

# GT ĐIỆN TỬ CƠ BẢN

cuu duong than cong. com

## Chương .10 IC Op.Amp.

cuu duong than cong. com

# Chương 8. Mạch IC

## I. Sơ lược về mạch IC

**Vi mạch gồm nhiều linh kiện tổ hợp ,  
đóng gói chung trong 1 vỏ , có một  
hay nhiều chức năng**

### **Ưu điểm:**

- **Độ tin cậy cao, hoạt động tốt**
- **Độ khuếch lớn , mật độ tích hợp cao**
- **Công suất thấp**
- **Dễ lắp ráp mạch**
- **Giá thành hạ**

# Phân loại IC

Có nhiều cách phân loại :

- **Theo chế tạo:**

- Đơn khối, đơn tinh thể
- Màng mỏng ( thin-film)
- Màng dày ( thick - film)
- Mạch lai ( hybrid)

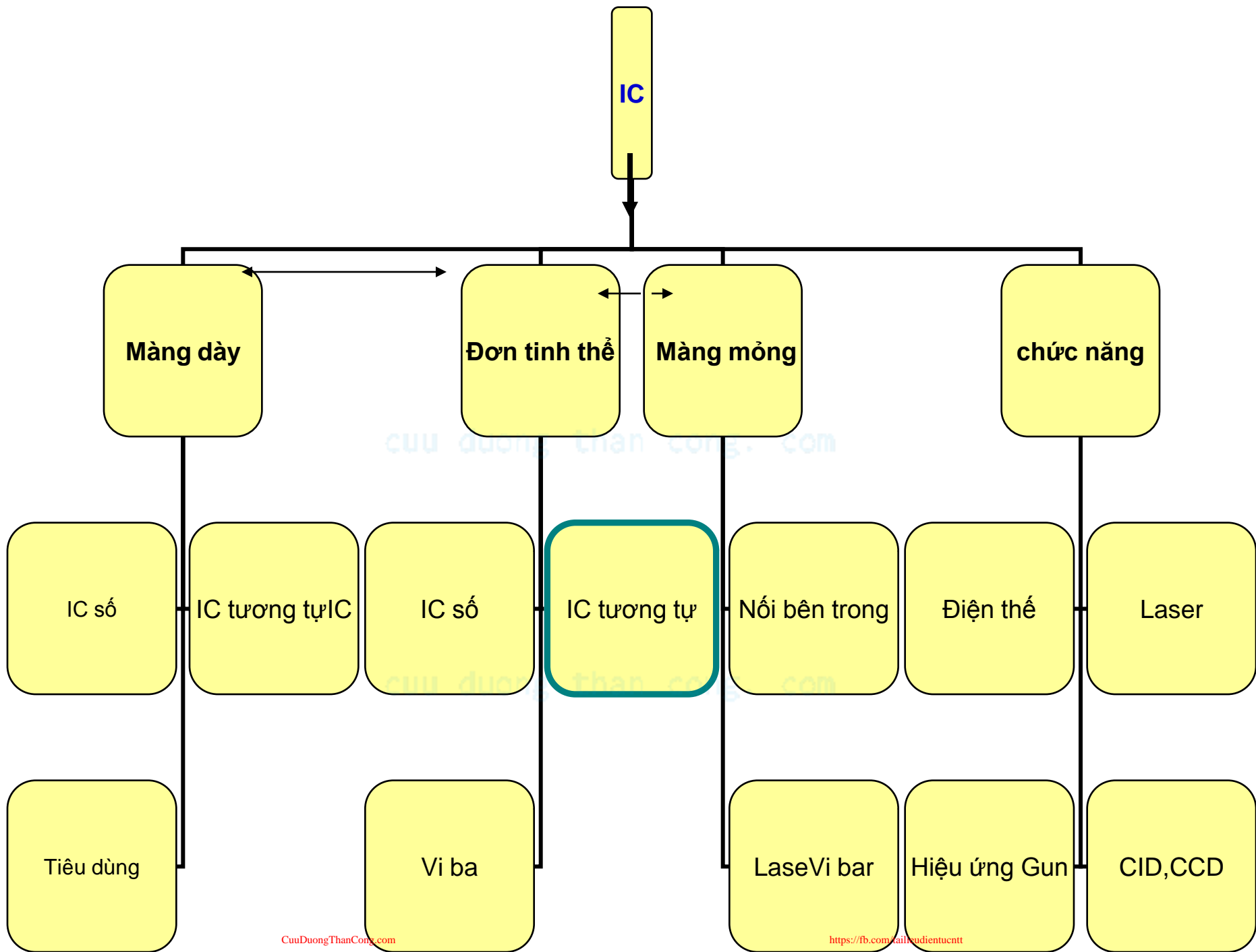
- **Theo nhiệm vụ:**

- Môđun
- Mạch chức năng

- Theo dạng tín hiệu và cách xử lý:
  - IC tương tự ( Analog IC)
  - IC số ( Digital IC)
- Theo mật độ tích hợp:
  - SSI (small scale Integration): < 99 transistor
  - MSI(Medium scale Int. ): 100 – 999 transistor
  - LSI( Large scale Int.):1000 – 9999 transistor
  - VLSI ( very large ---): 10.000 – 99.999 trans.
  - ULSI ( ultra large --): 100.000 hay hơn

### **Thí dụ:**

**AMD K6-III gồm 21,6 triệu transistor / chip**  
**Pentium IV gồm hàng tỉ transistor**

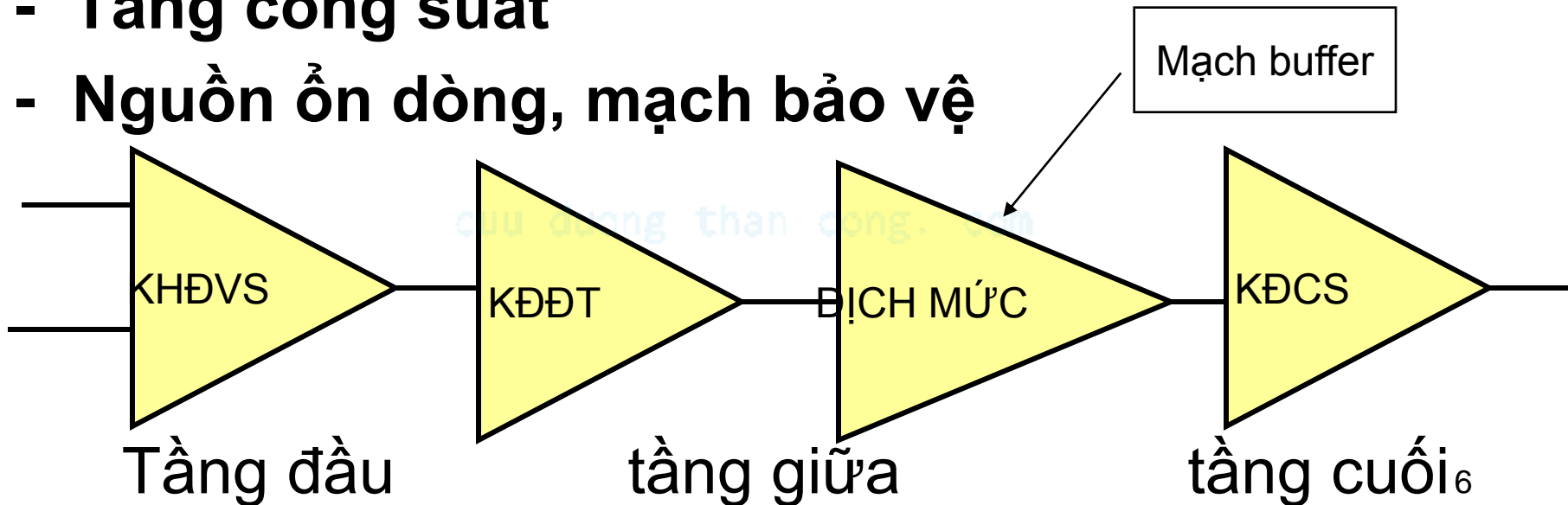


## II. IC khuếch đại thuật toán – Op. Amp.

### 1. Cấu tạo và đặc tính

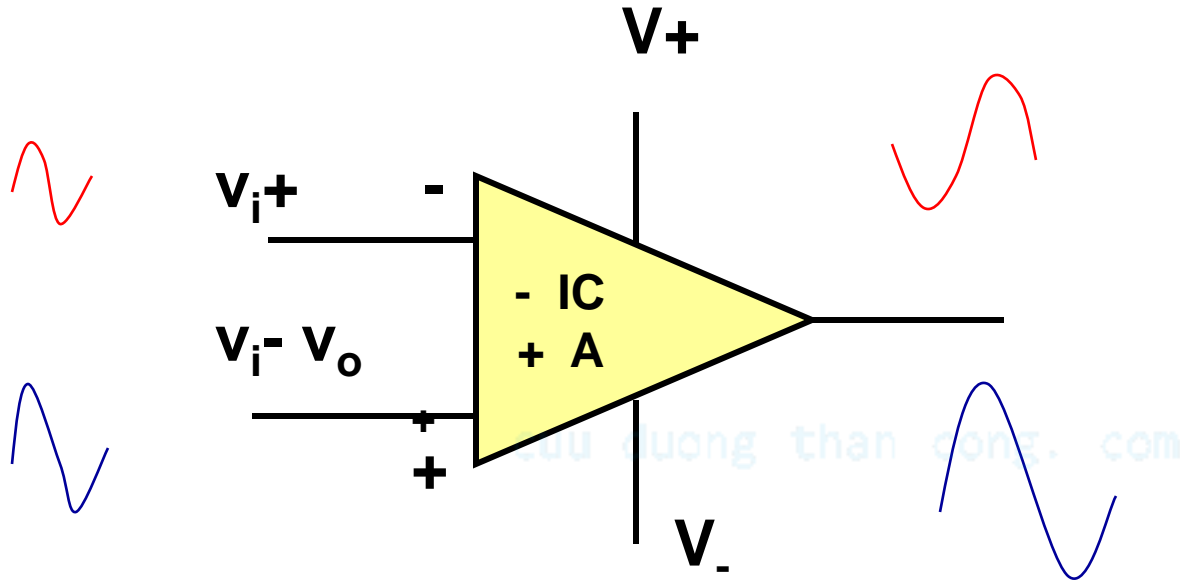
**a. Cấu tạo:** Gồm nhiều tầng ghép chuỗi :

- Khuếch đại vi sai
- Khuếch đại đơn
- Mạch dịch mức điện thế DC
- Tầng công suất
- Nguồn ổn dòng, mạch bảo vệ



# Sơ đồ khối

Op.amp. thường được biểu diễn:



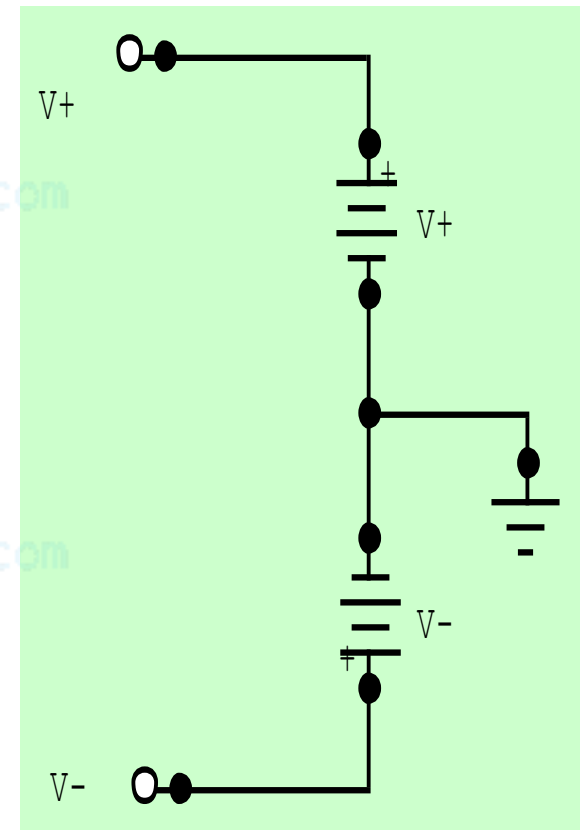
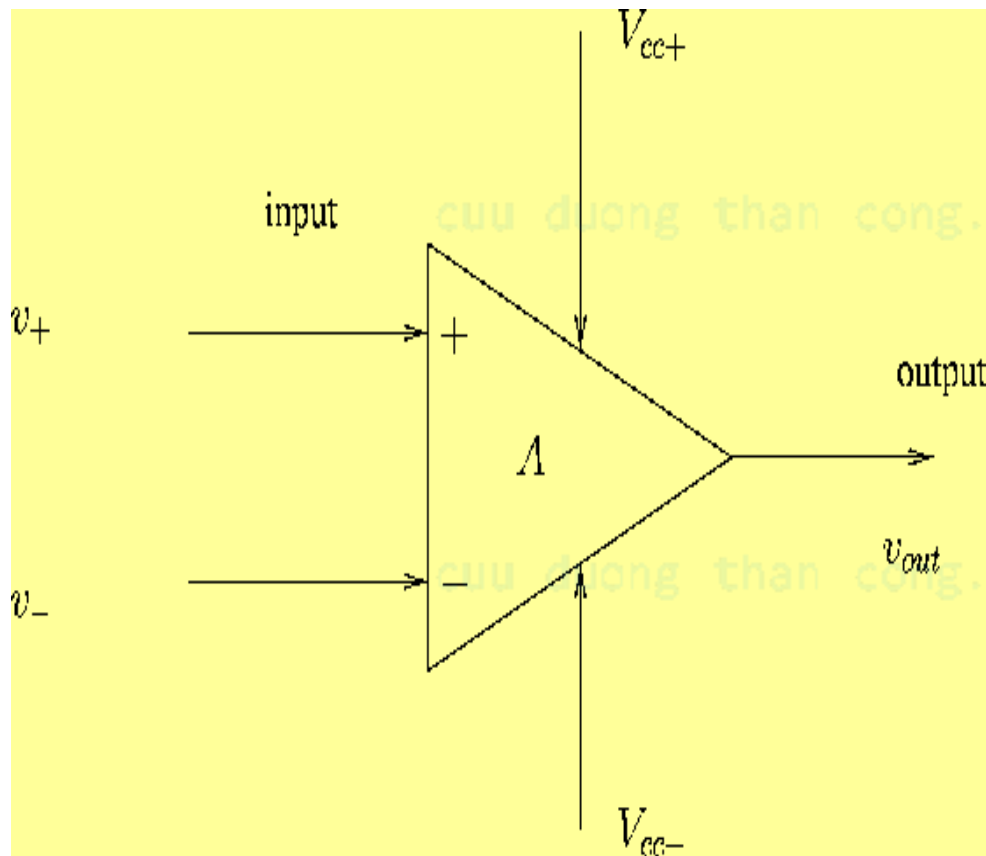
Mạch có 2 ngõ vào ngược pha nhau

- Ngõ vào + cho tín hiệu ra  $v_o$  đồng pha với tín hiệu vào  $v_i$
- Ngõ vào - cho tín hiệu ra  $v_o$  ngược pha với tín hiệu vào  $v_i$

- Mạch được cấp điện bằng 2 nguồn đối xứng

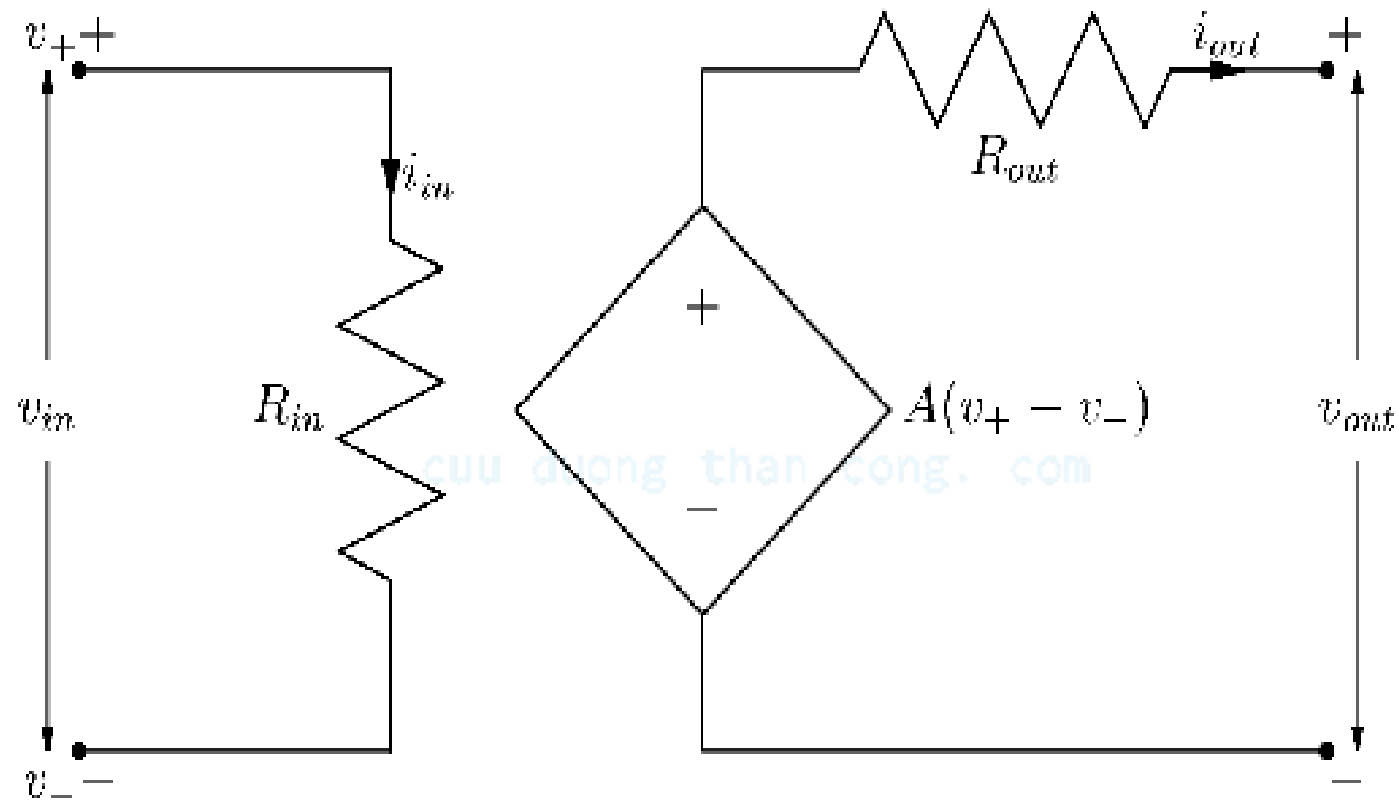
$$V_+ = -V_-$$

$$\text{hay } V_{CC} = -V_{EE}$$





- Mạch tương đương



$$v_+ - v_- = R_{in} i_{in}$$

$$v_{out} = A(v_+ - v_-) - i_{out} R_{out}$$

- **Op.amp. lý tưởng** có đặc điểm:

$$A_v \approx \infty$$

$$R_i \approx \infty$$

$$R_o \approx 0$$

$$A \approx \text{large}$$

$$R_{in} \approx \text{large}$$

$$R_{out} \approx \text{small}$$

- **IC Op.amp. thực tế: công nghệ: BJT, CMOS, BIMOS:**

**LM 741, LF 358, TL062, TL082, TLO84.**

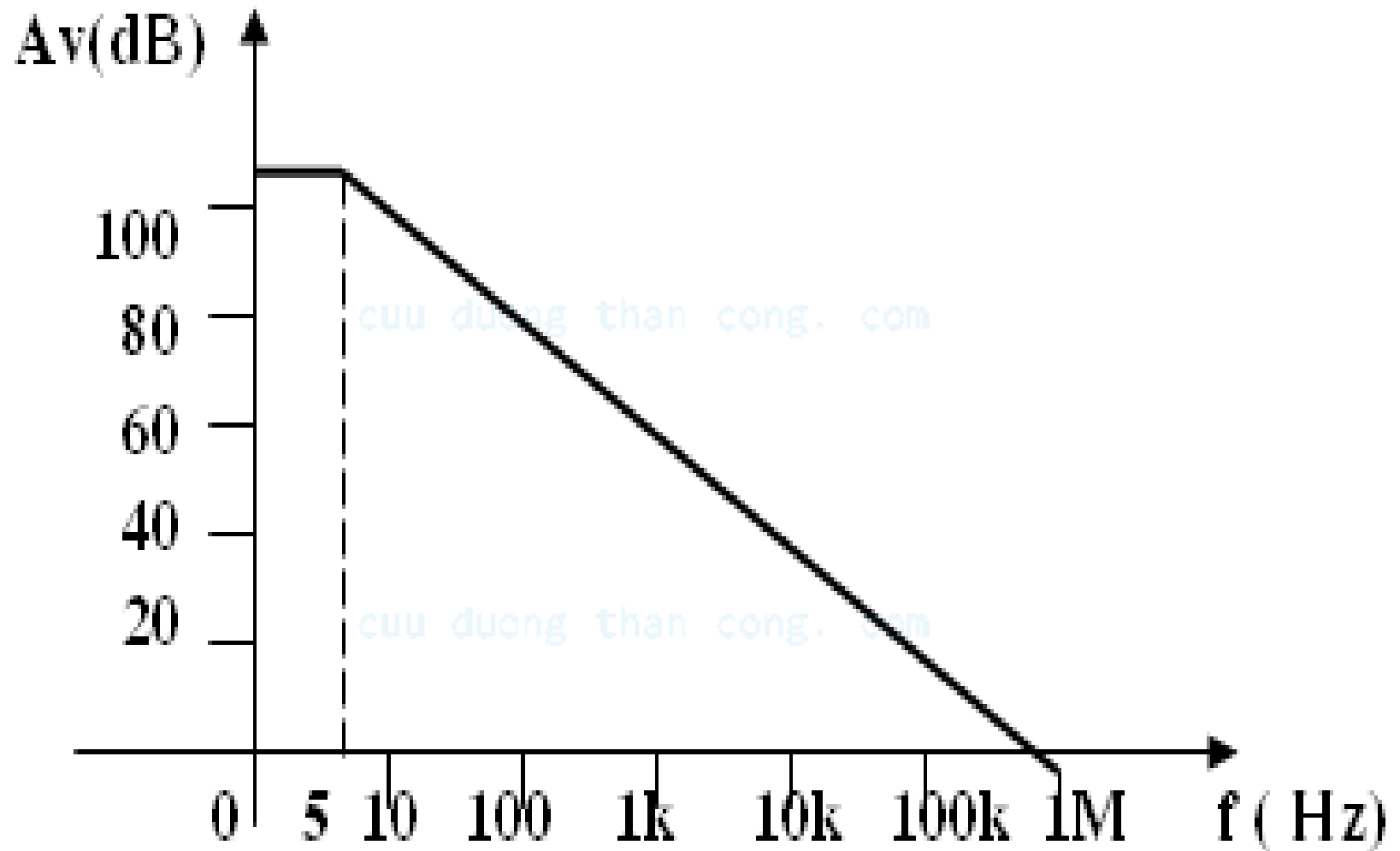
**LM 741 có:**

**$R_i = 1$  hay  $2 \text{ Mohm}$**

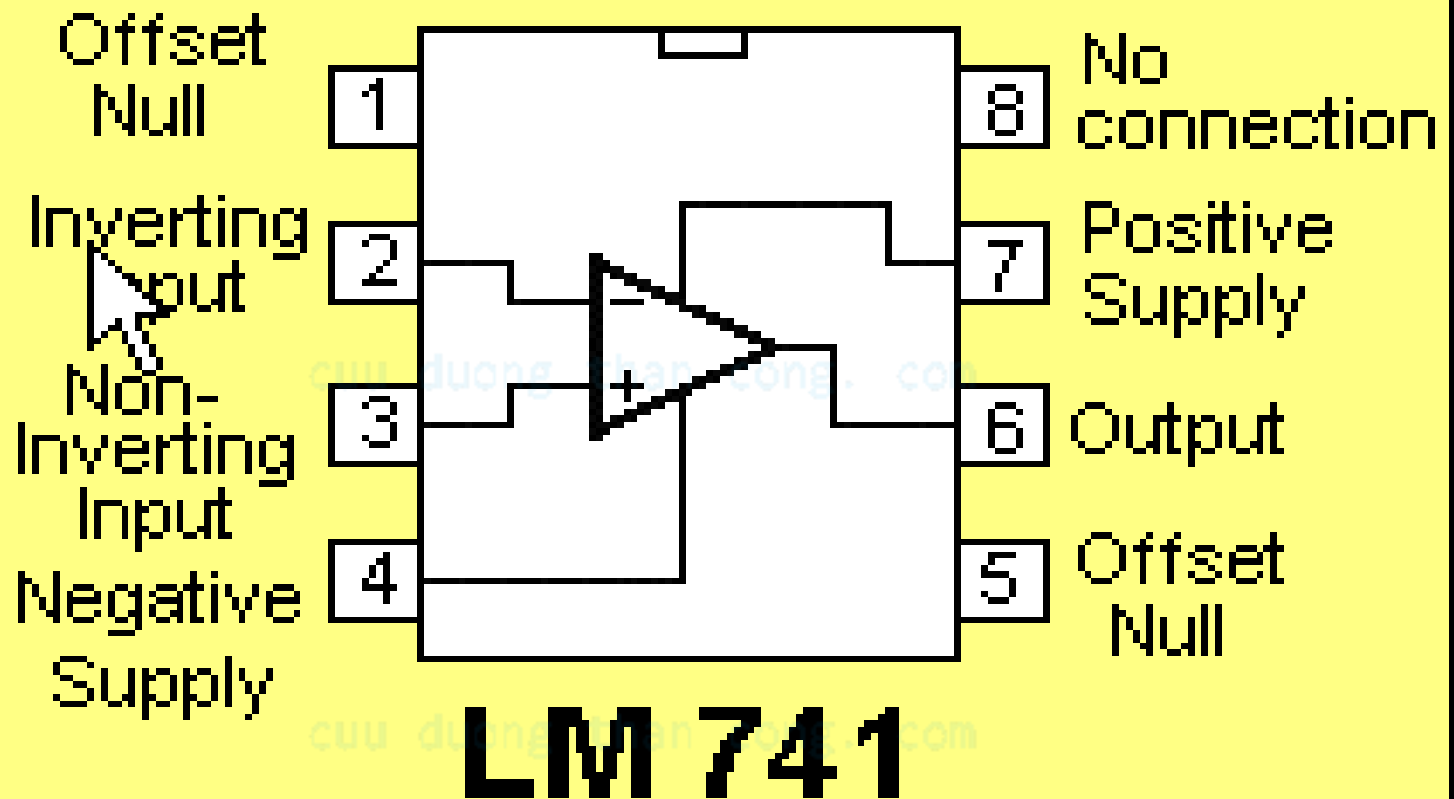
**$A_v = 200.000$  hay  $106\text{dB}$**

**$R_o = 75 \text{ Ohm}$**

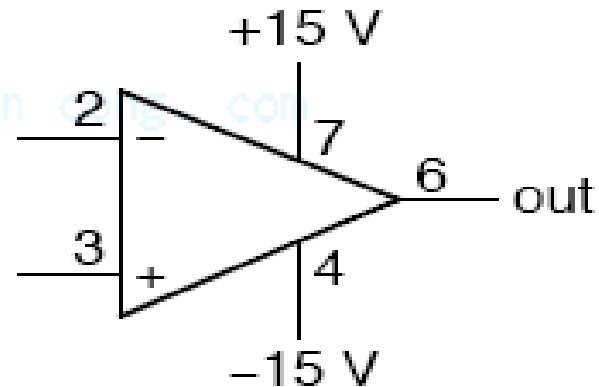
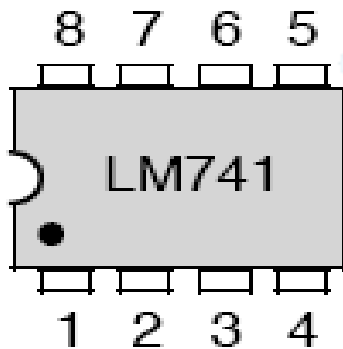
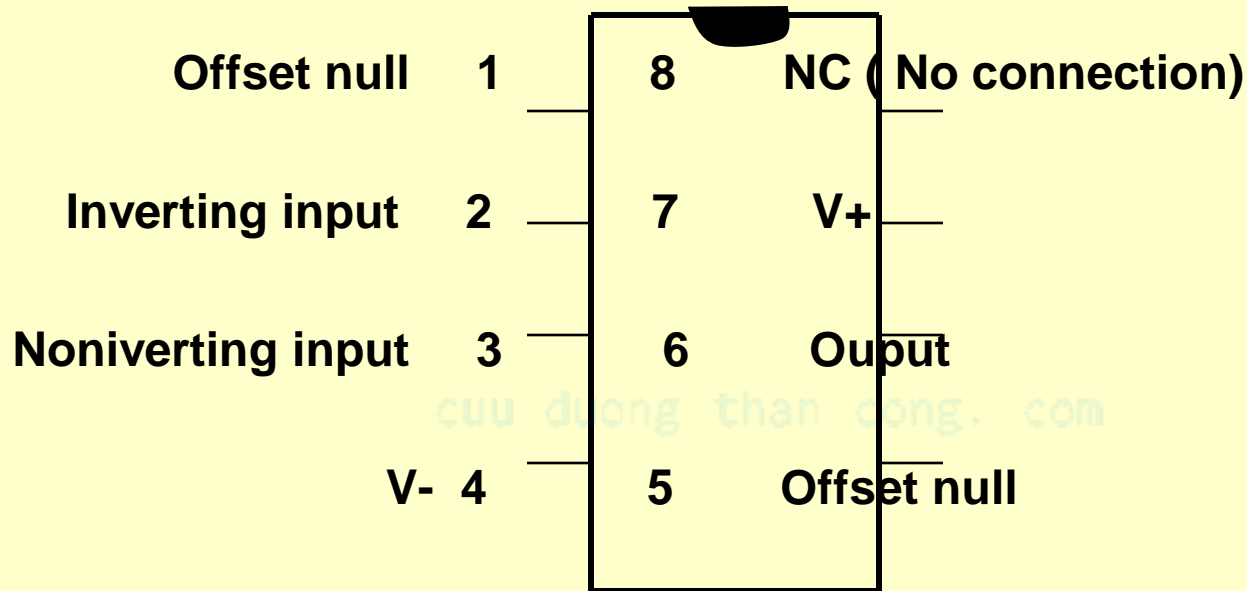
# Đáp ứng tần số



