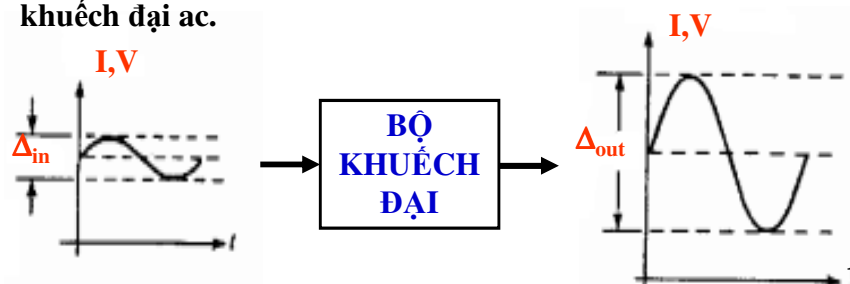


Chương 4**MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ DÙNG BJT****I. ĐỊNH NGHĨA**

- **Khuếch đại** là quá trình biến đổi một đại lượng (**dòng điện** hoặc **điện áp**) từ biên độ nhỏ thành biên độ lớn mà không làm thay đổi dạng của nó.

- Khi xét BJT hoạt động dưới điều kiện tín hiệu nhỏ (sự thay đổi của tín hiệu vào đủ nhỏ) thì có thể xem BJT như một bộ khuếch đại ac.



- **Độ lợi** là tỉ số của một lượng tín hiệu (dòng điện hoặc điện áp) thay đổi ở ngõ ra và ngõ vào. Ký hiệu là  $A_i$  hoặc  $A_v$ .

+ **Độ lợi dòng:** 
$$A_i = \frac{\Delta I_{out}}{\Delta I_{in}} = \frac{i_o(\text{rms})}{i_i(\text{rms})}$$

+ **Độ lợi áp:** 
$$A_v = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in}} = \frac{v_o(\text{rms})}{v_i(\text{rms})}$$

+ **Độ lợi công suất:** 
$$A_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} = A_v \cdot A_i$$

$A > 1$ : bộ khuếch đại tín hiệu.

$A < 1$ : bộ suy giảm tín hiệu.

**Nhắc lại:**

+ giá trị rms: trị hiệu dụng (để tính cho tín hiệu ac).

+ giá trị amp: trị biên độ (hoặc đỉnh – peak).

$$(\text{rms}) = \frac{(\text{amp})}{\sqrt{2}}$$

**Điện trở ngõ vào** của một bộ khuếch đại là tổng trở tương đương tại các đầu ngõ vào của nó.

$$R_{in} = \frac{V_{in}(DC)}{I_{in}} \quad r_{in} = \frac{V_{in}(ac)}{i_{in}}$$

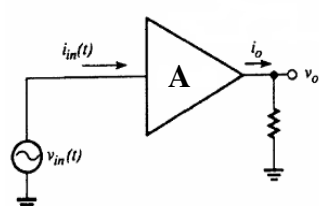
**Công suất ngõ vào ac**

$$P_{in} = [v_{in}(rms)][i_{in}(rms)] = \frac{v_{in}^2(rms)}{r_{in}} = [i_{in}^2(rms)]r_{in}$$

**Định nghĩa tương tự cho điện trở và công suất ngõ ra.**

3

**Ảnh hưởng của điện trở nguồn đối với mạch khuếch đại**



**\* Khuếch đại áp**

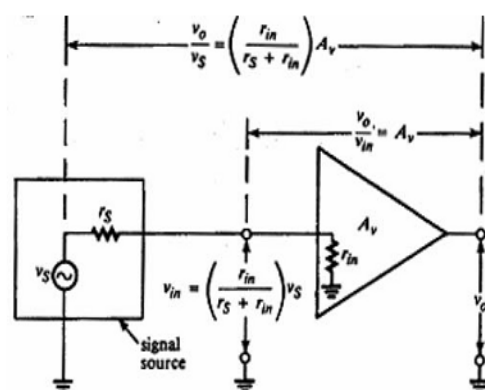
- Điện áp vào bộ KĐ:

$$v_{in} = \left( \frac{r_{in}}{r_s + r_{in}} \right) \cdot v_s$$

⇒ Điện áp ra :

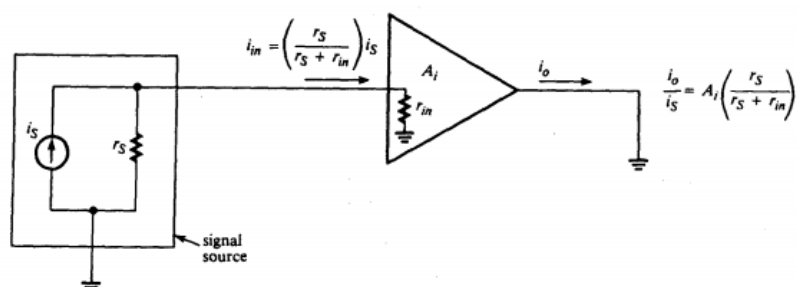
$$v_{out} = A_v \cdot v_{in} = A_v \cdot \left( \frac{r_{in}}{r_s + r_{in}} \right) \cdot v_s$$

⇒ Để có độ lợi áp là  $A_v$  thì  $r_{in} \gg r_s$ .



