

# Chương 4 Khuếch đại thuật toán và ứng dụng

4.1 Khuếch đại thuật toán

4.2 Một số mạch khuếch đại thuật toán cơ bản

4.3 Ứng dụng của khuếch đại thuật toán

## Tài liệu tham khảo:

1. *Microelectronics Circuit analysis and design*/Donald Neamen 2010 McGraw-Hill
2. *Analog Fundamentals A System Approach* /Thomas L.Floyd, David M.Buchla 2013 Pearson
3. *Fundamental of Electric Circuits*/Charles K.Alexander, Matthew N.O.Sadiku 2013 McGraw-Hill
4. *Digital Fundamentals* by Thomas L. Floyd, 11<sup>th</sup> edition, 2015 Pearson

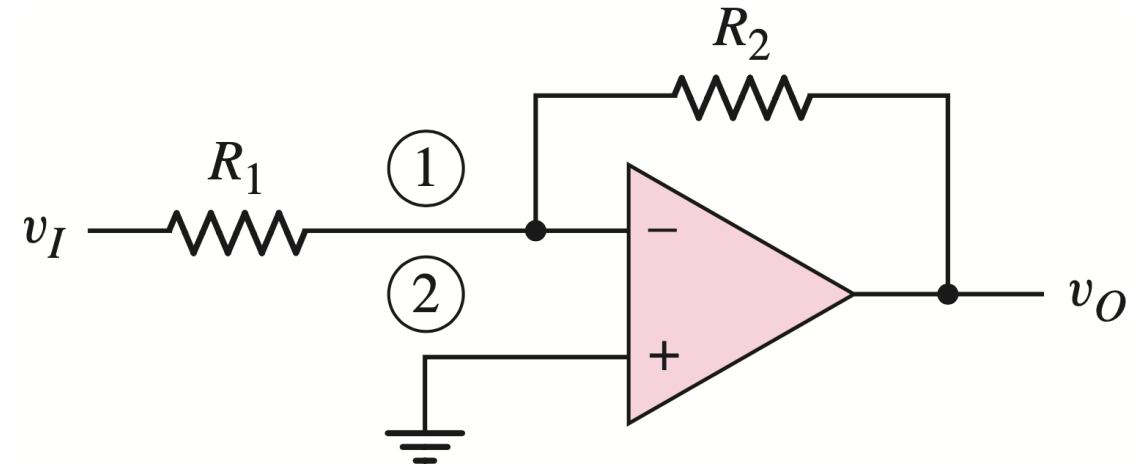
## 4.2 Một số mạch khuếch đại thuật toán cơ bản

- Mạch khuếch đại
  - Khuếch đại đảo
  - Khuếch đại không đảo
- Mạch lặp
- Mạch cộng
- Mạch so sánh
  - So sánh khác không
  - So sánh ngưỡng
- Mạch khuếch đại vi sai

# Khuếch đại đảo

- Là mạch KĐTT được sử dụng phổ biến nhất.
- Đầu ra được nối với đầu vào đảo để tạo ra mạch ổn định: đường hồi tiếp âm.
- **Chú ý:** KĐTT mặc định được phân cực bởi nguồn 1 chiều và không được thể hiện trong hình.

- Mạch khuếch đại đảo:

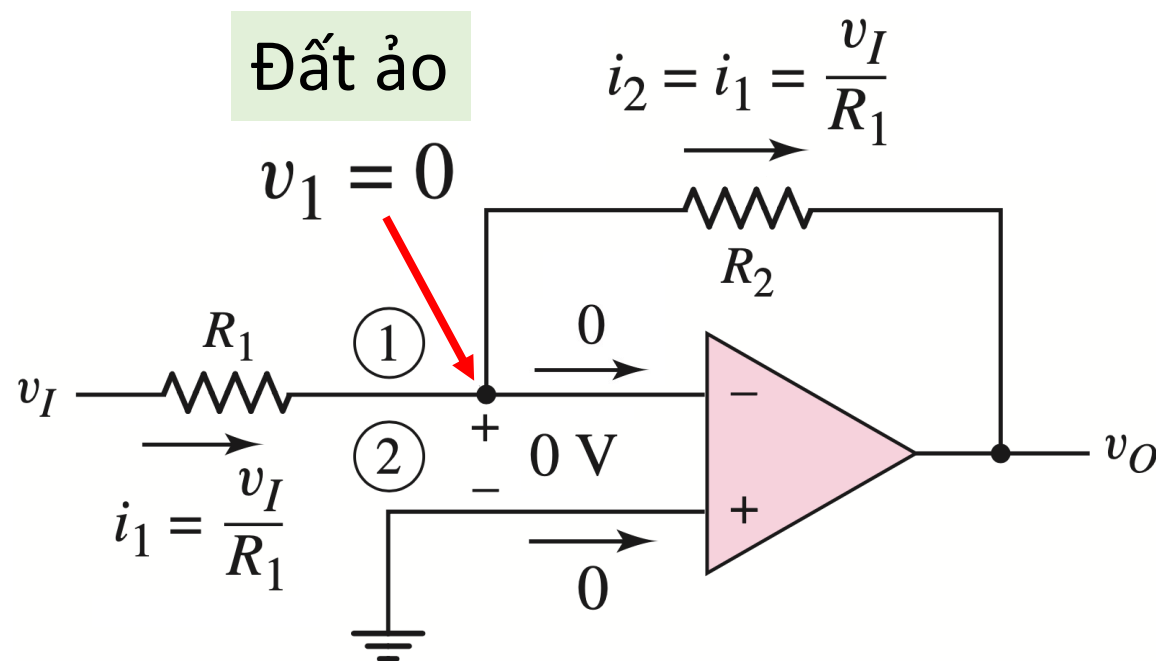


# Khuếch đại đảo

Đối với op-amp lý tưởng:

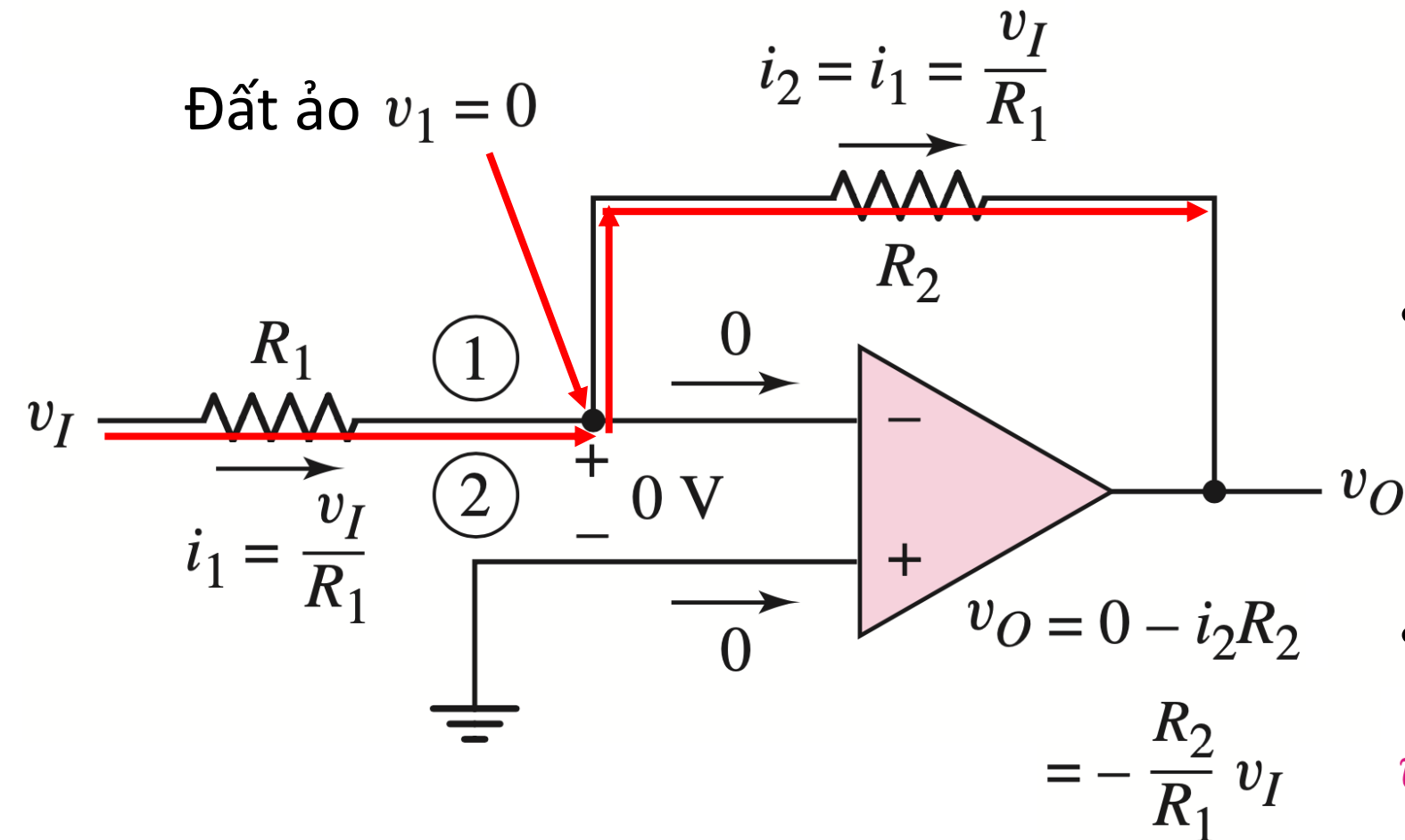
- Trở kháng vào rất lớn, dòng điện vào ở mỗi đầu vào xấp xỉ  $= 0$ .
- Nếu đầu vào không đảo của op-amp **nối đất** thì đầu vào đảo nối đất ảo.
- Tổng tất cả các dòng tính tại đầu vào đảo với giả thiết dòng đi vào op-amp  $= 0$ .
- Với op-amp lý tưởng, điện áp đầu ra độc lập với bất kỳ tải nào được nối với đầu ra.

- Mạch khuếch đại đảo



# Khuếch đại đảo

- Xét mạch khuếch đại đảo:



- Khái niệm đất ảo:

- $v_2$  nối đất
- $v_1 = v_2$
- $v_1$  được gọi là **nối đất ảo**

→  $v_1 = 0$

- Dòng điện vào: tính tại đầu vào đảo:

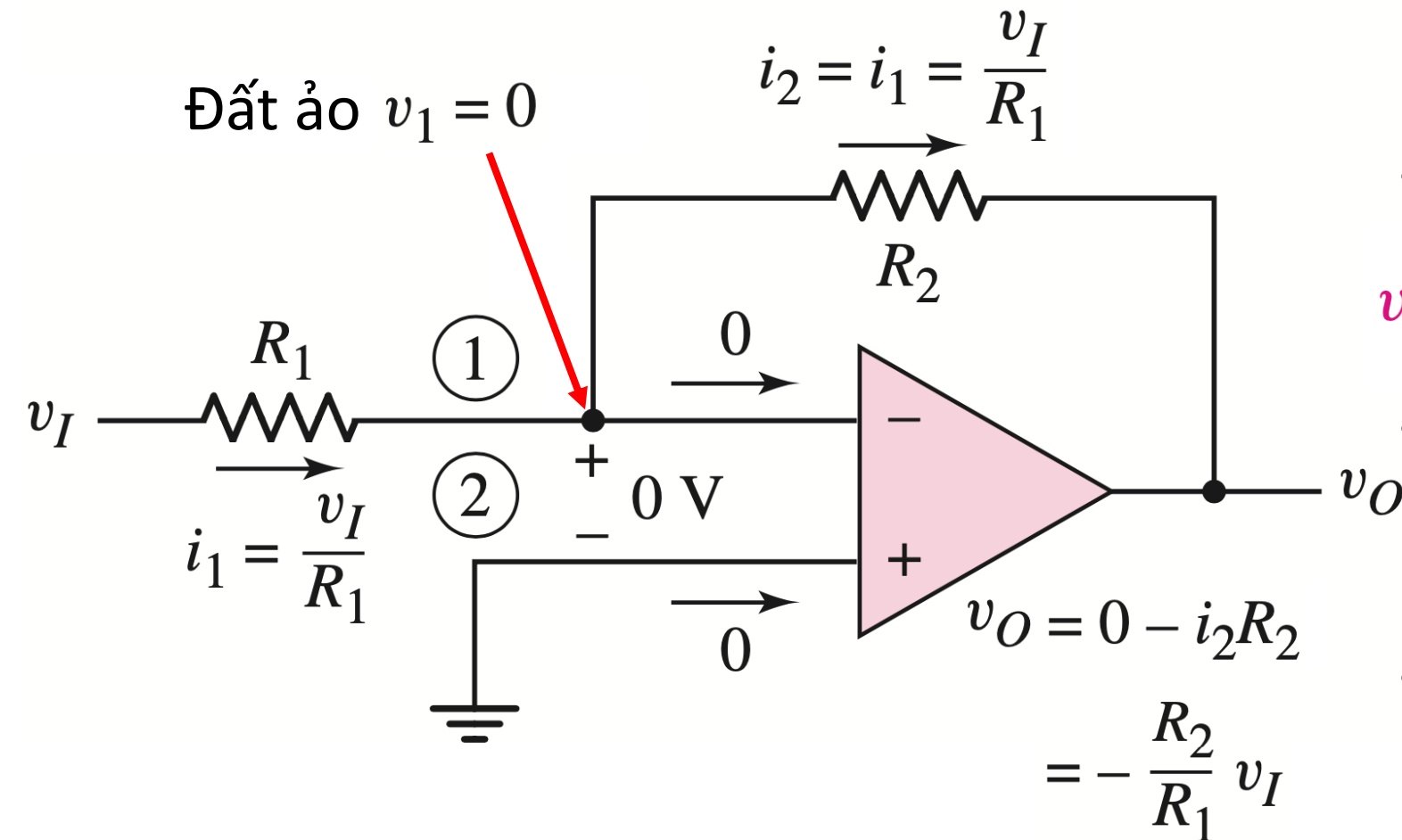
$$i_1 = \frac{v_I - v_1}{R_1} = \frac{v_I}{R_1}$$

- Điện áp đầu ra:

$$v_O = v_1 - i_2 R_2 = 0 - \left( \frac{v_I}{R_1} \right) R_2$$

# Khuếch đại đảo

- Xét mạch khuếch đại đảo:



- Dòng điện vào:

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

- Điện áp đầu ra:

$$v_O = v_1 - i_2 R_2 = 0 - \left( \frac{v_I}{R_1} \right) R_2$$

- Hệ số KĐ điện áp vòng kín:

$$A_v = \frac{v_O}{v_I} = -\frac{R_2}{R_1}$$

- Trở kháng đầu vào KĐTT:

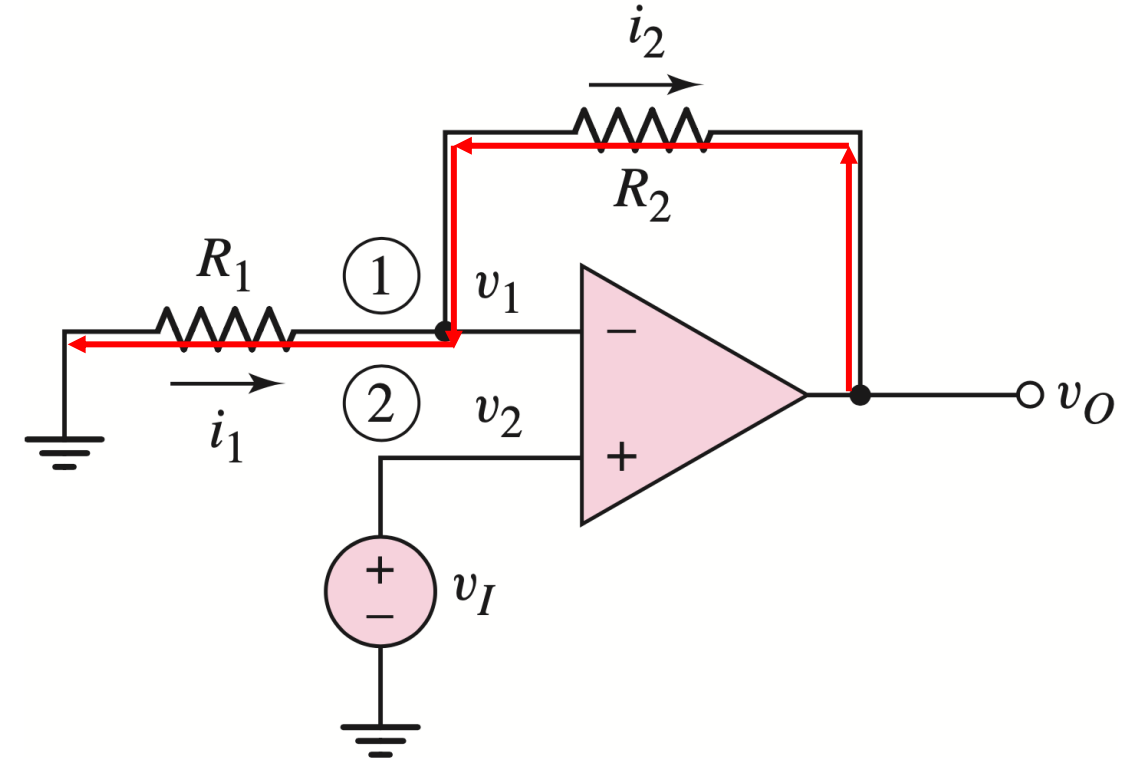
$$R_i = \frac{v_I}{i_1} = R_1$$

# Khuếch đại không đảo

Xét mạch khuếch đại như hình bên:

- Điện áp đầu vào  $v_I$  được đưa trực tiếp vào đầu vào không đảo,  $R_1$  được kết nối một đầu với đầu vào đảo và đầu kia nối đất.
- Đường hồi tiếp âm đưa từ đầu ra vào  $v_1$  qua điện trở  $R_2$ .
- Khi có sự thay đổi điện áp tại  $v_2$ ,  $v_O$  thay đổi và được đưa trở lại đầu vào đảo  $v_1$ , buộc điện áp tại  $v_1$  và  $v_2$  phải bằng nhau:  $v_1 = v_2$

- Mạch khuếch đại không đảo



$v_1$  và  $v_2$  được gọi là  
**ngắn mạch ảo**

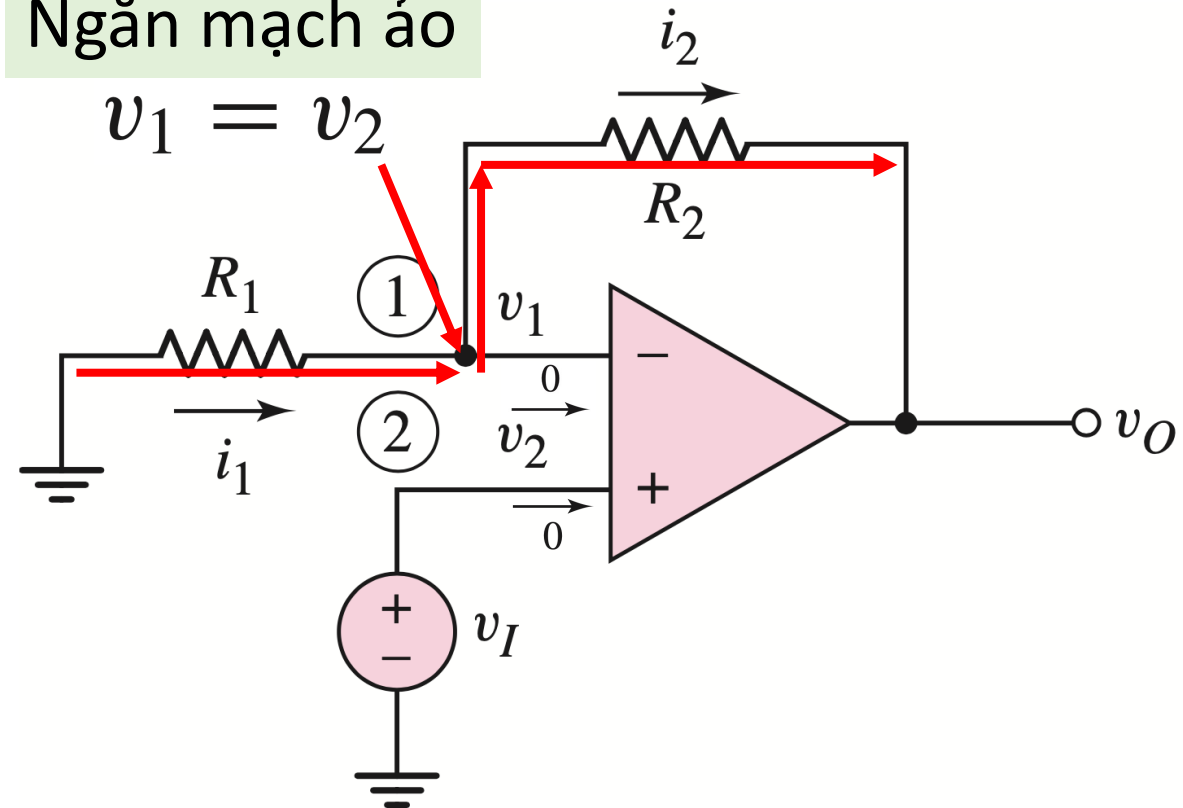
# Khuếch đại không đảo

Đối với op-amp lý tưởng:

- Trở kháng vào rất lớn, dòng điện vào ở mỗi đầu vào xấp xỉ  $= 0$ .
- Nếu đầu vào không đảo **không nối đất**, thì điện áp tại đầu đảo bằng điện áp tại đầu vào không đảo, hai đầu vào ngắn mạch ảo.
- Tổng tất cả các dòng tính tại **đầu vào đảo** với giả thiết dòng đi vào op-amp  $= 0$ .

