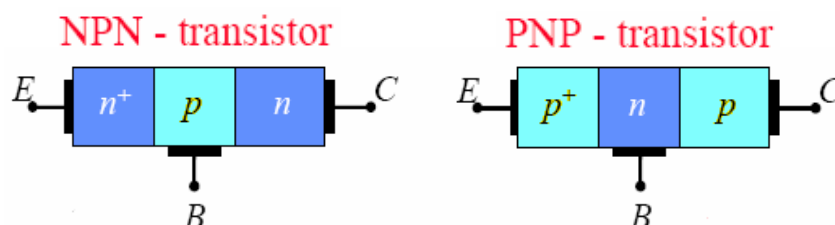


## CHƯƠNG V: TRANSISTOR LƯỜNG CỰC (BJT – Bipolar Junction Transistor):

Transistor lưỡng cực, thường gọi tắt là BJT, là loại linh kiện bán dẫn được tạo thành từ hai mối nối P-N với ba cực tính có khả năng khuếch đại tín hiệu, hoặc hoạt động giống như một khóa đóng mở rất thông dụng trong ngành điện tử. Nó sử dụng cả hai loại hạt dẫn: điện tử và lỗ trống, vì vậy xếp vào loại có hai cực tính (lưỡng cực).

### 1. Cấu tạo:

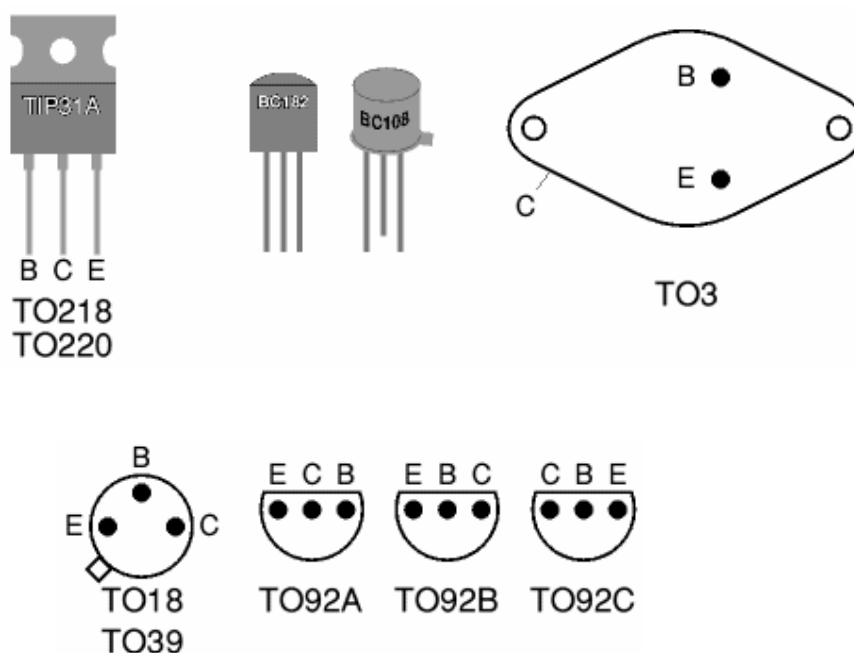
Transistor là linh kiện được tạo thành bởi 2 lớp tiếp xúc P-N ghép liên tiếp, miền giữa có bề rộng nhỏ tạo 2 tiếp xúc P-N gần nhau.



Ký hiệu:



Hình dạng:



- ✚ Nếu miền giữa là chất bán dẫn loại P: đgl Transistor NPN
- ✚ Nếu miền giữa là chất bán dẫn loại N: đgl Transistor PNP

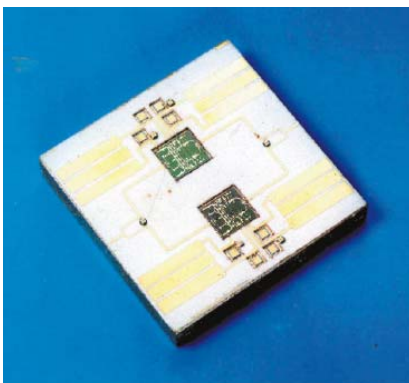
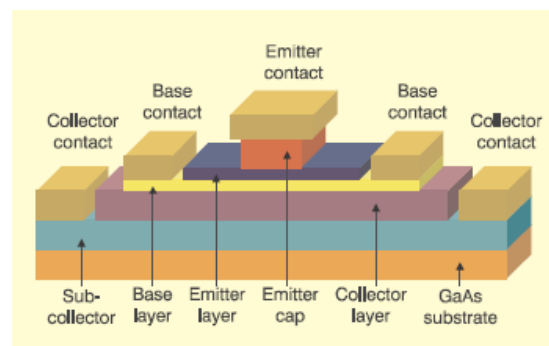
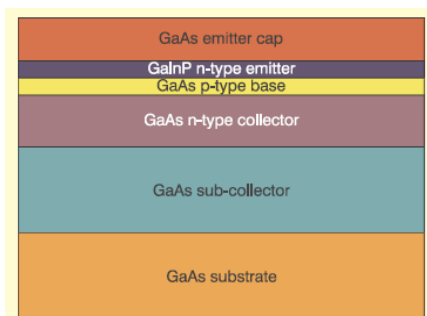
Transistor có 3 chân nối ra ngoài:

