

Phần 2: ĐIỆN TỬ CƠ BẢN

Bài 9: KHUẾCH ĐẠI HỒI TIẾP

1. Khái niệm về hồi tiếp

1. Khái niệm về hồi tiếp

Hồi tiếp là lấy một phần hay toàn bộ tín hiệu ngõ ra (điện áp hoặc dòng điện) được đưa về trở lại ngõ vào để ổn định hoạt động của mạch. Hồi tiếp là công cụ vô cùng hữu ích trong rất nhiều ứng dụng, đặc biệt trong hệ thống điều khiển. Hệ thống điều khiển bao gồm tất cả các mạch điện ở đó ngõ ra được sử dụng để điều khiển hoặc hiệu chỉnh ngõ vào, từ đó lại cung cấp một ngõ ra như mong muốn. Có hai dạng hồi tiếp:

- **Hồi tiếp âm**: tín hiệu hồi tiếp ngược pha với tín hiệu vào nên làm giảm tín hiệu ngõ vào của mạch. Hồi tiếp âm được sử dụng để duy trì độ ổn định hệ số khuếch đại của mạch chống lại sự thay đổi các thông số của transistor do nhiệt độ, do điện áp nguồn cung cấp.
- **Hồi tiếp dương**: tín hiệu hồi tiếp cùng pha với tín hiệu vào nên làm tăng tín hiệu ngõ vào của mạch. Hồi tiếp dương thường được sử dụng cho các mạch tạo dao động.

1. Khái niệm về hồi tiếp

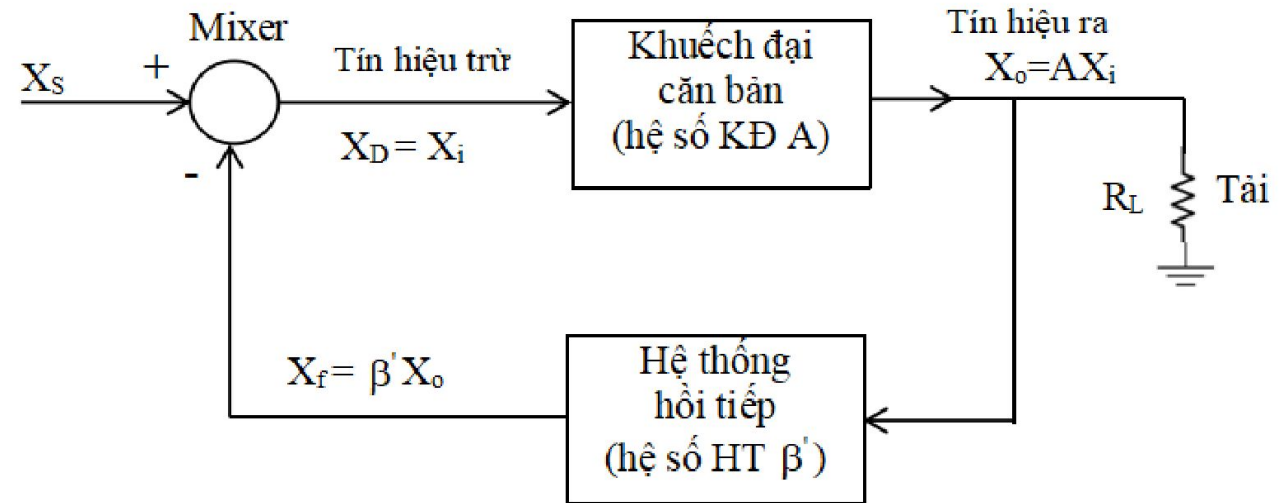
Sơ đồ khối mạch khuếch đại có hồi tiếp:

❖ Hồi tiếp dương:

$$X_i = X_s + X_f \text{ suy ra } X_s = X_i - X_f \quad (*)$$

❖ Hồi tiếp âm:

$$X_i = X_s - X_f \text{ suy ra } X_s = X_i + X_f \quad (**)$$



X_i (X_D): tín hiệu ngõ vào của mạch khuếch đại khi có hồi tiếp (có thể là điện áp hay dòng điện).

A : hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại căn bản (hay hệ số khuếch đại vòng hở của mạch khuếch đại vòng hở) khi chưa có hồi tiếp.

X_o : tín hiệu ngõ ra.

X_f : tín hiệu hồi tiếp.

β' : hệ số hồi tiếp (khác với ký hiệu β trong mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ).

A_f : độ lợi (hay hệ số khuếch đại) vòng kín của mạch khuếch đại khi có hồi tiếp.

1. Khái niệm về hồi tiếp

Hồi tiếp âm tuy có nhược điểm là làm giảm độ lợi truyền nhưng lại có một số ưu điểm nổi bật nên được ứng dụng rộng rãi:

- Ổn định hệ số khuếch đại: khi có hồi tiếp âm thì sự thay đổi các thông số của transistor sẽ giảm dẫn đến duy trì độ ổn định hệ số khuếch đại của mạch.
- Giảm méo dạng tín hiệu: khi transistor làm việc không tuyến tính thì méo dạng tín hiệu ở ngõ ra sẽ xuất hiện, đặc biệt tại những mạch có biên độ tín hiệu ngõ ra lớn. Hồi tiếp âm sẽ làm transistor hoạt động tuyến tính hơn.
- Cải thiện tổng trở vào và tổng trở ra.
- Giảm nhiễu: hồi tiếp âm làm tăng tỉ số nén tín hiệu trên nhiễu.

2. Phân loại mạch khuếch đại hồi tiếp

2. Phân loại mạch khuếch đại hồi tiếp

a) Theo dạng tín hiệu hồi tiếp

- **Mạch hồi tiếp điện áp**: mạch lấy điện áp ra để tạo điện áp hồi tiếp đưa trở lại ngõ vào.
- **Mạch hồi tiếp dòng điện**: mạch lấy dòng điện ra để tạo điện áp hồi tiếp đưa trở lại ngõ vào.

b) Theo cách ghép với tín hiệu vào

- **Hồi tiếp song song**: khi điện áp nguồn và điện áp hồi tiếp ghép song song nhau. Hay hồi tiếp song song là khi hai tín hiệu X_S và X_f cùng đưa vào một cực của transistor, ví dụ cực B của transistor.
- **Hồi tiếp nối tiếp**: khi điện áp nguồn tín hiệu và điện áp hồi tiếp ghép nối tiếp nhau. Hay hồi tiếp nối tiếp là khi hai tín hiệu X_S và X_f đưa vào hai cực khác nhau của một transistor. Ví dụ: X_S đưa vào cực B còn X_f đưa vào cực E của cùng một transistor.

2. Phân loại mạch khuếch đại hồi tiếp

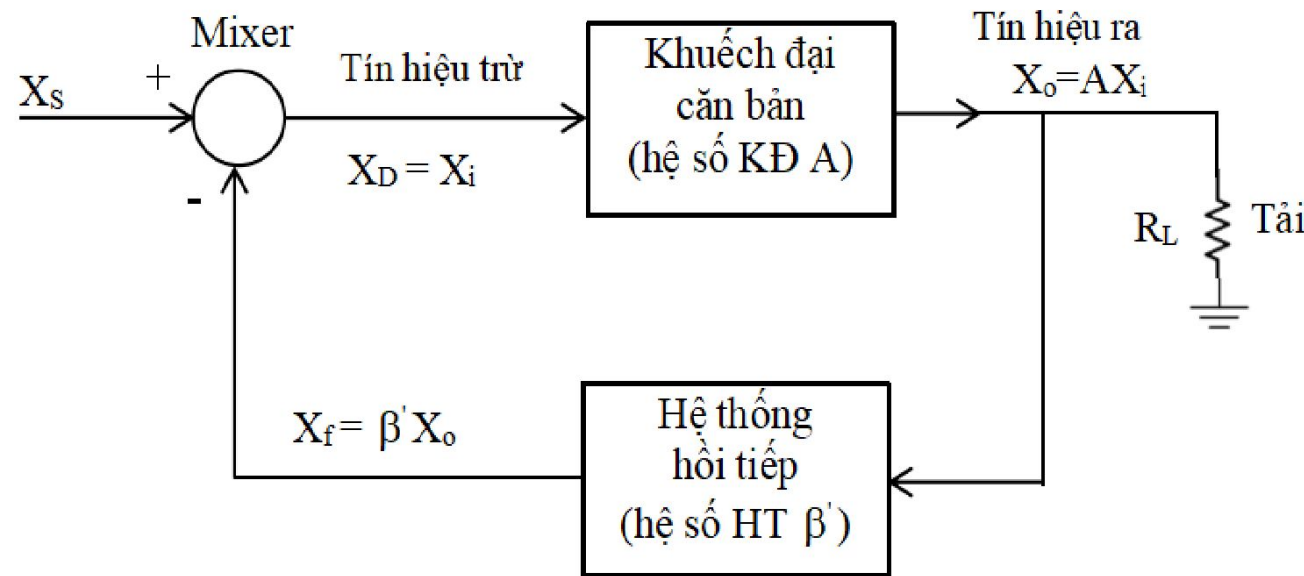
Như vậy cách phân loại mạch hồi tiếp như trên chúng ta có bốn dạng mạch hồi tiếp như sau:

- Hồi tiếp điện áp nối tiếp (khuếch đại điện áp A_{Vf})
- Hồi tiếp dòng điện song song (khuếch đại dòng điện A_{If})
- Hồi tiếp dòng điện nối tiếp (khuếch đại điện dẫn truyền G_{Mf})
- Hồi tiếp điện áp song song (khuếch đại điện trở truyền R_{Mf})

3. Phân giải mạch khuếch đại có hồi tiếp

3. Phân giải mạch khuếch đại có hồi tiếp

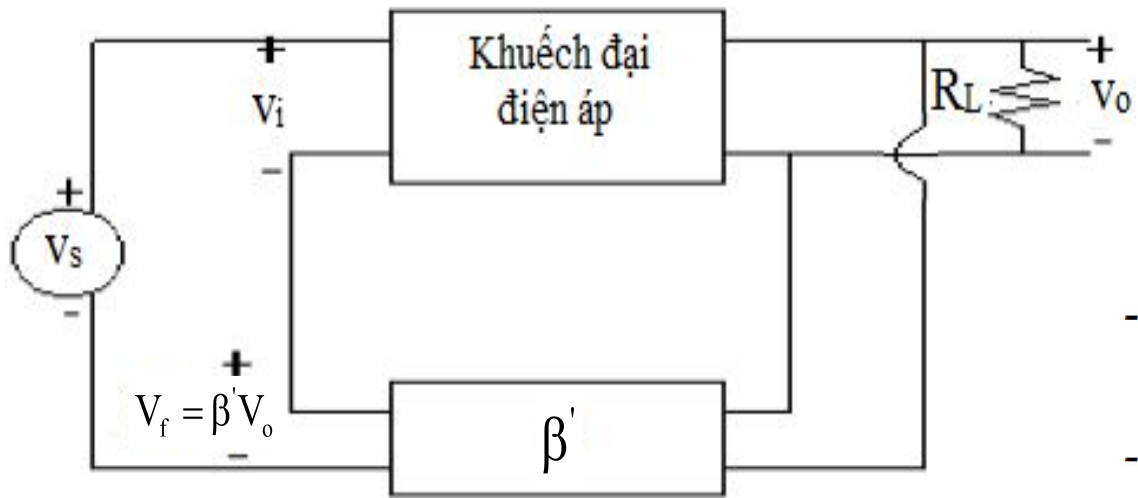
Để phân giải một mạch khuếch đại có hồi tiếp, ta có thể thay thế thành phần tích cực (BJT, FET, OP-AMP ...) bằng mạch tương đương tín hiệu nhỏ. Sau đó dùng định luật Kirchhoff để lập các phương trình liên hệ.



Trong mạch khuếch đại hồi tiếp trên có thể là một mạch khuếch đại điện áp, khuếch đại dòng điện, khuếch đại điện dẫn truyền hoặc khuếch đại điện trở truyền có hồi tiếp.

