

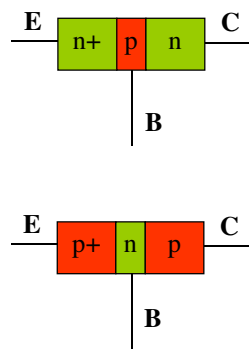
Chương 3

**TRANSISTOR LƯƠNG CỰC (Bipolar Junction Transistor-BJT)**

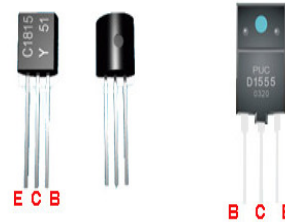
**3.1 Giới thiệu**

BJT là một loại linh kiện bán dẫn 3 cực có khả năng khuếch đại tín hiệu hoặc hoạt động như một khóa đóng mở, rất thông dụng trong ngành điện tử.

**Cấu tạo và hình dáng**

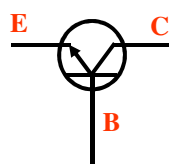
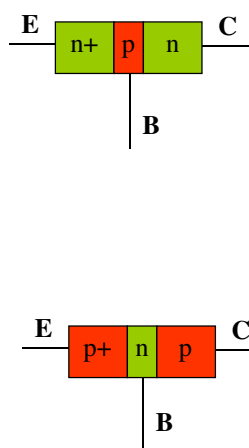


E: Emitter  
C: Collector  
B: Base

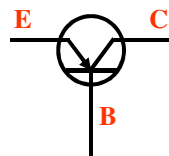
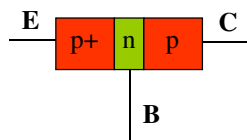
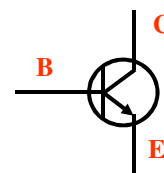


Hình dáng BJT

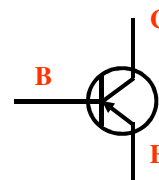
**Ký hiệu của BJT**



BJT loại NPN



BJT loại PNP



### 3.2 Chế độ làm việc của BJT

Tùy theo cách phân cực cho transistor mà transistor sẽ có các chế độ làm việc khác nhau. Transistor có 3 chế độ làm việc cơ bản:

**Chế độ khuếch đại:**  $J_E$  phân cực thuận và  $J_C$  phân cực ngược.

-  $J_E$ : tiếp xúc PN giữa cực phát (E) và cực nền (B).

-  $J_C$ : tiếp xúc PN giữa cực thu (C) và cực nền (B).

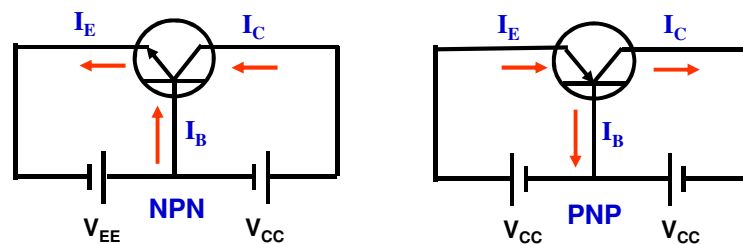
**Chế độ khóa (hay đóng mở):** cả 2 chuyển tiếp  $J_E$  và  $J_C$  đều được phân cực ngược.

**Chế độ dẫn bão hòa:** cả 2 chuyển tiếp  $J_E$  và  $J_C$  đều được phân cực thuận.

3

#### \* Chế độ khuếch đại

##### Quy ước về dòng trong BJT



Theo định luật Kirchoff:

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_C = I_{C(INJ)} + I_{CBO}$$

Định nghĩa thông số  $\alpha$ :  $\alpha = \frac{I_{C(INJ)}}{I_E} \Rightarrow I_C = \alpha I_E + I_{CBO}$

Vì  $I_{CBO}$  rất nhỏ, có thể bỏ qua:  $\alpha \approx \frac{I_C}{I_E}$

4

**Ví dụ**

Dòng cực phát của một transistor NPN là 8.4 mA . Nếu hạt dẫn bị tái hợp trong miền nền và dòng rò là 0.8%. Tìm:

- Dòng base  $I_B$ .
- Dòng collector  $I_C$ .
- Giá trị chính xác của  $\alpha$  và giá trị xấp xỉ của  $\alpha$  khi bỏ qua dòng rò.

**Hướng dẫn**

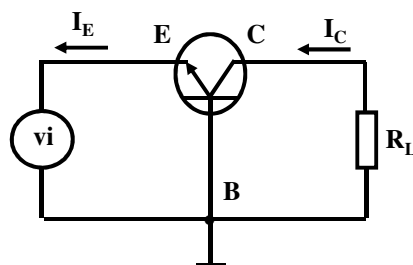
- $I_B = 0.8 \% I_E$
- $I_C = I_E - I_B$
- $I_{C(INJ)} = I_C - I_{CBO} \Rightarrow \alpha = I_{C(INJ)} / I_E$   
Nếu bỏ qua  $I_{CBO}$ :  $\alpha = I_C / I_E$

5

**3.3 Ba sơ đồ cơ bản của BJT****3.3.1 Mạch B chung (Common Base – CB)**

Cực B là cực chung cho mạch vào và ra.

- Dòng điện ngõ vào là dòng  $I_E$ .
- Dòng ngõ ra là dòng  $I_C$ .
- Điện áp ngõ vào là  $V_{EB}$ .
- Điện áp ngõ ra là  $V_{CB}$ .

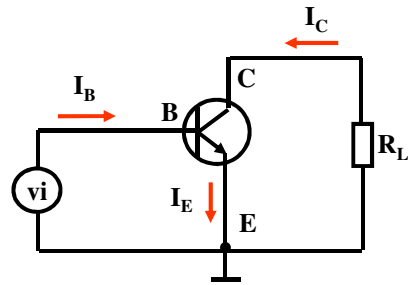
**Mạch CB đơn giản hóa**

6

### 3.3.2 Mạch E chung (Common Emitter – CE)

Cực E là cực chung cho mạch vào và ra.

- Dòng điện ngõ vào là dòng  $I_B$ .
- Dòng ngõ ra là dòng  $I_C$ .
- Điện áp ngõ vào là  $V_{BE}$ .
- Điện áp ngõ ra là  $V_{CE}$ .