4

## \* Khuếch đại dòng



- Dòng ngõ vào bộ KĐ:

$$i_{in} = \left( \frac{r_s}{r_s + r_{in}} \right) \cdot i_s$$

⇒ Dòng ngõ ra :

$$i_{out} = A_i \cdot i_{in} = A_i \cdot \left( \frac{r_s}{r_s + r_{in}} \right) \cdot i_s$$

⇒ Để có độ lợi dòng là  $A_i$  thì  $r_s \gg r_{in}$ .

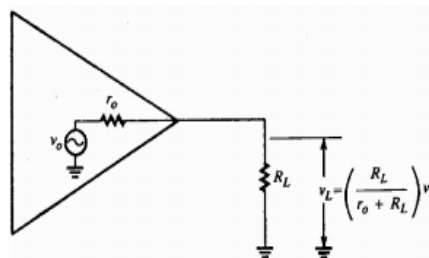
5

## Ảnh hưởng của điện trở tải

- Một bộ khuếch đại ac dùng để cung cấp áp, dòng hoặc/và công suất cho một tải ở ngõ ra.

- Tải có thể là loa, anten, còi, động cơ điện hoặc bất kỳ 1 thiết bị hữu ích nào.

- Khi phân tích mạch này, ta thay thế bằng 1 điện trở tải  $R_L$ .



Áp ra trên tải:  $v_L = \left( \frac{R_L}{r_o + R_L} \right) \cdot v_{out} \Rightarrow$  để có áp rơi tối đa trên tải thì  $r_L \gg r_o$ .

Xét cả ảnh hưởng của nguồn thì độ lợi áp từ nguồn đến tải:

$$\frac{v_L}{v_s} = A_v \cdot \left( \frac{r_{in}}{r_s + r_{in}} \right) \cdot \left( \frac{R_L}{r_o + R_L} \right)$$

6

Một cách tương tự khi xét đến bộ khuếch đại dòng, ta có:

**Dòng trên tải:** 
$$i_L = \left( \frac{r_o}{r_o + r_L} \right) i_{out}$$

$\Rightarrow$  để có áp rơi tối đa trên tải thì  $r_o \gg r_L$ .

**Độ lợi dòng tổng:**

$$\frac{i_L}{i_s} = A_i \cdot \left( \frac{r_s}{r_s + r_{in}} \right) \cdot \left( \frac{r_o}{r_o + r_L} \right)$$

Để truyền công suất cực đại thì cần có sự phối hợp trở kháng:

- Từ nguồn tín hiệu đến bộ khuếch đại:  $r_s = r_{in}$
- Từ bộ khuếch đại đến tải:  $r_{out} = r_L$

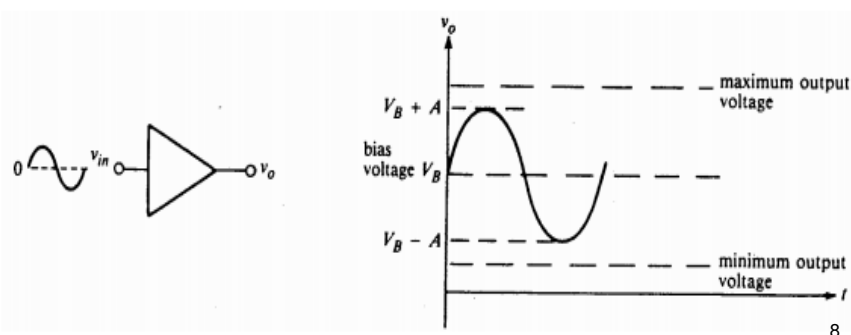
7

### Mục đích phân cực DC

Khi thiết kế phân cực cho BJT đồng thời cũng là chọn điểm làm việc cho BJT.

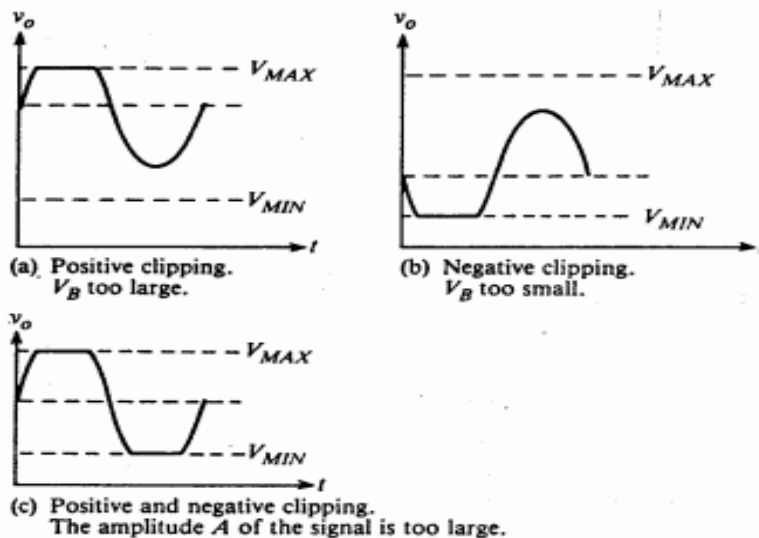
Khi đó, dạng sóng ở ngõ ra sẽ phụ thuộc vào giá trị điểm phân cực và sự thay đổi của tín hiệu ở ngõ vào.

$$v_o(t) = V_B + A \sin \omega t$$



8

Tùy thuộc vào giá trị của  $V_B$  mà điện áp ra sẽ có những thay đổi như sau:



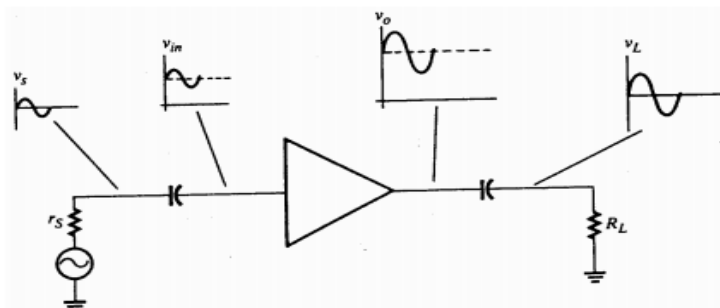
9

### Tụ ghép

- Tính chất của tụ là ngăn tín hiệu DC, thông thường tụ sẽ được dùng để ngăn ảnh hưởng của tín hiệu DC đối với nguồn hoặc tải.

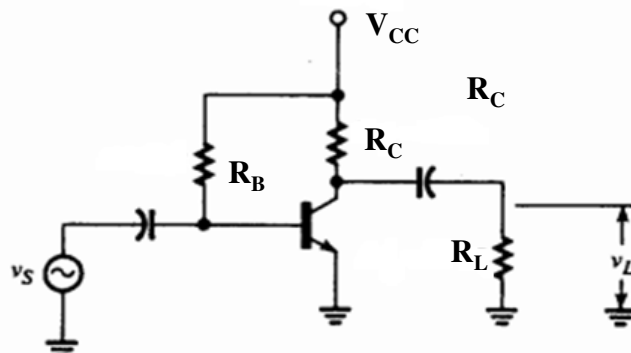
- Các tụ này phải đủ lớn để có tổng trở thật nhỏ đối với tín hiệu AC.

- Các tụ này được gọi là tụ ghép (coupling capacitor) hoặc tụ chặn (blocking capacitor).



10

**Đường tải một chiều và đường tải xoay chiều**



Xét mạch khuếch đại CE:

- Điện trở tải DC:  $R_L = R_C$ .
- Điện trở tải AC:  $r_L = R_L // R_C$ .

11

- Đường tải DC là tập hợp tất cả các điểm làm việc tĩnh  $Q(I_C, V_{CE})$ , khi chưa có tín hiệu AC.

- Đường tải AC là tập hợp tất cả các điểm  $(i_C, v_{CE})$ , bao gồm cả điểm Q.

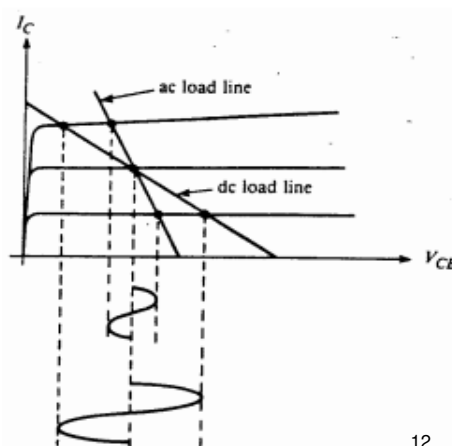
- Phương trình đường tải AC:

$$I_o = \frac{V_Q}{r_L} + I_Q$$

$$V_o = V_Q + I_Q r_L$$

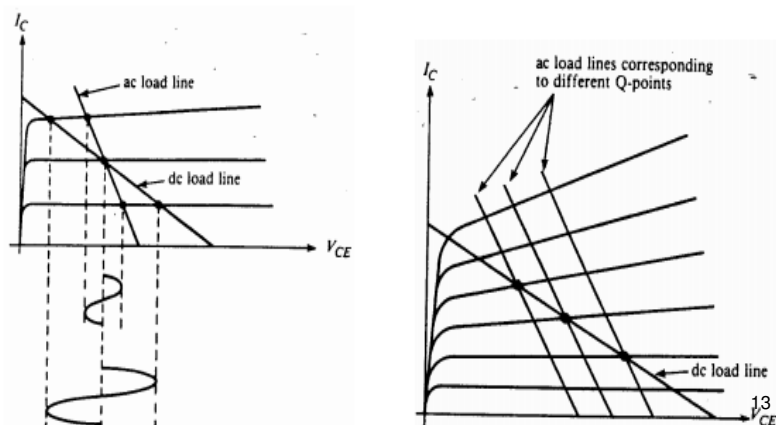
$$I_Q, V_Q = Q(I_C, V_{CE})$$

$I_o, V_o$ : giá trị  $i_C$  và  $v_{CE}$  của đường tải AC.



12

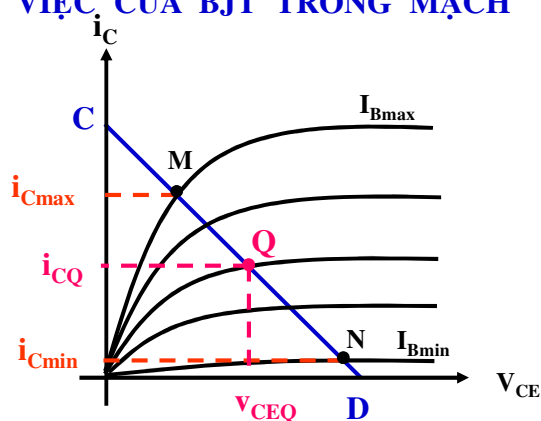
- Đường tải AC có dốc hơn đường tải DC.
- Áp ngõ ra được quyết định bởi đường tải AC sẽ nhỏ hơn nếu được quyết định bởi đường tải DC.
- Nếu Q dịch trên đường tải DC thì đường tải AC sẽ dịch song song.