- Cực E (Emitter): được gọi là cực phát, được pha đậm tạp chất nên nồng độ hạt dẫn đa số của nó lớn, do đó khả năng sinh dòng lớn.
- Cực C (Collector): được gọi là cực thu, vùng này cũng được pha ít tạp chất (ít hơn vùng E) để có độ dẫn điện tốt.
- Cực B (Base): được gọi là cực nền, vùng này được pha rất ít tạp chất (ít nhất trong ba vùng), bề dày rất mỏng (cỡ  $10^{-4}$ cm), cực B dùng để điều khiển dòng hạt tải phát ra từ cực E.

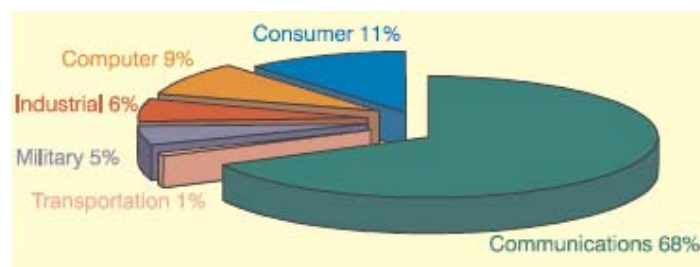
Do cấu tạo như trên, hình thành 2 chuyển tiếp P-N rất gần nhau:

- ✚ Chuyển tiếp giữa miền phát – nền đgl chuyển tiếp Emitter ( $J_E$ )
- ✚ Chuyển tiếp giữa miền thu – nền đgl chuyển tiếp Collector ( $J_C$ )

### ✪ Cấu tạo BJT tốc độ cao (HBT: Heterojunction Bipolar Transistor)



11 GaAs HBT 8-12GHz 4.5W microwave integrated circuit power amplifier



13 Predicted world GaAs market by application in the year 2000

Ví dụ: BJT 2N3904

# 2N3904

## NPN SMALL SIGNAL TRANSISTOR

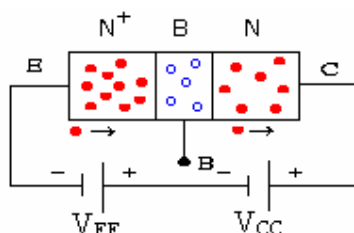
**Maximum Ratings** @  $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	2N3904	Unit
Collector-Base Voltage	$V_{CB0}$	60	V
Collector-Emitter Voltage	$V_{CE0}$	40	V
Emitter-Base Voltage	$V_{EB0}$	5.0	V
Collector Current - Continuous	$I_C$	100	mA
Collector Current - Peak	$I_{CM}$	200	mA
Power Dissipation (Note 1)	$P_d$	500	mW
Thermal Resistance, Junction to Ambient (Note 1)	$R_{\theta JA}$	250	K/W
Operating and Storage Temperature Range	$T_j, T_{STG}$	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

## 2. Nguyên tắc hoạt động và khả năng khuếch đại của BJT:

Xét nguyên tắc hoạt động của BJT loại NPN làm ví dụ.

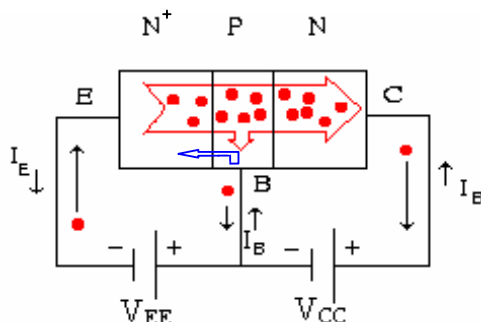
**Khi chưa phân cực:** Mạch thí nghiệm như hình vẽ:



Cực E nối vào cực âm, cực C nối vào cực dương của nguồn DC, cực B để hở. Trường hợp này điện tử trong vùng bán dẫn N của cực C và E, do tác dụng của lực tĩnh điện sẽ bị di chuyển theo hướng từ cực E về cực C. Do cực B để hở nên điện tử từ vùng bán dẫn N của cực E sẽ không thể sang vùng bán dẫn P của cực nền B, nên không có hiện tượng tái hợp giữa điện tử và lỗ trống và do đó không có dòng điện qua Transistor

Như vậy khi chưa đặt điện áp lên các cực của Transistor thì các chuyển tiếp  $J_E$ ,  $J_C$  ở trạng thái cân bằng nên không có dòng qua các cực của Transistor.

