

Môn học: Kỹ thuật Điện - Điện tử

Mã học phần: E06015

GV: Nguyễn Minh Triết

CHƯƠNG 5: MẠCH KHUẾCH ĐẠI

I. Mạch khuếch đại dùng BJT

1. Giới thiệu
2. Mạch khuếch đại E-C.
3. Mạch khuếch đại B-C.
4. Mạch khuếch đại C-C

II. Mạch khuếch đại dùng Op-Amp

1. Mạch khuếch đại vi sai.
2. Mạch khuếch đại đảo.
3. Mạch khuếch đại không đảo.
4. Mạch khuếch đại cộng đảo.
5. Mạch so sánh
6. Ví dụ và bài tập

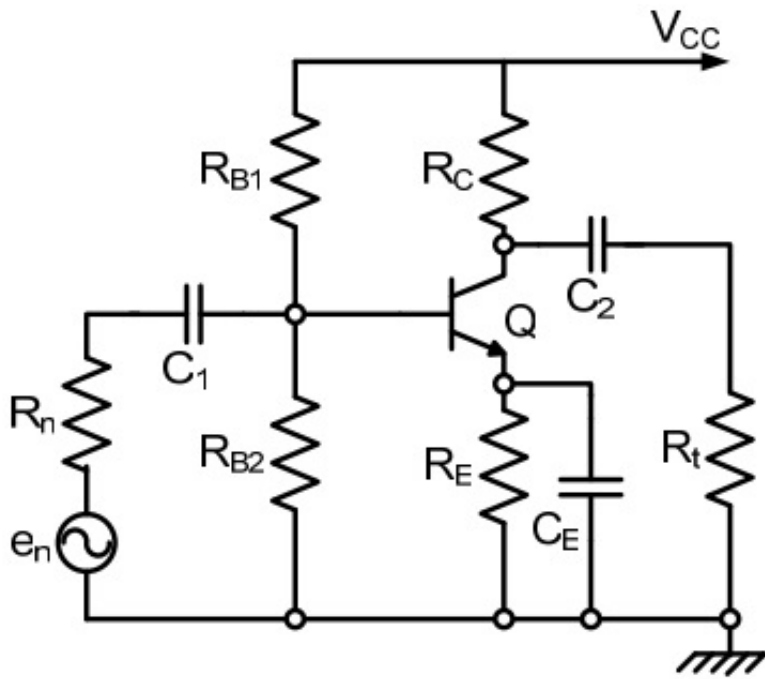
I. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG BJT

1. Giới thiệu:

- Bộ khuếch đại là một mạch dùng để khuếch đại một tín hiệu. Tín hiệu vào một bộ khuếch đại là dòng điện (hay điện áp) và ngõ ra sẽ là bản khuếch đại của tín hiệu ngõ vào.
- Một mạch khuếch đại sẽ được thiết kế bởi các transistor, các transistor có trong mạch sẽ được gọi là các transistor khuếch đại.
- Mạch khuếch đại transistor được ứng dụng để thiết kế mạch phát sóng radio, phát thanh,...
- Các mạch dùng transistor sẽ mắc theo 3 kiểu cấu hình chính, mắc B chung (B-C), mắc C chung (C-C), mắc E chung (E-C).
 - Mạch mắc B chung có độ lợi thấp hơn mức độ lợi tối thiểu để thiết kế mạch khuếch đại.
 - Mạch mắc C chung sẽ có độ lợi gần bằng mức tối thiểu.
 - Mắc kiểu E chung sẽ có độ lợi lớn hơn mức tối thiểu nên các mạch khuếch đại sẽ tận dụng cách mắc này.

I. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG BJT

2. Mạch khuếch đại E-C :



Tác dụng các linh kiện trong mạch:

R_{B1}, R_{B2} : phân cực cho BJT Q.

R_C : Tải tại cực C.

R_E : Ổn định nhiệt.

R_t : Điện trở tải.

e_n, R_n : Nguồn tín hiệu và điện trở trong của nguồn

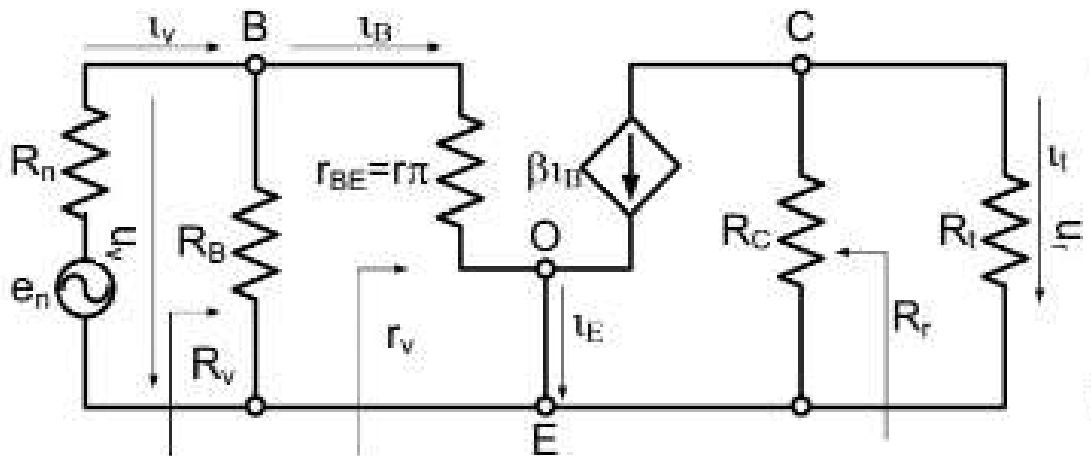
C_1, C_2 : Tụ liên lạc, ngăn thành phần 1 chiều, chỉ cho tín hiệu xoay chiều đi qua.

C_E : Tụ thoát xoay chiều, nâng cao hệ số khuếch đại toàn mạch

I. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG BJT

2. Mạch khuếch đại E-C :

Sơ đồ mạch tương đương



Điện trở vào:

Gọi R_V là điện trở vào toàn mạch và r_V là điện trở vào BJT

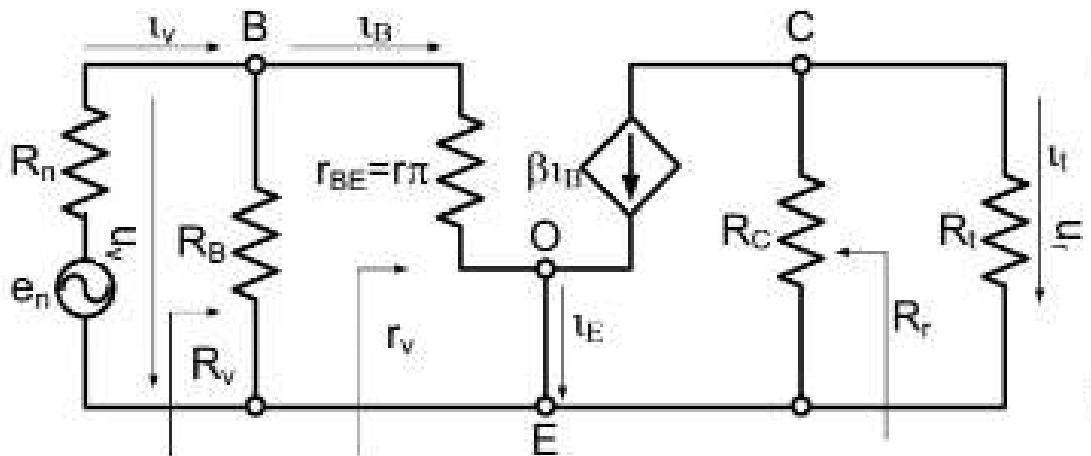
Ta có:

- $r_V = U_{BE} / i_B = r_{BE} = r_{\pi} = \beta V_T / I_C$
- $R_V = R_B / r_V$

I. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG BJT

2. Mạch khuếch đại E-C :

Sơ đồ mạch tương đương



$$R_B = R_1 // R_2$$

Điện trở ra:

Gọi R_r là điện trở ra của mạch khi mạch không nối với R_L

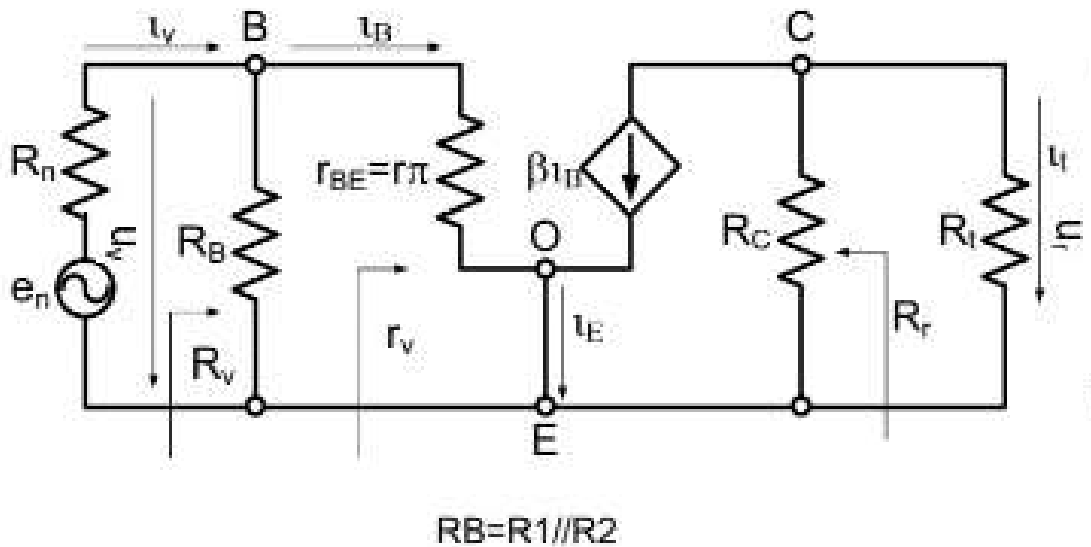
Ta có:

$$R_r = R_C$$

I. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÒNG BJT

2. Mạch khuếch đại E-C :

Sơ đồ mạch tương đương



Hệ số khuếch đại dòng điện:

Gọi K_I là hệ số khuếch đại dòng điện, ta có:

$$K_I = \frac{\text{dòng ra}}{\text{dòng vào}} = \frac{i_t}{i_v}$$

Ta lại có:

$$u_r = i_t \cdot R_r = -\beta i_B \cdot R_C // R_t$$

$$\rightarrow i_t = \frac{-\beta i_B \cdot R_C // R_t}{R_r}$$

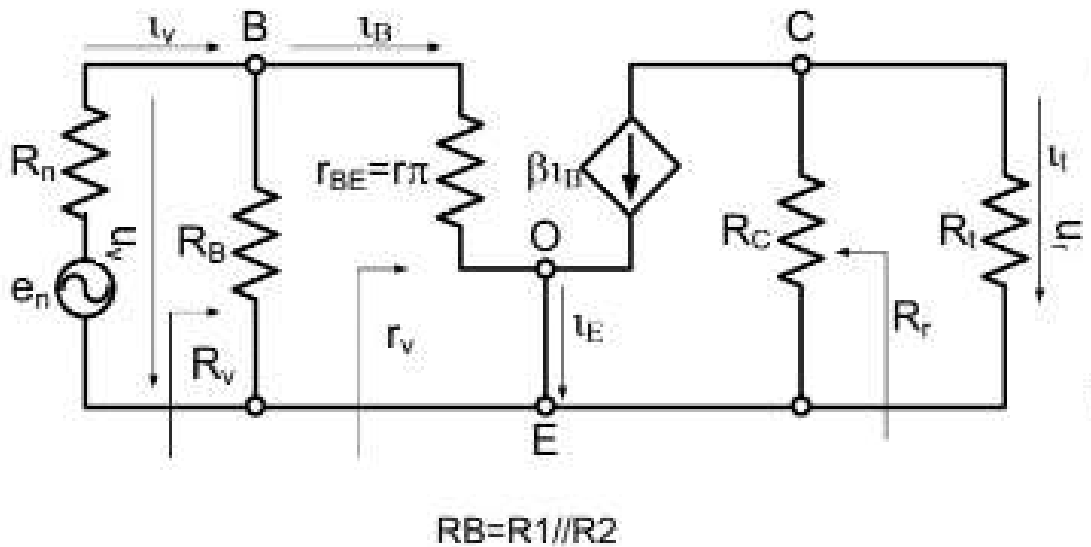
$$u_v = i_v \cdot R_V = i_B \cdot r_v \rightarrow i_v = \frac{i_B \cdot r_v}{R_V}$$

$$\rightarrow K_I = \frac{-\beta \cdot (R_C // R_t) \cdot R_V}{R_r \cdot r_v}$$

I. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG BJT

2. Mạch khuếch đại E-C :

Sơ đồ mạch tương đương



Hệ số khuếch đại công suất:

$$K_P = K_U \cdot K_I = K_I \cdot K_I \cdot \frac{R_t}{R_v + R_n}$$

Hệ số khuếch đại điện áp:

Gọi K_U là hệ số khuếch đại điện áp, ta có:

$$K_I = \frac{\text{áp ra}}{\text{áp vào}} = \frac{u_r}{e_n}$$

$$u_r = i_t R_t$$

$$i_v = \frac{e_n}{R_v + R_n} \Rightarrow e_n = i_v (R_v + R_n)$$

$$K_U = \frac{i_t R_t}{i_v (R_v + R_n)} = K_I \cdot \frac{R_t}{R_v + R_n}$$

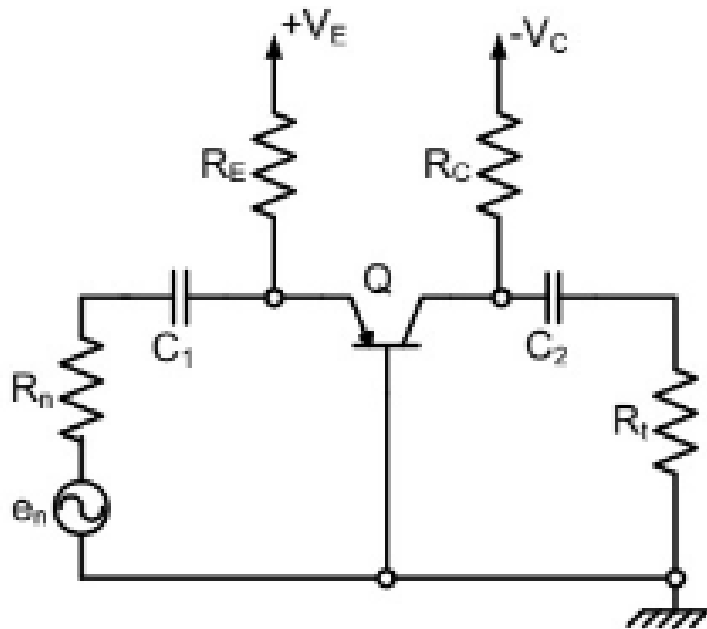
I. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG BJT