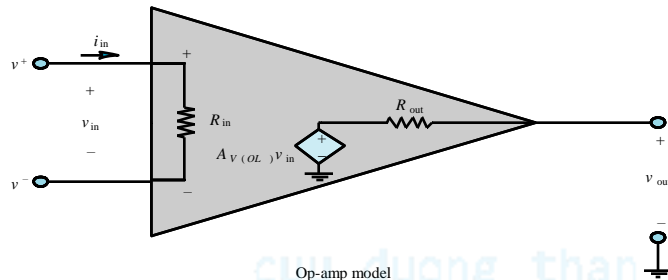
Hình 3



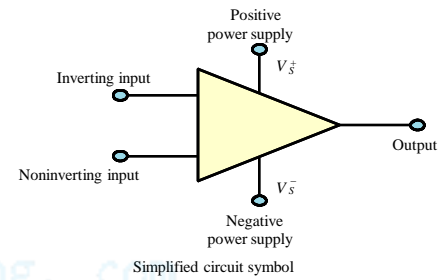
- **LM 741 loại vỏ 8 chân :**



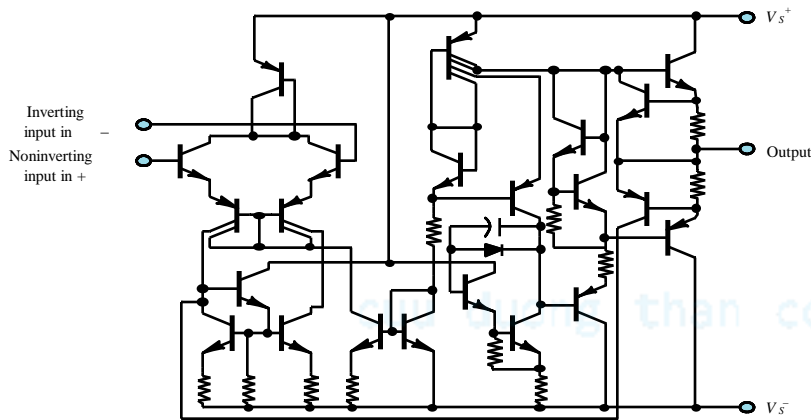
# Sơ đồ IC 741



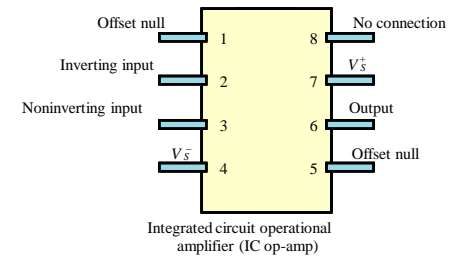
Op-amp model



Simplified circuit symbol

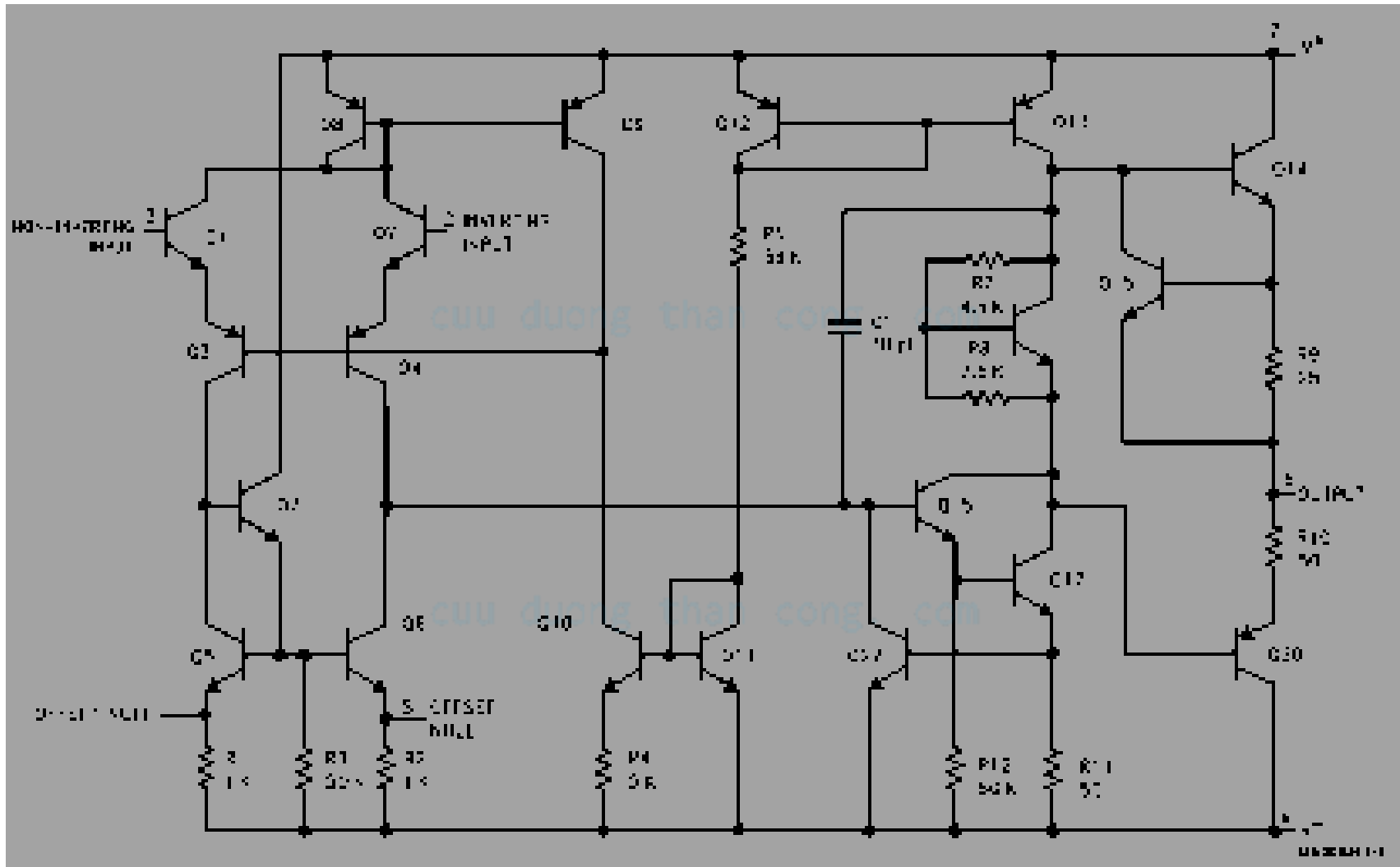


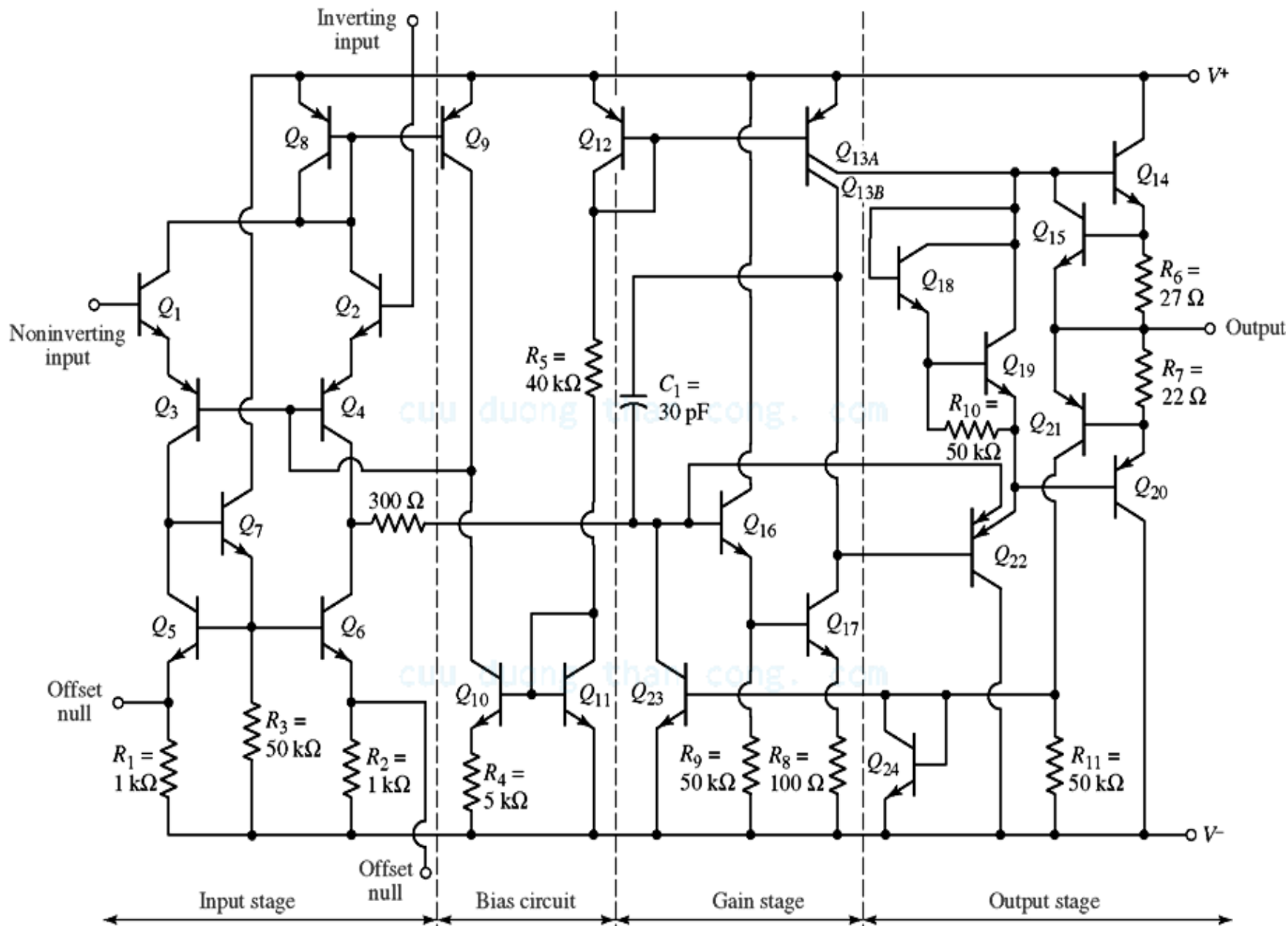
IC op-amp diagram



Integrated circuit operational amplifier (IC op-amp)

# Schematic diagram of lm741

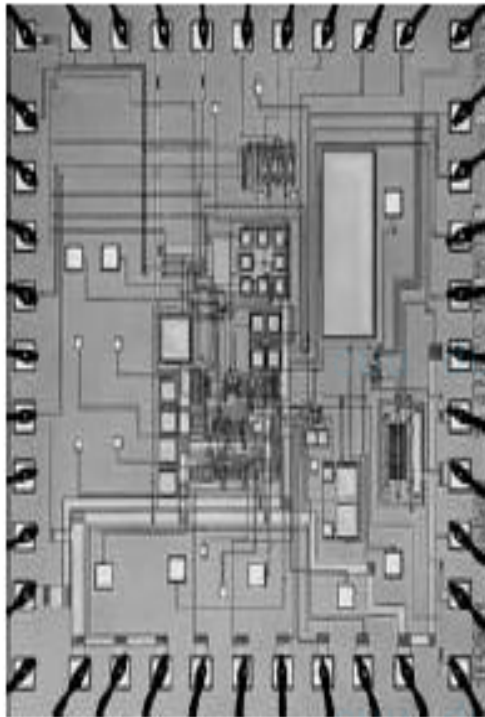








## Modern OpAmp IC -- 1995



## Modern Opamp Package



## b. Tính chất op. amp.

Op.amp có 2 cách khuếch đại vòng hở

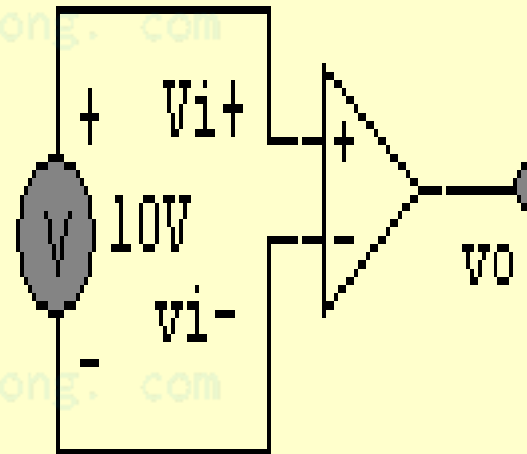
### (1). Cách vi sai ( differential mode)

Tín hiệu vào tác động vào 2 ngõ vào gọi là điện thế vi sai

$$V_{id} = V_i^+ - V_i^-$$

Độ lợi thế cách vi sai:

$$A_{vd} = \frac{V_o}{V_i^+ - V_i^-}$$



có trị số rất lớn, thường sử dụng .

## (2) Cách chung( Common mode)

$$V_{id} = \frac{V_i^+ + V_i^-}{2}$$

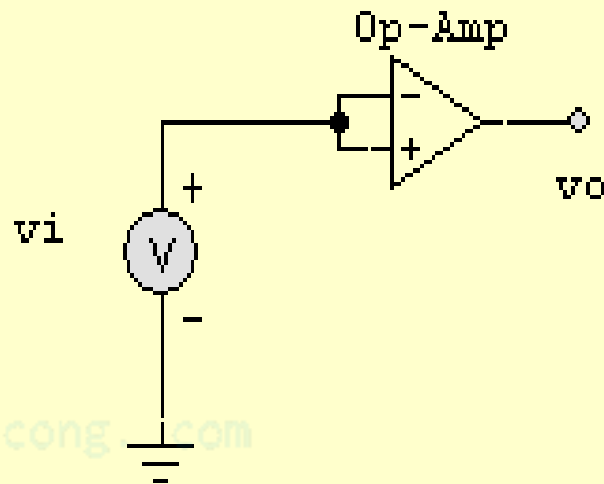
$$A_{VC} = \frac{V_o}{V_{ic}} = \frac{V_o}{\left( \frac{V_i^+ + V_i^-}{2} \right)}$$

có trị rất nhỏ.

**Hệ số tr suất thải cách chung:**

$$CMRR = \rho = 20 \log \frac{A_{vd}}{A_{VC}} (dB)$$

**Có trị càng lớn , Op.amp càng tốt ( 741 là 90dB)**



# Kết luận

- Trong 1 Op.amp thực tế bao giờ cũng thực hiện cả 2 cách trên cùng 1 lúc, ta có:

$$V_o = A_{vd} V_{id} + A_{vc} V_{ic} = A_d V_d + A_c V_c$$

hay viết lại :

$$V_o = A_d V_d \left( 1 + \frac{1}{CMRR} \frac{V_c}{V_d} \right)$$

Tín hiệu ra có cả thành phần cách vi sai và cách chung, nhưng vì **CMRR rất lớn**, nên điện thế ra gần như được cho bởi **tín hiệu cách vi sai**, còn thành phần cách chung gần như bị loại bỏ. Đây là ưu điểm của Op.amp (mạch KĐVS) trong việc phát hiện tín hiệu rất nhỏ ( trong đo lường, y khoa, sinh học...)

## 2. Đặc tính của Op.amp

### a. Đặc tính kỹ thuật

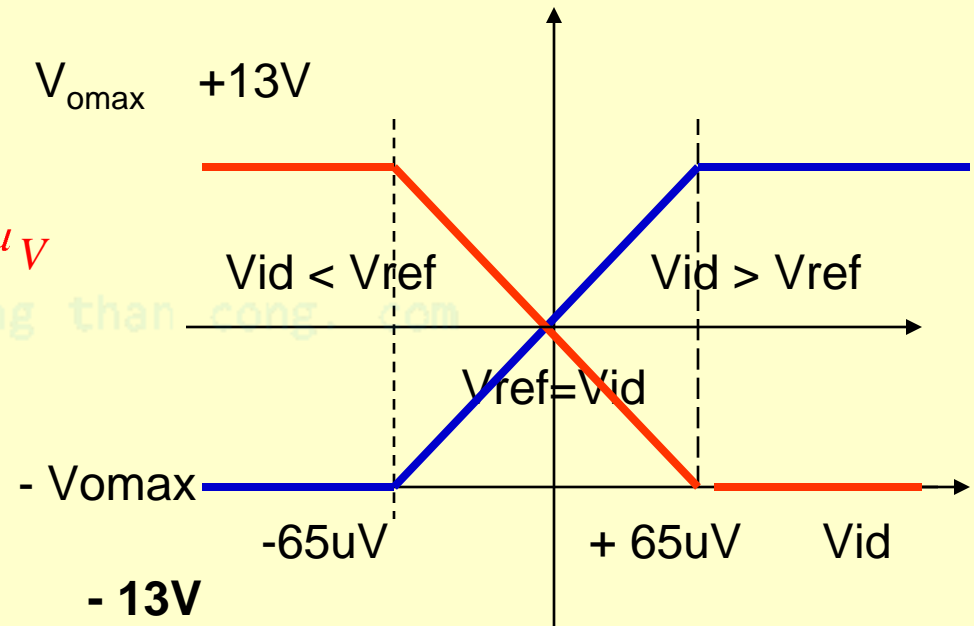
**Table 14.1** Nonideal parameter values for three op-amp circuits

	741E			CA3140			LH0042C		
	Typ.	Max.	Unit	Typ.	Max.	Unit	Typ.	Max.	Unit.
Input offset voltage	0.8	3	mV	5	15	mV	6	20	mV
Average input offset voltage drift		15	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$				10		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input offset current	3.0	30	nA	0.5	30	pA	2		pA
Average input offset current drift		0.5	$\text{nA}/^\circ\text{C}$						
Input bias current	30	80	nA	10	50	pA	2	10	pA
Slew rate	0.7		$\text{V}/\mu\text{s}$	9		$\text{V}/\mu\text{s}$	3		$\text{V}/\mu\text{s}$
CMRR	95		dB	90		dB	80		dB

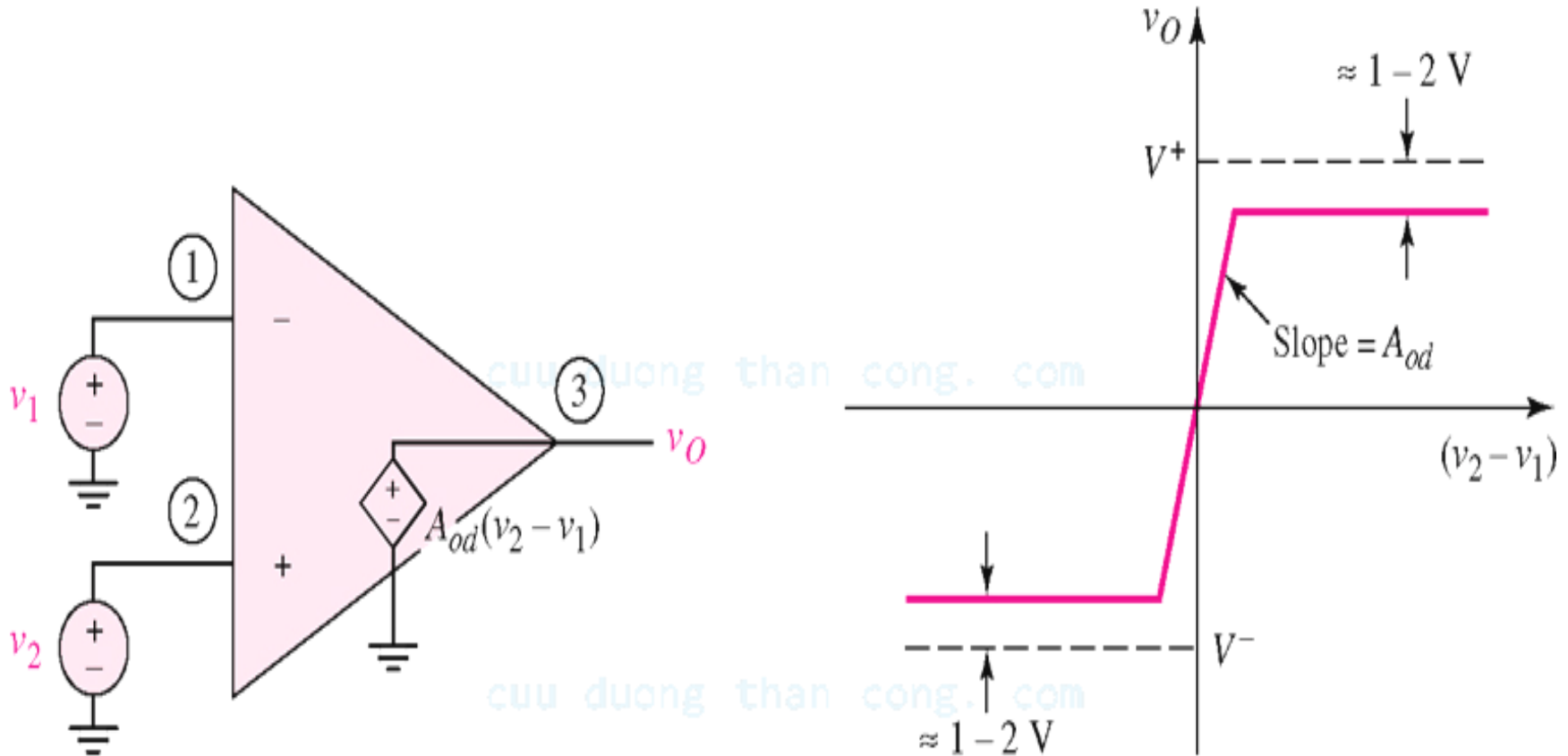
## b. Đặc tuyến truyền của Op.amp.

- Do  $A_{vd}$  rất lớn, nên tín hiệu ra  $V_o$  rất lớn khi khuếch đại vòng hở  $\rightarrow V_o$  nhanh chóng đạt trị bão hoà khi  $V_i$  có biên độ rất nhỏ vào khoảng vài  $\mu V$ .
- Với IC 741, có  $A_{vd} = 200.000$  và điện thế ra cực đại  $V_{omax} = 13V$  (cấp điện 15V thì  $V_{idmin}$  bằng:  
 $V_o = 65 \mu V$

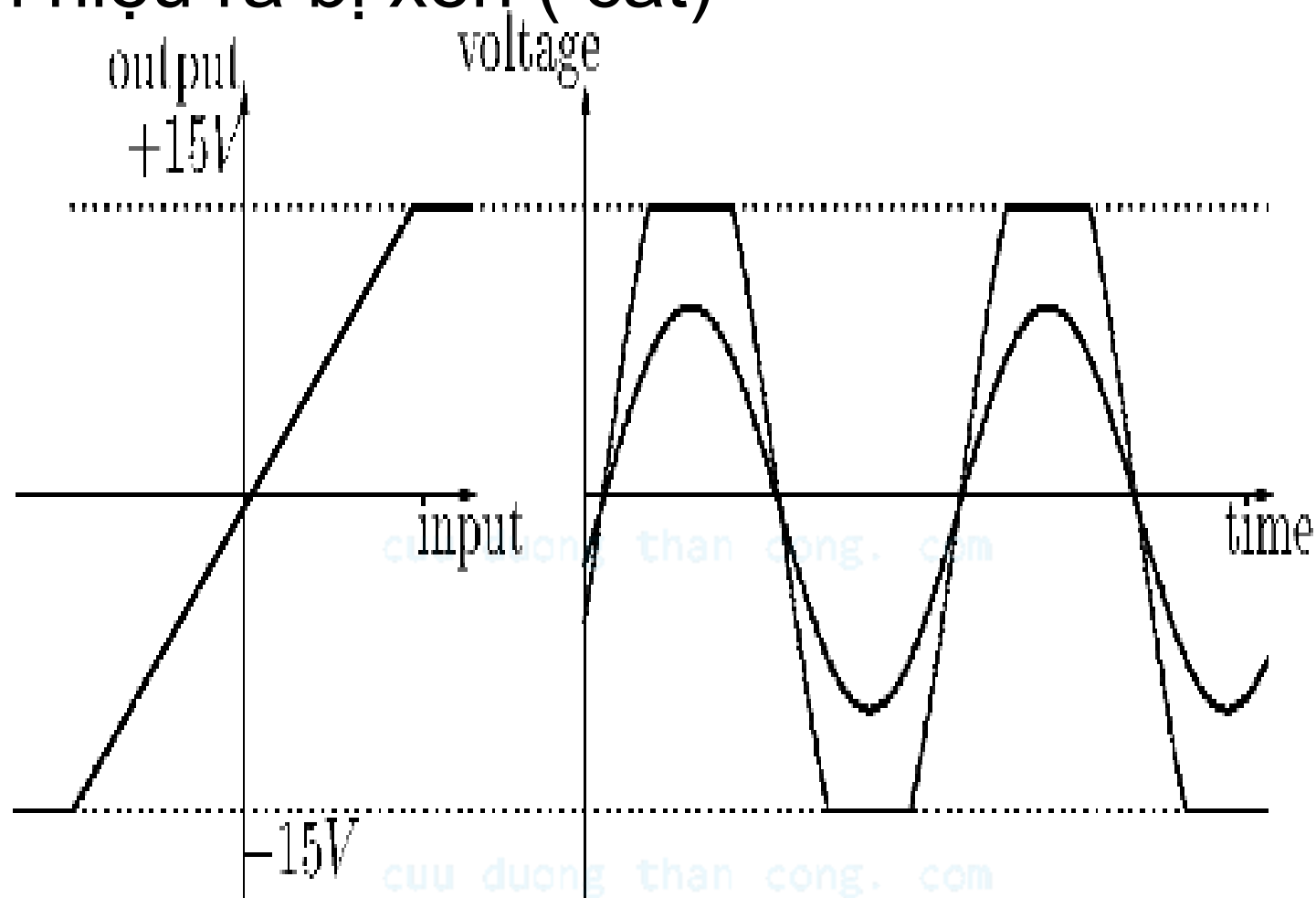
$$V_{idmin} = \frac{V_{omax}}{A_{vd}} = \frac{13}{200.000} = 65 \mu V$$