**Khi phân cực:**



Muốn Transistor hoạt động ở chế độ khuếch đại thì:

- Mối nối BE (nền phát) : phân cực thuận
- Mối nối BC (nền thu) : phân cực nghịch.

Hay nối cực B vào một điện thế dương sao cho :  $V_C > V_B > V_E$ .

Sự dẫn điện của Transistor được giải thích như sau:

Do mối nối BE được phân cực thuận: 
$$\left\{ \begin{array}{l} e : \text{di chuyển từ E} \rightarrow \text{B} : \text{Tạo dòng } I_{En} \\ Lỗ : \text{di chuyển từ B} \rightarrow \text{E} : \text{Tạo dòng } I_{Ep} \end{array} \right.$$

nhưng lượng tạp chất ở E  $\gg$  B (B pha rất ít), nên  $I_{En} \gg I_{Ep}$ , do đó **dòng Emitter** được tính

$$I_E = I_{En} + I_{Ep} \approx I_{En}$$

Các điện tử này sang đến B, do vùng nền B mỏng, nồng độ lỗ trống ít, nên chỉ có một số rất ít điện tử tái hợp với lỗ trống của vùng nền. Phần lớn điện tử chưa kịp tái hợp tiếp tục khuếch tán sang vùng C. Mà cực C nối với cực (+) nguồn  $V_{CC}$ , nên nó hút các điện tử này ở vùng B sang, tạo thành **dòng cực thu collector** ( $I_C$ ).

Đồng thời lỗ trống từ cực (+) của nguồn  $V_{EE}$  di chuyển vào vùng B thế chỗ lỗ trống đã mất đi do sự tái hợp, tạo thành **dòng cực nền** ( $I_B$ ).

Chính vì các điện tử và lỗ trống đều tham gia vào quá trình dẫn điện nên linh kiện này được gọi là **Transistor lưỡng cực**.

Ngoài dòng  $I_C$  nói trên, qua tiếp xúc  $J_C$  còn có dòng điện tích do các hạt tải thiểu số của bản thân 2 cực B và C (e ở vùng B và lỗ ở vùng C), được gọi là dòng điện ngược  $I_{CBO}$ , nó chính là dòng Collector khi E hở mạch. Trị số của nó tăng nhanh theo nhiệt độ, vì khi nhiệt độ tăng liên kết đồng hóa trị bị dễ gãy, dòng  $I_{CBO}$  tăng dẫn đến dòng  $I_C$  tăng. Hiện tượng xảy ra đây chuyển gây hiệu ứng hủy thán làm hư Transistor.

Do đó để bảo vệ transistor khi nhiệt độ tăng, người ta giới hạn dòng  $I_{CBO}$  bằng cách **phân cực ổn định nhiệt** cho nó.

Với việc phân tích dòng như trên ta thấy:

$$I_E = I_C + I_B \quad (1)$$

$$\text{Đặt } \alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{\text{Số điện tử đến được cực C}}{\text{Số điện tử phát đi từ cực E}} : \text{đgl hệ số truyền đạt dòng phát}$$

$$I_C = \alpha \cdot I_E \quad (2)$$

Thế (1) vào (2), ta được

$$I_C = \alpha (I_B + I_C)$$

$$\Rightarrow I_C = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_B$$

Đặt  $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$  :đgl hệ số khuếch đại dòng Transistor

( $\beta$ : thường có giá trị từ vài chục -> vài trăm)

Vậy :  $I_C = \beta I_B$

$$I_E = (\beta + 1) I_B$$

Ta nói Transistor có chức năng khuếch đại dòng một chiều.

$\alpha$  thường có giá trị :  $0,97 < \alpha < 0,99$ , thường xem  $\alpha \approx 1$

Do  $\beta \gg 1$  nên ta có thể xem:  $I_C \approx I_E = \beta I_B$

Tương tự cho khi xét nguyên tắc hoạt động của BJT loại PNP. chỉ khác là để  $J_E$  phân cực thuận.  $J_C$  phân cực nghịch. Cực tính của các nguồn một chiều đổi ngược lại. Chiều của dòng điện cũng thay đổi. Tạo nên dòng collector trong trường hợp này là các lỗ trống phun từ miền  $P^+$  qua miền N và khuếch tán đến miền collector loại P.