- Mạch khuếch đại không đảo:

Ngắn mạch ảo





# Khuếch đại không đảo

Tính hệ số khuếch đại điện áp vòng kín: • Mạch khuếch đại không đảo

- Giả thiết dòng điện đi vào đầu vào của op-amp bằng không.

$$v_1 = v_2 \Rightarrow v_1 = v_I$$

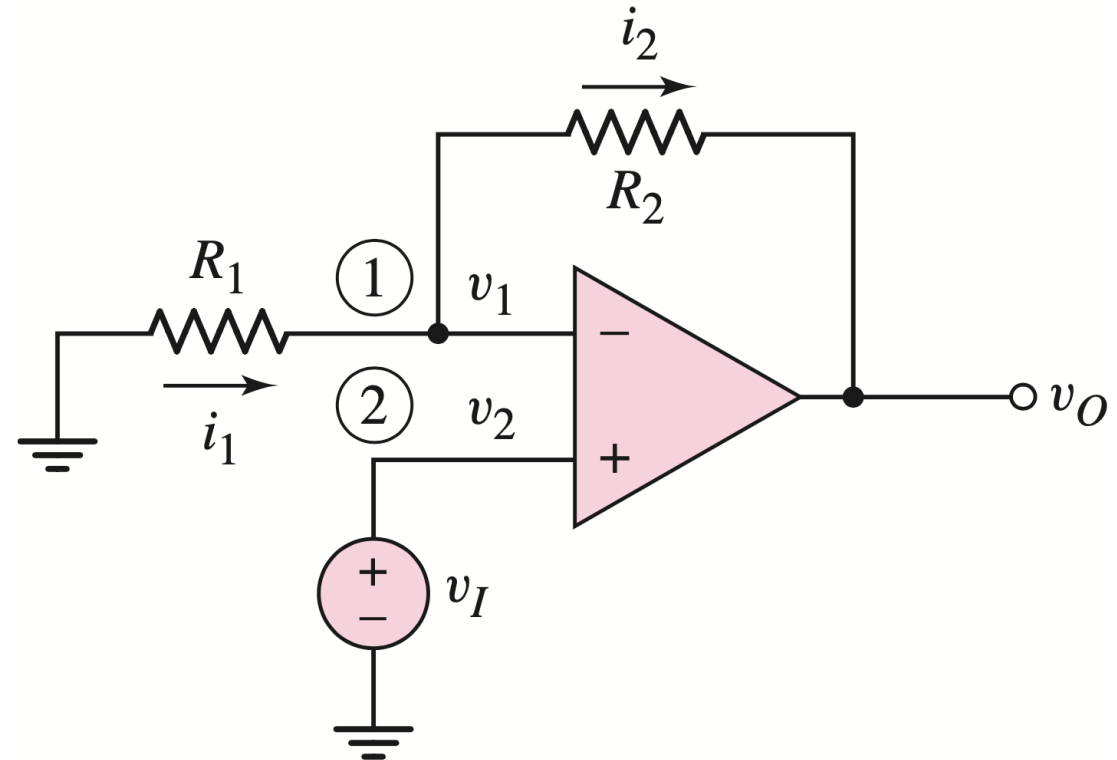
- Dòng  $i_1$  tính được như sau:

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

- Dòng  $i_2$  tính được như sau:

$$i_2 = \frac{v_1 - v_O}{R_2} = \frac{v_I - v_O}{R_2}$$

$$i_1 = i_2 \Rightarrow -\frac{v_I}{R_1} = \frac{v_I - v_O}{R_2}$$

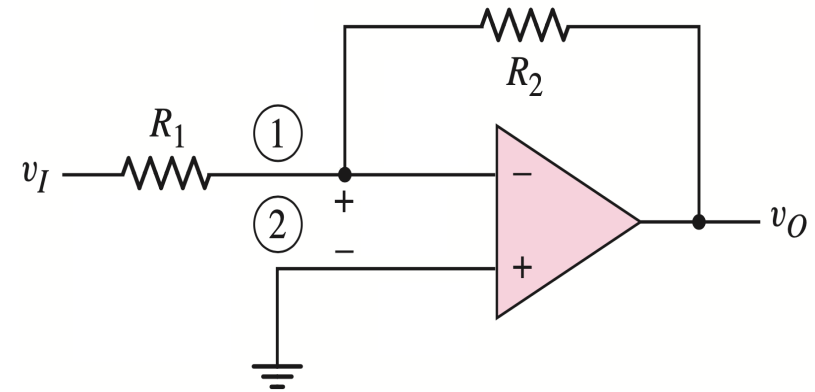


$$A_v = \frac{v_O}{v_I} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

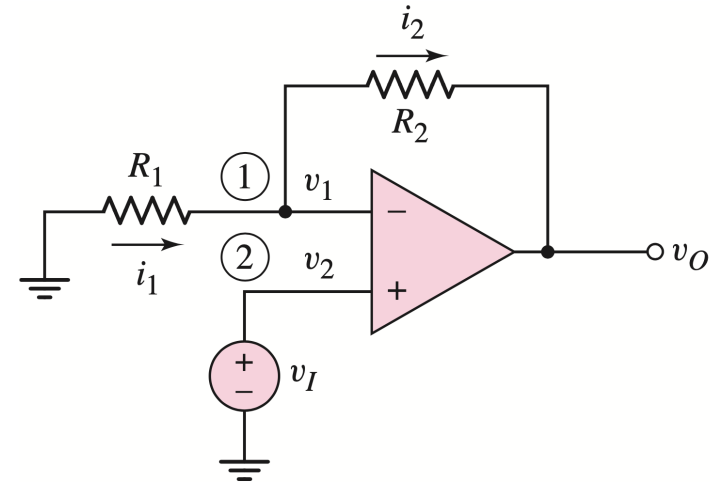
# Phương pháp giải mạch op-amp lý tưởng

- Nếu đầu vào không đảo của op-amp **nối đất** thì đầu vào đảo nối đất ảo, tổng tất cả các dòng tính tại đầu vào đảo với giả thiết dòng đi vào op-amp = 0.
- Nếu đầu vào không đảo **không nối đất**, thì điện áp tại đầu đảo bằng điện áp tại đầu vào không đảo, hai đầu vào ngắn mạch ảo, tổng tất cả các dòng tính tại **đầu vào đảo** với giả thiết dòng đi vào op-amp = 0.
- Với op-amp lý tưởng, điện áp đầu ra tính theo bước 1 hoặc 2 ở trên, điện áp đầu ra độc lập với bất kỳ tải nào được nối với đầu ra.

- Mạch khuếch đại đảo:

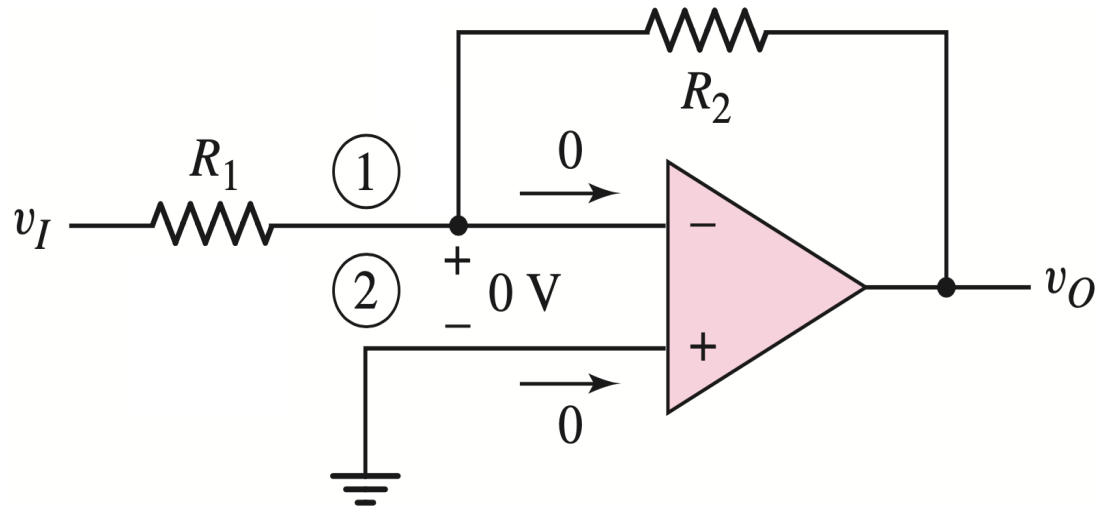


- Mạch khuếch đại không đảo:



# Mạch khuếch đại đảo – không đảo

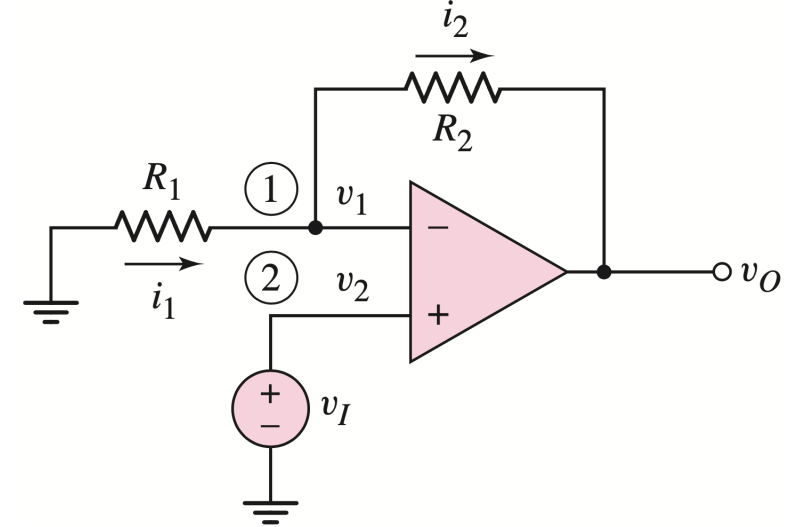
- Mạch khuếch đại đảo



- Hệ số khuếch đại điện áp:

$$A_v = \frac{v_O}{v_I} = -\frac{R_2}{R_1}$$

- Mạch khuếch đại không đảo



- Hệ số khuếch đại điện áp:

$$A_v = \frac{v_O}{v_I} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

**Nhận xét:** Hệ số khuếch đại vòng kín của mạch ( $A_v$ ) không phụ thuộc vào hệ số khuếch đại vòng hở của op-amp ( $A_{od}$ ).

- Mạch lặp được phát triển từ mạch khuếch đại không đảo với các điều kiện:

$$R_1 = \infty \quad R_2 = 0$$

- Hệ số khuếch đại vòng kín:

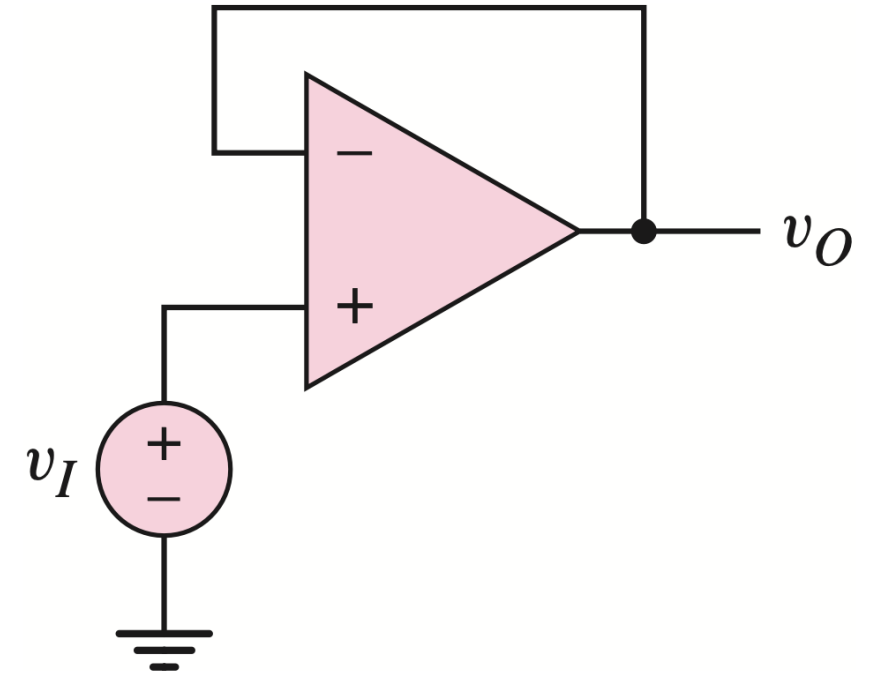
$$A_v = \frac{v_O}{v_I} = 1$$

Mạch lặp có:

- Trở kháng vào vô cùng lớn.
- Trở kháng ra bằng không.



- Mạch lặp



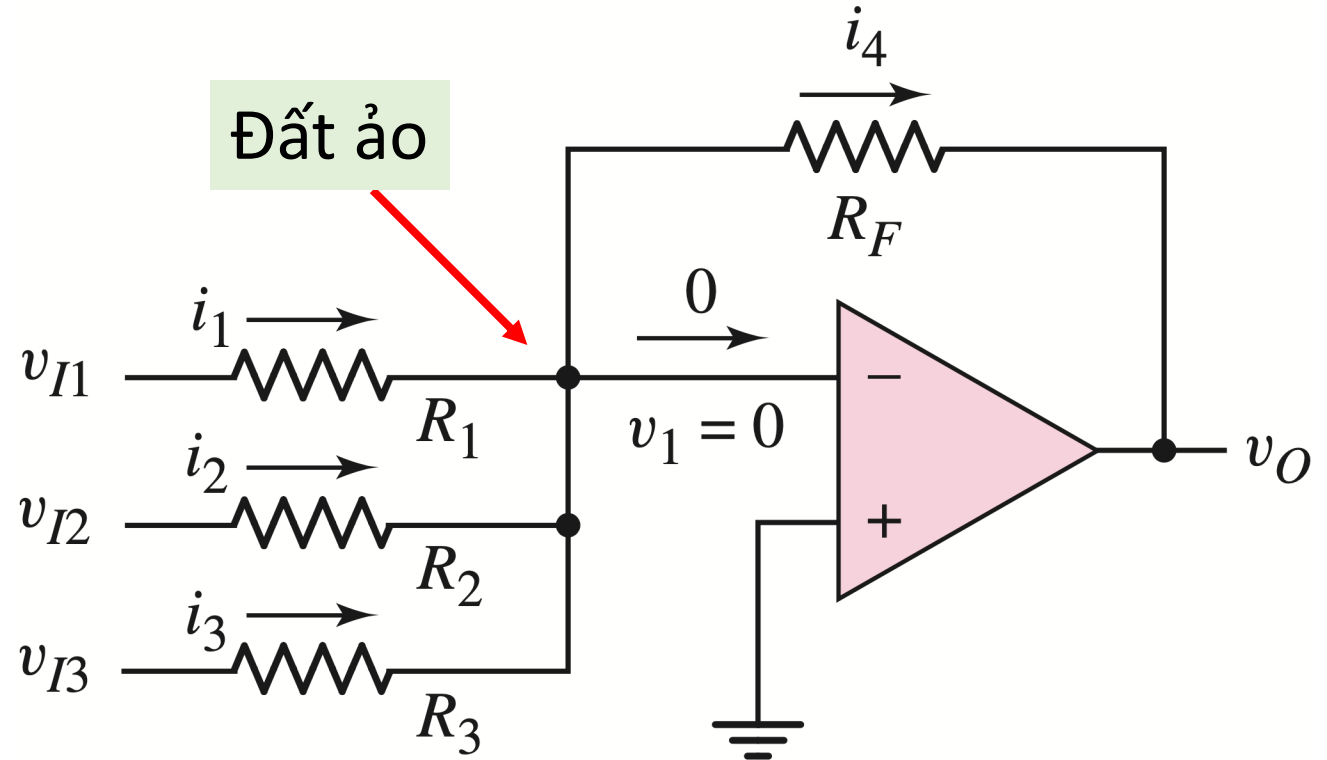
Được sử dụng như một bộ khuếch đại đệm giữa nguồn có trở kháng cao và tải trở kháng thấp.

# Mạch cộng (Mạch khuếch đại cộng)

Để phân tích mạch cộng:

- Sử dụng khái niệm đất ảo
- Sử dụng nguyên tắc xếp chồng để tìm điện áp đầu ra ứng với từng điện áp đầu vào.
- Tính tổng đại số những thành phần này để tìm tổng đầu ra.

• Mạch cộng:



# Mạch cộng (Mạch khuếch đại cộng)

- Sử dụng phương pháp xếp chồng, xét mạch chỉ với từng đầu vào.

- Đặt:

$$v_{I2} = v_{I3} = 0 \Rightarrow i_1 = \frac{v_{I1}}{R_1}$$

- Tính được:

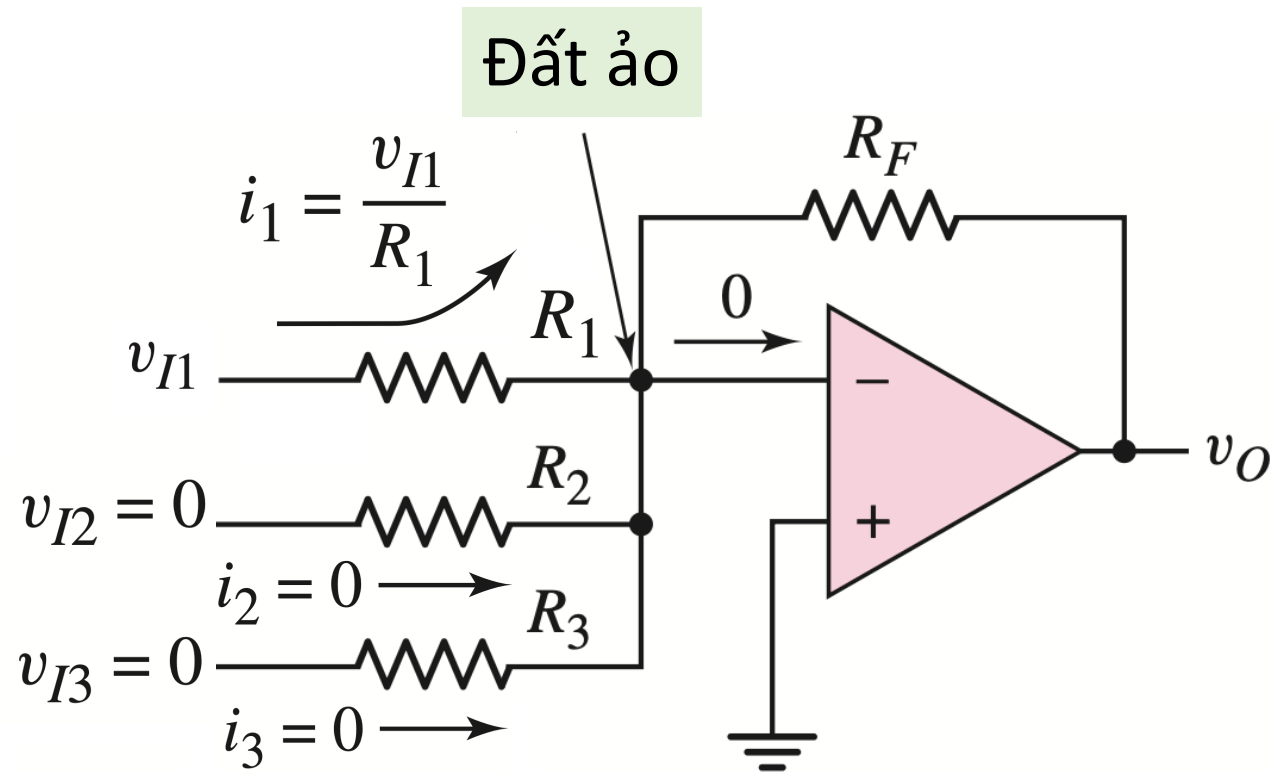
$$v_O(v_{I1}) = -i_1 R_F = -\left(\frac{R_F}{R_1}\right) v_{I1}$$

- Tương tự:

$$v_O(v_{I2}) = -i_2 R_F = -\left(\frac{R_F}{R_2}\right) v_{I2}$$

$$v_O(v_{I3}) = -i_3 R_F = -\left(\frac{R_F}{R_3}\right) v_{I3}$$

- Mạch cộng:



# Mạch cộng (Mạch khuếch đại cộng)

- Điện áp đầu ra là tổng đại số của các điện áp đầu ra thành phần:

$$v_O = v_O(v_{I1}) + v_O(v_{I2}) + v_O(v_{I3})$$

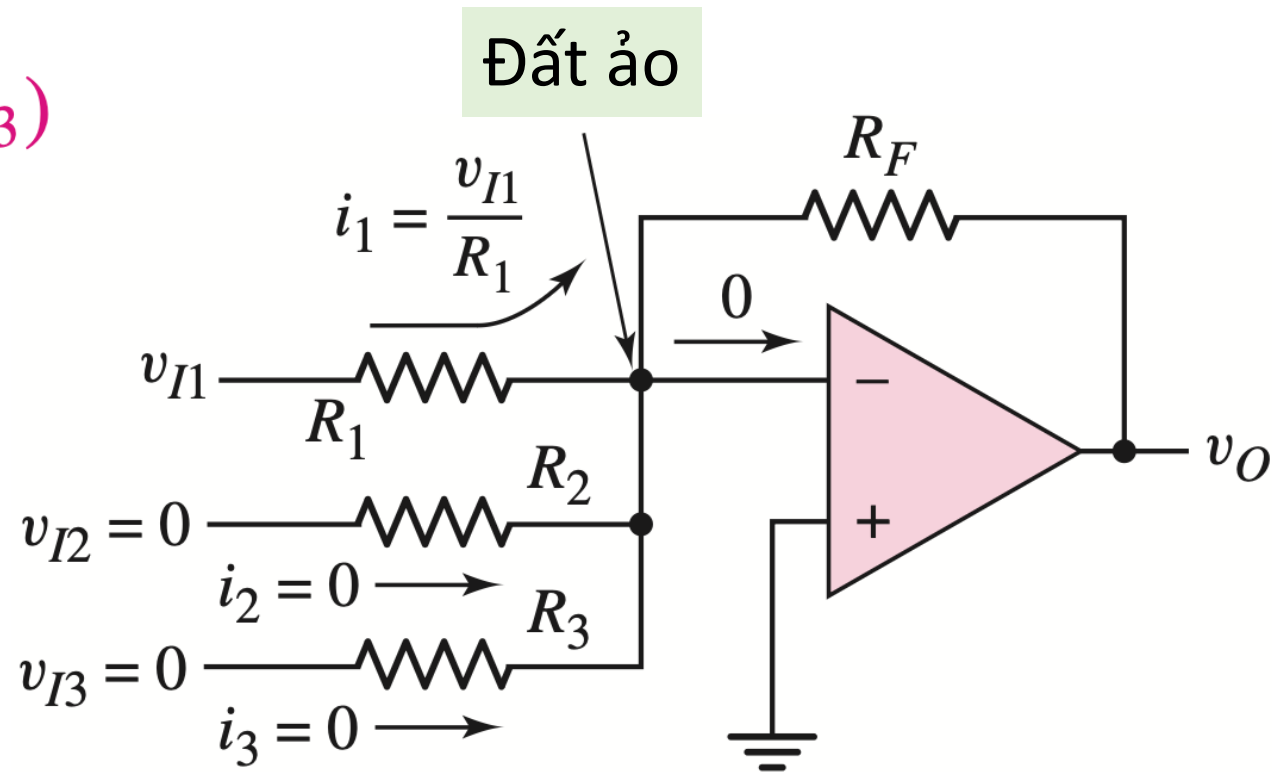
- Thay các điện áp đầu ra thành phần vào thu được:

$$v_O = - \left( \frac{R_F}{R_1} v_{I1} + \frac{R_F}{R_2} v_{I2} + \frac{R_F}{R_3} v_{I3} \right)$$

- Trong trường hợp:

$$R_1 = R_2 = R_3 \equiv R$$

- Mạch cộng:



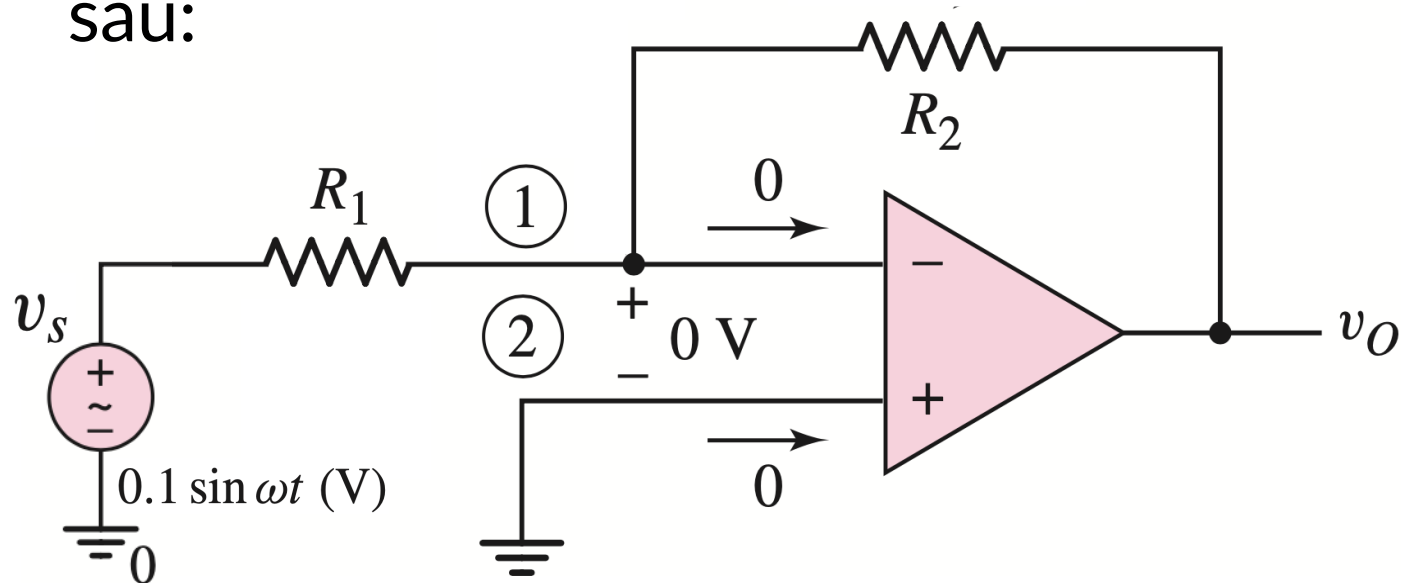
$$\Rightarrow v_O = -\frac{R_F}{R_1} (v_{I1} + v_{I2} + v_{I3})$$

## Ví dụ 4.1 Thiết kế bộ khuếch đại đảo

Các thông số của :

- Nguồn  $v_s = 0.1 \sin \omega t$  (V) cấp dòng tối đa  $5\mu\text{A}$
- Hệ số khuếch đại  $A_v = -5$
- Giả thiết tần số của tín hiệu rất thấp và các ảnh hưởng của tần số có thể bỏ qua.

- Thiết kế bộ khuếch đại đảo với hệ số khuếch đại điện áp cho trước như hình sau:



**Chú ý:** nếu tín hiệu sin đầu vào có trở kháng đầu ra  $\neq 0$  thì KĐTT cần phải được thiết kế lại để đáp ứng hệ số khuếch đại theo yêu cầu.



## Ví dụ 4.1 Thiết kế bộ khuếch đại đảo

- Dòng điện đầu vào:

$$i_1 = \frac{v_I}{R_1} = \frac{v_s}{R_1}$$

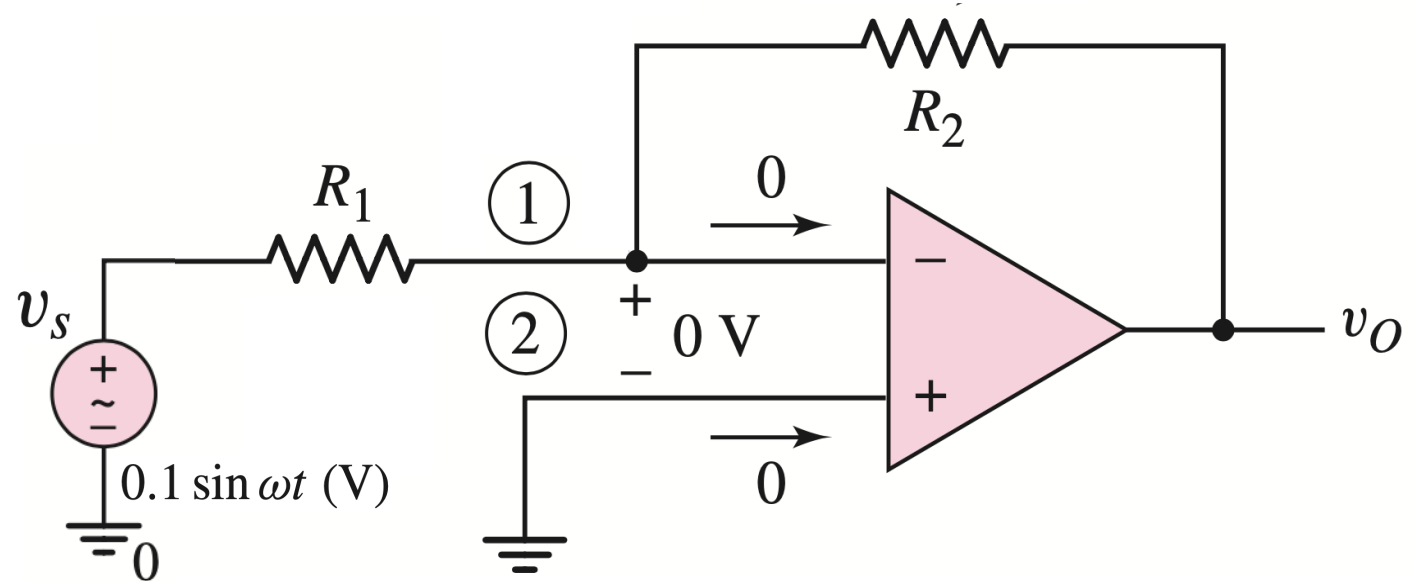
- Nếu:  $i_1(\text{max}) = 5 \mu\text{A}$

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{v_s(\text{max})}{i_1(\text{max})} \\ &= \frac{0.1}{5 \times 10^{-6}} \Rightarrow 20 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

- Hệ số KĐ điện áp đã cho:  $A_v = \frac{-R_2}{R_1} = -5$

$$\Rightarrow R_2 = 5R_1 = 5(20) = 100 \text{ k}\Omega$$

- Mạch kkuếch đại đảo:



## Ví dụ 4.2 Thiết kế bộ khuếch đại đảo có trở kháng nguồn tín hiệu vào

Các thông số của mạch:

- Tín hiệu nguồn:

$$v_s = 0.1 \sin \omega t \text{ (V)}$$

- Trở kháng ra của nguồn:

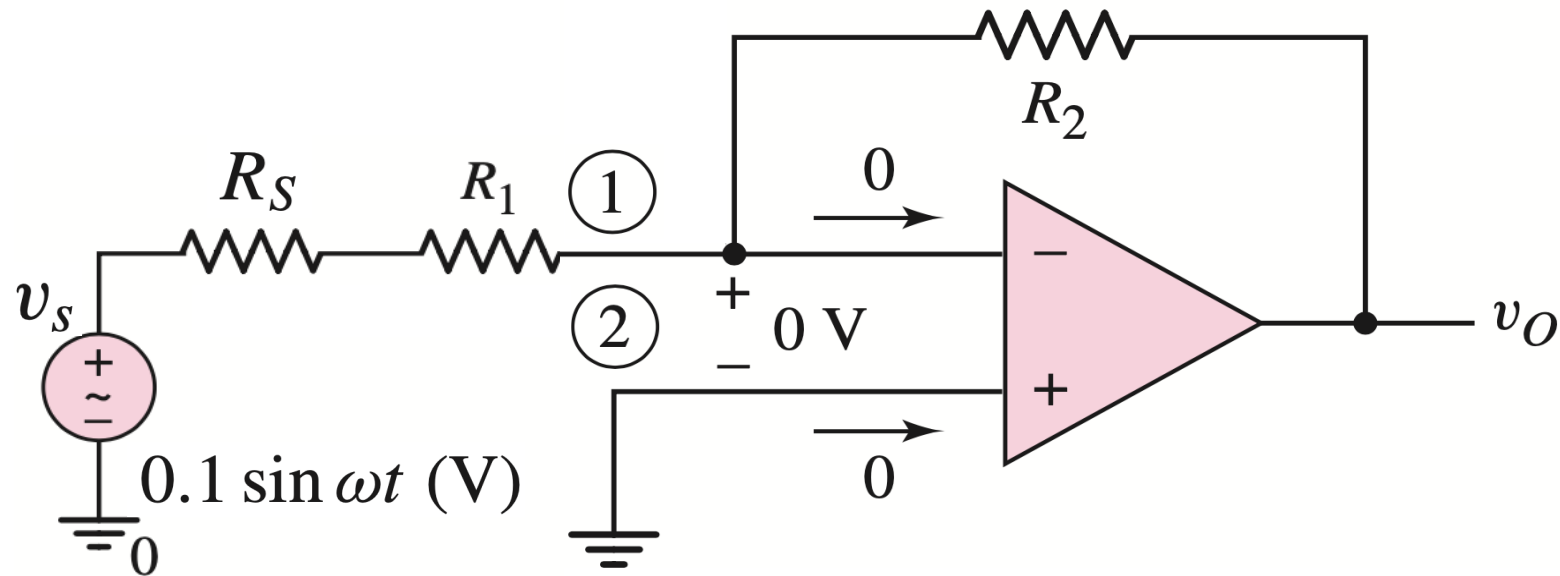
$$R_S = 1 \text{ k}\Omega$$

- Dòng tối đa  $5\mu\text{A}$

- Đầu ra mong muốn:

$$v_o = -0.5 \sin \omega t$$

- Thiết kế bộ khuếch đại đảo như hình sau:



## Ví dụ 4.2 Thiết kế bộ khuếch đại đảo có trở kháng nguồn tín hiệu vào

- Trở kháng đầu vào:

$$\begin{aligned} R_1 + R_S &= \frac{v_s(\max)}{i_1(\max)} \\ &= \frac{0.1}{5 \times 10^{-6}} \\ &= 20 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

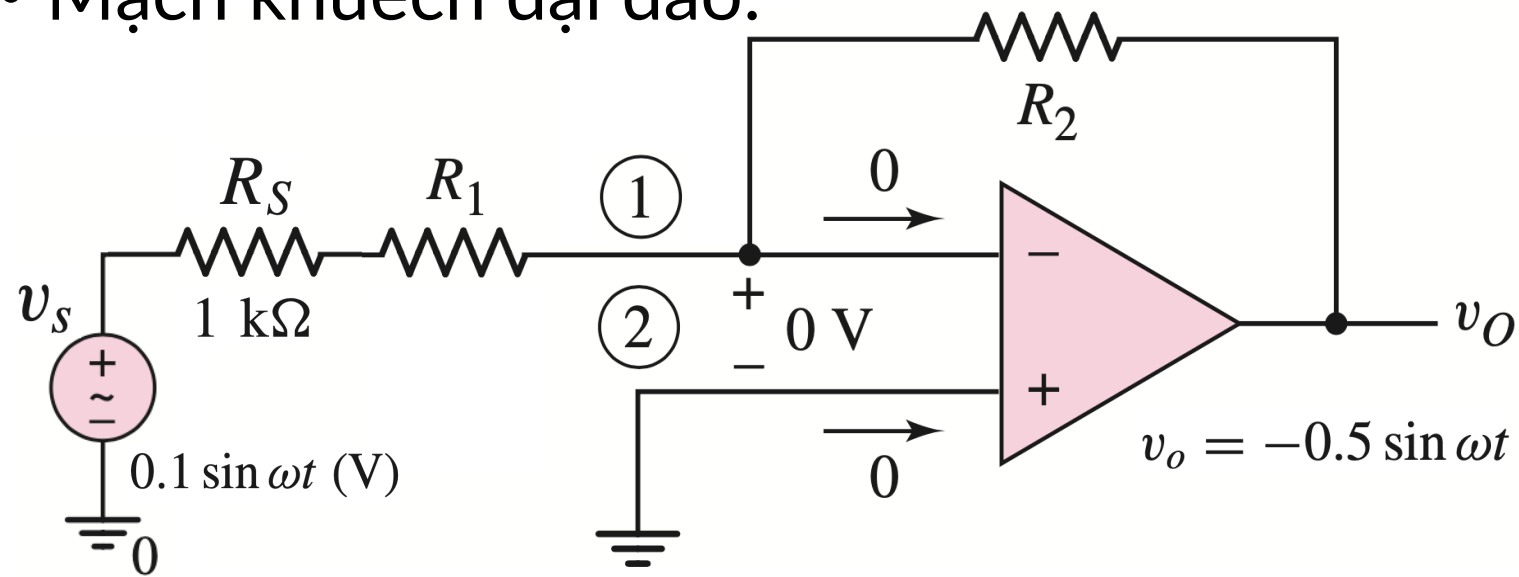
- Trở kháng nguồn:

$$R_S = 1 \text{ k}\Omega$$

- Điện trở phân hồi:

→  $R_1 = 19 \text{ k}\Omega$

- Mạch khuếch đại đảo:



- Hệ số khuếch đại điện áp vòng kín:

$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{-0.5 \sin \omega t}{0.1 \sin \omega t} = -5 = \frac{-R_2}{R_1 + R_S}$$

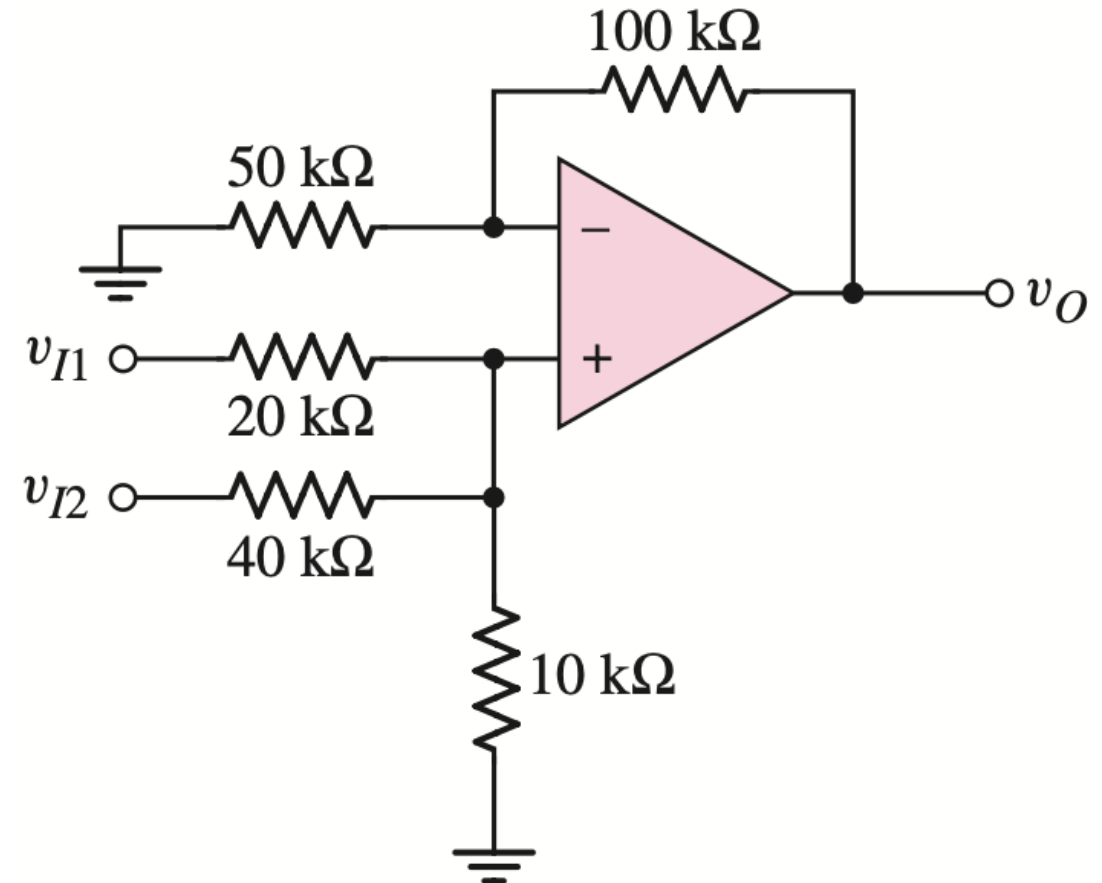
$$R_2 = 5(R_1 + R_S) = 5(19 + 1) = 100 \text{ k}\Omega$$

## Ví dụ 4.3 Tính toán với mạch khuếch đại không đảo

- Xét mạch khuếch đại không đảo như hình bên:

- a) Tìm hàm điện áp đầu ra theo đầu vào
- b) Tìm điện áp đầu ra với  $v_{I1} = 0.2V$  và  $v_{I2} = 0.3V$
- c) Tìm điện áp đầu ra với  $v_{I1} = +0.25V$  và  $v_{I2} = -0.40V$

- Mạch khuếch đại không đảo:



## Ví dụ 4.3 Tính toán với mạch khuếch đại không đảo

Câu a:

- Điện áp đầu ra:

$$v_o = \left(1 + \frac{100}{50}\right) v_2 = 3v_2$$

- Dòng  $i_2$ : 
$$\frac{v_{I1} - v_2}{20} + \frac{v_{I2} - v_2}{40} = \frac{v_2}{10}$$

- Suy ra:

- Tính được:  $2v_{I1} - 2v_2 + v_{I2} - v_2 = 4v_2$

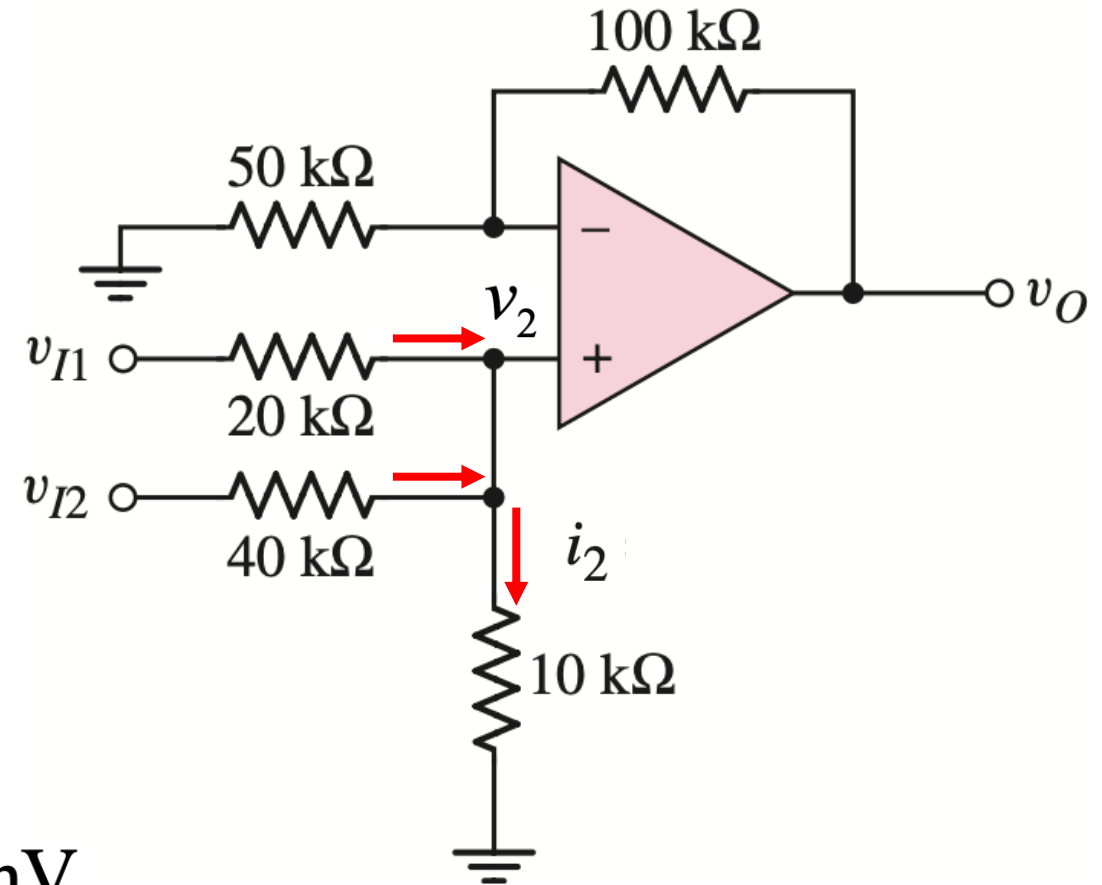
$$v_o = \frac{6}{7} \cdot v_{I1} + \frac{3}{7} \cdot v_{I2}$$

Câu b:

$$v_o = 0.3 \text{ V}$$

$$v_o = 42.86 \text{ mV}$$

- Mạch khuếch đại không đảo:



## Ví dụ 4.4 Thiết kế mạch khuếch đại cộng

- Cho mạch khuếch đại cộng như hình bên.

a) Thiết kế mạch sao cho

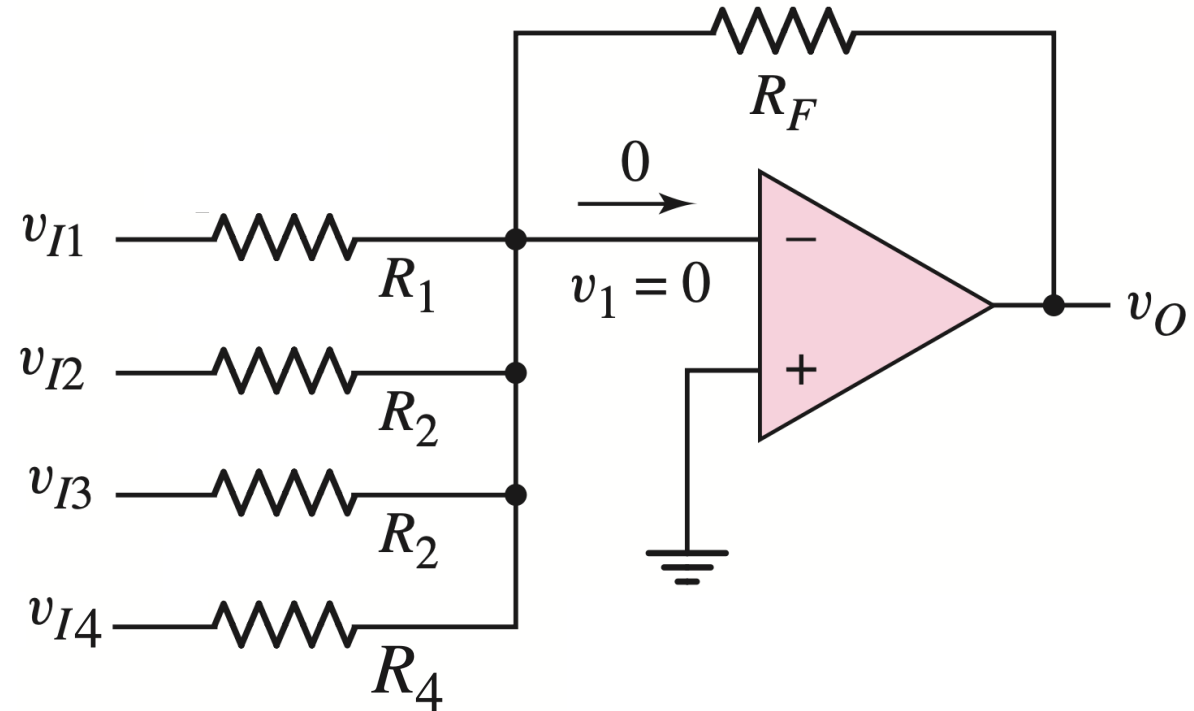
- Trở kháng lớn nhất  $400\text{k}\Omega$
- Điện áp đầu ra:

$$v_O = -3(v_{I1} + 2v_{I2} + 0.3v_{I3} + 4v_{I4})$$

b) Tìm điện áp đầu ra với:

- (i)  $v_{I1} = 0.1\text{V}$ ,  $v_{I2} = -0.2\text{V}$ ,  $v_{I3} = -1\text{V}$ ,  $v_{I4} = 0.05\text{V}$
- (ii)  $v_{I1} = -0.2\text{V}$ ,  $v_{I2} = 0.3\text{V}$ ,  $v_{I3} = 1.5\text{V}$ ,  $v_{I4} = -0.1\text{V}$

- Mạch khuếch đại cộng:



Đáp án:

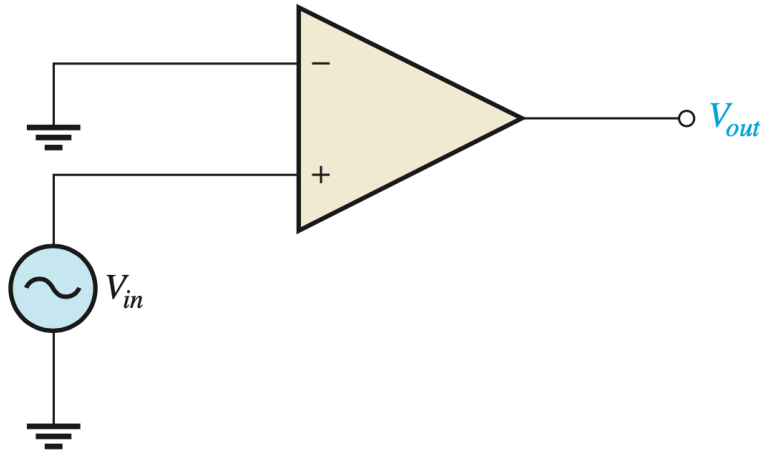
a)  $R_3 = 400\text{k}\Omega$ ,  $R_F = 360\text{k}\Omega$ ,  $R_1 = 120\text{k}\Omega$ ,  $R_2 = 60\text{k}\Omega$ ,  $R_4 = 30\text{k}\Omega$

b) (i)  $v_O = +1.2\text{V}$ , (ii)  $v_O = -1.35\text{V}$

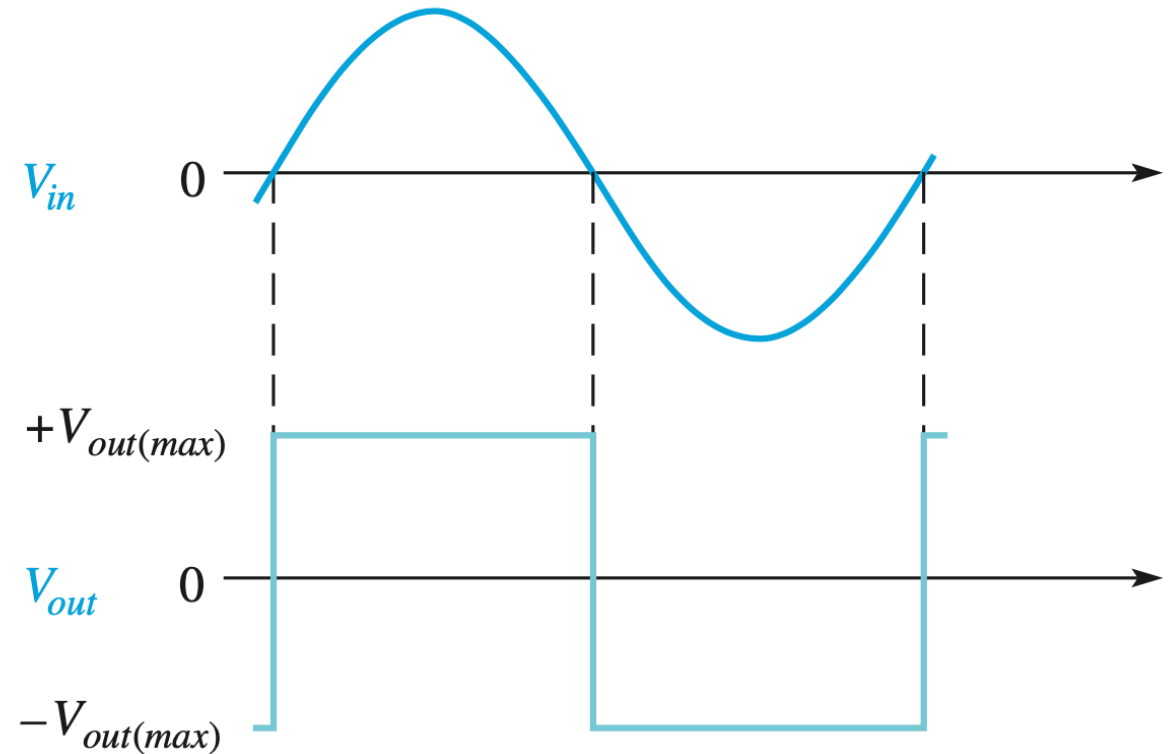
- Bộ so sánh là một mạch phát hiện điện áp đầu vào vượt qua một ngưỡng xác định nào đó.
- Khi sử dụng op-amp cho bộ so sánh, sẽ không có hồi tiếp âm; đầu ra của op-amp sẽ bão hoà ở một trong hai trạng thái (thường là điện áp âm hoặc dương)
- Bộ so sánh bao gồm:
  - Bộ so sánh phát hiện mức 0
  - Bộ so sánh phát hiện mức khác 0

# Bộ so sánh phát hiện mức không

- Đầu vào đảo nối đất, tín hiệu vào đưa vào đầu vào không đảo.
- Khi tín hiệu đầu vào vượt qua điểm tham chiếu 0V, đầu ra chuyển từ trạng thái bão hoà này sang trạng thái bão hoà khác.



- Tín hiệu đầu vào và ra

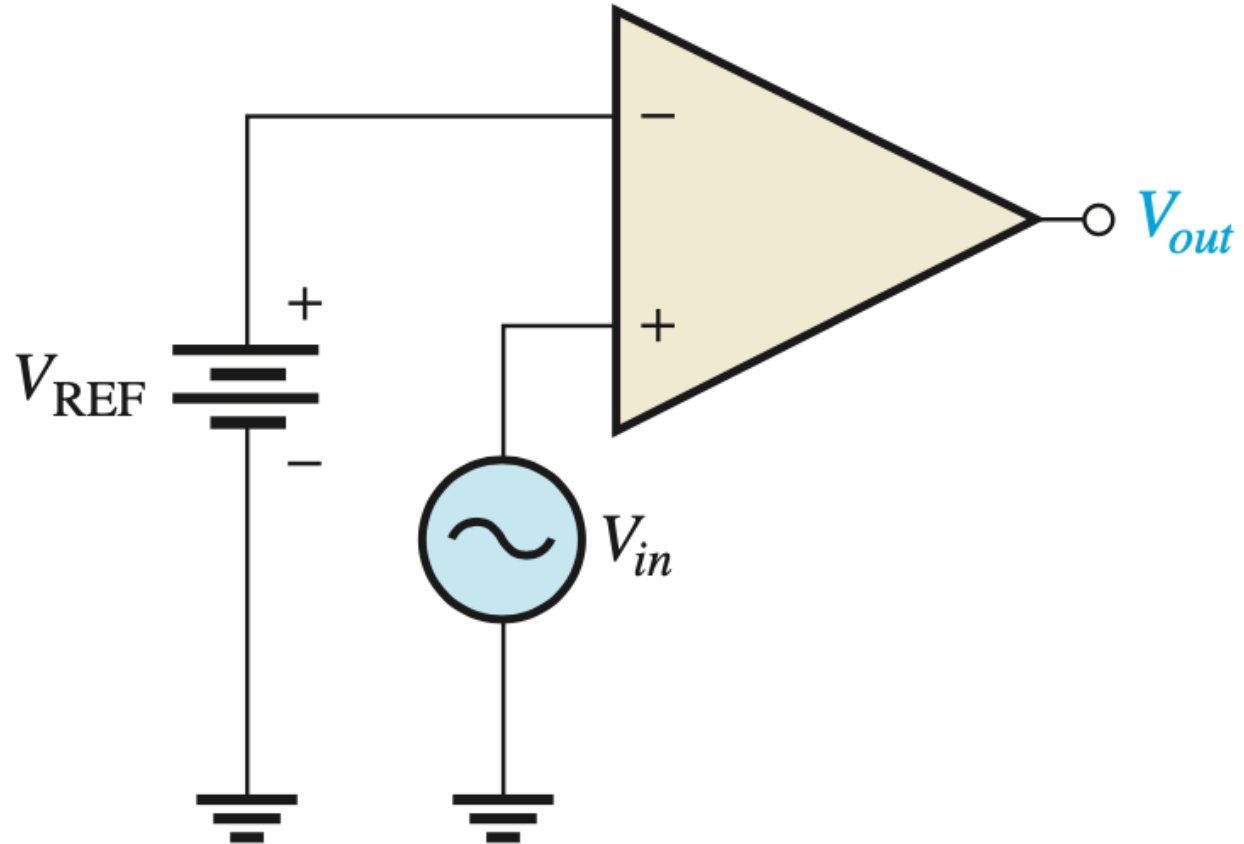




# Bộ so sánh phát hiện mức khác không

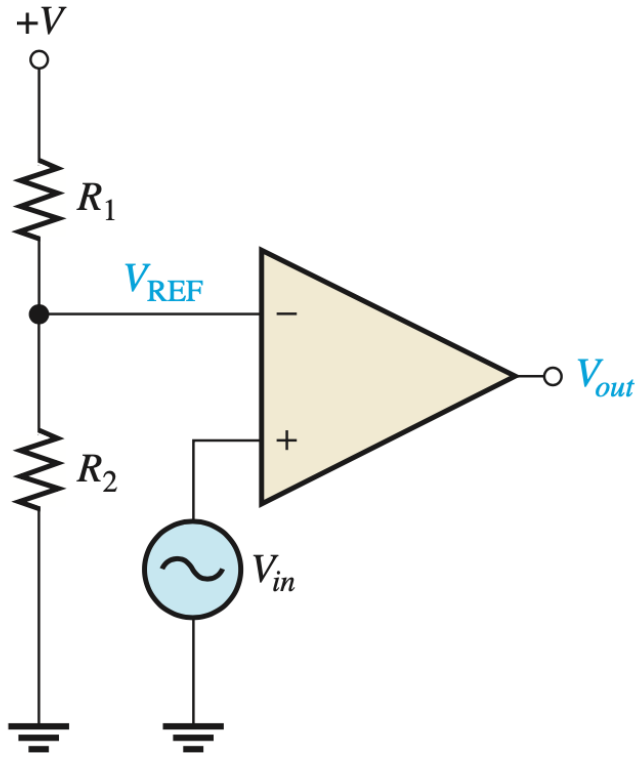
- Để tạo ra bộ so sánh phát hiện mức khác không, có thể điều chỉnh bộ so sánh phát hiện mức 0 bằng cách đưa điện áp tham chiếu vào đầu vào đảo của op-am.
- Điện áp tham chiếu là cố định, không thay đổi.

- Bộ so sánh phát hiện mức khác không

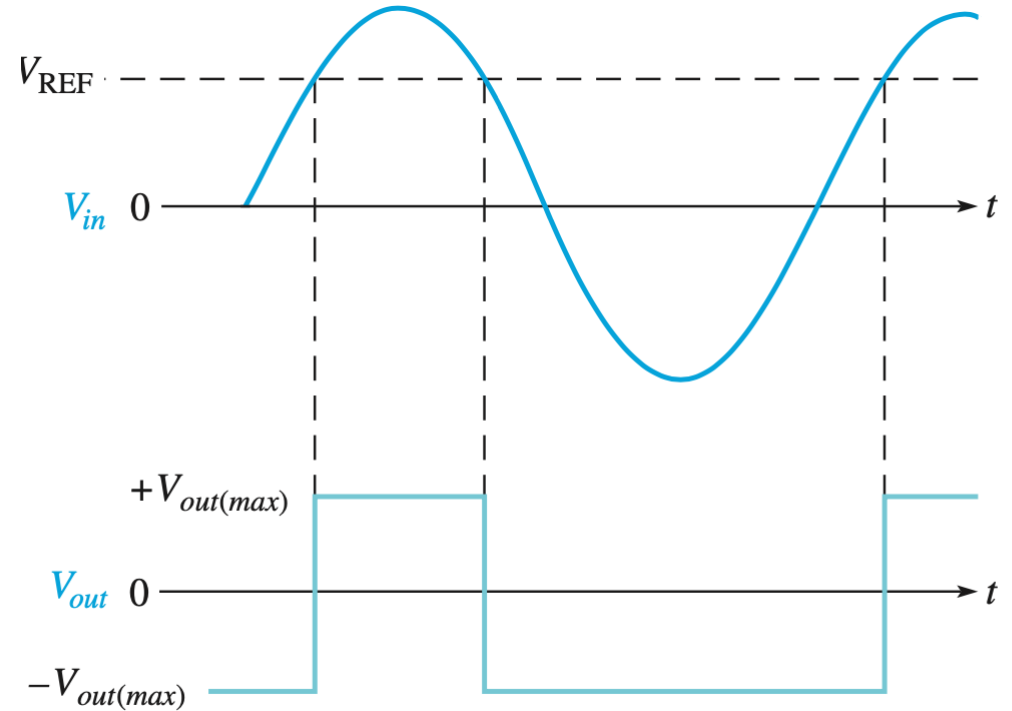


# Bộ so sánh phát hiện mức khác không

- Để có thể tạo nhiều mức điện áp tham chiếu, có thể đưa điện áp tham chiếu vào như sau:



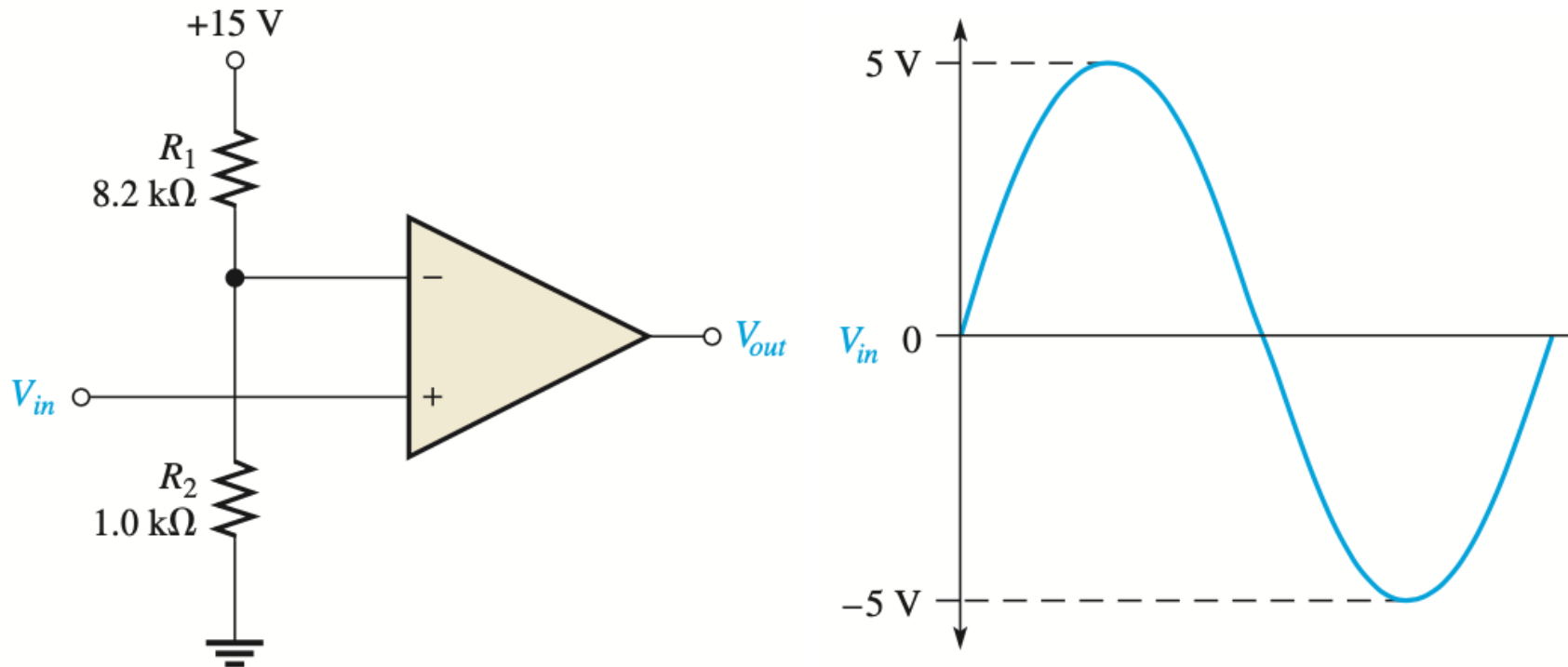
- Điện áp đầu vào và ra



$$V_{REF} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (+V)$$

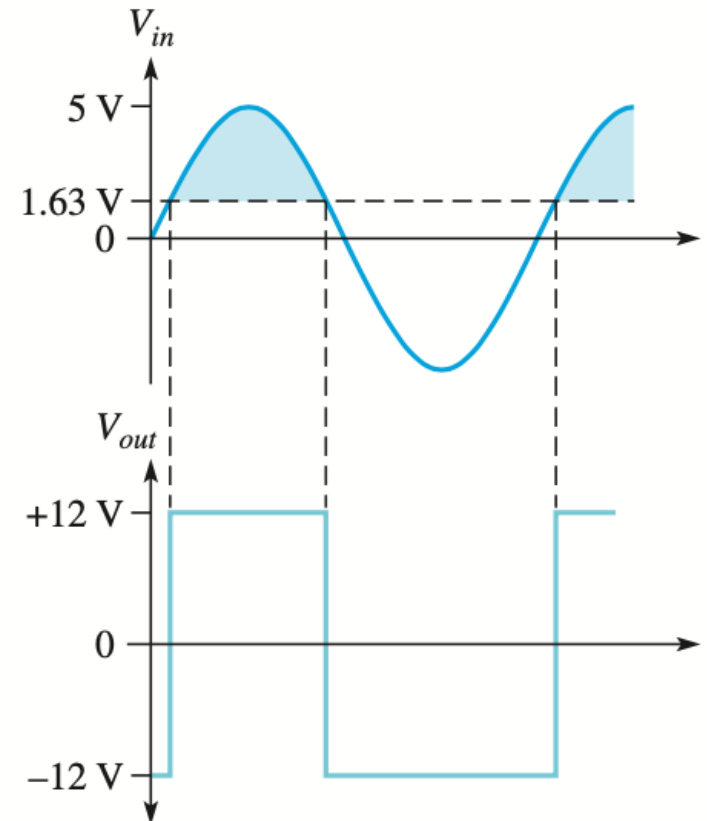
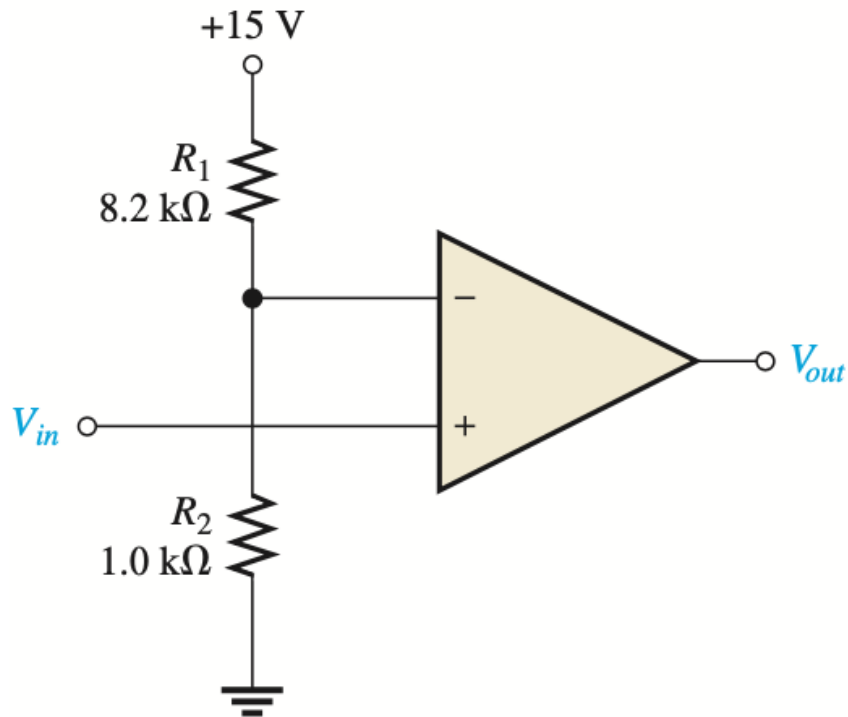
## Ví dụ 4.5 Bộ so sánh phát hiện mức khác không

- Vẽ tín hiệu đầu ra của bộ so sánh sau với tín hiệu đầu vào xoay chiều, giả thiết đầu ra của op-amp lớn nhất là  $\pm 12$  V.



## Ví dụ 4.5 Bộ so sánh phát hiện mức khác không

- Điện áp tham chiếu:

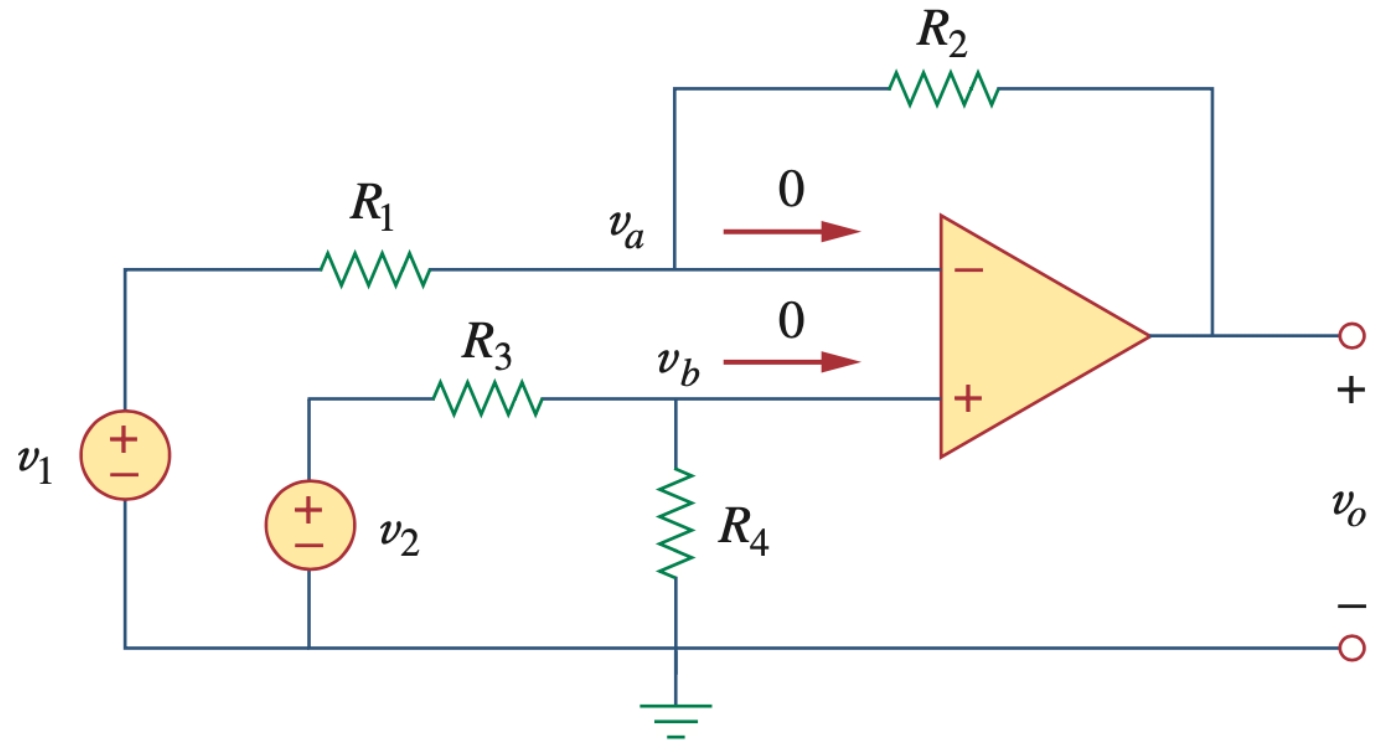


$$V_{\text{ref}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (+V) = \frac{1.0}{8.2 + 1.0} \times 15 = 1.63\text{V}$$

# Mạch khuếch đại vi sai

- Mạch khuếch đại vi sai khuếch đại sự khác nhau giữa hai tín hiệu đầu vào và loại bỏ thành phần tín hiệu khác nhau giữa hai đầu vào.
- Được sử dụng trong nhiều ứng dụng khác nhau khi cần khuếch đại sự khác nhau giữa 2 tín hiệu đầu vào.

- Mạch khuếch đại vi sai:



# Mạch khuếch đại vi sai

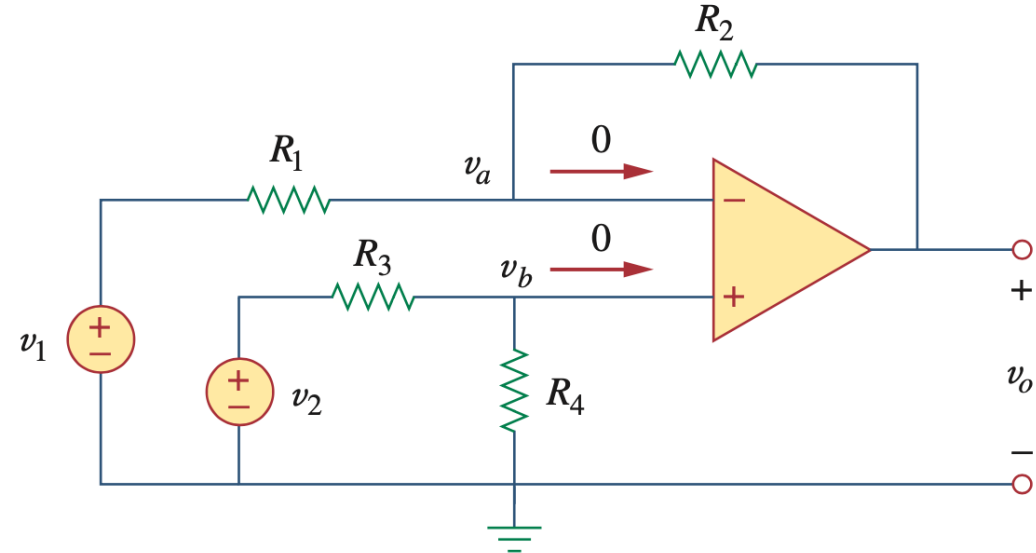
- Xét nút a:

$$\frac{v_1 - v_a}{R_1} = \frac{v_a - v_o}{R_2}$$
$$v_o = \left( \frac{R_2}{R_1} + 1 \right) v_a - \frac{R_2}{R_1} v_1$$

- Xét nút b:

$$\frac{v_2 - v_b}{R_3} = \frac{v_b - 0}{R_4}$$
$$v_b = \frac{R_4}{R_3 + R_4} v_2$$

- Mạch khuếch đại vi sai:



- Với:

$$v_a = v_b$$

$$\Rightarrow v_o = \left( \frac{R_2}{R_1} + 1 \right) \frac{R_4}{R_3 + R_4} v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1$$

- Hay:

$$v_o = \frac{R_2(1 + R_1/R_2)}{R_1(1 + R_3/R_4)} v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1$$

# Mạch khuếch đại vi sai

- Điện áp đầu ra:

$$v_o = \frac{R_2(1 + R_1/R_2)}{R_1(1 + R_3/R_4)}v_2 - \frac{R_2}{R_1}v_1$$

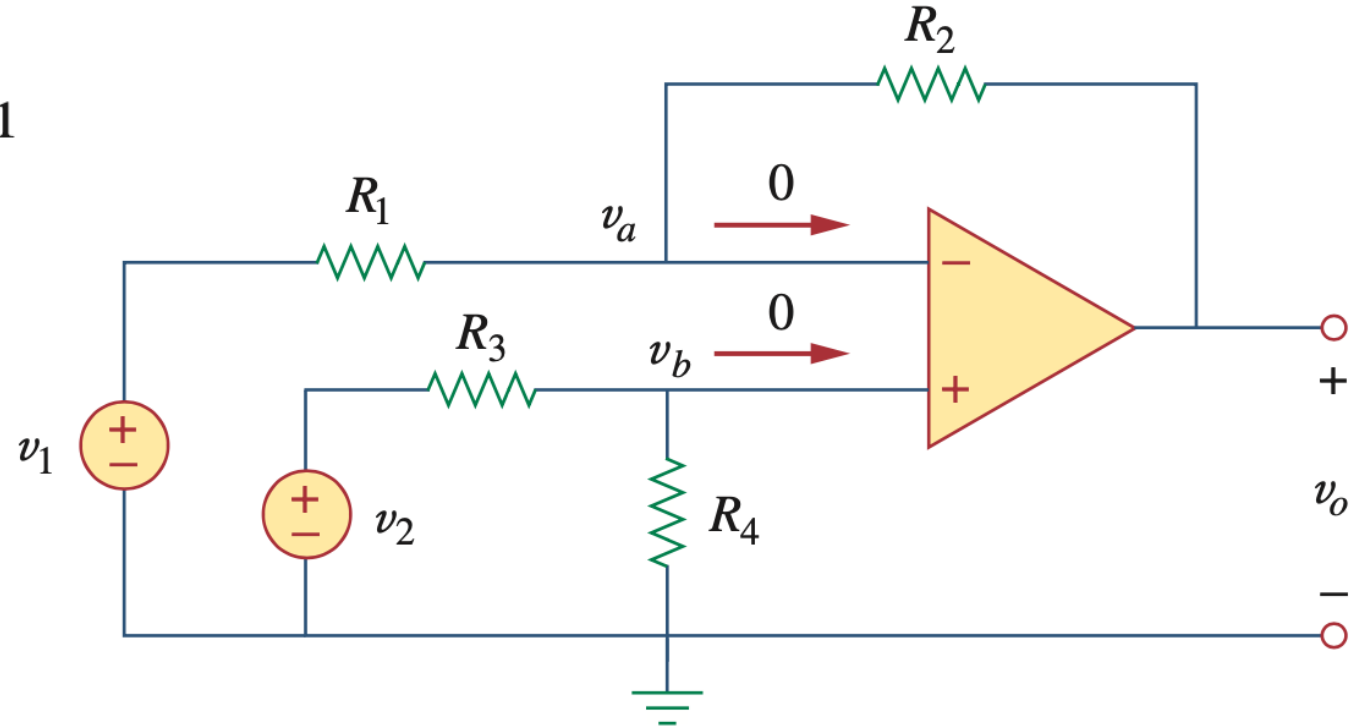
- Nếu:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

- Điện áp đầu ra:

$$v_o = \frac{R_2}{R_1}(v_2 - v_1)$$

- Mạch khuếch đại vi sai:



- Nếu:

$$v_1 = v_2 \Rightarrow v_o = 0$$

## Ví dụ 4.6 Thiết kế mạch khuếch đại vi sai

- Thiết kế mạch op-amp có đầu vào  $v_1$  và  $v_2$ , điện áp đầu ra

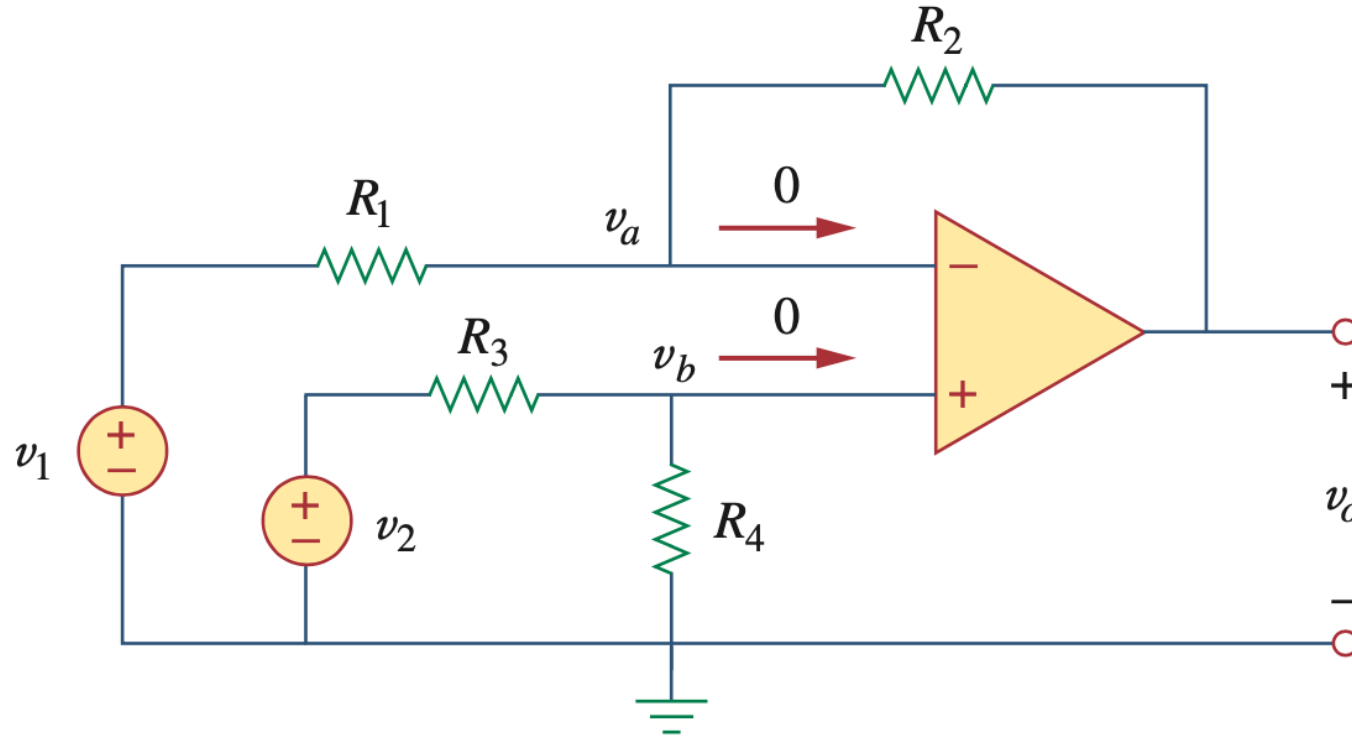
$$v_o = -5v_1 + 3v_2$$

- Cách 1: sử dụng một op-amp
- Cách 2: sử dụng 2 op-amp: kết hợp bộ đảo và bộ cộng



## Ví dụ 4.6 Thiết kế mạch khuếch đại vi sai

- Cách 1: Thiết kế mạch chỉ sử dụng 1 op-amp, sử dụng mạch khuếch đại vi sai.



