



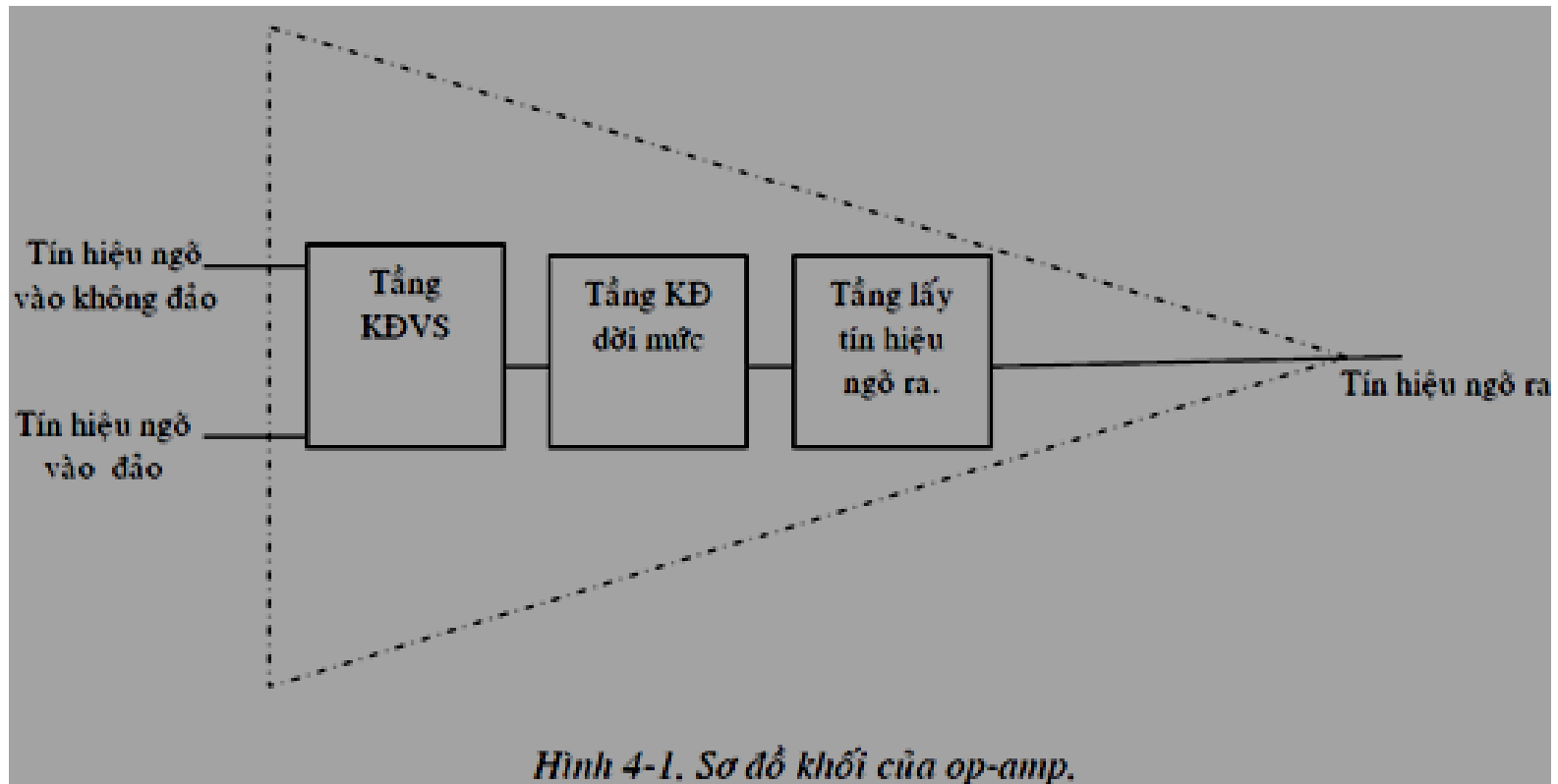
# ***Chương 10 : OP-AMP***

# 10.1 Cấu trúc mạch

## 10.1.1. giới thiệu

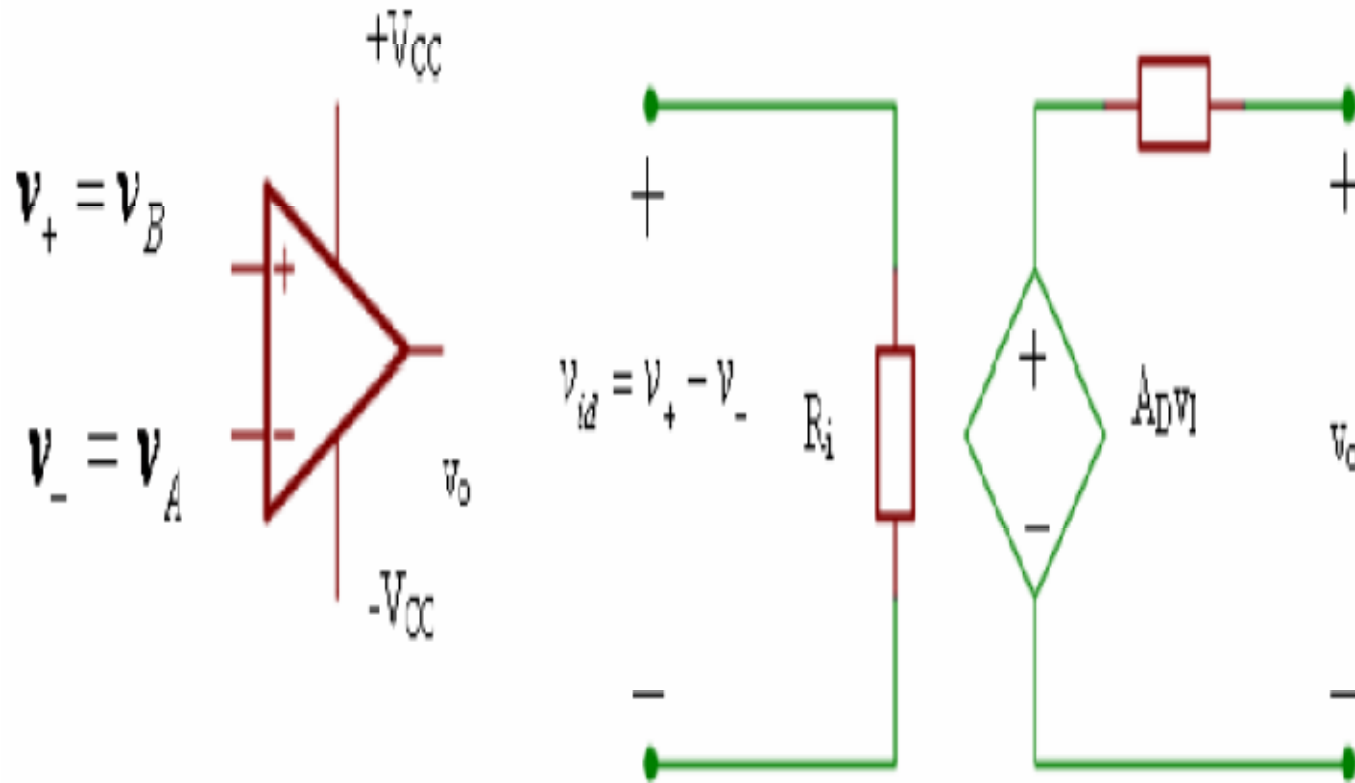
Một mạch khuếch đại thuật toán tiêu biểu gồm 3 tầng phân biệt

- + tầng khuếch đại vi sai ngõ vào
- + tầng khuếch đại dither mức
- + tầng lấy tín hiệu ngõ ra



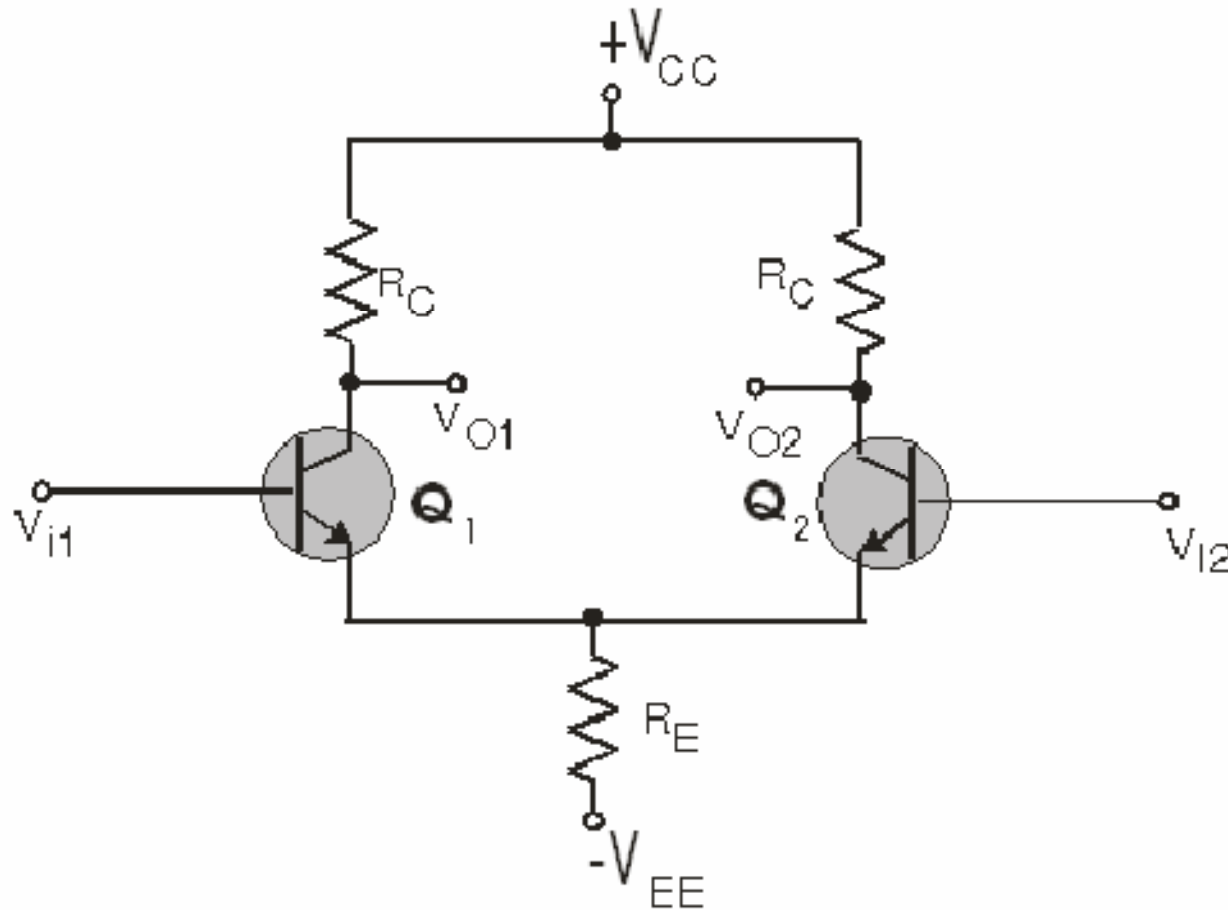
# 10.1.1. giới thiệu

*Kí hiệu mạch khuếch đại*



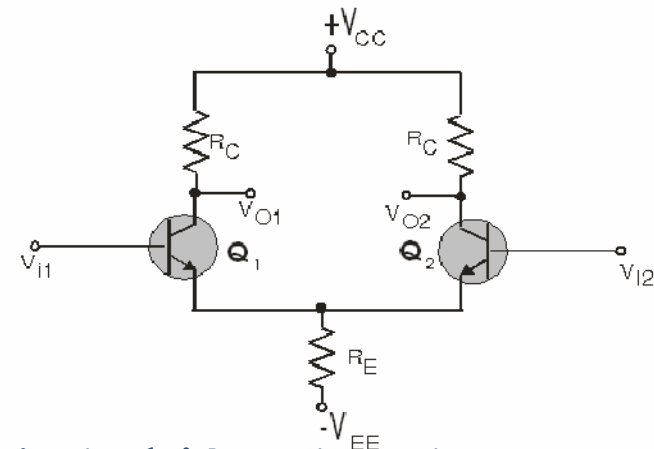
## 10.1.2 Tầng khuếch đại vi sai:

### a. Mạch khuếch đại vi sai:



## 10.1.2 Tầng khuếch đại vi sai:

### Đặc điểm của mạch KĐVS:



Hai ngõ vào có các tín hiệu bao gồm:

- ❖ Tín hiệu cách chung (**common**): hai tín hiệu vào cùng pha và cùng biên độ

$$v_{ic1} = v_{ic2} = v_{ic}$$

- ❖ Tín hiệu vi sai (**differential**): nếu hai tín hiệu ngõ vào ngược pha và cùng biên độ.

$$v_{id} = v_{id1} - v_{id2} = 2v_{id1} = -2v_{id2}$$

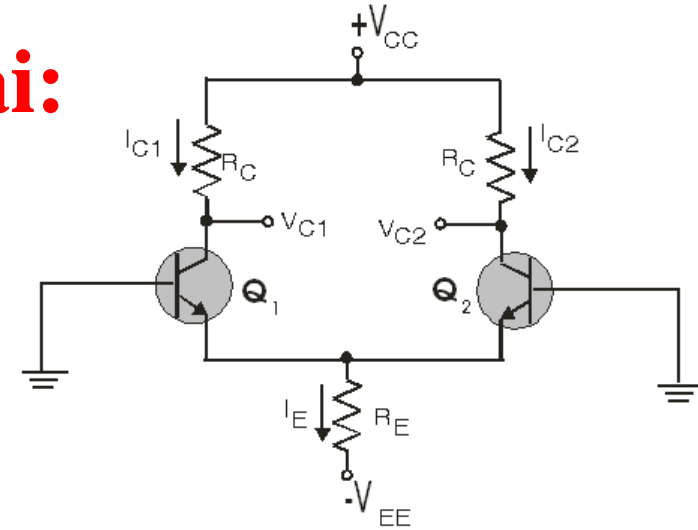
hay

$$v_{id1} = -v_{id2} = v_{id} / 2$$

- ❖ Có hai ngõ ra đơn cực ( $V_{O1}$ ,  $V_{O2}$ ) và một ngõ ra vi sai ( $V_{O12}$ ).

## 10.1.2 Tầng khuếch đại vi sai:

*Xét phân cực DC:*



❖ Ta có:

$$V_E = 0 - V_{BE} = -0,7(V)$$
$$I_E = \frac{V_E - (-V_{EE})}{R_E} \approx \frac{V_{EE} - 0,7}{R_E}$$

$$I_{C1} = I_{C2} = \frac{I_E}{2}$$

❖ Và:

$$V_{CE1} = V_{CE2} = V_{CC} + V_{EE} - \frac{I_E}{2} R_C - I_E R_E$$

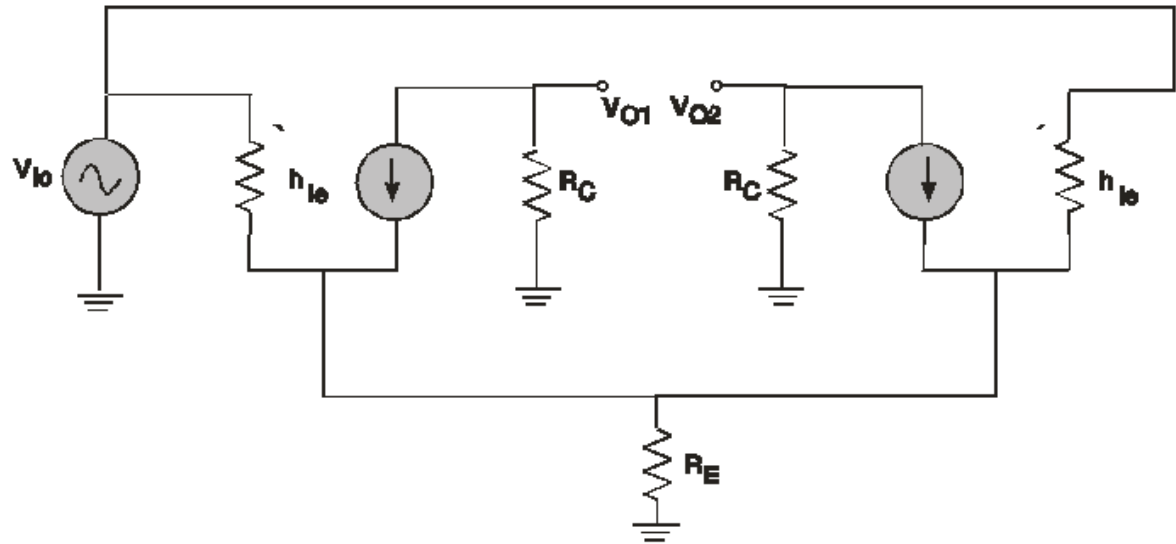
## 10.1.2 Tầng khuếch đại vi sai:

*Xét tín hiệu AC:*

❖ Xét tín hiệu cách chung, ta có mạch tương đương

❖ Ta có

$$v_{O1} = v_{O2} = -h_{fe} R_C$$



❖ Hệ số khuếch đại của tín hiệu cách chung:

$$A_{v_{C1}} = A_{v_{C2}} = A_C = \frac{v_o}{v_c} = -\frac{h_{fe} R_C}{h_{ie} + 2(h_{fe} + 1)R_E}$$

## 10.1.2 Tầng khuếch đại vi sai:

*Xét tín hiệu AC – tín hiệu vi sai:*

❖ Hệ số KĐVS tầng 1:

$$A_{vd1} = \frac{v_o}{v_{id1}} = -\frac{h_{fe} R_C}{h_{ie}}$$

❖ Hệ số KĐVS tầng 2:

$$A_{vd2} = \frac{V_o}{V_{id2}} = -\frac{h_{fe} R_C}{h_{ie}}$$

❖ Đặt:

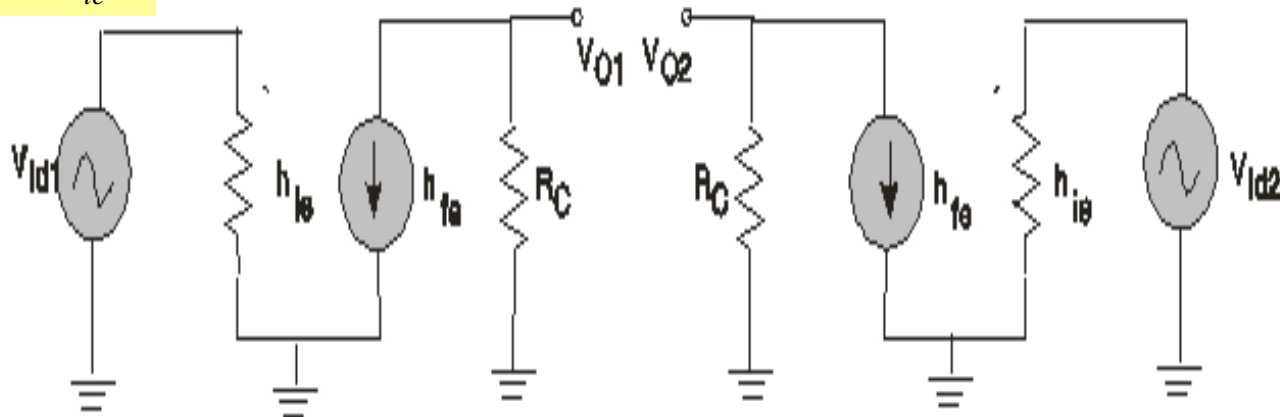
$$A_d = -\frac{h_{fe} R_C}{h_{ie}}$$

❖ Suy ra:

$$v_{o1} = A_C v_{ic} + A_d \frac{v_{id}}{2}$$

$$v_{o2} = A_C v_{ic} - A_d \frac{v_{id}}{2}$$

$$v_{o12} = v_{o1} - v_{o2} = A_d v_{id}$$





## 10.1.2 Tầng khuếch đại vi sai:

*So sánh cách chung và vi sai:*

- ❖ Trong hoạt động với tín hiệu cách chung (common mode): kết quả tín hiệu ở ngõ ra vi sai bằng zero, vì tín hiệu ở hai cực collector của hai transistor đối xứng nhau đối với tín hiệu này..
- ❖ Và trong hoạt động với tín hiệu vi sai cho độ lợi lớn hơn rất nhiều so với tín hiệu cách chung..

## 10.1.2 Tầng khuếch đại vi sai:

*Tỉ số triệt tín hiệu đồng pha (CMRR: Common Mode Rejection Ratio)*

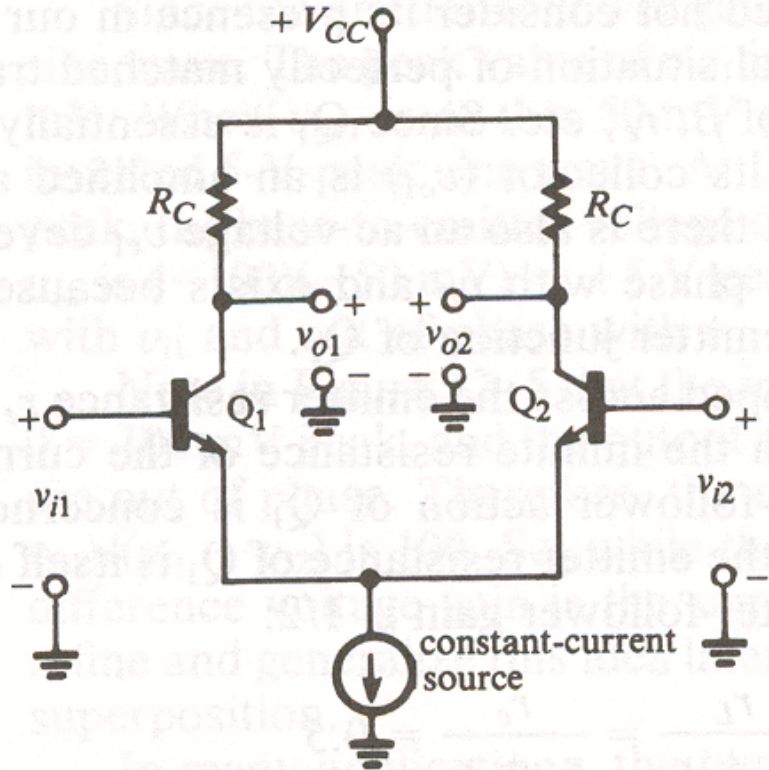
Trong KĐVS thì một bộ KĐVS lý tưởng có  $A_{VC} = 0$ , hay nói cách khác tín hiệu nhiễu tại mỗi ngõ ra đơn cực phải bằng 0, nhưng thực tế khó đạt được vì để  $A_{VC} = 0$  thì  $R_E \rightarrow \infty$ . Để đo lường sự sai lệch so với lý tưởng người ta định nghĩa một hệ số gọi là tỉ số triệt tín hiệu đồng pha (CMRR):

$$CMRR = \frac{A_d}{A_c}$$

## 10.1.2 Tầng khuếch đại vi sai:

### *Biện pháp làm tăng hệ số CMRR*

Để tăng CMRR biện pháp thường dùng là thay  $R_E$  bằng một nguồn dòng.



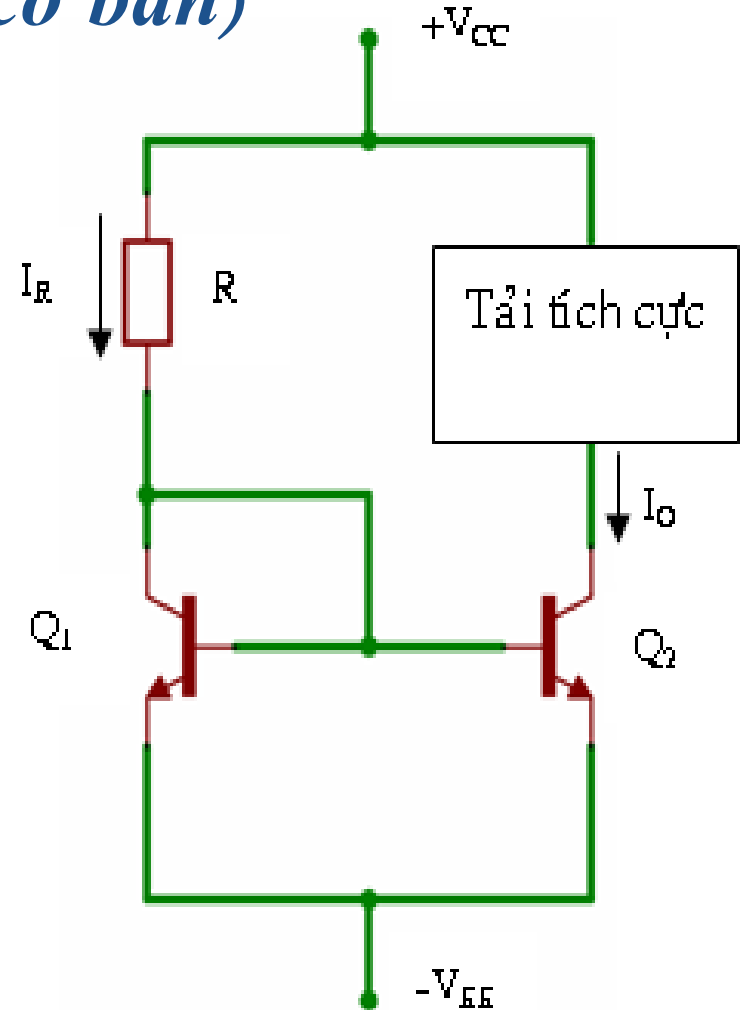
$$CMRR = \frac{A_d}{A_C}$$

## 10.1.2 Tầng khuếch đại vi sai:

*Gương dòng điện:*  
(giới thiệu gương dòng điện cơ bản)

**Chức năng:**

- ❖ Tạo ra một nguồn dòng ổn định tại cực thu của transistor.
- ❖ Có điện trở ngõ ra rất lớn vì:
  - ✓ Nguồn dòng thường có giá trị rất bé từ 10-100
  - ✓ ngõ ra của gương dòng điện theo dạng CB điện trở ngõ ra rất lớn



## 10.1.2 Tầng khuếch đại vi sai:

### Hoạt động của gương dòng điện

- ❖  $I_R$  là dòng điện chuẩn.
- ❖  $Q_1$  có cực B và C nối chung lại, nên  $Q_1$  được nối thành diode.
- ❖ Giả sử  $Q_1, Q_2$  được chế trên cùng một chip có các thông số giống hệt nhau

$$V_{BE1} = V_{BE2}$$

$$I_{E1} = I_{E2} = I_E$$

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = I_{B1} = I_{B2}$$

$$I_C = \frac{\beta I_E}{\beta + 1} = I_{C1} = I_{C2}$$

$$I_R = I_C + 2I_B = \frac{\beta + 2}{\beta + 1} I_E$$

$$\frac{I_{C2}}{I_R} = \frac{\beta I_E (\beta + 1)}{(\beta + 1)(\beta + 2) I_E} = \frac{\beta}{\beta + 2} = \frac{1}{1 + \frac{2}{\beta}}$$

- ❖ Giả sử  $1 + \frac{2}{\beta} \cong 1$  rất lớn nên do đó  $I_{C2} = I_R$ . Vậy dòng điện  $I_R$  gần bằng dòng  $I_{C2}$  của  $Q_2$  nên gọi là gương dòng điện.

## 10.1.2 Tầng khuếch đại vi sai:

*Gương dòng điện cơ bản:*

❖ Đối với gương dòng điện cơ bản dòng

$$I_R = \frac{V_{CC} - (-V_{EE}) - V_{BE1}}{R}$$

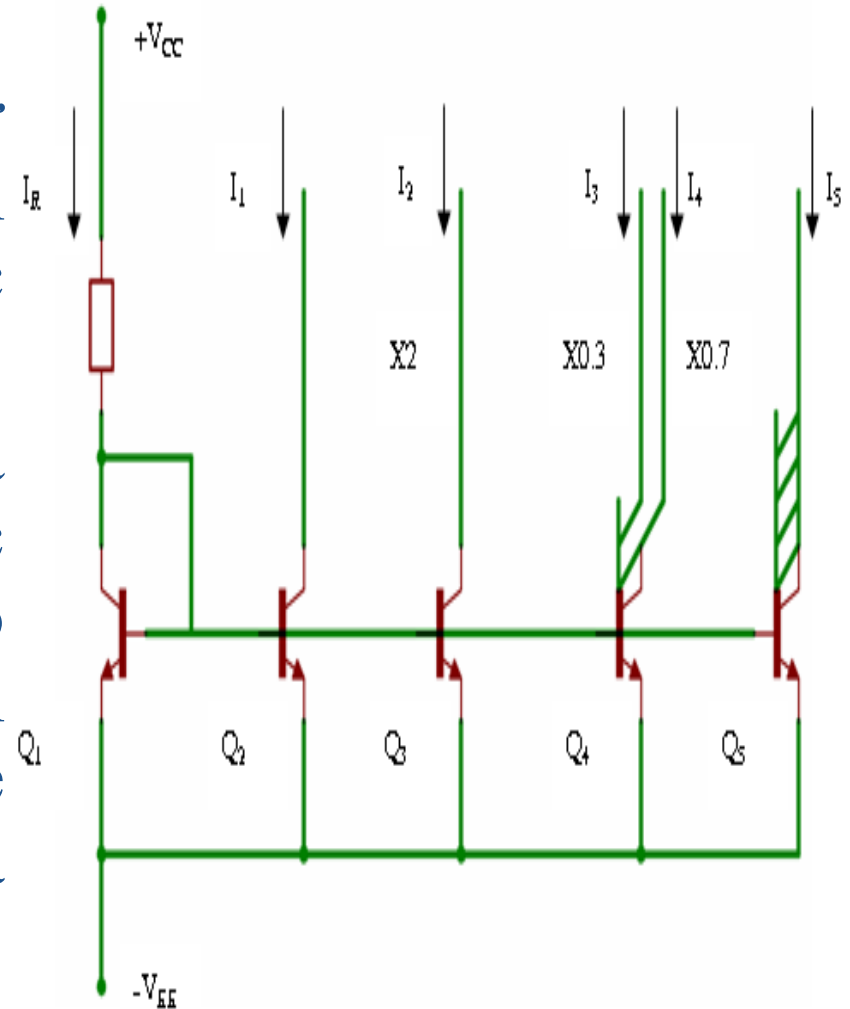
❖ Tổng trở ngõ ra là:

$$Z_o = r_o = \frac{1}{h_{oe}}$$

## 10.1.2 Tầng khuếch đại vi sai:

### *Bus phân cực:*

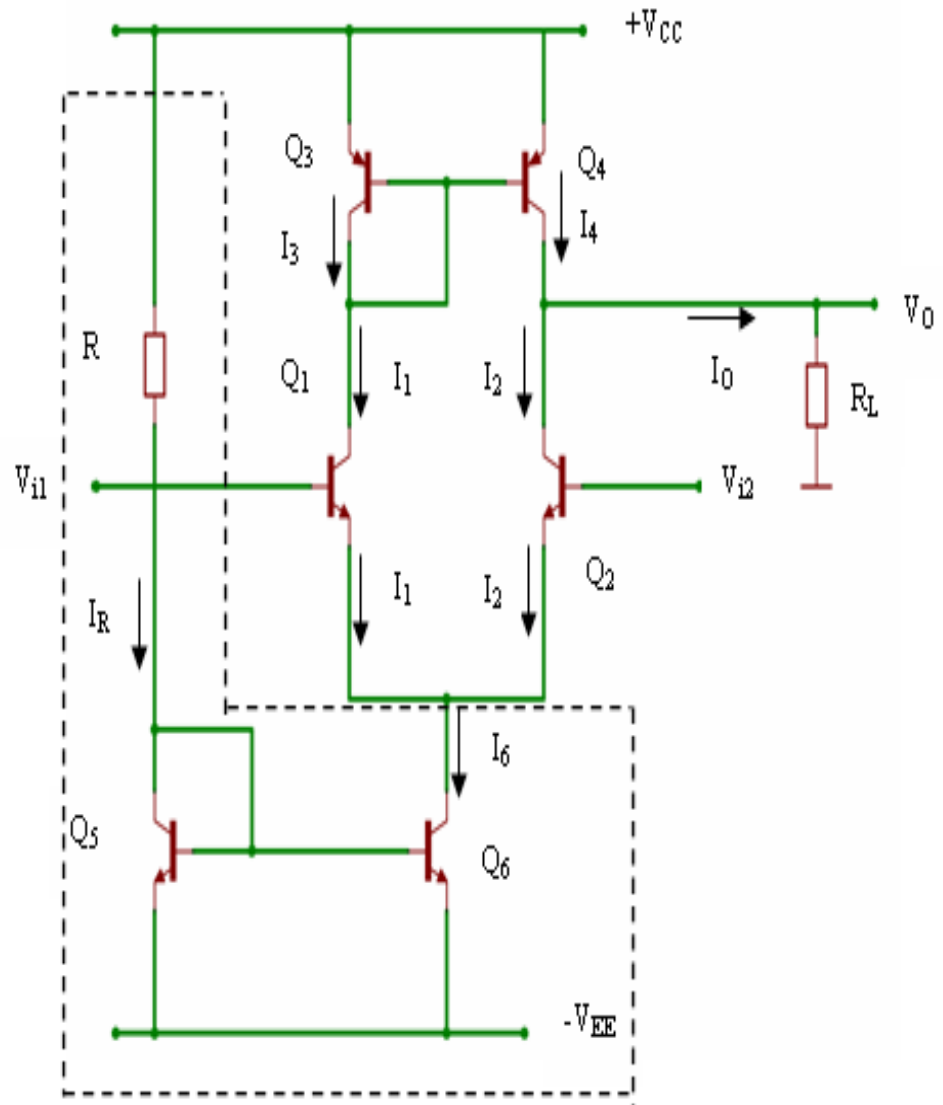
- ❖ Chính gương dòng điện cơ bản đã tạo ra các dòng ổn định có các thông số khác nhau.
- ❖ Các dòng khác nhau này dựa trên tính chất dòng điện cực thu tỉ lệ với dòng điện bảo hòa  $I_S$  trong transistor đơn khối, dòng điện bảo hòa tỉ lệ với kích thước transistor và kích thước của vi mạch



