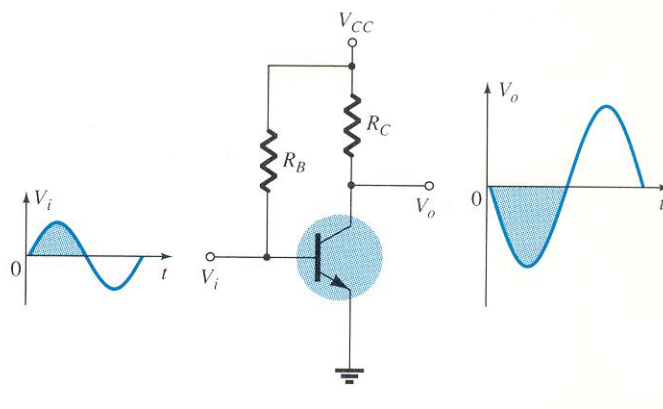


Bài 8: KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

8.1 Khái niệm

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, ...



Hình 8.1: Mạch khuếch đại điện áp

Có ba loại mạch khuếch đại chính là :

- *Khuếch đại về 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 về 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 làm một.

Transistor được sử dụng trong mạch khuếch đại gồm: FET và BJT. 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, còn BJT thường dùng cho các mạch rời. Trong phạm vi bài học này sử dụng BJT trong mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ.

8.1.1 Phân cực transistor BJT

Ta biết BJT có thể hoạt động trong 3 vùng:

- *Vùng tác động*: (vùng khuếch đại hay tuyến tính)

- Nối phát – nền (E – B) phân cực thuận
- Nối thu – nền (C – B) phân cực nghịch

- *Vùng bão hòa*:

- Nối phát – nền (E – B) phân cực thuận
- Nối thu – nền (C – B) phân cực thuận

- *Vùng ngưng*: Nối phát – nền (E – B) phân cực nghịch

Tùy theo nhiệm vụ mà hoạt động của transistor phải được đặt trong vùng nào. Như vậy, phân cực transistor là đưa các điện áp một chiều vào các cực của transistor như thế nào để transistor hoạt động trong vùng mong muốn. Dĩ nhiên người ta còn phải thực hiện một số biện pháp khác để ổn định hoạt động transistor nhất là khi nhiệt độ của transistor thay đổi. Trong trường hợp chúng ta đang khảo sát mạch khuếch đại dùng transistor BJT do đó cần phải phân cực cho transistor hoạt động trong vùng tác động (vùng khuếch đại).

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

$I_E = I_C + I_B$; $I_C = \beta I_B$; β là hệ số khuếch đại dòng điện, $\beta = 20 \div 500$ (được nhà sản xuất cung cấp)

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

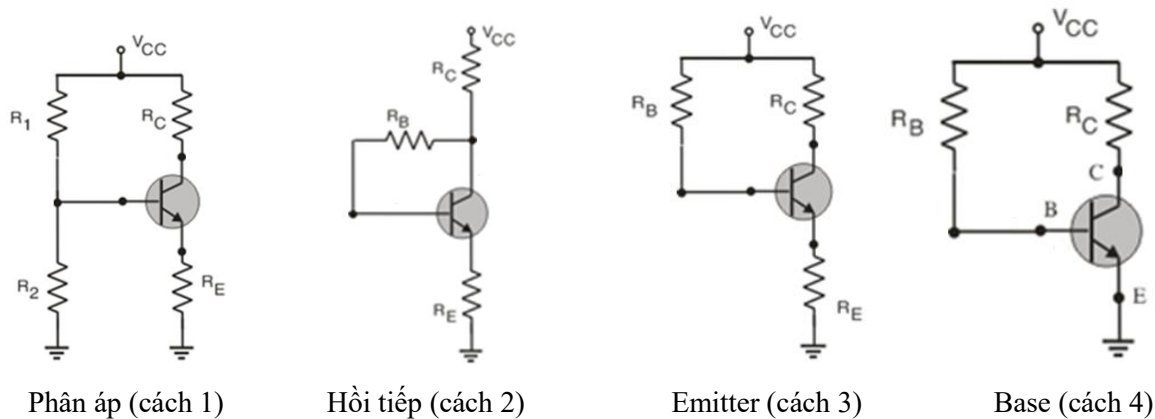
$I_C \approx \alpha I_E$ (bỏ qua I_{CBO} vì rất nhỏ)

$\alpha = 0.9 \div 0.998$ (α là hệ số truyền đạt dòng điện)

Công thức liên hệ giữa α và β :

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

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



Hình 8.2: Bốn cách phân cực cơ bản của transistor

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 $R_2 = \infty, R_E = 0$

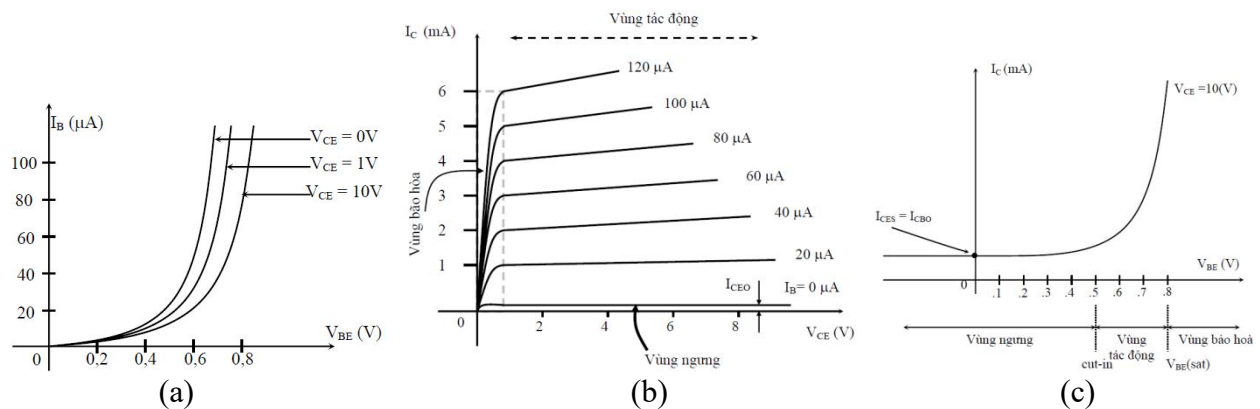
Vậy ta có 2 cách phân cực tổng quát là:

- 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/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

Xem xét các đặc tuyến của transistor BJT mắc theo kiểu cực phát chung được trình bày như trong hình sau.



Hình 8.3: Các đặc tuyến của transistor BJT
(a) đặc tuyến ngõ vào (b) đặc tuyến ngõ ra (c) đặc tuyến truyền đạt

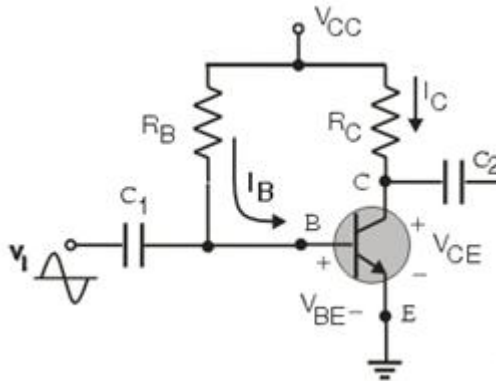
Từ đặc tuyến ngõ ra ta thấy các vùng hoạt động của transistor: vùng bão hoà, vùng tác động và vùng ngưng. Từ đặc tuyến ngõ vào và đặc tuyến ngõ ra, có thể suy ra đặc tuyến truyền đạt của transistor BJT. Đặc tuyến truyền đạt biểu diễn sự thay đổi của dòng điện ngõ ra I_C theo điện áp ngõ vào V_{BE} với điện áp ngõ ra làm thông số. Đối với transistor Silicon thì vùng hoạt động có V_{BE} nằm trong khoảng 0,5 – 0,8V. Trong vùng tác động, đặc tuyến truyền đạt có dạng hàm mũ. Khi dòng I_B tăng thì V_{BE} tăng, V_{BE} tăng một lượng nhỏ thì I_C tăng được một lượng lớn, đây chính là đặc tính khuếch đại của transistor.

8.1.2 Điểm làm việc tĩnh và đường thẳng lấy điện tĩnh

Vai trò của đường thẳng lấy điện (đường tải):

- Phân giải mạch Transistor.
- Xác định điểm tĩnh điều hành Q.
- Cho biết trạng thái hoạt động của transistor (tác động, bão hoà, ngưng dẫn).
- Mạch khuếch đại có tuyến tính hay không.
- Thiết kế mạch khuếch đại theo ý định (chọn trước điểm tĩnh Q, tính các trị số linh kiện).
- Độ lợi dòng điện thay đổi theo vị trí điểm tĩnh điều hành Q.
- Điểm tĩnh điều hành Q thay đổi vị trí theo điện thế phân cực transistor và còn thay đổi theo tín hiệu xoay chiều (AC) tác động vào mạch.

Xét một tầng khuếch đại đơn giản như hình sau.



Hình 8.4: Mạch khuếch đại cực phát chung phân cực cố định

a) Xác định điểm tĩnh Q ngõ vào

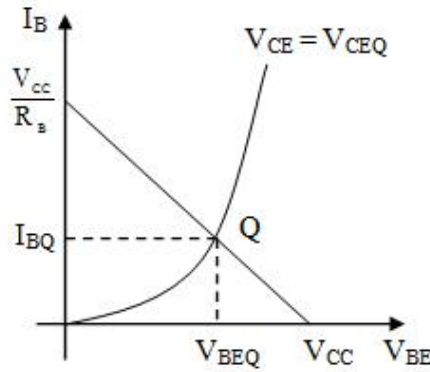
Áp dụng định luật Kirchhoff 2 cho ngõ vào, ta có:

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

Suy ra:

$$I_B = -\frac{1}{R_B} V_{BE} + \frac{V_{CC}}{R_B}$$

Đây được gọi là đường lấy điện tĩnh (đường tải một chiều) ngõ vào của mạch.