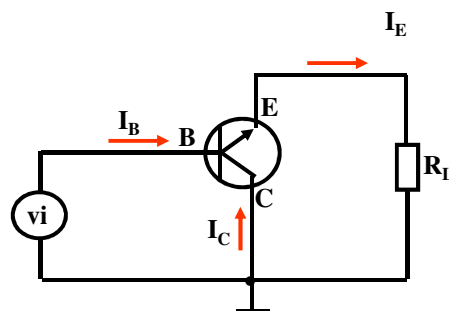
*Mạch CE đơn giản hóa*

7

### 3.3.3 Mạch C chung (Common Collector – CC)

Cực C là cực chung cho mạch vào và ra.

- Dòng điện ngõ vào là dòng  $I_B$ .
- Dòng ngõ ra là dòng  $I_E$ .
- Điện áp ngõ vào là  $V_{BC}$ .
- Điện áp ngõ ra là  $V_{EC}$ .



*Mạch CC đơn giản hóa*

8

### 3.4 Đặc tuyến Vôn - Ampe

Đồ thị diễn tả các mối tương quan giữa dòng điện và điện áp trên BJT được gọi là **đặc tuyến Vôn-Ampe** (hay *đặc tuyến tĩnh*).

Người ta thường phân biệt thành 4 loại đặc tuyến:

**Đặc tuyến vào:** nêu quan hệ giữa dòng điện và điện áp ở ngõ vào.

**Đặc tuyến ra:** quan hệ giữa dòng và áp ở ngõ ra.

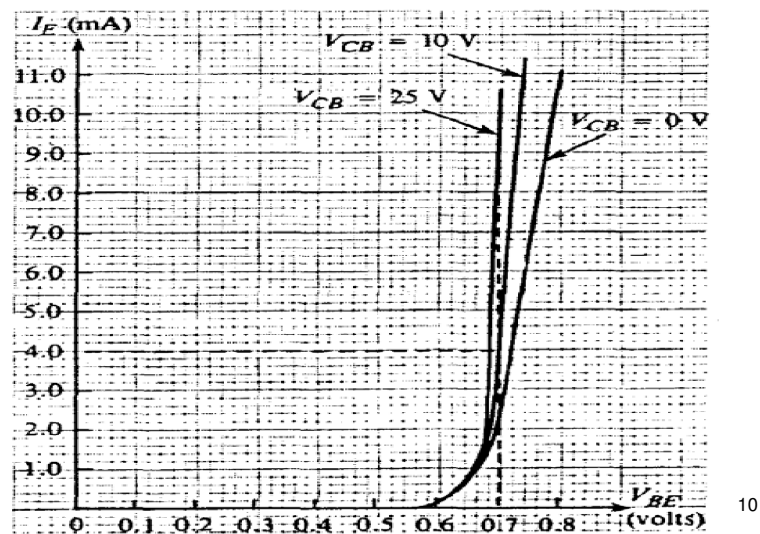
**Đặc tuyến truyền đạt dòng điện:** nêu sự phụ thuộc của dòng điện ra theo dòng điện vào.

**Đặc tuyến hồi tiếp điện áp:** nêu sự biến đổi của điện áp ngõ vào khi điện áp ngõ ra thay đổi.

9

### 3.4.1 Đặc tính B chung

3.4.1.a Họ đặc tuyến ngõ vào B chung:  $I_E = f(V_{BE})|_{V_{CB} = \text{const}}$



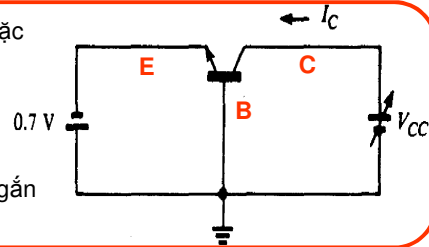
10

**Ví dụ**

Cho mạch BJT như hình bên, có đặc tuyến ngõ vào như khảo sát:

Khi  $V_{CC} = 25\text{ V}$  thì  $I_C = 8.94\text{ mA}$ .

1. Tìm  $\alpha$  của BJT khi bỏ qua  $I_{CBO}$ .
2. Lập lại nếu  $I_C = 1.987\text{ mA}$  khi ngắn mạch  $V_{CC}$ .



**Hướng dẫn**

Khi bỏ qua  $I_{CBO}$ :  $\alpha = I_C / I_E$ .

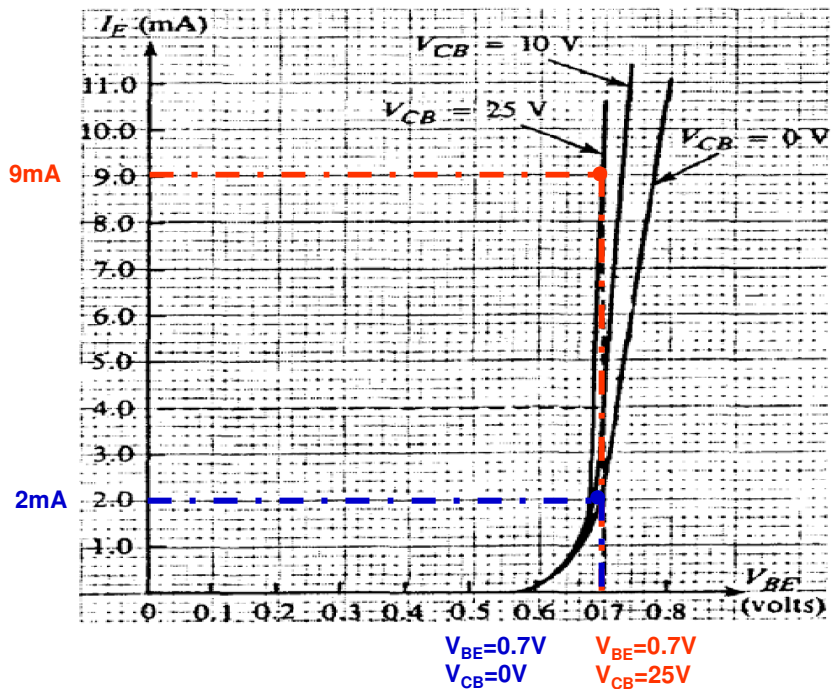
Tìm  $I_E$  dựa vào đặc tuyến:

$$I_E = f(V_{BE}) \Big|_{V_{CB} = \text{const}}$$

⇒ Xác định giá trị  $V_{BE}$  và  $V_{CB}$  trên mạch cụ thể

⇒  $I_E (V_{BE} = 0.7\text{V}; V_{CB} = 25\text{V})$  và  $I_E (V_{BE} = 0.7\text{V}; V_{CB} = 0\text{V})$

