LỜI NÓI ĐẦU

Giáo trình Mạch Điện tử được biên soạn dựa trên cơ sở là các giáo trình và tài liệu tham khảo của Trường Đại học Bách Khoa HN, Đại học Giao Thông Vận Tải, Đại học Cần Thơ cũng như các kiến thức dựa trên thí nghiệm thực tế.

Giáo trình được sử dụng dùng làm tài liệu tham khảo cho sinh viên các ngành: Điện tử công nghiệp, kỹ thuật sửa chữa máy tính, kỹ thuật viễn thông, kỹ thuật lắp đặt điện và điều khiển trong công nghiệp. Sách cũng có giá trị tham khảo với các cán bộ kỹ thuật và công nhân các ngành liên quan đến kỹ thuật điện tử.

Với mục đích trình bày những kiến thức cơ sở về mạch điện tử, giáo trình gồm có 7 chương:

- Chương 1: Mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ dùng transistor
- Chương 2: Mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ dùng FET
- Chương 3: Đáp ứng tần số của transistor và FET
- Chương 4: Mạch ghép transistor – hồi tiếp
- Chương 5: Khuếch đại công suất
- Chương 6: Dao động
- Chương 7: Ổn áp

Trong quá trình biên soạn, tác giả đã được các đồng nghiệp đóng góp nhiều ý kiến bổ ích, được Khoa Điện – Điện tử - Điện lạnh, Phòng Đào tạo cũng như nhà trường tạo điều kiện để hoàn thành giáo trình. Tôi xin chân thành cám ơn sự giúp đỡ quý báu đó.

Mặc dù đã cố gắng sửa chữa, bổ sung cho cuốn sách được hoàn chỉnh hơn, song chắc chắn không tránh khỏi những thiếu sót, hạn chế. Tác giả mong nhận được các ý kiến đóng góp của bạn đọc.

Nam Định, tháng 11 năm 2011

TÁC GIẢ

Bùi Trung Kiên

CHƯƠNG 1 MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ DÙNG TRANSISTOR

1. KHÁI NIỆM

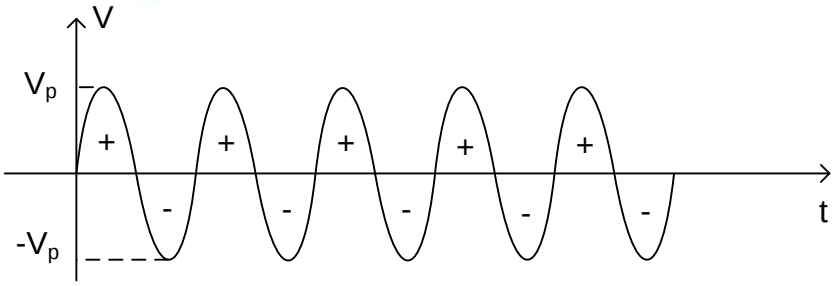
Mạch điện tử là loại mạch có nhiệm vụ gia công tín hiệu theo những thuật toán khác nhau, chúng được phân loại theo dạng tín hiệu được xử lý.

Tín hiệu: là số đo điện áp hoặc dòng điện của một quá trình, sự thay đổi của tín hiệu theo thời gian tạo ra tin tức hữu ích.

Tín hiệu được chia làm 2 loại là tín hiệu tương tự Anolog và tín hiệu số Digital.

- Tín hiệu tương tự là tín hiệu biến thiên liên tục theo thời gian và có thể nhận mọi giá trị trong khoảng biến thiên của nó.

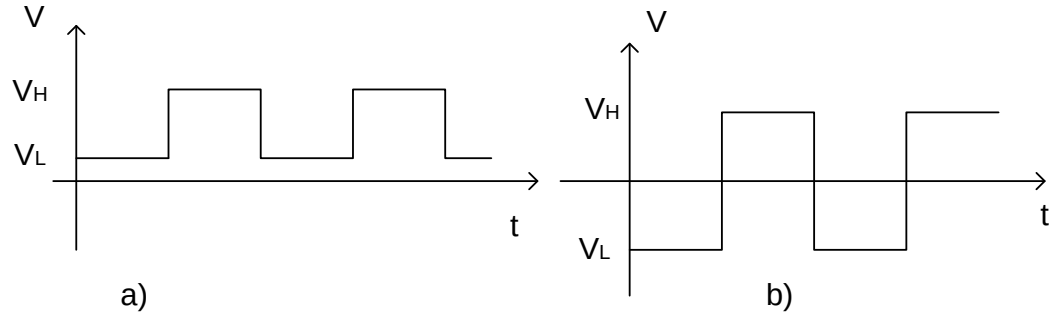
Tiêu biểu cho tín hiệu tương tự là tín hiệu sin, như hình 1.1, với tín hiệu sin ta có thể tính được biên độ của tín hiệu tại từng thời điểm khác nhau.



Hình 1.1. Tín hiệu hình sin

- Tín hiệu số là tín hiệu đã được rời rạc hoá về mặt thời gian và lượng tử hoá về mặt biên độ, nó được biểu diễn bởi tập hợp xung tại những điểm đo rời rạc.

Tiêu biểu cho tín hiệu rời rạc là tín hiệu vuông, dạng tín hiệu như hình 1.2, biên độ của tín hiệu chỉ có 2 giá trị mức cao V_H và mức thấp V_L, thời gian chuyển mức tín hiệu từ mức cao sang mức thấp và ngược là rất ngắn coi như bằng 0



Hình 1.2. a, xung vuông điện áp > 0. b, xung vuông điện áp đều nhau

Tín hiệu xung không chỉ có tín hiệu xung vuông mà còn có mốt số dạng tín hiệu khác như xung tam giác, răng cưa, xung nhọn, xung nấc thang có chu kỳ tuần hoàn theo thời gian với chu kỳ lặp lại T.

Tín hiệu có thể được khuếch đại, điều chế, tách sóng, chỉnh lưu, nhớ, đo, truyền đạt, điều khiển, biến dạng, tính toán bằng các mạch điện tử.

Để gia công 2 loại tín hiệu số và tương tự dùng 2 loại mạch cơ bản: mạch tương tự và mạch số, trong khuôn khổ giáo trình này chỉ xem xét các mạch tương tự.

Với mạch điện tử tương tự, chỉ quan tâm tới 2 thông số: biên độ tín hiệu và độ khuếch đại tín hiệu.

- Biên độ tín hiệu: liên quan mật thiết đến độ chính xác của quá trình gia công tín hiệu và xác định mức độ ảnh hưởng của nhiễu đến hệ thống. Khi biên độ tín hiệu nhỏ mV, huặc μV, thì nhiễu có thể lấn át tín hiệu, vì vậy khi thiết kế các hệ thống điện tử cần lưu ý nâng cao biên độ tín hiệu ngay ở tầng đầu của hệ thống.

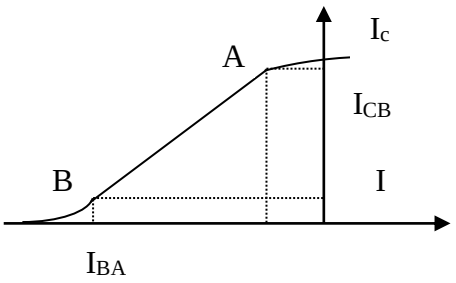
- Khuếch đại tín hiệu là chức năng quan trọng nhất của mạch tương tự, có thể thực hiện trực tiếp hoặc gián tiếp trong các phần tử chức năng của hệ thống, thông thường trong một hệ thống lại chia thành tầng gia công tín hiệu, tầng khuếch đại công suất.

Bộ khuếch đại tín hiệu nhỏ:

Người ta thường quan niệm bộ khuếch đại tín hiệu nhỏ là bộ khuếch đại tín hiệu cho tín hiệu vào và ra đủ nhỏ. Hiểu như vậy là chưa chính xác. Để hiểu chính xác khái niệm tín hiệu nhỏ của bộ khuếch đại cần phải tìm hiểu đặc tính truyền dẫn hay đặc tính vào ra của bộ khuếch đại. Ví dụ, dùng Transistor lưỡng cực làm bộ khuếch đại.