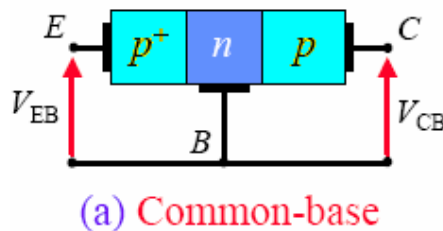
### 3. Ba sơ đồ cơ bản của BJT:

Như đã biết, BJT có 3 cực: emitter, base, collector. Tùy theo việc chọn điện cực nào làm nhánh chung cho mạch vào và mạch ra mà có 03 sơ đồ cơ bản sau:

**Mạch base chung (nền chung - viết tắt là CB):**

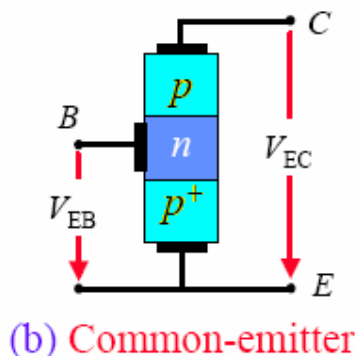
Tín hiệu cần khuếch đại đưa vào giữa cực B và cực E, tín hiệu sau khi đã khuếch đại lấy ra giữa cực C và cực B. Cực B là cực chung của mạch vào và mạch ra. Như vậy dòng điện vào là dòng Emitter ( $I_E$ ), dòng điện ra là dòng collector, điện áp vào là  $V_{EB}$ , còn điện áp ra là  $V_{CB}$ .

Nếu không vẽ mạch phân cực (tạo điện áp một chiều cho các chuyển tiếp  $J_E$ ,  $J_C$ ) thì sơ đồ base chung có dạng đơn giản hóa như sau:

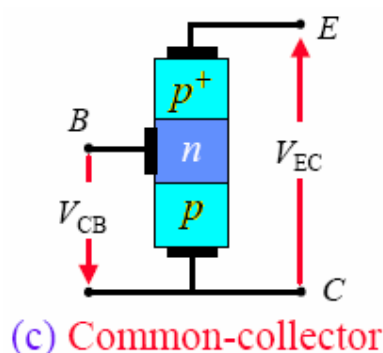


**Mạch Emitter chung (phát chung - viết tắt là CE):**

Tương tự như trên, cực E là cực chung của mạch vào và mạch ra. Như vậy dòng điện vào là dòng Base ( $I_B$ ), dòng điện ra là dòng collector, điện áp vào là  $V_{EB}$ , còn điện áp ra là  $V_{EC}$ .

**Mạch Emitter chung (phát chung - viết tắt là CE):**

Tương tự như trên, cực C là cực chung của mạch vào và mạch ra. Ở mạch này tín hiệu cần khuếch đại đưa vào giữa cực B và C, tín hiệu sau khi đã được khuếch đại lấy ra giữa cực E và C. Như vậy dòng điện vào là dòng Base ( $I_B$ ), dòng điện ra là dòng Emitter, điện áp vào là  $V_{CB}$ , còn điện áp ra là  $V_{EC}$ .



Do đặc điểm của nó, điện áp ra đồng pha và xấp xỉ điện áp vào, điện trở vào rất lớn, điện trở ra rất nhỏ nên mạch C.C còn được gọi là mạch phát theo điện áp (voltage follower) hay phát theo emitter (follower Emitter).

**4. Đặc tuyến Voltage Ampere của BJT:**

Đồ thị diễn tả các mối tương quan giữa dòng điện và điện áp trên BJT được gọi là **đặc tuyến Voltage – Ampere** (hay đặc tuyến tĩnh). Người ta phân biệt thành 4 loại đặc tuyến:

- ✚ Đặc tuyến vào : nêu quan hệ giữa dòng và áp ở ngõ vào.
- ✚ Đặc tuyến ra : nêu quan hệ giữa dòng và áp ở ngõ ra.
- ✚ Đặc tuyến truyền đạt dòng điện: nêu sự phụ thuộc của dòng ra theo dòng vào.
- ✚ Đặc tuyến hồi tiếp điện áp: nêu sự biến đổi của điện áp giữa hai ngõ vào khi điện áp ở ngõ ra thay đổi.

Trong các kiểu ráp cơ bản trên thì loại CE được dùng phổ biến và nhiều nhất, do đó ta chủ yếu khảo sát đặc tuyến của loại mạch này. Sau đây chỉ trình bày 3 loại đặc tuyến thường được sử dụng trong kiểu sơ đồ cơ bản trên.

**a. Đặc tuyến ngõ vào:**

$$I_B = f(V_{BE})|_{V_{CE}=const}$$

Mạch cho ta đặc tuyến với  $I_B$  là thông số và  $V_{BE}$  là biến. Thực chất đây vẫn là nhánh thuận của đặc tuyến diode.

