
Chương 2: Khuếch đại thuật toán



Nội dung

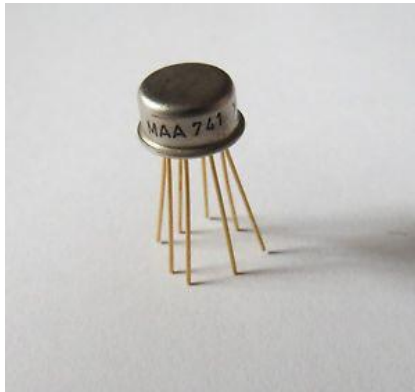
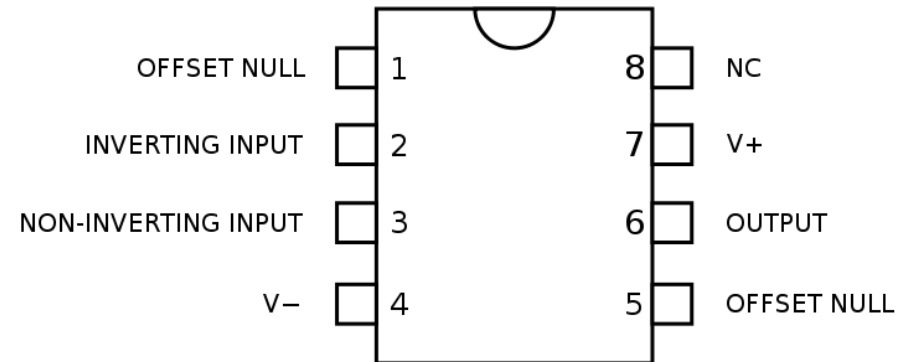
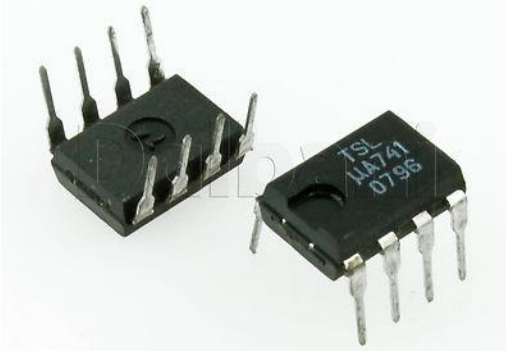
- 2.1. Giới thiệu về mạch khuếch đại thuật toán
- 2.2. Mạch khuếch đại thuật toán lý tưởng
- 2.3. Mạch khuếch đại đảo
- 2.4. Mạch khuếch đại không đảo
- 2.5. Mạch vi sai
- 2.6. Mạch khuếch đại công cụ
- 2.7. Mạch tích phân và vi phân
- 2.8. Các tác động xấu dc
- 2.9. Ảnh hưởng của Ao hữu hạn và dải thông
- 2.10. Hoạt động của KĐTT với tín hiệu vào lớn

2.1. Giới thiệu về khuếch đại thuật toán

- Mạch khuếch đại thuật toán được thiết kế cho các mạch *khuếch đại vạn năng* (universal amplifier).
- Ban đầu, mạch này được thiết kế để thực hiện các phép tính dựa trên các tín hiệu điện để mô phỏng tính toán các đại lượng khác, do đó được gọi là mạch khuếch đại thuật toán – operational amplifier.
- Mạch khuếch đại thuật toán được chế tạo và ứng dụng rộng rãi vào cuối những năm 1960. Vì mạch $\mu A709$ là chip khuếch đại thuật toán đầu tiên được Fairchild, do Bob Widlar thiết kế năm 1965 và nó nhanh chóng được thay thế bằng $\mu A741$. Cho đến nay $\mu A741$ vẫn được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng điện tử.