Đặc tính truyền dẫn của Transistor có dạng như hình 1.3

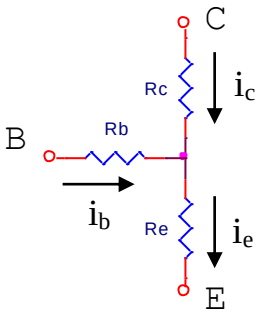
Trên đặc tuyến này Đoạn AB tuyến tính. Nếu tín hiệu vào (I_B) thay đổi trong đoạn $I_{BA}I_{BB}$ thì tín hiệu ra có dạng giống như tín hiệu vào và không bị méo dạng. Ta gọi là bộ khuếch là tuyến tính. *Bộ khuếch đại tín hiệu tuyến tính được gọi là bộ khuếch đại tín hiệu nhỏ*



Hình1.3.Đặc tính truyền dẫn của Transistor

Mạch tương đương của transistor

Điều kiện để một transistor dẫn là phân cực thuận với tiếp giám BE và phân cực ngược với tiếp giáp BC, mạch tương đương của transistor như sau:



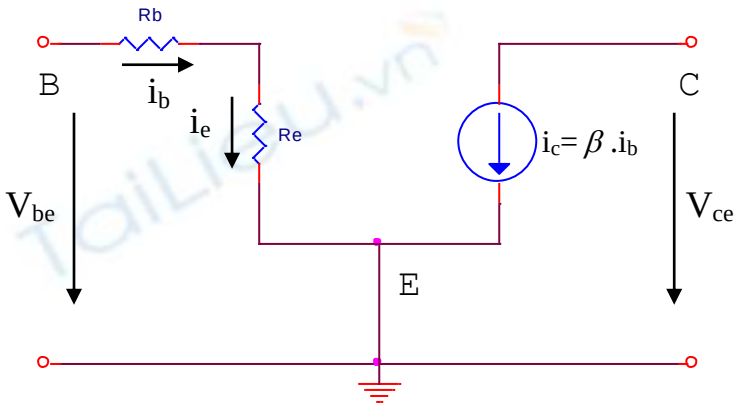
Trong đó:

+ R_b là điện trở đoạn từ cực B và giữa vùng bán dẫn của cực B.

+ R_e là điện trở thuận ở trạng thái xoay chiều của mối nối BE: $R_e = 26mV/i_E(mA)$

+ R_c là điện trở ngược của mối nối BC.

Mạch tương đương transistor dùng thông số của ma trận H:



Hình 1.4. Sơ đồ tương đương của BJT

Trong đó: + i_b: dòng điện tín hiệu ngõ vào, giá trị phụ thuộc vào R_b, R_e

+ i_c : dòng điện tín hiệu ngõ ra, $i_c = \beta\, i_b$

Phương trình đặc trưng theo ma trận H:

$V_{be}=h_{11}.i_b + h_{12}.V_{ce}$; $i_c = h_{21}.i_b + h_{22}.U_{ce}$

+ $h_{11} = V_{be}/i_b$: điện trở ngõ vào

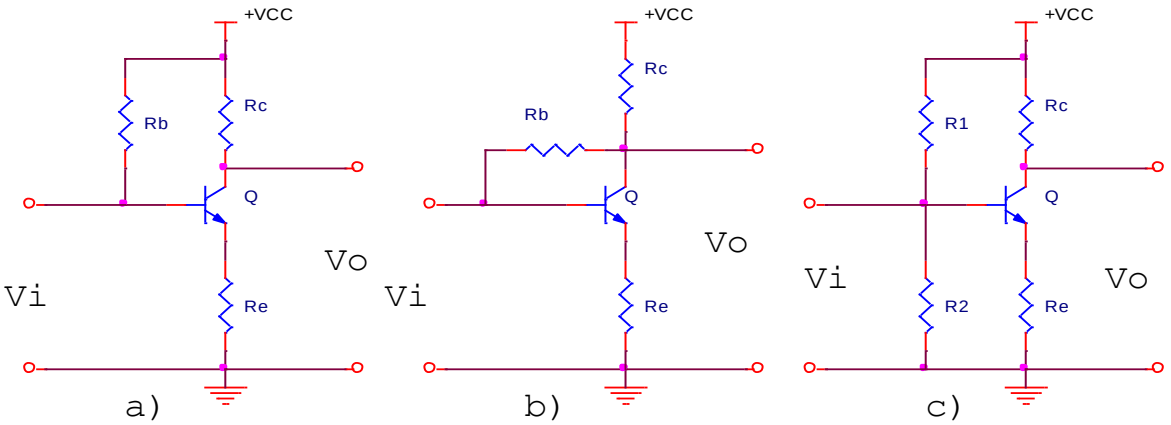
+ $h_{21} = i_c/i_b$: hệ số khuếch đại dòng

+ $h_{12} = V_{be}/V_{ce}$: độ khuếch đại điện áp ngược

+ $h_{22} = i_c/V_{ce}$: dẫn nạp ngõ ra.

2. MẠCH MẮC KIỂU E – C

2.1. Mạch điện cơ bản



Hình 1.5: Sơ đồ cấu tạo mạch Transistor mắc theo kiểu E chung (E-C) thực tế

Trong đó: V_i: Ngõ vào

V_o: Ngõ ra

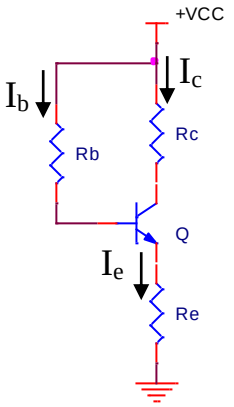
R_c: Điện trở tải để lấy tín hiệu ra.

R_e: Điện trở ổn định nhiệt

R_b, R_1, R_2: Điện trở phân cực B

+ V_{CC} : nguồn cung cấp một chiều

a. Sơ đồ phân cực theo dòng cố định (hình 1.5a)



- Ta có: $V_{CC} = R_b.I_b + V_{BE} + R_e.I_e$

Trong đó $I_e = (1+\beta).I_b$

$$\Rightarrow I_b = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1+\beta).R_E} \qquad (1.1)$$

$$\Rightarrow I_c = \beta.I_b = \beta.\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1+\beta).R_E} \qquad (1.2)$$

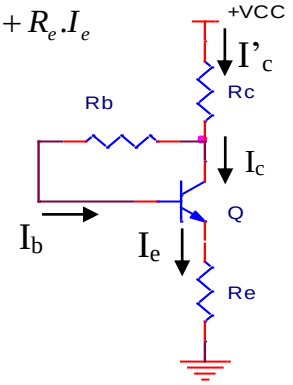
- Mạch thu – phát (C – E):

$V_{CC} = R_c.I_c + V_{CE} + R_e.I_e$

$I_e = I_b + I_c \approx I_C$ vì $I_b << I_c$

$$\Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - (R_c + R_e).I_c \qquad (1.3)$$

b. Sơ đồ phân cực bằng hồi tiếp điện áp (hình 1.5b)



- Mạch nền – phát (B – E): $V_{CC} = R_c.I_c' + R_b.I_b + V_{BE} + R_e.I_e$

Với $I_c' = I_c + I_b = I_e \approx I_c = \beta.I_b$ vì $I_b << I_c$

$$\Rightarrow I_b = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_b + \beta.(R_b + R_c)} \qquad (1.4)$$

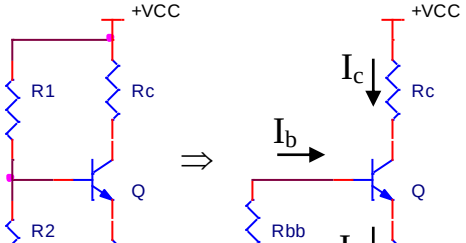
$$I_C = \beta.I_b \qquad (1.5)$$

- Mạch thu – phát (C – E):

$$V_{CE} = V_{CC} - (R_c + R_e).I_c \qquad (1.6)$$

c. Phân cực bằng cầu chia điện áp (hình 1.5c)

$$R_{bb} = R_1 // R_2 = \frac{R_1.R_2}{R_1 + R_2} \qquad (1.7)$$



$$V_{bb} = V_{cc}.\frac{R_2}{R_1 + R_2} \qquad (1.8)$$

- Mạch nền – phát (B – E) :

$$V_{bb} = R_{bb}.I_b + V_{BE} + R_e.I_e$$

Thay $I_e = (1+\beta).I_b$

$$\Rightarrow I_b = \frac{V_{bb} - V_{BE}}{R_{bb} + (1+\beta).R_e} \qquad (1.9)$$