## II. CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA BJT TRONG MẠCH KHUẾCH ĐẠI

### Chế độ A (Lớp A)

Khi chọn điểm Q nằm khoảng giữa đoạn MN trên đường tải xoay chiều, ta nói phần tử KĐ làm việc ở chế độ A. Đặc điểm của chế độ này là:



- Khuếch đại trung thực, ít méo phi tuyến.

- Dòng và áp tĩnh luôn khác không. Biên độ dòng và áp xoay chiều lấy ra tối đa chỉ bằng dòng và áp tĩnh. Do đó hiệu suất thấp (25%).

**Định nghĩa hiệu suất  $\eta$ :** đo bằng tỷ số giữa công suất của tín hiệu xoay chiều đưa ra trên tải và tổng công suất tầng khuếch đại tiêu thụ của nguồn cung cấp.

Chế độ A thường dùng trong các tầng khuếch đại tín hiệu nhỏ.

### Chế độ B (Lớp B)

Khi chọn điểm Q nằm trùng với D (hoặc N) thì phân tử khuếch đại làm việc ở chế độ B lý tưởng (hoặc thực tế). Đặc điểm của chế độ này là:

- Méo phi tuyến trầm trọng.
- Hiệu suất cao. ( $\eta_{Bmax} = 78.5\%$ ).
- Thường dùng trong các tầng khuếch đại công suất (tầng cuối của các thiết bị khuếch đại). Để khắc phục méo phi tuyến, đòi hỏi mạch phải có 2 vé đối xứng thay phiên làm việc trong 2 nửa chu kỳ (gọi là mạch “đẩy kéo”).

15

Thực tế, người ta còn dùng chế độ AB (trung gian giữa chế độ A và B): điểm Q chọn ở phía trên điểm N và gần điểm này. Lúc đó phát huy được ưu điểm của mỗi chế độ, giảm bớt méo phi tuyến, nhưng hiệu suất kém hơn chế độ B.

### Chế độ khóa hay chế độ đóng ngắt (lớp D)

BJT có thể làm việc ở chế độ đóng ngắt (Switch BJT).

Tùy theo giá trị điện áp vào mà BJT có thể làm việc ở 2 trạng thái đối lập:

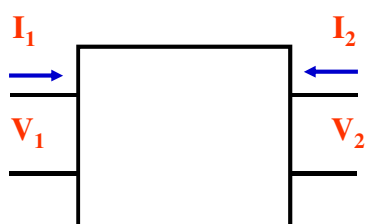
- Trạng thái khóa (tắt): khi Q nằm ở phía dưới điểm N.
- Trạng thái dẫn bão hòa (mở): khi Q nằm ở phía trên điểm M (gần điểm C).

16



### III. SƠ ĐỒ TƯƠNG ĐƯƠNG CỦA BJT

- Mục đích của việc chuyển về sơ đồ tương đương là làm cho mạch tính toán đơn giản và dễ dàng hơn.
- Khi sự biến thiên ở tín hiệu vào đủ nhỏ để tạo sự thay đổi về dòng và áp ở ngõ ra nằm trong đặc tính giới hạn của BJT, ta có thể xem BJT là một phần tử 4 cực *tuyến tính*:



$I_1, V_1(i_1, v_1)$ : dòng và áp ở ngõ vào.

$I_2, V_2(i_2, v_2)$ : dòng và áp ở ngõ ra.

17

#### *Tham số xoay chiều của BJT*

Tùy theo từng sơ đồ cụ thể của BJT (BC, EC hay CC) thì các đại lượng trên sẽ là những điện áp hay dòng điện trên các cực tương ứng, đồng thời tùy theo loại BJT (NPN hay PNP) mà chúng có dấu hoặc chiều thích hợp.

Tùy theo việc chọn biến và hàm để mô tả mối quan hệ giữa các ngõ vào và ra của BJT mà ta có các loại tham số đặc trưng cho BJT.

|      |            |            |            |            |            |            |
|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Biến | $I_1, I_2$ | $V_1, V_2$ | $I_1, V_2$ | $V_1, I_2$ | $v_2, I_2$ | $V_1, I_1$ |
| Hàm  | $V_1, V_2$ | $I_1, I_2$ | $V_1, I_2$ | $I_1, V_2$ | $V_1, I_1$ | $V_2, I_2$ |

Tham số y

Tham số z

Tham số h

18

**Bộ tham số h**

$$\begin{cases} V_1 = f(I_1, V_2) \\ I_2 = f(I_1, V_2) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} dV_1 = \frac{\partial V_1}{\partial I_1} dI_1 + \frac{\partial V_1}{\partial V_2} dV_2 \\ dI_2 = \frac{\partial I_2}{\partial I_1} dI_1 + \frac{\partial I_2}{\partial V_2} dV_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_1 = h_{11}i_1 + h_{12}v_2 \\ i_2 = h_{21}i_1 + h_{22}v_2 \end{cases}$$

