

VIETNAM NATIONAL UNIVERSITY – HCM CITY
UNIVERSITY OF SCIENCE

ĐIỆN TỬ CƠ BẢN



CHƯƠNG V: KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

Presenter: Nguyen Thi Thien Trang

CHƯƠNG V: KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

- **Khái niệm – Các đại lượng đặc trưng**
- **Mô hình tín hiệu nhỏ của FET – Thông số mô hình**
- **Mô hình tín hiệu nhỏ của BJT – Thông số mô hình**



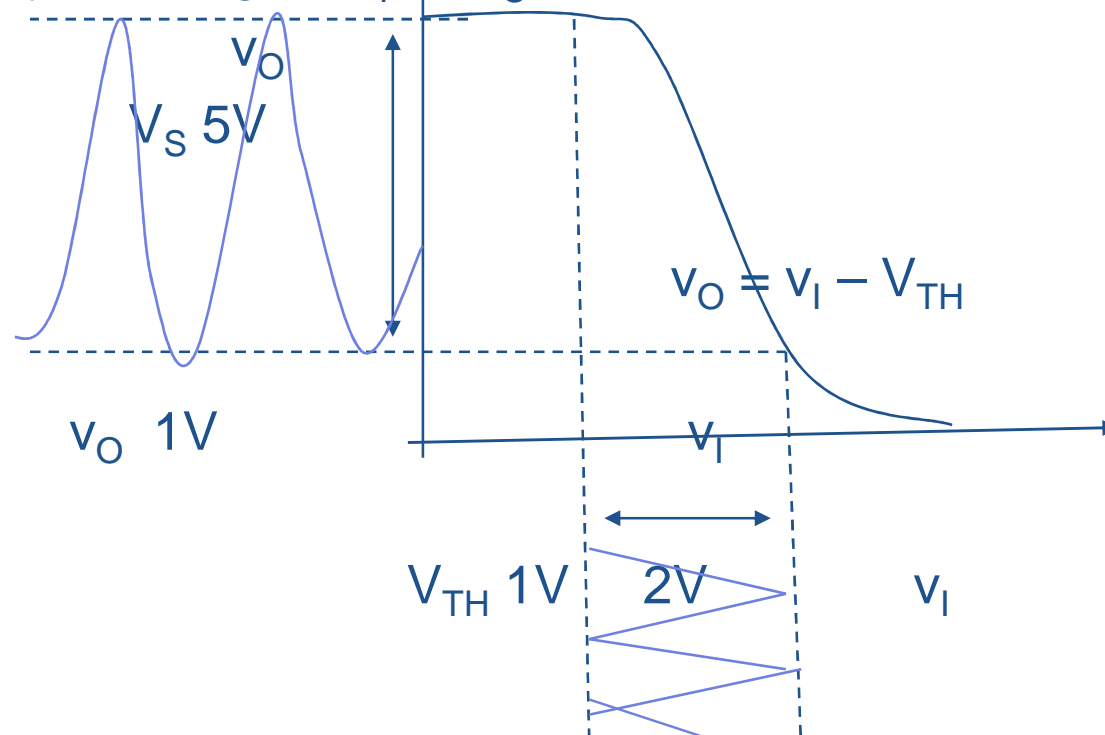
TỔNG QUAN

Trong chương 4, ta đã xét mạch khuếch đại tín hiệu lớn, v_O , v_I tuân theo qui tắc bảo hoà, MOSFET chỉ ở trong vùng bảo hoà.

Hệ thức giữa tín hiệu ra – tín hiệu vào cho:

$$v_O = V_S - K \frac{(v_I - V_{TH})^2}{2} R_L$$

là hệ thức không tuyến tính giữa v_I và v_O (H.6.1)





TỔNG QUAN

- Dưới dạng:

$$i_D = I_D + i_d = \frac{K(V_I - V_{TH})^2}{2} + K(V_I - V_{TH})v_i$$

- Với thành phần DC và thành phần gia tăng: $I_D = \frac{K}{2}(V_I - V_{TH})^2$,

$$i_d = K(V_I - V_{TH})v_i$$

- Đồ thị biểu diễn:

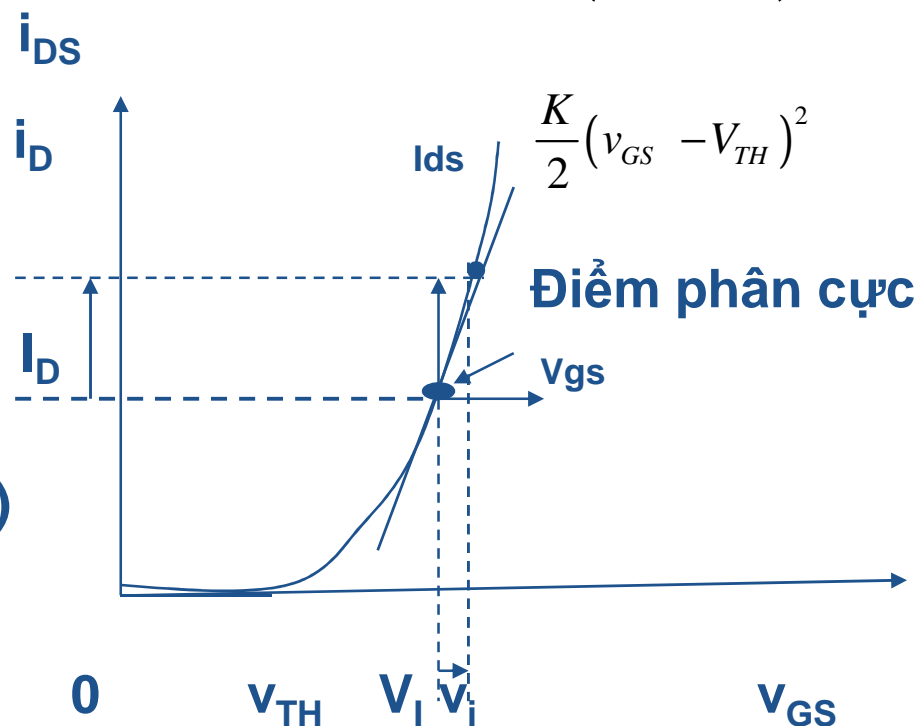
Nhận xét:

$$I_D = \frac{K}{2}(V_I - V_{TH})^2 = h.s., DCbias$$

$$i_d = K(V_I - V_{TH})v_i = g_m v_i$$

hệ số hỗ dẫn $g_m = K(V_{GS} - V_{TH})$

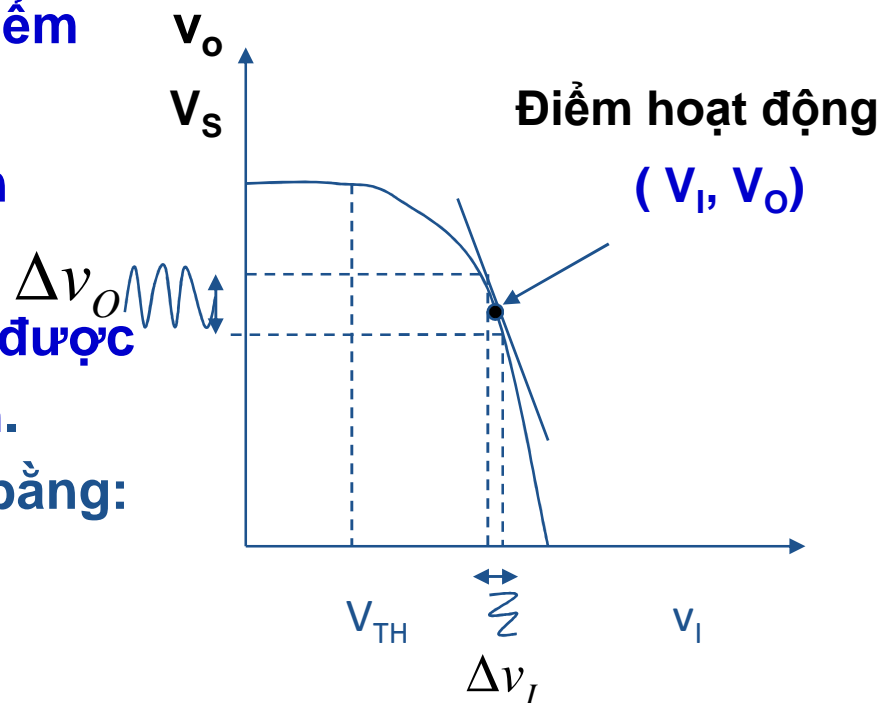
Vá: $V_{GS} = V_I$





KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

- Hệ thức không tuyến tính gây khó khăn cho việc phân tích và thiết lập mạch khuếch đại.
- Để có mạch khuếch đại tuyến tính:
 - Phân cực DC được chọn tốt
 - điểm hoạt động ở trung điểm dải hoạt động ngõ vào
 - Đặt chông tín hiệu nhỏ lên phía trên của V_I .
 - Đáp ứng của tín hiệu nhỏ được xem là gần như tuyến tính.
- Ta có thể xét chi tiết hơn bằng:
 - 1). Đồ thị
 - 2). Toán học
 - 3). Nhìn từ mạch

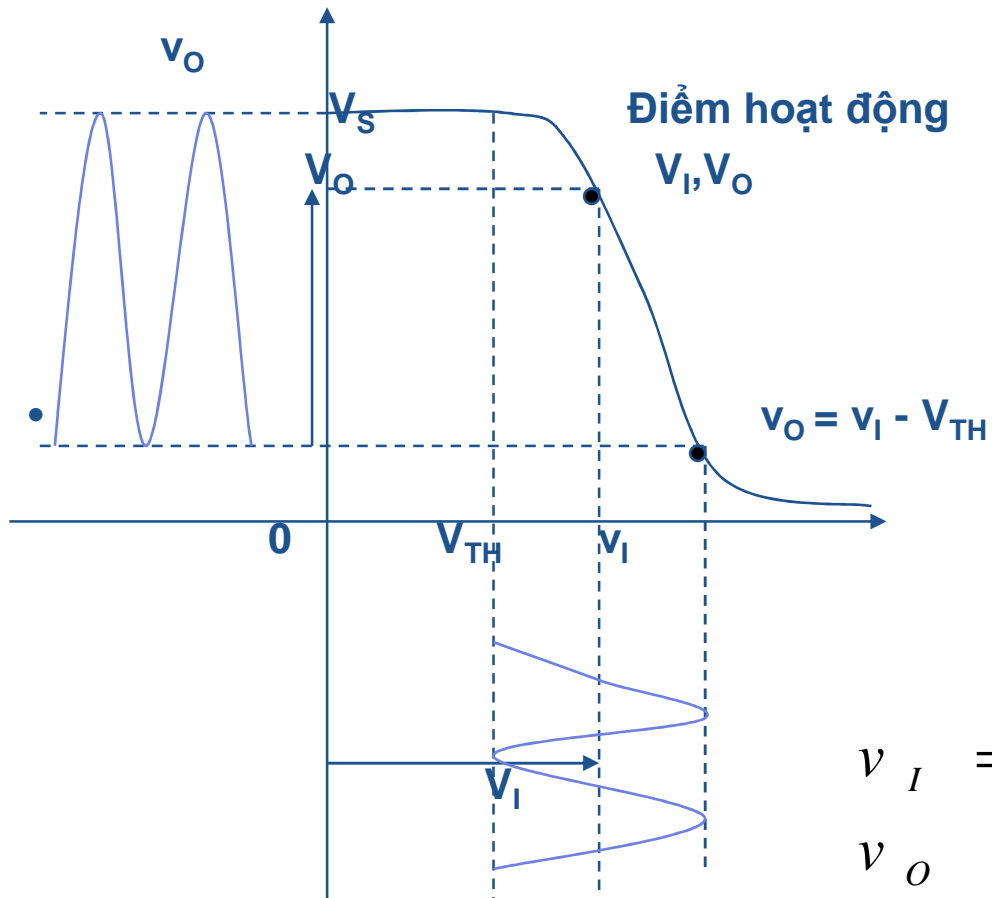




KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

1). Phương pháp đồ thị

- Chọn điểm hoạt động tốt: trung điểm dải hoạt động ngõ vào
- Cho tín hiệu vào hữu ích (xem lại ở trước).

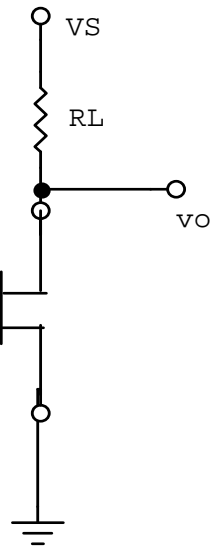


Tín hiệu vào hữu ích

Điện thế phân cực
(Điện thế offset)

$$v_I = V_I + v_i$$

$$v_O = V_O + v_o$$





KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

- Dưới dạng: $i_D = I_D + i_d = \frac{K(V_I - V_{TH})^2}{2} + K(V_I - V_{TH})v_i$
- Với thành phần DC và thành phần gia tăng (AC):

$$I_D = \frac{K}{2}(V_I - V_{TH})^2,$$

$$i_d = K(V_I - V_{TH})v_i$$

- Đồ thị biểu diễn:

Nhận xét:

$$I_D = \frac{K}{2}(V_I - V_{TH})^2 = I_{D0}, \quad DCbias$$

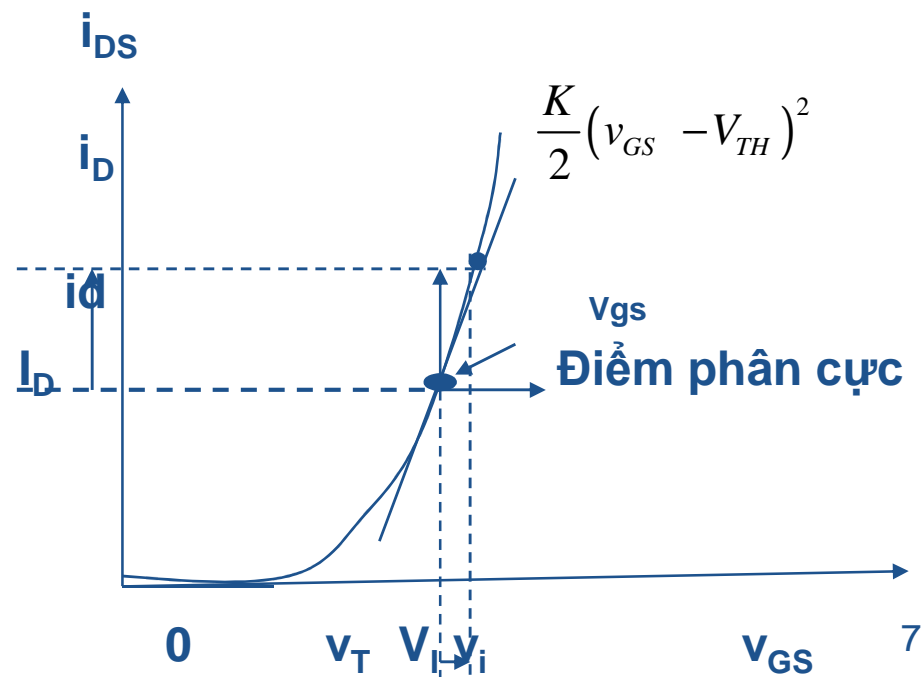
$$i_d = K(V_I - V_{TH})v_i = g_m v_i$$

hệ số hỗ dẫn:

$$g_m = K(V_{GS} - V_{TH})$$

Và:

$$V_{GS} = V_I$$





KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

2. Phương pháp toán học

- phương pháp khai triển chuỗi Taylor hàm $y=f(x)$ chung quanh $x = X_o$ cho:

$$y = f(x) = f(X_o) = \left. \frac{df}{dx} \right|_{x_o} (x - X_o) + \frac{1}{2!} \left. \frac{d^2 f}{d^2 x} \right|_{x_o} (x - X_o)^2 + \dots$$

- Áp dụng vào các phương trình **MOSFET SCS** chung quanh điện thế phân cực V_I . Với V_I tương ứng với X_o , x tương ứng với $V_I + v_i$, hoặc $x - X_o$ tương ứng với v_i và y tương ứng với $i_D = I_D + i_d$, ta được:

$$\begin{aligned} i_D = f(V_I + v_i) &= \frac{K[(V_I + v_i) - V_{TH}]^2}{2} \\ &= \frac{K(V_I - V_{TH})^2}{2} + K(V_I - V_{TH})v_i + \frac{K}{2}v_i^2 \\ i_D &= \frac{K(V_I - V_{TH})^2}{2} + K(V_I - V_{TH})v_i \end{aligned}$$

- Nếu tín hiệu gia tăng v_i đủ nhỏ để bỏ qua số hạng bậc hai, ta còn lại:

$$i_D = K(V_I - V_{TH})v_i$$



KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

Với mạch khuếch đại, ta có thể biểu diễn điện thế ra tổng cộng v_o bằng:

$$v_o = V_o + v_o$$

$$v_o = V_s - i_D R_L$$

$$\begin{aligned} V_o + v_o &= V_s - (I_D + i_d) R_L \\ &= V_s - I_D R_L - i_d R_L \end{aligned}$$

Do đó:

$$V_o = V_s - I_D R_L$$

$$\begin{aligned} v_o &= -i_d R_L \\ &= -g_m v_i R_L \end{aligned}$$

- Độ lợi điện thế tín hiệu nhỏ:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -g_m R_L =$$



KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

Cách khác:

- Đạo hàm v_o :

$$\begin{aligned} v_o &= \frac{dv_o}{dv_I} = \frac{d}{dv_I} \left(V_S - \frac{R_L K}{2} (v_I - V_{TH})^2 \right) \Big|_{v_I = V_I} \cdot v_i \\ &\quad \text{Độ dốc tại } V_I \\ v_o &= -K (v_I - V_{TH}) R_L \Big|_{v_I = V_I} \cdot v_i \\ &= -K (V_I - V_{TH}) R_L v_i \\ &= -g_m R_L v_i \end{aligned}$$

- Trùng hợp với kết quả ở cách tính trên.
- **Lưu ý:** Mặc dầu độ lợi thế là hằng số $g_m R_L$, nhưng g_m và do đó độ lợi phụ thuộc vào điểm phân cực của mạch khuếch đại. Điều này chứng tỏ rằng với sự ra ngoài nhỏ từ điểm hoạt động DC, kết quả có sự khuếch đại tuyến tính. Kết quả này tạo nên căn bản của **mô hình tín hiệu nhỏ**.



KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

. Độ lợi thể trong tín hiệu nhỏ:

$$v_o = V_s - \frac{R_L K}{2} (v_i - V_{TH})^2 \bigg|_{v_o = V_s - \frac{R_L K}{2} (V_I - V_{TH})^2}$$

$$v_i = V_I + v_i \quad v_i \ll V_I$$

$$v_o = V_s - \frac{R_L K}{2} ([V_I + v_i] - V_{TH})^2$$

$$= V_s - \frac{R_L K}{2} ([V_I - V_{TH}] - v_i)^2$$

$$= V_s - \frac{R_L K}{2} ([V_I - V_{TH}]^2 + 2[V_I - V_{TH}]v_i + \cancel{v_i^2})$$

$$\cancel{V_o} + v_o = V_s - \frac{R_L K}{2} (\cancel{[V_I - V_{TH}]^2} - R_L K [V_I - V_{TH}]v_i)$$

$$v_o = -R_L K (V_I - V_{TH}) v_i$$

g_m

$$v_o = -g_m R_L v_i$$

Độ lợi điện thế:

$$A_V = \frac{v_o}{v_i} = -g_m R_L$$



KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

Tóm lại

- **Mô hình tín hiệu nhỏ** là sự phát biểu kiểu đặc biệt của sự phân giải tuyến tính của các mạch điện, chúng được áp dụng khi đáp ứng mạch mong muốn của tín hiệu mà nó có thể biểu diễn như một sự xáo trộn nhỏ trên trị số hoạt động DC,
- Nói cách khác đó là phát biểu kiểu đặc biệt áp đặt với sự thông thường của chúng ta về mạch điện được gọi là **qui tắc tín hiệu nhỏ**, cho phép đạt được tính chất tuyến tính từ mạch không tuyến tính trên dải nhỏ hoạt động.



MÔ HÌNH TÍN HIỆU NHỎ

Đáp ứng của mạch đối với sự thay đổi nhỏ từ điểm hoạt động DC đã biết được làm tuyến tính bởi sự xấp xỉ tốt.

Một phương pháp có tính hệ thống để tìm đáp ứng sự gia tăng nhỏ tín hiệu dựa trên sự thảo luận ở trước liên quan đến hai bước:

1. Tìm điểm hoạt động DC của mạch điện sử dụng những trị số DC và hoàn thành đặc tính của linh kiện.
2. Áp dụng phương pháp triển khai Taylor của đáp ứng tín hiệu lớn để rút ra đáp ứng tín hiệu nhỏ. Lần lượt thay thế mạch tín hiệu lớn bằng mạch tín hiệu nhỏ với mô hình tín hiệu nhỏ dựa vào khai triển Taylor để có đáp ứng tín hiệu nhỏ.

Do mạch tuyến tính, ta áp dụng các định luật, định lý tuyến tính để phân giải mạch

BIỂU DIỄN MẠCH TÍN HIỆU NHỎ

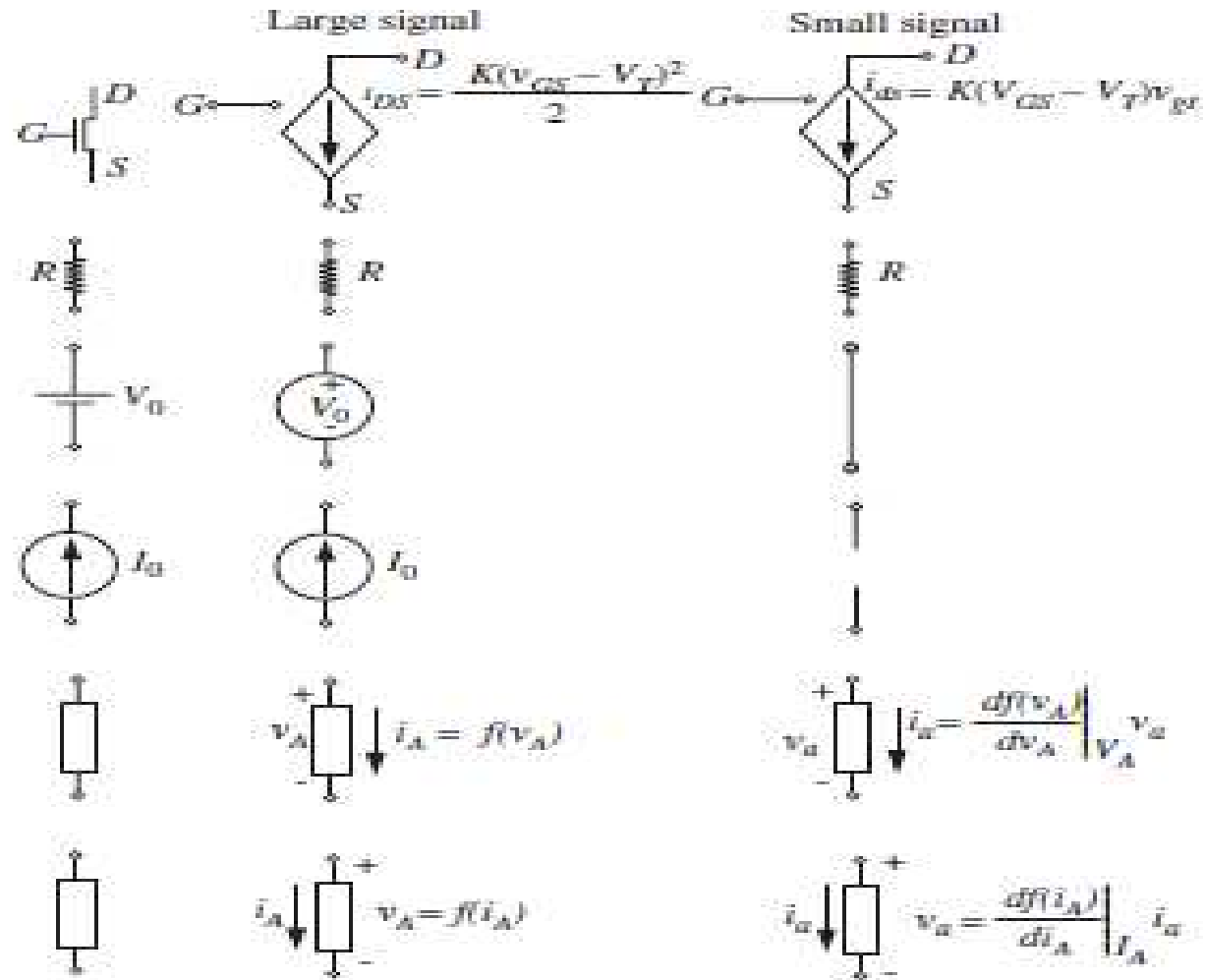
- Mô hình chỉ liên quan những biến thiên tín hiệu nhỏ của mạch, và đồng thời được mô tả thuần túy đặc tính tín hiệu nhỏ của mạch, sẽ rất dễ dàng phân tích tín hiệu nhỏ. Một cách thuận lợi, mô hình tín hiệu nhỏ là tương đối giản dị khai triển bằng cách thực hiện tiến trình sau:
 1. Đặt mỗi nguồn vào trị số điểm hoạt động, và xác định điện thế và dòng điện nhánh điểm hoạt động cho mỗi thành phần trong mạch. Điều này gần như là bước lâu nhất trong tiến trình.
 2. Tuyến tính hoá đặc tính mỗi thành phần mạch chung quanh điểm hoạt động. Đó là, xác định tính chất tín hiệu nhỏ được làm tuyến tính của mỗi thành phần, và chọn thành phần tuyến tính để diễn tả tính chất đó. Các thông số của các thành phần tín hiệu nhỏ sẽ phụ thuộc vào điện thế hoặc dòng điện điểm hoạt động.
 3. Thay thế mỗi thành phần ban đầu trong mạch với thành phần tuyến tính tương đương và ghi lại nhản trên mạch với biến số nhánh tín hiệu nhỏ. Mạch cuối cùng là mô hình tín hiệu nhỏ mong muốn.