# Op. Amp lý tưởng



# Tín hiệu ra bị xén ( cắt)



saturation characteristic

waveform clipping

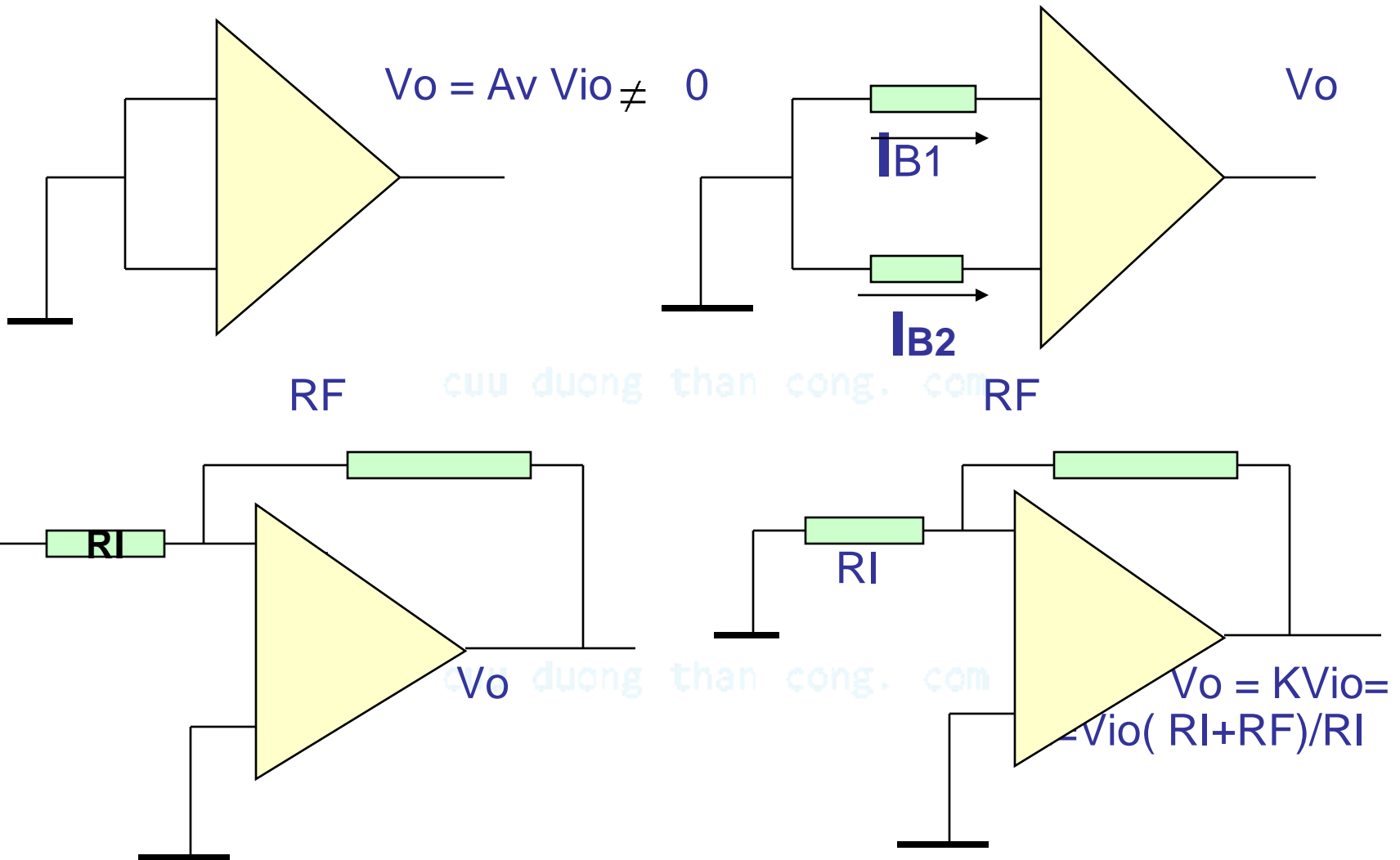


# Điện thế và dòng điện Offset

- Điện thế offset ngõ vào  $V_{io}$  : là điện thế offset ngõ vào khi cả 2 ngõ vào đều 0V lại cho ngõ ra 1 điện thế khác không gọi là điện thế offset ngõ ra  $V_{oo} = V_{io}([R_1 + R_F]/R_1)$ .
- Dòng offset ngõ vào  $I_{io}$  : Khi dòng phân cực 2 ngõ vào bằng nhau ( nhưng khác dấu) lại cho điện thế ra khác không gọi là điện thế offset ngõ ra  $V_{oo} = I_{io}R_F$ .
- Điện thế offset tổng cộng :

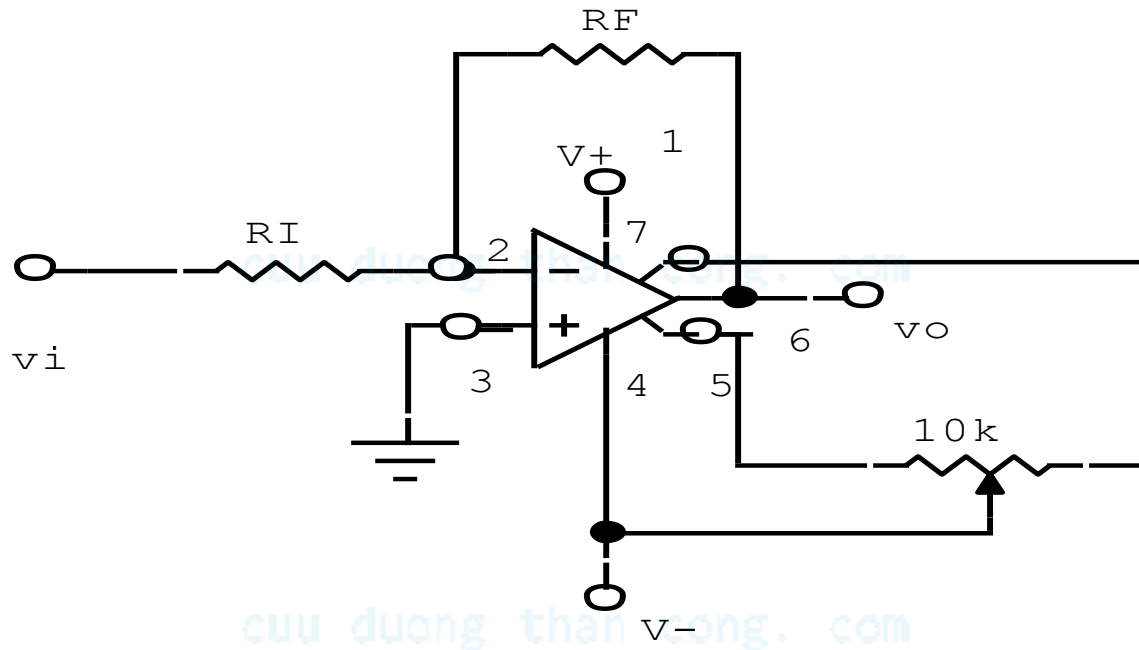
$$V_{ooT} = V_{oo}(\text{do } V_{io}) + V_{oo}(\text{do } I_{io})$$

# Đo điện thế offset



# Mạch trừ offset ( offset null)

- Op.amp có mạch trừ offset bên trong (u741)

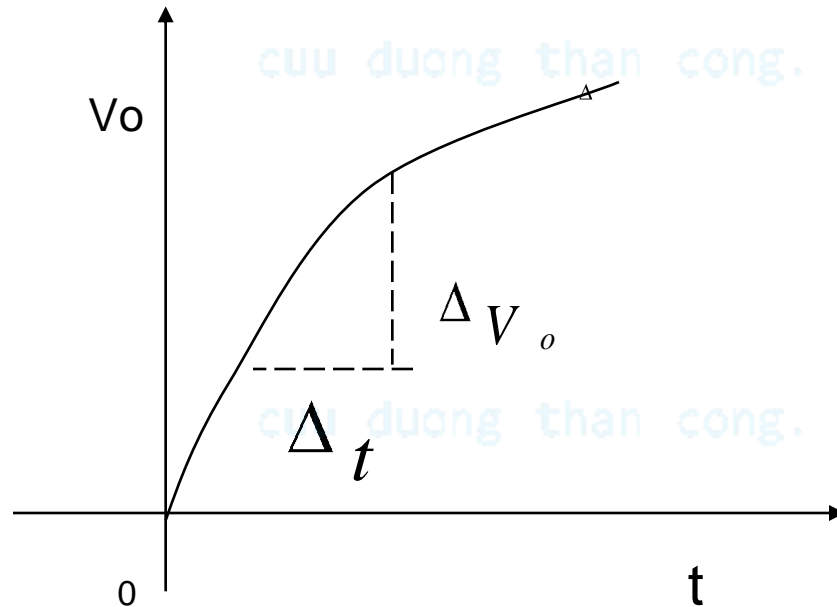


- Điều chỉnh biến trở để có  $V_{oo} = 0V$  khi  $V_i = 0V$

# Tốc độ tăng thế - SR ( Slew rate)

- SR là trị số cực đại của điện thế ngõ ra mạch khuếch đại có thay đổi theo thời gian :

$$SR = \frac{\Delta V_o}{\Delta t} \quad V / \mu s$$



# Một số thông số khác

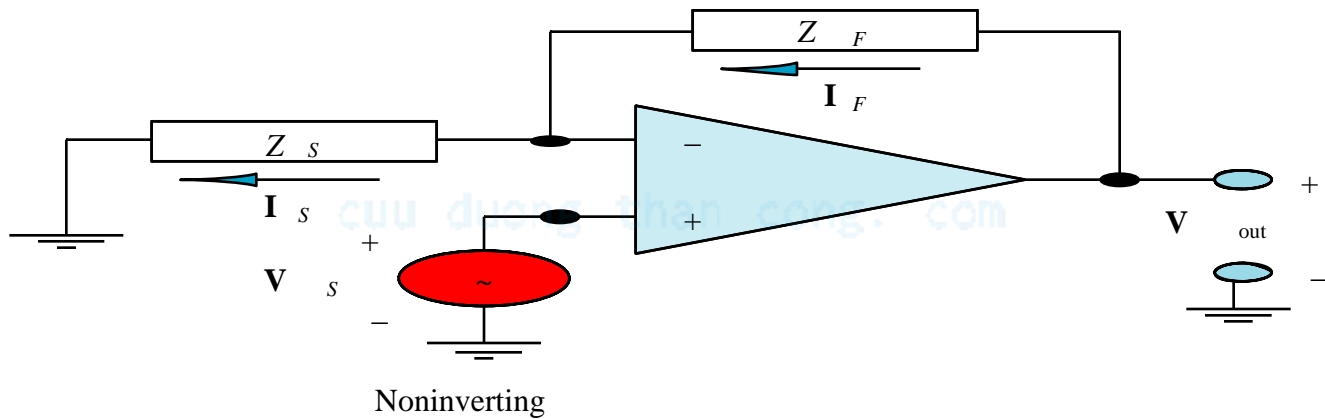
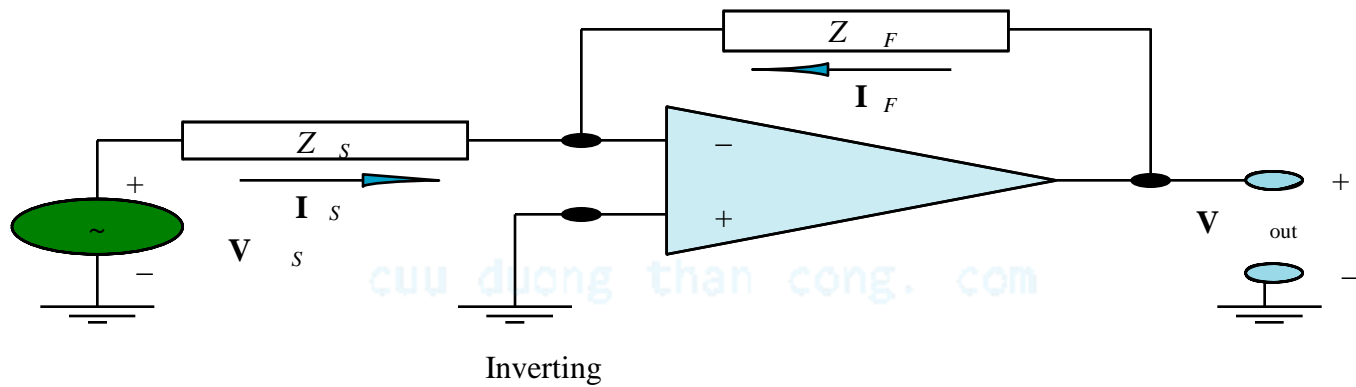
- Điện thế ngõ ra bão hoà :  $+V_{obh}=V_{omax}=+13V$ ,  
 $-V_{obh}=V_{omin} = - (13V)$
- Dòng ra cực đại:  $I_{omax} = 25mA$ .
- Điện thế cung cấp:  $V^+=+15V$ ,  $V^- = -15V$
- Dòng cung cấp  $I_s = 2,8mA$
- Công suất tiêu tán  $P_D = 500mW$
- Nhiệt độ làm việc: 0 đến  $75^{\circ}C$ ;  $-25^{\circ}C$  đến  $85^{\circ}C$ ;  
 $-55^{\circ}C$  đến  $125^{\circ}C$
- Hệ số nén điện điện thế nguồn cung cấp

$$PSRR = \frac{\Delta V_{IS}}{\Delta V_{CC}} \mu_{V/V} = 30 - 150$$

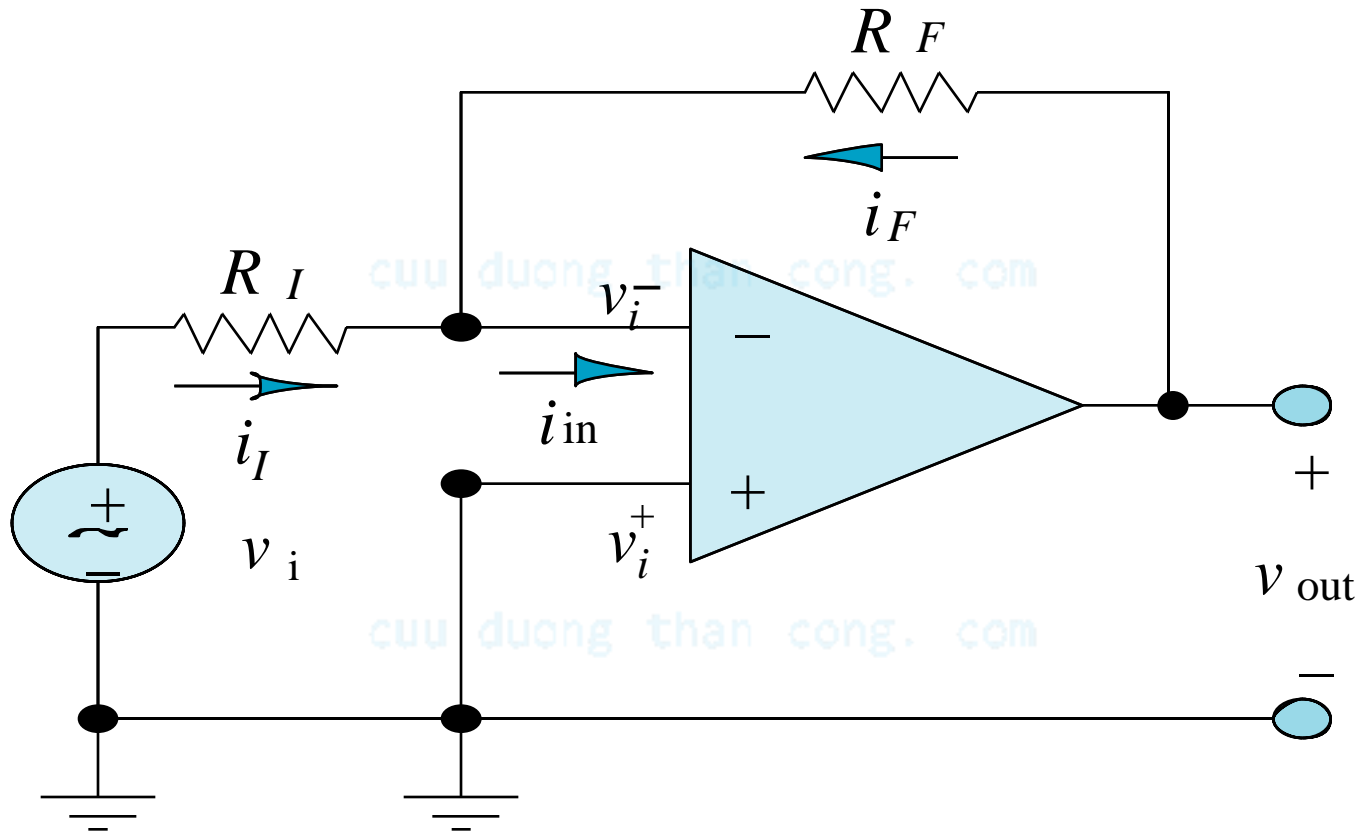
### 3. Công thức cơ bản của Op.amp.

- Để tránh tín hiệu ra bão hòa khi tín hiệu vào quá nhỏ , không dùng cách khuếch đại vòng hở khi không cần thiết.
- Để tín hiệu vào lớn và tín hiệu ra không bị bão hòa ( không bị xén) → **khuếch đại hồi tiếp** ( cho 1 phần tín hiệu ra vào lại ngõ vào)
- Có 2 cách mắc cơ bản:
  - Khuếch đại đảo dấu (đảo pha )
  - Khuếch đại không đảo dấu ( không đảo.)

# Hai mạch khuếch đại cơ bản của Op.amp.



## a. Khuếch đại đảo (đổi dấu)





- Do tổng trở vào rất lớn, nên xem dòng  $i_{in} = 0$ , ta có : (  $i_1 = i_I$  ,  $i_2 = i_F$  ,  $R_1 = R_I$  ,  $R_2 = R_F$  )

$$i_i = i_f + i_n = 0 \rightarrow i_i = i_f$$

một khác :

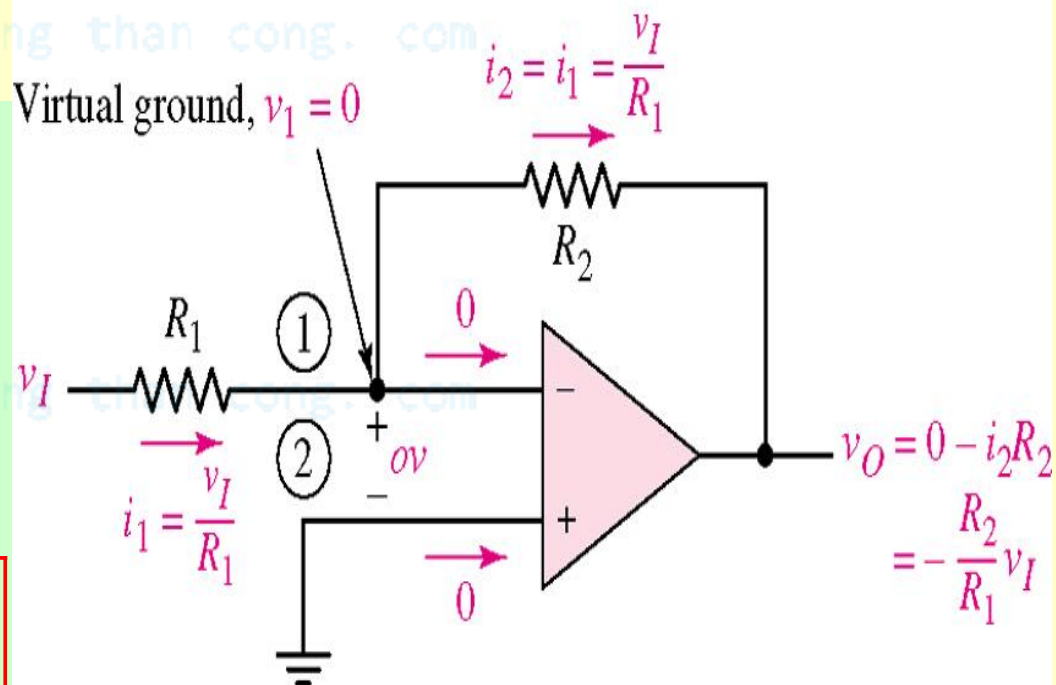
$$V^+ = 0 \text{ V} \rightarrow V^- = 0 \text{ V (mass ảo)}$$

hay:

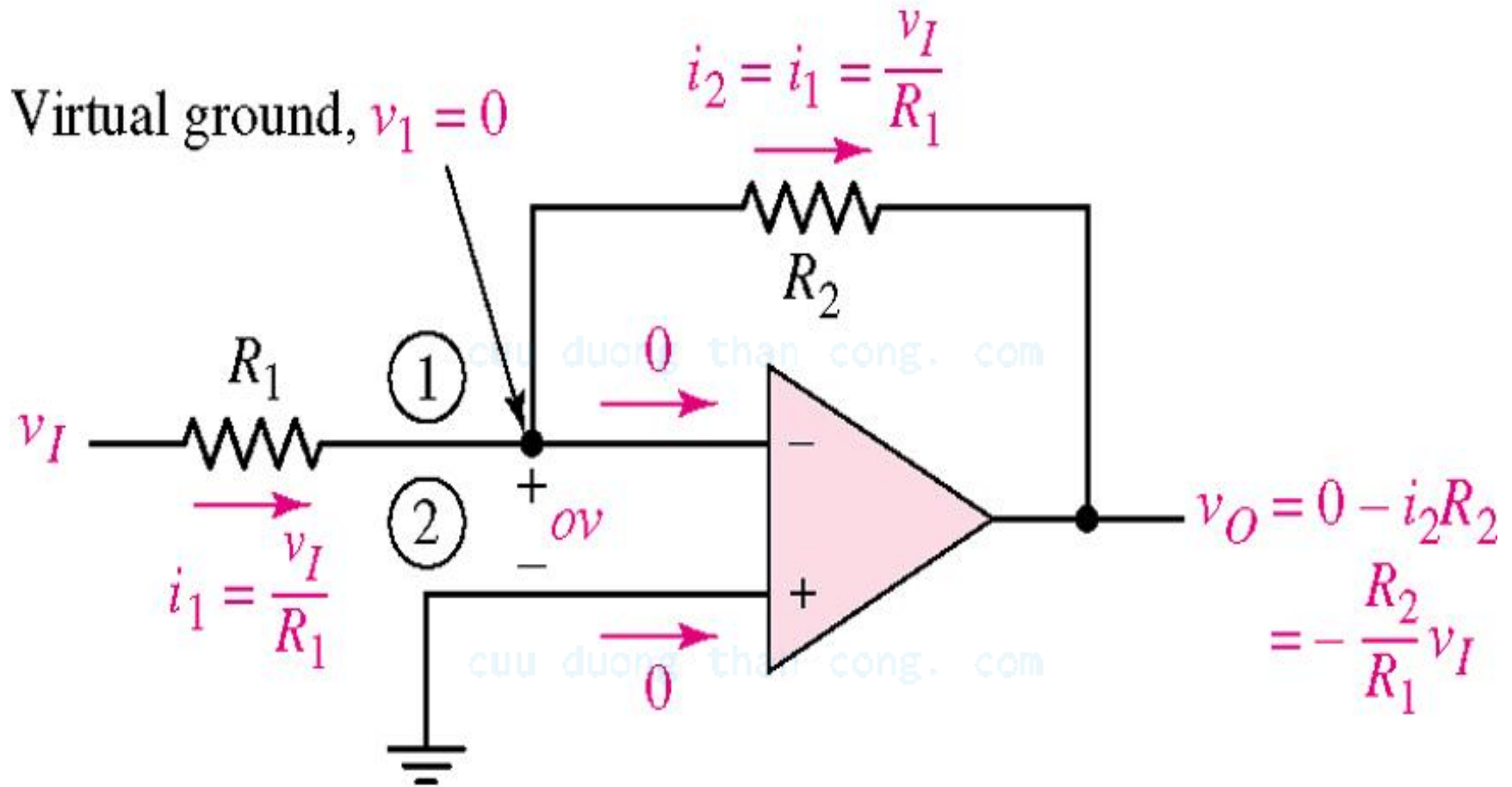
$$\frac{V_i - V^-}{R_I} = \frac{V^- - V_o}{R_F} \Rightarrow$$

$$\frac{V_i}{R_I} = - \frac{V_o}{R_F} \Rightarrow$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = - \frac{R_F}{R_I} \quad (I)$$