## 10.1.2 Tầng khuếch đại vi sai:

### *Tải tích cực:*

Thay vì dùng điện trở mắc nối tiếp với cực C của Q1 và Q2 trong mạch khuếch đại vi sai, người ta dùng transistor đóng vai trò như điện trở để tạo thành tải tích cực

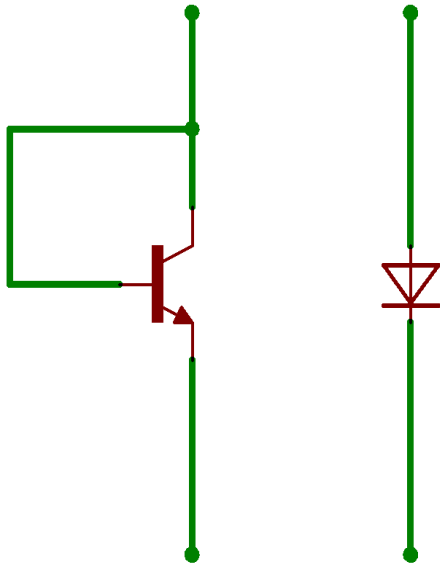




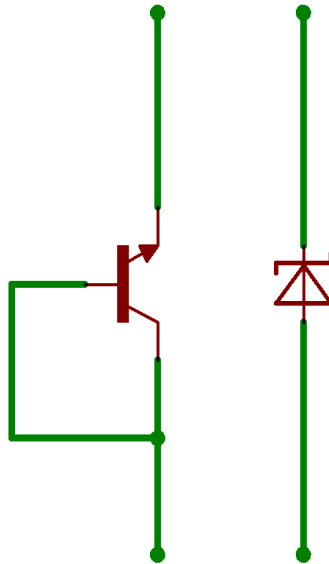
## 10.1.2 Tầng khuếch đại vi sai:

### *Tầng dither mức:*

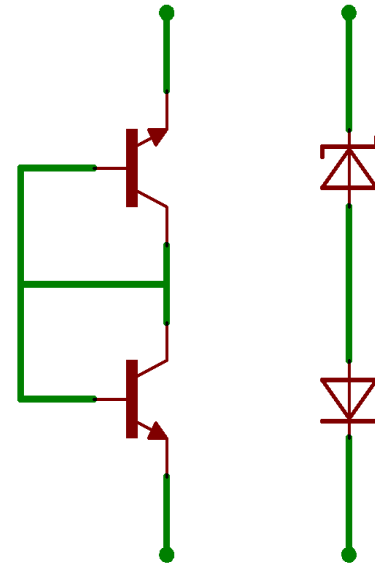
- ❖ Tầng dither mức có chức năng là dịch mức điện áp DC tại cực C của tầng KĐ vi sai xuống dưới mức điện áp thấp để ngõ ra của op-amp có mức điện áp  $0V_{DC}$  khi ngõ vào  $V_{in} = 0V_{DC}$ .



(a)



(b)

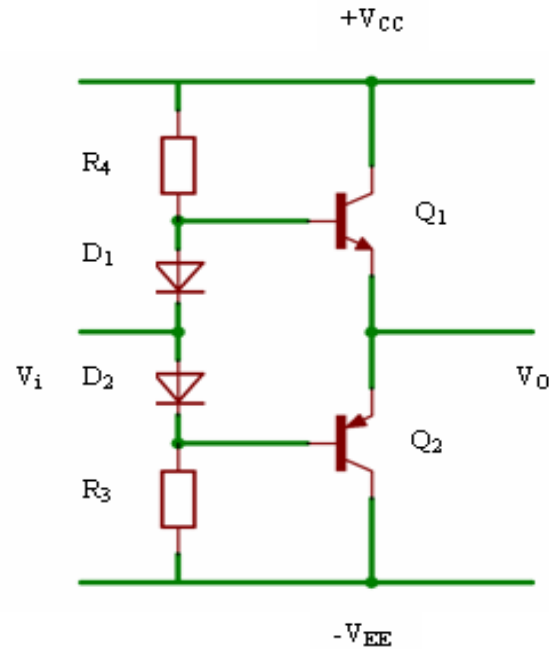
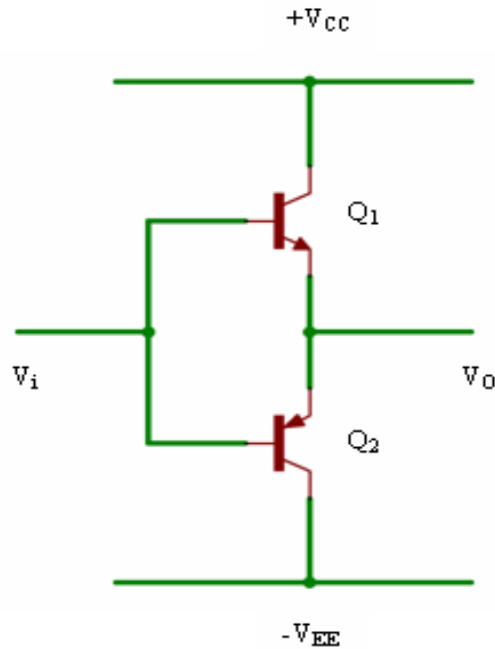


(c)

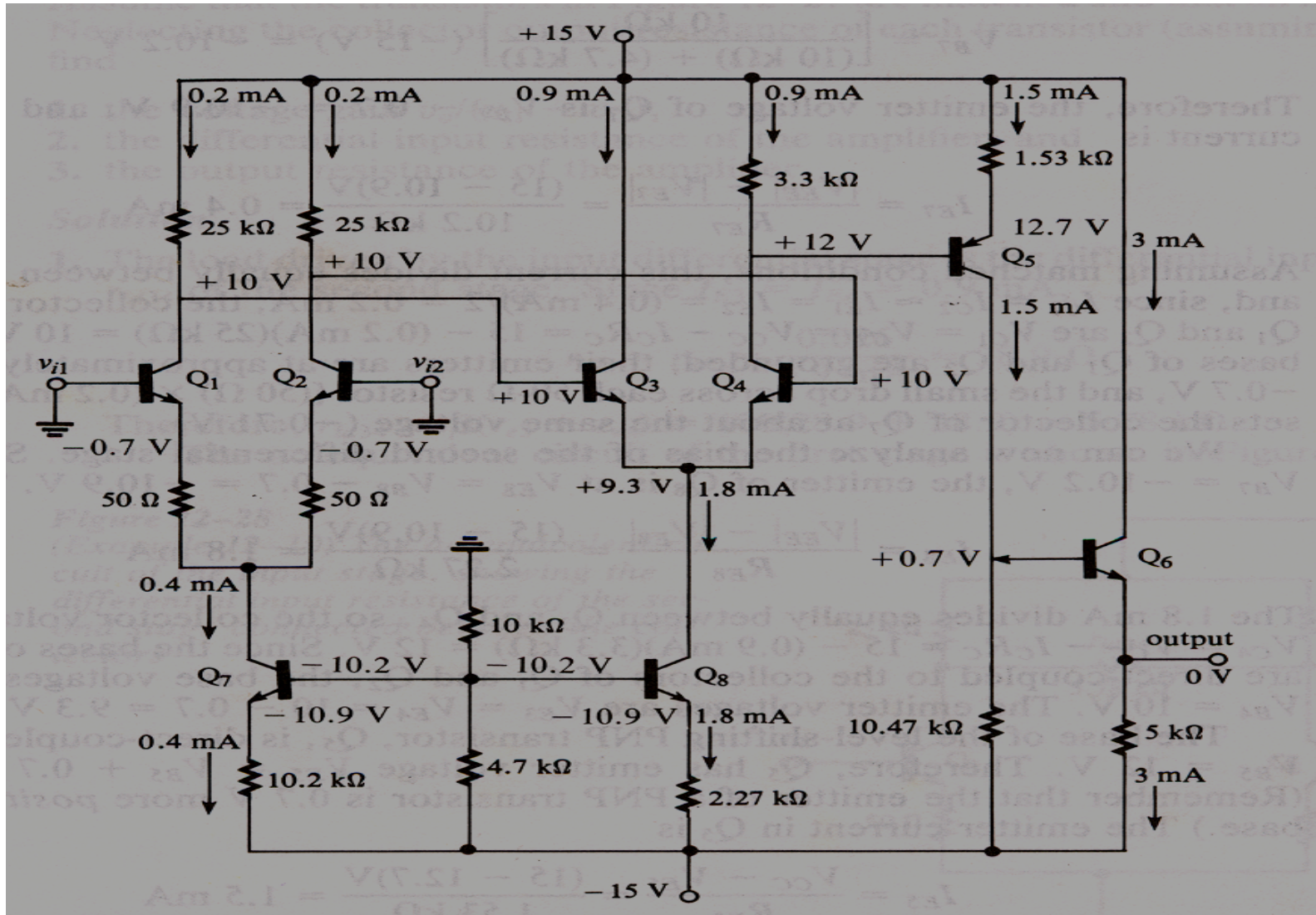
## 10.1.2 Tầng khuếch đại vi sai:

*Mạch xuất tín hiệu ngõ ra:*

- ❖ Có nhiệm vụ khuếch đại dòng, có tổng trở ngõ ra nhỏ, có khả năng cho tín hiệu AC lớn nhưng vẫn không bị méo. Các mạch xuất tín hiệu ngõ ra thường có dạng là mạch KĐ công suất đẩy kéo.



### 10.1.3 Khảo sát sơ đồ nguyên lý của mạch Op-Amp



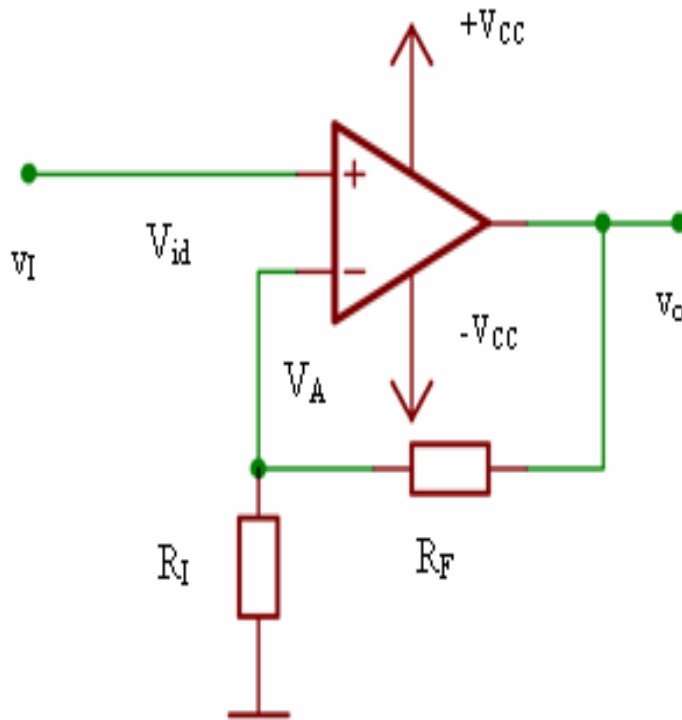
## *Đặc điểm của Opamp lý tưởng:*

- ❖ Có độ lợi áp lớn, một op- amp lý tưởng thì có độ lợi bằng vô cùng.
- ❖ Tổng trở ngõ vào lớn, lý tưởng bằng vô cùng.
- ❖ Tổng trở ngõ ra bé, trường hợp lý tưởng bằng 0.
- ❖ Điện áp ngõ ra bằng 0 khi điện áp vào bằng 0.
- ❖ CMRR lớn, lý tưởng bằng vô cùng.

## 10.2 Ứng dụng ở chế độ KĐ

### 10.2.1. KĐKĐ:

#### a. $A_{VCL}$



$$A_{VOL} = A_V = A$$

$$v_O = A v_{id} = (v_i - v_A) A = A \left( v_i - v_O \frac{R_I}{R_I + R_F} \right)$$

$$v_O = \frac{A v_i}{1 + A \frac{R_I}{R_I + R_F}}$$

$$A_{VCL} = \frac{v_O}{v_i} = \frac{A}{1 + A \frac{R_I}{R_I + R_F}}$$

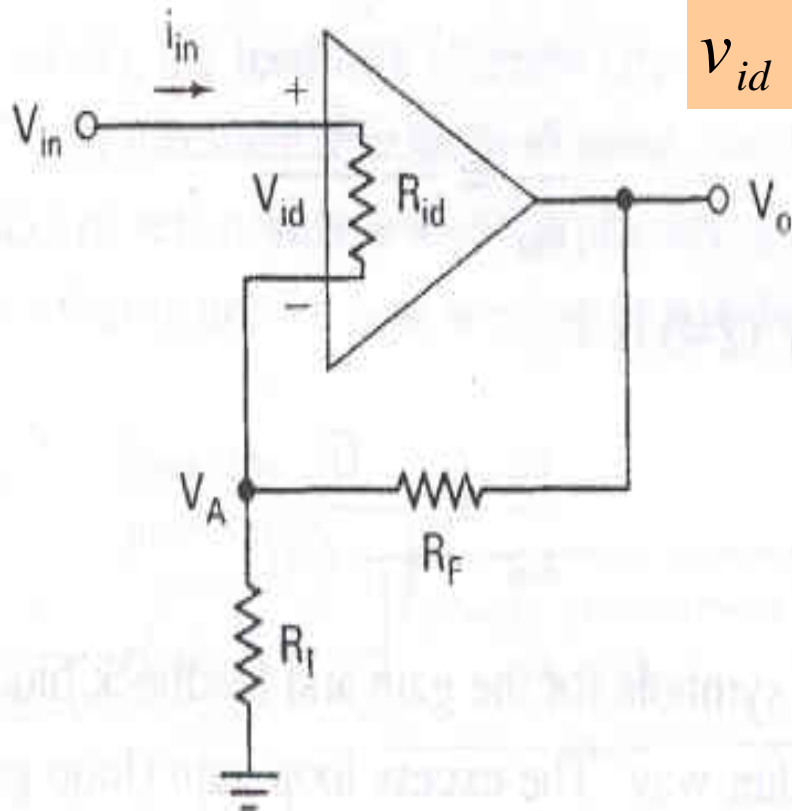
$$A_{VCL} = \frac{v_O}{v_i} = \frac{R_I + R_F}{R_I} = 1 + \frac{R_F}{R_I}$$