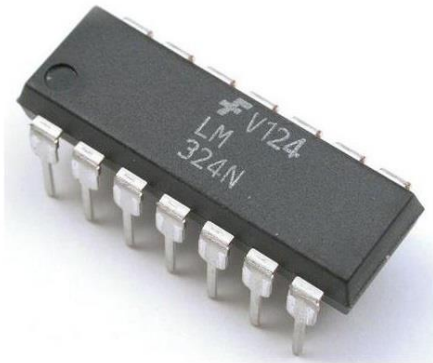
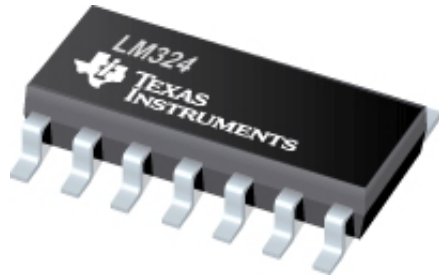
2.1. Giới thiệu về khuếch đại thuật toán

❑ Ví dụ 2.1: Một số hình ảnh của chip khuếch đại thuật toán

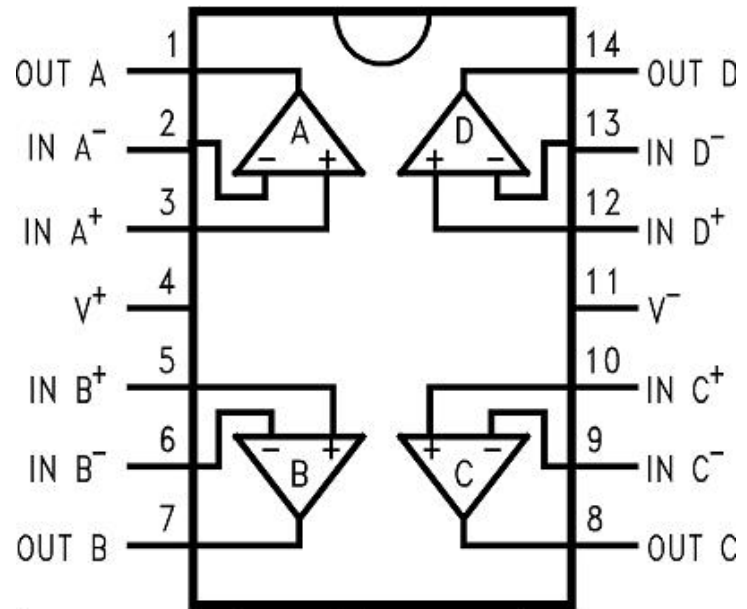


SMD

2.1. Giới thiệu về khuếch đại thuật toán



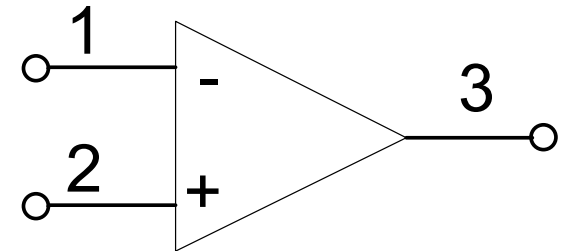
LM324 - 14 Pin Dual In-line Plastic Package



2.2. Mạch khuếch đại thuật toán lý tưởng

□ Ký hiệu mạch

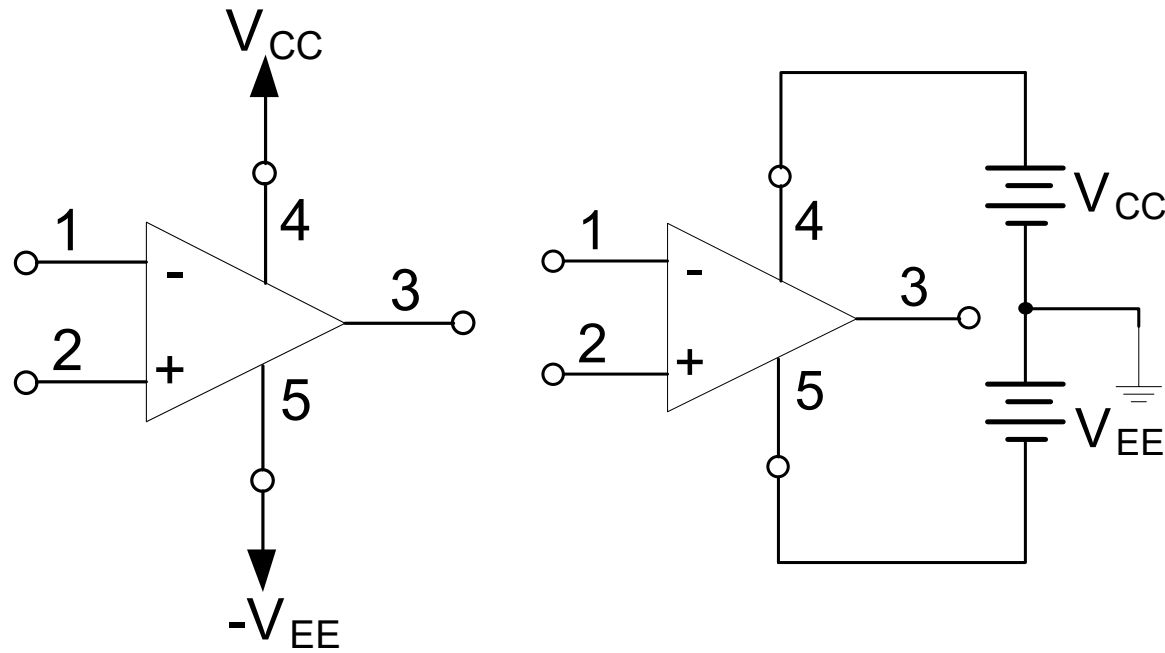
- Lối vào 1: *lối vào đảo*; (-)
inverting input terminal
- Lối vào 2: *lối vào không đảo*; (+)
noninverting input terminal
- Hệ số khuếch đại vi sai A
- Điện áp lối ra:



$$v_3 = A(v_2 - v_1)$$

2.2. Mạch khuếch đại thuật toán lý tưởng

- Thông thường các khuếch đại thuật toán được nuôi bằng nguồn lưỡng cực. Hiện nay, với sự phát triển của các thiết bị di động, các mạch khuếch đại thuật toán dùng nguồn đơn, điện áp thấp đang được phát triển mạnh.

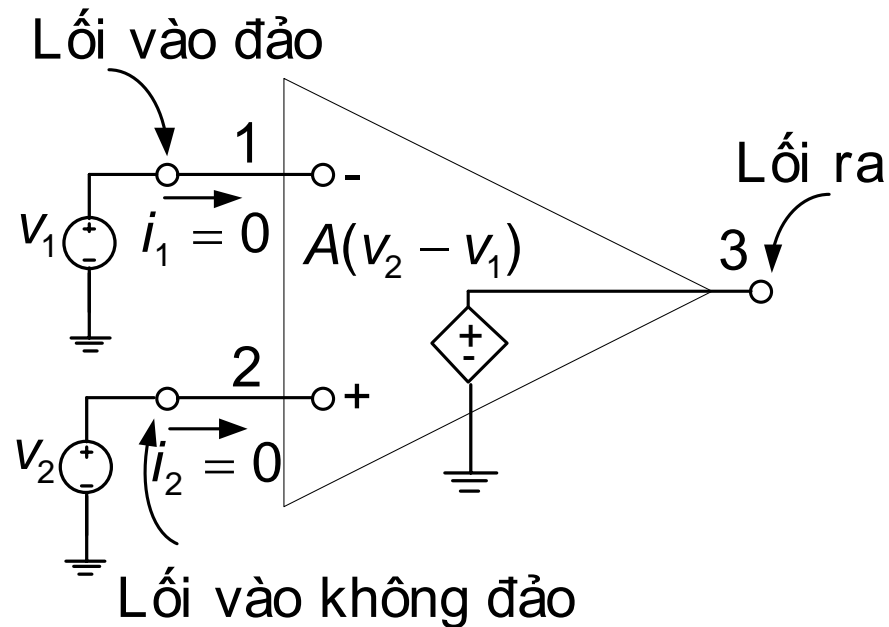


2.2. Mạch khuếch đại thuật toán lý tưởng

- ❑ Một số tính chất của khuếch đại thuật toán lý tưởng:
 - Hệ số khuếch đại vi sai (vòng hở) A là **vô cùng lớn**
 - Hệ số khuếch đại đồng pha bằng 0
 - Điện trở lối vào lớn vô cùng
 - Điện trở lối ra bằng 0
 - Dòng offset bằng 0
 - Thế offset bằng 0
 - Băng tần hoạt động rộng vô cùng (Hệ số khuếch đại A giữ giá trị không đổi khi tần số thay đổi)

