

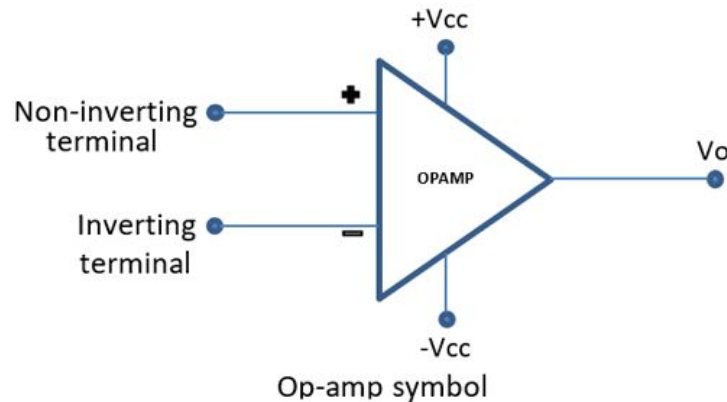
## Phần 2: ĐIỆN TỬ CƠ BẢN

### Bài 10: KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

# **1. Khái niệm khuếch đại thuật toán**

# 1. Giới thiệu khuếch đại thuật toán

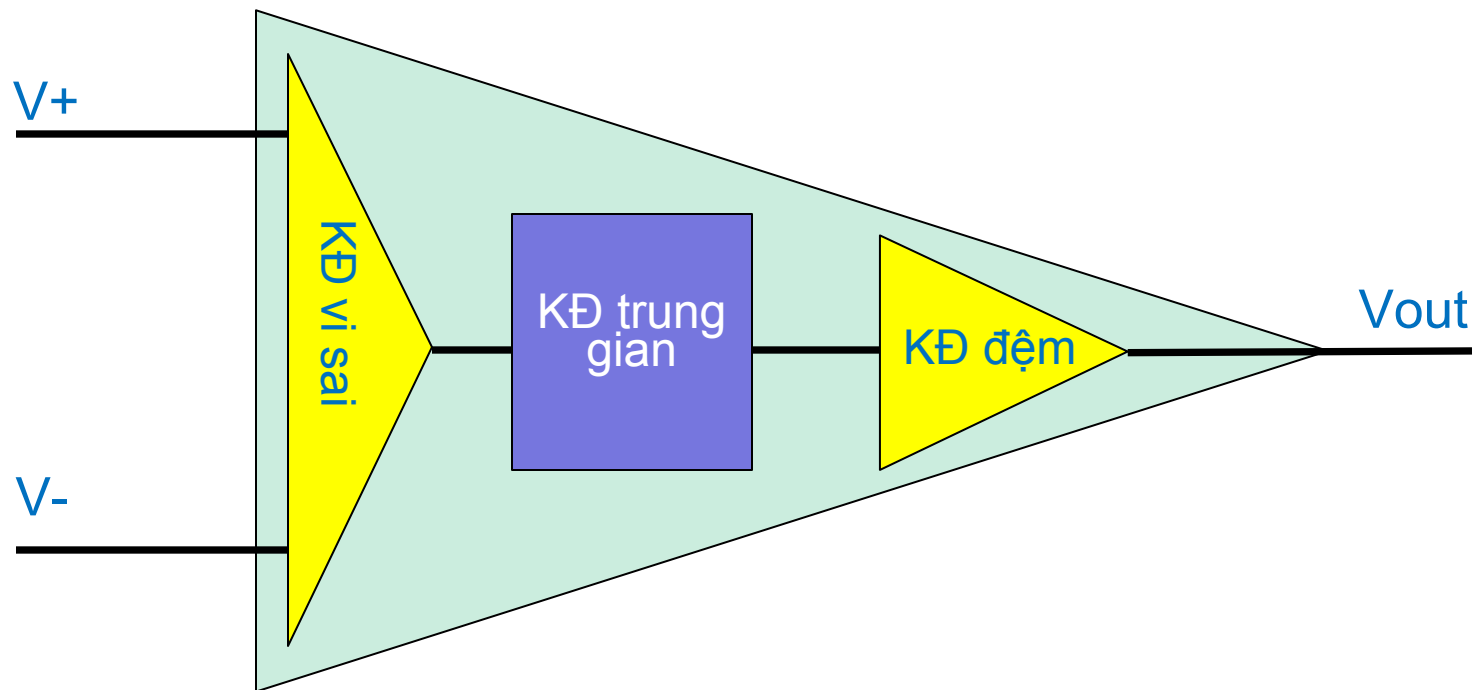
- Mạch khuếch đại thuật toán (Operational Amplifier hay Op-Amp) có hệ số khuếch đại rất cao, chống nhiễu tốt, có đầu vào vi sai và thông thường có đầu ra đơn.
- Các mạch khuếch đại Op-Amp được ứng dụng nhiều trong các thiết bị kỹ thuật hàng không vũ trụ, quân sự, y tế, công nghiệp, điện tử dân dụng, ...
- Mạch khuếch đại Op-Amp có hai đầu vào chính là 2 đầu vào của một **mạch khuếch đại vi sai** (tăng đầu của Op-Amp).



# 1. Giới thiệu khuếch đại thuật toán

Cấu tạo bên trong của mạch Op-Amp thường gồm 3 tầng:

- **Tầng đầu:** khuếch đại vi sai căn bản.
- **Tầng giữa:** khuếch đại trung gian, có thể là vi sai hay đơn cực.
- **Tầng cuối:** khuếch đại đệm, có tổng trở ra nhỏ và điện áp phân cực tại ngõ ra bằng 0 volt khi hai ngõ vào là 0 volt.



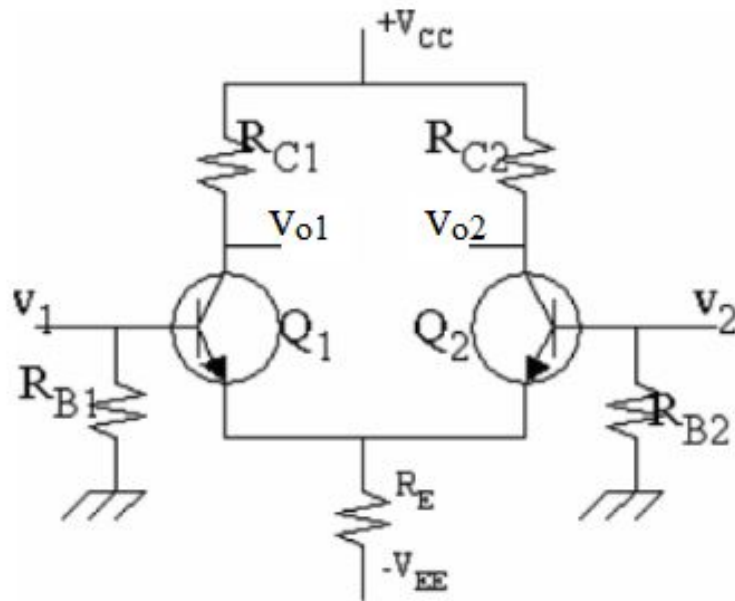
## 2. Mạch khuếch đại vi sai

## 2. Mạch khuếch đại vi sai

Khuếch đại **vi sai** là khuếch đại những **sai lệch rất nhỏ** của tín hiệu vào.

Vì sai lệch rất nhỏ này do đó cần 2 tín hiệu đầu vào đối xứng nhau.

Dạng căn bản của mạch khuếch đại vi sai được trình bày như hình sau:



- Mạch đối xứng theo đường thẳng đứng. Các phần tử tương ứng giống nhau về mọi đặc tính.

$R_{B1} = R_{B2}$  ;  $R_{C1} = R_{C2}$  ;  $V_{CC} = V_{EE}$   
Transistor  $Q_1$  và  $Q_2$  giống nhau, thường được chế tạo trên cùng một mẫu tinh thể.

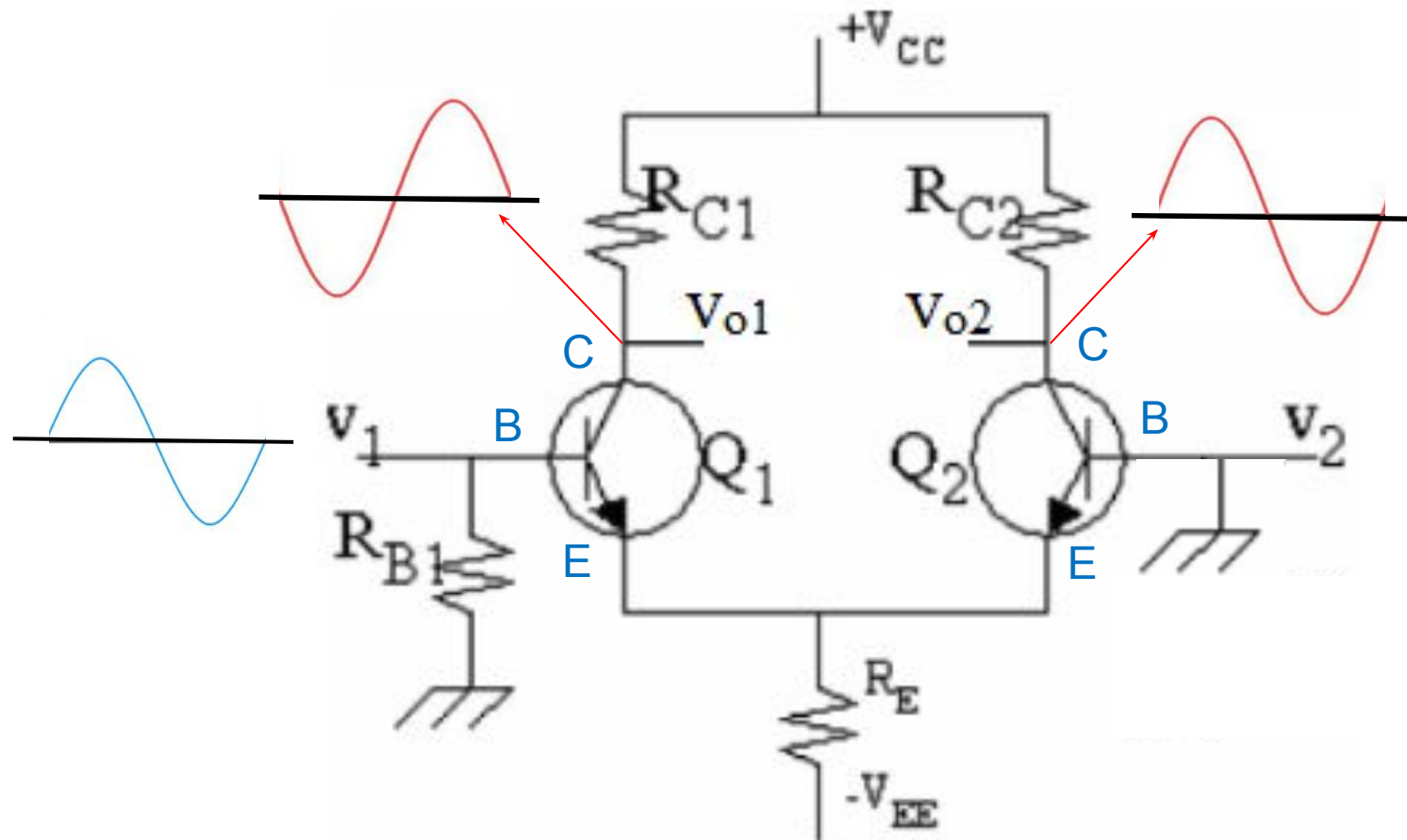
- Mạch có 2 ngõ vào là  $v_1$ ,  $v_2$  và 2 ngõ ra là  $v_{O1}$ ,  $v_{O2}$

- Có 2 phương pháp lấy tín hiệu ra: lấy ra ở cả 2 cực C của 2 transistor ( $v_{O1}$  và  $v_{O2}$ ) hoặc lấy ra từ một cực và điểm GND.

## 2. Mạch khuếch đại vi sai

- Khảo sát hoạt động của mạch khuếch đại vi sai:

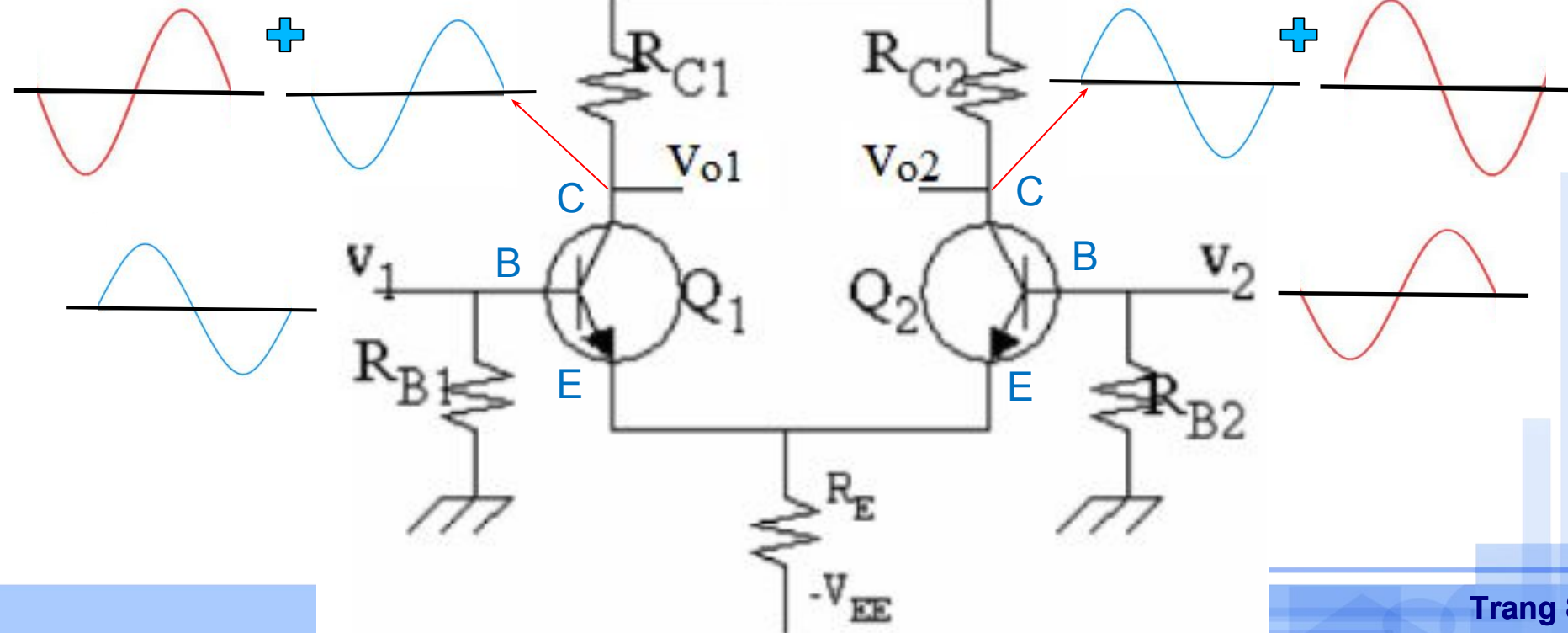
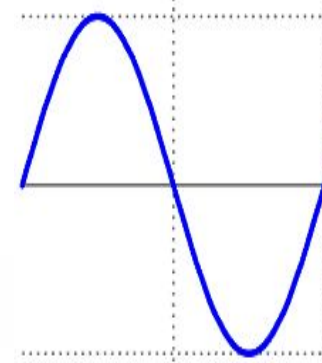
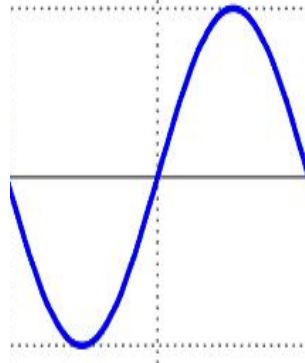
Ví dụ 1: ta xét mạch chỉ với 1 ngõ vào. Tín hiệu được đưa vào  $v_1$ , còn ngõ vào  $v_2$  nối đất.