BIỂU DIỄN MẠCH TÍN HIỆU NHỎ

- Vì là mạch tuyến tính, và các công cụ phân tích khai triển cho mạch tuyến tính như là nguyên lý chồng chập, mô hình tương đương Thevenin phải được áp dụng để phân giải mạch. Cũng thế hai định luật Kirchhoff về thế và dòng cũng được sử dụng.
- Với những nhìn nhận trên, phân tích tín hiệu nhỏ của mạch cũng phải được mô tả bằng tiến trình càng trực tiếp toán học sau:
 1. Đặt mỗi nguồn vào trị số điểm hoạt động, và kết hợp những phương trình để xác định điểm hoạt động của mạch. Điều này cũng giống như cùng bước thực hiện của tiến trình trước.
 2. Quay lại nhóm phương trình ban đầu. Với mỗi biến trong các phương trình, thay thế bởi biến tổng cộng của điểm hoạt động và trị số tín hiệu nhỏ của chúng.
 3. Khử bỏ các sự thay đổi điểm hoạt động từ các phương trình tuyến tính để giải nhóm phương trình tuyến tính có liên quan những tín hiệu nhỏ đến chính chúng. Sự loại bỏ này phải luôn xảy ra vì sự tuyến tính hoá được xác định qua điểm hoạt động. Sự khử bỏ này là giống như để làm tương đương một cách riêng biệt các thay đổi điểm điều hành và sự thay đổi gia tăng nhỏ như đã nói trong biểu thức
$$i_d = K (V_I - V_{TH}) v_i$$
 4. Hoàn thành sự phân tích tín hiệu nhỏ bằng cách kết hợp các phương trình tuyến tính hoá để xác định sự thay đổi theo ngõ vào tín hiệu nhỏ tại nguồn.



Mô hình mạch tín hiệu nhỏ cho các linh kiện khác nhau được tóm tắt như sau



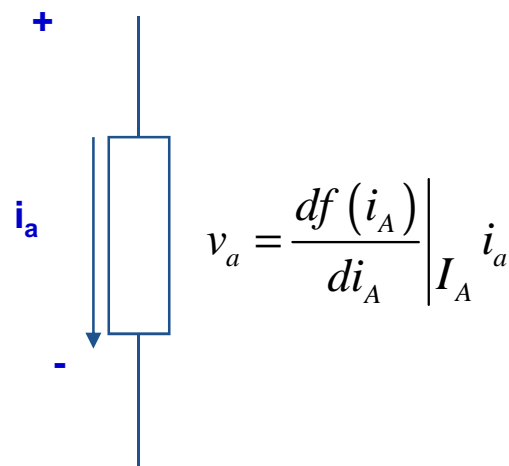
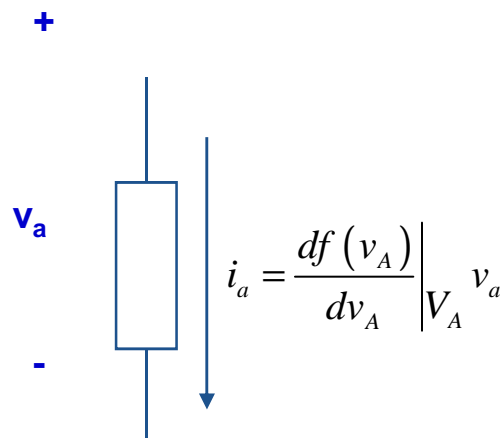
BIỂU DIỄN MẠCH TÍN HIỆU NHỎ

- Mô hình mạch tương đương tín hiệu nhỏ của nguồn điện thế độc lập DC là mạch nối tắt vì điện thế ngõ ra không thay đổi với bất kỳ sự nhiễu loạn của dòng điện đi qua nó. Đặc biệt, nguồn cấp điện V_s trong hầu hết mạch điện đều nối tắt vào mass (ground) trong mạch gia tăng nhỏ.
- Mô hình tín hiệu nhỏ có nguồn dòng độc lập DC là mạch hở.
- Điện trở có tính chất đồng nhất cho tín hiệu lớn và tín hiệu nhỏ. Do đó mô hình tín hiệu lớn và tín hiệu nhỏ của chúng là như nhau.
- Với MOSFET, kết quả dẫn suất từ biểu thức $i_d = K(V_I - V_{TH})v_i$ chứng tỏ sự liên hệ dòng thoát gia tăng nhỏ i_{ds} với dòng nguồn i để xác định điện thế cổng gia tăng nhỏ v_{gs} với điện thế nguồn.
- Theo định nghĩa, tín hiệu vào v_i có một thành phần gia tăng nhỏ v_i và một thành phần DC V_i .
- Tổng quát, nếu một sự thay đổi linh kiện x_B phụ thuộc vào sự thay đổi khác x_A như $x_B = f(x_A)$, thì sự thay đổi gia tăng nhỏ trong x_B cho một sự thay đổi trong x_A được cho bởi:
 X_A là trị điểm tĩnh của x_A

$$x_b = \left. \frac{df(x_A)}{dx_A} \right|_{x_A = X_A} x_a$$

BIỂU DIỄN MẠCH TÍN HIỆU NHỎ

- Mô hình tín hiệu nhỏ



- Nói cách khác, chúng ta đi từ nhóm hệ thức xác định điểm hoạt động dùng các biến điểm hoạt động, thí dụ:

$$V_O = A V_I$$

kế đó ta tuyến tính hoá và có được nhóm hệ thức mới trong biến điểm hoạt động và biến gia tăng nhỏ, thí dụ

$$V_O + v_o = A V_I + A v_i$$

Hệ thức xác định điểm hoạt động trong chỗ ban đầu (như $V_O = A V_I$) phải được loại bỏ trong hệ thức tuyến tính hoá vì chúng chỉ ghép cộng thêm vào biến tín hiệu nhỏ. Trong thí dụ, chúng ta có:

$$v_o = A v_i$$

BIỂU DIỄN MẠCH TÍN HIỆU NHỎ

Thí dụ:

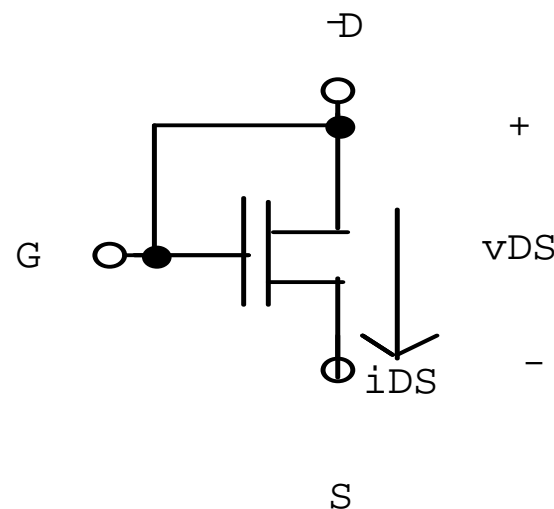
- Hãy dẫn suất mô hình gia tăng nhỏ của MOSFET mà cực cổng và cực thoát nối với nhau như ở h. .

Khi cực G và cực D nối với nhau, thực tế ta có linh kiện hai cực.

Vì điện thế cổng - nguồn của linh kiện là giống như điện thế thoát - nguồn, dòng i_{DS} qua linh kiện liên hệ với điện thế v_{DS} qua linh kiện là:

$$i_{DS} = \frac{K (v_{GS} - V_{TH})^2}{2}$$

$$i_{DS} = \frac{K (v_{DS} - V_{TH})^2}{2}$$



Ta có thể dẫn suất sự thay đổi trong v_{DS} như sau đây. Cho trị DC của v_{DS} là V_{DS} và gọi sự thay đổi là v_{ds} . Đặt trị DC tương ứng của i_{DS} là I_{DS} và gọi sự thay đổi là i_{ds} . Thì:

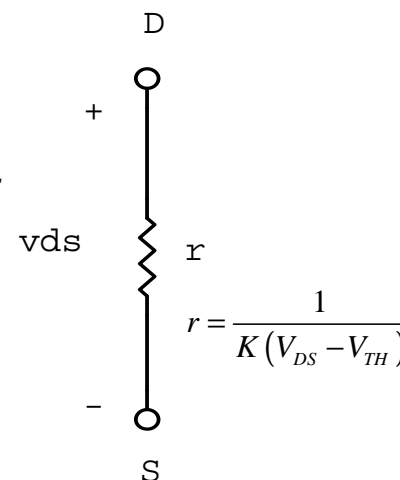
BIỂU DIỄN MẠCH TÍN HIỆU NHỎ

- Ta có: $i_{ds} = \left. \frac{di_{DS}}{dv_{DS}} \right|_{V_{DS}} v_{ds}$

$$= K(v_{DS} - V_{TH}) \Big|_{V_{DS}} v_{ds} = K(V_{DS} - V_{TH}) v_{ds}$$

- Trong cách khác:

$$v_{ds} = \frac{i_{ds}}{K(V_{DS} - V_{TH})}$$



- Lưu ý rằng vì $1/K(V_{DS} - V_{TH})$ là hằng số, v_{ds} tỉ lệ thuận với i_{ds} , nó là hệ thức điện trở. Đáng chú ý là MOSFET với cực cổng và cực thoát nối vào nhau có tính chất **giống như điện trở** với trị số điện trở $1/K(V_{DS} - V_{TH})$ vào tín hiệu nhỏ.
- Mạch tín hiệu nhỏ tương đương cho phần tử nói trên được chỉ rõ ở H. trên. Vì tính chất điện trở của tín hiệu nhỏ, và vì MOSFET với điện trở lớn là dễ chế tạo hơn điện trở, MOSFET thường được dùng như điện trở tải trong mạch khuếch đại.



MẠCH TÍN HIỆU NHỎ CỦA MOSFET

MẠCH TÍN HIỆU NHỎ CỦA MOSFET

Để triển khai mô hình tín hiệu nhỏ liên quan đến những bước sau:

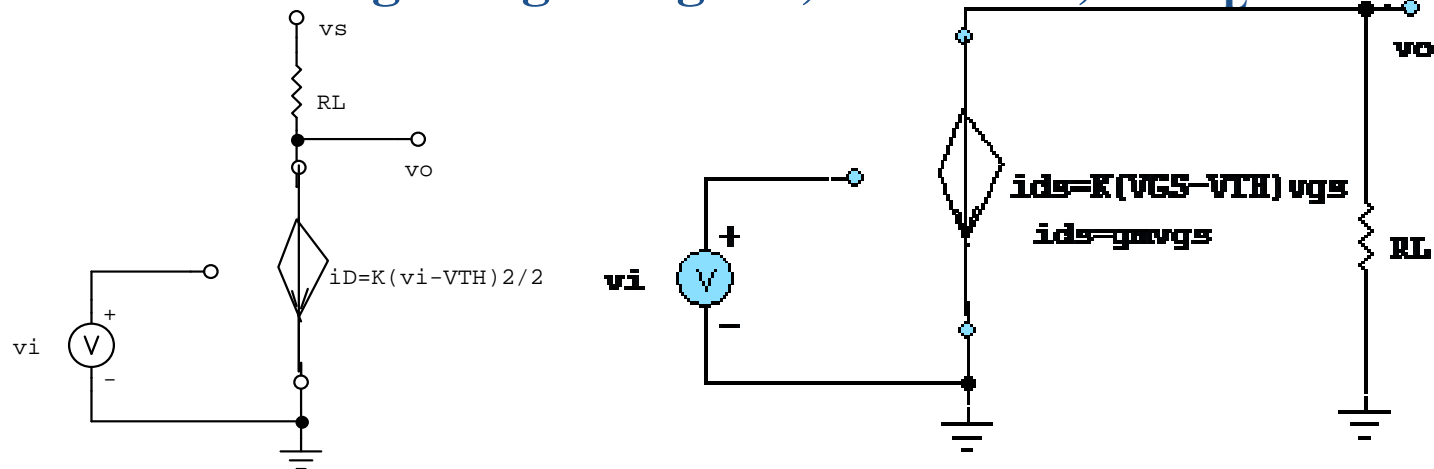
1. Đặt mỗi nguồn vào trị điểm hoạt động, và xác định điện thế và dòng điện điểm nhánh hoạt động của mỗi thành phần trong mạch.
 2. Xác định tính chất tín hiệu tuyến tính hoá, và chọn thành phần tuyến tính để biểu diễn tính chất đó.
 3. Thay thế mỗi thành phần ban đầu trong mạch với mạch tương đương tuyến tính hoá và ghi nhận lại mạch với biến nhánh tín hiệu nhỏ. Mạch kết quả là mô hình tín hiệu nhỏ mong muốn.
- Ở bước thứ nhất, chúng ta xác định điểm hoạt động của mạch khuếch đại MOSFET với điện thế phân cực sử dụng mô hình mạch tín hiệu lớn SCS ở hình sau. Giả sử là điện thế phân cực ngõ vào là V_I , chúng ta có thể xác định dòng hoạt động ngõ ra I_D và điện thế hoạt động ngõ ra V_O . Chúng ta chứng tỏ nguồn cấp điện V_S để dễ dàng dẫn suất mô hình tín hiệu nhỏ.

MẠCH TÍN HIỆU NHỎ CỦA MOSFET

- Dòng điện hoạt động ngõ ra I_D được tính trực tiếp hệ thức đặc tính MOSFET như:

$$I_D = \frac{K}{2} (V_I - V_{TH})^2$$

- Điện thế hoạt động cung cấp ngõ ra có được bằng cách áp dụng định luật Kirchhoff cho vòng bao gồm nguồn, MOSFET, và R_L như sau:



$$V_O = V_S - I_D R_L$$

$$= V_S - \frac{K}{2} (V_I - V_{TH})^2 R_L$$



- Ở bước thứ hai, chúng ta xác định mô hình tín hiệu nhỏ tuyến tính hoá cho mỗi phần tử. Ta nhớ lại rằng mô hình tín hiệu nhỏ nguồn cung cấp là nối tắt. Mô hình tín hiệu nhỏ của điện trở là giống như mô hình tín hiệu lớn. Cuối cùng, mô hình tín hiệu nhỏ tuyến tính hoá cho MOSFET trong vùng bảo hoà là nguồn dòng phụ thuộc điện thế mà dòng tín hiệu nhỏ là liên hệ tuyến tính với điện thế cổng - nguồn tín hiệu nhỏ:

$$i_d = K (V_{GS} - V_{TH}) v_{gs}$$

- Ở bước thứ ba, chúng ta thay mỗi phần tử gốc trong mạch với tương đương tuyến tính hoá của nó và ghi lại nhân mạch với biến nhánh tín hiệu nhỏ v_i , v_o , và i_d như vẽ ở H. sau.
- Mô hình mạch tín hiệu nhỏ có thể được phân tích để xác định đáp ứng mạch tín hiệu nhỏ. Ví dụ, ta có thể xác định độ lợi tín hiệu nhỏ của mạch khuếch đại MOSFET. Áp dụng KVL tại ngõ ra, ta đặt:

$$\begin{aligned} v_o &= -i_d R_L \\ &= -K (V_I - V_{TH})^2 v_i R_L \end{aligned}$$



- Do đó, độ lợi tín hiệu nhỏ cho:

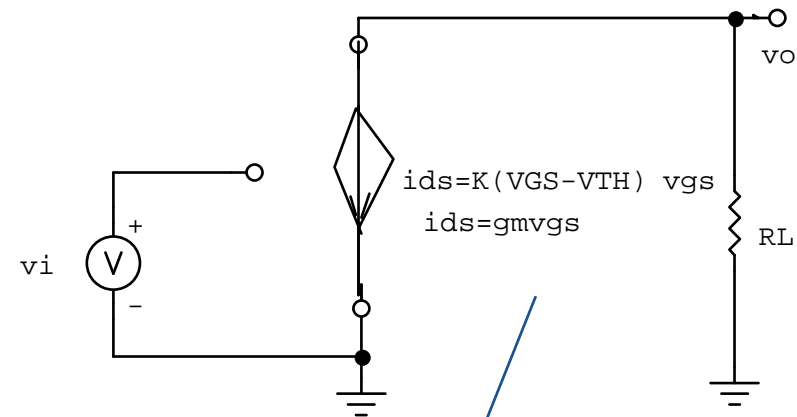
$$\frac{v_o}{v_i} = -K (V_I - V_{TH}) R_L$$

$$= -g_m R_L$$

- Với :

$$g_m = K (V_{GS} - V_{TH})$$

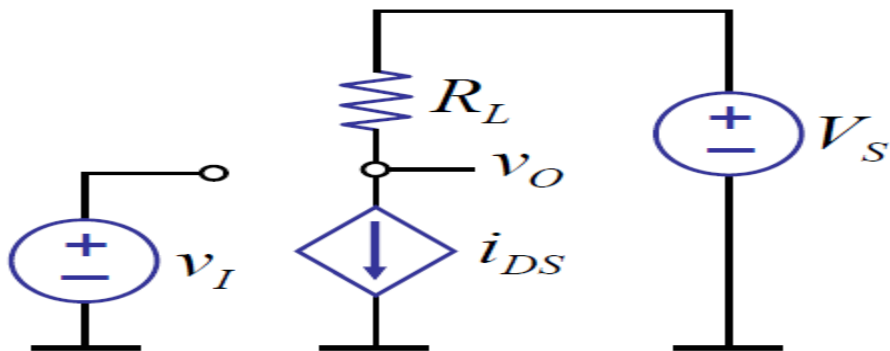
là hệ số hỗ dẫn của MOSFET.



$$\begin{aligned} i_{DS} &= \frac{K}{2} (v_{GS} - V_{TH})^2 \Rightarrow \\ i_{ds} &= \frac{\partial}{\partial v_{GS}} \left[\frac{K}{2} (v_{GS} - V_{TH})^2 \right] \bigg|_{v_{GS}=V_{GS}} \cdot v_{gs} = K (V_{GS} - V_{TH}) \cdot v_{gs} \\ &= g_m v_{gs} \end{aligned}$$

Amplifier example:

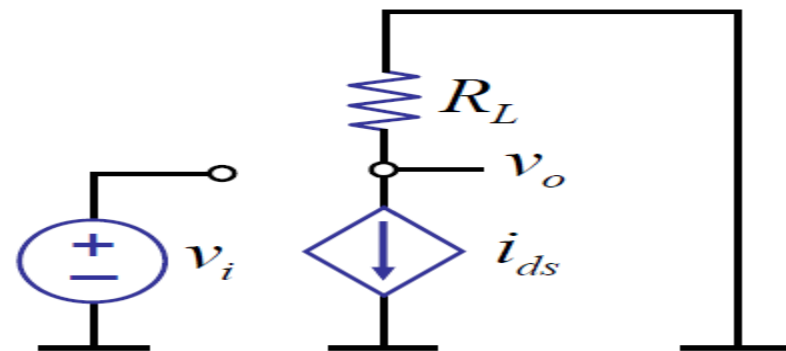
Large signal



$$i_{DS} = \frac{K}{2} (v_I - V_T)^2$$

$$v_O = V_S - \frac{K}{2} (v_I - V_T)^2 R_L$$

Small signal



$$i_{ds} = K(V_I - V_T) \cdot v_i$$

$$i_{ds} R_L + v_o = 0$$

$$v_o = -i_{ds} R_L$$

$$\begin{aligned} v_o &= -K(V_I - V_T) R_L \cdot v_i \\ &= -g_m R_L \cdot v_i \end{aligned}$$

Notice, first we need to find operating point voltages/currents.

Get these from a large signal analysis.



