

Bài 9: KHUẾCH ĐẠI HỒI TIẾP

9.1 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.

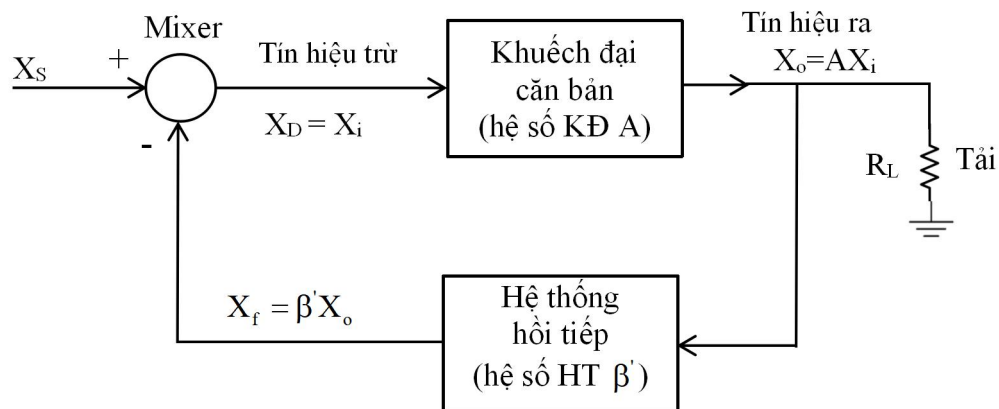
Hồi tiếp âm tuy có nhược điểm là làm giảm độ lợi truyền nhưng lại có một số ưu điểm nổi bật nên được ứng dụng rộng rãi:

- 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.

Trong bài này chúng ta chỉ đề cập đến khuếch đại hồi tiếp âm và khảo sát ảnh hưởng của loại hồi tiếp này lên các thông số cũng như tính chất của mạch khuếch đại.

9.2 Phân loại mạch khuếch đại hồi tiếp

Mạch khuếch đại có hồi tiếp được trình bày một cách tổng quát như hình sau:



Hình 9.1: Sơ đồ khối mạch khuếch đại có hồi tiếp

Trong đó:

X_s : nguồn tín hiệu, có thể là nguồn điện áp V_s nối tiếp với một nội trở R_s hay nguồn dòng điện I_s song song với nội trở R_s .

Mixer : mạch so sánh hoặc trộn, có hai loại mạch trộn rất thông dụng là loại trộn ngõ vào nối tiếp và loại trộn ngõ vào song song.

$X_i(X_D)$: 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. Hệ số khuếch đại A có thể là: A_V hệ số khuếch đại điện áp hay độ lợi điện áp, A_I hệ số khuếch đại dòng điện hay độ lợi dòng điện, G_M điện dẫn truyền hay độ truyền dẫn (Transconductance) và R_M điện trở truyền (Transresistance).

X_o : tín hiệu ngõ ra.

X_f : tín hiệu hồi tiếp.

β' : hệ số hồi tiếp.

A_f : độ lợi (hay hệ số khuếch đại) vòng kín của mạch khuếch đại khi có hồi tiếp. Hệ số khuếch đại A_f có thể là: A_{Vf} hệ số khuếch đại điện áp hay độ lợi điện áp, A_{If} hệ số khuếch đại dòng điện, G_{Mf} điện dẫn truyền hay độ truyền dẫn (Transconductance) và R_{Mf} điện trở truyền (Transresistance).

Có thể phân loại mạch hồi tiếp theo hai cách sau:

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. Nói cách khác, 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. Trong trường hợp này ta có:

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

- Hồi tiếp nối tiếp: khi điện áp nguồn và điện áp hồi tiếp ghép nối tiếp nhau. Nói cách khác, 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. Trong trường hợp này ta có:

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

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)
- + Hồi tiếp dòng điện song song (khuếch đại dòng điện)
- + Hồi tiếp dòng điện nối tiếp (khuếch đại điện dẫn truyền)
- + Hồi tiếp điện áp song song (khuếch đại điện trở truyền)

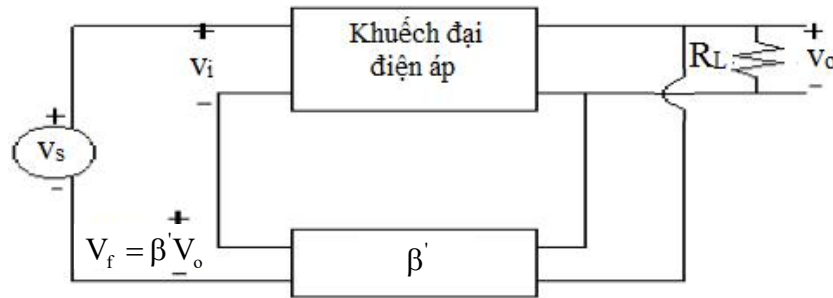
9.3 Phân giải mạch khuếch đại có hồi tiếp

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 Hình 9.1 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 được trình bày như sau:

9.3.1 Hồi tiếp điện áp nối tiếp

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 được trình bày trong hình 9.2. Mạch hồi tiếp này ổn định điện áp ngõ ra theo điện áp ngõ vào, ổn định hệ số khuếch đại điện áp.

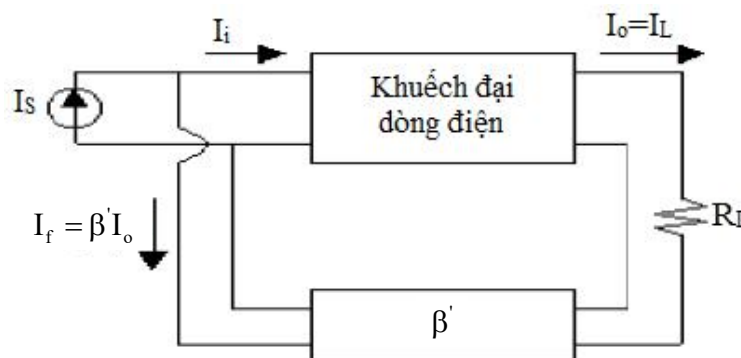


Hình 9.2: Mạch hồi tiếp điện áp nối tiếp

- 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)

9.3.2 Hồi tiếp dòng điện song song

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 được trình bày trong hình 9.3. Mạch hồi tiếp này ổn định dòng điện ngõ ra theo dòng điện ngõ vào, ổn định hệ số khuếch đại dòng điện.

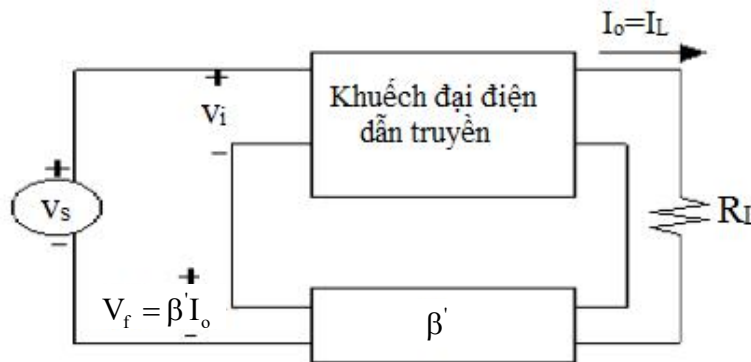


Hình 9.3: Mạch hồi tiếp dòng điện song song

- 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)

9.3.3 Hồi tiếp dòng điện nối tiếp

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 được trình bày trong hình 9.4. Mạch hồi tiếp này ổn định dòng điện ngõ ra theo điện áp ngõ vào, ổn định hệ số khuếch đại điện dẫn truyền.