2. Mạch khuếch đại E-C :

- Mạch khuếch đại E-C có biên độ $K_I, K_U > 1$ nên vừa khuếch đại dòng điện, vừa khuếch đại điện áp.
- Mạch khuếch đại E-C có K_I, K_U có dấu âm nên tín hiệu ngõ ra ngược pha với tín hiệu ngõ vào.
- Điện trở vào và điện trở ra của mạch E-C có giá trị trung bình trong các sơ đồ mạch khuếch đại.

I. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG BJT

3. Mạch khuếch đại B-C :



Tác dụng các linh kiện trong mạch:

R_E : phân cực cho BJT Q.

R_C : Tải tại cực C.

R_L : Điện trở tải.

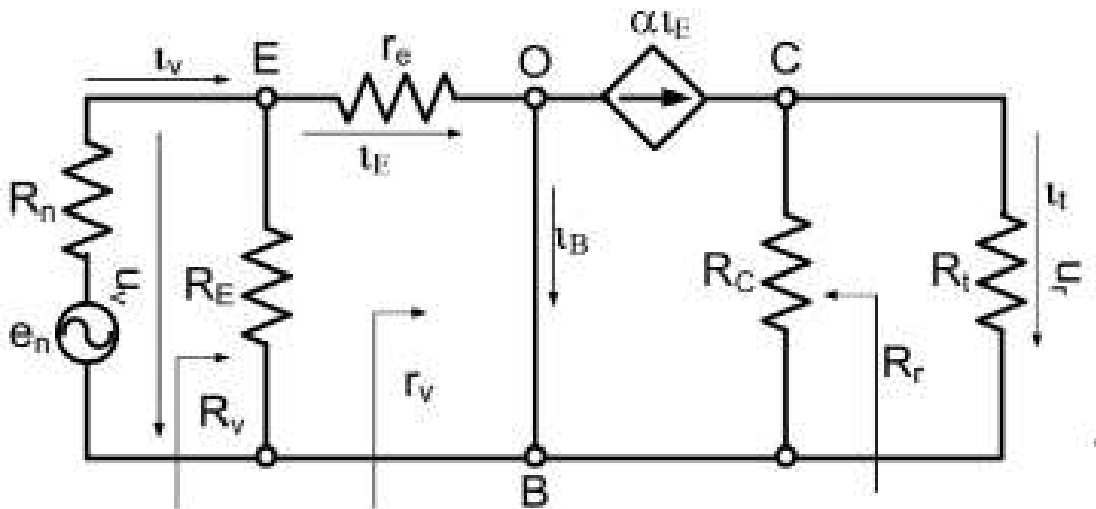
e_n, R_n : Nguồn tín hiệu và điện trở trong của nguồn

C_1, C_2 : Tụ liên lạc, ngăn thành phần 1 chiều, chỉ cho tín hiệu xoay chiều đi qua.

I. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG BJT

3. Mạch khuếch đại B-C :

Sơ đồ mạch tương đương



Sơ đồ tương đương

Điện trở vào:

Gọi R_V là điện trở vào toàn mạch và r_v là điện trở vào BJT

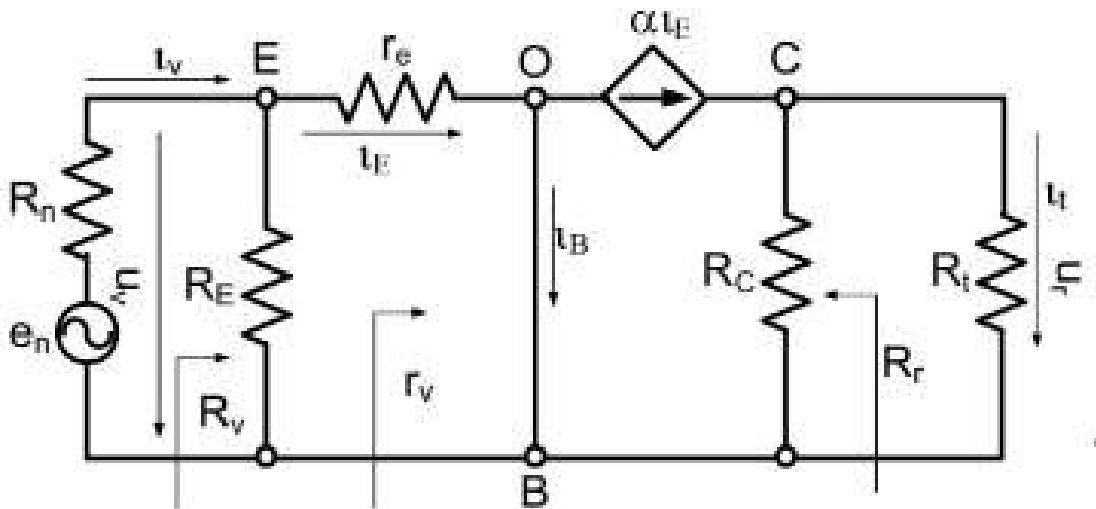
Ta có:

- $r_v = U_{BE} / i_B = r_e$
- $R_V = R_E / r_v$

I. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG BJT

3. Mạch khuếch đại B-C :

Sơ đồ mạch tương đương



Sơ đồ tương đương

Điện trở ra:

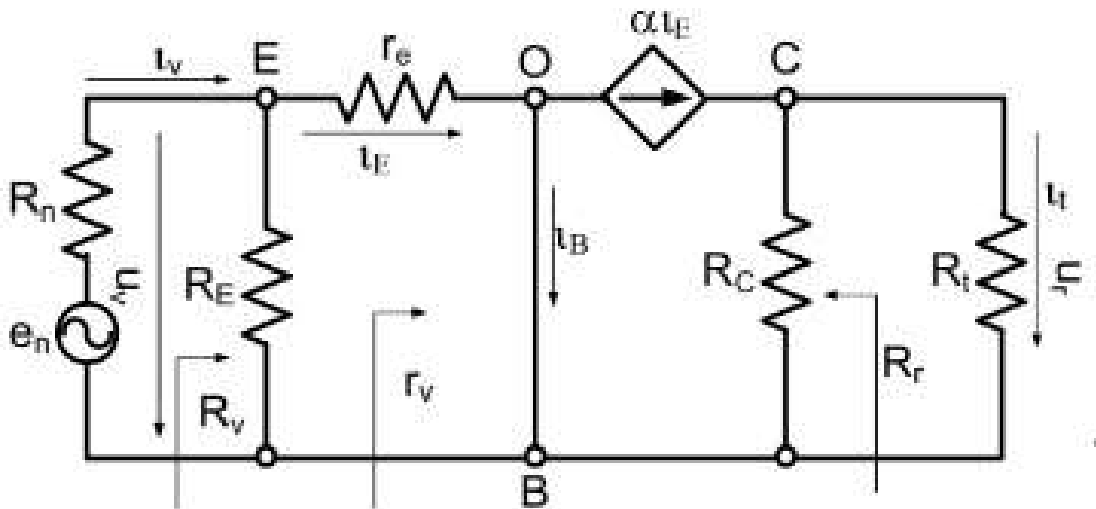
Gọi R_r là điện trở ra của mạch khi mạch không nối với R_t , ta có:

$$R_r = R_C$$

I. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG BJT

3. Mạch khuếch đại B-C :

Sơ đồ mạch tương đương



Sơ đồ tương đương

Hệ số khuếch đại dòng điện:

Gọi K_I là hệ số khuếch đại dòng điện, ta có:

$$K_I = \frac{\text{dòng ra}}{\text{dòng vào}} = \frac{i_t}{i_v}$$

$$u_r = i_t R_t = \alpha i_E R_C // R_t \Rightarrow i_t = \frac{\alpha i_E R_C // R_t}{R_t}$$

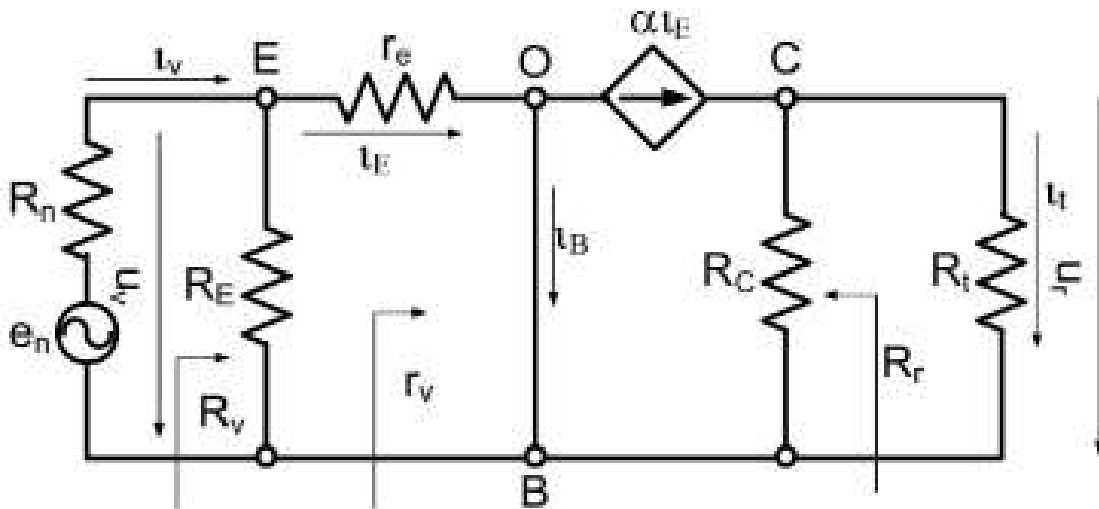
$$u_v = i_v R_v = i_E r_v \Rightarrow i_v = \frac{i_E r_v}{R_v}$$

$$K_I = \frac{\alpha (R_C // R_t) R_v}{R_t r_v}$$

I. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG BJT

3. Mạch khuếch đại B-C :

Sơ đồ mạch tương đương



Sơ đồ tương đương

Hệ số khuếch đại điện áp:

Gọi K_U là hệ số khuếch đại điện áp, ta có:

$$K_U = \frac{\text{áp ra}}{\text{áp vào}} = \frac{u_r}{e_n}$$

$$u_r = i_r R_L$$

$$i_v = \frac{e_n}{R_v + R_n} \Rightarrow e_n = i_v (R_v + R_n)$$

$$K_U = \frac{i_r R_L}{i_v (R_v + R_n)} = K_I \cdot \frac{R_L}{R_v + R_n}$$

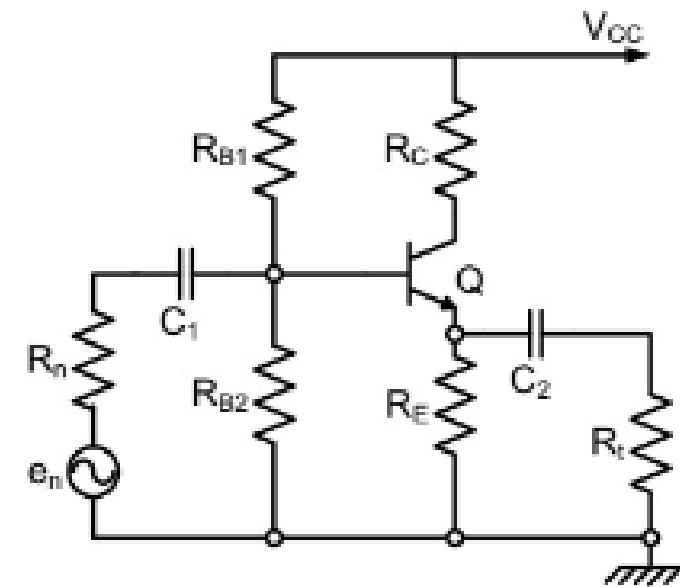
I. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG BJT

3. Mạch khuếch đại B-C :

- Mạch khuếch đại B-C có biên độ $K_I < 1$ và $K_U > 1$ nên mạch không khuếch đại dòng điện, chỉ khuếch đại điện áp.
- Mạch khuếch đại B-C với K_I và K_U có dấu dương nên tín hiệu ngõ ra cùng pha với tín hiệu ngõ vào.
- Điện trở vào của mạch B-C có giá trị nhỏ nhất trong các sơ đồ khuếch đại.

I. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG BJT

4. Mạch khuếch đại C-C :



Tác dụng các linh kiện trong mạch:

R_{B1}, R_{B2} : phân cực cho BJT Q.

R_C : Tải tại cực C.

R_E : Tải tại cực E.

R_t : Điện trở tải.