2.2. Mạch khuếch đại thuật toán lý tưởng

❑ Mạch tương đương của khuếch đại thuật toán lý tưởng



2.2. Mạch khuếch đại thuật toán lý tưởng

❑ Tín hiệu lỗi vào vi sai và tín hiệu lỗi vào đồng pha

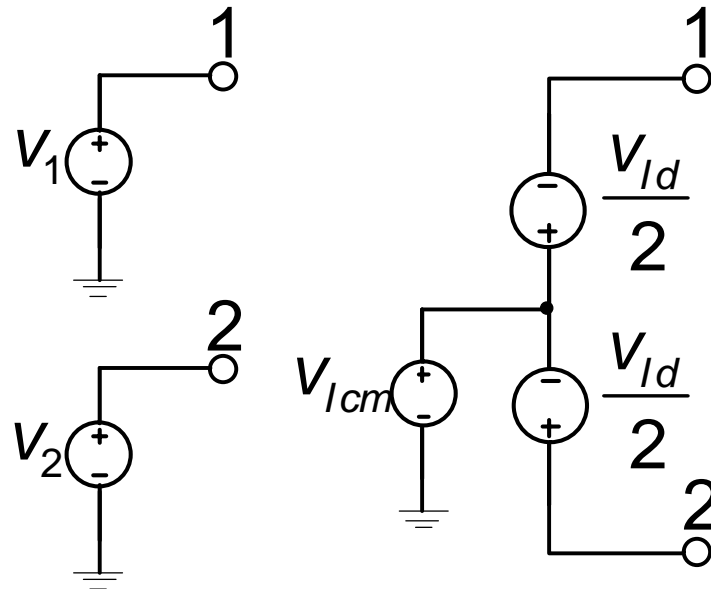
$$V_{Id} = V_2 - V_1$$

$$V_{Icm} = \frac{1}{2}(V_1 + V_2)$$

hay :

$$V_1 = V_{Icm} - \frac{V_{Id}}{2}$$

$$V_2 = V_{Icm} + \frac{V_{Id}}{2}$$



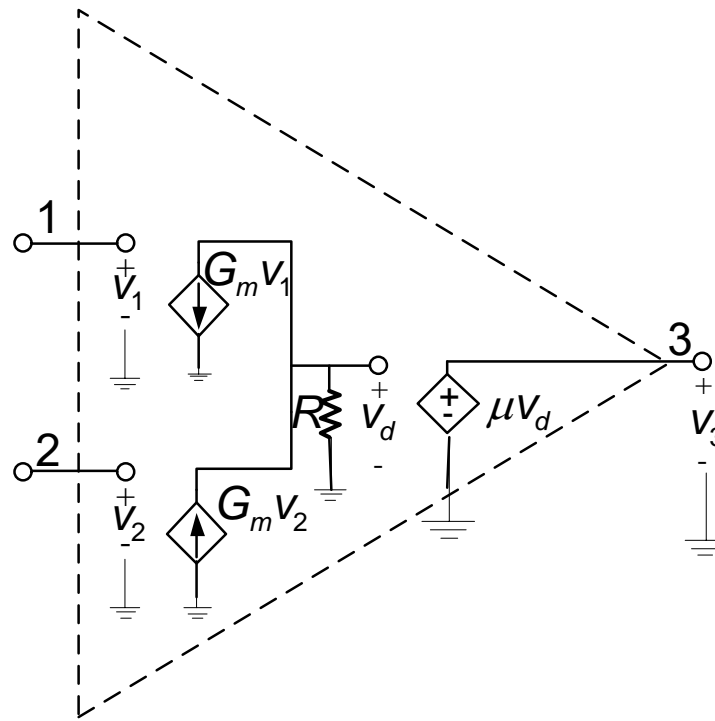
2.2. Mạch khuếch đại thuật toán lý tưởng

□ Ví dụ 2.2: Mạch khuếch đại thuật toán lý tưởng có hệ số khuếch đại $A = 10^3$. Khuếch đại thuật toán này được sử dụng trong mạch khuếch đại có phản hồi. Giá trị điện áp của hai trong ba đầu của khuếch đại thuật toán được đo. Xác định giá trị điện áp của đầu còn lại và điện áp vào vi sai và đồng pha cho các trường hợp sau:

- a) $v_2 = 0 \text{ V}; v_3 = 2 \text{ V}.$
- b) $v_2 = 5 \text{ V}; v_3 = -10 \text{ V}.$
- c) $v_1 = 1,002 \text{ V}; v_2 = 0,998 \text{ V}.$
- d) $v_1 = -3,6 \text{ V}; v_3 = -3,6 \text{ V}.$

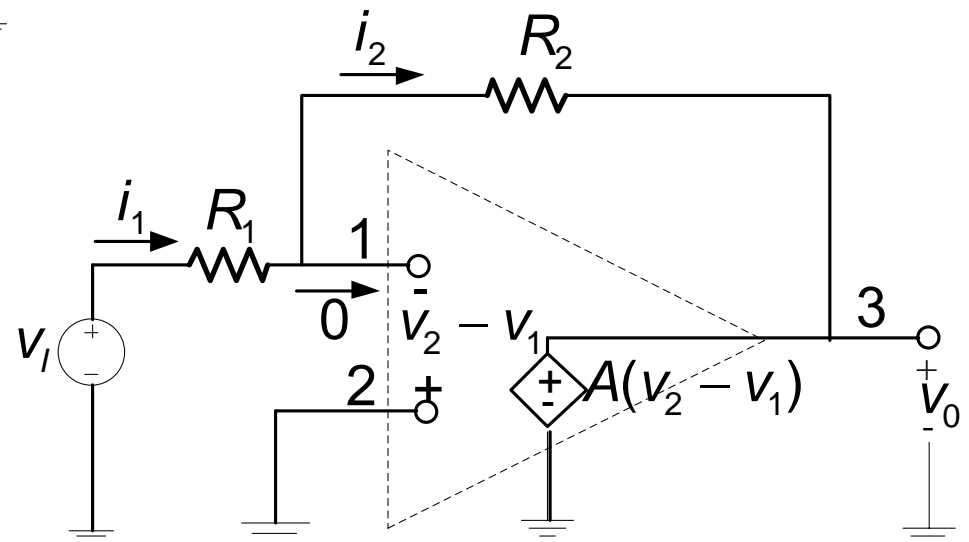
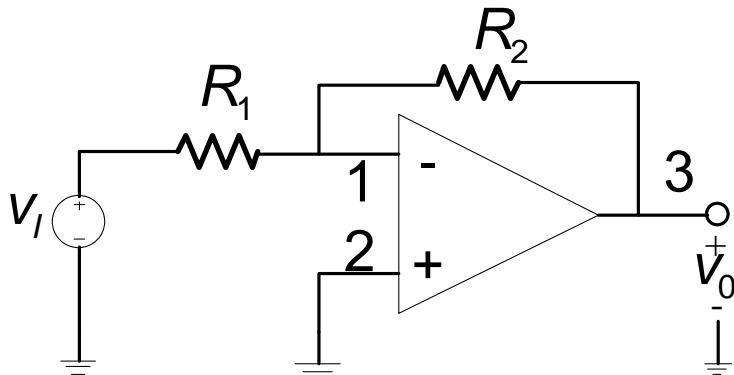
2.2. Mạch khuếch đại thuật toán lý tưởng

□ Ví dụ 2.3: Một mạch khuếch đại thuật toán thông thường có thể mô hình hoá như mạch hình dưới. Biểu diễn điện áp lõi ra v_3 theo các lõi vào v_1 và v_2 . Cho biết $G_m = 10 \text{ mA/V}$, $R = 10 \text{ k}\Omega$, và $\mu = 100$, tính giá trị hệ số khuếch đại vòng hở A.