$$I_C = \beta.I_b$$

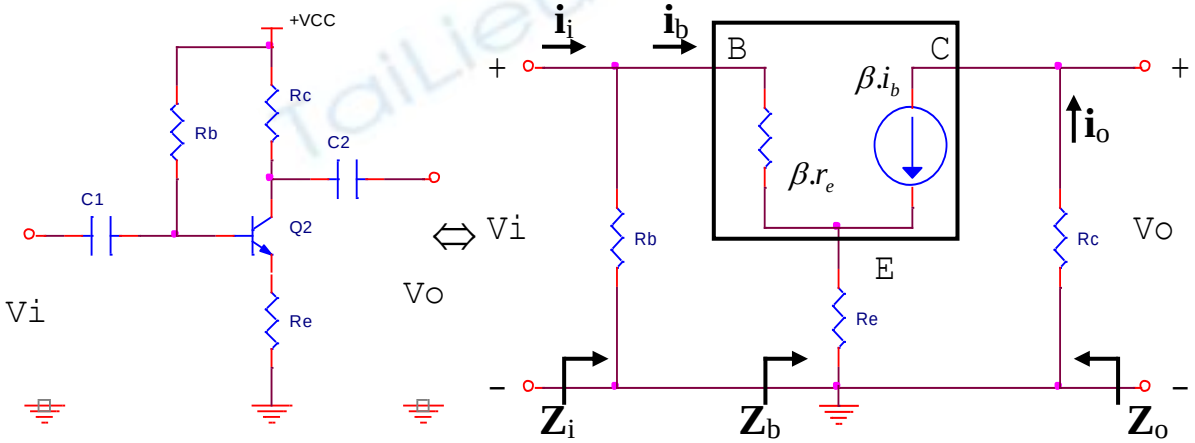
- Mạch thu – phát (C – E):

$$V_{CE} = V_{CC} - R_c.I_c - R_c.I_e$$

Vì $I_c \approx I_e \Rightarrow V_{CE} \approx V_{CC} - (R_c + R_e).I_c$ (1.10)

2.2. Mạch tương đương

Sơ đồ mắc mạch E - C như hình1.6a và 1.6b



Hình 1.6a: Cách mắc mạch kiểu E-C *Hình 1.6b: Sơ đồ tương đương mạch E-C*

Trị số β do nhà sản xuất cho biết

Trị số r_e được tính từ mạch phân cực: $r_e = \frac{26mV}{I_c}$

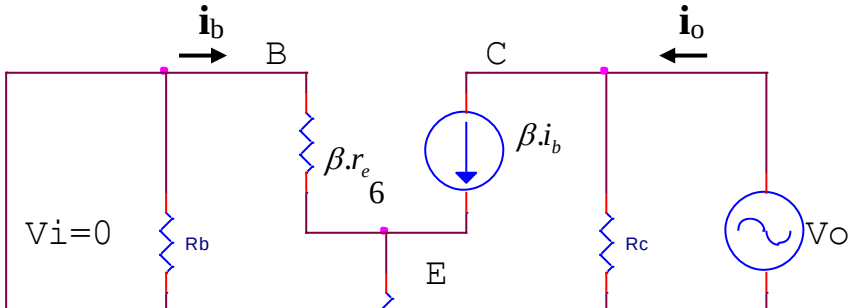
2.3. Các thông số kĩ thuật của mạch:

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

Ta đặt $Z_b = \frac{v_i}{i_b} = \frac{\beta.r_e.i_b + (1+\beta)R_e.i_b}{i_b} \approx \beta(r_e + R_E) \approx \beta.R_E \Rightarrow Z_i = R_b // Z_b$ (1.11)

- Tổng trở ngõ ra: $Z_0 = \frac{v_0}{i_0}$

Để tính tổng trở ra của mạch, đầu tiên ta nối tắt ngõ vào (v_i=0); áp một nguồn giả tưởng có trị số v_0 vào phía ngõ ra như hình 1.7, xong lập tỉ số $Z_0 = \frac{v_0}{i_0}$



Khi v_i=0 $\Rightarrow$ i_b = 0 $\Rightarrow$ $\beta.i_b$=0 (tương đương mạch hở) nên $Z_0 = \frac{v_0}{i_0} = R_C$ (1.12)

- Độ khuếch đại điện áp (Độ lợi điện áp):

Ta có: $v_0 = -\beta.i_b.R_C$; $v_i = \beta.i_b.r_e + (1+\beta).R_e.i_b \Rightarrow A_V = \frac{v_0}{v_i} = -\frac{\beta.R_C}{\beta.r_e + (1+\beta).R_e}$

Do β >> 1 nên $A_V \approx -\frac{R_C}{r_e + R_e}$ (1.2.4).

Nếu R_e >> r_e $\Rightarrow$ $A_V \approx -\frac{R_C}{R_e}$ (1.13)

Dấu - cho thấy v_0 và v_i ngược pha

- Độ khuếch đại dòng điện (Độ lợi dòng điện): $A_i = \frac{i_0}{i_i}$

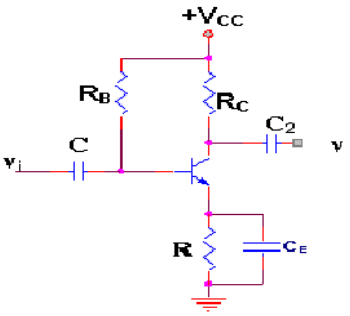
$i_0 = -\frac{v_0}{R_C}$; $i_i = \frac{v_i}{Z_i} \Rightarrow A_i = -\frac{v_0}{v_i}\frac{Z_i}{R_C}$ (1.14)

Hay $A_i = -A_V.\frac{Z_i}{R_C}$

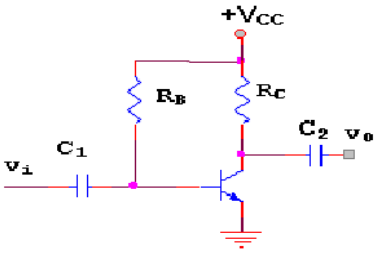
2.4. Tính chất *Mạch này có một số tính chất sau:*

- Tín hiệu được đưa vào cực B và lấy ra trên cực C.
- Tín hiệu ngõ vào và ngõ ra ngược pha (đảo pha).
- Hệ số khuếch đại dòng điện $A_i = i_0 \setminus i_i = \beta$ lớn từ vài chục đến hàng trăm lần.
- Hệ số khuếch đại điện áp $A_V = v_0 \setminus v_i$ lớn cỡ hàng trăm lần.
- Tổng trở ngõ vào khoảng vài trăm Ω đến vài KΩ.
- Tổng trở ngõ ra khoảng vài kΩ đến hàng trăm kΩ.
- Dải thông của mạch hẹp.

Chú ý: Trong mạch cơ bản hình 1.5 nếu ta mắc thêm tụ phân dòng C_E (như hình 1.8) hoặc nối thẳng chân E xuống mass (như hình 1.9) thì trong mạch tương đương xoay chiều sẽ không còn sự hiện diện của điện trở R_E .



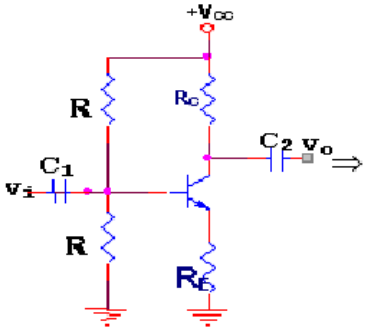
Hình 1.8.



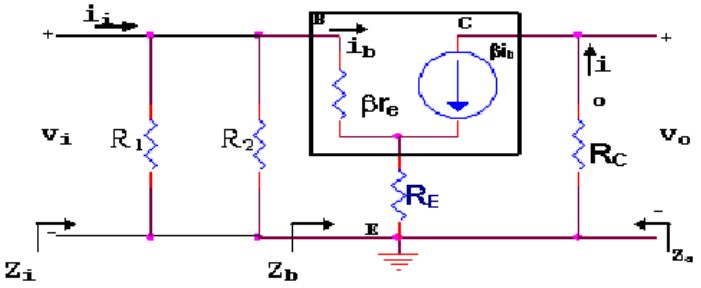
Hình 1.9

- Mạch khuếch đại E - C với kiểu phân cực bằng cầu chia điện thế và ổn định cực phát. Đây là dạng mạch rất thông dụng do có độ ổn định tốt. Mạch cơ bản như hình 1.10 và mạch tương đương xoay chiều như hình 1.11

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



Hình 1.10



Hình 1.11

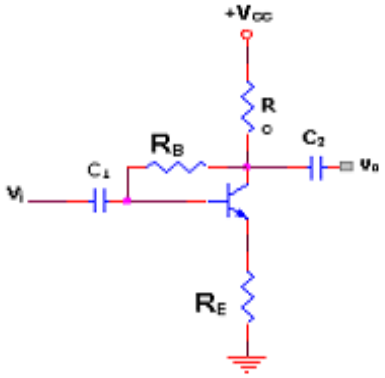
$$A_V = -\frac{R_c}{r_e + R_e} \approx \frac{R_c}{R_e} \qquad (1.15)$$

$$Z_i = R_1 // R_2 // Z_b \qquad (1.16) \text{ với } Z_b = \beta(r_e + R_e) \approx \beta.R_e$$