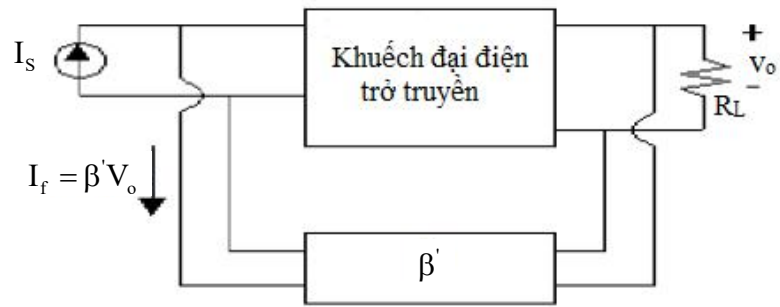


Hình 9.4: Mạch hồi tiếp dòng điện nối tiếp

- 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)

9.3.4 Hồi tiếp điện áp song song

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 được trình bày trong hình 9.5. Mạch hồi tiếp này ổn định điện áp ngõ ra theo dòng điện ngõ vào, ổn định hệ số khuếch đại điện trở truyền.



Hình 9.5: Mạch hồi tiếp điện áp song song

- 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)

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

Bảng 9.1

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'	$\frac{V_f}{V_o}$	$\frac{I_f}{I_o}$	$\frac{V_f}{I_o}$	$\frac{I_f}{V_o}$

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

9.4.1 Hệ số khuếch đại có hồi tiếp

Từ sơ đồ khối mạch khuếch đại có hồi tiếp hình 9.1, xét trường hợp:

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

Hệ số hồi tiếp β' được định nghĩa:

$$\beta' = \frac{X_f}{X_o} \quad (9.2)$$

Hệ số β' thường là một số thực dương hay âm, nhưng một cách tổng quát β' là một hàm phức theo tần số tín hiệu.

Độ lợi của mạch khuếch đại khi chưa có hồi tiếp là:

$$A = \frac{X_o}{X_i} \quad (9.3)$$

Độ lợi của mạch khuếch đại khi có hồi tiếp là:

$$A_f = \frac{X_o}{X_s} \quad (9.4)$$

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

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

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.

9.4.2 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 độ lợi A của mạch sẽ thay đổi.

Khi có hồi tiếp ta có:

$$\begin{aligned} A_f &= \frac{A}{1 + \beta' A} \\ \frac{dA_f}{A_f} &= \frac{dA}{A} - \frac{d(1 + \beta' A)}{1 + \beta' A} = \frac{dA + \beta' A \cdot dA - \beta' A \cdot dA}{A(1 + \beta' A)} \Rightarrow \frac{dA_f}{A_f} = \frac{dA}{A} \cdot \frac{1}{1 + \beta' A} \end{aligned}$$

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:

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

Nghĩa là mạch khuếch đại sau khi thực hiện hồi tiếp âm độ lợi chỉ còn tùy thuộc vào hệ số hồi tiếp 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.

9.4.3 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.

$$\text{Tín hiệu ngõ ra: } X_o = AX_i + D$$

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

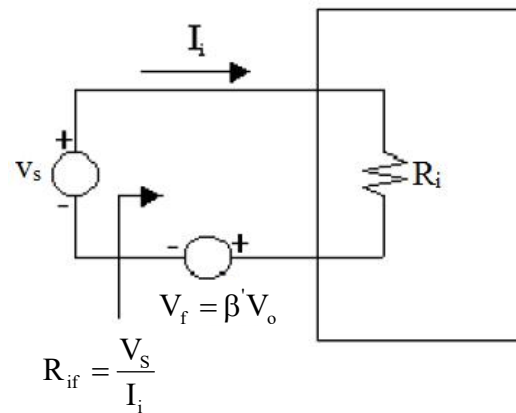
$$\begin{aligned} D_f &= D - \beta' A D_f \\ \Rightarrow D_f (1 + \beta' A) &= D \\ \Rightarrow D_f &= \frac{D}{1 + \beta' A} \end{aligned}$$

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

9.5 Ảnh hưởng của hồi tiếp âm lên điện trở vào

Bây giờ ta xét ảnh hưởng của hồi tiếp âm lên điện trở vào của mạch khuếch đại.

- a) Nếu tín hiệu hồi tiếp đưa về ngõ vào là điện áp là V_f mắc nối tiếp với điện áp ngõ vào (hình 9.2, hình 9.4) thì tổng trở vào sẽ tăng.



Hình 9.6

Vì điện áp hồi tiếp V_f ngược chiều với V_s nên dòng điện vào I_i nhỏ hơn khi mạch chưa có hồi tiếp âm. Như vậy điện trở ngõ vào khi có hồi tiếp $R_{if} = \frac{V_s}{I_i}$ lớn hơn điện trở ngõ vào R_i khi chưa có hồi tiếp. Theo (***) ta có: $V_s = V_i + V_f$

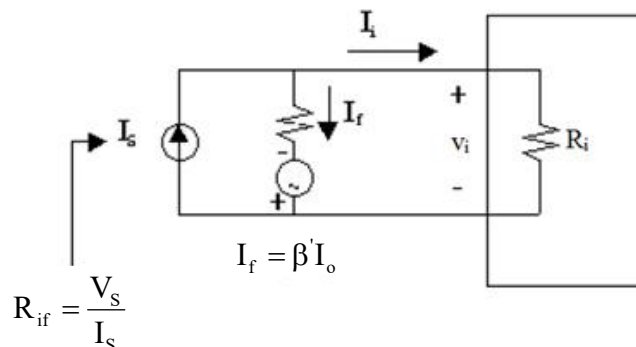
$$\text{Suy ra: } R_{if} = \frac{V_s}{I_i} = \frac{V_i + V_f}{I_i} \quad (9.6)$$

Từ công thức (9.6) chia tử số và mẫu số cho v_i , ta được:

$$R_{if} = \frac{1 + \frac{V_f}{V_i}}{\frac{I_i}{V_i}} = \frac{V_i}{I_i} \left(1 + \frac{V_f}{V_o} \cdot \frac{V_o}{V_i} \right) = R_i (1 + \beta' A_v) = R_i \cdot F \quad (9.7)$$

Từ công thức (9.7) 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.

- b) Nếu tín hiệu hồi tiếp đưa về ngõ vào là dòng điện I_f mắc song song với tín hiệu dòng điện ngõ vào (hình 9.3, hình 9.5) thì tổng trở vào sẽ giảm.



Hình 9.7

Vì $I_i = I_s - I_f$, nên I_i với một giá trị xác định của I_f sẽ nhỏ hơn khi chưa có hồi tiếp âm.

$$\text{Ta có: } R_{if} = \frac{v_s}{I_s} = \frac{R_i \cdot I_i}{I_s} = \frac{R_i \cdot I_i}{I_i + I_f} \quad (9.8)$$

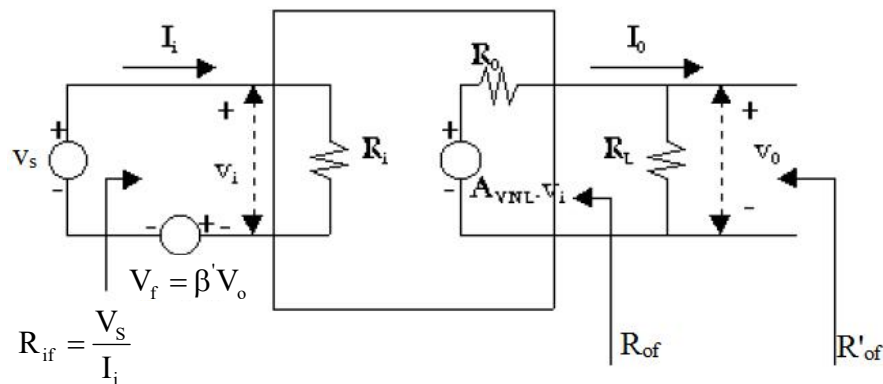
Từ công thức (9.8) chia tử số và mẫu số cho I_i , ta được:

$$R_{if} = \frac{R_i}{1 + \frac{I_f}{I_i}} = \frac{R_i}{1 + \frac{I_f}{I_o} \cdot \frac{I_o}{I_i}} = \frac{R_i}{1 + \beta' A_i} = \frac{R_i}{F} \quad (9.9)$$

Từ công thức (9.9) 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.

