

## Bài 11: KHUẾCH ĐẠI 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 mạch hồi tiếp:

*Hồi tiếp âm*: là tín hiệu hồi tiếp ngược pha với tín hiệu vào. Do đó hồi tiếp âm được sử dụng để ổn định làm việc của mạch.

*Hồi tiếp dương*: là tín hiệu hồi tiếp mà có tín hiệu đầu ra và tín hiệu vào cùng pha nhau. Do đó mà hồi tiếp dương được sử dụng cho các mạch tạo dao động.

Trong chương 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.

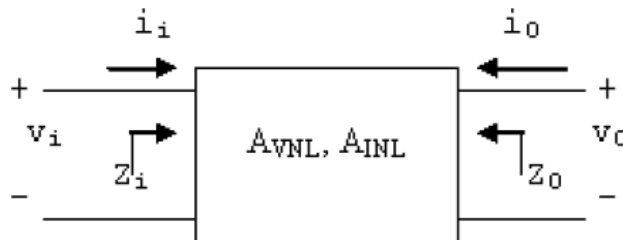
### 11.1 Phân loại mạch khuếch đại hồi tiếp

Khi khảo sát các mạch khuếch đại có hồi tiếp, người ta thường phân chúng thành 4 loại mạch chính: khuếch đại điện thế, khuếch đại dòng điện, khuếch đại điện dẫn truyền và khuếch đại điện trở truyền.

#### 11.1.1 Khuếch đại điện thế (voltage amplifier)

##### a) Mô hình hệ thống 2 cổng

Người ta thường xem transistor BJT như một hệ thống 2 cổng (hay tứ cực) như hình sau:



Hình 11.1: Hệ thống 2 cổng

Ta có:

$$A_{VNL} = \frac{v_0}{v_i}$$

$$A_{INL} = \frac{i_0}{i_i}$$

$$Z_i = \frac{v_i}{i_i} \quad Z_o = \frac{v_0}{i_0}$$

Trong đó  $v_i$ ,  $i_i$ ,  $Z_i$  lần lượt là điện áp, dòng điện và tổng trở của ngõ vào.  $v_o$ ,  $i_o$ ,  $Z_o$  là điện áp, dòng điện và tổng trở của ngõ ra.  $A_{VNL}$ ,  $A_{INL}$  là độ lợi điện áp và độ lợi dòng điện của hệ thống. Toàn bộ các thông số này được định nghĩa khi ngõ ra không mắc tải và không có điện trở nguồn  $R_s$ .

Áp dụng định lý Thevenin ở hai cực của ngõ ra, ta có:  $Z_{th} = Z_o = R_o$

Nguồn điện áp Thevenin  $E_{th}$  là điện áp mạch hở giữa 2 đầu ngõ ra, đó là  $v_o$ .

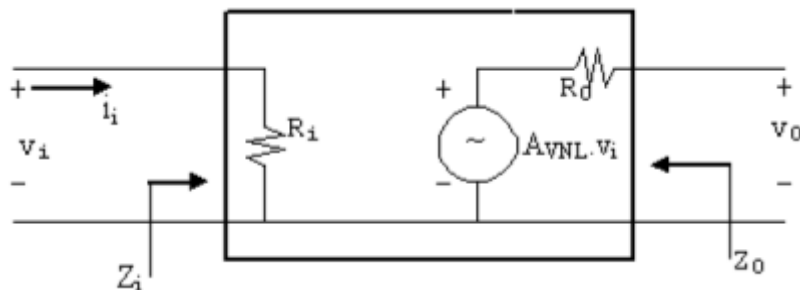
Mà ta có:

$$A_{VNL} = \frac{v_0}{v_i} \Rightarrow v_0 = A_{VNL} \cdot v_i$$

Suy ra:  $E_{th} = v_o = A_{VNL} \cdot v_i$

Ta có thể dùng  $R_i = Z_i = v_i / i_i$  để biểu diễn mạch ngõ vào và dùng nguồn Thevenin

$E_{th} = A_{VNL} \cdot v_i$  và  $Z_o = R_o$  để biểu diễn ngõ ra của hệ thống 2 cổng.

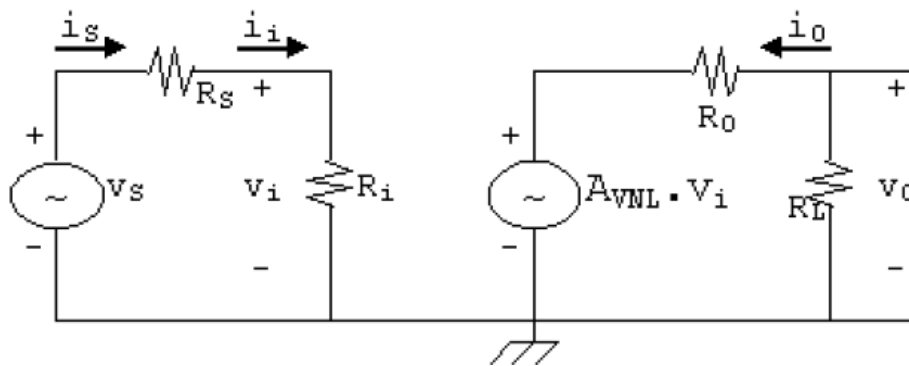


Hình 11.2: Mạch tương đương

Để thử lại mạch tương đương này, ta thử tìm  $Z_0$  và  $A_{VNL}$ . Để tìm  $Z_0$ , ta nối tắt ngõ vào tức  $v_i=0v$ , từ đó  $A_{VNL} \cdot v_i=0v$  và tương đương với mạch nối tắt, do đó  $Z_0=R_0$  như đã định nghĩa phía trên. Sự vắng mặt của tải sẽ đưa đến  $i_0=0$  và điện áp giảm qua  $R_0$  là  $V_{R0}=0$ . Do đó ở ngõ ra hở chính bằng nguồn  $v_o=A_{VNL} \cdot v_i$ , suy ra  $A_{VNL} = v_o / v_i$

### b) Ảnh hưởng chung của $R_S$ và $R_L$ lên mạch khuếch đại

Một nguồn tín hiệu với nội trở  $R_S$  và một tải  $R_L$  được mắc vào hệ thống 2 cổng với các thông số riêng  $Z_i=R_i$ ,  $A_{VNL}$ ,  $Z_0=R_0$  như đã định nghĩa. Hình sau trình bày mạch tương đương Thevenin của một hệ thống 2 cổng, mô hình hóa của một mạch khuếch đại căn bản.



Hình 11.3: Mạch tương đương Thevenin của một hệ thống 2 cổng

Ở ngõ vào ta có:

$$v_i = \frac{R_i}{R_s + R_i} \cdot v_s \quad \text{hay} \quad \frac{v_i}{v_s} = \frac{R_i}{R_s + R_i}$$

Ở ngõ ra ta có:

$$v_o = \frac{R_L}{R_L + R_0} \cdot A_{VNL} \cdot v_i$$

Hay:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_L}{R_L + R_0} \cdot A_{VNL}$$

Độ lợi áp toàn mạch:

$$A_{vs} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{v_i} \cdot \frac{v_i}{v_s}$$

$$\Rightarrow A_{vs} = \frac{R_L}{R_L + R_o} \cdot \frac{R_i}{R_i + R_s} \cdot A_{vNL}$$

Vì:

$$i_i = \frac{v_i}{R_i} \text{ nên } A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{-\frac{v_o}{R_L}}{\frac{v_i}{R_i}} = -\frac{v_o}{v_i} \cdot \frac{R_i}{R_L}$$

Suy ra độ lợi dòng:

$$\Rightarrow A_i = -A_v \cdot \frac{R_i}{R_L}$$

Ngoài ra:

$$i_s = \frac{v_s}{R_i + R_s} \Rightarrow A_{is} = \frac{i_o}{i_s} = \frac{-\frac{v_o}{R_L}}{\frac{v_s}{R_i + R_s}} = \frac{-v_o}{v_s} \cdot \frac{R_i + R_s}{R_L}$$

Độ lợi dòng tổng:

$$\Rightarrow A_{is} = -A_{vs} \cdot \frac{R_i + R_s}{R_L}$$

Vì  $i_s = i_i$  nên  $A_{is} = A_i$ . Phương trình độ lợi áp toàn mạch cho thấy cả hai  $R_s$  và  $R_L$  đều có tác dụng làm giảm độ khuếch đại.

\* Xét trường hợp:

- Nếu mạch có điện trở ngõ vào  $R_i$  rất lớn so với nội trở  $R_s$  của nguồn tín hiệu thì  $v_i \approx v_s$
- Nếu tải  $R_L$  rất lớn so với với điện trở ngõ ra  $R_o$  của mạch khuếch đại thì  $v_o \approx A_{vNL} \cdot v_i \approx A_{vNL} \cdot v_s$

Trong điều kiện như vậy, mạch sẽ cung cấp một điện áp ngõ ra tỉ lệ với điện áp ngõ vào và hệ số tỉ lệ này độc lập đối với biên độ của nguồn tín hiệu và điện trở tải. Loại mạch

như thế được gọi là mạch khuếch đại điện thế. Một mạch khuếch đại điện thế lý tưởng khi có điện trở ngõ vào  $R_i$  bằng vô hạn và điện trở ngõ ra  $R_o = 0$ . Ký hiệu

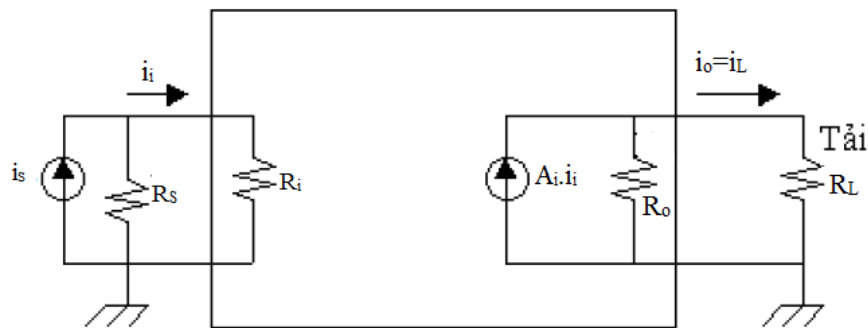
$$A_{VNL} = \frac{v_o}{v_i}$$

khi  $R_L = \infty$ , như vậy  $A_{VNL}$  biểu diễn độ lợi điện thế của mạch hở (open-circuit).

