



25
SOICT

YEARS ANNIVERSARY

ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG



ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG



ĐẠI HỌC BẠCH KHOA HÀ NỘI
VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

ĐIỆN TỬ CHO CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

Electronics for Information Technology

IT3420

Đỗ Công Thuần

Bộ môn Kỹ thuật Máy tính

Email: thuandc@soict.hust.edu.vn

Thông tin chung

- Tên học phần: **Điện tử cho Công nghệ thông tin**
- Mã học phần: IT3420
- Khối lượng: 2 (2-1-0-4)
- Lý thuyết/Bài tập: 30/15 tiết
- Đánh giá: 50% - 50%
- Tài liệu học tập:
 - Lecture slides
 - Textbooks
 - *Introductory Circuit Analysis* (2015), 10th – 13th ed., Robert L. Boylestad
 - *Electronic Device and Circuit Theory* (2013), 11th ed., Robert L. Boylestad, Louis Nashelsky
 - *Microelectronics Circuit Analysis and Design* (2006), 4th ed., Donald A. Neamen
 - *Digital Electronics: Principles, Devices and Applications* (2007), Anil K. Maini

Nội dung

- Khái niệm chung về ĐT cho CNTT
- Chương 1: Linh kiện thụ động và ứng dụng
- Chương 2: Linh kiện bán dẫn và ứng dụng
- Chương 3: Khuếch đại thuật toán
- Chương 4: Cơ sở lý thuyết mạch số
- Chương 5: Các cổng logic cơ bản
- Chương 6: Mạch tổ hợp
- Chương 7: Mạch dãy

Chương 3:

Khuếch đại thuật toán (Op-amps) và ứng dụng

1. Khuếch đại thuật toán
2. Các tham số của op-amp
3. Mạch op-amp cơ bản
4. Ứng dụng của op-amp

Giới thiệu

- Mạch khuếch đại thuật toán (**op-amp**) là một mạch tích hợp **khuếch đại sự khác biệt** giữa hai điện áp đầu vào và tạo ra một đầu ra duy nhất.
- Thuật ngữ “*op-amp*” xuất hiện từ những năm 1960.
- Rất phổ biến trong các thiết bị điện tử tương tự.
- Có thể coi như 1 thiết bị điện tử tương tự như transistor.

Chương 3:

Khuếch đại thuật toán (Op-amps) và ứng dụng

1.Khuếch đại thuật toán

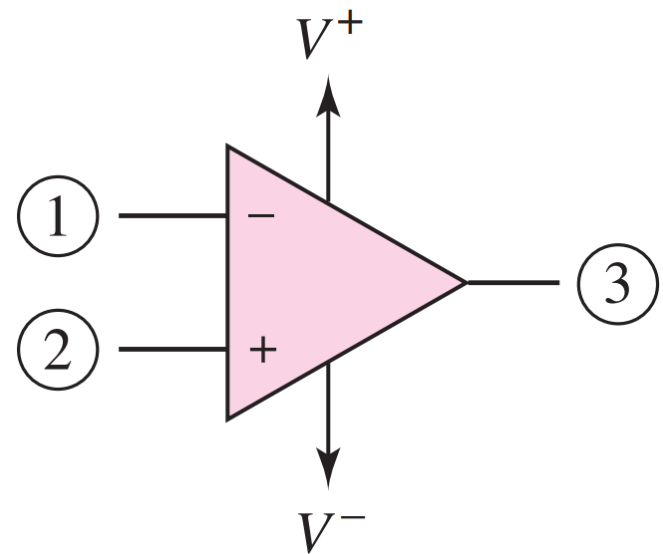
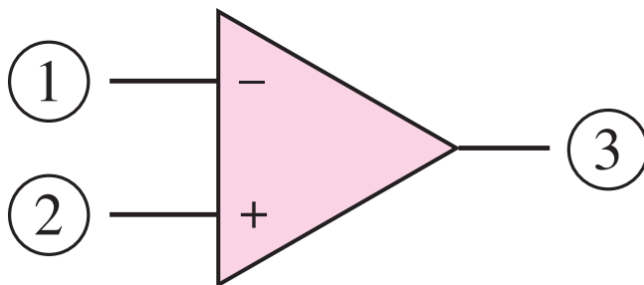
2.Các tham số của op-amp

3.Mạch op-amp cơ bản

4.Ứng dụng của op-amp

Khuếch đại thuật toán

- Khuếch đại thuật toán có 2 đầu vào ①-② và một đầu ra ③.
- Mạch khuếch đại thuật toán bao gồm nhiều transistor → Cần một nguồn DC để phân cực trong vùng tích cực.
- Phần lớn được phân cực bởi một nguồn điện áp dương và âm được ký hiệu bởi V^+ và V^- .



Chương 3:

Khuếch đại thuật toán (Op-amps) và ứng dụng

1. Khuếch đại thuật toán

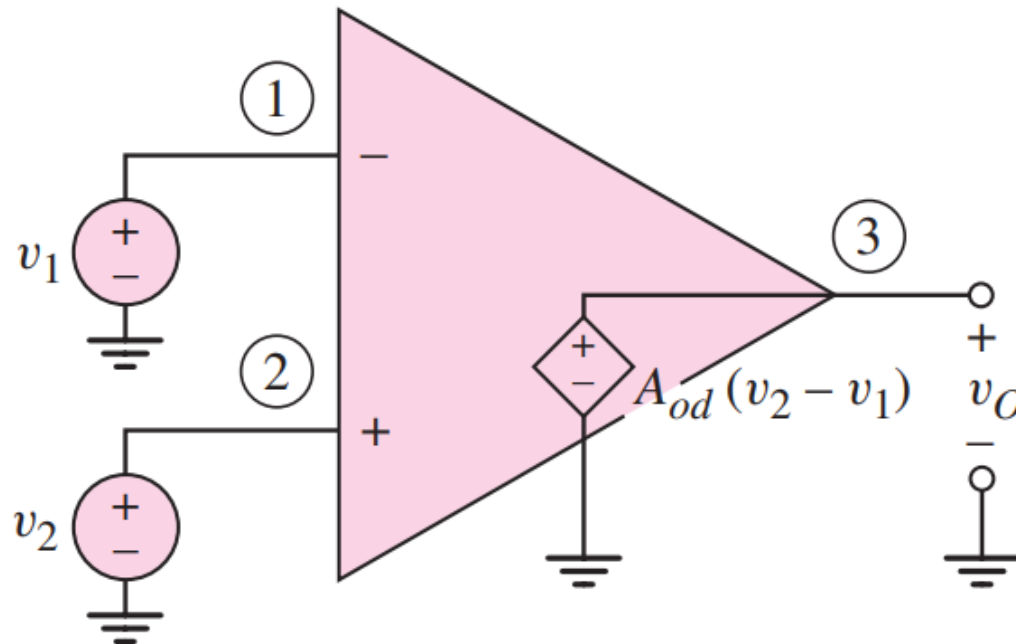
2. Các tham số của op-amp

3. Mạch op-amp cơ bản

4. Ứng dụng của op-amp

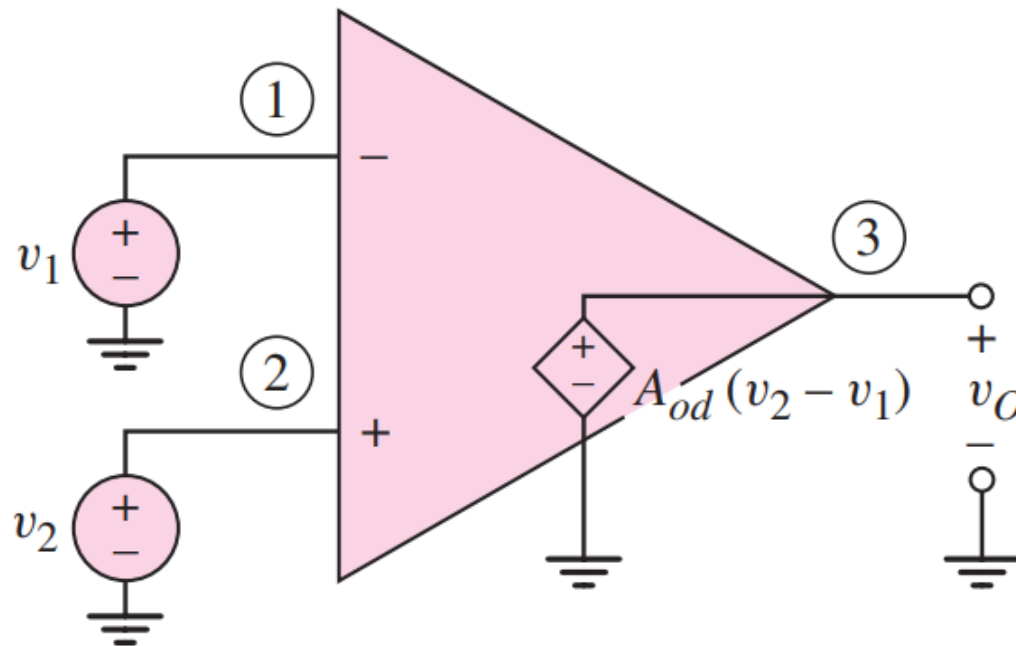
Các tham số lý tưởng

- Op-amp lý tưởng đo sự khác nhau giữa hai tín hiệu đầu vào và khuếch đại sự khác nhau này để tạo thành một tín hiệu đầu ra.
- Điện áp ở mỗi đầu là điện áp so với đất.



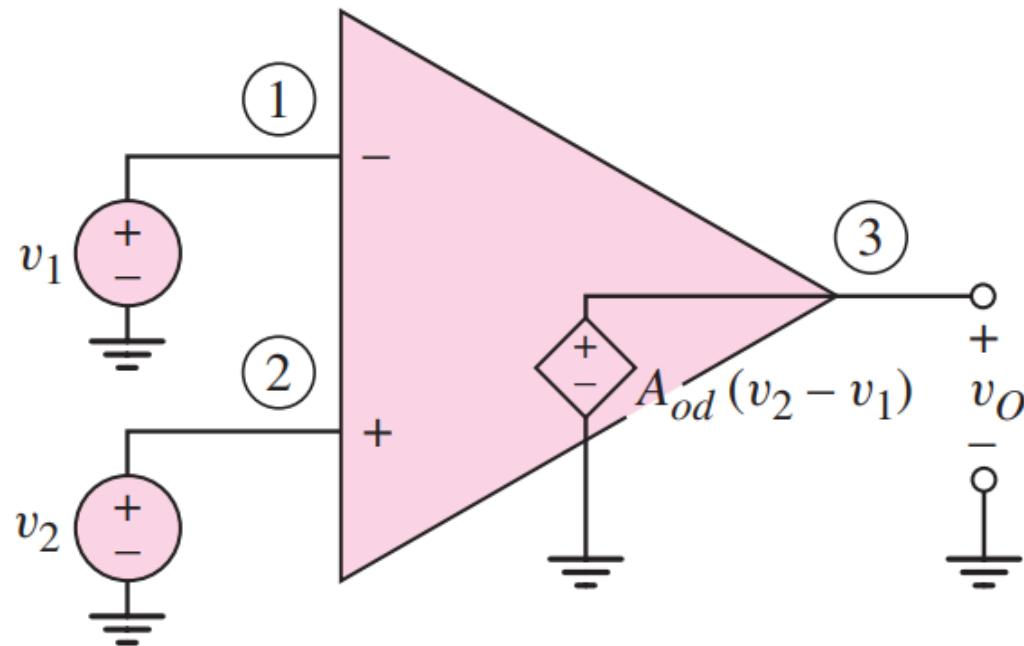
Các tham số lý tưởng

- Điện trở đầu vào giữa đầu ① và ②, $R_i = \infty \rightarrow$ dòng điện vào ở mỗi đầu vào = 0.
- Đầu ra ③ của op-amp lý tưởng đóng vai trò như là đầu ra của một nguồn áp lý tưởng $\rightarrow R_o = 0$.



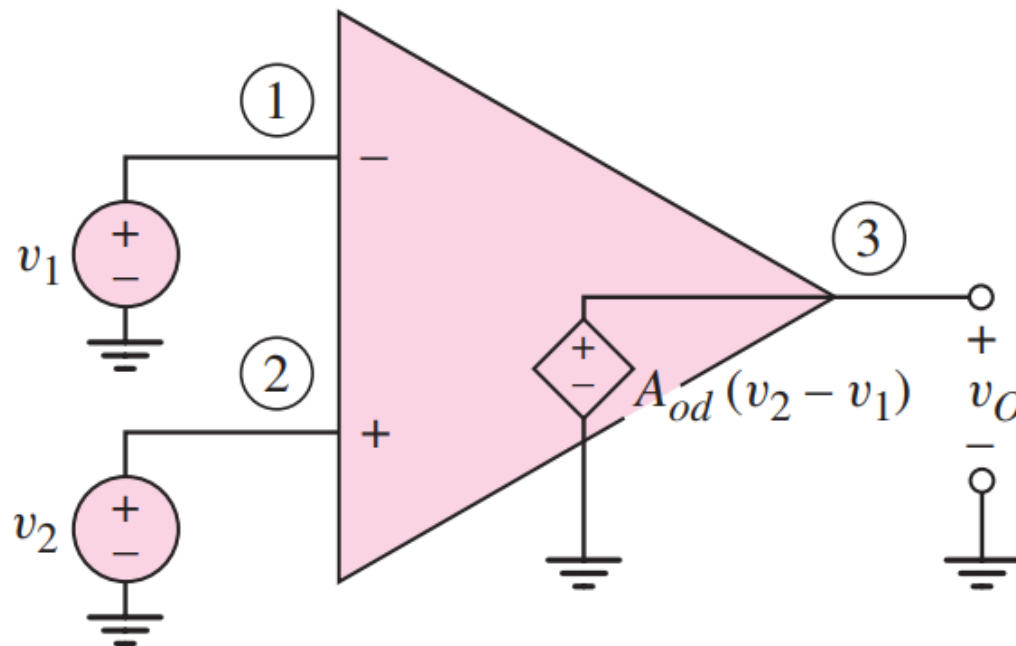
Các tham số lý tưởng

- A_{od} là hệ số khuếch đại điện áp vi sai vòng hở của op-amp.
- Trong op-amp lý tưởng, A_{od} rất lớn và tiệm cận vô cùng.