Hình 8.5: Điểm tĩnh Q ngõ vào

Đường lấy điện tĩnh ngõ vào cắt đặc tuyến ngõ vào tại 1 điểm, gọi là điểm làm việc tĩnh ngõ vào của mạch $Q(V_{BEQ}, I_{BQ})$.

b. Xác định điểm tĩnh Q ngõ ra

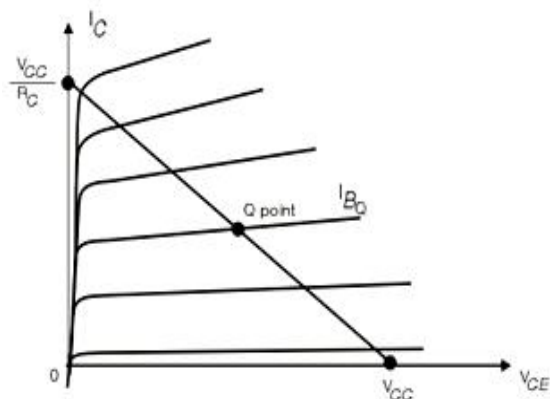
Áp dụng định luật Kirchhoff 2 cho ngõ ra, ta có:

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

Suy ra:

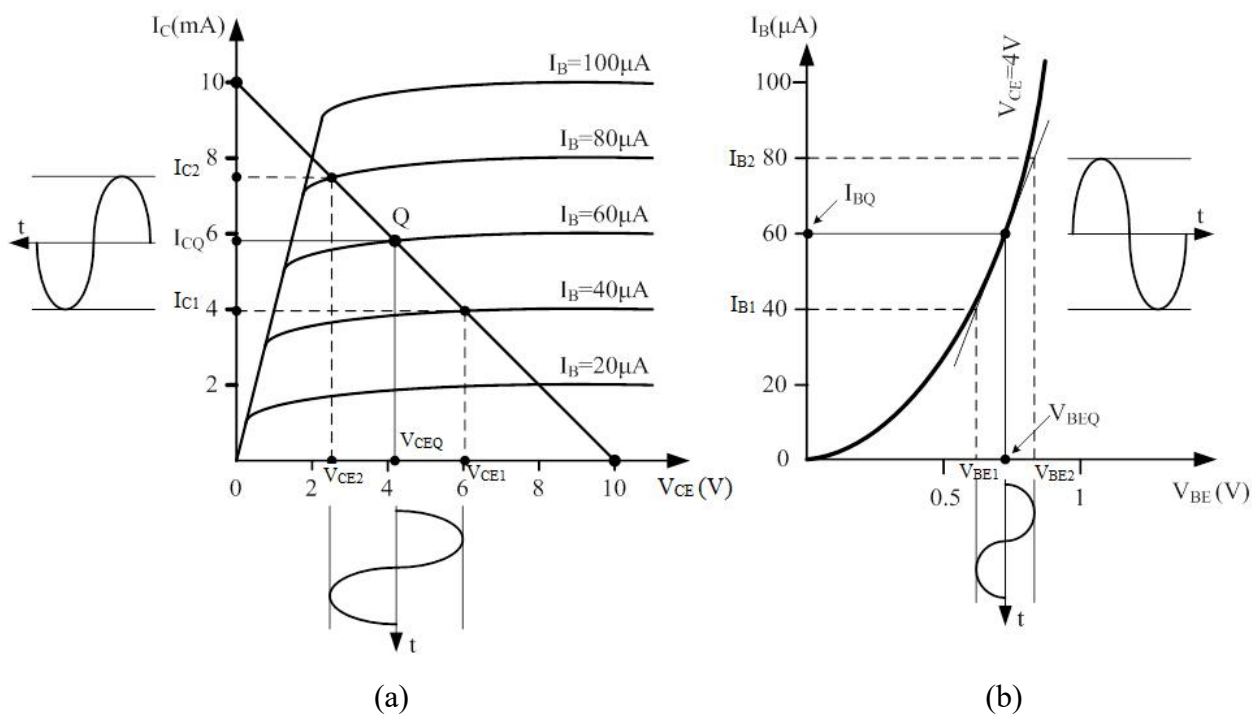
$$I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

Được gọi là đường lấy điện tĩnh ngõ ra của mạch.



Hình 8.6: Điểm tĩnh Q ngõ ra

Đường lấy điện tĩnh ngõ ra cắt đặc tuyến ngõ ra tại 1 điểm tương ứng với I_{BQ} (đã xác định ở ngõ vào), gọi là điểm làm việc tĩnh ngõ ra của mạch $Q(V_{CEQ}, I_{CQ})$.



Hình 8.7: Phân giải bằng đồ thị

(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

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

8.1.2 Mạch tương đương xoay chiều của transistor BJT

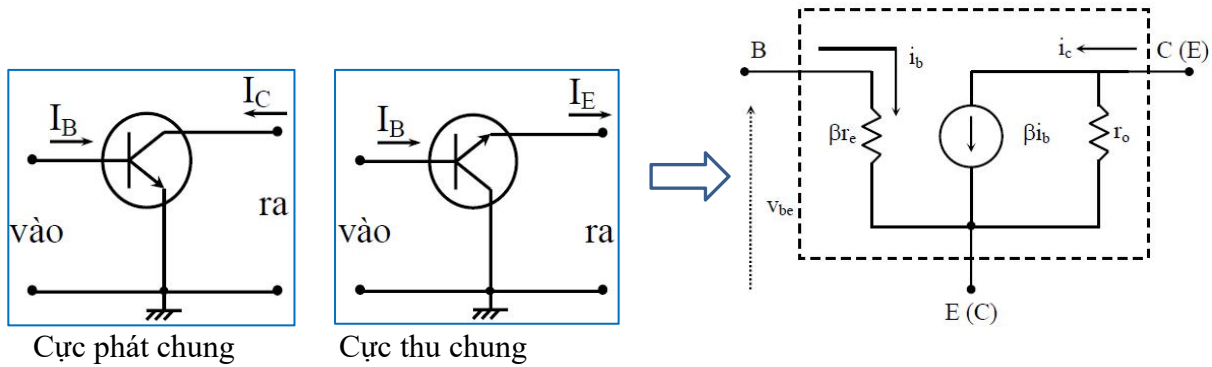
Transistor BJT là linh kiện phi tuyến, nhưng khi xét với tín hiệu trong phạm vi biến thiên nhỏ thì mức độ phi tuyến ảnh hưởng không lớn, nên có thể xem như mạch tuyến tính. Trong chế độ tín hiệu nhỏ do tính tuyến tính nên transistor được vẽ thành các mạch tương đương xoay chiều gồm điện trở và nguồn 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)

Trong bài này, chúng ta khảo sát chủ yếu transistor BJT NPN và phân tích tín hiệu nhỏ theo mô hình thông số r_e (các kết quả và phương pháp phân tích vẫn đúng với BJT PNP, chỉ cần chú ý đến chiều dòng điện và cực tính của nguồn điện áp một chiều).

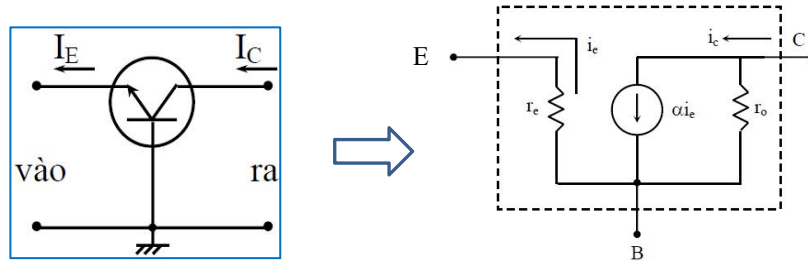
BJT là linh kiện điều khiển dòng ra bằng dòng vào nên mô hình tương đương xoay chiều của nó luôn có nguồn dòng được điều khiển bởi một dòng điện khác. Với mô hình tương đương xoay chiều của BJT, các tổng trở vào và tổng trở ra ta có mạch tương đương kiểu r_e . Trong kiểu tương đương này thường dùng chung một mạch cho kiểu ráp cực phát chung và cực thu chung và một mạch riêng cho ráp cực nền chung.

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



Trong mô hình tương đương xoay chiều của BJT mắc cực phát chung (E chung) hoặc thu chung (C chung) thì có dòng điện ngõ vào là $i_i = i_b$ và dòng điện ngõ ra $i_o = i_c = \beta i_b$ (nguồn dòng), r_e là điện trở động, r_o là điện trở nội ngõ ra.

- Mạch cực nền chung (B chung):



Trong mô hình tương đương xoay chiều của BJT mắc cực nền chung (B chung) thì có dòng điện ngõ vào là $i_i = i_e$ và dòng điện ngõ ra là $i_o = i_c = \alpha i_e$ (nguồn dòng).

Ghi chú:

- Do điện trở r_o có giá trị rất lớn (từ vài chục $k\Omega$ đến vài trăm $k\Omega$) 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): $r_e = \frac{26(\text{mV})}{I_{CQ}} (\Omega)$,

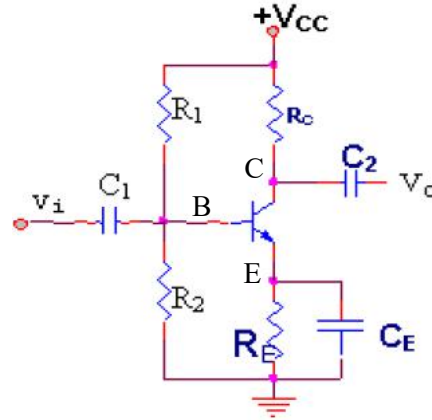
r_e phụ thuộc vào điểm làm việc tĩnh (một chiều) Q (I_{BQ} , I_{CQ} , V_{CEQ}). Điểm làm việc tĩnh ảnh hưởng đến r_e nên ảnh hưởng đến khả năng khuếch đại tín hiệu xoay chiều.

- 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).

8.2 Đặc tính khuếch đại của transistor BJT

Xem mạch điện sau:



Hình 8.8: Mạch khuếch đại cực phát chung

Giả sử ta đưa một tín hiệu xoay chiều có dạng hình sin, biên độ nhỏ vào chân B của transistor BJT như trong hình trên. 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.

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

Các tụ C_1 và C_2 ở ngõ vào và ngõ ra được chọn như thế nào để có thể xem như nối tắt (dung kháng rất 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 phân cực một chiều.

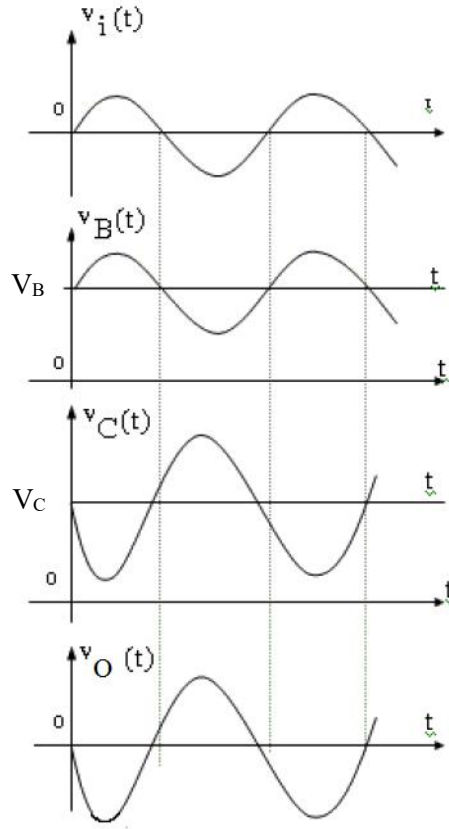
- Khi $v_B(t) > V_B$, tức bán kỳ dương của tín hiệu, V_{BE} tăng tức dòng I_B tăng và do $I_C = \beta I_B$ nên dòng cực thu I_C cũng tăng. Ngoài ra ta có $i_C(t) = I_C + i_c(t)$, do đó điện áp tại cực thu: $v_C(t) = V_{CC} - R_C i_C(t)$ giảm hơn trị số tĩnh V_C .