11



12

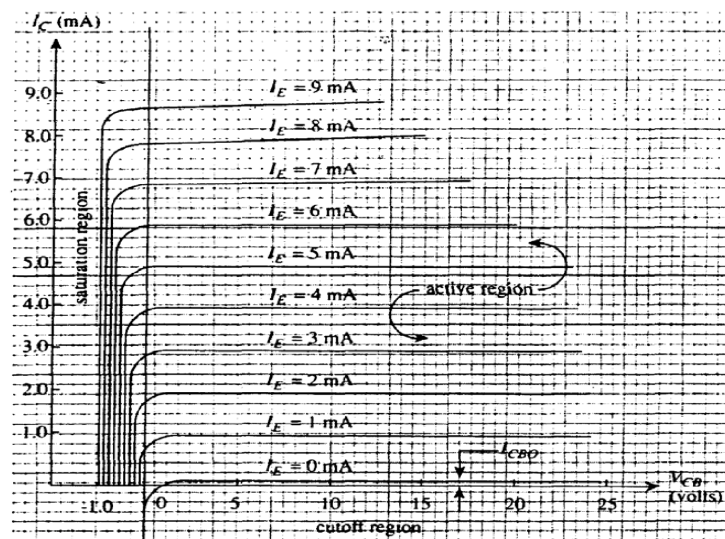
### Ví dụ

$$1. \alpha \cong I_C/I_E = 8,94 \text{ mA} / 9 \text{ mA} = 0,9933$$

$$2. \alpha \cong I_C/I_E = 1,987 \text{ mA} / 2 \text{ mA} = 0,9935$$

13

### 3.4.1.b Đặc tuyến ngõ ra B chung: $I_C = f(V_{CB})|_{I_E = \text{const}}$



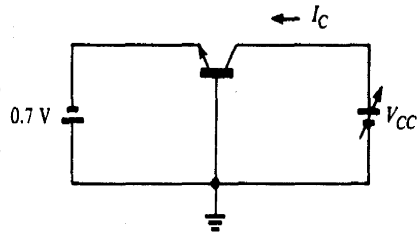
**Đặc tuyến ngõ ra của transistor NPN.**

Lưu ý là thang ứng với  $V_{CB}$  âm đã được mở rộng.

14

**Ví dụ**

Dựa vào các họ đặc tuyến ngõ vào và ngõ ra của mạch CB đã khảo sát, và với sơ đồ mạch như hình sau:



Tìm dòng cực thu khi  $V_{CB} = 10V$  và  $V_{BE} = 0.7V$ .

**Hướng dẫn**

Ta có:  $I_C = f(V_{CB})|_{I_E = \text{const}}$

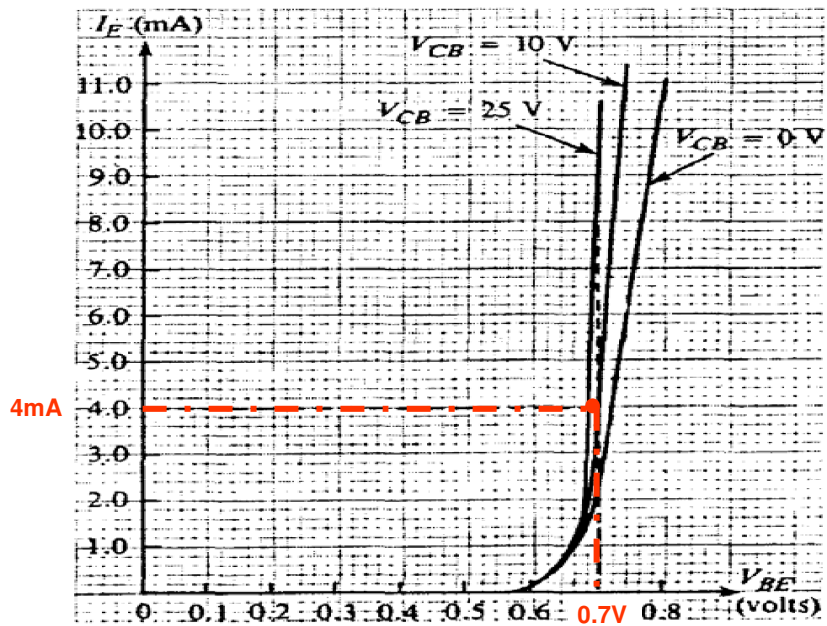
Mà:  $I_E = f(V_{BE})|_{V_{CB} = \text{const}}$

Từ đặc tuyến ngõ vào, trên đường  $V_{CB} = 10V$  tại điểm có  $V_{BE} = 0.7V \Rightarrow I_E = 4mA$ .

Từ đặc tuyến ngõ ra, trên đường  $I_E = 4mA$ , tại điểm có  $V_{CB} = 10V$

$\Rightarrow I_C = 3.85mA$ .