### 11.1.2 Khuếch đại dòng điện (current amplifier)

Một mạch khuếch đại dòng điện lý tưởng được định nghĩa như là một mạch khuếch đại cung cấp một dòng điện ngõ ra tỉ lệ với dòng điện tín hiệu ngõ vào. Hệ số tỉ lệ này không phụ thuộc vào  $R_s$  và  $R_L$ . Một mạch khuếch đại dòng điện lý tưởng có điện trở ngõ vào  $R_i = 0$  và điện trở ngõ ra  $R_o$  bằng vô hạn.

Trong thực tế, mạch có điện trở ngõ vào thấp và điện trở ngõ ra cao. Như vậy,  $R_i \ll R_s$  và  $R_o \gg R_L$



Hình 11.4

Từ mạch tương đương của mạch khuếch đại dòng điện, ta có  $i_o = i_L$ , suy ra:

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

với  $R_L = 0$ , nó diễn tả độ lợi dòng điện của một mạch nối tắt (short-circuit).

Ta thấy rằng:

Vì  $R_i \ll R_s$  nên  $i_i \approx i_s$

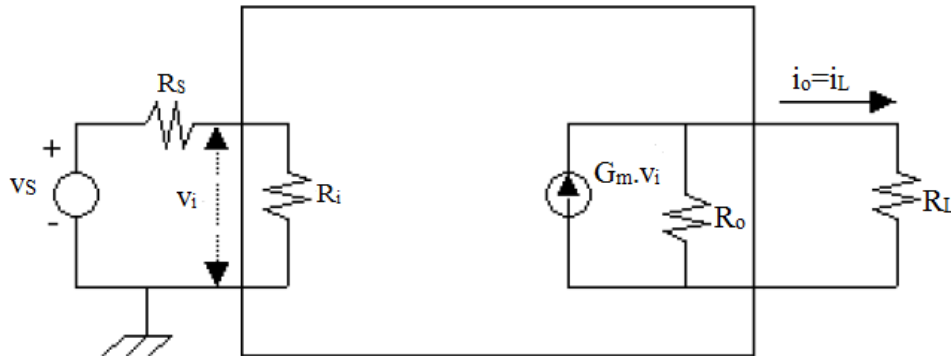
Vì  $R_o \gg R_L$  nên  $i_L \approx A_i i_i \approx A_i i_s$

### 11.1.3 Khuếch đại điện dẫn truyền (Transconductance Amplifier)

Một mạch khuếch đại điện dẫn truyền lý tưởng sẽ cung cấp một dòng điện ngõ ra tỉ lệ với điện áp tín hiệu ngõ vào. Hệ số tỉ lệ này độc lập với  $R_L$  và  $R_S$ . Mạch như vậy phải có điện trở ngõ vào  $R_i$  bằng vô hạn và điện trở ngõ ra  $R_o$  bằng vô hạn.

Trong mạch thực tế:  $R_i \gg R_S$  và  $R_o \gg R_L$

Hình sau là mô hình tương đương của một mạch khuếch đại điện dẫn truyền.



Hình 11.5

Ta thấy rằng  $v_i \approx v_s$  khi  $R_i \gg R_S$

Và  $i_o \approx G_m v_i \approx G_m v_s$  khi  $R_o \gg R_L$

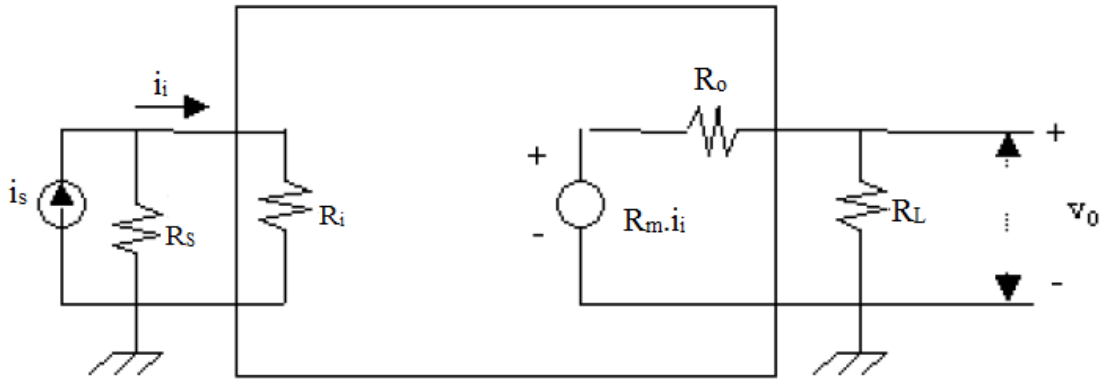
Chú ý rằng:

$$G_m = \frac{i_o}{v_i} \text{ khi } R_L = 0$$

Vậy  $G_m$  là điện dẫn truyền của mạch khi tải  $R_L = 0$  (mạch nối tắt).

### 11.1.4 Khuếch đại điện trở truyền (Transresistance Amplifier)

Mạch tương đương lý tưởng của một mạch khuếch đại điện trở truyền như hình sau:



Hình 11.6

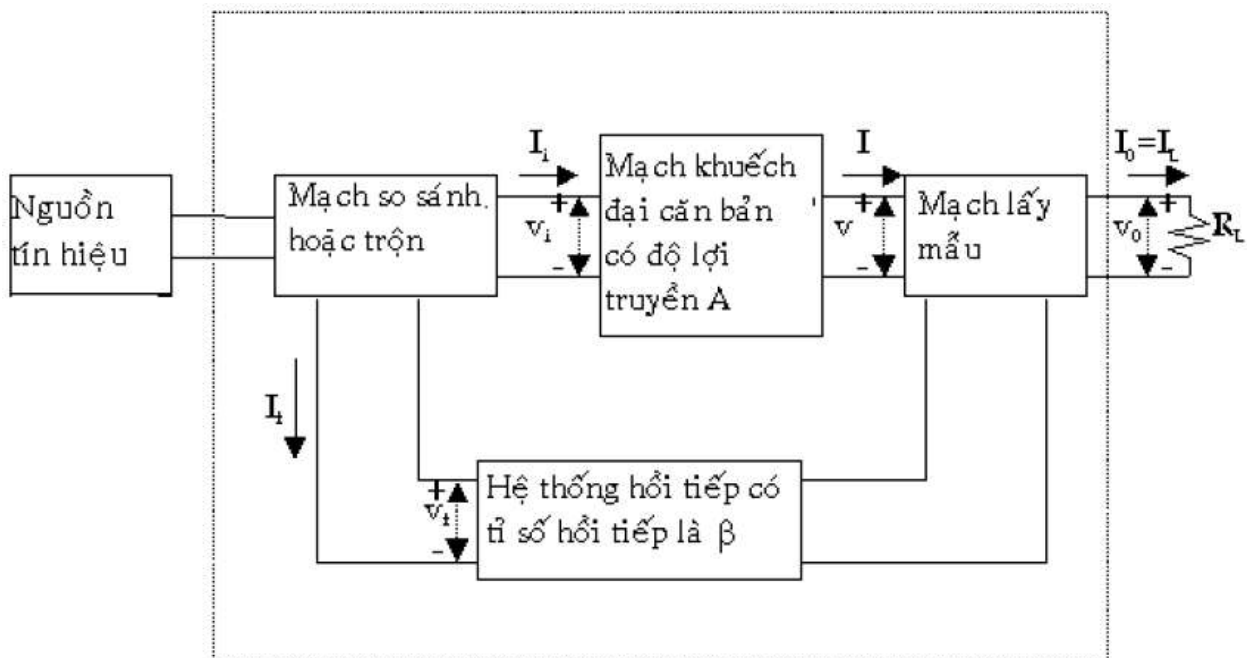
Mạch cung cấp một điện áp ngõ ra  $v_o$  tỉ lệ với dòng điện tín hiệu ngõ vào  $i_s$  và hệ số tỉ lệ này độc lập với  $R_s$  và  $R_L$ .

Trong thực tế một mạch khuếch đại điện trở truyền phải có  $R_i \ll R_s$  và  $R_o \ll R_L$ . Như vậy khi đó  $i_i \approx i_s$ ,  $v_o \approx R_m i_i \approx R_m i_s$ .

Chú ý rằng:  $R_m = v_o/i_i$  khi  $R_L$  bằng vô hạn. Như vậy  $R_m$  là điện trở truyền của mạch hở.

## 11.2 Đại cương về hồi tiếp

Một mạch khuếch đại hồi tiếp gồm các bộ phận như sau:



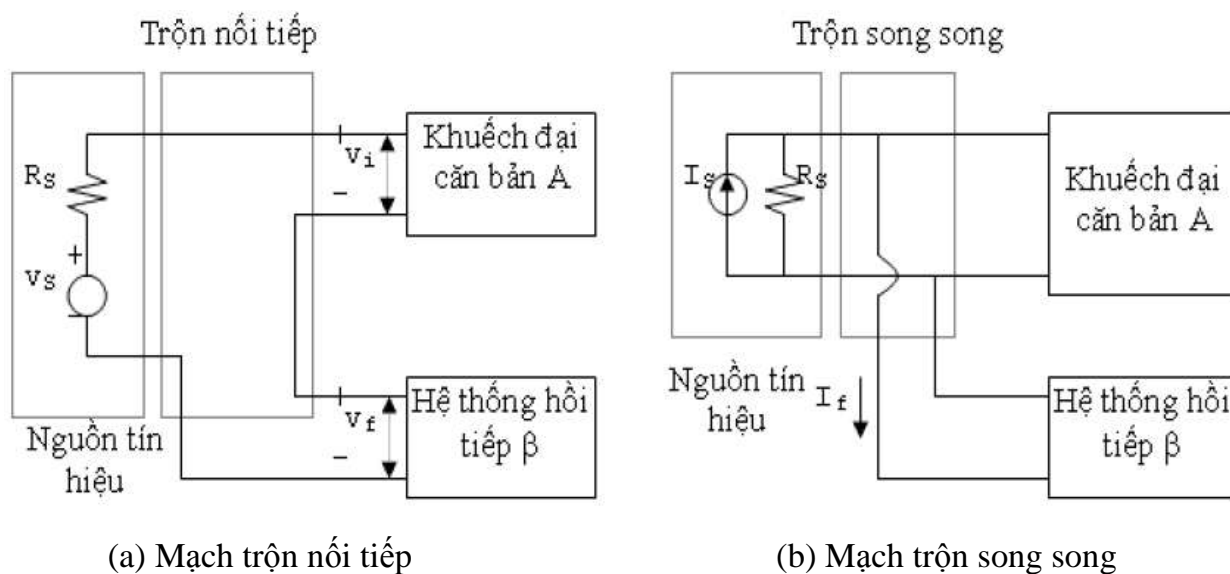
Hình 11.7

*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  $R_s$ .

