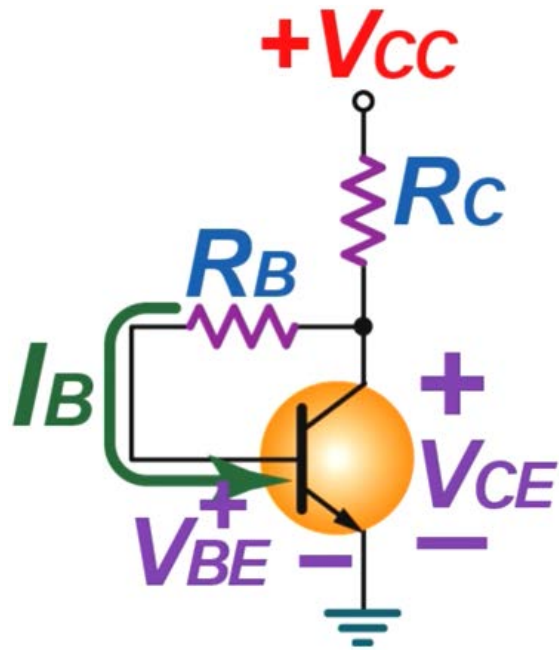
輸出方程式

$$V_{CC} = I_E \times R_C + V_{CE}$$

從輸入輸出方程式得到的等式

輸入方程式： $V_{CC} = I_E \times R_C + \boxed{I_B \times R_B + V_{BE}}$

輸出方程式： $V_{CC} = I_E \times R_C + \boxed{V_{CE}}$



$$V_{CE} = I_B \times R_B + V_{BE}$$

從輸入方程式求 I_B

輸入方程式： $V_{CC} = I_E \times R_C + I_B \times R_B + V_{BE}$

$$V_{CC} = I_B \times (1 + \beta) \times R_C + I_B \times R_B + V_{BE}$$

$$V_{CC} - V_{BE} = I_B \times (R_B + R_C \times (1 + \beta))$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + R_C \times (1 + \beta)}$$

從輸入方程式求 I_E

輸入方程式： $V_{CC} = I_E \times R_C + I_B \times R_B + V_{BE}$

$$V_{CC} = I_E \times R_C + \frac{I_E}{(1+\beta)} \times R_B + V_{BE}$$

$$V_{CC} - V_{BE} = I_E \times \left(R_C + \frac{R_B}{(1+\beta)} \right)$$

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

從輸入方程式得到 I_B 及 I_E

$$V_{CC} = I_E \times R_C + I_B \times R_B + V_{BE}$$

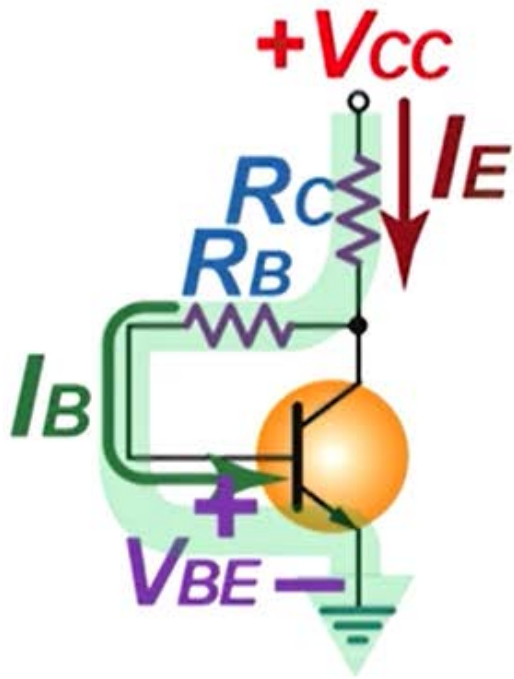
求 I_B

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + R_C \times (1 + \beta)}$$

求 I_E 、 I_C

$$I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\left(R_C + \frac{R_B}{(1 + \beta)} \right)}$$

