

Phần 2: ĐIỆN TỬ CƠ BẢN

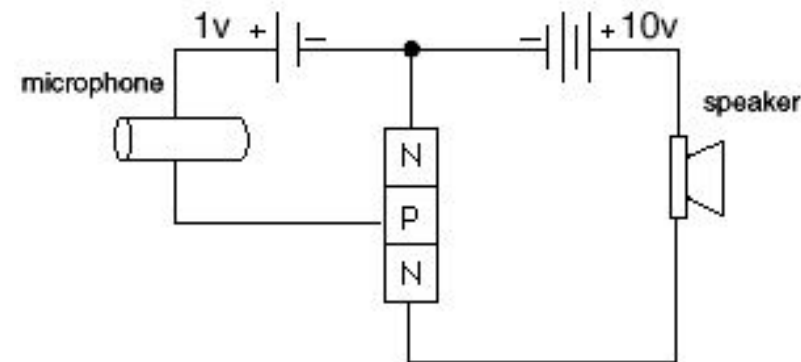
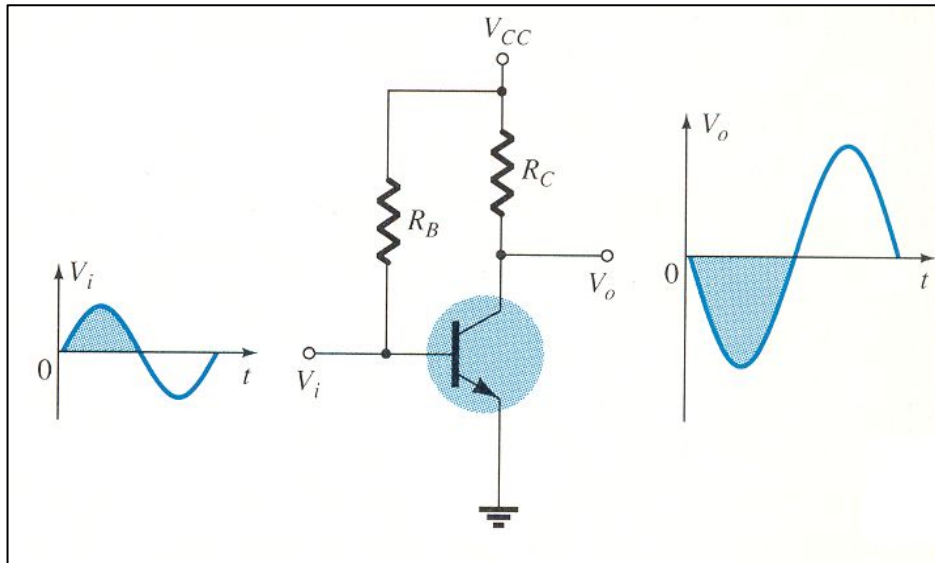
Bài 8: KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

(Part 1: Mạch khuếch đại căn bản)

1. Khái niệm khuếch đại

1. Khái niệm khuếch đại

Khuếch đại là quá trình biến đổi một đại lượng (dòng điện hoặc điện áp) từ biên độ nhỏ ở ngõ vào thành biên độ lớn hơn nhiều ở ngõ ra mà không làm thay đổi tần số của nó. Mạch khuếch đại được sử dụng trong hầu hết các thiết bị điện tử như: mạch khuếch đại âm tần trong amply, khuếch đại tín hiệu video, ...



1. Khái niệm khuếch đại

Có ba loại mạch khuếch đại chính là:

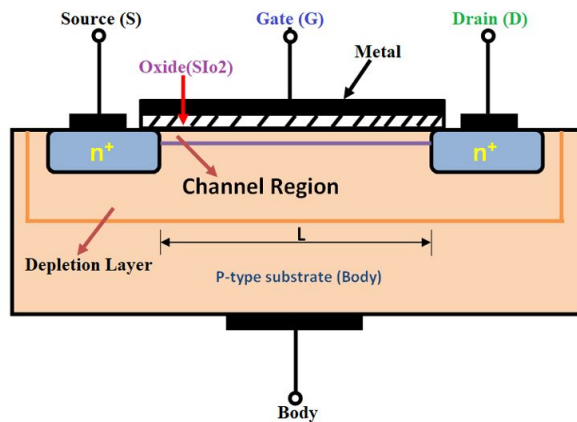
- **Khuếch đại điện áp:** là mạch khi ta đưa một tín hiệu có biên độ nhỏ vào, đầu ra ta sẽ thu được một tín hiệu có biên độ lớn hơn nhiều lần.
- **Mạch khuếch đại dòng điện:** là mạch khi ta đưa một tín hiệu có cường độ yếu vào, đầu ra ta sẽ thu được một tín hiệu có cường độ dòng điện mạnh hơn nhiều lần.
- **Mạch khuếch đại công suất:** là mạch khi ta đưa một tín hiệu có công suất yếu vào, đầu ra ta thu được tín hiệu có công suất mạnh hơn nhiều lần. Thực ra mạch khuếch đại công suất là kết hợp cả hai mạch khuếch đại điện áp và khuếch đại dòng điện.

1. Khái niệm khuếch đại

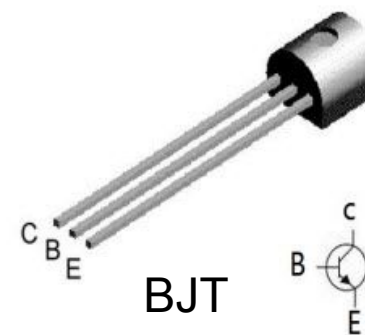
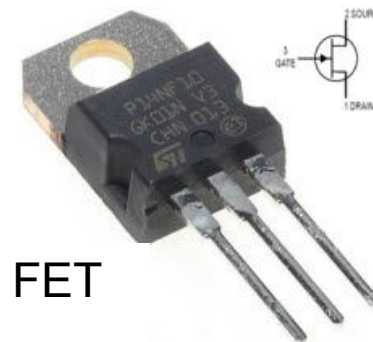
Transistor được sử dụng trong mạch khuếch đại gồm:

- FET (Field Effect Transistor): Transistor hiệu ứng trường (hay Transistor trường)
- BJT (Bipolar Junction Transistor): Transistor lưỡng cực

Trong đó FET có ưu điểm về kích thước và điện áp cung cấp thấp, dẫn đến công suất tiêu thụ thấp hơn BJT và độ tin cậy cao hơn BJT. Tuy nhiên FET lại có nhược điểm là điện dẫn g nhỏ và nhạy cảm với điện tích tĩnh, do đó FET thường được tích hợp trong mạch IC (hay bên trong chip), còn BJT thường dùng cho các mạch rời. Trong phạm vi bài học này tập trung vào việc ứng dụng BJT trong mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ.

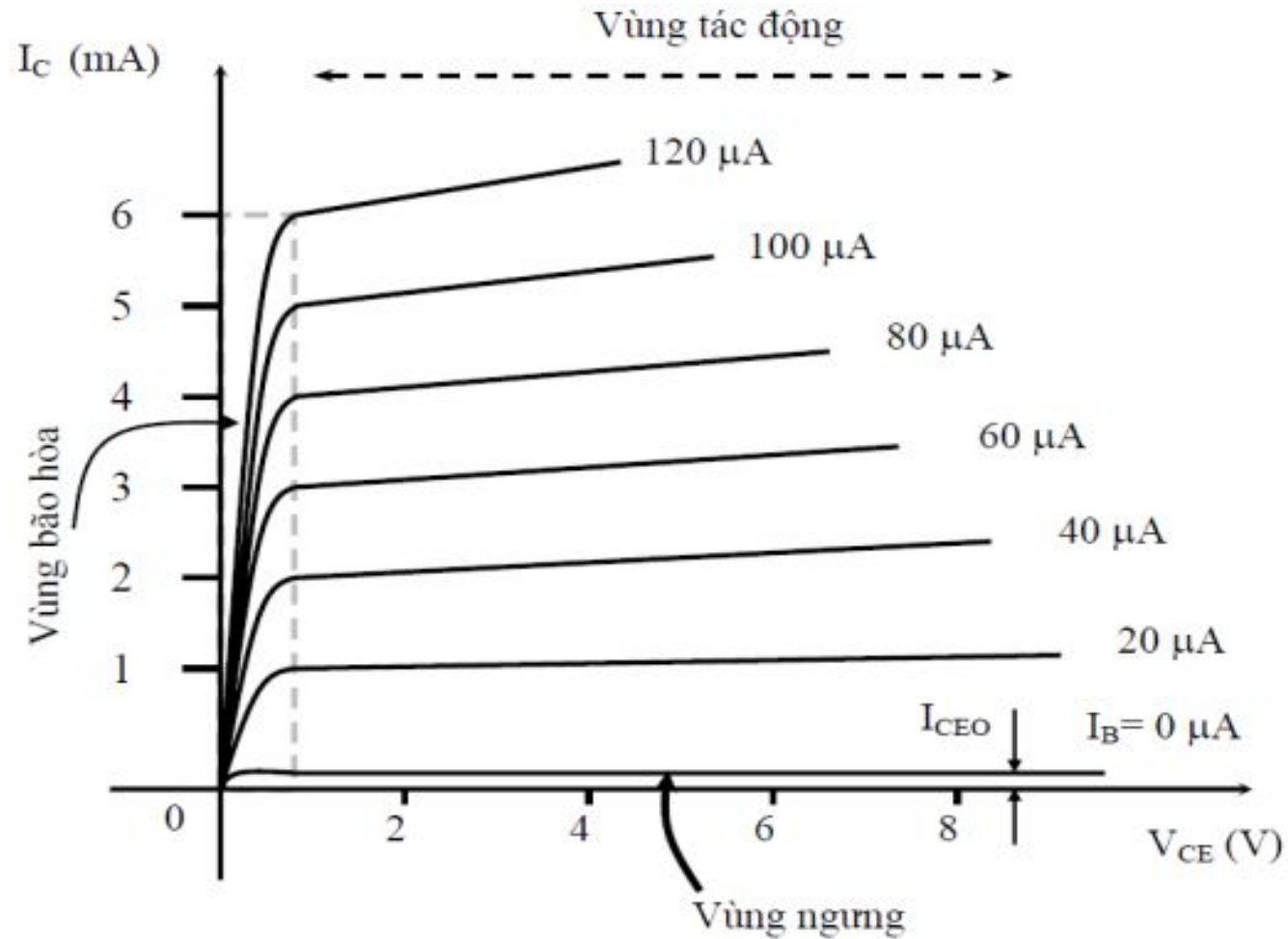


Difference Between BJT and FET



1. Khái niệm khuếch đại

a) Phân cực transistor BJT hoạt động trong vùng tác động (vùng khuếch đại hay tuyến tính).



Đặc tuyến ngõ ra transistor BJT

1. Khái niệm khuếch đại

a) Phân cực transistor BJT hoạt động trong vùng tác động (vùng khuếch đại hay tuyến tính).

Khi tính toán phân cực cần lưu ý các thông số sau:

Trong cách ráp cực phát chung (E chung) hoặc thu chung (C chung):

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_C = \beta I_B$$

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

β là hệ số khuếch đại dòng điện
(100 – 500 loại <1W và 20 – 100, loại > 1W)

Công thức liên hệ giữa α và β :

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

Trong cách ráp cực nền chung (B chung):

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO} \text{ (} I_{CBO} \text{ dòng rò rỉ)}$$

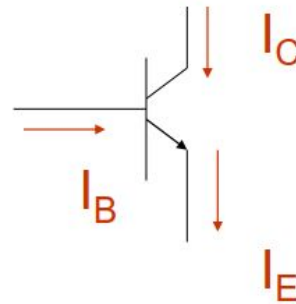
$$I_C \approx \alpha I_E \text{ (bỏ qua } I_{CBO} \text{ vì rất nhỏ)}$$

$$\alpha = 0.9 \div 0.998$$

α là hệ số truyền đạt dòng điện

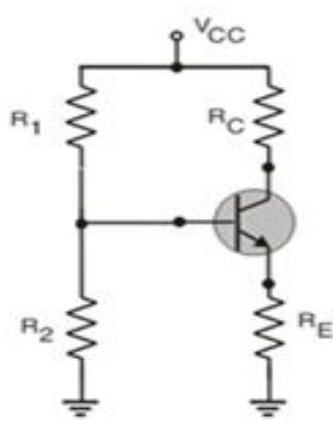
$$I_C \approx I_E$$

Transistor npn

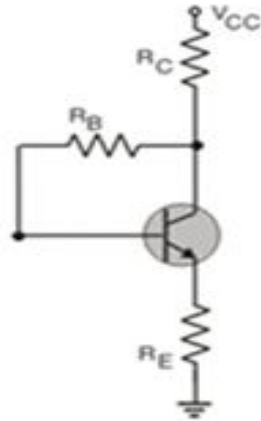


1. Khái niệm khuếch đại

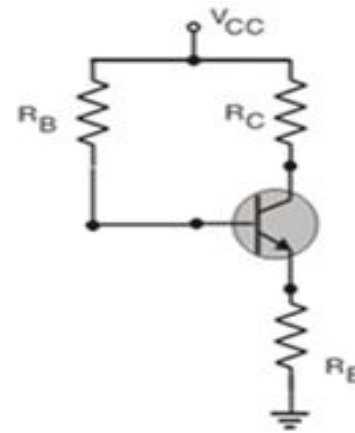
Có 4 cách phân cực cơ bản của transistor như sau:



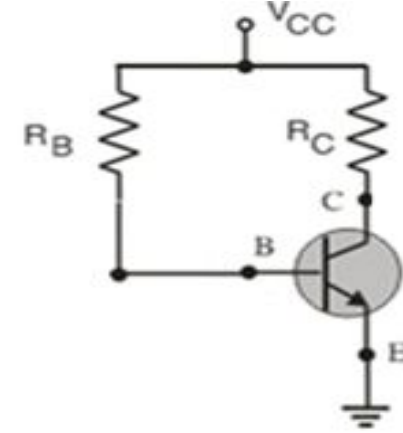
Phân áp (cách 1)



Hồi tiếp (cách 2)



Emitter (cách 3)



Base (cách 4)

* Trong đó:

- Cách 3 là trường hợp đặc biệt của cách 1 khi $R_2 = \infty$
- Cách 4 là trường hợp đặc biệt của cách 1 khi $R_2 = \infty, R_E = 0$

* Vậy ta có 2 cách phân cực tổng quát là:

- Cách 1: phân cực bằng cầu phân áp
- Cách 2: phân cực bằng hồi tiếp điện áp

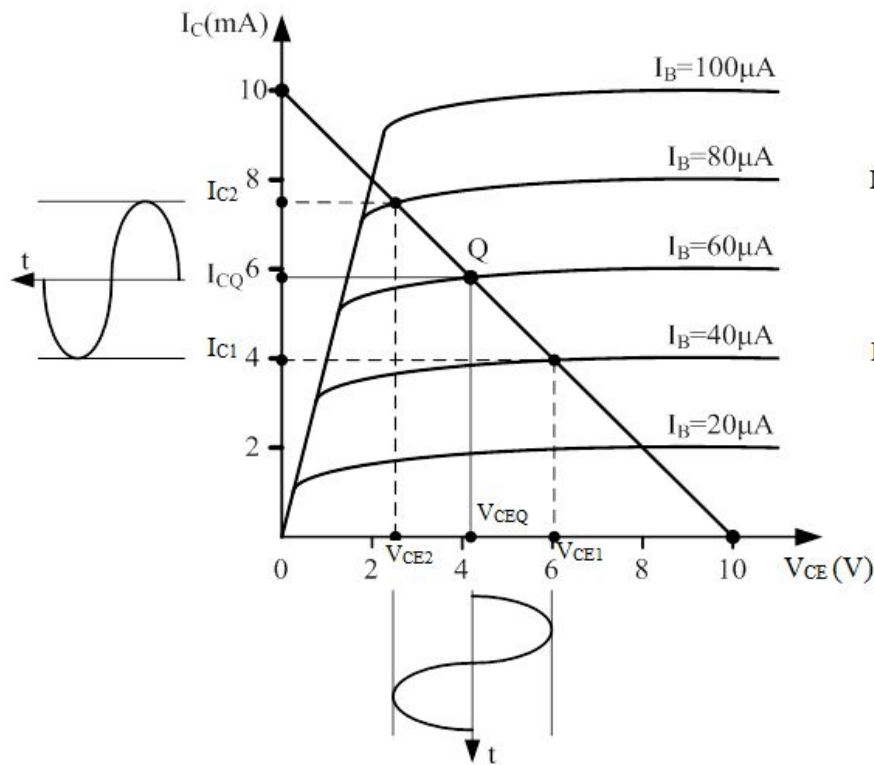
* Với mỗi cách phân cực ta có 3 cách đưa tín hiệu vào và lấy tín hiệu ra:

- Mạch cực phát chung (E chung): tín hiệu vào ở cực B và ra ở cực C
- Mạch cực thu chung (C chung): tín hiệu vào ở cực B và ra ở cực E
- Mạch cực nền chung (B chung): tín hiệu vào ở cực E và ra ở cực C

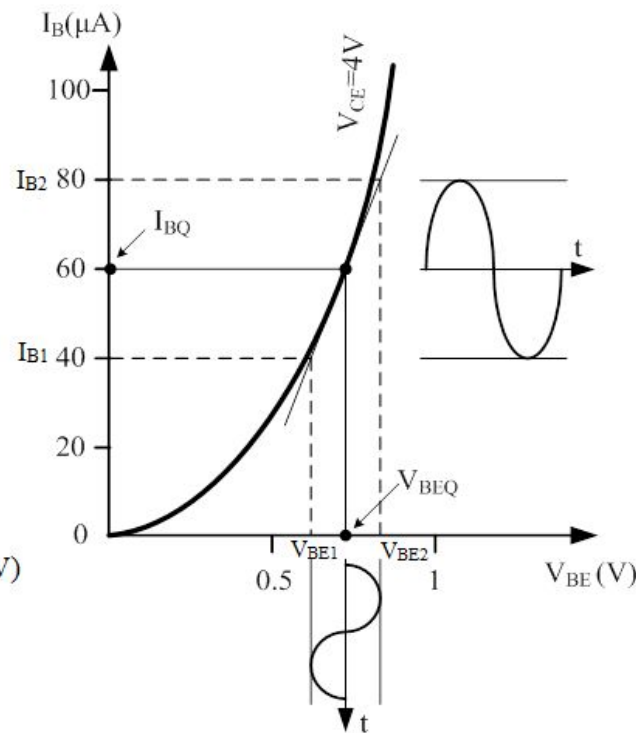
1. Khái niệm khuếch đại

b) Điểm làm việc tĩnh và đường thẳng lấy điện tĩnh

Đường lấy điện tĩnh ngõ ra cắt đặc tuyến ngõ ra tại một điểm tương ứng với I_{BQ} (đã xác định ở ngõ vào), gọi là điểm làm việc tĩnh ngõ ra của mạch điểm Q(V_{CEQ} , I_{CQ}).