*Hệ thống hồi tiếp:* Thường dùng là một hệ thống 2 cổng thụ động (chỉ chứa các thành phần thụ động như điện trở, tụ điện, cuộn dây).

*Mạch lấy mẫu:* Lấy một phần tín hiệu ở ngõ ra đưa vào hệ thống hồi tiếp. Trường hợp tín hiệu điện áp ở ngõ ra được lấy mẫu thì hệ thống hồi tiếp được mắc song song với ngõ ra và trong trường hợp tín hiệu dòng điện ở ngõ ra được lấy mẫu thì hệ thống hồi tiếp được mắc nối tiếp với ngõ ra.

*Mạch so sánh hoặc trộn:* Hai loại mạch trộn rất thông dụng là loại trộn ngõ vào nối tiếp và loại trộn ngõ vào song song.



Hình 11.8

*Tỉ số truyền hay độ lợi:* Ký hiệu  $A$  trong hình 11.7 biểu thị tỉ số giữa tín hiệu ngõ ra với tín hiệu ngõ vào của mạch khuếch đại căn bản. Tỉ số truyền  $v_o/v_i$  là độ khuếch đại điện thế hay độ lợi điện thế  $A_v$ . Tương tự tỉ số truyền  $I_o/I_i$  là độ khuếch đại dòng điện hay độ lợi dòng điện  $A_i$  của mạch khuếch đại. Tỉ số  $I/v_i$  được gọi là điện dẫn truyền (độ truyền dẫn-Transconductance)  $G_M$  và  $v/I_i$  được gọi là điện trở truyền  $R_M$ . Như vậy  $G_M$  và  $R_M$  được định nghĩa như là tỉ số giữa hai tín hiệu, một ở dạng dòng điện và một ở dạng điện



thể. Độ lợi truyền  $A$  chỉ một cách tổng quát một trong các đại lượng  $A_V$ ,  $A_I$ ,  $G_M$ ,  $R_M$  của một mạch khuếch đại không có hồi tiếp tùy theo mô hình hóa được sử dụng trong việc phân giải.

Ký hiệu  $A_f$  được định nghĩa như là tỉ số giữa tín hiệu ngõ ra với tín hiệu ngõ vào của mạch khuếch đại và được gọi là độ lợi truyền của mạch khuếch đại với hồi tiếp. Vậy thì  $A_f$  dùng để diễn tả một trong 4 tỉ số sau:

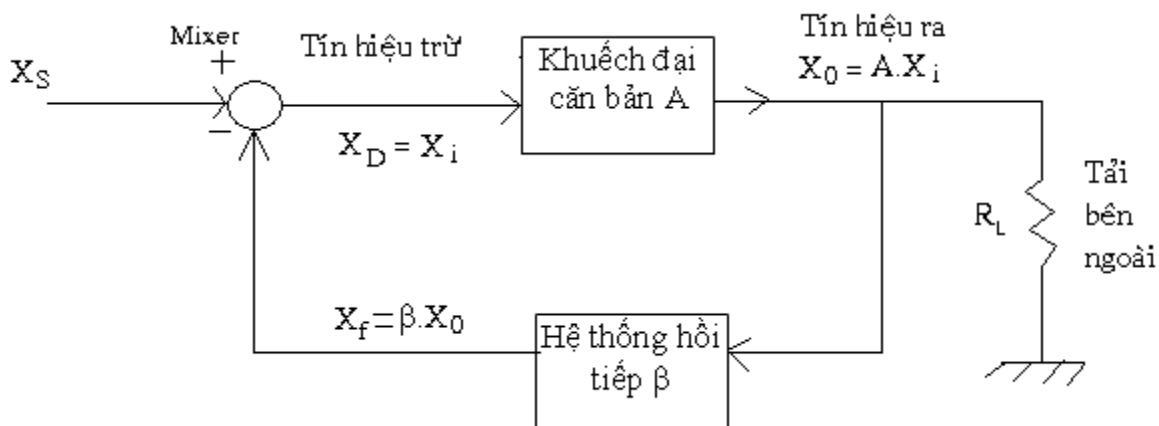
$$\frac{v_o}{v_s} = A_{vf}; \frac{I_o}{I_s} = A_{if}$$

$$\frac{I_o}{v_s} = G_{mf}; \frac{v_o}{I_s} = R_{mf}$$

Sự liên hệ giữa độ lợi truyền  $A_f$  và độ lợi  $A$  của mạch khuếch đại căn bản (chưa có hồi tiếp). Trong một mạch có hồi tiếp, nếu tín hiệu ngõ ra gia tăng tạo ra thành phần tín hiệu hồi tiếp đưa về ngõ vào làm cho tín hiệu ngõ ra giảm trở lại ta nói đó là mạch hồi tiếp âm (negative feedback).

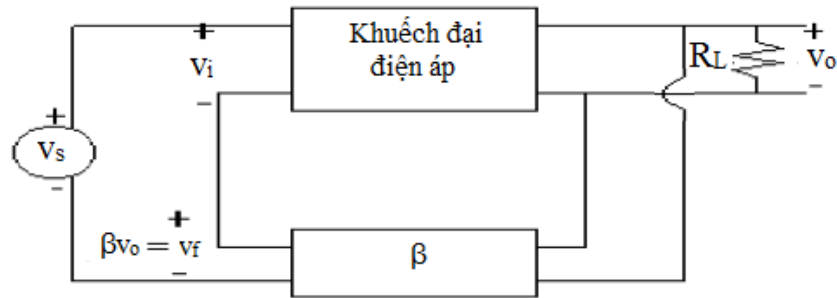
### 11.3 Độ lợi truyền với hồi tiếp

Một mạch khuếch đại có hồi tiếp có thể được diễn tả một cách tổng quát như hình sau:

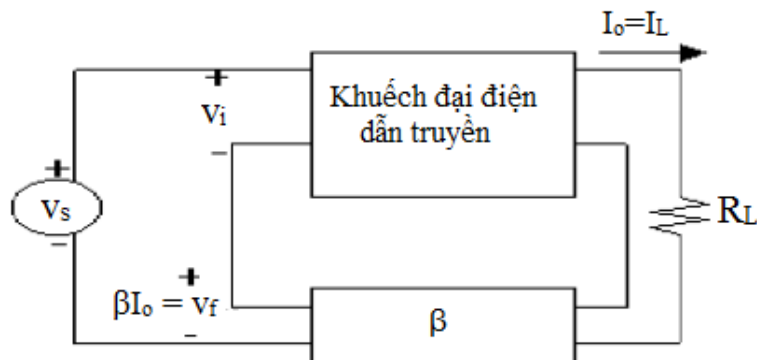


Hình 11.9

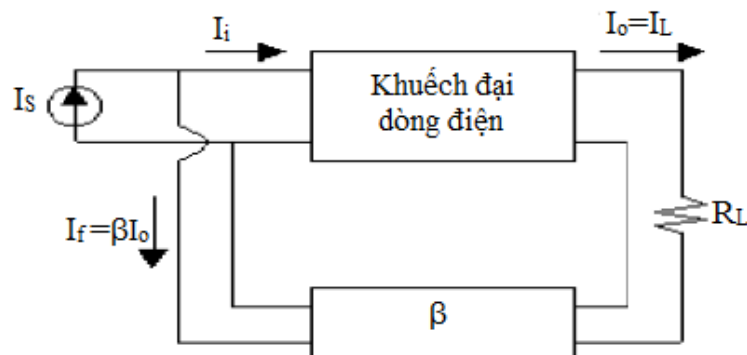
Để phân giải một mạch khuếch đại có hồi tiếp, ta có thể thay thế thành phần tích cực (BJT, FET, OP-AMP ...) bằng mạch tương đương tín hiệu nhỏ. Sau đó dùng định luật Kirchhoff để lập các phương trình liên hệ. Trong mạch hình 11.9 có thể là một mạch khuếch đại điện áp, khuếch đại dòng điện, khuếch đại điện dẫn truyền hoặc khuếch đại điện trở truyền có hồi tiếp như được trình bày ở hình sau:



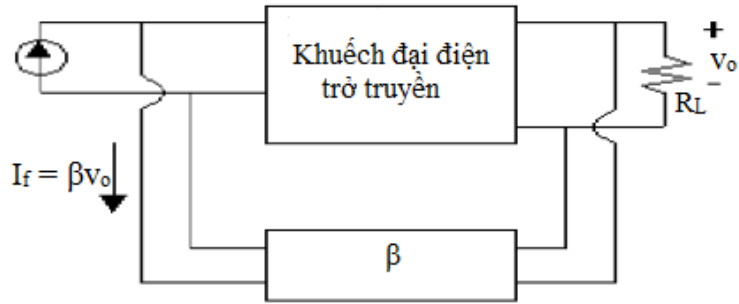
Hình 11.10: Khuếch đại điện áp với hồi tiếp điện áp nối tiếp (a)



Hình 11.11: Khuếch đại điện dẫn truyền với hồi tiếp dòng điện nối tiếp (b)



Hình 11.12: Khuếch đại dòng điện với hồi tiếp dòng điện song song (c)



Hình 11.13: Khuếch đại điện trở truyền với hồi tiếp điện áp song song (d)

Trong hình 11.9, nội trở nguồn  $R_s$  được xem như một thành phần của mạch khuếch đại căn bản. Độ lợi truyền  $A$  ( $A_v$ ,  $A_i$ ,  $G_M$ ,  $R_M$ ) bao gồm hiệu ứng của tải  $R_L$  và của hệ thống hồi tiếp  $\beta$  lên mạch khuếch đại. Tín hiệu vào  $X_s$ , tín hiệu ra  $X_o$ , tín hiệu hồi tiếp  $X_f$ , tín hiệu trừ  $X_d$  có thể là điện áp hay dòng điện. Những tín hiệu này cũng như tỉ số  $A$  và  $\beta$  được tóm tắt trong bảng sau đây.