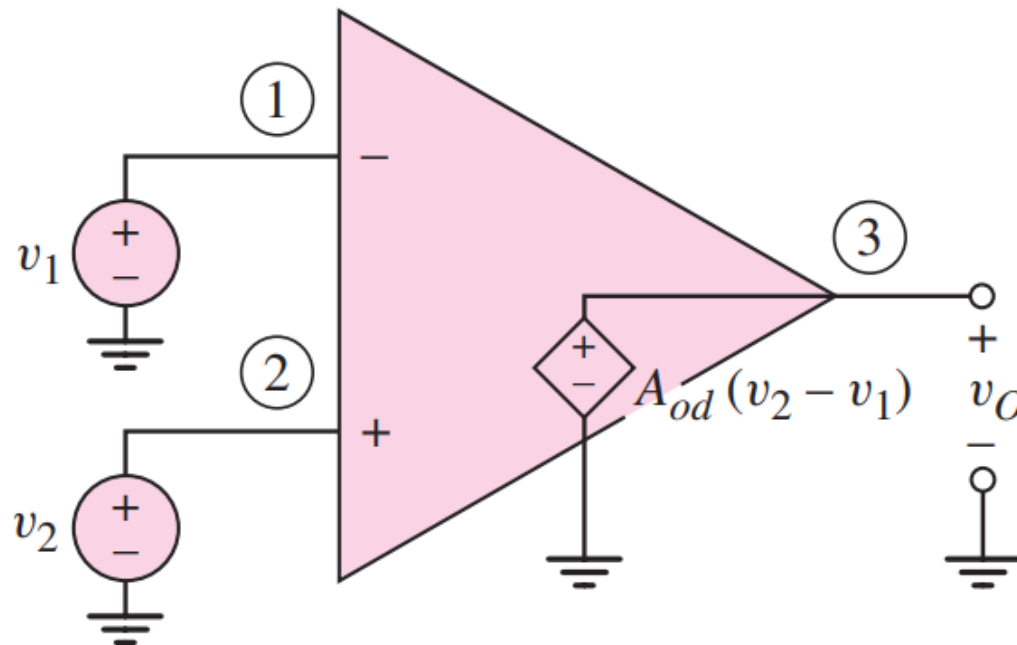
Các tham số lý tưởng

- Đầu ra cùng pha với v_2 và ngược pha với v_1
- v_1 : đầu vào đảo và được ký hiệu bởi dấu “-”
- v_2 : đầu vào thuận và được ký hiệu bởi dấu “+”



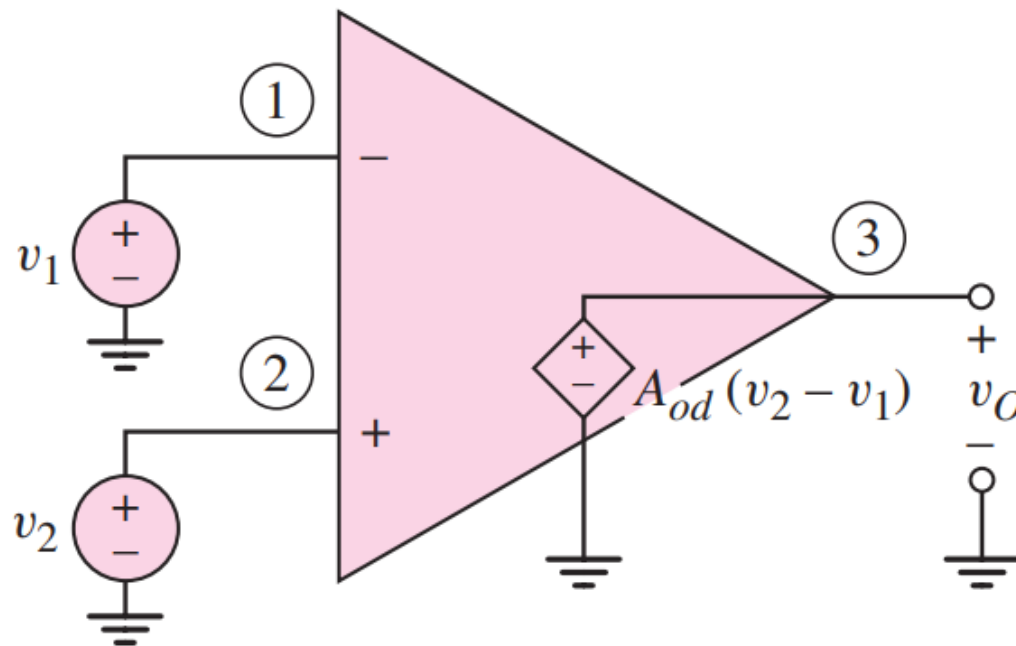
Các tham số lý tưởng

- Op-amp lý tưởng chỉ đáp ứng đối với sự khác biệt giữa tín hiệu hai đầu vào v_1 và v_2 .
- Với $v_1 = v_2$, tín hiệu đầu ra = 0



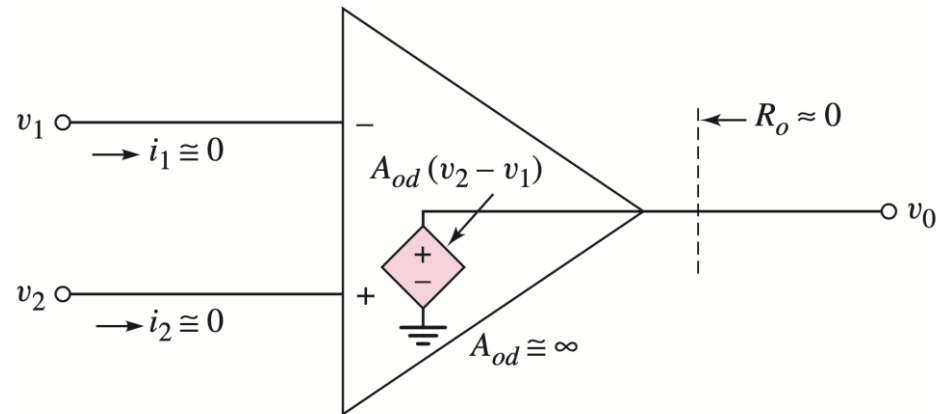
Các tham số lý tưởng

- $v_1 = v_2 \neq 0$ gọi là **tín hiệu đầu vào chế độ chung**.
- Tín hiệu đầu ra chế độ chung với op-amp lý tưởng = 0
- Đặc tính này được gọi là **đặc tính từ chối chế độ chung** (*common rejection mode*).



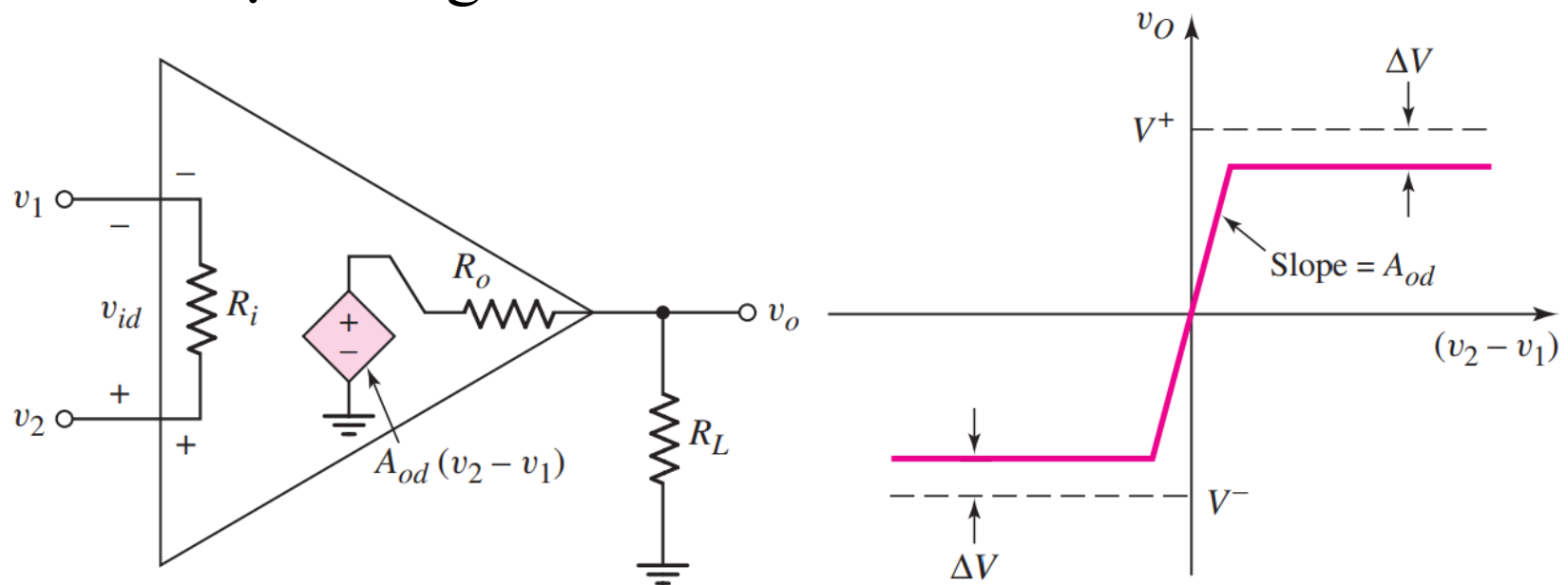
Các tham số lý tưởng

- Tham số lý tưởng $A_{od} \cong \infty$
- Nếu A_{od} rất lớn và v_o là hữu hạn thì $(v_2 - v_1) \cong 0$
- Điện trở đầu vào hiệu dụng giả thiết lớn vô cùng
 $i_1 \cong 0 \quad i_2 \cong 0$
- Khi trở kháng đầu ra $R_o \approx 0$ (lý tưởng) \rightarrow điện áp đầu ra được kết nối trực tiếp với nguồn áp phụ thuộc và không phụ thuộc vào bất kỳ tải nào được kết nối với đầu ra.



Op-amp trong thực tế

- Các đặc tính của một op-amp thực thể không được như các đặc tính của một op-amp lý tưởng.
- Điện trở đầu vào R_i lớn và điện trở đầu ra R_o nhỏ \rightarrow tiệm cận lý tưởng \rightarrow có thể sử dụng op-amp như một linh kiện đơn giản.



Chương 3:

Khuếch đại thuật toán (Op-amps) và ứng dụng

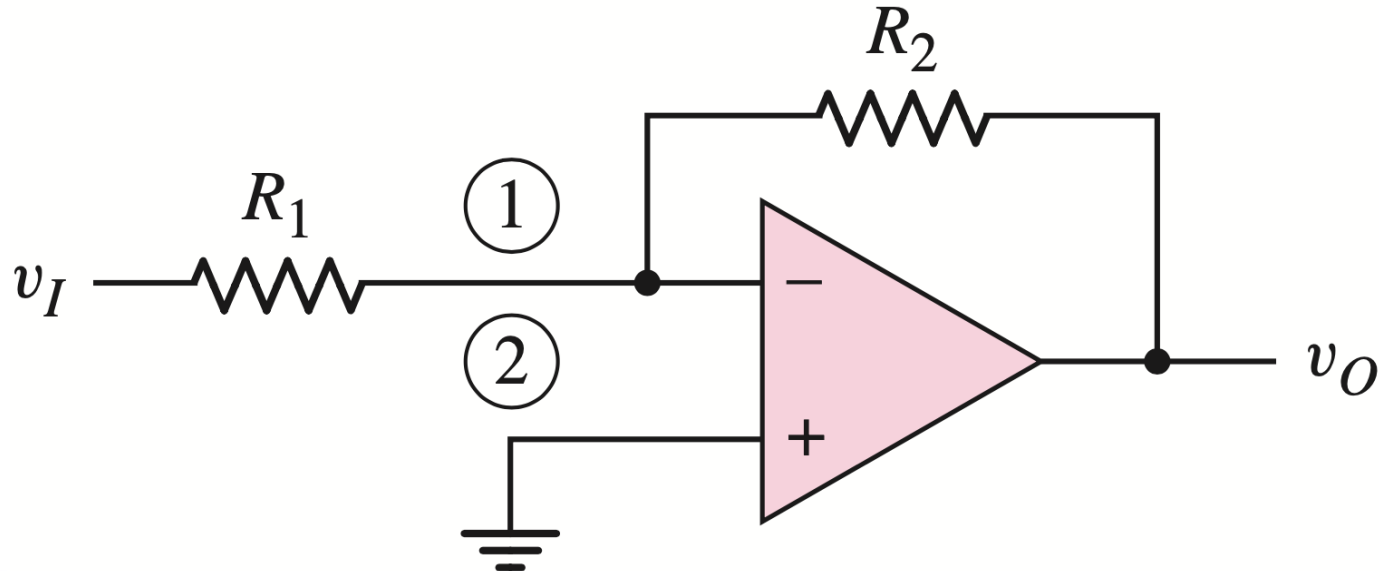
1. Khuếch đại thuật toán
2. Các tham số của op-amp
3. Mạch op-amp cơ bản
4. Ứng dụng của op-amp

Một số mạch op-amp cơ bản

- Khuếch đại đảo
- Khuếch đại không đảo
- Mạch so sánh ngưỡng 0
- Mạch so sánh khác 0
- Mạch cộng