**Ý nghĩa của từng tham số**

$$h_{11}(\text{hi}) = \left. \frac{v_1}{i_1} \right|_{v_2=0} \quad \text{Trở kháng vào của BJT khi áp xoay chiều ở ngõ ra bị ngắn mạch.}$$

$$h_{21}(\text{hf}) = \left. \frac{i_2}{i_1} \right|_{v_2=0} \quad \text{Hệ số khuếch đại dòng điện (độ lợi dòng) của BJT khi áp xoay chiều ở ngõ ra bị ngắn mạch.}$$

$$h_{22}(\text{ho}) = \left. \frac{i_2}{v_2} \right|_{i_1=0} \quad \text{Điện dẫn ra của BJT khi dòng xoay chiều ở ngõ vào bị hở mạch.}$$

$$h_{12}(\text{hr}) = \left. \frac{v_1}{v_2} \right|_{i_1=0} \quad \text{Hệ số truyền ngược về điện áp (hồi tiếp điện áp) của BJT khi dòng xoay chiều ở ngõ vào bị hở mạch.}$$

- Vì vậy, phẩm chất, tính năng của BJT sẽ thể hiện giá trị các tham số  $h_{ij}$  của chúng.

- Các  $h_{ij}$  được gọi là các *tham số xoay chiều (hoặc tham số vi phân)* của BJT.

- Về đơn vị đo:

-  $h_{11}$  (hoặc  $h_i$ ): điện trở ( $\Omega$ ).

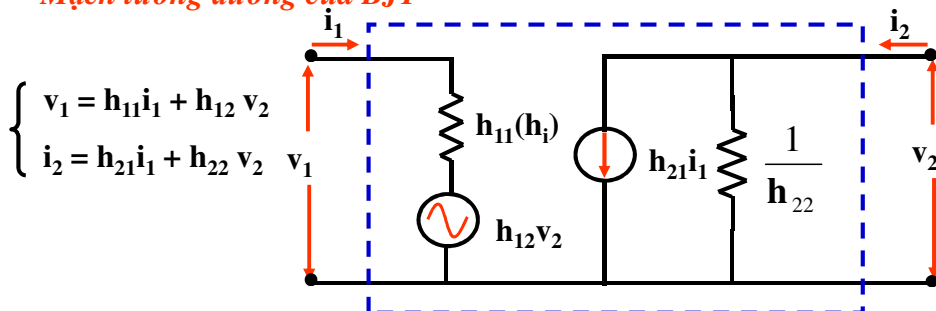
-  $h_{22}$  (hoặc  $h_o$ ): điện dẫn (mho ( $\mathcal{S}$ ) hoặc siemient).

-  $h_{12}$  (hoặc  $h_r$ ) và  $h_{21}$  (hoặc  $h_f$ ) chỉ là các hệ số nên không có thứ nguyên.

Do đó, bộ tham số  $h_{ij}$  còn được gọi là *tham số hỗn hợp* (hybrid).

- Tùy theo BJT mắc theo kiểu nào (BC, EC hay CC) mà các tham số có thêm chỉ số tương ứng.

**Mạch tương đương của BJT**

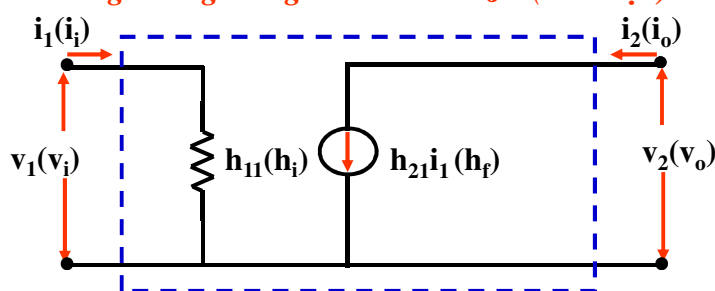


$$\begin{cases} v_1 = h_{11}i_1 + h_{12}v_2 \\ i_2 = h_{21}i_1 + h_{22}v_2 \end{cases}$$

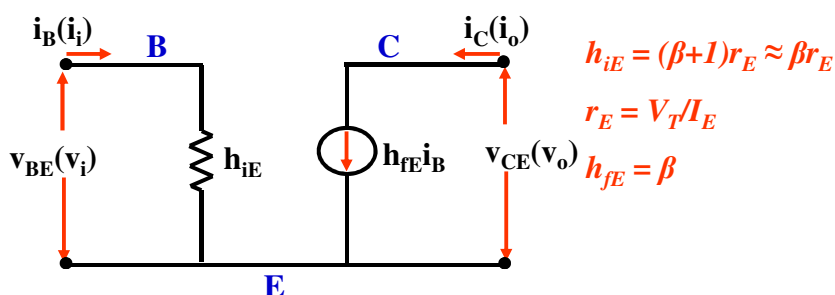
- Điện trở vào  $h_{11}$  (hoặc  $h_i$ ).
- Nguồn điện áp  $h_{12}v_2$  (hoặc  $h_r v_o$ ): thể hiện sự hồi tiếp điện áp nội bộ của BJT. Thực tế  $h_{12}$  (hay  $h_r$ ) có giá trị rất bé ( $10^3 \div 10^4$ ), vì vậy đại lượng  $h_{12}v_2$  có thể bỏ qua.
- Nguồn dòng điện  $h_{21}i_1$  (hoặc  $h_f i_i$ ): phản ánh khả năng khuếch đại dòng.
- Điện dẫn ra  $h_{22}$  (hoặc  $h_o$ ), thực tế giá trị này rất bé, nên điện trở ra sẽ vô cùng lớn và có thể bỏ qua.