(a) Đặc tuyến ra



(b) Đặc tuyến vào

- Độ lợi dòng DC (một chiều):

$$\beta_{DC} = \frac{I_{CQ}}{I_{BQ}}$$

- Độ lợi dòng AC (xoay chiều):

$$A_i = \beta_{AC} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_Q = \frac{I_{C2} - I_{C1}}{I_{B2} - I_{B1}}$$

- Độ lợi áp

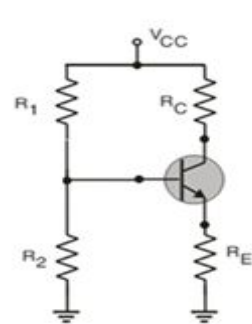
$$A_v = \left. \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta V_{BE}} \right|_Q = \frac{V_{CE2} - V_{CE1}}{V_{BE2} - V_{BE1}} \bigg|_Q$$

1. Khái niệm khuếch đại

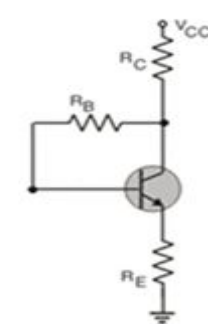
c) Mạch tương đương xoay chiều của transistor BJT

Transistor BJT là linh kiện phi tuyến, nhưng khi xét với tín hiệu trong phạm vi biến thiên nhỏ thì mức độ phi tuyến ảnh hưởng không lớn, nên có thể xem như mạch tuyến tính. Trong chế độ tín hiệu nhỏ do tính tuyến tính nên transistor được vẽ thành các mạch tương đương xoay chiều gồm **điện trở** và **nguồn dòng**, để có thể tính toán và phân tích theo các nguyên lý của lý thuyết mạch điện. Các mô hình tương đương như:

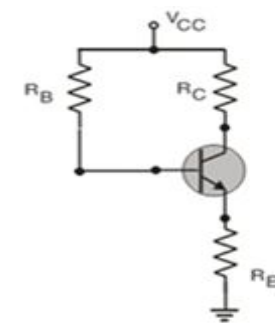
- Mô hình thông số r_e (tần số thấp)
- Mô hình thông số hỗn tạp h (tần số thấp)
- Mô hình thông số hỗn tạp π (tần số cao)
- Mô hình thông số y (tần số cao)



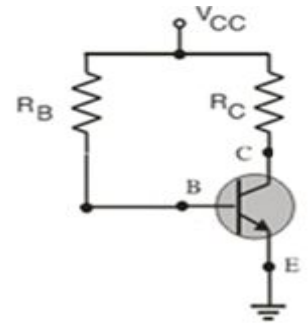
Phân áp (cách 1)



Hồi tiếp (cách 2)



Emitter (cách 3)



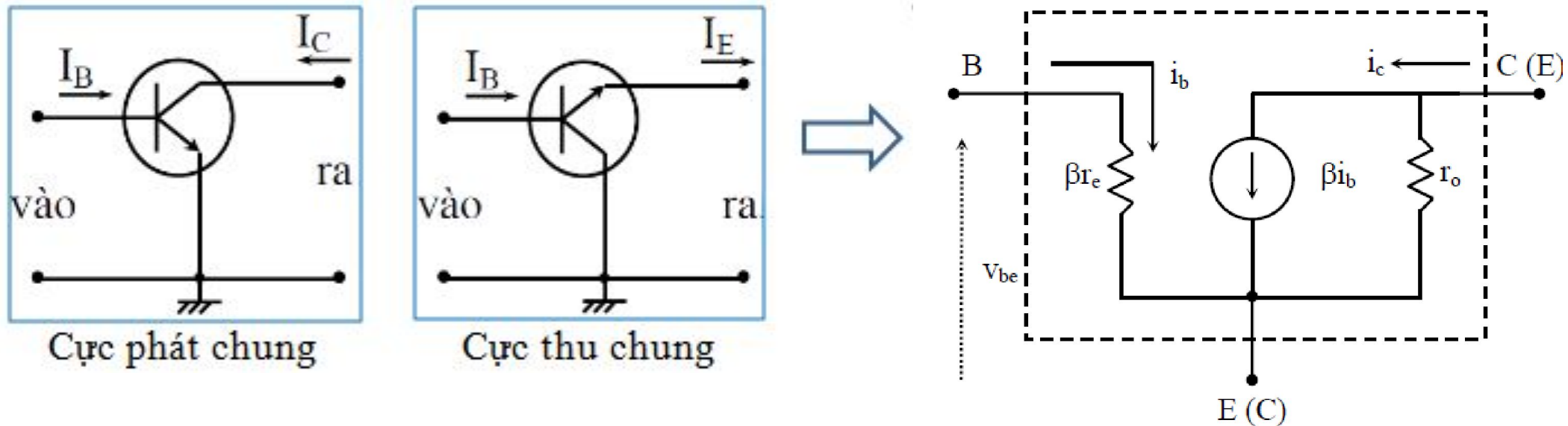
Base (cách 4)

1. Khái niệm khuếch đại

c) Mạch tương đương xoay chiều của transistor BJT

Transistor BJT NPN và phân tích tín hiệu nhỏ theo mô hình thông số r_e

- Mạch cực phát chung (E chung) hoặc thu chung (C chung):

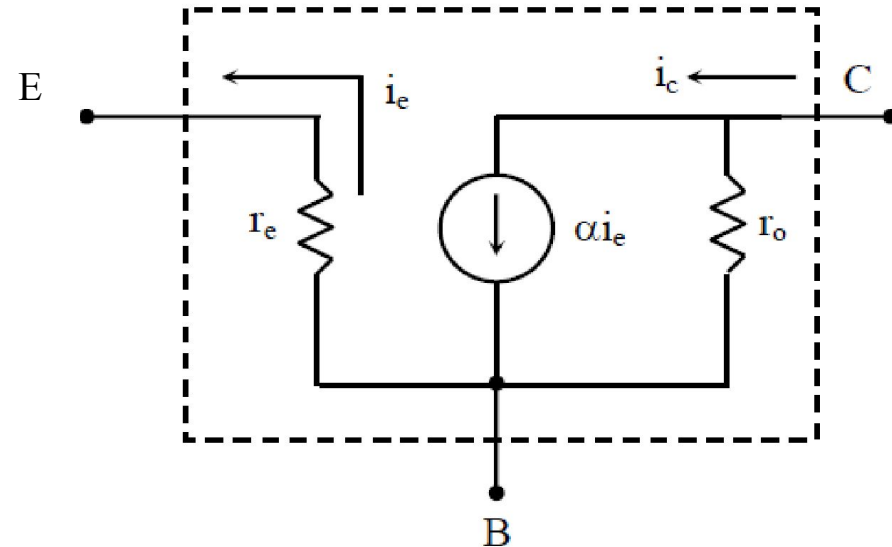
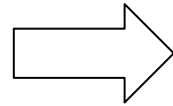
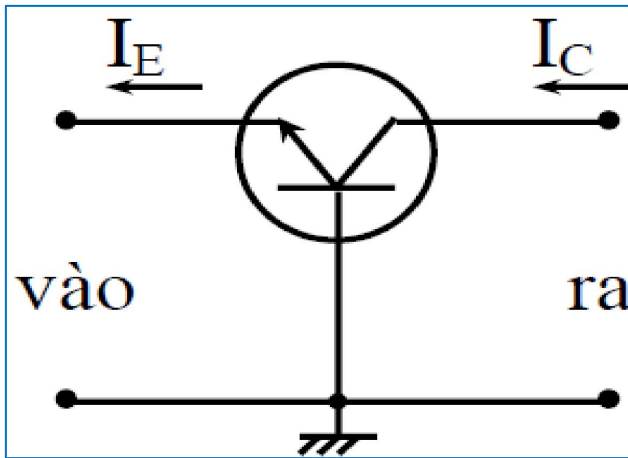


Nguồn dòng: $i_c = \beta i_b$, β là độ lợi dòng điện xoay chiều trong cách mắc cực phát/thu chung (được nhà sản xuất cung cấp).

1. Khái niệm khuếch đại

c) Mạch tương đương xoay chiều của transistor BJT (tt)

- Mạch cực nền chung (B chung):



Nguồn dòng: $i_c = \alpha i_e$, α là độ lợi dòng điện xoay chiều trong cách mắc cực nền chung (được nhà sản xuất cung cấp).

1. Khái niệm khuếch đại

c) Mạch tương đương xoay chiều của transistor BJT (tt)

Ghi chú:

- Do điện trở r_o có giá trị rất lớn (từ vài chục k Ω đến vài trăm k Ω) so với điện trở tải, nên nhiều trường hợp có thể bỏ qua r_o .
- Trong mô hình trên ta có điện trở động ở nhiệt độ phòng (25°C): $r_e = \frac{26(\text{mV})}{I_{CQ}} (\Omega)$
 r_e phụ thuộc vào điểm làm việc tĩnh (một chiều) Q (I_{BQ} , I_{CQ} , V_{CEQ}). Điểm làm việc tĩnh ảnh hưởng đến r_e nên ảnh hưởng đến khả năng khuếch đại tín hiệu xoay chiều.
- Việc tính toán và phân tích mạch khuếch đại dùng transistor bao gồm các bước sau:
 - *Bước 1:* Tính toán chế độ một chiều (hay tính toán phân cực transistor).
 - *Bước 2:* Vẽ mạch tương đương xoay chiều tín hiệu nhỏ theo mô hình thông số r_e
 - *Bước 3:* Tính toán các tham số ở chế độ xoay chiều (chế độ động).

2. Tính khuếch đại của transistor BJT

2. Tính khuếch đại của transistor BJT

Giả sử ta đưa một tín hiệu xoay chiều có dạng hình sin có biên độ nhỏ vào chân B của transistor BJT như hình bên dưới. Điện áp ở chân B ngoài thành phần phân cực một chiều V_B còn có thành phần xoay chiều của tín hiệu $v_i(t)$ chồng lên.

$$v_B(t) = V_B + v_i(t)$$

$$v_C(t) = V_{CC} - R_C i_C(t)$$

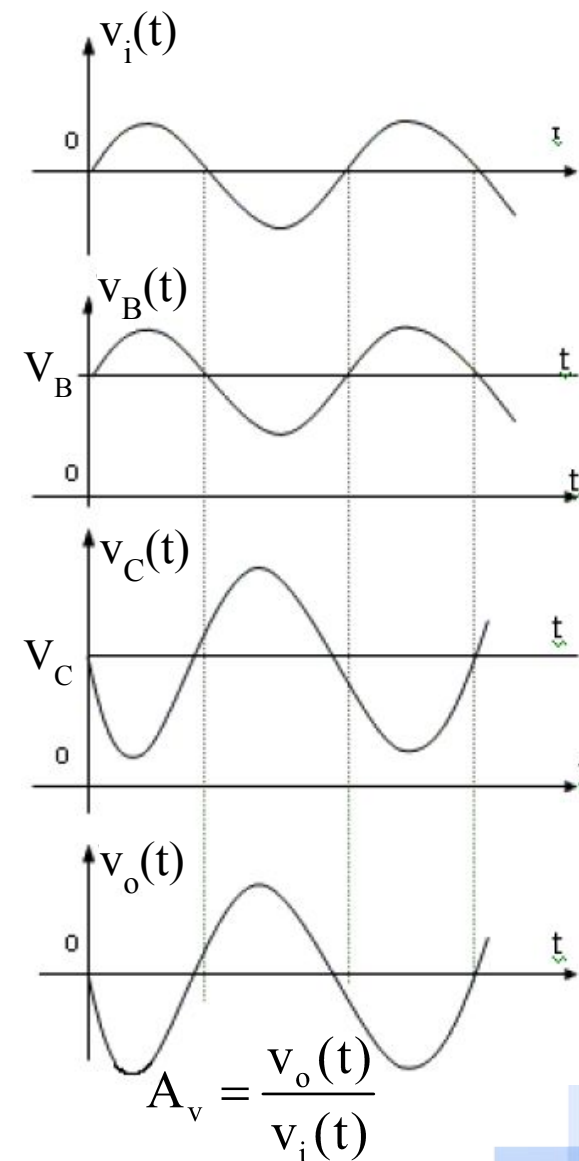
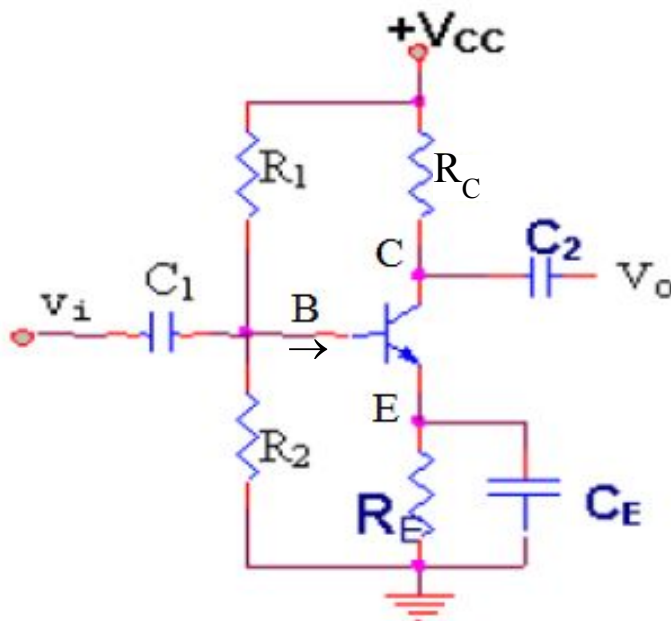
$$\text{Mà ta có: } i_C(t) = I_C + i_c(t)$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$v_B(t) > V_B \Rightarrow I_B \uparrow \Rightarrow I_C \uparrow \Rightarrow v_C(t) = V_{CC} - R_C i_C(t) \downarrow$$

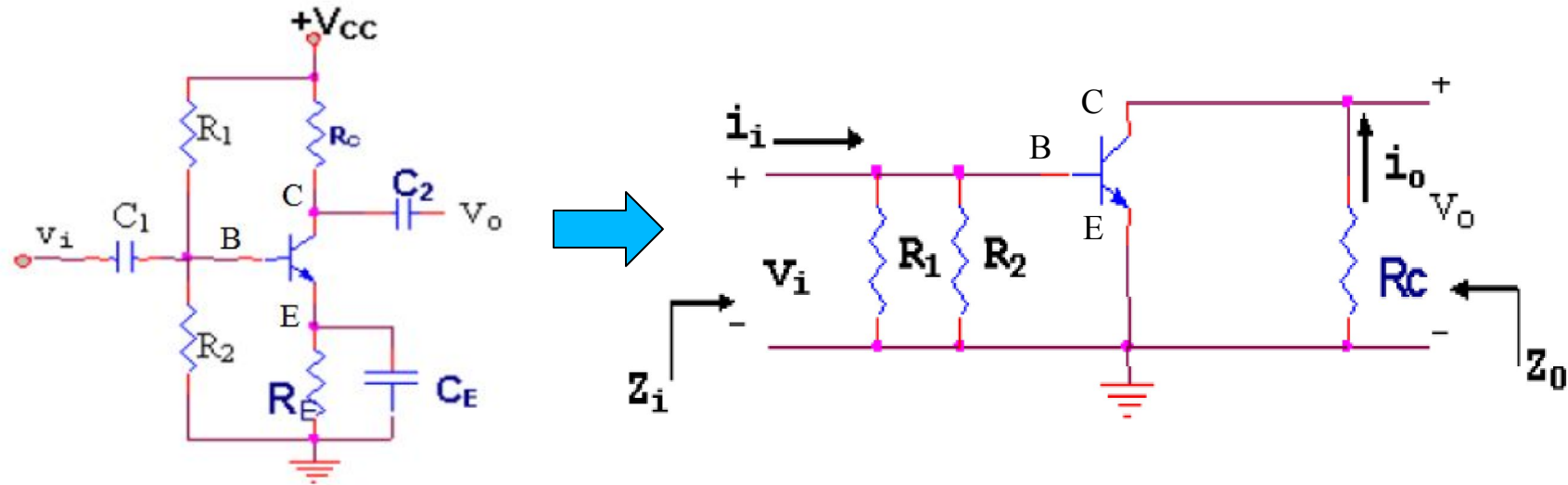
$$v_B(t) < V_B \Rightarrow I_B \downarrow \Rightarrow I_C \downarrow \Rightarrow v_C(t) = V_{CC} - R_C i_C(t) \uparrow$$

Các tụ C_1 và C_2 ở ngõ vào và ngõ ra được xem như nơi tại (đang không tại nhỏ) ở tần số của tín hiệu. Như vậy tác dụng của các tụ liên lạc C_1 và C_2 là cho thành phần xoay chiều của tín hiệu đi qua và ngăn thành phần một chiều. Như vậy ở ngõ ra $v_o(t) = v_C(t)$.



2. Tính khuếch đại của transistor BJT

Các chỉ tiêu của mạch khuếch đại:



- Độ lợi điện áp: $A_v = \frac{V_o}{V_i}$

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

- Tổng trở vào Z_i : $Z_i = \frac{V_i}{i_i}$

- Tổng trở ra Z_o : $Z_o = \frac{V_o}{i_o}$

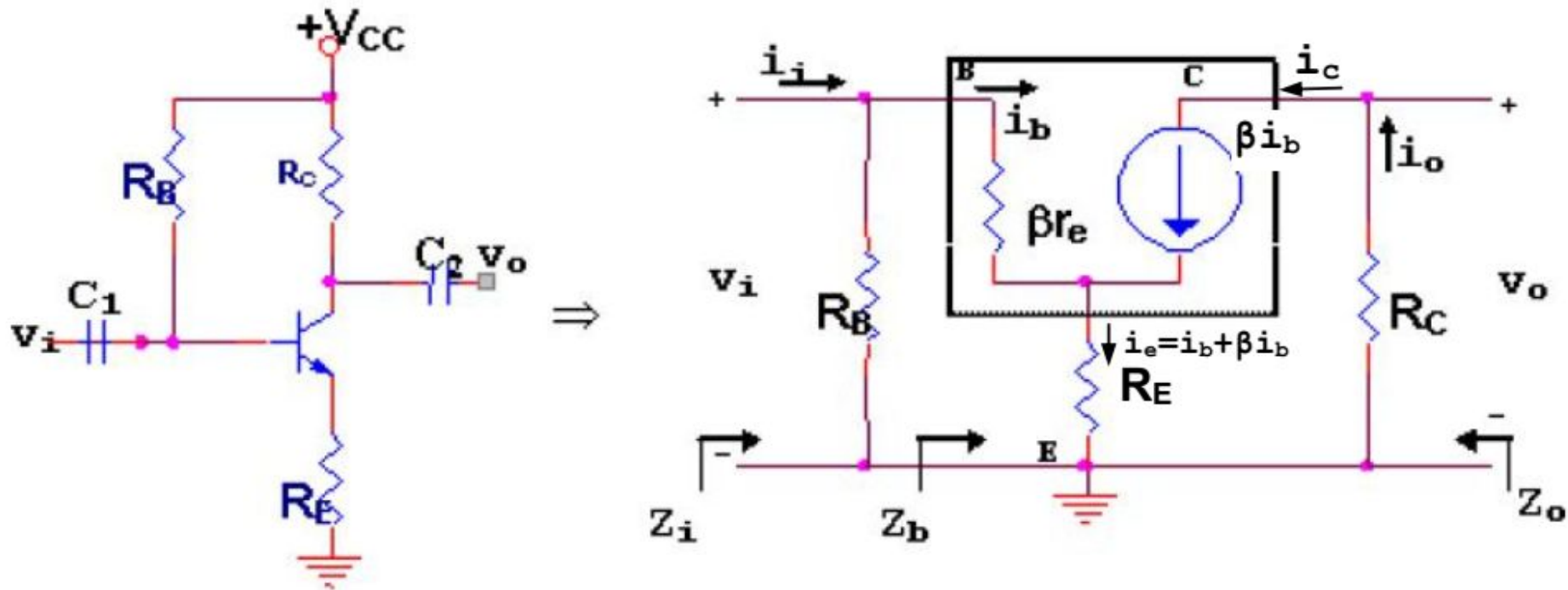
- Độ lợi công suất: $A_p = \frac{p_o}{p_i} = \frac{V_o i_o}{V_i i_i} = A_v A_i$

3. Mạch khuếch đại cực phát chung

3. Mạch khuếch đại cực phát chung

Tín hiệu đưa vào cực nền B, lấy ra ở cực thu C. Cực phát E dùng chung cho ngõ vào và ngõ ra.

a) Phân cực cố định và ổn định cực phát



3. Mạch khuếch đại cực phát chung

3.1. Phân cực cố định và ổn định cực phát

Trong đó trị số β do nhà sản xuất cung cấp (khoảng từ 20 – 500).