9.5.1 Mạch hồi tiếp điện áp nối tiếp

Dạng mạch hình 9.2 được vẽ lại như trong hình 9.8 với mạch khuếch đại được thay thế bằng mạch tương đương Thevenin. Trong mạch A_{VNL} là độ lợi điện áp của mạch hở (không tải), nhưng xem R_s như một thành phần của mạch khuếch đại.



Hình 9.8

Từ hình 9.8, ta có điện trở ngõ vào có hồi tiếp là:

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

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

$$\text{Với: } V_o = \frac{R_L}{R_L + R_o} A_{VNL} \cdot V_i \Leftrightarrow \frac{V_o}{V_i} = A_v = \frac{A_{VNL} \cdot R_L}{R_L + R_o}$$

$$\Leftrightarrow V_o = A_v \cdot V_i = A_v \cdot R_i I_i \quad (9.12)$$

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:

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

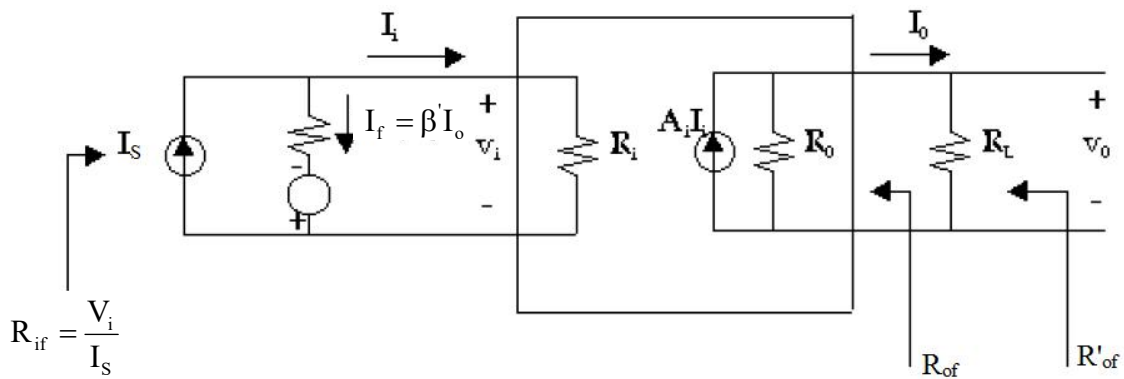
Trong đó: A_{VNL} độ lợi điện áp của mạch hở không hồi tiếp, khi chưa có tải

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

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

9.5.2 Mạch hồi tiếp dòng điện song song

Dạng mạch mẫu hình 9.3 được vẽ lại với mạch khuếch đại được thay thế bằng mạch tương đương Thevenin. Trong mạch này A_i là độ lợi dòng điện của mạch mạch hở (không tải), với nội trở nguồn R_S được xem như một thành phần của mạch khuếch đại.



Hình 9.9

Từ mạch hình 9.9, ta có:

$$I_S = I_i + I_f = I_i + \beta' I_o \quad (9.14)$$

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

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:

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

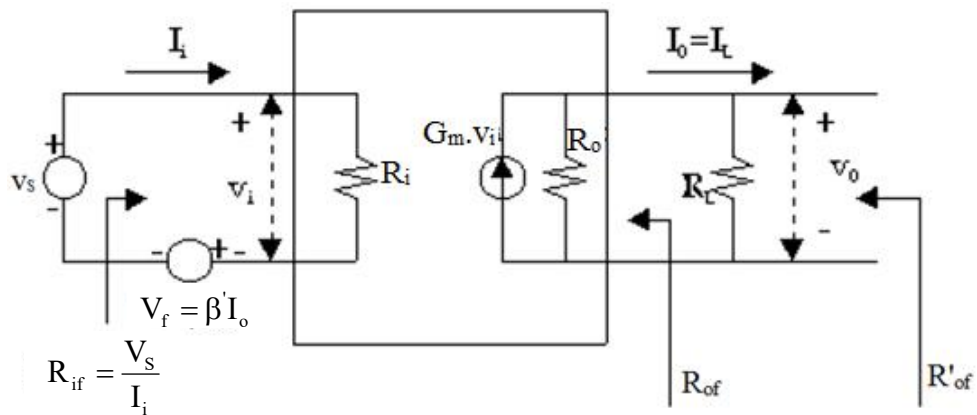
$$\text{Mà ta có: } R_{if} = \frac{V_i}{I_S} \Rightarrow R_{if} = \frac{V_i}{(1 + \beta' A_I) I_i}$$

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

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

9.5.3 Mạch hồi tiếp dòng điện nối tiếp

Dạng mạch mẫu hình 9.4 được vẽ lại bằng mạch tương đương như sau:



Hình 9.10

$$\text{Từ hình 9.10 ta có: } R_{if} = \frac{V_S}{I_i}$$

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

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

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

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

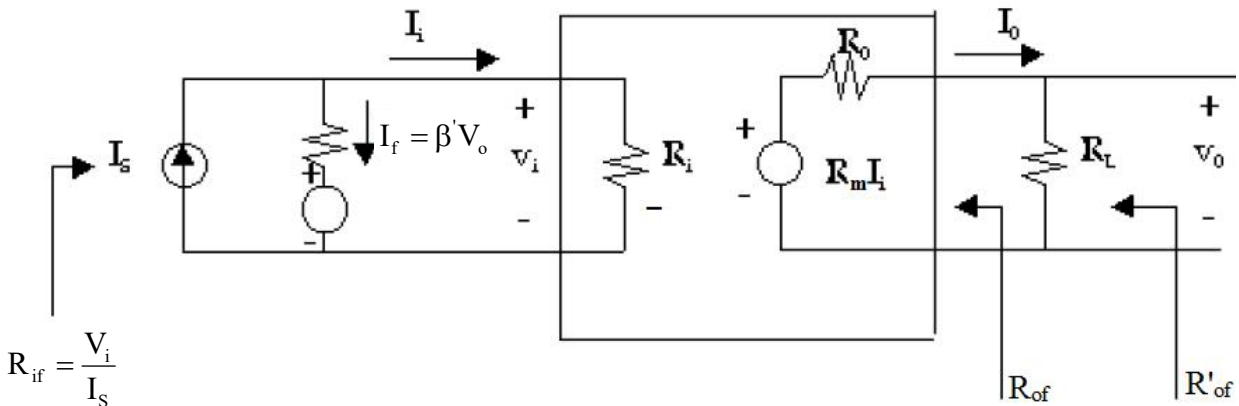
G_m là điện dẫn truyền của mạch hở (không có hồi tiếp) không tải

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

$$\text{Do đó: } G_m = \lim_{R_L \rightarrow 0} G_M$$

11.5.4 Mạch hồi tiếp điện áp song song

Dạng mạch mẫu hình 9.5 được vẽ lại bằng mạch tương đương như sau:



Hình 9.11

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

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

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

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

R_m là điện trở truyền của mạch hở (không có hồi tiếp) không tải

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

Do đó: $R_m = \lim_{R_L \rightarrow \infty} R_M$

9.6 Ảnh hưởng của hồi tiếp âm lên điện trở ra

Bây giờ ta xét ảnh hưởng của hồi tiếp âm lên điện trở ngõ ra của mạch khuếch đại.