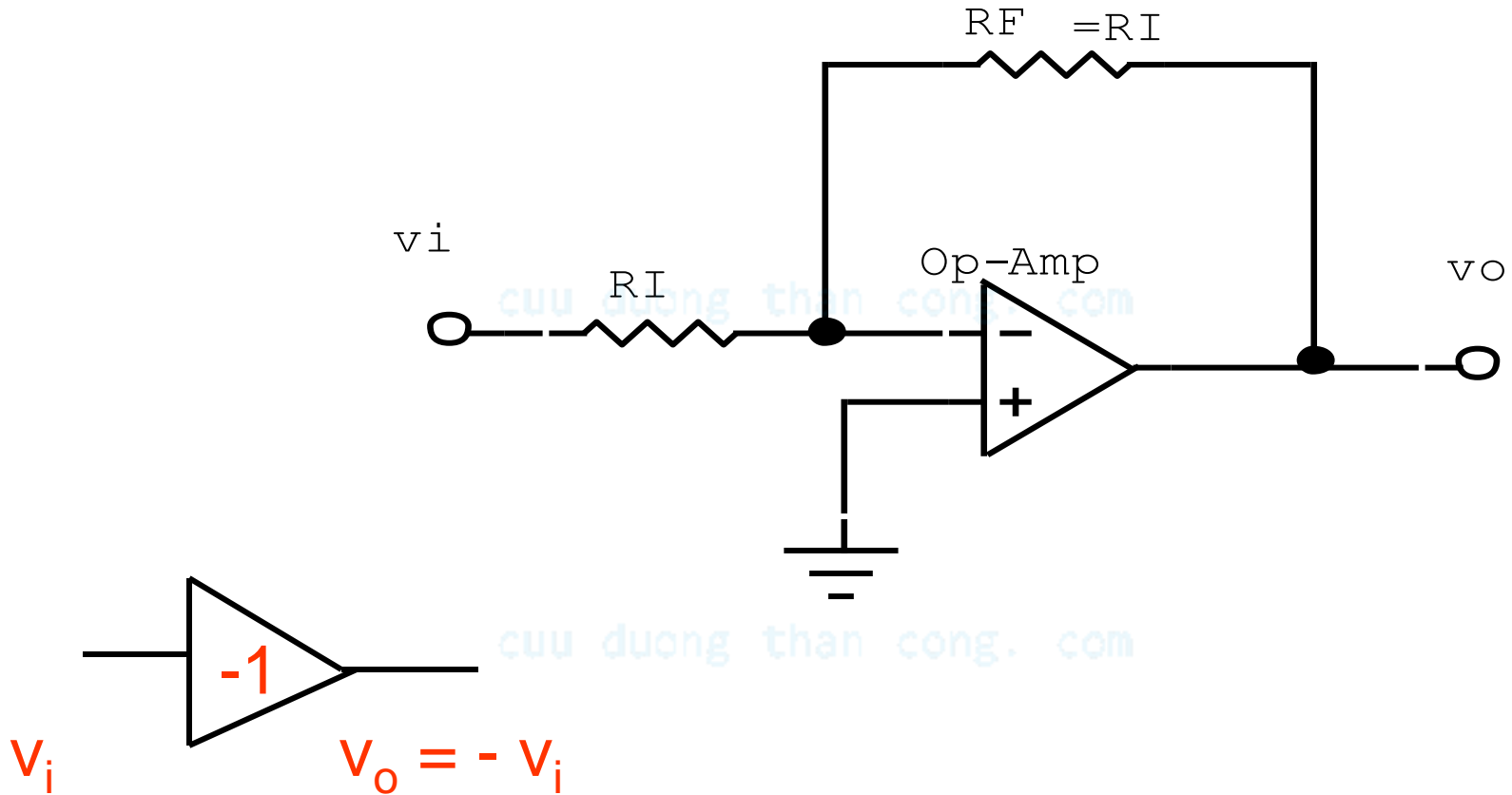


# Giải gần đúng mạch khuếch đại đảo

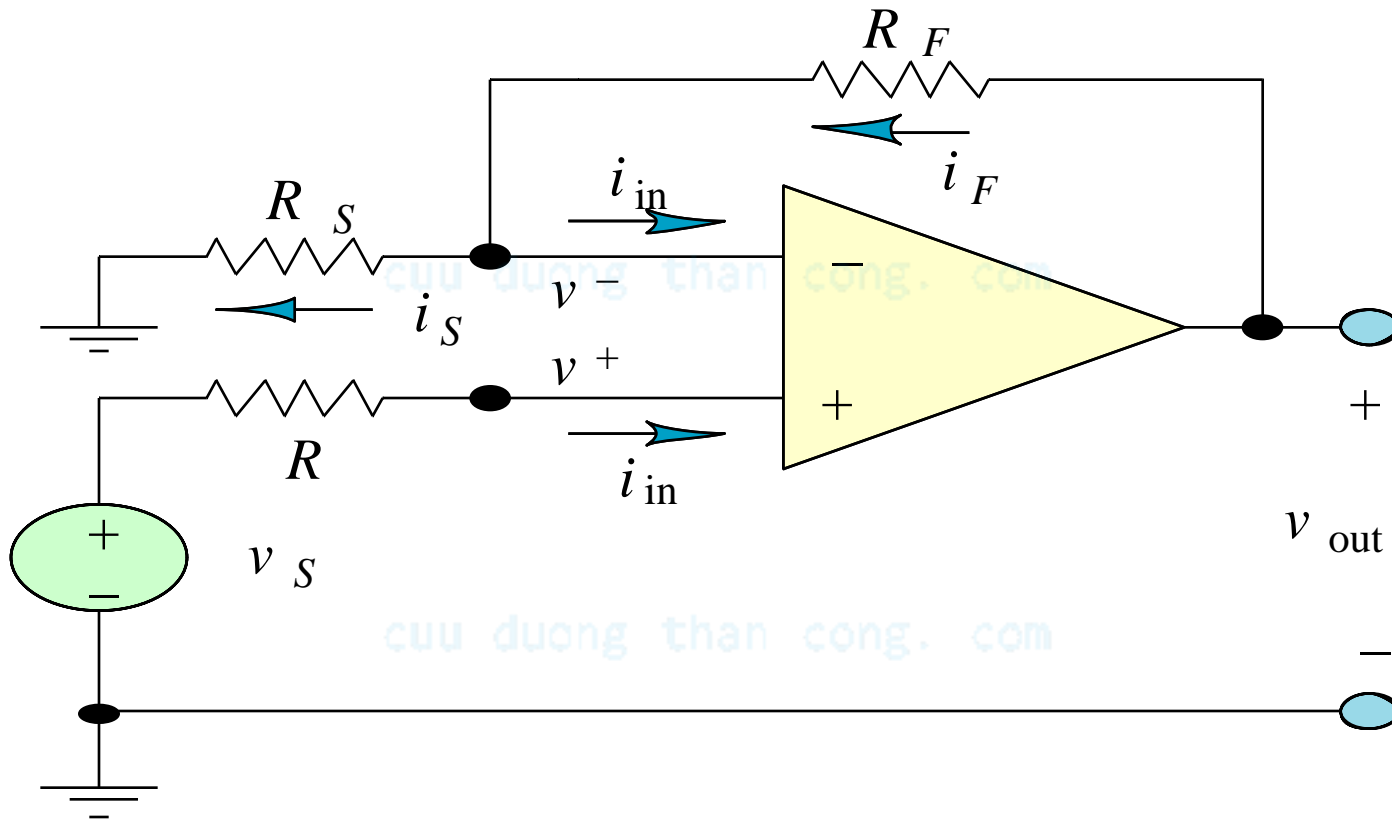


- Mạch đảo dấu

Khi cho  $R_F = R_I \rightarrow Av = -1 \rightarrow v_o = -v_i$

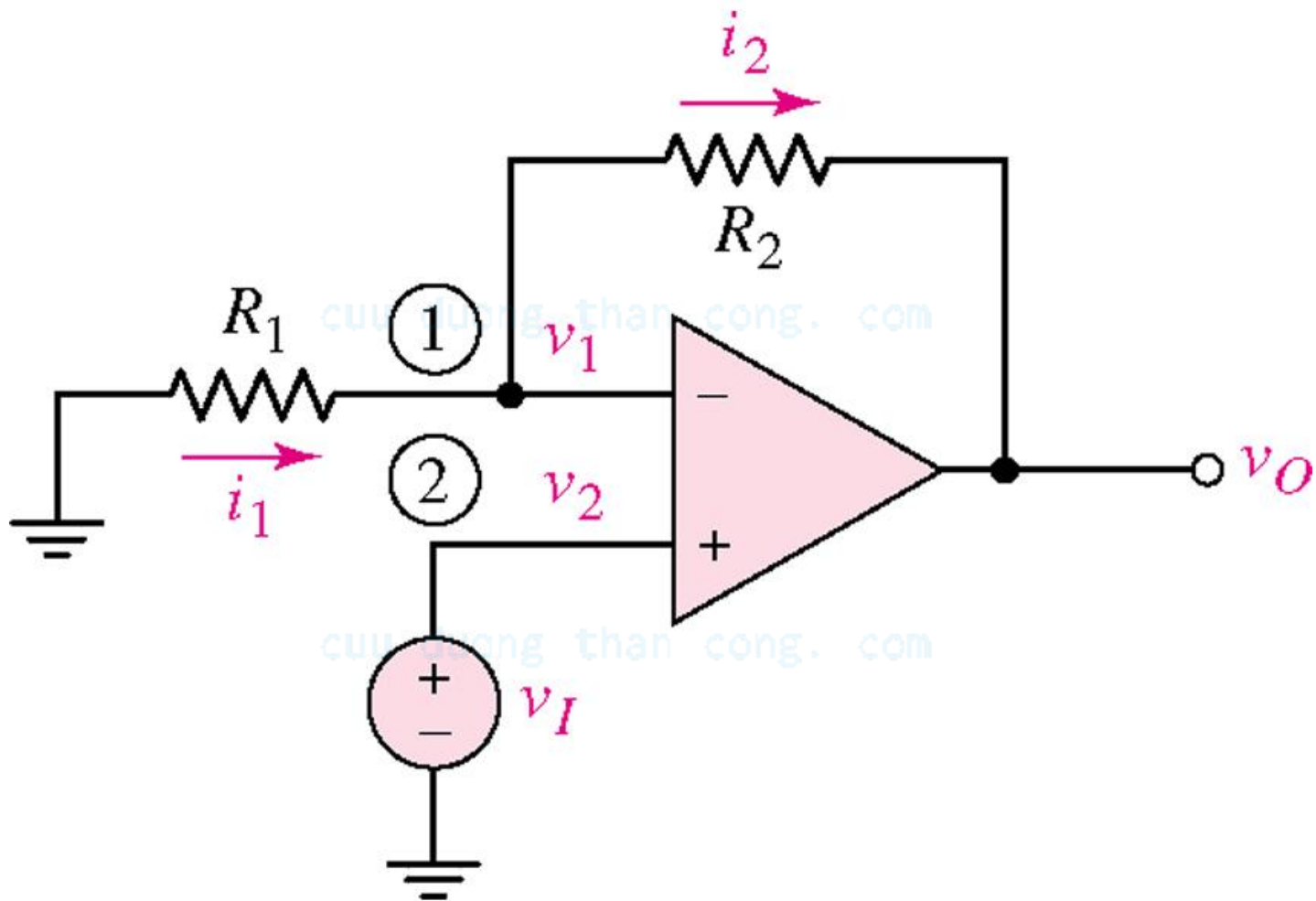


## b. Mạch khuếch đại không đổi dấu

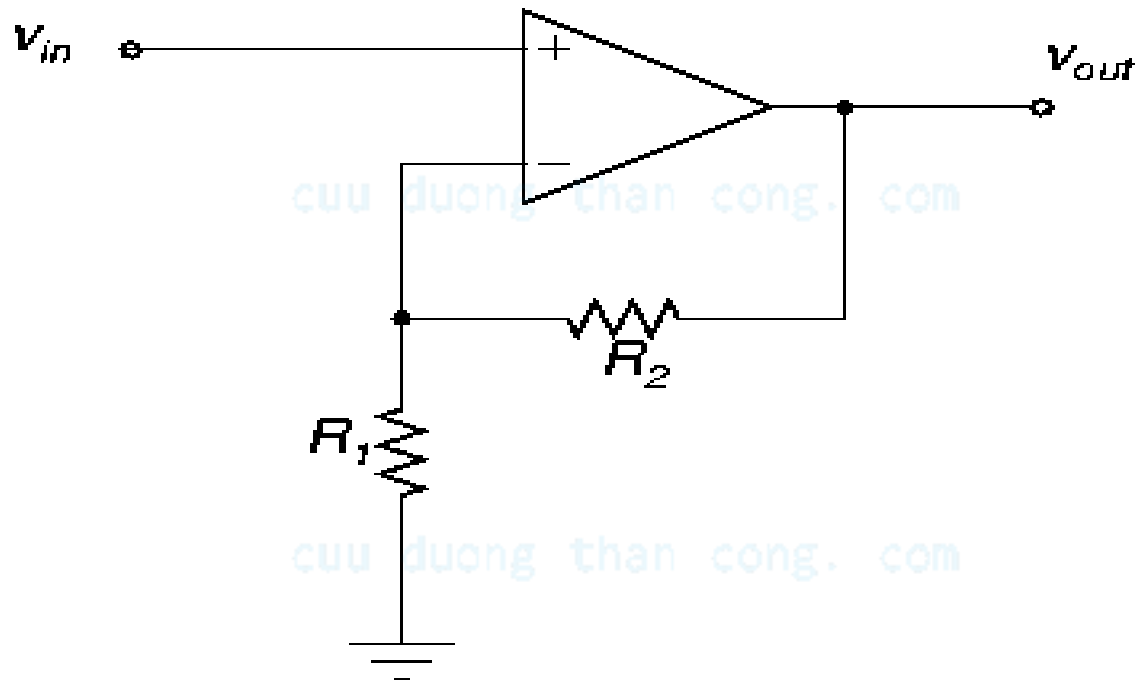


# Mạch khuếch đại không đảo

Với  $R_2 = R_F$ ,  $R_1 = R_I$



- Dạng khác của mạch khuếch đại không đảo



- Chứng minh:

Do  $R_{in}$  rất lớn , nên  $i_{in} = 0$

$$i_I = i_F + i_{in} = i_F$$

và : ( $R_1 = R_I$ ,  $R_2 = R_F$ )

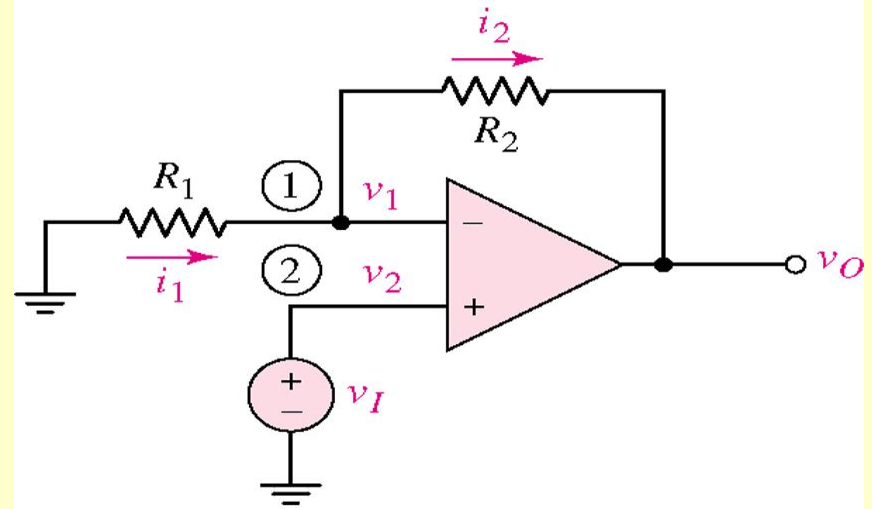
$$V^- = V^+ = V_i$$

hay:

$$\frac{0 - V^-}{R_I} = \frac{V^- - V_o}{R_F} \Rightarrow -\frac{V_i}{R_I} = \frac{V_i - V_o}{R_F} \Rightarrow$$

$$\frac{V_o}{R_F} = V_i \left( \frac{1}{R_I} + \frac{1}{R_F} \right) \Rightarrow \frac{V_o}{R_F} = V_i \left( \frac{R_I + R_F}{R_I R_F} \right) \Rightarrow$$

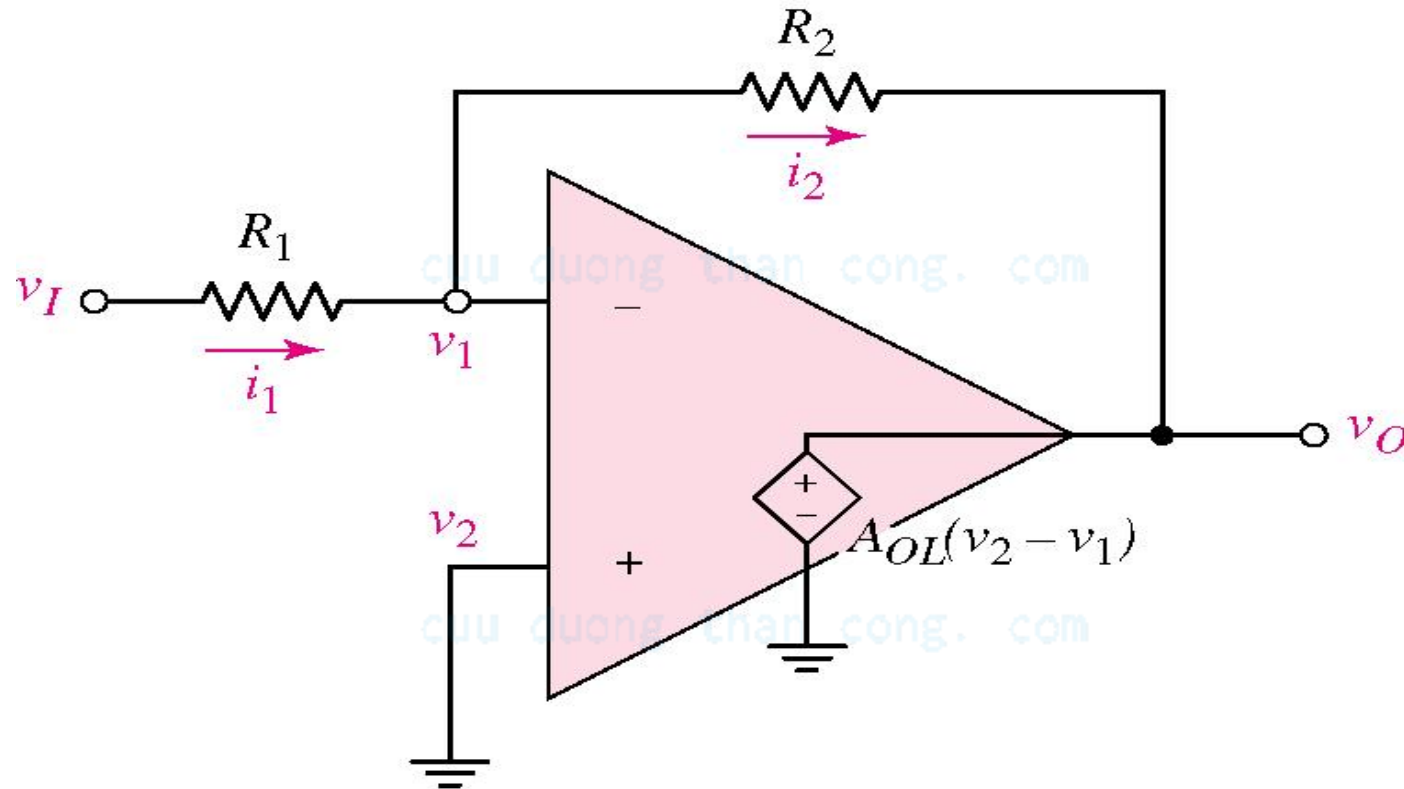
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_F}{R_I} \quad (II)$$



# Giải đây đủ:

## a. Mạch khuếch đại đảo

Xét cả  $R_i$  và nguồn  $A_v (v^+ - v^-) = -A_v v^-$



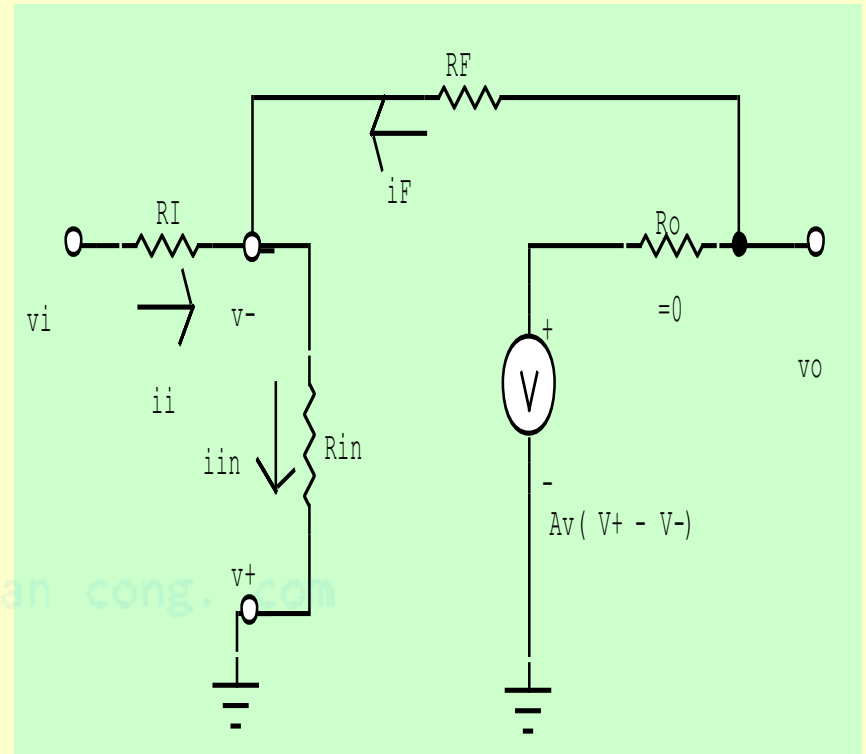


- Mạch tương đương:**

$$i_i + i_F = i_{in}$$

$$\frac{V_i^- - V^-}{R_I} + \frac{V_o^- - V^-}{R_F} = \frac{V^-}{R_{in}} \Rightarrow$$

$$\frac{V_o}{R_F} = -\frac{V_i}{R_I} + V^- \left( \frac{1}{R_{in}} + \frac{1}{R_F} + \frac{1}{R_I} \right)$$



Mà :  $V_+ = 0V$  ;  $R_{in}$  rất lớn

và :  $V_o = -A_v v^-$

$$\frac{V_o}{R_F} = -\frac{V_i}{R_I} - \frac{V_o}{A_v} \left( \frac{1}{R_F} + \frac{1}{R_I} \right)$$

- Hay:

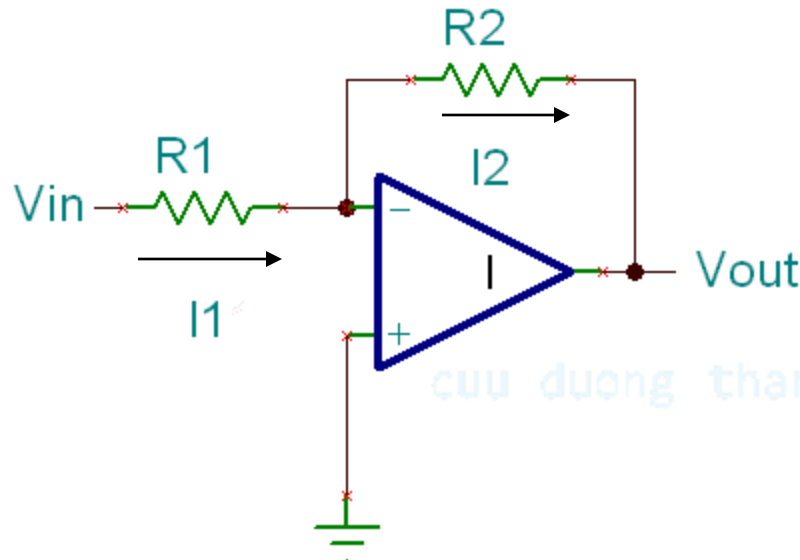
$$V_o \left[ \frac{1}{R_F} - \frac{1}{A_v} \left( \frac{1}{R_F} + \frac{1}{R_I} \right) \right] = - \frac{V_i}{R_I}$$

$$V_o \left[ \frac{1}{R_F} - \frac{1}{A_v} \left( \frac{R_I + R_F}{R_F R_I} \right) \right] = - \frac{V_i}{R_I}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = - \frac{1}{R_I} \left( \frac{1}{\frac{1}{R_F} - \frac{1}{A_v} \left( \frac{R_I + R_F}{R_I R_F} \right)} \right)$$

- Khi  $A_v \rightarrow \infty \Rightarrow A_v = - \frac{R_F}{R_I}$

# OPAMP: INVERTING AMPLIFIER



1.  $V_- = V_+$
2. As  $V_+ = 0$ ,  $V_- = 0$
3. As no current can enter  $V_-$  and from Kirchhoff's 1st law,  $I_1 = I_2$ .

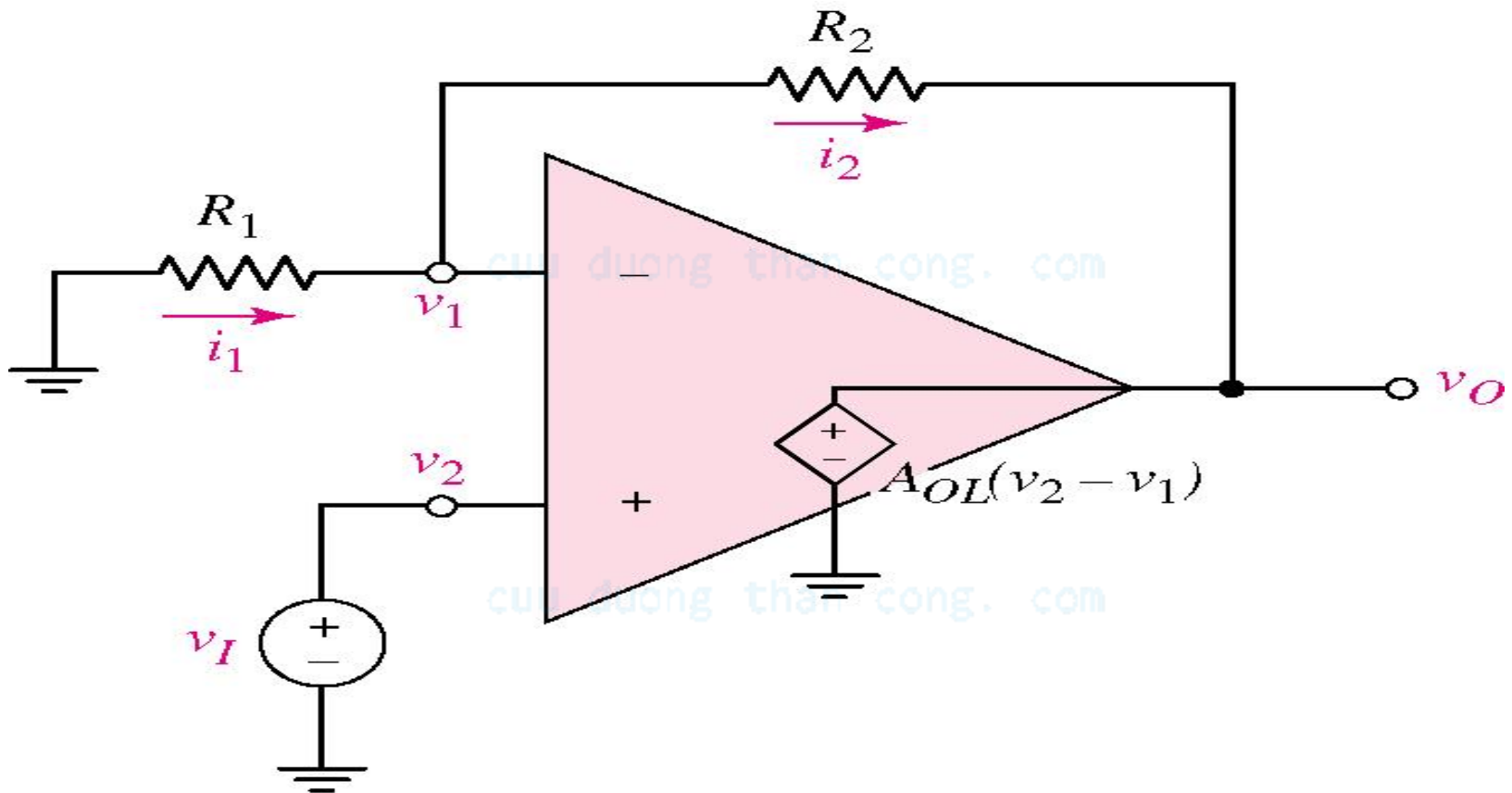
4.  $I_1 = (V_{IN} - V_-)/R_1 = V_{IN}/R_1$

5.  $I_2 = (0 - V_{OUT})/R_2 = -V_{OUT}/R_2 \Rightarrow V_{OUT} = -I_2 R_2$

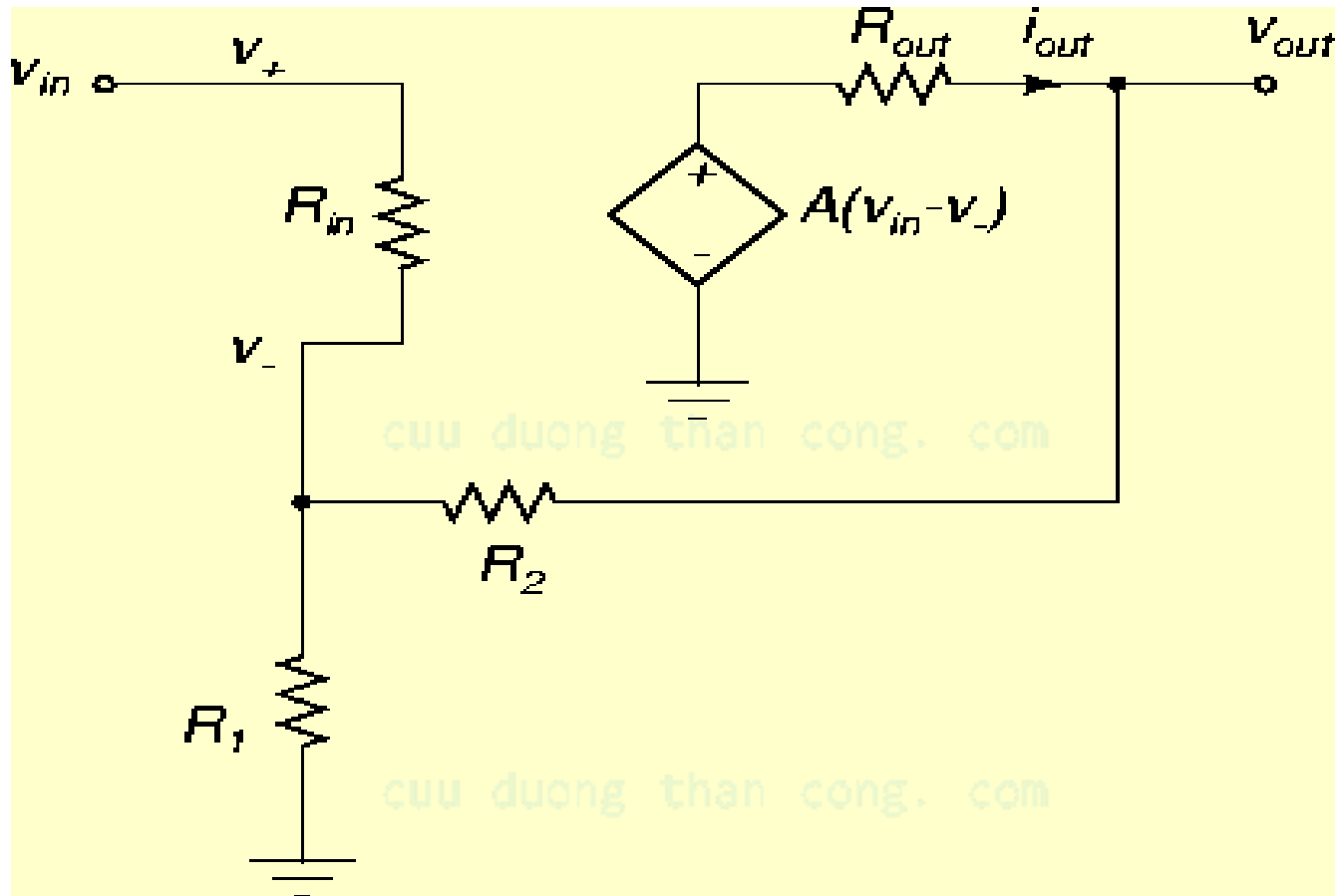
6. From 3 and 6,  $V_{OUT} = -I_2 R_2 = -I_1 R_2 = -V_{IN} R_2 / R_1$

7. Therefore  $V_{OUT} = (-R_2/R_1)V_{IN}$

## b. Mạch khuếch đại không đảo



- Mạch tương đương:



- Công thức

$$\frac{\bar{v}_{in} - v_-}{R_{in}} + \frac{0 - v_-}{R_1} + \frac{v_{out} - v_-}{R_2} = 0$$

$$v_- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_{out} + \left( \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right) \frac{\bar{v}_{in} - v_-}{R_{in}}.$$

$$v_{out} = A(\bar{v}_{in} - v_-) - i_{out} R_{out}.$$

- Do  $R_o$  rất nhỏ  $\approx 0$  và  $R_{in}$  rất lớn so với  $R_1$  và  $R_2$ :

$$v_- \approx \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_{out}$$

$$v_{out} \approx A(\bar{v}_{in} - v_-)$$

$$v_{out} \approx A\bar{v}_{in} - A \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_{out}$$

- **Kết quả:**

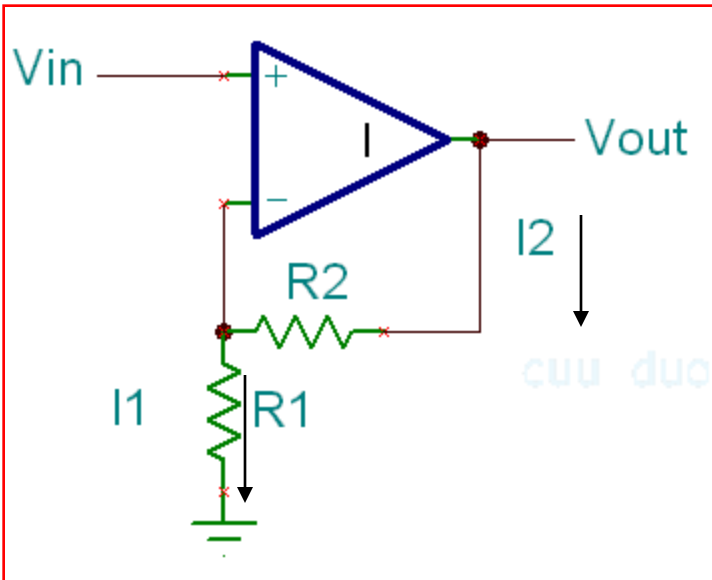
$$v_{out} \approx \frac{A}{1 + A \frac{R_1}{R_1 + R_2}} \bar{v}_{in}$$

$$\begin{aligned} A_v = \frac{V_o}{V_i} &= \frac{A_v}{1 + \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) A_v} = \frac{A_v}{\left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) A_v \left[ 1 + \left( \frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) \frac{1}{A_v} \right]} = \\ &= \frac{1}{\left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \left[ 1 + \left( \frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) \frac{1}{A_v} \right]} = \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \left[ \frac{1}{1 + \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \frac{1}{A_v}} \right] \end{aligned}$$

- **Khi  $A_v$  rất lớn ta có trường hợp lý tưởng:**

$$\boxed{A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}} \Leftrightarrow \boxed{A_v = 1 + \frac{R_F}{R_I}} \quad \text{với: } R_I = R_1 \text{ và } R_F = R_2$$

# OPAMP: NON - INVERTING AMPLIFIER



1.  $V_- = V_+$
2. As  $V_+ = V_{IN}$ ,  $V_- = V_{IN}$
3. As no current can enter  $V_-$  and from Kirchhoff's 1st law,  $I_1 = I_2$ .