3. Phân giải mạch khuếch đại có hồi tiếp

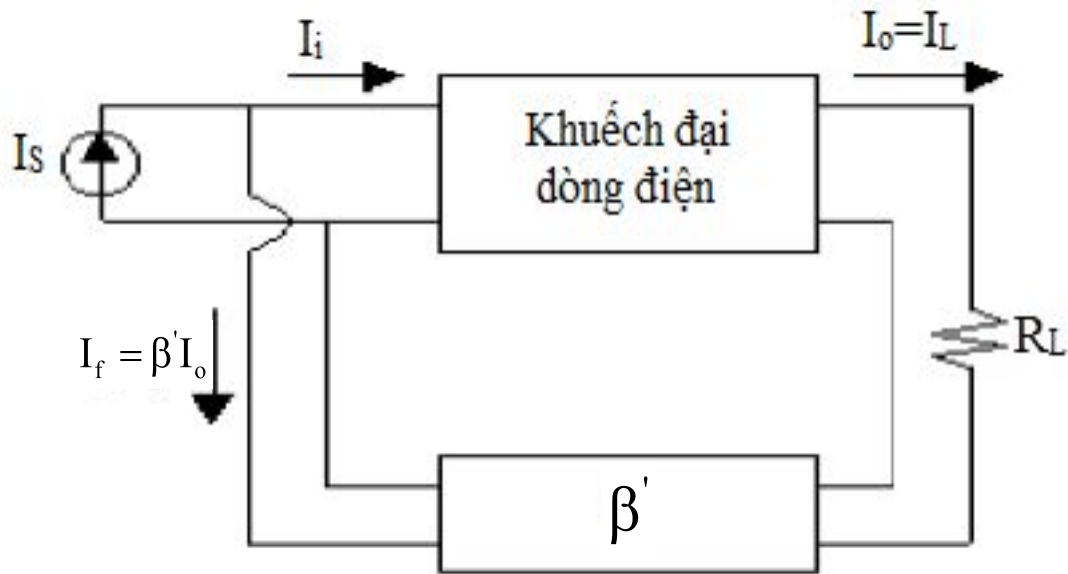
a) **Hồi tiếp điện áp nối tiếp**: lấy mẫu điện áp ở ngõ ra và tín hiệu hồi tiếp đưa về ngõ vào là điện áp V_f mắc nối tiếp với điện áp vào V_s . Mạch này ổn định điện áp ngõ ra theo điện áp ngõ vào, ổn định hệ số khuếch đại điện áp.



- Hệ số khuếch đại vòng hở: $A_v = \frac{V_o}{V_i}$ (khi chưa có hồi tiếp)
- Hệ số hồi tiếp: $\beta' = \frac{V_f}{V_o}$
- Hệ số khuếch đại vòng kín: $A_{vf} = \frac{V_o}{V_s}$ (khi có hồi tiếp)

3. Phân giải mạch khuếch đại có hồi tiếp

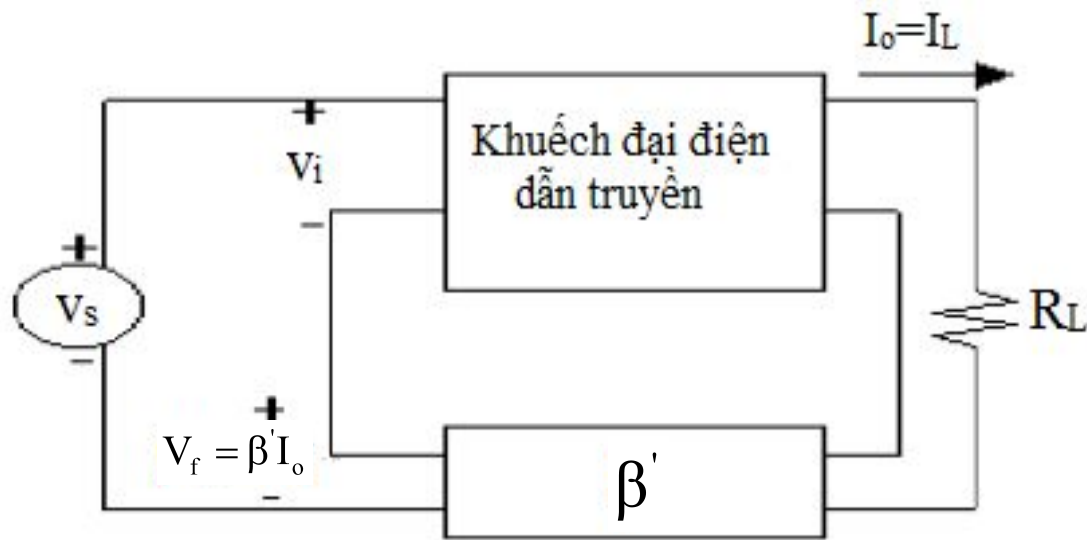
b) Hồi tiếp dòng điện song song: lấy mẫu dòng điện ở ngõ ra và tín hiệu hồi tiếp đưa về ngõ vào là dòng điện I_f mắc song song với dòng điện vào I_s . Mạch này ổn định dòng điện ngõ ra theo dòng điện ngõ vào, ổn định hệ số khuếch đại dòng điện.



- Hệ số khuếch đại vòng hở: $A_i = \frac{I_o}{I_i}$ (khi chưa có hồi tiếp)
- Hệ số hồi tiếp: $\beta' = \frac{I_f}{I_o}$
- Hệ số khuếch đại vòng kín: $A_{if} = \frac{I_o}{I_s}$ (khi có hồi tiếp)

3. Phân giải mạch khuếch đại có hồi tiếp

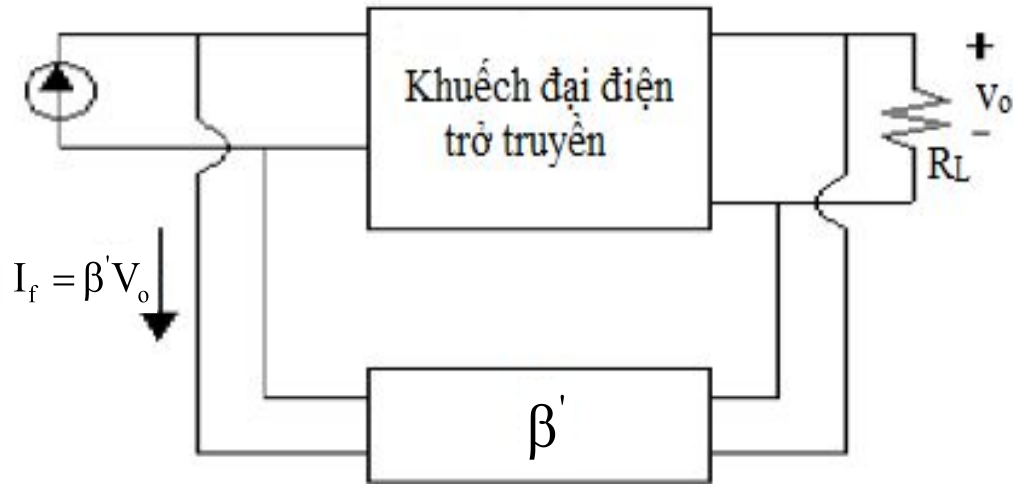
c) **Hồi tiếp dòng điện nối tiếp**: lấy mẫu dòng điện ở ngõ ra và tín hiệu hồi tiếp đưa về ngõ vào là điện áp V_f mắc nối tiếp với điện áp vào V_s . Mạch này ổn định dòng điện ngõ ra theo điện áp ngõ vào, ổn định hệ số khuếch đại điện dẫn truyền.



- Hệ số khuếch đại vòng hở: $G_M = \frac{I_o}{V_i}$ (khi chưa có hồi tiếp)
- Hệ số hồi tiếp: $\beta' = \frac{V_f}{I_o}$
- Hệ số khuếch đại vòng kín: $G_{Mf} = \frac{I_o}{V_s}$ (khi có hồi tiếp)

3. Phân giải mạch khuếch đại có hồi tiếp

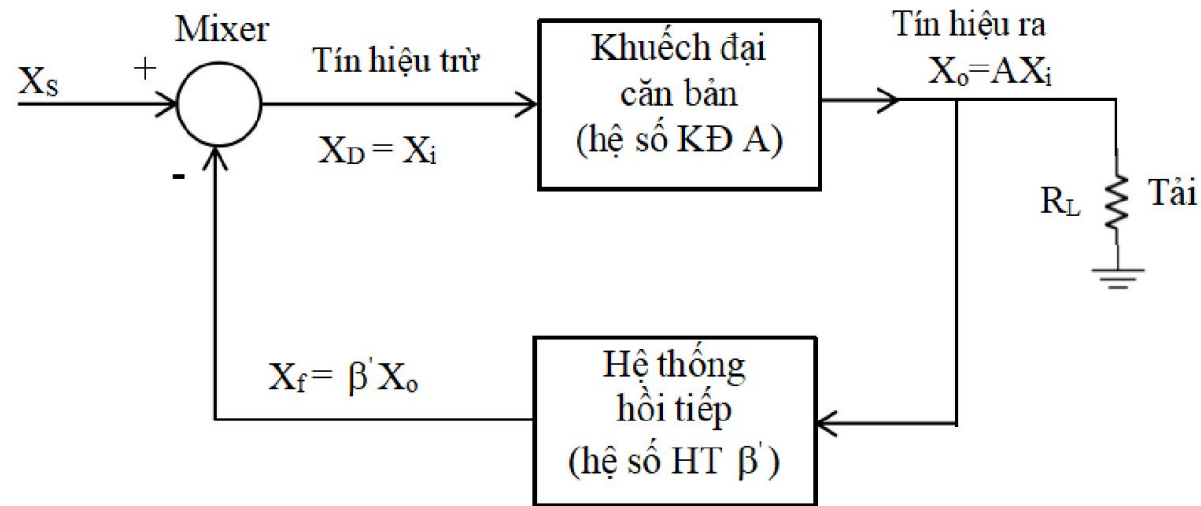
d) **Hồi tiếp điện áp song song**: lấy mẫu điện áp ở ngõ ra và tín hiệu hồi tiếp đưa về ngõ vào là dòng điện I_f mắc song song với dòng điện vào I_s . Mạch này ổn định điện áp ngõ ra theo dòng điện ngõ vào, ổn định hệ số khuếch đại điện trở truyền.