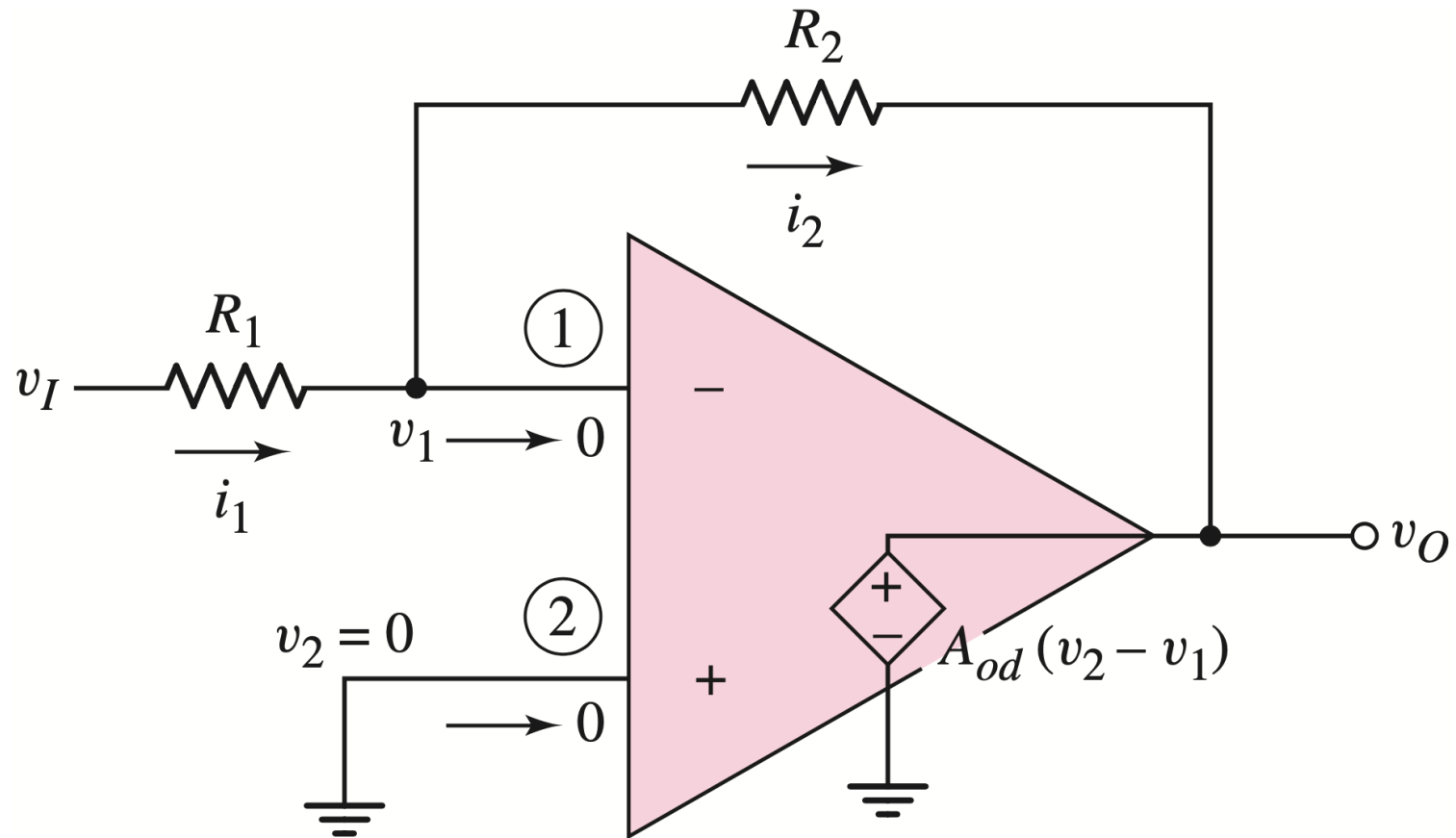
Khuếch đại đảo

- Là mạch op-amp được sử dụng phổ biến nhất.
- Đầu ra được nối với đầu vào đảo để tạo ra mạch ổn định.
- Nguồn DC phân cực cho op-amp mặc định có (không được thể hiện trong sơ đồ).



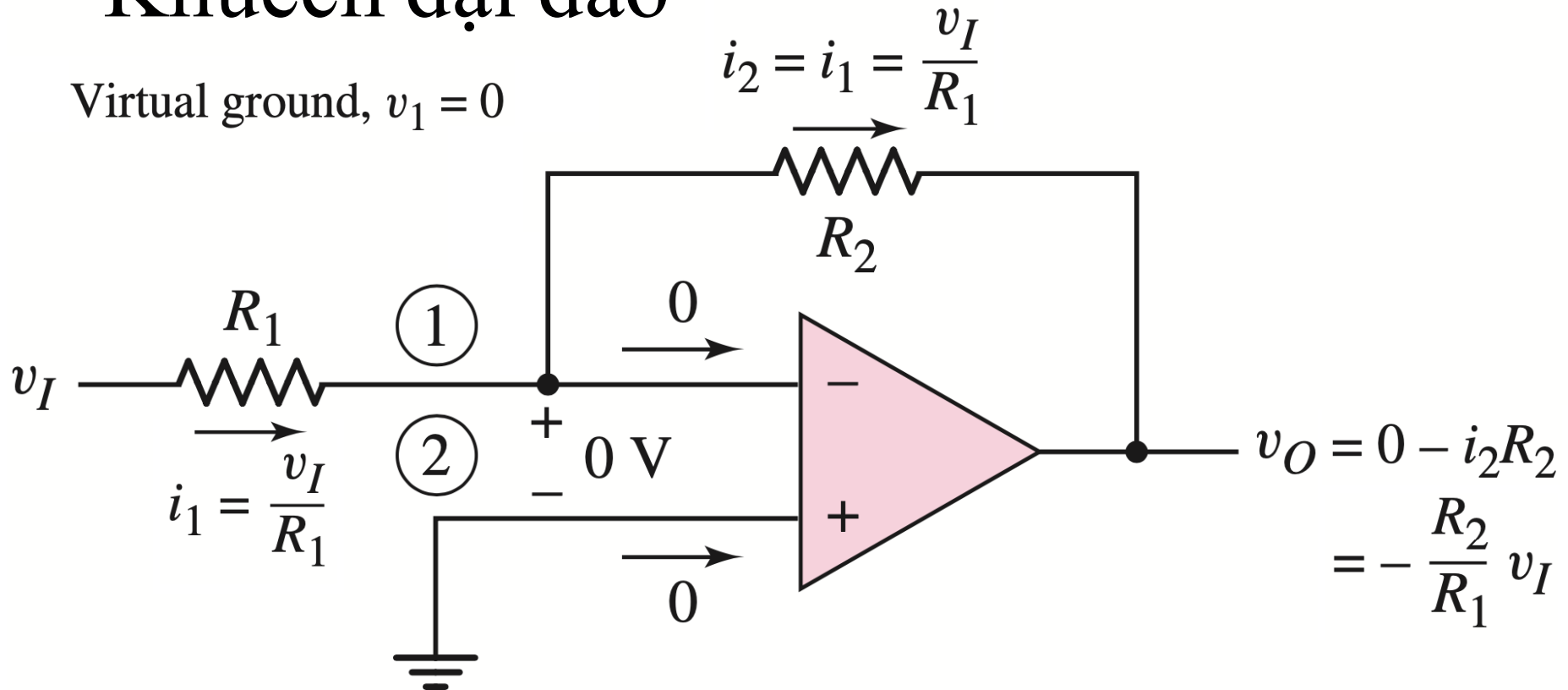
Khuếch đại đảo

- Mạch tương đương lý tưởng khuếch đại đảo:



Khuếch đại đảo

Virtual ground, $v_1 = 0$



- Hệ số khuếch đại:

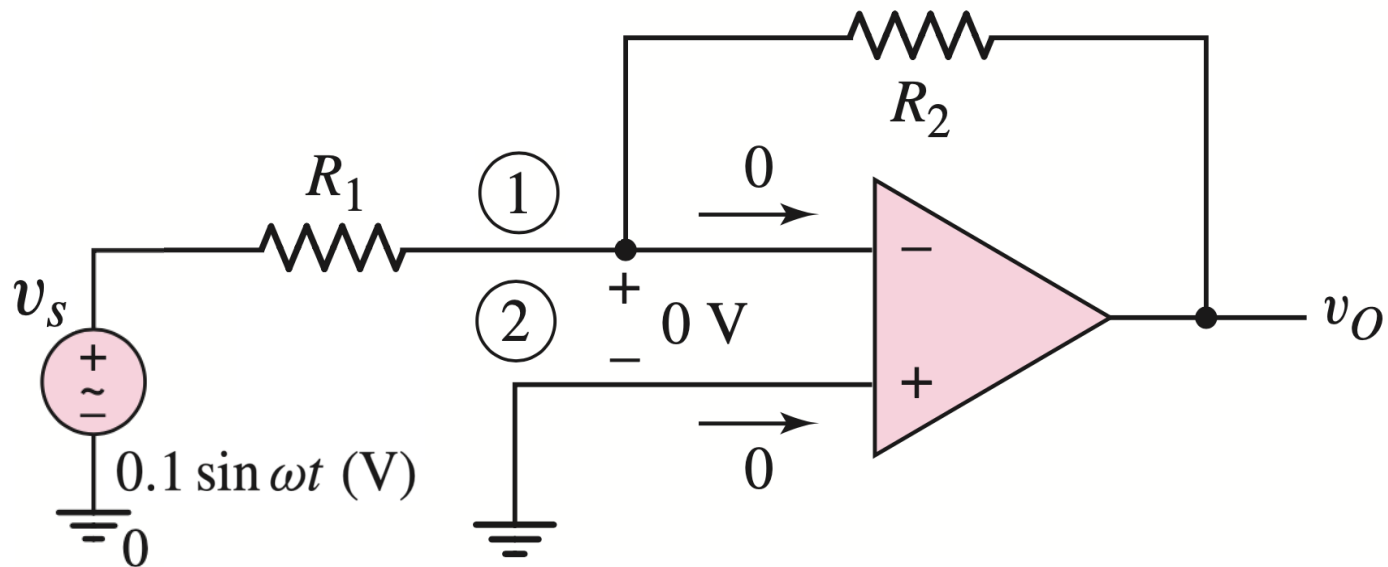
$$A_v = \frac{v_O}{v_I} = -\frac{R_2}{R_1}$$

- Trở kháng đầu vào:

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

Ví dụ 3.1

- Thiết kế bộ khuếch đại đảo sau với nguồn $v_s = 0.1 \sin \omega t$ (V) cấp 1 dòng tối đa $5 \mu A$
- Hệ số khuếch đại $A_v = -5$



Ví dụ 3.1

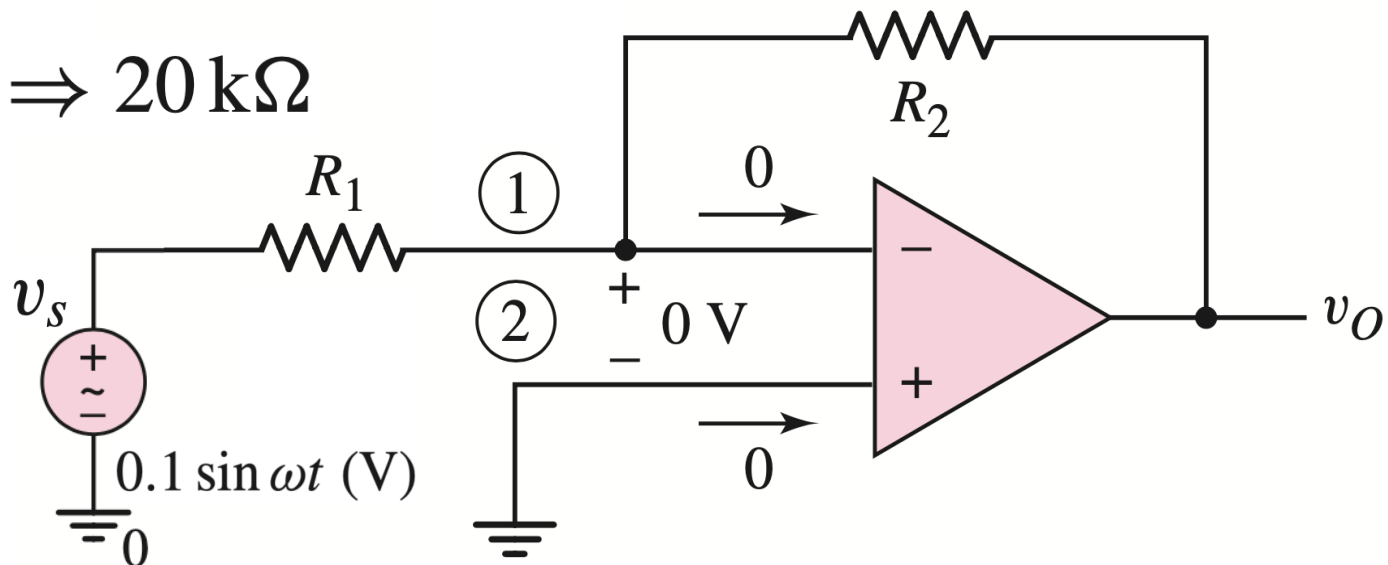
$$R_1 = \frac{v_s(\max)}{i_1(\max)}$$

$$= \frac{0.1}{5 \times 10^{-6}}$$

$$\Rightarrow 20 \text{ k}\Omega$$

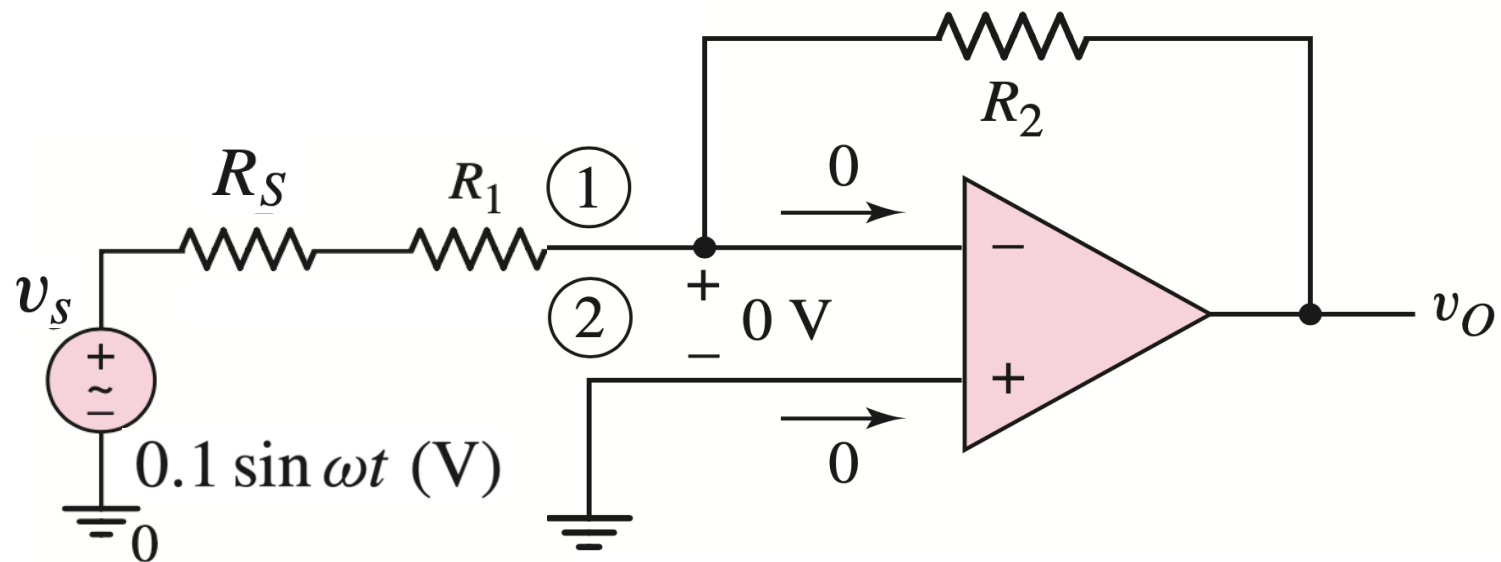
$$A_v = \frac{-R_2}{R_1} = -5$$

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



Ví dụ 3.2

- Thiết kế bộ khuếch đại đảo sau với điện áp nguồn $v_s = 0.1 \sin \omega t$ (V) có điện trở ra $R_S = 1 \text{ k}\Omega$ cấp 1 dòng tối đa $5 \mu\text{A}$
- Hệ số khuếch đại $A_v = -5$