I_B 及 I_E 公式

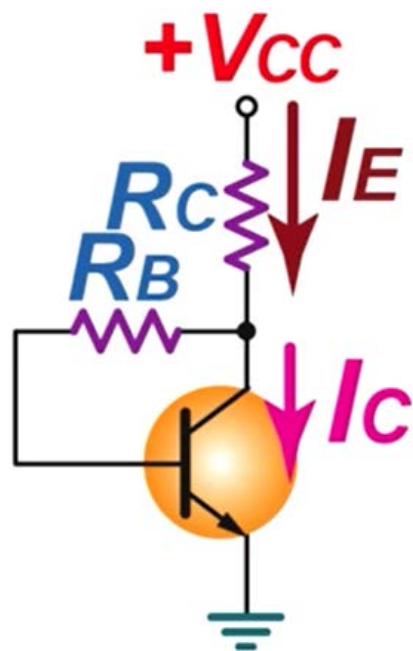


求 I_B	R_B 值維持不變
	R_C 值調整為： $R_C \times (1 + \beta)$
求 I_E	R_C 值維持不變
	R_B 值調整為： $\frac{R_B}{(1 + \beta)}$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + R_C \times (1 + \beta)}$$

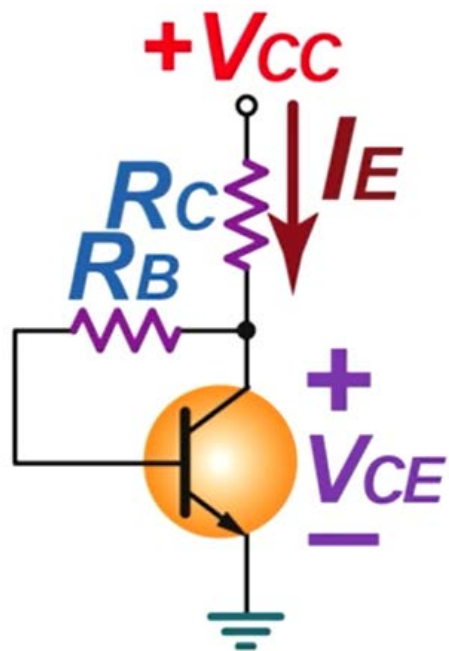
$$I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\left(R_C + \frac{R_B}{(1 + \beta)} \right)}$$

溫度特性



$T \uparrow$ $\beta \uparrow$ $I_C \uparrow$ $I_E \uparrow$

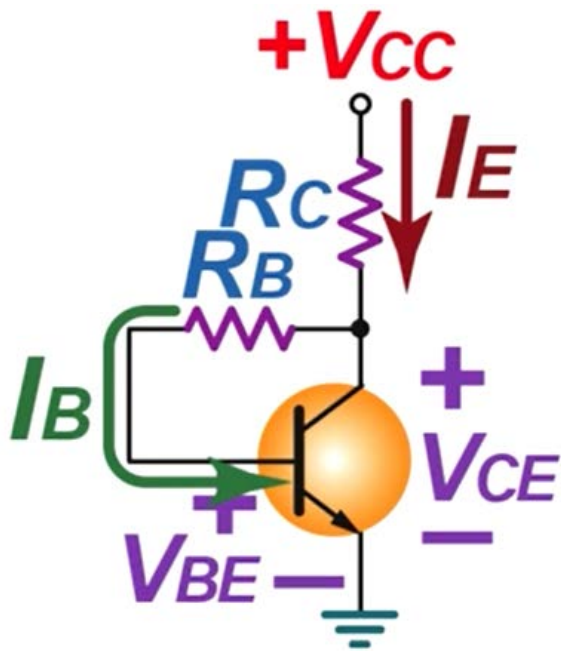
溫度特性



$$T \uparrow \quad \beta \uparrow \quad I_C \uparrow \quad I_E \uparrow \quad V_{CE} \downarrow$$

$$V_{CC} = I_E \times R_C + V_{CE}$$

溫度特性



$$T \uparrow \quad \beta \uparrow \quad I_C \uparrow \quad I_E \uparrow \quad V_{CE} \downarrow \quad I_B \downarrow$$

$$V_{CE} = I_B \times R_B + V_{BE}$$

溫度特性