- Hệ số khuếch đại vòng hở: $R_M = \frac{V_o}{I_i}$ (khi chưa có hồi tiếp)
- Hệ số hồi tiếp: $\beta' = \frac{I_f}{V_o}$
- Hệ số khuếch đại vòng kín: $R_{Mf} = \frac{V_o}{I_s}$ (khi có hồi tiếp)

3. Phân giải mạch khuếch đại có hồi tiếp

Các tín hiệu cũng như tỉ số A và β' của mạch khuếch đại có hồi tiếp được tóm tắt trong bảng sau đây:

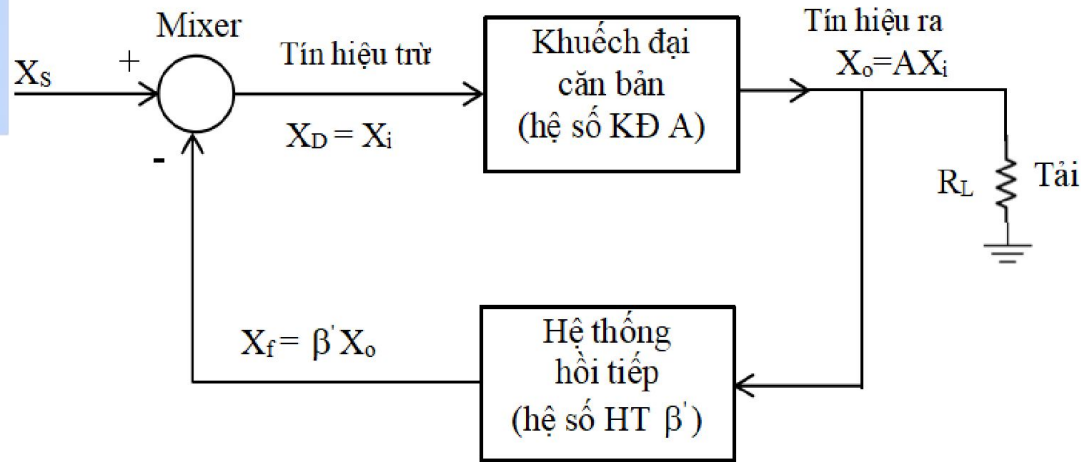


Tín hiệu hay tỉ số	Loại hồi tiếp			
	Điện áp nối tiếp (hình 9.2)	Dòng điện song song (hình 9.3)	Dòng điện nối tiếp (hình 9.4)	Điện áp song song (hình 9.5)
X_o	Điện áp	Dòng điện	Dòng điện	Điện áp
X_s, X_f, X_D	Điện áp	Dòng điện	Điện áp	Dòng điện
A	A_v, A_{vf}	A_i, A_{if}	G_m, G_{mf}	R_m, R_{mf}
β'	$\frac{V_f}{V_o}$	$\frac{I_f}{I_o}$	$\frac{V_f}{I_o}$	$\frac{I_f}{V_o}$

4. Tính chất căn bản của mạch khuếch đại có hồi tiếp âm

4. Tính chất căn bản của mạch khuếch đại có hồi tiếp âm

a) Hệ số khuếch đại có hồi tiếp



Từ sơ đồ khối mạch khuếch đại có hồi tiếp, xét trường hợp:

$$X_D = X_s - X_f = X_i \quad (9.1)$$

Hệ số hồi tiếp β' được định nghĩa: $\beta' = \frac{X_f}{X_o}$ (9.2)

Độ lợi của mạch khuếch đại khi chưa có hồi tiếp là: $A = \frac{X_o}{X_i}$ (9.3)

Độ lợi của mạch khuếch đại khi có hồi tiếp là: $A_f = \frac{X_o}{X_s}$ (9.4)

4. Tính chất căn bản của mạch khuếch đại có hồi tiếp âm

a) Hệ số khuếch đại có hồi tiếp (tt)

Từ công thức (9.1), (9.2), (9.3) và (9.4), ta suy ra:

$$\begin{aligned} A_f &= \frac{X_o}{X_s} = \frac{X_o}{X_i} \cdot \frac{X_i}{X_s} = A \cdot \frac{X_s - X_f}{X_s} = A \left(\frac{X_s - \beta' X_o}{X_s} \right) \\ &= A \left(1 - \beta' \cdot \frac{X_o}{X_s} \right) = A(1 - \beta' A_f) \\ &= A - \beta' A A_f \Rightarrow A_f(1 + \beta' A) = A \Rightarrow A_f = \frac{A}{1 + \beta' A} \end{aligned} \quad (9.5)$$

Độ lợi của mạch khuếch đại khi có hồi tiếp giảm đi $(1 + \beta' A)$ lần so với khi chưa có hồi tiếp. Hồi tiếp âm làm giảm hệ số khuếch đại và làm tăng độ ổn định hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại.

Đặt $F = 1 + \beta' A$ được gọi là thừa số hồi tiếp.

4. Tính chất căn bản của mạch khuếch đại có hồi tiếp âm

b) Ổn định hệ số khuếch đại

Thông số của BJT không phải là một hằng số mà chúng thay đổi rất nhiều theo nhiệt độ, ngay cả các thông số này cũng không giống nhau khi thay thế từ một mẫu này sang một mẫu khác. Do đó, khi nhiệt độ thay đổi hay khi thay thế linh kiện tác động thì độ lợi A của mạch sẽ thay đổi.

Khi có hồi tiếp ta có:

$$A_f = \frac{A}{1 + \beta' A}$$

$$\frac{dA_f}{A_f} = \frac{dA}{A} - \frac{d(1 + \beta' A)}{1 + \beta' A} = \frac{dA + \beta' A \cdot dA - \beta' A \cdot dA}{A(1 + \beta' A)}$$

$$\Rightarrow \frac{dA_f}{A_f} = \frac{dA}{A} \cdot \frac{1}{1 + \beta' A}$$

Khi độ lợi A của mạch không có hồi tiếp thay đổi thì độ lợi của toàn mạch (có hồi tiếp) thay đổi nhỏ hơn $(1 + \beta' A)$ lần.

Trong trường hợp $|\beta' A| \gg 1$ thì:

$$A_f = \frac{A}{1 + \beta' A} \approx \frac{A}{\beta' A} \approx \frac{1}{\beta'}$$

Mạch khuếch đại sau khi thực hiện hồi tiếp âm, độ lợi chỉ còn phụ thuộc vào hệ số hồi tiếp β' mà thôi. Thông thường hệ số hồi tiếp β' có thể được xác định bởi các thành phần thụ động không liên hệ với transistor nên độ lợi của mạch sẽ được giữ vững.

4. Tính chất căn bản của mạch khuếch đại có hồi tiếp âm

c) Giảm méo dạng tín hiệu

Biến dạng gồm có biến dạng tần số do sự khuếch đại không đồng đều ở các tần số và biến dạng phi tuyến do đặc tính không tuyến tính của BJT làm phát sinh hài (harmonic signal) chồng lên tín hiệu được khuếch đại làm biến dạng tín hiệu ngõ ra. Như vậy ở ngõ ra ngoài thành phần tín hiệu vào được khuếch đại còn có một thành phần nhiễu xuất phát từ sự biến dạng của mạch, ta đặt là D .

Tín hiệu ngõ ra: $X_o = AX_i + D$

- Khi có hồi tiếp âm, nếu ta giữ X_i không đổi thì tín hiệu ra giảm vì độ lợi $A_f < A$.
- Khi có hồi tiếp âm, mạch khuếch đại A vẫn cho thành phần biến dạng D nhưng ở ngõ ra của mạch toàn phần sự biến dạng bây giờ chỉ còn là D_f

$$D_f = D - \beta' A.D_f$$

$$\Rightarrow D_f(1 + \beta' A) = D$$

$$\Rightarrow D_f = \frac{D}{1 + \beta' A}$$

Vậy nhiễu cũng giảm đi $(1 + \beta' A)$ lần khi có hồi tiếp âm.

5. Ảnh hưởng của hồi tiếp âm lên điện trở vào

5. Ảnh hưởng của hồi tiếp âm lên điện trở vào

a) Nếu tín hiệu hồi tiếp đưa về ngõ vào là điện áp là V_f mắc nối tiếp với điện áp ngõ vào thì tổng trở vào sẽ tăng.

Ta có:

- Điện trở ngõ vào khi có hồi tiếp: $R_{if} = \frac{V_s}{I_i}$

- Theo (**) ta có: $V_s = V_i + V_f$

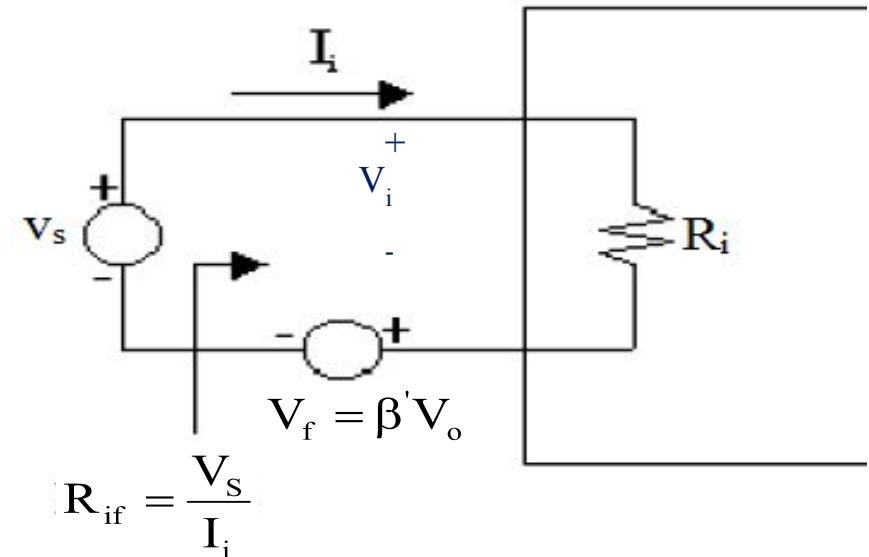
Suy ra:

$$R_{if} = \frac{V_s}{I_i} = \frac{V_i + V_f}{I_i}$$

Từ công thức trên chia tử số và mẫu số cho V_i , ta được:

$$R_{if} = \frac{1 + \frac{V_f}{V_i}}{\frac{I_i}{V_i}} = \frac{V_i}{I_i} \left(1 + \frac{V_f}{V_o} \cdot \frac{V_o}{V_i} \right) = R_i (1 + \beta' A_v) = R_i \cdot F$$

Từ công thức trên cho thấy rằng mạch hồi tiếp mắc nối tiếp làm tăng tổng trở vào lên $(1 + \beta' A)$ lần so với mạch khuếch đại chưa có hồi tiếp.



5. Ảnh hưởng của hồi tiếp âm lên điện trở vào

b) Nếu tín hiệu hồi tiếp đưa về ngõ vào là dòng điện I_f song song với tín hiệu dòng điện ngõ vào thì tổng trở vào sẽ giảm.

Ta có:

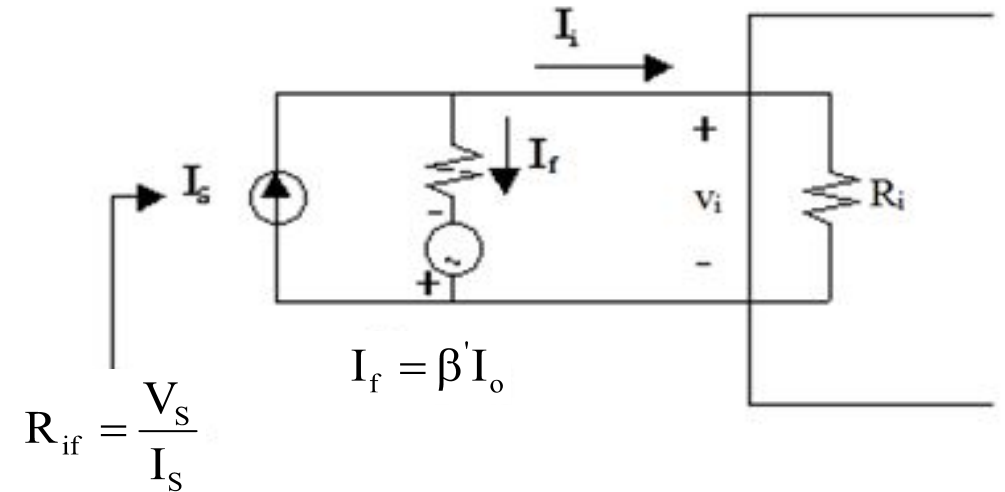
- Điện trở ngõ vào khi có hồi tiếp:

$$R_{if} = \frac{V_S}{I_S} = \frac{R_i \cdot I_i}{I_S} = \frac{R_i \cdot I_i}{I_i + I_f}$$

- Từ công thức trên chia tử số và mẫu số cho I_i , ta được:

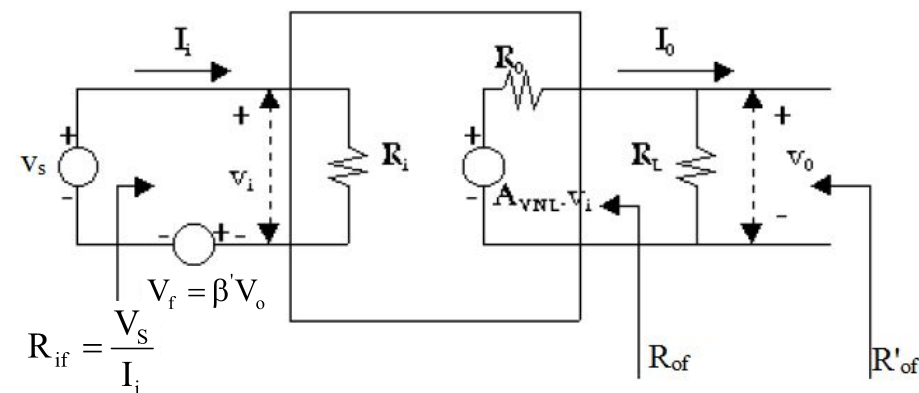
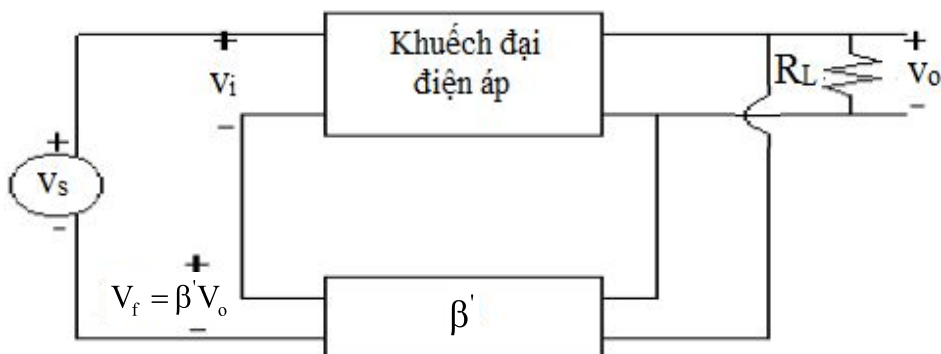
$$R_{if} = \frac{R_i}{1 + \frac{I_f}{I_i}} = \frac{R_i}{1 + \frac{I_f}{I_o} \cdot \frac{I_o}{I_i}} = \frac{R_i}{1 + \beta' A_i} = \frac{R_i}{F}$$

Từ đây cho thấy rằng mạch hồi tiếp mắc song song làm điện trở ngõ vào của mạch khuếch đại giảm $(1 + \beta' A)$ lần so với khi chưa có hồi tiếp.



5. Ảnh hưởng của hồi tiếp âm lên điện trở vào

5.1. Mạch hồi tiếp điện áp nối tiếp



Mạch nguồn tương đương Thevenin

Ta có điện trở ngõ vào có hồi tiếp là:

$$R_{if} = \frac{V_s}{I_i} \quad (9.10)$$

$$\text{Trong đó: } V_s = R_i I_i + V_f = R_i I_i + \beta' V_o \quad (9.11)$$

$$\begin{aligned} \text{Với: } V_o &= \frac{R_L}{R_L + R_o} A_{VNL} V_i \Leftrightarrow \frac{V_o}{V_i} = A_v = \frac{A_{VNL} R_L}{R_L + R_o} \\ \Leftrightarrow V_o &= A_v V_i = A_v R_i I_i \end{aligned} \quad (9.12)$$

Thay (9.12) vào (9.11), ta được:

$$V_s = R_i I_i + \beta' A_v R_i I_i \quad (9.13)$$

Thay (9.13) vào (9.10), ta được:

$$R_{if} = \frac{V_s}{I_i} = \frac{R_i I_i + \beta' A_v R_i I_i}{I_i} = R_i (1 + \beta' A_v) > R_i$$

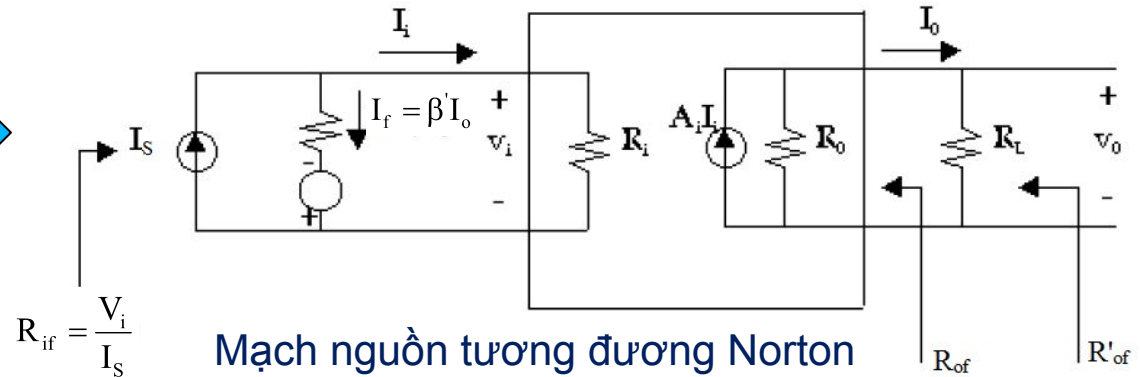
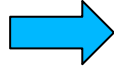
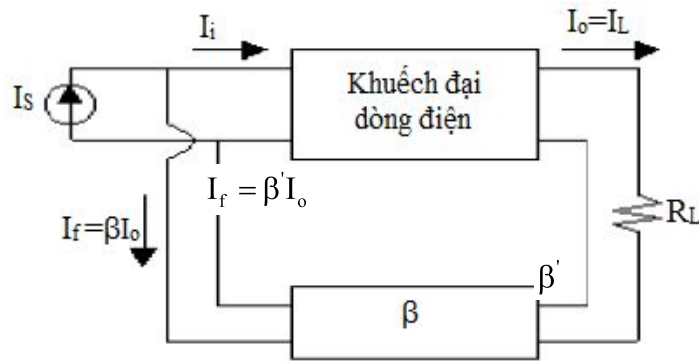
Trong đó: A_{VNL} độ lợi điện áp của mạch hở không hồi tiếp, khi chưa có tải

A_v độ lợi điện áp của mạch hở không hồi tiếp, khi có tải R_L

Như vậy: $A_{VNL} = \lim_{R_L \rightarrow \infty} A_v$

5. Ảnh hưởng của hồi tiếp âm lên điện trở vào

5.2. Mạch hồi tiếp dòng điện song song



Ta có: $I_s = I_i + I_f = I_i + \beta' I_o$ (9.14)

Đặt $I = A_i \cdot I_i$

Ta có: $V_o = I \cdot (R_o // R_L) = I \cdot \frac{R_o R_L}{R_o + R_L}$

Mà ta có: $I_o = \frac{V_o}{R_L} = I \cdot \frac{R_o}{R_o + R_L} = A_i \cdot I_i \cdot \frac{R_o}{R_o + R_L}$ (9.15)

Với $A_I = \frac{I_o}{I_i}$ hay $I_o = A_I \cdot I_i$, từ công thức (9.15) suy ra: $A_I = A_i \cdot \frac{R_o}{R_o + R_L}$

(A_I là độ lợi dòng điện khi không có hồi tiếp nhưng có tải R_L)

Thay $I_o = A_I \cdot I_i$ vào công thức (9.14) ta được:

$$I_s = I_i + \beta' I_o = I_i + \beta' A_I \cdot I_i = I_i (1 + \beta' A_I)$$

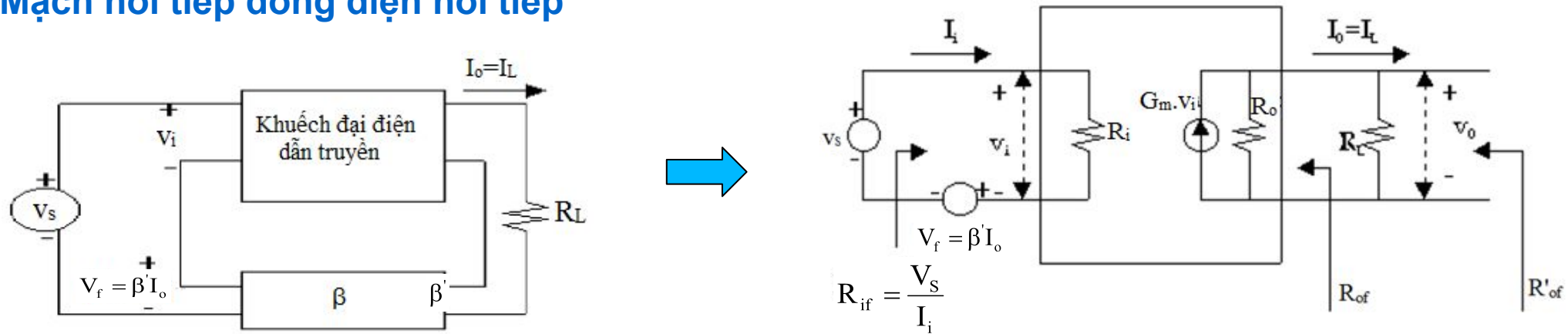
Mà ta có: $R_{if} = \frac{V_i}{I_s} \Rightarrow R_{if} = \frac{V_i}{(1 + \beta' A_I) I_i}$

mà $R_i = \frac{V_i}{I_i} \Rightarrow R_{if} = \frac{R_i}{1 + \beta' A_I} < R_i$

Và $A_i = \lim_{R_L \rightarrow 0} A_I$

5. Ảnh hưởng của hồi tiếp âm lên điện trở vào

5.3. Mạch hồi tiếp dòng điện nối tiếp



Ta có: $R_{if} = \frac{V_s}{I_i}$

Và $V_s = R_i I_i + V_f = R_i I_i + \beta I_o$; $I_o = \frac{G_m V_i R_o}{R_o + R_L}$

Đặt $G_M = \frac{I_o}{V_i} = \frac{G_m R_o}{R_o + R_L} \Rightarrow I_o = G_M V_i = G_M R_i I_i$

$\Rightarrow R_{if} = \frac{V_s}{I_i} = \frac{R_i I_i + \beta I_o}{I_i} = \frac{R_i I_i + \beta G_M R_i I_i}{I_i}$

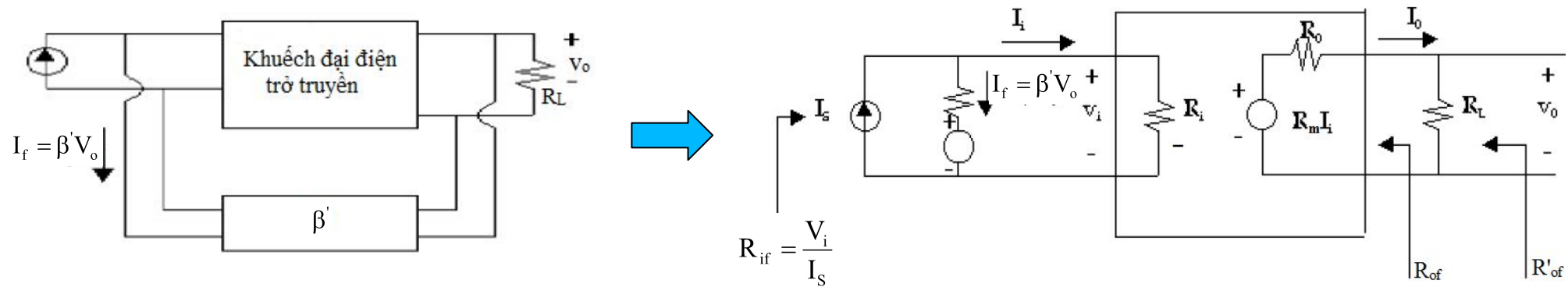
$\Rightarrow R_{if} = R_i (1 + \beta G_M)$

Ghi ý: G_m là điện dẫn truyền của mạch hở không tải

G_M là điện dẫn truyền của mạch không có hồi tiếp nhưng có tải R_L

5. Ảnh hưởng của hồi tiếp âm lên điện trở vào

5.4. Mạch hồi tiếp điện áp song song



Ta có: $I_s = I_i + I_f = I_i + \beta' V_o$ và $V_o = \frac{R_m I_i R_L}{R_L + R_o} = R_M I_i$