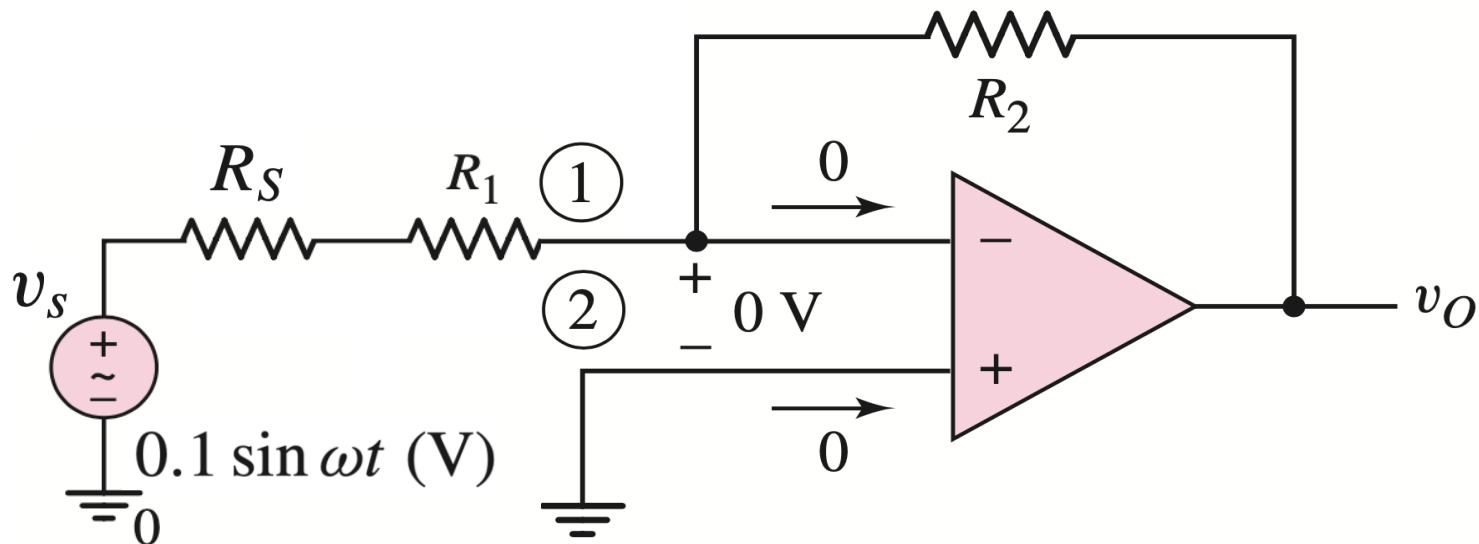
Ví dụ 3.2

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

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

$$\Rightarrow R_1 = 19 \text{ k}\Omega$$

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

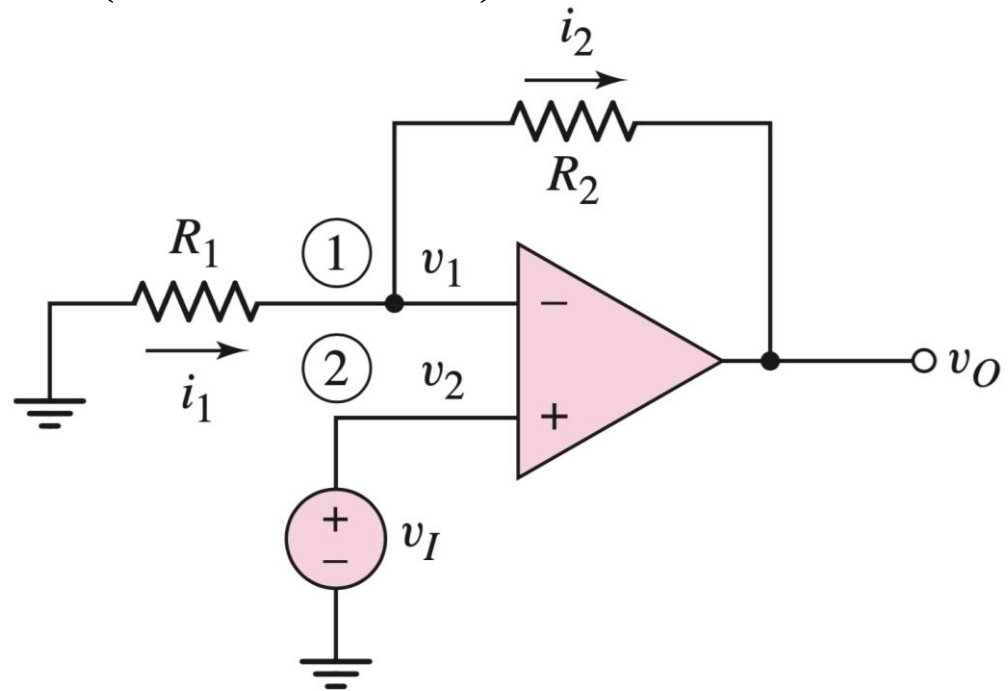


Phương pháp giải mạch op-amp lý tưởng

- Nếu đầu không đảo (+) của op-amp **nối đất** thì đầu vào đảo (-) nối đất ảo, dòng là tổng tất cả các dòng đi vào nút này, **giả thiết dòng đi vào op-amp = 0**.
- Nếu đầu vào không đảo (+) **không nối đất**, thì điện áp tại đầu không đảo bằng điện áp tại đầu vào đảo (-), dòng là tổng tất cả các dòng đi vào nút này, **giả thiết dòng đi vào op-amp = 0**.
- Với op-amp lý tưởng, điện áp đầu ra được tính từ Bước 1 hoặc Bước 2 ở trên và độc lập với bất kỳ tải nào được nối với đầu ra.

Khuếch đại không đảo

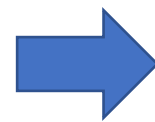
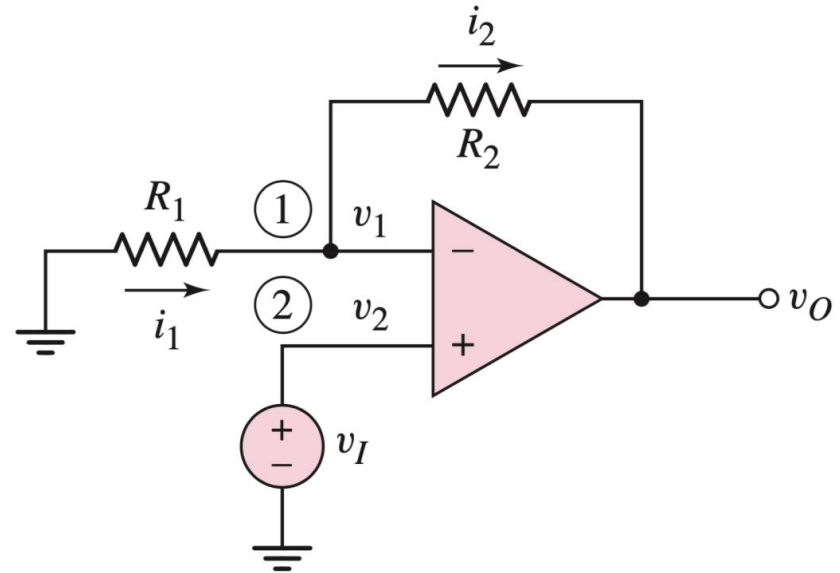
- Điện áp đầu vào v_I được đưa trực tiếp vào đầu vào không đảo, R_1 được kết nối một đầu với đầu vào đảo và đầu kia nối đất.
- v_1 và v_2 ngắn mạch ảo (virtual short)
 $\Rightarrow v_1 = v_2$



Khuếch đại không đảo

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

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



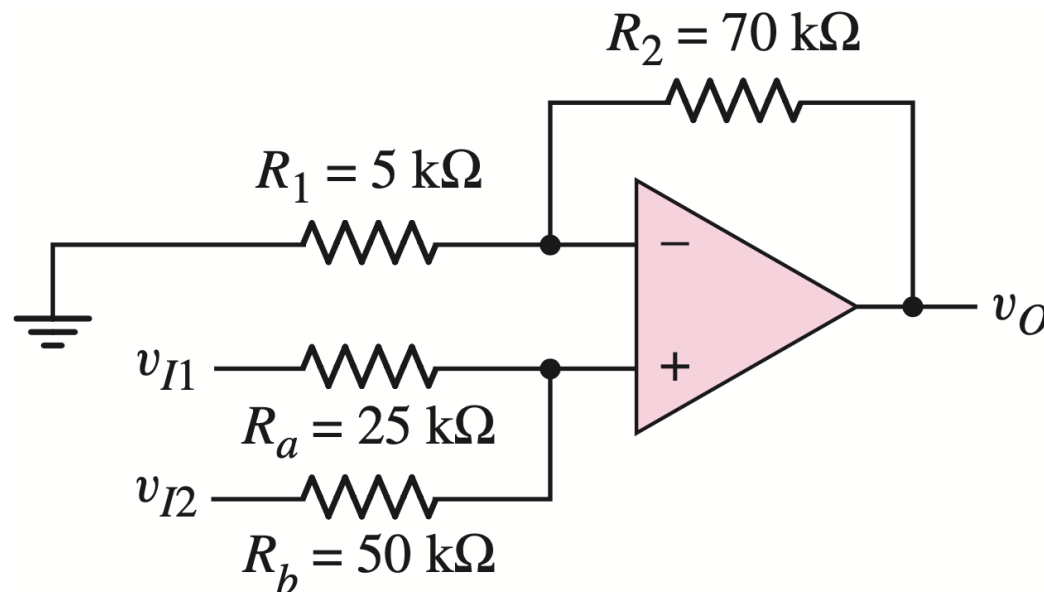
$$A_v = \frac{v_O}{v_I} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

- Mặt khác:

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

Ví dụ 3.3

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



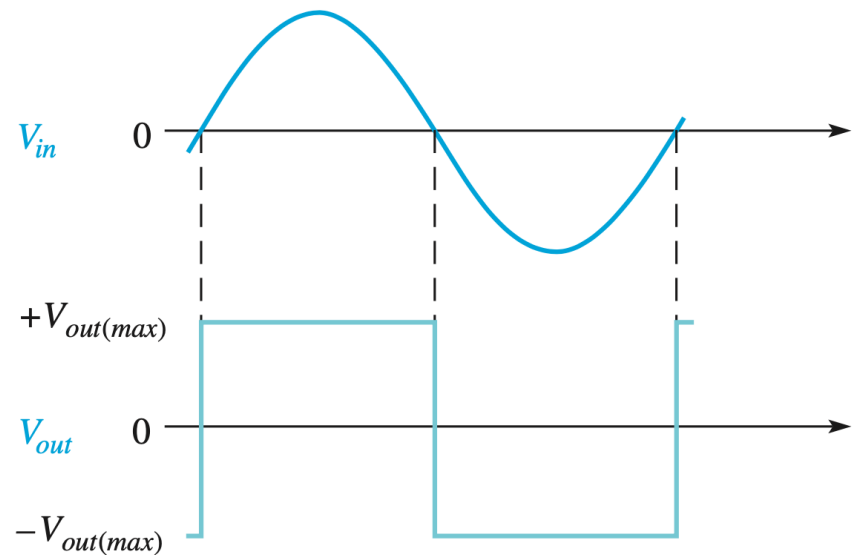
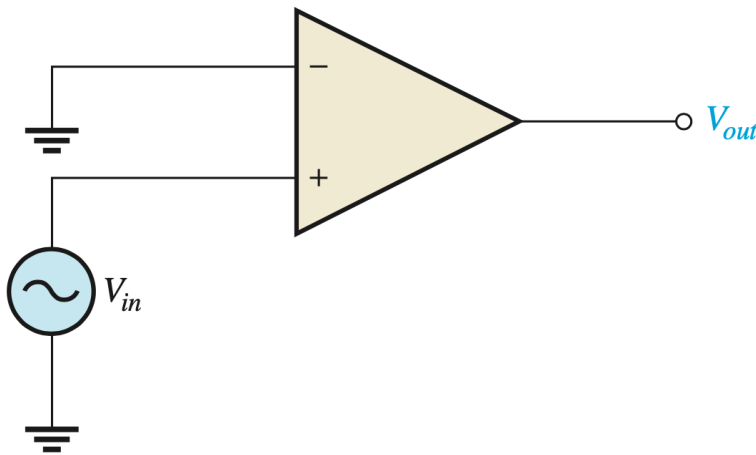
- Đáp án: $v_O = 10v_{I1} + 5v_{I2}$