## 10.2 Ứng dụng ở chế độ KĐ

### 10.2.1. KĐKĐ:

#### b. Tổng trở ngõ vào

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i}$$



$$v_{id} = i_I R_{id}$$

$$v_O = A V_{id} = A i_I R_{id}$$

$$i_I R_{id} = v_i - A \frac{i_I R_I}{R_I + R_F} R_{id}$$

$$v_i = \left( R_{id} + A \frac{R_I}{R_I + R_F} R_{id} \right) \times i_I$$

$$Z_i = \frac{v_i}{i_I} = R_{id} + A \frac{R_I}{R_I + R_F} R_{id}$$

$$R_{id} = 2h_{ie} = 2(r_x + r_\pi)$$

## 10.2 Ứng dụng ở chế độ KĐ

### 10.2.1. KĐKĐ:

#### b. Tổng trở ra

$$Z_o = \frac{v_o}{i_o} \Big|_{v_i = 0}$$

$$Z_o = \frac{v_o}{i_o} = \frac{r_o}{1 + \frac{AR_I}{R_I + R_F}} < r_o$$

$$v_o = \frac{i_o r_o}{1 + \frac{AR_I}{R_I + R_F}}$$

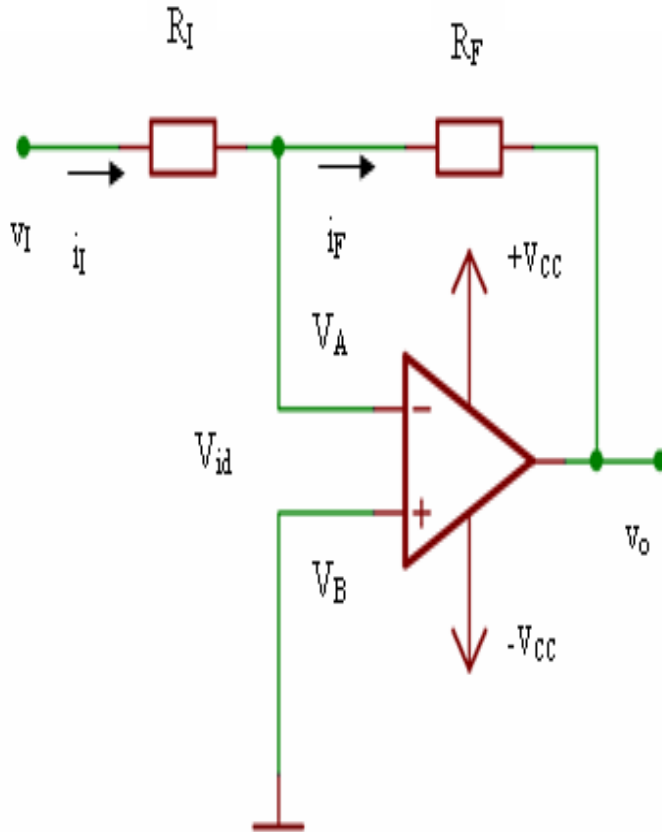
$$v_o = i_o r_o - v_o \frac{AR_I}{R_I + R_F}$$

$$v_{id} = 0 - v_A = -v_o \frac{R_I}{R_I + R_F}$$

$$v_o = i_o r_o + A v_{id}$$

## 10.2 Ứng dụng ở chế độ KĐ

### 10.2.2. Khuếch đại đảo:



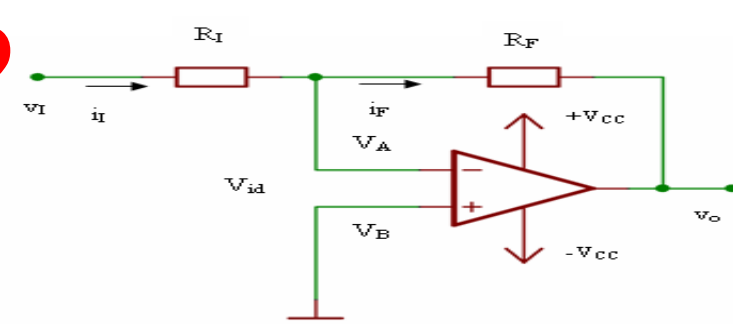
❖ Giả định về dòng điện: “**đối với op-amp lý tưởng thì xem tổng trở vào  $Z_i = \infty$  nên có thể xem như không có dòng điện chạy vào op-amp**”.

$$i_{id} = \frac{v_{id}}{R_i} = \frac{v_{id}}{\infty} = 0$$



## 10.2 Ứng dụng ở chế độ KĐĐ

### Hệ số $A_{CL}$ của KĐĐ



#### ❖ Cách 1: tính chính xác

$$i_I = \frac{v_i - v_A}{R_I} = \frac{v_A - v_O}{R_F} = i_F$$

$$v_{id} = (v_B - v_A) = 0 - v_A = \frac{v_O}{A}$$

$$\frac{v_i + v_{id}}{R_I} = \frac{-v_{id} - v_O}{R_F}$$

$$A_{VCL} = \frac{v_O}{v_i} = -\frac{AR_F}{R_F + (1 + A)R_I}$$

$$A_{CL} = \frac{v_O}{v_i} = -\frac{R_F}{R_I}$$

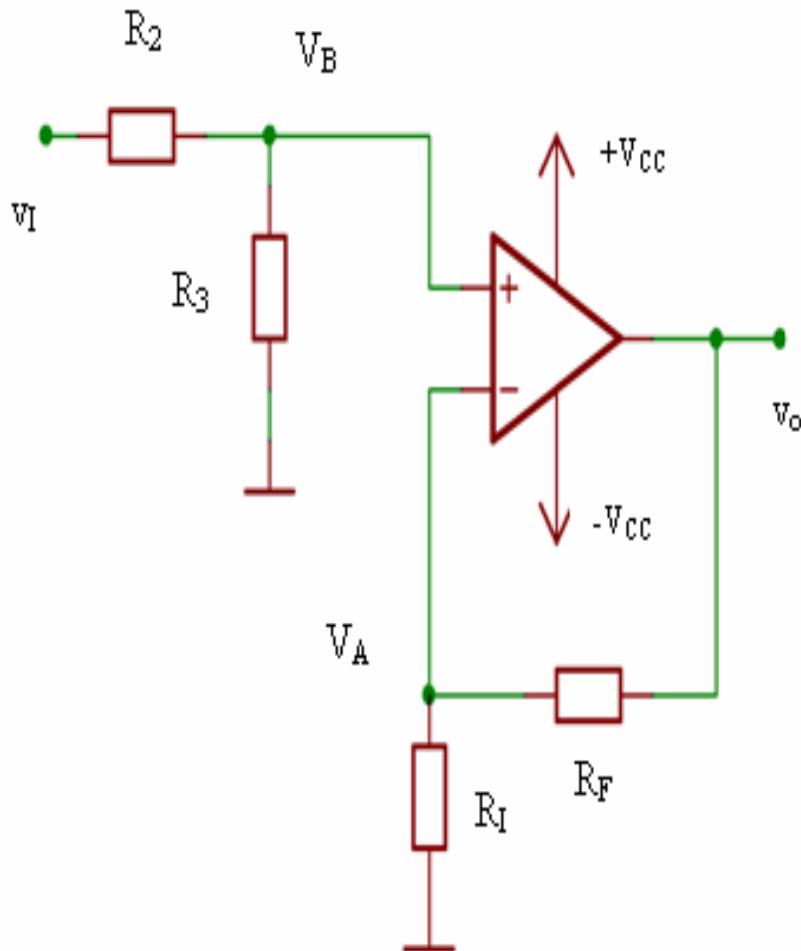
#### Cách 2: tính gần đúng

Theo giả thiết về  $A \rightarrow \infty$  ta có

$$i_I = i_F = \frac{v_i - 0}{R_I} = \frac{0 - v_O}{R_F}$$

$$A_{CL} = \frac{v_O}{v_i} = -\frac{R_F}{R_I}$$

### 10.2.3. Mạch KĐKĐ ngõ vào cầu phân áp



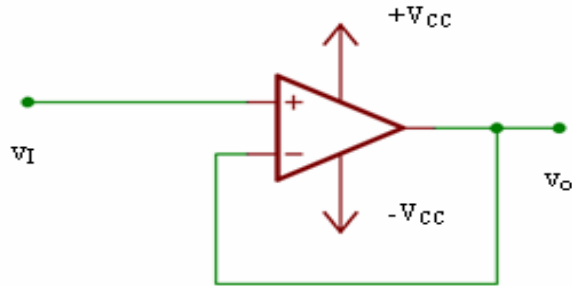
$$V_B = V_A$$

$$v_i \frac{R_3}{R_2 + R_3} = v_o \frac{R_I}{R_I + R_F}$$

$$v_o = v_i \frac{R_3}{R_2 + R_3} \times \frac{R_I + R_F}{R_I}$$

$$A_{CL} = \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \times \frac{R_I + R_F}{R_I}$$

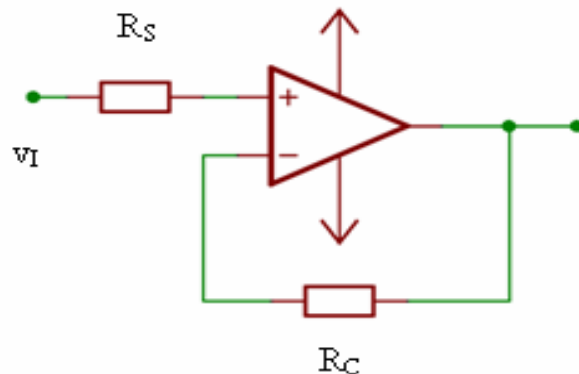
## 10.2.4. Mạch đệm:



- ❖ Nếu tăng  $R_I$  lớn hơn nhiều lần so với  $R_F$  và giảm nhỏ  $R_F$  thì ta có

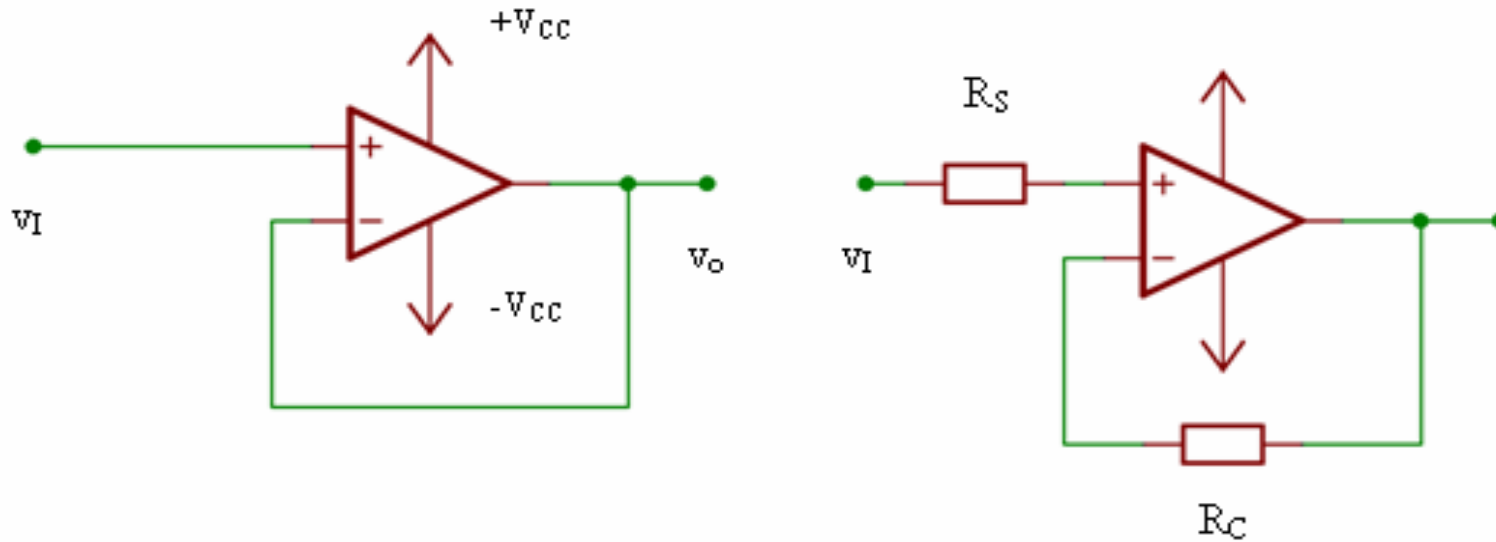
$$R_I \gg R_F \quad R_F + R_I \approx R_I$$

$$A_{CL} = \frac{v_O}{v_i} \approx \frac{R_I}{R_I} = 1$$



- ❖  $R_I$  có giá trị lớn nên xem như hở mạch và  $R_F$  nhỏ xem như ngắn mạch
- ❖ Lúc đó mạch kđ kđ có độ lợi  $=1$  còn gọi là mạch KĐ đệm.

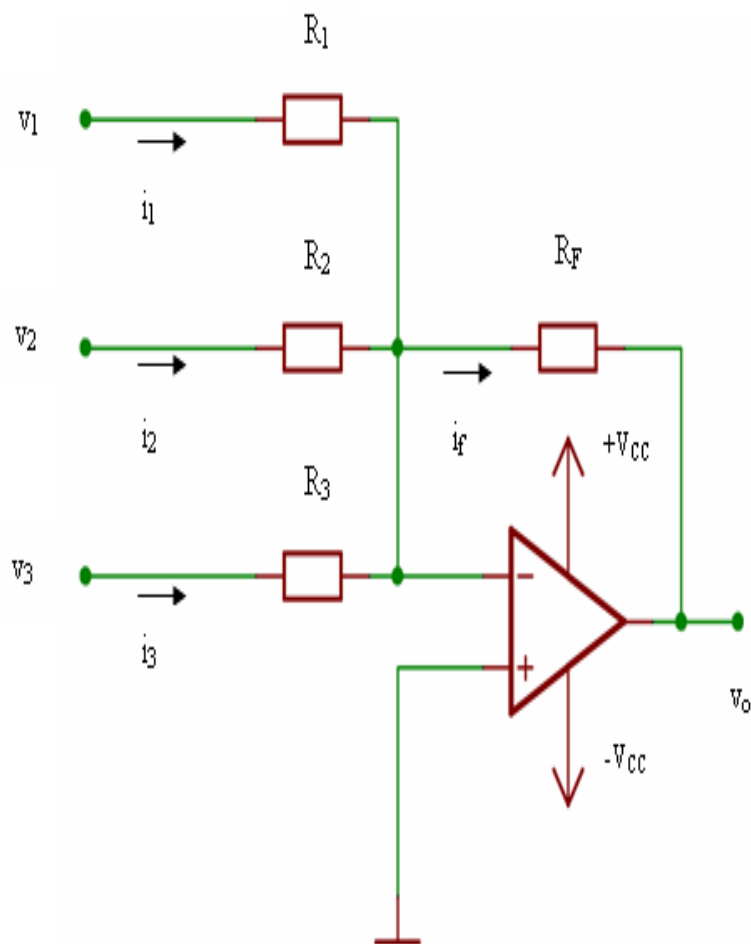
## 10.2.4. Mạch đệm:



$$Z_i = \frac{v_i}{i_i} = R_{id} + A \frac{R_I}{R_I + R_F} R_{id} = R_{id} (1 + A)$$

$$Z_o = \frac{v_o}{i_o} = \frac{r_o}{1 + \frac{AR_I}{R_I + R_F}} = \frac{r_o}{1 + A}$$

## 10.2.5. Mạch cộng đảo:



$$i_1 = \frac{v_1}{R_1}$$

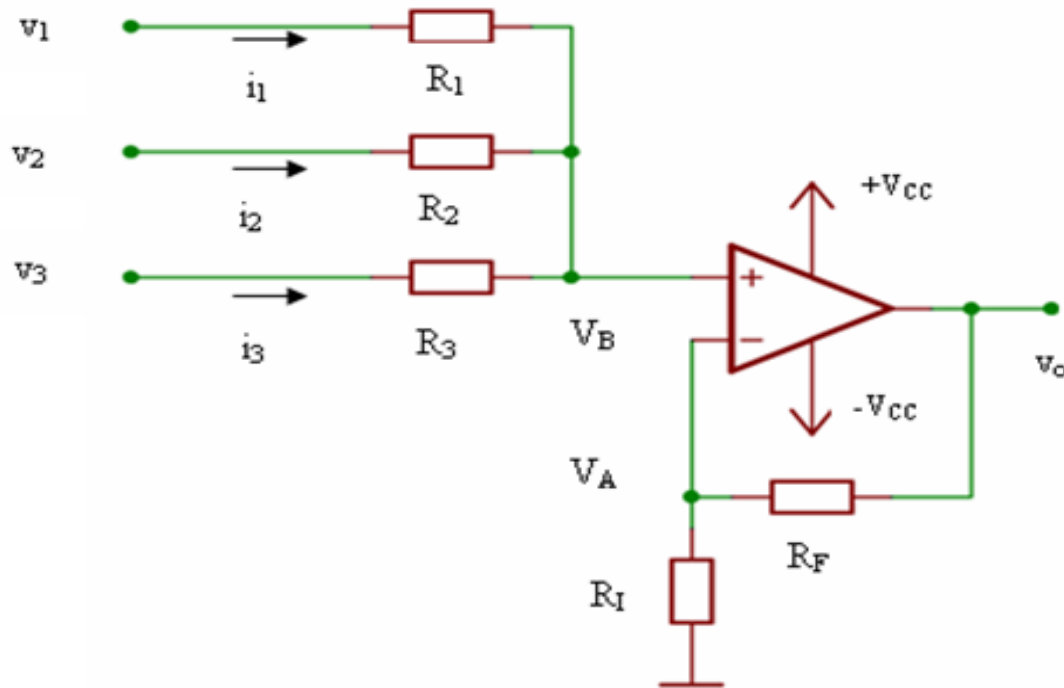
$$i_2 = \frac{v_2}{R_2}$$

$$i_3 = \frac{v_3}{R_3}$$

$$i_f = i_1 + i_2 + i_3 = -\frac{v_o}{R_F}$$

$$v_o = -\left[ \frac{R_F}{R_1} v_1 + \frac{R_F}{R_2} v_2 + \frac{R_F}{R_3} v_3 \right]$$

## 10.2.6. Mạch cộng không đảo trung bình



$$R_P = \frac{1}{\left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)}$$

$$V_o = \frac{R_I + R_F}{R_I} \times \left( \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3} \right) \times R_P = \left( \frac{R_I + R_F}{R_I} \right) \times \left( \frac{R_P}{R_1} v_1 + \frac{R_P}{R_2} v_2 + \frac{R_P}{R_3} v_3 \right)$$

## *10.3. Đặc tính thực tế:*

❖ Điện áp vào offset.