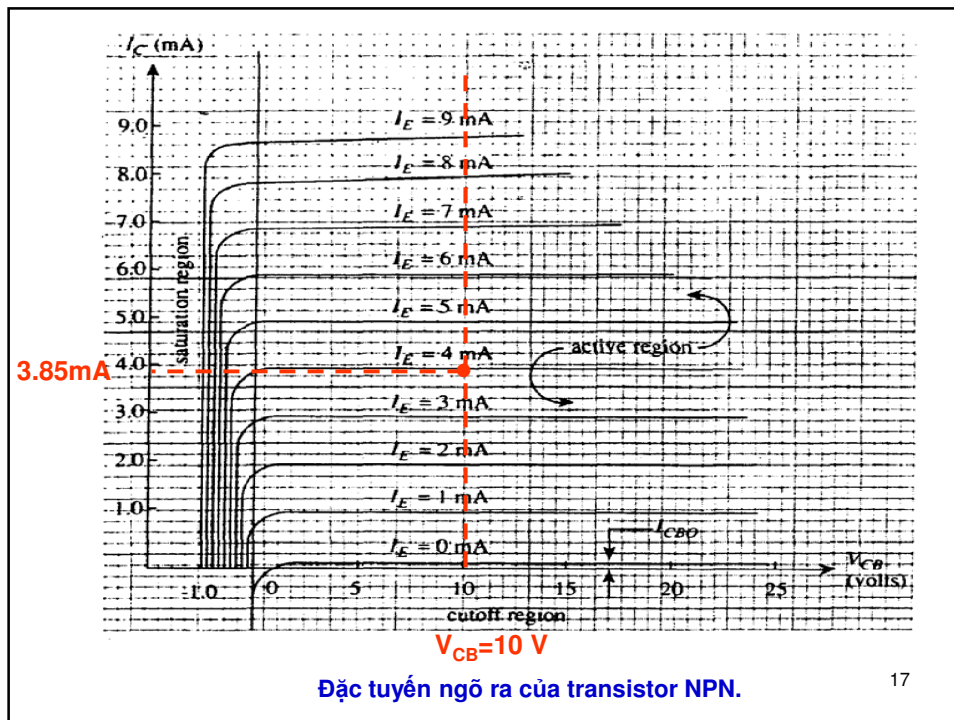
15



Họ đặc tuyến ngõ vào CB

16





17

### 3.4.1.c Đánh thủng BJT

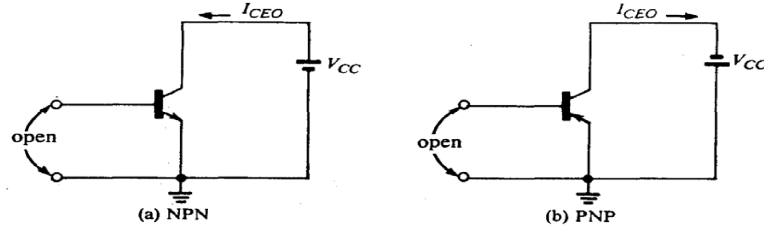
Do chuyển tiếp  $J_C$  được phân cực ngược nên có thể xảy ra đánh thủng nếu điện áp phân cực ngược đủ lớn.

**Đặc tuyến ngõ ra CB bao gồm vùng đánh thủng**

18

3.4.2 Đặc tính E chung

3.4.2.a Dòng  $I_{CEO}$  và  $\beta$



Ta có:  $I_C = \alpha I_E + I_{CBO} \Rightarrow \alpha I_E = I_C - I_{CBO}$

Chia 2 vế cho  $\alpha$ , ta có:

$$\frac{I_C}{\alpha} - \frac{I_{CBO}}{\alpha} = I_E \Rightarrow \frac{I_C}{\alpha} - \frac{I_{CBO}}{\alpha} = I_B + I_C \Rightarrow I_C = \frac{\alpha I_B}{1 - \alpha} + \frac{I_{CBO}}{1 - \alpha}$$

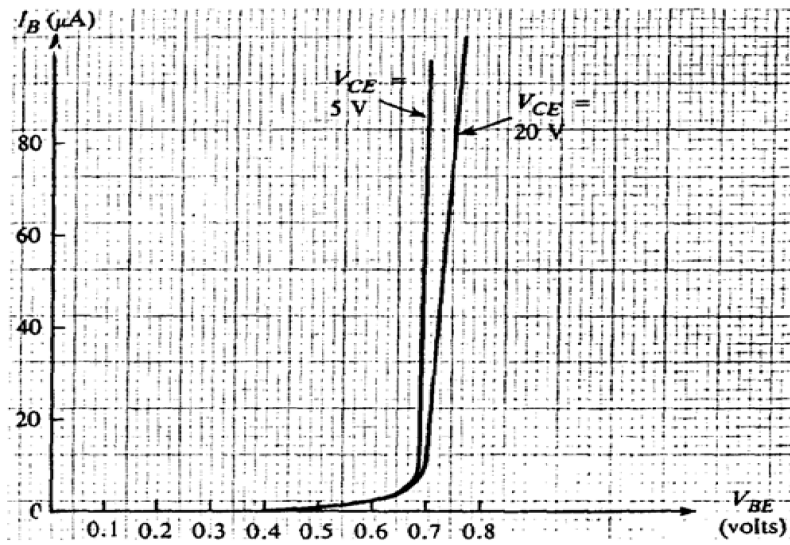
Khi  $V_{BE}$  hở mạch, ta có:  $I_C = I_{CEO} = \frac{I_{CBO}}{1 - \alpha}$

Đặt:  $\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \Rightarrow I_C = \beta I_B + \frac{I_{CBO}}{1 - \alpha} = \beta I_B + I_{CEO}$

Vì  $I_{CEO}$  là rất nhỏ:  $I_C \approx \beta I_B$  (xem  $I_{CEO} \approx 0$ )

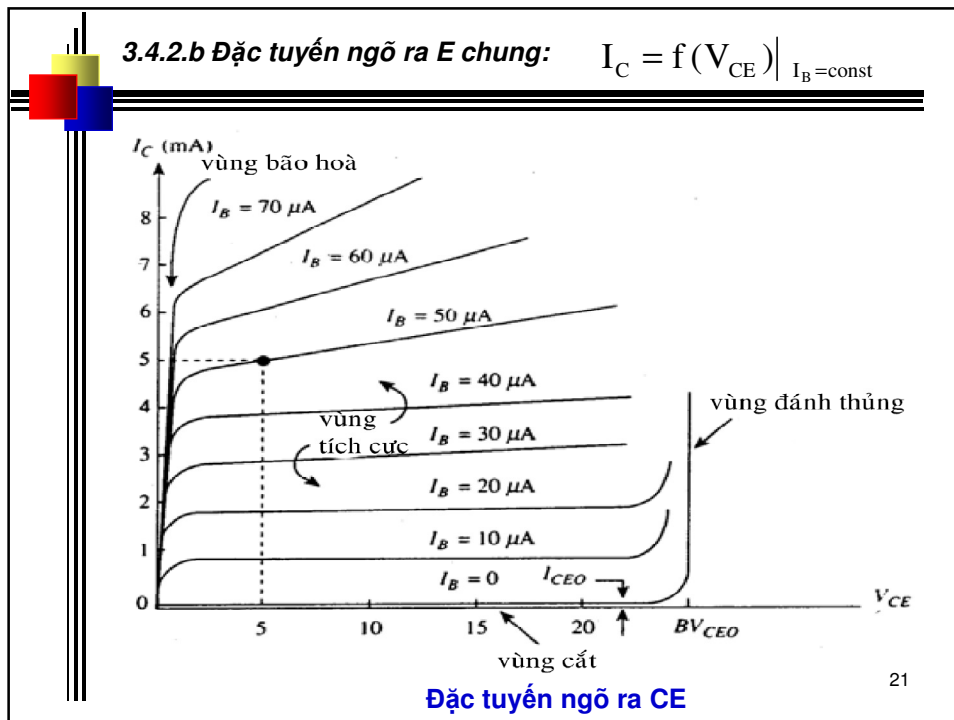
19

3.4.2.b Đặc tuyến ngõ vào E chung:  $I_B = f(V_{BE})|_{V_{CE} = \text{const}}$



Đặc tuyến ngõ vào CE.

20



**Ví dụ**

Một BJT có đặc tuyến ngõ ra CE như vừa khảo sát.

1. Tìm độ thay đổi của  $\beta$  khi  $V_{CE}$  thay đổi từ 2.5V đến 10V với  $I_B$  là  $40\mu\text{A}$ .
2. Tìm độ thay đổi của  $\beta$  khi  $I_B$  thay đổi từ  $10\mu\text{A}$  đến  $50\mu\text{A}$  khi  $V_{CE}$  là 7.5V.