Bộ so sánh

- 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 phát hiện mức 0**
- **Bộ so sánh phát hiện mức khác 0**

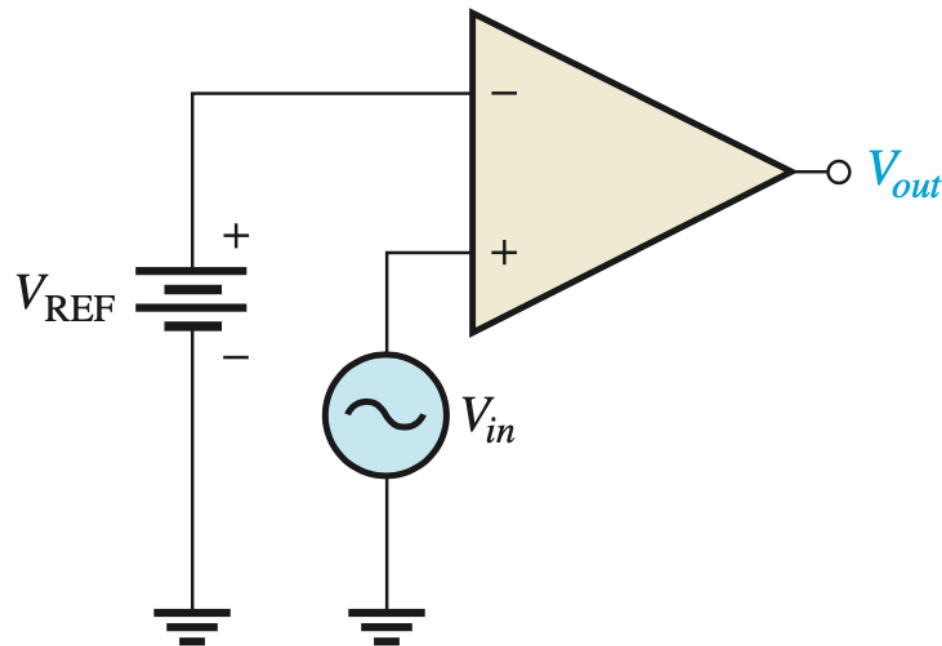
Bộ so sánh phát hiện mức 0

- Đầu vào đảo nối đất (mức 0V), 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.



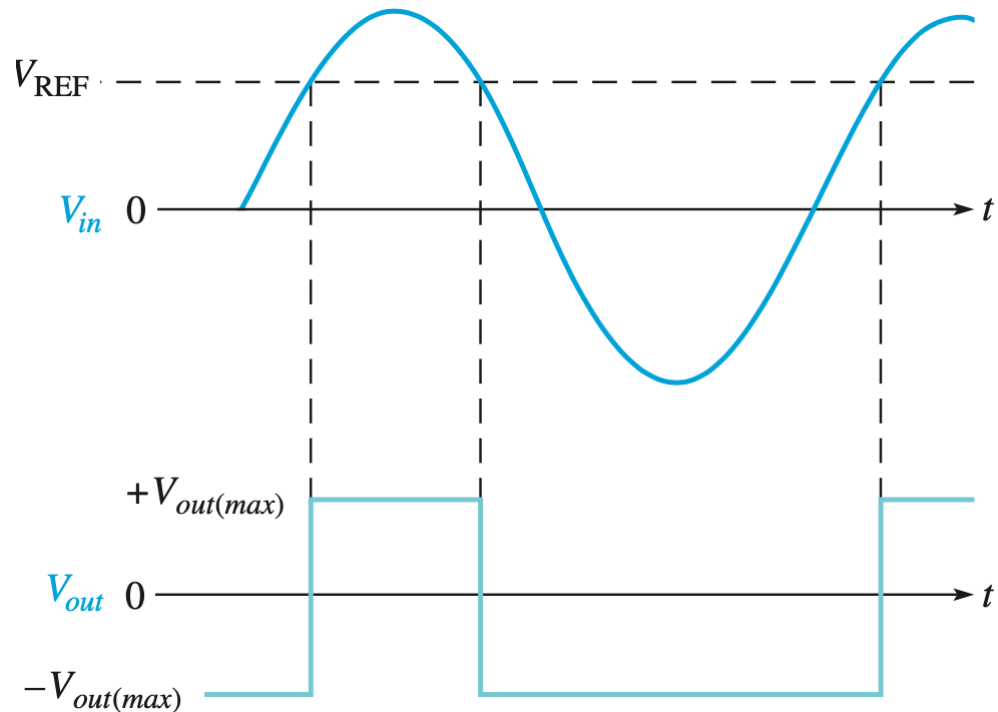
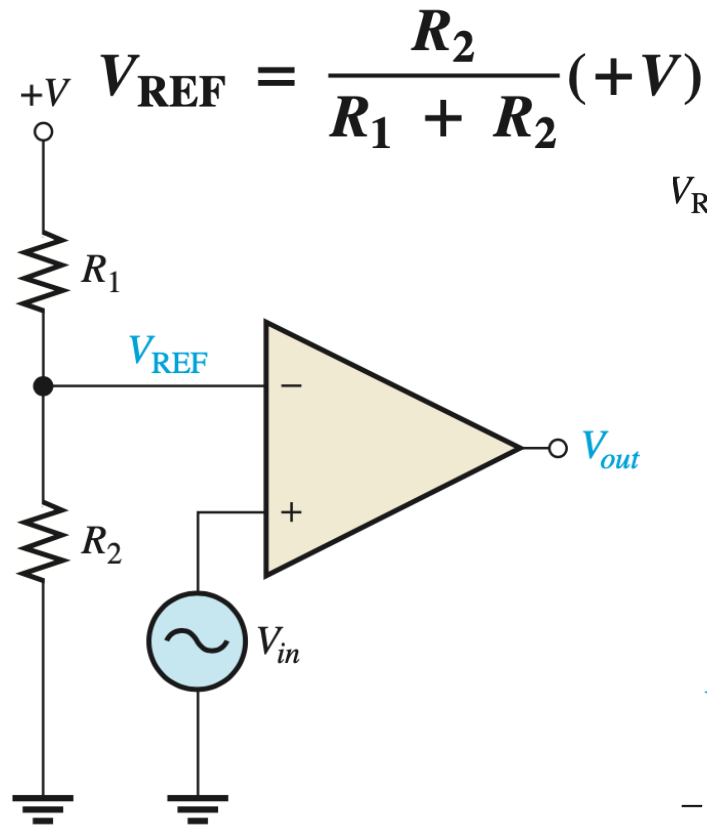
Bộ so sánh phát hiện mức khác 0

- Để tạo ra bộ so sánh phát hiện mức khác 0 \rightarrow điều chỉnh bộ so sánh phát hiện mức 0 bằng cách đưa điện áp tham chiếu vào đầu vào đảo của op-amp.
- Điện áp tham chiếu (V_{ref}) là cố định, không thay đổi.



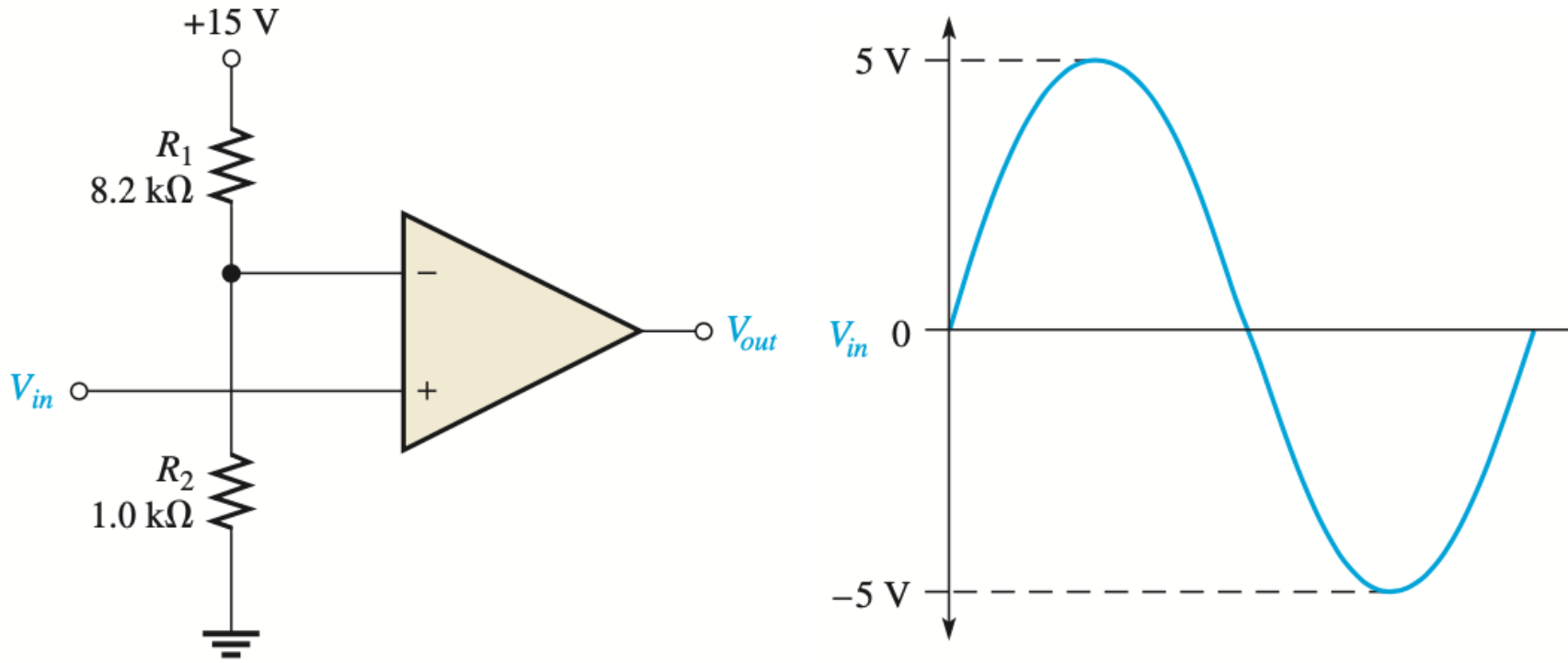
Bộ so sánh phát hiện mức khác 0

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



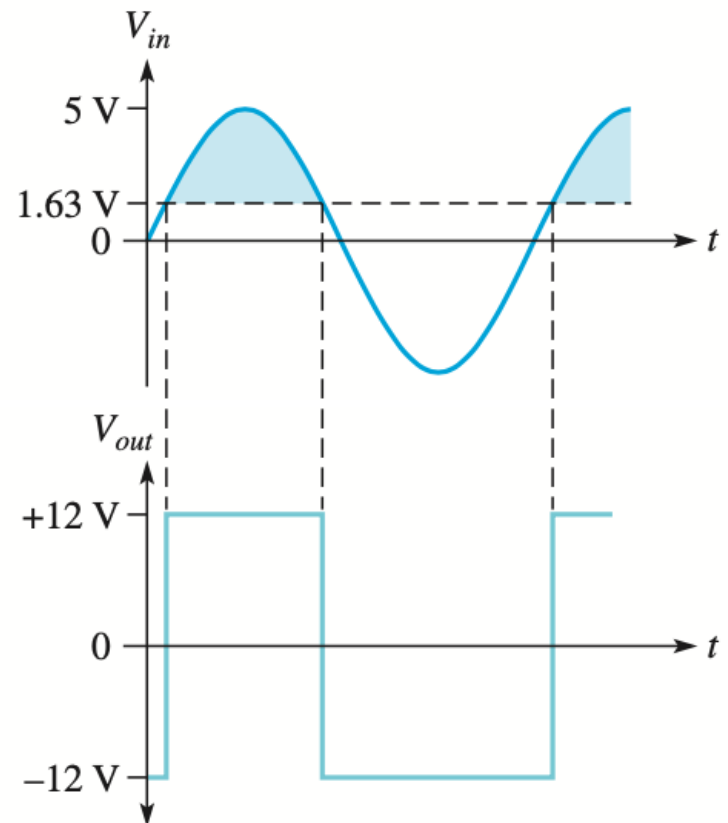
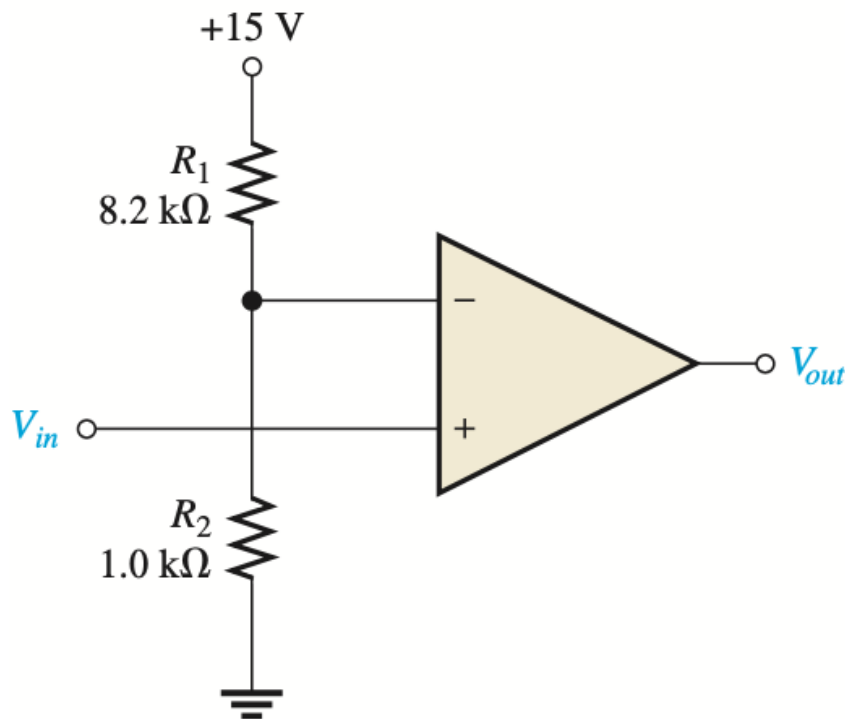
Ví dụ 3.4

- 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 $\pm 12\text{ V}$.