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

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

9.6.1 Mạch hồi tiếp điện áp nối tiếp

Chúng ta đi 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 hình 9.8 ta tìm được (V_o được thay thế bằng V) như sau:

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

Vì ta có: $V_S = V_i + V_f = V_i + \beta' V_o$, mà $V_S = 0$ và $V_o = V$, suy ra $V_i = -\beta' V$

Từ đó suy ra:

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

Chú ý là R_o chia cho thừa số hồi tiếp $1 + \beta' A_{VNL}$ (chứ không phải A_V), trong đó A_{VNL} là độ lợi điện áp của mạch không có hồi tiếp và hở ($R_L = \infty$). Khi đưa tải R_L vào mạch, điện trở ngõ ra của mạch hồi tiếp bây giờ sẽ là: $R'_{of} = R_L // R_{of}$

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

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

9.6.2 Mạch hồi tiếp dòng điện song song

Từ hình 9.9, với $V_o = V$

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

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

$$\text{Do đó: } R_{of} = \frac{V}{I} = R_o(1 + \beta' A_i)$$

với A_i là độ lợi dòng điện của mạch nối tắt ($R_L = 0$). Khi mắc R_L vào:

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

$$\text{Với } R'_o = R_o // R_L$$

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

$$\text{Suy ra: } R'_{of} = R'_o \cdot \frac{1 + \beta' A_i}{1 + \beta' A_i}$$

9.6.3 Mạch hồi tiếp điện áp song song

Từ hình 9.11, ngắt nguồn ngõ vào ($I_s = 0$) và cho hở tải ($R_L = \infty$).

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

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

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

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

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

Khi mắc tải R_L vào ta được:

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

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

$$= \frac{R_o R_L / (R_o + R_L)}{1 + \frac{\beta' R_m R_L}{R_o + R_L}}$$

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.

Suy ra: $R'_{of} = \frac{R'_o}{1 + \beta' R_M}$

9.6.4 Mạch hồi tiếp dòng điện nối tiếp

Từ hình 9.10, với $V_S = 0, R_L = \infty$.

Dùng cách tính tương tự như các phần trên ta tìm được:

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

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

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

Chú ý G_m là điện dẫn truyền của mạch không có hồi tiếp nối tắt ($R_L = 0$) còn G_M là khi có tải.

Bảng 9.2

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}	$\frac{R_o}{1 + \beta' A_{VNL}}$	$R_o(1 + \beta' A_i)$	$R_o(1 + \beta' G_m)$	$\frac{R_o}{1 + \beta' R_m}$
$R'_{of} = R_{of} // R_L$	$\frac{R'_o}{F}$	$R'_o \frac{(1 + \beta' A_i)}{F}$	$R'_o \frac{(1 + \beta' G_m)}{F}$	$\frac{R'_o}{F}$

9.7 Phân tích 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 Kirchoff cho mạch tương đương.

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

Lưu ý:

Trong Bước 1, để xác định X_f và X_o là điện áp hay dòng điện và ghép nối tiếp hay song song, chúng ta thực hiện như sau:

❖ *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.

❖ *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

Trong Bước 2, để tính toán mạch khuếch đại căn bản không có hồi tiếp, chúng ta phân mạch khuếch đại có hồi tiếp ra làm 2 thành phần: Mạch khuếch đại căn bản A (không có hồi tiếp) 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:

❖ *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).

❖ *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).

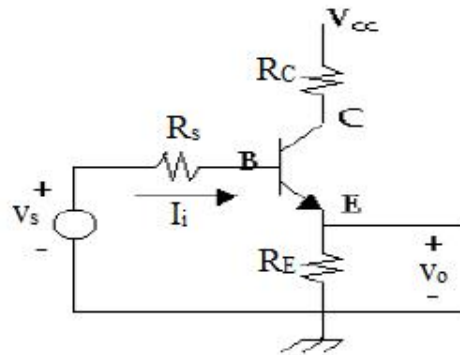
Đặt $I_i = 0$ khi mạch trộn nối tiếp (mạch vòng ngõ vào hở- không có điện áp hồi tiếp đưa vào ngõ vào).

9.8 Khảo sát một số mạch hồi tiếp thông dụng

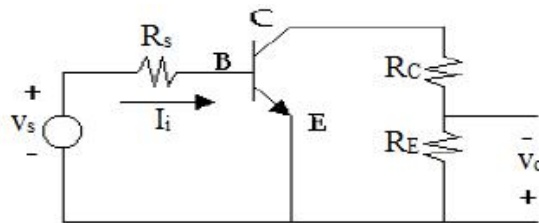
9.8.1 Mạch hồi tiếp điện áp nối tiếp

a) Khảo sát mạch cực phát chung dùng BJT được cho ở hình 9.12. Tín hiệu hồi tiếp là điện áp V_f ngang qua R_E và tín hiệu lấy mẫu là V_o ngang qua R_E . Như vậy đây là trường hợp của mạch hồi tiếp điện áp nối tiếp.

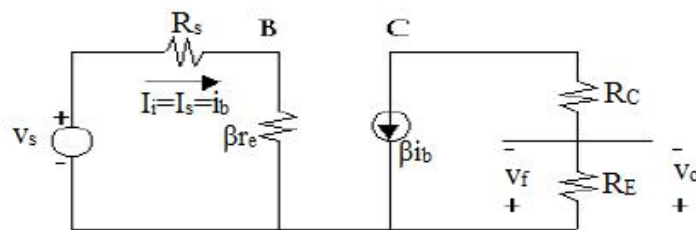
Để vẽ mạch khuếch đại căn bản không hồi tiếp ta tìm mạch ngõ vào bằng cách cho $V_o = 0$. Vậy V_s nối tiếp R_s xuất hiện giữa B và E. Để tìm mạch ngõ ra ta cho $I_i = 0$ (mạch vòng ngõ vào hở) vậy R_E chỉ xuất hiện ở mạch vòng ngõ ra. Ta vẽ được mạch hình 9.13. Thay BJT bằng mạch tương đương tín hiệu nhỏ ta được mạch hình 9.14.



Hình 9.12



Hình 9.13



Hình 9.14

Ta có: $V_o = V_f \Rightarrow \beta' = \frac{V_f}{V_o} = 1$

Vì R_S được xem là một thành phần của mạch khuếch đại, và ta có $V_i = V_S = R_S \cdot I_S + i_b \beta r_e$;

mà $I_i = I_S = i_b$ suy ra $V_i = V_S = R_S \cdot i_b + i_b \beta r_e = i_b (R_S + \beta r_e)$

Nên ta có: $A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_S} = \frac{\beta i_b \cdot R_E}{V_S} = \frac{\beta R_E}{R_S + \beta r_e}$

Đối với mạch hồi tiếp điện áp nối tiếp thì ta có:

$$F = 1 + \beta' A_V = 1 + \frac{\beta R_E}{R_S + \beta r_e} = \frac{R_S + \beta r_e + \beta R_E}{R_S + \beta r_e}$$

Lưu ý: với $\beta' = 1$ là hệ số hồi tiếp và β là hệ số khuếch đại dòng điện.

$$\Rightarrow A_{Vf} = \frac{A_V}{F} = \frac{\beta R_E}{R_S + \beta r_e} \cdot \frac{R_S + \beta r_e}{R_S + \beta r_e + \beta R_E} = \frac{R_E}{\frac{R_S}{\beta} + (r_e + R_E)}$$

Điện trở ngõ vào của mạch không có hồi tiếp là:

$$R_i = R_S + \beta r_e$$

$$\Rightarrow R_{if} = R_i \cdot F = (R_S + \beta r_e) \cdot \frac{R_S + \beta(r_e + R_E)}{R_S + \beta r_e}$$

$R_{if} = R_S + \beta(r_e + R_E)$ vì R_E được xem như tải R_L nên

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

Trong đó $R_o \rightarrow \infty$ (nhìn vào nguồn dòng điện)