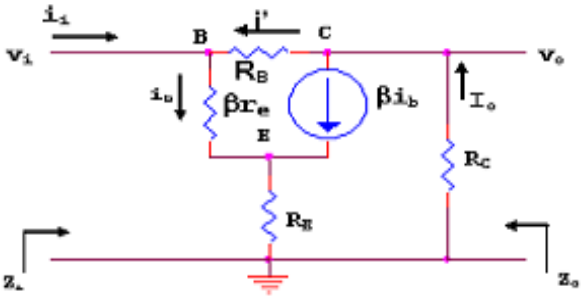
$$Z_0 = R_c \qquad (1.17)$$

$$A_i = -A_V \frac{Z_i}{R_c} \qquad (1.18)$$

- Mạch khuếch đại cực phát chung phân cực bằng hồi tiếp điện thế và ổn định cực phát. Mạch tổng quát như hình 1.12 và mạch tương đương xoay chiều được vẽ ở hình 1.13



Hình 1.12



Hình 1.13

+ Hệ số khuếch đại điện áp : $A_V = \frac{v_0}{v_i}$

Ta có $i_0 = \beta.i_b + i' \approx \beta.i_b$ (do R_b có giá trị rất lớn)

$\Rightarrow v_0 = -R_c.i_0 = -\beta.R_c.i_b$

Mà $v_i = \beta.r_e.i_b + (1+\beta).R_e.i_b \approx \beta(r_e + R_e)i_b \Rightarrow A_V = \frac{v_0}{v_i} = -\frac{R_c}{r_e + R_e} \approx -\frac{R_c}{R_e}$ (1.19)

+ Tổng trở vào : $Z_i = \frac{v_i}{i_i}$; ta có $v_i = \beta(r_e + R_e)i_b$ với $i_b = i_i + i' = i_i + \frac{v_0 - v_i}{R_b}$

$\Rightarrow v_i = \beta(r_e + R_e)i_i + \frac{\beta(r_e + R_e)v_0}{R_b} - \frac{\beta(r_e + R_e)v_i}{R_b}$

Thay $v_0 = v_i.A_v$ vào ta được :

$v_i = \beta(r_e + R_e)i_i + \frac{\beta(r_e + R_e)}{R_b}.v_i.A_v - \frac{\beta(r_e + R_e)v_i}{R_b}$

$\Rightarrow \beta(r_e + R_e)i_i = v_i + \frac{\beta(r_e + R_e)}{R_b}.v_i.(1 - A_v) = v_i[1 + \frac{\beta(r_e + R_e)}{R_b}(1 - A_v)]$

$Z_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{\beta(r_e + R_e)}{1 + \frac{\beta(r_e + R_e)}{R_b}(1 - A_V)}$

Nếu $R_e >> r_e \Rightarrow Z_i \approx \frac{\beta.R_e}{1 + \frac{\beta.R_e}{R_b}(1 - A_V)}$

Do $A_V < 0 \Rightarrow 1 - A_V = 1 + |A_V| \approx |A_V|$ vì $|A_V| >> 1$

$\Rightarrow Z_i = \frac{\beta.R_e.R_b}{R_b + \beta.R_e.|A_V|}$ (1.20)

+ Hệ số khuếch đại dòng điện : $A_i = \frac{i_0}{i_i}$

$i_0 = -\frac{v_0}{R_c}$; $i_i = \frac{v_i}{Z_i}$ $\Rightarrow A_i = \frac{i_0}{i_i} = -\frac{v_0}{v_i}\frac{Z_i}{R_c}$

Hay $A_i = -A_V \frac{Z_i}{R_c}$ (1.21)

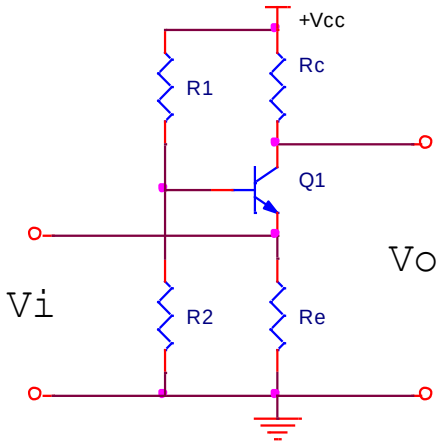
+ Tổng trở ra : $Z_0 = \frac{v_0}{i_0}$; nối tắt ngõ vào ($v_i = 0$)

$\Rightarrow i_b = 0$ và $\beta.i_b = 0$

$\Rightarrow Z_0 = R_c // R_b$

3. MẠCH MẮC KIỂU B – C:

3.1. Mạch điện cơ bản : Hình 1.14



Hình 1.14. Sơ đồ cấu tạo mạch transistor mắc theo kiểu B-C

Trong đó: V_i: Ngõ vào

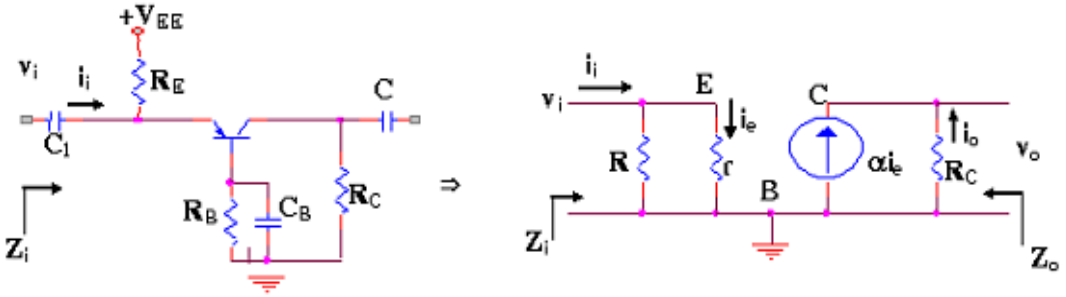
V_o: Ngõ ra

R_c: Điện trở tải

R_e: Điện trở ngõ vào

R_{b1}, R_{b2}: điện trở phân cực

3.2. Mạch điện tương đương



Hình 1.15a: Cách mắc mạch B-C *Hình 1.15b: Sơ đồ tương đương mạch B-C*

Trên sơ đồ mạch hình 1.15a là sơ đồ mạch transistor mắc theo kiểu B-C của transistor pnp. Vì $i_c = \alpha.i_e$ nên giữa hai cực B vàc C được thay thế bằng một nguồn dòng có giá trị là α .i_e. Với sự thay thế đó ta có sơ đồ tương đương như hình 1.15b

Khi transistor được phân cực và hoạt động ở vùng khuếch đại thì tiếp giáp BE được phân cực thuận. Khi đó diode D tương đương với một điện trở có giá trị bằng điện trở thuận của diode , điện trở này được ký hiệu là r_e và được tính: $r_e = \frac{v_T}{i_e}$. Với v_T là điện áp nhiệt, ở nhiệt độ bình thường V_T = 26mV, do đó:

$$r_e = \frac{26mV}{i_e}$$

3.3. Các thông số cơ bản

- Tổng trở ngõ vào: $$Z_i = \frac{v_i}{i_i} = R_E // r_e \approx R_E \qquad (1.22)$$

- Tổng trở ngõ ra: $Z_0 = \frac{v_0}{i_0} = R_C$ (1.23)

- Độ khuếch đại điện áp: $A_v = \frac{v_0}{v_i} = \frac{\alpha.i_e.R_C}{r_e.i_e} = \alpha\frac{R_C}{r_e} \approx \frac{R_C}{r_e}$ (1.24)

- Độ khuếch đại dòng điện: $A_i = \frac{i_0}{i_i} = \frac{-\frac{v_0}{R_C}}{\frac{v_i}{Z_i}} = -A_V.\frac{Z_i}{R_C} \approx -\frac{R_C}{r_e}.\frac{r_e}{R_C} = -1.$ (1.25)

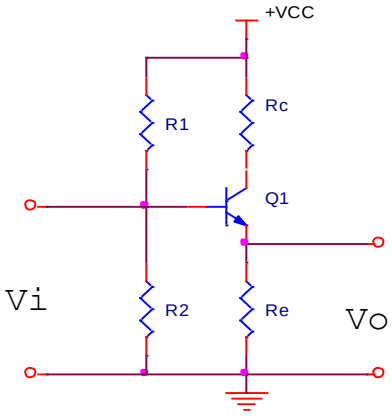
3.4. Tính chất: *Mạch này có một số tính chất sau*:

- Tín hiệu được đưa vào cực E và lấy ra trên cực C.
- Tín hiệu ngõ vào và ngõ ra đồng pha.
- Tổng trở ngõ vào nhỏ từ vài chục Ω đến vài trăm Ω.
- Tổng trở ra rất lớn từ vài chục kΩ đến hàng MΩ.
- Hệ số khuếch đại dòng điện $A_i = \frac{i_0}{i_i} = \frac{i_c}{i_e} = \frac{\beta}{\beta+1} \approx 1.$
- Hệ số khuếch đại điện áp A_V lớn cỡ hàng trăm lần.
- Dải thông của mạch rộng.