Ví dụ 3.4

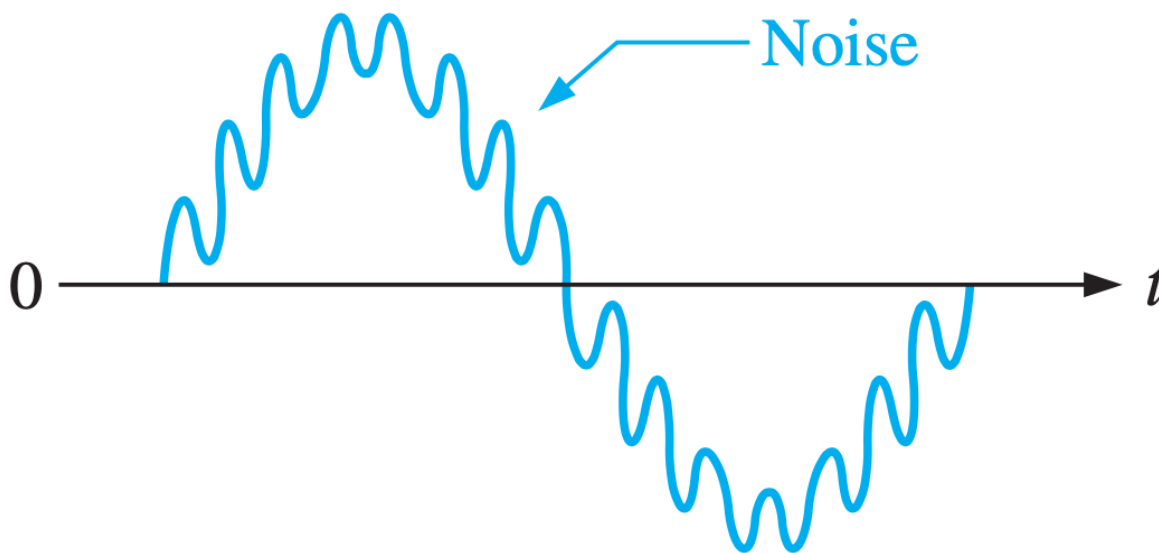
- Điện áp tham chiếu:



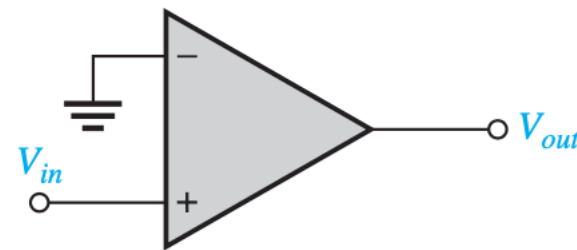
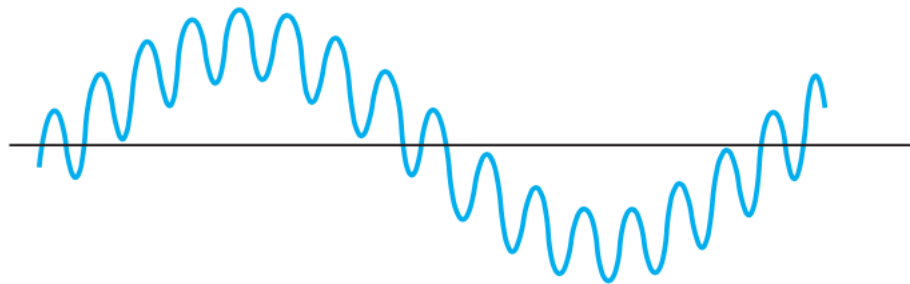
$$V_{\text{ref}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (+V) = \frac{1.0}{8.2 + 1.0} \times 15 = 1.63 \text{ V}$$

Ảnh hưởng nhiễu đầu vào bộ so sánh

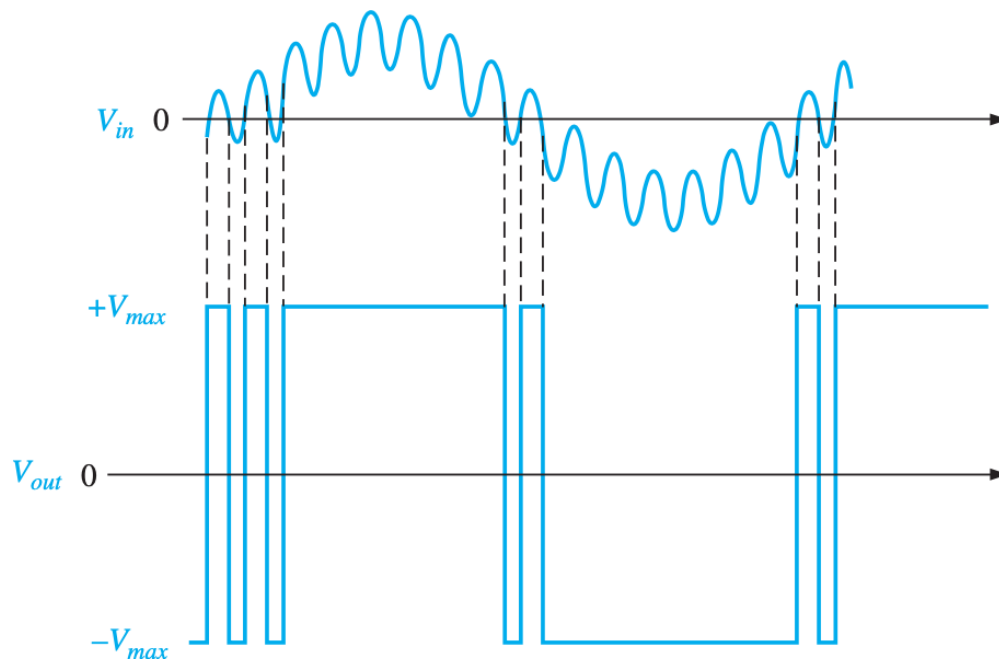
- Xét một điện áp xoay chiều tần số thấp đưa vào đầu vào không đảo của bộ so sánh mức 0 như sau:



Ảnh hưởng nhiễu đầu vào bộ so sánh



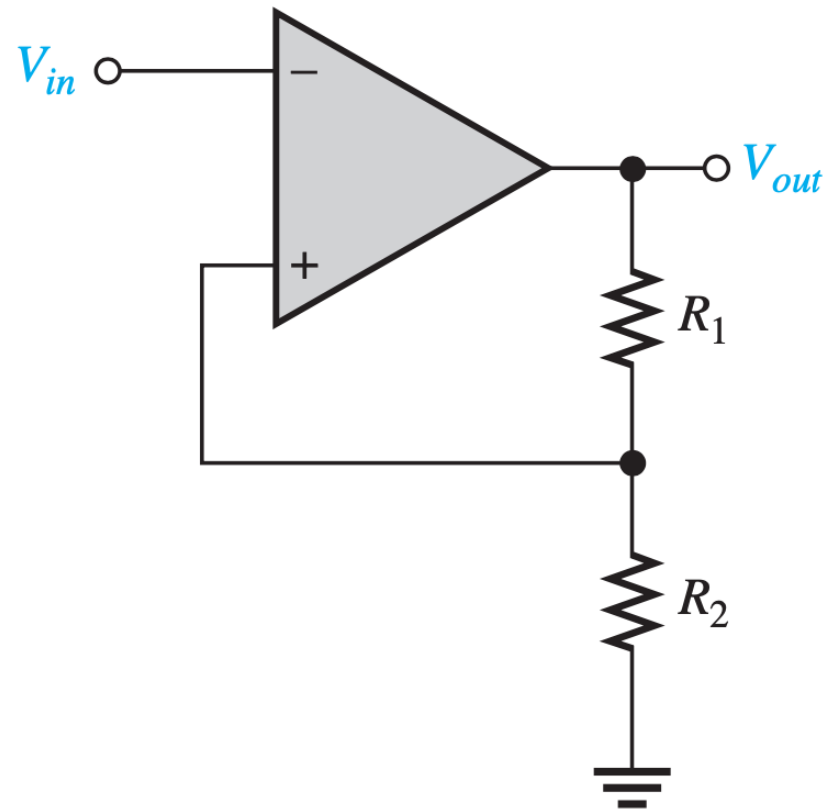
Khi sóng hình sin đầu vào **tiến gần đến 0**, các dao động do nhiễu làm cho tổng đầu vào thay đổi **trên và dưới 0 vài lần**, tạo ra điện áp đầu ra thất thường.



Điện áp đầu ra không ổn định

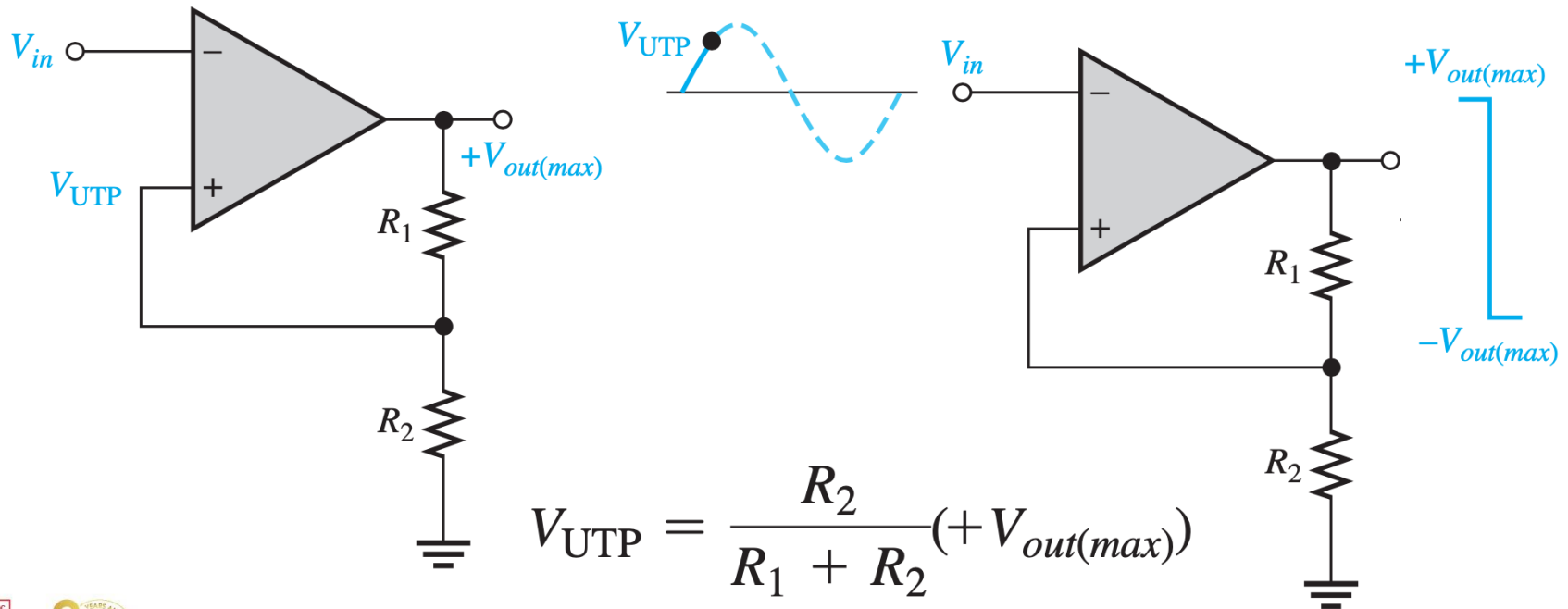
Ảnh hưởng nhiều đầu vào bộ so sánh

- Để làm cho bộ so sánh bớt nhạy cảm với nhiễu, một kỹ thuật hồi tiếp dương được sử dụng gọi là **hysteresis** (trễ)
- Có hai mức điện áp tham chiếu được tạo ra như sau:
 - V_{LTP} : **lower trigger point**
 - V_{UTP} : **upper trigger point**



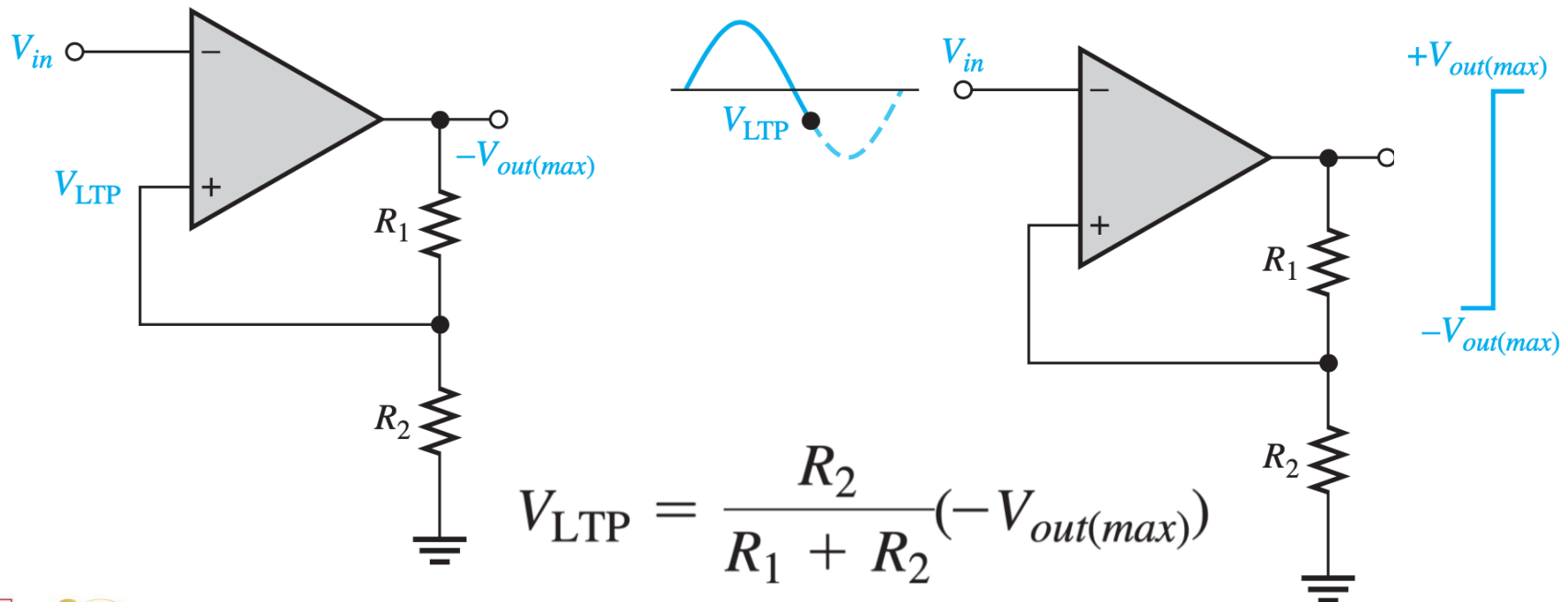
Ảnh hưởng nhiều đầu vào bộ so sánh

- Điện áp đầu ra lớn nhất ở mức dương: $+V_{out(max)}$
- Điện áp hồi tiếp dương là V_{UTP}
- Đầu vào vượt quá UTP, đầu ra chuyển từ $+V_{out(max)}$ sang $-V_{out(max)}$