- Điện áp đầu ra tính được như sau:

$$v_o = \frac{R_2(1 + R_1/R_2)}{R_1(1 + R_3/R_4)} v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1$$

## Ví dụ 4.6 Thiết kế mạch khuếch đại vi sai

- Hệ số KĐ điện áp mạch vi sai:

$$v_o = \frac{R_2(1 + R_1/R_2)}{R_1(1 + R_3/R_4)}v_2 - \frac{R_2}{R_1}v_1$$

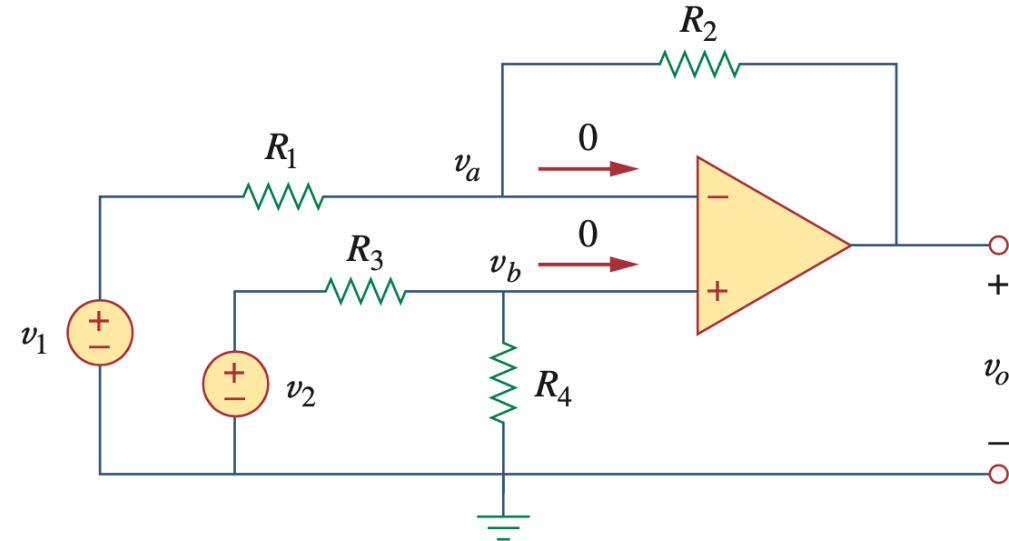
- Với:  $v_o = -5v_1 + 3v_2$

$$\frac{R_2}{R_1} = 5 \Rightarrow R_2 = 5R_1$$

$$5 \frac{(1 + R_1/R_2)}{(1 + R_3/R_4)} = 3 \Rightarrow \frac{\frac{6}{5}}{1 + R_3/R_4} = \frac{3}{5}$$

$$2 = 1 + \frac{R_3}{R_4} \Rightarrow R_3 = R_4$$

- Mạch khuếch đại vi sai:



- Chọn:  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$   
và  $R_3 = 20 \text{ k}\Omega$
- Suy ra:  $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$   
 $R_4 = 20 \text{ k}\Omega$

## Ví dụ 4.6 Thiết kế mạch khuếch đại vi sai

- Cách 2: Sử dụng 2 op-amp, kết hợp bộ đảo nối với bộ cộng như hình bên.
- Điện áp đầu ra tính được như sau:

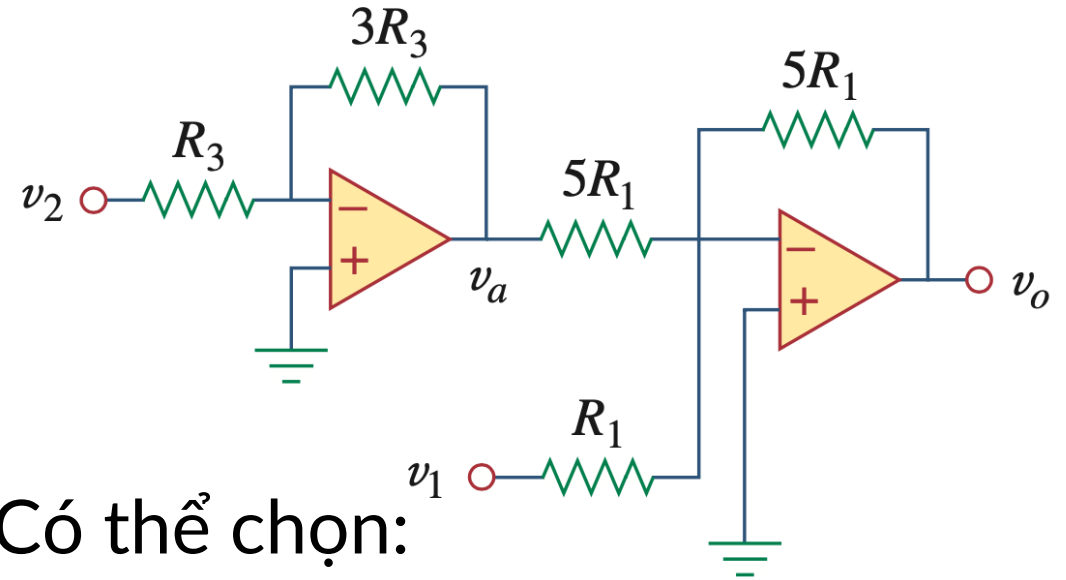
$$v_o = -v_a - 5v_1$$

- Với:  $v_a = -3v_2$

- Điện áp đầu ra:

$$v_o = 3v_2 - 5v_1$$

- Mạch sử dụng kết hợp bộ đảo vào bộ cộng:



- Có thể chọn:

$$\text{Hoặc: } R_1 = 10 \text{ k}\Omega \quad R_3 = 20 \text{ k}\Omega$$

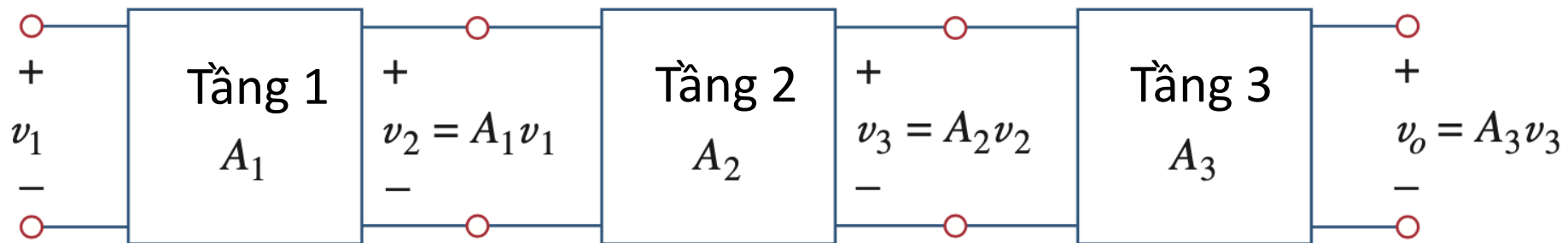
$$R_1 = R_3 = 10 \text{ k}\Omega$$

# Mạch op-amp xếp tầng

- Xếp tầng là phương pháp nối hai hay nhiều mạch điện bằng cách đưa đầu ra của khối này vào đầu vào của khối khác.
- Khi mạch op-amp được xếp tầng, mỗi mạch điện trong chuỗi được gọi là một tầng, tín hiệu đầu vào ban đầu được tăng lên bởi hệ số khuếch đại của mỗi tầng riêng biệt.
- Ưu điểm của mạch op-amp là có thể xếp tầng mà không làm thay đổi mối quan hệ đầu vào/đầu ra vì mỗi mạch op-amp có trở kháng đầu vào vô cùng và trở kháng đầu ra bằng 0.

# Mạch op-amp xếp tầng

- Các mạch op-amp được xếp tầng như sau:



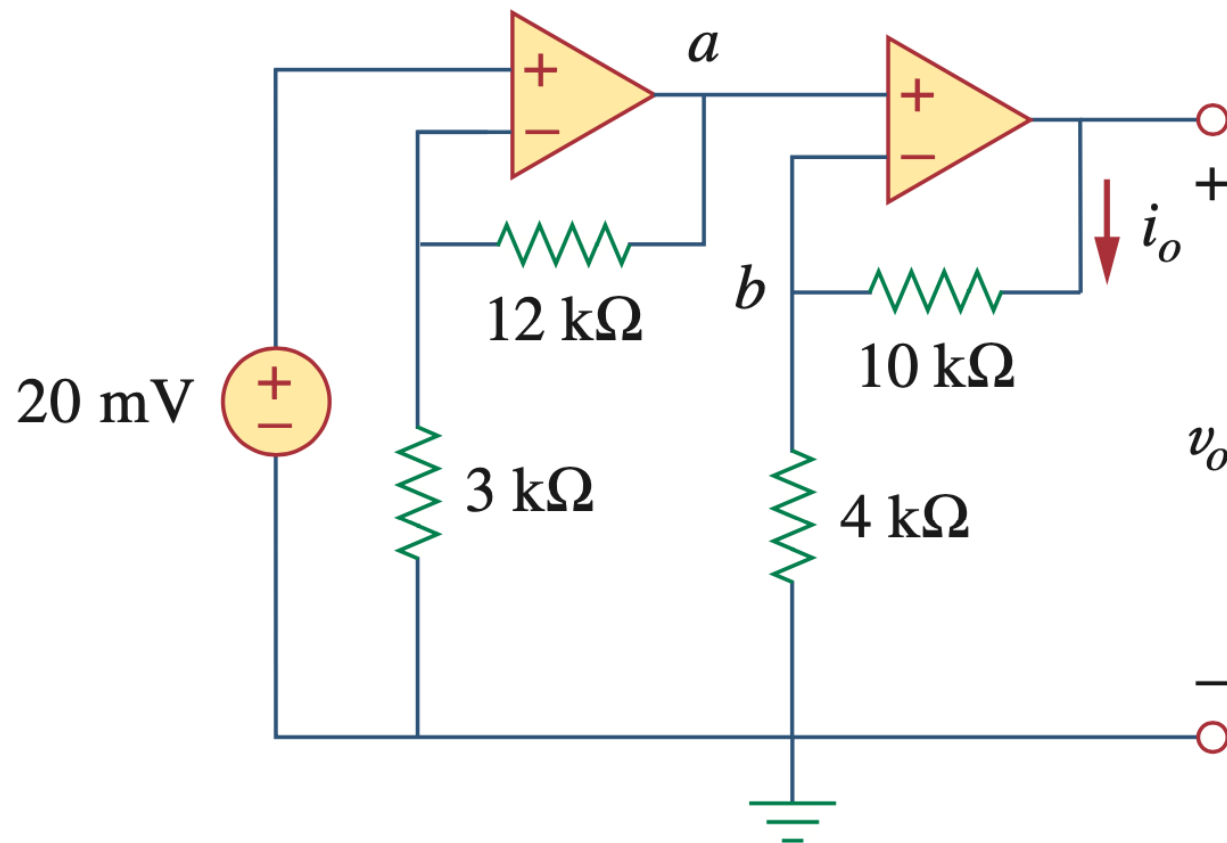
- Hệ số khuếch đại của toàn mạch tính được như sau:

$$A = A_1 A_2 A_3$$

- Tuy xếp tầng mạch op-amp không làm ảnh hưởng đến mối quan hệ đầu vào/đầu ra, nhưng cần thận trọng khi thiết kế để tải đến tầng tiếp theo không làm bão hoà mạch op-amp.

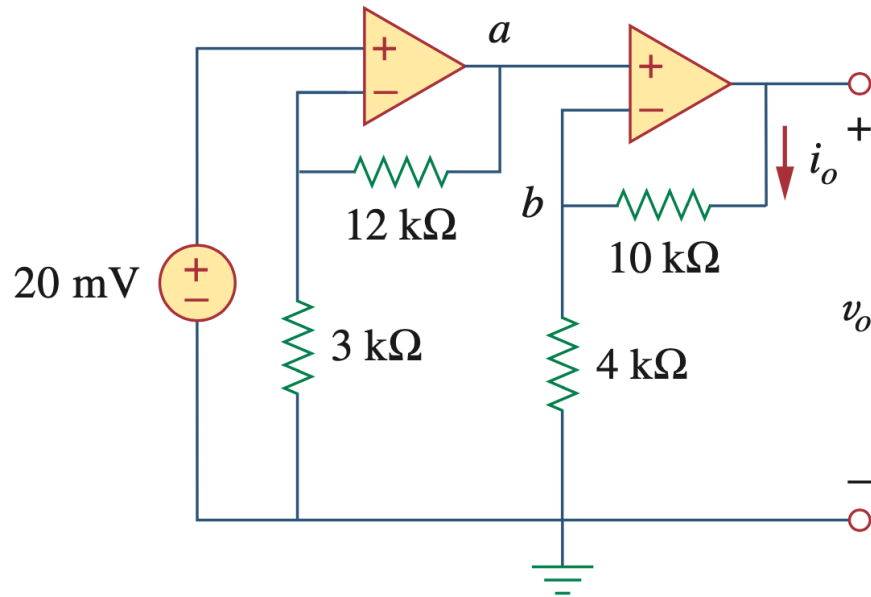
## Ví dụ 4.7 Tính toán mạch op-amp xếp tầng

- Tìm  $v_o$  và  $i_o$  trong mạch sau:



## Ví dụ 4.7 Tính toán mạch op-amp xếp tầng

- Mạch bao gồm hai bộ khuếch đại không đảo nối tầng với nhau.



- Ở đầu ra của op-amp đầu tiên:

$$v_a = \left(1 + \frac{12}{3}\right)(20) = 100 \text{ mV}$$

- Ở đầu ra của op-amp thứ hai:

$$v_o = \left(1 + \frac{10}{4}\right)v_a$$

- Dòng  $i_o$ :  $= (1 + 2.5)100 = 350 \text{ mV}$

$$i_o = \frac{v_o - v_b}{10} \text{ mA}$$

- Với:

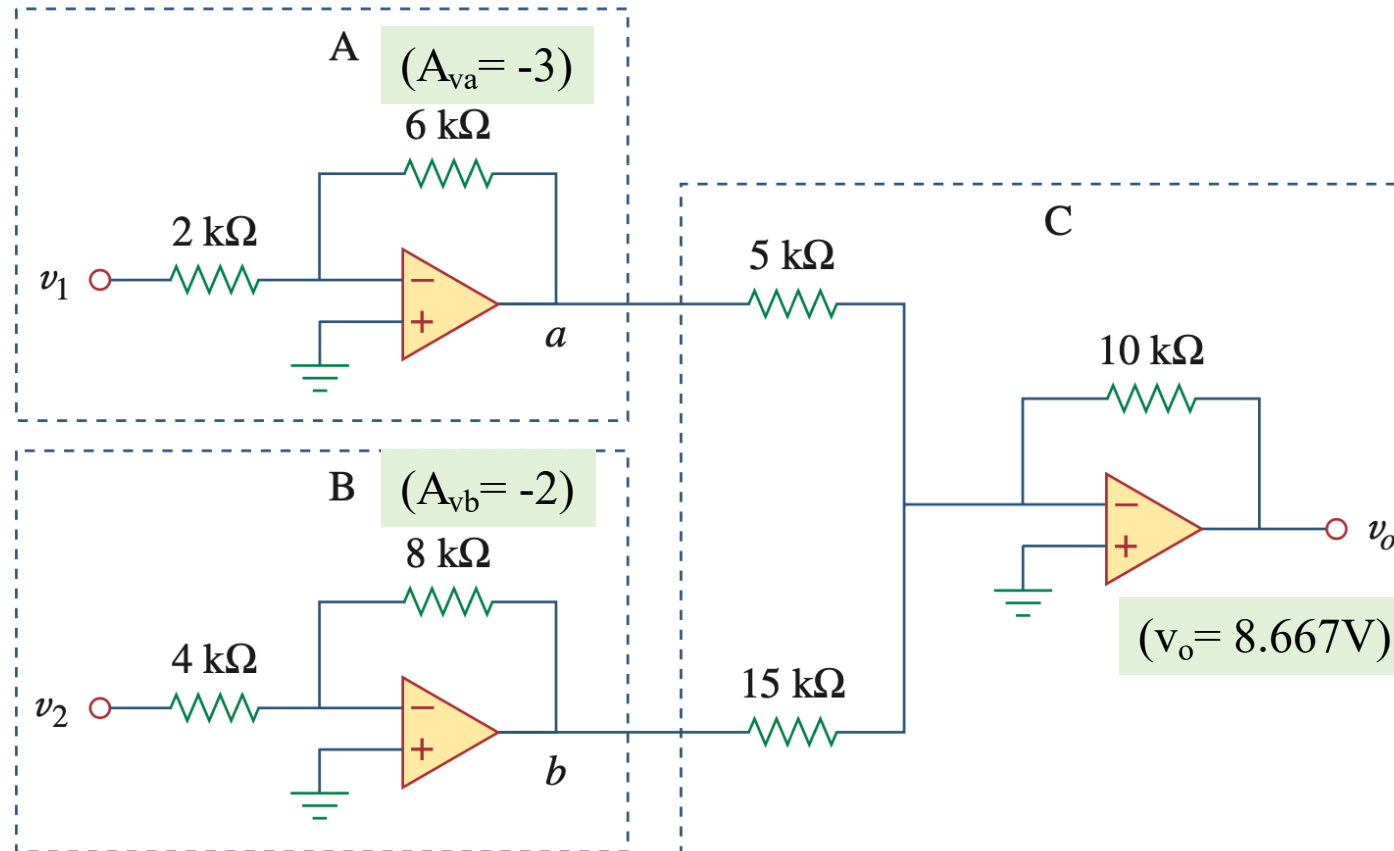
$$v_b = v_a = 100 \text{ mV}$$

- Dòng  $i_o$  tính được:

$$i_o = \frac{(350 - 100) \times 10^{-3}}{10 \times 10^3} = 25 \mu\text{A}$$

## Ví dụ 4.8 Tính điện áp đầu ra mạch xếp tầng

- Cho mạch như sau có  $v_1 = 1V$  và  $v_2 = 2V$ . Tìm  $v_o$ ?





## Ví dụ 4.8 Tính điện áp đầu ra mạch xếp tầng

- Hệ số khuếch đại op-amp A = -3
- Hệ số khuếch đại op-amp B = -2
- Điện áp đầu ra của 2 op-amp A và B lần lượt là:

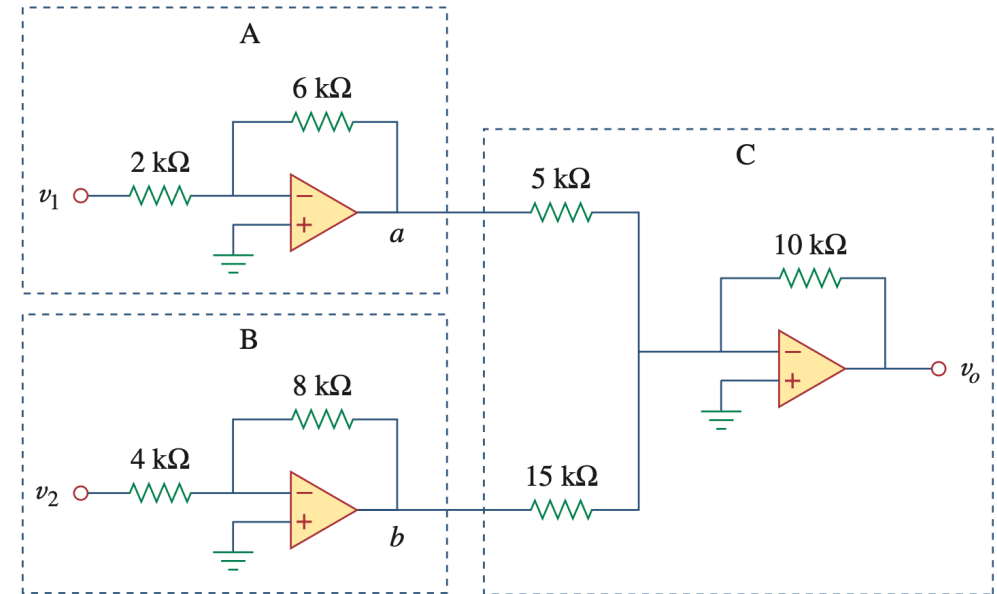
$$v_{11} = -3v_1 = -3 \times 1 = -3 \text{ V}$$

$$v_{22} = -2v_2 = -2 \times 2 = -4 \text{ V}$$

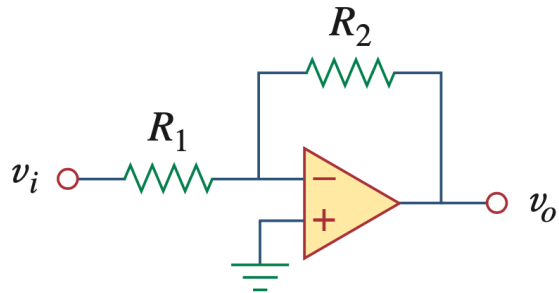
- Điện áp đầu ra op-amp C là:

$$\begin{aligned} v_o &= -(10 \text{ k}\Omega / 5 \text{ k}\Omega) v_{11} + [-(10 \text{ k}\Omega / 15 \text{ k}\Omega) v_{22}] \\ &= -2(-3) - (2/3)(-4) \\ &= 6 + 2.667 = \mathbf{8.667 \text{ V}} \end{aligned}$$

- Mạch khuếch đại xếp tầng:

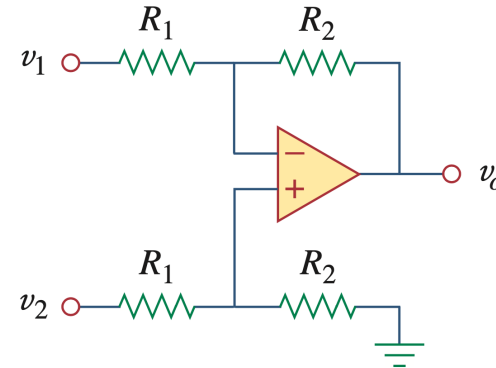


# Tổng kết



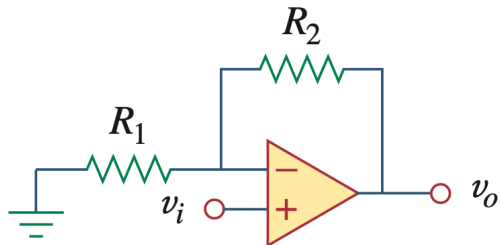
Khuếch đại đảo

$$v_o = -\frac{R_2}{R_1} v_i$$



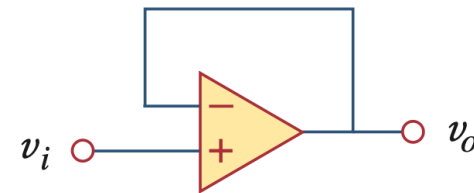
Mạch khuếch đại vi sai

$$v_o = \frac{R_2}{R_1} (v_2 - v_1)$$



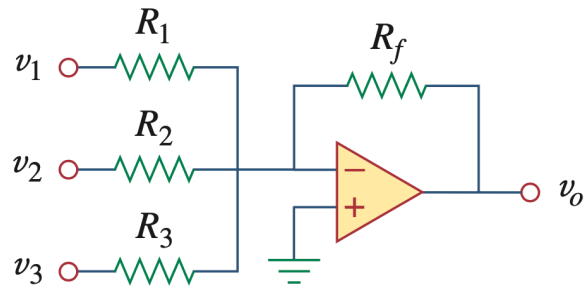
Khuếch đại không đảo

$$v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_i$$



Mạch lặp

$$v_o = v_i$$



Mạch cộng

$$v_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} v_1 + \frac{R_f}{R_2} v_2 + \frac{R_f}{R_3} v_3\right)$$

## Bài tập 4.1

- Thiết kế một mạch op-amp khuếch đại đảo sao cho hệ số khuếch đại điện áp  $A_v = -25$ . Dòng trên bất kỳ điện trở nào bị hạn chế tối đa  $10\mu\text{A}$  với điện áp đầu vào trong dải  $-25 \leq v_I \leq +25 \text{ mV}$

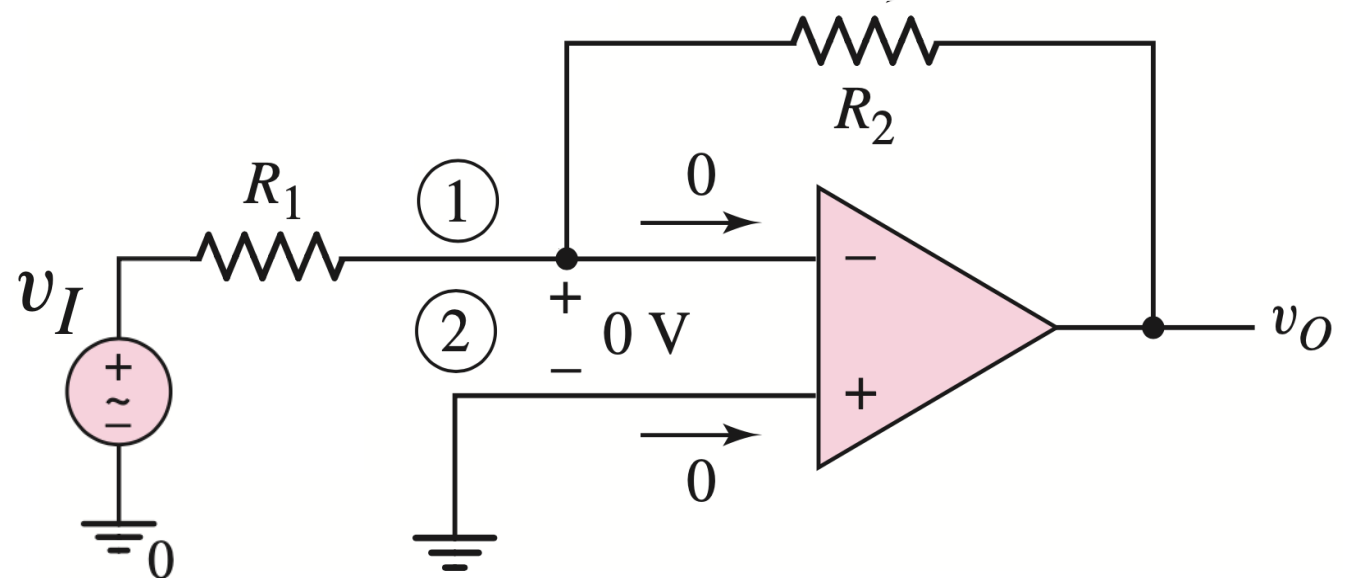
a) Tìm  $R_1$  và  $R_2$

b) Tìm dải điện áp đầu ra  $v_O$

• Đáp án:

a)  $R_1 = 2.5 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 62.5 \text{ k}\Omega$ ;

b)  $-0.625 \leq v_O \leq 0.625$



## Bài tập 4.2

Thiết kế một mạch op-amp khuếch đại đảo lý tưởng sao cho:

a) Hệ số khuếch đại điện áp  $A_v = -12$ ;  $R_2 = 240\text{k}\Omega$ .

b) Sử dụng kết quả trên, tìm  $i_1$  khi:

- (i)  $v_I = -0.15\text{ V}$

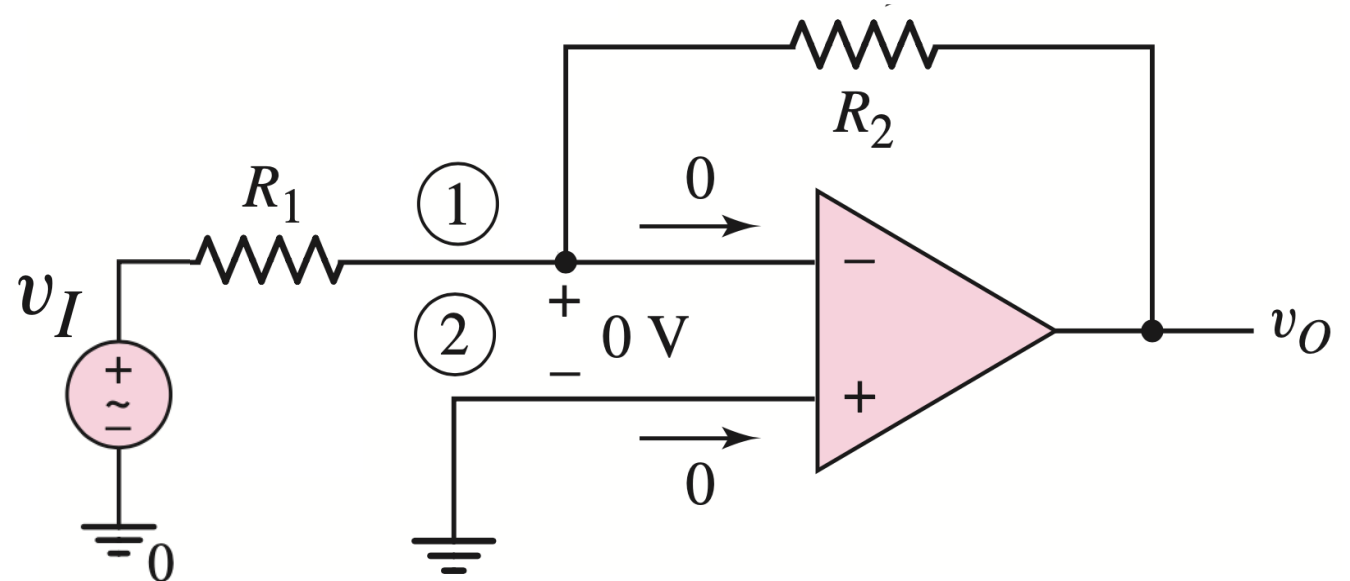
- (ii)  $v_I = +0.25\text{ V}$

• Đáp án:

a)  $R_1 = 20\text{ k}\Omega$

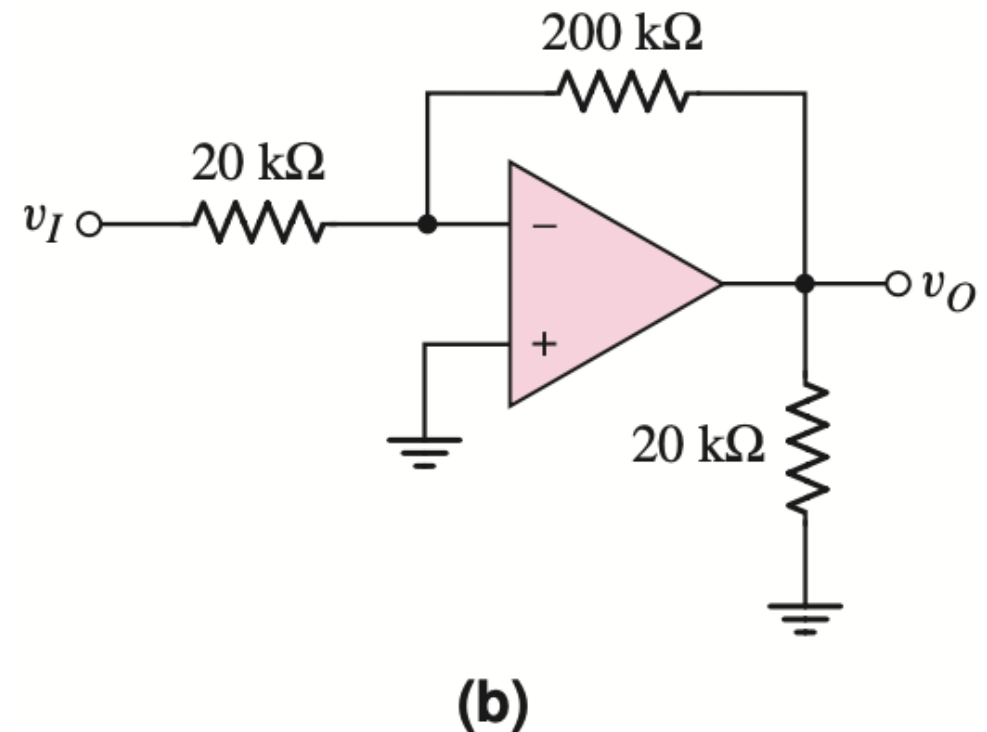
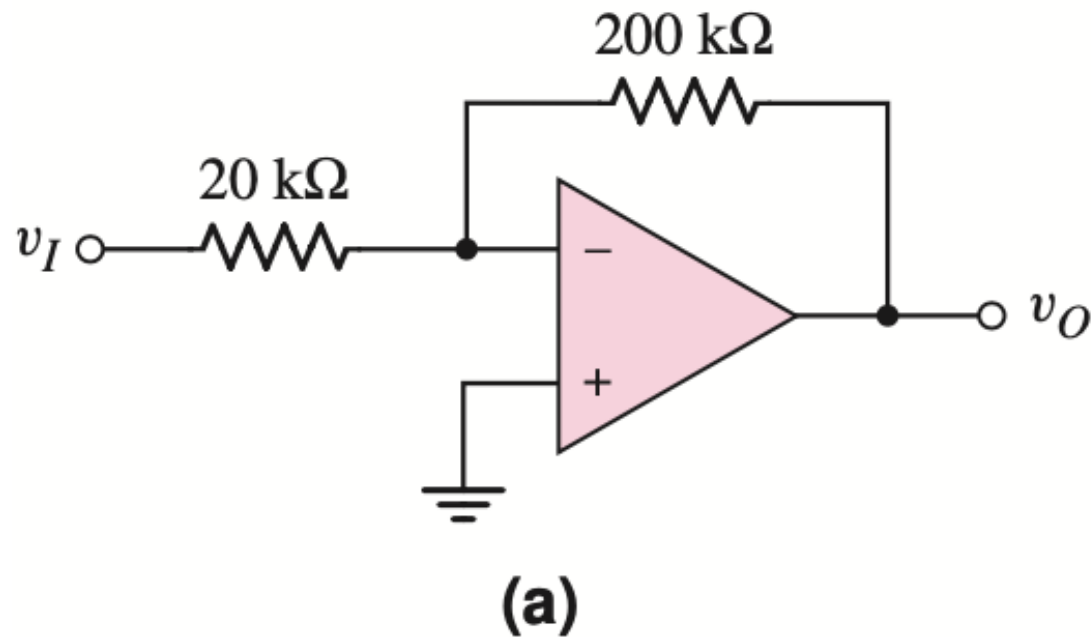
b) (i)  $i_1 = -7.5\text{ }\mu\text{A}$

(ii)  $i_1 = 12.5\text{ }\mu\text{A}$



## Bài tập 4.3

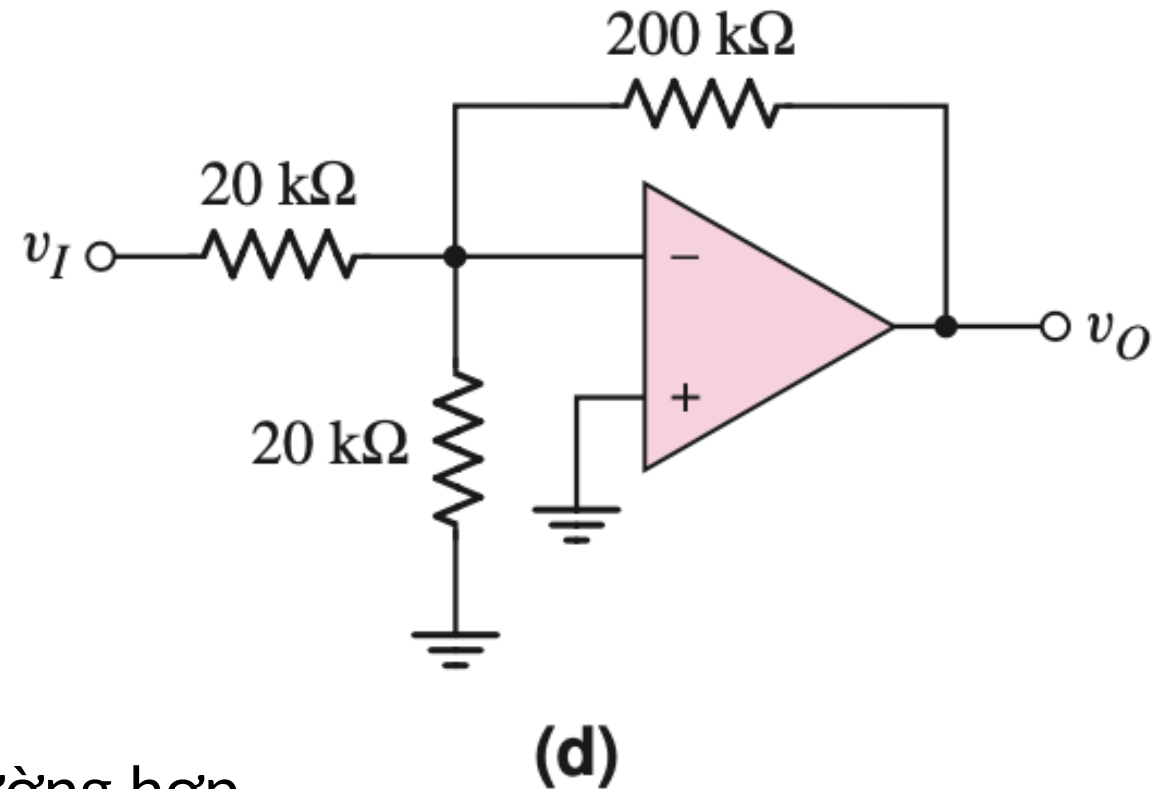
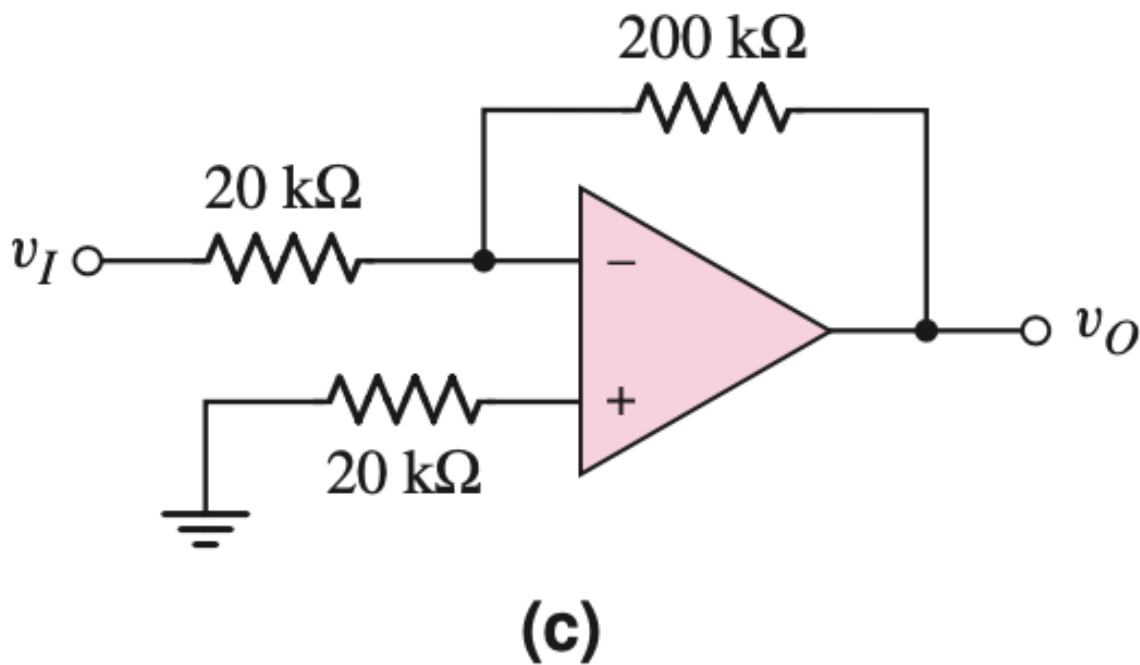
- Giả thiết mạch op-amp lý tưởng. Tìm hệ số khuếch đại điện áp  $A_v$  và điện trở đầu vào  $R_i$  của mỗi mạch.



Đáp án:  $A_v = -10$  và  $R_i = 20\text{k}\Omega$  cho mỗi trường hợp

## Bài tập 4.3

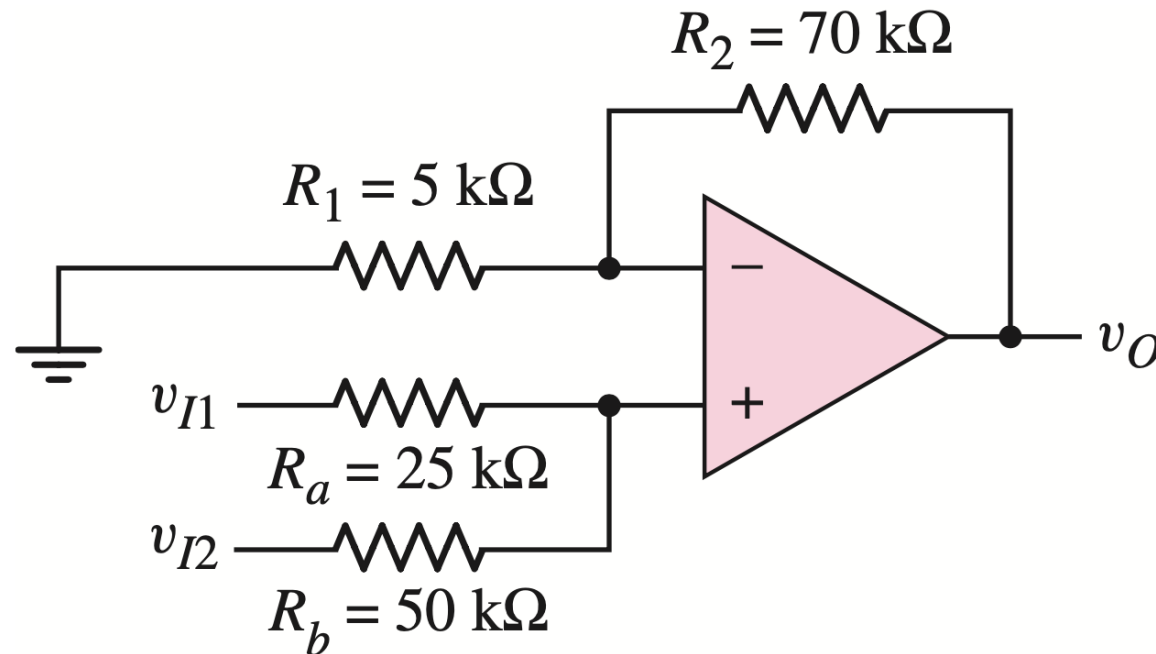
- Giả thiết mạch op-amp lý tưởng. Tìm hệ số khuếch đại điện áp  $A_v$  và điện trở đầu vào  $R_i$  của mỗi mạch.



Đáp án:  $A_v = -10$  và  $R_i = 20\text{k}\Omega$  cho mỗi trường hợp

## Bài tập 4.4

- Sử dụng phương pháp xếp chồng để tìm điện áp đầu ra trong mạch op-amp lý tưởng hình sau:



- Đáp án:  $v_O = 10v_{I1} + 5v_{I2}$

## Bài tập 4.5

- Xét mạch khuếch đại không đảo như hình bên.