4. MẠCH MẮC THEO KIỂU C - C

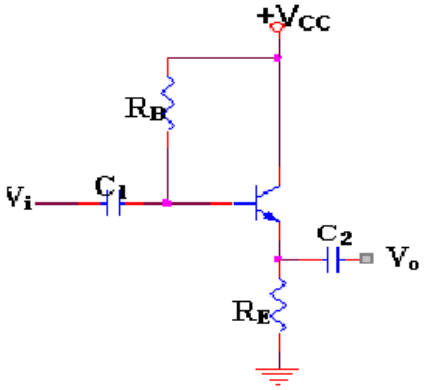
4.1. Mạch điện cơ bản

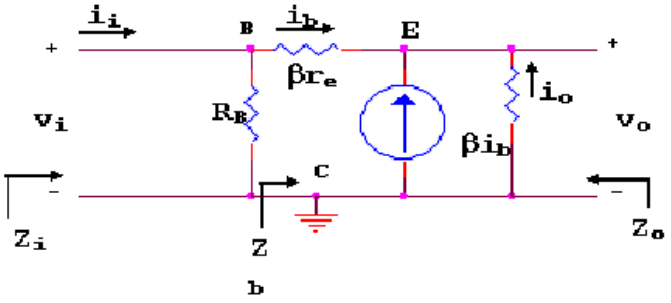
Trong đó: V_i: Ngõ vào
V_o: Ngõ ra
R_c: Điện trở tải
R_e: Điện trở ngõ ra
R_{b1}, R_{b2}: điện trở phân cực



Hình 1.16: Sơ đồ cấu tạo mạch mắc theo kiểu C-C

4.2. Mạch tương đương: hình 1.17





Hình 1.17 a: Cách mắc mạch C-C *b: Mạch tương đương cách mắc C-C*

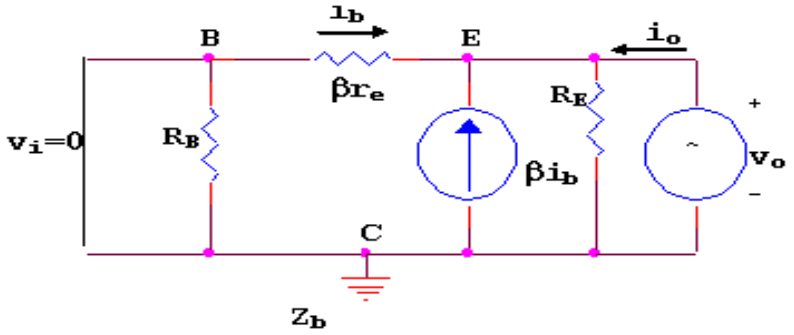
4.3. Các thông số cơ bản

- Tổng trở ngõ vào:

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

$$\Rightarrow Z_i = \frac{v_i}{i_i} = R_B // \beta(r_e + R_{E_e}) \approx R_B // \beta.R_E. \qquad (1.26)$$

- Tổng trở ngõ ra: Nối tắt ngõ vào (v_i=0), áp 1 điện thế v_o ở ngõ ra



Hình 1.18. Mạch tương đương nối tắt ngõ vào (v_i = 0)

Ta có $$i_0 = \frac{v_0}{R_E} - i_b - \beta.i_b = \frac{v_0}{R_E} = -(1+\beta).i_b$$

$$i_b = -\frac{v_0}{\beta.r_e} \Rightarrow i_0 = \frac{v_0}{R_E} + \frac{1+\beta}{\beta.r_e}.v_0 \approx (\frac{1}{R_E} + \frac{1}{r_e}).v_0$$

$$\Rightarrow \frac{1}{Z_0} = \frac{i_0}{v_0} = \frac{1}{R_E} + \frac{1}{r_e} \Rightarrow Z_0 = R_E // r_e \qquad (1.27)$$

- Độ khuếch đại điện áp:

$$A_V = \frac{v_0}{v_i} = \frac{(1+\beta).R_E.i_b}{\beta.r_e.i_b + (1+\beta).R_E.i_b} \approx \frac{R_E}{r_e + R_E} \approx 1 \qquad (1.28)$$

- Độ khuếch đại dòng điện:

$$A_i = \frac{i_0}{i_i} = \frac{-\frac{v_0}{R_E}}{\frac{v_i}{Z_i}} = -A_V.\frac{Z_i}{R_E} \qquad (1.4.4)$$

4.4. Tính chất: *Mạch có một số tính chất sau:*

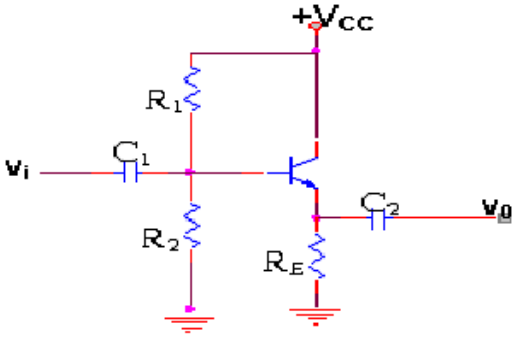
- Tín hiệu được đưa vào cực B và lấy ra trên cực E.
- Tín hiệu ngõ vào và ngõ ra đồng pha.
- Hệ số khuếch đại dòng điện lớn tới vài chục đến hàng trăm lần.

$$A_i = \frac{i_0}{i_i} = \frac{i_e}{i_b} = \beta + 1$$

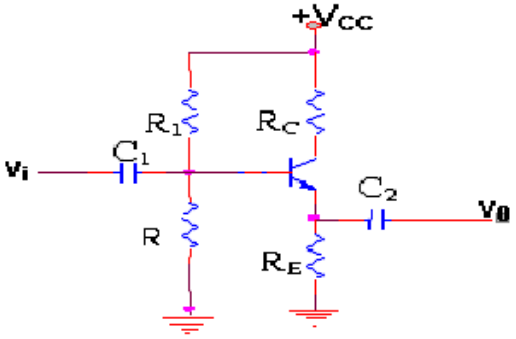
- Hệ số khuếch đại điện áp: $A_V = \frac{v_0}{v_i} = \frac{v_E}{v_B} \approx 1$
- Tổng trở ngõ vào từ vài kΩ đến vài chục kΩ.
- Tổng trở ngõ ra nhỏ từ vài chục Ω đến vài trăm Ω.
- Dải thông của mạch trung bình.

Chú ý: - Mạch khuếch đại C - C cũng có thể được phân cực bằng cầu chia điện thế như hình 1.19. Các công thức trên mạch phân giải trên vẫn đúng, chỉ cần thay $R_B=R_1//R_2$.

- Mạch cũng có thể được mắc thêm 1 điện trở R_C như hình 1.20. Các công thức trên vẫn đúng khi thay $R_B=R_1//R_2$. Tổng trở vào Z_i và tổng trở ra Z_0 không thay đổi vì R_C không làm ảnh hưởng đến cực nền và cực phát. R_C đưa vào chỉ làm ảnh hưởng đến việc xác định điểm tĩnh điều hành.