Trị số r_e được tính từ mạch phân cực:

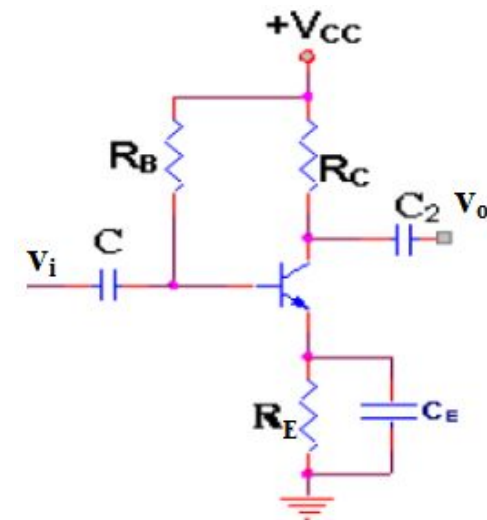
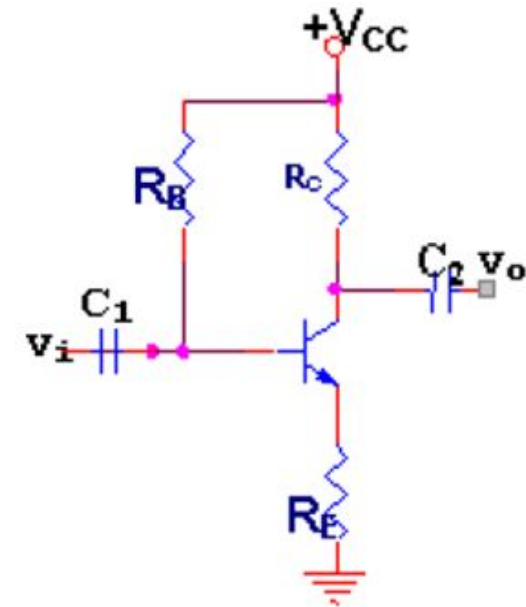
$$r_e = \frac{26\text{mV}}{I_{CQ}}$$

I_{CQ} được xác định bởi công thức sau:

$$I_{CQ} \approx \frac{\beta(V_{CC} - V_{BE})}{R_B + (\beta + 1)R_E}$$

Ghi chú: $V_{BE} = 0,7\text{V}$ với transistor BJT là Silicon.

$V_{BE} = 0,3\text{V}$ với transistor BJT là Germanium.



3. Mạch khuếch đại cực phát chung

3.1. Phân cực cố định và ổn định cực phát

a) Độ lợi điện áp:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i}$$

Ta có:

$$v_o = -\beta i_b R_C \quad (i_c = \beta i_b \text{ và } i_c = i_o \Rightarrow i_o = \beta i_b; \text{ mà ta có } v_o = -i_o R_C \Rightarrow v_o = -\beta i_b R_C)$$

$$v_i = \beta r_e i_b + R_E i_e = \beta r_e i_b + (1 + \beta) R_E i_b, \text{ vì ta có: } i_e = (1 + \beta) i_b$$

Suy ra:

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

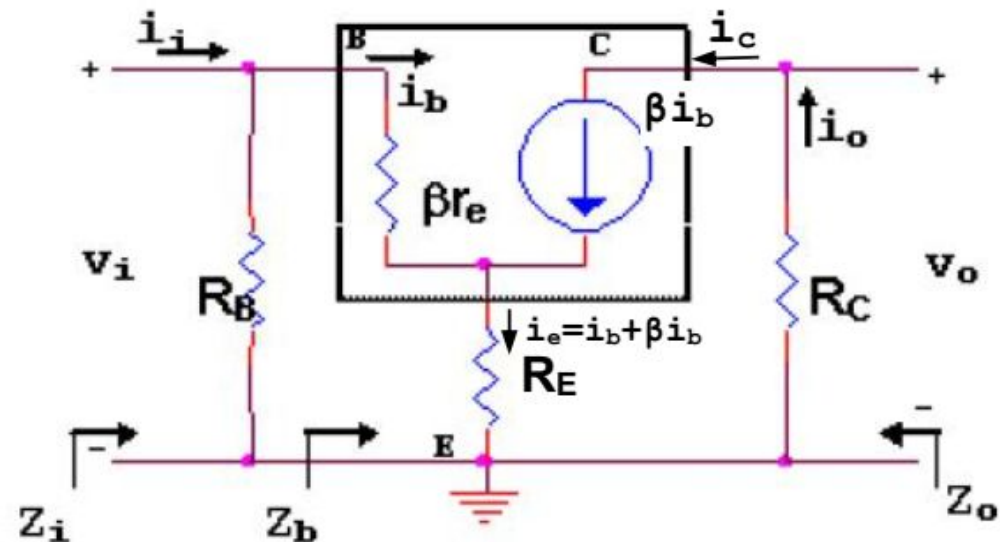
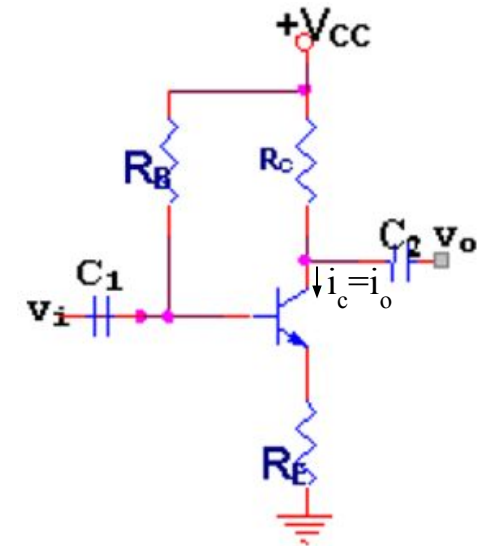
Do $\beta \gg 1$ nên:

$$A_v \approx -\frac{R_C}{r_e + R_E}$$

Nếu $R_E \gg r_e$ suy ra:

$$A_v \approx -\frac{R_C}{R_E}$$

Dấu “-” cho thấy v_o và v_i ngược pha nhau.



3. Mạch khuếch đại cực phát chung

3.1. Phân cực cố định và ổn định cực phát

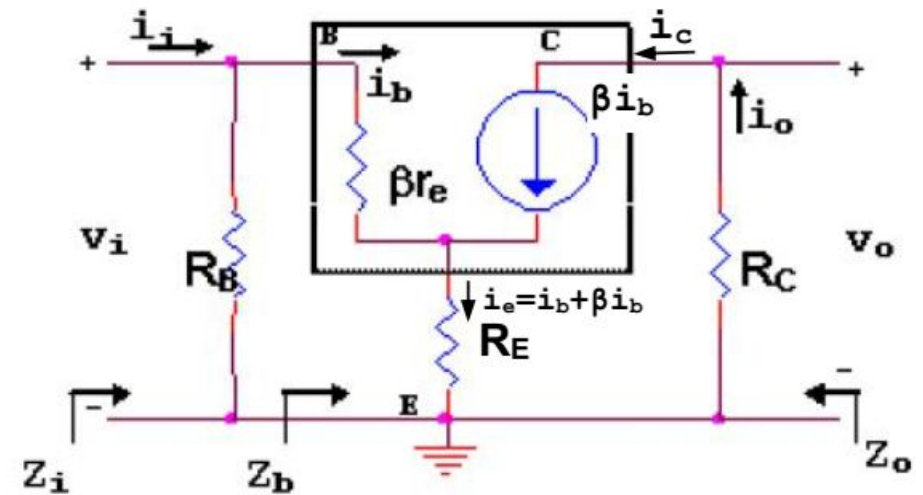
b) Tổng trở vào:

Ta có tổng trở vào:

$$Z_i = R_B // Z_b$$

Trong đó: $Z_b = v_i / i_b$, mà ta có $v_i = \beta r_e i_b + (1 + \beta) i_b R_E$, nên suy ra:

$$Z_b = \frac{v_i}{i_b} = \frac{\beta r_e i_b + (1 + \beta) R_E i_b}{i_b} \approx \beta(r_e + R_E) \approx \beta R_E \quad (\text{do } R_E \gg r_e)$$



c) Độ lợi dòng điện

$$A_i = \frac{i_o}{i_i}$$

Trong đó

$$i_o = -\frac{v_o}{R_C}; i_i = \frac{v_i}{Z_i} \Rightarrow A_i = -\frac{v_o}{v_i} \frac{Z_i}{R_C}$$

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

3. Mạch khuếch đại cực phát chung

3.1. Phân cực cố định và ổn định cực phát

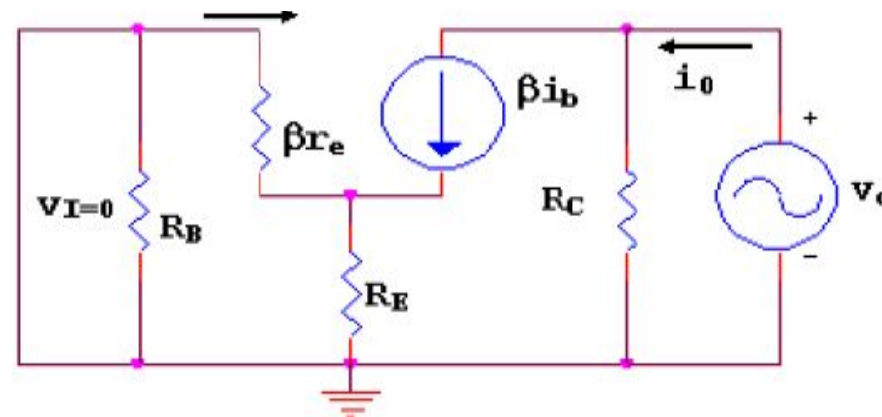
d) Tổng trở ra:

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

Để tính tổng trở ra của mạch, đầu tiên ra nối tắt ngõ vào ($v_i = 0$), áp một nguồn có trị số v_o ở ngõ ra như hình sau, sau đó lập tỉ số z_o .

Khi $v_i = 0 \Rightarrow i_b = 0 \Rightarrow \beta i_b = 0$ (tương đương mạch hở) nên

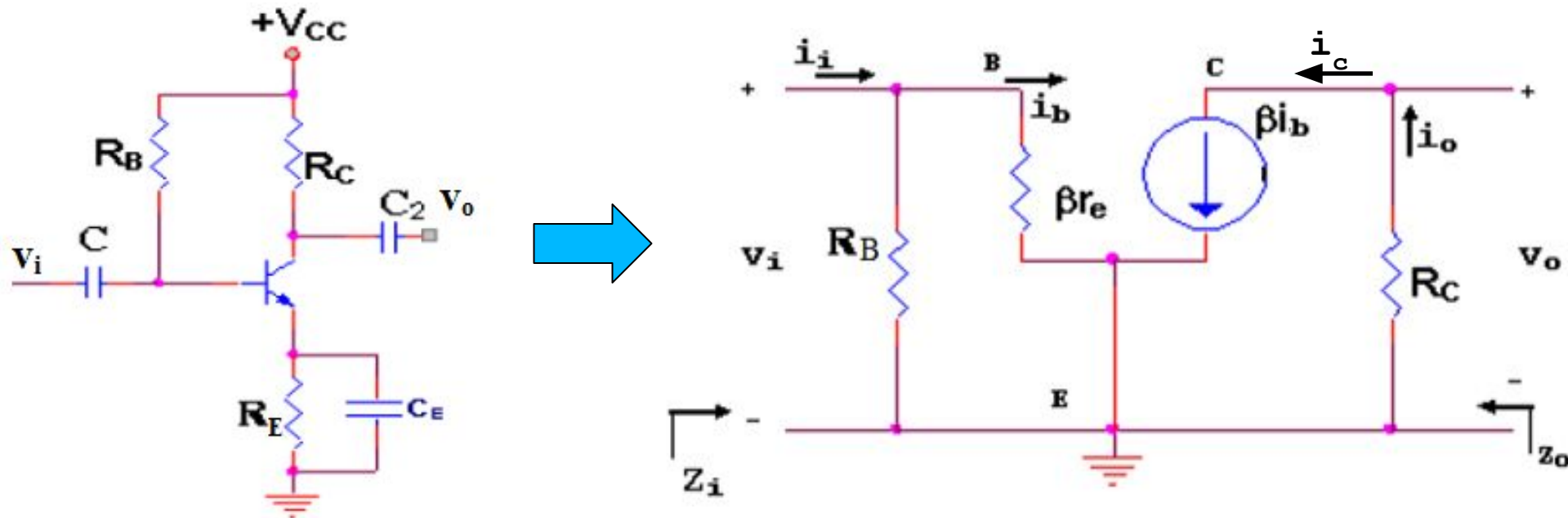
$$Z_o = \frac{v_o}{i_o} = R_c$$



3. Mạch khuếch đại cực phát chung

3.1. Phân cực cố định và ổn định cực phát

Nếu ta mắc thêm tụ C_E (tụ C_E thoát thành phần xoay chiều từ cực E xuống mass) thì trong mạch tương đương xoay chiều sẽ không còn sự hiện diện của điện trở R_E

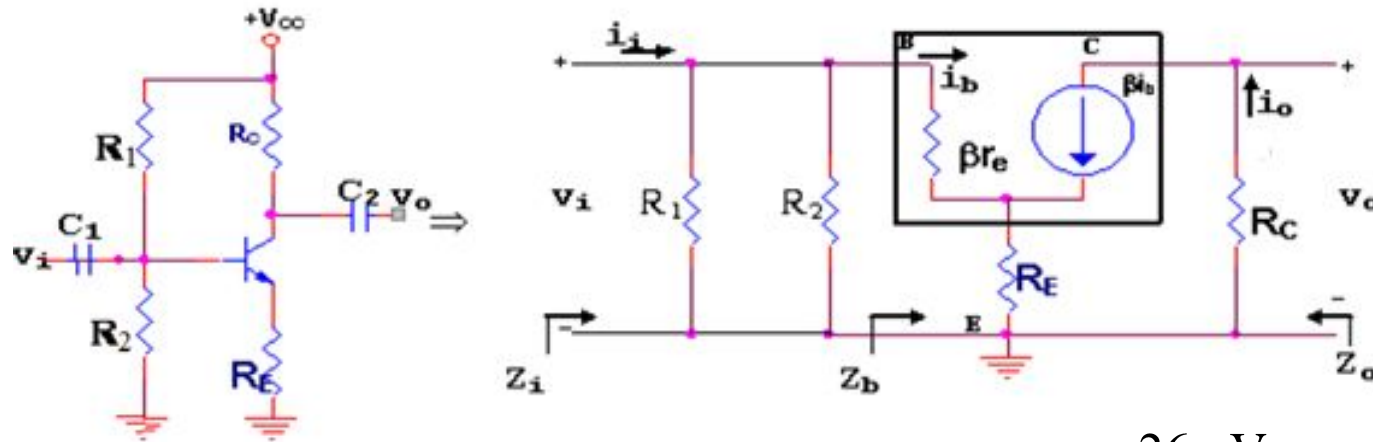


- Khi tính toán trong thành phần một chiều (DC) thì vẫn có R_E
- Khi tính toán trong thành phần xoay chiều (AC) không có R_E

3. Mạch khuếch đại cực phát chung

3.2. Phân cực bằng cầu phân áp

Đây là dạng mạch rất thông dụng do có độ ổn định tốt. Mạch cơ bản và mạch tương đương xoay chiều của nó được trình bày trong hình sau:



Trị số r_e được tính từ mạch phân cực:

$$r_e = \frac{26\text{mV}}{I_{CQ}}$$

Với I_{CQ} được xác định bởi công thức sau:

$$I_{CQ} = \frac{\beta(E_{Th} - V_{BE})}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E}$$

Với V_{BE} :

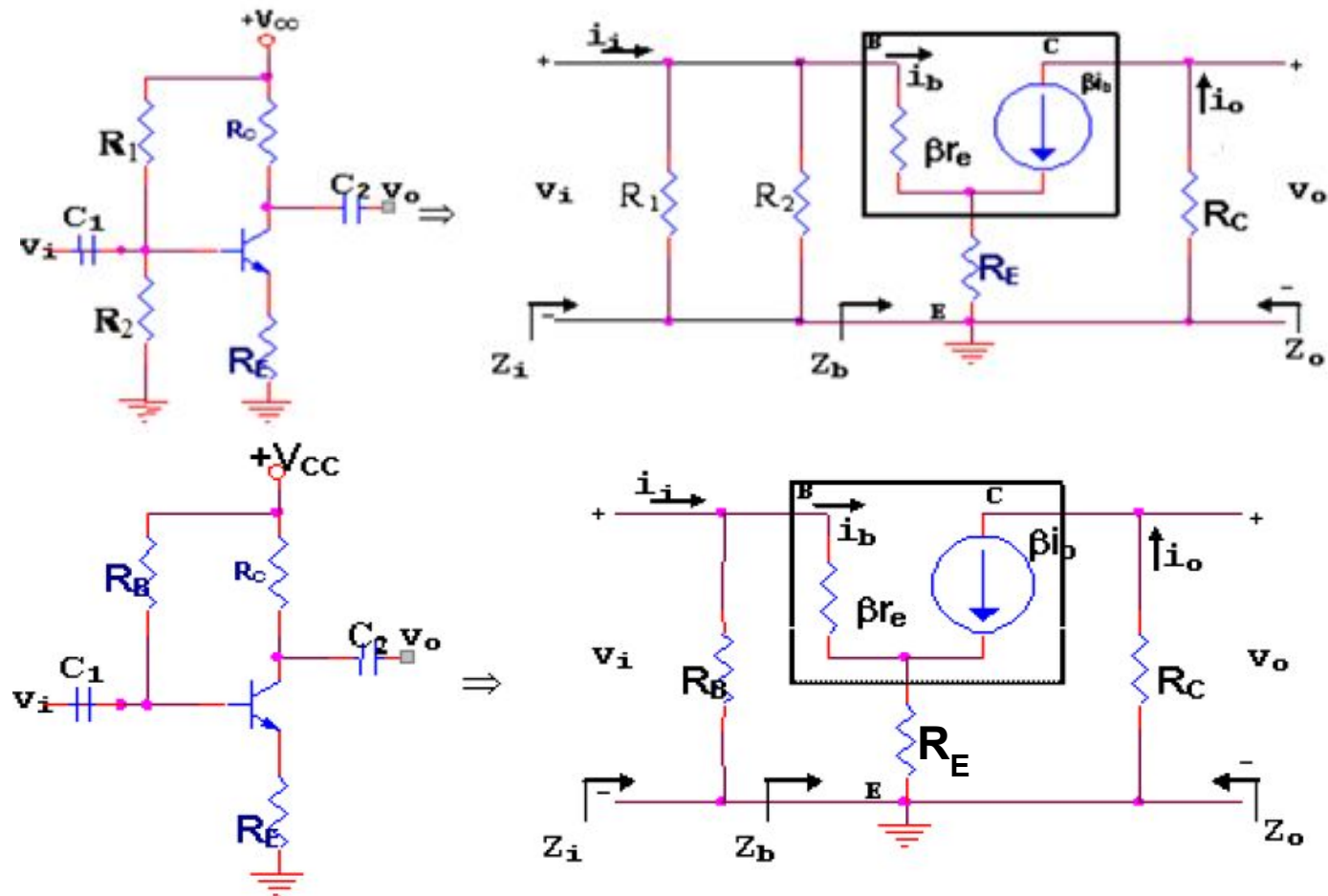
0,7V : BJT là Silicon

0,3V : BJT là Germanium

$$R_{Th} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}; \quad E_{Th} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