Ảnh hưởng nhiều đầu vào bộ so sánh

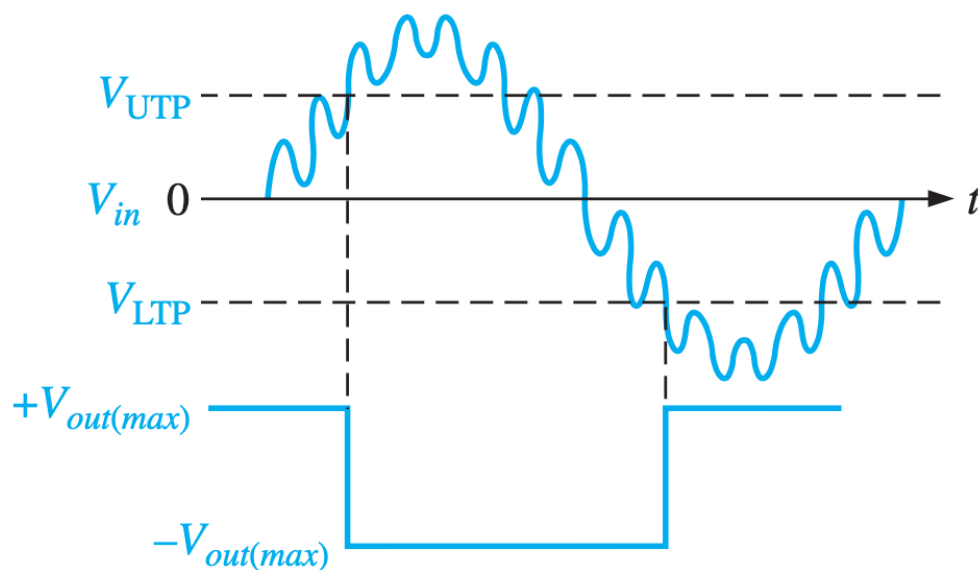
- Điện áp đầu ra lớn nhất ở mức âm: $-V_{out(max)}$
- Điện áp hồi tiếp dương là V_{LTP}
- Đầu vào giảm nhỏ hơn LTP, đầu ra chuyển từ $-V_{out(max)}$ sang $+V_{out(max)}$



Ảnh hưởng nhiễu đầu vào bộ so sánh

- Điện áp đầu vào **thay đổi quanh hai giá trị V_{UTP} và V_{LTP}** làm thay đổi điện áp đầu ra.
- **Nhiều nhỏ không ảnh hưởng đến đầu ra**, do đó có thể ổn định điện áp đầu ra.

$$V_{HYS} = V_{UTP} - V_{LTP}$$



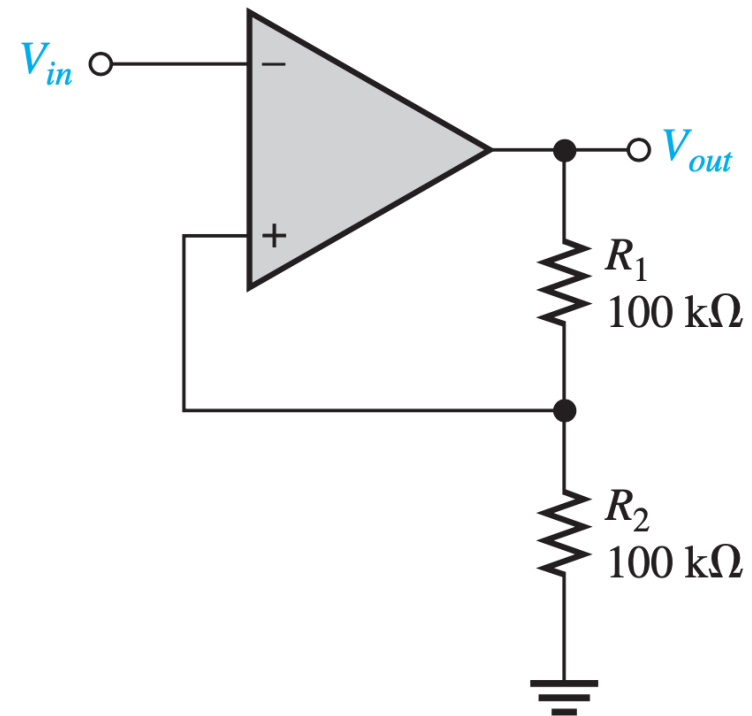
Ví dụ 3.5

- Cho mạch so sánh như hình sau:
- Giả thiết: $+V_{out(max)} = +5 \text{ V}$ và $-V_{out(max)} = -5 \text{ V}$
- Tìm V_{UTP} V_{LTP} V_{HYS}

$$\begin{aligned} V_{UTP} &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} (+V_{out(max)}) \\ &= 0.5(5 \text{ V}) = \mathbf{+2.5 \text{ V}} \end{aligned}$$

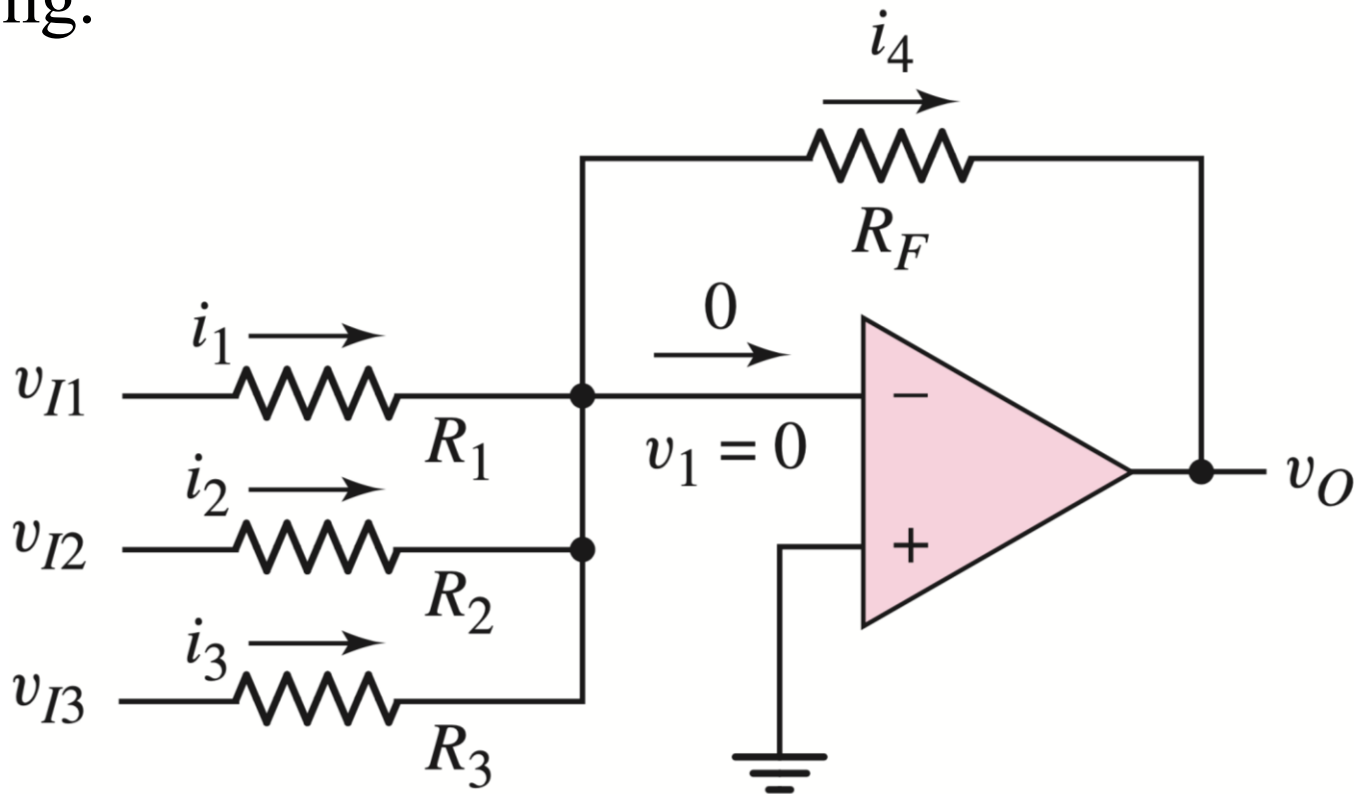
$$\begin{aligned} V_{LTP} &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} (-V_{out(max)}) \\ &= 0.5(-5 \text{ V}) = \mathbf{-2.5 \text{ V}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{HYS} &= V_{UTP} - V_{LTP} \\ &= 2.5 \text{ V} - (-2.5 \text{ V}) = \mathbf{5 \text{ V}} \end{aligned}$$



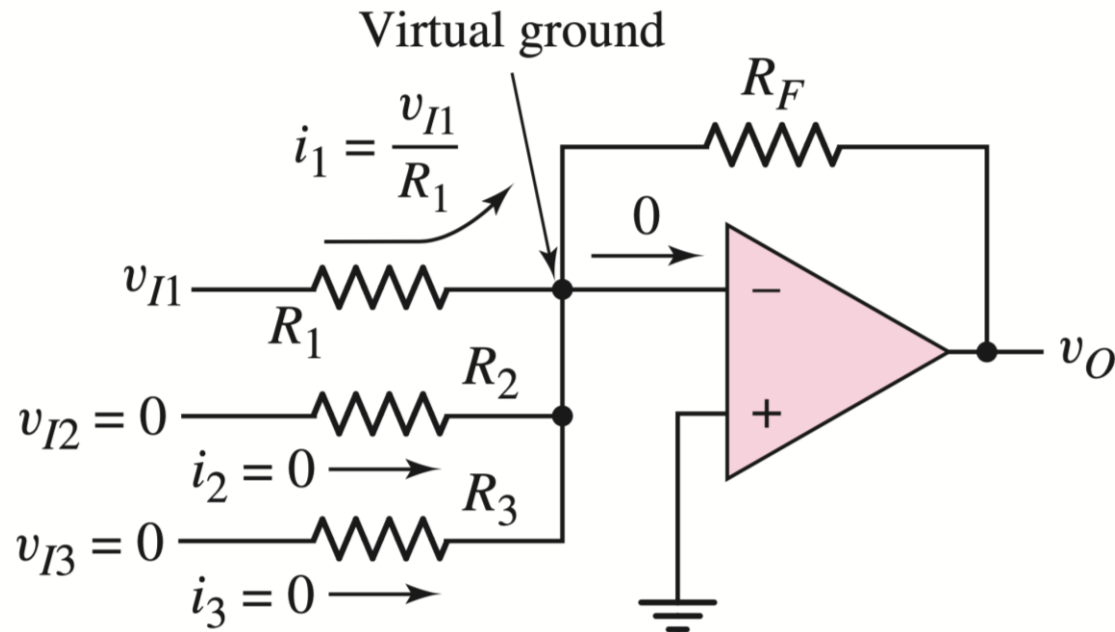
Khuếch đại cộng

- Mục tiêu: Phân tích và hiệu đặc tính của bộ khuếch đại cộng.



Khuếch đại cộng

- Sử dụng nguyên tắc xếp chồng và khái niệm đất ảo 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.



Khuếch đại cộng

- Đặt:

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

- Tính được:

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

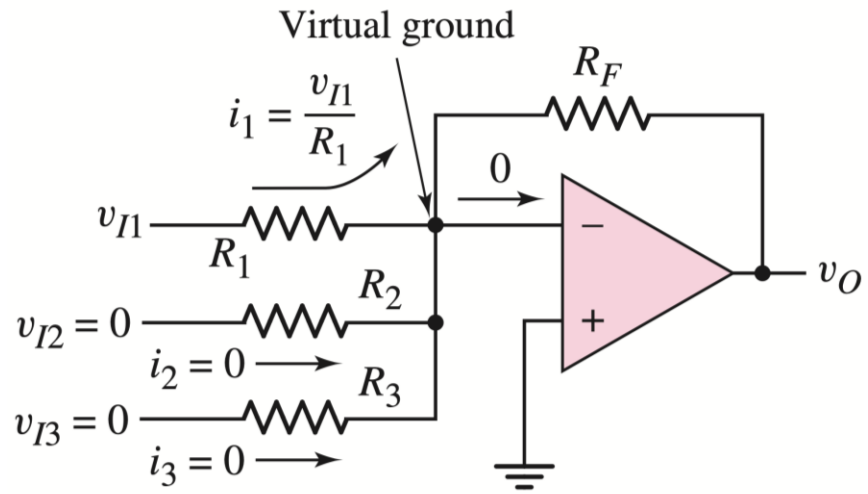
- Tương tự tính được:

$$\begin{cases} v_O(v_{I2}) = -i_2 R_F = -\left(\frac{R_F}{R_2}\right) v_{I2} \\ v_O(v_{I3}) = -i_3 R_F = -\left(\frac{R_F}{R_3}\right) v_{I3} \end{cases}$$

- Tổng điện áp đầu ra:

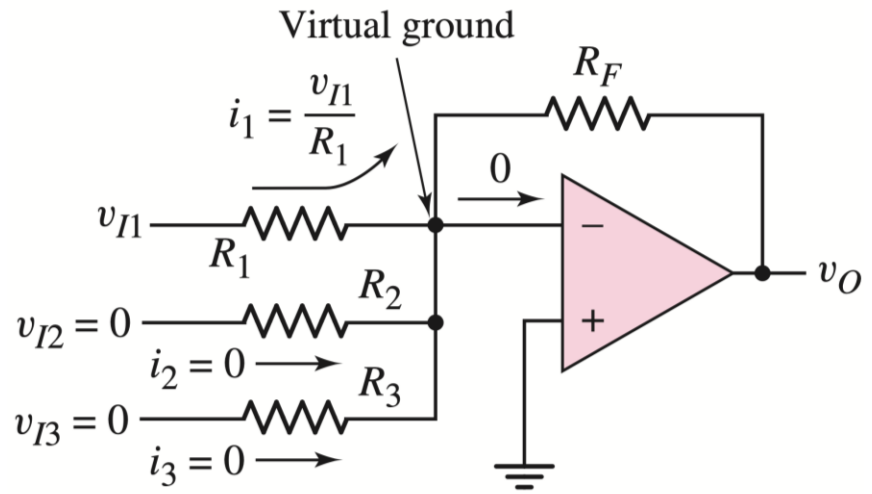
$$v_O = v_O(v_{I1}) + v_O(v_{I2}) + v_O(v_{I3})$$

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



Khuếch đại cộng

- Điện áp đầu ra là tổng của 3 điện áp đầu vào với các trọng số khác nhau.
- Điện áp đầu ra được đưa quay lại đầu vào đảo, gọi là **bộ khuếch đại cộng đảo**.