4.  $I_1 = V_{IN}/R_1$

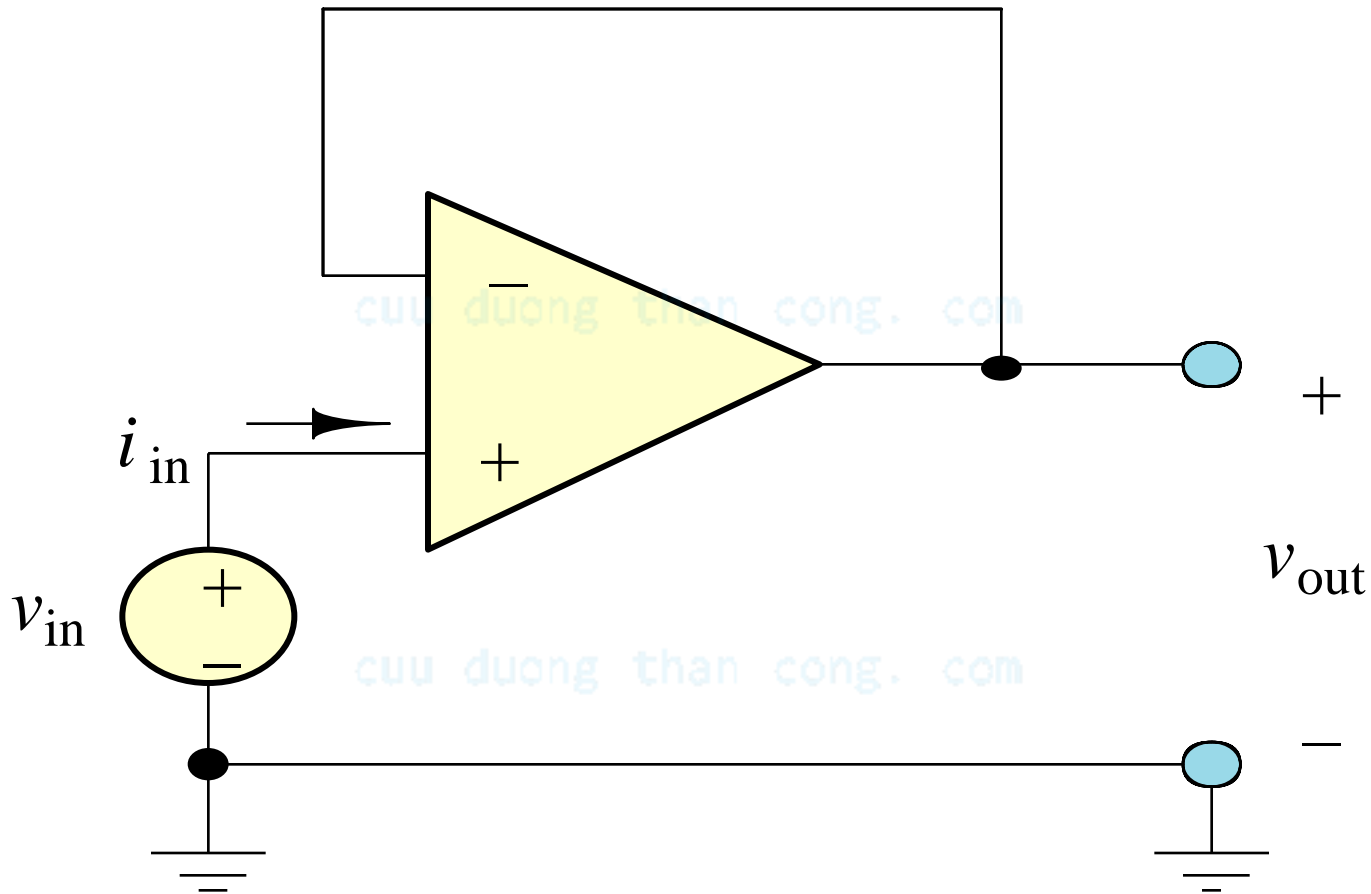
5.  $I_2 = (V_{OUT} - V_{IN})/R_2 \Rightarrow V_{OUT} = V_{IN} + I_2 R_2$

6.  $V_{OUT} = I_1 R_1 + I_2 R_2 = (R_1 + R_2) I_1 = (R_1 + R_2) V_{IN} / R_1$

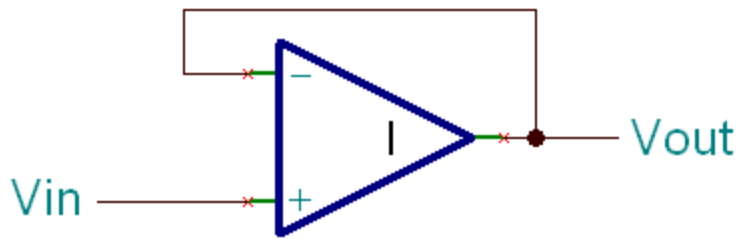
7. Therefore  $V_{OUT} = (1 + R_2/R_1) V_{IN}$



# Khuếch đại theo- Mạch đệm ( Buffer)



# OPAMP: VOLTAGE FOLLOWER



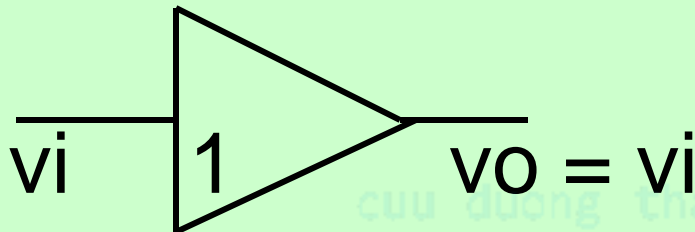
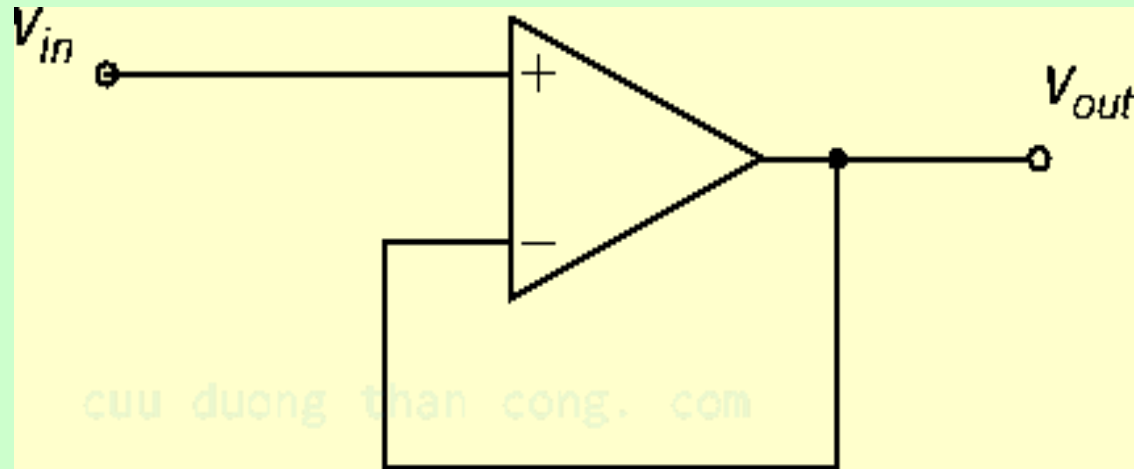
$$V_+ = V_{IN}$$

By virtual ground,  $V_- = V_+$

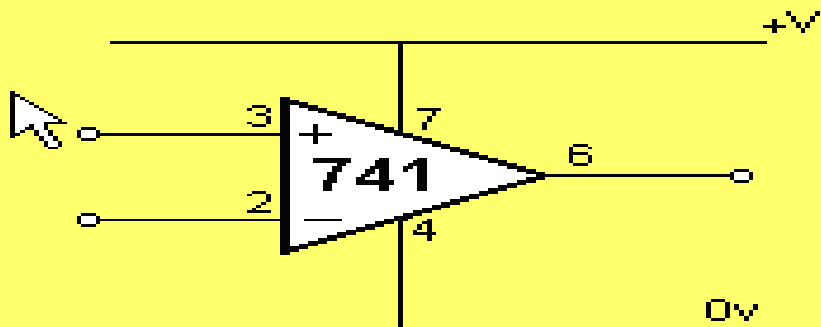
$$\text{Thus } V_{out} = V_- = V_+ = V_{IN} !!!!$$

So what's the point ? The point is, due to the infinite input impedance of an op amp, no current at all can be drawn from the circuit before  $V_{IN}$ . Thus this part is effectively isolated. *Very useful for interfacing to high impedance sensors such as microelectrode, microphone...*

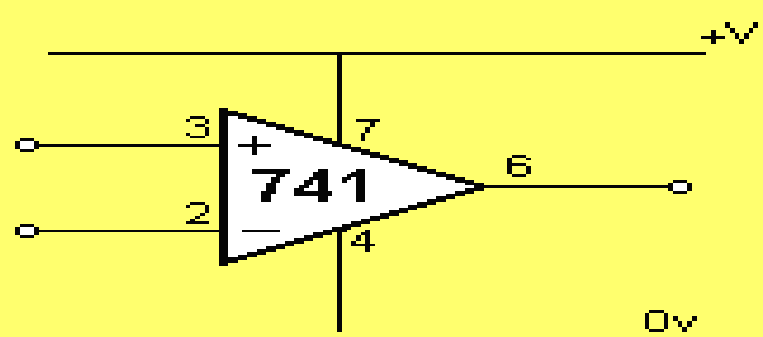
# Khuếch đại theo - Mạch đệm ( Buffer)



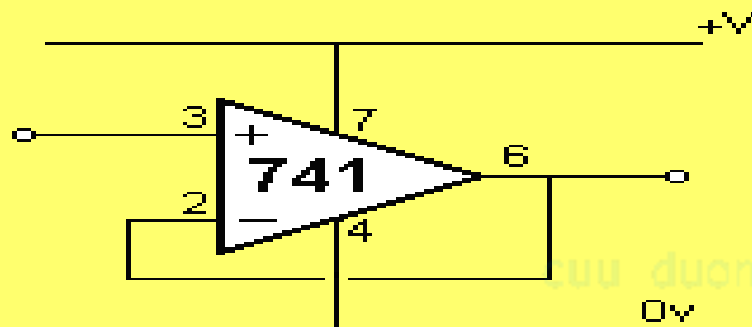
$$R_F = 0 \rightarrow A_v = 1 \rightarrow V_o = V_i$$



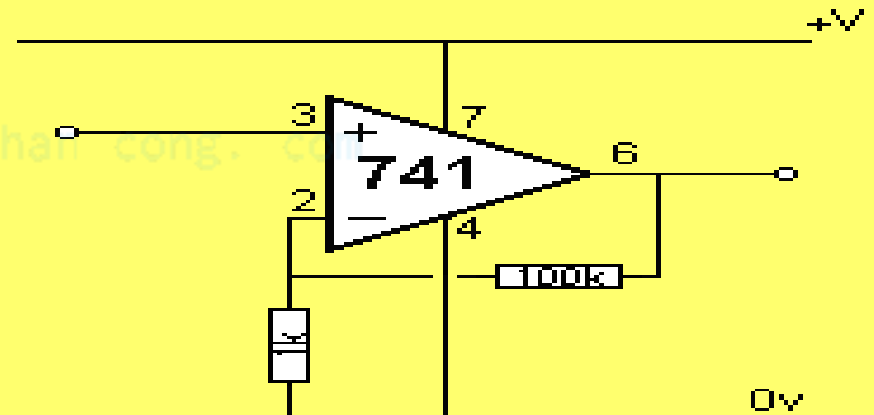
**OP-AMP on single power rails**



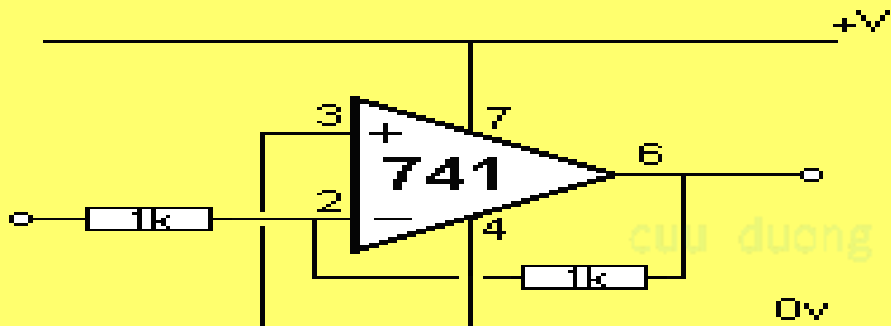
**OP-AMP on dual power rails**



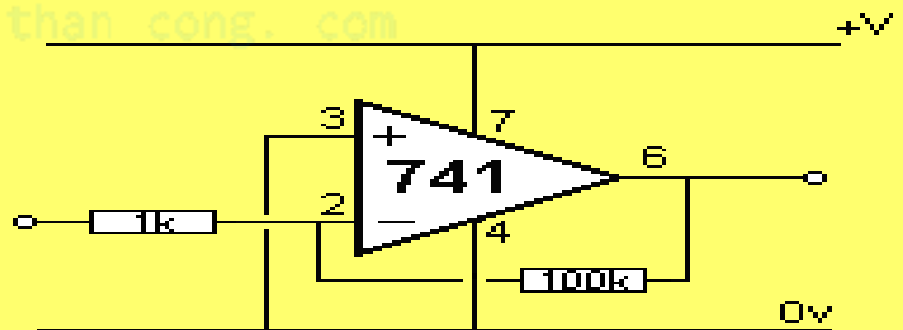
**Non-inverting buffer**



**Non-inverting amplifier**



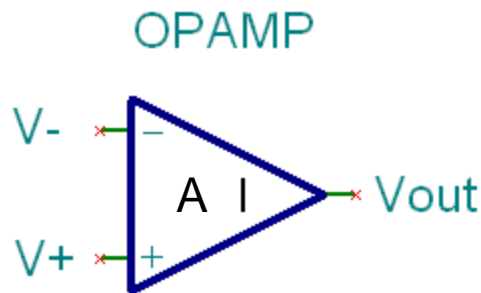
**Inverting buffer**



**Inverting amplifier**

**BASIC  
OP-AMP  
STAGES**

# Operational Amplifier (OP AMP)



$$\begin{aligned} V_o &= (A V_+ - A V_-) \\ &= A (V_+ - V_-) \end{aligned}$$

Basic and most common circuit building device. Ideally,

1. No current can enter terminals  $V_+$  or  $V_-$ . Called *infinite input impedance*.
2.  $V_{out} = A(V_+ - V_-)$  with  $A \rightarrow \infty$
3. In a circuit  $V_+$  is forced equal to  $V_-$ . This is the *virtual ground* property
4. An opamp needs two voltages to power it  $V_{cc}$  and  $-V_{ee}$ . These are called the *rails*.

# OPAMP: ANALYSIS

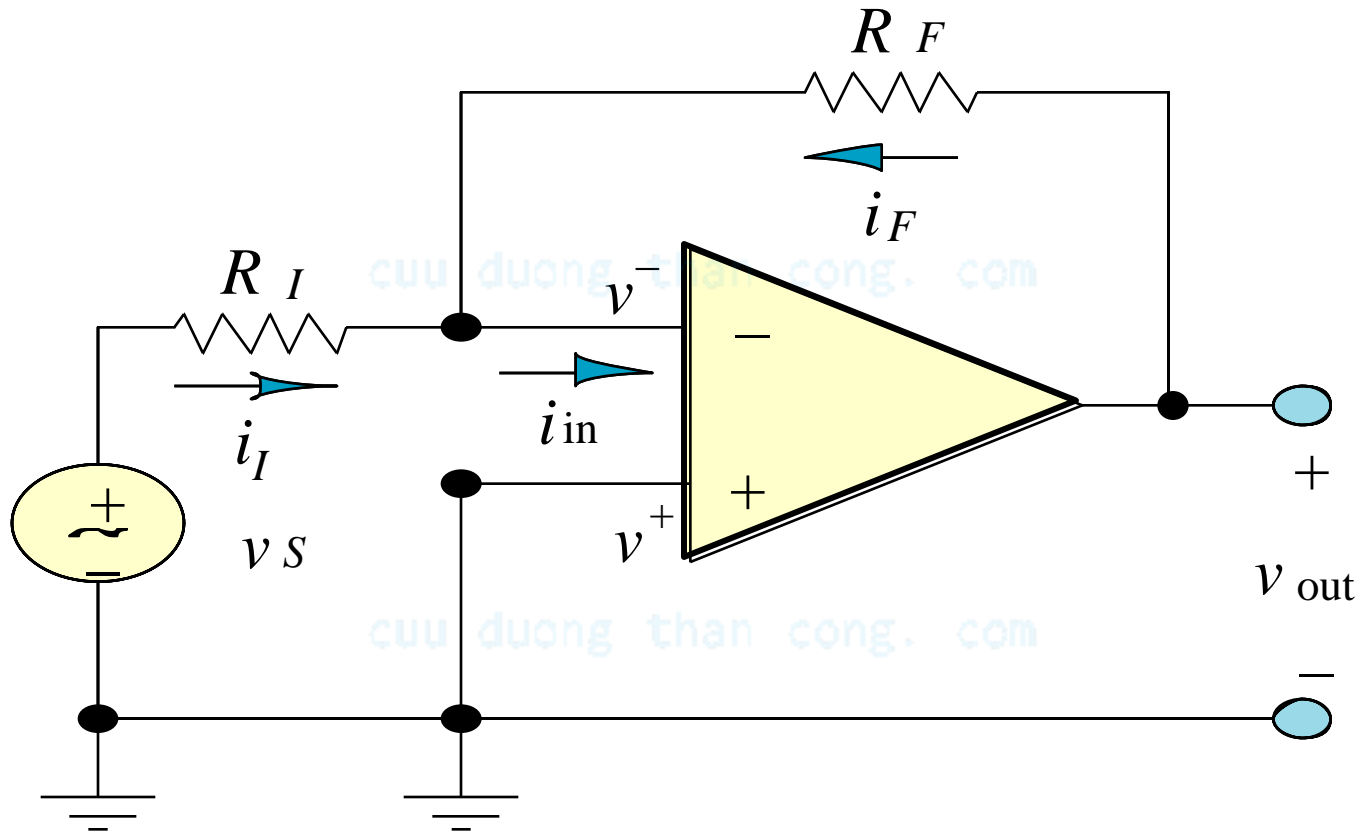
The key to op amp analysis is simple

1. No current can enter op amp input terminals.  
=> Because of infinite input impedance
2. The  $+v_i$  and  $-v_i$  (non-inverting and inverting) inputs are forced to be at the same potential.  
=> Because of infinite open loop gain
3. These property is called "virtual ground"
4. Use the ideal op amp property in all your analyses

# III. Mạch làm toán

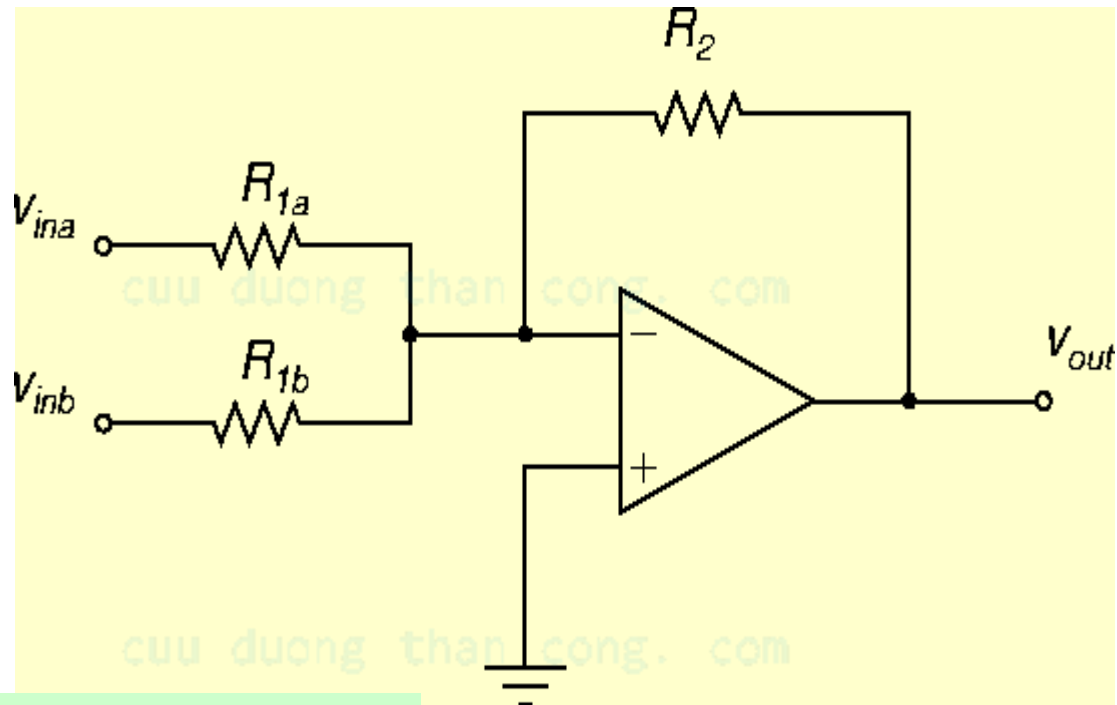
## 1. Mạch nhân

$$v_o = -k v_i \quad \text{với } k = -R_F / R_I$$



## 2. Mạch cộng ( tổng)

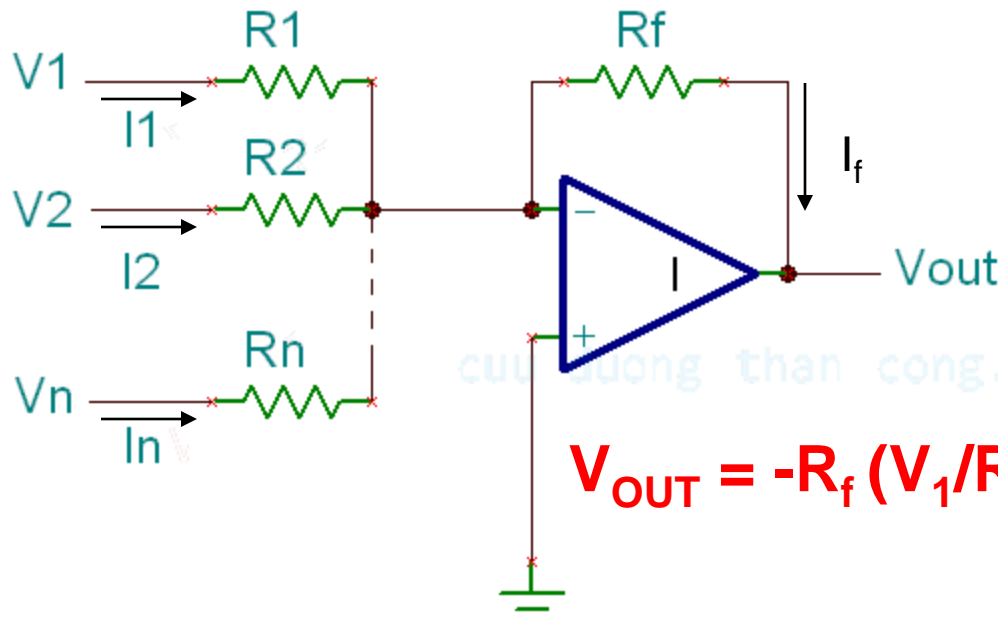
Áp dụng nguyên lý chồng chất, cho:



$$v_{out} = -\frac{R_2}{R_{1a}}v_{ina} - \frac{R_2}{R_{1b}}v_{inb}$$



# SUMMING AMPLIFIER



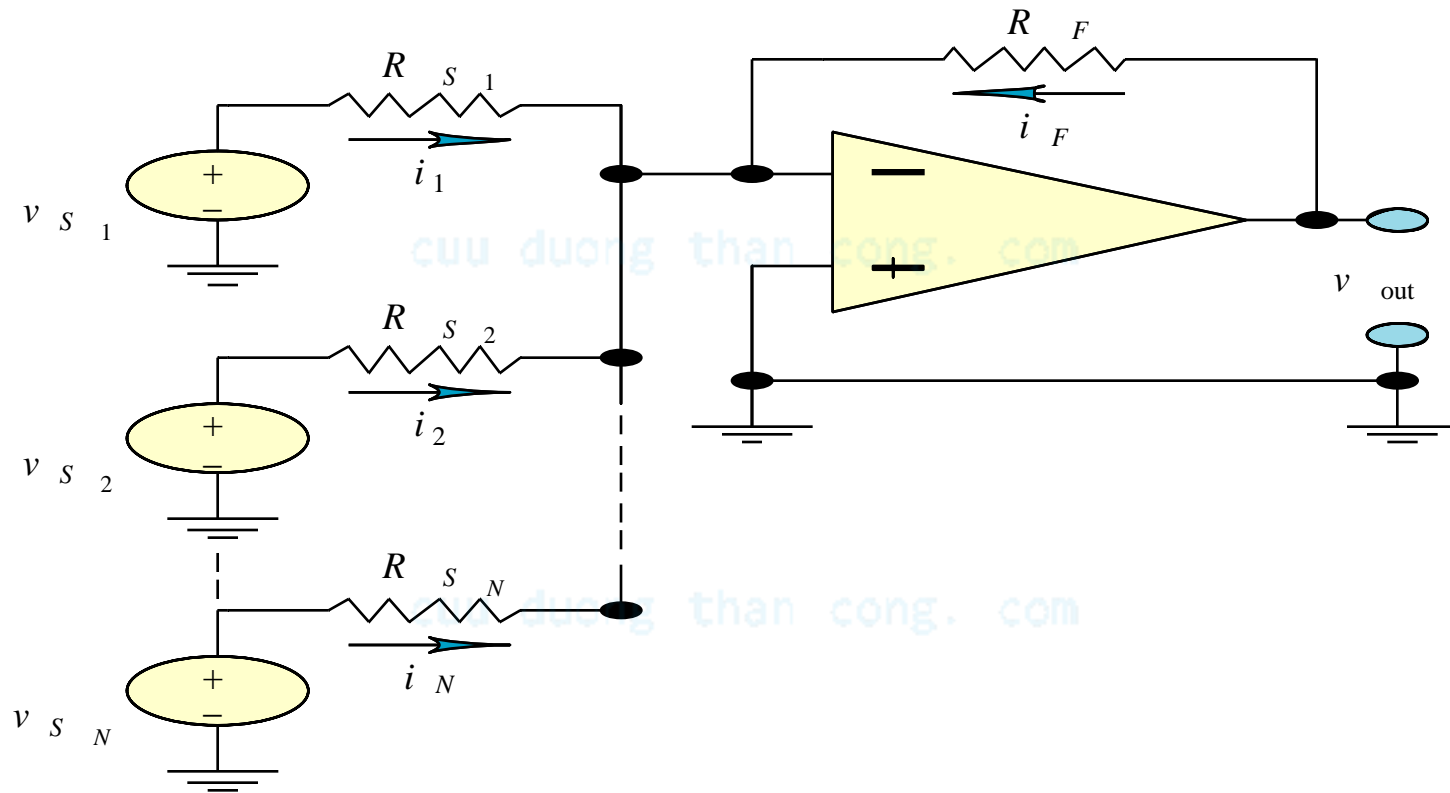
Recall inverting amplifier and  
 $I_f = I_1 + I_2 + \dots + I_n$

$$V_{OUT} = -R_f (V_1/R_1 + V_2/R_2 + \dots + V_n/R_n)$$

Summing amplifier is a good example of analog circuits serving as analog computing amplifiers (analog computers)!

Note: analog circuits can add, subtract, multiply/divide (using logarithmic components, differentiate and integrate - in real time and continuously.