Trong đó: $R_M = \frac{V_o}{I_i} = \frac{R_m R_L}{R_o + R_L}$

Mà ta có: $R_{if} = \frac{V_i}{I_s} = \frac{R_i I_i}{I_i + \beta' \left(\frac{R_m R_L I_i}{R_o + R_L} \right)} = \frac{R_i}{1 + \beta' \frac{R_m R_L}{R_o + R_L}}$

$\Rightarrow R_{if} = \frac{R_i}{1 + \beta' R_M} < R_i$

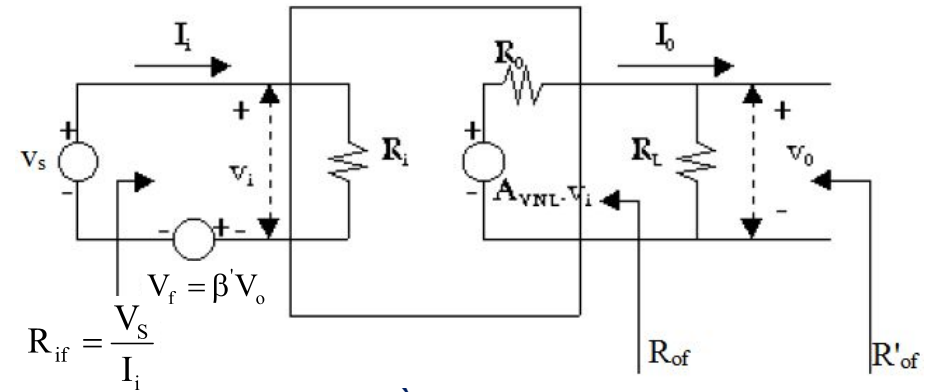
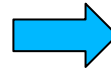
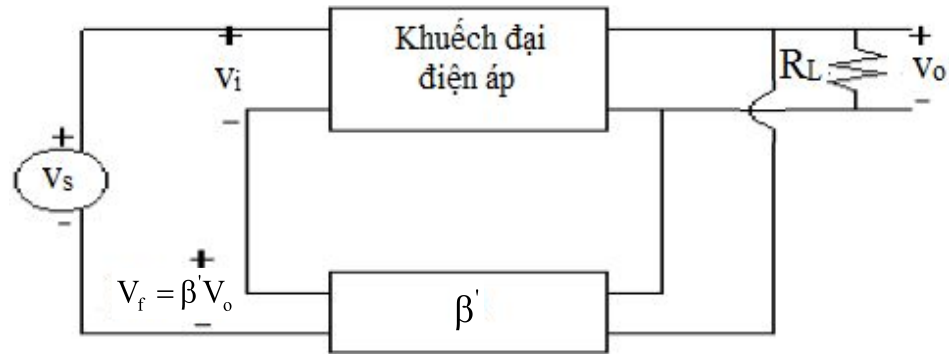
Ghi ý: R_m là điện trở truyền của mạch hở không tải

R_M là điện trở truyền của mạch không có hồi tiếp nhưng có tải R_L

6. Ảnh hưởng của hồi tiếp âm lên điện trở ra

6. Ảnh hưởng của hồi tiếp âm lên điện trở ra

a) Mạch hồi tiếp điện áp nối tiếp



Mạch nguồn tương đương Thevenin

Tìm điện trở ngõ ra R_{of} của mạch có hồi tiếp nhưng chưa mắc tải R_L vào. Để tìm R_{of} , ta nối tắt nguồn ngõ vào ($V_S = 0$, $I_S = 0$) và để hở tải ($R_L = \infty$). Đưa một nguồn giả tưởng V vào 2 đầu của ngõ ra, tính dòng điện I chạy vào mạch tạo ra bởi điện áp V . Điện trở ngõ ra được định nghĩa như sau:

$$R_{of} = \frac{V}{I}$$

Từ mạch trên ta tìm được I như sau (với V_o được thay thế bằng V):

$$I = \frac{V - A_{VNL} \cdot V_i}{R_o} = \frac{V + A_{VNL} \cdot \beta' V}{R_o} = \frac{V(1 + \beta' A_{VNL})}{R_o}$$

vì ta có $V_S = V_i + V_f = V_i + \beta' V_o$, mà $V_S = 0$ và $V_o = V$,
 $\Rightarrow V_i = -\beta' V$

Từ đó ta có:

$$R_{of} = \frac{V}{I} = \frac{R_o}{1 + \beta' A_{VNL}}$$

A_{VNL} là độ lợi điện áp của mạch không có hồi tiếp và hở tải ($R_L = \infty$).

6. Ảnh hưởng của hồi tiếp âm lên điện trở ra

a) Mạch hồi tiếp điện áp nối tiếp

Khi đưa tải R_L vào mạch, điện trở ngõ ra của mạch hồi tiếp bây giờ là: $R'_{of} = R_L // R_{of}$

$$R'_{of} = \frac{R_{of} R_L}{R_{of} + R_L} = \frac{R_o R_L}{1 + \beta' A_{VNL}} \times \frac{1}{\left(\frac{R_o}{1 + \beta' A_{VNL}} \right) + R_L} = \frac{R_o R_L}{R_o + R_L + \beta' A_{VNL} \cdot R_L} = \frac{R_o R_L / (R_o + R_L)}{1 + \frac{\beta' A_{VNL} \cdot R_L}{R_o + R_L}}$$

Với $R'_o = R_o // R_L$ là điện trở ngõ ra khi không có hồi tiếp nhưng có R_L

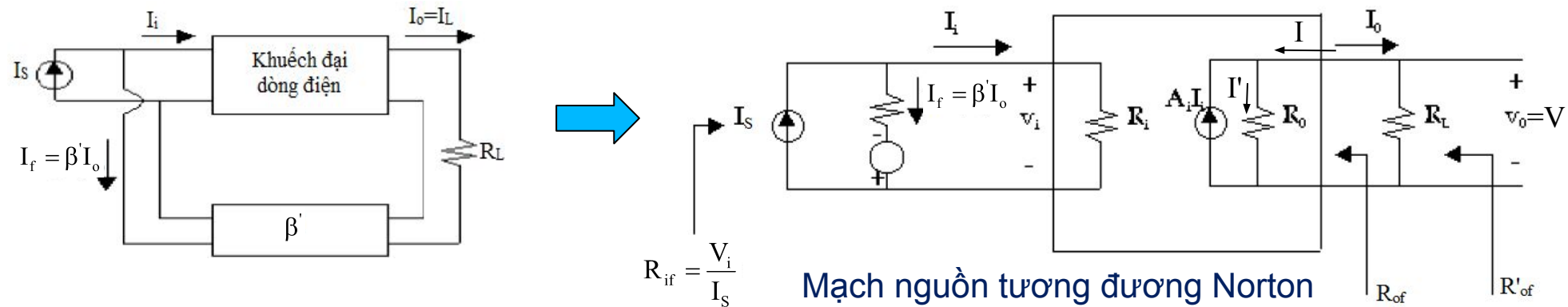
$A_v = \frac{A_{VNL} \cdot R_L}{R_o + R_L}$ là độ lợi điện áp của mạch không có hồi tiếp nhưng có tải R_L

Suy ra:

$$R'_{of} = \frac{R'_o}{1 + \beta' A_v}$$

6. Ảnh hưởng của hồi tiếp âm lên điện trở ra

b) Mạch hồi tiếp dòng điện song song



- Khi không có R_L , với $v_o = V$; $I_o = -I$

Ta có: $I = \frac{V}{R_o} - A_i I_i$; với $I_s = 0$; $I_i = -I_f = -\beta' I_o = \beta' I$

Vậy suy ra: $I = \frac{V}{R_o} - \beta' A_i I$ hay $I(1 + \beta' A_i) = \frac{V}{R_o}$

Do đó: $R_{of} = \frac{V}{I} = R_o(1 + \beta' A_i)$ với A_i là độ lợi dòng điện của mạch nối tắt ($R_L = 0$).

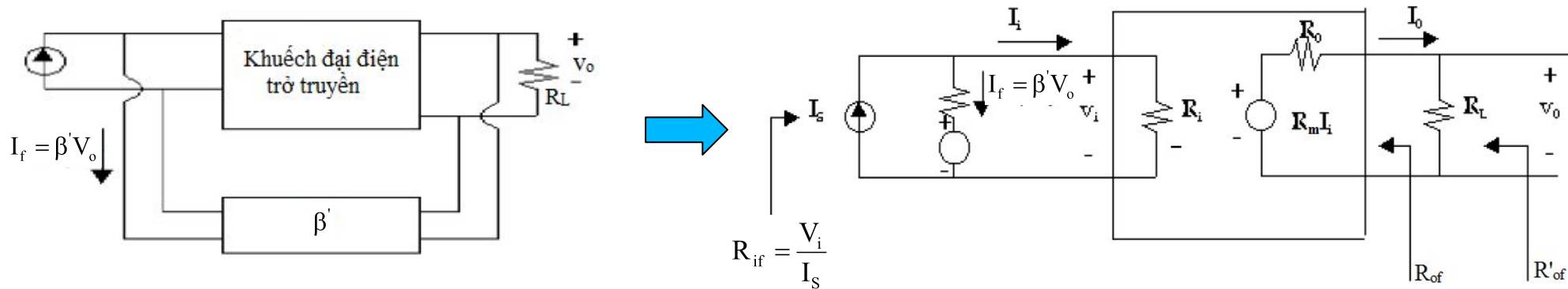
- Khi mắc R_L vào:

$$R'_{of} = R_{of} // R_L = \frac{R_{of} R_L}{R_{of} + R_L} = \frac{R_o(1 + \beta' A_i) R_L}{R_o(1 + \beta' A_i) + R_L} = \frac{R_o R_L}{R_o + R_L} \cdot \frac{1 + \beta' A_i}{1 + \beta' A_i R_o / (R_o + R_L)} \Rightarrow R'_{of} = R'_o \cdot \frac{1 + \beta' A_i}{1 + \beta' A_i}$$

Với $R'_o = R_o // R_L$ và $A_i = \frac{A_i R_o}{R_o + R_L}$ là độ lợi dòng điện của mạch khuếch đại không hồi tiếp nhưng có tải.

6. Ảnh hưởng của hồi tiếp âm lên điện trở ra

c) Mạch hồi tiếp điện áp song song



Ngắt nguồn ngõ vào ($I_s = 0$) và cho hở tải ($R_L = \infty$)

Ta có: $R_{of} = \frac{V}{I} = \frac{V_o}{I}$ với $I = \frac{V - R_m I_i}{R_o}$

Vì $I_s = 0$ nên $I_i = -I_f = -\beta' V_o = -\beta' V$

Suy ra: $I = \frac{V + \beta' V R_m}{R_o} = \frac{V(1 + \beta' R_m)}{R_o}$

$$R_{of} = \frac{V}{I} = \frac{R_o}{1 + \beta' R_m}$$

Với R_m : độ lợi điện trở truyền của mạch không hồi tiếp và không tải.