3. Mạch khuếch đại cực phát chung

3.2. Phân cực bằng cầu phân áp



So sánh 2 mạch tương đương trên ta thấy hoàn toàn giống nhau nếu thay R_B bằng $R_1 // R_2$

3. Mạch khuếch đại cực phát chung

3.2. Phân cực bằng cầu phân áp

Từ việc so sánh 2 mạch tương đương trên ta có thể suy ra các kết quả phân giải mạch bằng cầu phân áp như sau:

a) Độ lợi điện áp:

$$A_v = -\frac{R_C}{r_e + R_E} \approx -\frac{R_C}{R_E}$$

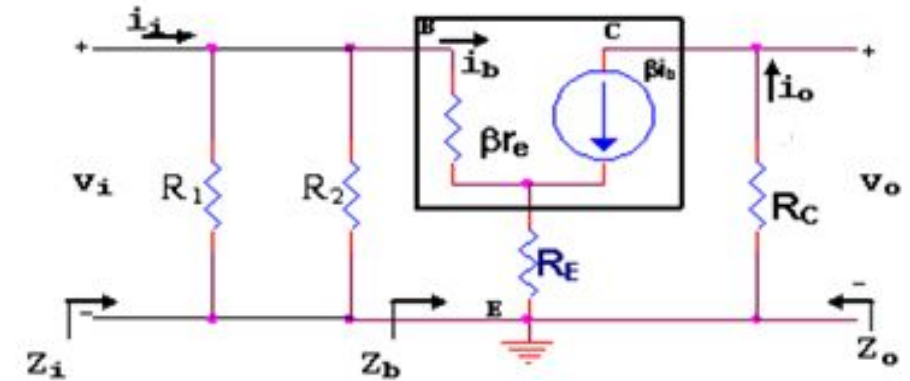
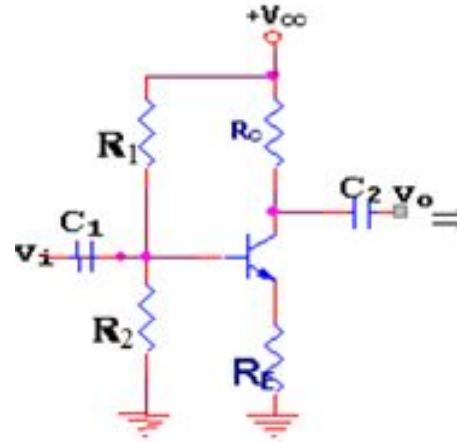
b) Tổng trở vào:

$$Z_i = R_1 // R_2 // Z_b \text{ với } Z_b = \beta(r_e + R_E) \approx \beta R_E$$

c) Tổng trở ra:

$$Z_o = R_C$$

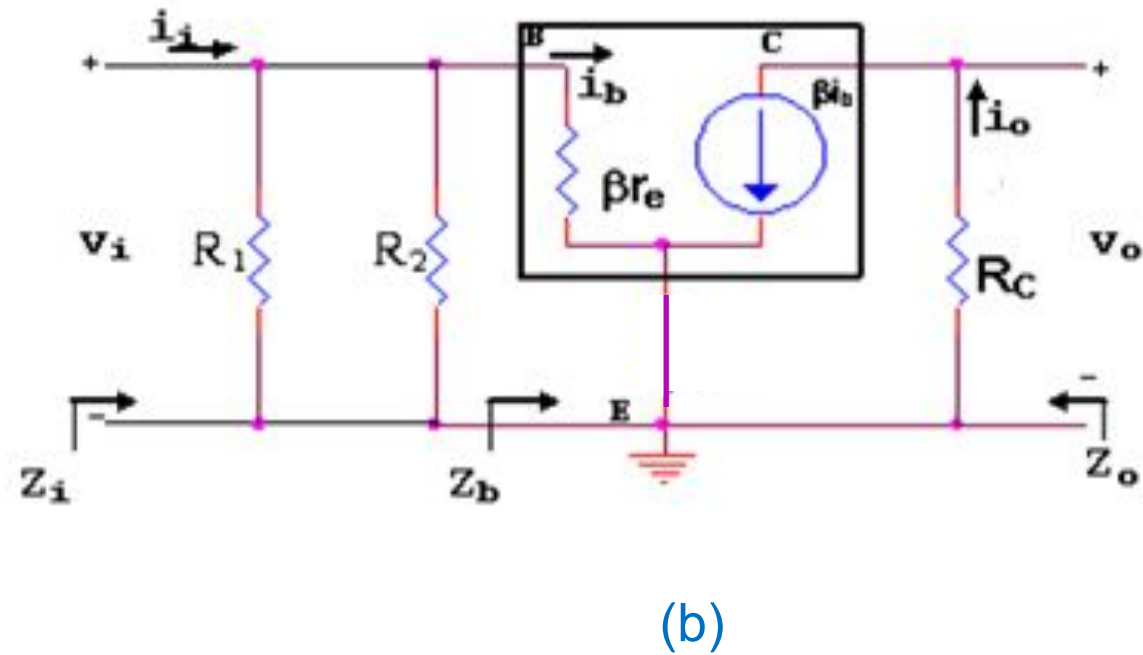
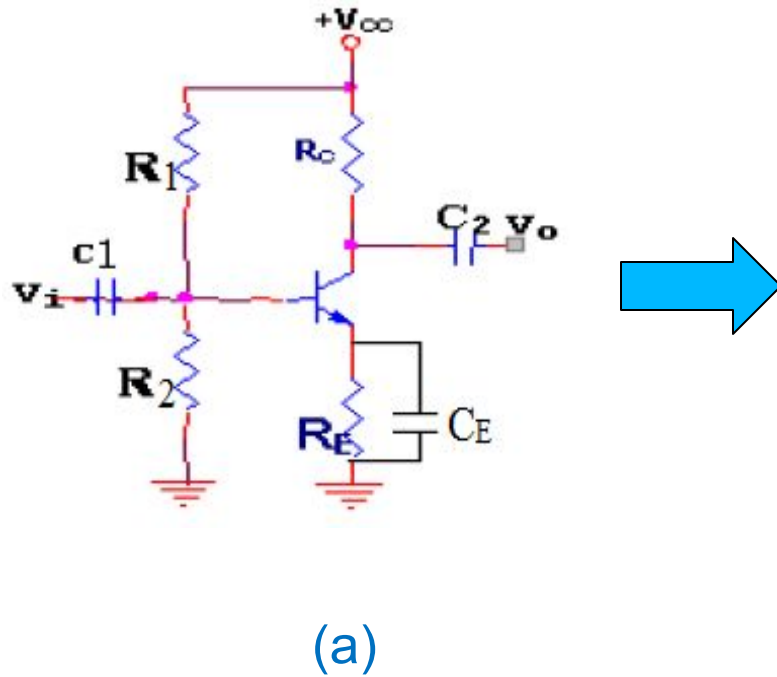
d) Độ lợi dòng điện: $A_i = -A_v \frac{Z_i}{R_C}$



3. Mạch khuếch đại cực phát chung

3.2. Phân cực bằng cầu phân áp

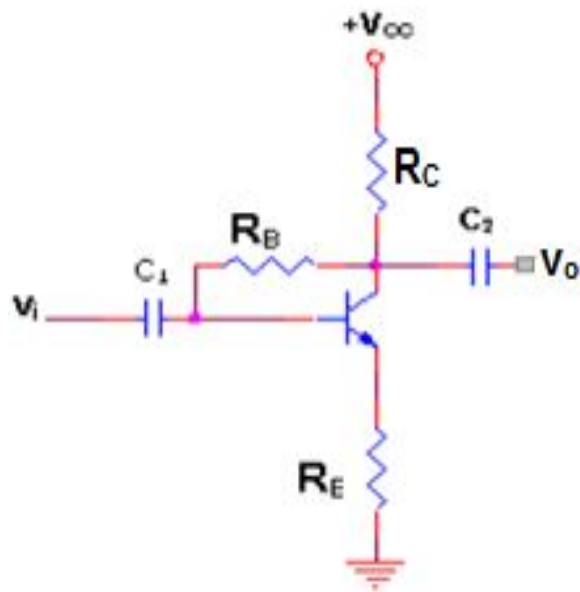
Tương tự như trên thì nếu ta mắc thêm tụ phân dòng C_E , như hình (a) hoặc nối thẳng chân E xuống mass, như hình (b) thì trong mạch tương đương xoay chiều sẽ không còn sự hiện diện của điện trở R_E .



3. Mạch khuếch đại cực phát chung

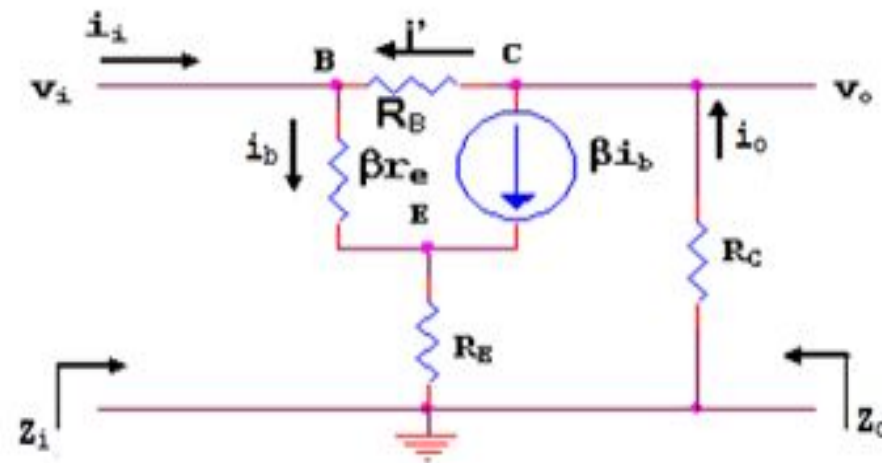
3.3. Phân cực bằng hồi tiếp điện áp

Mạch cơ bản và mạch tương đương xoay chiều của mạch khuếch đại cực phát chung với kiểu phân cực bằng hồi tiếp điện áp được trình bày trong hình sau:



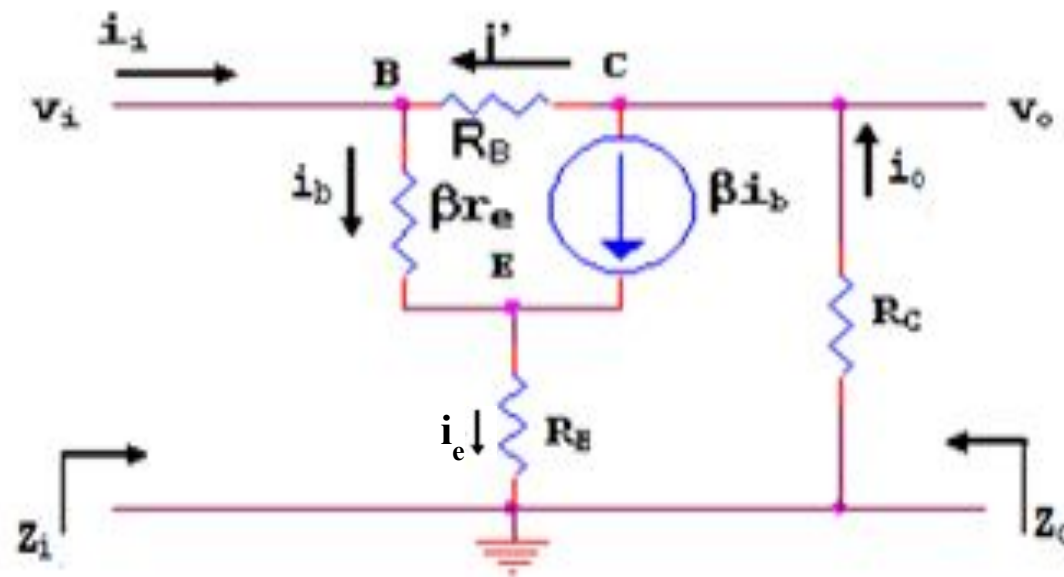
Trị số r_e được tính từ mạch phân cực:

Với I_{CQ} được xác định bởi công thức sau:

$$I_{CQ} \approx \frac{\beta(V_{CC} - V_{BE})}{R_B + \beta(R_C + R_E)}$$


$$r_e = \frac{26\text{mV}}{I_{CQ}}$$

Với V_{BE} :
0,7V : BJT là Silicon
0,3V : BJT là Germanium



3. Mạch khuếch đại cực phát chung

3.3. Phân cực bằng bằng hồi tiếp điện áp

c) Độ lợi dòng điện:

$$A_i = \frac{i_o}{i_i}$$

$$\text{Ta có: } i_o = -\frac{v_o}{R_C}; i_i = \frac{v_i}{Z_i}$$

$$\text{Suy ra: } A_i = \frac{i_o}{i_i} = -\frac{v_o}{R_C} \frac{Z_i}{v_i} = -\frac{v_o}{v_i} \frac{Z_i}{R_C}$$

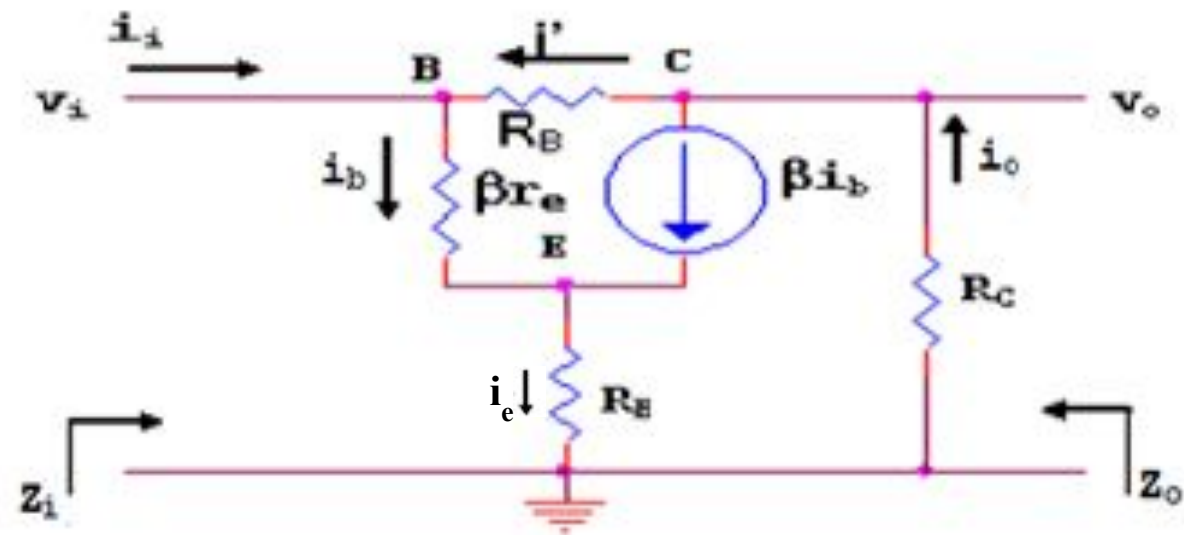
$$\text{Hay: } A_i = -A_v \frac{Z_i}{R_C}$$

d) Tổng trở ra:

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

Nối tắt ngõ vào ($v_i = 0$) $\Rightarrow i_b = 0$ và $\beta i_b = 0$

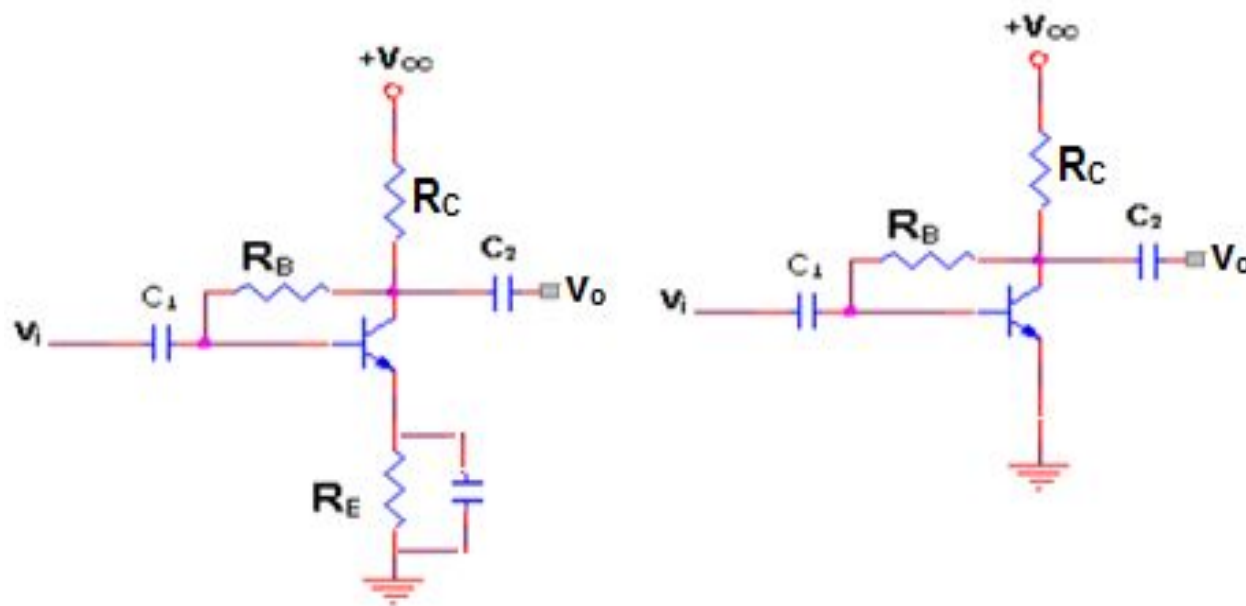
Suy ra $Z_o = R_C // R_B$



3. Mạch khuếch đại cực phát chung

3.3. Phân cực bằng bằng hồi tiếp điện áp

Tương tự như trên, nếu mắc thêm tụ phân dòng C_E vào cực E của BJT hoặc nối thẳng chân E xuống mass thì trong mạch tương đương xoay chiều sẽ không còn sự hiện diện của điện trở R_E , lúc này các thông số của mạch được suy ra khi cho $R_E = 0$, ta có được các thông số như sau:



a) Độ lợi điện áp:

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

b) Tổng trở vào:

$$Z_i = \frac{\beta r_e}{1 + \frac{\beta r_e}{R_B}(1 - A_v)} \approx \frac{\beta r_e}{1 + \frac{\beta r_e}{R_B}|A_v|}$$

c) Tổng trở ra:

$$Z_o = R_C // R_B$$

d) Độ lợi dòng điện:

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

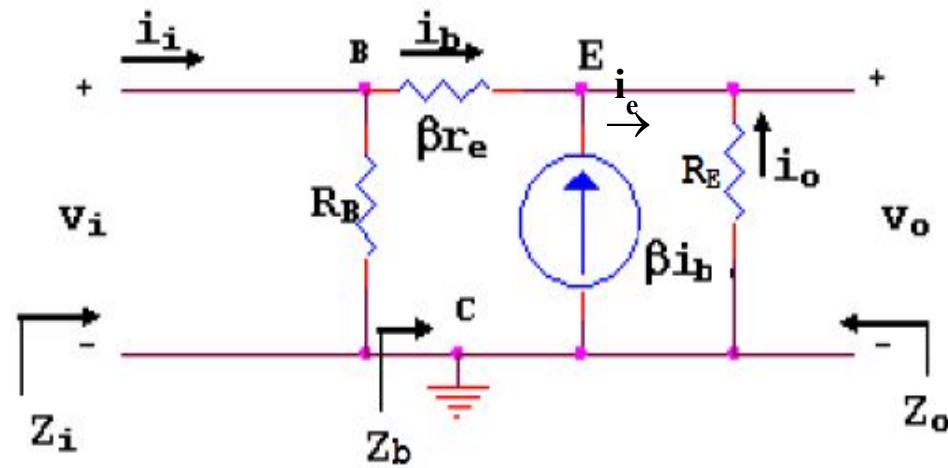
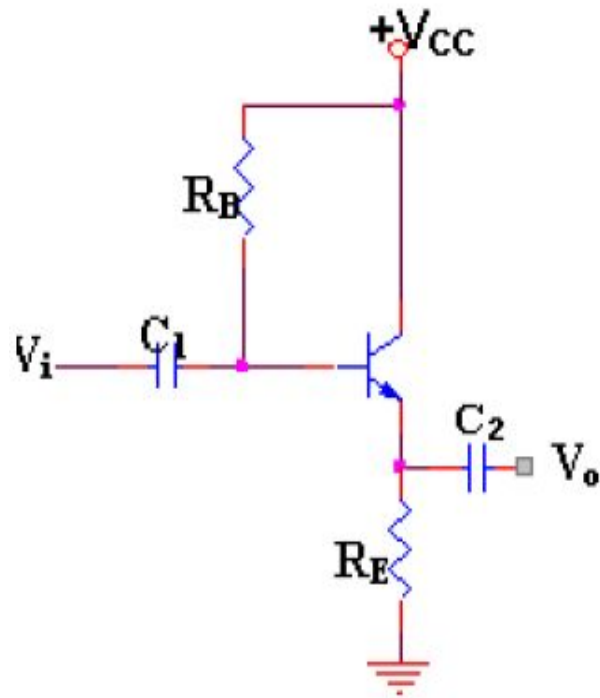
3. Mạch khuếch đại cực phát chung

Nhận xét: Mạch khuếch đại cực phát chung với các kiểu phân cực đều cho thấy độ lợi áp và độ lợi dòng lớn nên thường được sử dụng để khuếch đại tín hiệu, độ lệch pha giữa tín hiệu vào và tín hiệu ra là 180° .