Hình 1.19



Hình 1.20

BÀI TẬP CHƯƠNG I

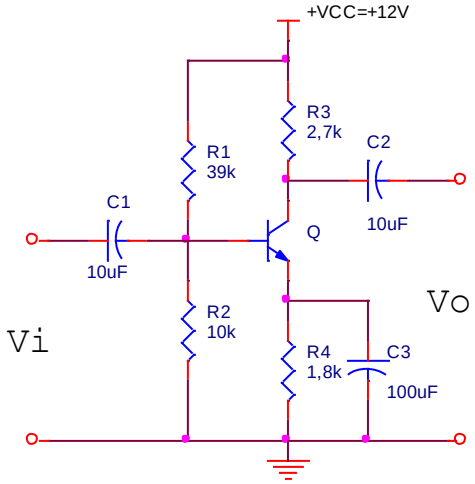
Bài 1: Trong mạch điện hình 1.21 có $\beta = 100$

a. Xác định các trị phân cực I_B, I_C, V_E, V_{CE} .

b. Vẽ mạch tương đương xoay chiều với tín hiệu nhỏ (không có C_3)

c. Tính tổng trở vào Z_i và độ lợi điện thế của mạch (không có C_3) $A_V = \frac{v_0}{v_i}$

d. Lập lại câu b, c khi mắc C_3 vào mạch



Hình 1.21

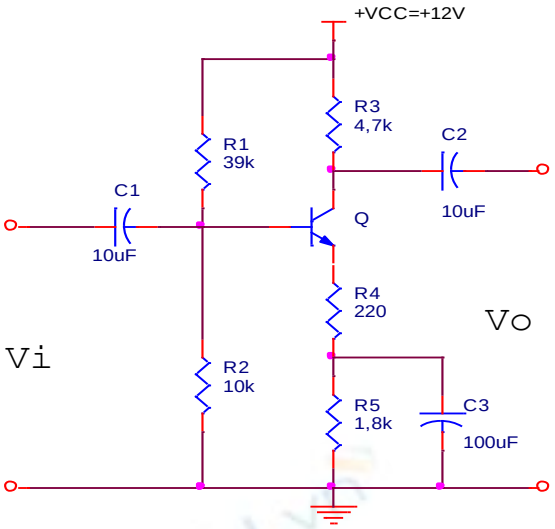
Bài 2: Trong mạch điện hình 1.22 có $\beta = 100$

a. Vẽ mạch tương đương xoay chiều với tín hiệu nhỏ

b. Thiết lập công thức tính Z_i, A_V

c . Áp dụng bằng số để tính Z_i và A_V

d. Lập lại câu b, c khi mắc C_3 vào mạch



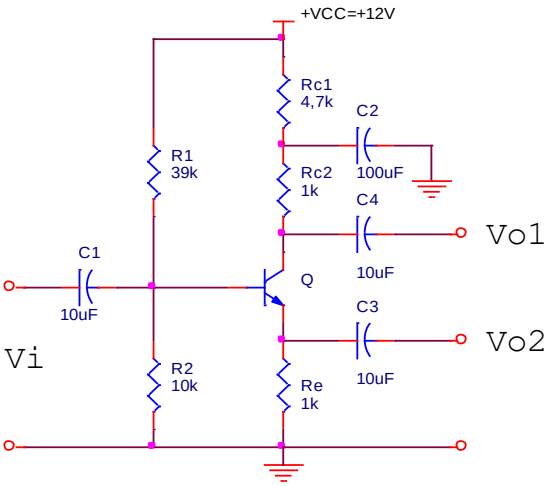
Hình 1.22

Bài 3: Trong mạch điện hình 1.23 có $\beta = 100$

a. Xác định $A_{V1} = \frac{v_{01}}{v_i}$

b. Xác định $A_{V2} = \frac{v_{02}}{v_i}$

c. Nhận xét gì giữa v_{o1} và v_{o2}



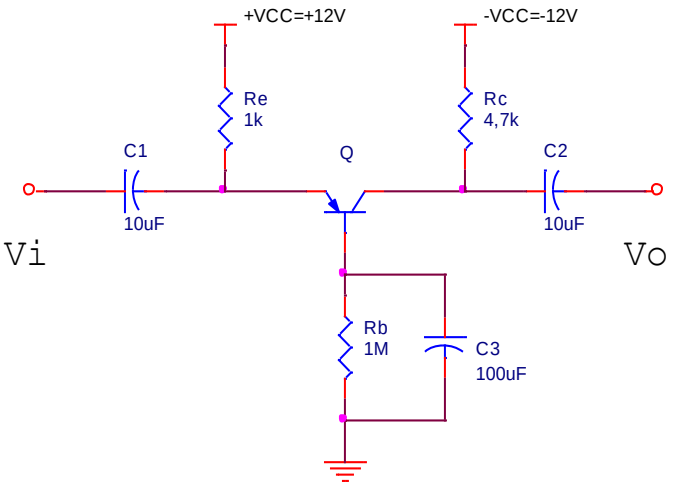
Hình 1.23

Bài 4: Trong mạch điện hình 1.24 có $\beta = 100$

a. Vẽ mạch tương đương xoay chiều với tín hiệu nhỏ

b. Thiết lập công thức tính tổng trở vào Z_i và độ lợi điện thế A_v

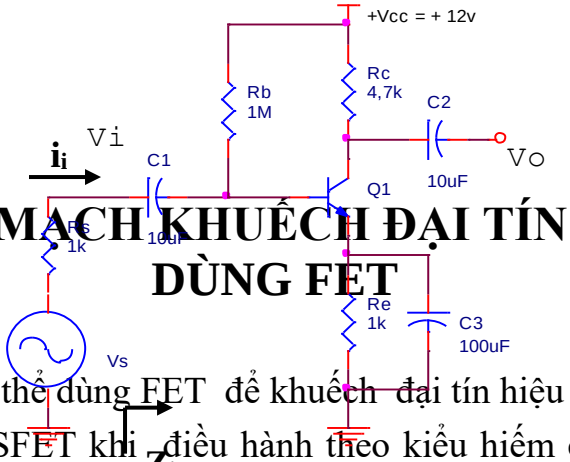
c. Áp dụng bằng số để tính Z_i và A_v.



Hình 1.24

Bài 5: Trong mạch điện hình 1.25 có $\beta = 100$

Xác định $A_{Vs} = \frac{v_0}{v_s}$; $A_V = \frac{v_0}{v_i}$; $Z_i = \frac{v_i}{i_i}$



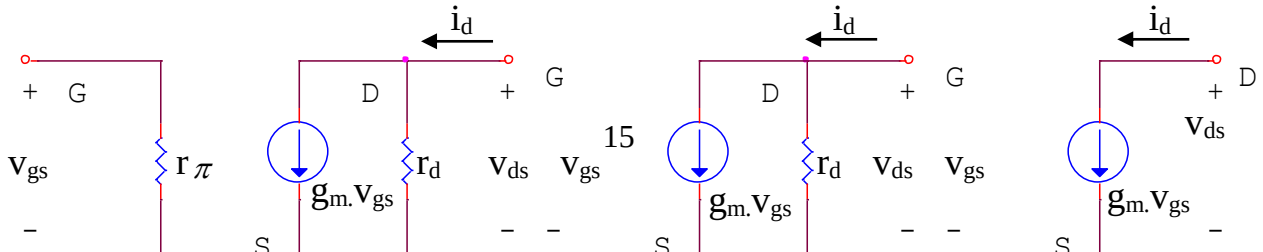
Hình 1.25

CHƯƠNG 2 MẠCH KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ DÙNG FET

Người ta cũng có thể dùng FET để khuếch đại tín hiệu nhỏ như ở BJT.

JFET và DE-MOSFET khi điều hành theo kiểu hiếm có dạng mạch giống nhau. Điểm khác nhau chủ yếu ở JFET và DE-MOSFET là tổng trở vào của DE-MOSFET lớn hơn nhiều. Trong lúc đó ở BJT, sự thay đổi dòng điện ngõ ra (dòng cực thu) được điều khiển bằng dòng điện ngõ vào (dòng cực nền), thì ở FET, sự thay đổi dòng điện ngõ ra (dòng cực thoát) được điều khiển bằng một điện thế nhỏ ở ngõ vào (hiệu thế cổng nguồn V_{GS}). Ở BJT ta có độ lợi dòng điện β thì ở FET có độ truyền dẫn g_m.

Với tín hiệu nhỏ, mạch tương đương xoay chiều của FET như hình 2.1a, trong đó r_π là tổng trở vào của FET.



Hình 2.1. Mạch tương đương xoay chiều của FET

Ở JFET, r_π khoảng hàng chục đến hàng trăm MΩ, trong lúc ở MOSFET thường ở hàng trăm đến hàng ngàn MΩ. Do đó, thực tế người ta có thể bỏ r_π trong mạch tương đương (hình 2.1b).

r_d là tổng trở ra của FET, được định nghĩa:

$$r_d = \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_D}$$ với V_{GS} tùy thuộc vào điểm điều hành, r_d có thể thay đổi từ vài chục kΩ đến vài chục MΩ.

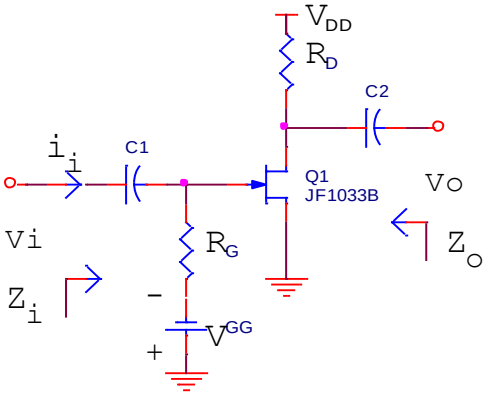
r_d và g_m thường được nhà sản xuất cho biết dưới dạng $r_d=1/y_{os}$; $g_m = y_{fs}$ ở một điểm điều hành nào đó.