❖ Dòng offset

❖ Các dòng phân cực và trôi offset.

❖ Các yếu tố này thường xảy ra tầng khuếch đại  
vi sai.

## ***Điện áp offset:***

- ❖ Điện áp offset ngõ ra: là điện áp chênh lệch so với điện áp ngõ ra lý tưởng. Điện áp này có được là do điện áp offset của ngõ vào tạo ra .
- ❖ Điện áp offset ngõ vào: là do phân cực không cân bằng của tầng KĐVS hay do 2 transistor của tầng KĐVS có các thông số không giống nhau. Ngay khi cả hai ngõ vào nối mass(0V) thì điện áp ngõ ra vẫn khác 0V – giá trị này được gọi là điện áp offset ngõ ra và ta xem như có một điện áp offset ở ngõ vào gây ra



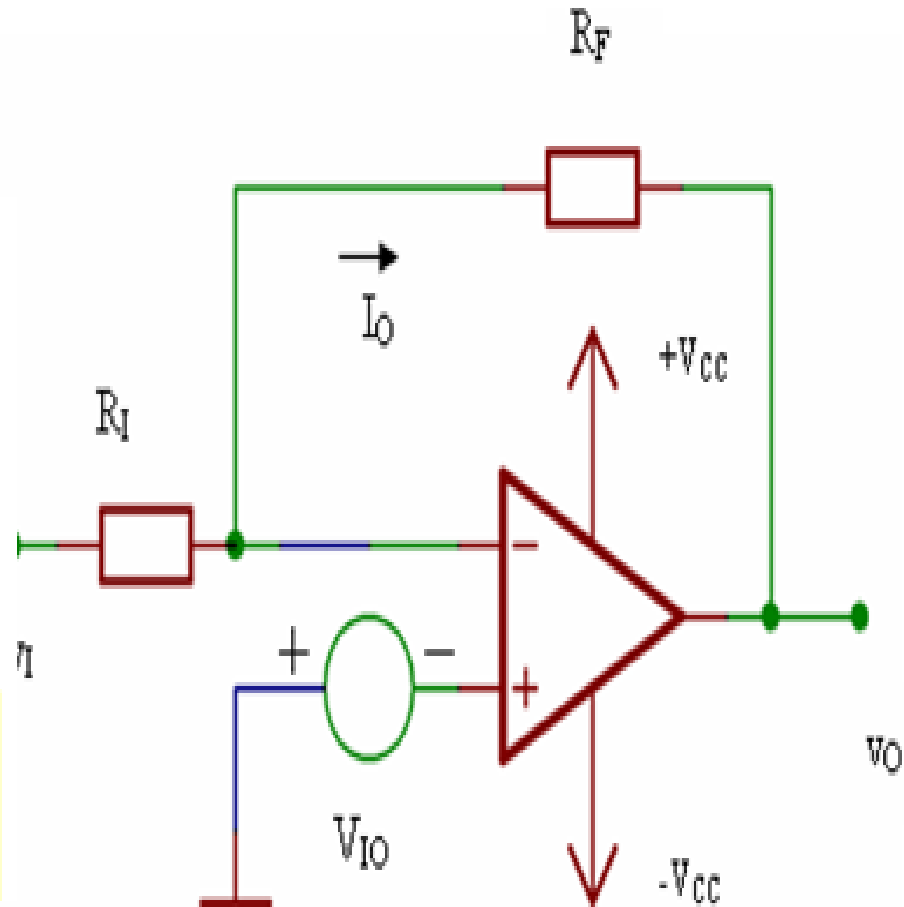
# *Khảo sát ảnh hưởng Offset ngõ ra do điện áp Offset ngõ vào*

## Mạch KĐ đảo

$$v_{o1} = -\frac{R_F}{R_I} v_i$$

$$v_{o2} = \frac{R_I + R_F}{R_I} V_{IO}$$

$$v_o = -\frac{R_F}{R_I} v_i + \frac{R_I + R_F}{R_I} V_{IO}$$



# *Khảo sát ảnh hưởng Offset ngõ ra do điện áp Offset ngõ vào*

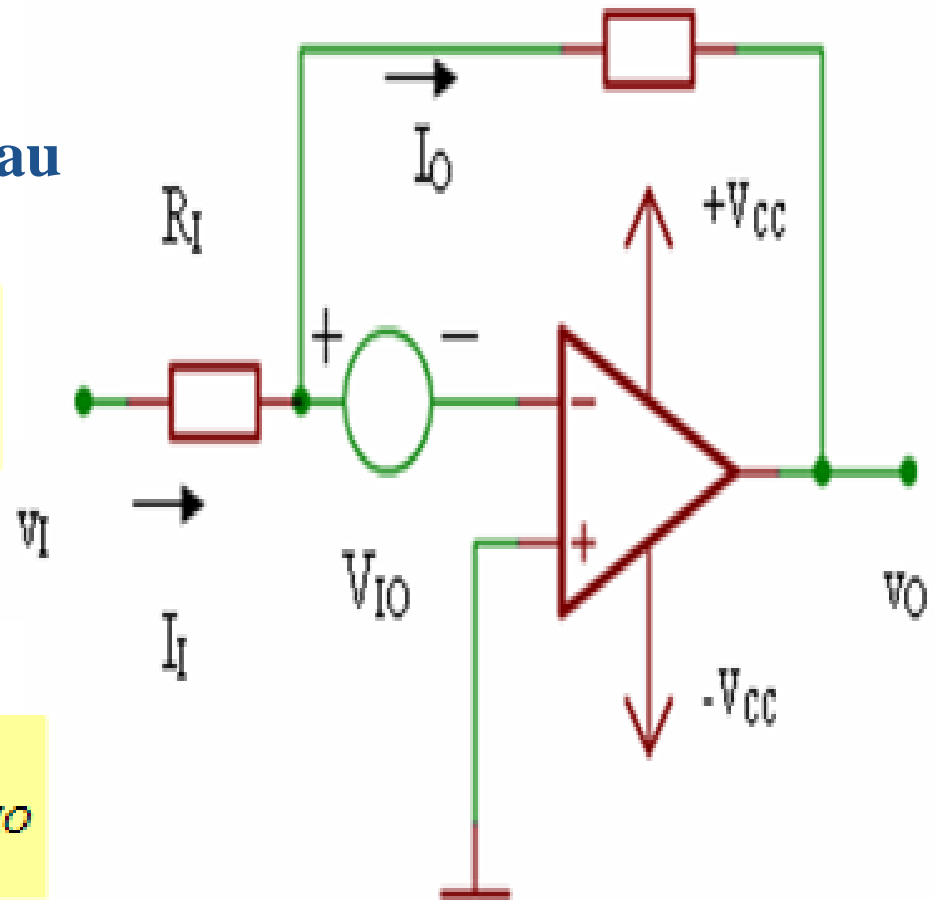
## Mạch KĐ đảo

Phương trình viết lại như sau

$$v_o = -\frac{R_F}{R_I} v_i + \frac{R_I + R_F}{R_I} V_{IO}$$

Nếu đổi cực tính thì

$$v_o = -\frac{R_F}{R_I} v_i - \frac{R_I + R_F}{R_I} V_{IO}$$



# Khảo sát ảnh hưởng Offset ngõ ra do điện áp Offset ngõ vào

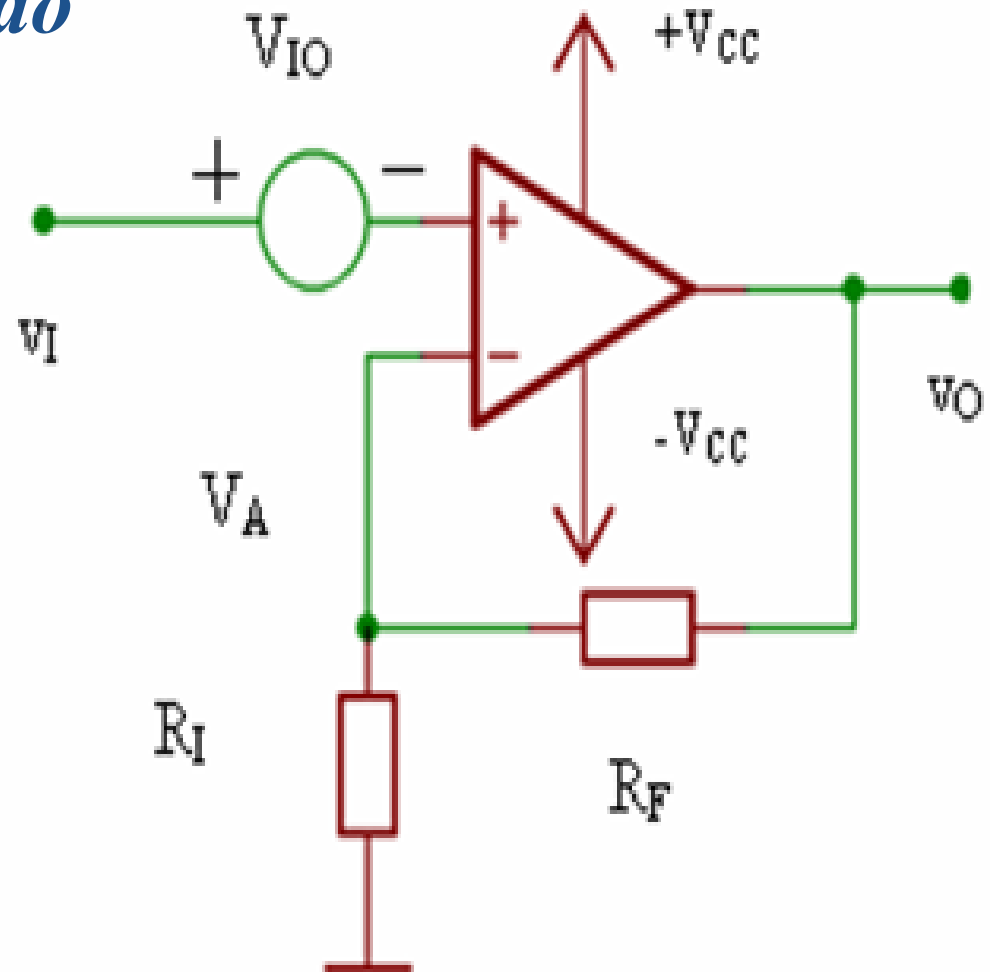
## Mạch KD không đảo

$V_{IO}$  cùng dấu với  $V_i$ :

$$v_{O1} = \frac{R_I + R_F}{R_I} (v_i + V_{IO})$$

$V_{IO}$  ngược dấu với  $v_i$

$$v_{O1} = \frac{R_I + R_F}{R_I} (v_i - V_{IO})$$



# *Khảo sát ảnh hưởng Offset ngõ ra do điện áp Offset ngõ vào*

## *Mạch KĐ không đảo*

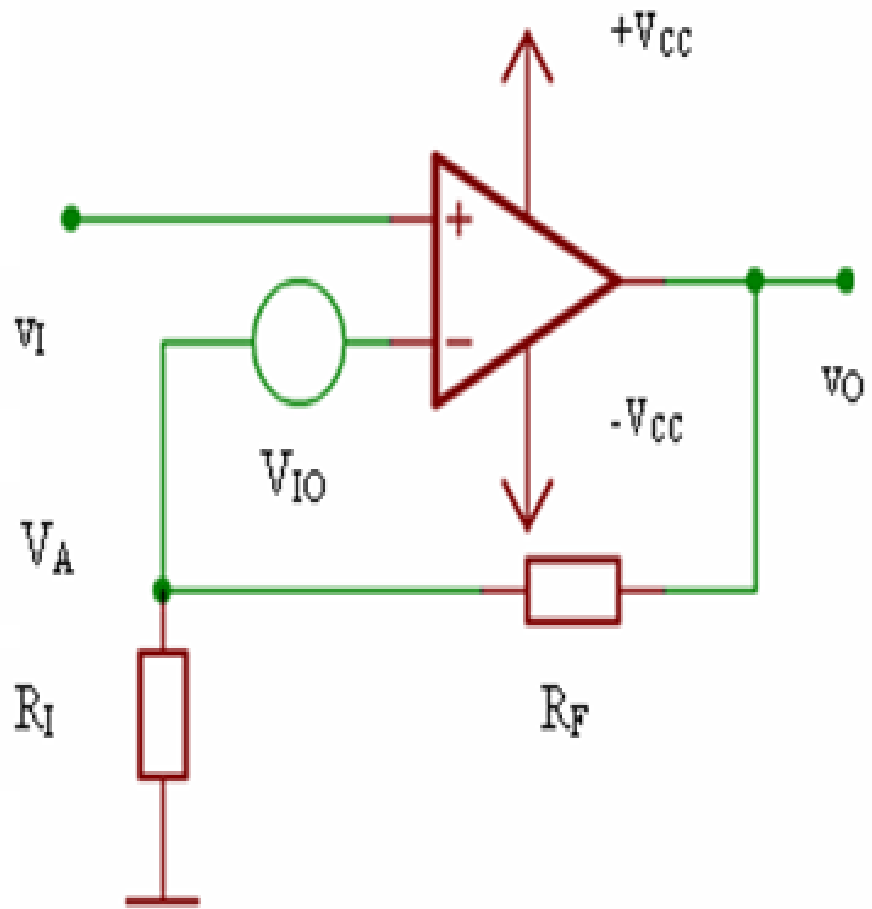
$$v_i = v_A - V_{IO}$$

$$v_A = v_i + V_{IO} = \frac{R_I}{R_I + R_F} v_o$$

$$v_o = \frac{R_I + R_F}{R_I} (v_i + V_{IO})$$

$V_{IO}$  cực tính ngược lại

$$v_o = \frac{R_I + R_F}{R_I} (v_i - V_{IO})$$



# 10.4. Ứng dụng Opamp ở chế độ tuyến tính

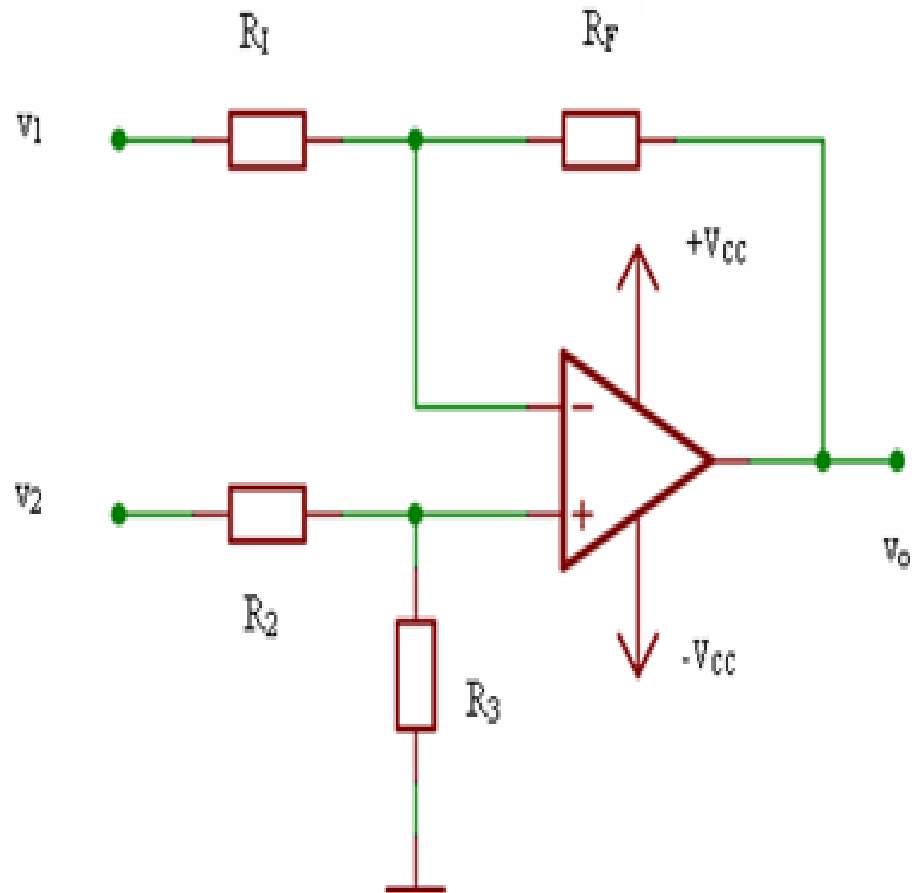
## 10.4.1. Mạch KĐ vi sai-Mạch trừ

$$v_o = v_2 \times \frac{R_3}{R_3 + R_2} \times \frac{R_I + R_F}{R_I} - v_1 \times \frac{R_F}{R_I}$$