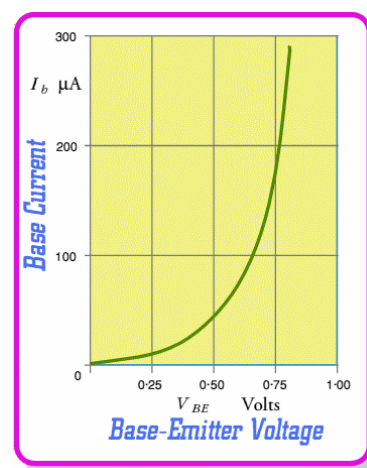
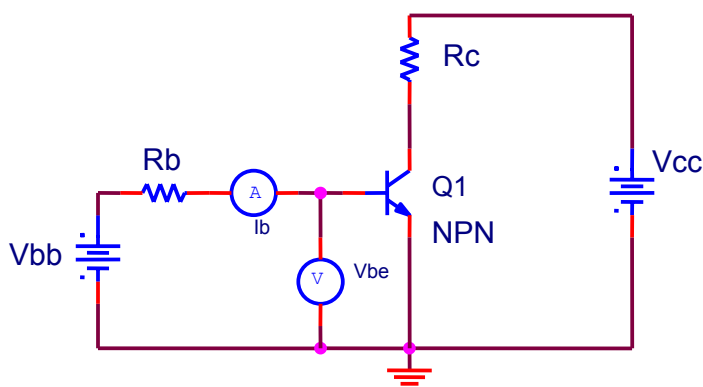
Ở mỗi điện thế  $V_{BE}$  thì dòng điện  $I_B$  sẽ có trị số khác nhau ví dụ như sau :

$$V_{BE} \approx 0,25V \quad ; \quad I_B \approx 10\mu A$$

$$V_{BE} \approx 0,5V \quad ; \quad I_B \approx 50\mu A$$

$$V_{BE} \approx 0,6V \quad ; \quad I_B \approx 80\mu A$$

$$V_{BE} \approx 0,7V \quad ; \quad I_B \approx 100\mu A$$

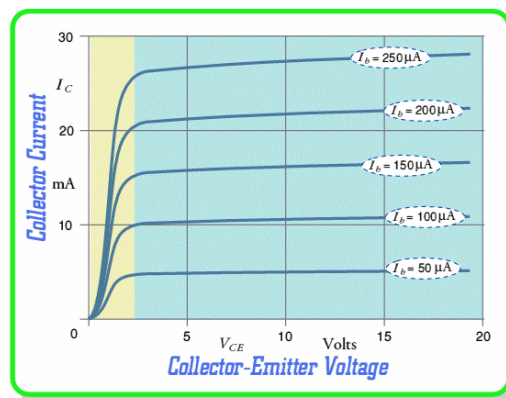
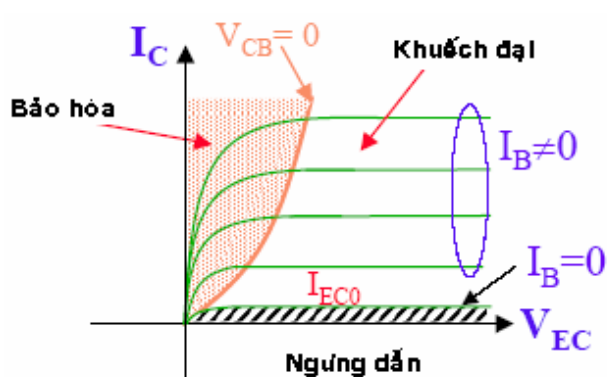


Đặc tuyến trên được vẽ ứng với điện thế  $V_{CE} = 2V$ , khi điện thế  $V_{CE} > 2V$  thì đặc tuyến thay đổi không đáng kể, thể hiện điện thế ngõ ra  $V_{CE}$  ít ảnh hưởng đến dòng vào.

**b. Đặc tuyến ngõ ra:**

$$I_C = f(V_{CE})|_{I_B=const}$$

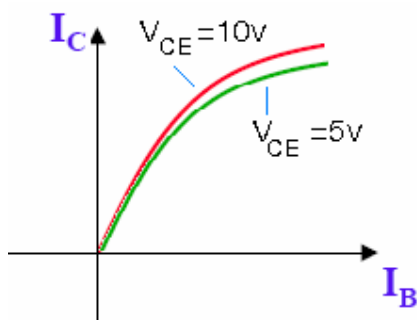
Lần lượt đặt  $I_B = 0\mu A$ , mỗi lần tăng  $10\mu A$ . Thay đổi  $V_{CE}$ , đo  $I_C$ . Mỗi thông số  $I_B$  cho một đặc tuyến chỉ rõ sự thay đổi của  $I_C$  theo  $V_{CE}$ .