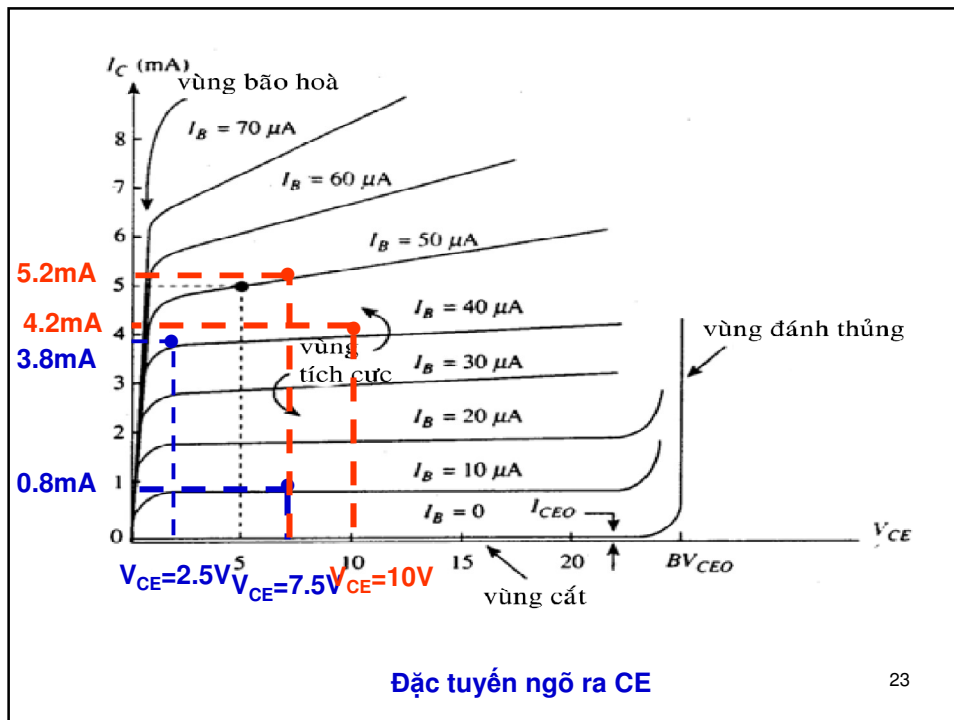
**Hướng dẫn**

1. Độ thay đổi  $\beta$ :
 
$$\frac{\beta_{10V} - \beta_{2.5V}}{\beta_{2.5V}} \times 100\%$$

$$I_C = \beta I_B$$

Với  $I_B = 40\mu\text{A}$ ,  $I_C (V_{CE} = 2.5V)$  và  $I_C (V_{CE} = 10V)$  được xác định từ đặc tuyến ngõ ra, trên đường  $I_B = 40\mu\text{A}$ .
2. Được tính tương tự, với  $I_C$  được xác định từ đặc tuyến ngõ ra tại  $V_{CE} = 7.5V$ , trên 2 đường  $I_B = 10\mu\text{A}$  và  $I_B = 50\mu\text{A}$

22



23

### Ví dụ

$$1. \beta_{10V} = 3,8 \text{ mA} / 40 \mu\text{A} = 95$$

$$\beta_{2,5V} = 4,2 \text{ mA} / 40 \mu\text{A} = 105$$

$$\frac{\beta_{10V} - \beta_{2,5V}}{\beta_{2,5V}} \times 100\% = \frac{105 - 95}{95} \times 100\% = 10,53\%$$

$$2. \beta_{10\mu\text{A}} = 0,8 \text{ mA} / 10 \mu\text{A} = 80$$

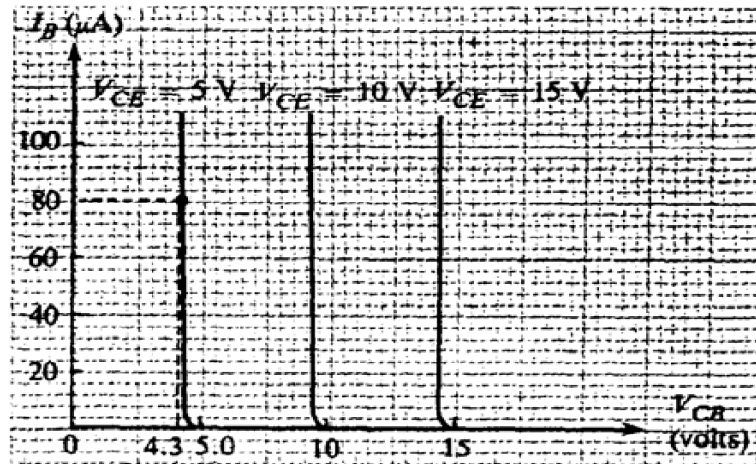
$$\beta_{50\mu\text{A}} = 5,2 \text{ mA} / 50 \mu\text{A} = 104$$

$$\frac{\beta_{10\mu\text{A}} - \beta_{50\mu\text{A}}}{\beta_{50\mu\text{A}}} \times 100\% = \frac{104 - 80}{80} \times 100\% = 30\%$$

24

3.4.3 Đặc tính C chung

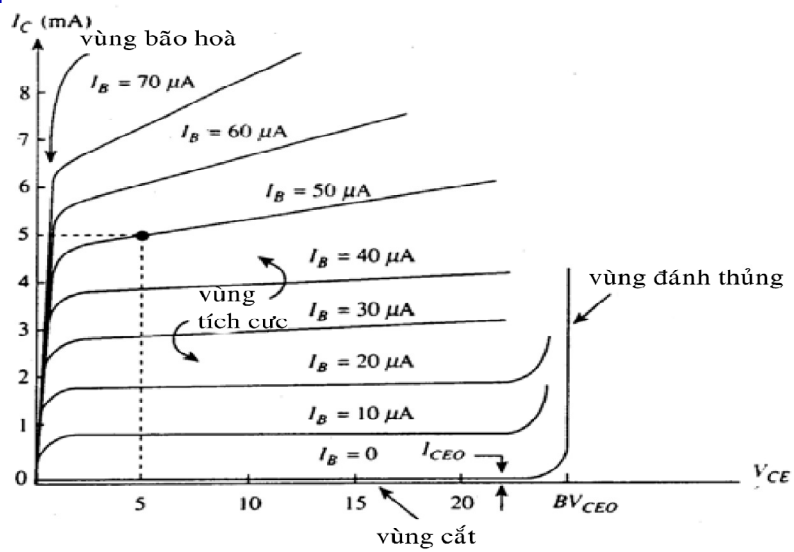
3.4.3.a Họ đặc tuyến ngõ vào C chung:  $I_B = f(V_{CB})|_{V_{CE} = \text{const}}$



Đặc tuyến ngõ vào CC.