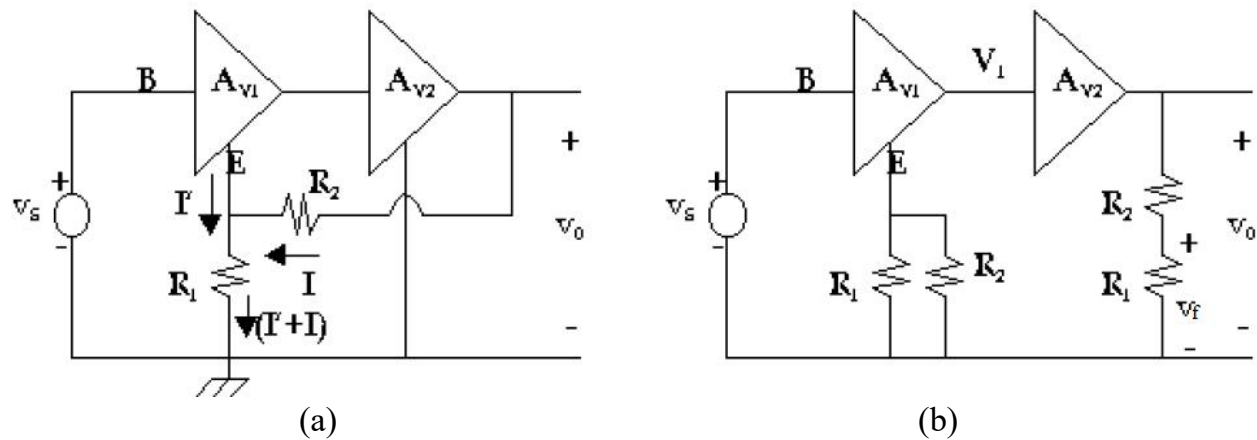
Và $A_{VNL} = \lim_{R_L \rightarrow \infty} A_V = \infty$ nên $R'_o = R_E$

Suy ra $R'_{of} = \frac{R'_o}{F} = \frac{R_E (R_S + \beta r_e)}{R_S + \beta(r_e + R_E)}$

Và $R_{of} = \lim_{R_E \rightarrow \infty} R'_{of} = \frac{R_S + \beta r_e}{\beta} = r_e + \frac{R_S}{\beta}$

b) Cặp hồi tiếp điện áp nối tiếp

Khảo sát mạch cặp hồi tiếp điện áp nối tiếp được trình bày như sau:



Hình 9.15

Hình 9.15 (a) trình bày một 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 v_s . Đây là trường hợp của mạch hồi tiếp điện áp nối tiếp. Đặc tính chủ yếu như đã thấy là tổng trở vào tăng, tổng trở ra giảm và độ lợi điện áp ổn định.

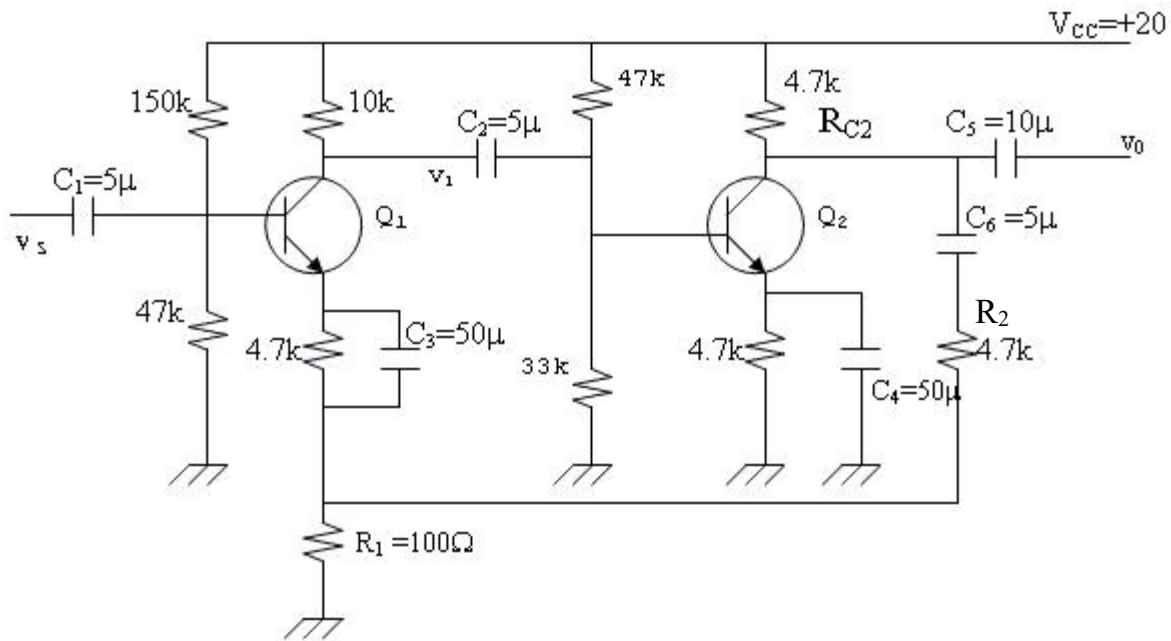
Mạch vào của mạch căn bản được tìm bằng cách cho $v_o = 0$, vậy R_2 song song với R_1 . Ngõ ra được tìm bằng cách cho $I_i = 0$ ($I' = 0$), vậy ngõ ra R_1 nối tiếp với R_2 . Ta được mạch tương đương không hồi tiếp trình bày trong hình 9.15 (b). Từ mạch này ta có điện áp hồi tiếp v_f ngang qua R_1 tỉ lệ với điện áp được lấy mẫu v_o , áp dụng cầu phân áp trên R_1 và R_2 ta có:

$$v_f = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_o$$

Suy ra

$$\frac{v_f}{v_o} = \beta' = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Ví dụ: Cho mạch cặp hồi tiếp điện áp nối tiếp cụ thể như hình sau, trong đó: $R_s = 0$, $\beta = 100$. Hãy xác định A_{vf} , R_{of} , R_{if}



Hình 9.16

Đầu tiên ta tính độ lợi toàn mạch khi chưa có hồi tiếp:

$$A_v = A_{v1} \cdot A_{v2}$$

Dùng cách tính phân cực như các bài trước ta tìm được:

$$r_{e1} \sim 17,5\Omega \quad r_{e2} \sim 8,9\Omega$$

$$\beta r_{e1} = 1,75k\Omega \quad \beta r_{e2} = 0,89k\Omega \quad (\text{với } \beta = 100)$$

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:

$$R_E = R_1 // R_2 = 98\Omega \quad (\text{với } R_1 = 100\Omega, R_2 = 4,7k\Omega)$$

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: $A_v = A_{v1} \cdot A_{v2} = (-10,5) \cdot (-139,4) = 1.797,5$

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

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:

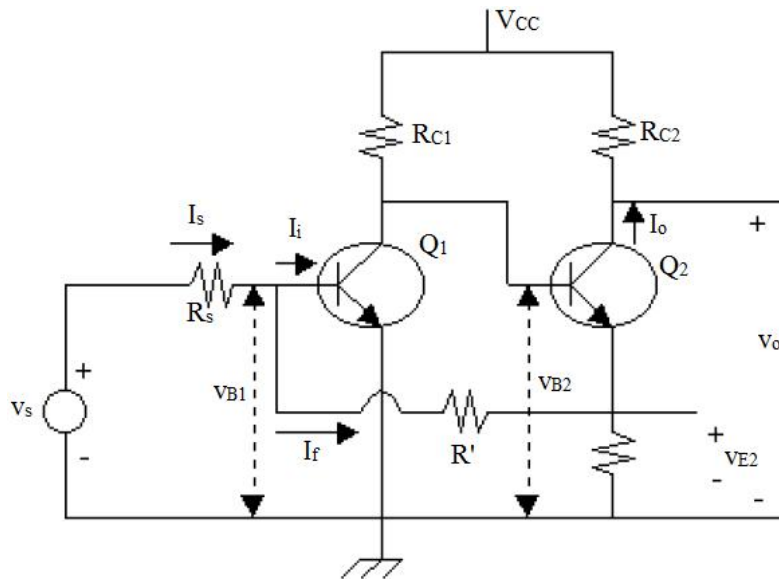
$$R'_{of} = \frac{R'_o}{F} = 61,7\Omega$$

9.8.2 Mạch khuếch đại hồi tiếp dòng điện song song

Hình 9.17 là 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' . Từ các lý luận ở mục 9.7 ta thấy mạch trộn song song được dùng và tín hiệu hồi tiếp X_f là dòng điện I_f chạy qua R' được nối từ nút vào đến mạch ngõ ra.