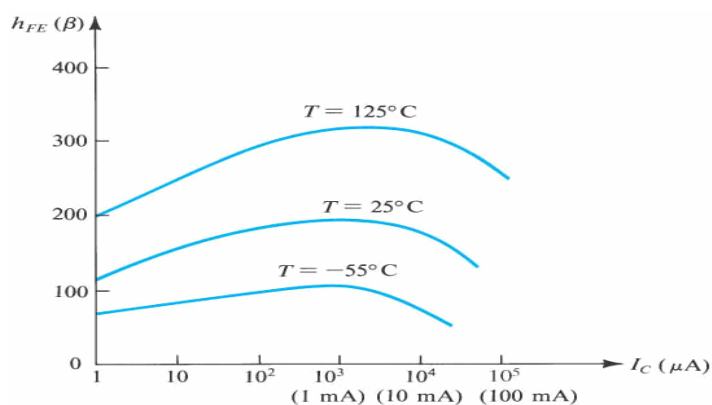
c. Đặc tuyến truyền đạt dòng điện:

$$I_C = f(I_B) \Big|_{V_{CE} = \text{const}}$$

Một cách lý thuyết, độ dốc của đặc tuyến này chính là hệ số khuếch đại của dòng điện  $\beta$ . Trong phạm vi dòng điện lớn, giá trị  $\beta$  giảm, cho nên đặc tuyến không còn tuyến tính nữa.



Ngoài ra khi khảo sát đặc tuyến truyền đạt dòng điện người ta còn quan tâm đến mối liên hệ giữa dòng điện ngõ ra và hệ số khuếch đại  $h_{FE}$  (hay  $\beta$ ) khi nhiệt độ là hằng số cố định.





## 5. Tham số xoay chiều và mạch tương đương BJT:

### a. Tham số xoay chiều:

Trên thực tế, khi BJT làm việc với tín hiệu nhỏ, có nghĩa là trên cơ sở các điện áp một chiều phân cực cho hai chuyển tiếp  $J_E, J_C$  nay có thêm điện áp xoay chiều biên độ nhỏ đưa đến ngõ vào để BJT khuếch đại thành tín hiệu xoay chiều đáng kể trên ngõ ra. Trong trạng thái đó (gọi là trạng thái động của tín hiệu nhỏ), một cách gần đúng có thể coi BJT như một phần tử tuyến tính, tức là phần tử mà quan hệ giữa dòng và điện áp trên nó thể hiện bằng những hàm bậc nhất. Điều này là hoàn toàn cho phép bởi vì như thấy rõ từ các đồ thị ở phần trên trong phạm vi hẹp của điện áp hoặc dòng điện, đặc tuyến Voltage – Ampere của BJT coi như những đoạn thẳng với độ dốc không đổi.

Với quan niệm như trên, có thể thay thế BJT ở trạng thái tín hiệu nhỏ bằng một mạng hai cửa bốn cực tuyến tính như sau:



Ở đây, một cách tổng quát, ký hiệu điện áp và dòng điện ở ngõ vào là  $V_1, I_1$ , ở ngõ ra là  $V_2, I_2$  với chiều quy ước như hình vẽ. Sau này khi áp dụng cho sơ đồ cụ thể (C.B, C.E, C.C) thì các đại lượng kể trên sẽ là những điện áp hay dòng điện trên các cực tương ứng của transistor, đồng thời tùy theo loại BJT mà chúng có dấu (hoặc chiều) thích hợp.

Có nhiều tham số đặc trưng cho BJT: hệ tham số z, y, h. Sau đây chỉ trình bày loại thông dụng nhất: hệ tham số “h”.

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= f_1(I_1, V_2) \\ I_2 &= f_2(I_1, V_2) \end{aligned} \right\}$$

Áp dụng cách tính vi phân toàn phần của hàm 2 biến, ta có :

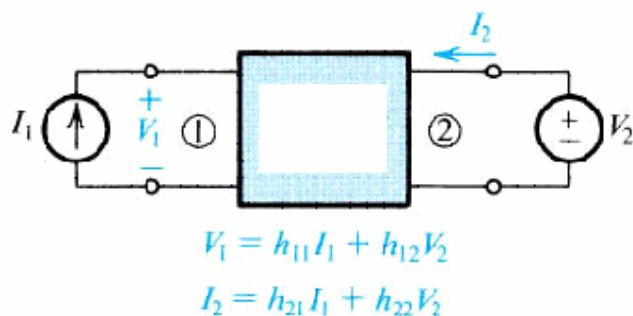
$$dV_1 = \frac{\partial V_1}{\partial I_1} dI_1 + \frac{\partial V_1}{\partial V_2} dV_2$$

$$dI_2 = \frac{\partial I_2}{\partial I_1} dI_1 + \frac{\partial I_2}{\partial V_2} dV_2$$