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

- Khi $v_B(t) < V_B$, tức bán kỳ âm của tín hiệu, dòng I_B giảm đưa đến dòng I_C cũng giảm và lúc này $v_C(t)$ tăng hơn trị số tĩnh V_C .

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

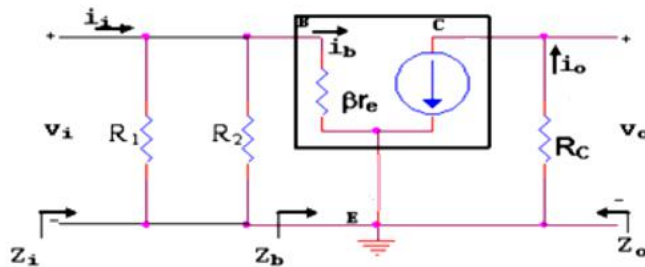
Như vậy ở mạch trên ta thấy $v_C(t)$ biến thiên ngược chiều với $v_B(t)$, tức $v_o(t)$ ngược pha với $v_i(t)$. Định nghĩa tỉ số: $A_v = \frac{v_o(t)}{v_i(t)}$ là độ khuếch đại (hay độ lợi) điện áp của mạch.



Hình 8.9: Giảm đồ tín hiệu theo thời gian

Các chỉ tiêu của mạch khuếch đại:

Xem xét mạch tương đương xoay chiều của mạch hình 8.8. Về mạch xoay chiều thì các tụ liên lạc C_1 , C_2 và tụ phân dòng C_E xem như nối tắt. Tụ C_E được mắc song song với điện trở R_E thì trong mạch tương đương cũng không còn sự hiện diện của R_E . Nguồn một chiều V_{CC} được xem như nối đất. Ta vẽ mạch tương đương xoay chiều của mạch hình 8.8 như sau:



Hình 8.10: Mạch tương đương xoay chiều của mạch khuếch đại cực phát chung

Từ sơ đồ khối của mạch tương đương xoay chiều, ta có:

- Độ lợi điện áp:

Một trong những đặc tính quan trọng nhất của mạch khuếch đại là độ lợi điện áp, chính là tỷ số điện áp ngõ ra và ngõ vào:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \quad (8.1)$$

- Độ lợi dòng điện:

Độ lợi dòng điện được xác định bởi phương trình:

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} \quad (8.2)$$

- Tổng trở vào Z_i :

Tổng trở vào Z_i được xác định bởi định luật Ohm có phương trình:

$$Z_i = \frac{V_i}{i_i} \quad (8.3)$$

- Tổng trở ra Z_o :

Tổng trở ra thường được xác định tại các đầu ngõ ra nhưng hoàn toàn khác với tổng trở. Sự khác nhau đó là: tổng trở ra được xác định tại các đầu ngõ ra nhìn vào hệ thống khi không có tín hiệu ở ngõ vào.

$$Z_o = \frac{V_o}{i_o} \quad (8.4)$$

- Độ lợi công suất:

$$A_p = \frac{P_o}{P_i} = \frac{V_o i_o}{V_i i_i} = A_v A_i \quad (8.5)$$

- Mối quan hệ về pha:

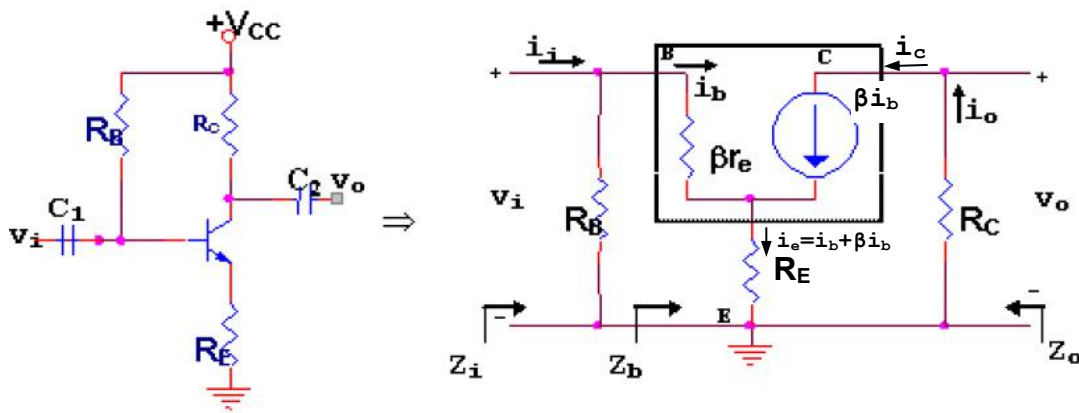
Mối quan hệ về pha của tín hiệu vào và tín hiệu ra dạng sin rất quan trọng. Đối với các mạch khuếch đại transistor ở dải tần trung bình cho phép bỏ qua ảnh hưởng của các phần tử dung kháng, tín hiệu vào và tín hiệu ra có thể cùng pha hoặc ngược pha nhau 180° tùy theo đặc tính của mạch.

8.3 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.

8.3.1 Mạch khuếch đại cực phát chung với kiểu phân cực cố định.

Mạch khuếch đại cực phát chung với kiểu phân cực cố định và ổn định cực phát. Mạch tương đương xoay chiều được trình bày trong hình 8.11.



Hình 8.11: Mạch khuếch đại cực phát chung

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:

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

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

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

Phân tích trong mạch xoay chiều thì các tụ liên lạc C_1 và C_2 ở ngõ vào và ngõ ra có thể xem như nối tắt (dung kháng rất nhỏ).

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

a) Độ lợi điện áp:

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

Ta có: $i_e = \beta i_b$ và $i_o = i_c \Rightarrow i_o = \beta i_b$; mà ta có $v_o = -i_o R_C \Rightarrow v_o = -\beta i_b R_C$

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

Suy ra:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{\beta R_C}{\beta r_e + (1+\beta) R_E} \quad (8.6)$$

Do $\beta \gg 1$ nên:

$$A_v \approx -\frac{R_C}{r_e + R_E} \quad (8.7)$$

$$\text{Nếu } R_E \gg r_e \text{ suy ra: } A_v \approx -\frac{R_C}{R_E} \quad (8.8)$$

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

b) Tổng trở vào:

Ta có tổng trở vào:

$$Z_i = R_B // Z_b \quad (8.9)$$

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:

$$Z_b = \frac{v_i}{i_b} = \frac{\beta r_e i_b + (1+\beta) R_E i_b}{i_b} \approx \beta(r_e + R_E) \approx \beta R_E \quad (\text{do } R_E \gg r_e) \quad (8.10)$$

c) Độ lợi dòng điện

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

Trong đó:

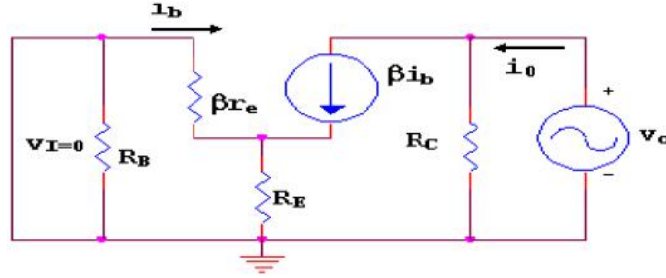
$$i_o = -\frac{v_o}{R_C}; i_i = \frac{v_i}{Z_i} \Rightarrow A_i = -\frac{v_o}{v_i} \frac{Z_i}{R_C} \quad (8.11)$$

$$\text{Hay } A_i = -A_v \frac{Z_i}{R_C} \quad (8.12)$$

d) Tổng trở ra:

$$Z_o = \frac{v_o}{i_o} \quad (8.13)$$

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

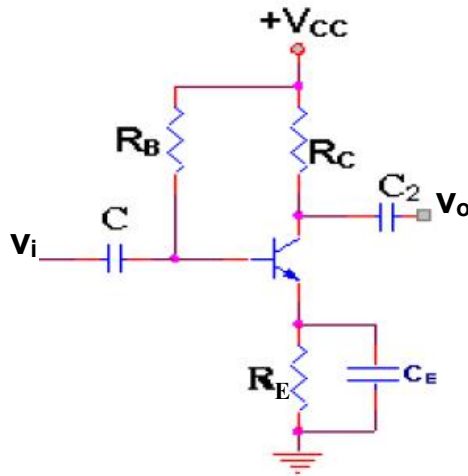


Hình 8.12: Mạch tính tổng trở ra

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

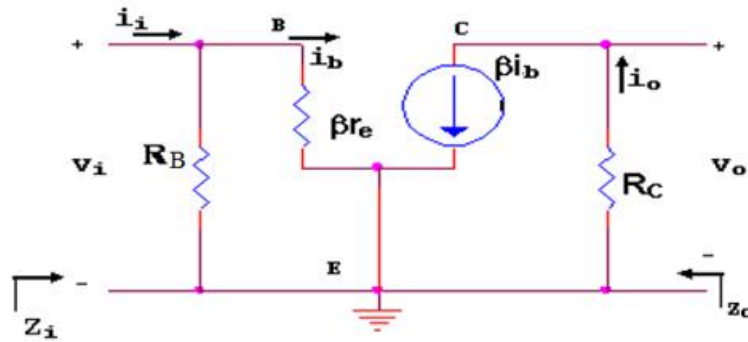
$$Z_o = \frac{v_o}{i_o} = R_C \quad (8.14)$$

Ghi chú: Trong mạch cơ bản hình 8.11 nếu mắc thêm tụ phân dòng C_E song song với R_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 (hình 8.14).