Thí dụ:

- Tính độ lợi tín hiệu nhỏ của mạch khuếch đại có các thông số sau:

$$V_S = 10V, \quad K = 1mA/V^2, \quad R_L = 10k\Omega, \quad V_T = 1V$$

- Giả sử điện thế phân cực được chọn để có $V_I = 2V$. Tính được :

$$\begin{aligned} V_O &= V_S - \frac{K}{2} (V_I - V_{TH})^2 R_L \\ &= \frac{1 \cdot 10^{-3}}{2} (2V - 1V)^2 10 \cdot 10^3 = 5V \end{aligned}$$

- Độ lợi thế:

$$\begin{aligned} A_V &= \frac{v_o}{v_i} = K (V_I - V_{TH}) R_L \\ &= 10^{-1} (2V - 1V) 10^4 \\ &= 10 \end{aligned}$$

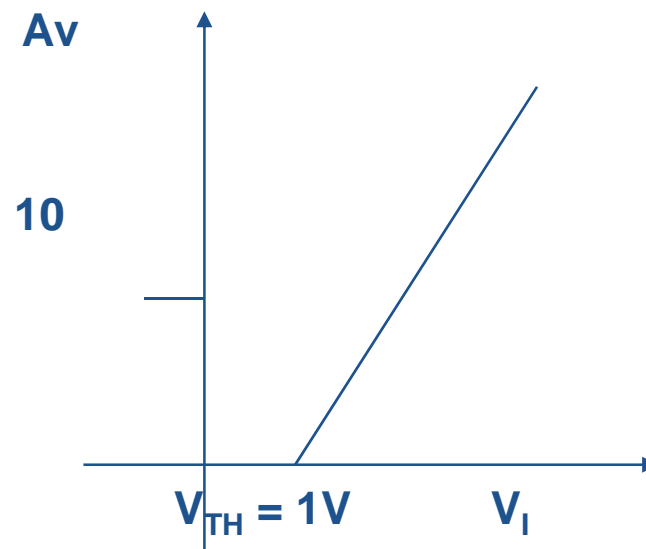


LỰA CHỌN ĐIỂM HOẠT ĐỘNG

1. Khi muốn chọn tín hiệu nhỏ, tiêu chuẩn khác rất quan trọng trong chọn lựa là chọn điểm hoạt động hơn là dải động cực đại. Một tiêu chuẩn nữa là độ lợi tín hiệu nhỏ của mạch khuếch đại.
- Độ lợi tín hiệu nhỏ của mạch khuếch đại là phụ thuộc vào điện thế điểm hoạt động ngõ vào V_I . Độ lớn của độ lợi tín hiệu nhỏ cho bởi:

$$|A_V| = \left| \frac{v_o}{v_i} \right| = K (V_I - V_{TH}) R_L$$

H. 6.3 biểu diễn độ lớn của độ lợi thay đổi theo trị số V_I .





Thí dụ 2:

- Cho mạch khuếch đại có các thông số:

$$V_S = 10V, \quad K = 1mA/V^2, \quad R_L = 10k\Omega, \quad V_T = 1V$$

- Hãy xác định trị số điện thế điểm hoạt động VI sao cho có độ khuếch đại bằng 12.
- Thay trị số vào biểu thức độ lợi cho:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = K (V_I - V_{TH}) R_L$$

$$12 = 1 \cdot 10^{-3} (V_I - 1) 10 \cdot 10^3 \Rightarrow$$

$$V_I = \frac{12 + 10}{10} = 2,2V$$

- Điều này có nghĩa rằng với một điện thế DC ngõ vào 2,2 V sẽ cho kết quả độ lớn của độ lợi bằng 12.
-



2. Xác định trị số đỉnh - đỉnh cực đại đu đưa của tín hiệu sinus

- Theo tiêu chuẩn bảo hoà ở chương 5, dải trị số cực đại hợp lý (có hiệu lực) của điện thế ngõ vào là:

$$V_{TH} \rightarrow \frac{-1 + \sqrt{1 + 2V_S R_L K}}{R_L K} + V_{TH}$$

- Với các thông số đã cho, dải hiệu lực của điện thế ngõ vào là từ 1V \rightarrow 2,32V. Theo như đã thảo luận ở chương 5, điện thế ngõ vào dưới 1 V MOSFET sẽ hoạt động ở vùng cutoff, trong khi điện thế ngõ vào trên 2,32V MOSFET sẽ hoạt động trong vùng triod. Hoạt động hoặc trong vùng cutoff hoặc trong vùng bảo hoà kết quả dẫn tới sự biến dạng tín hiệu.
- Vì điện thế offset vào(DC) là 2,2 V và điện thế vào cực đại hợp lý là 2,32 V, trị số dương cực đại đu đưa của MOSFET hoạt động trong vùng bảo hoà là 2,32 V – 2,2 V = 0,12 V. Do đó, trị số đỉnh-đỉnh cực đại đu đưa của tín hiệu sinus ngõ vào là 2X0,12V = 0,24V.



- Lưu ý là, ta có thể tác động giữa độ lợi và dải động. Để tăng độ lợi, ta phải phân cực mạch khuếch đại với điện thế vào lớn, điều này liên quan đầu cuối phía cao của dải tín hiệu vào. Tuy nhiên, điện thế phân cực cao làm giới hạn sự đu đưa trị số dương của tín hiệu.

2. Tiêu chuẩn quan trọng khác là điện thế điểm hoạt động. Điều này là quan trọng khi mạch khuếch đại phải thúc (drive) tầng mạch khác ghép chuỗi và điện thế điểm điều hành ngõ ra của mạch khuếch đại xác định điện thế điểm điều hành ngõ vào của tầng kế tiếp.

- **Thí dụ:** Xét mạch khuếch đại ghép hai tầng ở H. .Trong mạch V_{IA} tạo điện thế phân cực cho tầng đầu. Ngõ ra của tầng này V_{OA} cung cấp điện thế chom tầng thứ hai. Do đó $V_{OA} = V_{IB}$.

Giả sử với các thông số sau:

$$V_S = 10V, \quad K = 1mA/V^2, \quad R_L = 10k\Omega, \quad V_T = 1V$$

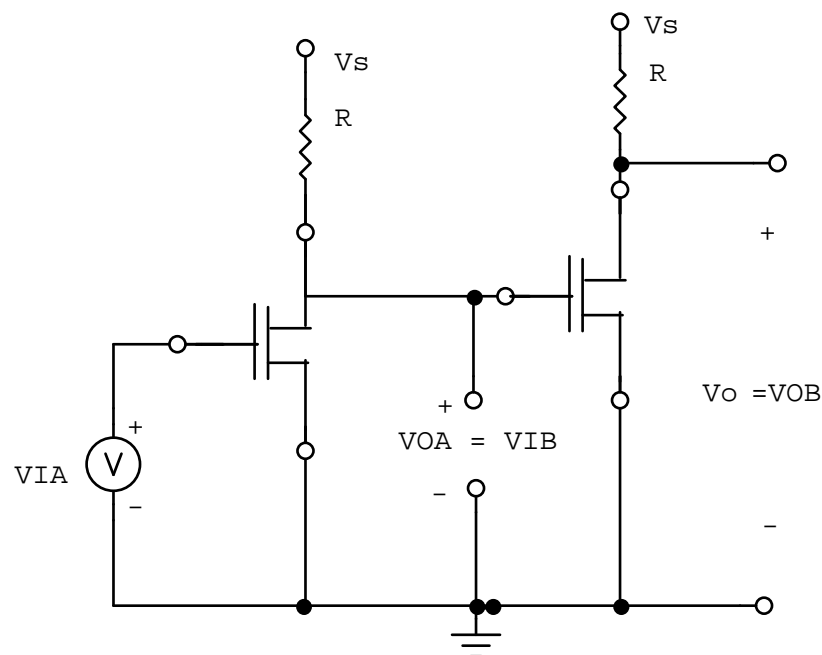
Cho biết tầng đầu phân cực tại $V_{IA} = 2,2 V$ để có độ lợi thế bằng 12.



- Xác định điện thế điểm hoạt động ngõ ra của tầng đầu cung cấp điện thế phân cực ngõ vào hợp lý của tầng thứ hai.

Điện thế điểm hoạt động ngõ ra tầng đầu:

$$\begin{aligned}
 V_{OA} &= V_S - \frac{K}{2} (V_{IA} - V_{TH})^2 R \\
 &= 10 - \frac{1 \cdot 10^{-3}}{2} (2,2 - 1)^2 10 \cdot 10^3 \\
 &= 2,8V
 \end{aligned}$$



Mà theo trên ta có dải và hợp lý $1V \rightarrow 2,32V$, nên V_{OA} vượt quá trị số phía trên ($2,8V > 2,32V$) ta phải kết luận là tầng thứ nhứt không thể tạo ra điện thế phân cực ngõ vào hợp lý cho tầng thứ hai khi điện thế phân cực tầng thứ nhứt tại $2,2V$. Chúng ta có thể điều chỉnh bằng cách gia tăng VIA, hoặc tăng trị số điện trở R của tầng thứ nhứt.



Một số mạch phân cực cho mạch khuếch đại MOSFET

Thí dụ 3: Cho mạch khuếch đại MOSFET ở H. . MOSFET có $V_{TH} = 1V$, $K = 1mA/V^2$. Xác định đặc tính tín hiệu vào + ra cực đại của mạch khuếch đại.

- Mạch phân cực bằng cầu chia thế cho :

và:
$$V_{OA} = V_B = \frac{16}{84+16} 10V = 1,6V$$

$$v_O = V_S - \frac{R_3 K}{2} (V_{OA} - V_{TH})^2 = 10 - 1 \cdot 10^{-3} (1,6 - 1)^2 \cdot 2 \cdot 10^4$$

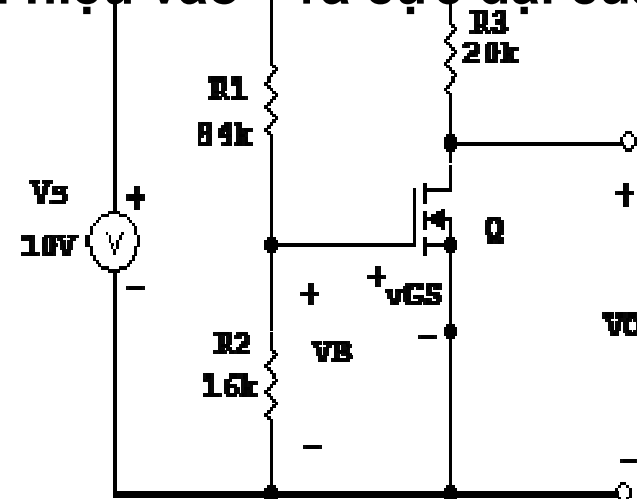
$$= 2,8V$$

ta có trường hợp như ở thí dụ trước.

Để tránh sự biến dạng, ta có thể chọn $R = 22k \text{ Ohm}$, và có:

$$v_O = V_S - \frac{R_3 K}{2} (V_{OA} - V_{TH})^2 = 10 - 1 \cdot 10^{-3} (1,6 - 1)^2 (2,2 \cdot 10^4)$$

$$= 10V - 7,92V = 2,08V$$



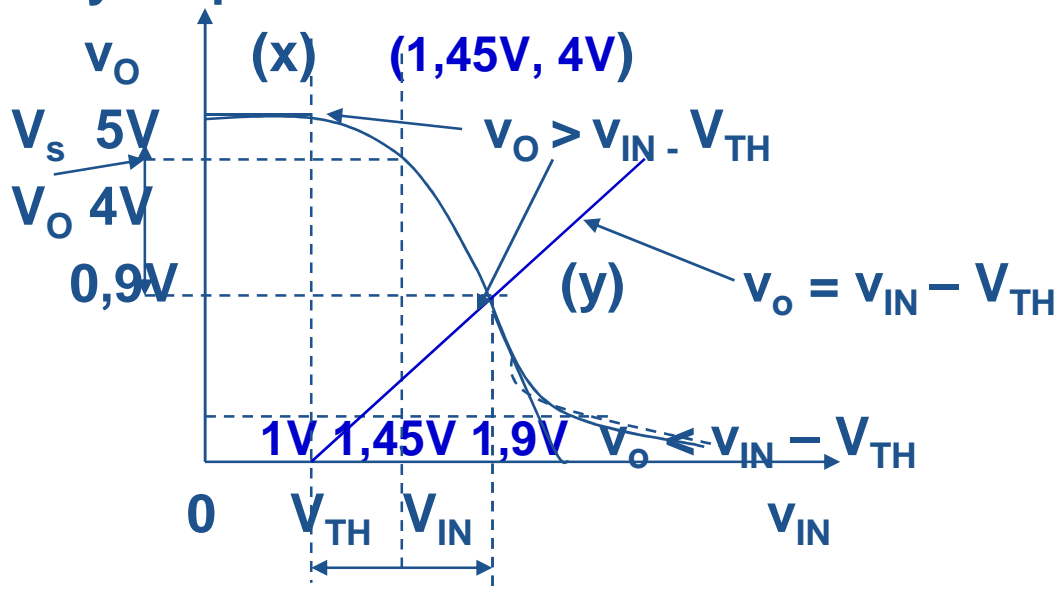


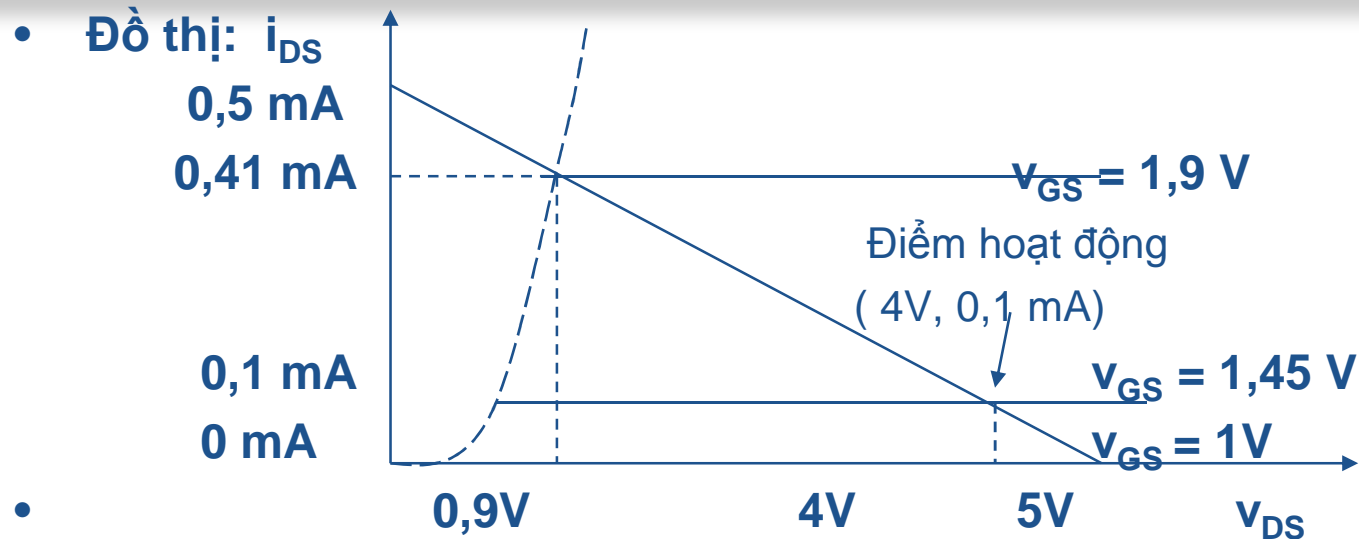
Thí dụ 4:

- Xét mạch khuếch đại MOSFET có các trị số sau:

$$V_S = 5V, \quad K = 1mA/V^2, \quad R_L = 10k\Omega, \quad V_T = 1V$$

- Vì mạch khuếch đại hoạt động ở điều kiện bảo hoà với điện thế ngõ vào trong dải $1V \rightarrow 1,9V$, ta phải chọn điện thế điểm hoạt động ngõ vào tại trung điểm của dải là $V_{IN} = 1,45V$. Sự chọn lựa này được biểu diễn như sau:





- Như đã thấy, ngõ ra sẽ thay đổi giữa 0,9V và 5V khi điện thế ngõ ra giữa 1V và 1,9 V.
- Theo mô hình MOSFET SCS, cho:

$$\begin{aligned}
 V_O &= V_S - K \frac{(V_{IN} - V_{TH})^2}{2} R_L \\
 &= 5 - 10^{-3} \frac{(1,45 - 1)^2}{2} \\
 &= 4V
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_D &= \frac{K}{2} (V_{IN} - V_{TH})^2 \\
 &= \frac{10^{-3}}{2} (1,45 - 1)^2 \\
 &= 0,1 \text{ mA}
 \end{aligned}$$



- Do đó, điểm hoạt động của mạch khuếch đại được xác định bởi:

$$V_{IN} = 1,45 \text{ V}$$

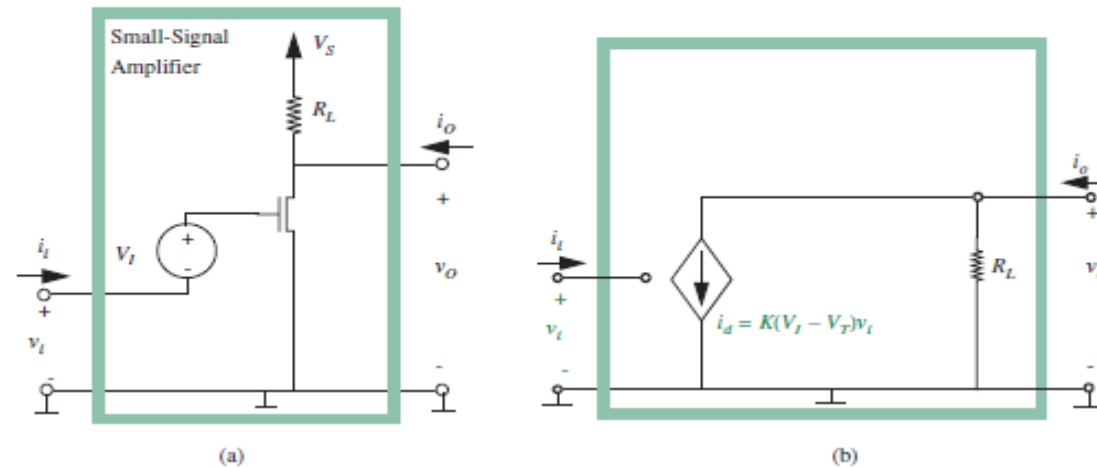
$$V_O = 4V$$

$$I_D = 0,1 \text{ mA}$$

- Điểm hoạt động này làm cực đại điện thế vào đỉnh - đỉnh đu đưa cho mạch khuếch đại hoạt động ở điều kiện bảo hoà.
- Mạch khuếch đại với điểm hoạt động đã chọn cho:
 - Điện thế vào cực đại đu đưa trị số dương là $1,45V \rightarrow 1,9 \text{ V}$
 - Điện thế vào cực đại đu đưa trị số âm là $1,45V \rightarrow 1 \text{ V}$.
 - Điện thế ra cực đại đu đưa là $4V \rightarrow 0,9 \text{ V}$ và $4V \rightarrow 5V$
- Mặc dầu chúng ta đã chọn điểm hoạt động ngõ vào tại trung tâm của dải điện thế vào, nhưng dải điện thế ra không đối xứng. Sự không đối xứng là do độ lợi của mạch khuếch đại không tuyến tính.

Điện trở ngõ vào, ngõ ra – Độ lợi dòng điện – Độ lợi công suất

- Mạch tương đương (AC)



- Tổng trở (Điện trở) ngõ vào:

$$r_i = \frac{v_{\text{test}}}{i_{\text{test}}} = \frac{v_{\text{test}}}{0} = \infty.$$

Điện trở ngõ vào, ngõ ra – Độ lợi dòng điện – Độ lợi công suất

- Điện trở ra

$$r_{out} = \frac{v_{test}}{i_{test}} = R_L \quad (8.32)$$

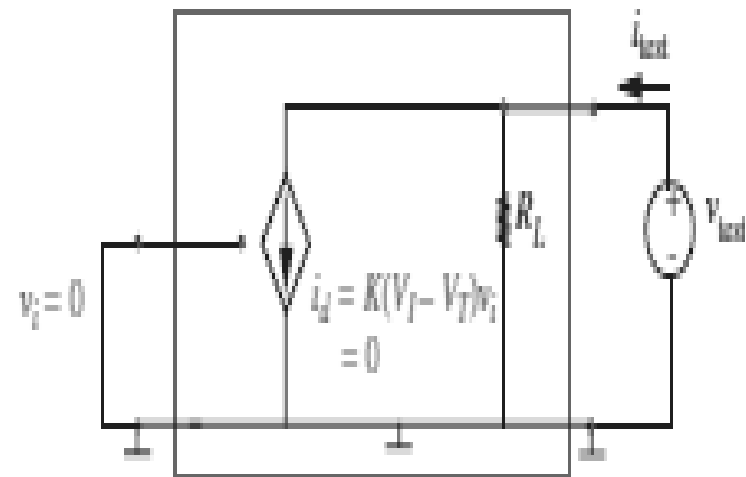
$$\text{Current gain} = \frac{i_o}{i_{test}} \quad (8.33)$$

$$\begin{aligned} \text{Current gain} &= \frac{\frac{v_o}{R_O}}{\frac{v_{test}}{R_i}} \\ &= \frac{v_o}{v_{test}} \frac{R_i}{R_O} \end{aligned}$$

$$\frac{v_o}{v_{test}} = \frac{K(V_I - V_T)v_{test}(R_L \parallel R_O)}{v_{test}}$$

$$\frac{v_o}{v_{test}} = -K(V_I - V_T)(R_L \parallel R_O) \quad (8.36)$$

$$\text{Current gain} = -K(V_I - V_T)(R_L \parallel R_O) \frac{R_i}{R_O}$$



∞

Điện trở ngõ vào, ngõ ra – Độ lợi dòng điện – Độ lợi công suất

- Độ lợi công suất

$$\text{Power gain} = \frac{v_o i_o}{v_{\text{test}} i_{\text{test}}} = \frac{v_o}{v_{\text{test}}} \frac{i_o}{i_{\text{test}}} \quad (8.38)$$

$$\text{Power gain} = \frac{v_o}{v_{\text{test}}} \frac{i_o}{i_{\text{test}}} \quad (8.39)$$

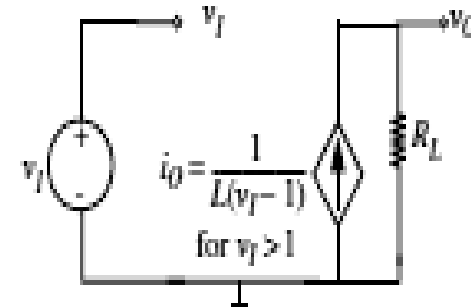
$$= [-K(V_I - V_T)(R_L \parallel R_O)] \left[-K(V_I - V_T)(R_L \parallel R_O) \frac{R_i}{R_O} \right] \quad (8.40)$$

$$= [K(V_I - V_T)(R_L \parallel R_O)]^2 \frac{R_i}{R_O} \quad (8.41)$$

- Vì $R_i = \infty$ nên độ lợi công suất cũng vô hạn.
- Tuy nhiên, trong mạch thực tế, điện trở ngõ vào và độ lợi công suất là hữu hạn (xác định) .