## 2. Mạch khuếch đại vi sai

- Khảo sát hoạt động của mạch khuếch đại vi sai:

Ví dụ 2: Khi cho 2 tín hiệu vào  $v_1$  và  $v_2$  cùng biên độ nhưng ngược pha.

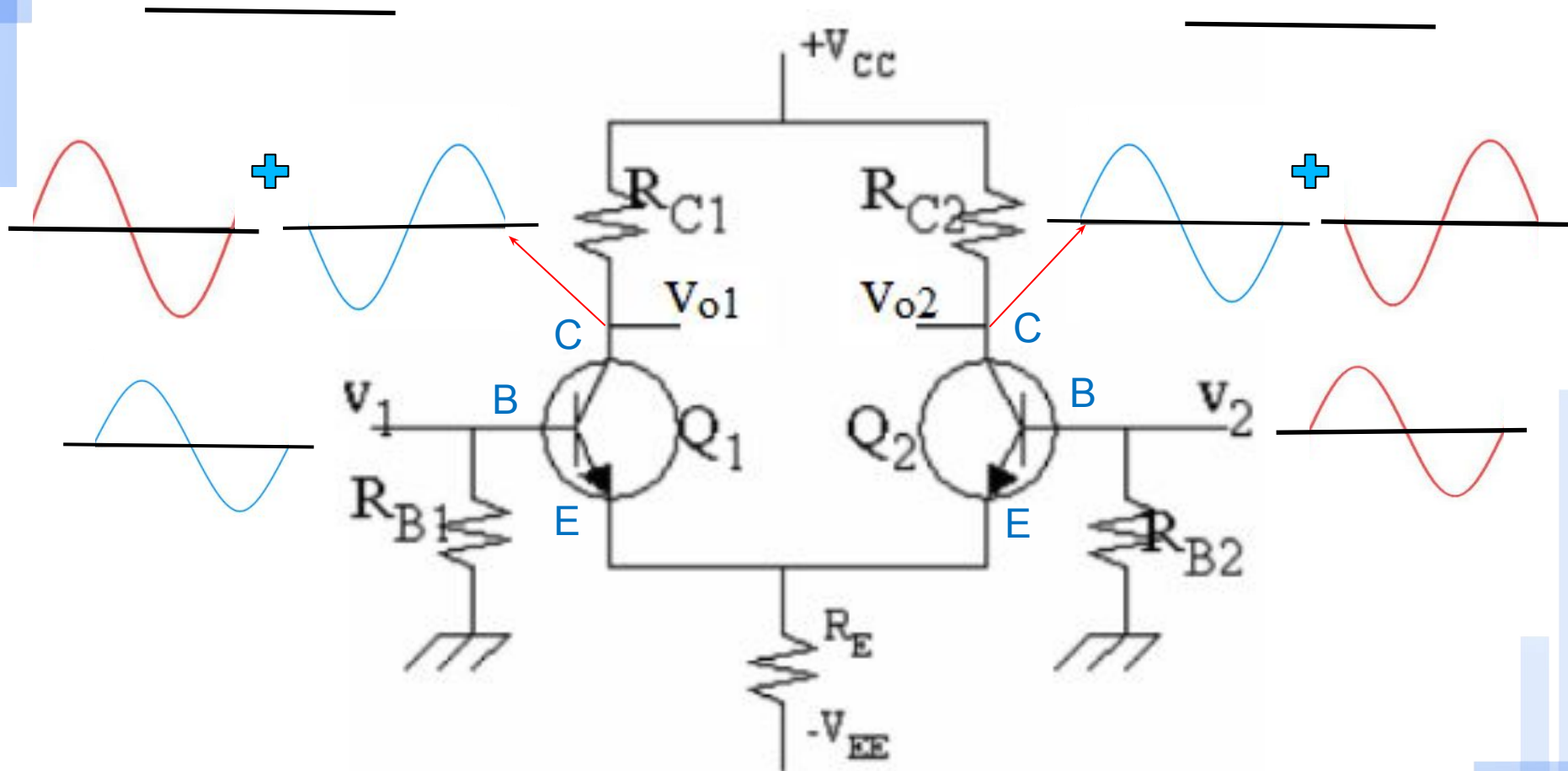




## 2. Mạch khuếch đại vi sai

- Khảo sát hoạt động của mạch khuếch đại vi sai:

Ví dụ 3: Khi cho 2 tín hiệu vào  $v_1$  và  $v_2$  cùng biên độ và cùng pha.



## 2. Mạch khuếch đại vi sai

### Phân biệt 3 trường hợp:

- Khi hai tín hiệu vào cùng biên độ và cùng pha  $v_1 = v_2$ , ta có:

$$v_{o1} = K.v_1$$

$$v_{o2} = K.v_2$$

Do mạch là đối xứng nên ta có  $v_{o1} = v_{o2}$  suy ra ngõ ra vi sai bằng 0.

- Khi tín hiệu vào có dạng vi sai  $v_1 = -v_2$  (cùng biên độ nhưng ngược pha): khi đó ta có  $v_{o1} - v_{o2} = K_{vs}(v_1 - v_2)$  khác 0, trong đó  $K_{vs}$  là hệ số khuếch đại vi sai, giá trị này thường rất lớn. Như vậy, mạch khuếch đại vi sai chỉ khuếch đại đại lượng là sai số của 2 tín hiệu vào mà không khuếch đại từng tín hiệu thành phần.
- Khi hai tín hiệu vào là bất kỳ, thì mạch khuếch đại sẽ khuếch đại cả thành phần vi sai và không vi sai của 2 tín hiệu đó.

## 2. Mạch khuếch đại vi sai

- **Mạch phân cực (DC):** Khi mạch hoàn toàn đối xứng, ta có:

$$I_{C1} = I_{C2} = I_C; \quad I_{E1} = I_{E2} = I_E; \quad I_C = I_E; \quad R_{C1} = R_{C2} = R_C$$

$$\Rightarrow I_{RE} = I_{E1} + I_{E2} = 2I_E = 2I_C$$

Áp dụng định luật KC 2 mạch ngõ ra ta được:

$$V_{CC} + V_{EE} - R_C I_{C1} - V_{CE1} - R_E I_{RE} = 0 \quad \text{hoặc}$$

$$V_{CC} + V_{EE} - R_C I_{C2} - V_{CE2} - R_E I_{RE} = 0$$

Suy ra:  $V_{CE} = V_{CE1} = V_{CE2} = V_{CC} + V_{EE} - R_C I_C - 2R_E I_C$

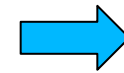
Ngoài ra ta có:  $V_{BE1} = V_{BE2} = V_{BE}$ . Áp dụng định luật KC 2 mạch ngõ vào ta được:

$$\Rightarrow R_B I_B + V_{BE} + 2I_E R_E - V_{EE} = 0$$

Mà ta có:

$$I_E = I_C = \beta I_B \quad \text{hay} \quad I_B = I_E / \beta$$

$$\text{Suy ra: } R_B I_E / \beta + V_{BE} + 2R_E I_E - V_{EE} = 0$$

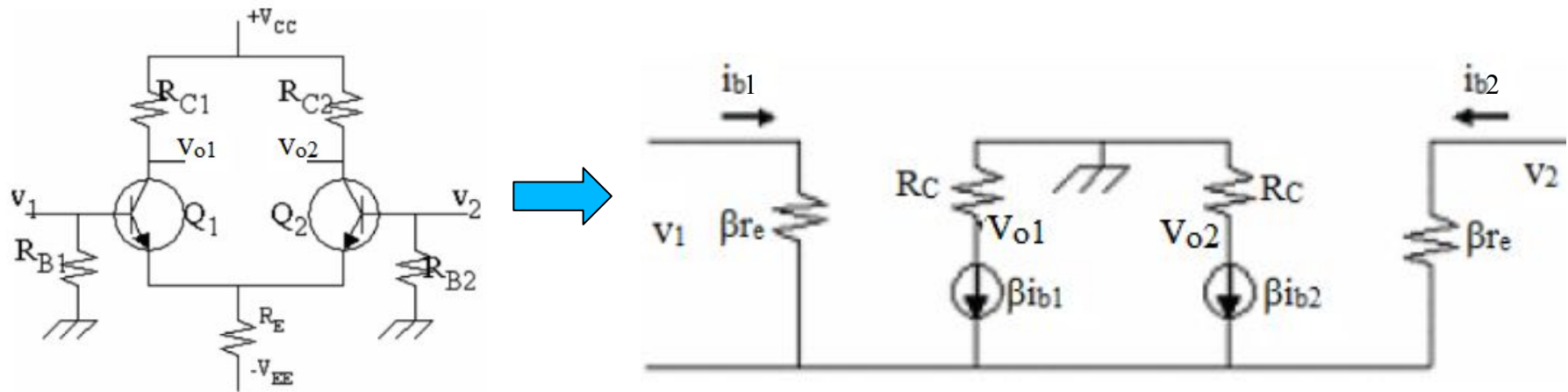


$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{2R_E + \frac{R_B}{\beta}} \approx I_C$$

## 2. Mạch khuếch đại vi sai

### - Mạch tương đương xoay chiều (AC):

Mạch tương đương xoay chiều của mạch khuếch đại vi sai:



Ta có:  $v_1 = -v_2$ ;  $v_{o1} = -v_{o2}$ ;  $R_{C1} = R_{C2} = R_C$

Như vậy dòng điện luôn ngược chiều trong 2 transistor, không qua  $R_E$  nên có thể bỏ qua  $R_E$  trong khi tính toán AC. Từ mạch tương đương trên ta thấy dòng điện qua  $R_C$  bằng dòng điện  $\beta i_b$  nhưng ngược chiều nhau, do đó ta có:

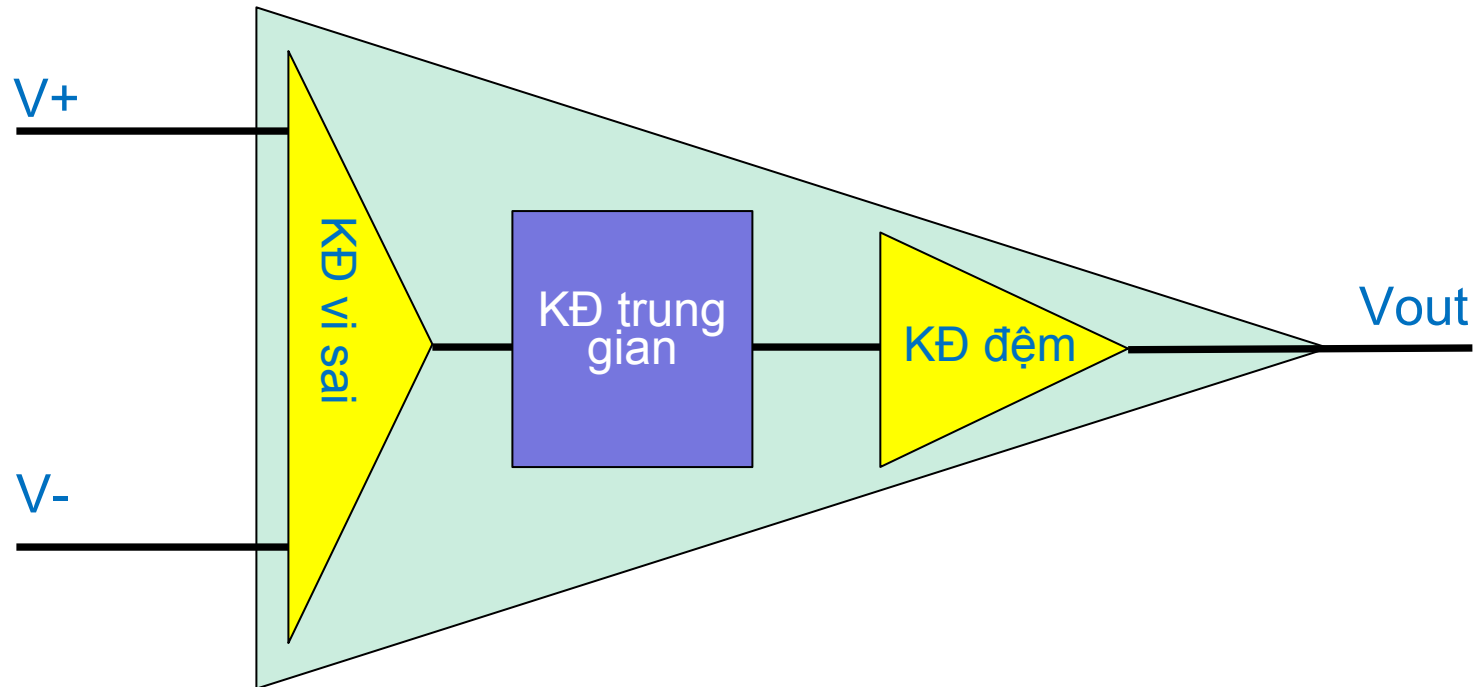
$$\frac{v_{o1}}{R_C} = -\beta i_{b1} \quad \text{mà ta có} \quad i_{b1} = \frac{v_1}{\beta r_e}$$

$$\text{Suy ra: } \frac{v_{o1}}{R_C} = -\frac{v_1}{r_e} \Rightarrow \frac{v_{o1}}{v_1} = -\frac{R_C}{r_e}$$

$$\text{Ngoài ra ta có: } A_v = \frac{v_{o1} - v_{o2}}{v_1 - v_2} = \frac{2v_{o1}}{2v_1} = \frac{v_{o1}}{v_1}$$

$$\text{Suy ra: } A_v = -\frac{R_C}{r_e}$$

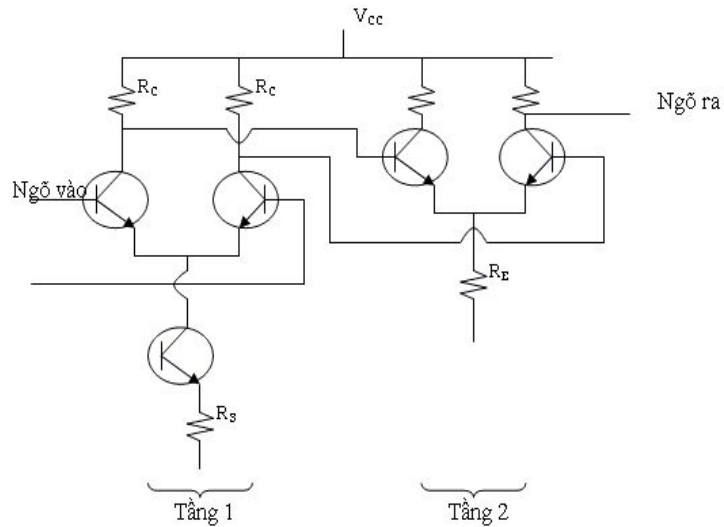
### 3. Các tầng trong mạch khuếch đại thuật toán



### 3. Các tầng trong mạch khuếch đại thuật toán

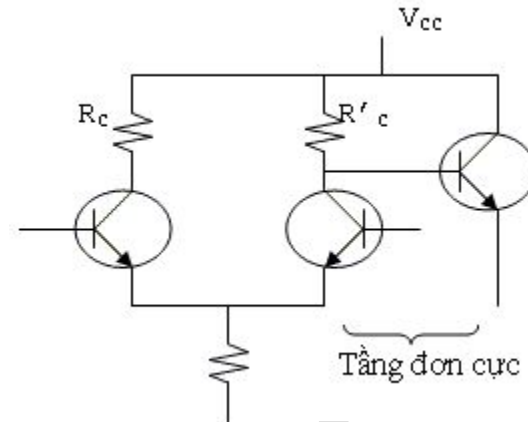
- **Tầng giữa:** khuếch đại trung gian, có thể là vi sai hay đơn cực.

*Mắc nối tiếp vi sai với vi sai*



Tuy nhiên đối với mạch này thì tổng trở vào của tầng vi sai thứ 2 có thể làm mất cân bằng tổng trở ra của tầng vi sai trước.