Hình 8.13: Mạch khuếch đại cực phát chung phân cực cố định mắc thêm tụ phân dòng C_E

Mạch tương đương xoay chiều được trình bày như sau:



Hình 8.14: Mạch tương đương xoay chiều của hình 8.13

Lưu ý:

- 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

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

a) Độ lợi điện áp:

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

b) Tổng trở vào:

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

c) Tổng trở ra:

$$Z_o = R_C$$

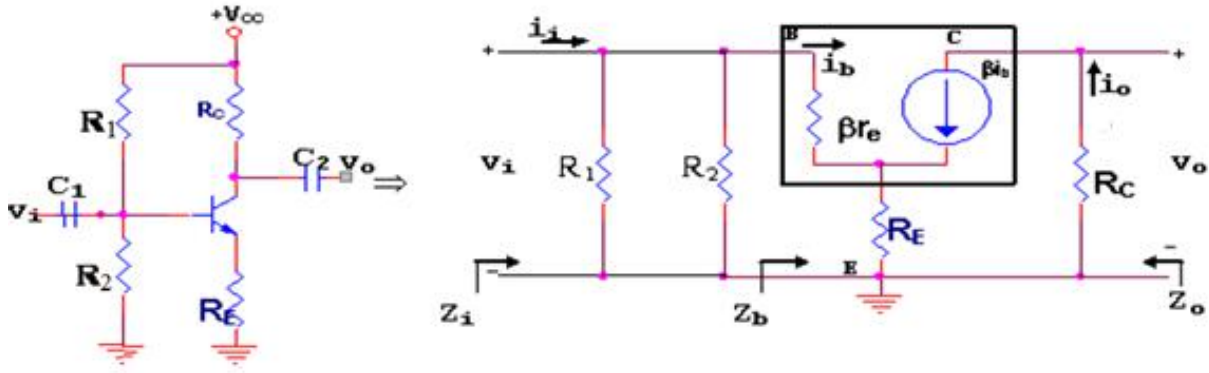
d) Độ lợi dòng điện

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

Các kết quả trên có thể suy ra từ các kết quả hình 8.11 khi cho $R_E = 0$.

8.3.2 Mạch khuếch đại cực phát chung với kiểu 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:



Hình 8.15: Mạch khuếch đại cực phát chung với kiểu phân cực bằng cầu phân áp

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:

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

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

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

Ghi chú:

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

$V_{BE} \approx 0,7\text{V}$ với transistor BJT là Silicon.

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

Các tụ C_1 và C_2 ở ngõ vào và ngõ ra có thể xem như nối tắt (dung kháng rất nhỏ).

So sánh mạch ở hình 8.11 và hình 8.15 thì ta thấy hoàn toàn giống nhau nếu thay R_B bằng $R_1 // R_2$ nên ta có thể suy ra các kết quả phân giải mạch 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:

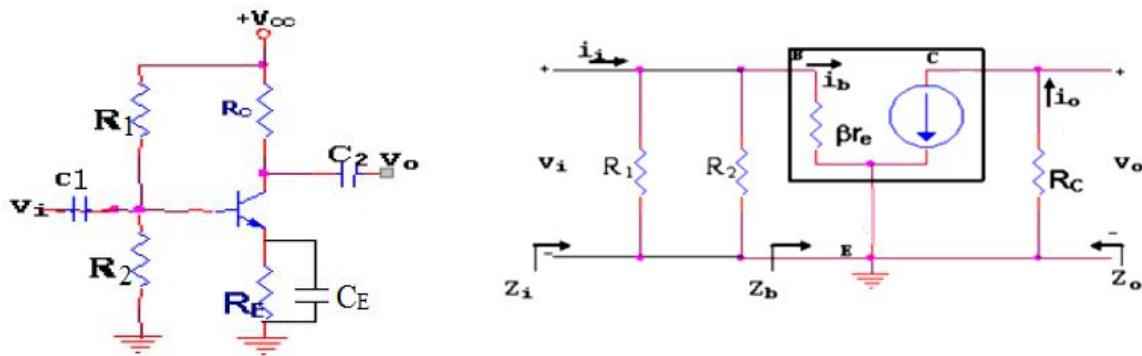
$$Z_i = R_1 // R_2 // Z_b \quad \text{với} \quad Z_b = \beta(r_e + R_E) \approx \beta R_E \quad (\text{từ công thức (8.9)})$$

c) Tổng trở ra:

$$Z_o = R_C$$

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

Ghi chú: Tương tự như trên thì trong mạch cơ bản hình 8.15 nếu ta mắc thêm tụ phân dòng C_E , thì trong mạch tương đương xoay chiều sẽ không còn sự hiện diện của điện trở R_E .



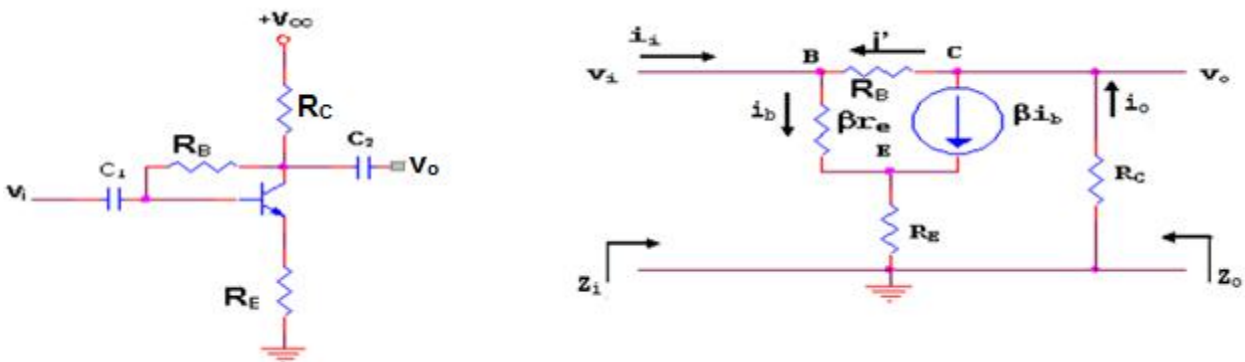
Hình 8.16: Mạch khuếch đại cực phát chung phân cực bằng cầu phân áp mắc thêm tụ C_E

Lưu ý:

- 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

8.3.3 Mạch khuếch đại cực phát chung với kiểu 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:



Hình 8.17: Mạch khuếch đại cực phát chung với kiểu phân cực bằng hồi tiếp điện áp

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:

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

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

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

Các tụ C1 và C2 ở ngõ vào và ngõ ra có thể xem như nối tắt (dung kháng rất nhỏ).

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

a) Độ lợi điện áp:

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

Ta có: $i_o = \beta i_b + i' \approx \beta i_b$ (do R_B thường rất lớn, nên dòng điện i' nhỏ hơn nhiều so với βi_b nên có thể bỏ qua).

Và ta có: $v_o = -i_o \cdot R_C$

Suy ra: $v_o = -i_o \cdot R_C = -\beta i_b R_C$

Mà ta có: $v_i = \beta r_e i_b + R_E i_e = \beta r_e i_b + (1 + \beta) R_E i_b = \beta(r_e + R_E) i_b$

Suy ra:

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

b) Tổng trở vào:

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

Ta có: $v_i = \beta(r_e + R_E) i_b$

Với: $i_b = i_i + i' = i_i + \frac{v_o - v_i}{R_B}$

Suy ra: $v_i = \beta(r_e + R_E)(i_i + \frac{v_o - v_i}{R_B}) = \beta(r_e + R_E)i_i + \frac{\beta(r_e + R_E)v_o}{R_B} - \frac{\beta(r_e + R_E)v_i}{R_B}$

Thay $v_o = A_v v_i$ vào ta được:

$$v_i = \beta(r_e + R_E)i_i + \frac{\beta(r_e + R_E)}{R_B} A_v v_i - \frac{\beta(r_e + R_E)}{R_B} v_i$$

Suy ra:

$$\beta(r_e + R_E)i_i = v_i + \frac{\beta(r_e + R_E)}{R_B} v_i - \frac{\beta(r_e + R_E)}{R_B} A_v v_i$$

$$\Leftrightarrow \beta(r_e + R_E)i_i = v_i \left[1 + \frac{\beta(r_e + R_E)}{R_B} - \frac{\beta(r_e + R_E)}{R_B} A_v \right] = v_i \left[1 + \frac{\beta(r_e + R_E)}{R_B} (1 - A_v) \right]$$

$$\Rightarrow Z_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{\beta(r_e + R_E)}{1 + \frac{\beta(r_e + R_E)}{R_B} (1 - A_v)}$$

Nếu $R_E \gg r_e$ suy ra: $Z_i \approx \frac{\beta R_E}{1 + \frac{\beta R_E}{R_B} (1 - A_v)}$

Do $A_v < 0$ suy ra $1 - A_v = 1 + |A_v| \approx |A_v|$ (vì $|A_v| \gg 1$)

Từ đó suy ra:

$$Z_i = \frac{\beta R_E R_B}{R_B + \beta R_E |A_v|}$$

c) Độ lợi dòng điện:

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

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

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

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 $\beta i_b = 0 \Rightarrow$ Suy ra $Z_o = R_C // R_B$

Ghi chú: Tương tự như trên, ở mạch hình 8.17, 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:

$$Z_o = R_C // R_B$$

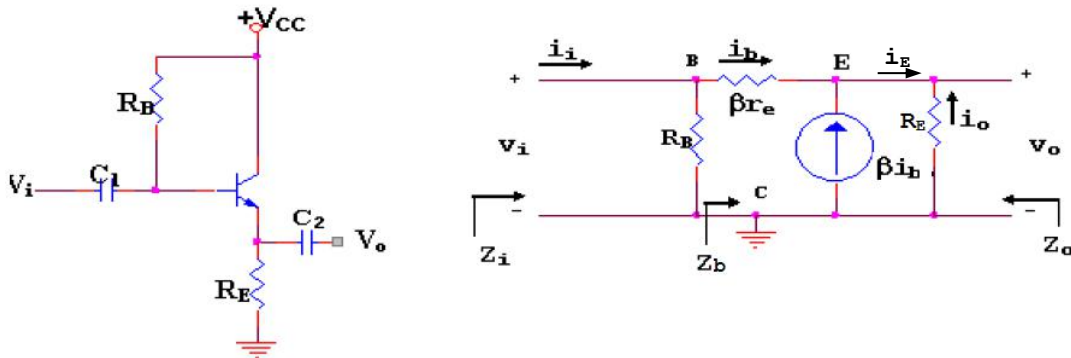
d) Độ lợi dòng điện:

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

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° .

8.4 Mạch khuếch đại cực thu chung (Tham khảo)

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 đương xoay chiều của mạch khuếch đại cực thu chung với kiểu phân cực bằng hồi tiếp điện áp được trình bày trong hình sau:



Hình 8.18: Mạch khuếch đại cực thu chung

Cách xác định r_e tương tự như trong mạch hình 8.11.