Điện trở ngõ vào, ngõ ra – Độ lợi dòng điện – Độ lợi công suất

- **Thí dụ: Nguồn dòng thế kiểm**
- Xét mạch sau:
- Ta có dòng i_O phụ thuộc
- Nguồn thế v_I :
$$i_O = \frac{1}{L(v_I - 1)}$$



Để tìm xấp xỉ từng mảnh ta thực hiện theo ba bước nêu ở trước như sau:

- Từ hệ thức tín hiệu lớn, ta có

$$v_O = i_O R_L \quad (8.42)$$

$$= R_L \frac{1}{L(v_I - 1)} \quad (8.43)$$

Thay thế vào trị điểm tĩnh cho:

$$V_O = R_L \frac{1}{L(V_I - 1)} \quad (8.44)$$

Điện trở ngõ vào, ngõ ra – Độ lợi dòng điện – Độ lợi công suất

- Kế tiếp, ta tuyến tính hoá, thay v_I bằng v_i và i_O bằng i_o cho bằng cách đạo hàm:

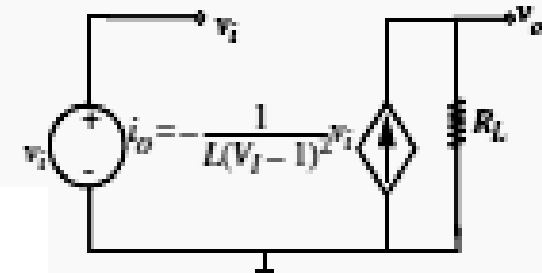
$$i_o = \left. \frac{di_O}{dv_I} \right|_{v_i} v_i$$

$$= -\frac{1}{L(V_I - 1)^2} v_i.$$

- Trong bước thứ ba, ta thay mô hình tín hiệu lớn bằng mô hình tín hiệu nhỏ tương ứng :

và suy ra sự thay đổi trong điện thế ra từ mạch tín hiệu nhỏ bằng cách áp dụng KVL cho vòng ra:

$$v_o = i_o R_L = -\frac{1}{L(V_I - 1)^2} v_i R_L.$$



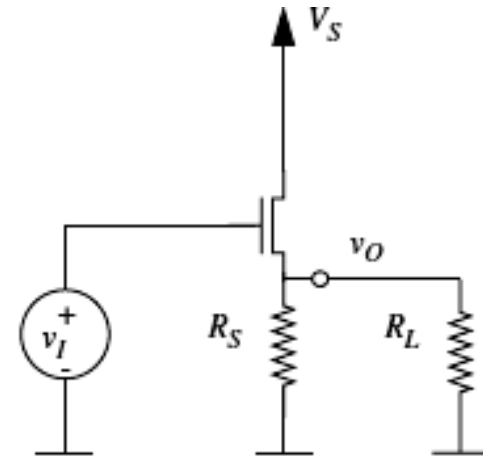
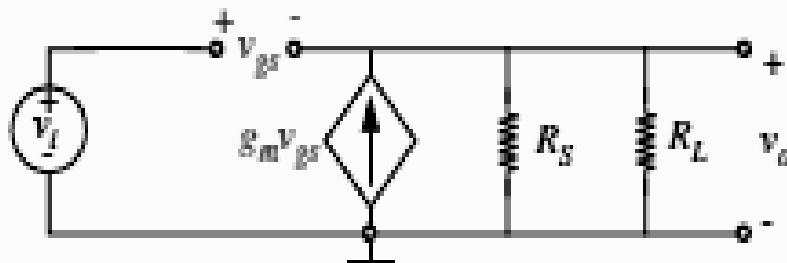
- Ta cũng có thể tính bằng cách lấy đạo hàm từ 8.43 được:

$$v_o = \left. \frac{dv_O}{dv_I} \right|_{v_i} v_i = -\frac{1}{L(V_I - 1)^2} v_i R_L.$$

Điện trở ngõ vào, ngõ ra – Độ lợi dòng điện – Độ lợi công suất

Thí dụ : Mạch theo nguồn (SF)

- Xét mạch:
- Và mạch điện tương đương (AC):



Tính được:

$$v_o = g_m v_{gs} (R_L \parallel R_S)$$

Trong đó $v_{gs} = v_i - v_o$ thay vào trên cho:

$$v_o = g_m (v_i - v_o) (R_L \parallel R_S) \quad (8.55)$$

Điện trở ngõ vào, ngõ ra – Độ lợi dòng điện – Độ lợi công suất

- Sắp xếp lại cho:

$$v_o \left(\frac{1}{R_L \parallel R_S} + g_m \right) = g_m v_i \quad (8.56)$$

$$v_o = \frac{R_L R_S g_m}{R_L + R_S + R_L R_S g_m} v_i \quad (8.57)$$

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{R_L R_S g_m}{R_L + R_S + R_L R_S g_m}. \quad (8.58)$$

Cho thấy độ lợi thế nhỏ hơn 1.

- Trường hợp đặc biệt quan trọng khi R_L rất lớn, khi $R_L \rightarrow \infty$:

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{R_S g_m}{1 + R_S g_m}. \quad (8.59)$$

và khi có thêm $g_m R_S \gg 1$, cho:

$$\frac{v_o}{v_i} \approx 1.$$

- Ta sẽ thấy vì sao mạch SF hữu dụng khi xét điện trở vào và điện trở ra (xem ở sau)

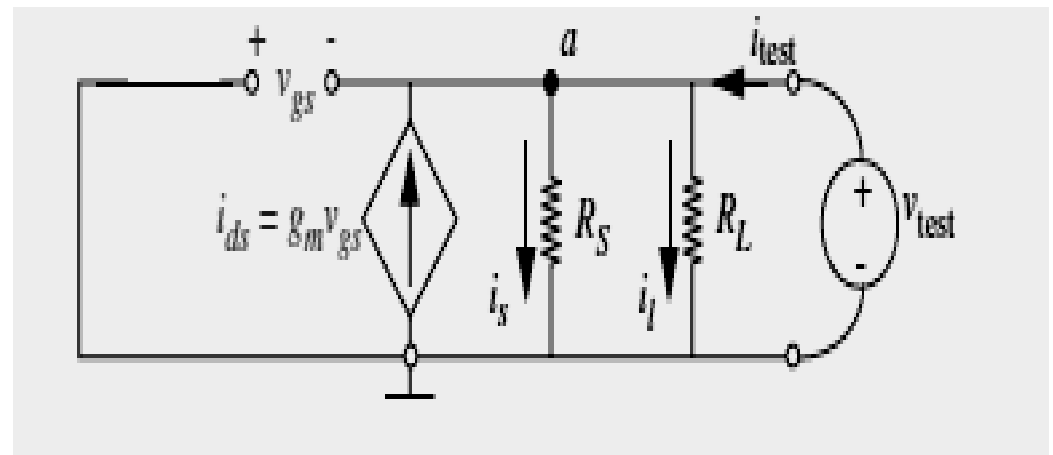


Điện trở vào và điện trở ra tín hiệu nhỏ

- Điện trở vào rất bằng vô hạn (vô cực) vì dòng vào MOSFET bằng 0.
- Điện trở ra được tính theo h. :
- Áp dụng KCL tại nút a:

$$i_{ds} + i_{test} = i_s + i_l \quad (8.60)$$

$$-g_m v_{test} + i_{test} = \frac{v_{test}}{R_L \parallel R_S} \quad (8.61)$$



- Sắp xếp lại và đơn giản cho:

$$v_{test} \left(g_m + \frac{1}{R_L \parallel R_S} \right) = i_{test}$$

$$r_{out} = \frac{v_{test}}{i_{test}} = \frac{R_L R_S}{g_m R_L R_S + R_L + R_S}$$

Do đó: $g_m R_L$, và R_S rất lớn , $R_L + R_S$ trở nên không đáng kể so với $g_m R_L R_S$, nên:

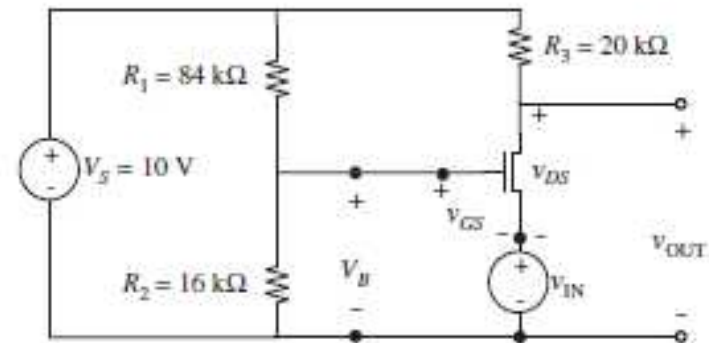
$$r_{out} \approx \frac{1}{g_m}$$

vì g_m rất lớn nên r_o rất bé, và A_i rất lớn (đặc điểm của mạch buffer)



- **Thí dụ khác:**
- Lấy lại thí dụ ở chương trước
Mạch hoạt động tốt với trị dương và âm của v_i , và cũng thế nếu chọn điện thế phân cực ngõ vào $V_i = 0$ cho phân tích tín hiệu nhỏ. Do đó:

$$v_{IN} \equiv V_{IN} + v_{in} = v_{in}.$$

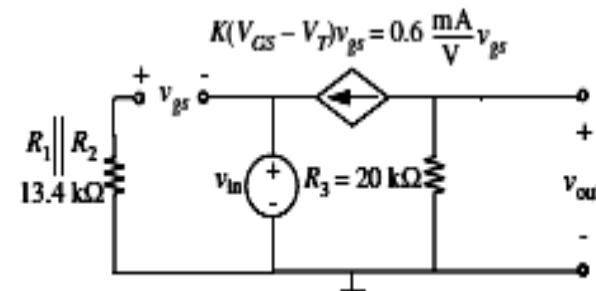


Để xác định điện thế phân cực của mạch khuếch đại, cho $v_i = 0$, kết quả $v_i = 0$ V. Từ thí dụ chương trước có $V_O = 6,4$ V và $V_{GS} = 1,6$ V.

❖ **Giờ xét theo phân tích mô hình tín hiệu nhỏ (H.)**

$$v_{out} = R_3 K(V_{GS} - V_T) v_{in} = 12 v_{in}.$$

Có độ lợi tín hiệu nhỏ 12 tại điện thế phân cực $V_i = 0$ V.





- Ta cũng có thể tính bằng cách sau:

$$dv_{OUT}/dv_{IN}|_{v_{IN}=0}$$

- Với trị số cho ở thí dụ chương trước :

$$v_{OUT} = 10 - 10 \times (0.6 - v_{IN})^2.$$

- Vậy:

$$\begin{aligned}\frac{dv_{OUT}}{dv_{IN}} \Big|_{v_{IN}=0} &= 2(10)(0,6 - v_{IN}) \\ &= 12\end{aligned}$$

- Có cùng kết quả như cách tính trên.
- ✓ Mạch khuếch đại dùng BJT sẽ được khảo sát ở một chương riêng ở sau.

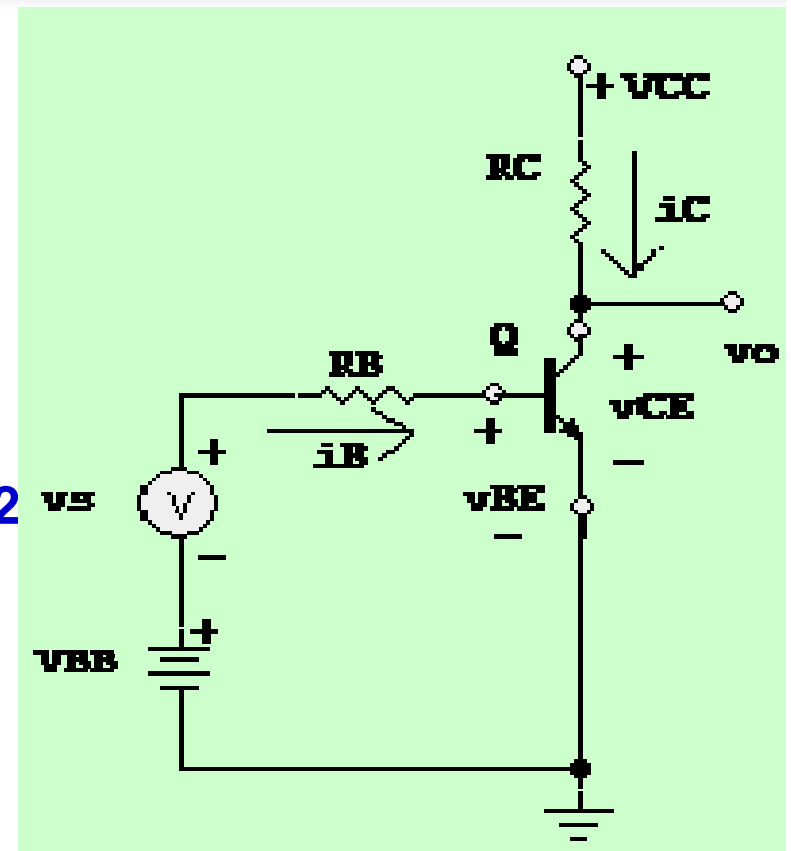


MẠCH TÍN HIỆU NHỎ CỦA BJT

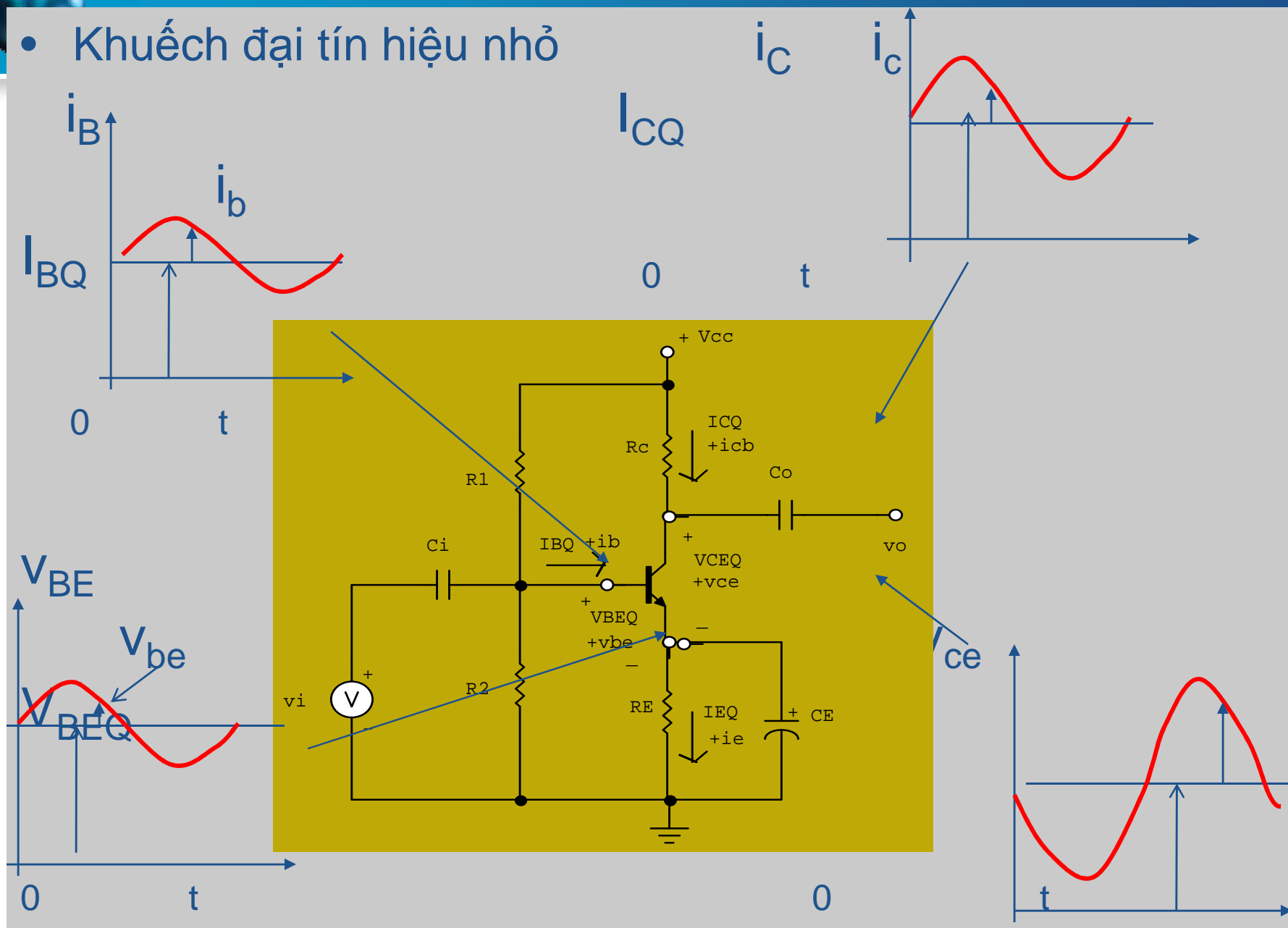
MẠCH TÍN HIỆU NHỎ CỦA BJT

Khi cho tín hiệu AC tác động vào mạch khuếch đại đã được phân cực trước (H.1)

- Các dòng điện và điện thế sẽ thay đổi chung quanh điểm tĩnh điều hành Q (H.2)
- Các dòng i_B , i_C gồm có thành phần DC I_{BQ} và cả thành phần AC i_b .
- Các điện thế v_{BE} , v_{CE} gồm có cả thành phần DC V_{BEQ} và cả thành phần AC v_{be} . H.1



- Khuếch đại tín hiệu nhỏ





MẠCH TÍN HIỆU NHỎ CỦA BJT

Các trị số dòng điện và điện thế đều là tổng cộng thành phần xoay chiều (AC) với thành phần 1 chiều (DC), và được viết như sau:

$$i_B = I_{BE} + i_b \quad (1a)$$

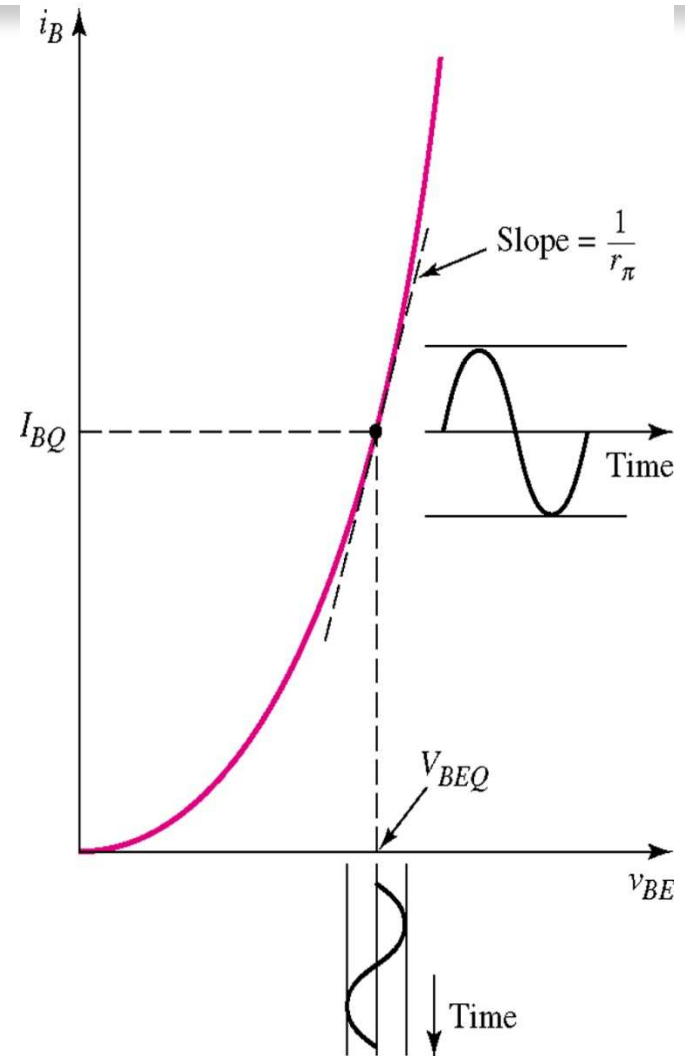
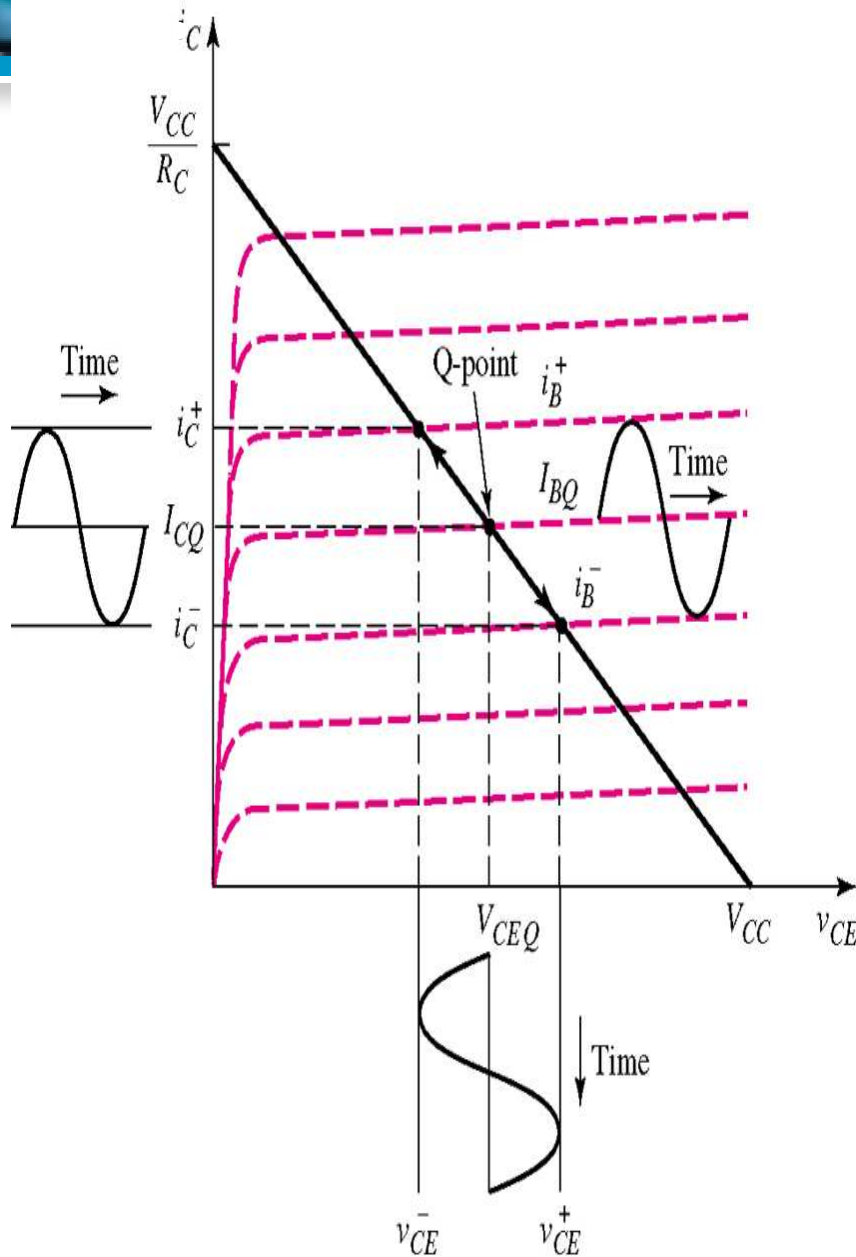
$$i_C = I_{CQ} + i_c \quad (1b)$$

$$v_{CE} = V_{CEQ} + v_{ce} \quad (1c)$$

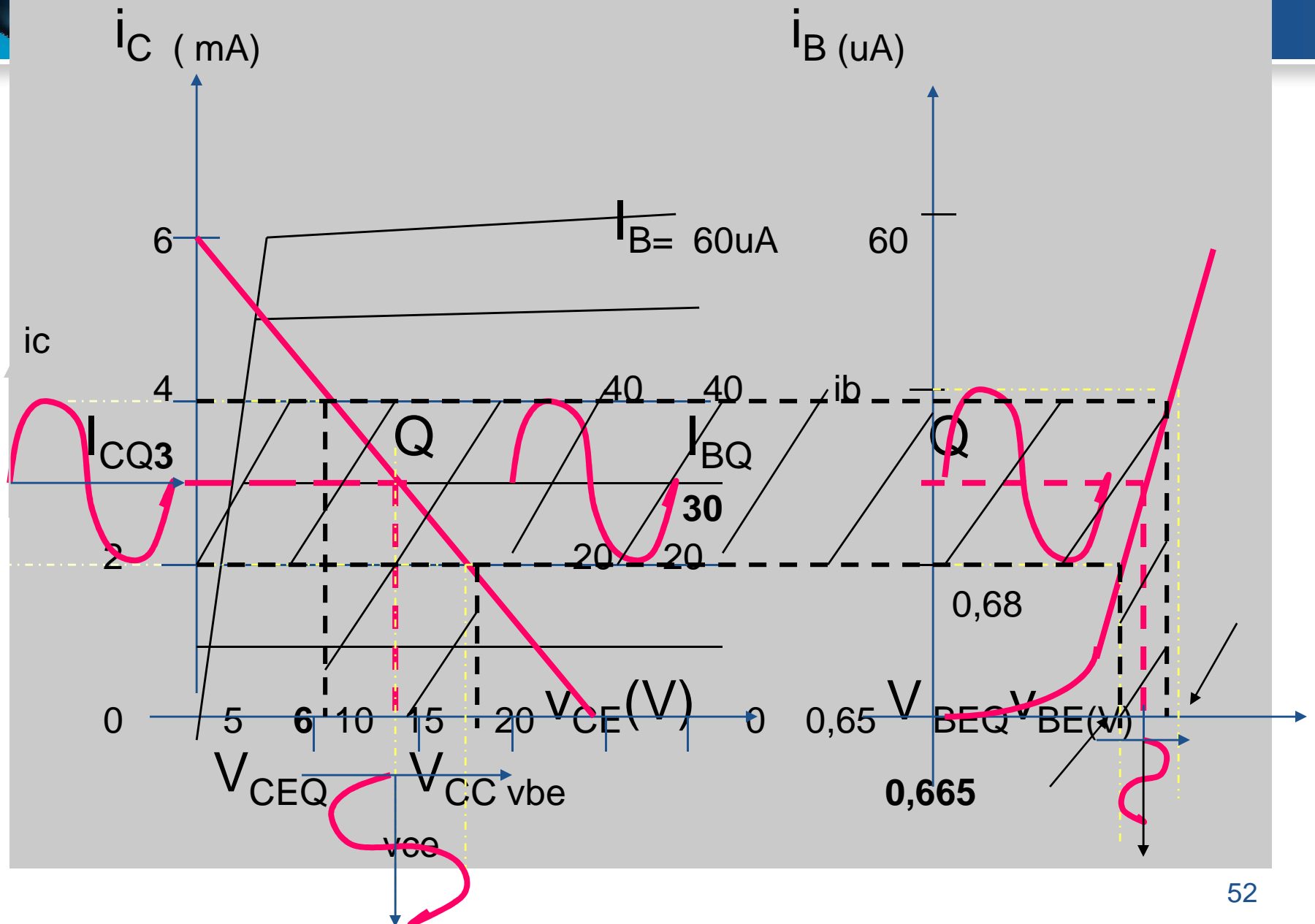
$$v_{BE} = V_{BEQ} + v_{be} \quad (1d)$$

- i_b, i_c, v_{be}, v_{ce} là trị số tức thời của thành phần xoay chiều (AC).
- $I_{BQ}, I_{CQ}, V_{BEQ}, V_{CEQ}$ là thành phần DC (là trị số điểm tĩnh điều hành Q)
- i_B, i_C, v_{BE}, v_{CE} là trị số tức thời tổng cộng gồm cả thành phần AC và thành phần DC .