Bảng 11.1: Tín hiệu điện áp và dòng điện trong mạch khuếch đại hồi tiếp

Tín hiệu hay tỉ số	Loại hồi tiếp			
	Điện áp nối tiếp (a)	Dòng điện nối tiếp (b)	Dòng điện song song (c)	Điện áp song song (d)
$X_o$	Điện áp	Dòng điện	Dòng điện	Điện áp
$X_s, X_f, X_d$	Điện áp	Điện áp	Dòng điện	Dòng điện
$A$	$A_v$	$G_M$	$A_i$	$R_M$
$\beta$	$\frac{v_f}{v_o}$	$\frac{i_f}{i_o}$	$\frac{I_f}{I_o}$	$\frac{I_f}{v_o}$

$$\text{Nhu vậy: } X_d = X_s - X_f = X_i \quad (11.1)$$

Hệ số hồi tiếp  $\beta$  được định nghĩa:

$$\beta = \frac{X_f}{X_o} \quad (11.2)$$

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

Độ lợi truyền  $A$  được định nghĩa:

$$A = \frac{X_o}{X_i} \quad (11.3)$$

Độ lợi của mạch có hồi tiếp:

$$A_f = \frac{X_o}{X_s} \quad (11.4)$$

Suy ra:

$$\begin{aligned} A_f &= \frac{X_o}{X_s} = \frac{X_o}{X_i} \cdot \frac{X_i}{X_s} = A \cdot \frac{X_s - X_f}{X_s} = A \cdot \left( \frac{X_s - \beta X_o}{X_s} \right) \\ &= A \left( 1 - \beta \frac{X_o}{X_s} \right) = A(1 - \beta A_f) \\ &= A - \beta A A_f \Rightarrow A_f (1 + \beta A) = A \end{aligned} \quad (11.5)$$

Đại lượng  $A$  biểu diễn độ lợi truyền của mạch khuếch đại tương ứng không có hồi tiếp nhưng bao gồm ảnh hưởng của hệ thống như:  $\beta$ ,  $R_L$ ,  $R_S$ .

Nếu  $|A_f| < |A|$  hồi tiếp được gọi là hồi tiếp âm

Nếu  $|A_f| > |A|$  hồi tiếp được gọi là hồi tiếp dương

Biểu thức 11.5 cho ta thấy khi có hồi tiếp âm, độ lợi giảm đi  $(1 + \beta A)$  lần so với độ lợi của mạch căn bản không có hồi tiếp.

**Độ lợi vòng (loop gain):**

Tín hiệu  $X_d$  trong hình 11.9 được nhân với  $A$  khi qua mạch khuếch đại, được nhân với  $\beta$  khi truyền qua hệ thống hồi tiếp và được nhân với  $-1$  trong mạch trộn và trở lại ngõ vào. Vì vậy  $T = -\beta A$  được gọi là độ lợi vòng và đại lượng  $F = 1 + \beta A = 1 - T$  được gọi là thừa số hồi tiếp. Người ta thường dùng đại lượng  $N$  để biểu diễn ảnh hưởng của lượng hồi tiếp lên mạch khuếch đại. Nếu là hồi tiếp âm thì  $N < 0$ .

$$N(\text{dB}) = 20 \log \left| \frac{A_f}{A} \right| \text{ tức } N(\text{dB}) = 20 \log \left| \frac{1}{1 + \beta A} \right|$$

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

Trong mạch khuếch đại hồi tiếp âm làm giảm độ lợi truyền nhưng lại có một số ưu điểm nổi bật nên được ứng dụng rộng rãi.

### 11.4.1 Giữ vững độ 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:

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

Ta đi tìm sự thay đổi này khi A thay đổi.

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

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

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:

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

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  $\beta$  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.

#### 11.4.2 Giảm sự biến dạng:

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  $D_f$

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

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

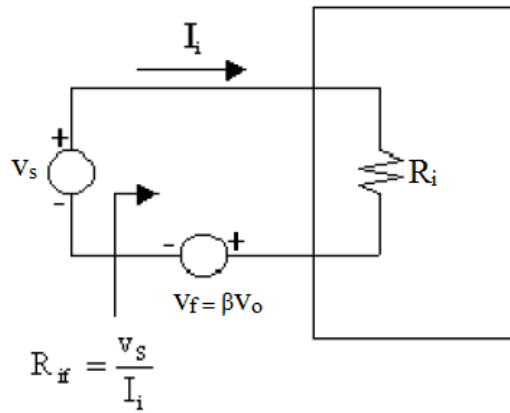
$$\Rightarrow D_f = \frac{D}{1 + \beta A}$$

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

## 11.5 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.

- Nếu tín hiệu hồi tiếp đưa về ngõ vào là điện thế và nối tiếp với điện thế ngõ vào (hình 11.10 và hình 11.11) thì tổng trở vào sẽ tăng.

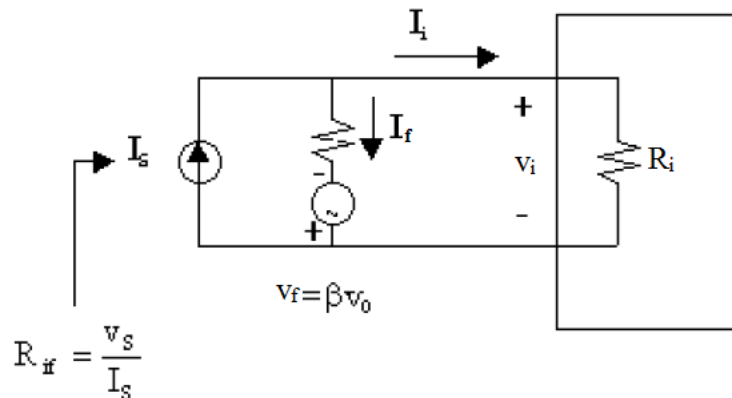


Hình 11.14

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  $R_{if} = \frac{v_s}{I_i}$  lớn hơn điện trở ngõ vào  $R_i$  khi chưa có hồi tiếp. Ta có:

$$R_{if} = R_i(1 + \beta A) = R_i.F$$

- Nếu tín hiệu hồi tiếp đưa về ngõ vào là dòng điện và mắc song song với tín hiệu dòng điện ngõ vào (hình 11.12 và 11.13) thì tổng trở vào sẽ giảm.



Hình 11.15

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.

Vậy  $R_{if} = \frac{v_s}{I_s} = \frac{R_i \cdot I_i}{I_s}$  bị giảm.

$$R_{if} = \frac{R_i}{1 + \beta A} = \frac{R_i}{F}$$

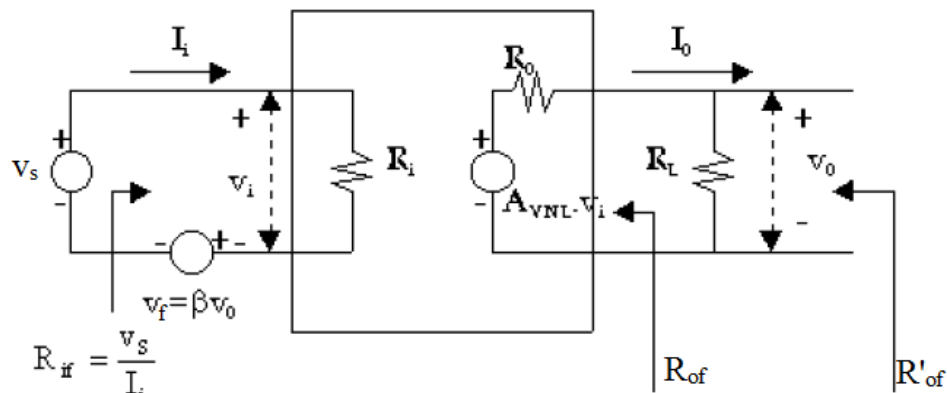
Các đặc tính của 4 loại mạch hồi tiếp âm được tóm tắt ở bảng sau:

Bảng 11.2

	Loại hồi tiếp			
	Điện thế nối tiếp	Dòng điện nối tiếp	Dòng điện song song	Điện thế song song
Dạng mẫu	Hình 8.11a	Hình 8.11b	Hình 8.11c	Hình 8.11d
$R_{of}$	Giảm	Tăng	Tăng	Giảm
$R_{if}$	Tăng	Tăng	Giảm	Giảm
Đặc tính	Khuếch đại điện thế	Khuếch đại điện dẫn truyền	Khuếch đại dòng điện	Khuếch đại điện trở truyền
Giữ vững	$A_{vf}$	$G_{Mf}$	$A_{if}$	$R_{Mf}$
Băng tần	Tăng	Tăng	Tăng	Tăng
Biến dạng	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm

### 11.5.1 Mạch hồi tiếp điện thế nối tiếp

Dạng mạch hình 11.10 được vẽ lại trong hình 11.16 với mạch khuếch đại được thay thế bằng mạch tương đương Thevenin. Trong mạch  $A_{VNL}$  diễn tả độ lợi điện thế của mạch hở (không tải) nhưng xem  $R_s$  như một thành phần của mạch khuếch đại.