Đầu tiên ta đổi nguồn tín hiệu v_s thành nguồn Norton gồm có nguồn dòng điện

$I_s = \frac{V_s}{R_s}$ chạy vào nút vào song song với R_s .



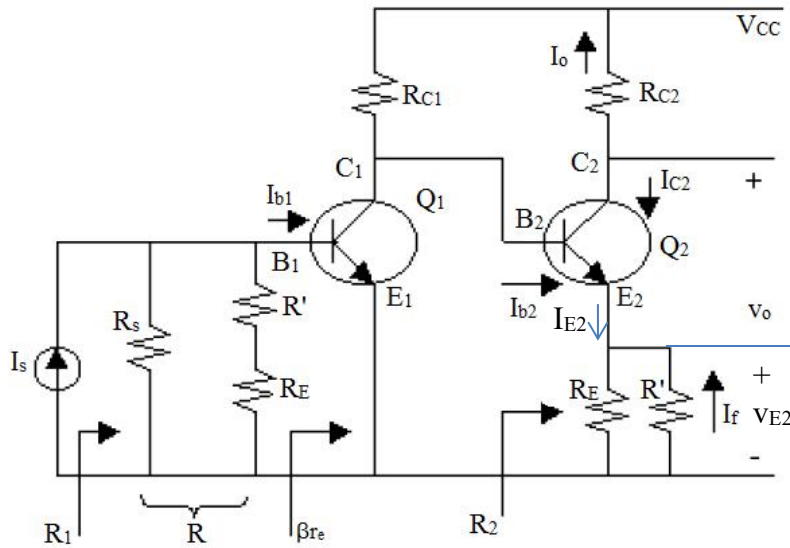
Hình 9.17

Để xác định loại lấy mẫu, ta cho $v_o = 0$ ($R_{C2} = 0$), điều này không làm giảm I_o và không làm cho dòng qua R_E của Q_2 xuống 0 và dòng I_f không giảm xuống 0 vậy mạch này không phải lấy mẫu điện áp. Bây giờ nếu cho $I_o = 0$ ($R_{C2} = \infty$), dòng I_f sẽ bằng 0 vậy mạch lấy mẫu dòng điện. Như vậy mạch hình 9.17 là một mạch hồi tiếp dòng điện song song. Bây giờ ta sẽ chứng minh rằng hồi tiếp âm. Điện áp v_{B2} rất lớn đối với v_i do Q_1 khuếch đại. Cũng vậy, v_{B2} lệch pha 180° so với pha của v_i . Vì tác động của mạch theo điện áp (cực phát) - Emitter follower, v_{E2} thay đổi rất ít so với v_{B2} và hai điện áp này cùng pha. Vậy v_{B2} có biên độ lớn hơn v_i (hay v_{B1}) và có pha lệch 180° so với pha của v_i . Nếu tín hiệu vào tăng làm cho I_s tăng và I_f cũng tăng và $I_i = I_s - I_f$ sẽ nhỏ hơn trong trường hợp không có hồi tiếp. Tác động này là một đặc tính của mạch hồi tiếp âm.

Mạch khuếch đại không có hồi tiếp:

Mạch vào của mạch không hồi tiếp tìm được bằng cách cho $I_0 = 0$. Vì dòng I_{B2} không đáng kể nên cực phát của Q_2 xem như hở ($I_{E2} \approx 0$). Kết quả là R' mắc nối tiếp với R_E ở cực nền của Q_1 . Mạch ngõ ra tìm được bằng cách nối tắt nút ngõ vào ($v_i = 0$, cực nền của Q_1). Vậy R' được xem như mắc song song với R_E tại cực phát của Q_2 . Vì tín hiệu hồi tiếp là dòng điện, mạch nguồn được vẽ lại bằng nguồn tương đương Norton với $I_s = V_s/R_s$.

Mạch tương đương như sau:



Hình 9.18

Tín hiệu hồi tiếp là dòng điện I_f chạy qua điện trở R' nằm trong mạch ngõ ra. Từ hình 9.18 ta có:

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

Với $R_2 = R_E // R'$

Mà ta có: $I_{b2} < I_{c2} = |I_o| = I_{E2}$

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

Từ bảng 9.2 ta thấy điện trở ngõ vào giảm, điện trở ngõ ra tăng và độ lợi dòng điện A_{if} ổn định. 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 $\Rightarrow I_s = I_f$

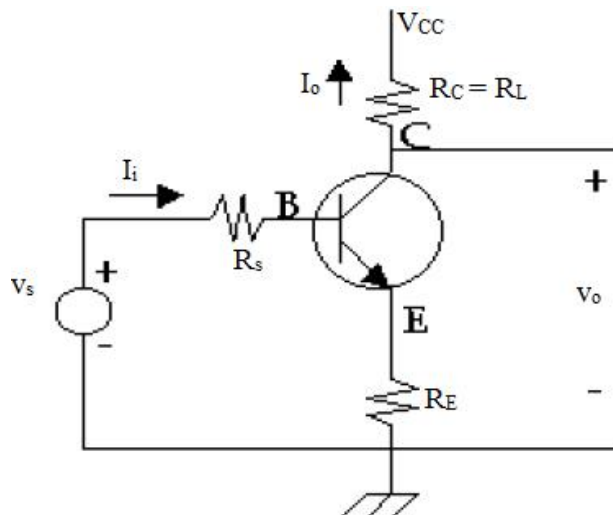
$$\text{Ta có: } A_{if} = \frac{I_o}{I_s} \approx \frac{1}{\beta'} = \frac{R_E + R'}{R_E}$$

$$\text{Độ lợi điện áp: } A_{vf} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{I_o R_{C2}}{I_s R_s} = A_{if} \cdot \frac{R_{C2}}{R_s} \approx \frac{R' + R_E}{R_E} \cdot \frac{R_{C2}}{R_s} = \frac{R_{C2}}{\beta' R_s}$$

Nếu R_E, R', R_{C2}, R_s ổn định thì A_{vf} ổn định (độc lập với thông số của BJT, nhiệt độ hay sự dao động của nguồn điện áp v_s).

9.8.3 Mạch hồi tiếp dòng điện nối tiếp

Ta xem mạch có hồi tiếp ở hình 9.19. Ta thấy tín hiệu hồi tiếp $X_f = V_f$ là điện áp ngang qua điện trở R_E và là cách trộn nối tiếp. Để thử loại lấy mẫu ta cho $V_0 = 0$ ($R_L = 0$). Việc làm này không tạo cho điện áp V_f ngang qua R_E trở thành 0v. Như vậy mạch này không lấy mẫu điện áp. Bây giờ nếu cho $I_0 = 0$ ($R_L = \infty$) nghĩa là dòng cực thu bằng 0 nên V_f ngang qua R_E cũng bằng 0. Vậy mạch lấy mẫu dòng điện ngõ ra, đây là mạch hồi tiếp dòng điện nối tiếp.