Nếu trong mạch thiết kế, R_D (điện trở nối từ cực thoát lên nguồn) không lớn lắm (vài kΩ), ta có thể bỏ r_d trong mạch tương đương (hình 2.1c).

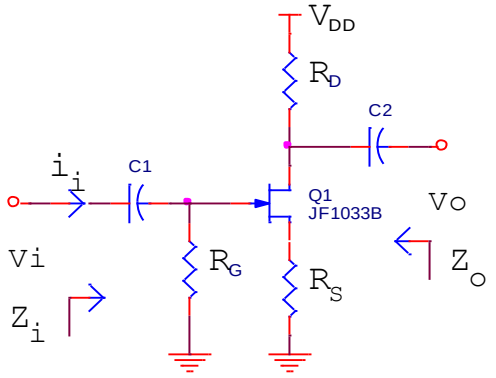
1. MẠCH KHUẾCH ĐẠI CỰC NGUỒN CHUNG (S – C)

1.1. Mạch điện cơ bản

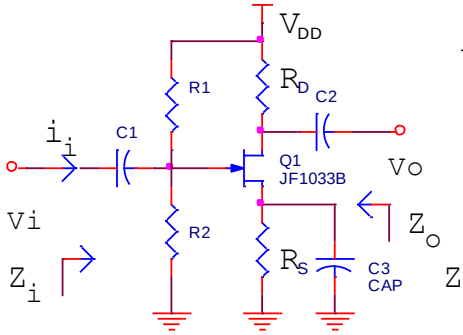
Có thể dùng mạch phân cực cố định (hình 2.2), mạch phân cực tự động (hình 2.3) hoặc mạch phân cực bằng cầu chia điện thế (hình 2.4).



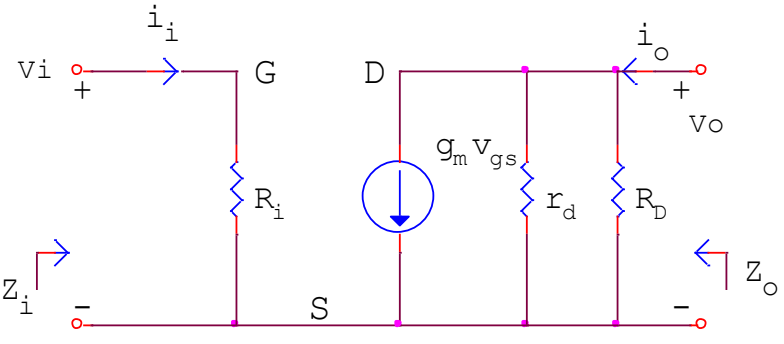
Hình 2.2. Phân cực cố định



Hình 2.3. Phân cực tự động



Hình 2.4. Phân cực bằng cầu chia điện thế



Hình 2.5. Mạch tương đương xoay chiều

Nguồn tín hiệu vào v_i có biên độ tín hiệu nhỏ nên điện áp V_{GS} luôn âm trong quá trình làm việc. Giá trị v_{gs} sẽ dao động quanh giá trị V_{GSO}. Khi V_{GS} thay đổi, I_D cũng thay đổi theo, V_{GS} càng âm thì dòng $i_d(t)$ càng giảm và ngược lại. Vậy $i_d(t)$ biến thiên cùng chiều với $v_{gs}(t)$.

Ta có $v_{ds}(t) = V_{DD} - i_d(t).R_D$ nên khi $i_d(t)$ biến thiên tăng thì $v_d(t)$ sẽ giảm. Nghĩa là sự thay đổi của $v_d(t)$ ngược chiều với sự thay đổi của dòng $i_d(t)$ tức là ngược chiều với sự thay đổi của tín hiệu vào $v_{gs}(t)$ hay nói cách khác tín hiệu ra ngược pha với tín hiệu vào.

1.2. Mạch điện tương đương (hình 2.5)

Trong đó $R_i = R_G$ ở hình 2.2 và 2.3; $R_i = R_1 // R_2$ ở hình 2.4.

1.3. Các thông số cơ bản : Phân giải mạch tương đương 2.5 ta tìm được:

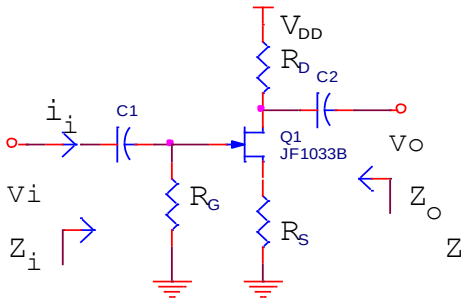
- Hệ số khuếch đại điện áp: $A_V = \frac{v_o}{v_i} = -g_m(R_D // r_d)$ (2.1)

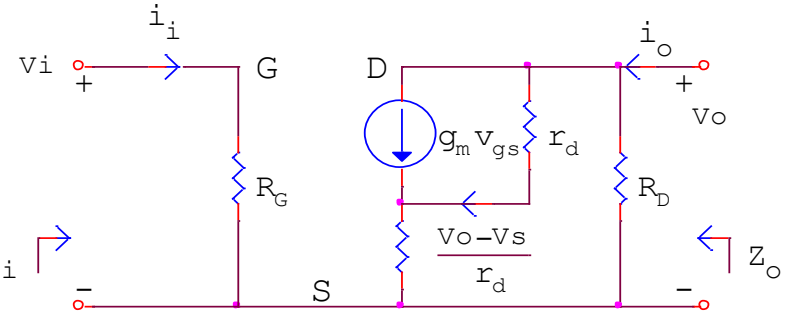
- Tổng trở vào : $Z_i = \frac{v_i}{i_i} = R_i$ (2. 2)

- Tổng trở ra : $Z_0 = r_d // R_D$ (2. 3)

**** Độ lợi điện thế của mạch khuếch đại cực nguồn chung với điện trở R_S :***

Giả sử ta xem mạch hình 2.6 với mạch tương đương hình 2.7.





Hình 2.6. Mạch phân cực tự động *Hình 2.7. Mạch tương đương xoay chiều*

Ta có: $i_0 = g_m.v_{gs} + \frac{v_0 - v_s}{r_d} = g_m.v_{gs} + \frac{-i_0.R_D - i_0.R_S}{r_d}$

Vì $v_{gs} = v_i - i_0.R_S$; nên $i_0 = g_m(v_i - i_0.R_S) + \frac{-i_0.R_D - i_0.R_S}{r_d}$

$$\Rightarrow i_0 = \frac{g_m.v_i}{1 + g_m.R_S + \frac{R_D + R_S}{r_d}} = -\frac{v_0}{R_D} \quad \Rightarrow A_V = \frac{v_0}{v_i} = -\frac{g_m.R_D}{1 + g_m.R_S + \frac{R_D + R_S}{r_d}}$$

Nếu ta bỏ r_d trong mạch tương đương : $A_V = -\frac{g_m.R_D}{1 + g_m.R_S}$ (2.4)

1.4. Tính chất

- Tín hiệu vào và tín hiệu ra ngược pha nhau.
- Trở kháng vào vô cùng lớn $Z_i = R_G \approx \infty$.

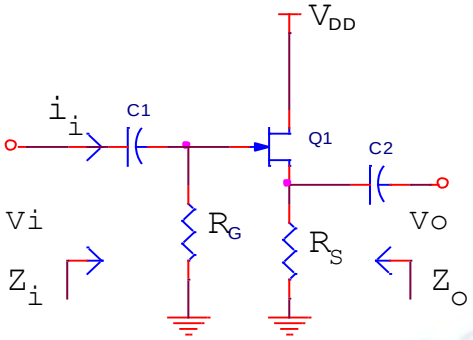
- Trở kháng ra $Z_0 = R_D // r_d$.

- Hệ số khuếch đại điện áp lớn.

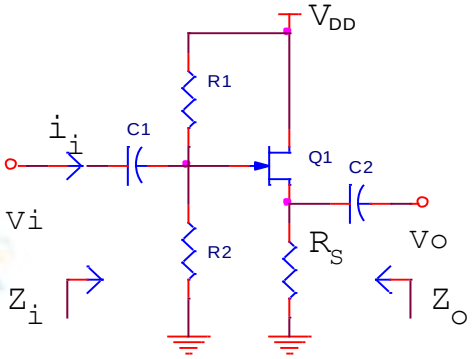
2. MẠCH KHUẾCH ĐẠI CỰC MÁNG CHUNG (D – C)

2.1. Mạch điện cơ bản

Ta có thể dùng mạch phân cực tự động hoặc phân cực bằng cầu chia điện áp như hình 2.8 và hình 2.9.