# Khuếch đại cộng 3 điện thế



- Do:  $V^+ = V^- = 0V$ , ta có :

$$I_1 + I_2 + I_3 = -I_F.$$

$$\frac{V_1 - V^-}{R_1} + \frac{V_2 - V^-}{R_2} + \frac{V_3 - V^-}{R_3} = - \frac{V_o - V^-}{R_F}$$

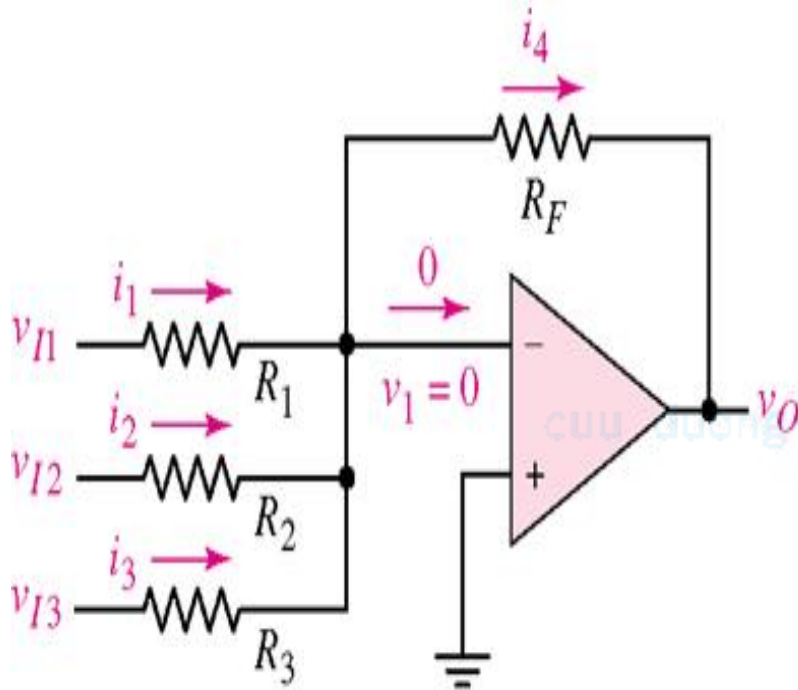
$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} = - \frac{V_o}{R_F} \Rightarrow$$

$$V_o = - R_F \left( \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right)$$

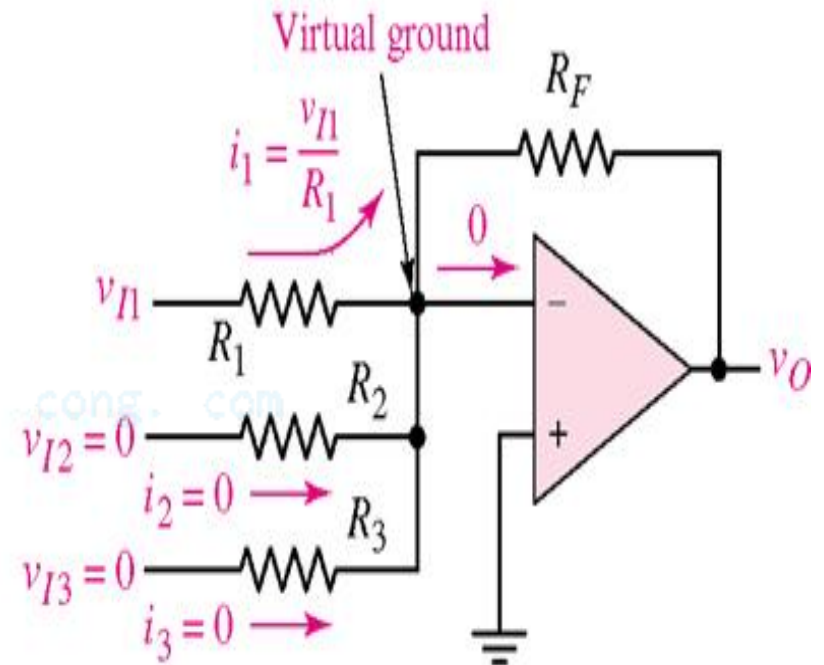
Nếu có :  $R_1 = R_2 = R_3 = R_I$  thì:

$$V_o = - R_F \left( \frac{V_1}{R_I} + \frac{V_2}{R_I} + \frac{V_3}{R_I} \right) = - \frac{R_F}{R_I} V_1 + V_2 + V_3 = -k V_1 + V_2 + V_3$$

# Mạch cộng

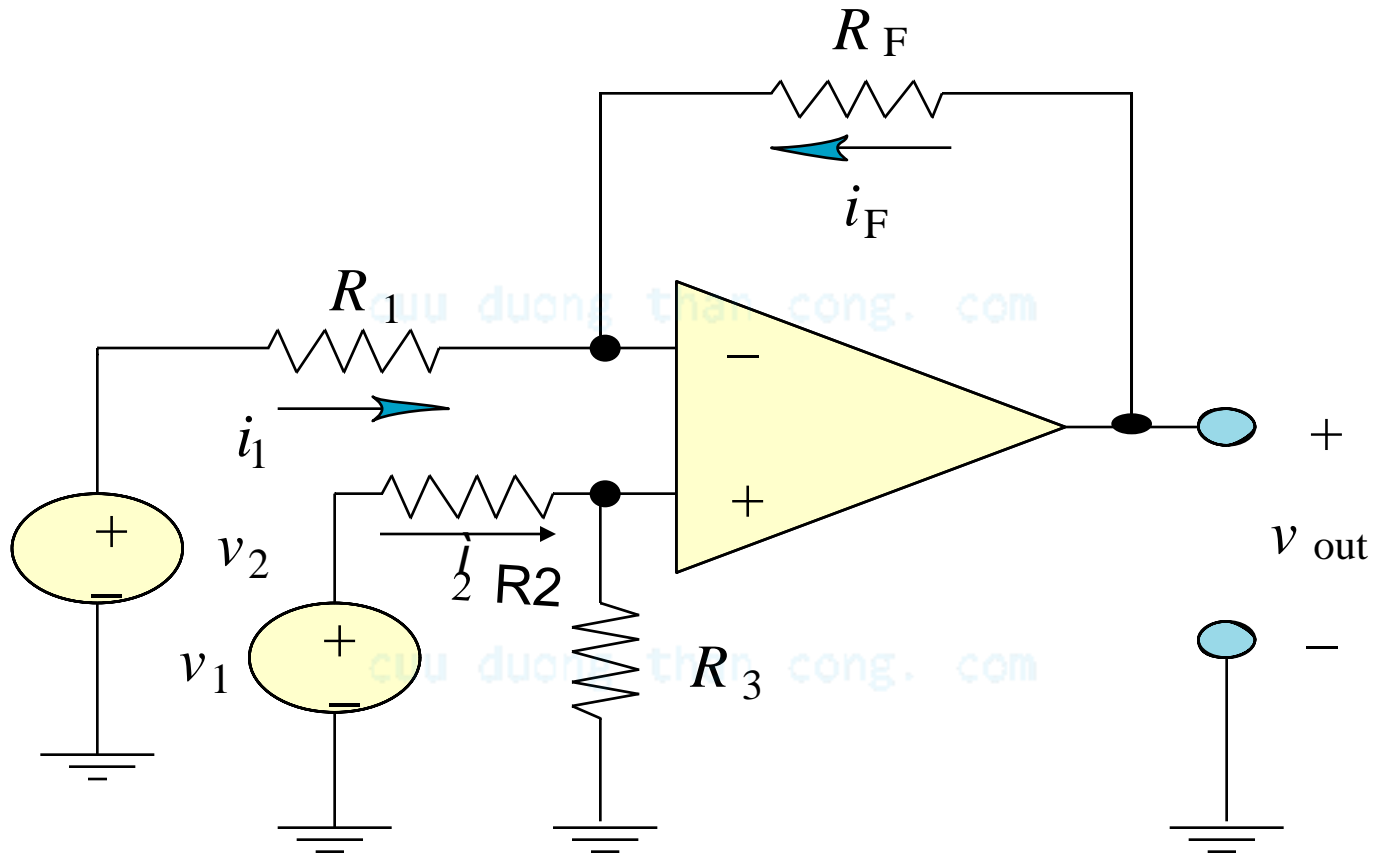


(a)

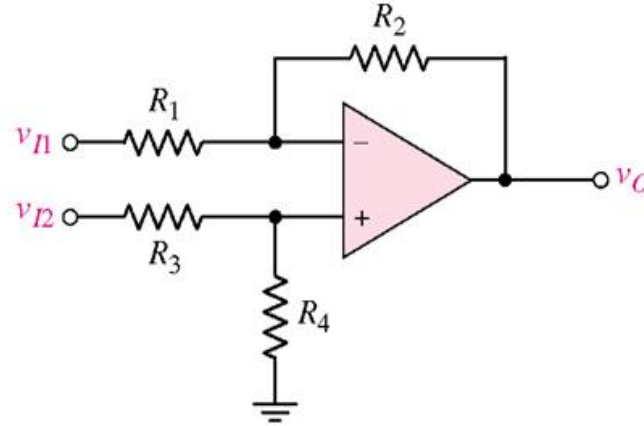


(b)

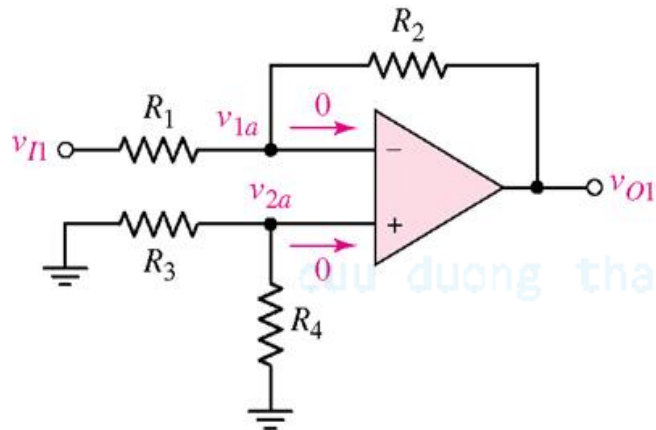
### 3. Mạch trừ - Mạch khuếch đại vi sai



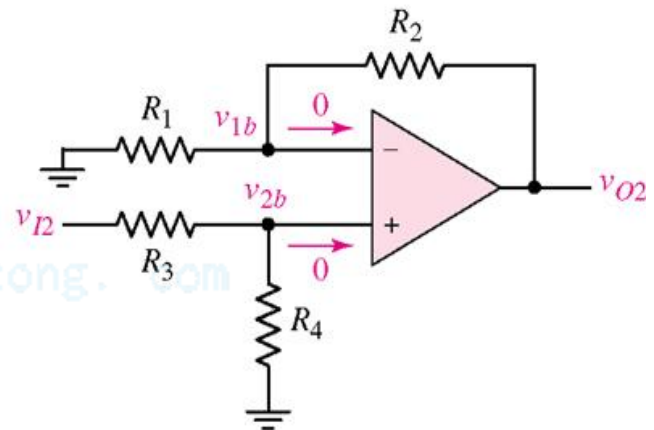
# Theo nguyên lý chồng chất ta có:



cuu duong th (a) cong. com



(b)



(c)

## Áp dụng nguyên lý chồng chất:

- Cho  $V_1 = 0$ , tín hiệu vào là  $V_2$  và mạch là mạch khuếch đại đảo, nên ngõ ra cho bởi :

$$V_{o2} = - \frac{R_F}{R_1} V_1 \quad (1)$$

- Khi cho  $V_2 = 0V$  và tín hiệu vào là  $V_1$  và mạch là mạch khuếch đại không đảo, nên ngõ ra cho bởi:

$$V_{o1} = \left( 1 + \frac{R_F}{R_1} \right) V^+ = \left( 1 + \frac{R_F}{R_1} \right) \left( \frac{R_3}{R_3 + R_2} \right) V_1 \quad (2)$$

- Vậy:

$$V_o = V_{o1} + V_{o2} = \left( 1 + \frac{R_F}{R_1} \right) \left( \frac{R_3}{R_3 + R_2} \right) V_1 - \frac{R_F}{R_2} V_2 = k_1 V_1 - k_2 V_2$$

Ta có  $V_o$  là hiệu số  $V_1$  và  $V_2$ .

- Nếu chọn  $R_1 = R_2$ ,  $R_F = R_3$  hay :

$R_1 + R_F = R_2 + R_3$  thì ta được :

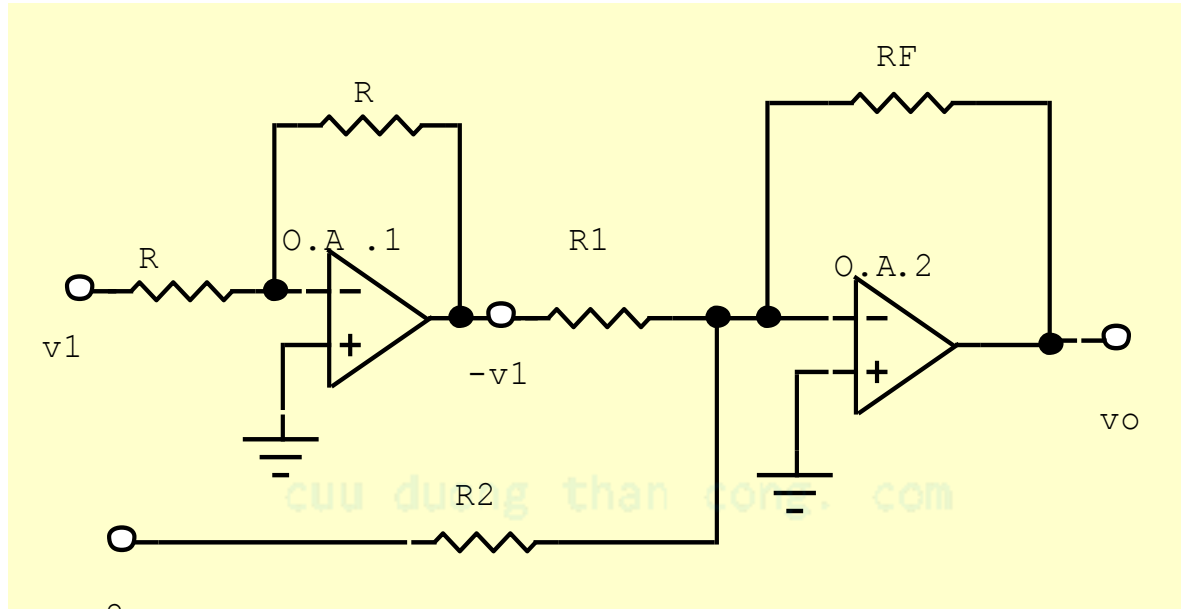
$$\begin{aligned} V_o &= \left( \frac{R_1 + R_F}{R_1} \right) \left( \frac{R_3}{R_3 + R_2} \right) V_1 - \frac{R_F}{R_2} V_2 = \frac{R_3}{R_1} V_1 - \frac{R_F}{R_2} V_2 = \\ &= \frac{R_F}{R_1} V_1 - V_2 \end{aligned}$$

- Nếu có thêm  $R_F = R_1$  ta được :

$$V_o = V_1 - V_2$$



- Mạch khuếch đại trừ còn được thực hiện như sau:

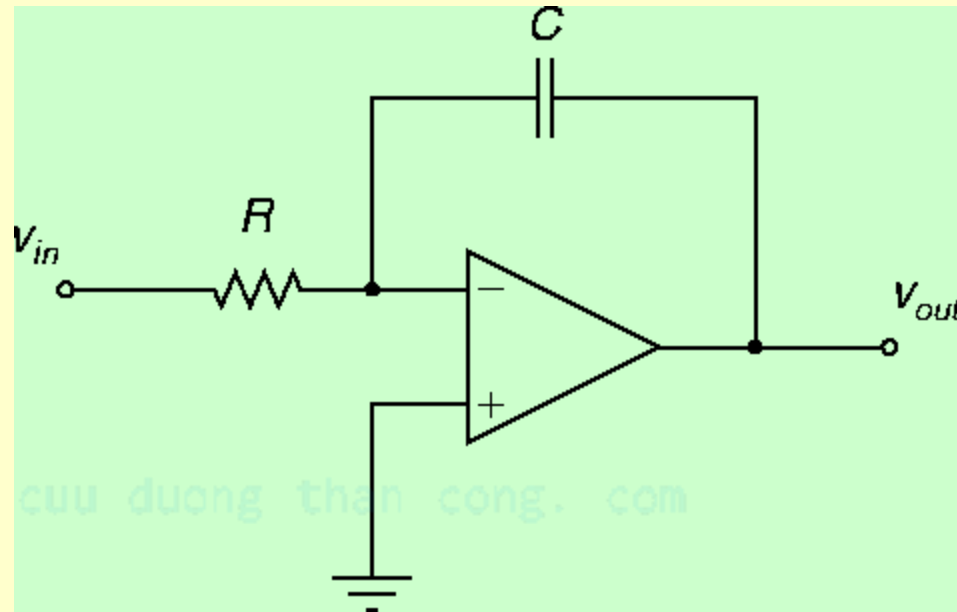


$$V_o = - \frac{R_F}{R_1} V_{o1} + \frac{R_F}{R_2} V_{o2} = \left( \frac{R_F}{R_1} V_1 - \frac{R_F}{R_2} V_2 \right)$$

- Nếu chọn  $R_1 = R_2 = R_F$  ta có:

$$V_o = V_1 - V_2$$

- 4. Mạch tích phân



- Ta có :

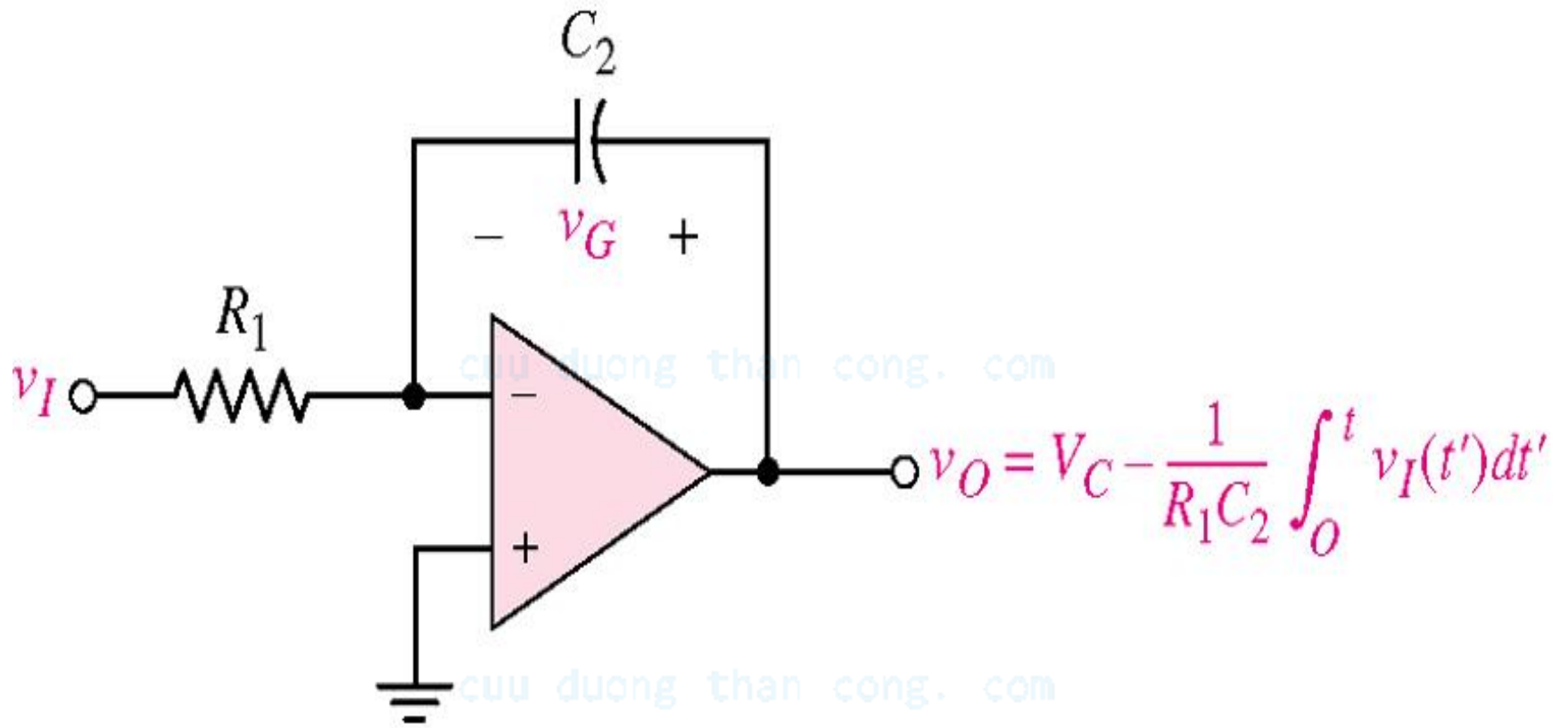
$$dq = i_F dt$$

$$dq = C dv_c = C dv_o \rightarrow i_F = C dv_o / dt \quad (1)$$

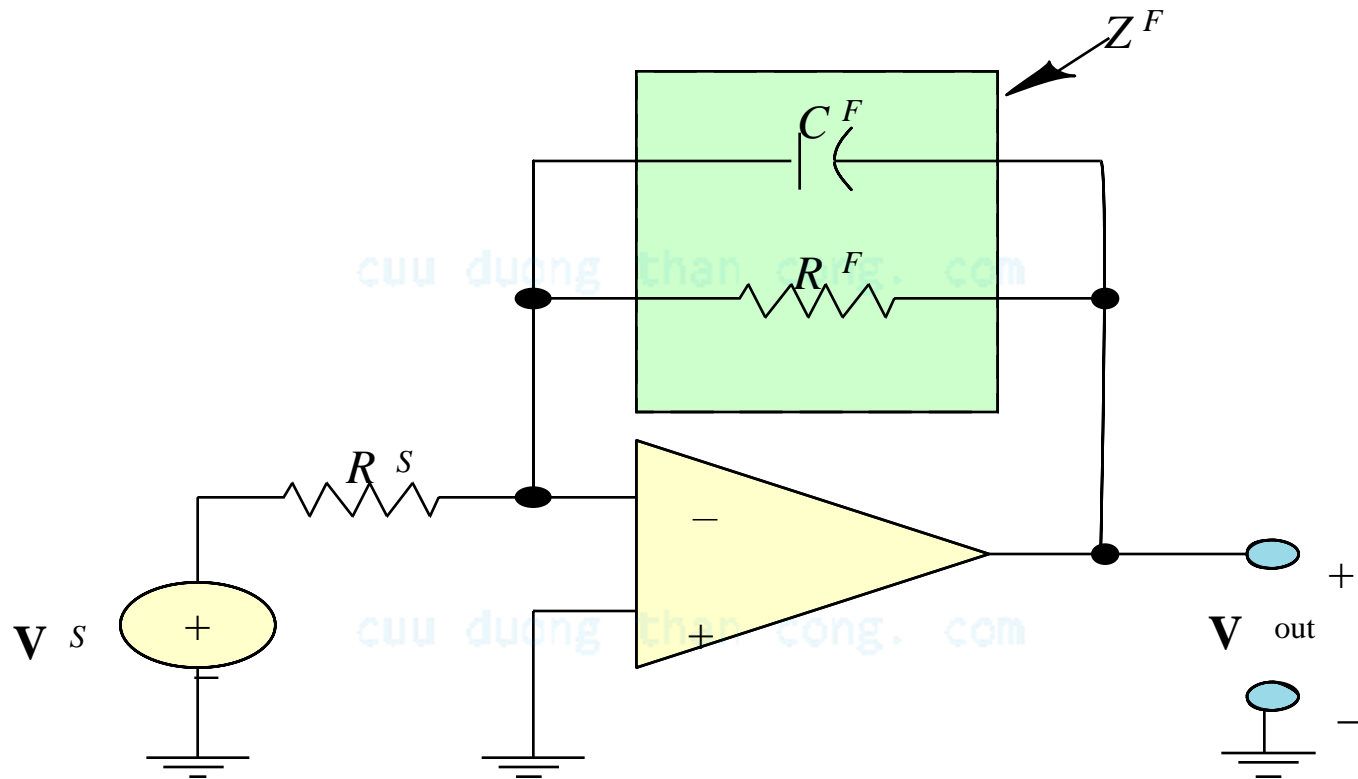
Mặt khác :  $i_i = -i_F$  và  $i_i = v_i / R \quad (2) \rightarrow$  Thay (2) vào (1) :

$$v_i = R i_i = -RC \frac{dv_o}{dt} \Rightarrow v_o = -\frac{1}{RC} \int v_i dt + v_o(0)$$

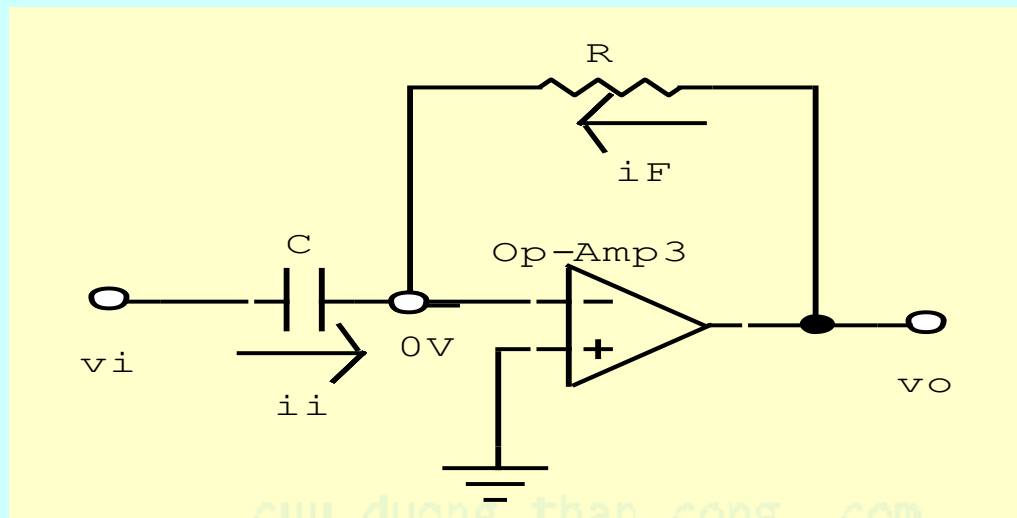
# Mạch tích phân



# Mạch tích phân thực tế - Mạch lọc thấp qua



## 5. Mạch vi phân:



- Theo trên ta có:

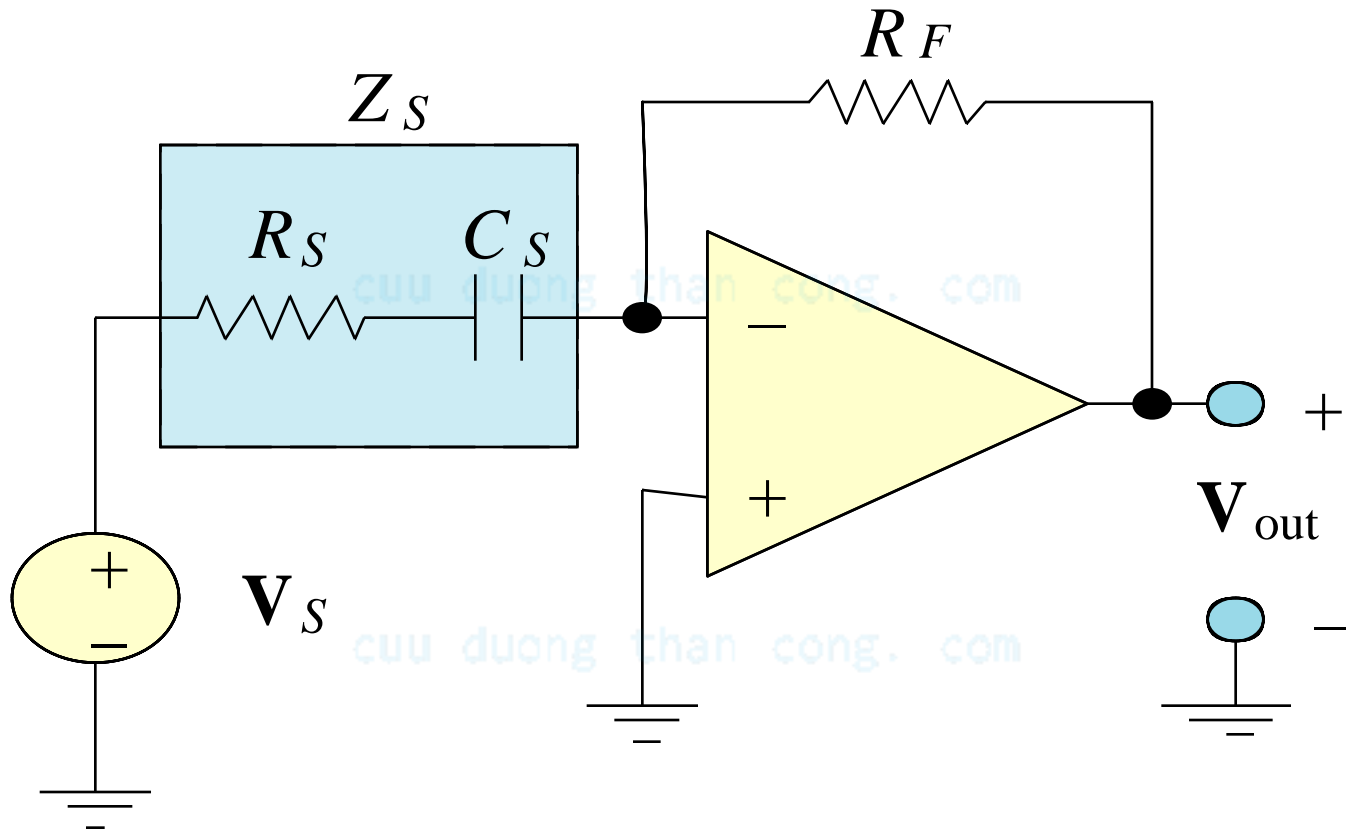
$$dq = C dv_c = CdV_i$$

$$dq = i_i dt \quad \rightarrow \quad i_i = CdV_i / dt$$

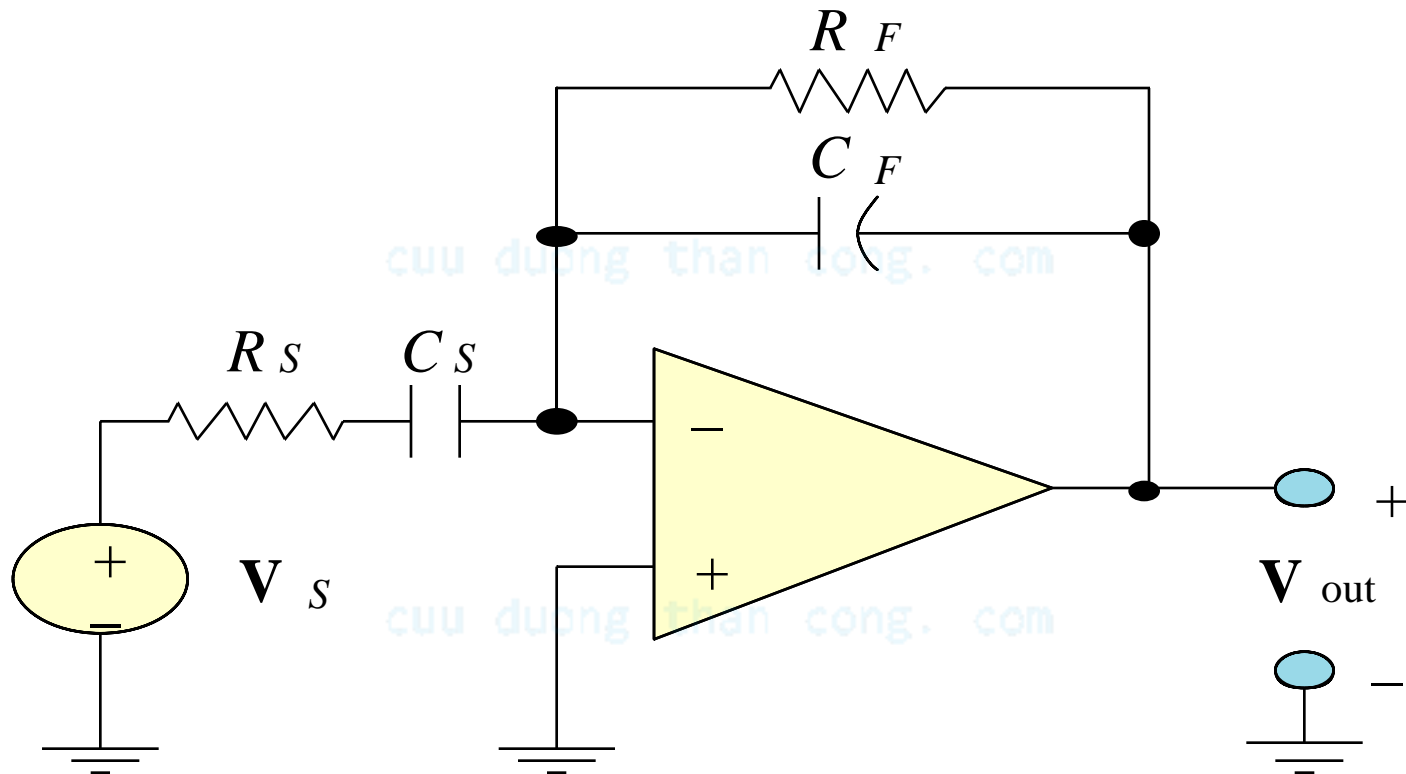
$$\text{và} \quad i_i = i_F = -V_o / R \rightarrow$$

$$V_o = -RC \frac{dV_i}{dt}$$

# Mạch vi phân thực tế - Mạch lọc cao qua

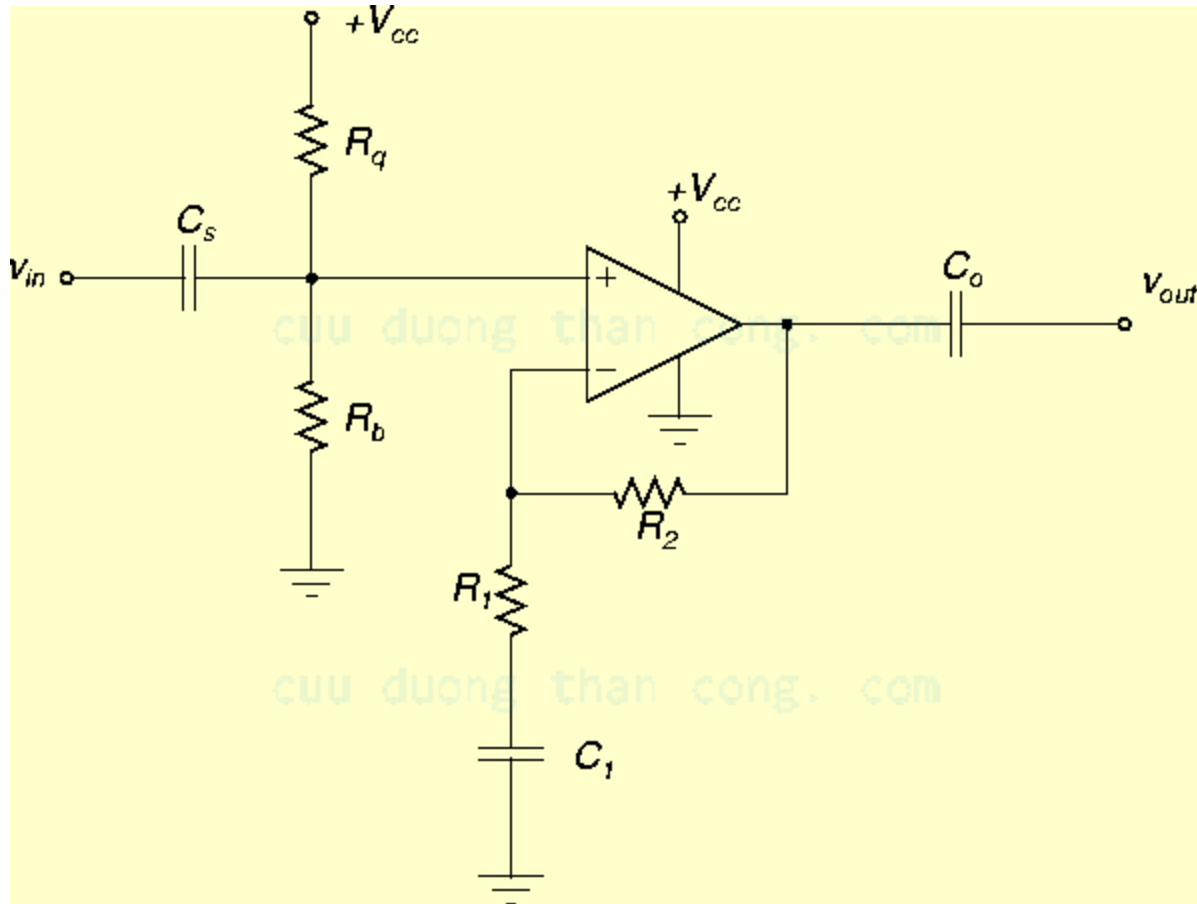


# Mạch vi- tích phân thực tế- Mạch lọc dải qua



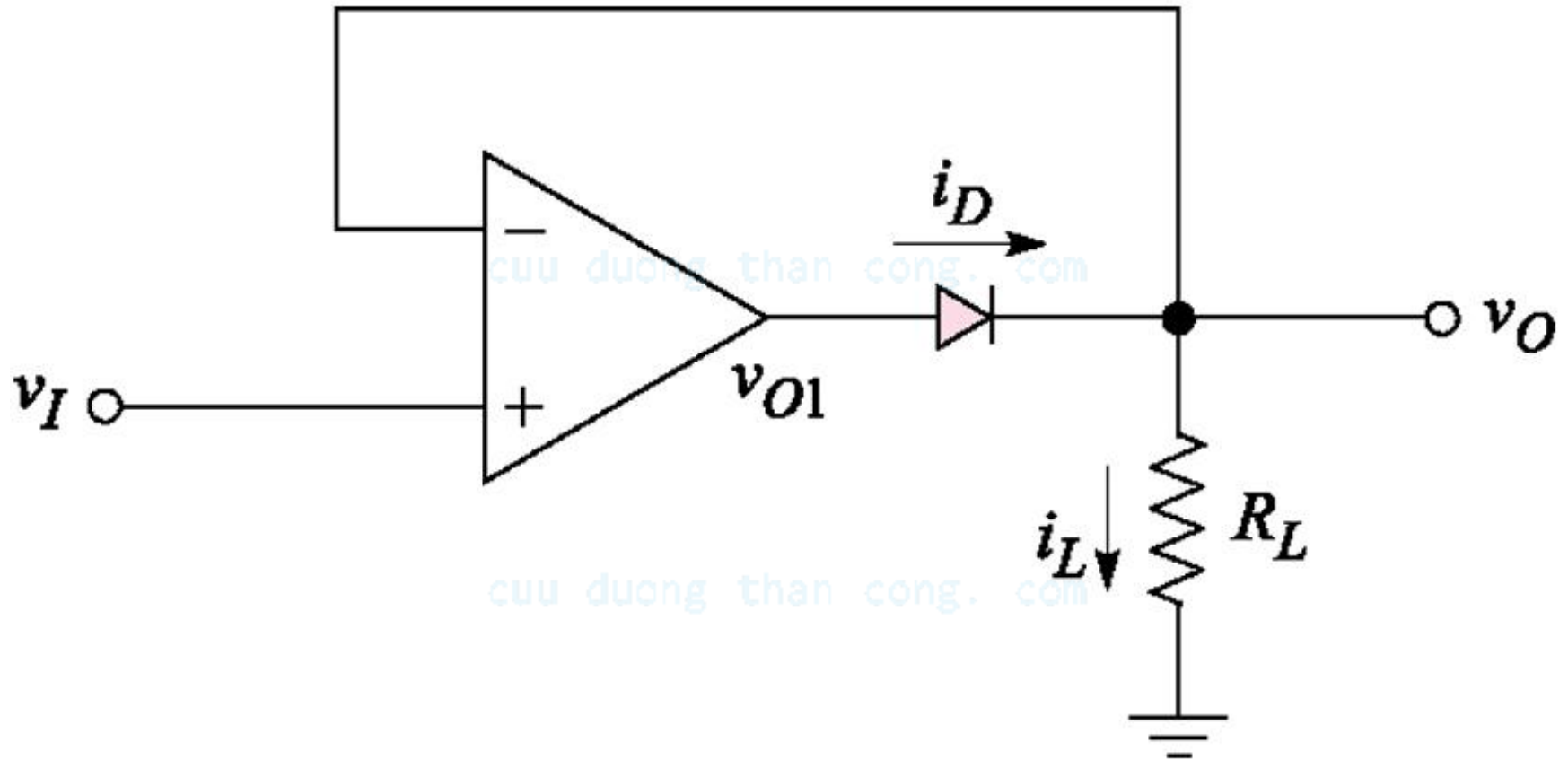
## 6. Những mạch áp dụng khác của Op.amp.

### a. Mạch khuếch đại ac



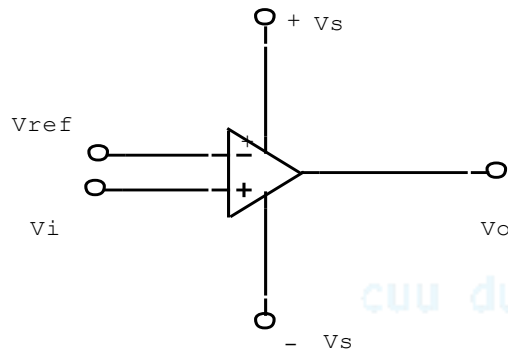


# Mạch chỉnh lưu chính xác

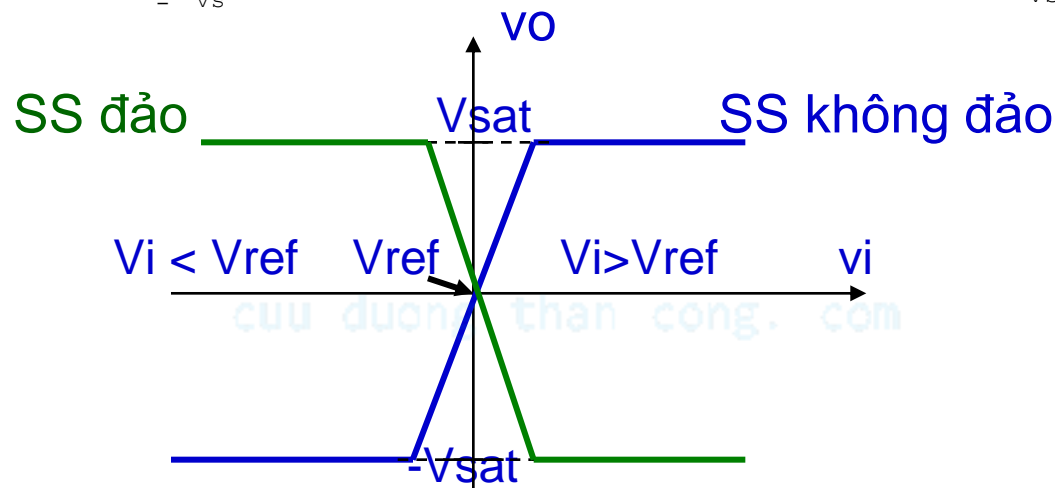
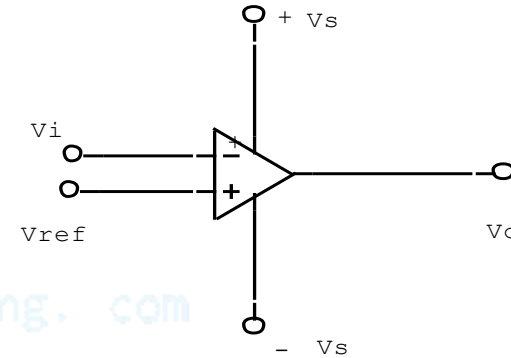


# Mạch so sánh

- So sánh không đảo



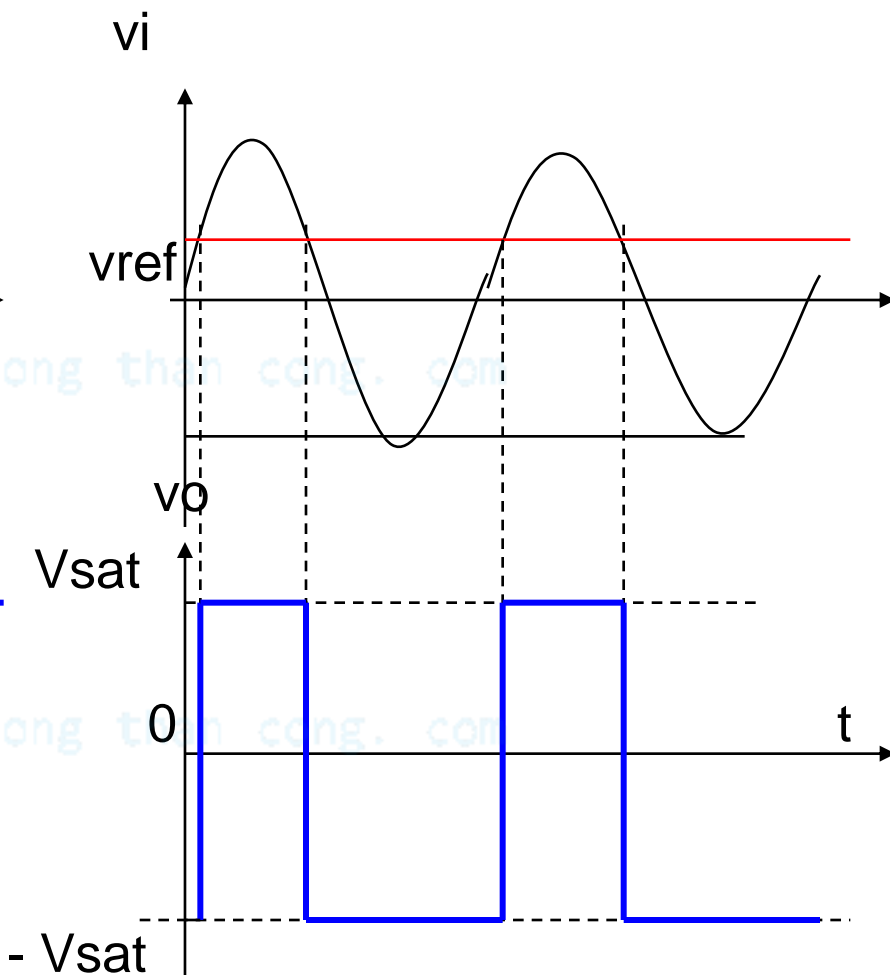
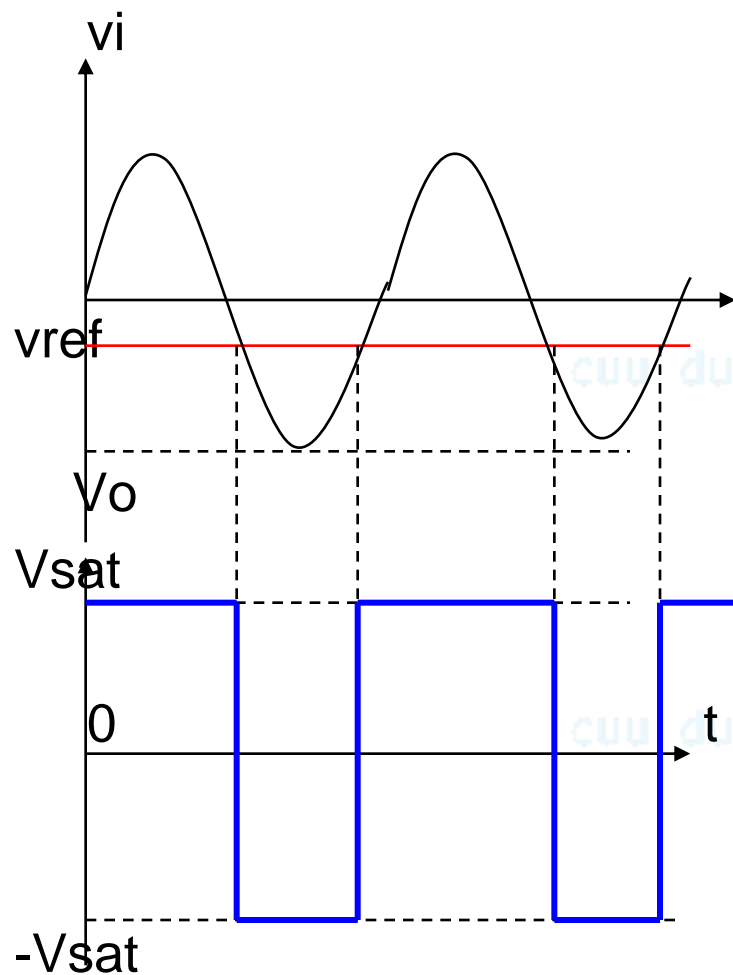
## So sánh đảo



$$V_{sat} = (V_s - 1) V$$

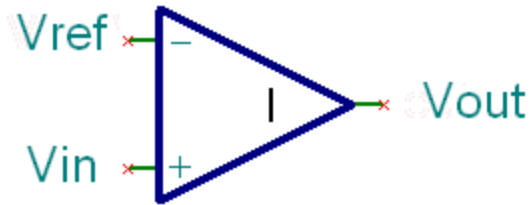
## Thí dụ:

- Dạng sóng ngõ ra mạch so sánh không đảo với trị số  $v_{ref}$  khác nhau



Analog → Digital

# OPAMP: COMPARATOR



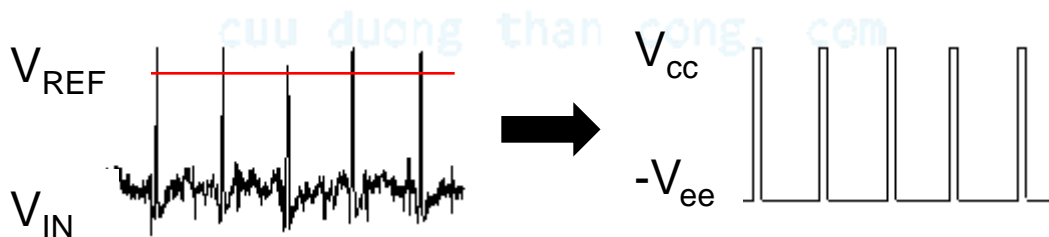
A (gain)  
very high

$$V_{out} = A(V_{in} - V_{ref})$$

If  $V_{in} > V_{ref}$ ,  $V_{out} = +\infty$  but practically hits +vs power supply =  $V_{cc}$

If  $V_{in} < V_{ref}$ ,  $V_{out} = -\infty$  but practically hits -vs power supply =  $-V_{ee}$

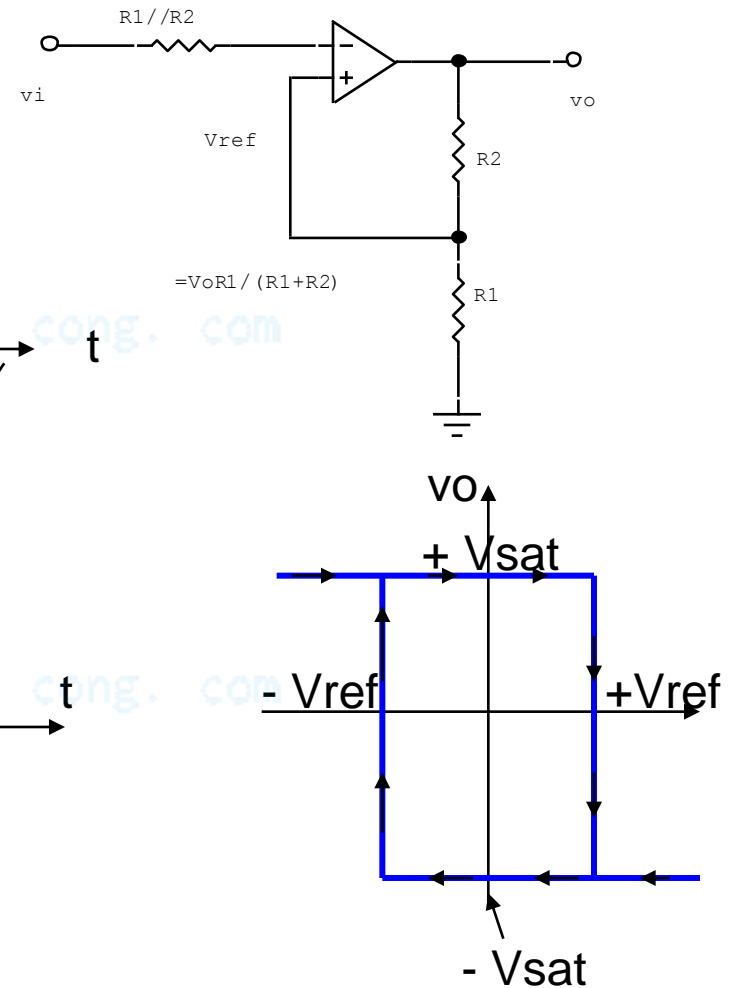
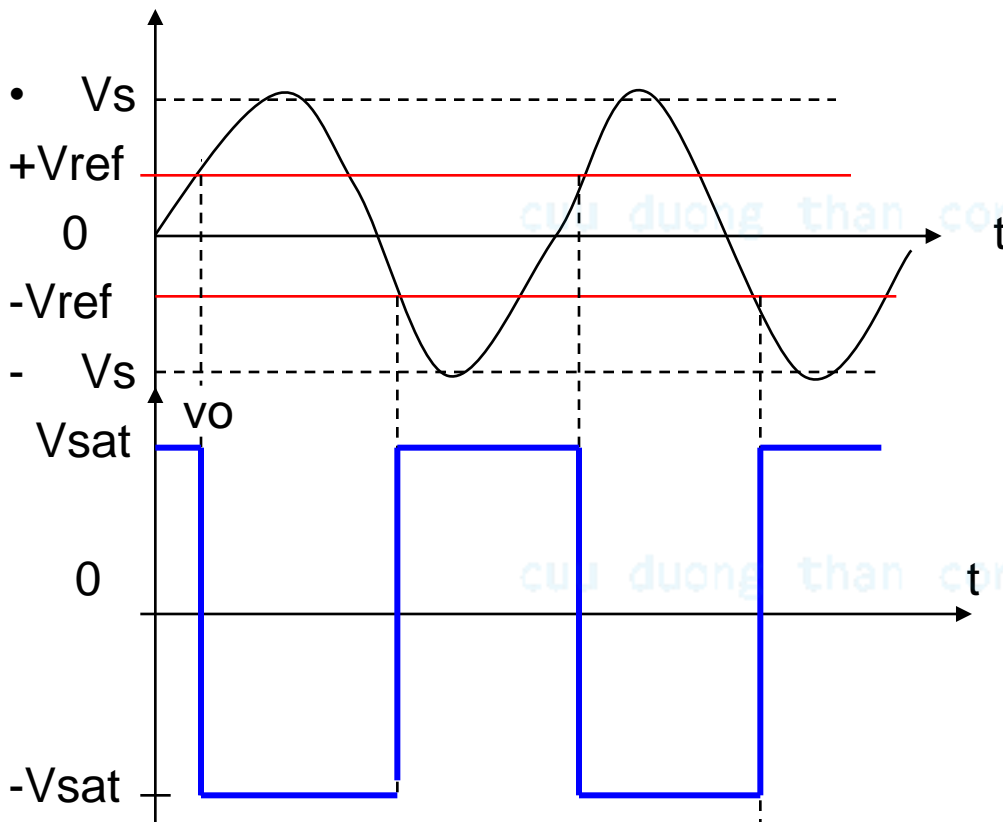
Application: detection of QRS complex in ECG



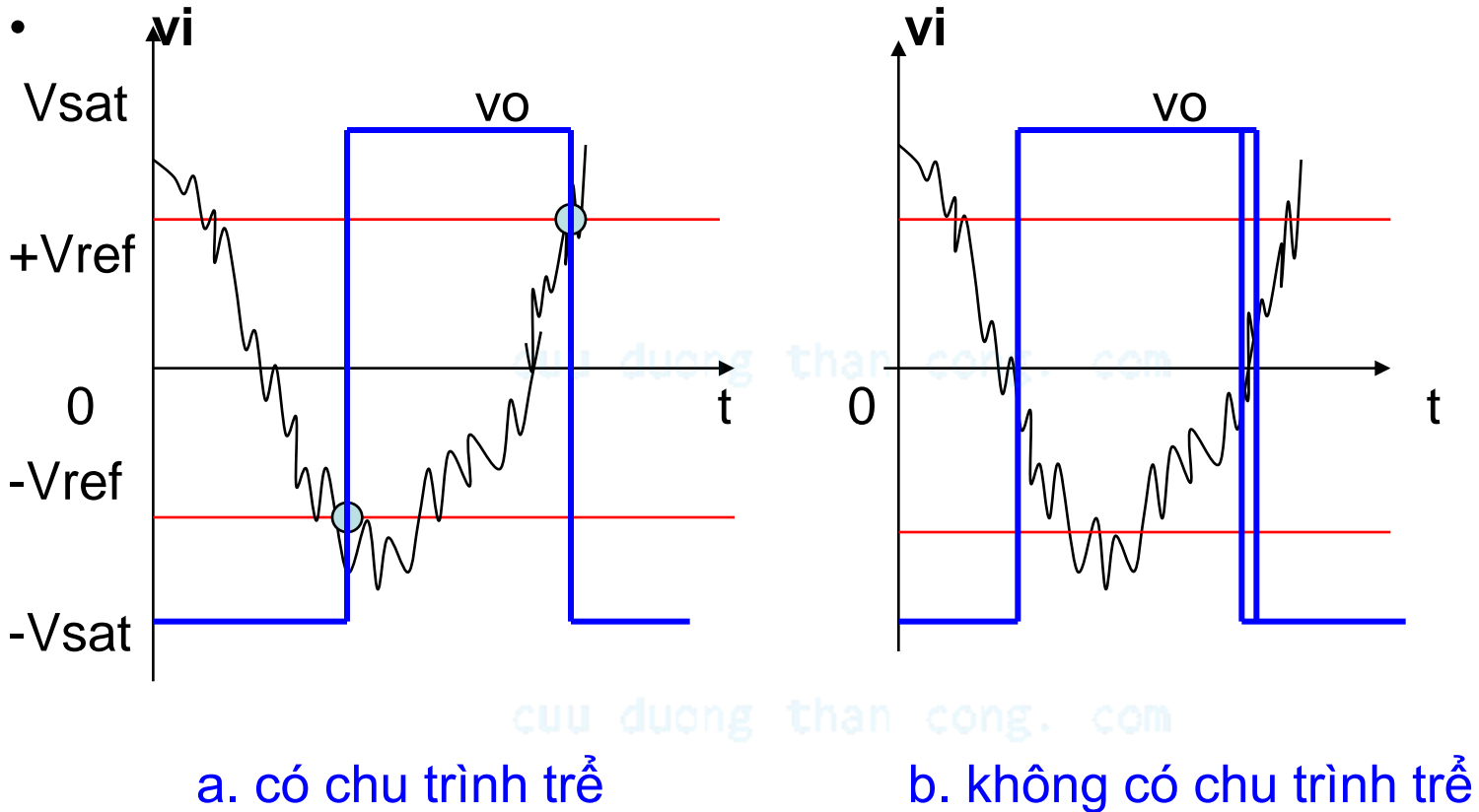
# Mạch trigger Schmitt - Mạch so sánh trễ