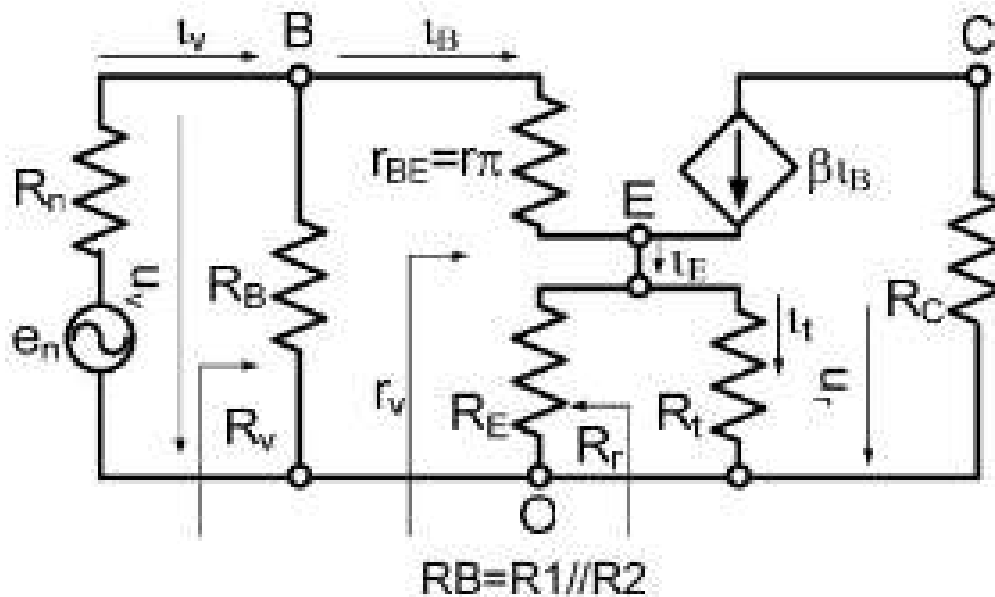
e_n, R_n : Nguồn tín hiệu và điện trở trong của nguồn

C_1, C_2 : Tụ liên lạc, ngăn thành phần 1 chiều, chỉ cho tín hiệu xoay chiều đi qua.

I. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG BJT

4. Mạch khuếch đại C-C :

Sơ đồ mạch tương đương



Điện trở vào:

Gọi R_V là điện trở vào toàn mạch và r_v là điện trở vào BJT

Ta có:

- $$r_v = U_{BE} / i_B$$

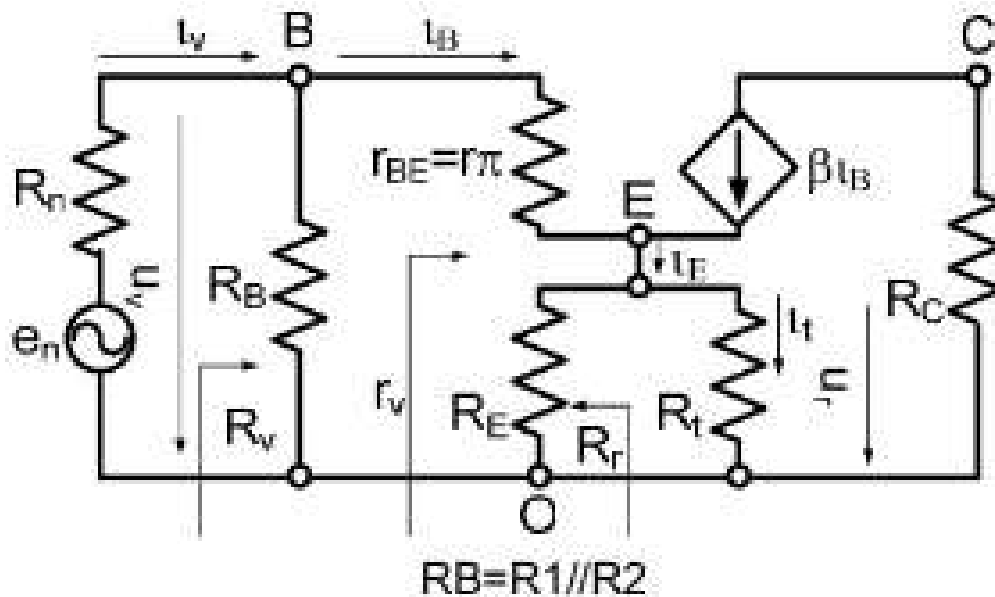
$$= [i_B \cdot r_{\pi} + i_E (R_E // R_t)] / i_B$$

$$= r_{\pi} + (1 + \beta) (R_E // R_t)$$
- $$R_V = R_B / r_v$$

I. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG BJT

4. Mạch khuếch đại C-C :

Sơ đồ mạch tương đương



Điện trở ra:

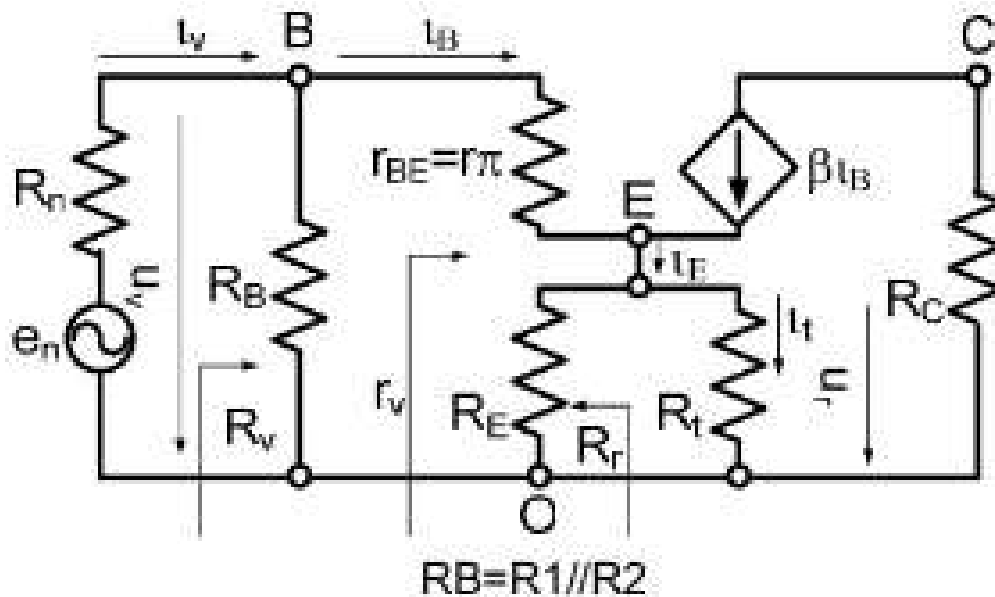
Gọi R_r là điện trở ra của mạch khi mạch không nối với R_t ta có:

$$R_r = R_E$$

I. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG BJT

4. Mạch khuếch đại C-C :

Sơ đồ mạch tương đương



Hệ số khuếch đại dòng điện:

Gọi K_I là hệ số khuếch đại dòng điện, ta có:

$$K_I = \frac{\text{dòng ra}}{\text{dòng vào}} = \frac{i_t}{i_v}$$

$$u_r = i_t R_t = i_E \cdot R_E // R_t$$

$$\rightarrow i_t = \frac{(1 + \beta) i_B \cdot R_E // R_t}{R_t}$$

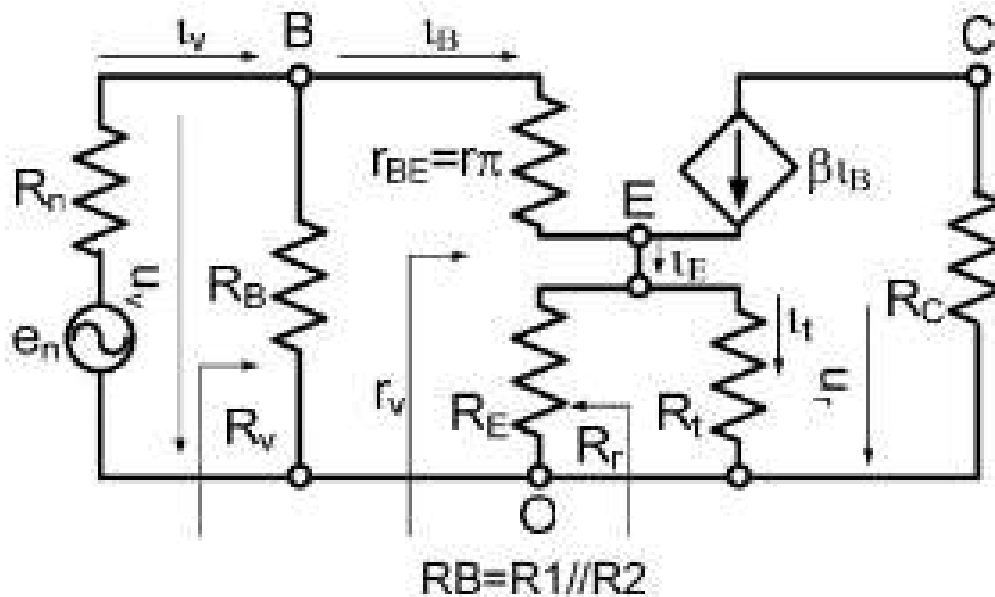
$$u_v = i_v \cdot R_v = i_B \cdot r_v \Rightarrow i_v = \frac{i_B \cdot r_v}{R_v}$$

$$K_I = \frac{(1 + \beta)(R_E // R_t) \cdot R_v}{R_t \cdot r_v}$$

I. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG BJT

4. Mạch khuếch đại C-C :

Sơ đồ mạch tương đương



Hệ số khuếch đại điện áp:

Gọi K_U là hệ số khuếch đại điện áp, ta có:

$$K_U = \frac{\text{áp ra}}{\text{áp vào}} = \frac{u_r}{e_n}$$

$$u_r = i_t R_t$$

$$i_v = \frac{e_n}{R_v + R_n} \Rightarrow en = i_v(R_v + R_n)$$

$$K_U = \frac{i_t R_t}{i_v (R_v + R_n)} = K_I \cdot \frac{R_t}{R_v + R_n}$$

I. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG BJT

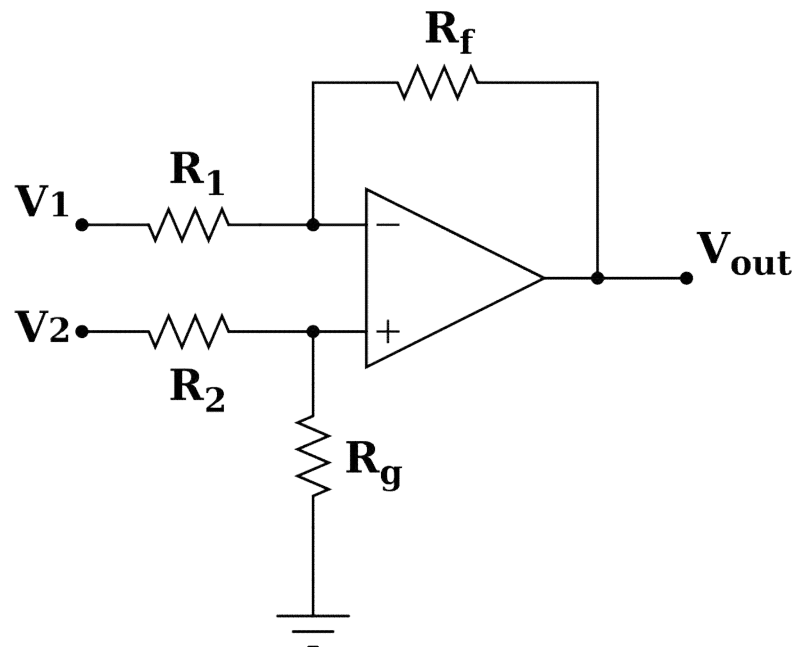
4. Mạch khuếch đại C-C :

- Mạch khuếch đại C-C có biên độ $K_I > 1$ và $K_U \sim 1$ nên mạch chỉ khuếch đại dòng điện, không khuếch đại điện áp.
- Mạch khuếch đại C-C với K_I và K_U có dấu dương nên tín hiệu ngõ ra cùng pha với tín hiệu ngõ vào.
- Điện trở vào của mạch C-C có giá trị lớn nhất trong các sơ đồ khuếch đại. Mạch này dùng phối hợp trở kháng rất tốt.

II. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG OP-AMP

1. Mạch khuếch đại vi sai :

- Mạch điện này dùng để tìm ra hiệu số, hoặc sai số giữa 2 điện áp mà mỗi điện áp có thể được nhân với một vài hằng số nào đó. Các hằng số này xác định nhờ các điện trở.



$$V_{out} = V_2 \left(\frac{(R_f + R_1) R_g}{(R_g + R_2) R_1} \right) - V_1 \left(\frac{R_f}{R_1} \right)$$

Tổng trở vi sai Z_{in} (giữa 2 chân đầu vào) = $R_1 + R_2$

Hệ số khuếch đại vi sai:

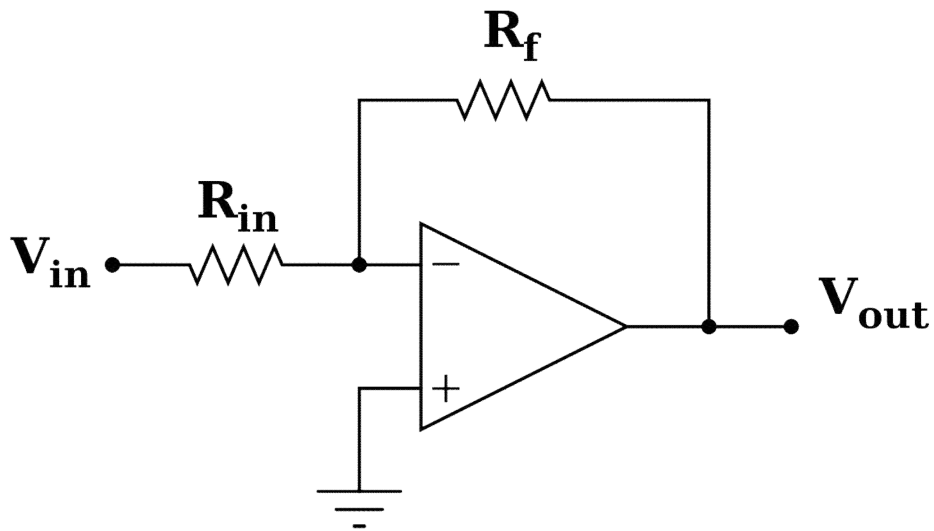
Nếu $R_1 = R_2$ và $R_f = R_g$,

$$V_{out} = A(V_2 - V_1) \text{ và } A = R_f / R_1$$

II. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG OP-AMP

2. Mạch khuếch đại đảo :

- Mạch điện này dùng để đổi dấu và khuếch đại một điện áp (nhân với một số âm).