21

**Mạch tương đương đơn giản hóa của BJT (toán học)**



**Mạch tương đương đơn giản hóa của BJT mắc kiểu CE**



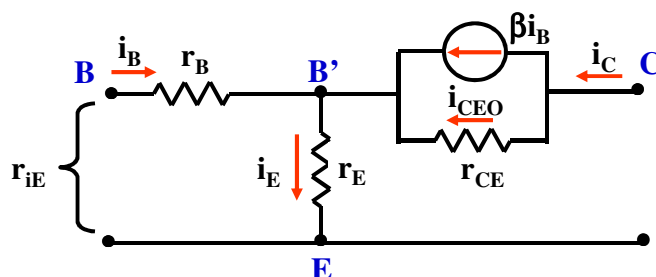
$$h_{iE} = (\beta + 1)r_E \approx \beta r_E$$

$$r_E = V_T / I_E$$

$$h_{fE} = \beta$$

22

**Mạch tương đương của BJT mắc kiểu CE (vật lý)**



-  $r_E$ : điện trở của vùng nghèo emitter đối với tín hiệu xoay chiều.

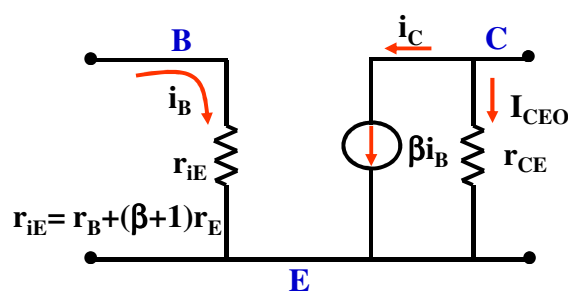
Ở nhiệt độ thường:  $r_E = \frac{26[mV]}{I_E[mA]} \approx \frac{26[mV]}{I_C[mA]}$

-  $r_B$ : điện trở bản thân của miền base đối với dòng  $I_B$ . Đối với các BJT công suất nhỏ  $r_B = (100 \div 300)\Omega$ .

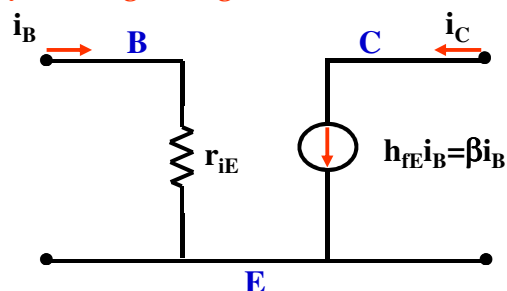
-  $r_C$ : điện trở của vùng nghèo collector, có giá trị rất lớn (hàng  $M\Omega$ ).

23

**Mạch tương đương của BJT mắc kiểu CE (vật lý)**



**Mạch tương đương của BJT mắc kiểu CE (vật lý) đơn giản hơn**



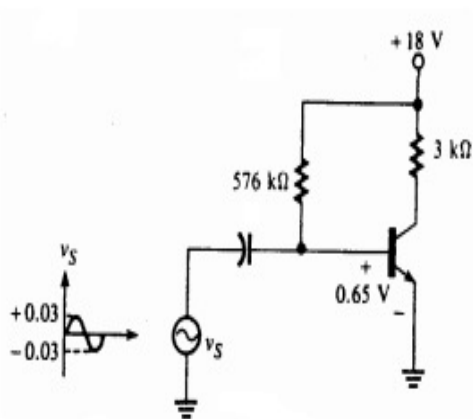
Vì  $\beta \gg 1$  và  $r_B \ll r_E$ :  
 $r_{iE} \approx \beta r_E$

24

#### IV. PHÂN TÍCH MẠCH KHUẾCH ĐẠI CỰC PHÁT CHUNG

##### 1. Phương pháp đồ thị

Xét mạch khuếch đại CE:



- Dòng ngõ vào  $i_B$ .

- Dòng ngõ ra  $i_C$ .

- Độ lợi dòng:  $A_i = i_C/i_B = \beta$

Giả sử  $V_{BE}$  phân cực thuận ở 0.65V. Khi:

$$v_S = -0.03V \div +0.03V$$

thì  $V_{BE} = -0.62V \div +0.68V$

25

Xét trên đặc tuyến ngõ vào:

$$V_{BE} = -0.62V \div +0.68V$$

$$I_B = 20\mu A \div 40\mu A$$

Khi BJT dẫn ở  $V_{BE} = 0.65V$ :