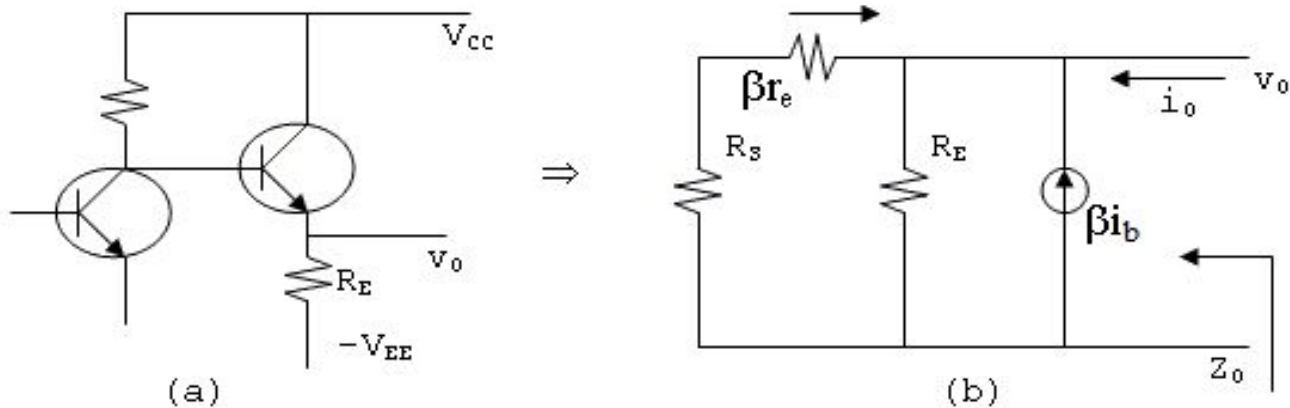
*Mắc vi sai nối tiếp với đơn cực*



Thường dùng tầng đơn cực vì: dễ sử dụng, dễ tạo mạch công suất. Nhưng mạch đơn cực sẽ làm phát sinh vấn đề: làm mất cân bằng tầng vi sai, nên hai điện trở  $R_C$  của tầng vi sai đôi khi phải có trị số khác nhau để bù trừ cho sự mất cân bằng.

### 3. Các tầng trong mạch khuếch đại vi sai

- **Tầng cuối:** khuếch đại đệm, có tổng trở ra nhỏ và điện áp phân cực tại ngõ ra bằng 0 volt khi hai ngõ vào ở 0 volt.
- Để được tổng trở ra nhỏ thì thường sử dụng mạch cực thu chung (a).



- Để tính tổng trở ra ta dùng mạch tương đương hình (b), trong đó  $R_S$  là tổng trở ra của tầng (đơn cực) đứng trước.

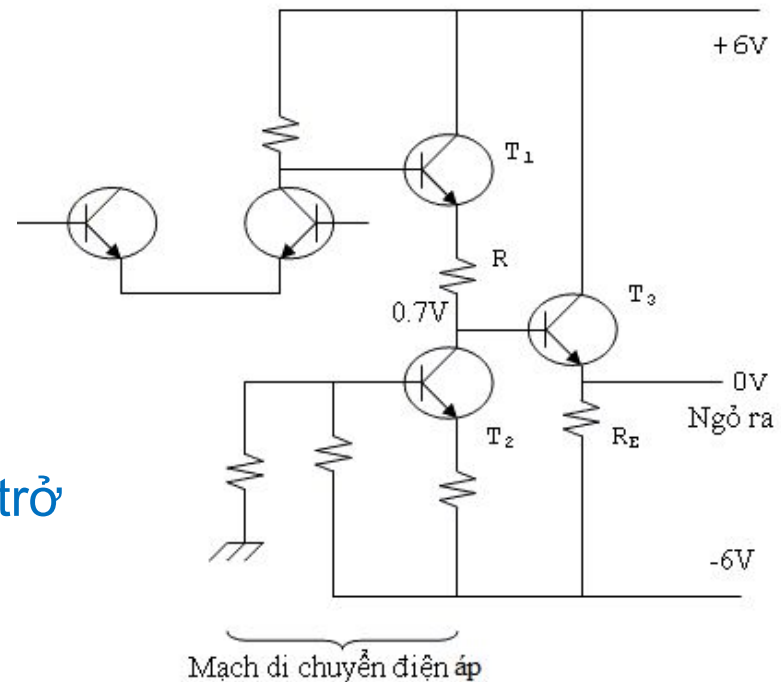
### 3. Các tầng trong mạch khuếch đại vi sai

**Tầng cuối:** Điều kiện về điện áp phân cực: Vì các tầng được mắc trực tiếp với nhau nên điện áp phân cực ngõ ra của tầng cuối có thể không bằng 0V khi ngõ vào 0V. Để giải quyết người ta dùng mạch di chuyển điện áp (Level shifting network) gồm có: một nguồn dòng điện  $I$  và một điện trở  $R$  sao cho:  $E = R.I$ , trong đó  $E$  là điện áp phân cực ngõ ra (khác 0 volt) của tầng cuối. Tuy nhiên, như vậy tổng trở ra sẽ tăng thêm một trị số là  $R$ . Vì vậy để thoả mãn cả hai điều kiện, người ta dùng mạch di chuyển điện áp trước một tầng cực thu chung.

**Trong đó:**

$R$  và  $T_2$  là mạch di chuyển điện áp

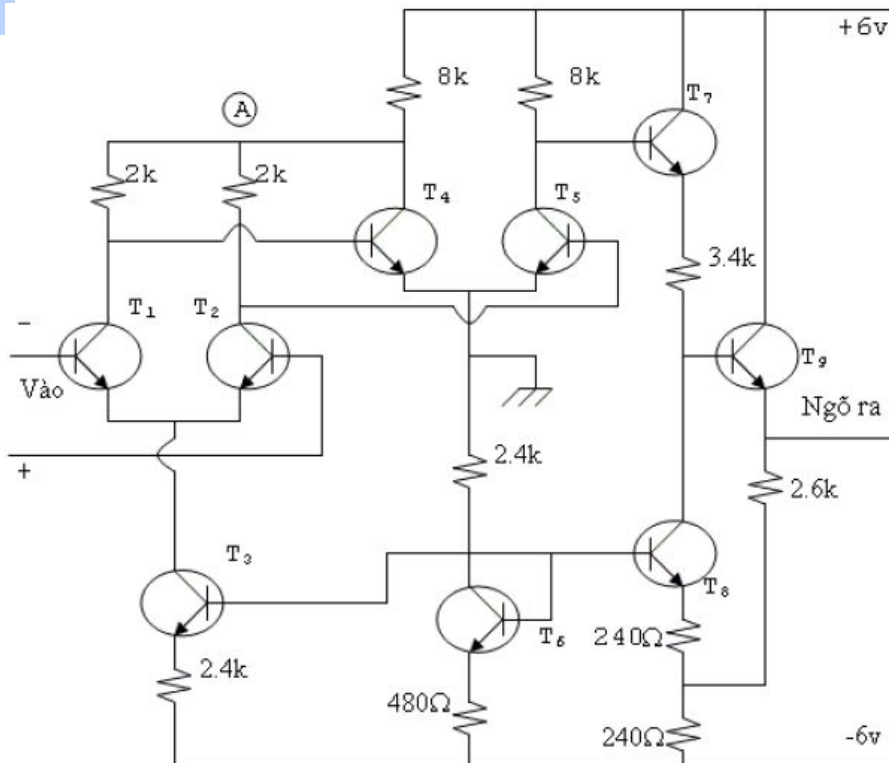
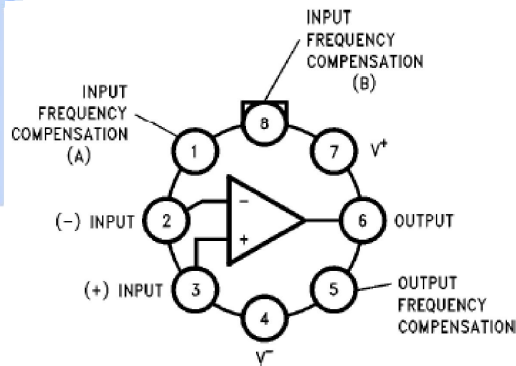
$T_3$  là tầng cực thu chung để cho tổng trở ra nhỏ.





### 3. Các tầng trong mạch kđtt

Ví dụ: Một Op-Amp  $\mu$ pc 709 của hãng Fairchild



$T_1, T_2$ : mạch vi sai căn bản ngõ vào.

$T_3$ : nguồn dòng điện cho  $T_1$  và  $T_2$ . Điện áp phân cực tại cực nền của  $T_3$  được xác định bởi cầu phân áp gồm  $T_6$  (mắc thành diode), điện trở  $480\Omega$  và  $2.4k\Omega$ .

$T_4, T_5$ : không phải là vi sai vì 2 chân E nối mass.  $T_4$  có nhiệm vụ ổn định điện áp tại điểm A cho  $T_1$  và  $T_2$ .  $T_5$ : là tầng đơn cực chuyển tiếp giữa vi sai và tầng cuối.

$T_7$ : mạch cực thu chung đầu tiên

$T_8$ : mạch di chuyển điện áp với điện trở  $3.4k$ .

$T_9$ : mạch cực thu chung cũng là tầng cuối để đạt được tổng trở ra nhỏ.

## **4. Mạch khuếch đại thuật toán căn bản**

## 4. Mạch khuếch đại thuật toán căn bản

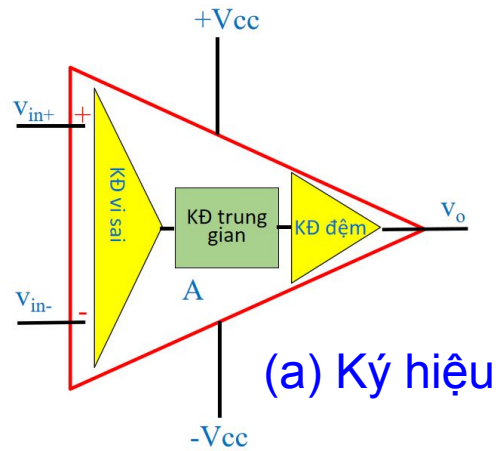
### a) Các đặc tính của một Op-Amp lý tưởng:

Op-Amps lý tưởng	Op-Amp thực tế
Độ lợi vô cùng lớn	Độ lợi 100.000 $\rightarrow$ 200.000
Tổng trở vào $\rightarrow \infty$	Tổng trở vào $10^6 \rightarrow 10^3 \Omega$
Tổng trở ngõ ra = 0	Tổng trở ngõ ra nhỏ
Băng thông $\rightarrow \infty$	Băng thông hữu hạn
Dòng vào tĩnh = 0	Dòng vào tĩnh nhỏ
Dòng vào lệch = 0	Dòng vào lệch 20 $\rightarrow$ 30nA
Điện áp lệch $V_{\text{offset}}=0$	Điện áp lệch: 2 $\rightarrow$ 10mV
Slew Rate: SR $\rightarrow \infty$	Slew Rate: 0.7 $\rightarrow$ 100mV/ms

(\*) Trên thực tế có những Op-Amps được chế tạo với mục đích chuyên dụng (trong kỹ thuật hàng không vũ trụ, quân sự, y tế, công nghiệp ...), các đặc tính của nó rất gần với đặc tính của Op-Amps lý tưởng.

## 4. Mạch khuếch đại thuật toán căn bản

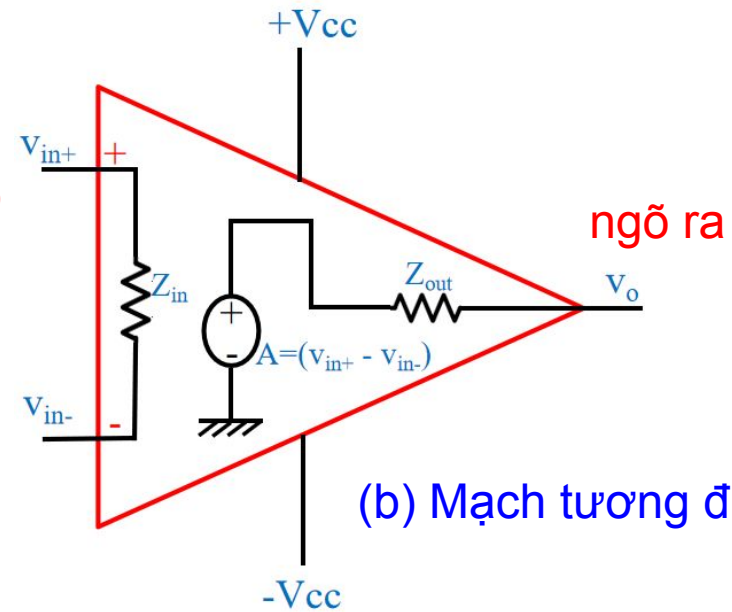
### b) Ký hiệu và mạch tương đương của Op-Amp:



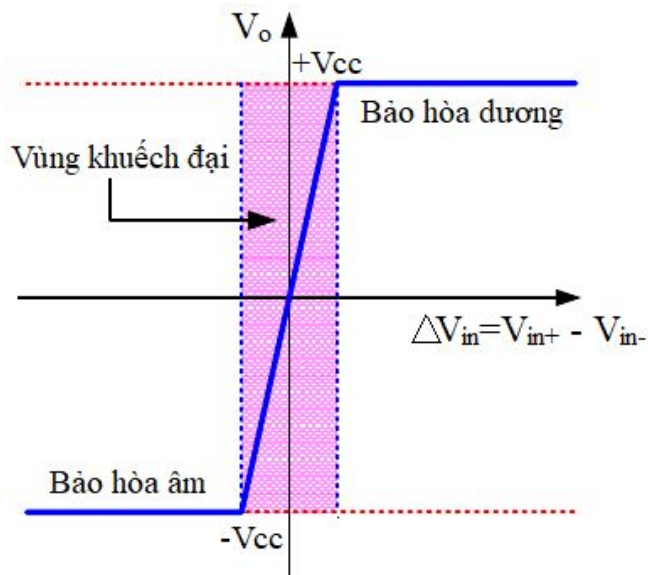
(a) Ký hiệu

ngõ vào  
không đảo

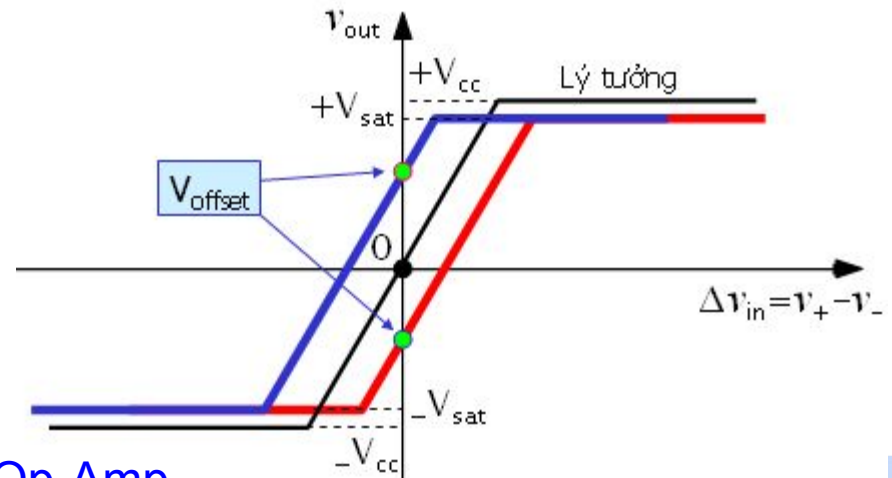
ngõ vào  
đảo



(b) Mạch tương đương



(c) Đặc tính chuyển điện áp của Op-Amp



## 4. Mạch khuếch đại thuật toán căn bản

c) Tính toán đối với Op-Amp lý tưởng cần lưu ý một số quy tắc sau:

1. Độ lợi A (hệ số khuếch đại) vô cùng lớn nên điện áp ngõ vào  $V_{in+}$  và  $V_{in-}$  của Op-Amp là bằng nhau.

$$V_o = A(V_{in+} - V_{in-}) \Rightarrow A = \frac{V_o}{V_{in+} - V_{in-}} \rightarrow \infty \Rightarrow V_{in+} - V_{in-} = 0 \Leftrightarrow V_{in+} = V_{in-}$$

2. Tổng trở vào của Op-Amp bằng vô cùng nên không có dòng điện chạy vào hoặc ra ở ngõ vào + và - của Op-Amp.

$$Z_{in} = \infty \text{ suy ra } i_+ = i_- = 0$$

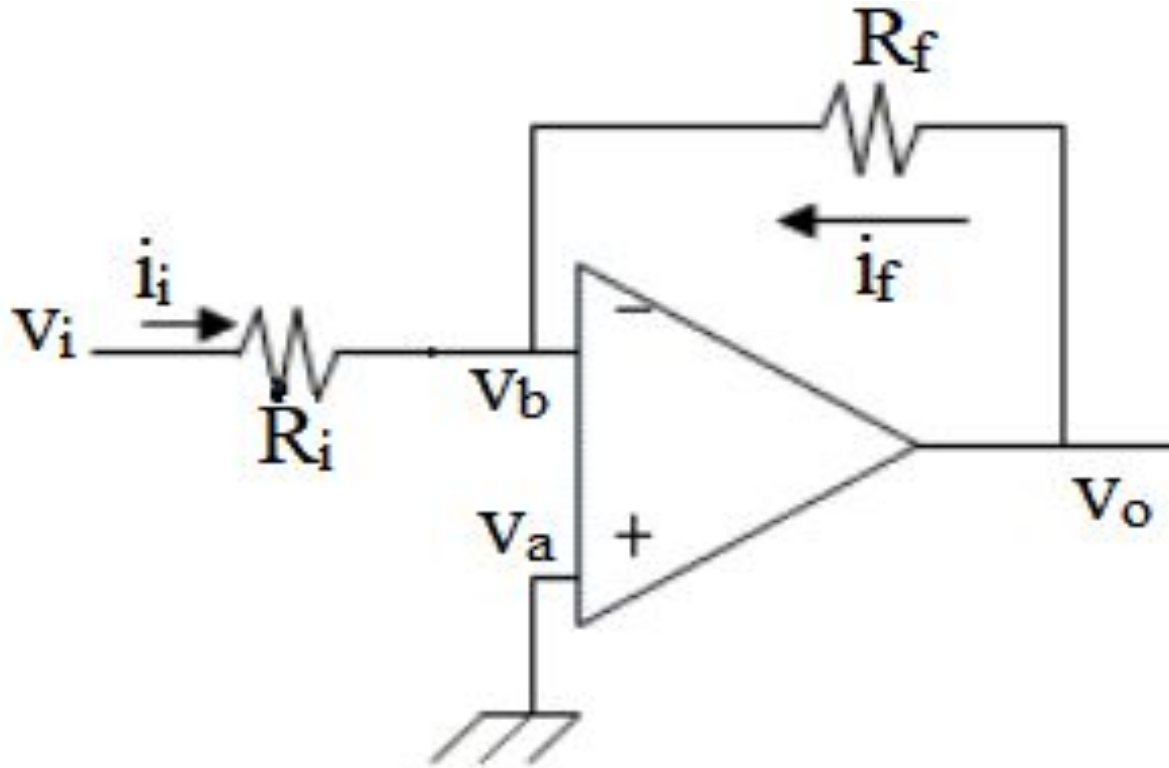
3. Tổng trở ra của Op-Amp bằng không nên điện áp ngõ ra không phụ thuộc vào dòng điện ra.

$$Z_{out} = 0 \Rightarrow v_o \text{ không phụ thuộc vào dòng điện } i_o$$

4. Trong mạch khuếch đại thuật toán lý tưởng, khi cả hai ngõ vào có điện áp bằng không thì điện áp ngõ ra bằng không. Nhưng trong thực tế, khi cả hai ngõ vào có điện áp bằng không thì điện áp ngõ ra khác không (điện áp offset ngõ ra). Nguyên nhân là do có sự bất đối xứng ở ngõ vào làm cho điện áp vào khác không (điện áp offset ngõ vào). Do đó cần phải có mạch điều chỉnh điện áp ngõ vào sao cho khi đó điện áp ngõ ra bằng không.

## 4. Mạch khuếch đại thuật toán căn bản

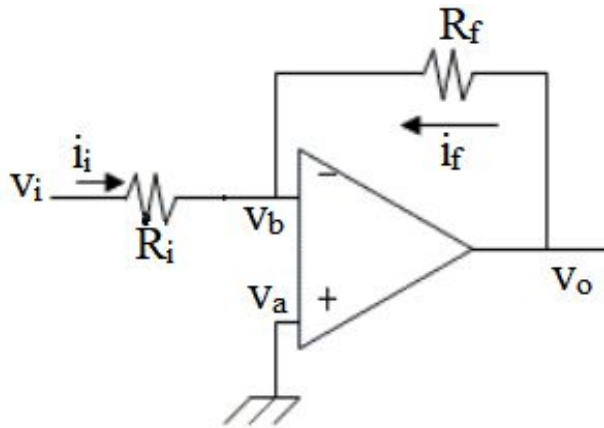
Ví dụ: Cho mạch khuếch đại thuật toán sau, tìm biểu thức  $v_o$  theo  $v_i$  ?



Op-Amp lý tưởng:  $v_{in+} = v_{in-}$  và  $i_+ = i_- = 0$   
 $v_a = v_{in+}$  và  $v_b = v_{in-}$

## 4. Mạch khuếch đại thuật toán căn bản

### d) Mạch khuếch đại đảo



Tín hiệu  $v_i$  đưa vào ở ngõ vào (-) và ngõ vào (+) nối đất. Tín hiệu  $v_i$  có thể xoay chiều hoặc một chiều.

Ta có  $v_a = v_{in+}$  và  $v_b = v_{in-}$

Op-Amp lý tưởng ( $v_{in+} = v_{in-}$  và  $i_+ = i_- = 0$ ) nên ta có:

$v_a = v_b = 0$  (do  $v_a$  nối đất).

Ta có:  $i_i = -i_f \Leftrightarrow \frac{v_i}{R_i} = -\frac{v_o}{R_f}$

Suy ra độ lợi điện áp của mạch:  $A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_f}{R_i} \Leftrightarrow v_o = -\frac{R_f}{R_i} v_i$

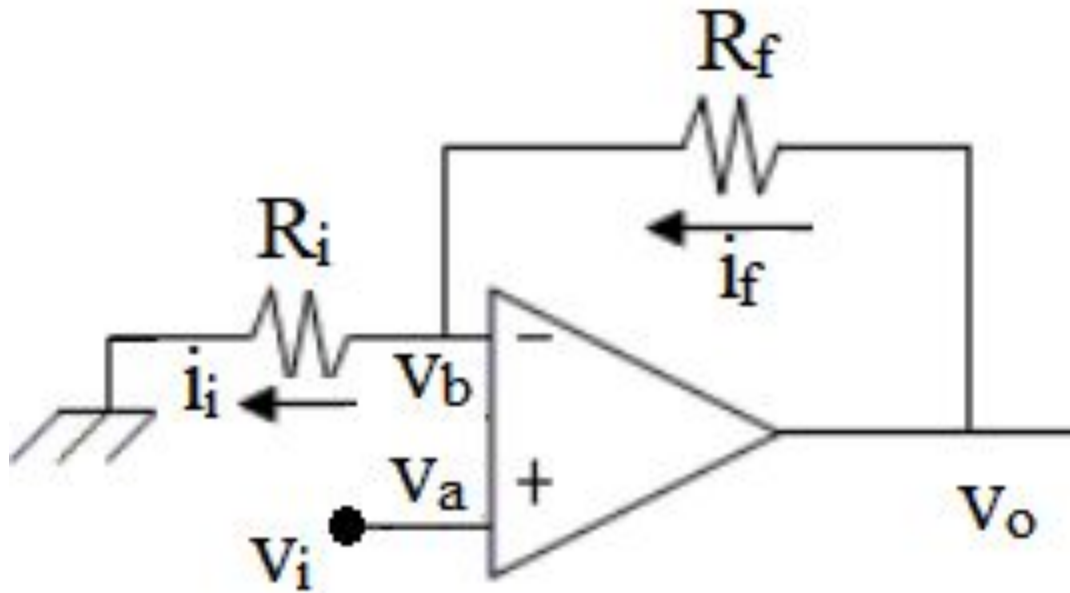
**Nhận xét:**

- Khi  $R_f = R_i$  thì ta có  $v_o = -v_i$  hay  $v_o$  và  $v_i$  lệch pha  $180^\circ$  nên còn được gọi là mạch khuếch đại đảo và ngõ vào (-) được gọi là ngõ vào đảo.
- $R_f$  đóng vai trò mạch hồi tiếp âm.  $R_f$  càng lớn (hồi tiếp âm càng nhỏ) độ khuếch đại của mạch càng lớn.
- Khi  $R_f$  và  $R_i$  là điện trở thuần thì Op-Amp có tính khuếch đại cả điện áp một chiều.



## 4. Mạch khuếch đại thuật toán căn bản

Ví dụ: Cho mạch khuếch đại thuật toán sau, tìm biểu thức  $v_o$  theo  $v_i$  ?

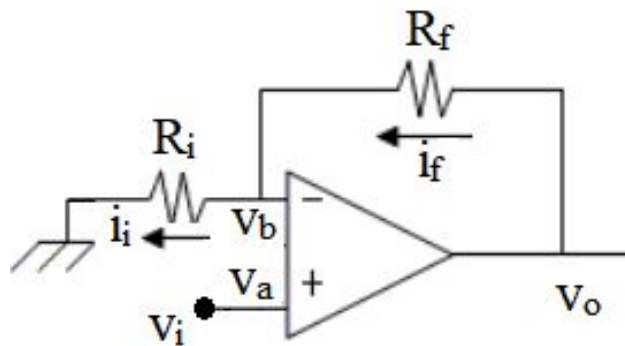


Op-Amp lý tưởng:  $v_{in+} = v_{in-}$  và  $i_+ = i_- = 0$   
 $v_a = v_{in+}$  và  $v_b = v_{in-}$



## 4. Mạch khuếch đại thuật toán căn bản

### e) Mạch khuếch đại không đảo



Ta có  $v_a = v_{in+}$  và  $v_b = v_{in-}$ . Op-Amp lý tưởng ( $v_{in+} = v_{in-}$  và  $i_+ = i_- = 0$ ), nên ta có:  $v_a = v_b = v_i$  và  $i_f = i_i$ . Ta có dòng qua  $R_f$  và  $R_i$  được xác định như sau:

$$i_f = \frac{V_o - V_b}{R_f}; i_i = \frac{V_b}{R_i} \quad \text{với} \quad i_f = i_i \Rightarrow \frac{V_o - V_b}{R_f} = \frac{V_b}{R_i}$$

Mà ta có  $v_b = v_i$ , suy ra:

$$\frac{V_o - v_i}{R_f} = \frac{v_i}{R_i} \Leftrightarrow \frac{V_o - v_i}{v_i} = \frac{R_f}{R_i} \Leftrightarrow \frac{V_o}{v_i} - 1 = \frac{R_f}{R_i} \Leftrightarrow \frac{V_o}{v_i} = 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

$$\Leftrightarrow A_v = \frac{V_o}{v_i} = 1 + \frac{R_f}{R_i} \Leftrightarrow V_o = \left( 1 + \frac{R_f}{R_i} \right) v_i$$

#### Nhận xét:

- Khi  $R_f, R_i$  là điện trở thuần thì ngõ ra  $v_o$  sẽ có cùng pha với ngõ vào  $v_i$  (nên mạch được gọi là mạch khuếch đại không đảo và ngõ vào (+) được gọi là ngõ vào không đảo).
- $R_f$  đóng vai trò hồi tiếp âm. Để tăng độ khuếch đại  $A_v$ , ta có thể tăng  $R_f$  hoặc giảm  $R_i$ .
- Mạch khuếch đại cả tín hiệu một chiều khi  $R_f$  và  $R_i$  là điện trở thuần. Mạch cũng giữ nguyên tính chất không đảo và có cùng công thức với trường hợp của tín hiệu xoay chiều.

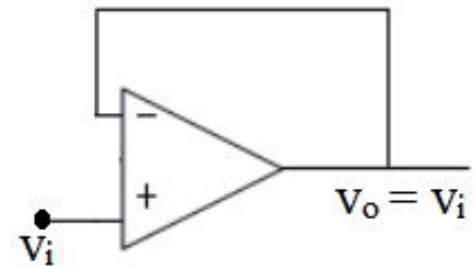
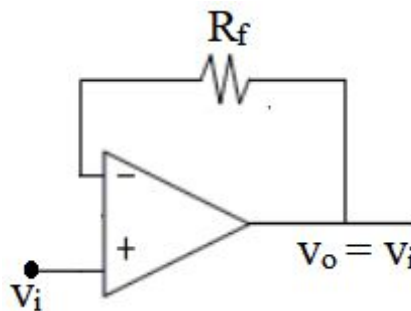
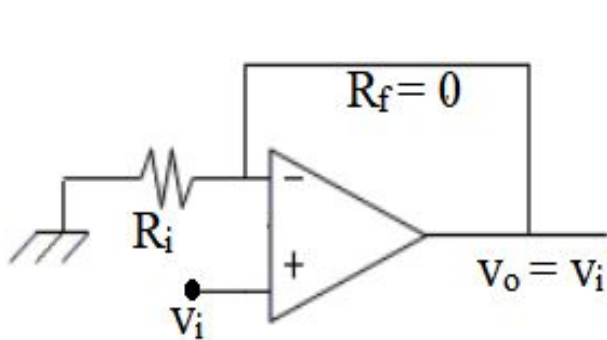
## 4. Mạch khuếch đại thuật toán căn bản

### e) Mạch khuếch đại không đảo (tt)

**Nhận xét:** ta có điện áp ngõ ra của mạch khuếch đại không đảo:

$$V_o = \left( 1 + \frac{R_f}{R_i} \right) V_i$$

- Khi  $R_f=0$ , ta có:  $A_v=1 \Rightarrow v_o=v_i$  hoặc  $R_i=\infty$  ta cũng có  $A_v=1$  và  $v_o=v_i$ . Lúc này mạch được gọi là mạch theo điện áp (voltage follower) thường được dùng làm mạch đệm (buffer) vì có tổng trở vào lớn và tổng trở ra nhỏ như mạch cực thu chung ở BJT.