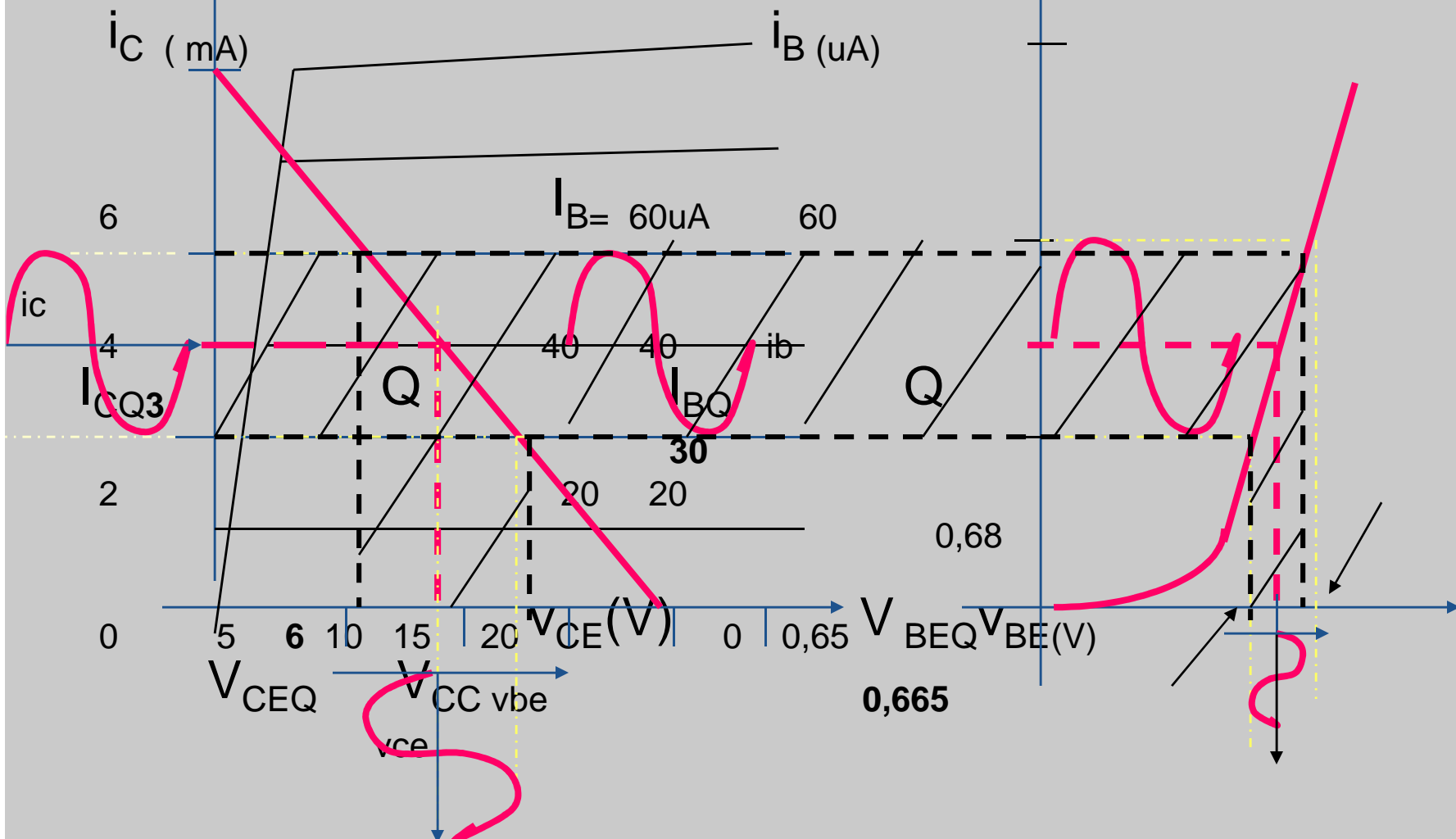
MẠCH TÍN HIỆU NHỎ CỦA BJT



Phân giải bằng đồ thị



$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-6V}{0,03V} = -200$$





- Ta có các trị sau:

Điểm tĩnh điều hành Q ($I_{BQ}=30\mu A$; $I_{CQ}=3mA$; $V_{CEQ}=9V$)

Các trị số thay đổi (ac):

$$v_{be} = 0,68V - 0,65V = 0,030V = 30mV$$

$$i_b = 40\mu A - 20\mu A = 20\mu A$$

$$i_c = 4mA - 2mA = 2mA$$

$$v_{ce} = 6V - 12V = -6V$$

- Tính được:

Độ lợi dòng: $A_i = i_c/i_b = \beta = 2mA/20\mu A = 100$

Độ lợi thế: $A_v = v_{ce}/v_{be} = -6V/0,03V = -200$

Tổng trở vào $R_i = v_{be}/i_b = 60mV/20\mu A = 3k\Omega$

Tổng trở ra : $R_o = v_{ce}/i_c = 6V/2mA = 3k\Omega$

MẠCH TƯƠNG ĐƯƠNG TRONG CHẾ ĐỘ ĐÔNG AC

- Theo mạch điện ở h.1, vùngrền-phát cho

$$V_{BB} + v_s = i_B R_B + v_{BE} \quad (2)$$

$$V_{BB} + v_s = (I_{BQ} + i_b) R_B + (V_{BEQ} + v_{be}) \quad (3)$$

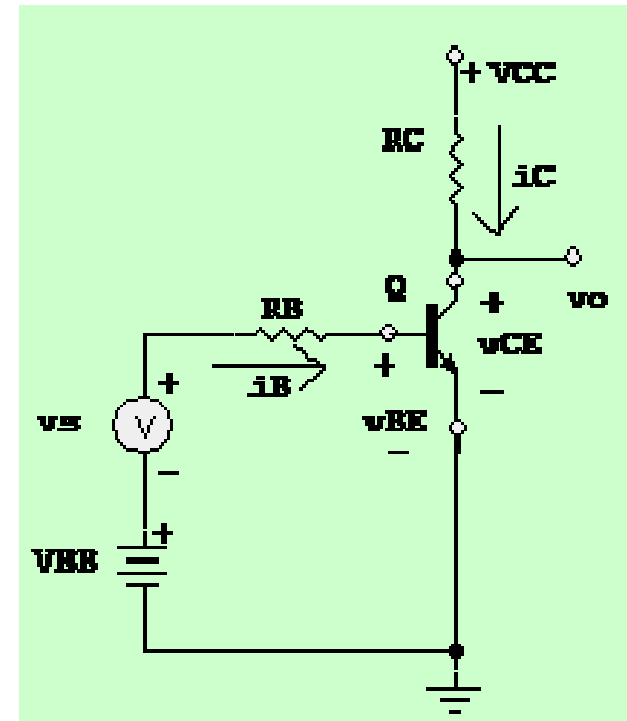
sắp xếp lại:

$$V_{BB} - R_B I_{BQ} - V_{BEQ} = i_b R_B + v_{be} - v_s \quad (4)$$

khi cho vế trái của (4) bằng zero,

$$V_{BB} - R_B I_{BQ} - V_{BEQ} = 0, \text{ còn lại:}$$

$$v_s = i_b R_B + v_{be} \quad (5)$$



là phương trình vòng nền-phát với mọi số hạng DC cho bằng zero.

- Tương tự với phương trình vòng thu – phát:

MẠCH TƯƠNG ĐƯƠNG TRONG CHẾ ĐỘ ĐÔNG AC

$$V_{CC} = i_C R_C + v_{CE} \quad (6)$$

$$V_{CC} = (I_{CQ} + i_c) R_C + (V_{CEQ} + v_{ce}) \quad (7)$$

hay:

$$V_{CC} - I_{CQ} R_C - V_{CEQ} = i_c R_C + v_{ce} \quad (8)$$

Cho vế bên trái (8) bằng zero ta có:

$$i_c R_C + v_{ce} = 0 \quad (9) \rightarrow$$

$$v_{ce} = - i_c R_C \quad (10)$$

là phương trình vòng thu-phát với mọi số hạng DC bằng 0.

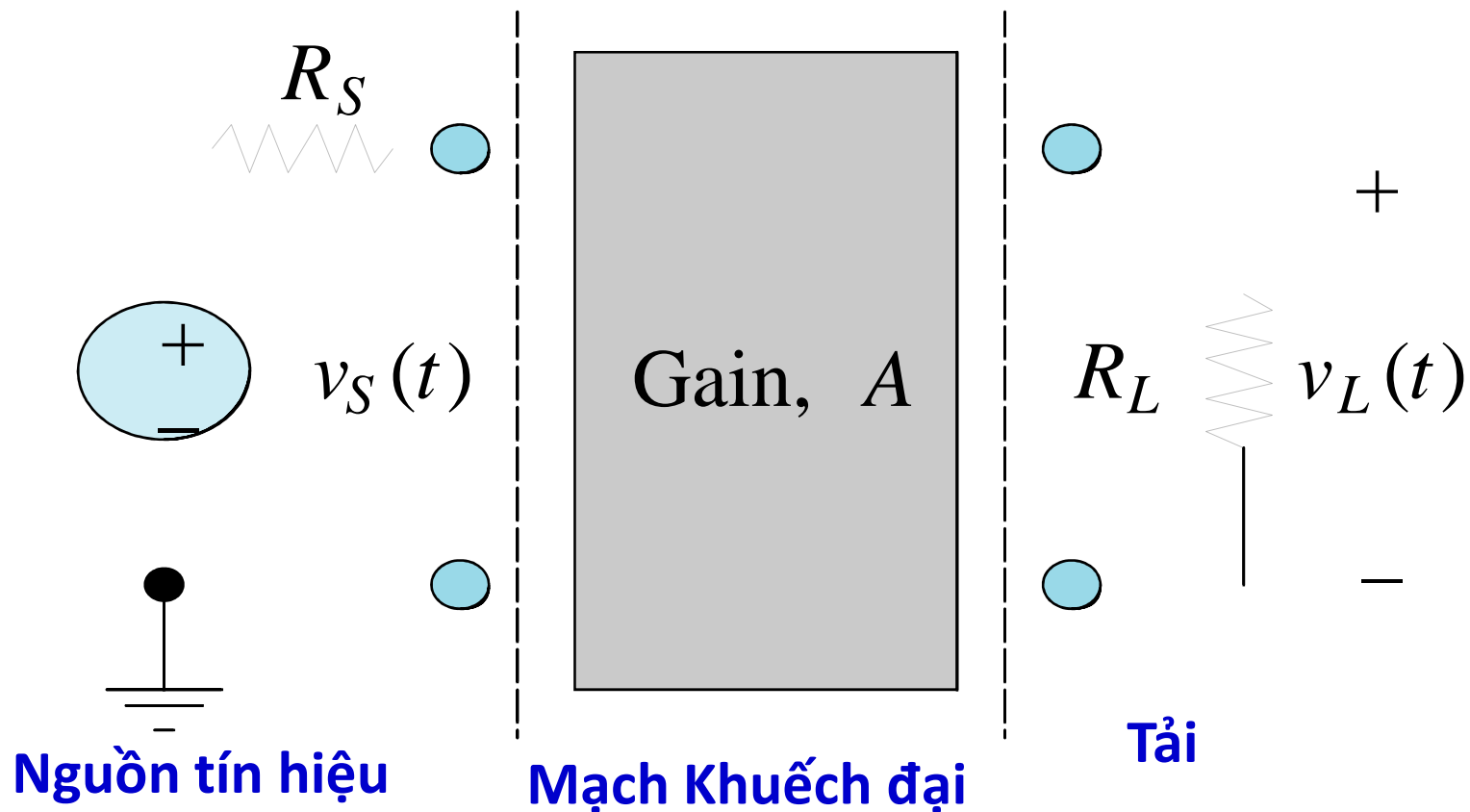
Phương trình (5) và (10) liên quan đến các thông số ac trong mạch. Các phương trình này có được trực tiếp bằng cách cho tất cả các dòng và thế DC bằng zero. (do không thay đổi, đạo hàm bằng zero)



MẠCH TƯƠNG ĐƯƠNG TRONG CHẾ ĐỘ ĐÔNG AC

- Áp dụng nguyên lý chồng chất ta có thể phân tích riêng mạch ở chế độ DC (phân tích chế độ tĩnh - DC) và chế độ AC (phân tích chế độ động - AC), để đỡ nhầm lẫn khi phân tích chung cả hai chế độ DC và AC cùng một lúc.
- Phân tích chế độ tĩnh - DC đã được xét trong chương trước (transistor lưỡng cực nối).
- Trong chương này, ta sẽ chú trọng xét riêng phân tích động – AC, bằng cách sử dụng mô hình mạch tương tự trong chế độ tín hiệu nhỏ, là mô hình dựa trên sự tuyến tính hóa mạch khuếch đại.

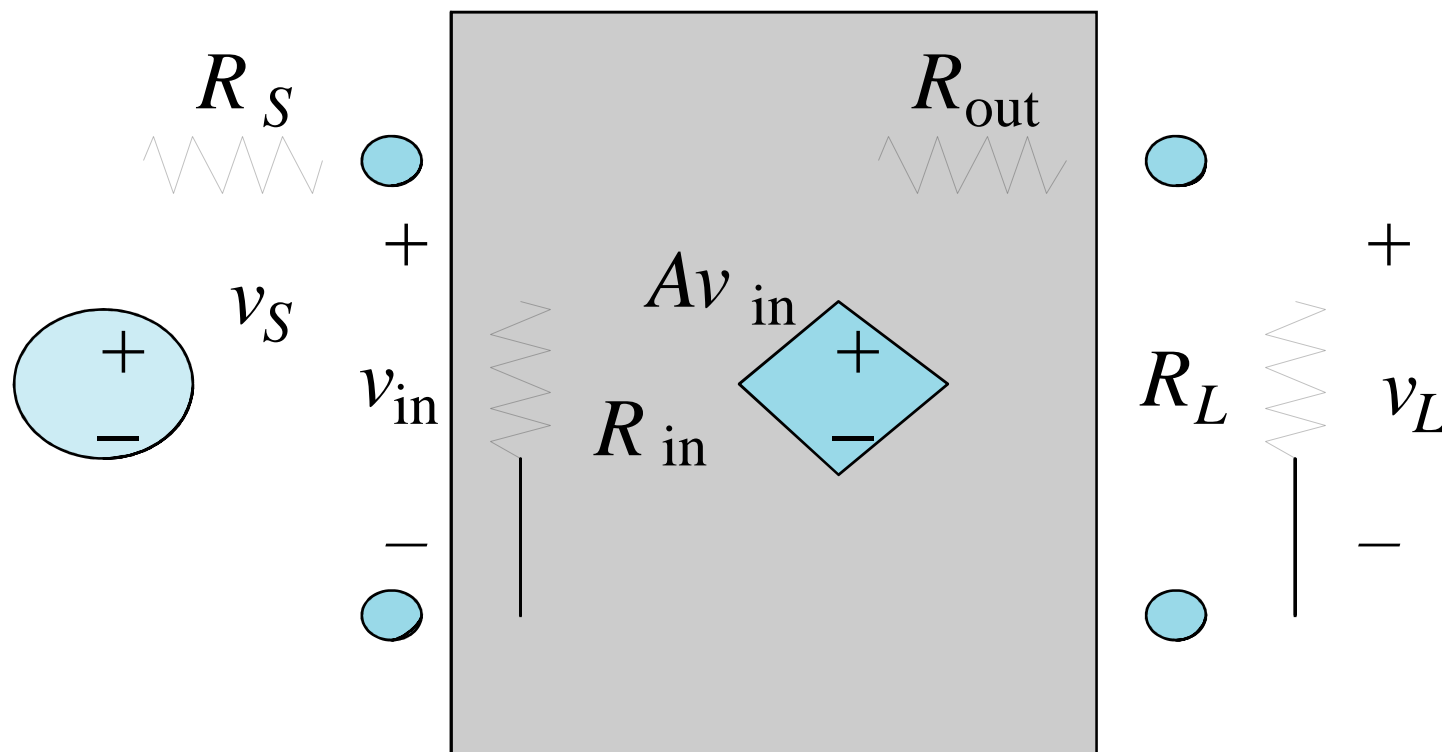
SƠ ĐỒ ĐƠN GIẢN MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ



SƠ ĐỒ ĐƠN GIẢN MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

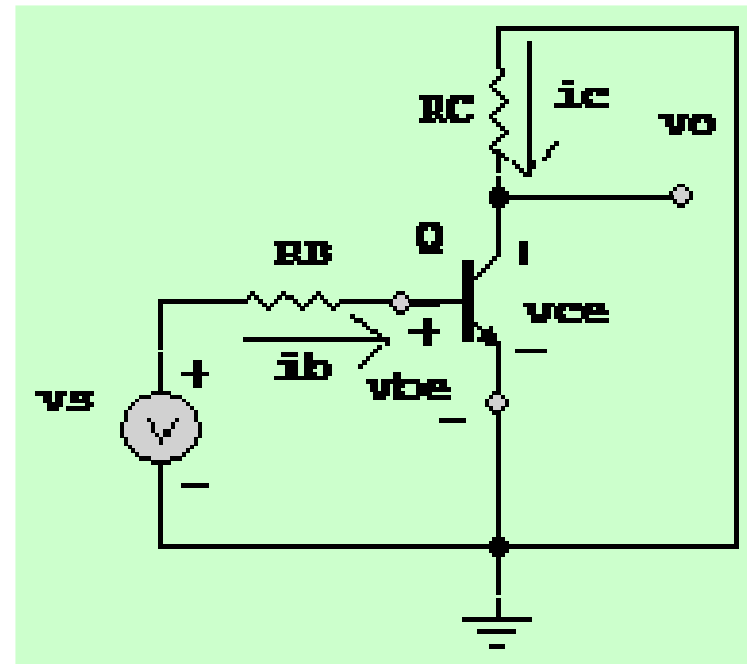
Mạch tương đương của mạch khuếch đại điện thế.

Áp dụng các định luật mạch điện cho mạch khuếch đại tuyến tính (khuếch đại tín hiệu nhỏ)



SƠ ĐỒ ĐƠN GIẢN MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

- Mạch nối tắt cho điện thế bằng zero ($V = 0$)
Mạch hở cho dòng điện bằng không ($I = 0$).
Những kết quả trên là hệ quả trực tiếp của sự áp dụng **nguyên lý chồng chập vào mạch tuyến tính**.
- Kết quả ta có mạch tương đương ở chế độ AC, và mọi trị số của dòng điện và điện thế là tín hiệu thay đổi theo thời gian.
- Mạch tương đương DC như đã xét ở chương phân cực BJT





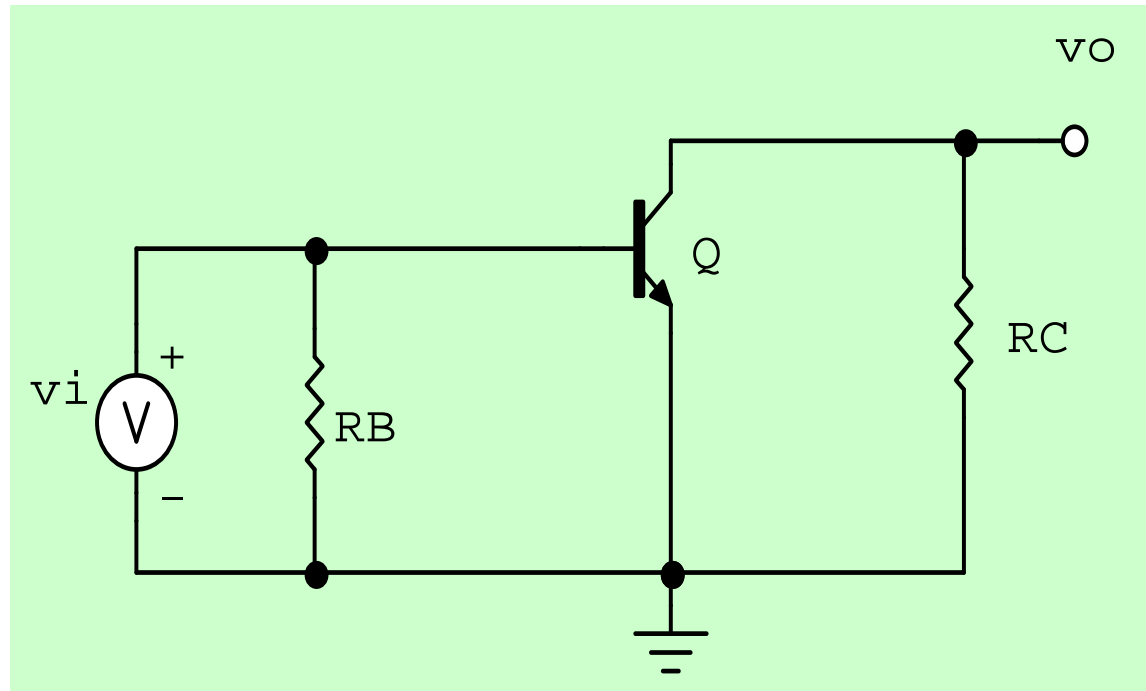
Mạch điện tương đương ở chế độ động (AC)

- **Cho:**

1. Nối tắt các tụ điện liên lạc và phân dòng.

2. Nối các nguồn điện thế DC xuống mass.

3. Thay transistor bằng mô hình thông số vật lý (hoặc toán học), để có thể áp dụng các định luật Ohm và định luật Kirchhoff trong mạch điện tuyến tính – khuếch đại tín hiệu nhỏ (sẽ xét tiếp ở sau).



MÔ HÌNH THÔNG SỐ CỦA TRANSISTOR

- Có nhiều loại mô hình thông số như:

Mô hình chữ T (thông số r).(Vật lý)

Mô hình thông số hỗn tạp π .

Mô hình thông số hỗn tạp h. (Thuyết tứ cực)

Mô hình thông số y.