Nếu cho

$$\frac{R_F}{R_I} = \frac{R_3}{R_2}$$

$$v_o = -(v_1 - v_2) \times \frac{R_F}{R_I}$$



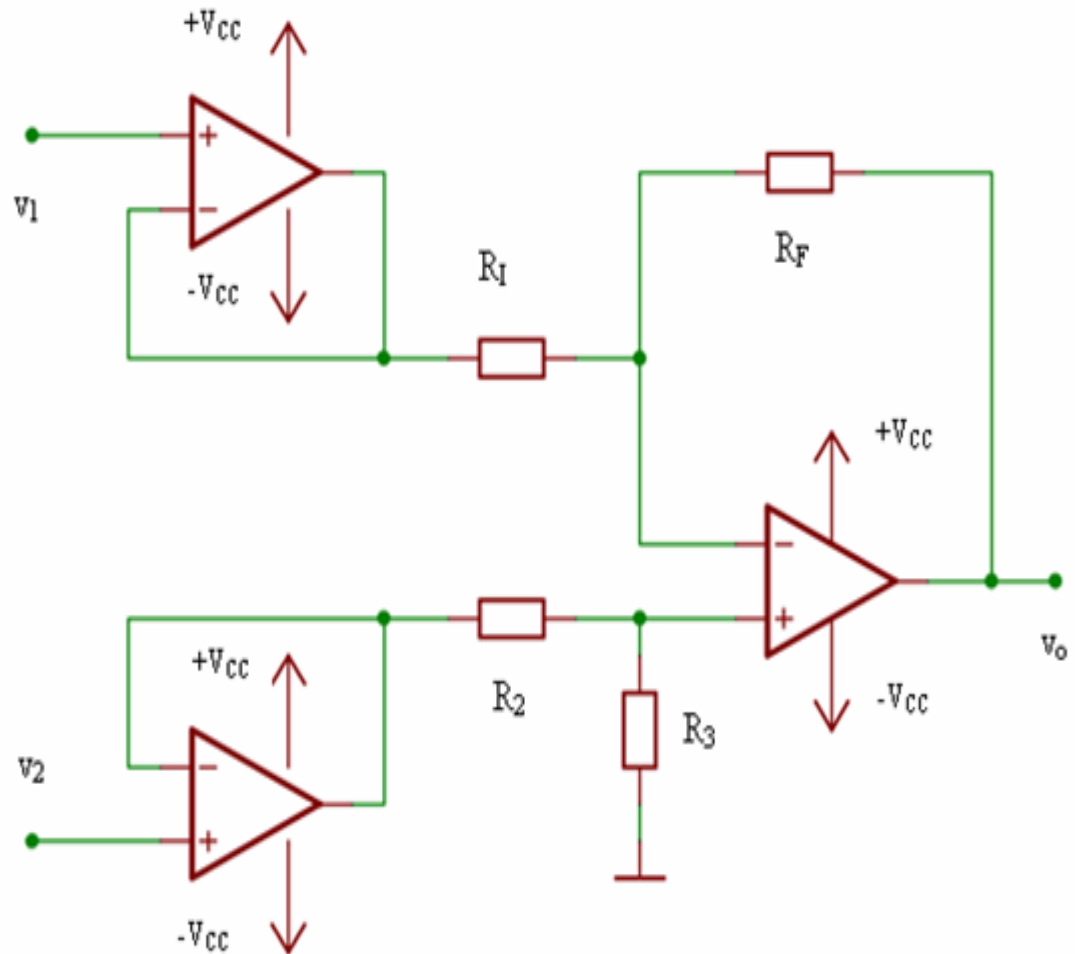
# *Các mạch vi sai trong các thiết bị đo lường:*

## **a. dùng 3 op-amp**

$$v_O = -(v_1 - v_2) \times \frac{R_F}{R_I}$$

$$R_F = R_I = R_3 = R_2$$

$$v_O = v_2 - v_1$$



# Các mạch vi sai trong các thiết bị đo lường:

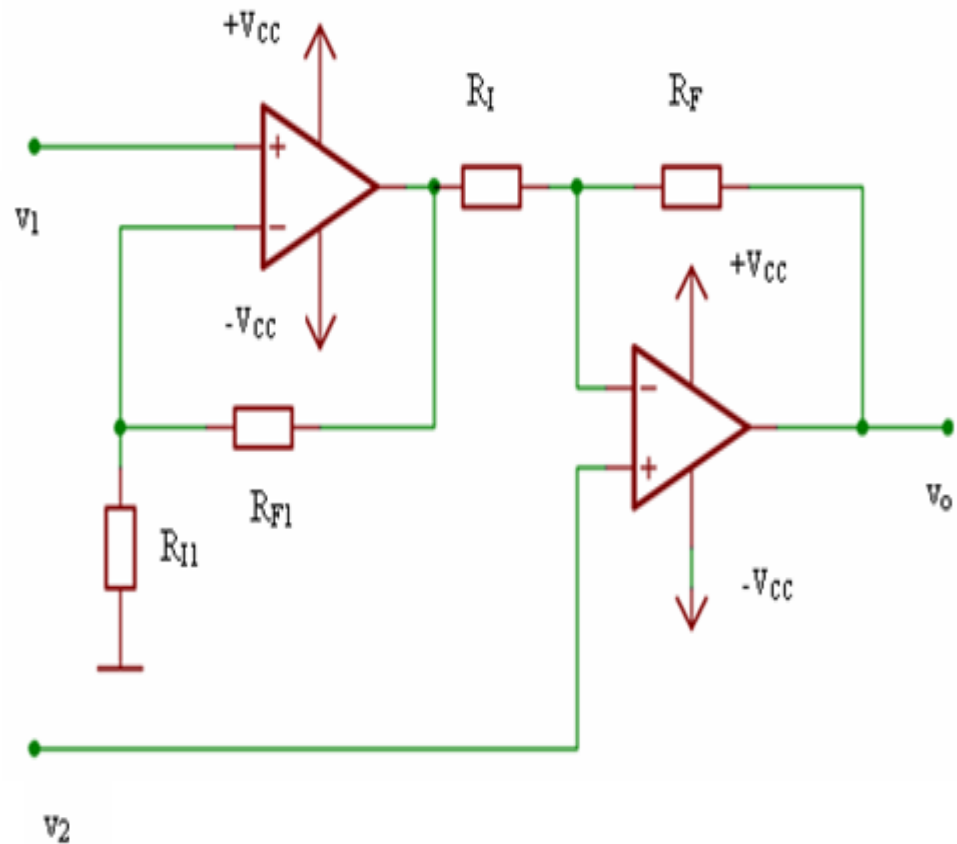
## b. Dùng 2 op-amp

Điện áp ra opamp thứ 1:

$$v_x = \frac{R_{F1} + R_{I1}}{R_{I1}} \times v_1$$

Điện áp ra opamp thứ 2:

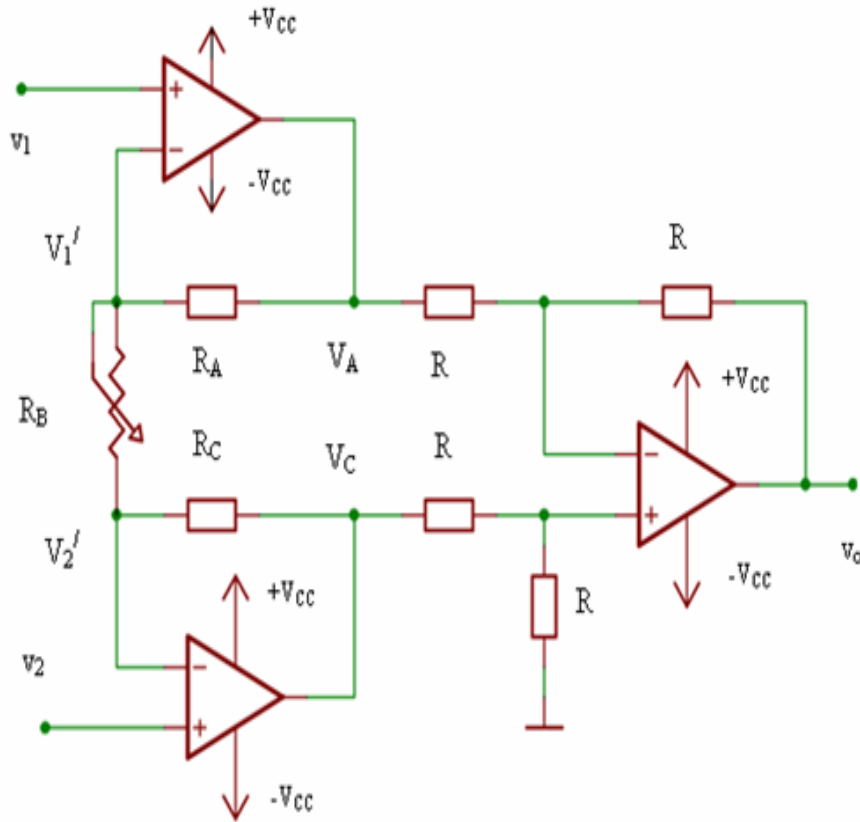
$$v_o = v_2 \times \frac{R_I + R_F}{R_I} - v_x \times \frac{R_F}{R_I}$$



$$v_o = v_2 \times \frac{R_I + R_F}{R_I} - \left( \frac{R_{F1} + R_{I1}}{R_{I1}} \right) \times \frac{R_F}{R_I} \times v_1 = \frac{R_I + R_F}{R_I} \times v_2 - \left( \frac{R_F}{R_I} + \frac{R_F}{R_I} \times \frac{R_{F1}}{R_{I1}} \right) \times v_1$$

# Các mạch vi sai trong các thiết bị đo lường:

## c. Mạch KĐ vi sai có độ lợi thay đổi



$$v_2 = v_2' \quad v_1 = v_1'$$

$$v_A = \frac{R_A + R_B}{R_B} v_1 + \left( -\frac{R_A}{R_B} \right) v_2' = \frac{R_A}{R_B} v_1 + v_1 - \frac{R_A}{R_B} v_2'$$

$$v_C = \frac{R_C + R_B}{R_B} v_2 + \left( -\frac{R_C}{R_B} \right) v_1' = \frac{R_C}{R_B} v_2 + v_2 - \frac{R_C}{R_B} v_1'$$

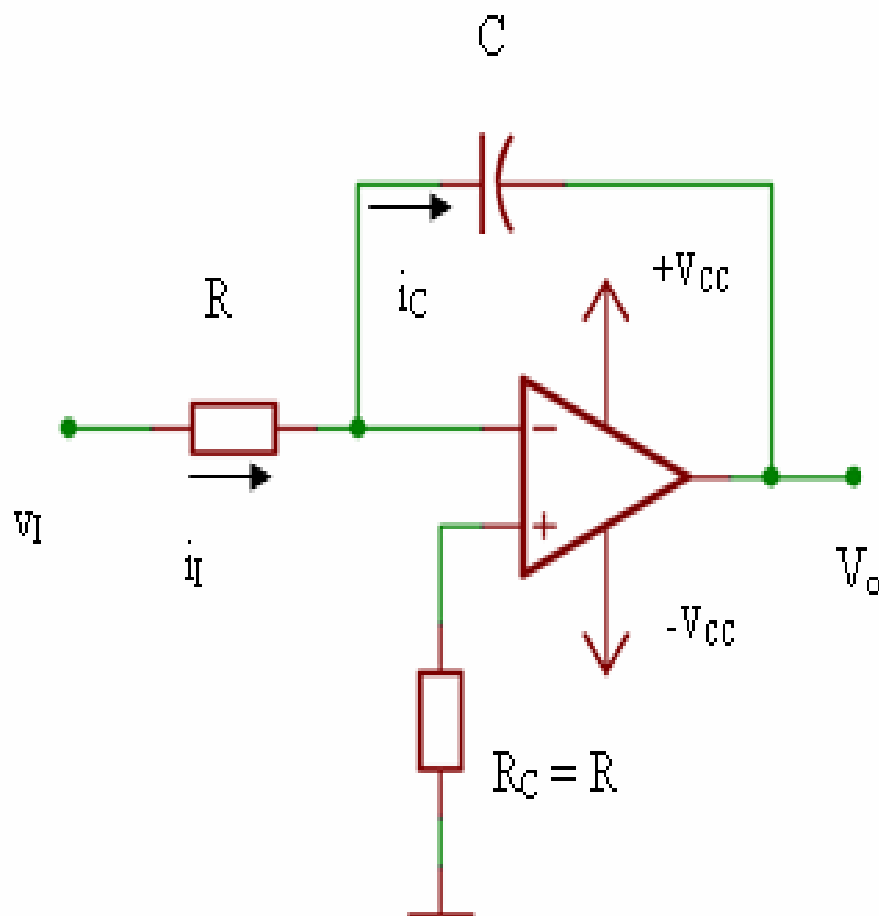
Nếu:

$$R_1 = R_2 = R_I = R_F = R_A = R_C = R$$

$$v_O = v_C - v_A = (v_2 - v_1) \times \left[ \frac{2R}{R_B} + 1 \right]$$



### 10.4.3. Mạch tích phân

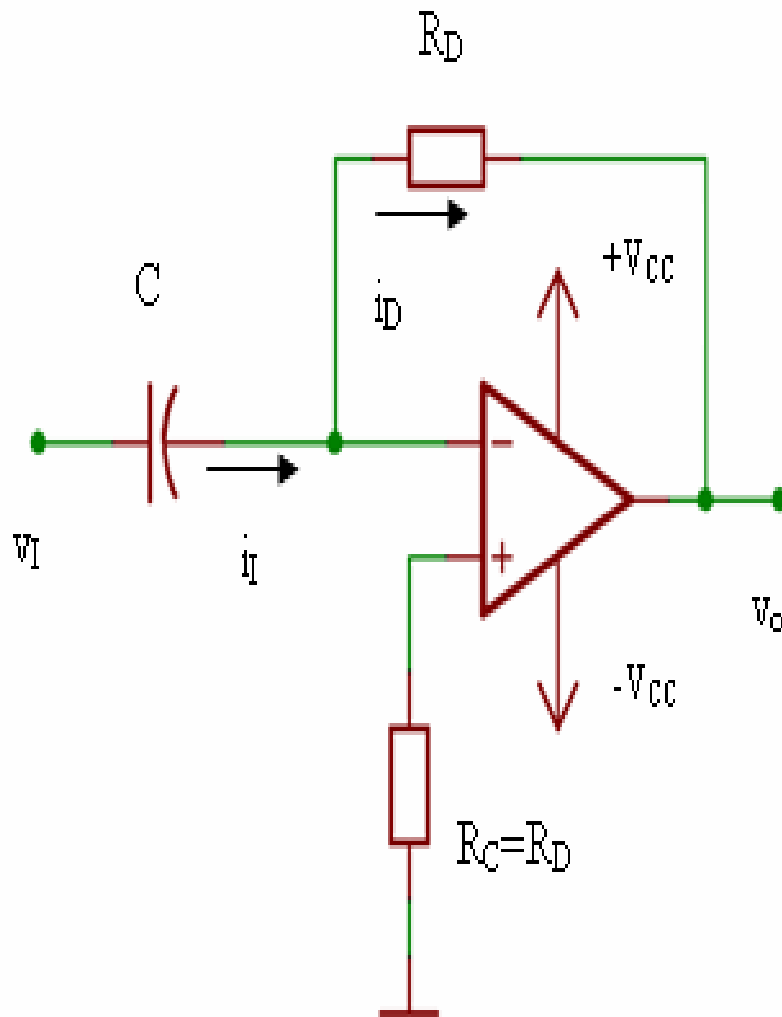


$$v_o = -\frac{1}{C} \int_0^t i_c dt + V_c(0)$$

$$i_c = \frac{v_i}{R}$$

$$v_o(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_i dt + V_c(0)$$

### 10.4.4. Mạch vi phân



$$v_{C_D} = v_i = \frac{1}{C} \int i_i dt$$

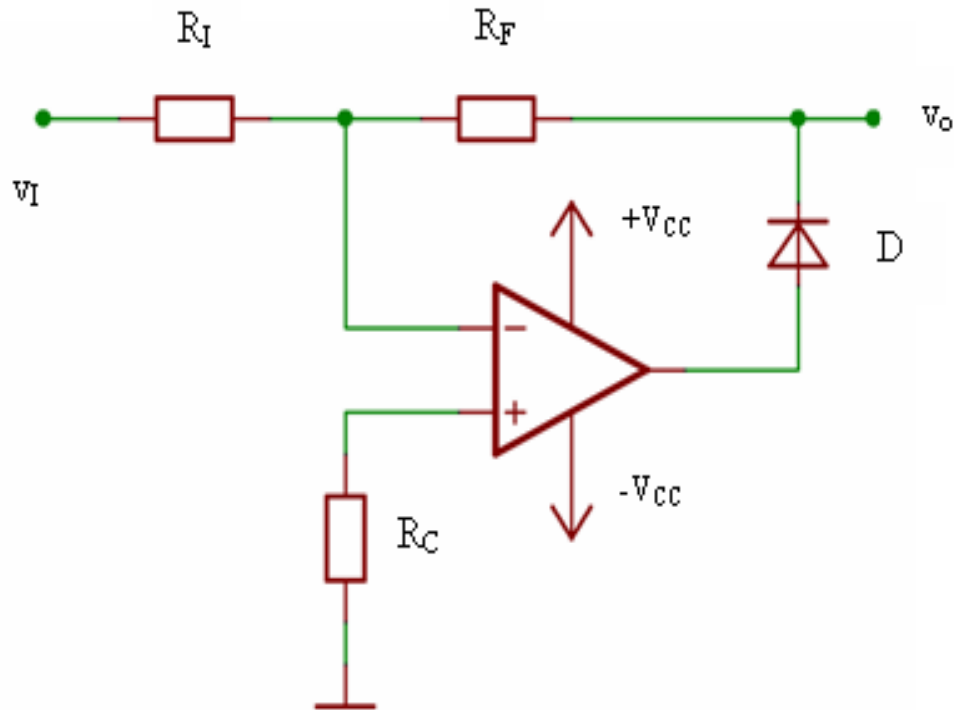
$$i_i = C \frac{dv_i}{dt}$$

$$i_i = i_R = -\frac{v_o}{R}$$

$$v_o(t) = -Ri_i = -RC \frac{dv_i}{dt}$$

## 10.5. Ứng dụng op-amp trong mạch phi tuyến :

### 10.5.1 Chỉnh lưu bán kỳ:



**Khi tín hiệu vào ở bán kỳ dương**

$$v'_O = -\frac{R_F}{R_I} v_i < 0V$$

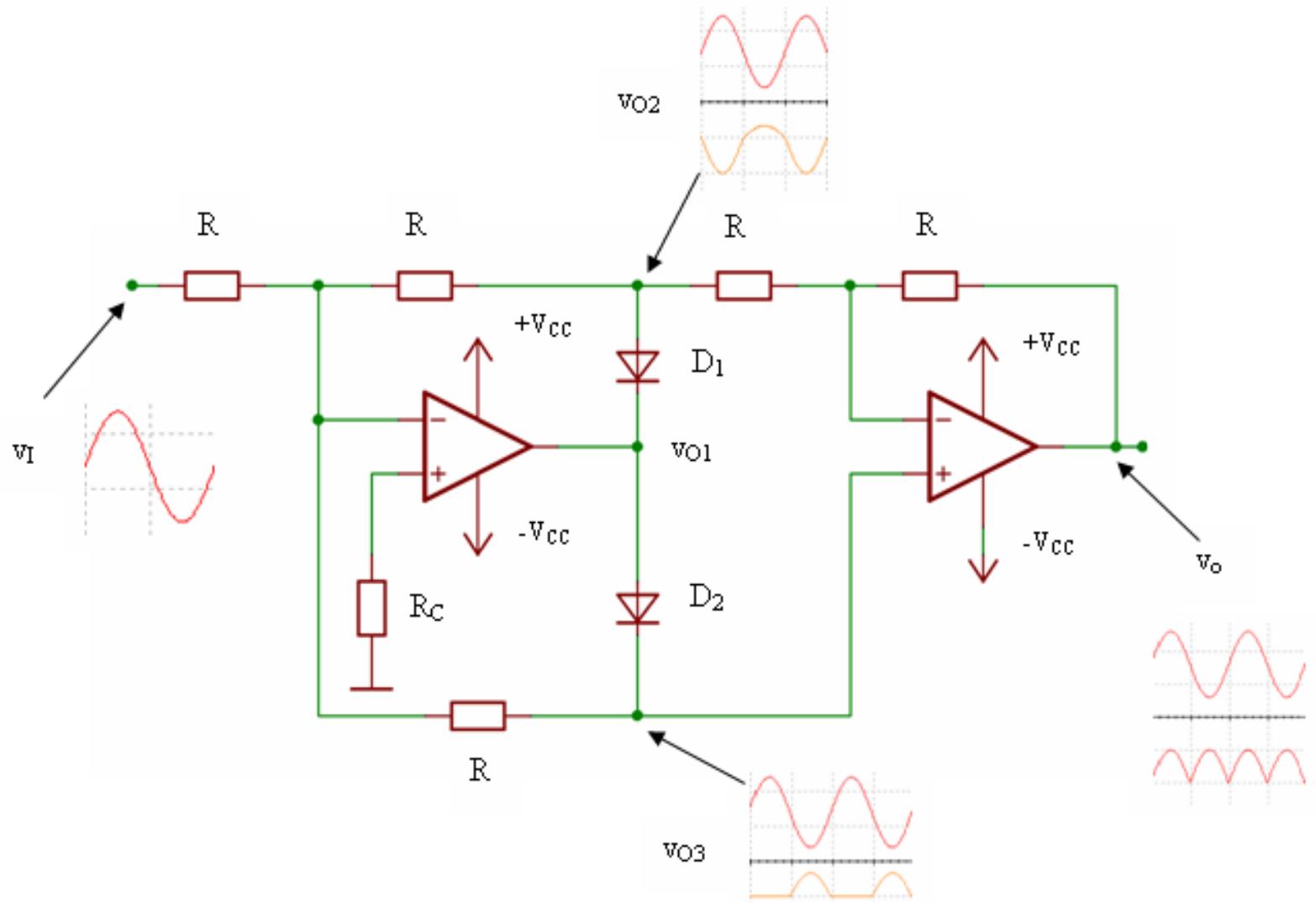
**Khi tín hiệu vào ở bán kỳ âm**

$$v'_O = -\frac{R_F}{R_I} v_i > 0V$$

$$v_O \approx v'_O = -\frac{R_F}{R_I} v_i$$

## 10.5. Ứng dụng op-amp trong mạch phi tuyến :

### 10.5.2 Chỉnh lưu toàn kỳ:

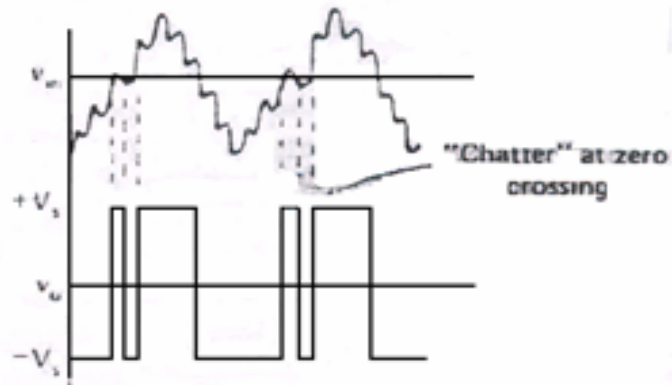
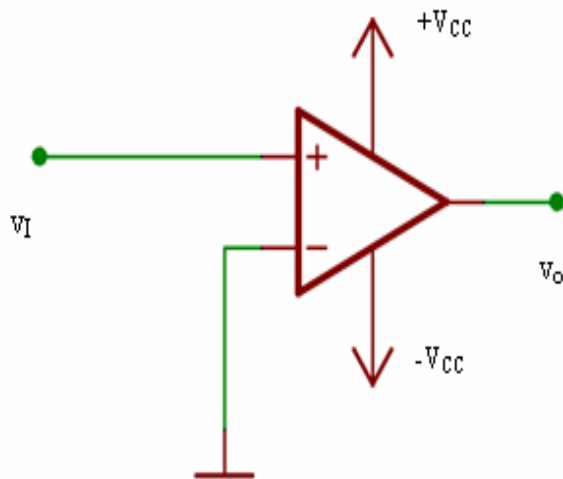


# 10.5. Ứng dụng op-amp trong mạch phi tuyến :

## 10.5.4. Mạch so sánh

Nguyên lý so sánh:

- Khi  $v_+ > v_- = 0V$  thì  $v_o = +V_{cc}$
- Khi  $v_+ < v_- = 0V$  thì  $v_o = -V_{cc}$ .

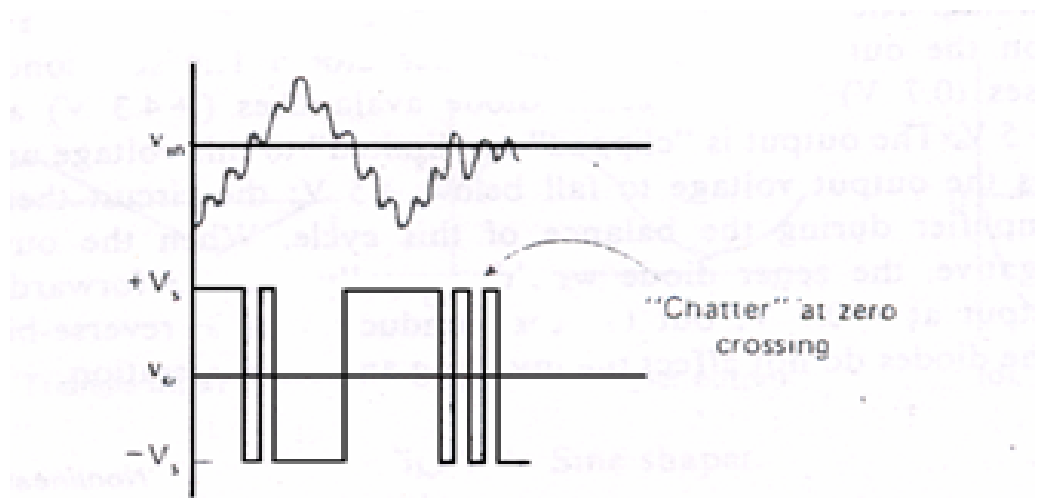
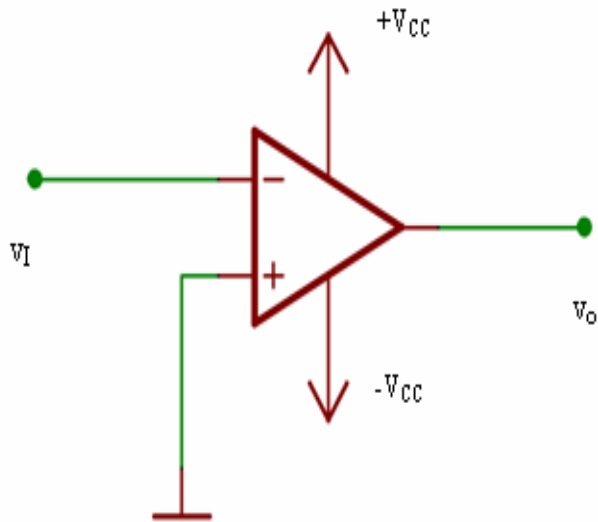


## 10.5. Ứng dụng op-amp trong mạch phi tuyến :

### 10.5.4. Mạch so sánh

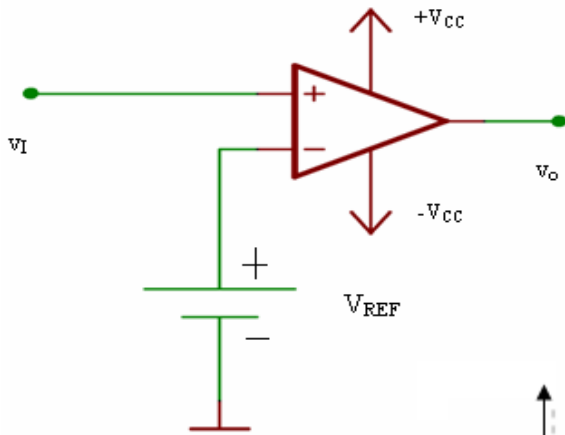
Nguyên lý so sánh:

- Khi  $v_- < v_+ = 0V$  thì  $v_o = +V_{cc}$
- Khi  $v_- > v_+ = 0V$  thì  $v_o = -V_{cc}$ .



## 10.5. Ứng dụng op-amp trong mạch phi tuyến :

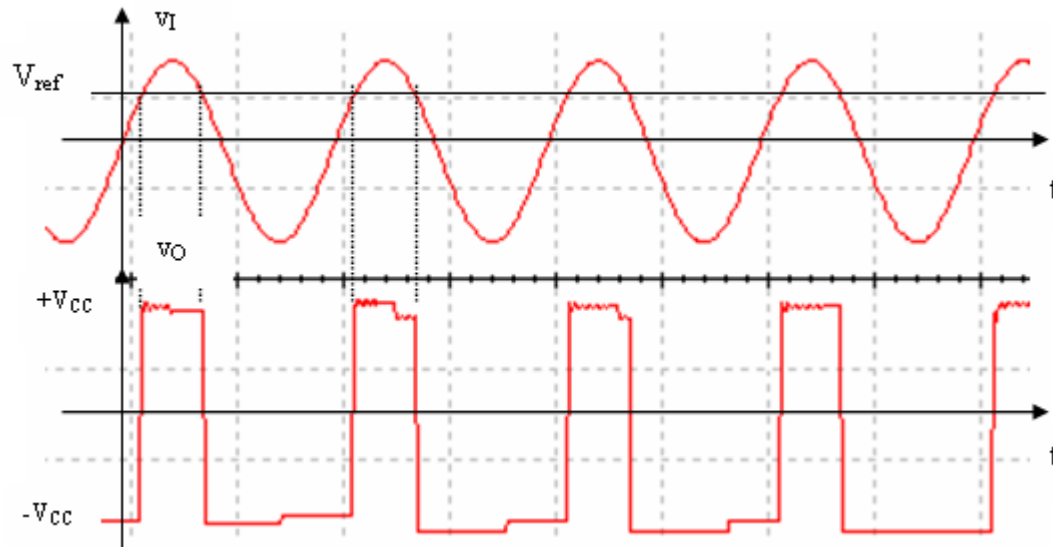
### 10.5.4. Mạch so sánh



Trong đó điện áp  $V_{Ref}$  gọi là điện áp chuẩn.

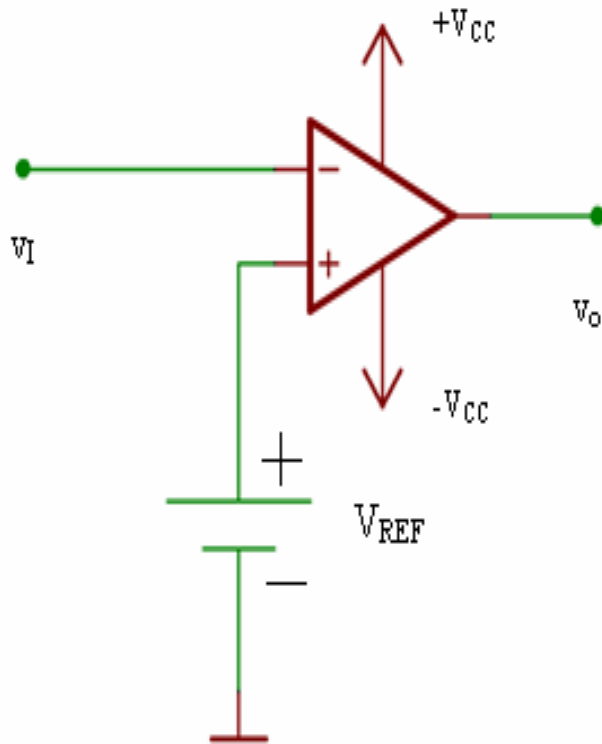
Nguyên lý so sánh:

- Khi  $v_+ > v_- = V_{Ref}$  thì  $v_O = +V_{CC}$
- Khi  $v_+ < v_- = V_{Ref}$  thì  $v_O = -V_{CC}$  .