Khi mắc tải R_L vào ta có:

$$R'_{of} = R_L // R_{of} = \frac{R_L \cdot R_{of}}{R_L + R_{of}}$$

$$R'_{of} = \frac{R_L \left(\frac{R_o}{1 + \beta' R_m} \right)}{R_L + \frac{R_o}{1 + \beta' R_m}} = \frac{R_o R_L}{1 + \beta' R_m} \cdot \frac{1}{R_o + R_L + \beta' R_m R_L}$$

$$= \frac{R_o R_L / (R_o + R_L)}{1 + \frac{\beta' R_m R_L}{R_o + R_L}} \Rightarrow R'_{of} = \frac{R'_o}{1 + \beta' R_M}$$

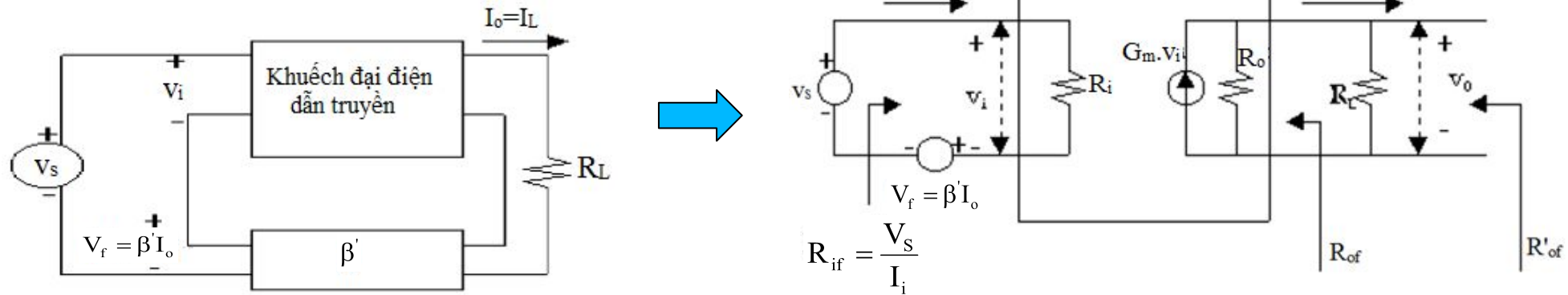
Với

$R'_o = R_o // R_L$ là điện trở ngõ ra khi chưa có hồi tiếp nhưng có tải

$R_M = \frac{R_m R_L}{R_o + R_L}$ là độ lợi điện trở truyền của mạch không có hồi tiếp nhưng có tải

6. Ảnh hưởng của hồi tiếp âm lên điện trở ra

d) Mạch hồi tiếp dòng điện nối tiếp



với $V_s = 0$, $R_L = \infty$.

Dùng cách tính tương tự như trên ta tìm được:

$$R_{of} = R_o (1 + \beta' G_m)$$

$$R'_{of} = R'_o \frac{1 + \beta' G_m}{1 + \beta' G_M}$$

Ghi ý: G_m là điện dẫn truyền của mạch không có hồi tiếp nối tắt ($R_L = 0$).

G_M là khi có tải.

6. Ảnh hưởng của hồi tiếp âm lên điện trở ra

Nhận xét:

- Nếu tín hiệu hồi tiếp âm lấy mẫu điện áp để đưa về ngõ vào thì điện trở ngõ ra của mạch sẽ giảm ($R_{of} \ll R_o$).

+ Mạch hồi tiếp điện áp nối tiếp:
$$R_{of} = \frac{V}{I} = \frac{R_o}{1 + \beta' A_{VNL}}$$

+ Mạch hồi tiếp điện áp song song:
$$R_{of} = \frac{V}{I} = \frac{R_o}{1 + \beta' R_m}$$

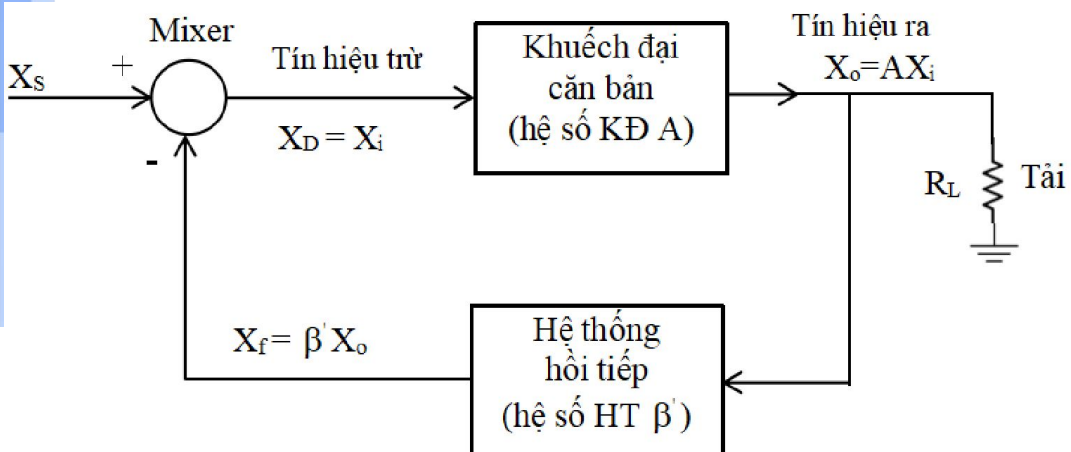
- Nếu tín hiệu hồi tiếp âm lấy mẫu dòng điện để đưa về ngõ vào thì điện trở ngõ ra của mạch sẽ tăng ($R_{of} \gg R_o$).

+ Mạch hồi tiếp dòng điện song song:
$$R_{of} = \frac{V}{I} = R_o (1 + \beta' A_i)$$

+ Mạch hồi tiếp dòng điện nối tiếp:
$$R_{of} = R_o (1 + \beta' G_m)$$

◆ Tóm tắt

Đặc tính và thông số của mạch khuếch đại hồi tiếp được tóm tắt trong bảng sau:



Đặc tính	Loại hồi tiếp			
	Điện áp nối tiếp	Dòng điện song song	Dòng điện nối tiếp	Điện áp song song
Tín hiệu hồi tiếp X_f	Điện áp	Dòng điện	Điện áp	Dòng điện
Tín hiệu được lấy mẫu X_o	Điện áp	Dòng điện	Dòng điện	Điện áp
Mạch vào: Đặt	$V_o = 0$	$I_o = 0$	$I_o = 0$	$V_o = 0$
Mạch ra: Đặt	$I_i = 0$	$V_i = 0$	$I_i = 0$	$V_i = 0$
Nguồn tín hiệu	Thevenin	Norton	Thevenin	Norton
$\beta' = X_f/X_o$	V_f/V_o	I_f/I_o	V_f/I_o	I_f/V_o
$A = X_o/X_i$	$A_v = V_o/V_i$	$A_I = I_o/I_i$	$G_M = I_o/V_i$	$R_M = V_o/I_i$
$F = 1 + \beta' A$	$1 + \beta' A_v$	$1 + \beta' A_I$	$1 + \beta' G_M$	$1 + \beta' R_M$
A_f	A_v/F	A_I/F	G_M/F	R_M/F
R_{if}	$R_i \cdot F$	R_i/F	$R_i \cdot F$	R_i/F
R_{of}	$\frac{R_o}{1 + \beta' A_{vNL}}$	$R_o(1 + \beta' A_i)$	$R_o(1 + \beta' G_m)$	$\frac{R_o}{1 + \beta' R_m}$
$R'_{of} = R_{of} // R_L$	$\frac{R'_o}{F}$	$R'_o \frac{(1 + \beta' A_i)}{F}$	$R'_o \frac{(1 + \beta' G_m)}{F}$	$\frac{R'_o}{F}$

7. Phân tích một mạch khuếch đại có hồi tiếp

Các bước phân tích mạch khuếch đại hồi tiếp để tìm A_f , R_{if} , R_{of} :

Bước 1: Nhận dạng loại hồi tiếp, bước này để xác định X_f và X_o là điện áp hay dòng điện và nối tiếp hay song song.

Bước 2: Tính toán mạch khuếch đại căn bản không có hồi tiếp.

Bước 3: Dùng nguồn tương đương Thevenin nếu X_f là điện áp và dùng nguồn Norton nếu X_f là dòng điện.

Bước 4: Thay thành phần tác động bằng mạch tương đương hợp lý.

Bước 5: Xác định X_f và X_o , từ đó tính được: $\beta' = \frac{X_f}{X_o}$

Bước 6: Xác định A bằng định luật Kirchhoff cho mạch tương đương xoay chiều tín hiệu nhỏ.

Bước 7: Từ A, β' , tìm được F, A_f , R_{if} , R_{of} , R'_{of}

7. Phân tích một mạch khuếch đại có hồi tiếp

Lưu ý:

Bước 1: Nhận dạng loại hồi tiếp, bước này để xác định X_f và X_o là điện áp hay dòng điện và nối tiếp hay song song.

a) **Tín hiệu lấy mẫu:** điện áp V_o thường được lấy ở hai đầu tải R_L và I_o là dòng điện chạy qua R_L .

Ta có thể thử loại lấy mẫu theo 2 cách:

- Đặt $V_o = 0$ (tức $R_L = 0$). Nếu $X_f = 0$, thì tín hiệu lấy mẫu là điện áp.
- Đặt $I_o = 0$ (tức $R_L = \infty$). Nếu $X_f = 0$, thì tín hiệu lấy mẫu là dòng điện.

b) **Cách ghép với tín hiệu vào:**

- Hồi tiếp song song: khi hai tín hiệu X_s và X_f cùng đưa vào một cực của transistor, ví dụ cực B của transistor.
- Hồi tiếp nối tiếp: khi hai tín hiệu X_s và X_f đưa vào hai cực khác nhau của một transistor. Ví dụ: X_s đưa vào cực B còn X_f đưa vào cực E của cùng một transistor

7. Phân tích một mạch khuếch đại có hồi tiếp

Lưu ý:

Bước 2: Tính toán mạch khuếch đại căn bản không có hồi tiếp.

Ta phân mạch khuếch đại có hồi tiếp ra làm 2 thành phần: Mạch khuếch đại căn bản A và hệ thống hồi tiếp β' . Khi xác định được A và β' ta tính được các đặc tính quan trọng của mạch khuếch đại có hồi tiếp.

Mạch khuếch đại căn bản không có hồi tiếp được xác định bằng cách áp dụng các nguyên tắc sau đây:

a) Tìm mạch ngõ vào:

- Đặt $V_o = 0$ khi lấy mẫu điện áp (nút ngõ ra nối tắt).
- Đặt $I_o = 0$ khi lấy mẫu dòng điện (mạch vòng ngõ ra hở).

b) Tìm mạch ngõ ra:

- Đặt $V_i = 0$ khi mạch trộn song song (nút ngõ vào nối tắt- không có dòng điện hồi tiếp đi vào ngõ vào).
- Đặt $I_i = 0$ khi mạch trộn nối tiếp (mạch vòng ngõ vào hở- không có điện áp hồi tiếp đưa vào ngõ vào).

8. Khảo sát một số mạch hồi tiếp thông dụng

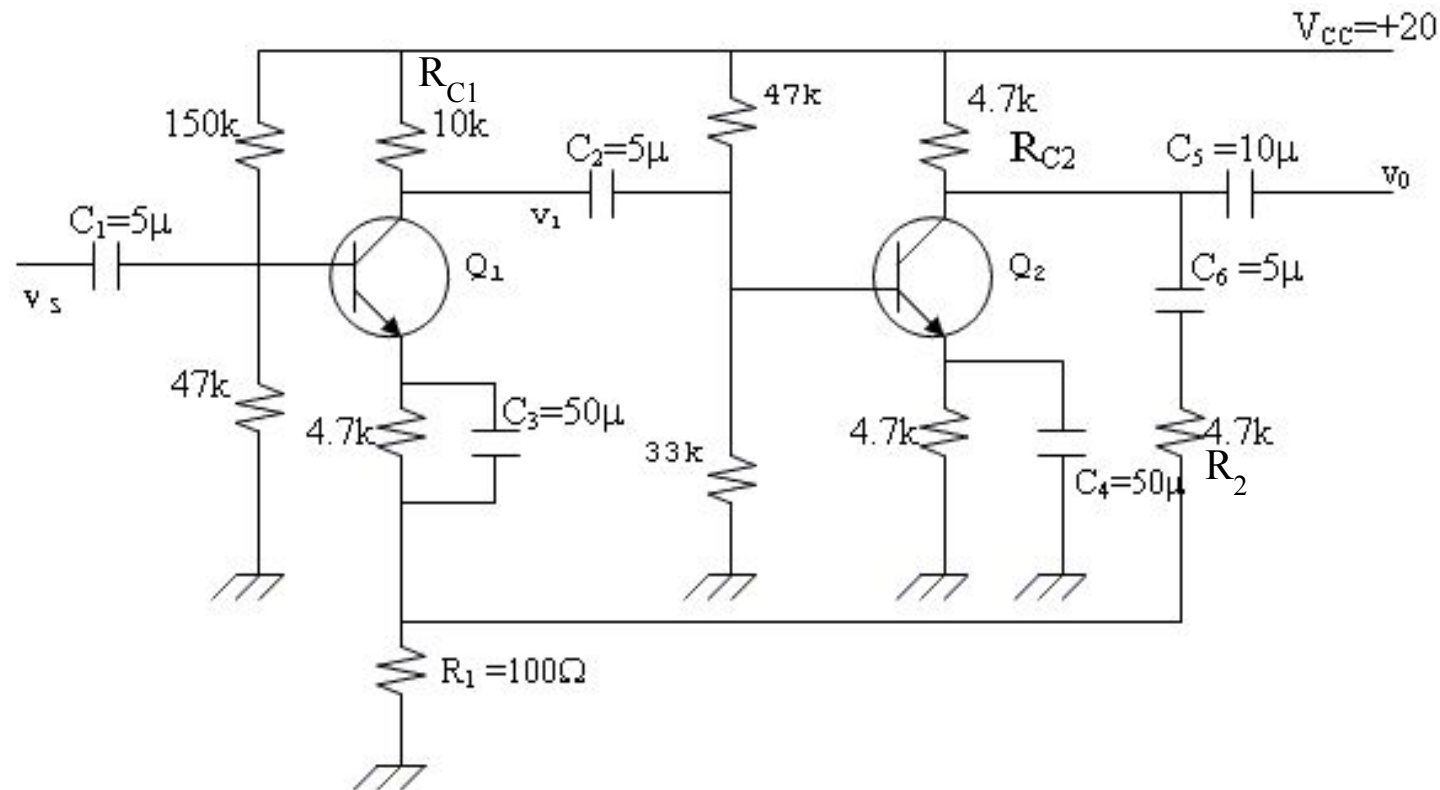
8. Khảo sát một số mạch hồi tiếp thông dụng