.....

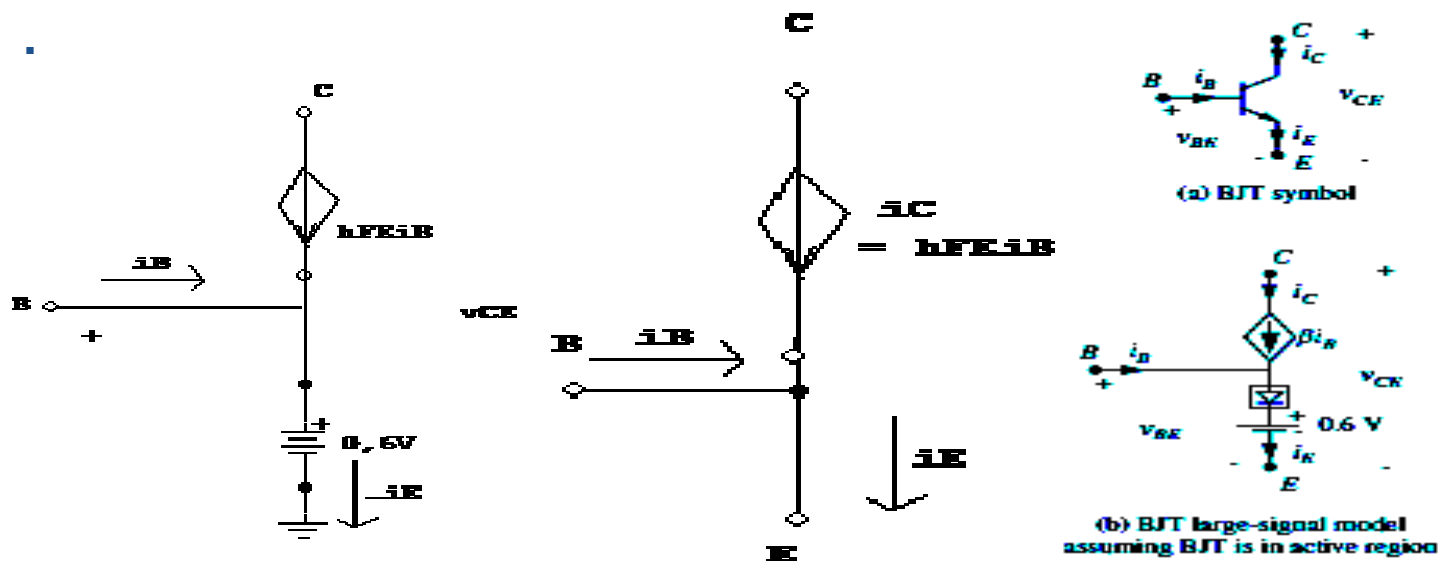
- Tất cả các mô hình trên chỉ áp dụng trong trường hợp khuếch đại tuyến tính với tín hiệu nhỏ.

Sau đây ta sẽ xét đến 3 mô hình thường gặp là thông số chữ T, hỗn tạp π , hỗn tạp h.



MÔ HÌNH THÔNG SỐ r

- Ta triển khai mô hình tín hiệu nhỏ của BJT bằng cách tuyến tính hoá mô hình tuyến tính từng mảnh ở trên.
- Xét h. .

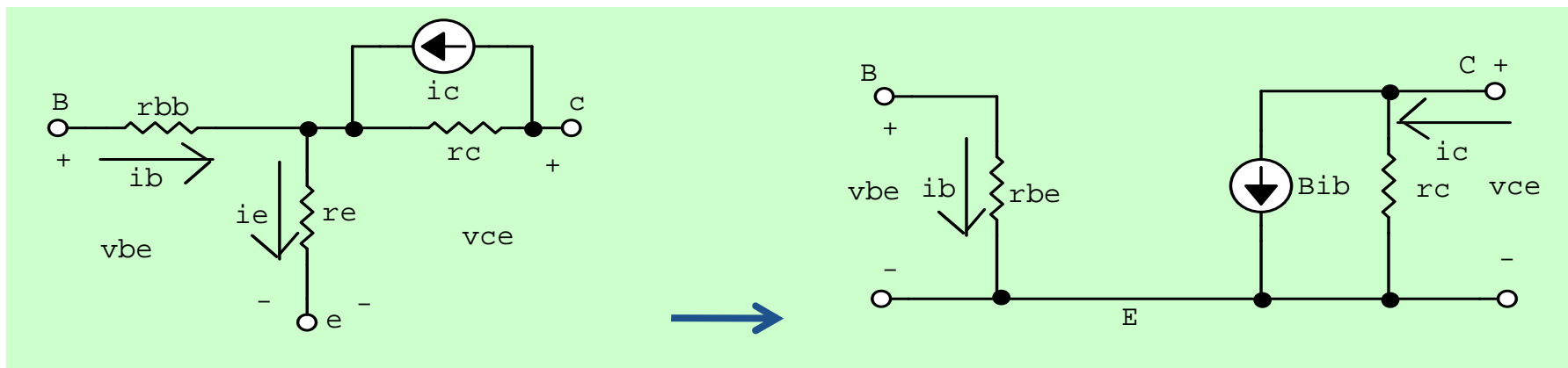


- (a) Mô hình tuyến tính từng phần (b) Mô hình tín hiệu nhỏ
- Do nối tắt nên bỏ qua 0,6V và cho

$$i_c = \left. \frac{di_C}{di_B} \right|_{i_B = I_B} i_b = \left. \frac{d(\beta i_B)}{di_B} \right|_{i_B = I_B} i_b = \beta i_b$$

MÔ HÌNH THÔNG SỐ r (CHỮ T) VÀ CHỮ PI

- Do phân cực thuận, nên nối nền - phát có điện trở động cho bởi:
 $r_e = V_T / I_{CQ}$ Với $V_T = kT/q$ ($= 26 \text{ mV}$ ở 27°C , $= 25 \text{ mV}$ ở 25°C)
- Do phân cực nghịch nên nối thu – phát có điện trở nghịch r_c rất lớn, và có dòng i_c chạy qua:



Do:

$$v_{be} = r_{bb}i_b + r_e i_e = r_e i_e = (\beta + 1) r_e i_b = r_{be} i_b$$

$$v_{ce} = r_c i_c + r_e i_e = r_c i_c = \beta r_c i_b$$

ta có mô hình thông số pi-hỗn tạp.

MÔ HÌNH THÔNG SỐ HỖN TẠP π

- Xem transistor có tính tuyến tính ở chế độ tín hiệu nhỏ, theo lý thuyết tứ cực ta có từ:

- Ở mạch nền – phát :** $g_m = \frac{di_c}{dv_{GS}} = \frac{i_c}{v_{gs}} \Rightarrow i_c = g_m v_{gs}$

- Ở mạch thu – phát:**

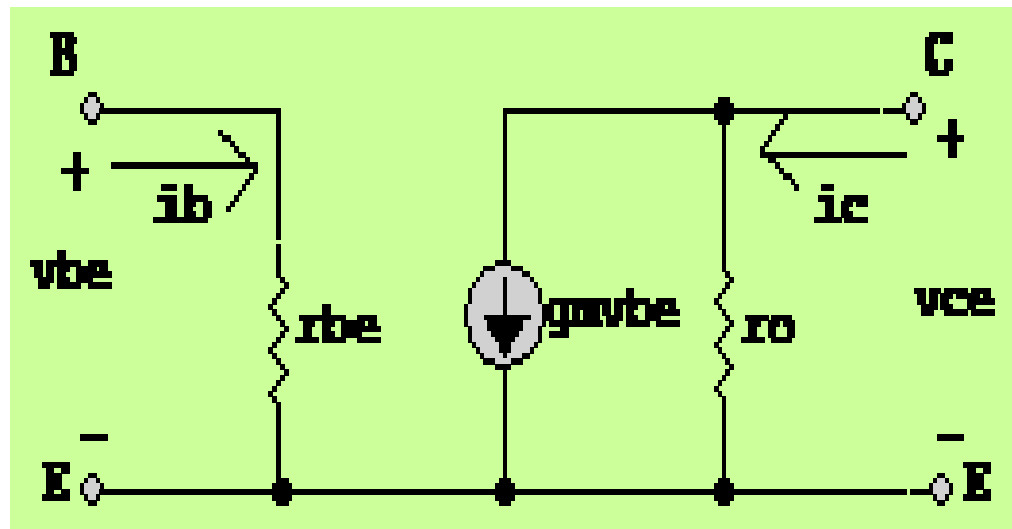
$$\beta = \frac{i_c}{i_b} = \left(\frac{i_c}{v_{be}} \right) \left(\frac{v_{be}}{i_b} \right) = g_m r_\pi \quad r_\pi = r_{be} = \frac{v_{be}}{i_b} = \beta r_e = \beta \frac{V_T}{|I_{CQ}|}$$

$$g_m = \frac{i_c}{v_{be}} = \frac{I_{CQ}}{V_T}$$

- $r_o = (V_A + V_{CQ})/I_{CQ}$ **rất lớn**

V_A điện thế Early

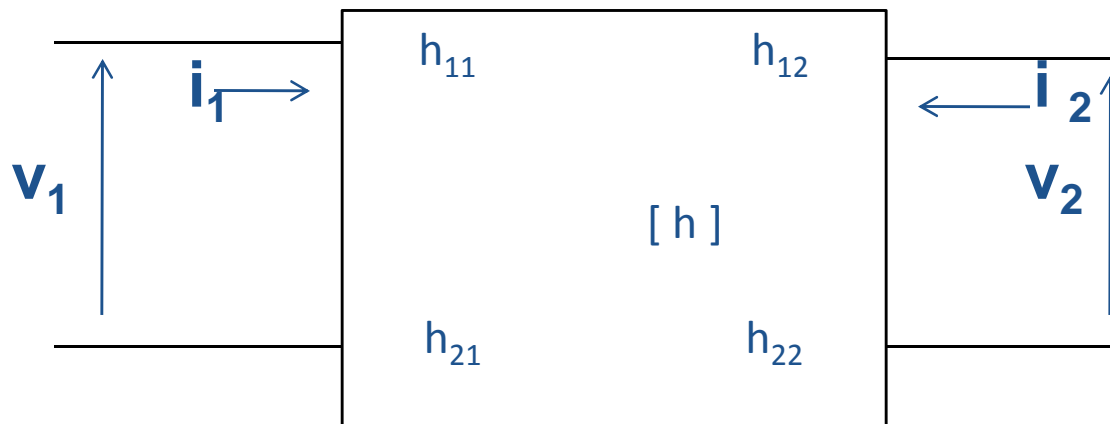
g_m được gọi là hệ số truyền dẫn





MÔ HÌNH THÔNG SỐ HỖN TẠP h

- Xét tứ cực (hai cảng)



- Các phương trình:

$$V_1 = V_1(I_1, V_2)$$

$$I_2 = I_2(I_1, V_2)$$

$$\begin{aligned} V_1 &= h_{11}I_1 + h_{12}V_2 \\ \rightarrow I_2 &= h_{21}I_1 + h_{22}V_2 \end{aligned}$$

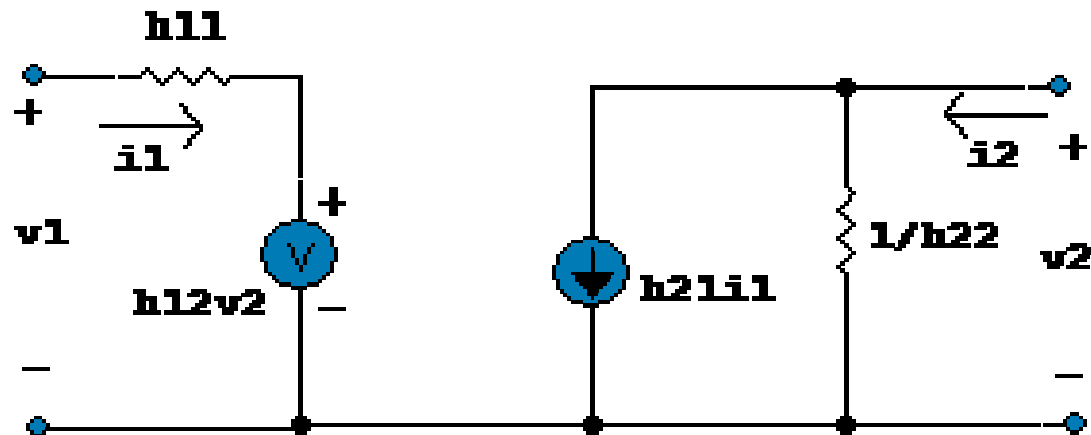


MÔ HÌNH THÔNG SỐ HỖN TẠP h

- Mô hình cơ bản

$$V_1 = h_{11}I_1 + h_{12}V_2$$

$$I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}V_2$$



- Tổng quát gọi

$$h_{11} = h_{ix}$$

$$h_{12} = h_{rx}$$

$$h_{21} = h_{fx}$$

$$h_{22} = h_{ox}$$

i = input (vào)

r = reverse (nghịch)

f = forward (thuận)

o = output (ra)

x chỉ cách ráp của mạch:

e cực phát chung

b cực nền chung

c cực thu chung



MÔ HÌNH THÔNG SỐ HỖN TẠP h

Ta có các định nghĩa sau:

$$h_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{V_2 = 0}$$

điện trở ngõ vào (Ω)

$$h_{12} = \left. \frac{V_1}{V_2} \right|_{I_1 = 0}$$

tỉ số điện thế ngược

$$h_{21} = \left. \frac{I_2}{I_1} \right|_{V_2 = 0}$$

độ lợi dòng nối tắt ngõ ra

$$h_{oe} = \left. \frac{I_2}{V_2} \right|_{V_1 = 0}$$

điện dẫn ngõ ra (A/V hay S)

MÔ HÌNH THAM SỐ HỒN TẠP h TRONG MẠCH RÁP CE

- Xét các hàm sau:

$$V_{BE} = f(I_B, V_{CE}) \quad (1)$$

$$I_C = f(I_B, V_{CE}) \quad (2)$$

Đạo hàm riêng phần cho:

$$dV_{BE} = \left. \frac{\partial V_{BE}}{\partial I_B} \right|_{V_{CE}=h.s} dI_B + \left. \frac{\partial V_{BE}}{\partial V_{CE}} \right|_{I_B=h.s} dV_{CE}$$

$$dI_C = \left. \frac{\partial I_C}{\partial I_B} \right|_{V_{CE}=h.s} dI_B + \left. \frac{\partial I_C}{\partial V_{CE}} \right|_{I_B=h.s} dV_{CE}$$

trong đó:

$$dV_{BE} = v_{be} ; dI_B = i_b ; dI_C = i_c ; dV_{CE} = v_{ce}$$

MÔ HÌNH THAM SỐ HỒN TẠP h TRONG MẠCH RÁP CE

Đặt:

$$\bullet h_{ie} = \left. \frac{\partial V_{BE}}{\partial I_B} \right|_{V_{CE}=h.s.} = \left. \frac{v_{be}}{i_b} \right|_{v_{ce}=0} \quad \text{điện trở vào nối tắt } (\Omega)$$

$$h_{re} = \left. \frac{\partial V_{BE}}{\partial V_{CE}} \right|_{I_B=h.s.} = \left. \frac{v_{be}}{v_{ce}} \right|_{i_b=0} \quad \text{tỉ số điện thế nghịch mạch hở}$$

$$h_{fe} = \left. \frac{\partial I_C}{\partial I_B} \right|_{V_{CE}=h.s.} = \left. \frac{i_c}{i_b} \right|_{v_{ce}=0} \quad \text{độ lợi dòng thuận nối tắt}$$

$$h_{oe} = \left. \frac{\partial I_C}{\partial V_{CE}} \right|_{I_C=h.s.} = \left. \frac{i_c}{v_{ce}} \right|_{i_c=0} \quad \text{điện dẫn ra mạch hở (S, A/V)}$$

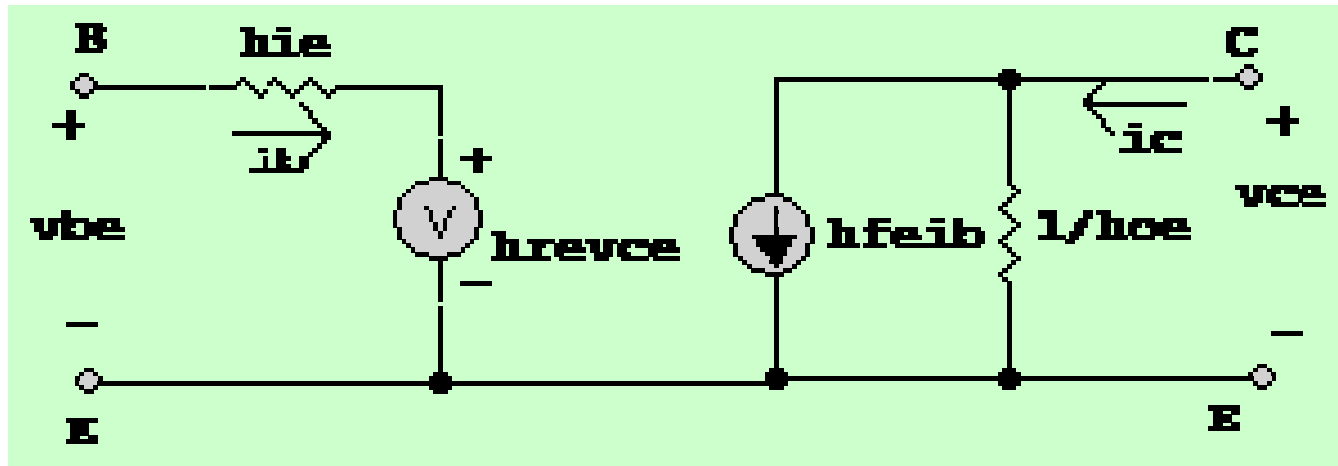
MÔ HÌNH THAM SỐ HỒN TẠP h TRONG MẠCH RÁP CE

- Thay vào trên ta có:

$$v_{be} = h_{ie} i_b + h_{re} v_{ce} \quad (1)$$

$$i_c = h_{fe} i_b + h_{oe} v_{ce} \quad (2)$$

và được biểu diễn bởi mạch sau:

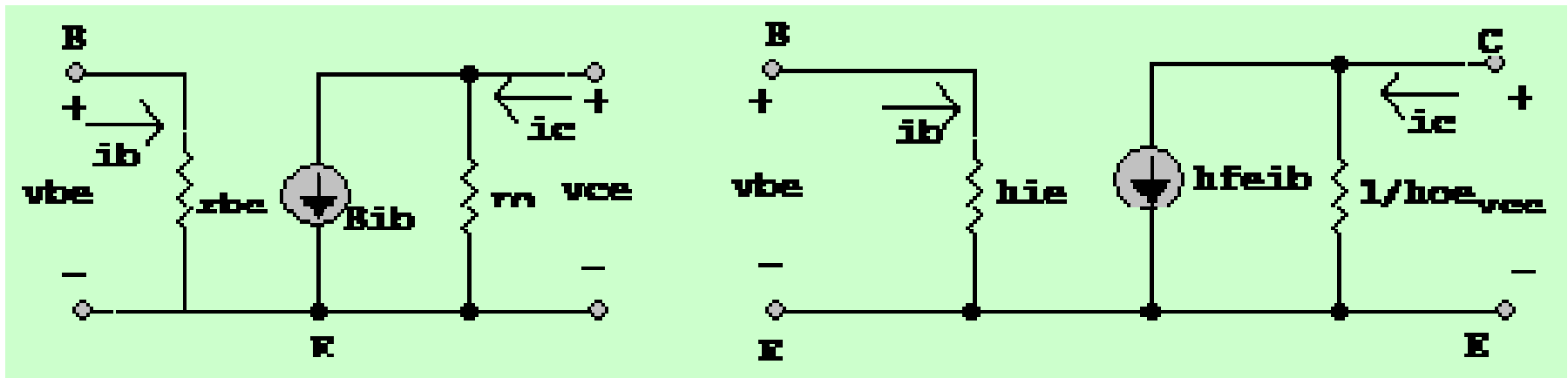


- Thông số hỗn tạp h có thể tính được từ các đặc tuyến
- Thông số hỗn tạp h thay đổi theo nhiệt độ.
- Thông số hỗn tạp h được cho bởi nhà sản xuất, có trị chính xác trong phân giải mạch, cho các biểu thức dễ nhớ.
- Có thể suy ra các thông số r , T ... từ thông số hỗn tạp h cho sẵn.



NHẬN XÉT

- Thay mô hình thông số transistor vào mạch tương đương, áp dụng các định luật mạch điện để phân giải mạch ở chế độ động (ac).
- Trong trường hợp gần đúng (cho $h_{re} = 0$) thì các mô hình thông số giống nhau :

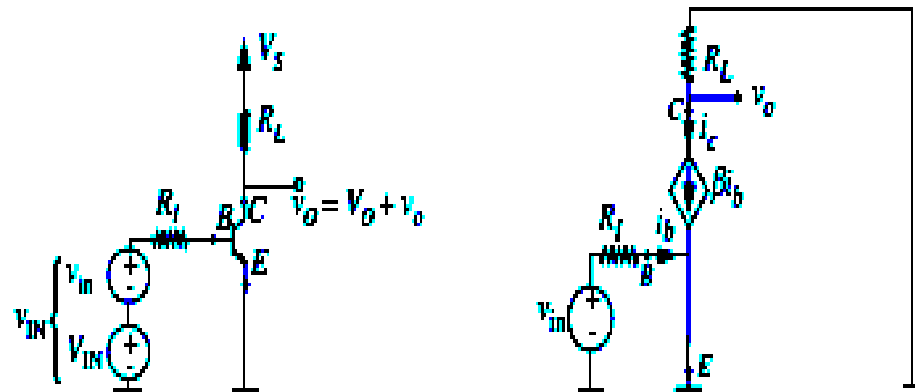


Ta có : $r_{be} = r_{\pi} = h_{ie}$; $\beta = h_{fe}$; $r_o = r_c = 1/h_{oe}$

Nếu có thêm điều kiện h_{oe} rất **nhỏ**, ta có phép gần đúng thứ hai.

PHÂN TÍCH MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

- Xét mạch theo Hình sau, Ngõ vào tổng cộng v_{IN} là tổng của điện thế DC offset V_{IN} và điện thế tín hiệu nhỏ v_i . Và điện thế ngõ ra v_o , V_O và v_o tương ứng.



Giả sử mạch hoạt động trong vùng tác động. Mạch có

$R_I = 100\text{k}\Omega$, $R_L = 10\text{k}\Omega$, $V_S = 10\text{V}$ và $V_{IN} = 1\text{V}$.

Giả sử transistor có $\beta = 100$.