25

3.4.3.b Họ đặc tuyến ngõ ra C chung:  $I_E = f(V_{CE})|_{I_B = \text{const}}$

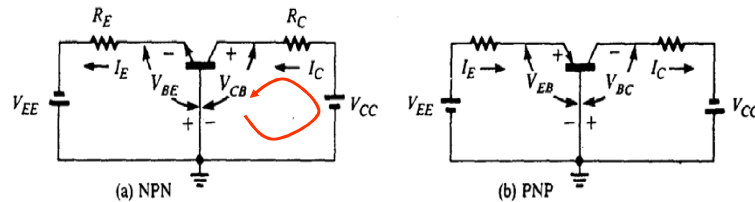


Đặc tuyến ngõ ra CC

26

### 3.5 Phân cực cho BJT

#### 3.5.1 Mạch phân cực B chung



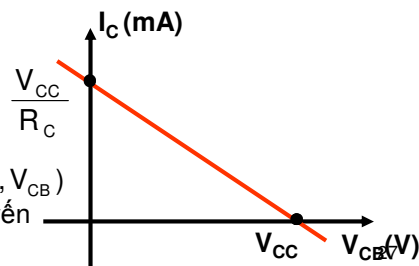
**Phương trình đường tải tĩnh:** biểu diễn mối quan hệ giữa điện áp và dòng điện ở ngõ ra.

$$-V_{CC} + I_C R_C + V_{CB} = 0$$

$$\Rightarrow I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CB} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

**Điểm phân cực (làm việc):**  $Q(I_C, V_{CB})$

Là giao của đường tải với đặc tuyến ngõ ra tương ứng với  $I_E = \text{const.}$



#### Một số lưu ý

- Giá trị  $V_{BE}$  là 1 hằng số trong các mạch phân cực cho BJT.

$$V_{BE} = 0.7V \text{ (Si)} ; V_{BE} = 0.3V \text{ (Ge)}$$

- Công thức về dòng có thể dùng xấp xỉ khi tính toán:

$$I_E = I_C + I_B \approx I_C$$

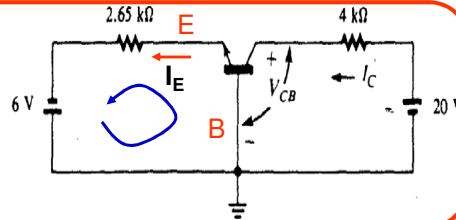
- Đối với các mạch sử dụng BJT loại PNP có thể dùng công thức của BJT loại NPN bằng cách đảo cực của điện áp  $V_{BE}$  và  $V_{CB}$  thành  $V_{EB}$  và  $V_{BC}$ .

- Các giá trị nguồn cung cấp được tính theo độ lớn.

**Ví dụ**

Cho mạch khuếch đại dùng BJT như hình bên:

1. Viết phương trình và vẽ đường tải.
2. Xác định điểm phân cực Q.



**Hướng dẫn**

1. Viết phương trình và vẽ đường tải.

$$\Rightarrow I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CB} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

2. Xác định điểm phân cực Q:  $Q(I_C, V_{CB})$  theo  $I_E$

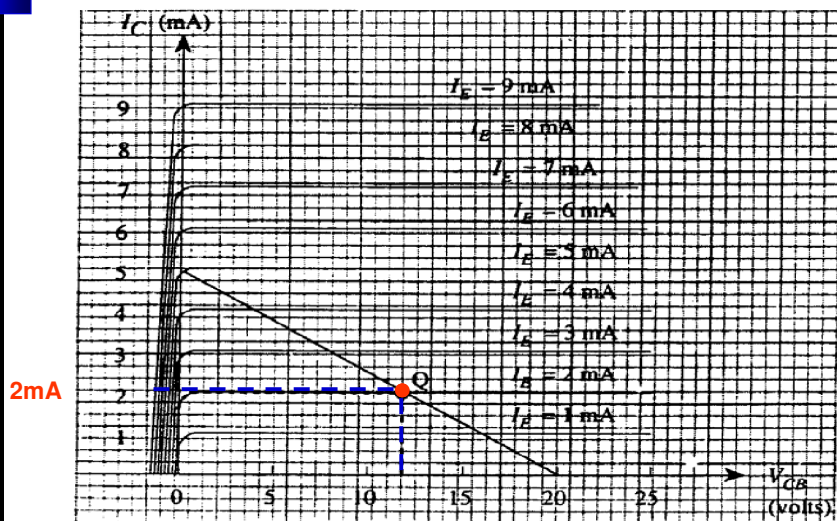
$$V_{BE} + I_E \times R_E - V_{EE} = 0 \Rightarrow I_E = 2 \text{ mA}$$

Xem  $I_C \approx I_E = 2 \text{ mA}$  thay vào phương trình đường tải  $\Rightarrow V_{CB} = 12 \text{ V}$

Điểm Q(2mA, 12V)

29

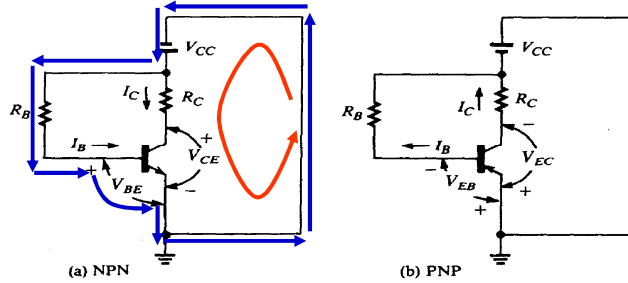
**Sử dụng đặc tuyến**



**Đường tải và họ đặc tuyến ngõ ra của cấu hình CB.**

30

3.5.2 Mạch phân cực E chung



Phương trình đường tải tĩnh:

$$-V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} = 0 \Leftrightarrow I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

$$-V_{CC} + I_B R_B + V_{BE} = 0 \Leftrightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_C = \beta I_B$$