a) Mạch hồi tiếp điện áp nối tiếp

Ví dụ 1: Cho mạch khuếch đại hồi tiếp như hình sau, trong đó: $r_s = 0$, $\beta = 100$, $V_{BE} = 0,7V$.

a) Xác định loại mạch khuếch đại hồi tiếp

b) Hãy xác định A_{Vf} , R_{of} , R_{if}

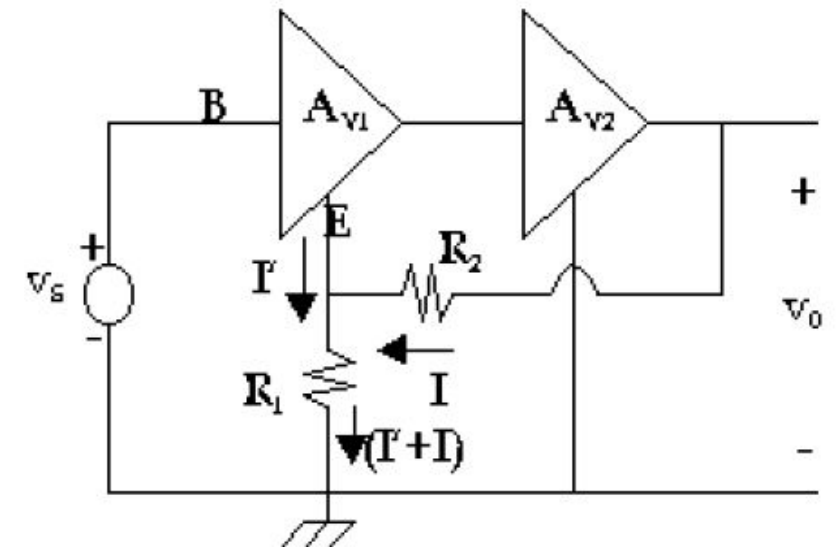
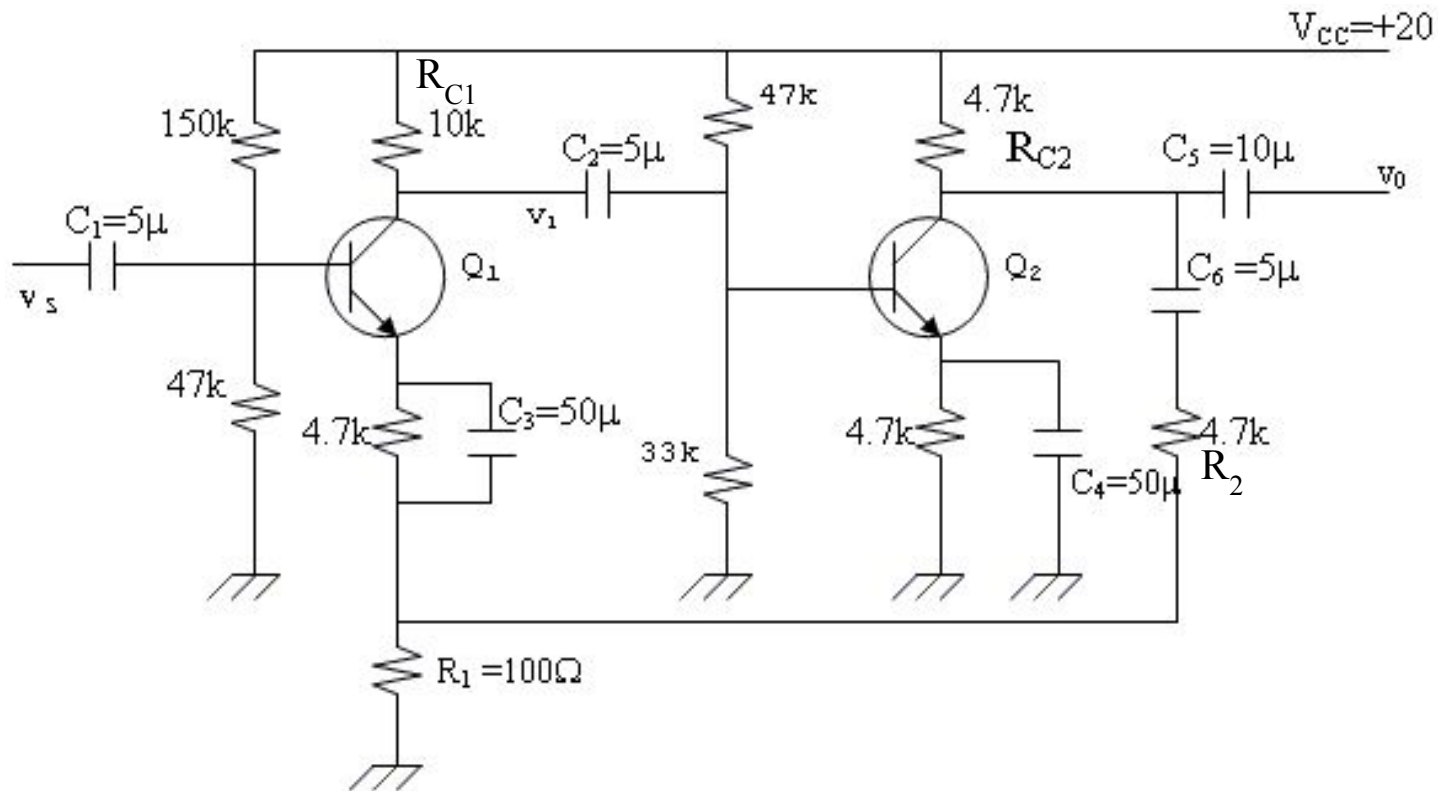


8. Khảo sát một số mạch hồi tiếp thông dụng

a) Mạch hồi tiếp điện áp nối tiếp (tt)

Trong ví dụ này chúng ta khảo sát mạch khuếch đại 2 tầng mắc nối tiếp có độ lợi lần lượt là A_{v1} , A_{v2} , tín hiệu hồi tiếp được lấy từ ngõ ra của tầng thứ 2 qua hệ thống R_1 , R_2 đưa ngược lại tín hiệu ngõ vào.

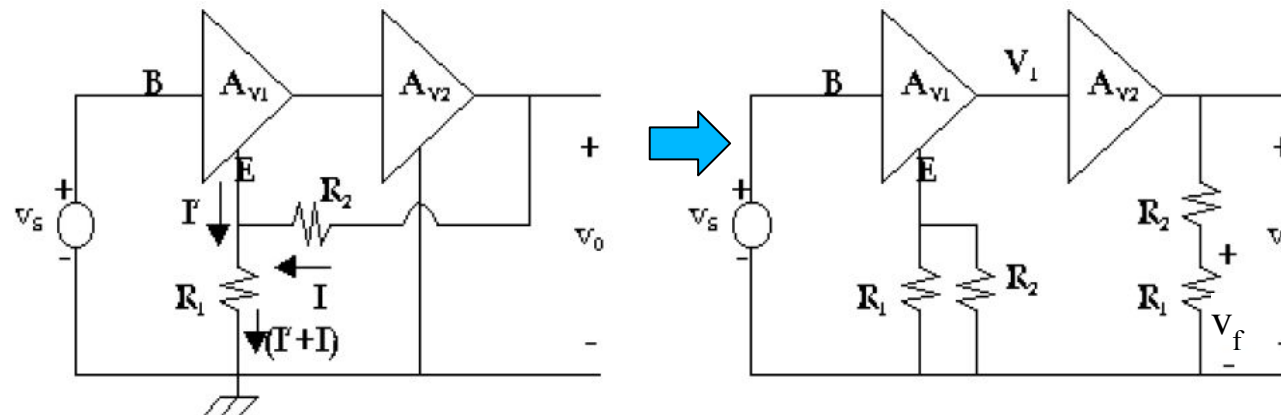
Bước 1: Nhận dạng loại hồi tiếp => mạch hồi tiếp điện áp nối tiếp.



8. Khảo sát một số mạch hồi tiếp thông dụng

a) Mạch hồi tiếp điện áp nối tiếp (tt)

Bước 2: Vẽ mạch tương đương: tìm mạch vào bằng cách cho $v_o = 0$ (do lấy mẫu điện áp), vậy R_2 song song với R_1 . Do mạch trộn nối tiếp nên mạch ngõ ra được tìm bằng cách cho $I_i = 0$ ($I' = 0$ mạch vòng ngõ vào hở), R_1 chỉ xuất hiện ở mạch vòng ngõ ra, vậy ngõ ra R_1 nối tiếp với R_2 .