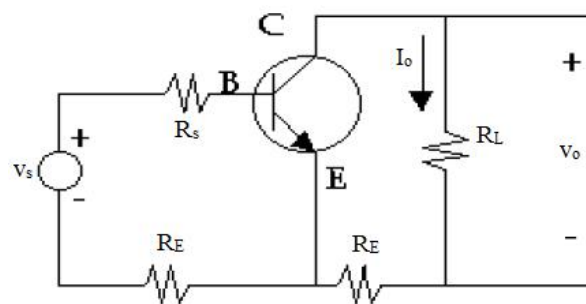


Hình 9.19

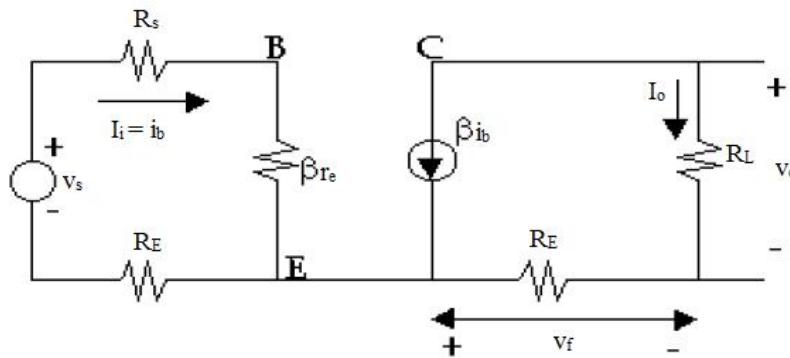
Chú ý là mặc dù dòng điện I_o tỉ lệ với V_o nhưng không thể kết luận là mạch hồi tiếp điện áp nối tiếp vì nếu điện áp lấy mẫu là V_o thì: $\beta' = \frac{V_f}{V_o} = \frac{-I_o R_E}{I_o R_L} = -\frac{R_E}{R_L}$

và β' bây giờ là một hàm số của tải R_L .

Mạch ngõ vào của mạch khuếch đại không hồi tiếp tìm được bằng cách cho I_o bằng 0, R_E xuất hiện ở mạch vào. Để tìm mạch ngõ ra ta cho $I_i = 0$ và R_E cũng hiện diện ở mạch ngõ ra. Mạch được vẽ lại như hình 9.20 và mạch tương đương theo thông số r_e như hình 9.21.



Hình 9.20



Hình 9.21

Vì điện áp hồi tiếp tỉ lệ với I_o là dòng điện được lấy mẫu nên V_f xuất hiện ngang qua R_E trong mạch điện ngõ ra (và không phải ngang qua R_E trong mạch ngõ vào).

Vậy ta có: $\beta' = \frac{V_f}{I_o} = -\frac{I_o R_E}{I_o} = -R_E$

Vì $V_i = V_S$ nên: $G_M = \frac{I_o}{V_i} = -\frac{\beta i_b}{V_S} = -\frac{\beta}{R_S + \beta r_e + R_E}$

$$F = 1 + \beta'G_M = 1 + \frac{\beta \cdot R_E}{R_S + \beta r_e + R_E} = \frac{R_S + \beta r_e + R_E(1 + \beta)}{R_S + \beta r_e + R_E}$$

$$G_{Mf} = \frac{G_M}{F} = \frac{-\beta}{R_S + \beta r_e + (1 + \beta)R_E}$$

Nếu $(1 + \beta)R_E \gg R_S + \beta r_e$ thì $G_{Mf} = \frac{-1}{R_E}$

Nếu R_E là một điện trở cố định, độ lợi điện dẫn truyền của mạch hồi tiếp rất ổn định. Dòng qua tải được cho bởi:

$$I_o = G_{Mf} \cdot V_S = \frac{-\beta \cdot V_S}{R_S + \beta r_e + (1 + \beta)R_E} \equiv \frac{V_S}{R_E}$$

Dòng qua tải như vậy tỉ lệ trực tiếp với điện áp ngõ vào và dòng này chỉ tùy thuộc R_E .

Độ lợi điện áp cho bởi:

$$A_{vf} = \frac{I_o R_L}{V_S} = G_{Mf} \cdot R_L = \frac{-\beta R_L}{R_S + \beta r_e + (1 + \beta)R_E} \approx -\frac{R_L}{R_E}$$

Từ hình 9.21 ta thấy:

$$R_i = R_S + \beta r_e + R_E$$

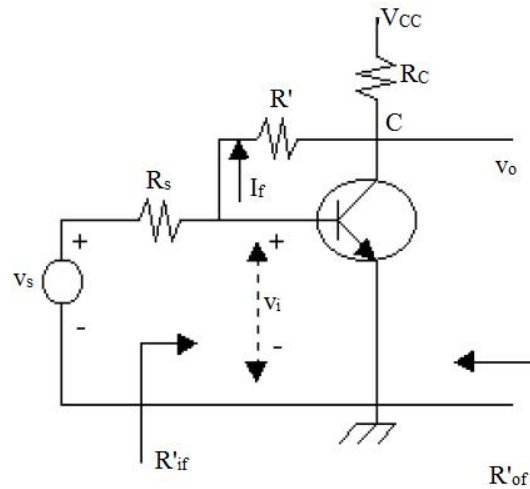
$$\text{Suy ra: } R_{if} = R_i \cdot F = R_S + \beta r_e + (1 + \beta)R_E \approx R_S + \beta(r_e + R_E)$$

$$\text{Do } R_o \approx \infty \text{ nên } R_{of} = R_o \cdot F = R_o(1 + \beta'G_M) = \infty$$

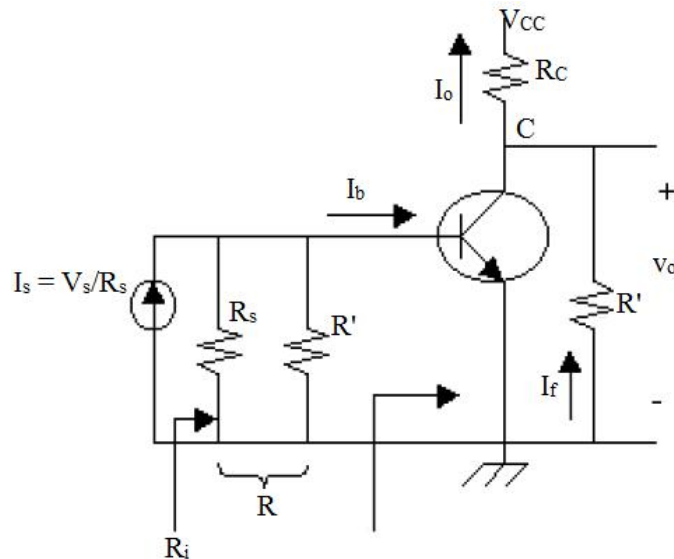
$$\text{Vì vậy: } R'_{of} = R_L // R_{of} = R_L$$

9.8.4 Mạch hồi tiếp điện áp song song

Hình 9.22 là một tầng cực phát chung với điện trở R' được nối từ ngõ ra trở về ngõ vào. Giống như mạch hình 9.17 ta thấy mạch trộn song song được dùng và X_f là dòng điện I_f chạy qua R' .



Hình 9.22



Hình 9.23

Nếu chúng ta cho $V_o = 0$, dòng hồi tiếp I_f sẽ giảm tới 0 chỉ rằng kiểu lấy mẫu điện áp được sử dụng. Vậy mạch này là mạch khuếch đại hồi tiếp điện áp song song. Như thế độ lợi truyền (điện trở truyền) $A_f = R_{Mf}$ được ổn định và cả hai điện trở ngõ vào và ngõ ra đều bị giảm.

Mạch khuếch đại không hồi tiếp: Mạch vào được xác định bằng cách nối tắt nút ra ($V_o = 0$) như vậy R' nối từ cực B đến cực E của BJT. Mạch ngõ ra được xác định bằng cách nối tắt nút vào ($V_i = 0$), như vậy R' nối từ cực thu đến cực phát. Kết quả là mạch

trong đương không hồi tiếp được vẽ lại ở hình 9.23. Vì tín hiệu hồi tiếp là dòng điện, nguồn tín hiệu được biểu diễn bằng nguồn tương đương Norton với $I_s = V_s / R_s$.