## 5. Ứng dụng của Op-Amp

## 5. Một số ứng dụng của Op-Amp

### 1. Mạch làm toán – a) Mạch cộng đảo

Op-Amp lý tưởng nên ta có:  $v_a = v_b = 0$  (hay  $v_b$  nối đất)

Từ mạch trên ta có các dòng điện chạy qua các điện trở như sau:

$$i_1 = \frac{V_{i1}}{R_1}; i_2 = \frac{V_{i2}}{R_2}; \dots; i_n = \frac{V_{in}}{R_n}$$

$$\text{Suy ra: } i_s = i_1 + i_2 + \dots + i_n = \frac{V_{i1}}{R_1} + \frac{V_{i2}}{R_2} + \dots + \frac{V_{in}}{R_n}$$

$$\text{Mà ta có: } i_f = -i_s; v_o = R_f \cdot i_f = -R_f \cdot i_s$$

$$\text{Suy ra: } v_o = -R_f \left( \frac{V_{i1}}{R_1} + \frac{V_{i2}}{R_2} + \dots + \frac{V_{in}}{R_n} \right)$$

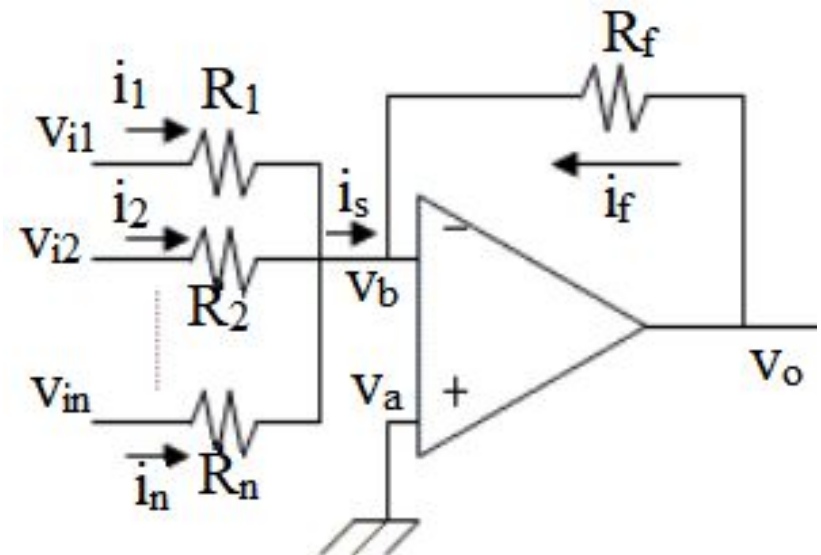
$$\text{Hay: } v_o = \sum_{j=1}^n k_j v_{ij}$$

$$\text{Trong đó: } k_1 = -\frac{R_f}{R_1}; k_2 = -\frac{R_f}{R_2}; \dots; k_n = -\frac{R_f}{R_n}$$

Xét trường hợp đặc biệt:  $R_f = R_1 = R_2 = \dots = R_n$  thì ta có:

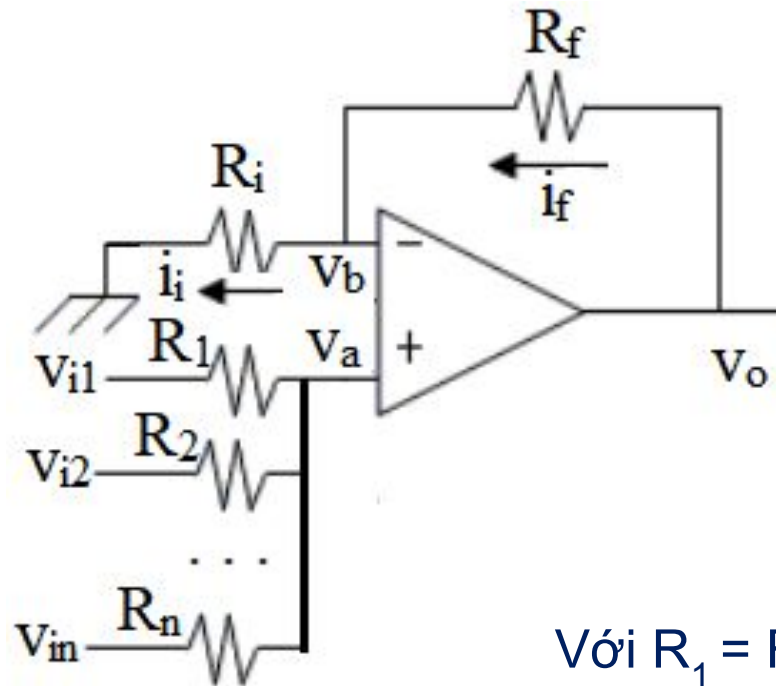
$$v_o = -\sum_{j=1}^n v_{ij}$$

**Ghi chú:** Tín hiệu ngõ ra bằng tổng các tín hiệu ngõ vào nhưng ngược pha, với  $v_i$  là điện áp bất kỳ có thể là một chiều hoặc xoay chiều.



## 5. Một số ứng dụng của Op-Amp

### 1. Mạch làm toán – b) Mạch cộng không đảo

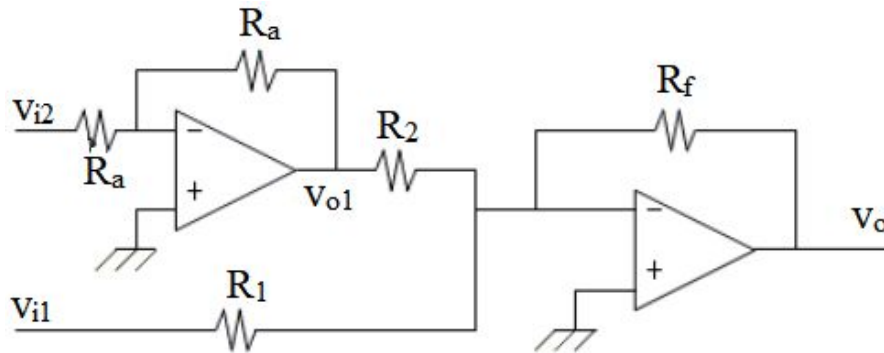


Với  $R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R_n$

$$V_o = \left( 1 + \frac{R_f}{R_i} \right) \left( \frac{V_{i1} + V_{i2} + \dots + V_{in}}{n} \right)$$

## 5. Một số ứng dụng của Op-Amp

**1. Mạch làm toán – c) Mạch trừ bằng phương pháp đổi dấu:** để trừ một số, ta cộng với số đối của số đó.



Xét tầng đầu tiên, đây là mạch khuếch đại đảo nên ta có:  $V_{o1} = -V_{i2}$

Xét tầng thứ 2, đây là mạch cộng đảo, thực hiện cộng 2 tín hiệu vào là  $V_{i1}$  và  $-V_{i2}$ , ta có:

$$V_o = -R_f \left( \frac{V_{i1}}{R_1} + \frac{(-V_{i2})}{R_2} \right) = -R_f \left( \frac{V_{i1}}{R_1} - \frac{V_{i2}}{R_2} \right)$$

Trường hợp đặc biệt nếu  $R_f = R_1 = R_2$ , thì ta được:

$$V_o = -(V_{i1} - V_{i2}) = V_{i2} - V_{i1}$$

Như vậy ta thấy tín hiệu ở ngõ ra là hiệu của hai tín hiệu ngõ vào.

## 5. Một số ứng dụng của Op-Amp

### 1. Mạch làm toán – d) Mạch trừ bằng mạch vi sai:

- Khi  $v_{i1}=0$  ( $v_a = 0$ ),  $v_{i2} \neq 0$ , mạch sẽ trở thành mạch khuếch đại đảo nên ta có:

$$v_{o2} = -\frac{R_f}{R_i} v_{i2}$$

- Khi  $v_{i1} \neq 0$ ,  $v_{i2} = 0$ , mạch sẽ trở thành mạch khuếch đại không đảo nên ta có:

$$v_{o1} = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) v_a$$

Mà ta có cầu phân áp tại ( $v_a$ ):  $v_a = \frac{R_f}{R_f + R_i} v_{i1}$

Thay  $v_a$  vào  $v_{o1}$  ta được:

$$v_{o1} = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) \left(\frac{R_f}{R_f + R_i}\right) v_{i1} = \left(\frac{R_i + R_f}{R_i}\right) \left(\frac{R_f}{R_f + R_i}\right) v_{i1} = \frac{R_f}{R_i} v_{i1}$$

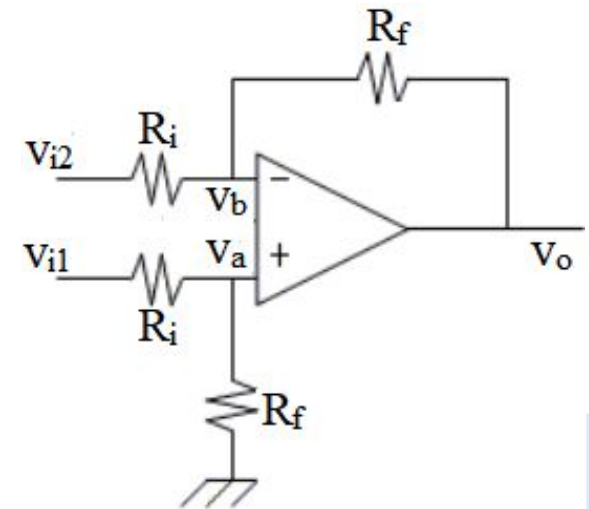
- Khi có cả 2 tín hiệu vào  $v_{i1}$  và  $v_{i2}$  nên ta có tín hiệu ra:

$$v_o = v_{o1} + v_{o2} = \frac{R_f}{R_i} v_{i1} - \frac{R_f}{R_i} v_{i2}$$

$$\Leftrightarrow v_o = \frac{R_f}{R_i} (v_{i1} - v_{i2})$$

Trường hợp đặc biệt nếu  $R_f=R_i$ , suy ra:  $v_o = (v_{i1} - v_{i2})$ .

Như vậy ta thấy rằng tín hiệu ở ngõ ra là hiệu của hai tín hiệu ngõ vào.





## 5. Một số ứng dụng của Op-Amp

### 1. Mạch làm toán – e) Mạch tích phân

Op-Amp lý tưởng nên ta có:  $v_a = v_b = 0$  (hay  $v_b$  nối đất)

Ta có dòng điện đi qua tụ được tính bởi công thức:

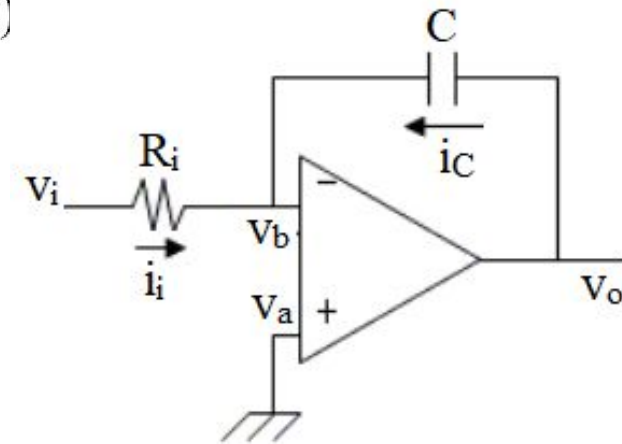
$$i_c = C \frac{dv_o}{dt}$$

Mà ta có:  $i_i = -i_c$

$$\Rightarrow i_i = -C \frac{dv_o}{dt} \Leftrightarrow dv_o = -\frac{1}{C} i_i dt \Leftrightarrow v_o = -\frac{1}{C} \int i_i dt$$

Mặc khác:  $i_i = \frac{v_i}{R_i}$  thay vào  $v_o$  ta được:

$$v_o = -\frac{1}{R_i C} \int v_i dt$$





## 5. Một số ứng dụng của Op-Amp

### 1. Mạch làm toán – f) Mạch vi phân

Op-Amp lý tưởng nên ta có:  $v_a = v_b = 0$  (hay  $v_b$  nối đất)

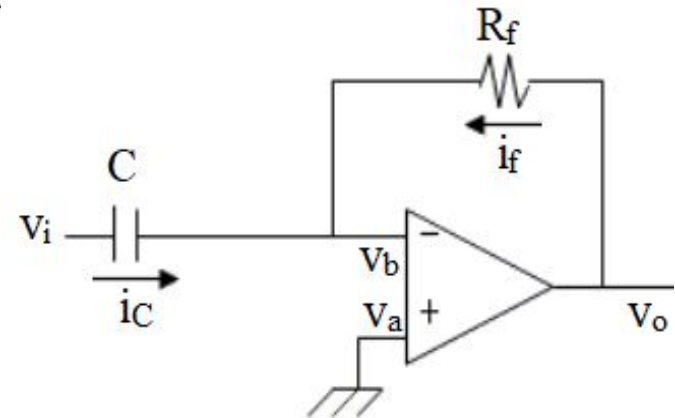
Ta có dòng điện đi qua tụ được tính bởi công thức:

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

$$\text{Mà ta có: } i_f = -i_c \Leftrightarrow i_f = -C \frac{dv_i}{dt}$$

Mặc khác:  $i_f = \frac{v_o}{R_f}$  thay vào biểu thức trên ta được:

$$\frac{v_o}{R_f} = -C \frac{dv_i}{dt} \Leftrightarrow v_o = -R_f C \frac{dv_i}{dt}$$

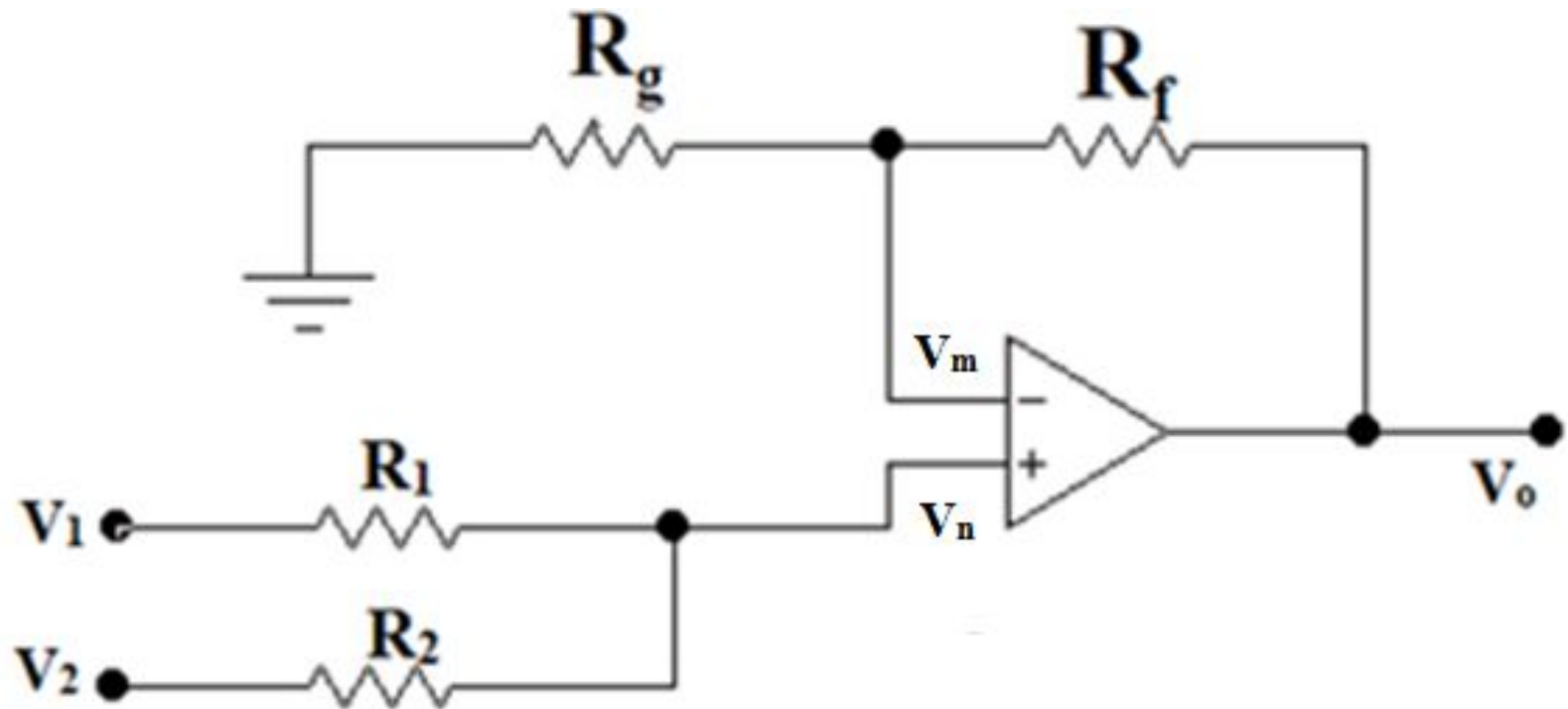


## 5. Một số ứng dụng của Op-Amp

Ví dụ 1: Cho mạch điện như hình sau.