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

a) Độ lợi điện áp:

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

Từ mạch tương xoay chiều ta có:

$$v_o = i_E \cdot R_E; \text{ mà ta có: } i_E = i_b + \beta i_b = (1 + \beta)i_b$$

$$\text{Suy ra: } v_o = (1 + \beta)i_b R_E$$

$$\text{Ta có: } v_i = \beta r_e i_b + (1 + \beta)R_E i_b$$

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

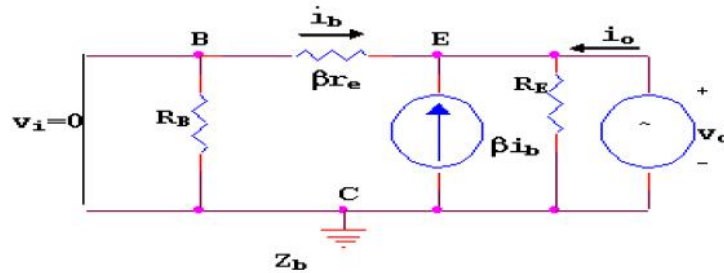
$$Z_b = \frac{v_i}{i_b} = \frac{\beta r_e i_b + (1 + \beta)R_E i_b}{i_b} \approx \beta(r_e + R_E)$$

Suy ra

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

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:



Hình 8.19: Mạch tương đương với ngõ vào được nối tắt

Từ mạch tương đương ta có:

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

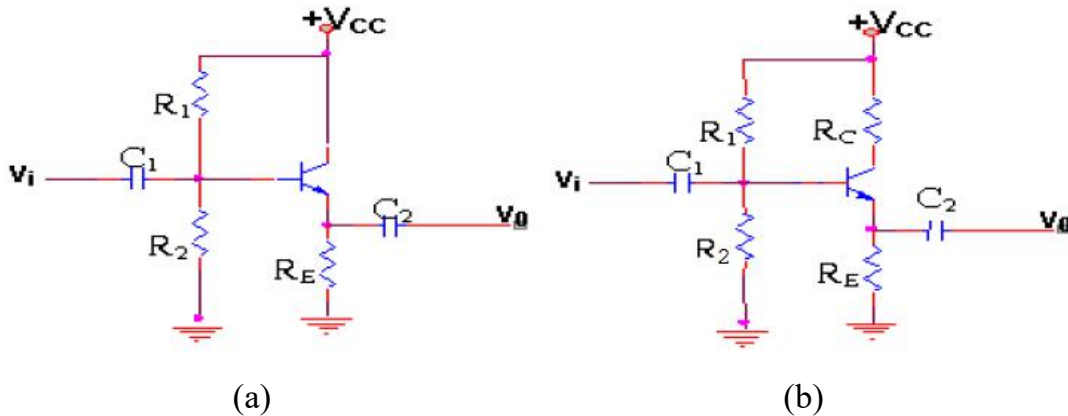
$$\text{Với } i_b = -\frac{v_o}{\beta r_e} \Rightarrow i_o = \frac{v_o}{R_E} + \frac{1 + \beta}{\beta r_e} v_o \approx \left(\frac{1}{R_E} + \frac{1}{r_e} \right) v_o$$

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

d) Độ lợi dòng điện

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

Chi chú: Mạch khuếch đại cực thu chung cũng có thể được phân cực bằng cầu chia áp như trình bày trong hình 8.20 (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 8.20(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.



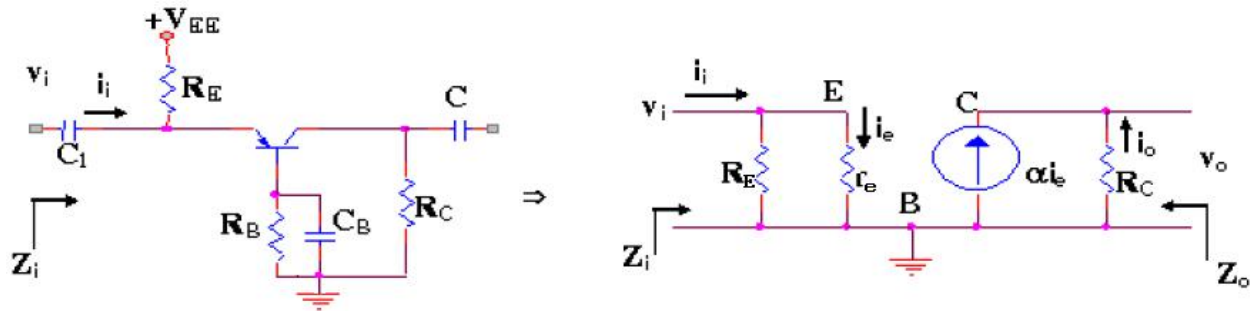
Hình 8.20: Mạch khuếch đại cực thu chung

(a) phân cực bằng cầu chia áp (b) điện trở R_C được mắc thêm vào mạch

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.

8.5 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:



Hình 8.21: 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:

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

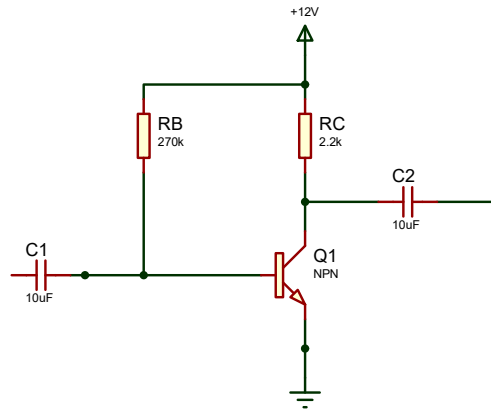
Nhận xét: Mạch khuếch đại cực nền chung có đặc điểm là độ lợi điện áp lớn nhưng độ lợi dòng bé, tín hiệu vào và ra cùng pha. Nhưng tổng trở vào của mạch này khá bé do đó cần phải cải thiện tổng trở ngõ vào. Mạch này thường ứng dụng trong các mạch khuếch đại tần số cao.

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

Ví dụ 1: Cho mạch khuếch đại như sau, transistor NPN (Q1) là loại Silicon, có $\beta = 100$.

Tính toán và mô phỏng độ lợi điện áp A_v của mạch sau và nhận xét.



Hình 8.22: Mạch khuếch đại cực phát chung

a) Tính độ lợi điện áp A_v

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

Áp dụng định luật Kirchhoff 2 ta có:

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

Suy ra dòng điện I_B :

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

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

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

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

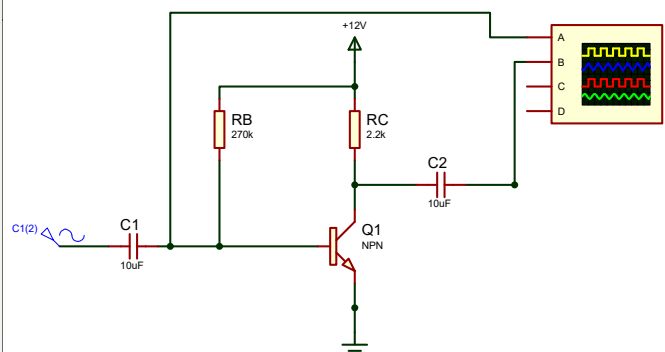
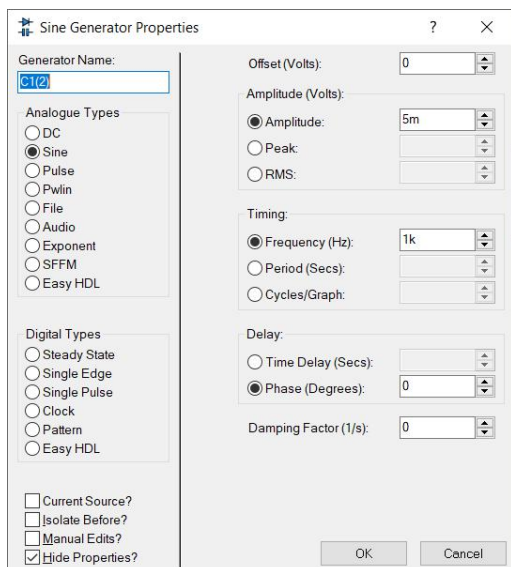
Độ lợi điện áp:

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

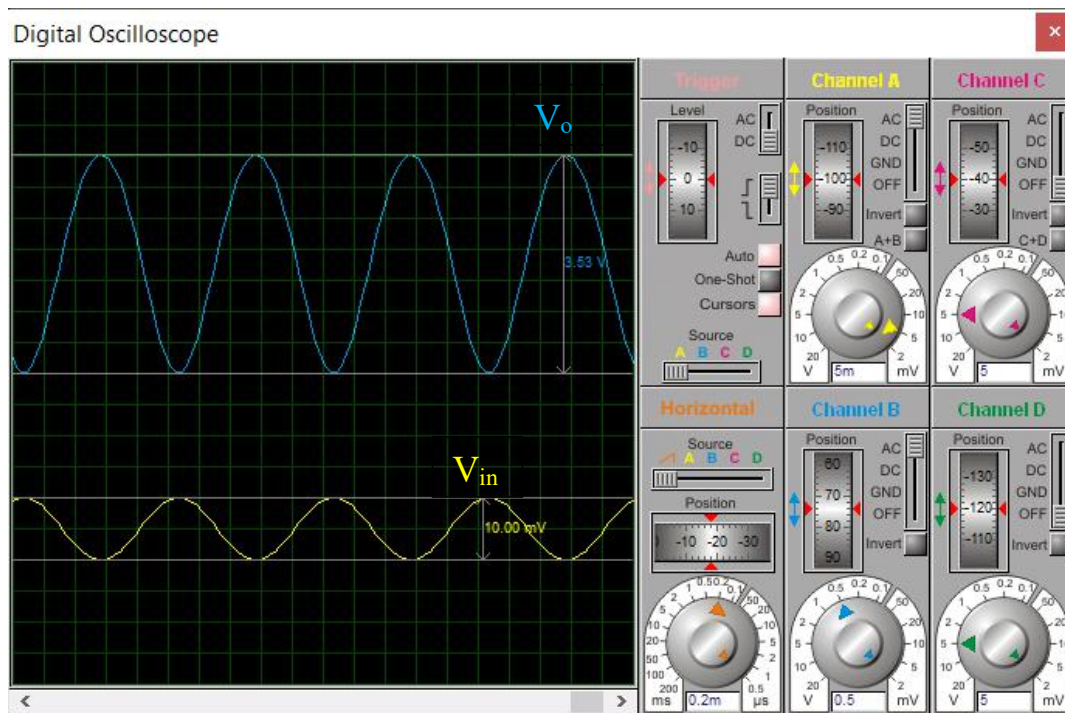
b) Mô phỏng mạch để xác định độ lợi điện áp A_v

Thực hiện mô phỏng mạch khuếch đại trong Proteus:

- Sử dụng bộ tạo sóng Sine: tạo tín hiệu nhỏ ở ngõ vào có biên độ 5mV và tần số 1kHz.
- Sử dụng máy hiện sóng (Oscilloscope): để hiển thị dạng sóng của tín hiệu ngõ vào và tín hiệu ngõ ra.