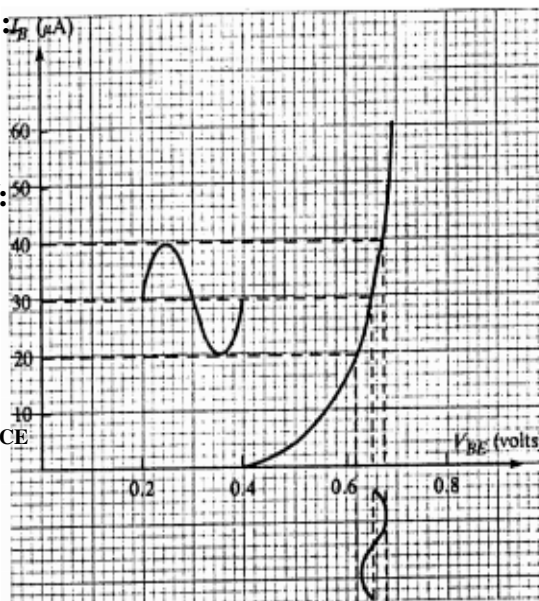
$$I_B = 30\mu A$$

Phương trình đường tải:

$$I_C \cdot 3 \cdot 10^3 + V_{CE} = 18$$

⇒ Đường tải cắt trục  $I_C$ ,  $V_{CE}$  trên đặc tuyến ra tại:

$$I_C = 6mA; V_{CE} = 18V$$



26

Xét trên đặc tuyến ngõ ra:

$$I_B = 30\mu\text{A} \Rightarrow Q(3\text{mA}; 9\text{V})$$

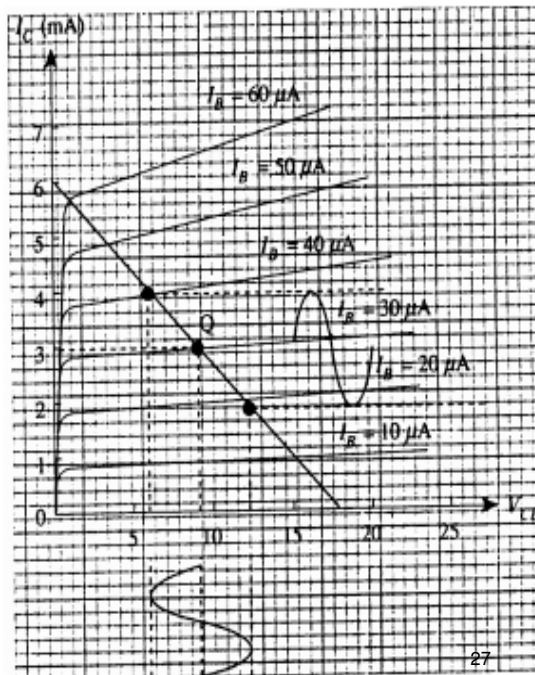
Phương trình đường tải:

Dựa vào đặc tuyến:

$$I_B = 20\mu\text{A} \div 40\mu\text{A}$$

$$\Rightarrow I_C = 2\text{mA} \div 4\text{mA}$$

Vì  $i_B$  biến thiên theo hình sin nên  $i_C$  cũng biến thiên theo hình sin.



Viết lại phương trình đường tải tổng quát:

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

Nếu áp ngõ vào tăng:  $I_B$  tăng  $\Rightarrow I_C$  tăng  $\Rightarrow V_{CE}$  giảm và ngược lại. Do đó, áp ngõ ra và ngõ vào ngược pha nhau.

Dựa vào đồ thị, ta có thể tính các thông số sau:

$$A_v = \frac{v_{\text{out}}}{v_{\text{in}}} = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta V_{BE}} = \frac{(6-12)\text{V}}{(0.68-0.62)\text{V}} = -100$$

$$A_i = \frac{i_{\text{out}}}{i_{\text{in}}} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{(4\text{mA}) - (2\text{mA})}{(40\mu\text{A}) - (20\mu\text{A})} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-6}} = 1000$$

28

Điện trở ngõ vào của bộ khuếch đại:

$$r_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{0.06V}{20\mu A} = 3000\Omega$$

Điện trở ngõ ra của bộ khuếch đại:

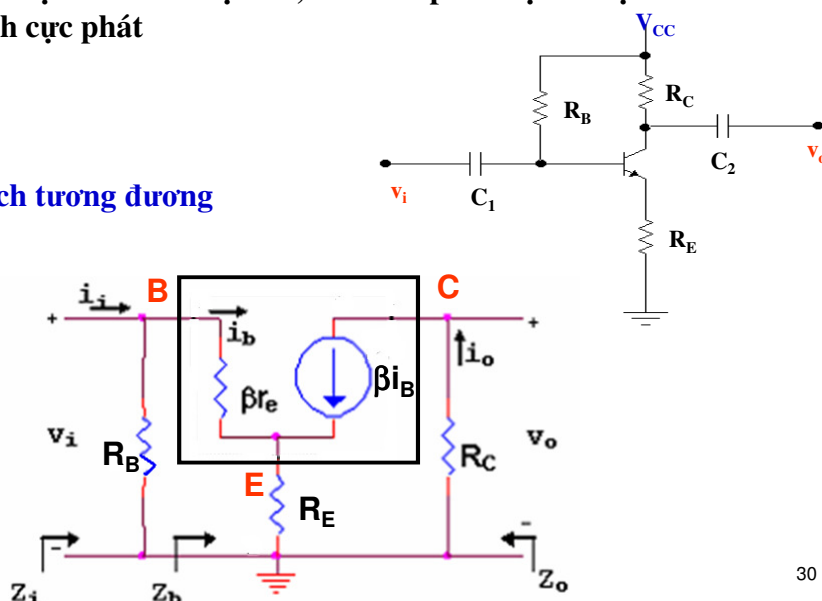
$$r_{out} = \frac{v_{out}}{i_{out}} = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} = \frac{6V}{2mA} = 3000\Omega$$