- T/h đặc biệt, nếu:

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

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

Ví dụ 3.6

(a) Thiết kế một bộ khuếch đại cộng đảo có điện áp đầu ra $v_O = -3(v_{I1} + 2v_{I2} + 0.3v_{I3} + 4v_{I4})$.

Trở kháng đầu ra bị hạn chế tối đa $400\text{k}\Omega$.

(b) Sử dụng kết quả phần (a), tìm v_O 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) $v_{I1} = -0.2\text{V}$, $v_{I2} = 0.3\text{V}$, $v_{I3} = 1.5\text{V}$, $v_{I4} = -0.1\text{V}$.

Ví dụ 3.6

- 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)

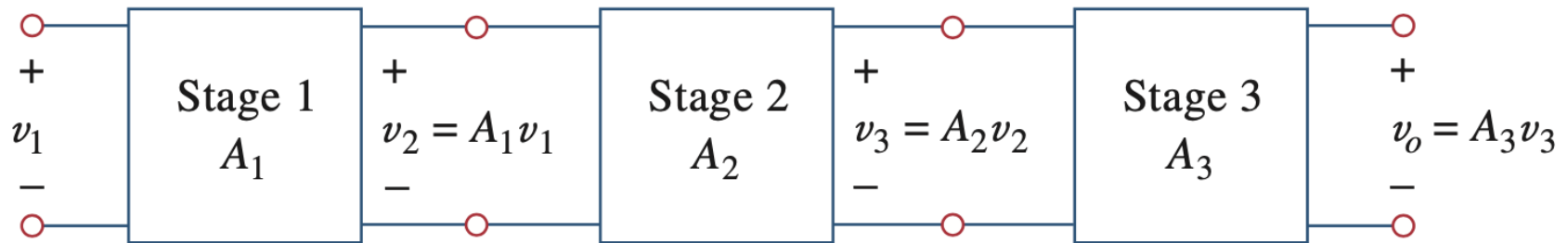
- (i) $v_O = +1.2\text{V}$,
- (ii) $v_O = -1.35\text{V}$

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:



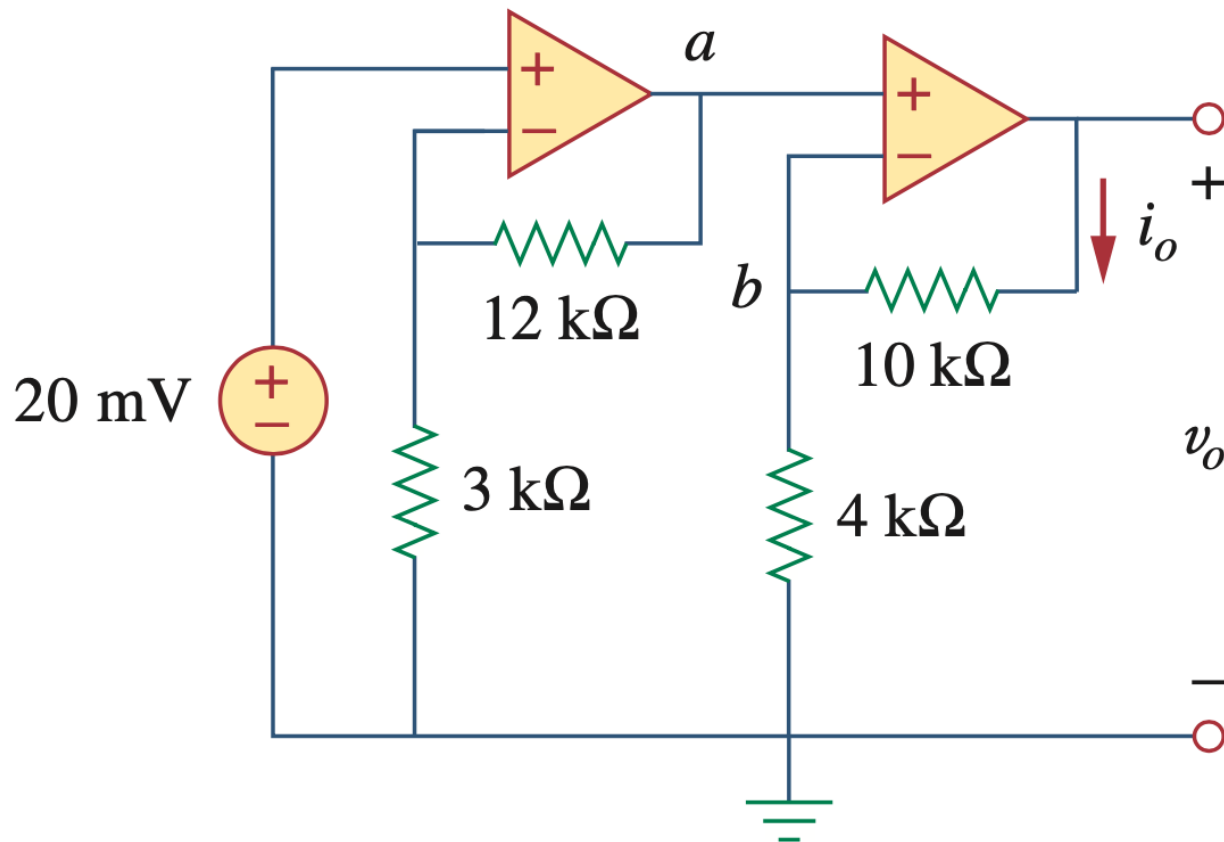
- Hệ số khuếch đại của toàn mạch tính được như sau:

$$A = A_1 A_2 A_3$$

- 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 3.7

- Tìm v_o và i_o trong mạch sau:



Ví dụ 3.7

- Mạch bao gồm hai bộ khuếch đại không đảo nối tầng với nhau.
- Ở đầu ra của op-amp đầu tiên tính được:

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

- Ở đầu ra của op-amp thứ hai tính được:

$$v_o = \left(1 + \frac{10}{4}\right)v_a = (1 + 2.5)100 = 350 \text{ mV}$$

Ví dụ 3.7

- Dòng i_o tính được như sau:

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

- Nhưng:

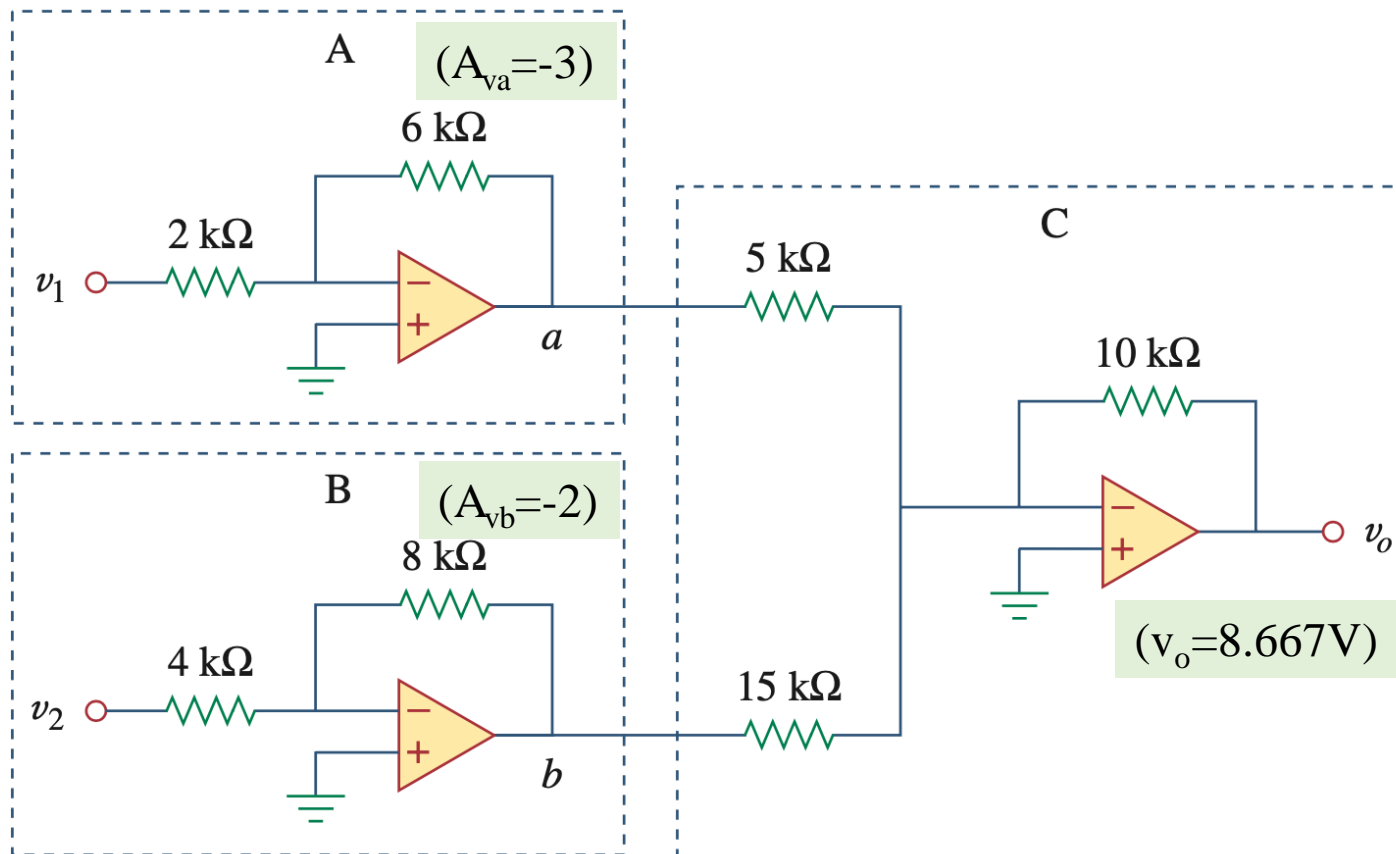
$$v_b = v_a = 100 \text{ mV}$$

- Do đó:

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

Ví dụ 3.8

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



Ví dụ 3.8

- 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:

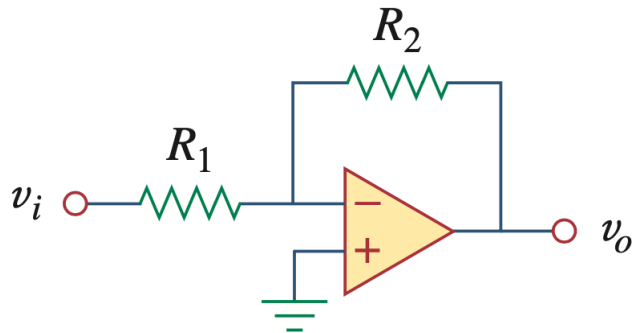
$$v_{11} = -3v_1 = -3 \times 1 = -3 \text{ V}$$

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

- Điện áp đầu ra op-amp C là:

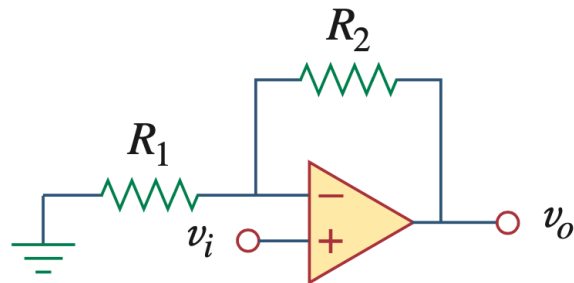
$$\begin{aligned} v_o &= -(10 \text{ k}\Omega / 5 \text{ k}\Omega) v_{11} + [-(10 \text{ k}\Omega / 15 \text{ k}\Omega) v_{22}] \\ &= -2(-3) - (2/3)(-4) \\ &= 6 + 2.667 = \mathbf{8.667 \text{ V}} \end{aligned}$$

Tóm tắt mạch op-amp cơ bản



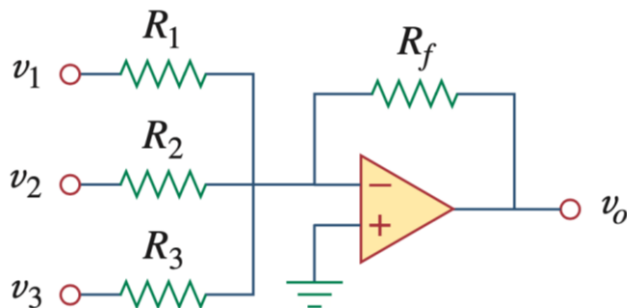
Khuếch đại đảo

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



Khuếch đại không đảo

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



Mạch cộng

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