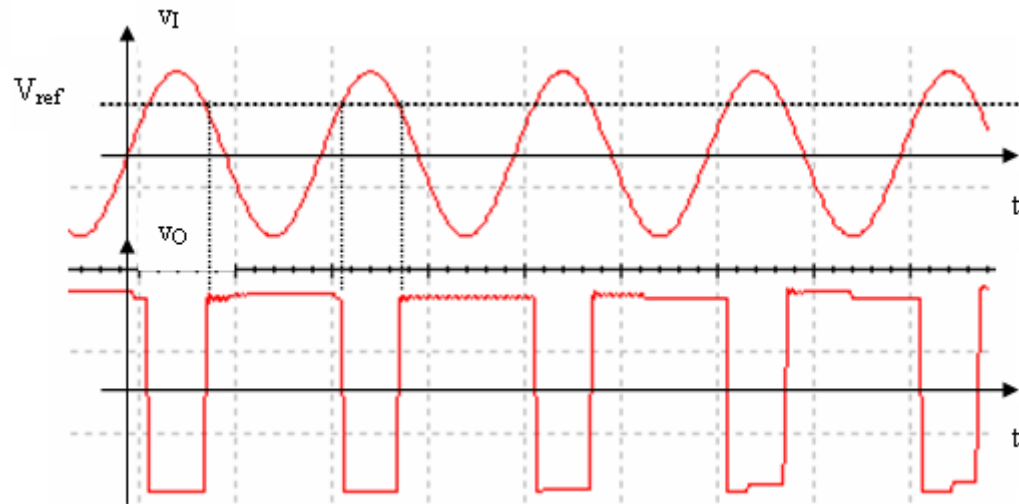
## 10.5. Ứng dụng op-amp trong mạch phi tuyến :

### 10.5.4. Mạch so sánh



Nguyên lý so sánh:

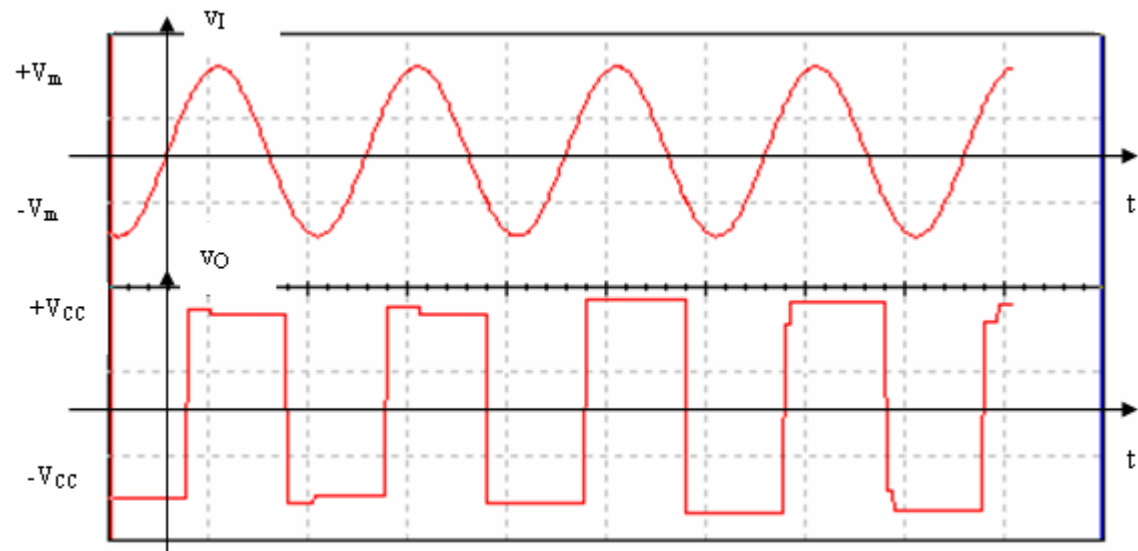
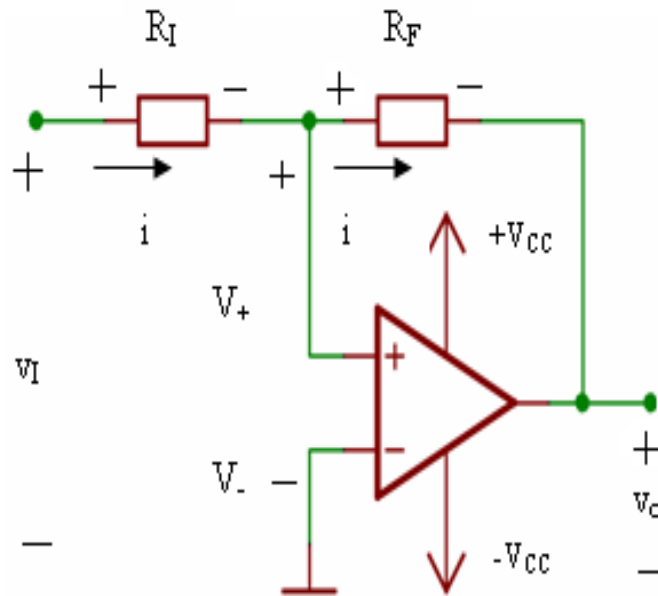
- Khi  $v_- < v_+ = V_{Ref}$  thì  $v_O = +V_{CC}$
- Khi  $v_- > v_+ = V_{Ref}$  thì  $v_O = -V_{CC}$





## 10.5.5. Mạch Smith Trigger

### a. Không đảo – đối xứng



## a. Không đảo – đối xứng

$$v_+ = v_I - iR_I = v_I - R_I \frac{v_I - v_O}{R_I + R_F} = v_I \frac{R_F}{R_I + R_F} + \frac{R_I}{R_I + R_F} v_O$$

❖ Giả sử:  $v_O = +V_{CC}$  thì

$$v_+ = v_I \frac{R_F}{R_I + R_F} + \frac{R_I}{R_I + R_F} V_{CC}$$

$$v_+ = v_I \frac{R_F}{R_I + R_F} + \frac{R_I}{R_I + R_F} V_{CC} < v_- = 0V$$

Suy ra:

$$v_I < -\frac{R_I}{R_F} V_{CC} = -V_{CC} \beta$$

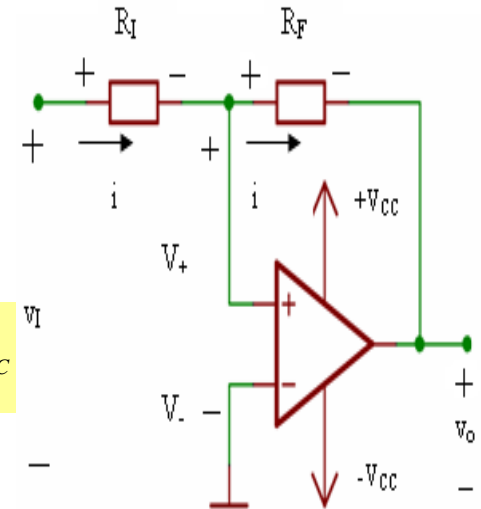
❖ Giả sử  $v_O = -V_{CC}$  thì

$$v_+ = v_I \frac{R_F}{R_I + R_F} - \frac{R_I}{R_I + R_F} V_{CC}$$

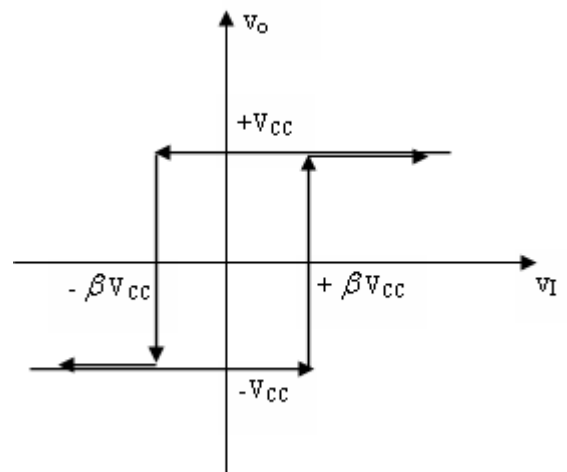
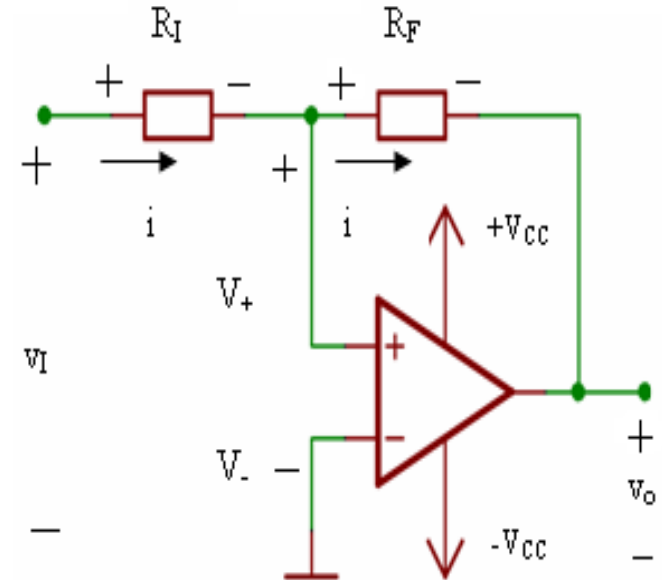
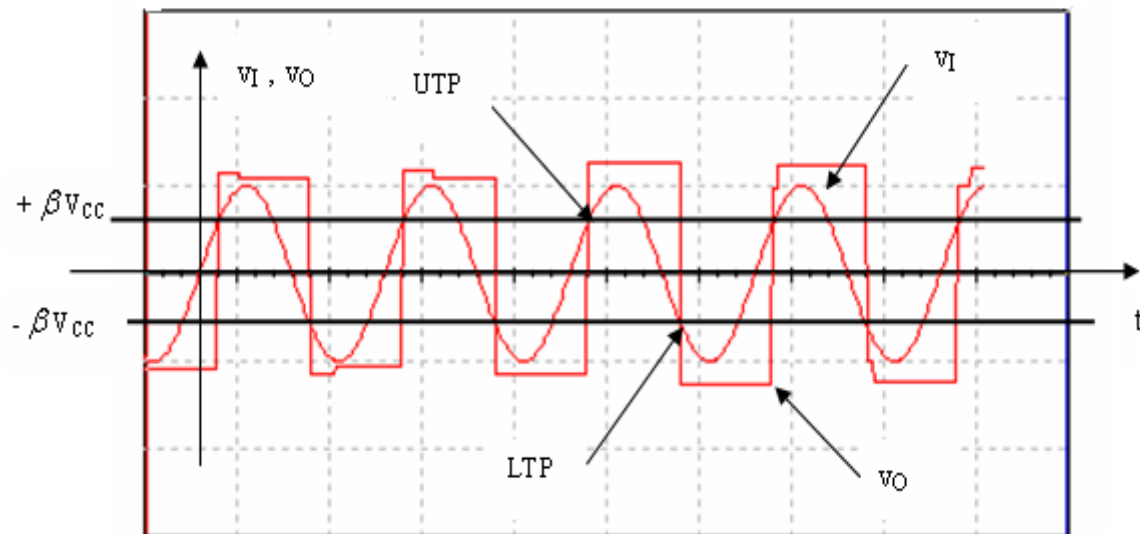
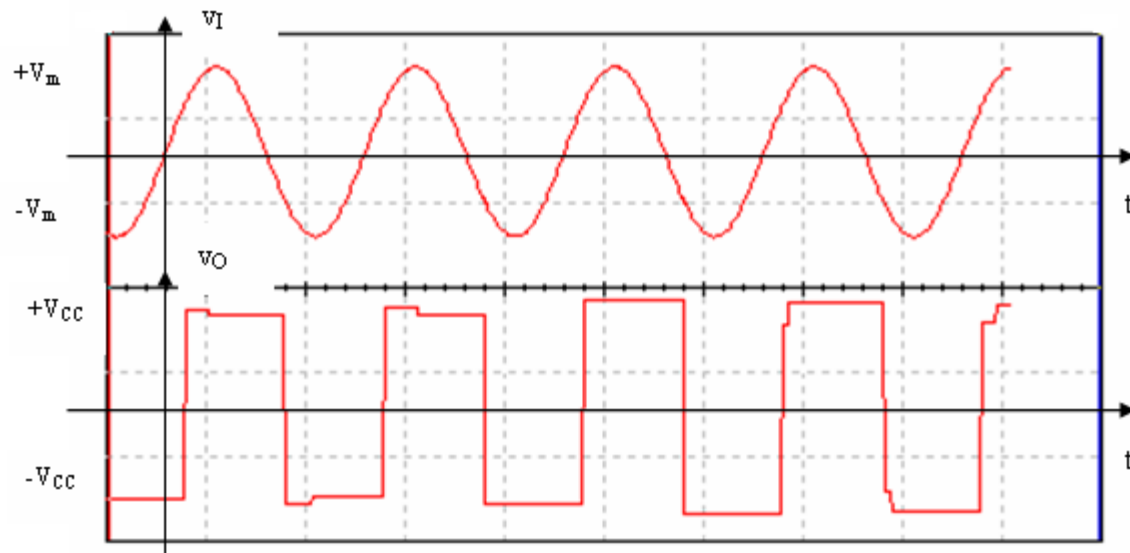
$$v_+ = v_I \frac{R_F}{R_I + R_F} - \frac{R_I}{R_I + R_F} V_{CC} > v_- = 0V$$

Suy ra:

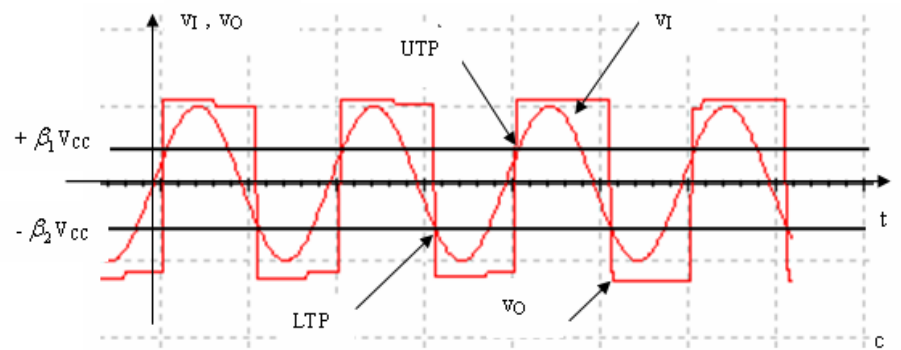
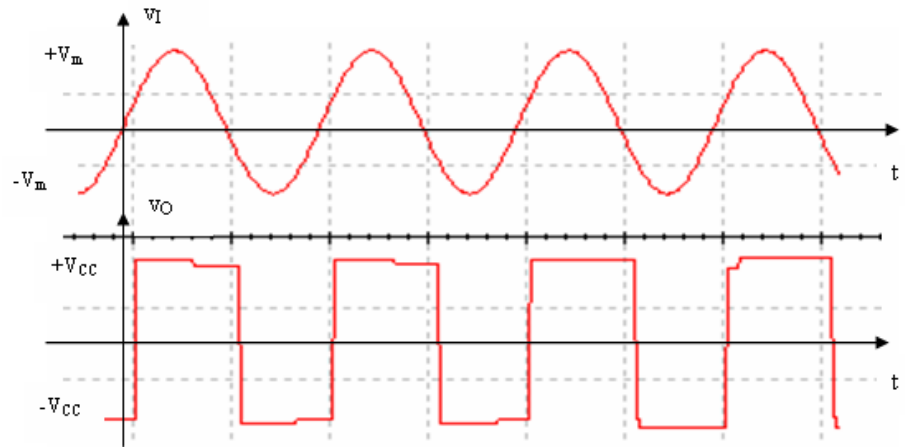
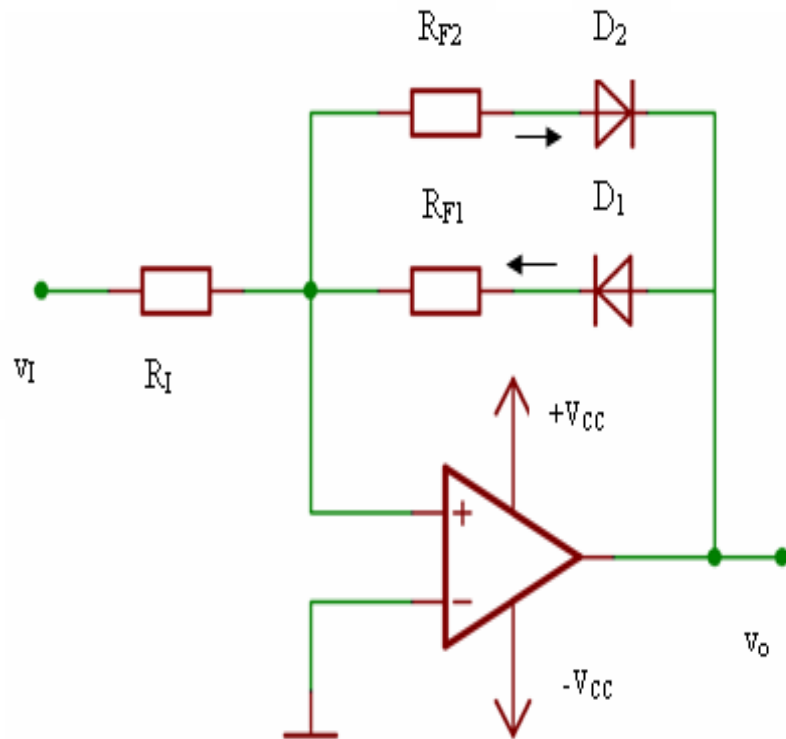
$$v_I > \frac{R_I}{R_F} V_{CC} = V_{CC} \beta$$



# a. Không đảo – đối xứng



## b. Mạch SM Kđ – không đối xứng



**Thank You !**