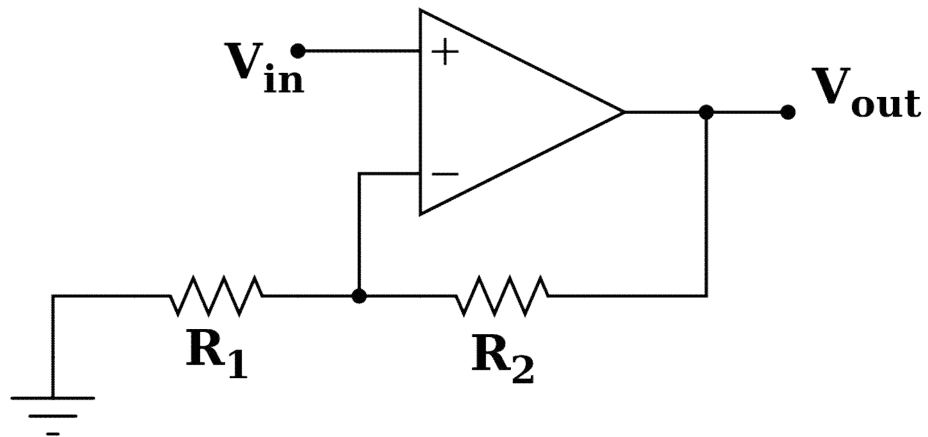
$$V_{out} = -V_{in} (R_f / R_{in})$$

$$Z_{in} = R_{in} \text{ (vì } V_- \text{ là một điểm đất ảo)}$$

II. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG OP-AMP

3. Mạch khuếch đại không đảo :

- Mạch điện này dùng để khuếch đại một điện áp (nhân với một hằng số lớn hơn 1).

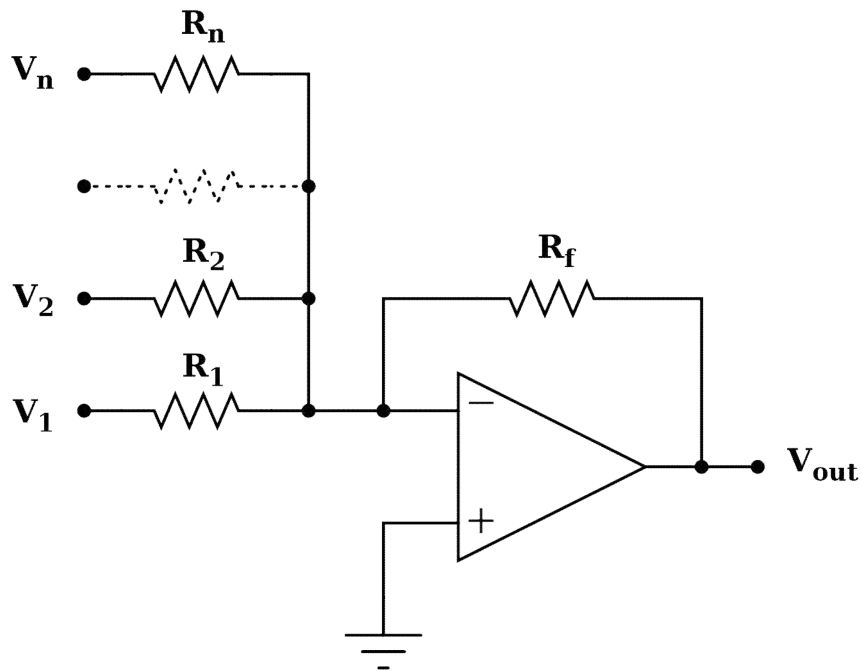


$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

II. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG OP-AMP

4. Mạch khuếch đại cộng đảo :

- Mạch điện này dùng để làm phép cộng một số tín hiệu điện áp.



$$V_{out} = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \cdots + \frac{V_n}{R_n} \right)$$

- Nếu $R_1 = R_2 = \cdots = R_n = R_f$

$$V_{out} = -(V_1 + V_2 + \cdots + V_n)$$

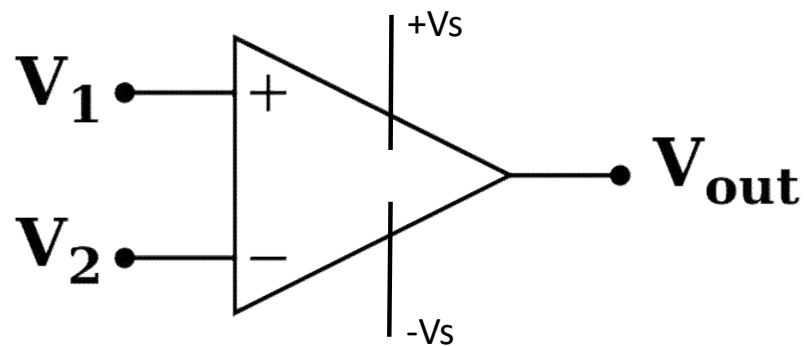
- nếu $R_1 = R_2 = \cdots = R_n$, và R_f độc lập thì

$$V_{out} = -\left(\frac{R_f}{R_1} \right) (V_1 + V_2 + \cdots + V_n)$$

II. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG OP-AMP

5. Mạch so sánh:

- Mạch điện này dùng để so sánh hai tín hiệu điện áp, và sẽ chuyển mạch ngõ ra để hiển thị mạch nào có điện áp cao hơn..



$$\bullet V_{out} = \begin{cases} V_{s+} & V_1 > V_2 \\ V_{s-} & V_1 < V_2 \end{cases}$$

(Trong đó V_s là điện áp nguồn, và mạch sẽ được cấp nguồn từ $+V_s$ và $-V_s$.)

II. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG OP-AMP

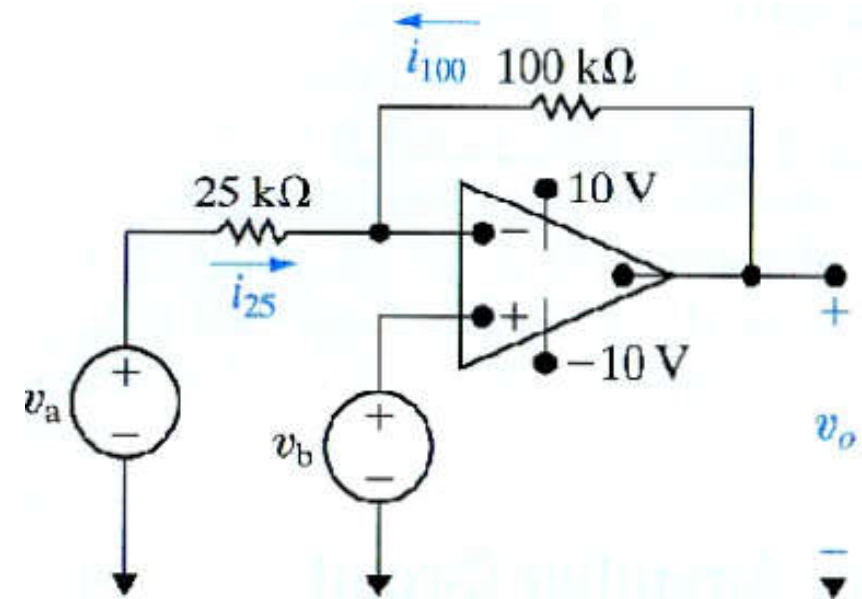
Ví dụ 1:

Tính v_O nếu $v_a = 1\text{ V}$ và $v_b = 0\text{ V}$.