Giải:

Áp dụng hệ thức hàm số truyền cho:

PHÂN TÍCH MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

$$V_O = V_s - \frac{(V_I - 0,6)}{R_I} \beta R_L = 10V - \frac{1 - 0,6}{100} (100)(10) =$$

$$= 10V - 4V = 6V$$

$$V_{CE} = V_O = 6V > V_{BE} - 0,4V$$

thoả điều kiện BJT trong vùng tác động

- Độ lợi thế mô hình tín hiệu nhỏ

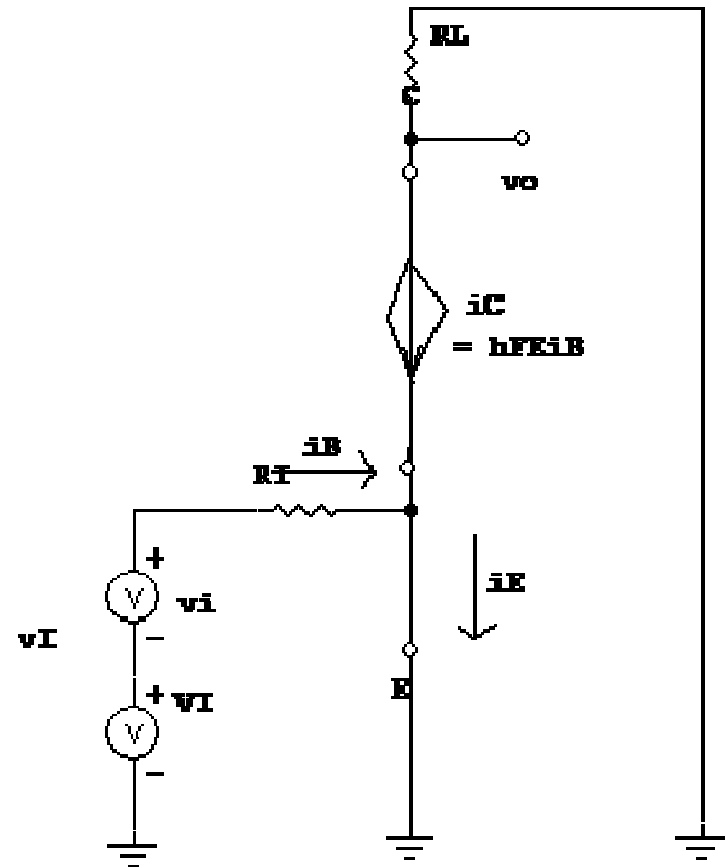
- Tại nút ngõ ra:
$$\frac{v_o}{R_L} = -\beta i_b$$

$$i_b = \frac{v_i}{R_I}$$

$$\frac{v_o}{v_i} = -\beta \frac{R_L}{R_I}$$

- Thay trị số vào, được

$$A_v = -10$$



PHÂN TÍCH MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

- Tổng trở mạch khuếch đại

- Tổng trở vào:

Tính dễ dàng, khi cho tín hiệu test vi vào ngõ vào B, được:

$$r_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{v_{itest}}{i_b} = R_I$$

- Tổng trở ra

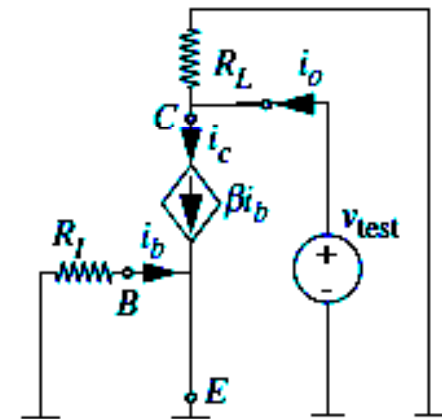
Nối tắt ngõ vào, cho v_{test} vào ngõ ra

(H.) và đo i_o tương ứng, tổng trở ngõ ra cho bởi $r_o = v_{test}/i_o$

Để tính r_o , áp dụng KCL tại nút C:

$$i_o - \frac{v_{test}}{R_L} - \beta i_b = 0$$

$$r_o = \frac{v_{test}}{i_o} \bigg|_{\substack{v_i = 0 \\ i_b = 0}} = R_L$$



PHÂN TÍCH MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

- **Thí dụ 2: Độ khuếch đại tín hiệu nhỏ của BJT**
- Cho mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ BJT như ở thí dụ trước
- Ta lần lượt có: Trong mô hình tín hiệu nhỏ

$$i_o + i_c + \frac{v_o}{R_L} = 0$$

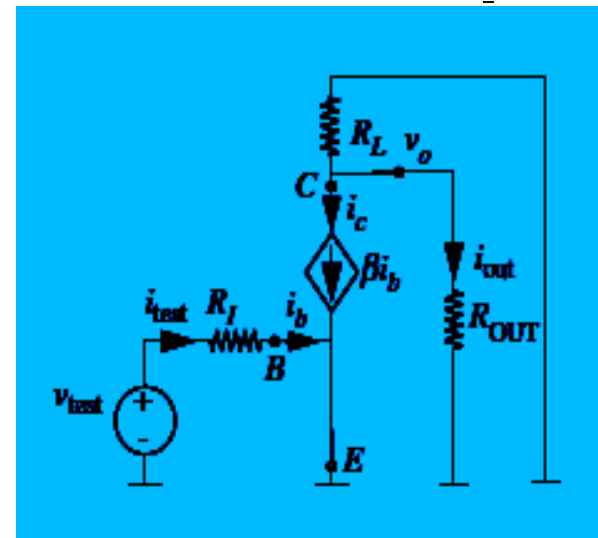
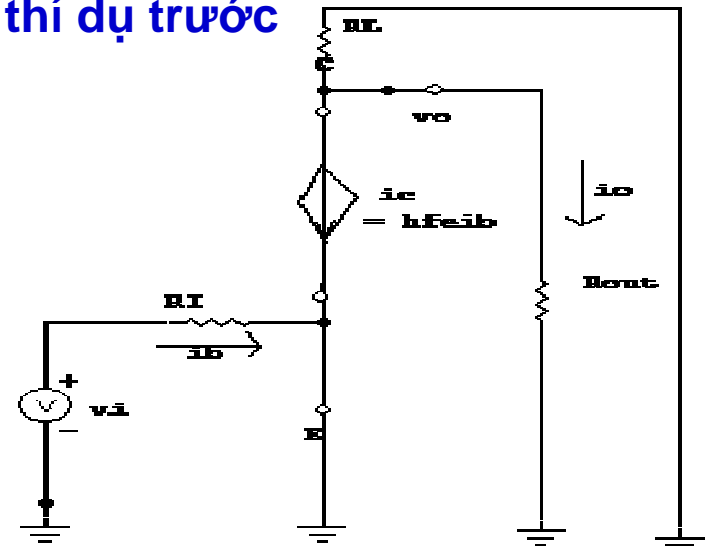
$$i_o + \beta i_b - \beta i_b \frac{R_L \parallel R_{out}}{R_L} = 0$$

$$A_i = \frac{i_o}{i_b} = -\beta \frac{R_L}{R_L + R_{out}} = -\beta \frac{R_L \parallel R_{out}}{R_{out}}$$

$$A_v = -\beta \frac{R_L \parallel R_{out}}{R_I}$$

- **Độ lợi công suất:**

$$A_p = \frac{p_o}{p_i} = \frac{v_o i_o}{v_i i_i} = A_v A_i = \beta^2 \frac{(R_L \parallel R_{out})^2}{R_I R_{out}}$$



PHÂN TÍCH MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

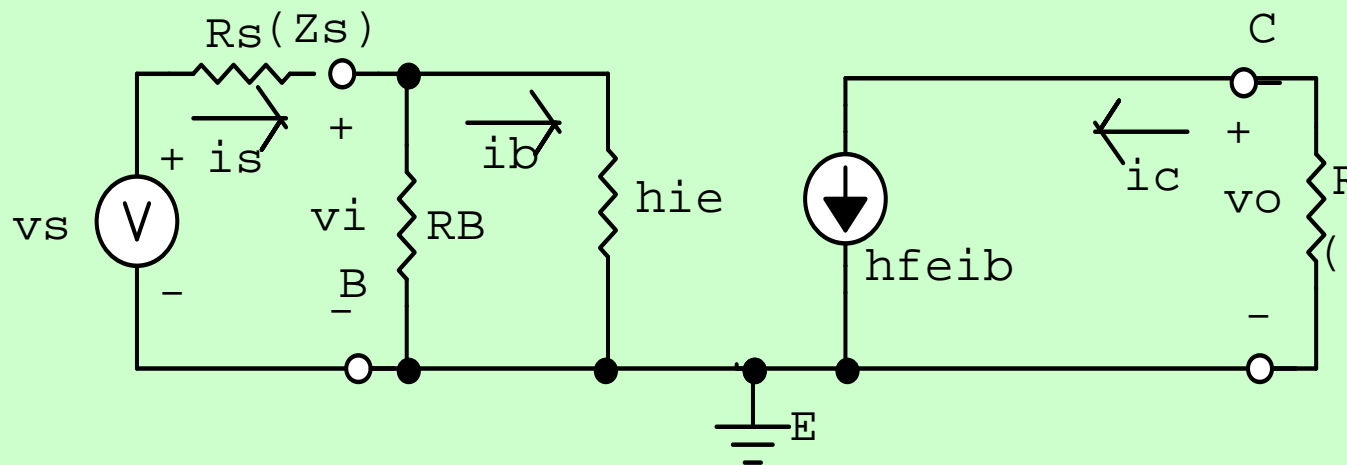
b. Cách tính gần đúng khi: $h_{re} = 0$ và $h_{oe}Z_L < 1$

(8) $\rightarrow Z_i = h_{ie}$ hoặc $Z_i' = R_B // h_{ie}$

(10) $\rightarrow A_i = h_{fe}$ hoặc $A_{iB} = h_{fe} R_B / (R_B + h_{ie})$

(14) $\rightarrow A_v = -h_{fe} Z_L / h_{ie}$ hoặc $A_v = -h_{fe} R_c / h_{ie}$

(21) $\rightarrow Z_o \rightarrow \infty$ (vô cực) $\rightarrow Z_o' = R_c$



Ta có thể tính trực quan từ mạch điện tương đương gần đúng này.

MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ BJT

1. Phân tích DC

- Theo định lý Thevenin:

$$V_{BB} = [R_2 / (R_1 + R_2)] V_{CC} \quad (1)$$

$$R_B = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) \quad (2)$$

- Theo định lý Kirchhoff:

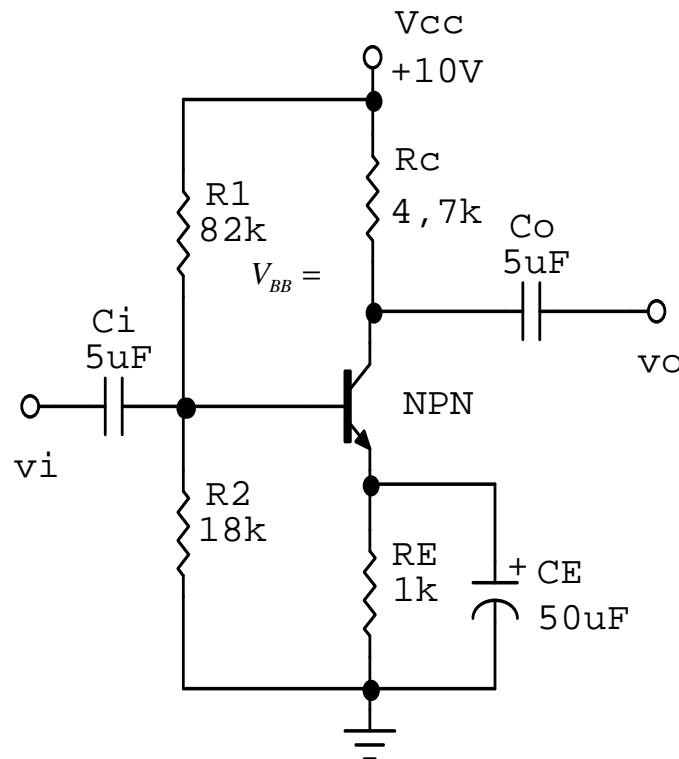
$$V_{BB} = R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E \quad (3)$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1) R_E} \quad (4)$$

$$I_C = \beta I_B \quad (5)$$

$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E \quad (6)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E) I_C \quad (8)$$





PHÂN GIẢI CHẾ ĐỘ ĐỘNG AC

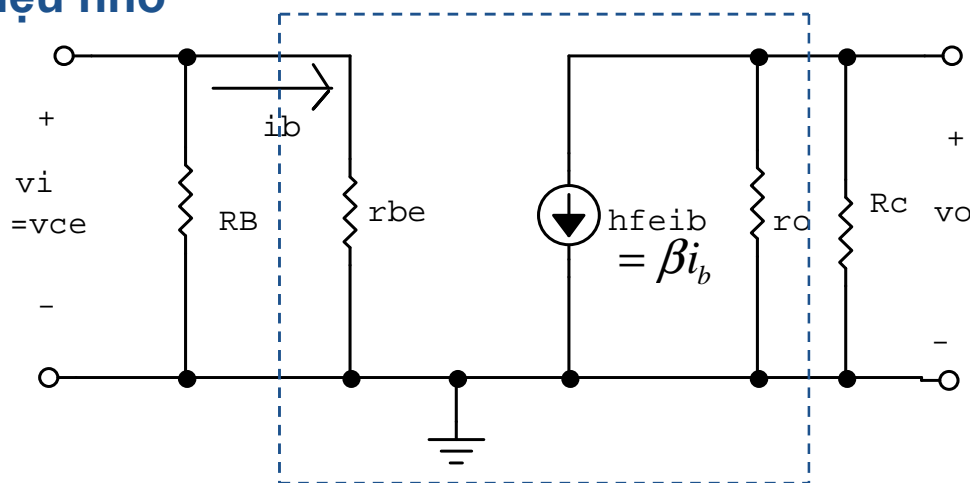
- Ta có mạch tương đương tín hiệu nhỏ

Tính được:

Độ lợi thế:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{\beta R_C i_b}{r_{be} i_b}$$

$$= -\frac{\beta R_C}{r_{be}} = -\frac{h_{fe} R_C}{h_{ie}} = -\frac{R_C}{r_e}$$



Độ lợi dòng: $A_i = \frac{i_o}{i_i} = \beta = h_{fe}$

Tổng trở vào: $r_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{r_{be} i_b}{i_b} = r_{be} = \beta r_e = h_{ie}$

Tổng trở ra: $r_o = \frac{v_o}{i_o} = r_{ce} = \frac{1}{h_{oe}}$

$$R_O = r_{ce} \parallel R_C = R_C$$

$$\beta = h_{fe}$$

$$r_{be} = \beta r_e = h_{ie}$$

$$r_e = \frac{V_T}{I_{CQ}}$$



- **Thí dụ 1** Cho mạch khuếch đại theo H.1. Tính:

1. Dòng $I_B, I_C, I_E, V_C, V_E, V_{CE}, V_{CB}$.
2. Trị số R_i, A_v, A_i, R_o

Cho biết $V_{BE} = 0,7V$, và

- **Giải:**

1. Phân giải DC:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{15V - 0,7V}{200k\Omega} = 71,5\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 100(71,5\mu A) = 7,15mA$$

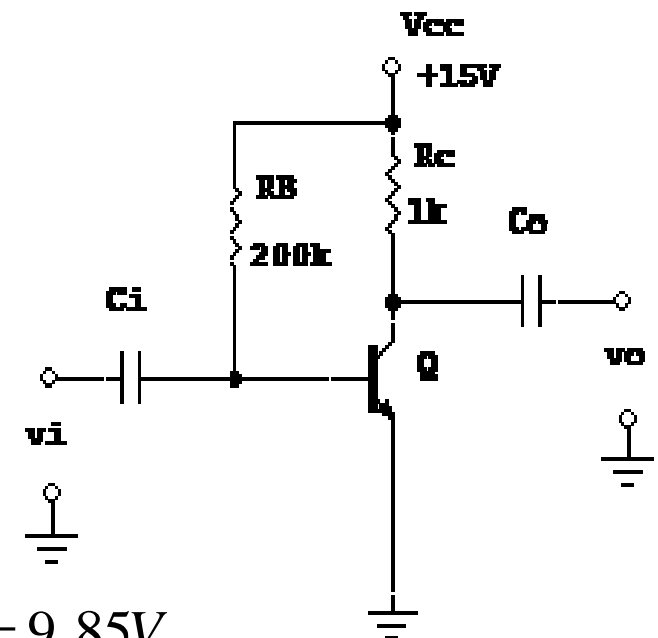
$$I_E = I_C + I_B = 7,15mA + 71,5\mu A = 7,221mA$$

$$V_C = V_{CC} - R_C I_C = 15V - 1k\Omega(7,15mA) = 15 - 7,15 = 7,85V$$

$$V_E = 0V$$

$$V_{CE} = V_C = 7,85V$$

$$V_{BC} = V_B - V_C = 0,7V - 7,85 = -7,15V$$





- 2. Phân tích AC

$$r_e = \frac{V_T}{I_{CQ}} = \frac{26mV}{7,15mA} = 3,64\Omega$$

$$R_i = r_{be} = \beta r_e = 100(3,64\Omega) = 3,64k\Omega$$

$$R'_i = R_B \parallel R_i = \frac{200(3,64)}{200 + 3,64} k\Omega = 3,64k\Omega$$

$$A_V = -\frac{R_C}{r_e} = -\frac{1000\Omega}{3,64\Omega} = ---274,5 = -275$$

$$A_i = \beta = 100$$

$$R_o = R_C = 1k\Omega$$



$$I_E = (\beta + 1) I_B = 151 (5,83 \mu A) = 0,88 mA$$

$$V_E = R_E I_E = 1k\Omega (0,88 mA) = 0,88V$$

$$V_C = V_{CC} - R_C I_C = 10V - 5k\Omega (0,875 mA) = 10V - 4,375 = 5,625V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 5,625 - 0,88 = 4,745V = 4,75V$$

$$V_{CB} = V_C - V_B = 5,625 - 1,67 = 3,956V = 4V$$

2. Tính lần lượt:

$$r_e = \frac{V_T}{I_{CQ}} = \frac{26mV}{0,92mA} = 28,26\Omega = 28,5\Omega$$

$$R_i = r_{be} = \beta r_e = 150 (28,26) \Omega = 4,24k\Omega$$

$$R'_i = R_B \parallel R_i = 8,34 \parallel 4,2k\Omega = 2,83k\Omega$$

$$A_v = -\frac{\beta R_C}{R_i} = -\frac{150(5k\Omega)}{4,24k\Omega} = -176,887 = -178,90$$

$$A_i = \beta = 150$$

$$A_{iB} = A_i \left(\frac{R_B}{R_B + R_i} \right) = 150 \left(\frac{8,4}{8,4 + 2,83} \right) = 112,20$$

$$R_o = R_C = 5k\Omega$$



PHỤ LỤC

- Phân tích mạch khuếch đại theo thông số h.
- Các thông số tương đương
- Chuyển đổi giữa các thông số

PHÂN GIẢI MẠCH KHUẾCH ĐẠI VỚI THÔNG SỐ h

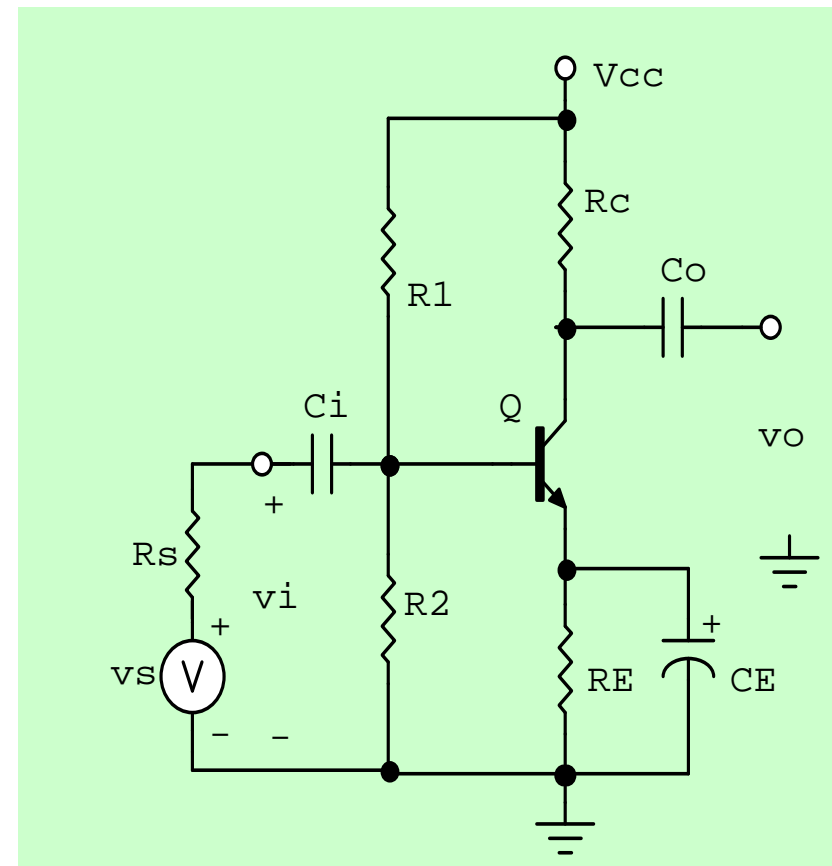
- Xét mạch khuếch đại ráp cực phát chung (CE):
- Vai trò các linh kiện khác:

tụ C_i , C_o là tụ liên lạc
(ngăn dòng dc cho
dòng ac qua)

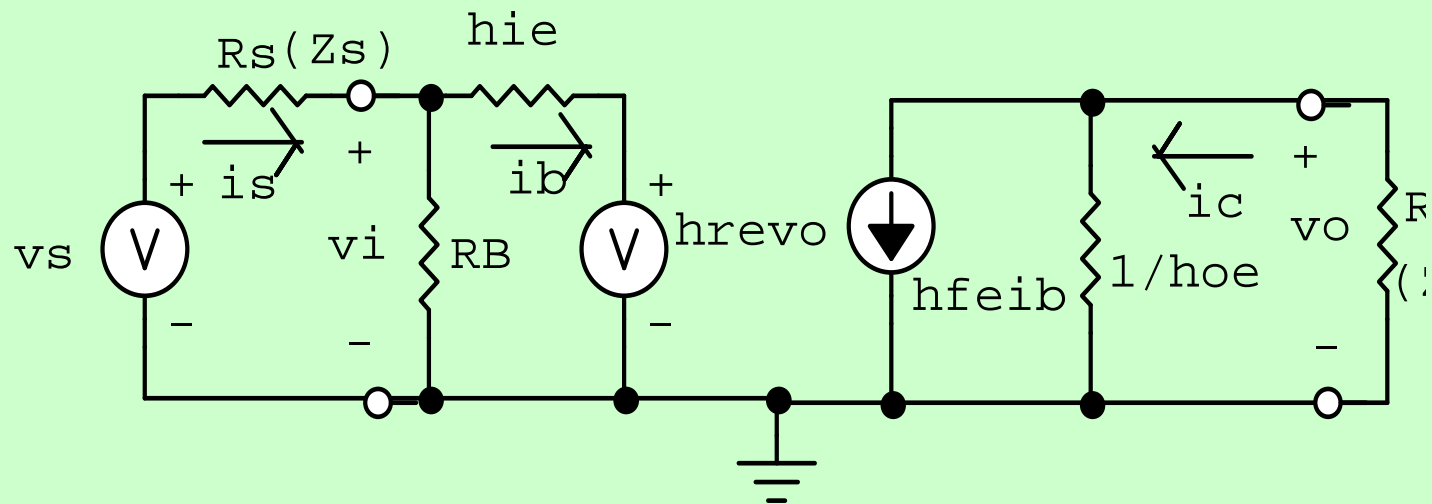
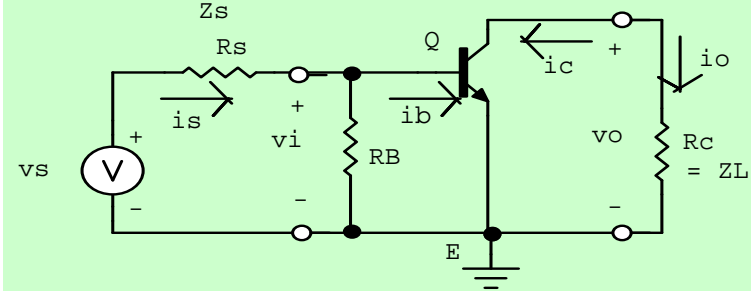
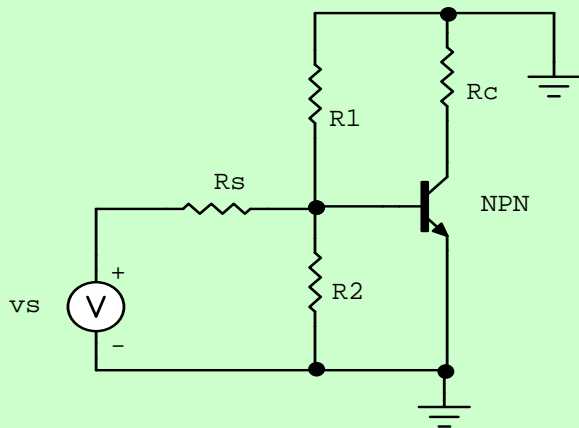
Tụ hoá C_E có trị số lớn
là tụ phân dòng (bypass)
nối tắt ở chế độ ac.