Bước 3 và Bước 4: đã khảo sát trong phần phân giải mạch điện ở mục 6

Bước 5: Từ mạch này ta có điện áp hồi tiếp v_f ngang qua R_1 tỉ lệ với điện áp được lấy mẫu v_o , áp dụng cầu phân áp trên R_1 và R_2 ta có:

$$v_f = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_o \quad \text{Suy ra} \quad \frac{v_f}{v_o} = \beta' = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (***)$$

8. Khảo sát một số mạch hồi tiếp thông dụng

a) Mạch hồi tiếp điện áp nối tiếp (tt)

Bước 6: - Tính toán trong thành phần DC để tìm I_{CQ1} và I_{CQ2} từ đó tính r_{e1} và r_{e2}

Đầu tiên ta tính độ lợi toàn mạch khi chưa có hồi tiếp: $A_V = A_{V1} \cdot A_{V2}$

$$\begin{aligned} \text{Tính: } r_{e1} &\sim 17,5\Omega & r_{e2} &\sim 8,9\Omega \\ \beta r_{e1} &= 1,75k\Omega & \beta r_{e2} &= 0,89k\Omega \quad (\text{với } \beta = 100) \end{aligned}$$

Tải R'_{L1} là: $R'_{L1} = 10k\Omega // 47k\Omega // 33k\Omega // 0,89k\Omega = 0,78k\Omega$

Thấy rằng tải R'_{L2} của Q2 là: $R_{C2} // (R_1 + R_2)$, với $R_1 = 100\Omega$, $R_2 = 4,7k\Omega$

$$R'_{L2} = 4,7k\Omega // 4,8k\Omega = 2,37k\Omega$$

Tổng trở cực phát của Q_1 là R_E với: $R_E = R_1 // R_2 = 98\Omega$ (với $R_1 = 100\Omega$, $R_2 = 4,7k\Omega$)

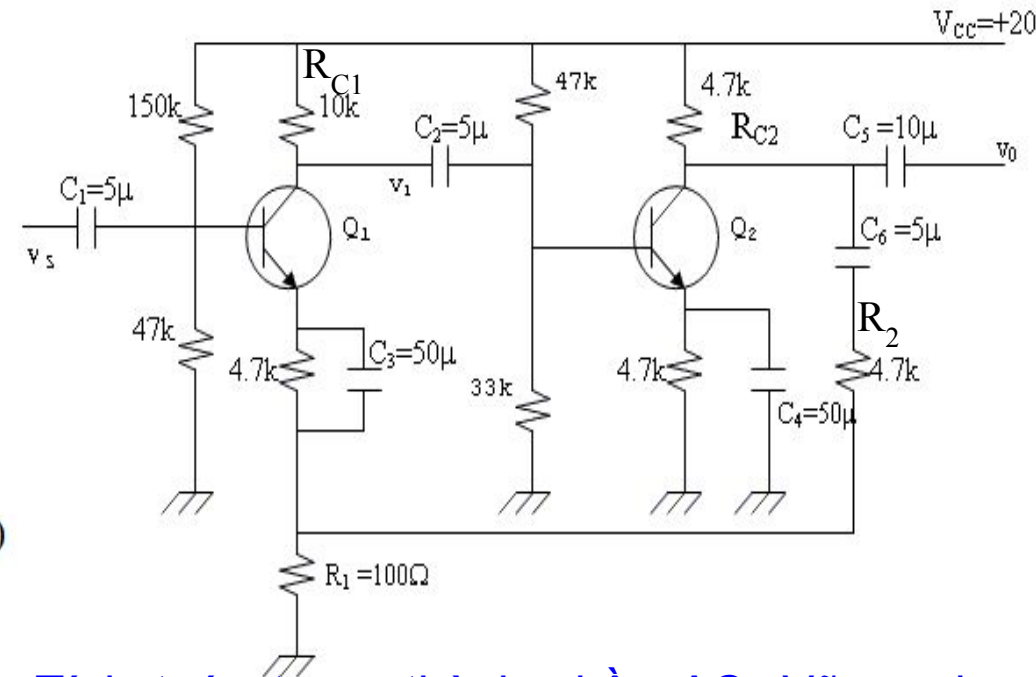
Độ lợi điện áp tầng 1 khi có tải và nội trở r_s rất nhỏ so với tổng trở vào Z_i ta có:

$$A_{v1} = \frac{V_1}{V_s} = \frac{V_1}{V_i} = -\frac{R'_{L1}}{r_{e1} + R_E} = -\frac{780\Omega}{17,5\Omega + 98\Omega} = -6,75$$

Độ lợi điện áp tầng 2 khi có tải và nội trở r_s rất nhỏ so với tổng trở vào Z_i ta có:

$$A_{v2} = \frac{V_o}{V_1} = -\frac{R'_{L2}}{r_{e2}} = -\frac{2,37k\Omega}{8,9\Omega} = -266,3$$

Suy ra: $A_V = A_{V1} \cdot A_{V2} = (-6,75) \cdot (-266,3) = 1.797,5$



- Tính toán trong thành phần AC: Vẽ mạch tương đương xoay chiều tín hiệu nhỏ theo mô hình thông số r_e , từ đó tính hệ số khuếch đại A_{v1} (A_{VETP1}) và A_{v2} (A_{VETP2}) $\Rightarrow A_V$ (A_{VETP})

8. Khảo sát một số mạch hồi tiếp thông dụng

a) Mạch hồi tiếp điện áp nối tiếp (tt)

Bước 7:

$$\text{Hệ số hồi tiếp } \beta' = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{48}$$

Suy ra:

$$\beta' A_v = 37,4$$

$$F = 1 + \beta' A_v = 38,4$$

$$A_{vf} = \frac{A_v}{F} = 46,8$$

Nếu A_v rất lớn ($A_v \rightarrow \infty$) thì ta thấy rằng $A_{vf} = \frac{A_v}{1 + \beta' A_v} = \frac{1}{\beta'} = 48$ gần bằng A_{vf}

Điện trở ngõ vào của mạch không hồi tiếp:

$$R_i = \beta r_{e1} + (1 + \beta) R_E = 1,75k\Omega + (101)(98\Omega) = 11,6k\Omega$$

Khi có hồi tiếp: $R_{if} = R_i \cdot F = 11,6k\Omega \times 38,4 = 443,5k\Omega$

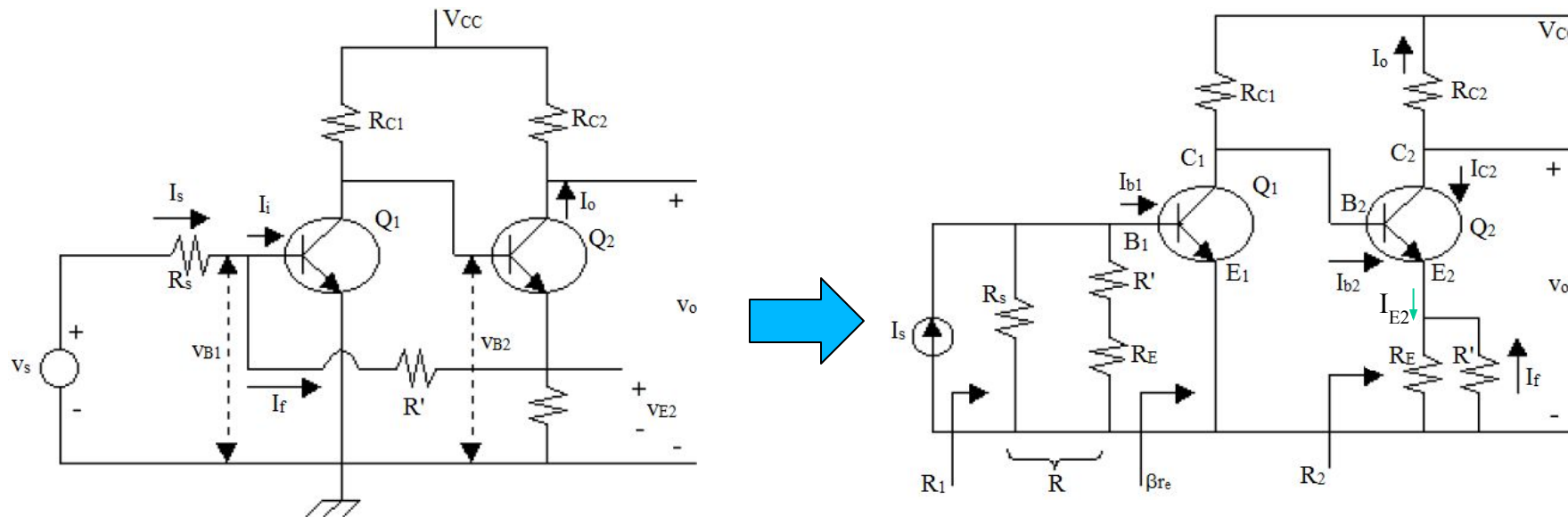
Điện trở ngõ ra khi chưa có hồi tiếp: $R'_o = R'_{L2} = 2,37k\Omega$

Điện trở ngõ ra khi có hồi tiếp: $R'_{of} = \frac{R'_o}{F} = 61,7\Omega$

8. Khảo sát một số mạch hồi tiếp thông dụng

b) Mạch hồi tiếp dòng điện song song

Ví dụ 2: Xem xét một mạch dùng 2 transistor liên lạc trực tiếp dùng hồi tiếp từ cực phát của Q_2 về cực nền của Q_1 qua điện trở R' .



Tín hiệu hồi tiếp là dòng điện I_f chạy qua điện trở R' nằm trong mạch ngõ ra.

$$I_f = \frac{V_{E2}}{R'} = \frac{I_{E2} R_2}{R'} = I_{E2} \cdot \frac{\frac{R_E R'}{R_E + R'}}{R'} = I_{E2} \cdot \frac{R_E}{R_E + R'}$$

Với $R_2 = R_E // R'$

Mà ta có:

$$I_{b2} < I_{c2} = |I_o| = I_{E2}$$

$$\beta' = \frac{I_f}{I_o} = \frac{R_E}{R' + R_E}$$

8. Khảo sát một số mạch hồi tiếp thông dụng

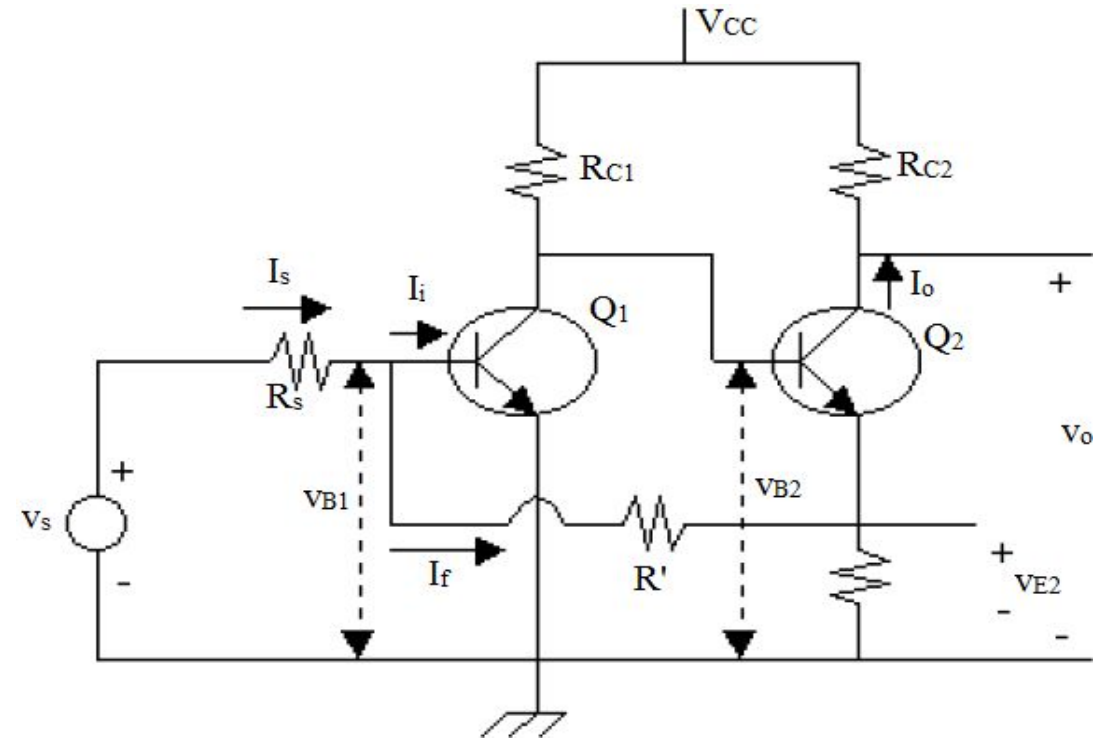
b) Mạch hồi tiếp dòng điện song song

Ta có: $I_i = I_s - I_f$, khi tín hiệu vào tăng làm cho I_s tăng và I_f cũng tăng và $I_i = I_s - I_f$ sẽ nhỏ gần bằng 0 $\Rightarrow I_s = I_f$

Ta có:
$$A_{if} = \frac{I_o}{I_s} \approx \frac{1}{\beta'} = \frac{R_E + R'}{R_E}$$

Độ lợi điện áp:

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{I_o R_{C2}}{I_s R_s} = A_{if} \cdot \frac{R_{C2}}{R_s} \approx \frac{R' + R_E}{R_E} \cdot \frac{R_{C2}}{R_s} = \frac{R_{C2}}{\beta' R_s}$$



Tham khảo

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