Kết quả mô phỏng như sau:



Hình 8.23: Kết quả mô phỏng độ lợi điện áp A_v

Độ lợi điện áp:

$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}} = -\frac{3,53V}{10mV} = -353 \quad (\text{dấu “-” là do tín hiệu ngõ vào và tín hiệu ngõ ra}$$

ngược pha nhau).

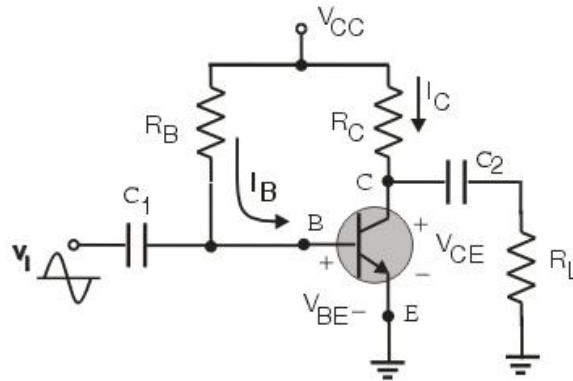
Nhận xét: Độ lợi điện áp A_v trong tính toán và trong mô phỏng cho kết quả gần bằng nhau.

8.6 Ảnh hưởng của nội trở và trở tải lên mạch khuếch đại

Trong các mục trước, chúng ta đã phân tích và tính toán các thông số của mạch khuếch đại dùng BJT khi 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 . 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 mục này chúng ta khảo sát ảnh hưởng của r_s và R_L lên các thông số của mạch khuếch đại.

8.6.1 Đường thẳng lấy điện động

Xem xét mạch như hình sau:



Hình 8.24: Mạch khuếch đại phân cực cố định có mắc điện trở tải R_L

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:

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

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

$$i_C = i_c + I_{CQ} \Leftrightarrow i_c = i_C - I_{CQ}$$

Trong đó:

i_C : Dòng điện cực C đối với cả tín hiệu xoay chiều và tín hiệu một chiều.

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

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

$$V_{CE} = v_{ce} + V_{CEQ} \Leftrightarrow v_{ce} = V_{CE} - V_{CEQ}$$

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.

Vậy phương trình ngõ ra khi có nguồn tín hiệu AC là:

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

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

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

- Khi $v_{CE} = 0$ thì $i_C = \frac{V_{CEQ}}{R'_L} + I_{CQ}$

- Khi $i_C = 0$ thì $v_{CE} = I_{CQ} R'_L + V_{CEQ}$

Trong đó $R'_L = R_L // R_C$

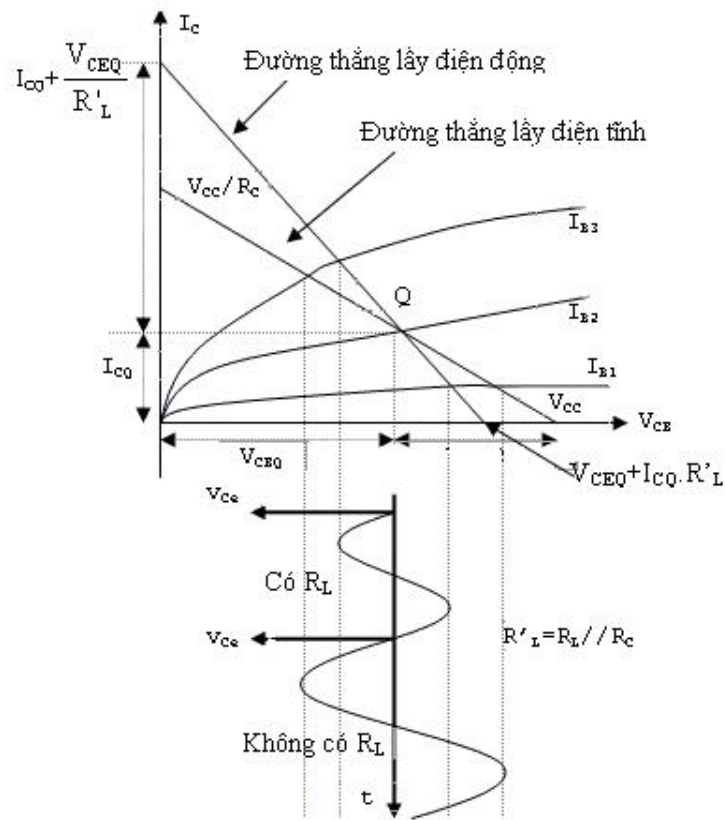
Ghi chú:

- 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 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 AC.

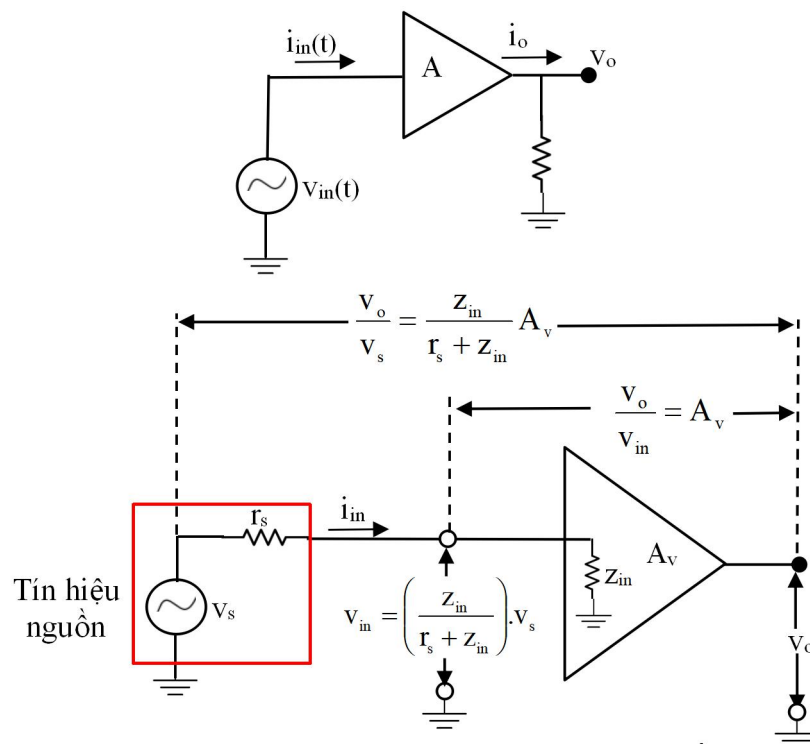
Đường thẳng lấy điện tĩnh và động cùng đặc tuyến ngõ ra được trình bày ở hình 8.23. Điện trở tải R_L không tham gia vào đường thẳng lấy điện tĩnh vì nó được cô lập với mạch phân cực bởi tụ liên lạc C_2 . Khi phân tích với tín hiệu xoay chiều, tụ C_2 được xem như nối tắt và tải của mạch điện được xem là R_L và điện trở cực thu R_C mắc song song với nhau. Tác dụng của điện trở tải R_L làm cho đường thẳng lấy điện động có dốc đứng hơn dòng điện lấy điện tĩnh. Điểm chú ý quan trọng là cả 2 đường thẳng này đều qua cùng một điểm Q .

Khi chưa mắc tải R_L , nếu ta áp một tín hiệu nhỏ hình sin vào cực nền của transistor, dòng điện cực nền của transistor sẽ biến động từ I_{B1} đến I_{B3} nên điện áp ngõ ra V_{CE} cũng biến động như hình vẽ. Nếu ta mắc tải R_L vào, vì sự biến động của I_B vẫn không thay đổi nhưng độ dốc của đường thẳng lấy điện đã thay đổi (đứng hơn) nên tín hiệu ra V_{CE} nhỏ hơn.



Hình 8.25: Đường thẳng lấy điện tĩnh và động cùng đặc tuyến ngõ ra

8.6.2 Ảnh hưởng của nội trở nguồn r_s



Hình 8.26: Mạch xét ảnh hưởng của nội trở nguồn

- *Độ lợi áp:*

. Áp dụng định lý Thevenin ta có điện áp vào bộ khuếch đại:

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

. Suy ra điện áp ra:

$$V_o = A_v \cdot V_{in} = A_v \cdot \left(\frac{Z_{in}}{r_s + Z_{in}} \right) \cdot V_s \quad (8.15)$$

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

- *Độ lợi dòng:*

. Dòng điện ngõ vào bộ khuếch đại:

Ta có:

$$i_{in} = \frac{V_{in}}{Z_{in}} = \frac{1}{Z_{in}} \cdot \left(\frac{Z_{in}}{r_s + Z_{in}} \right) \cdot V_s = \left(\frac{1}{r_s + Z_{in}} \right) \cdot V_s$$

Mà ta có: $V_s = r_s \cdot i_s$

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

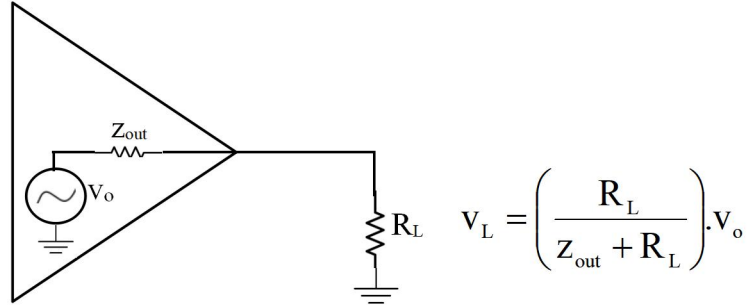
Dòng điện ngõ ra:

$$i_o = A_i \cdot i_{in} = A_i \cdot \left(\frac{r_s}{r_s + Z_{in}} \right) \cdot i_s \quad (8.16)$$

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

8.6.3 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 hoặc bất kỳ một thiết bị hữu ích nào. Khi phân tích mạch này, ta thay thế bằng một điện trở tải R_L .