Hình 11.16

Từ hình 11.16 ta thấy điện trở ngõ vào với hồi tiếp là:

$$R_{if} = \frac{v_s}{I_i} \quad (11.6)$$





$$\text{Và } v_s = R_i I_i + v_f = R_i I_i + \beta I_o$$

$$\text{Và } I_o = \frac{G_m v_i R_o}{R_o + R_L}$$

$$\text{Đặt } G_M = \frac{I_o}{v_i} = \frac{G_m R_o}{R_o + R_L}$$

$$\text{Vậy } I_o = G_M v_i = G_M R_i I_i$$

$$\text{Nên } R_{if} = \frac{v_s}{I_i} = \frac{R_i I_i + \beta I_o}{I_i} = \frac{R_i I_i + \beta G_M R_i I_i}{I_i}$$

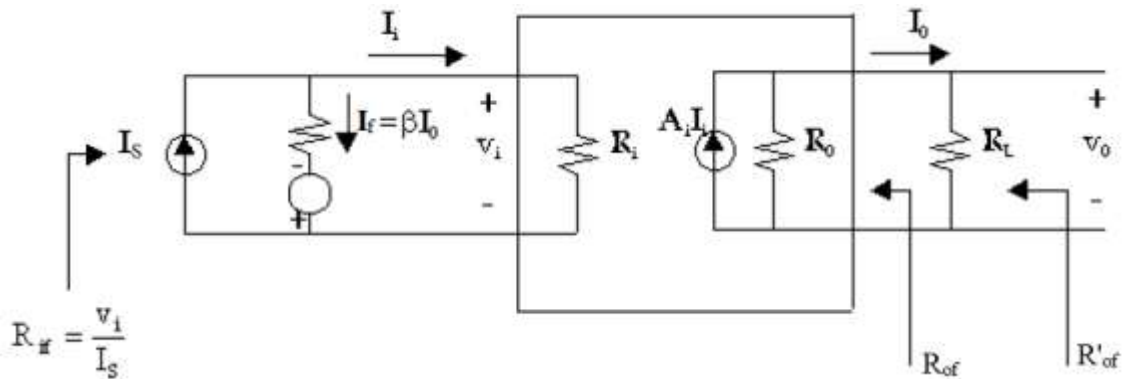
Suy ra :

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

$$\text{Và } G_m = \lim_{R_L \rightarrow 0} G_M$$

### 11.5.3 Mạch hồi tiếp dòng điện song song

Dạng mạch mẫu hình 11.12 được vẽ lại trong sau với mạch khuếch đại được thay thế bằng mạch tương đương. Trong mạch này  $A_i$  biểu thị dòng điện của mạch nối tắt ( $R_L = 0$ ) với nội trở nguồn  $R_s$  được xem như một thành phần của mạch khuếch đại.



Hình 11.18

Từ mạch hình 11.18 ta có:

$$I_s = I_i + I_f = I_i + \beta I_o$$

$$\text{Và } I_0 = \frac{A_i I_i R_0}{R_0 + R_L} = A_i I_i$$

$$\text{Trong đó } A_i = \frac{I_0}{I_i} = \frac{A_i R_0}{R_0 + R_L}$$

Với  $A_i$  là độ lợi dòng điện khi không có hồi tiếp nhưng có tải  $R_L$ , như vậy:

$$I_s = I_i + \beta I_0 = I_i + \beta A_i I_i = I_i (1 + \beta A_i)$$

với  $R_{if} = \frac{v_i}{I_s}$  và  $R_i = \frac{v_i}{I_i}$ , ta tìm được:

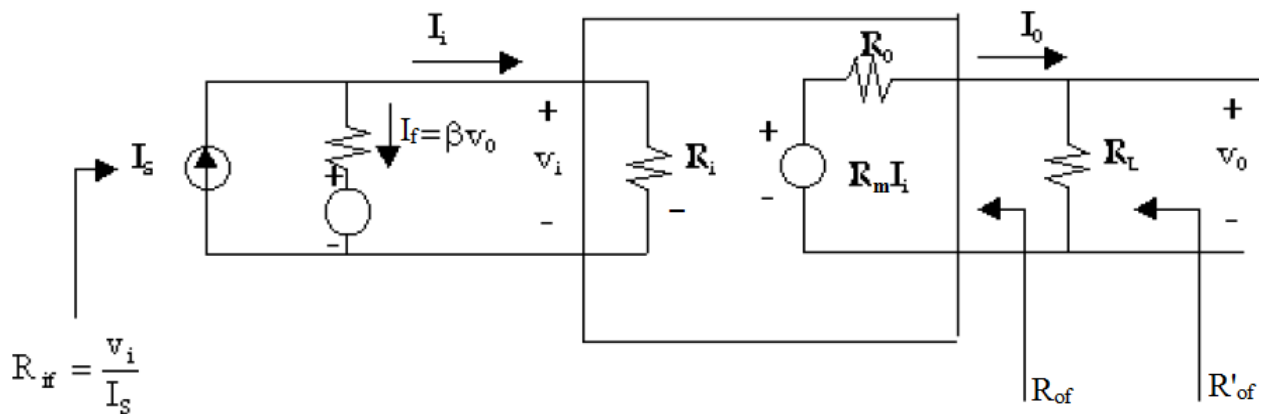
$$R_{if} = \frac{v_i}{(1 + \beta A_i) I_i}$$

$$R_{if} = \frac{R_i}{1 + \beta A_i} < R_i$$

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

#### 11.5.4 Mạch hồi tiếp điện thế song song

Dạng mạch mẫu hình 11.13 được vẽ lại trong hình sau:



Hình 11.19

Từ mạch trên ta có:

$$I_s = I_i + I_f = I_i + \beta v_0$$

$$\text{và } v_0 = \frac{R_m I_i R_L}{R_L + R_0} = R_M I_i$$

$$\text{Trong đó: } R_M = \frac{v_0}{I_i} = \frac{R_m R_L}{R_0 + R_L}$$

$$\text{Và } R_{if} = \frac{v_i}{I_s} = \frac{R_i I_i}{I_i + \beta \left( \frac{R_m R_L I_i}{R_0 + R_L} \right)} = \frac{R_i}{1 + \beta \frac{R_m R_L}{R_0 + R_L}}$$

$$\text{Vậy: } R_{if} = \frac{R_i}{1 + \beta R_M} < R_i$$

Chú ý:  $R_m$  là điện trở truyền của mạch hở ( $R_L = \infty$ )

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

Do đó:

$$R_m = \lim_{R_M \rightarrow \infty} R_M$$

## 11.6 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 thế 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 ( $R_{of} \gg R_o$ ).

### 11.6.1 Mạch hồi tiếp điện thế 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  $v$ . Điện trở ngõ ra được định nghĩa như sau:

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

Từ hình 11.16 ta tìm được ( $v_o$  được thay thế bằng  $v$ )

$$I = \frac{v - A_{vNL} \cdot v_i}{R_o} = \frac{v + \beta A_{vNL} \cdot v}{R_o}$$

Bởi vì  $v_S = 0 \Rightarrow v_i = v_f = -\beta V$

Nên:

$$R_{of} = \frac{v}{I} = \frac{R_o}{1 + \beta A_{vNL}}$$

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 thế 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 là  $R'_{of} = R_o // R_{of}$ .

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

Vì  $R'_o = R_o // R_L$  là điện trở ngõ ra khi không có hồi tiếp nhưng có  $R_L$ . Như vậy:

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

$$\text{Với } A_v = \frac{A_{vNL} R_L}{R_o + R_L}$$

Chú ý là bây giờ  $R'_o$  chia cho thừa số hồi tiếp  $1 + \beta A_v$ , trong đó  $A_v$  là độ lợi điện thế của mạch không có hồi tiếp nhưng có tải  $R_L$ .

### 11.6.2 Mạch hồi tiếp điện thế song song

Xem lại hình 11.19. Ngắt nguồn ngõ vào ( $I_s = 0$ ) và cho hở tải ( $R_L = \infty$ ).

Ta có:  $R_{\text{af}} = \frac{v}{I} = \frac{v_0}{I}$

Với:  $I = \frac{v - R_m I_1}{R_0}$

Vì  $I_S = 0$  nên  $I_1 = -I_f$  và  $I_1 = -\beta v_0 = -\beta v$

Do đó:

$$I = \frac{v + \beta v R_m}{R_0}$$

Hay:

$$I = \frac{v + \beta v R_m}{R_0} = \frac{v(1 + \beta R_m)}{R_0}$$

$$R_{\text{af}} = \frac{v}{I} = \frac{R_0}{1 + \beta R_m}$$

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

Khi mắc tải  $R_L$  vào ta có:

$$R'_{\text{af}} = R_L // R_{\text{af}} = \frac{R_L R_{\text{af}}}{R_L + R_{\text{af}}}$$

$$\begin{aligned} R'_{\text{af}} &= \frac{R_L \left( \frac{R_0}{1 + \beta R_m} \right)}{R_L + \frac{R_0}{1 + \beta R_m}} = \frac{R_0 R_L}{1 + \beta R_m} \cdot \frac{1}{\frac{R_0 + R_L + \beta R_m R_L}{1 + \beta R_m}} \\ &= \frac{R_0 R_L / (R_0 + R_L)}{1 + \frac{\beta R_m R_L}{R_0 + R_L}} \end{aligned}$$

Vì  $R'_0 = R_0 // R_L$  là điện trở ngõ ra khi chưa có hồi tiếp nhưng có tải. Từ đó:

$$R'_0 = R_0 // R_L = \frac{R_0 R_L}{R_0 + R_L}$$

Và:

$$\boxed{R'_{\text{af}} = \frac{R'_0}{1 + \beta R_M}}$$

với  $R_M = \frac{R_m R_L}{R_0 + R_L}$  là độ lợi điện trở truyền của mạch không có hồi tiếp nhưng có tải.

### 11.6.3 Mạch hồi tiếp dòng điện song song

Xem hình 11.18 với  $v_o = v$

$$\text{Ta có: } I = \frac{v}{R_o} - A_i I_i$$

$$\text{Với } I_S = 0, I_i = -I_f = -\beta I_0 = \beta I$$

Vậy:

$$I = \frac{v}{R_o} - \beta A_i I \text{ hay } I(1 + \beta A_i) = \frac{v}{R_o}$$

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

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

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

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

Với  $R'_o = R_o // R_L$  ta tìm được:

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

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

### 11.6.4 Mạch hồi tiếp dòng điện nối tiếp

Xem hình 11.17 với  $v_s = 0, R_L = \infty$ .