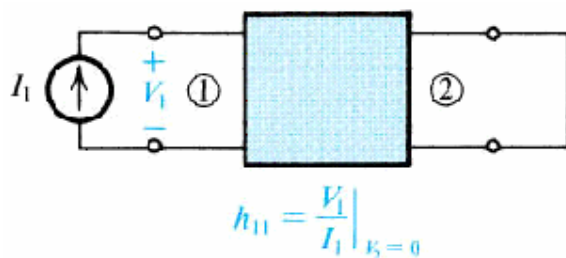
$$\text{Đặt} \quad \begin{aligned} \frac{\partial V_1}{\partial I_1} &= h_{11} ; & \frac{\partial V_1}{\partial V_2} &= h_{12} \\ \frac{\partial I_2}{\partial I_1} &= h_{21} ; & \frac{\partial I_2}{\partial V_2} &= h_{22} \end{aligned}$$

Đồng thời sự biến thiên của dòng và áp là bé (do tín hiệu bé) nên ta thay ký hiệu vi phân của chúng bằng chính sự biến thiên của chúng, nghĩa là thay :

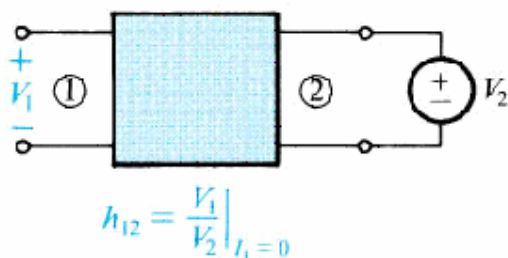
$$dI_i = i_i ; \quad dV_i = v_i ; \quad dI_o = i_o ; \quad dV_o = v_o$$



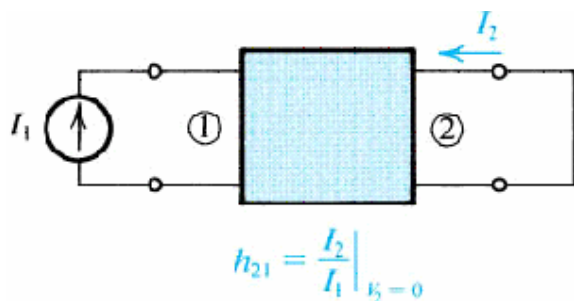
Từ hệ phương trình cơ bản dùng tham số h, ta rút ra ý nghĩa của từng tham số:



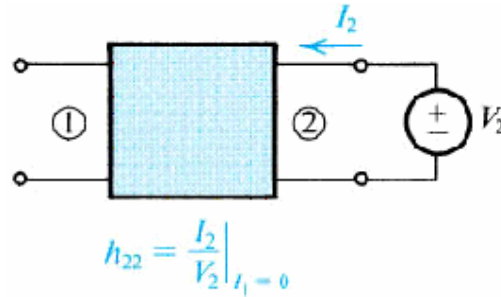
$h_{11}$  (hoặc  $h_i$ ) là điện trở vào của BJT khi điện áp xoay chiều ở ngõ ra bị ngắn mạch.



$h_{12}$  (hoặc  $h_r$ ) là hệ số truyền ngược về điện áp (hệ số hồi tiếp áp) của BJT khi hở mạch ngõ vào đối với tín hiệu xoay chiều.



$h_{21}$  (hoặc  $h_f$ ) là hệ số khuếch đại dòng điện của BJT khi ngõ ra bị ngắn mạch đối với tín hiệu xoay chiều.



$h_{22}$  (hoặc  $h_o$ ) là điện dẫn ra (dẫn nạp ra) của BJT khi dòng xoay chiều ở ngõ vào bị hở mạch.

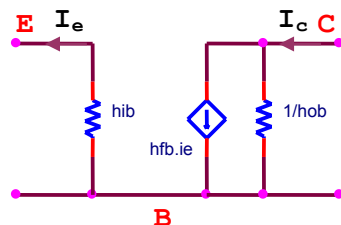
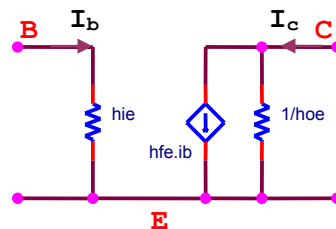
Như vậy, tính năng của BJT có thể hiểu qua giá trị các tham số  $h$  của chúng. Về mặt đơn vị đo  $h_i$  có thứ nguyên  $h_i$  có thứ nguyên là điện trở ( $\Omega$ ),  $h_r$ ,  $h_f$ : không có thứ nguyên,  $h_o$ : có thứ nguyên điện dẫn (S, Siment).

Sau này khi áp dụng cho từng sơ đồ cụ thể, tùy theo BJT mắc kiểu nào (C.E, C.B, C.C) mà các tham số có thêm chỉ số tương ứng.