29

## 2. Phương pháp sơ đồ tương đương

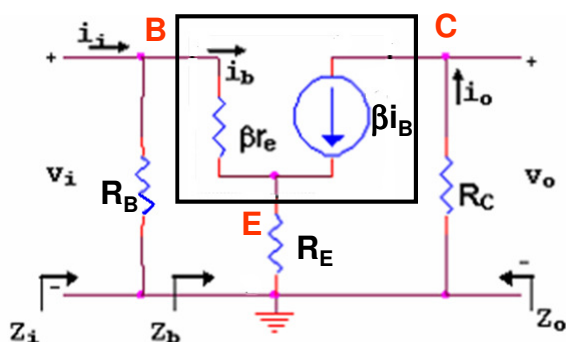
Xét mạch khuếch đại EC, với kiểu phân cực cố định và ổn định cực phát

Mạch tương đương



30

## Mạch tương đương



**Độ lợi điện áp:**  $A_v = \frac{v_o}{v_i}$

$$v_o = -\beta \cdot i_B \cdot R_C \quad v_i = \beta \cdot i_B \cdot r_E + (\beta + 1) \cdot i_B \cdot R_E$$

$$\Rightarrow A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{\beta i_B R_C}{\beta i_B r_E + (\beta + 1) i_B R_E}$$

31

Do  $\beta \gg 1$ , nên:  $\Rightarrow A_v = -\frac{R_C}{r_E + R_E}$

Nếu  $R_E \gg r_E$ :  $\Rightarrow A_v = -\frac{R_C}{R_E}$

**Dấu (-)** cho thấy  $v_o$  và  $v_i$  ngược pha nhau.

**Tổng trở vào:**  $Z_i = \frac{v_i}{i_i}$

Đặt:  $Z_b = \frac{v_i}{i_B}$

$$\Rightarrow Z_b = \frac{\beta i_B r_E + (\beta + 1) i_B R_E}{i_B} \approx \beta (r_E + R_E) \approx \beta R_E$$

Suy ra:  $Z_i = R_B // Z_b$

32



**Độ lợi dòng điện:**  $A_i = \frac{i_o}{i_i}$

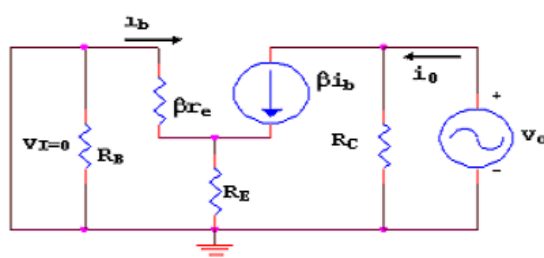
$$i_o = -\frac{v_o}{R_C}$$

$$i_i = \frac{v_i}{Z_i}$$

$$\Rightarrow A_i = -\frac{v_o}{v_i} \cdot \frac{Z_i}{R_C} = -A_v \cdot \frac{Z_i}{R_C}$$

33

**Tổng trở ra:**  $Z_o = \frac{v_o}{i_o}$



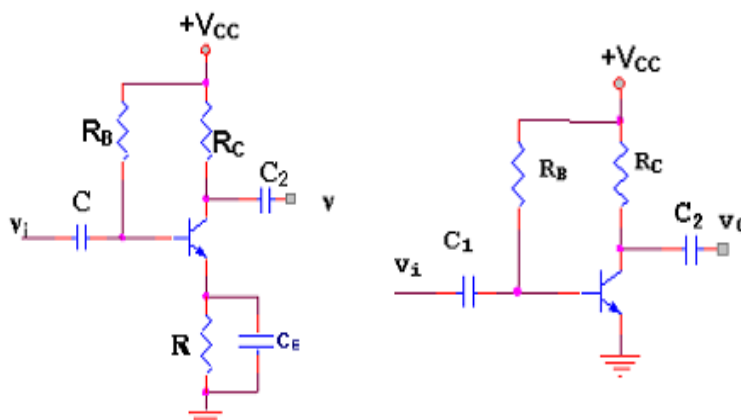
**Khi ngắn mạch ngõ vào:**

$$v_i = 0 \Rightarrow i_B = 0 \Rightarrow \beta i_B = 0 \text{ (hở mạch)}$$

$$\Rightarrow Z_o = \frac{v_o}{i_o} = R_C$$

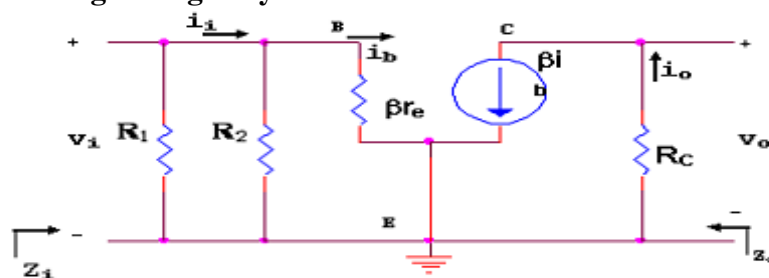
34

Trường hợp mắc thêm tụ phân dòng song song với điện trở  $R_E$ , hoặc không có điện trở  $R_E$  ở cực phát thì mạch tương đương về xoay chiều sẽ không có điện trở  $R_E$ .



35

Mạch tương đương xoay chiều như sau:



Tính toán tương tự:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_C}{r_e}$$

$$Z_i = \frac{v_i}{i_i} = R_B // \beta r_e$$

$$Z_o = R_C$$

$$A_i = -A_v \frac{Z_i}{R_C}$$

36