Tín hiệu hồi tiếp là dòng điện I_f chạy qua điện trở R' nằm trong mạch ngõ ra. Từ hình 9.23 ta có hệ số hồi tiếp: $\beta' = \frac{I_f}{V_o} = -\frac{1}{R'}$

Điều này chứng tỏ rằng I_f tỉ lệ với V_o và tín hiệu lấy mẫu là điện áp. Với mạch khuếch đại có hồi tiếp ta có: $R_{Mf} = \frac{V_o}{I_s} \approx \frac{1}{\beta'} = -R'$

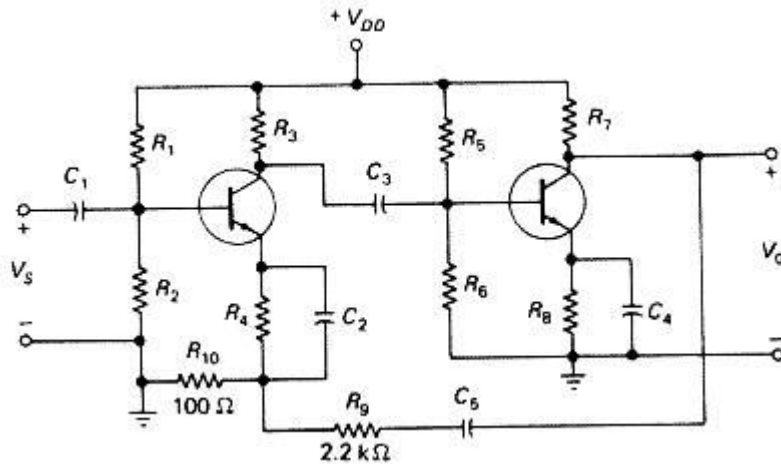
Chú ý rằng điện trở truyền bằng lượng âm của điện trở hồi tiếp từ ngõ ra về ngõ vào. Và nếu R' là một điện trở ổn định thì điện trở truyền sẽ ổn định. Độ lợi điện áp với mạch hồi tiếp:

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{R_s \cdot I_s} \approx \frac{1}{\beta' R_s} = \frac{-R'}{R_s} = \frac{R_{Mf}}{R_s}$$

Bài tập - Khuếch đại hồi tiếp

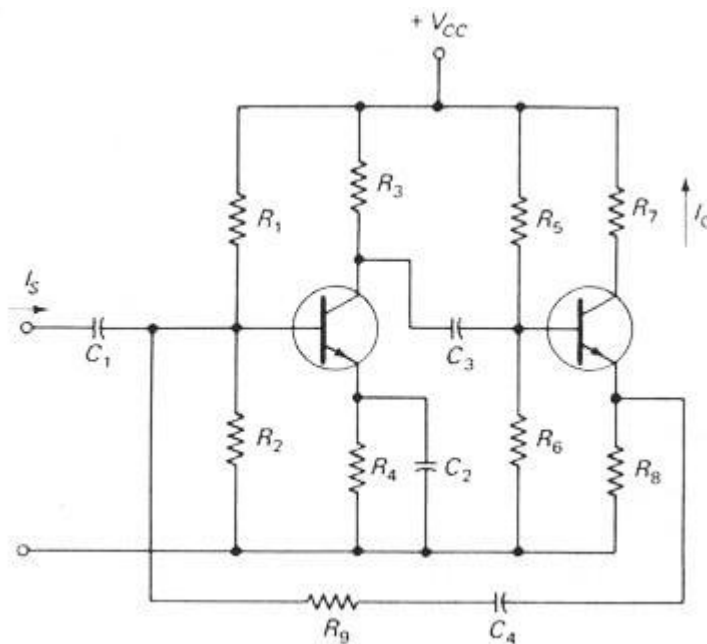
Câu 1: Cho mạch khuếch đại như ở hình sau.

- Hãy xác định loại mạch hồi tiếp
- Cho các thông số của mạch khuếch đại khi không có hồi tiếp là: $A_v = 100$, $R_i = 2k$, và $R_o = 5k$. Hãy xác định các thông số của mạch khuếch đại khi có hồi tiếp.

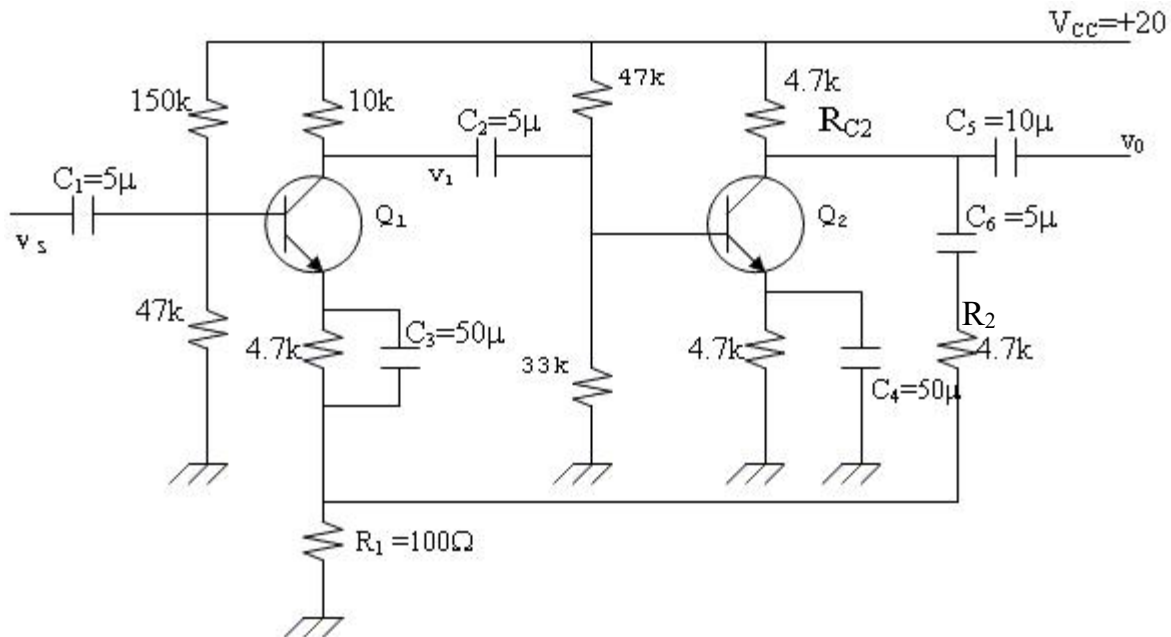


Câu 2: Cho mạch khuếch đại như hình sau.

- Hãy xác định loại mạch hồi tiếp
- Cho các thông số của mạch khuếch đại khi không có hồi tiếp là: $A_1 = 800$, $R_i = 1k\Omega$, và $R_o = 10k\Omega$. Hồi tiếp được đưa qua mạng hồi tiếp gồm có R_8 và R_9 (220Ω và $4.7k\Omega$). Hãy xác định hệ số khuếch đại khi hồi tiếp.

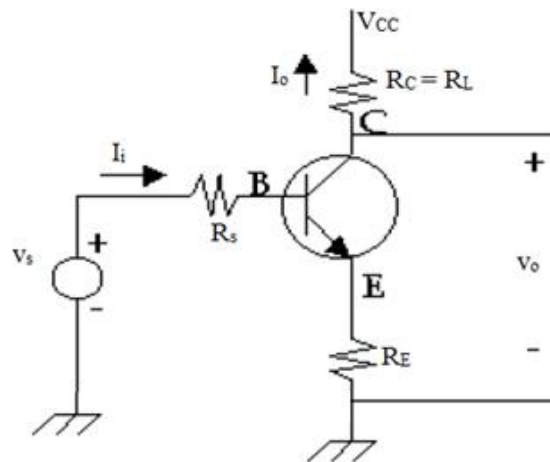


Câu 3: Cho một mạch khuếch đại có hồi tiếp như hình sau:



- Xác định loại mạch hồi tiếp
- Với $R_s = 0$, $\beta = 50$, hãy xác định A_{v_f} , R_{o_f} , R_{i_f}

Câu 4: Cho một mạch khuếch đại có hồi tiếp như hình sau.



- Xác định loại mạch hồi tiếp
- Hãy xác định biểu thức tính: A_{v_f} , R_{o_f} , R_{i_f}

Câu 5: Cho mạch như sau:

- Xác định loại mạch hồi tiếp
- Hãy xác định biểu thức tính độ lợi dòng điện và độ lợi điện áp của mạch khi có hồi tiếp