- **Mạch có hồi tiếp dương**

- $v_i$



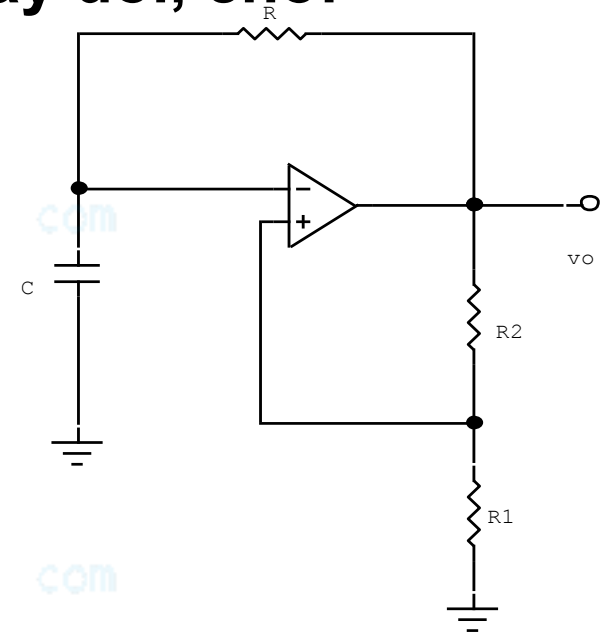
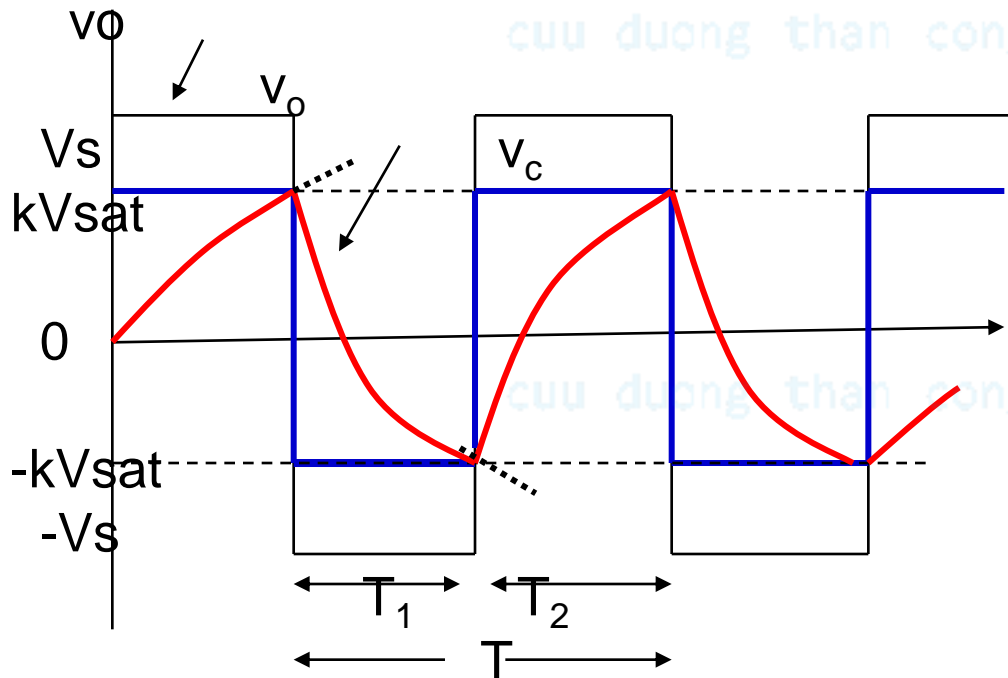
- **Thí dụ:**
- **Chuyển đổi tương tự sang số- ADC**



# Mạch dao □ộng RC

- Xét mạch:
- Hoạt động theo tính cách mạch so sánh: ngõ ra mạch chuyển trạng thái khi  $v_{i+}$  và  $v_{i-}$  thay đổi, cho:

$$|V_i| = \frac{R_1}{R_1 + R_2} |V_{sat}| = k |V_{sat}|$$



$$T = T_1 + T_2 = 2RC \ln \left( 1 + \frac{2R_1}{R_2} \right)$$

- Tính chu kỳ dao động:**

**Từ phương trình tụ nạp cho:**

$$v_c(t) = V_s - (V_s - kV_s) e^{-t/RC}$$

$$v_c(T_1) = kV_s = V_s - (V_s - kV_s) e^{-T_1/RC}$$

$$V_s - kV_s = (V_s - kV_s) e^{-T_1/RC}$$

$$\frac{k-1}{k+1} = e^{-T_1/RC}$$

$$T_1 = RC \ln \frac{k-1}{k+1} = RC \ln \left( \frac{-R_2}{2R_1 + R_2} \right) = -RC \ln \left( \frac{-R_2}{2R_1 + R_2} \right)$$

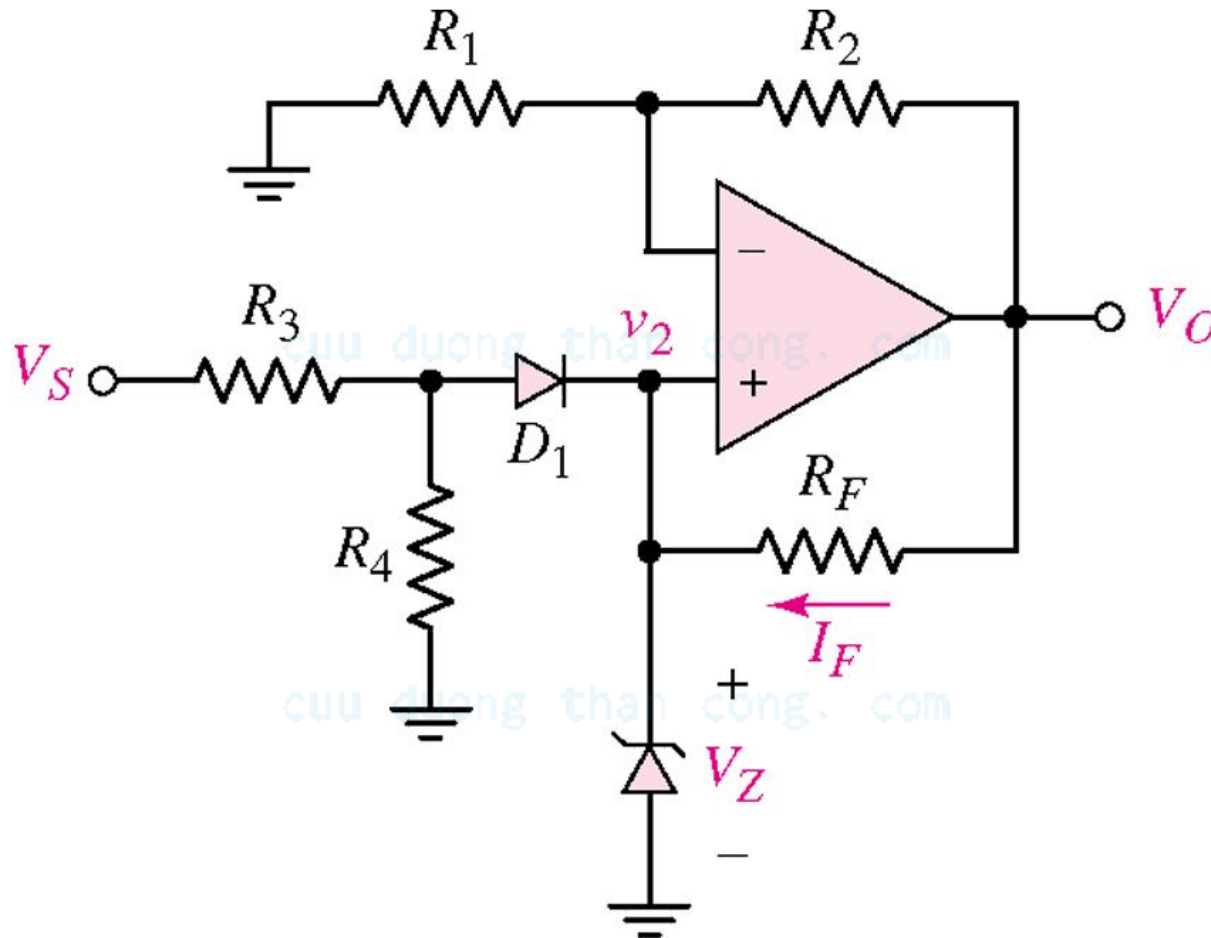
$$T_1 = RC \ln \left( 1 + \frac{2R_1}{R_2} \right)$$

**Vì lý do đối xứng ta có thời gian  $T_2 = T_1$ , được:**

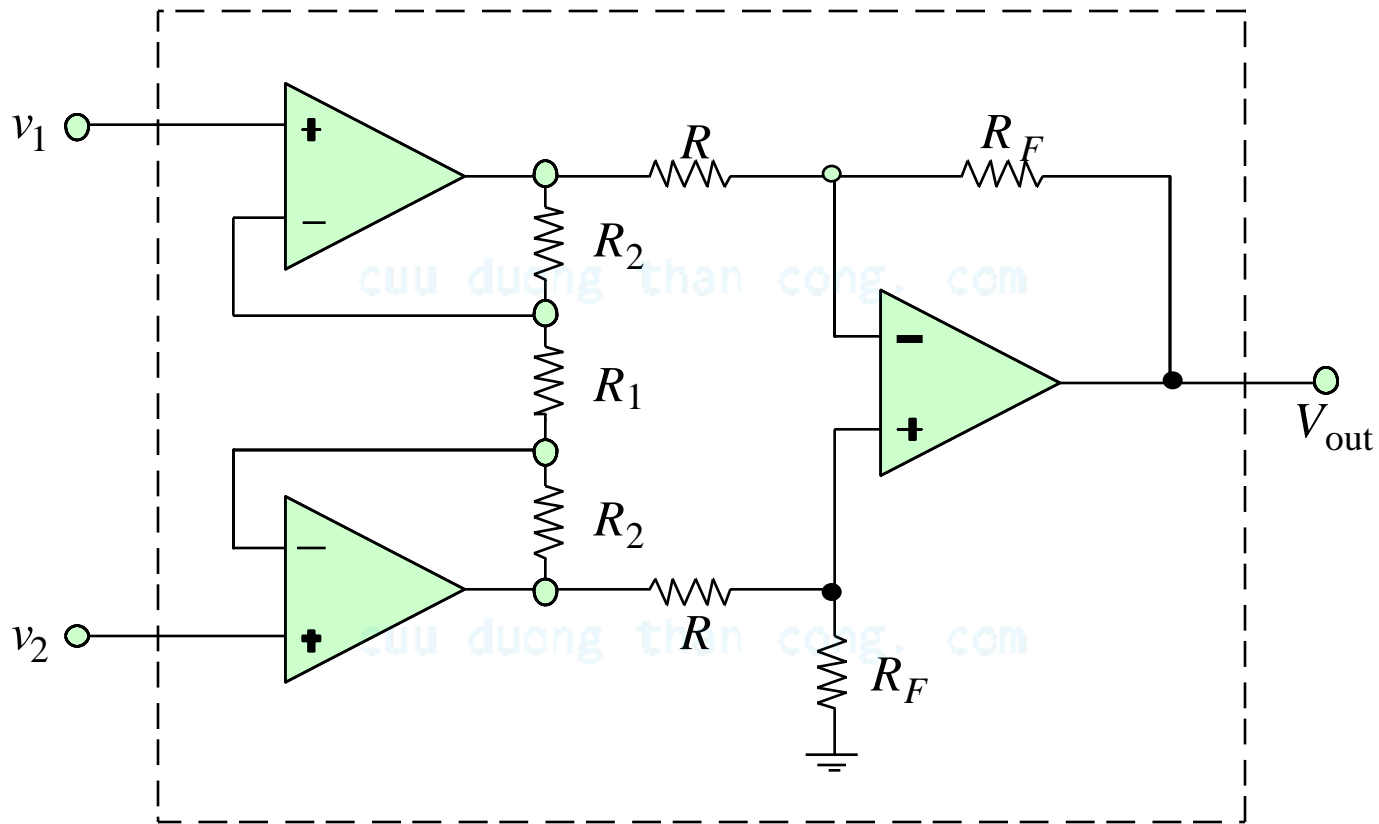
$$T = T_1 + T_2 = 2RC \ln \left( 1 + \frac{2R_1}{R_2} \right)$$



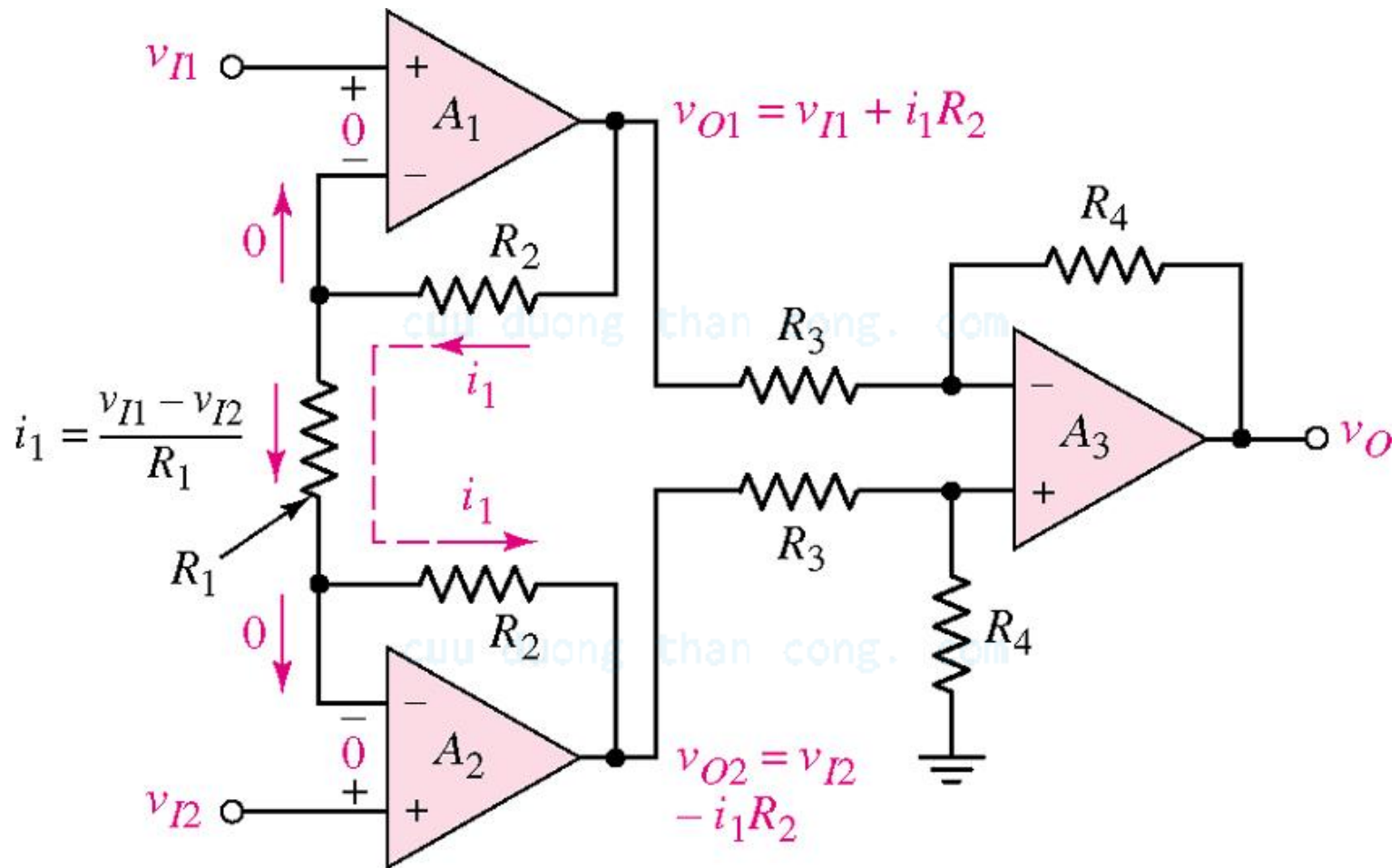
# Mạch tạo điện thế tham chiếu ( reference)



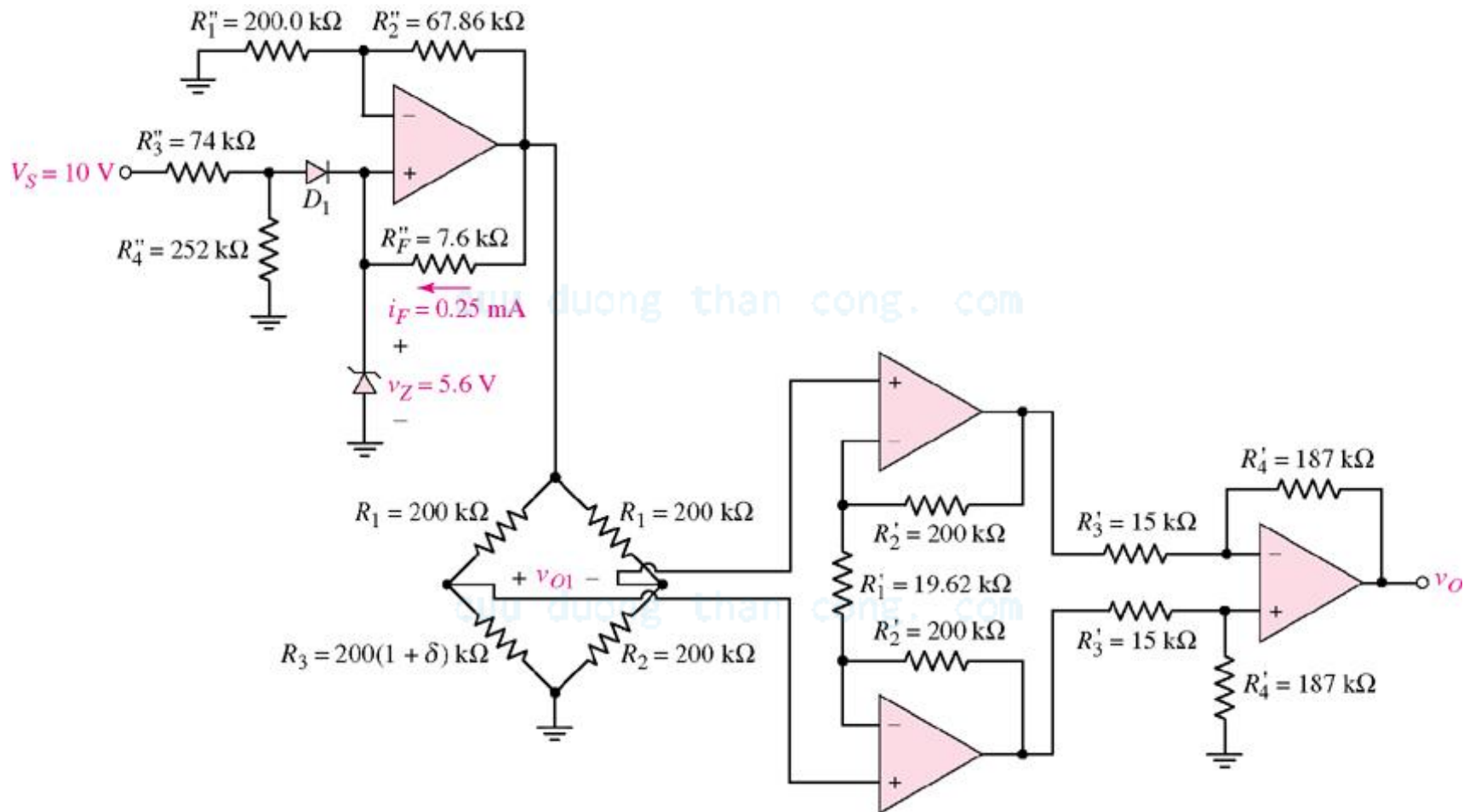
# Mạch khuếch đại đo ( Instrumentation Amp.)



# Mạch khuếch đại đo



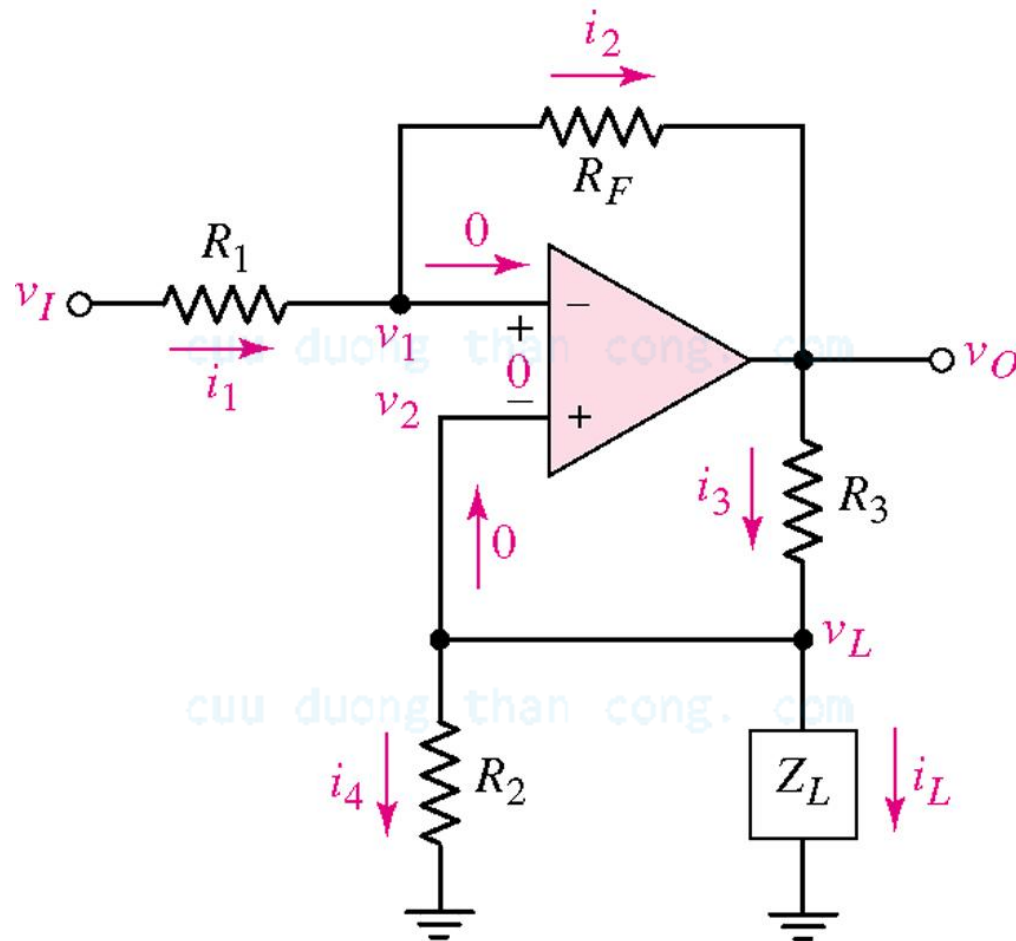
# Hệ thống khuếch đại



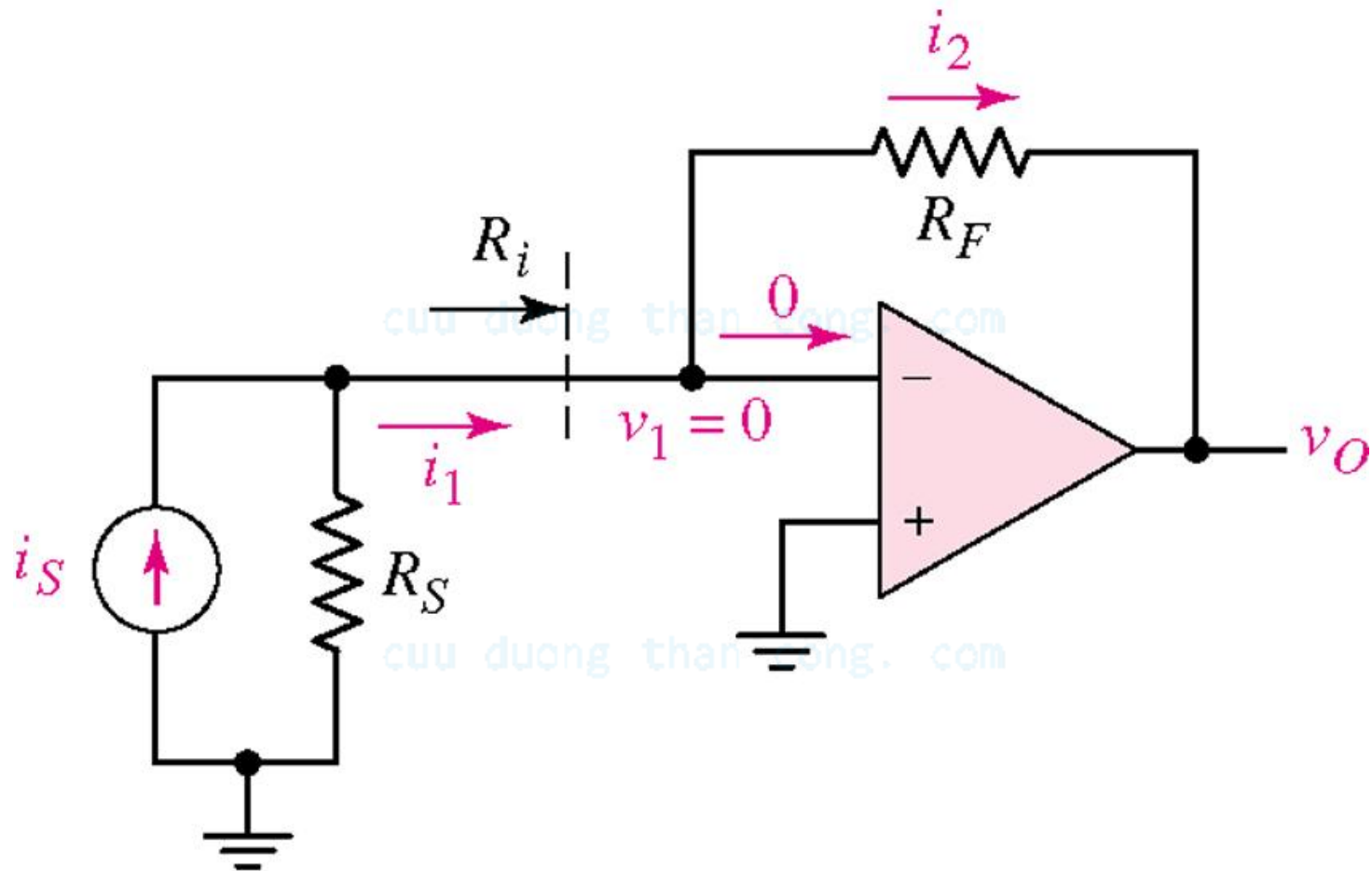
# Phân loại Op. amp.

1. Nguồn thế kiểm thế - VCVS ( Voltage controlled voltage source) : đây là mạch khuếch đại không đảo dấu.
2. Khuếch đại truyền dẫn- OTA ( Operational Transconductance Amplifier): Mạch chuyển đổi thế thành dòng.
3. Khuếch đại dòng vi sai –CDA ( Current difference Amplifier) – còn gọi là Mạch khuếch đại dòng ( Norton Amplifier) hay nguồn dòng kiểm dòng-CCCS: là mạch chuyển đổi dòng sang dòng.
4. Nguồn thế kiểm dòng-CCVS( Current controlled voltage source)- hay mạch khuếch đại truyền trở  
( Transresistance Amplifier): là mạch khuếch đại đảo dấu.

# Mạch chuyển đổi thế - dòng



# Mạch chuyển đổi dòng sang thế



# Mạch tích hợp tuyến tính ( Linear IC)

- IC khuếch đại thuật toán phổ dụng:  $\mu$ A 741, LM358, TL062... TL082, TL084...
- IC so sánh ( Comparator): LM393, LM111,  $\mu$ A 710,  $\mu$ A 311, TL372, CA94, HA 2111...
- IC khuếch âm tần ( Audio amplifier): Tiền khuếch đại: BA 382, AN7310....
- Khuếch đại công suất ( Power Amplifier): LM380, LM386, TBẢ, AN7116, 7130, LA 4002...,  $\mu$ PC 1270, LA4440, STK 0040, 0050, 0080...
- IC ổn áp ( Regulator IC): LM 78xx , 79xx, LM 340XX, LM320 XX , LM 317 , LM337 ,  $\mu$ A 723...