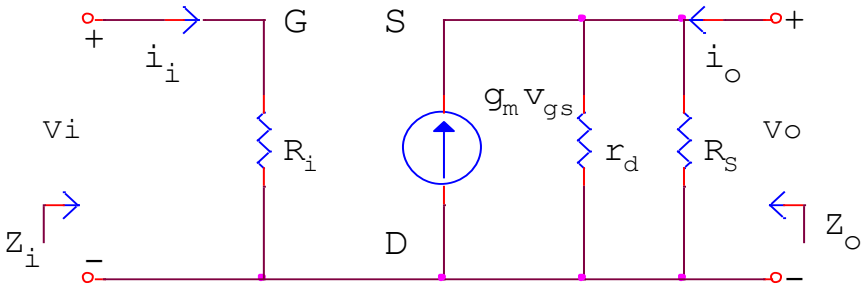
Hình 2.8. Mạch phân cực tự động.



Hình 2.9. Mạch phân cực cầu chia điện áp

Khi đưa tín hiệu vào $v_i(t)$ vào cực G sẽ làm cho V_{GS} thay đổi, dẫn đến dòng I_D thay đổi. Dòng $i_d(t)$ thay đổi làm cho điện áp ra $v_0 = i_d(t).R_S$ cũng thay đổi. Trong mạch này tín hiệu vào v_i và tín hiệu ra v_0 đồng pha nhau vì khi $v_{gs}(t)$ biến thiên thì dòng i_d cũng tăng và v_0 cũng tăng.

2.2. Mạch điện tương đương



Hình 2.10. Mạch tương đương xoay chiều

Mạch tương đương xoay chiều được vẽ ở hình 2.10. Trong đó: R_i=R_G trong hình 2.8 và $R_i = R_1 // R_2$ trong hình 2.9.

2.3. Các thông số cơ bản

- Hệ số khuếch đại điện áp: Ta có : $v_0 = (g_m v_{gs})(R_S // r_d)$

$$v_{gs} = v_i - v_0 \quad \Rightarrow A_V = \frac{v_0}{v_i} = \frac{g_m(R_S // r_d)}{1 + g_m(R_S // r_d)} < 1. \quad (2.5)$$

- Tổng trở vào : $Z_i = R_i$.

- Tổng trở ra : ta thấy R_S song song với r_d và song song với nguồn dòng điện $g_m v_{gs}$. Nếu ta thay thế nguồn dòng điện này bằng một nguồn điện thế nối tiếp với

điện trở $1/g_m$ và đặt nguồn điện thế này bằng 0 trong cách tính Z_0 ta tìm được tổng trở ra của mạch : $Z_0 = R_S // r_d // \frac{1}{g_m}$. (2.6)

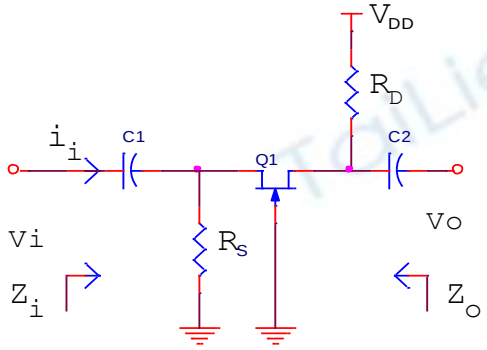
2.4. Tính chất

- Tín hiệu vào và tín hiệu ra đồng pha nhau.
- Trở kháng vào rất lớn (hơn cả trong sơ đồ SC).
- Trở kháng ra rất nhỏ.
- Hệ số khuếch đại điện áp nhỏ hơn 1.

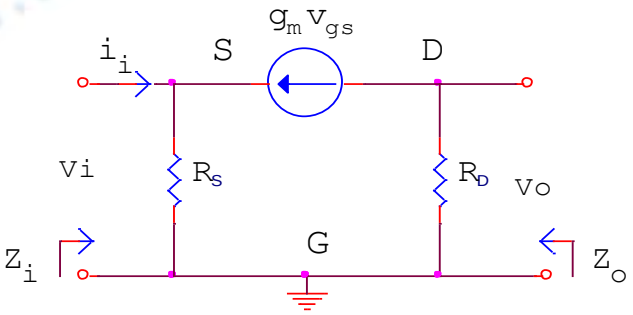
3. MẠCH KHUẾCH ĐẠI CỰC CỔNG CHUNG (G – C)

3.1. Mạch điện cơ bản

Mạch điện hình 2.11 với tín hiệu vào v_i được đưa vào cực S và tín hiệu ra v_0 được lấy ra tại chân D



Hình 2.11. Mạch phân cực tự động



Hình 2.12. Mạch tương đương xoay chiều

3.2. Mạch điện tương đương

Được thể hiện trên hình 2.12

3.3. Các thông số cơ bản

Từ mạch tương đương xoay chiều ta thấy :

$$v_{gs} = -v_i \quad ; \quad v_0 = -g_m.v_{gs}.R_D = g_m.v_i.R_D$$

$$\Rightarrow A_V = \frac{v_0}{v_1} = g_m.R_D \qquad (2.7)$$

Ngoài ra : $i_i = \frac{v_i}{R_S} - g_m.v_{gs} = \frac{v_i}{R_S} + g_m.v_i = v_i(g_m + \frac{1}{R_S})$

$$\Rightarrow Z_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{R_S}{1 + g_m.R_S} = R_S // \frac{1}{g_m} \qquad (2.8)$$

Và $Z_0 = R_D$ (2.9)

Nếu đưa r_d vào mạch tương đương thì :

$$A_V = g_m(R_D // r_d) \; ; \; Z_i = R_S // \frac{1}{g_m} \; ; \; Z_0 = R_D // r_d$$

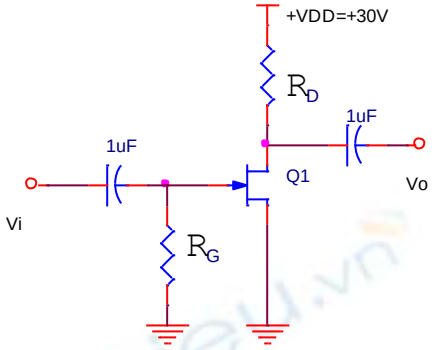
3.4. Tính chất

Mạch này rất ít được sử dụng vì trở kháng vào rất nhỏ ($Z_i = R_S // 1/g_m$), trở kháng ra lớn ($Z_0 = R_D // r_d$) không sử dụng được các ưu điểm của FET.

Chú ý : Thiết kế mạch khuếch đại dùng FET

Vấn đề thiết kế mạch khuếch đại dùng FET ở đây giới hạn ở chỗ tìm các điều kiện phân cực, các trị số của linh kiện thụ động để có được độ lợi điện thế mong muốn.

Ví dụ: Thiết kế mạch khuếch đại phân cực tự động dùng JFET như hình 2.13 sao cho hệ số khuếch đại điện áp bằng 10.



Hình 2.13

I_{DSS} = 10mA ; $V_{GS(off)}$ = - 4V ; $r_d = \infty$

Vì mạch phân cực ở V_{GS} = 0 nên : $g_m = g_{m0} = -\frac{2.I_{DSS}}{V_{GS}(off)} = 5mA/V$

$$A_V = \frac{v_0}{v_i} = -g_m.R_D = -10 \Rightarrow R_D = -\frac{A_V}{g_m} = 2k\Omega$$

BÀI TẬP CHƯƠNG 2

Bài 1: Hãy thiết kế một mạch phân cực tự động dùng JFET có I_{DSS}=8mA; V_{GS}(off) = -6V và điểm điều hành Q ở I_{DQ} = 4mA với nguồn cung cấp V_{DD}= +14v.

Chọn $R_D = 3R_S$.

Bài 2: Thiết kế một mạch phân cực bằng cầu chia điện thế dùng DE-MOSFET với I_{DSS} = 10mA, V_{GS}(off) = - 4v có điểm điều hành Q ở I_{DQ} = 2.5mA và dùng nguồn cấp điện V_{DD} = 24v. Chọn V_G = 4v và R_D=2.5R_S với R_1 = 22MΩ.

Bài 3: Tính Z_i, Z_0 và AV của mạch điện hình 2.14 với $r_d = \infty$