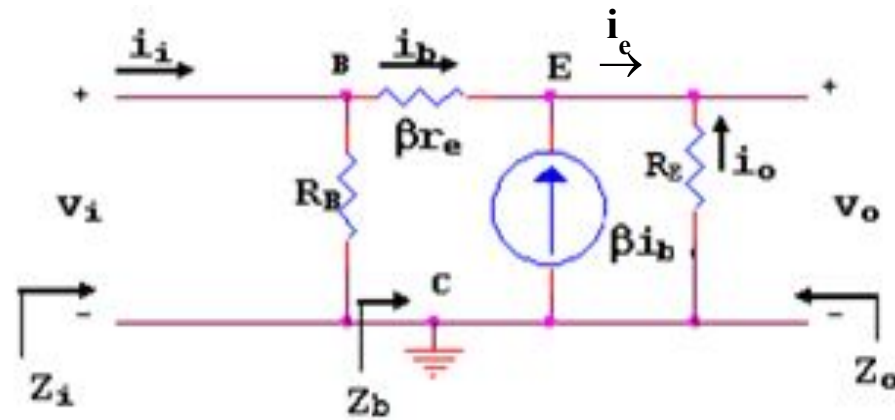
4. Mạch khuếch đại cực thu chung

4. Mạch khuếch đại cực thu chung

Tín hiệu đưa vào cực nền B, lấy ra ở cực phát E. Cực thu C dùng chung cho ngõ vào và ngõ ra. Mạch cơ bản và mạch tương xoay chiều của mạch khuếch đại cực thu chung với kiểu phân cực bằng hồi tiếp điện áp được trình bày trong hình sau:



4. Mạch khuếch đại cực thu chung



a) Độ lợi điện áp:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i}$$

Từ mạch tương đương xoay chiều ta có:

$$v_o = R_E i_e = R_E (i_b + \beta i_b) = (1 + \beta) R_E i_b$$

$$v_i = \beta r_e i_b + R_E i_b + \beta R_E i_b = \beta r_e i_b + (1 + \beta) R_E i_b$$

Suy ra

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{(1 + \beta) R_E i_b}{\beta r_e i_b + (1 + \beta) R_E i_b} \approx \frac{R_E}{r_e + R_E} \approx 1$$

b) Tổng trở vào:

$$Z_i = \frac{v_i}{i_i} = R_B // Z_b$$

Trong đó

$$Z_b = \frac{v_i}{i_b} = \frac{\beta r_e i_b + (1 + \beta) R_E i_b}{i_b} \approx \beta (r_e + R_E)$$

Suy ra

$$Z_i = \frac{v_i}{i_i} = R_B // Z_b = R_B // \beta (r_e + R_E) \approx R_B // \beta R_E$$

4. Mạch khuếch đại cực thu chung

c) Tổng trở ra:

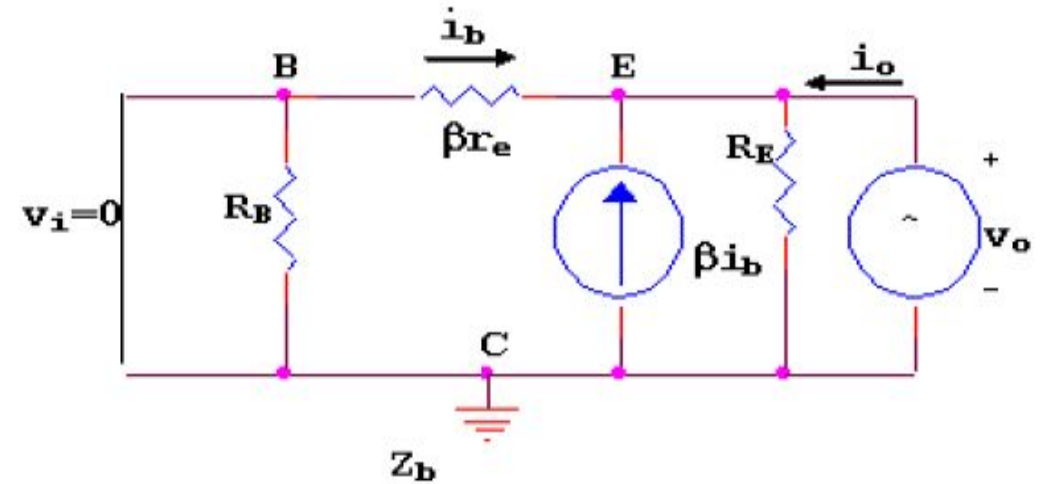
Nối tắt ngõ vào ($v_i = 0$), áp một điện thế v_o ở ngõ ra, sơ đồ mạch tương đương trình bày như trong hình sau:

Từ mạch tương đương ta có:

$$i_o = \frac{v_o}{R_E} - i_b - \beta i_b = \frac{v_o}{R_E} - (1 + \beta) i_b$$

$$\text{Với } i_b = -\frac{v_o}{\beta r_e} \Rightarrow i_o = \frac{v_o}{R_E} + \frac{1 + \beta}{\beta r_e} v_o \approx \left(\frac{1}{R_E} + \frac{1}{r_e} \right) v_o$$

$$\text{Suy ra } \frac{1}{Z_o} = \frac{i_o}{v_o} = \frac{1}{r_e} + \frac{1}{R_E} \Rightarrow \boxed{Z_o = r_e // R_E}$$



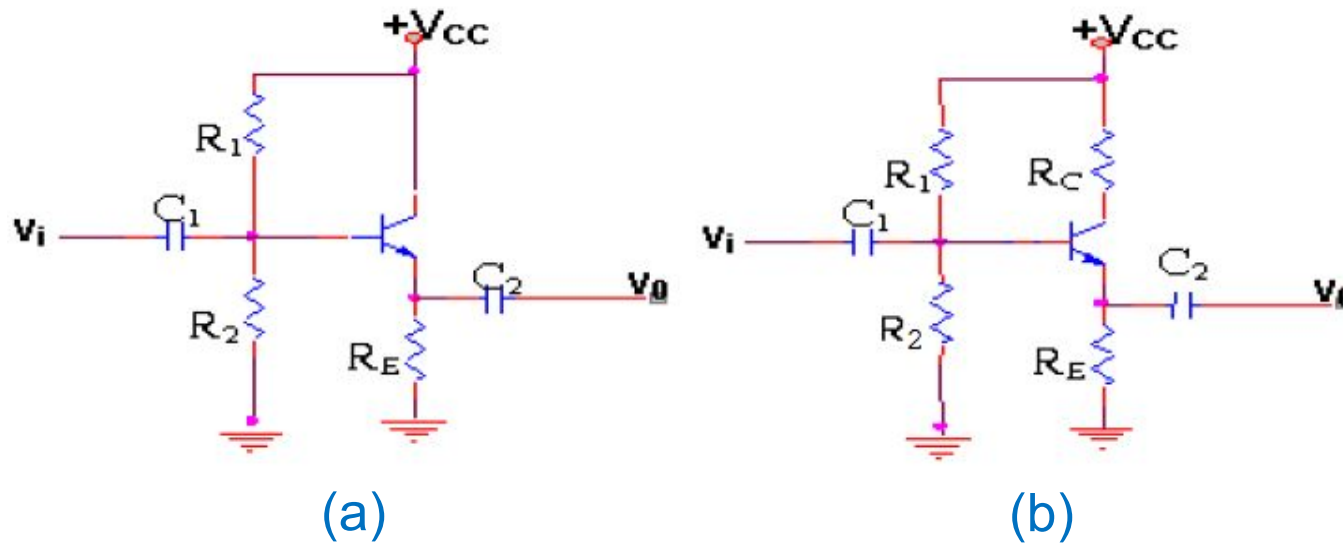
d) Độ lợi dòng điện

$$\boxed{A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{-\frac{v_o}{R_E}}{\frac{v_i}{Z_i}} = -A_v \frac{Z_i}{R_E}}$$

4. Mạch khuếch đại cực thu chung

Ghi chú: Mạch khuếch đại cực thu chung cũng có thể được phân cực bằng cầu chia áp như trình bày trong hình (a). Các công thức phân giải mạch bên trên vẫn đúng, chỉ cần thay $R_B = R_1 // R_2$.

Mạch cũng có thể được mắc thêm điện trở R_C như hình (b), các công thức trên vẫn đúng khi thay $R_B = R_1 // R_2$. Tổng trở vào Z_i và tổng trở ra Z_o không thay đổi vì R_C không làm ảnh hưởng đến cực nền và cực phát. Điện trở R_C được đưa vào chỉ làm ảnh hưởng đến việc xác định điểm tĩnh điều hành.



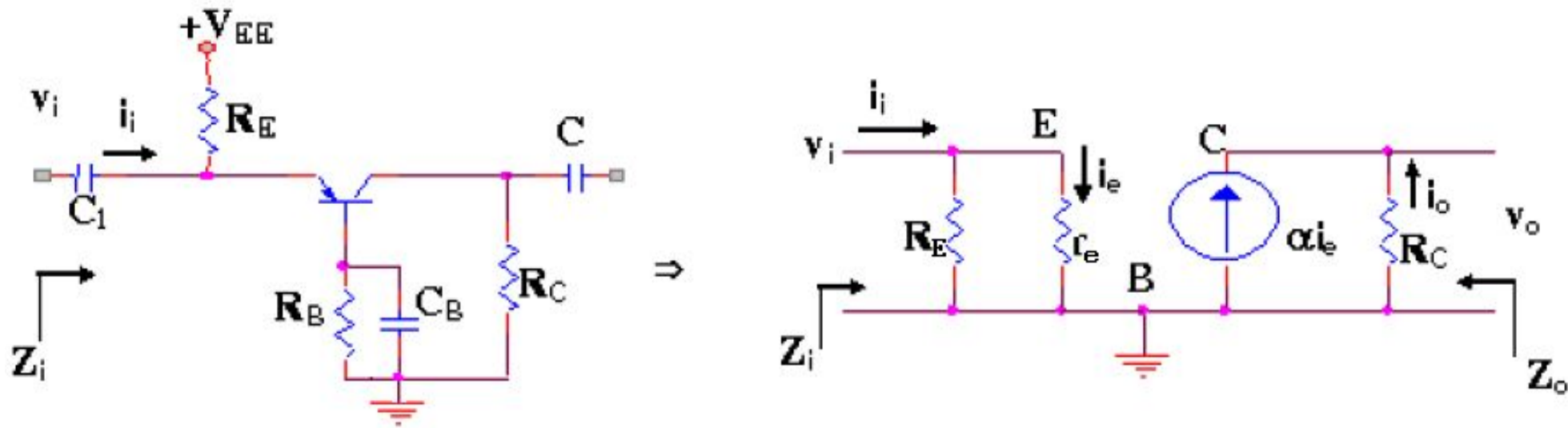
4. Mạch khuếch đại cực thu chung

Nhận xét: Mạch khuếch đại cực thu chung có điện áp vào và ra cùng pha nhau, **độ lợi điện áp xấp xỉ bằng 1**, điều này có nghĩa là mạch khuếch đại cực thu chung là mạch lặp (lặp lại tín hiệu). Bên cạnh đó, mạch này có tổng trở vào rất lớn và tổng trở ra lại rất nhỏ. Vì các lý do trên, mạch khuếch đại cực thu chung thường được dùng làm mạch đệm – Buffer (cách ly ngõ vào và ra) giúp cho việc truyền tín hiệu đạt hiệu suất cao nhất.

5. Mạch khuếch đại cực nền chung

5. Mạch khuếch đại cực nền chung

Tín hiệu đưa vào cực phát E, lấy ra ở cực thu C. Cực nền B dùng chung cho ngõ vào và ngõ ra. Mạch cơ bản và mạch tương đương của mạch khuếch đại cực nền chung được trình bày trong hình sau:



5. Mạch khuếch đại cực nền chung

Từ mạch tương đương ta tìm được các thông số của mạch như sau:

a) Độ lợi điện áp:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{\alpha i_e R_C}{r_e i_e} = \alpha \frac{R_C}{r_e} \approx \frac{R_C}{r_e}$$

b) Tổng trở vào:

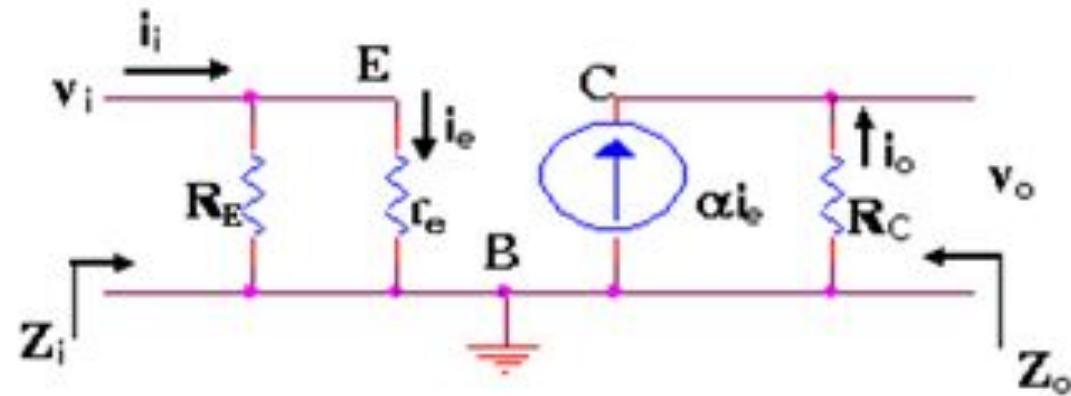
$$Z_i = R_E // r_e \approx r_e$$

c) Tổng trở ra:

$$Z_o = R_C$$

d) Độ lợi dòng điện:

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{-\frac{v_o}{R_C}}{\frac{v_i}{Z_i}} = -\frac{v_o}{v_i} \frac{Z_i}{R_C} = -A_v \frac{Z_i}{R_C} \approx -\frac{R_C}{r_e} \frac{r_e}{R_C} \approx -1$$



5. Mạch khuếch đại cực nền chung

Nhận xét: Mạch khuếch đại cực nền chung có đặc điểm là độ lợi điện áp lớn nhưng độ lợi dòng điện bé, tín hiệu vào và ra cùng pha. Nhưng tổng trở vào của mạch này khá bé do đó cần phải cải thiện tổng trở ngõ vào. Mạch này thường ứng dụng trong các mạch khuếch đại tần số cao.