Điểm phân cực (làm việc):  $Q(I_C, V_{CE})$

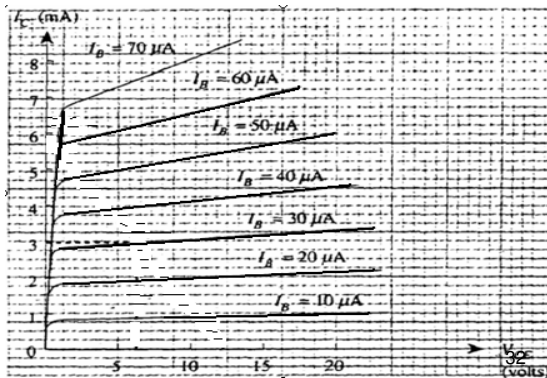
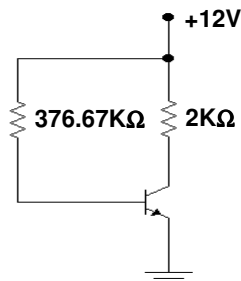
Là giao của đường tải với đặc tuyến ngõ ra tương ứng với  $I_B = \text{const.}$

31

Ví dụ

Trong mạch hình bên, BJT loại Si có  $\beta = 100$ :

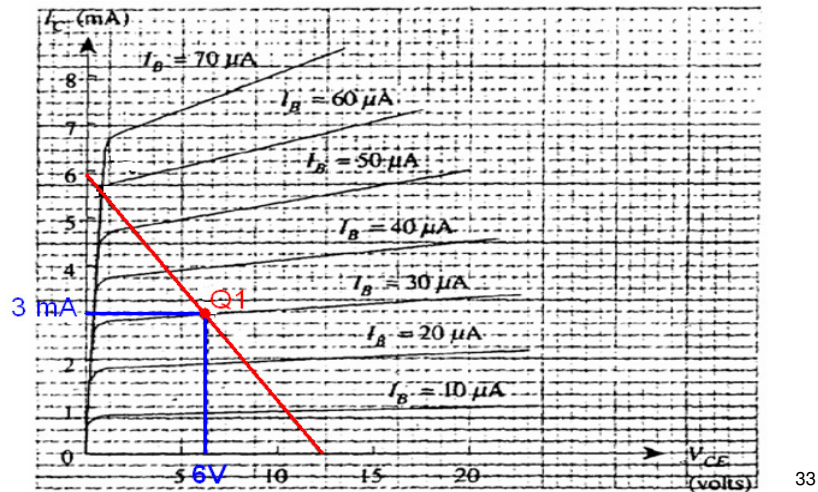
- Giả sử BJT có đặc tuyến ngõ ra như hình vẽ, tìm điểm phân cực bằng cách dùng đồ thị.
- Tìm điểm phân cực dựa vào mạch điện.
- Lặp lại câu a và b khi  $R_B = 161.43K\Omega$





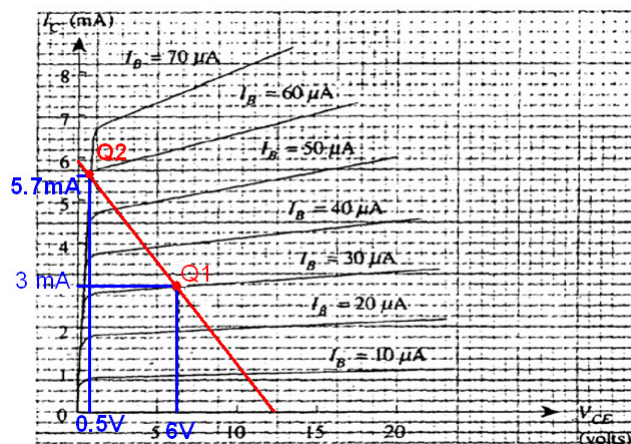
**Hướng dẫn**

- a. Viết và vẽ pt đường tải tĩnh trên cùng đồ thị của đặc tuyến:  $I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}$   
 Xác định giá trị của  $I_B$  để tìm điểm phân cực Q1:  $I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = 30\mu A$



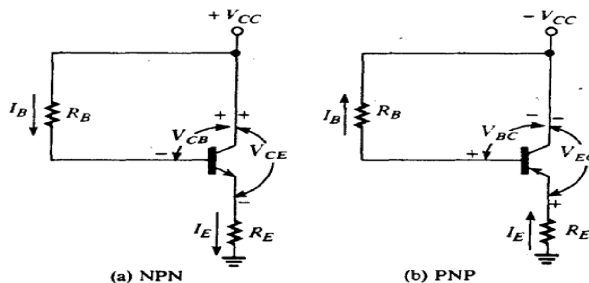
33

- b. Dựa vào mạch điện, xác định giá trị  $I_B$  giống câu a :  $I_B = 30\mu A$ .  
 Sử dụng:  $I_C = \beta I_B \Rightarrow I_C = 3$  mA. Thay vào phương trình đường tải:  $V_{CE} = 6$  V.  
 c. Khi  $R_B$  thay đổi không làm ảnh hưởng đến pt đường tải, nhưng  $I_B = 70\mu A$ .  
 Lúc này điểm phân cực Q2 sẽ là giao của đường tải với đường  $I_B = 70\mu A$ .  
 Q2 ( $I_{C\text{ sat}} = 5.7$  mA,  $V_{CE\text{ sat}} = 0.5$  V), BJT hoạt động ở vùng bão hòa.



34

### 3.5.3 Mạch phân cực C chung



Phương trình đường tải tĩnh:

$$-V_{CC} + V_{CE} + I_E R_E = 0 \quad \Leftrightarrow I_E = -\frac{1}{R_E} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_E}$$

Với:  $I_E = I_C + I_B = (\beta + 1) I_B$

$$-V_{CC} + I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E = 0$$

Điểm phân cực (làm việc):  $Q(I_E, V_{CE})$

35

### 3.6 Thiết kế mạch phân cực

Việc thiết kế được tính toán trên các giá trị nguồn cung cấp là cố định.

Từ yêu cầu về điểm làm việc ta phải xác định các giá trị điện trở trên mạch.

Vì trên thực tế các điện trở sẽ được chọn theo giá trị chuẩn, do đó khi chọn phải phù hợp với sai số cho phép.

#### Ví dụ

Một mạch phân cực B chung được thiết kế dùng transistor NPN silicon. Các nguồn phân cực có giá trị +15V và -5V. Điểm phân cực là  $I_C = 1.5\text{mA}$  và  $V_{CB} = 7.5\text{V}$ .

1. Thiết kế mạch dùng các điện trở chuẩn dung sai 5%.
2. Giá trị phân cực thật sự khi dùng các các điện trở chuẩn là bao nhiêu?
3. Tìm giới hạn của  $I_E$  và  $V_{CB}$  khi tính cả sai số trên điện trở.