- a) Tìm hệ số khuếch đại điện áp với giả thiết op-amp lý tưởng.
- b) Cho  $R_4 = 50\text{k}\Omega$  and  $R_3 = 25\text{k}\Omega$ . Tìm  $R_1$  và  $R_2$  sao cho  $A_v = 6$ . Giá trị điện trở tối đa  $200\text{ k}\Omega$ .

- Đáp án:

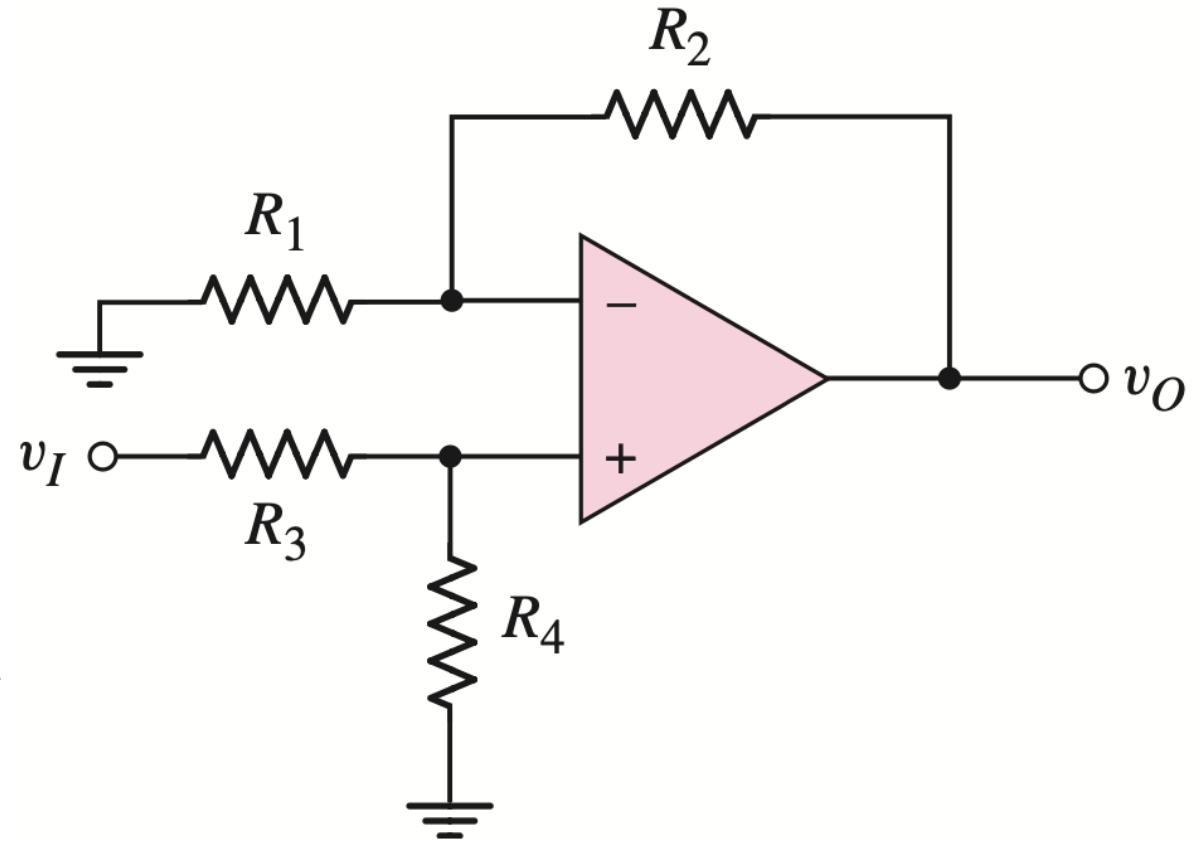
a)

$$v_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot v_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right)} \cdot v_I$$

b)

$$\frac{R_2}{R_1} = 8$$

- Mạch khuếch đại không đảo:



Đặt  $R_2 = 200\text{ k}\Omega$ ,  $R_1 = 25\text{ k}\Omega$



## Bài tập 4.6

- Cho mạch khuếch đại không đảo như hình bên:

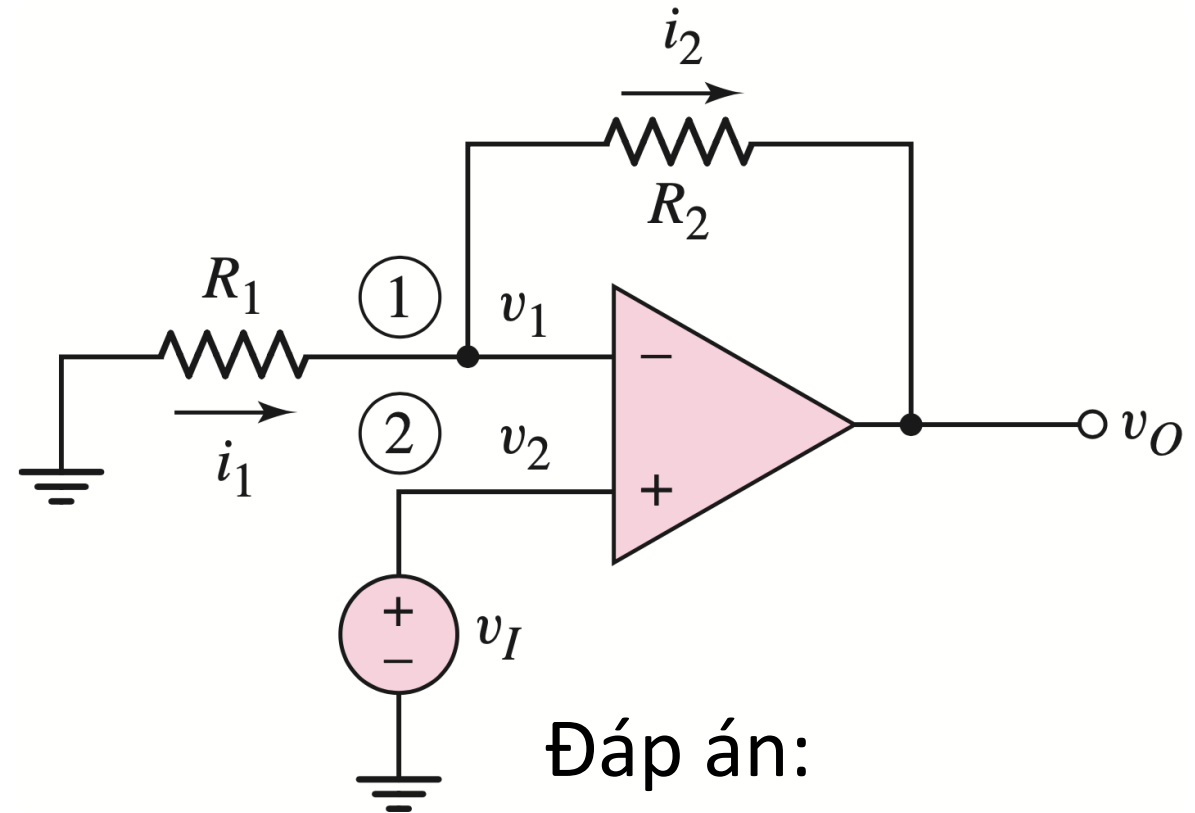
a) Thiết kế mạch sao cho:

- Hệ số khuếch đại điện áp = 10
- Trở kháng lớn nhất  $180\text{k}\Omega$
- Điện áp đầu ra:  $-9 \leq v_O \leq +9\text{V}$

b) Thiết kế mạch sao cho:

- Hệ số khuếch đại điện áp = 5
- Dòng tối đa  $100\mu\text{A}$
- Điện áp đầu ra:  $-5 \leq v_O \leq +5\text{V}$

- Mạch khuếch đại không đảo:



Đáp án:

a)  $R_2=180\text{k}\Omega$ ;  $R_1=20\text{k}\Omega$

b)  $R_2=40\text{k}\Omega$ ;  $R_1=10\text{k}\Omega$

## Bài tập 4.7

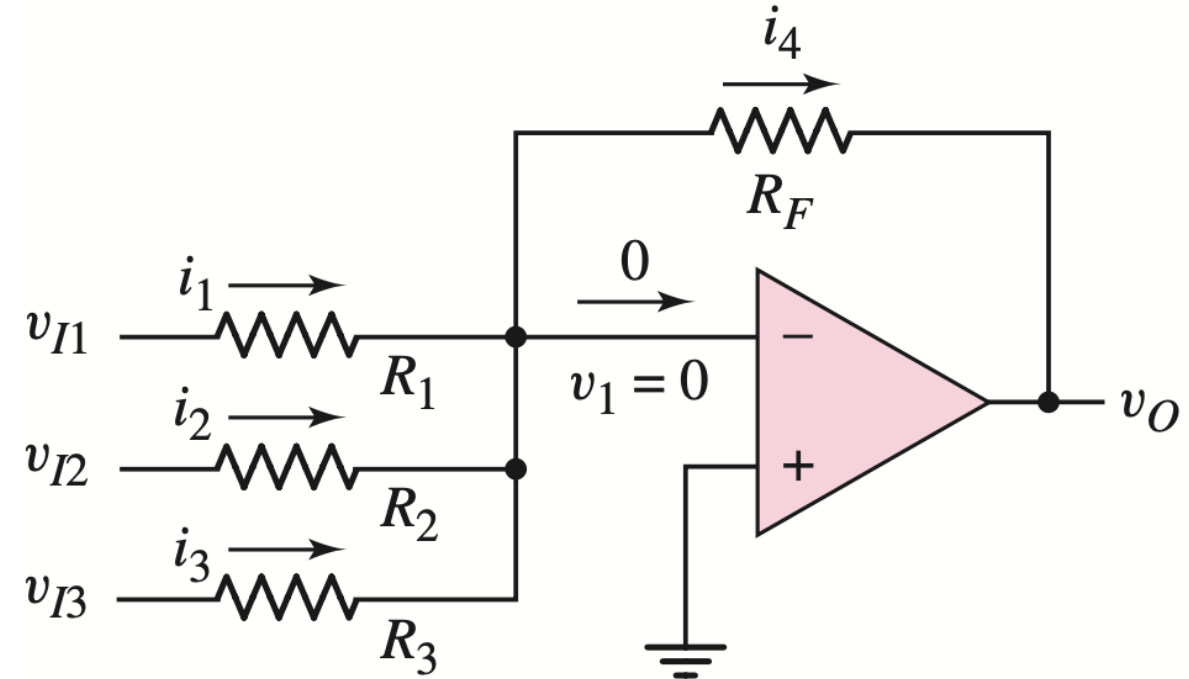
- Xét mạch khuếch đại cộng lý tưởng như hình bên với:

- $R_1 = 20\text{k}\Omega$
- $R_2 = 40\text{k}\Omega$
- $R_3 = 50\text{k}\Omega$
- $R_F = 200\text{k}\Omega$

- Tìm điện áp đầu ra  $v_O$  với:

(a)  $v_{I1} = -0.25\text{mV}$ ,  $v_{I2} = +0.30\text{mV}$ ,  
 $v_{I3} = -0.50\text{mV}$ ;

(b)  $v_{I1} = +10\text{mV}$ ,  $v_{I2} = -40\text{mV}$ ,  $v_{I3} = +25\text{mV}$



Đáp án:

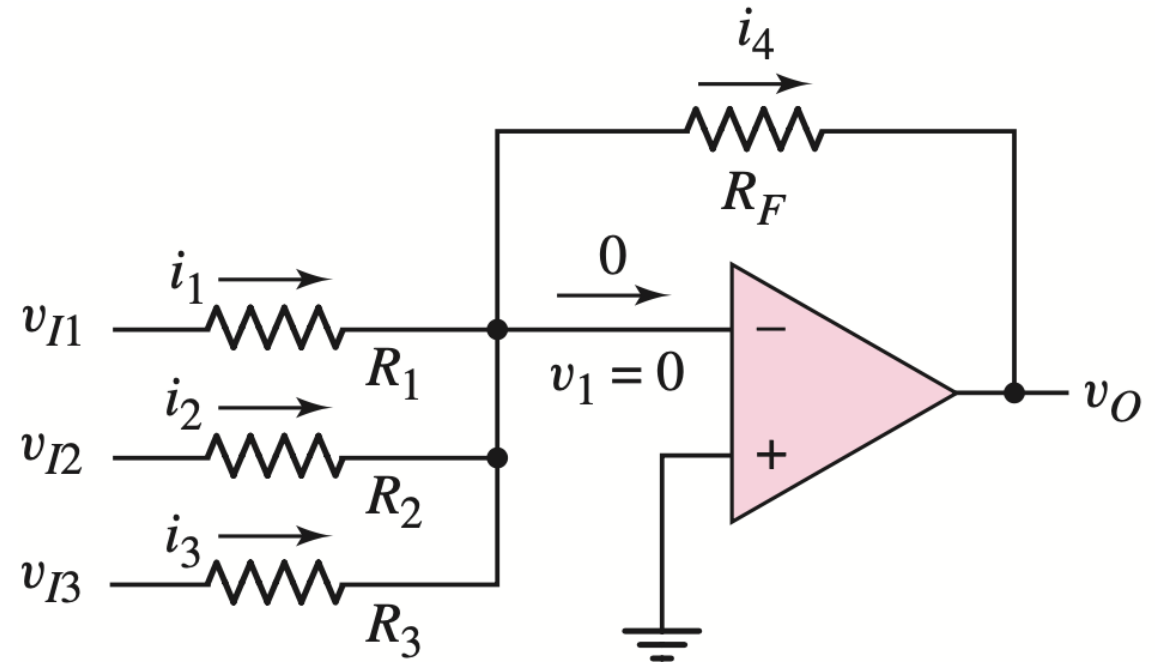
(a)  $v_O = 3\text{mV}$

(b)  $v_O = 0$

## Bài tập 4.8

- Thiết kế mạch khuếch đại cộng như sau để tín hiệu đầu ra bằng trung bình cộng của 3 tín hiệu đầu vào.
- Bộ khuếch đại được thiết kế sao cho mỗi tín hiệu vào có điện trở đầu vào khả dụng lớn nhất với điều kiện điện trở cho phép lớn nhất trong mạch là  $1\text{M}\Omega$ .

- Mạch khuếch đại cộng:



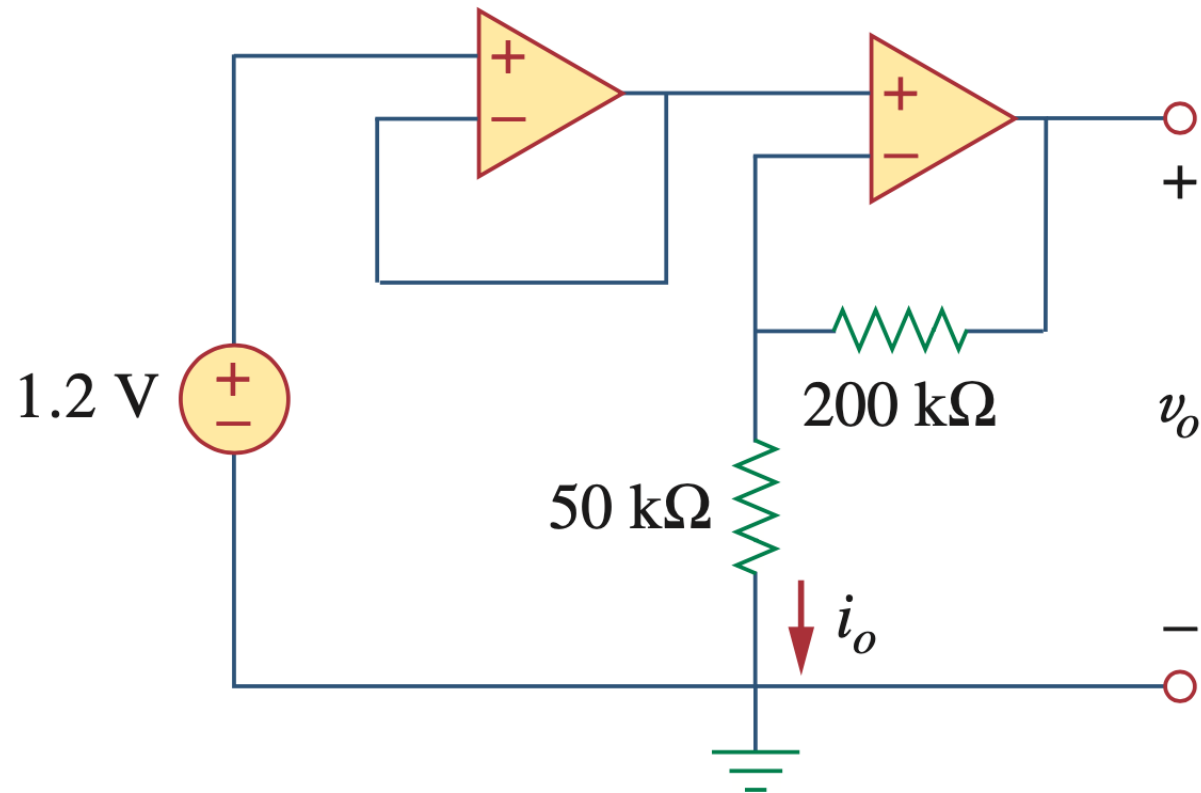
Đáp án

$$R_1 = R_2 = R_3 = 1\text{M}\Omega, \\ R_F = 333\text{k}\Omega$$

- Thiết kế mạch khuếch đại vi sai có hệ số khuếch đại = 7.5
- Đáp án:  $R_1 = R_3 = 20\text{k}\Omega$   
 $R_2 = R_4 = 150\text{ k}\Omega$

## Bài tập 4.10

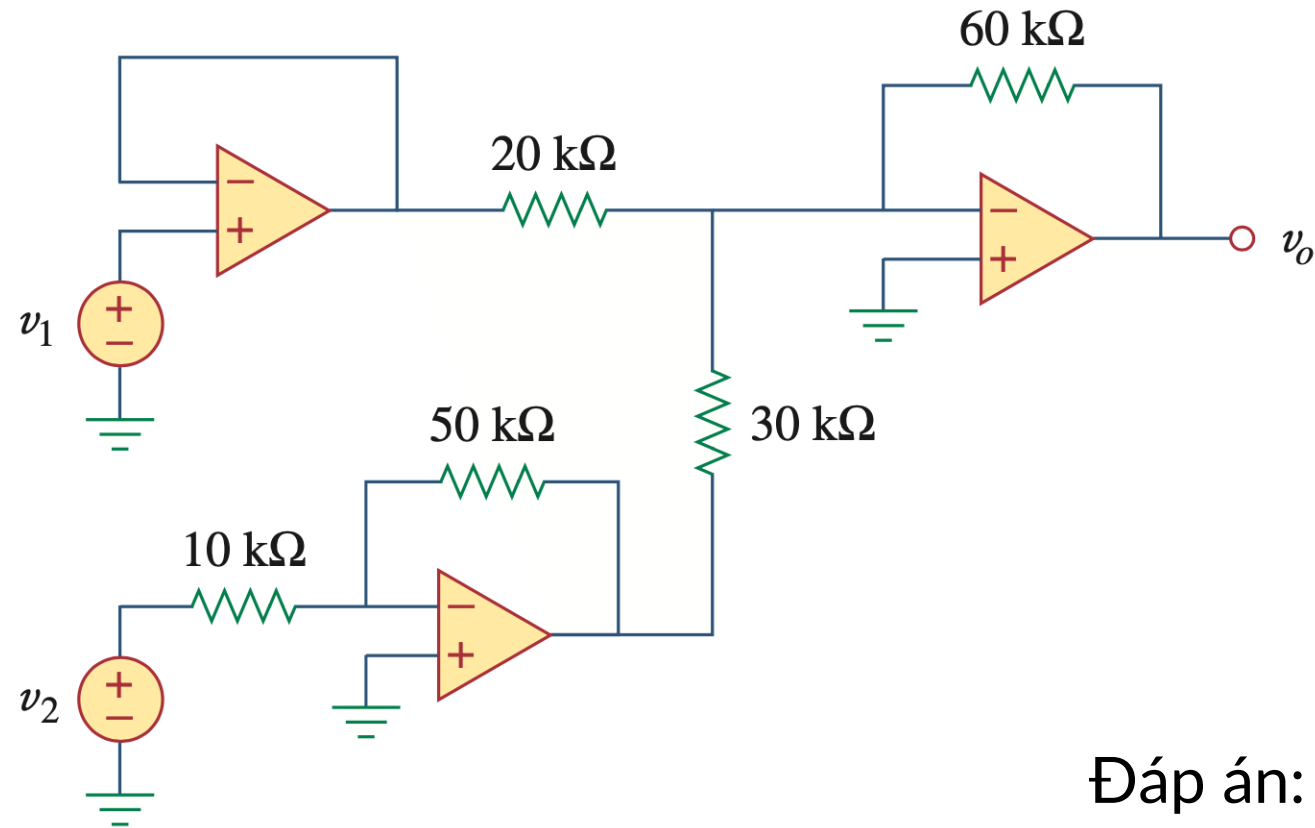
- Tìm  $v_o$  và  $i_o$  trong mạch sau:



Đáp án: 6 V, 24  $\mu$ A

## Bài tập 4.11

- Cho mạch như sau có  $v_1 = 7V$  và  $v_2 = 3.1V$ . Tìm  $v_o$ ?



Đáp án: 10 V