$$X_c = 1 / (\omega C) =$$

$$= \frac{1}{2 \pi f C} \approx 0 \Omega$$



MẠCH TƯƠNG ĐƯƠNG Ở CHẾ ĐỘ ĐỘNG AC





- **Giải mạch :** $V_i = V_{be} = h_{ie} I_b + h_{re} V_o \quad (1)$

$$I_o = I_c = h_{fe} I_b + h_{oe} V_o \quad (2)$$

- **Từ (1):** $Z_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_{be}}{I_b} = h_{ie} + h_{re} \frac{V_o}{I_b} \quad (3)$

$$V_o = V_{ce} = -Z_L I_o \Rightarrow I_o = -Y_L V_o \quad (4)$$

- **Thay(4)vào(2):** $-V_o Y_L = h_{fe} I_b + h_{oe} V_o \quad (5)$

$$\frac{V_o}{I_o} = - \frac{h_{fe}}{h_{oe} + Y_L} \quad (6)$$

- **Thay(5)vào(3):** $Z_i = h_{ie} - \frac{h_{fe} h_{re}}{h_{oe} + Y_L} = h_{ie} - \frac{h_{fe} h_{re} Z_L}{1 + h_{oe} Z_L} \quad (7 \& 8)$

- **Độ lợi dòng điện:**

Thay (4) vào (2):

$$I_o = h_{fe}I_i - h_{oe}(Z_L I_o) \Rightarrow I_o(1 + h_{oe}Z_L) = h_{fe}I_i \quad (9) \Rightarrow$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{h_{fe}}{1 + h_{oe}Z_L} = \frac{h_{fe}Y_L}{h_{oe} + Y_L} \quad (10 \& 11)$$

- **Độ lợi điện thế:**

Thay (9) vào (1):

$$V_i = h_{ie} \left(\frac{1 + h_{oe}Z_L}{h_{fe}} \right) I_o + h_{re}V_o \quad (12)$$

Thay (4) vào (12):

$$V_i = h_{ie} \left(\frac{1 + h_{oe}Z_L}{h_{fe}} \right) \left(-\frac{V_o}{Z_L} \right) + h_{re}V_o \Rightarrow$$

$$V_o \left(h_{re} - \frac{h_{ie}(1 + h_{oe}Z_L)}{h_{fe}Z_L} \right) = V_i \quad (13) \Rightarrow$$

Hay:

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{h_{fe} Z_L}{h_{re} h_{fe} Z_L - (h_{ie} + h_{oe} Z_L)} = \frac{-h_{fe} Z_L}{h_{ie} + (h_{ie} h_{oe} - h_{re} h_{fe}) Z_L} \Rightarrow$$

$$A_V = \frac{-h_{fe} Z_L}{h_{ie} + \Delta h Z_L} \quad (14)$$

• **Tổng trở ra:** $Z_o = \left. \frac{V_o}{I_o} \right|_{V_s=0, Z_L \rightarrow \infty}$

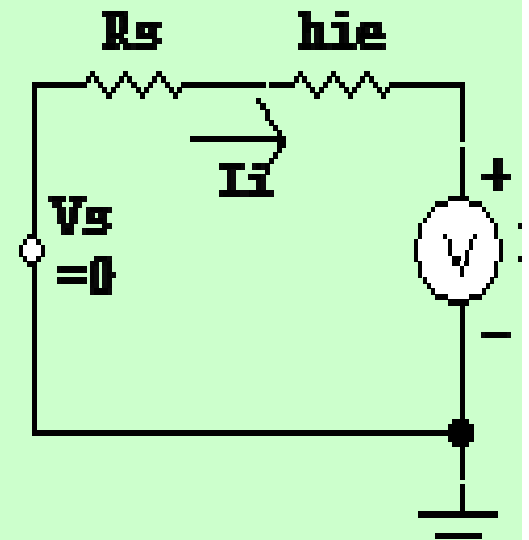
Theo mạch ta có: $V_s = 0 \rightarrow$

$$V_s = (R_s + h_{ie}) I_i + h_{re} V_o = 0 \Rightarrow$$

$$I_i = \frac{-h_{re} V_o}{(R_s + h_{ie})} \quad (19)$$

Thay (19) vào (2):

$$I_o = \frac{-h_{fe} h_{re} V_o}{R_s + h_{ie}} + h_o V_o \Rightarrow I_o = \left(h_o - \frac{h_{fe} h_{re}}{R_s + h_{ie}} \right) V_o \quad (20) \Rightarrow$$





Hay:

$$Z_o = \frac{1}{h_{oe} - \frac{h_{fe}h_{re}}{R_s + h_{ie}}} = \frac{R_s + h_{ie}}{R_s h_{ie} + \Delta h}$$

Chú ý:

a. Các thông số và các công thức trên đều áp dụng chung cho các cách ráp với lưu ý về chỉ số sau:

- Cách ráp cực phát chung: $h_{ie}, h_{re}, h_{fe}, h_{oe}$
- Cách ráp cực nền chung : $h_{ib}, h_{rb}, h_{fb}, h_{ob}$.
- Cách ráp cực thu chung : $h_{ic}, h_{rc}, h_{fc}, h_{oc}$.

b. Trong Data chỉ cho các thông số $h_{ie}, h_{re}, h_{fe}, h_{oe}$ nên ta phải chuyển đổi sang các thông số của cách ráp tương ứng (xem bảng chuyển đổi trong giáo trình)



- Tóm lại ta có các công thức:

$$Z_i = h_{ie} - \frac{h_{fe}h_{re}}{h_{oe} + Y_L} = h_{ie} - \frac{h_{fe}h_{re}Z_L}{1 + h_{oe}Z_L} \quad (I)$$

$$A_v = \frac{-h_{fe}Z_L}{h_{ie} + \Delta h_e Z_L} \quad (II)$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{h_{fe}}{1 + h_{oe}Z_L} = \frac{h_{fe}Y_L}{h_{oe} + Y_L} \quad (III)$$

$$Z_o = \frac{1}{h_{oe} - \frac{h_{fe}h_{re}}{R_s + h_{ie}}} = \frac{R_s + h_{ie}}{R_sh_{oe} + \Delta h_e} \quad (IV)$$



Bảng chuyển đổi thông số

Thông số CE	CB	CC	T
h_{ie}	$\frac{h_{ib}}{1 + h_{fb}}$	h_{ic}	$r_b + \frac{r_e}{1 - \alpha}$
h_{re}	$\frac{h_{ib} h_{ob}}{1 + h_{fb}} - h_{rb}$	$1 - h_{rc}$	$\frac{r_e}{(1 - \alpha)}$
h_{fe}	$\frac{-h_{fb}}{1 + h_{fb}}$	$-(1 + h_{fc})$	β
h_{oe}	$\frac{h_{ob}}{1 + h_{fb}}$	h_{oc}	$\frac{1}{(1 - \alpha) r_c}$



Bảng chuyển đổi thông số

Thông số CB	CE	CC	T
h_{ib}	$\frac{h_{ie}}{1 + h_{fe}}$	$-\frac{h_{ic}}{h_{fc}}$	$r_e + (1 - \alpha)r_b$
h_{rb}	$\frac{h_{ie} h_{oe}}{1 + h_{fe}} - h_{re}$	$h_{rc} - 1 - \frac{h_{ic} h_{oc}}{h_{fc}}$	$\frac{r_b}{r_c}$
h_{fb}	$\frac{-h_{fe}}{1 + h_{fe}}$	$-\frac{(1 + h_{fc})}{h_{ic}}$	$-\alpha$
h_{ob}	$\frac{h_{ob}}{1 + h_{fb}}$	$-\frac{h_{oc}}{h_{fc}}$	$\frac{1}{r_c}$



Bảng chuyển đổi thông số

Thông số CC	CE	CB	T
h_{ic}	h_{ie}	$\frac{h_{ib}}{1 + h_{fb}}$	$r_x + r_\pi$
h_{rc}	$\frac{h_{ib} h_{ob}}{1 + h_{fb}} - h_{rb}$	$1 - h_{rb} - \frac{h_{ib} h_{ob}}{1 + h_{fb}} \approx 1$	$1 - \frac{r_e}{(1 - \alpha) r_c} \approx 1$
h_{fc}	$1 - h_{fe}$	$-\frac{1}{(1 + h_{fb})}$	$\frac{-1}{1 - \alpha}$
h_{oc}	h_{oe}	$\frac{h_{ob}}{1 + h_{fb}}$	$\frac{1}{(1 - \alpha) r_c}$



- Với transistor 2N929 phân cực tại $I_C = 4 \text{ mA}$, $V_{CE} = 12\text{V}$, lần lượt cho:

$$h_{ie} = 2200\Omega$$

$$h_{ib} = 7,57\Omega$$

$$h_{ic} = 2200\Omega$$

$$h_{re} = 2 \times 10^{-4}$$

$$h_{re} = 0,268 \times 10^{-4}$$

$$h_{rc} = 0,9999 \cong 1$$

$$h_{fe} = 290$$

$$h_{fe} = -0,996$$

$$h_{fe} = -291$$

$$h_{oe} = 30 \times 10^{-6} \text{ A/V}$$

$$h_{oe} = 0,103 \times 10^{-6} \text{ A/V}$$

$$h_{oe} = 30 \times 10^{-6} \text{ A/V}$$

- Với transistor 2N 2222A tại $I_C = 1 \text{ mA}$ có:

$$h_{ie} = 2500\Omega$$

$$h_{re} = 1,5 \times 10^{-4}$$

$$h_{fe} = 100$$

$$h_{oe} = 8,5 \times 10^{-6} \text{ A/V}$$



- **Thí dụ 1.** Cho mạch khuếch đại transistor ráp CE có các trị số : $R_S = 500\Omega$, $R_L = 2000\Omega$, $h_{ie} = 1000\Omega$, $h_r = 2 \times 10^{-4}$, $h_{fe} = 100$, $h_{oe} = 2 \times 10^{-5}$
Áp dụng các công thức trên lần lượt tính được:

$$Z_i = h_{ie} - \frac{h_{fe}h_{re}Z_L}{1 + h_{oe}Z_L} = 1000 - \frac{(100)(2 \times 10^{-4})(2000)}{1 + (2 \times 10^{-5})(2000)} = 961,54\Omega$$

$$\begin{aligned} A_V = \frac{V_o}{V_i} &= \frac{-h_{fe}Z_L}{h_{ie} + (h_{ie}h_{oe} - h_{re}h_{fe})Z_L} = \frac{-h_{fe}Z_L}{h_{ie}(1 + h_{oe}Z_L) - h_{re}h_{fe}Z_L} \\ &= \frac{-100(2000)}{1000(1 + 2 \times 10^{-5}) - (2 \times 10^{-4})(100)(2000)} = -200 \end{aligned}$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{h_{fe}}{1 + h_{oe}Z_L} = \frac{100}{1 + (2 \times 10^{-5})(2000)} = 96,1$$

$$Z_o = \frac{1}{h_{oe} - \frac{h_{fe}h_{re}}{R_S + h_{ie}}} = \frac{1}{2 \times 10^{-5} - \frac{(100)(2 \times 10^{-4})}{500 + 1000}} = 0,22M\Omega$$



• **Thí dụ 2** Cho mạch khuếch đại ráp CE (bài tập 5.4)

. Cho mạch khuếch đại ráp cực phát chung (hình). Transistor có thông số : $h_{ie} = 1,6k\Omega$; $h_{fe} = 80$; $h_{re} = 2 \cdot 10^{-4}$; $h_{oe} = 20\mu S$

1. Tính các trị I_B , I_C , I_E , V_C , V_E , V_{CE} , V_{BC} .

2. Vẽ mạch điện tương đương.

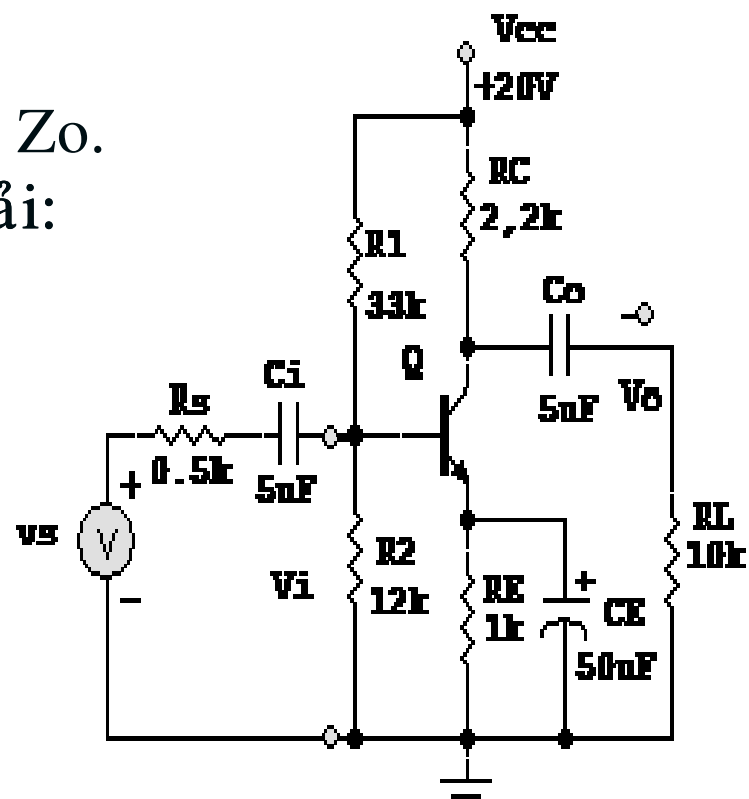
3. Tính các trị số Z_i , A_v , A_{vs} , A_i , Z_o , Z_o .

Ta có: $V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{12}{33 + 12} 20 = 5,34V$ **Giải:**

$$R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{33k\Omega (12k\Omega)}{33k\Omega + 12k\Omega} = 8,8k\Omega$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1) R_E} = \frac{5,34 - 0,7}{8,8k\Omega + 81(1k\Omega)} = \frac{4,64}{89,9} = 51\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 80(51\mu A) = 4,1mA$$





3. Tính được:

$$Z_i = h_{ie} - \frac{h_{fe}h_{re}Z_L}{1 + h_{oe}Z_L} = 1,6k\Omega - \frac{80(2 \cdot 10^{-4})(1,8k\Omega)}{1 + 20\mu S(1,8k\Omega)} = 1,6k\Omega - 27,8\Omega = 1,572k\Omega$$

$$Z'_i = Z_i \parallel R_B = \frac{1,572k\Omega(8,8k\Omega)}{1,572k\Omega + 8,8k\Omega} = 1,3k\Omega$$

$$A_v = \frac{-h_{fe}Z_L}{h_{ie} + (h_{ie}h_{oe} - h_{fe}h_{re})Z_L} = \frac{-80(1,8k\Omega)}{1,6k\Omega + [1,6k\Omega(20\mu S) - 80(2 \cdot 10^{-4})](1,8k\Omega)} =$$
$$= -\frac{144,54 \cdot 10^3}{1,6k\Omega(1 + 0,036) - 28,8} = -88,56$$

$$A_{VS} = A_v \left(\frac{Z'_i}{Z'_i + R_s} \right) = -88,56 \left(\frac{1,3k\Omega}{1,3k\Omega + 0,5k\Omega} \right) = -63,98$$



$$A_i = \frac{h_{fe}}{1 + h_{oe}Z_L} = \frac{80}{1 + 20\mu S(1,8k\Omega)} = \frac{80}{1,036} = 77,22$$

$$A_{iB} = A_i \left(\frac{R_B}{R_B + h_{ie}} \right) = 77,22 \left(\frac{8,8}{8,8 + 1,6} \right) = 65,34$$

$$\begin{aligned} Z_o &= \frac{1}{h_{oe} - \left[\frac{h_{fe}h_{re}}{(Z_s \parallel R_B) + h_{ie}} \right]} = \frac{1}{20\mu S - \left[\frac{80(2 \cdot 10^{-4})}{(0,5 \parallel 8,8)k\Omega + 1,6k\Omega} \right]} = \\ &= \frac{1}{(20\mu S - 7,718\mu S)} = \frac{1}{19,984\mu S} = 50k\Omega \end{aligned}$$

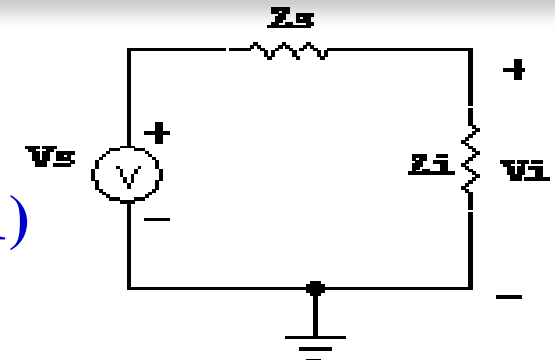
$$Z_o' = R_C \parallel Z_o = 2,2k\Omega \parallel 50k\Omega = 2,1k\Omega$$



Các trường hợp khác :

1. Có tải riêng R_L :

Vẫn áp dụng các công thức (8), (10), (14), (21) nhưng thay $Z_L = R_c$ bằng trị số $Z_L = R_c // R_L$.



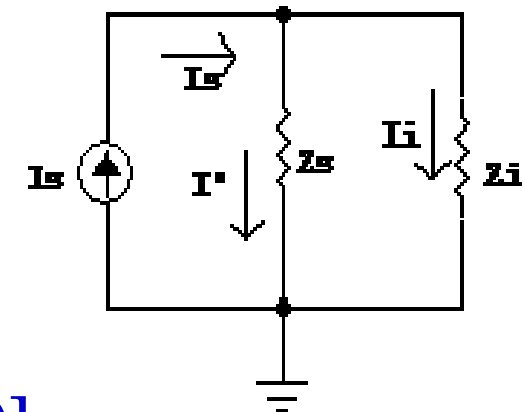
2. Khi kể đến điện trở R_B thì các công thức tổng trở vào thành:

$$Z_{iB} = R_B // Z_i$$

3. Nếu điện thế nguồn V_s có R_s thì:

$$A_{vs} = V_o/V_s = (V_o/V_i)(V_i/V_s) = (Z_{iB} / (Z_s + Z_{iB})) A_v$$

$$\text{Và } A_{z_{is}} = (I_o/I_s) = (I_o/I_i)(I_i/I_s) = A_i \cdot [Z_s / (Z_s + Z_i)]$$



4. Khi Z_o quá lớn thì tính

$$Z_o = R_c // Z_o$$



1. Cách tính gần đúng thứ nhất:

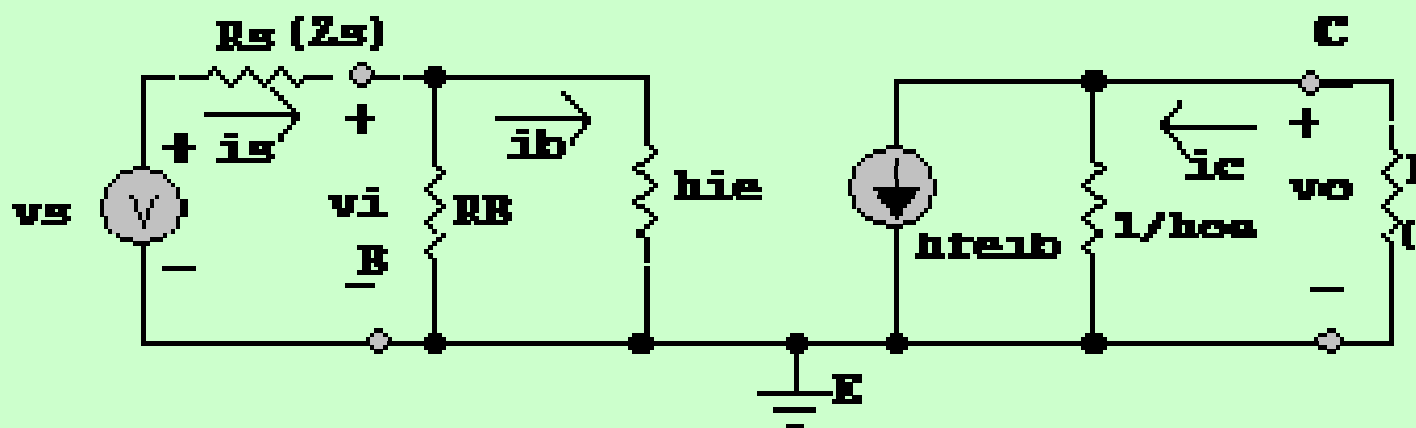
a. Khi $h_{re} = 0$

$$(8) \rightarrow Z_i = h_{ie} \text{ hoặc } Z_i' = R_B // Z_i$$

$$(10) \rightarrow A_i = h_{fe} / (1 + h_{oe} Z_L)$$

$$(14) \rightarrow A_v = -h_{fe} Z_L / [h_{ie} (1 + h_{oe} Z_L)]$$

$$(21) \rightarrow Z_o = 1 / h_{oe} \text{ và } Z_o' = R_c // Z_o = R_c // (1 / h_{oe})$$



Ta có thể tính trực tiếp các công thức trên từ mạch tương đương gần đúng trên:



Từ mạch điện gần đúng ta tính được:

- **Tổng trở vào:**

$$V_i = Z_i I_i \rightarrow Z_i = V_i / I_i = h_{ie} \text{ và } Z_i' = Z_{iB} = R_B // h_{ie}$$

Độ lợi dòng :

$$\begin{aligned} I_o &= h_{fe} I_b (1/h_{oe}) / [(1/h_{oe}) + Z_L] = \\ &= h_{fe} I_b / [1 + h_{oe} Z_L] = h_{fe} I_i / [1 + h_{oe} Z_L] \\ A_i &= I_o / I_i = h_{fe} / [1 + h_{oe} Z_L] \end{aligned}$$

Độ lợi thế:

$$\begin{aligned} V_o &= -I_o Z_L = -Z_L h_{fe} I_i / [1 + h_{oe} Z_L] \rightarrow \\ A_v &= V_o / V_i = -h_{fe} Z_L / \{ h_{ie} [1 + h_{oe} Z_L] \} \end{aligned}$$

Tổng trở ra :

$$\begin{aligned} V_s &= 0 \text{ và } Z_L \rightarrow \infty \text{ (vô cực)} \rightarrow V_o = -I_o (1/h_{oe}) \rightarrow \\ Z_o &= 1/h_{oe} \text{ và } Z_o' = [R_c // (1/h_{oe})] \end{aligned}$$



2. Mạch khuếch đại phân cực hồi tiếp R_B :

- Tụ C_B nối tắt nên ta có mạch tương đương:

$$Z_i = R_{B1} // h_{ie}$$

$$A_v = V_o / V_i =$$

$$= -h_{fe} Z_L / h_{ie}$$

Với:

$$Z_L = (1/h_{oe}) // R_{B2} // R_C$$

$$A_i = I_o / I_i = h_{fe}$$

(do $1/h_{oe}$; R_B rất lớn)

$$Z_o = (1/h_{oe}) // R_C$$

- Cách giải đầy đủ xem ở giáo trình