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

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

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 11.3. 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 11.3

Dạng mạch	Điện thế nối tiếp	Dòng điện nối tiếp	Dòng điện song song	Điện thế song song
Đặc tính				
Tín hiệu hồi tiếp $X_f$	Điện thế	Điện thế	Dòng điện	Dòng điện
Tín hiệu được lấy mẫu	Điện thế	Dòng điện	Dòng điện	Điện thế
Mạch vào: Đất	$v_0=0$	$I_0=0$	$I_0=0$	$v_0=0$
Mạch ngõ ra: Đất	$I_1=0$	$I_1=0$	$v_1=0$	$v_1=0$
Nguồn tín hiệu	Thevenin	Thevenin	Norton	Norton
$\beta = X_f / X_0$	$v_f / v_0$	$v_f / I_0$	$I_f / I_0$	$I_f / v_0$
$A = X_0 / X_i$	$A_v = v_0 / v_i$	$G_M = I_0 / v_i$	$A_I = I_0 / I_i$	$R_M = v_0 / I_i$
$F = 1 + \beta A$	$1 + \beta A_v$	$1 + \beta G_M$	$1 + \beta A_I$	$1 + \beta R_M$
$A_f$	$A_v / F$	$G_M / F$	$A_I / F$	$R_M / F$
$R_{if}$	$R_i F$	$R_i F$	$R_i / F$	$R_i / F$
$R_{of}$	$\frac{R_o}{1 + \beta A_{vNL}}$	$R_o (1 + \beta G_m)$	$R_o (1 + \beta A_i)$	$\frac{R_o}{1 + \beta R_m}$
$R'_{of} = R_{of} // R_L$	$\frac{R'_o}{F}$	$R'_o \frac{1 + \beta G_m}{F}$	$R'_o \frac{(1 + \beta A_i)}{F}$	$\frac{R'_o}{F}$

### 11.7 Phương pháp phân tích một mạch khuếch đại có hồi tiếp

Vì ta có  $X_i = X_s - X_f$ , nên việc trộn là nối tiếp nếu hiệu tín hiệu đưa vào mạch vòng ngõ vào là điện thế và là trộn song song nếu hiệu tín hiệu đưa vào nút ngõ vào là dòng điện. Đại lượng ở ngõ ra được lấy mẫu có thể là điện thế hay dòng điện. Nút ngõ ra mà ở đó điện thế ngõ ra  $v_0$  lấy ra phải được xác định rõ trong mỗi trường hợp ứng dụng. Điện thế  $v_0$  thường được lấy ở hai đầu tải  $R_L$  và  $I_0$  là dòng điện chạy qua  $R_L$ . Ta có thể thử loại lấy mẫu theo 2 bước:

1. Đặt  $v_0 = 0$  (tức  $R_L = 0$ ). Nếu  $X_f = 0$ , tín hiệu lấy mẫu là điện thế.
2. Đặt  $I_0 = 0$  (tức  $R_L = \infty$ ). Nếu  $X_f = 0$ , tín hiệu lấy mẫu là dòng điện.

Ta phân mạch khuếch đại có hồi tiếp ra làm 2 thành phần: Mạch khuếch đại căn bản A và hệ thống hồi tiếp  $\beta$ . Khi xác định được A và  $\beta$  ta tính được các đặc tính quan trọng của mạch khuếch đại có hồi tiếp. Mạch khuếch đại căn bản không có hồi tiếp (nhưng hệ thống  $\beta$  phải được đưa vào) được xác định bằng cách áp dụng các nguyên tắc sau đây:

- Tìm mạch ngõ vào:

1. Đặt  $v_o = 0$  khi lấy mẫu điện thế (nút ngõ ra nối tắt).
2. Đặt  $I_o = 0$  khi lấy mẫu dòng điện (mạch vòng ngõ ra hở).

- Tìm mạch ngõ ra:

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

**Các bước phân giải để tìm  $A_f$ ,  $R_{if}$ ,  $R_{of}$  theo các bước sau đây:**

1. Nhận dạng loại hồi tiếp. Bước này để xác định  $X_f$  và  $X_o$  là điện thế hay dòng điện.
2. Về mạch khuếch đại căn bản không có hồi tiếp được tính toán theo nguyên tắc phân trên.
3. Dùng nguồn tương đương Thevenin nếu  $X_f$  là điện thế và dùng nguồn Norton nếu  $X_f$  là dòng điện.
4. Thay thành phần tác động bằng mạch tương đương hợp lý.
5. Xác định  $X_f$  và  $X_o$ , từ đó tính được  $\beta = \frac{X_f}{X_o}$
6. Xác định A bằng định luật Kirchhoff cho mạch tương đương.
7. Từ A,  $\beta$ , tìm được F,  $A_f$ ,  $R_{if}$ ,  $R_{of}$ ,  $R'_{of}$ .

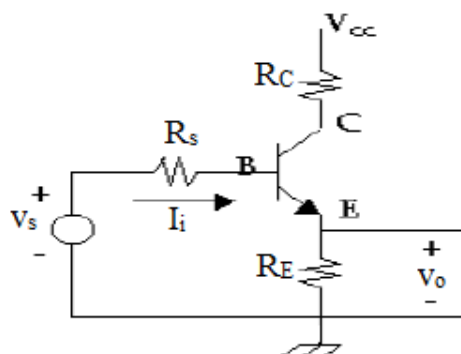


## 11.8 Khảo sát một số mạch hồi tiếp thông dụng

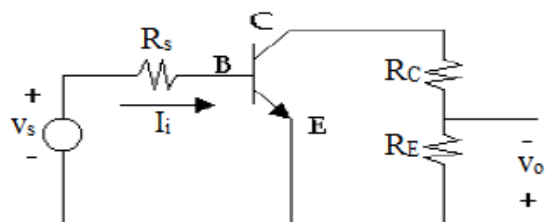
### 11.8.1 Mạch hồi tiếp điện thế nối tiếp

Khảo sát mạch cực thu chung dùng BJT được cho ở hình 11.20. Tín hiệu hồi tiếp là điện thế  $v_f$  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 thế nối tiếp.

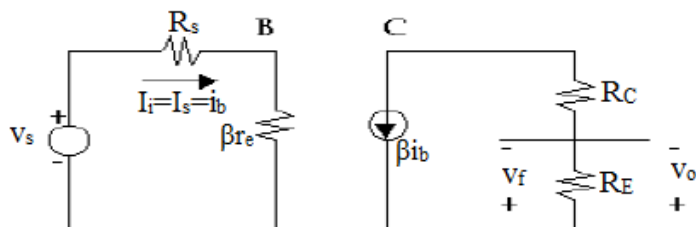
Để vẽ mạch khuếch đại căn bản không hồi tiếp ta tìm mạch ngõ vào bằng cách cho  $v_o = 0$ . Vậy  $v_s$  nối tiếp  $R_s$  xuất hiện giữa B và E. Để tìm mạch ngõ ra ta cho  $I_i = 0$  (mạch vòng ngõ vào hở) vậy  $R_E$  chỉ xuất hiện ở mạch vòng ngõ ra. Ta vẽ được mạch hình 11.21. Thay BJT bằng mạch tương đương tín hiệu nhỏ ta được mạch hình 11.22.



Hình 11.20



Hình 11.21



Hình 11.22

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,  $v_i = v_S$  và:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_S} = \frac{\beta i_b R_E}{v_S} = \frac{\beta R_E}{R_S + \beta r_e}$$

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

$$\Rightarrow A_{vf} = \frac{A_v}{F} = \frac{R_E}{(r_e + R_E) + \frac{R_S}{\beta}} \neq 1$$

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

$$R_i = R_S + \beta r_e$$

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

$$R_{if} = R_S + \beta(r_e + R_E)$$

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  $R'_0 = R_E$

Nên

$$R'_{of} = \frac{R'_0}{F} = \frac{R_E (R_S + \beta r_e)}{R_S + \beta(r_e + R_E)}$$

Và

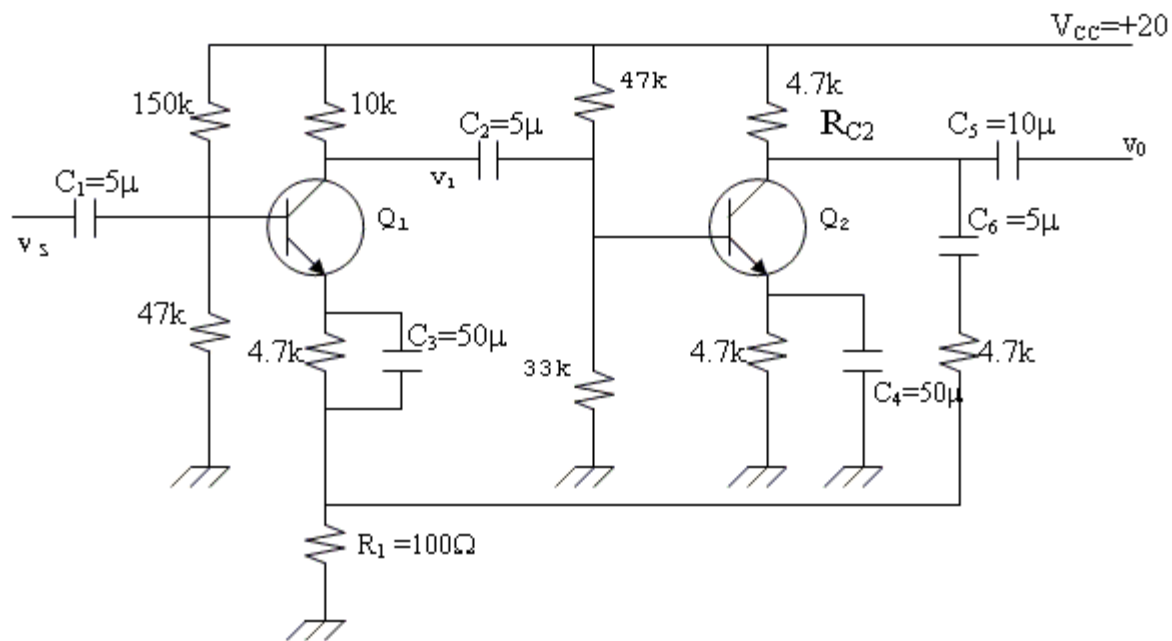
$$R_{of} = \lim_{R_E \rightarrow \infty} R'_{of} = \frac{R_S + \beta r_e}{\beta} = r_e + \frac{R_S}{\beta}$$

Khảo sát cặp hồi tiếp điện thế nối tiếp. Hình 11.23 diễn tả 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 thế nối tiếp. Đặc tính chủ yếu như đã thấy là tổng trở vào tăng, tổng trở ra giảm và độ lợi điện thế ổn định.