### b. Mạch tương đương của BJT:

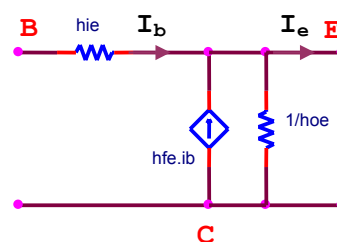
Dựa vào hệ phương trình cơ bản trên, ta vẽ được mạch tương đương dùng tham số  $h$  của BJT. Trong mạch vào, ngoài điện trở vào ( $h_i$ ) còn có nguồn điện áp hồi tiếp  $h_r v_o$  (rất bé nên bỏ qua) mắc nối tiếp. Nó thể hiện ảnh hưởng của ngõ ra đối với ngõ vào. Ở mạch ra, nguồn dòng điện ( $h_f i_i$ ) phản ánh khả năng khuếch đại dòng điện của BJT. Điện dẫn ra  $1/h_{ob}$  rất bé mắc song song với tải (rất lớn nên bỏ qua).

Mạch tương đương BJT  
ghép kiểu E.C



Mạch tương đương BJT  
ghép kiểu B.C

Mạch tương đương BJT  
ghép kiểu C.C



Ở đây các thông số được xác định bởi:

$$h_{fe} = \beta$$

$$h_{ie} = \frac{0,025 \cdot h_{fe}}{I_{CQ}}$$

$$h_{ib} = \frac{h_{ie}}{h_{fe} + 1}$$

Tóm lại, khi làm việc ở chế độ tín hiệu nhỏ, có thể thay thế BJT bằng sơ đồ tương đương thông số h. Việc thay thế như vậy giúp cho sự phân tích và tính toán các đại lượng được đơn giản và tiện lợi. Ta sẽ ứng dụng các sơ đồ tương đương này kết hợp với nguồn tín hiệu ở ngõ vào, điện trở tải ở ngõ ra, cùng các điện trở phân cực để khảo sát các tham số cơ bản của tầng khuếch đại dùng BJT ở chương sau.

Cũng cần lưu ý rằng những sơ đồ tương đương trên đây chưa kể đến điện dung của các chuyển tiếp P-N, cũng như quan hệ phụ thuộc tần số của các tham số  $\alpha$ ,  $\beta$ , ... Vì vậy chúng chỉ dùng cho BJT làm việc ở tần số thấp hoặc trung bình. Khi làm việc ở tần số cao mạch tương đương của BJT sẽ phức tạp hơn.

### c. Các tham số giới hạn của BJT:

Ngoài các tham số đặc trưng cho chế độ làm việc của BJT ở trên, khi sử dụng để tránh hư hỏng ta cần chú ý các tham số giới hạn sau:

Dòng cực đại cho phép:  $I_{Emax}$ ,  $I_{Bmax}$ ,  $I_{Cmax}$

Điện áp cực đại cho phép:  $V_{CBmax}$ ,  $V_{CEmax}$ ,  $V_{BEmax}$

Công suất tiêu tán cực đại cho phép:  $I_{Cmax} = \frac{P_{Cmax}}{V_{CE}}$

Tần số giới hạn:  $f_T$

### d. Bảng so sánh các thông số theo các cách mắc:

AMPLIFIER TYPE	COMMON BASE	COMMON EMITTER	COMMON EMITTER (Emitter Resistor)	COMMON COLLECTOR (Emitter Follower)
INPUT/OUTPUT PHASE RELATIONSHIP	0°	180°	180°	0°
VOLTAGE GAIN	HIGH $\frac{\alpha R_C}{R_s + r_e}$	MEDIUM $\frac{\beta(R_C \parallel r_o)}{R_s + r_e}$	MEDIUM $\frac{\beta R_C}{R_s + (\beta + 1)(r_e + R_E)}$	LOW $\frac{(\beta + 1)(R_L \parallel r_o)}{R_s + (\beta + 1)(r_e + R_L \parallel r_o)}$
CURRENT GAIN	LOW $\alpha$	MEDIUM $\beta \frac{r_o}{R_C + r_o}$	MEDIUM $\beta$	HIGH $(\beta + 1) \frac{r_o}{r_o + R_L}$
POWER GAIN	LOW	HIGH	HIGH	MEDIUM
INPUT RESISTANCE	LOW $r_e$	MEDIUM $r_e = (\beta + 1)r_e$	MEDIUM $(\beta + 1)(r_e + R_E)$	HIGH $(\beta + 1)[r_e + (r_o \parallel R_L)]$
OUTPUT RESISTANCE	HIGH $R_C$	MEDIUM $R_C \parallel r_o$	MEDIUM $R_C$	LOW $r_o \parallel \left[ r_e + \frac{R_s}{\beta + 1} \right]$