Nhận xét chung

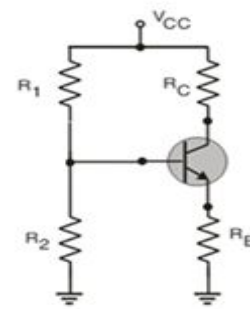
Bảng so sánh các đặc điểm của ba kiểu ráp Transistor BJT trong mạch khuếch đại:

| Đặc điểm | E chung | C chung | B chung |
|----------------------|-----------|----------|----------|
| Điểm chung | Cực E | Cực C | Cực B |
| Tín hiệu vào | Cực B | Cực B | Cực E |
| Tín hiệu ra | Cực C | Cực E | Cực C |
| Độ lệch pha | Ngược pha | Cùng pha | Cùng pha |
| Khuếch đại dòng điện | Lớn | Nhỏ | Không |
| Khuếch đại điện áp | Lớn | Không | Nhỏ |
| Khuếch đại công suất | Lớn | Nhỏ | Nhỏ |
| Trở kháng vào | Nhỏ | Lớn | Nhỏ |
| Trở kháng ra | Lớn | Nhỏ | Lớn |

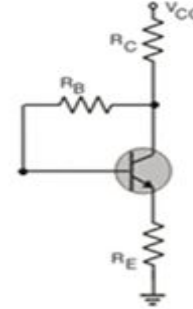
Tóm tắt tính toán các thông số của mạch khuếch đại

1. Tính toán phân cực (thành phần DC) tìm điểm tĩnh Q (I_{BQ} , I_{CQ} , V_{CEQ}) đối với mạch khuếch đại cực phát chung (E chung) với kiểu phân cực:

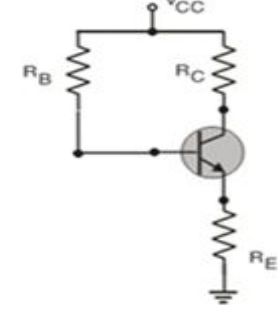
- Phân cực cố định
- Phân cực bằng cầu phân áp
- Phân cực bằng hồi tiếp điện áp



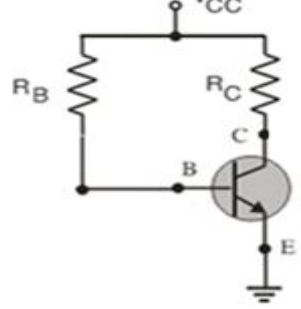
Phân áp (cách 1)



Hồi tiếp (cách 2)



Emitter (cách 3)



Base (cách 4)

2. Vẽ mạch tương đương xoay chiều tín hiệu nhỏ theo mô hình thông số r_e

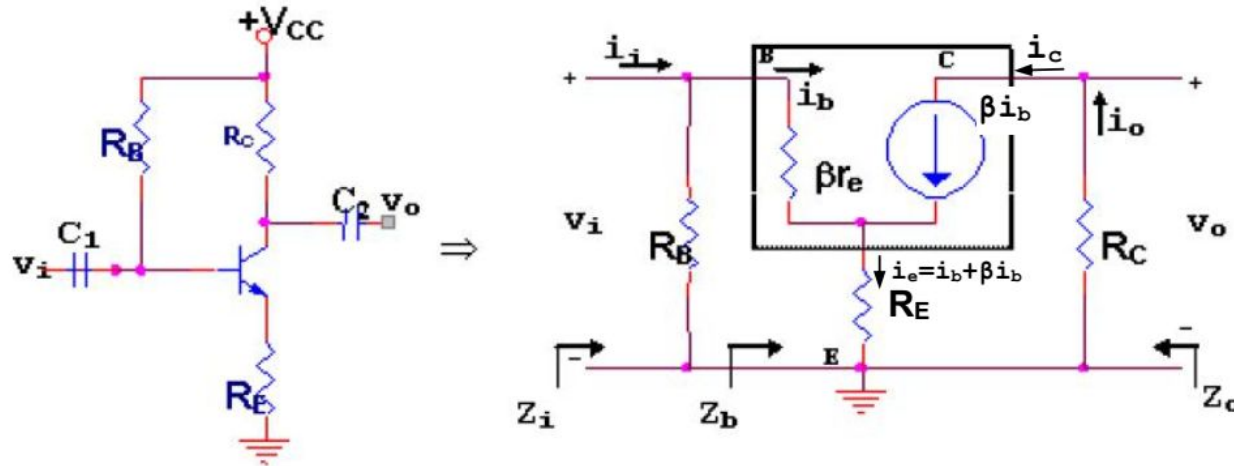
3. Tính toán thành phần xoay chiều AC:

- Tính thông số r_e
- Độ lợi điện áp A_v
- Tổng trở vào Z_i
- Tổng trở ra Z_o
- Độ lợi dòng điện A_i

Tóm tắt tính toán các thông số của mạch khuếch đại

Mạch khuếch đại cực phát chung (E chung) với kiểu phân cực:

a) Phân cực cố định:



Tính toán phân cực (thành phần DC):

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

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

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

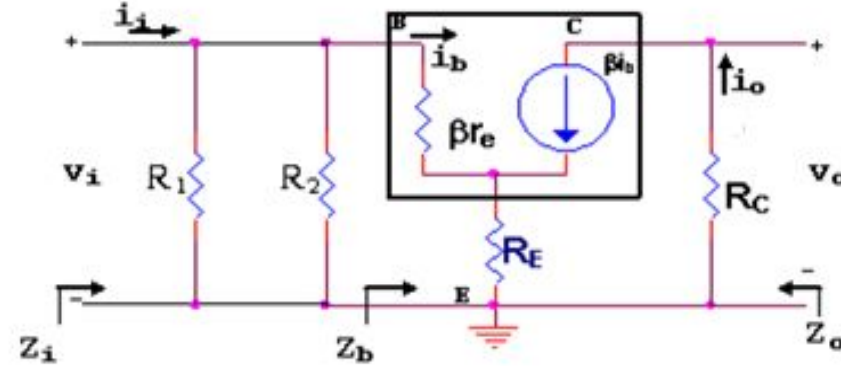
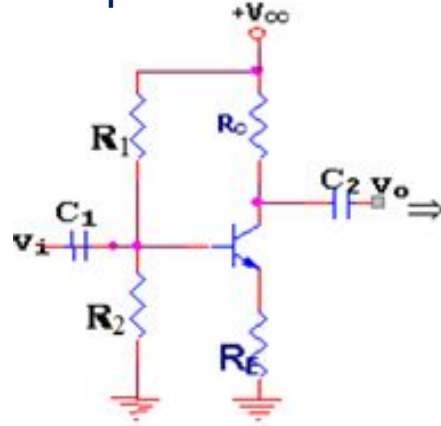
Tính toán thành phần xoay chiều AC:

- Tính thông số r_e
- Độ lợi điện áp A_v
- Tổng trở vào Z_i
- Tổng trở ra Z_o
- Độ lợi dòng điện A_i

Tóm tắt tính toán các thông số của mạch khuếch đại

Mạch khuếch đại cực phát chung (E chung) với kiểu phân cực:

b) Phân cực bằng cầu phân áp:



Tính toán phân cực (thành phần DC):

$$I_{BQ} = \frac{E_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E}$$

$$I_{CQ} = \frac{\beta(E_{Th} - V_{BE})}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E}$$

$$R_{Th} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}; E_{Th} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

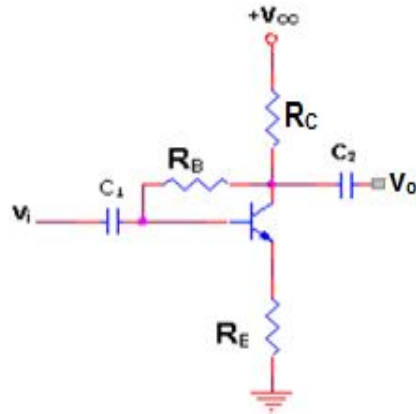
Tính toán thành phần xoay chiều AC:

- Tính thông số r_e
- Độ lợi điện áp A_v
- Tổng trở vào Z_i
- Tổng trở ra Z_o
- Độ lợi dòng điện A_i

Tóm tắt tính toán các thông số của mạch khuếch đại

Mạch khuếch đại cực phát chung (E chung) với kiểu phân cực:

c) Phân cực bằng hồi tiếp điện áp:

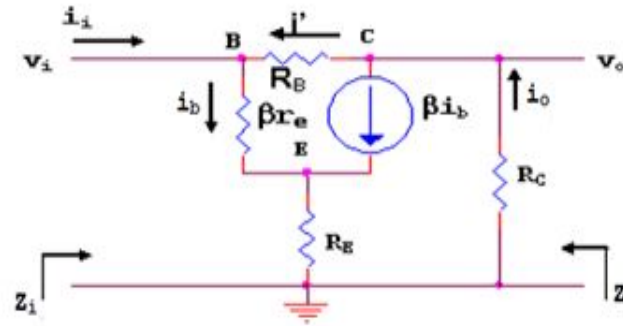


Tính toán phân cực (thành phần DC):

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)}$$

$$I_{CQ} = \frac{\beta(V_{CC} - V_{BE})}{R_B + \beta(R_C + R_E)}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$



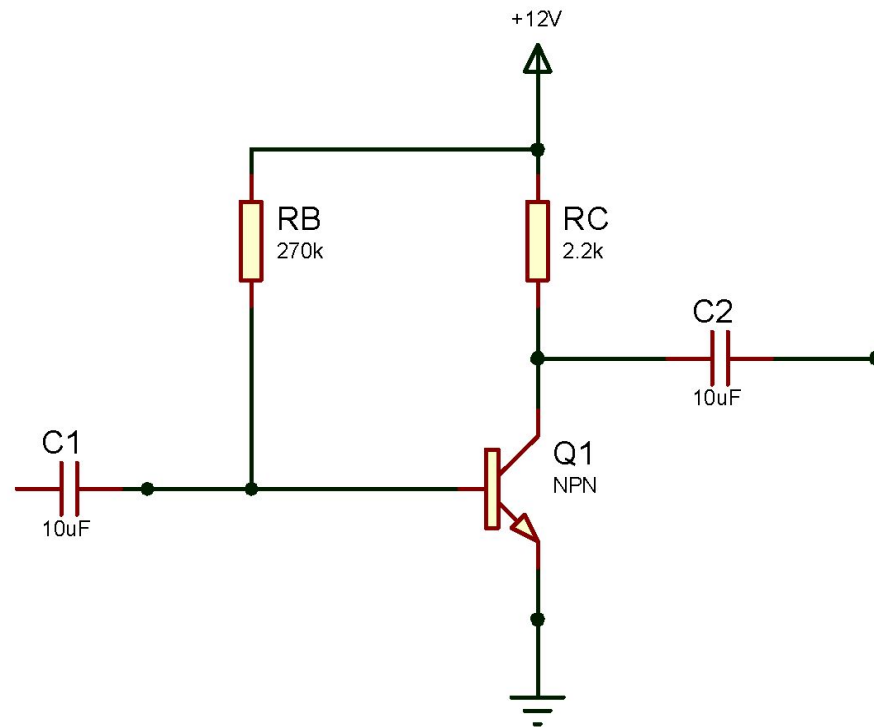
Tính toán thành phần xoay chiều AC:

- Tính thông số r_e
- Độ lợi điện áp A_v
- Tổng trở vào Z_i
- Tổng trở ra Z_o
- Độ lợi dòng điện A_i

Ví dụ áp dụng:

Ví dụ 1: Cho mạch như hình sau:

- a) Xác định các giá trị phân cực: I_{BQ} , I_{CQ} , V_{CEQ}
- b) Vẽ mạch tương đương xoay chiều với tín hiệu nhỏ
- c) Tính tổng trở vào Z_i , tổng trở ra Z_o , độ lợi điện áp A_v , độ lợi điện áp A_i



Ví dụ áp dụng:

Ví dụ 1: Cho mạch như hình sau:

a) Xác định các giá trị phân cực: I_{BQ} , I_{CQ} , V_{CEQ}

Áp dụng định luật Kirchhoff 2 ta có:

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

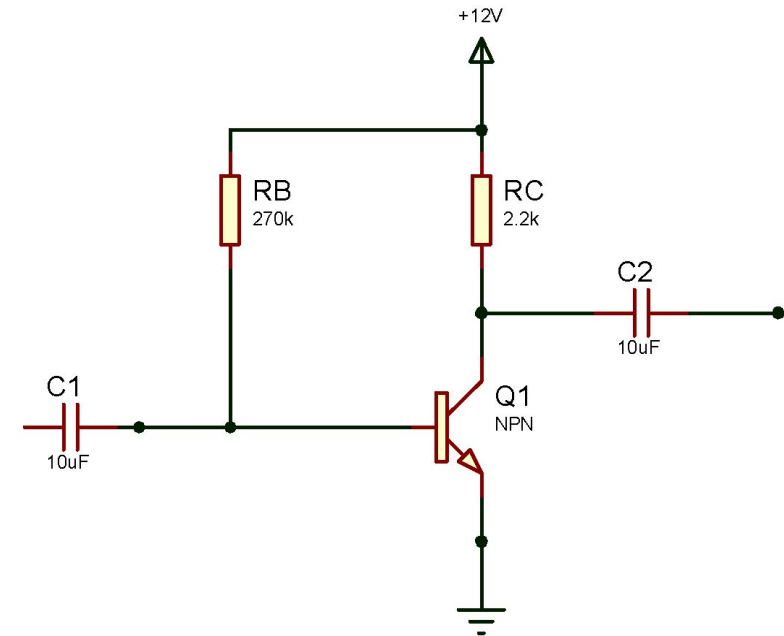
Suy ra dòng điện I_B :

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12V - 0,7V}{270K\Omega} = 0,04185mA \approx 42\mu A$$

Đây cũng chính là dòng điện I_{BQ} , từ đó suy ra dòng điện I_{CQ} như sau:

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 100 \times 42 \mu A = 4200 \mu A = 4,2 \text{ mA} = 4,2 \cdot 10^{-3} A$$

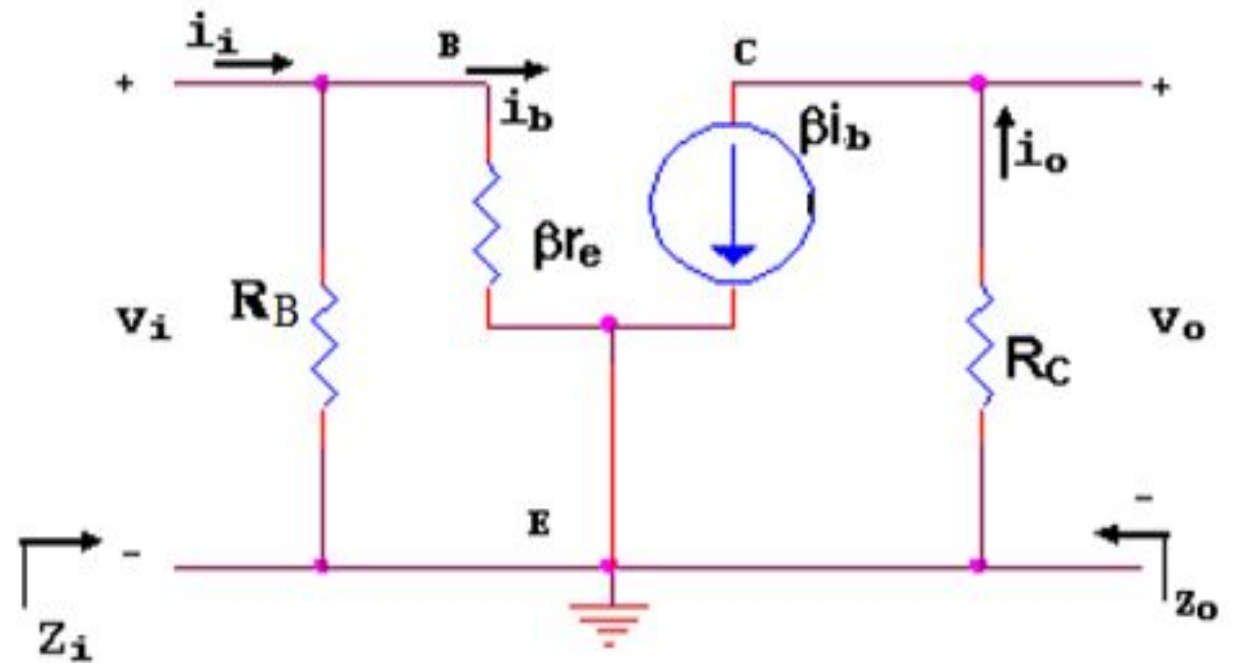
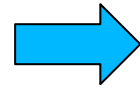
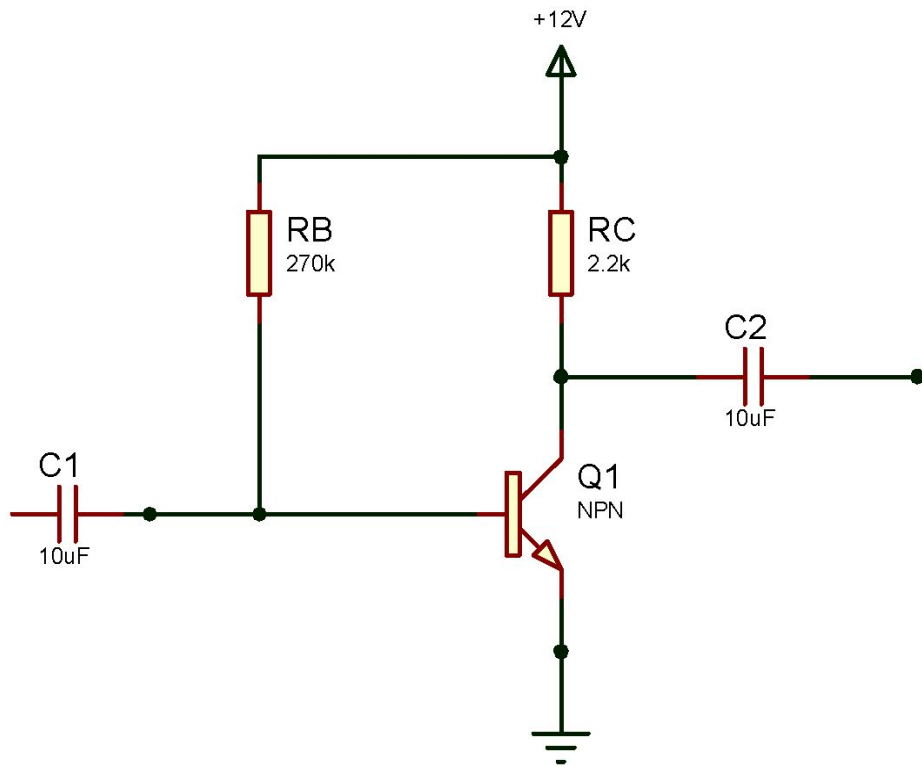
$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 12V - 4,2 \cdot 10^{-3} A \times 2,2 \cdot 10^3 \Omega = 12V - 9,4V = 2,6V$$



Ví dụ áp dụng:

Ví dụ 1 (tt):

b) Vẽ mạch tương đương xoay chiều với tín hiệu nhỏ



Ví dụ áp dụng:

Ví dụ 1 (tt):

c) Tính độ lợi điện áp A_v , tổng trở vào Z_i , tổng trở ra Z_o , độ lợi dòng điện A_i

Phân giải mạch ta sẽ tìm được các thông số của mạch như sau:

Độ lợi điện áp:

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

Tổng trở vào:

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

Tổng trở ra:

$$Z_o = R_C$$

Độ lợi dòng điện

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

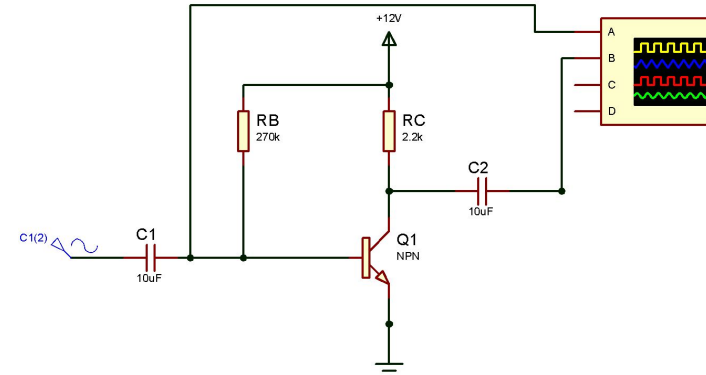
Ví dụ áp dụng:

Ví dụ 1 (tt):

c) Tính độ lợi điện áp A_v , tổng trở vào Z_i , tổng trở ra Z_o , độ lợi dòng điện A_i

$$\text{Ta có: } r_e = \frac{26\text{mV}}{I_{CQ}} \quad \text{với } I_{CQ} = 4,2 \cdot 10^{-3}\text{A}$$

$$r_e = \frac{26\text{mV}}{4,2 \cdot 10^{-3}\text{A}} = \frac{26 \cdot 10^{-3}\text{V}}{4,2 \cdot 10^{-3}\text{A}} = 6,2\Omega$$

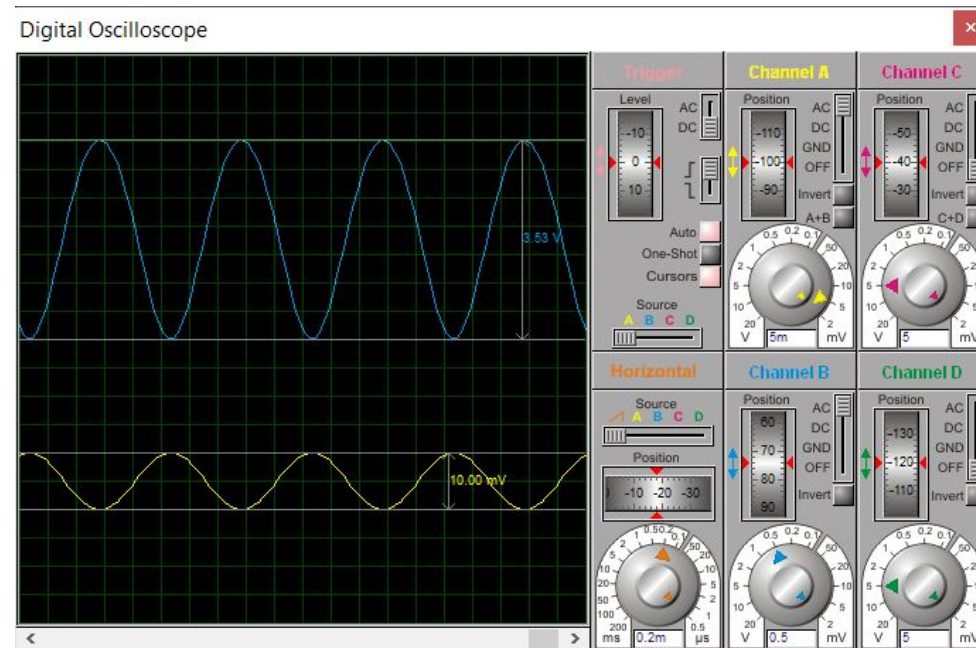


Độ lợi điện áp:

$$A_v = -\frac{R_c}{r_e} = -\frac{2200\Omega}{6,2\Omega} = -355$$

Kết quả mô phỏng như sau:

$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}} = -\frac{3,53\text{V}}{10\text{mV}} = -353$$



6. Ảnh hưởng của nội trở và trở tải lên mạch khuếch đại

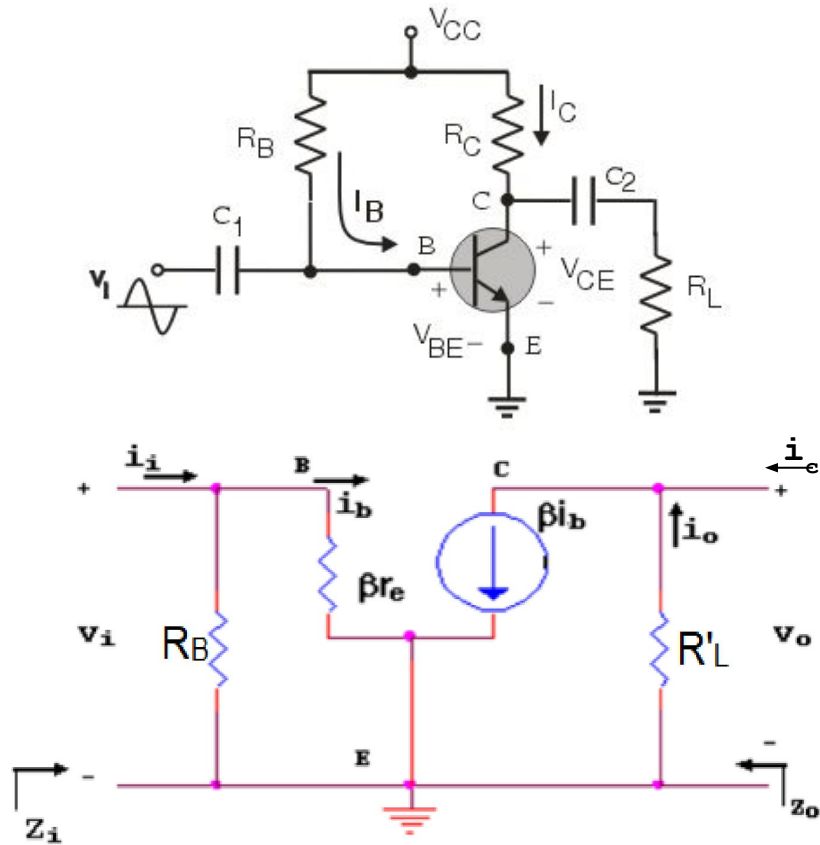
6. Ảnh hưởng của nội trở và trở tải lên mạch khuếch đại

Trong phần trước, chúng ta đã phân tích và tính toán các thông số của mạch khuếch đại dùng BJT trong trường hợp **không có tải** và nguồn tín hiệu được xem như lý tưởng (**không có nội trở**). Thực tế, nguồn tín hiệu luôn có nội trở nguồn tín hiệu R_S và mạch có tổng trở tải R_L . Tải có thể là loa, ăng-ten, còi, động cơ điện hoặc bất kỳ một thiết bị hữu ích nào. **Với nội trở R_S và trở tải R_L như vậy sẽ làm thay đổi các thông số của mạch như tổng trở vào, tổng trở ra, độ lợi điện áp và độ lợi dòng điện.**

Trong phần này sẽ khảo sát ảnh hưởng của R_S và R_L lên các thông số của mạch khuếch đại.

6. Ảnh hưởng của nội trở và trở tải lên mạch khuếch đại

1. Đường thẳng lấy điện động (xoay chiều)



Trong đó:

i_c : Dòng điện cực thu đối với cả tín hiệu xoay chiều và tín hiệu 1 chiều.

i_c : Dòng điện cực thu đối với tín hiệu xoay chiều.

I_{CQ} : Dòng điện cực thu đối với tín hiệu 1 chiều.

Xét mạch khuếch đại sau:

Xác định đường thẳng lấy điện động (xoay chiều):

Ta có:

- Điện trở tải DC: $R_L = R_C$
- Điện trở tải AC: $R'_L = R_L // R_C$
- Phương trình ngõ ra chỉ với tín hiệu AC:

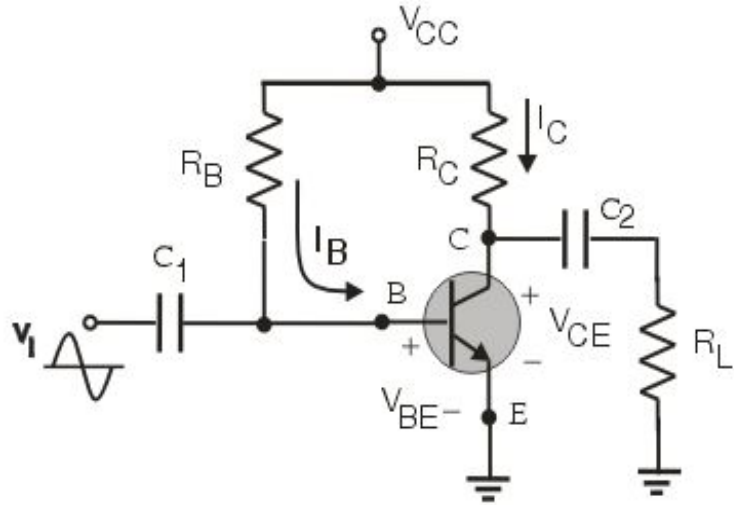
$$i_c R'_L + v_{ce} = 0$$

$$\Leftrightarrow i_c = -\frac{1}{R'_L} v_{ce} \quad (1)$$

$$i_c = i_c + I_{CQ} \Leftrightarrow i_c = i_c - I_{CQ} \quad (2)$$

6. Ảnh hưởng của nội trở và trở tải lên mạch khuếch đại

1. Đường thẳng lấy điện động (xoay chiều)



$$V_{CE} = v_{ce} + V_{CEQ} \Leftrightarrow v_{ce} = V_{CE} - V_{CEQ} \quad (3)$$

Trong đó: v_{CE} : Điện áp v_{CE} đối với cả tín hiệu xoay chiều và tín hiệu một chiều.

v_{ce} : Điện áp v_{ce} đối với tín hiệu xoay chiều.

V_{CEQ} : Điện áp V_{CEQ} đối với tín hiệu một chiều.

Xác định đường thẳng lấy điện động (xoay chiều):

Ta có:

- Điện trở tải DC: $R_L = R_C$
- Điện trở tải AC: $R'_L = R_L // R_C$
- Phương trình ngõ ra chỉ với tín hiệu AC:

$$i_c R'_L + v_{ce} = 0$$

$$\Leftrightarrow i_c = -\frac{1}{R'_L} v_{ce} \quad (1)$$

$$i_c = i_c + I_{CQ} \Leftrightarrow i_c = i_c - I_{CQ} \quad (2)$$

6. Ảnh hưởng của nội trở và trở tải lên mạch khuếch đại

1. Đường thẳng lấy điện động (xoay chiều)

Thay (2) và (3) vào (1) ta được phương trình ngõ ra khi có nguồn tín hiệu AC:

$$(i_C - I_{CQ}) = -\frac{1}{R'_L} (v_{CE} - V_{CEQ})$$

$$\Leftrightarrow i_C = -\frac{1}{R'_L} v_{CE} + \frac{V_{CEQ}}{R'_L} + I_{CQ} \quad \text{Với } R'_L = R_C // R_L$$

Phương trình này chính là phương trình đường thẳng lấy điện động của mạch.

$$\text{Khi } v_{CE} = 0 \quad \text{thì} \quad i_C = \frac{V_{CEQ}}{(R_C // R_L)} + I_{CQ}$$

$$\text{Khi } i_C = 0 \quad \text{thì} \quad v_{CE} = I_{CQ} (R_C // R_L) + V_{CEQ}$$

Ghi chú:

- Đường thẳng lấy điện tĩnh (đường tải DC) là tập hợp tất cả các điểm làm việc tĩnh $Q(I_C, V_{CE})$, khi chưa có tín hiệu nguồn AC.
- Đường thẳng lấy điện động (đường tải AC) là tập hợp tất cả các điểm (i_C, v_{CE}) , bao gồm cả điểm Q , khi có tín hiệu nguồn AC.

6. Ảnh hưởng của nội trở và trở tải lên mạch khuếch đại

1. Đường thẳng lấy điện động (xoay chiều)

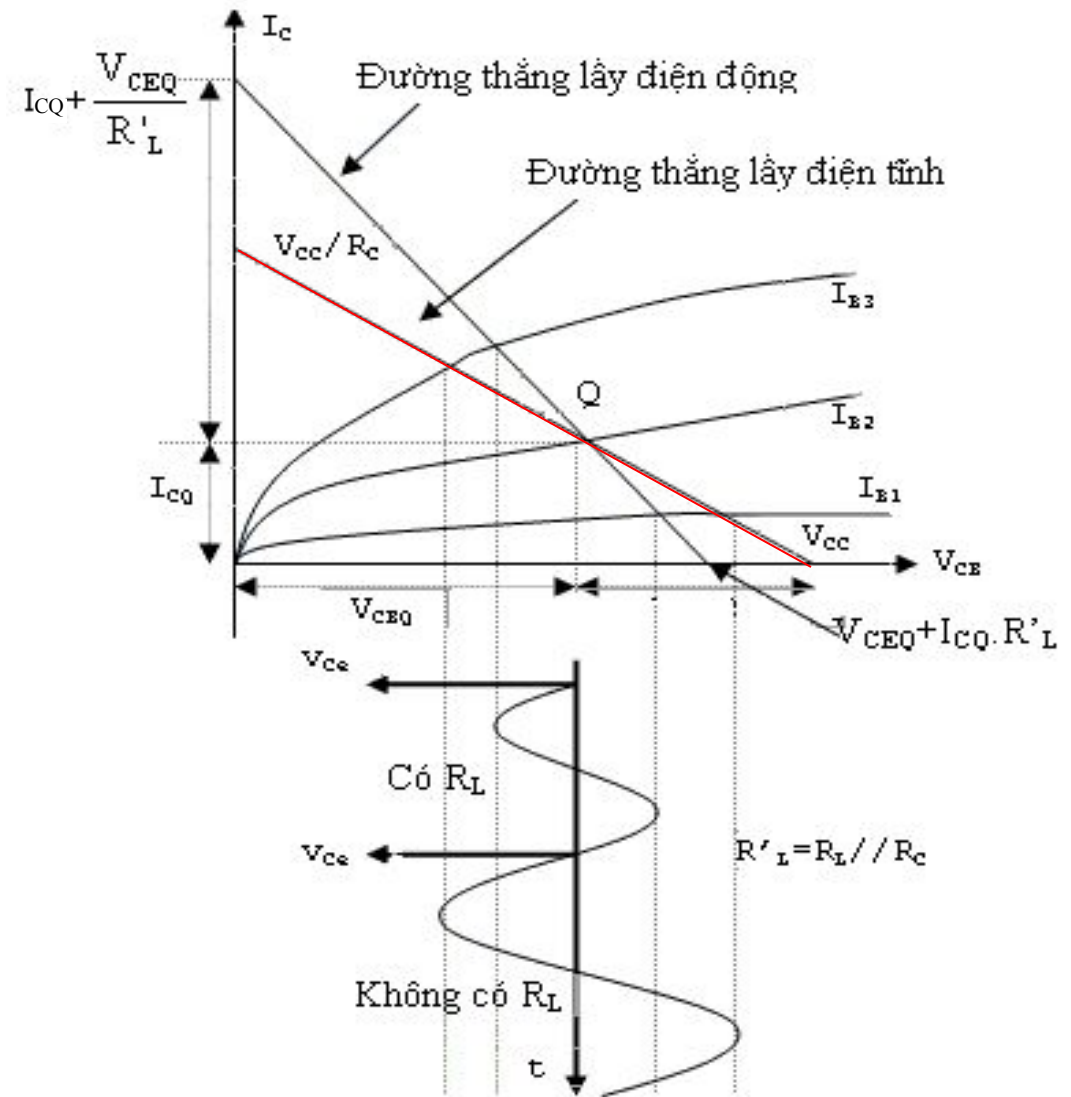
Phương trình đường thẳng lấy điện động:

$$i_c = -\frac{1}{R'_L} v_{CE} + \frac{V_{CEQ}}{R'_L} + I_{CQ}$$

Với $R'_L = R_C // R_L$

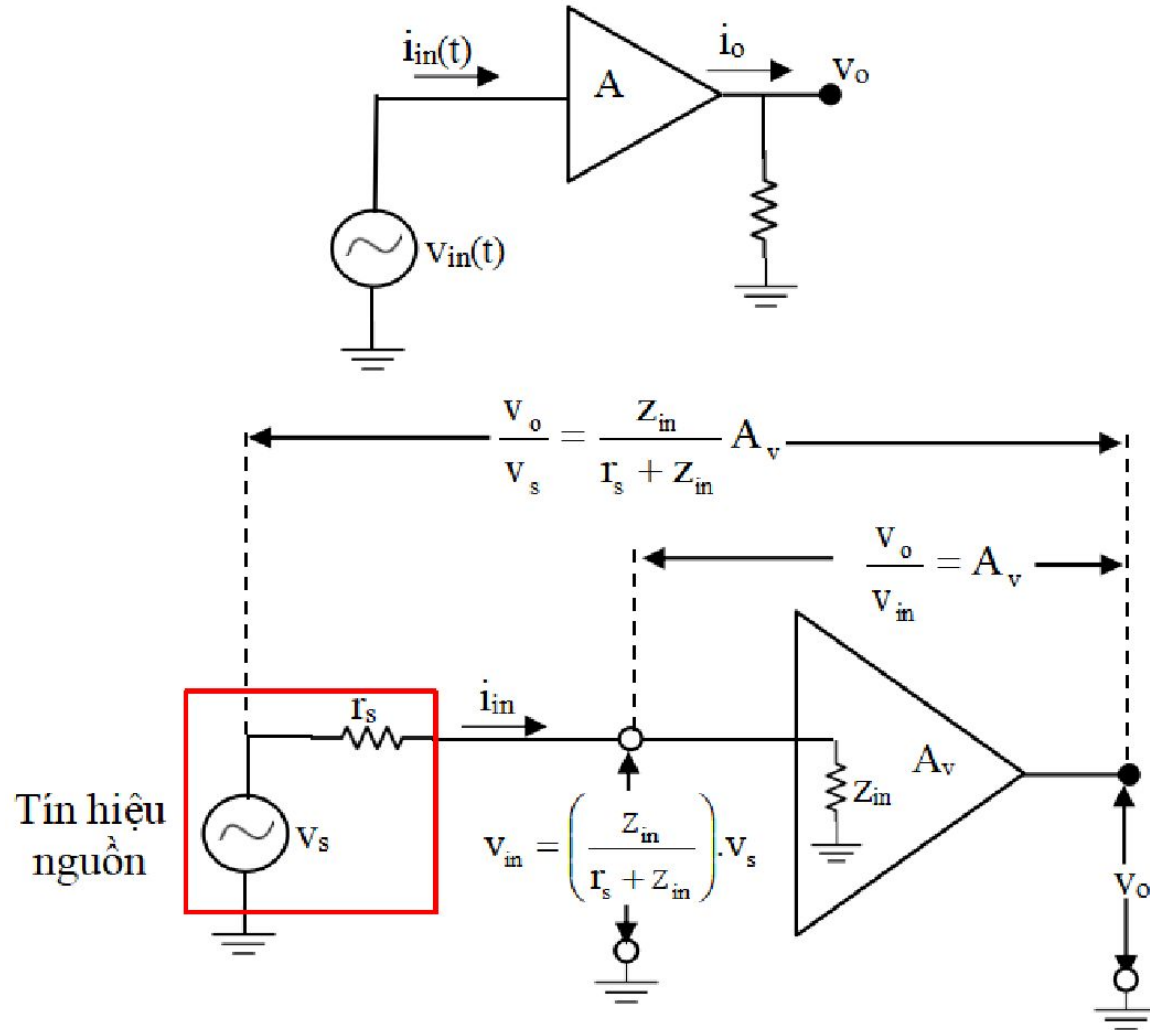
Khi $v_{CE} = 0$ thì $i_c = \frac{V_{CEQ}}{(R_C // R_L)} + I_{CQ}$

Khi $i_c = 0$ thì $v_{CE} = I_{CQ} (R_C // R_L) + V_{CEQ}$



6. Ảnh hưởng của nội trở và trở tải lên mạch khuếch đại

2. Ảnh hưởng của nội trở nguồn r_s



$$V_{in} = \left(\frac{Z_{in}}{r_s + Z_{in}} \right) \cdot V_s$$

$$V_o = A_v \cdot V_{in} = A_v \cdot \left(\frac{Z_{in}}{r_s + Z_{in}} \right) \cdot V_s$$

Như vậy để có độ lợi áp A_v càng lớn thì $z_{in} \gg r_s$

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

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

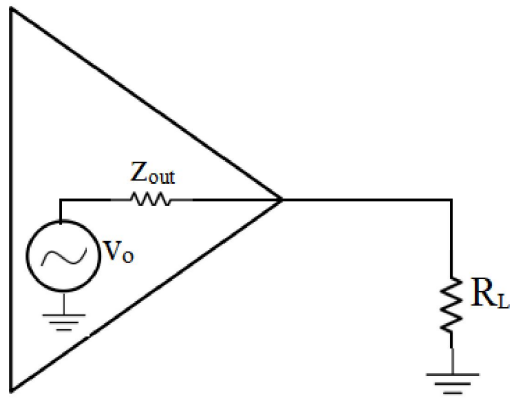
Để có độ lợi dòng A_i càng lớn thì $r_s \gg z_{in}$

6. Ảnh hưởng của nội trở và trở tải lên mạch khuếch đại

3. Ảnh hưởng của điện trở tải R_L

Một bộ khuếch đại AC dùng để cung cấp công suất cho một tải ở ngõ ra. Tải có thể là loa, ăng-ten, còi, động cơ điện... Khi phân tích mạch này, ta thay thế bằng một điện trở tải.

$$\text{Mà ta có: } v_o = A_v \cdot \left(\frac{Z_{in}}{r_s + Z_{in}} \right) \cdot v_s$$



$$v_L = \left(\frac{R_L}{Z_{out} + R_L} \right) \cdot v_o \quad \text{Để có áp tối đa trên tải thì } R_L \gg Z_{out}$$