Mạch khuếch đại vi sai:

$$V_{\text{out}} = V_2 \left(\frac{(R_f + R_1) R_g}{(R_g + R_2) R_1} \right) - V_1 \left(\frac{R_f}{R_1} \right)$$

$$v_O = -v_a (R_{100} / R_{25}) = -1 (100/25) = -4\text{ V}$$



II. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG OP-AMP

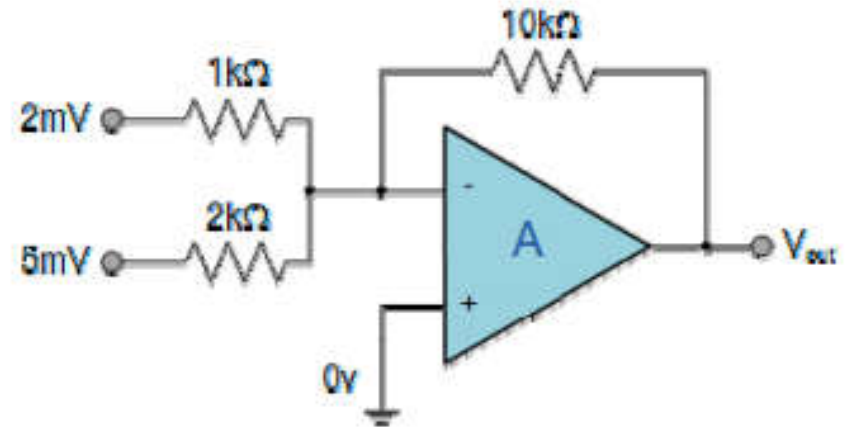
Ví dụ 2:

Tính v_{out} của mạch:

Mạch khuếch đại cộng đảo:

$$V_{out} = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right)$$

$$\rightarrow v_{out} = -10k \left(\frac{2mV}{1K} + \frac{5mV}{2K} \right) = -45 \text{ mV}$$



II. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG OP-AMP

Bài tập 1:

- a) Tính v_{out} khi $v_a = 0.1V$ và $v_b = 0.25V$.
- b) Nếu $v_b = 0.25V$, tìm v_a để v_{out} đạt giá trị âm cực đại.
- c) Nếu $v_a = 0.25V$, tìm v_b để v_{out} đạt giá trị âm cực đại

Mạch khuếch đại cộng đảo:

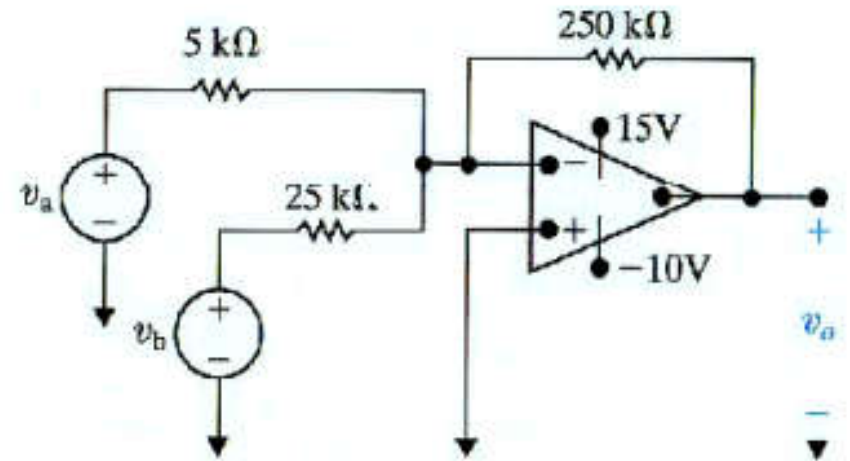
a) $v_{out} = -250k \left(\frac{0.1V}{5K} + \frac{0.25V}{25K} \right) = -7.5V$

b) v_{out} đạt giá trị âm cực đại $= -10V$

$\rightarrow v_{out} = -250k \left(\frac{v_a}{5K} + \frac{0.25V}{25K} \right) = -10V \rightarrow v_a = 0.15V$

c) v_{out} đạt giá trị âm cực đại $= -10V$

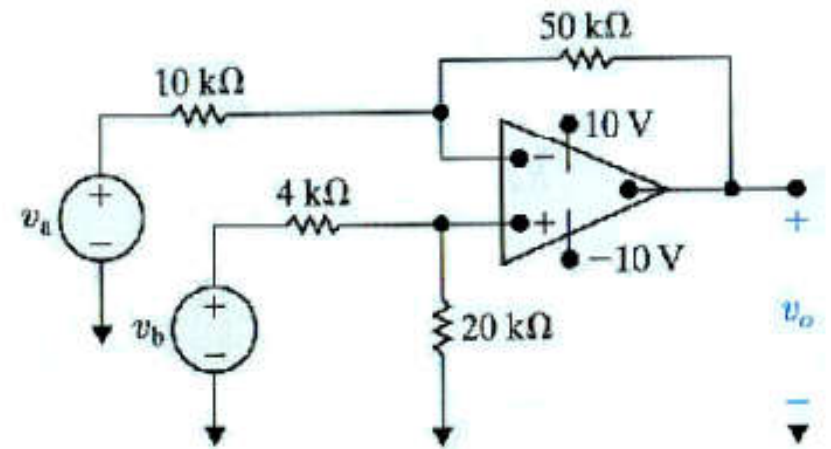
$\rightarrow v_{out} = -250k \left(\frac{0.25V}{5K} + \frac{v_b}{25K} \right) = -10V \rightarrow v_b = 0.5V$



II. MẠCH KHUẾCH ĐẠI DÙNG OP-AMP

Bài tập 2:

- a) Nếu $v_b = 4V$, tìm v_a để v_{out} đạt giá trị âm cực đại.
- b) Nếu $v_b = 4V$, tìm v_a để v_{out} đạt giá trị dương cực đại.



Mạch khuếch đại vi sai:

$$V_{out} = V_2 \left(\frac{(R_f + R_1) R_g}{(R_g + R_2) R_1} \right) - V_1 \left(\frac{R_f}{R_1} \right)$$

$$a) \quad v_o = v_b \left(\frac{(50K + 10K) * 20K}{(20K + 4K) * 10K} \right) - v_a \left(\frac{50K}{10K} \right) = -10V \rightarrow v_a = 6V$$

$$b) \quad v_o = v_b \left(\frac{(50K + 10K) * 20K}{(20K + 4K) * 10K} \right) - v_a \left(\frac{50K}{10K} \right) = 10V \rightarrow v_a = 2V$$