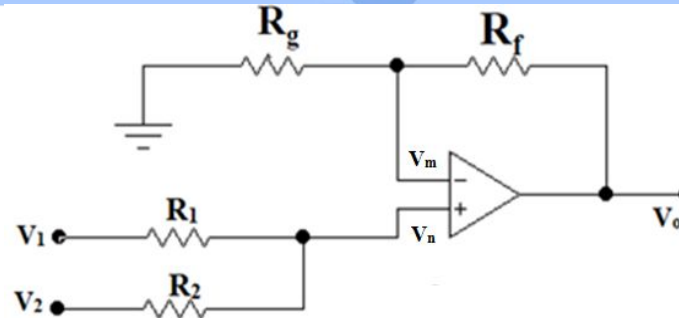
a) Hãy tìm biểu thức điện áp ngõ ra ( $v_o$ ) theo điện áp vào ( $v_1, v_2$ )

b) Nếu chọn giá trị  $R_1=R_2$  và  $R_g=R_f$ , hãy suy ra  $v_o$  và cho biết chức năng của mạch này?

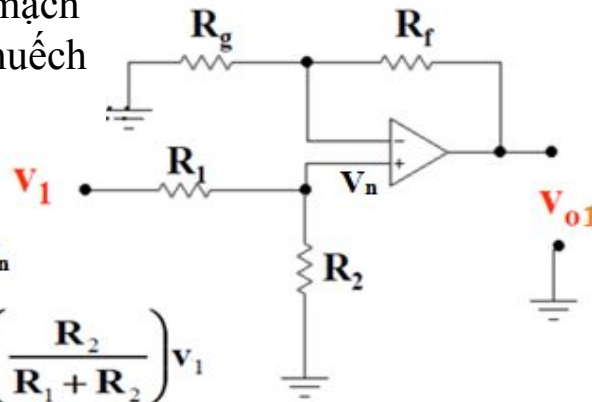


# 5. Một số ứng dụng của Op-Amp

## Ví dụ 1 (tt):



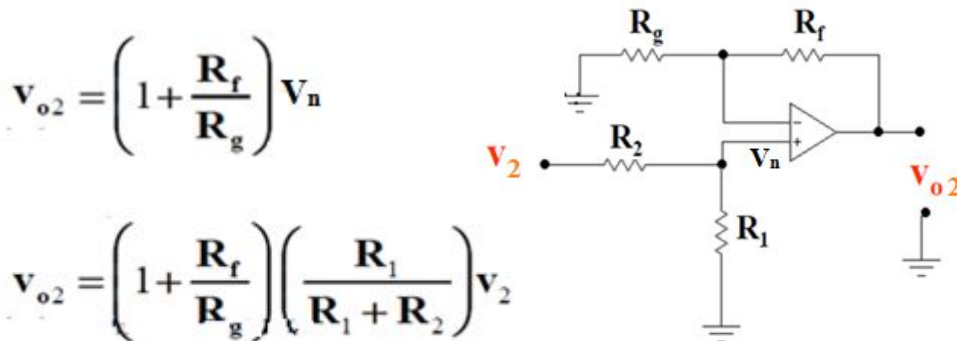
Khi  $v_2=0$ ,  $v_1 \neq 0$  mạch trở thành mạch khuếch đại không đảo:



$$v_{o1} = \left(1 + \frac{R_f}{R_g}\right) v_n$$

$$v_{o1} = \left(1 + \frac{R_f}{R_g}\right) \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) v_1$$

Khi  $v_1=0$ ,  $v_2 \neq 0$  mạch trở thành:



$$v_{o2} = \left(1 + \frac{R_f}{R_g}\right) v_n$$

$$v_{o2} = \left(1 + \frac{R_f}{R_g}\right) \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) v_2$$

Khi có cả 2 tín hiệu  $v_1 \neq 0$  và  $v_2 \neq 0$  thì ta có:

$$v_o = v_{o1} + v_{o2}$$

$$\Rightarrow v_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_g}\right) \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} v_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_2\right)$$

Nếu chọn  $R_1 = R_2 = R$ , ta có:

$$v_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_g}\right) \left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right)$$

Và nếu  $R_f = R_g$ , ta có:

$$v_o = (v_1 + v_2)$$

**=> Mạch cộng không đảo**

## 5. Một số ứng dụng của Op-Amp

### 2. Mạch so sánh – a) Điện áp ngõ ra bảo hòa

Ta có:  $v_o = A(v_1 - v_2) = A.E_d$

Với  $E_d = v_1 - v_2$

$E_d$  là điện áp khác nhau giữa 2 ngõ vào:

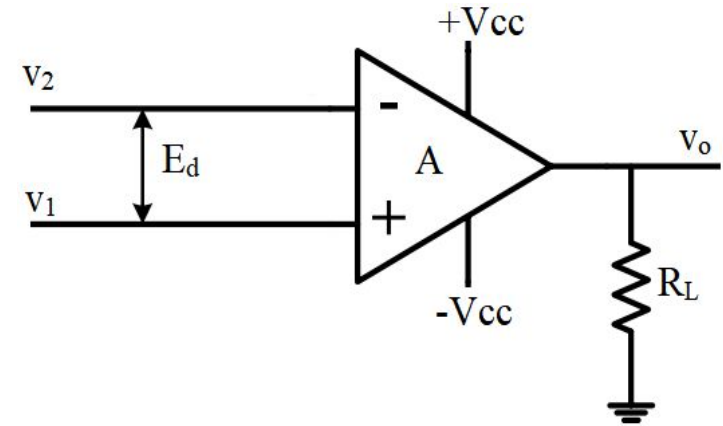
$E_d = (\text{điện áp ngõ vào } +) - (\text{điện áp ngõ vào } -)$

Do mạch không có hồi tiếp âm nên:  $v_o = A.E_d$

Trong đó  $A$  là độ lợi vòng hở của Op-Amp, vì  $A$  rất lớn nên theo công thức trên  $v_o$  rất lớn.

Khi  $E_d$  nhỏ,  $v_o$  được xác định. Khi  $E_d$  vượt quá một trị số nào đó thì  $v_o$  đạt đến trị số bảo hòa và được gọi là  $V_{Sat}$ . Trị số của  $E_d$  tùy thuộc vào mỗi Op-Amp và có trị số vào khoảng vài chục  $\mu V$ .

- Khi  $E_d$  âm,  $v_1 < v_2$  mạch đảo pha nên  $v_o = -V_{Sat}$
- Khi  $E_d$  dương, tức  $v_1 > v_2$  thì  $v_o = +V_{Sat}$

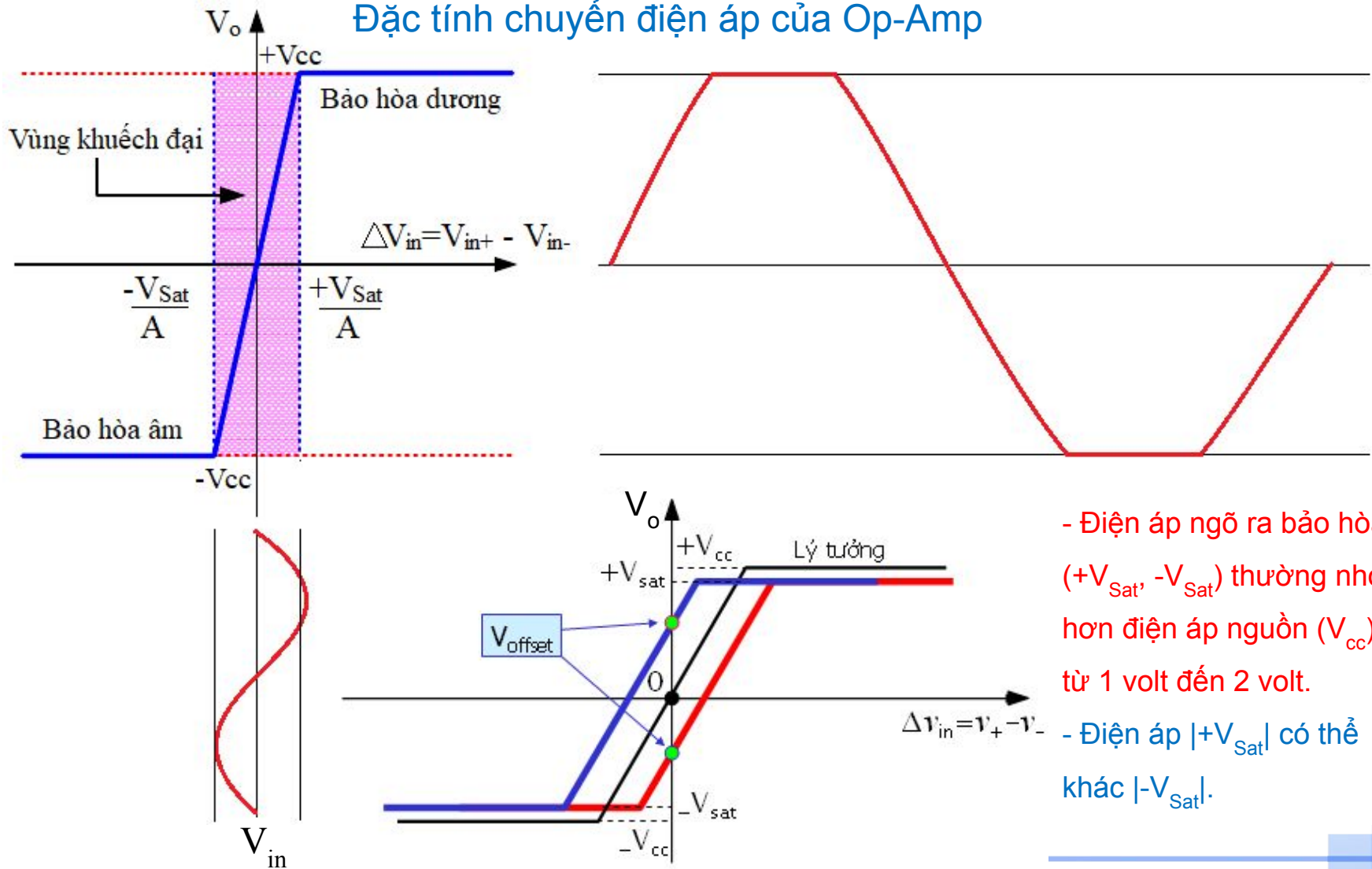


$$+E_{dmax} = \frac{+V_{Sat}}{A}$$
$$-E_{dmax} = \frac{-V_{Sat}}{A}$$

## 5. Một số ứng dụng của Op-Amp

### 2. Mạch so sánh – a) Điện áp ngõ ra bảo hòa (tt)

Đặc tính chuyển điện áp của Op-Amp



- Điện áp ngõ ra bảo hòa ( $+V_{Sat}$ ,  $-V_{Sat}$ ) thường nhỏ hơn điện áp nguồn ( $V_{cc}$ ) từ 1 volt đến 2 volt.

- Điện áp  $|+V_{Sat}|$  có thể khác  $|-V_{Sat}|$ .

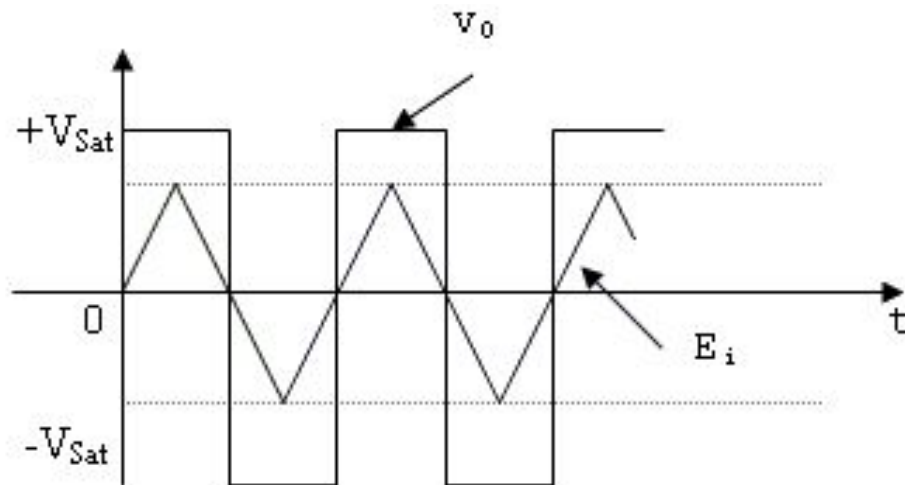
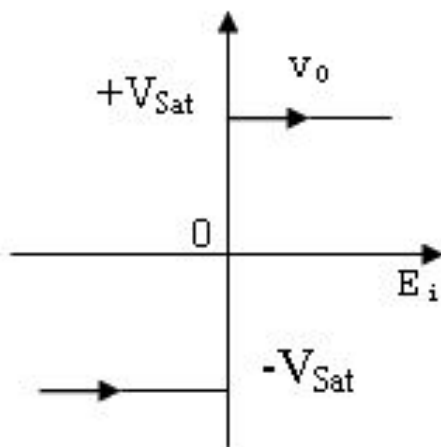
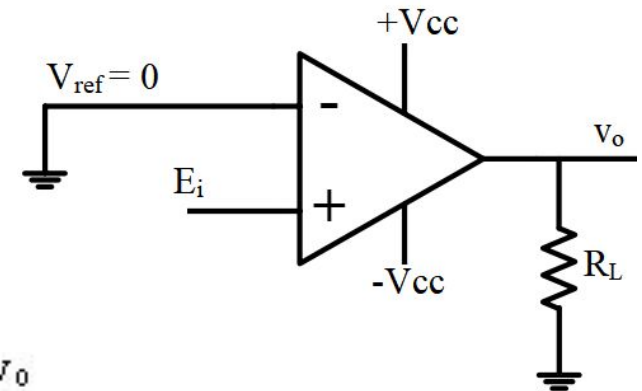
## 5. Một số ứng dụng của Op-Amp

### 2. Mạch so sánh – b) Mạch so sánh mức 0 (tách mức zero)

#### □ So sánh mức zero không đảo:

- Điện áp ở ngõ vào (-) được dùng làm điện áp chuẩn và  $E_i$  là điện áp muốn đem so sánh với điện áp chuẩn được đưa vào ngõ vào (+).
- Khi  $E_i > V_{ref}=0v$  thì  $v_o = +V_{Sat}$
- Khi  $E_i < V_{ref}=0v$  thì  $v_o = -V_{Sat}$

Ví dụ: khi  $E_i$  có dạng tam giác thì dạng sóng ở ngõ ra  $v_o$  có dạng như hình sau:



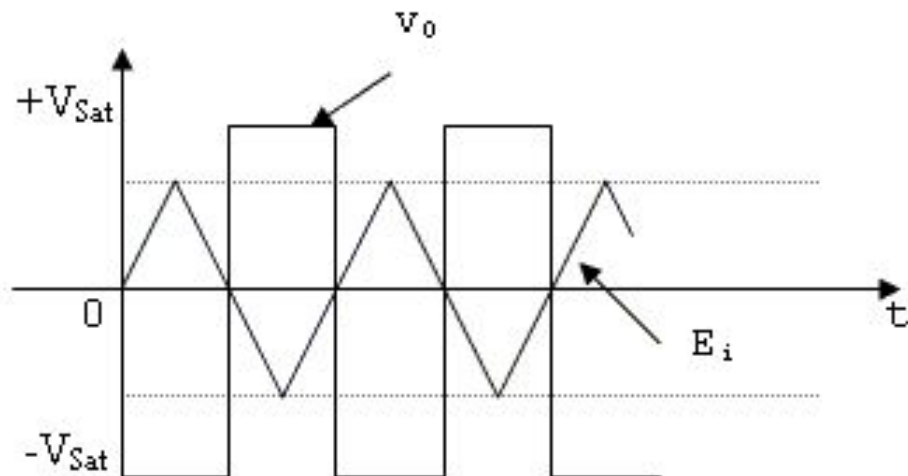
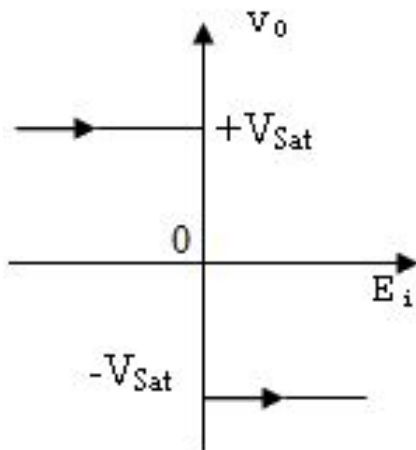
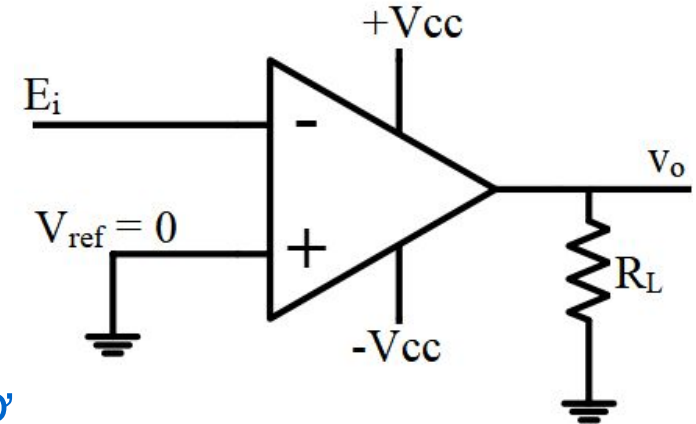
## 5. Một số ứng dụng của Op-Amp

### 2. Mạch so sánh – b) Mạch so sánh mức 0 (tách mức zero)

#### □ So sánh mức zero đảo:

- Điện áp chuẩn  $V_{ref}=0V$  đặt ở ngõ vào (+).
- Điện áp so sánh  $E_i$  đưa vào ngõ vào (-).
- Khi  $E_i > V_{ref}=0V$  thì  $v_o = -V_{Sat}$
- Khi  $E_i < V_{ref}=0V$  thì  $v_o = +V_{Sat}$

Ví dụ: khi  $E_i$  có dạng tam giác thì dạng sóng ở ngõ ra  $v_o$  có dạng như hình sau:





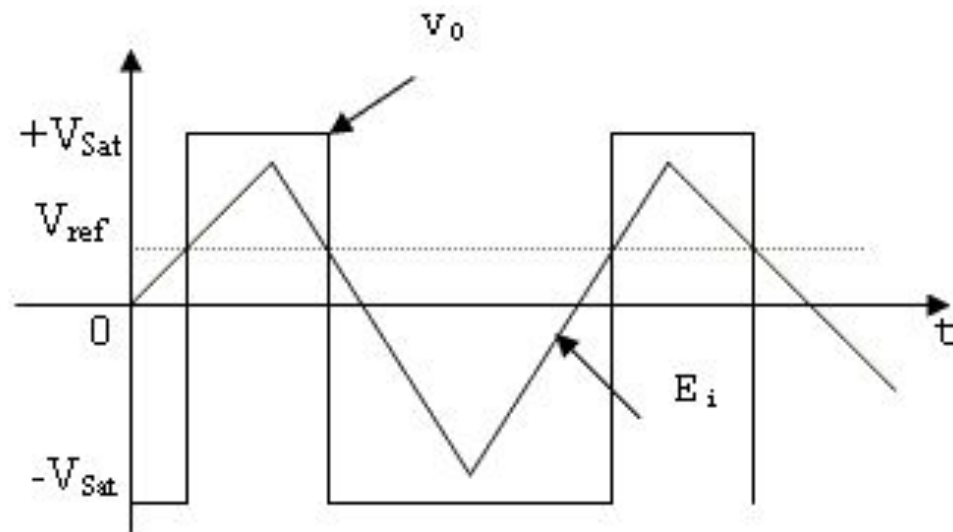
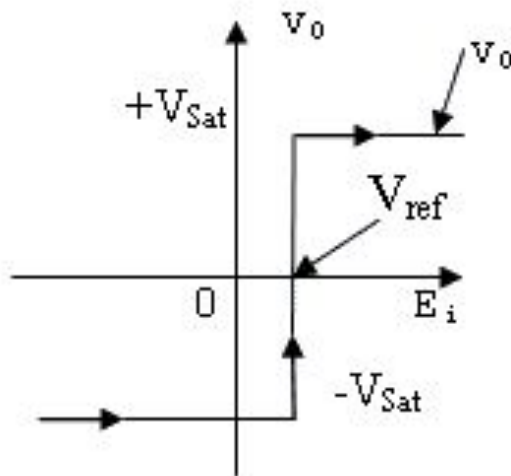
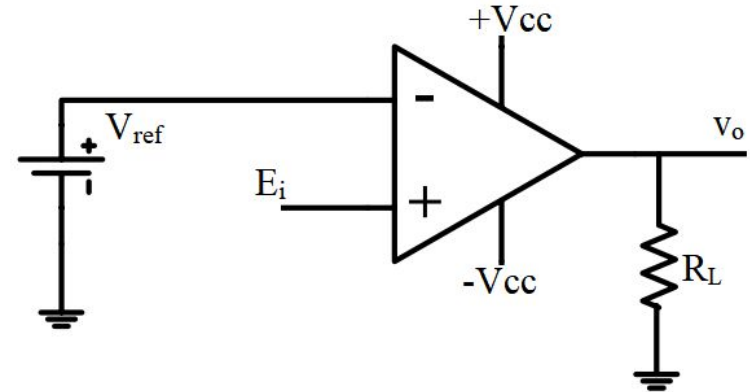
## 5. Một số ứng dụng của Op-Amp

### 2. Mạch so sánh – c) Mạch so sánh với 2 ngõ vào có điện áp bất kỳ

#### □ So sánh mức dương không đảo:

- Điện áp chuẩn  $V_{ref} > 0V$  đặt ở ngõ vào (-).
- Điện áp so sánh  $E_i$  đưa vào ngõ vào (+).
- Khi  $E_i > V_{ref}$  thì  $v_o = +V_{Sat}$
- Khi  $E_i < V_{ref}$  thì  $v_o = -V_{Sat}$

Ví dụ:





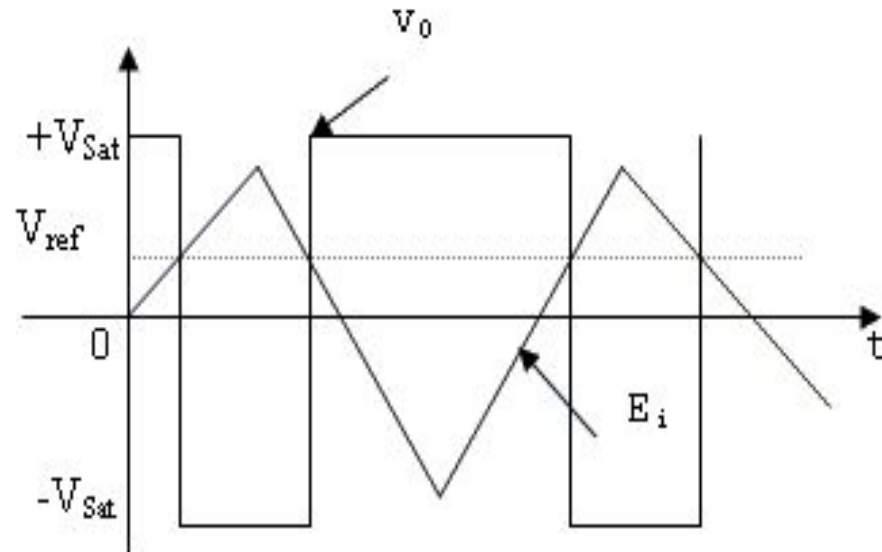
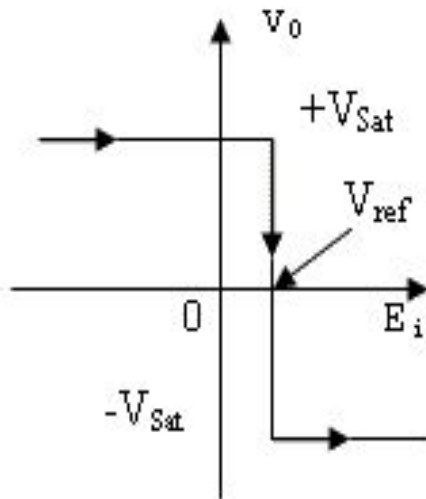
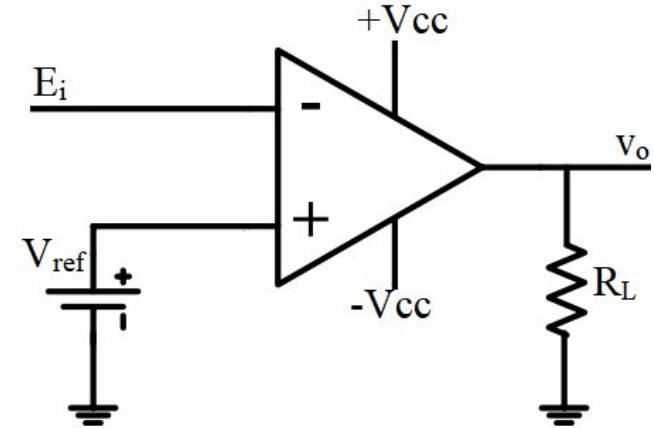
## 5. Một số ứng dụng của Op-Amp

### 2. Mạch so sánh – c) Mạch so sánh với 2 ngõ vào có điện áp bất kỳ

#### □ So sánh mức dương đảo:

- Điện áp chuẩn  $V_{ref} > 0V$  đặt ở ngõ vào (+).
- Điện áp so sánh  $E_i$  đưa vào ngõ vào (-).
- Khi  $E_i > V_{ref}$  thì  $v_o = -V_{Sat}$
- Khi  $E_i < V_{ref}$  thì  $v_o = +V_{Sat}$

Ví dụ:



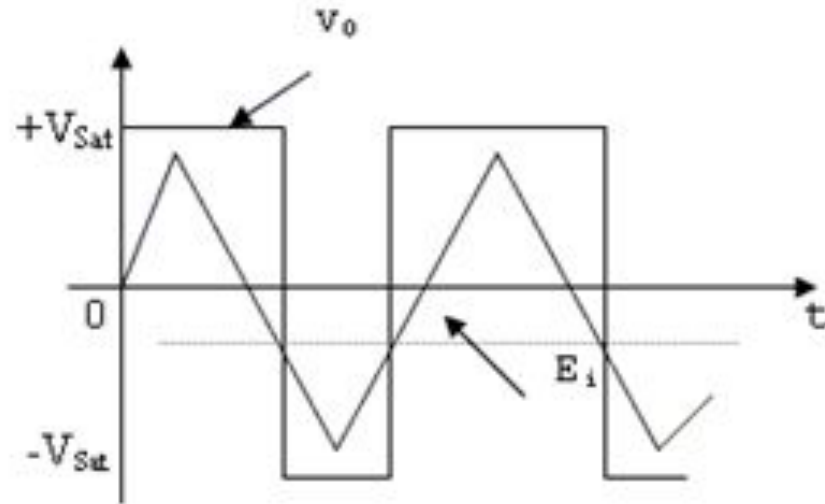
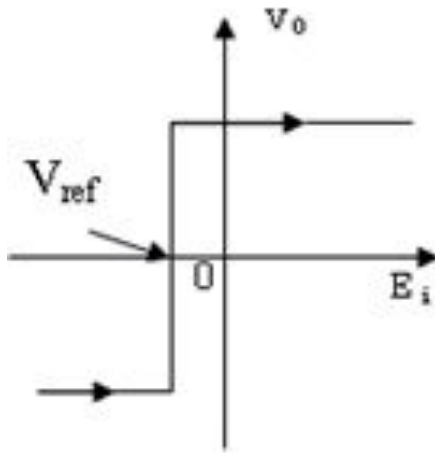
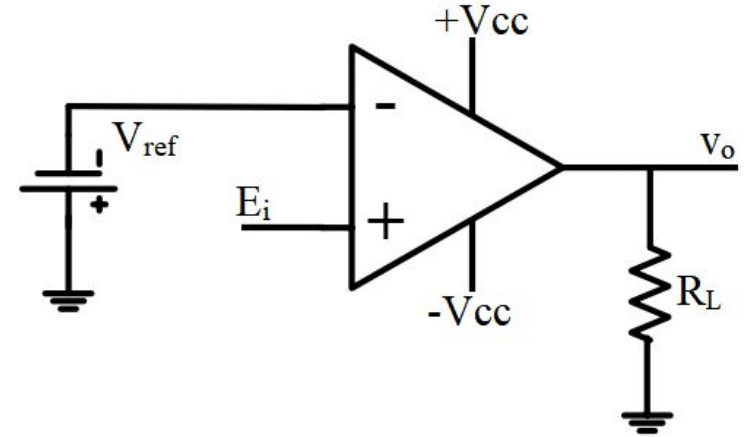
## 5. Một số ứng dụng của Op-Amp

### 2. Mạch so sánh – c) Mạch so sánh với 2 ngõ vào có điện áp bất kỳ

#### □ So sánh mức âm không đảo:

- Điện áp chuẩn  $V_{ref} < 0V$  đặt ở ngõ vào (-).
- Điện áp so sánh  $E_i$  đưa vào ngõ vào (+).
- Khi  $E_i > V_{ref}$  thì  $v_o = +V_{Sat}$
- Khi  $E_i < V_{ref}$  thì  $v_o = -V_{Sat}$

Ví dụ:



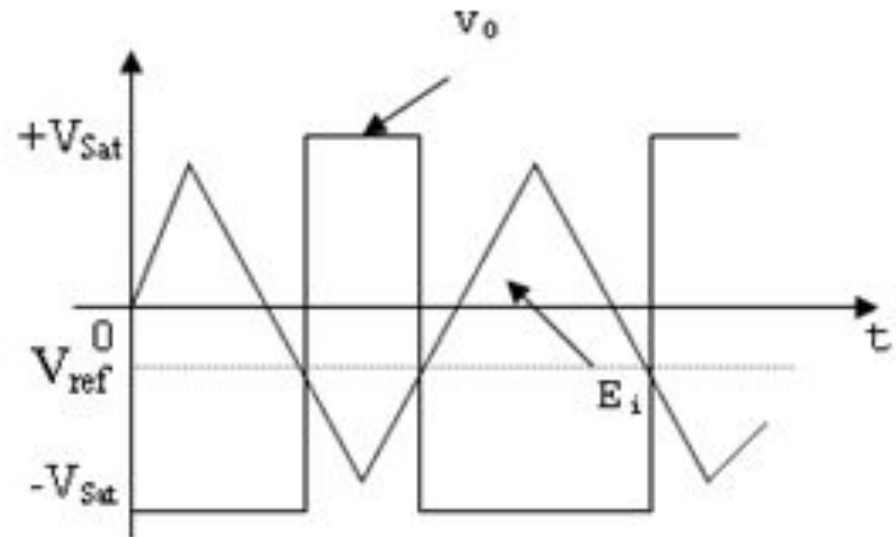
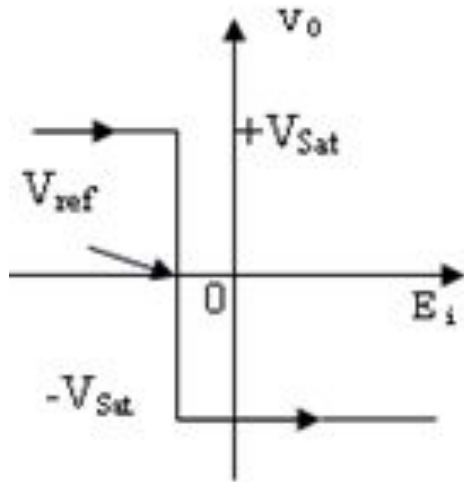
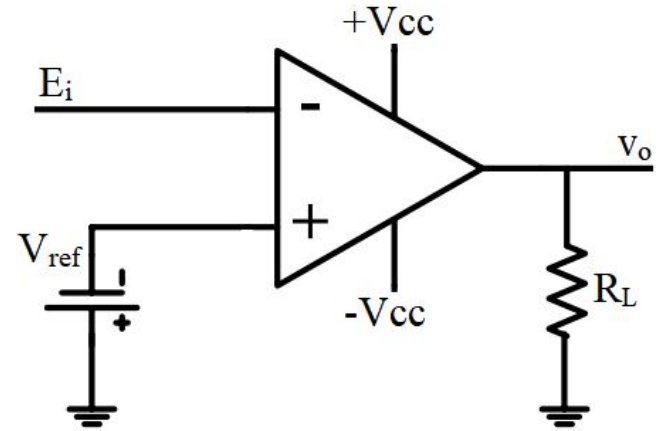
## 5. Một số ứng dụng của Op-Amp