Độ lợi áp từ nguồn đến tải:

$$A_{vETP} = \frac{v_L}{v_s} = A_v \cdot \left(\frac{Z_{in}}{r_s + Z_{in}} \right) \cdot \left(\frac{R_L}{Z_{out} + R_L} \right)$$

$$i_L = \frac{v_L}{R_L} = \frac{1}{R_L} \cdot \left(\frac{R_L}{Z_{out} + R_L} \right) \cdot v_o = \left(\frac{1}{Z_{out} + R_L} \right) \cdot v_o$$

$$\text{Với } v_o = Z_{out} \cdot i_o \Rightarrow i_L = \left(\frac{Z_{out}}{Z_{out} + R_L} \right) \cdot i_o \quad \text{Để có dòng tối đa trên tải thì } Z_{out} \gg R_L$$

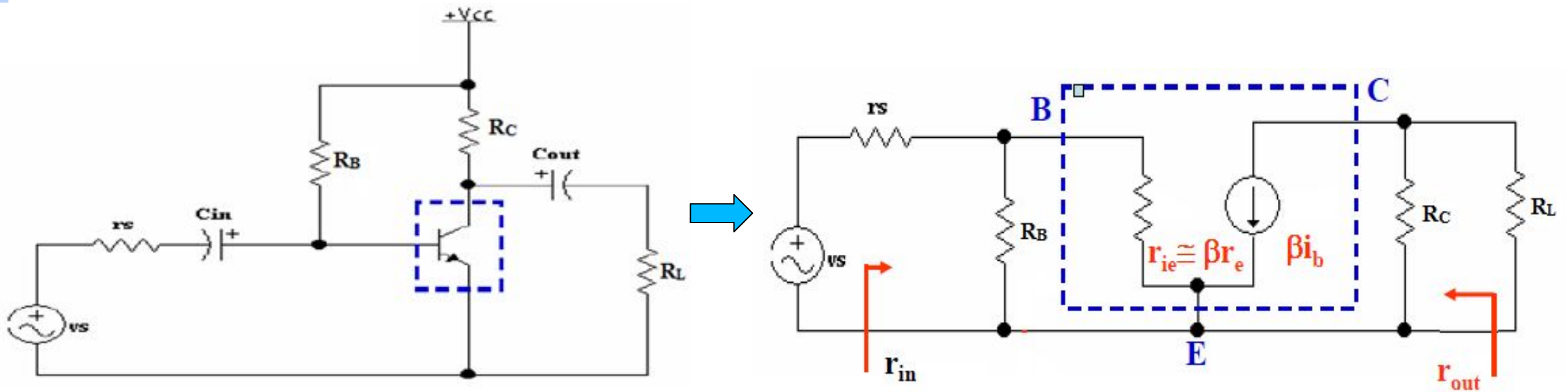
Độ lợi dòng từ nguồn đến tải:

$$\text{Với } i_o = A_i \cdot i_{in} = A_i \cdot \left(\frac{r_s}{r_s + Z_{in}} \right) \cdot i_s \Rightarrow A_{iETP} = \frac{i_L}{i_s} = A_i \cdot \left(\frac{r_s}{r_s + Z_{in}} \right) \cdot \left(\frac{Z_{out}}{Z_{out} + R_L} \right)$$

6. Ảnh hưởng của nội trở và trở tải lên mạch khuếch đại

4. Mạch khuếch đại cực phát chung với kiểu phân cực cố định khi có nội trở và điện trở tải.

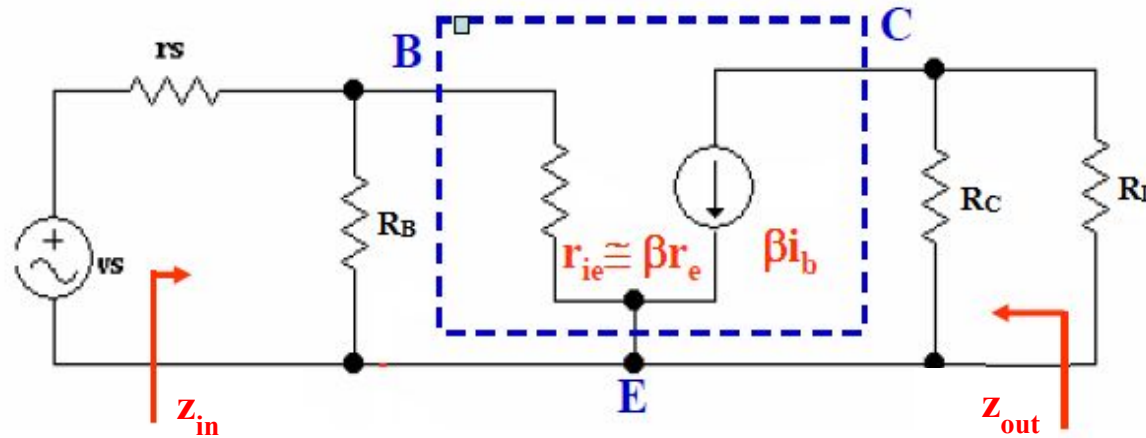
Xét mạch khuếch đại cực phát chung với kiểu phân cực cố định với nội trở r_s và trở tải R_L như hình sau:



Mạch tương đương xoay chiều

6. Ảnh hưởng của nội trở và trở tải lên mạch khuếch đại

4. Mạch khuếch đại cực phát chung với kiểu phân cực cố định khi có nội trở và điện trở tải.



Trong trường hợp không có điện trở tải và nguồn tín hiệu thì ta có:

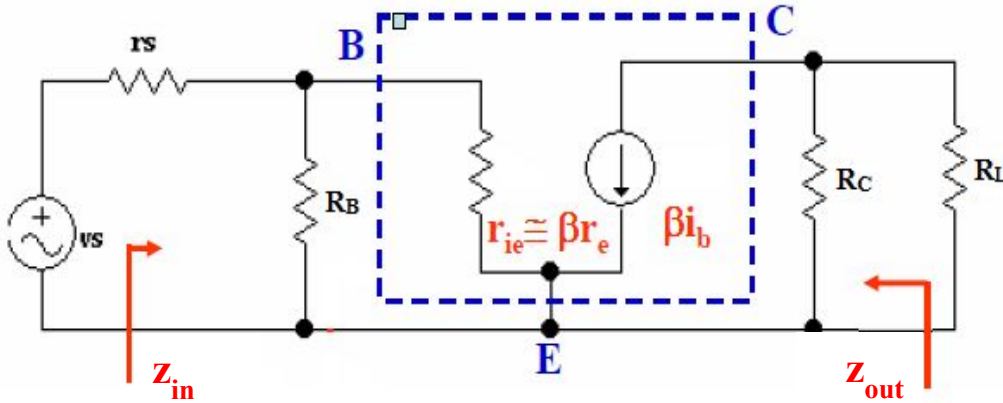
- Điện trở vào: $z_{in} = R_B // \beta r_e$
- Điện trở ra: $z_{out} = R_C$
- Độ lợi áp: *(khi không có tải ngõ ra xem như hở mạch)*

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

6. Ảnh hưởng của nội trở và trở tải lên mạch khuếch đại

4. Mạch khuếch đại cực phát chung với kiểu phân cực cố định khi có nội trở và điện trở tải

- Trong trường hợp có điện trở tải và nguồn tín hiệu:



Ta có độ lợi áp toàn phần (hay độ lợi áp từ nguồn đến tải):

$$A_{vETP} = \frac{V_L}{V_s} = A_v \left(\frac{z_{in}}{r_s + z_{in}} \right) \left(\frac{R_L}{R_L + z_{out}} \right)$$

$$\text{Với } A_v = -\frac{R_C}{r_e} (\text{do } R_E = 0); z_{in} = R_B // \beta r_e; z_{out} = R_C$$

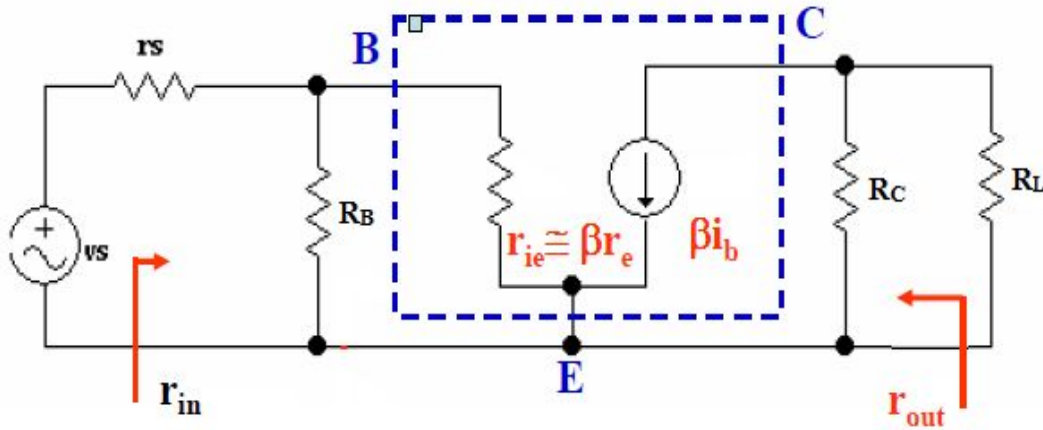
$$\Rightarrow A_{vETP} = -\frac{R_C}{r_e} \left(\frac{R_B // \beta r_e}{r_s + (R_B // \beta r_e)} \right) \left(\frac{R_L}{R_L + R_C} \right)$$

$$\Rightarrow A_{vETP} = -\frac{1}{r_e} \left(\frac{R_B // \beta r_e}{r_s + (R_B // \beta r_e)} \right) \left(\frac{R_C R_L}{R_L + R_C} \right) = -\frac{1}{r_e} \left(\frac{R_B // \beta r_e}{r_s + (R_B // \beta r_e)} \right) (R_C // R_L)$$

6. Ảnh hưởng của nội trở và trở tải lên mạch khuếch đại

4. Mạch khuếch đại cực phát chung với kiểu phân cực cố định khi có nội trở và điện trở tải

- Trong trường hợp có điện trở tải và nguồn tín hiệu:



Ta có độ lợi dòng tổng (hay độ lợi dòng từ nguồn đến tải):

$$A_{iETP} = \frac{i_L}{i_s} = A_i \cdot \left(\frac{r_s}{r_s + z_{in}} \right) \cdot \left(\frac{z_{out}}{z_{out} + R_L} \right)$$

$$\text{Với } A_i = \beta; z_{in} = R_B // \beta r_e; z_{out} = R_C$$

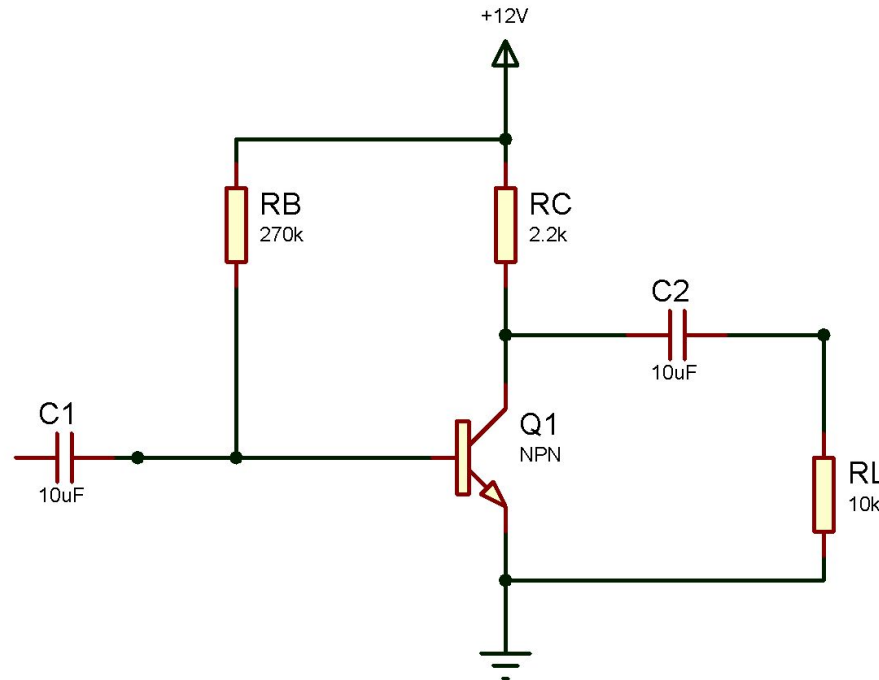
$$\Rightarrow A_{iETP} = \frac{i_L}{i_s} = \beta \left(\frac{r_s}{r_s + (R_B // \beta r_e)} \right) \left(\frac{R_C}{R_L + R_C} \right)$$

6. Ảnh hưởng của nội trở và trở tải lên mạch khuếch đại

4. Mạch khuếch đại cực phát chung với kiểu phân cực cố định khi có nội trở và điện trở tải

- Trong trường hợp có điện trở tải và nguồn tín hiệu:

Ví dụ 2: Tương tự ví dụ 1, mắc thêm điện trở tải $R_L = 10k$ ở ngõ ra. Tính toán và mô phỏng độ lợi điện áp A_{VETP} của mạch sau và nhận xét.



6. Ảnh hưởng của nội trở và trở tải lên mạch khuếch đại

4. Mạch khuếch đại cực phát chung với kiểu phân cực cố định khi có nội trở và điện trở tải

- Trong trường hợp có điện trở tải và nguồn tín hiệu:

Ví dụ 2(tt):

Khi có điện trở tải thì ta có độ lợi áp toàn phần được tính như sau:

$$A_{vETP} = A_v \left(\frac{Z_{in}}{Z_{in} + r_s} \right) \left(\frac{R_L}{R_L + R_C} \right)$$

Với A_v là độ lợi điện áp khi không có tải $A_v = -\frac{R_C}{r_e} = -\frac{2200\Omega}{6,2\Omega} = -355$

Z_{in} là tổng trở vào của mạch

r_s là điện trở nguồn

Xét trường hợp: $Z_{in} \gg r_s$ (để có độ lợi áp A_{vETP} lớn)

$$\Rightarrow A_{vETP} = \left(-\frac{R_C}{r_e} \right) \left(\frac{R_L}{R_L + R_C} \right) = -355 \times \frac{10k\Omega}{10k\Omega + 2,2k\Omega} = -\frac{3550}{12,2} = -291$$

6. Ảnh hưởng của nội trở và trở tải lên mạch khuếch đại

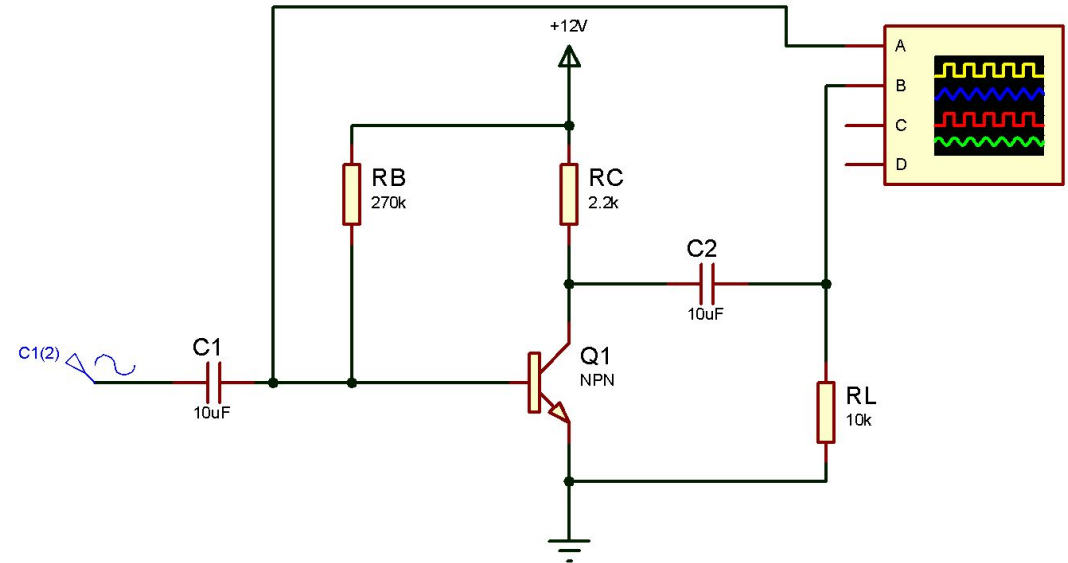
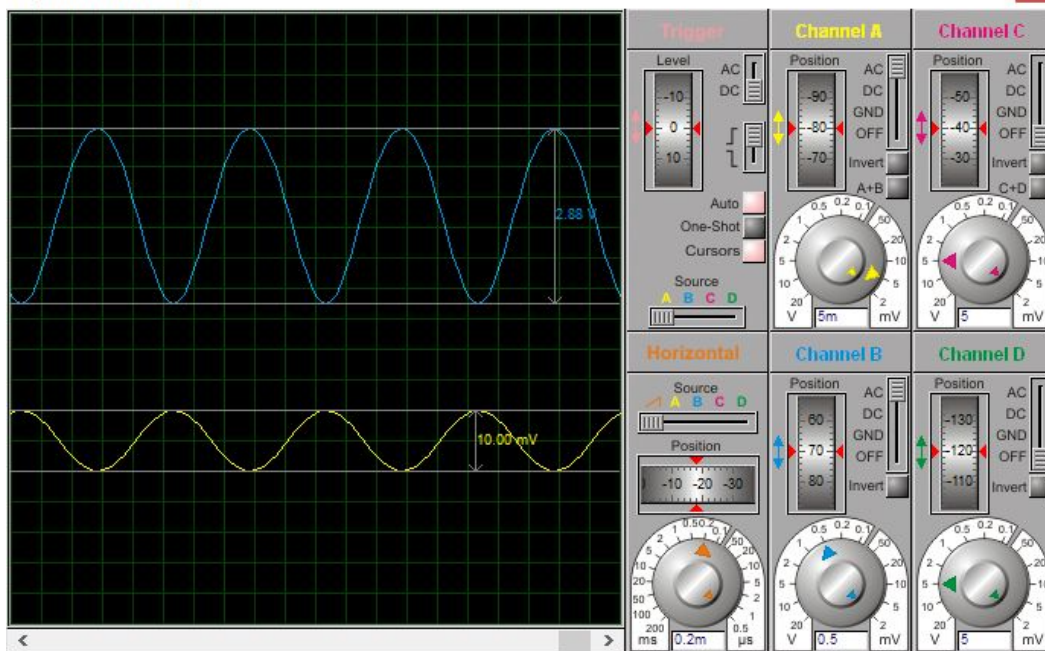
4. Mạch khuếch đại cực phát chung với kiểu phân cực cố định khi có nội trở và điện trở tải

- Trong trường hợp có điện trở tải và nguồn tín hiệu:

Ví dụ 2(tt):

$$A_{vETP} = \frac{V_o}{V_{in}} = -\frac{2,88V}{10mV} = -288$$

Digital Oscilloscope



Tham khảo

- [1] Nhóm tác giả Bộ môn Vật lý Điện tử và Vật lý Tin Học, Khoa Vật lý-Vật lý Kỹ thuật, “Giáo trình Thực hành Điện tử cơ bản- Lưu hành nội bộ”, Khoa Vật lý-Vật lý Kỹ thuật, Trường ĐH Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc Gia TP.HCM, 2014.
- [2] Trần Thu Hà, Trương Thị Bích Ngà, Nguyễn Thị Lưỡng, Bùi Thị Tuyết Đan, Phù Thị Ngọc Hiếu, Dương Thị Cẩm Tú, “Giáo trình Điện tử cơ bản”, Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia TP.HCM, 2013.
- [3] Trương Văn Tám, “Giáo trình Mạch điện tử”, Nhà xuất bản Đại học Cần Thơ, 2003.