Mạch vào của mạch cần bản được tìm bằng cách cho  $v_0 = 0$ , 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  $R_2$ . Điện thế hồi tiếp  $v_f$  ngang qua  $R_1$  tỉ lệ với điện thế được lấy mẫu  $v_0$  nên:

$$\beta = \frac{v_f}{v_0} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Ta xem mạch cụ thể như hình sau:



Hình 11.23

Trong đó:  $R_s = 0$ ,  $\beta = 50$

Ta thử xác định  $A_{vf}$ ,  $R_{of}$ ,  $R_{if}$

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 chương trước ta sẽ tìm được:

$$r_{e1} \sim 35\Omega \quad r_{e2} \sim 17\Omega$$

$$\beta r_{e1} = 1.75k \quad \beta r_{e2} = 850\Omega$$

Tải  $R'_{L1}$  là:  $R'_{L1} = 10k // 47k // 33k // 850\Omega \sim 813\Omega$

Thấy rằng tải  $R'_{L2}$  của Q2 là  $R_{C2} // (R1 + R2)$ , với  $R1 = 100\Omega$ ,  $R2 = 4.7k$

$$R'_{L2} = 4.7k // 4.8k = 2.37k$$

Tổng trở cực phát của Q<sub>1</sub> là  $R_E$  với:

$$R_E = R_1 // R_2 = 98\Omega \quad (\text{với } R1 = 100\Omega, R2 = 4.7k)$$

$$\text{Độ lợi điện thế } A_{V1} = \frac{v_1}{v_s} = \frac{v_1}{v_i} = \frac{-R'_{L1}}{r_{e1} + R_E} = -6.11$$

Độ lợi điện thế  $A_{V2}$  của Q2 là:

$$A_{V2} = \frac{v_o}{v_1} = -\frac{R'_{L2}}{r_{e2}} = -135.3$$

$$\Rightarrow A_V = A_{V1} \cdot A_{V2} = 811.8$$

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

$$V_A \beta' A_V = 17$$

$$F = 1 + \beta' A_V = 18$$

$$A_{VF} = \frac{A_V}{F} = 45.1$$

$$\text{Nếu } A_V \text{ rất lớn } (A_V \rightarrow \infty) \text{ ta thấy } \frac{A_{VF}}{A_V \rightarrow \infty} = \frac{A_V}{1 + \beta A_V} = \frac{1}{\beta'} = 48 \quad \text{xấp xỉ } A_{VF}$$

Điện trở ngõ vào của mạch không hồi tiếp:

$$R_i = \beta r_{e1} + (1 + \beta) R_E = 1.75k + (51)(0.098k) = 6.75k$$

Khi có hồi tiếp:

$$R_{if} = R_i \cdot F = 121.5k$$

Điện trở ngõ ra khi chưa có hồi tiếp:

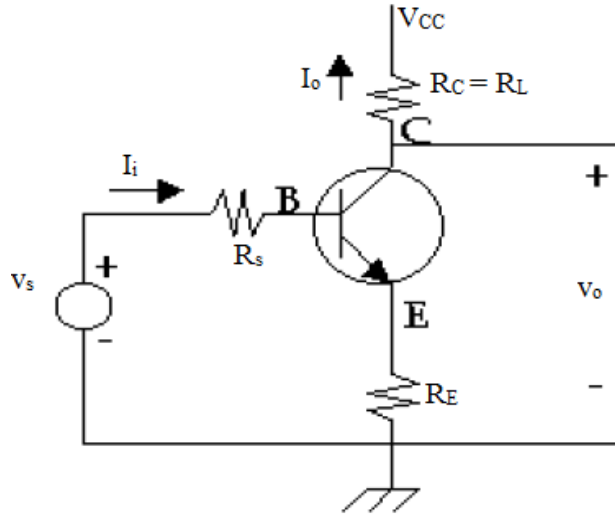
$$R'_o = R'_{L2} = 2.37k$$

Điện trở ngõ ra khi có hồi tiếp:

$$R'_{of} = \frac{R'_o}{F} = 131.6\Omega$$

### 11.8.2 Mạch hồi tiếp dòng điện nối tiếp

Ta xem mạch có hồi tiếp ở hình 11.24. Từ các lý luận của mạch Emitter follower ta thấy rõ là tín hiệu hồi tiếp  $X_f = v_f$  là điện thế 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 thế  $v_f$  ngang qua  $R_E$  trở thành 0v. Như vậy mạch này không lấy mẫu điện thế. 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.



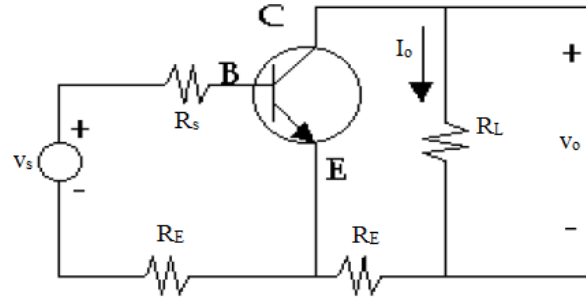
Hình 11.24

Chú ý là mặc dù dòng điện  $I_0$  tỉ lệ với  $v_0$  nhưng không thể kết luận là mạch hồi tiếp điện thế nối tiếp vì nếu điện thế lấy mẫu là  $v_0$  thì:

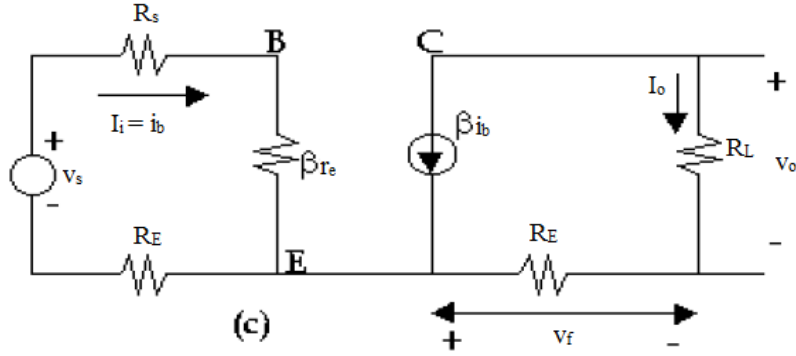
$$\beta' = \frac{v_f}{v_0} = \frac{-I_0 R_E}{I_0 R_L} = -\frac{R_E}{R_L}$$

và  $\beta'$  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  $I_0$  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 11.25 và mạch tương đương theo thông số  $r_e$  như hình 11.26.



Hình 11.25



Hình 11.26

Vì điện thế 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).

$$\text{Vậy: } \beta' = \frac{v_f}{I_o} = -\frac{I_o R_E}{I_o} = -R_E$$

Vì  $v_i = v_s$  nên:

$$G_M = \frac{I_o}{v_i} = -\frac{\beta i_b}{v_s} = -\frac{\beta}{R_s + \beta r_e + R_E}$$

$$\begin{aligned} F &= 1 + \beta' G_M = 1 + \frac{\beta R_E}{R_s + \beta r_e + R_E} \\ &= \frac{R_s + \beta r_e + R_E (1 + \beta)}{R_s + \beta r_e + R_E} \end{aligned}$$

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

Nếu  $(1 + \beta) R_E \gg R_s + \beta r_e$  thì:

$$G_{Mf} = \frac{-1}{R_E} = \frac{1}{\beta'}$$

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:

$$I_0 = G_M \cdot v_s = \frac{-\beta v_s}{R_s + \beta r_e + (1 + \beta) R_E} \equiv \frac{v_s}{R_E}$$

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

Độ lợi điện thế cho bởi:

$$A_{vf} = \frac{I_0 R_L}{v_s} = G_M \cdot R_L = \frac{-\beta R_L}{R_s + \beta r_e + (1 + \beta) R_E}$$

$$A_{vf} \approx - \frac{R_L}{R_E}$$

Từ hình 11.26 ta thấy:

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

$$\text{Vậy } R_{if} = R_i \cdot F = R_s + \beta r_e + (1 + \beta) R_E$$

$$\approx R_s + \beta (r_e + R_E)$$

$$\text{vì } R_0 \approx \infty \text{ nên } R_{of} = R_0 (1 + \beta' G_M) = \infty$$

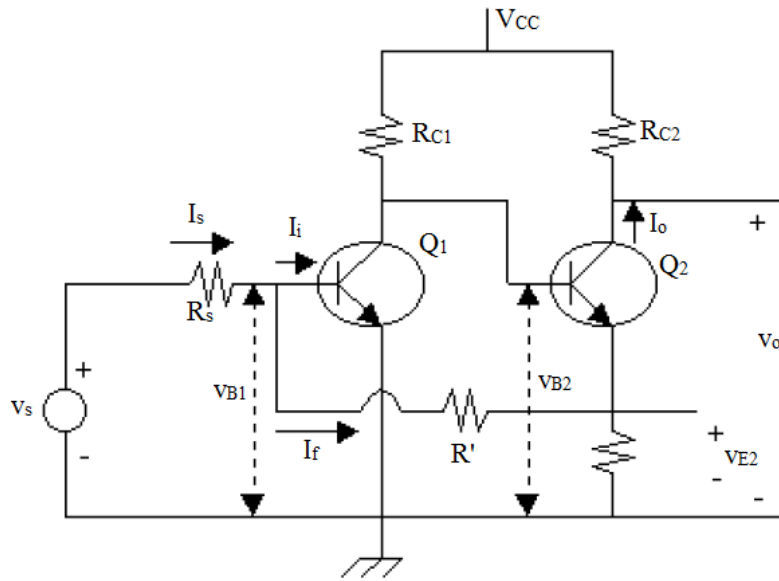
$$\text{vì vậy: } R'_{of} = R_L // R_{of} = R_L$$

### 11.8.3 Mạch khuếch đại hồi tiếp dòng điện song song

Hình 11.27 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 11.7 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

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



Hình 11.27

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 thế. Bây giờ nếu cho  $I_o = 0$  ( $R_C = \infty$ ), dòng  $I_f$  sẽ bằng 0 vậy mạch lấy mẫu dòng điện. Như vậy mạch hình 11.27 là một mạch hồi tiếp dòng điện song song. Bây giờ ta sẽ chứng minh rằng hồi tiếp âm. Điện thế  $v_{B2}$  rất lớn đối với  $v_i$  do  $Q_1$  khuếch đại. Cũng vậy,  $v_{B2}$  lệch pha  $180^\circ$  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 thế này cùng pha. Vậy  $v_{B2}$  có biên độ lớn hơn  $v_i$  (hay  $v_{B1}$ ) và có pha lệch  $180^\circ$  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.