### 2. Mạch so sánh – c) Mạch so sánh với 2 ngõ vào có điện áp bất kỳ

#### □ So sánh mức âm đảo:

- Điện áp chuẩn  $V_{ref} < 0V$  đặt ở ngõ vào (+).
- Điện áp so sánh  $E_i$  đưa vào ngõ vào (-).
- Khi  $E_i > V_{ref}$  thì  $v_o = -V_{Sat}$
- Khi  $E_i < V_{ref}$  thì  $v_o = +V_{Sat}$

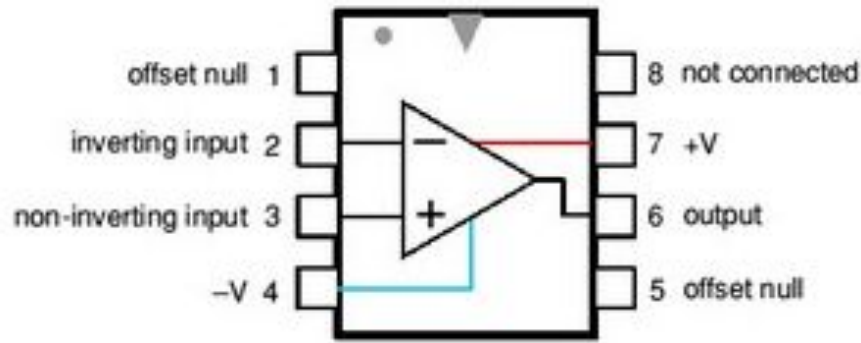
Ví dụ:



## **6. Khảo sát một số IC Op-Amp**

## 6. Khảo sát một số IC Op-Amp

### a) IC Op-Amp LM741



IC Op-Amp LM741 gồm có 8 chân, trong đó cần lưu ý các chân chức năng như sau:

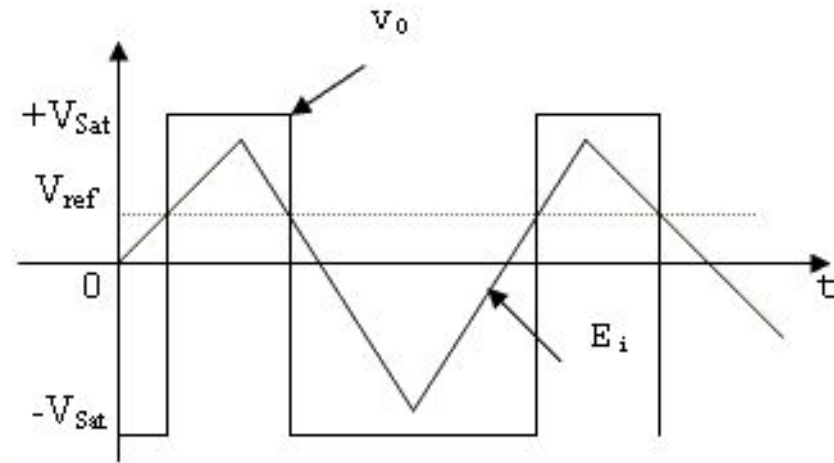
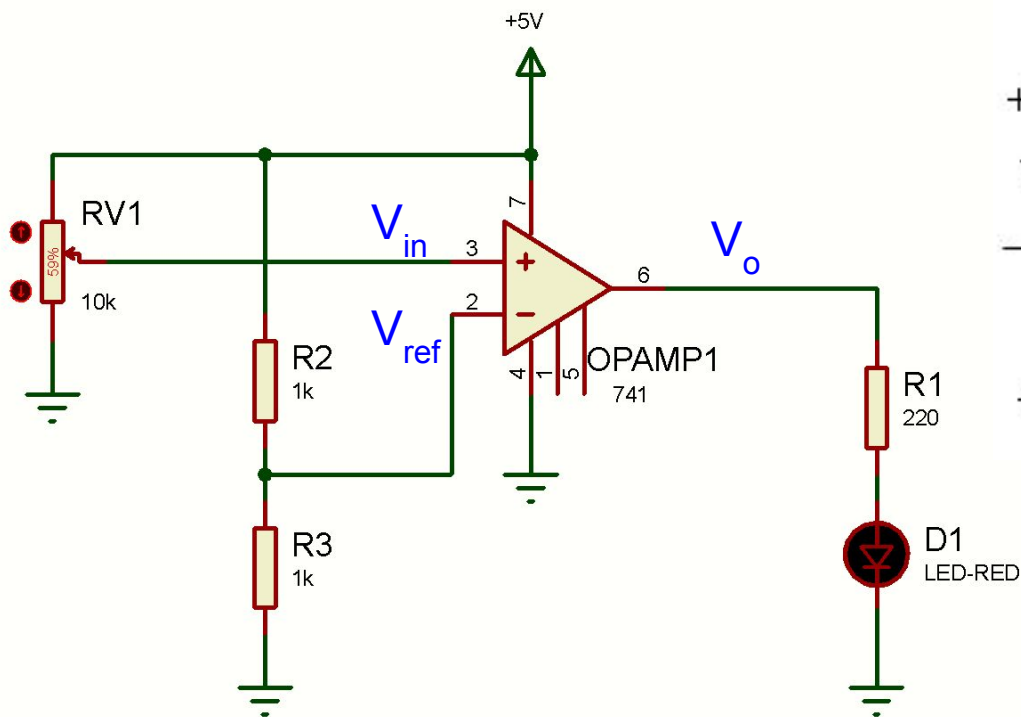
- Chân 2 (inverting input): Ngõ vào đảo
- Chân 3 (non-inverting input): Ngõ vào không đảo
- Chân 6 (output): Ngõ ra
- Chân 4 (-V hay -Vcc): Nguồn âm cấp cho Op-Amp (-5V đến -15V)
- Chân 7 (+V hay +Vcc): Nguồn dương cấp cho Op-Amp (+5V đến +15V)
- Chân 1 và 5 (offset null): bù offset
- Chân 8 (not connected): không kết nối

## 6. Khảo sát một số IC Op-Amp

### a) IC Op-Amp LM741 (tt)

Ví dụ 1: Sử dụng Op-Amp LM741 thiết kế mạch thực hiện chức năng so sánh điện áp vào ( $V_{in}$ ) từ chiết áp (hay biến trở 10K) với điện áp ngưỡng ( $V_{ref} = 2,5V$ ). Nếu  $V_{in}$  lớn hơn hoặc bằng  $V_{ref}$  thì LED sáng, ngược lại thì tắt LED.

Sử dụng mạch Op-Amp so sánh mức dương không đảo. Điện áp nguồn 5V.

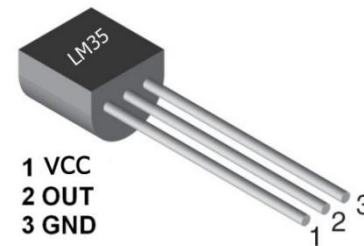


## 6. Khảo sát một số IC Op-Amp

### a) IC Op-Amp LM741 (tt)

Ví dụ 2: Thiết kế mạch cảnh báo nhiệt độ sử dụng IC Op-Amp LM741 và cảm biến nhiệt độ LM35. Nếu nhiệt độ lớn hơn hoặc bằng  $70^{\circ}\text{C}$  thì LED cảnh báo nhiệt độ sáng, ngược lại thì LED cảnh báo nhiệt độ tắt.

- Op-Amp LM741: cấp nguồn  $V_{cc}=12\text{V}$
- LED: điện áp 2V, dòng điện 10mA.
- Cảm biến nhiệt độ LM35 là một loại cảm biến tương tự (analog), có điện áp đầu ra tuyến tính theo nhiệt độ. LM35 thường được ứng dụng trong việc đo nhiệt độ môi trường thời gian thực. LM35 có các thông số kỹ thuật như sau:
  - + Điện áp hoạt động: 4 - 20VDC
  - + Công suất tiêu thụ: khoảng 60uA
  - + Khoảng nhiệt độ đo:  $-55^{\circ}\text{C}$  đến  $150^{\circ}\text{C}$
  - + Điện áp tuyến tính theo nhiệt độ:  $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$
  - + Sai số:  $0,25^{\circ}\text{C}$

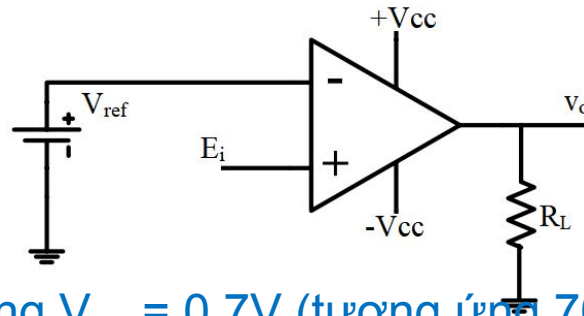


## 6. Khảo sát một số IC Op-Amp

### a) IC Op-Amp LM741 (tt)

Ví dụ 2 (tt):

- **Thiết kế mạch:** sử dụng Op-Amp LM741 thiết kế mạch thực hiện chức năng so sánh mức dương không đảo.



Trong đó: + Điện áp ngưỡng  $V_{ref} = 0,7V$  (tương ứng  $70^{\circ}C$ ) đặt ở ngõ vào (-) của Op-Amp LM741. Sử dụng biến trở để điều chỉnh đạt đến điện áp ngưỡng  $V_{ref}$ .  
Điện áp so sánh  $E_i$  (lấy từ ngõ ra của cảm biến LM35) được đưa vào ngõ vào (+) của Op-Amp LM741.

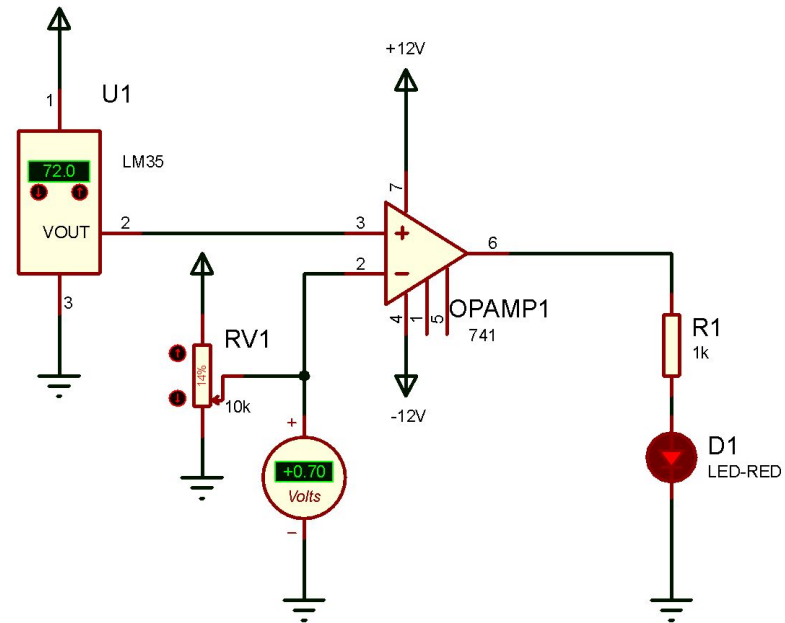
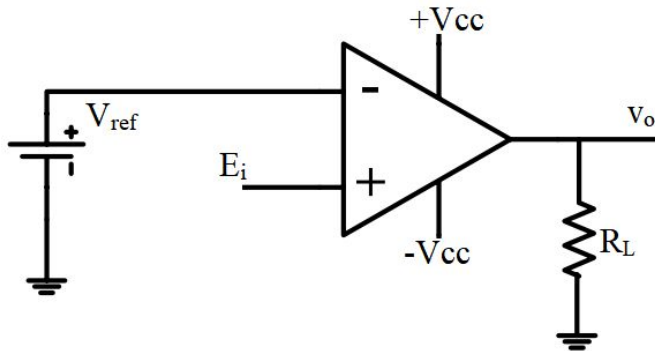
Ghi chú: Vì điện áp ra của LM35 tuyến tính theo nhiệt độ:  $1^{\circ}C$  tương ứng ngõ ra 10mV, như vậy  $70^{\circ}C$  tương ứng ngõ ra 700mV (hay 0,7V).



## 6. Khảo sát một số IC Op-Amp

### a) IC Op-Amp LM741 (tt)

Ví dụ 2 (tt):



**Mạch so sánh mức dương không đảo**

Khi  $E_i > V_{ref}$  thì  $v_o = +V_{Sat} = +V_{cc}$ ; khi  $E_i < V_{ref}$  thì  $v_o = -V_{Sat} = -V_{cc}$

- **Tính toán giá trị điện trở R1:** Tải ở ngõ ra sử dụng LED (có điện áp 2V, dòng điện 10mA) và điện trở hạn dòng R1.

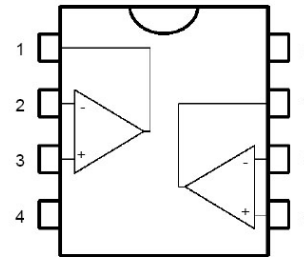
+ Xét trường hợp khi  $E_i > V_{ref}$  thì  $v_o = +V_{Sat} = +V_{cc} = +12V$ .

Mà ta có:  $v_o = V_{R1} + V_{LED} = 12V$ , trong đó  $V_{LED} = 2V \Rightarrow V_{R1} = 10V$

Ngoài ra dòng điện qua LED và điện trở R1 là  $10mA \Rightarrow R1 = 10V/10mA = 1k\Omega$

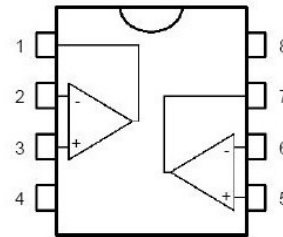
## 6. Khảo sát một số IC Op-Amp

### b) IC Op-Amp TL062



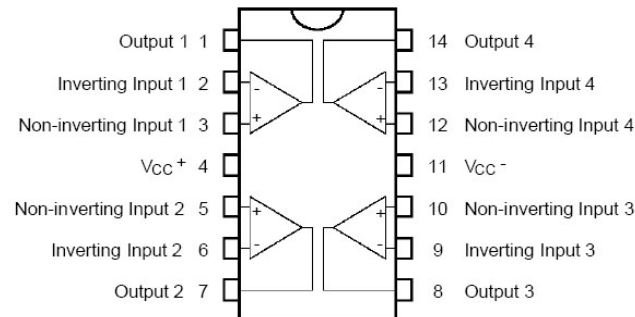
- 1 - Output 1
- 2 - Inverting input 1
- 3 - Non-inverting input 1
- 4 -  $V_{cc}^-$
- 5 - Non-inverting input 2
- 6 - Inverting input 2
- 7 - Output 2
- 8 -  $V_{cc}^+$

### c) IC Op-Amp LM358



- 1 - Output 1
- 2 - Inverting input 1
- 3 - Non-inverting input 1
- 4 -  $V_{cc}^-$
- 5 - Non-inverting input 2
- 6 - Inverting input 2
- 7 - Output 2
- 8 -  $V_{cc}^+$

### d) IC Op-Amp TL084



# Tham khảo

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