Hình 8.27: Mạch xét ảnh hưởng của điện trở tải

- Độ lợi áp từ nguồn đến tải:

$$v_L = \left(\frac{R_L}{Z_{out} + R_L} \right) \cdot v_o \quad (8.17)$$

Để có áp rơi tối đa trên tải thì $R_L \gg Z_{out}$

Xét cả ảnh hưởng của nguồn và tải thì độ lợi áp từ nguồn đến tải được xác định bằng việc thay (8.15) vào (8.17), ta được:

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

- Độ lợi dòng từ nguồn đến tải:

.Dòng trên tải:

Ta có:

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

Mà ta có: $v_o = Z_{out} \cdot i_o$

$$\text{Suy ra: } i_L = \left(\frac{Z_{out}}{Z_{out} + R_L} \right) i_o \quad (8.18)$$

Độ lợi dòng tổng (từ nguồn đến tải):

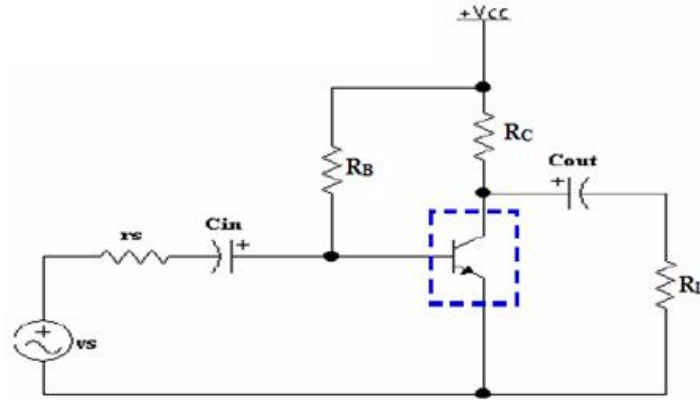
Thay (8.16) vào (8.18) ta được:

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

Để có dòng tối đa trên tải thì $Z_{out} \gg R_L$

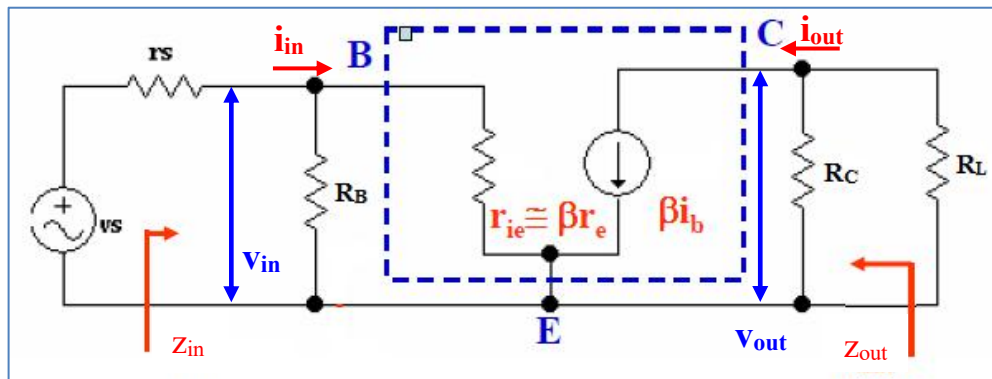
8.6.4 Mạch khuếch đại cực phát chung với kiểu phân cực cố định khi có nội trở và điện trở tải

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:



Hình 8.28: Mạch khuếch đại phân cực cố định với nội trở r_s và trở tải R_L

Khảo sát ảnh hưởng của r_s và R_L lên các thông số của mạch khuếch đại. Ta có sơ đồ mạch tương đương về mặt xoay chiều của mạch trên như sau:



Hình 8.29: Mạch tương đương về mặt xoay chiều của mạch Hình 8.26

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)

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

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

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

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

$$\text{Với: } A_v = -\frac{R_C}{r_e}; z_{in} = R_B // \beta r_e; z_{out} = R_C$$

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

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

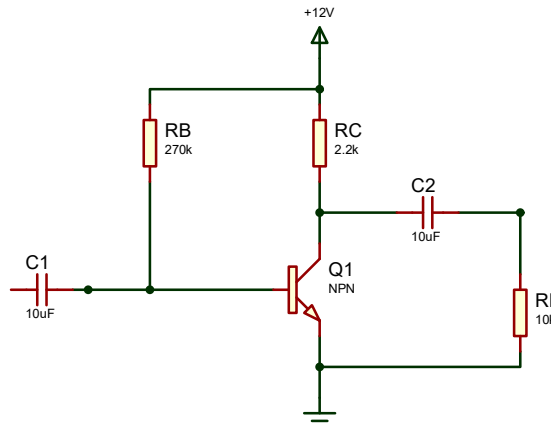
- Ta có độ lợi dòng tổng (hay độ lợi dòng từ nguồn đến tải):

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

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

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

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



Hình 8.30: Mạch khuếch đại phân cực cố định có mắc điện trở tải R_L

a) Tính độ lợi điện áp A_{vETP}

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

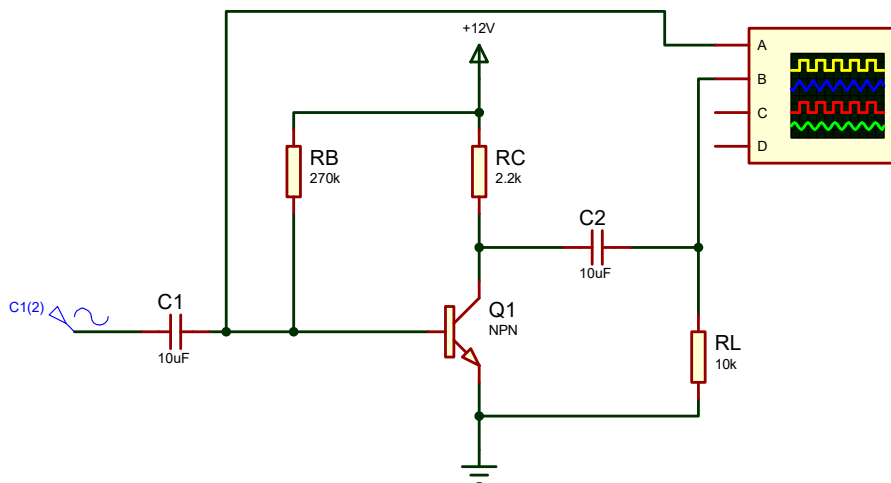
Xét trường hợp: $Z_{in} \gg r_s$ (để có độ lợi áp A_{vETP} lớn)

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

b) Mô phỏng độ lợi điện áp A_{vETP}

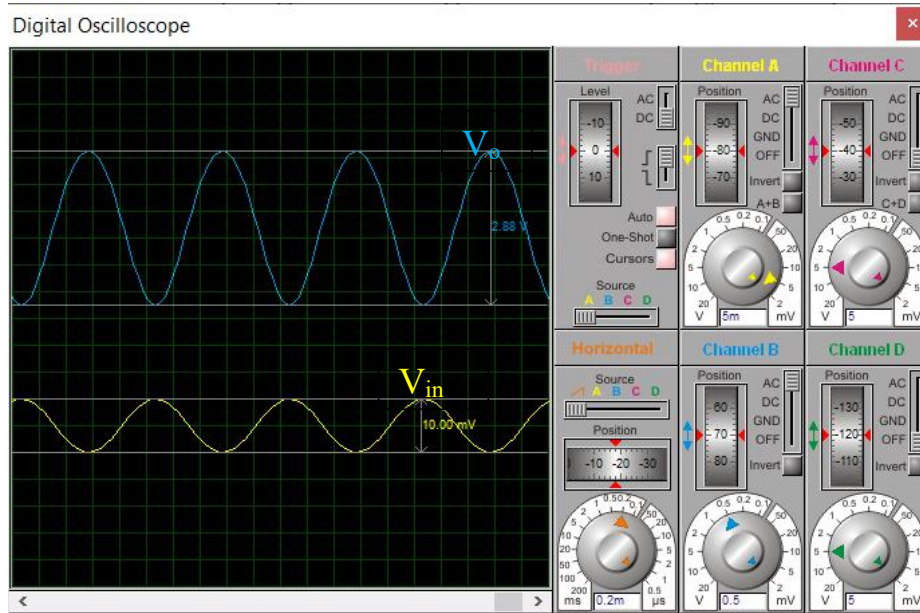
Thực hiện mô phỏng mạch khuếch đại trong Proteus:

- Sử dụng bộ tạo sóng Sine: tạo tín hiệu nhỏ ở ngõ vào có biên độ 5mV và tần số 1kHz.
- Sử dụng máy hiện sóng (Oscilloscope): để hiển thị dạng sóng của tín hiệu ngõ vào và tín hiệu ngõ ra.



Hình 8.31: Sơ đồ mạch mô phỏng

Kết quả mô phỏng như sau:



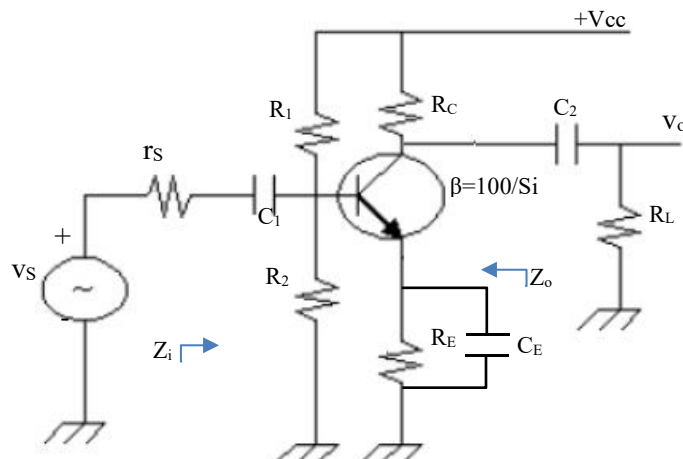
Hình 8.32: Kết quả mô phỏng

Độ lợi điện áp khi có tải:

$$A_{vETP} = \frac{V_o}{V_{in}} = -\frac{2,88V}{10mV} = -288 \text{ (dấu “-” là do tín hiệu ngõ vào và tín hiệu ngõ ra ngược pha nhau).}$$

Nhận xét: Độ lợi điện áp A_{vETP} trong tính toán và trong mô phỏng cho kết quả gần bằng nhau.

8.6.5 Mạch khuếch đại cực phát chung với kiểu phân cực cầu phân áp khi có nội trở và điện trở tải. Xét mạch điện như hình sau:



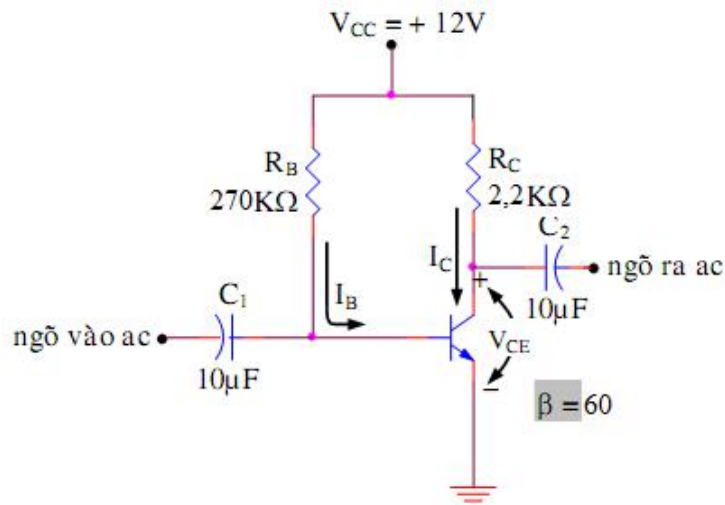
Hình 8.33: Mạch khuếch đại phân cực cầu phân áp với nội trở r_s và trở tải R_L

- Xác định A_v , Z_i , Z_o khi chưa có tải.
- Vẽ mạch tương đương xoay chiều theo mô hình r_e .
- Xác định độ lợi áp toàn phần (A_{vETP}), độ lợi dòng tổng (A_{iETP}) khi có tải.