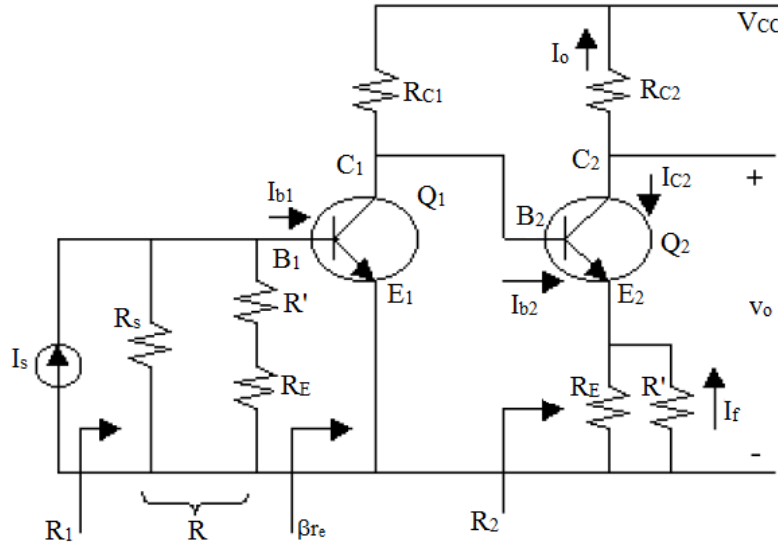
### Mạch khuếch đại không có hồi tiếp:

Mạch vào của mạch không hồi tiếp tìm được bằng cách cho  $I_o = 0$ . 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 (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 cuối cùng như sau:



Hình 11.28

Tín hiệu hồi tiếp là dòng điện  $I_f$  chạy qua điện trở  $R'$  nằm trong mạch ngõ ra. Từ hình 11.28 ta có:

$$I_{b2} < I_{c2} = |I_0|$$

$$\beta = \frac{I_f}{I_0} = \frac{R_E}{R' + R_E}$$

Từ bảng 11.3 ta thấy điện trở ngõ vào giảm, điện trở ngõ ra tăng và độ lợi dòng điện  $A_{if}$  ổn định.

$$\text{Ta có: } A_{if} = \frac{I_0}{I_S} \approx \frac{1}{\beta} = \frac{R_E + R'}{R_E}$$

Độ lợi điện thế:

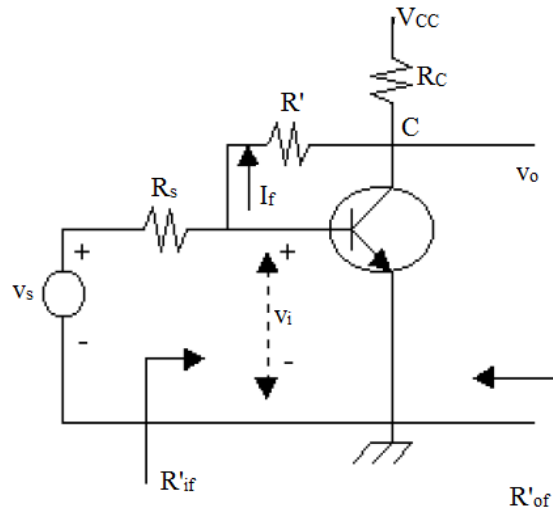
$$A_{vf} = \frac{v_o}{v_S} = \frac{I_0 R_{c2}}{I_S R_S} = A_{if} \cdot \frac{R_{c2}}{R_S} \approx \frac{R' + R_E}{R_E} \cdot \frac{R_{c2}}{R_S}$$

$$A_{vf} = \frac{R_{c2}}{\beta R_S}$$

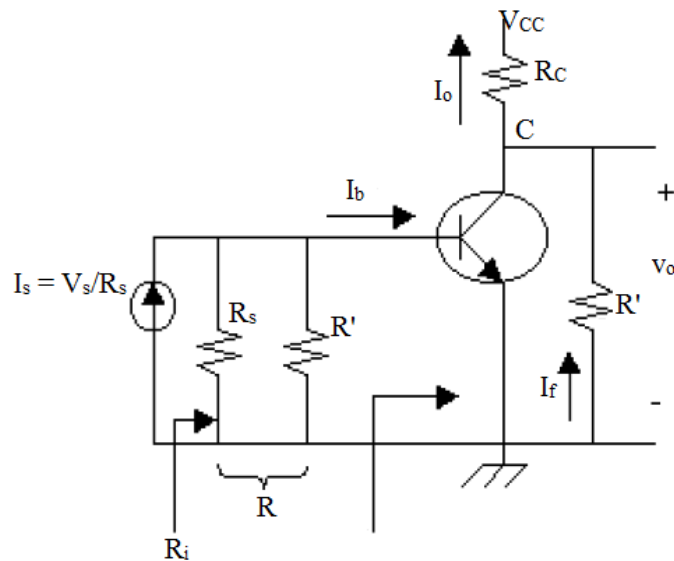
Nếu  $R_E$ ,  $R'$ ,  $R_{c2}$ ,  $R_S$  ổn định thì  $A_{vf}$  ổn định (độc lập với thông số của BJT, nhiệt độ hay sự dao động của nguồn điện thế  $v_S$ ).

#### 11.8.4 Mạch hồi tiếp điện thế song song

Hình 11.29 là một tầng cực phát chung với điện trở  $R'$  được nối từ ngõ ra trở về ngõ vào. Giống như mạch hình 11.27 ta thấy mạch trộn song song được dùng và  $X_f$  là dòng điện  $I_f$  chạy qua  $R'$ .



Hình 11.29



Hình 11.30

Nếu chúng ta cho  $v_o = 0$ , dòng hồi tiếp  $I_f$  sẽ giảm tới 0 chỉ rằng kiểu lấy mẫu điện thế được sử dụng. Vậy mạch này là mạch khuếch đại hồi tiếp điện thế 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 tương đương không hồi tiếp được vẽ lại ở hình 11.30. 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 11.30 ta có:

$$\beta = \frac{I_f}{V_o} = -\frac{1}{R'}$$

Điều này chứng tỏ rằng  $I_f$  tỉ lệ với  $v_o$  và tín hiệu lấy mẫu là điện thế.

Với mạch khuếch đại có hồi tiếp ta có:

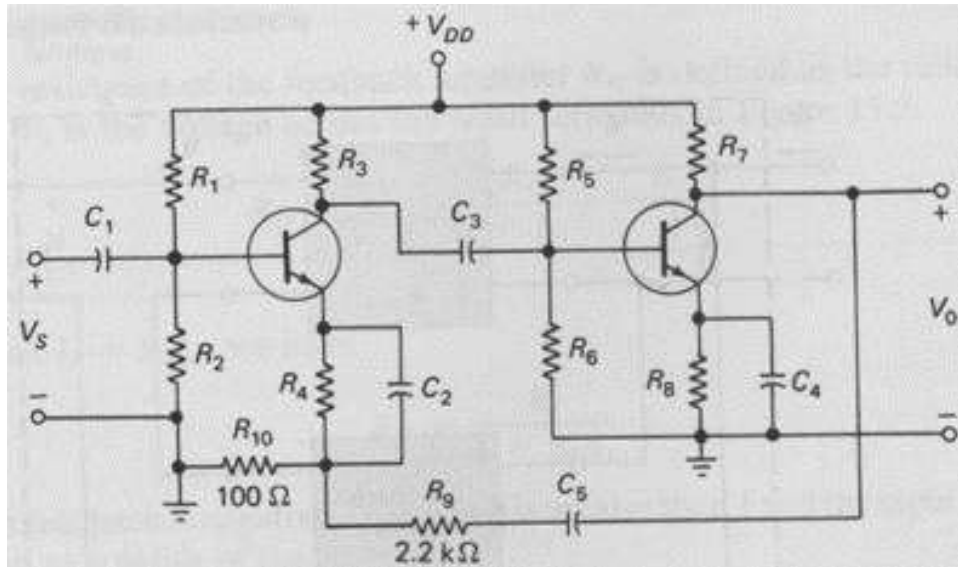
$$R_{Mf} = \frac{v_o}{I_s} \approx \frac{1}{\beta} = -R'$$

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 thế với mạch hồi tiếp:

$$A_{vf} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{R_s I_s} \approx \frac{1}{\beta R_s} = \frac{-R'}{R_s} = \frac{R_{Mf}}{R_s}$$

## Bài tập

Câu 1: Một mạch khuếch đại như ở hình sau là một mạch khuếch đại hồi tiếp áp. Bao gồm mạng hồi tiếp của điện trở phân áp  $R_9$  và  $R_{10}$ . Khuếch đại không hồi tiếp có các thông số  $A_v = 100$ ,  $R_i = 2\text{ k}$ , và  $R_o = 5\text{ k}$ . Xác định các thông số của mạch khuếch đại khi hồi tiếp?



Câu 2: Cho mạch như hình sau là một mạch khuếch đại hồi tiếp dòng. Khi không hồi tiếp, các thông số mạch khuếch đại là:  $A_I = 800$ ,  $R_i = 1\text{ k}\Omega$ , và  $R_o = 10\text{ k}\Omega$ . Hồi tiếp được đưa qua mạng hồi tiếp gồm có  $R_8$  và  $R_9$  ( $220\text{ }\Omega$  và  $4.7\text{ k}\Omega$ ). Chúng ta hãy xác định hệ số khuếch đại khi hồi tiếp.