36

**Hướng dẫn**

1. Sơ đồ mạch phân cực CB:

Vòng (I):  $-V_{EE} + V_{BE} + I_E R_E = 0$

Vòng (II):  $-V_{CC} + I_C R_C + V_{CB} = 0$

$\Rightarrow R_E = 2867 \Omega ; R_C = 5000 \Omega$

Với sai số 5%, có thể chọn:

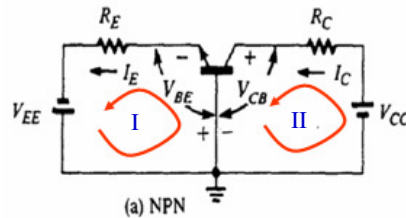
$R_E = 3K\Omega ; R_C = 5.1K\Omega$

2. Với các R đã chọn, thay vào các biểu thức để tính lại các giá trị của điểm phân cực.

3. Tìm giới hạn của  $I_E$  và  $V_{CB}$ :

**R giới hạn = R chuẩn ± 5% \* R chuẩn**

Thay vào các biểu thức để tìm giới hạn của  $I_E$  và  $V_{CB}$ .



(a) NPN

*Một số giá trị R chuẩn*

- 10, 12, 15, 18,
- 22, 27,
- 33, 39,
- 43, 47,
- 51, 56,
- 68, 75, 82, 91.

**Ví dụ cho thiết kế phân cực E chung**

Một transistor silicon NPN có  $\beta$  tối ưu là 100, được sử dụng trong mạch phân cực CE với  $V_{CC} = 12V$ . Điểm phân cực là  $I_C = 2mA$  và  $V_{CE} = 6V$ .

1. Thiết kế mạch dùng các điện trở chuẩn 5%.

2. Tìm giới hạn có thể có của điểm phân cực nếu  $\beta$  của transistor thay đổi từ 50 đến 150 (một giới hạn thường gặp trong thực tế). Giả sử là các điện trở có giá trị tối ưu.

**Hướng dẫn**

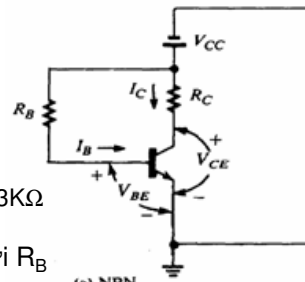
1.  $-V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} = 0$

$-V_{CC} + I_B R_B + V_{BE} = 0$

$I_C = \beta I_B ; V_{BE} = 0.7V$

$\Rightarrow R_B = 565K\Omega ; R_C = 3K\Omega$  chọn 560 K $\Omega$  và 3K $\Omega$

2. Tính lại  $I_B$  theo sự thay đổi của  $\beta$ , ứng với  $R_B$  đã chọn. Từ đó tìm giới hạn của điểm phân cực.



(a) NPN

**Ví dụ cho thiết kế phân cực C chung**

Một transistor silicon NPN có  $\beta = 100$ , được sử dụng trong cấu hình CC với  $V_{CC} = 24V$ . Điểm phân cực là  $I_E = 4mA$  và  $V_{CE} = 16V$ .  
 1. Thiết kế mạch dùng các điện trở chuẩn 5%.  
 2. Tìm điểm phân cực thật sự khi các điện trở chuẩn 5% được sử dụng, giá sử là chúng có các giá trị tối ưu.

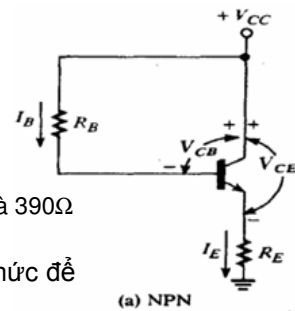
**Hướng dẫn**

1. -  $V_{CC} + V_{CE} + I_E R_E = 0$   
 -  $V_{CC} + I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E = 0$

Với:  $I_E = I_C + I_B = (\beta + 1) I_B$

$\Rightarrow R_E = 2K\Omega$  ;  $R_B = 386.325\Omega$  chọn  $2 K\Omega$  và  $390\Omega$

2. Với các R đã chọn, thay vào các biểu thức để tính lại điểm phân cực.



(a) NPN 39

**3.7 BJT Inverter**

BJT được ứng dụng như một chức năng đảo trạng thái.

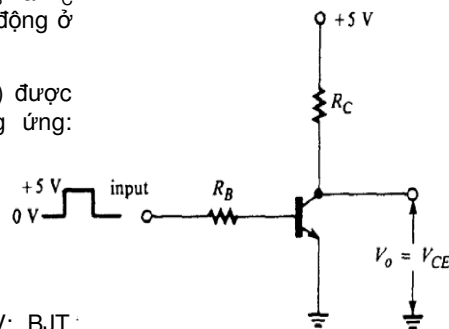
- Khi điện áp ở ngõ vào là 5V:  $R_B$  và  $R_C$  được thiết kế sao cho BJT hoạt động ở chế độ bão hòa.

+ Khi đó  $V_{CE} \approx 0$  (khoảng 0.1V) được gọi là  $V_{CE sat}$ (saturation), tương ứng:

$$I_C = I_{C sat} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

$$I_B = \frac{I_{C sat}}{\beta} = \frac{V_{HI} - V_{BE}}{R_B}$$

- Khi điện áp ở ngõ vào là 0V: BJT không dẫn  $\Rightarrow V_{CE} = +5V$ .



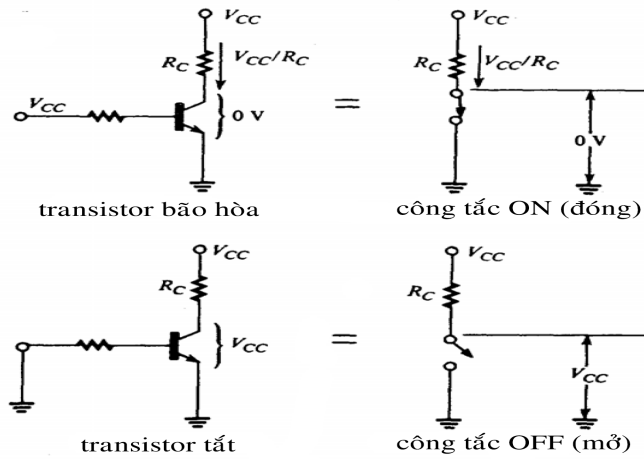
**Kết luận:**

$V_{in} = 5V \Rightarrow V_{out} = 0V.$   
 $V_{in} = 0V \Rightarrow V_{out} = 5V.$  } **Inverter**

### 3.8 Công tắc transistor

Một mạch Inverter dùng transistor được xem là một công tắc được điều khiển bởi điện áp ở ngõ vào.

Được gọi là công tắc transistor.



41