Bài tập - Khuếch đại tín hiệu nhỏ

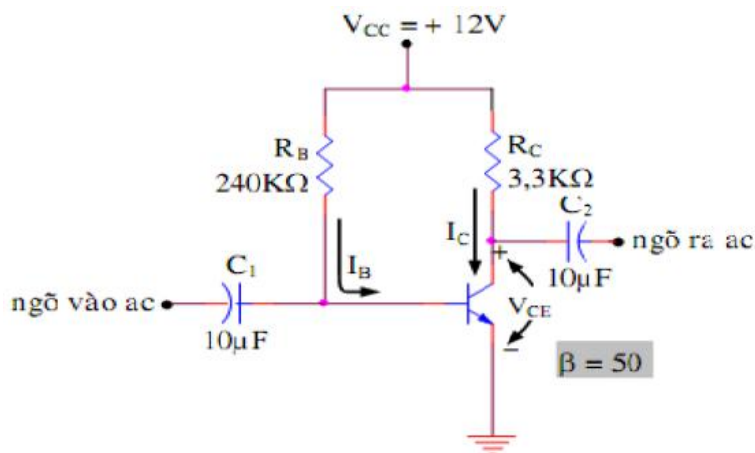
Câu 1: Cho mạch điện như hình sau, sử dụng transistor NPN loại Silicon.

- Xác định các giá trị phân cực transistor: I_{BQ} , I_{CQ} , V_{CEQ}
- Vẽ mạch tương đương xoay chiều với tín hiệu nhỏ theo mô hình thông số r_e
- Tính độ lợi điện áp A_v , tổng trở vào Z_i , độ lợi dòng điện A_i , tổng trở ra Z_o



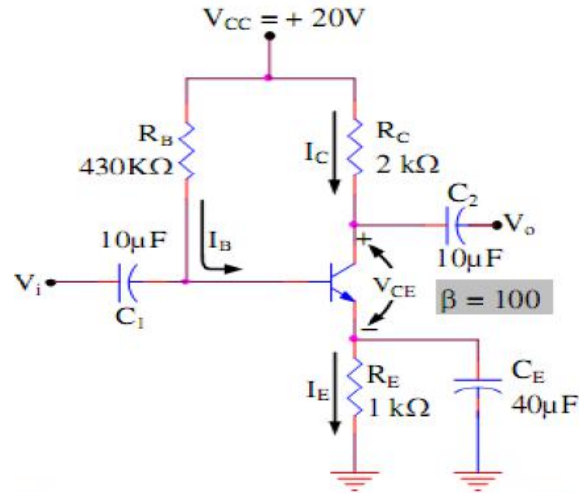
Câu 2: Cho mạch điện như hình sau, sử dụng transistor NPN loại Silicon.

- Xác định các giá trị phân cực transistor: I_{BQ} , I_{CQ} , V_{CEQ}
- Vẽ mạch tương đương xoay chiều với tín hiệu nhỏ theo mô hình thông số r_e
- Tính độ lợi điện áp A_v , tổng trở vào Z_i , độ lợi dòng điện A_i , tổng trở ra Z_o



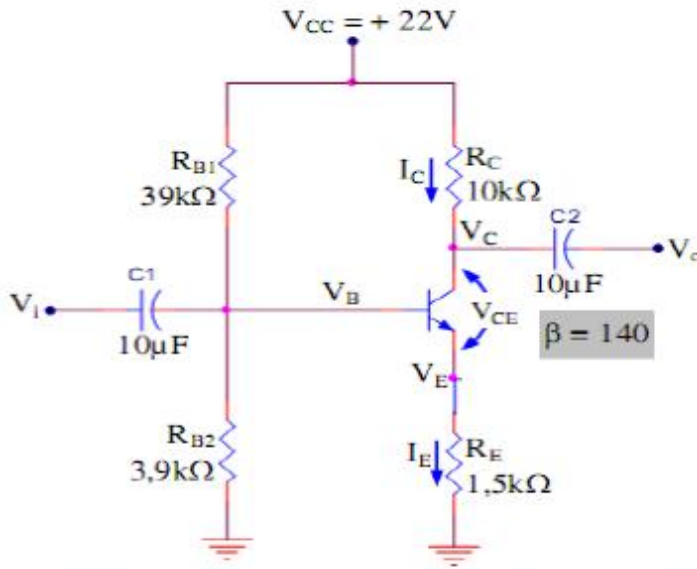
Câu 3: Cho mạch điện như hình sau, sử dụng transistor NPN loại Silicon.

- Xác định các giá trị phân cực transistor: I_{BQ} , I_{CQ} , V_{CEQ}
- Vẽ mạch tương đương xoay chiều với tín hiệu nhỏ theo mô hình thông số r_e
- Tính độ lợi điện áp A_v , tổng trở vào Z_i , độ lợi dòng điện A_i , tổng trở ra Z_o

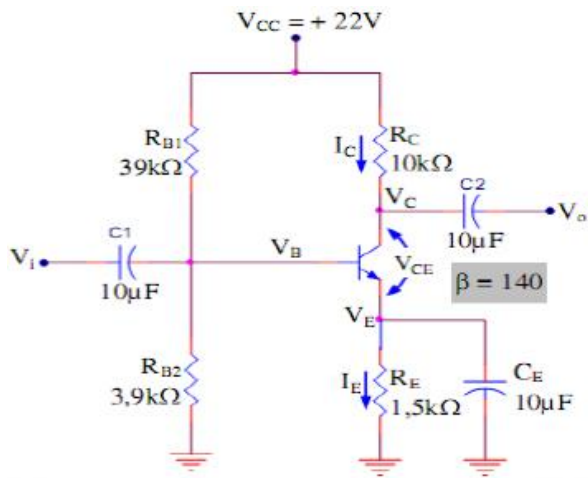


Câu 4: Cho mạch điện như hình sau, sử dụng transistor NPN loại Silicon.

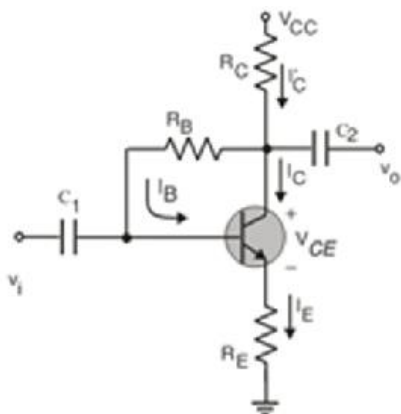
- Xác định các giá trị phân cực transistor: I_{BQ} , I_{CQ} , V_{CEQ}
- Vẽ mạch tương đương xoay chiều với tín hiệu nhỏ theo mô hình thông số r_e
- Tính độ lợi điện áp A_v , tổng trở vào Z_i , độ lợi dòng điện A_i , tổng trở ra Z_o



Câu 5: Tương tự câu 4 (khi mắc thêm C_E)

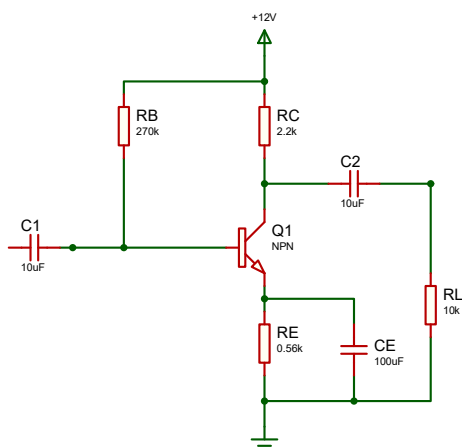


Câu 6: Cho mạch như hình sau:



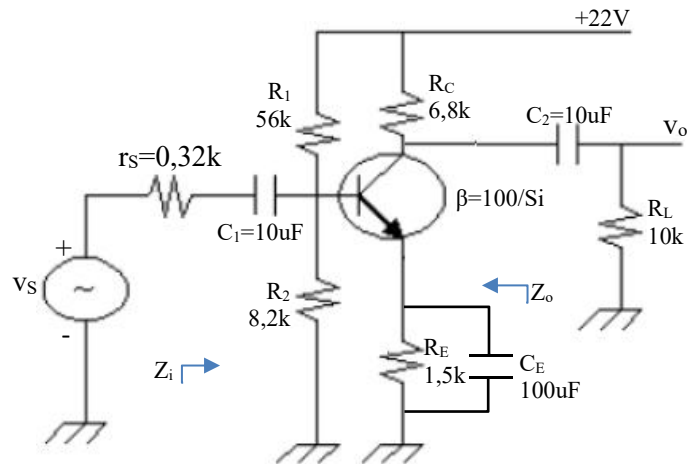
- Xác định các công thức tính giá trị phân cực transistor: I_{BQ} , I_{CQ} , V_{CEQ}
- Vẽ mạch tương đương xoay chiều với tín hiệu nhỏ theo mô hình thông số r_e
- Tính độ lợi điện áp A_v , tổng trở vào Z_i , độ lợi dòng điện A_i , tổng trở ra Z_o

Câu 7: Cho mạch điện như sau, transistor NPN (Q1) là loại Silicon, có $\beta = 100$.



- Xác định A_v , Z_i , Z_o khi chưa có tải.
- Vẽ mạch tương đương xoay chiều tín hiệu nhỏ theo mô hình thông số r_e
- Xác định độ lợi áp toàn phần (A_{vETP}), độ lợi dòng tổng (A_{iETP}) khi có tải $R_L = 10k\Omega$ và nội trở nguồn $r_s = 100\Omega$.

Câu 8: Cho mạch khuếch đại phân cực cầu phân áp với nội trở r_s và trở tải R_L như sau:



- Xác định A_v , Z_i , Z_o khi chưa có tải.
- Vẽ mạch tương đương xoay chiều tín hiệu nhỏ theo mô hình thông số r_e
- Xác định độ lợi áp toàn phần (A_{vETP}), độ lợi dòng tổng (A_{iETP}) khi có tải $R_L = 10\text{ k}\Omega$ và nội trở nguồn r_s