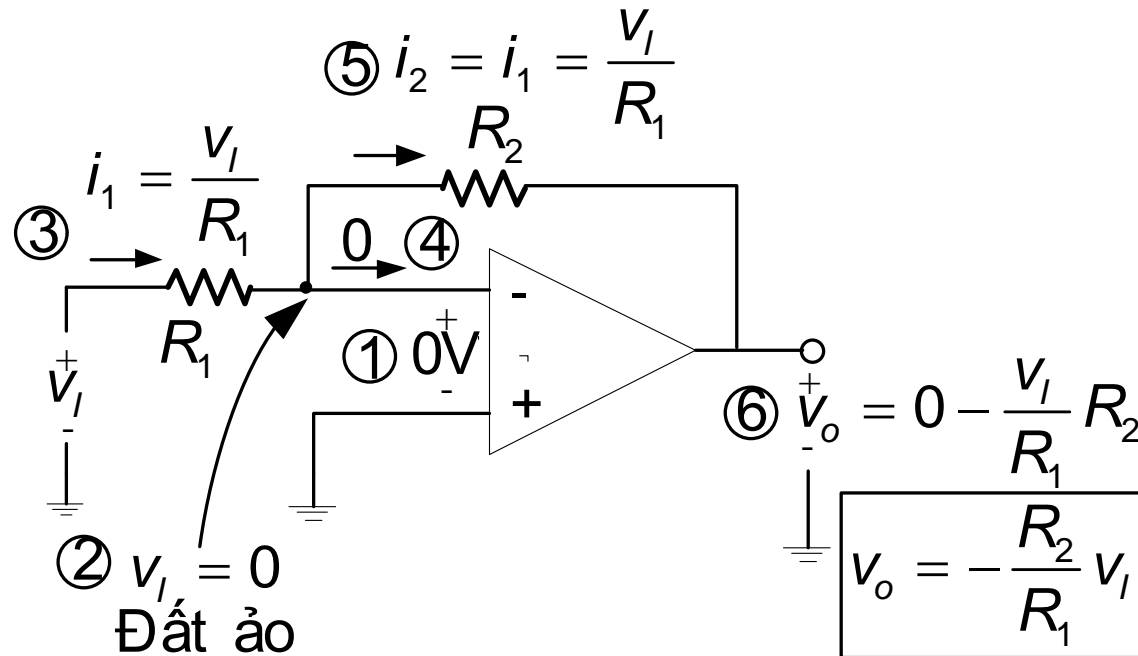
2.3. Mạch khuếch đại đảo

□ Sơ đồ mạch khuếch đại đảo



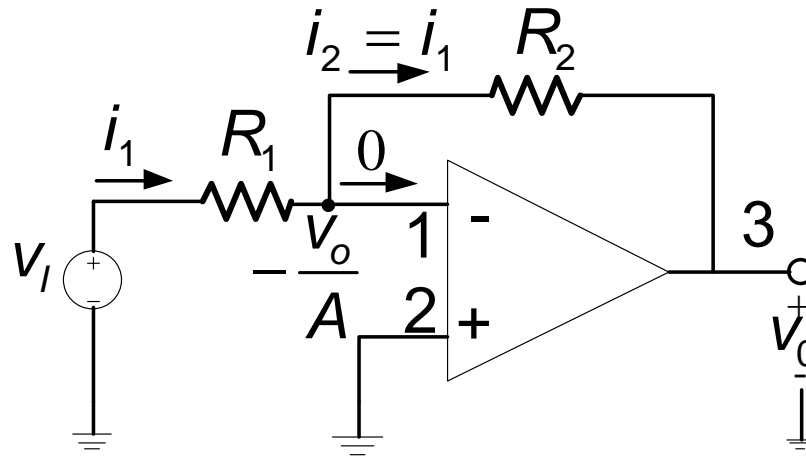
2.3. Mạch khuếch đại đảo

❑ Mạch khuếch đại đảo khi hệ số khuếch đại A là vô cùng



2.3. Mạch khuếch đại đảo

❑ Mạch khuếch đại đảo khi hệ số khuếch đại A là hữu hạn



$$G = \frac{V_o}{V_I} = \frac{-R_2 / R_1}{1 + (1 + R_2 / R_1) / A}$$

2.3. Mạch khuếch đại đảo

- Ví dụ 2.4: Xét mạch khuếch đại đảo với $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ và $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$.
- a. Tính hệ số khuếch đại vòng đóng trong trường hợp $A = 10^3$, 10^4 , và 10^5 . Trong mỗi trường hợp, xác định tỷ lệ lỗi của hệ số G khi so với mạch khuếch đại thuật toán lý tưởng (với $A = \infty$). Xác định giá trị điện áp trên lỗi vào v_1 khi $v_i = 0,1 \text{ V}$.
- b. Khi hệ số khuếch đại A thay đổi từ 100000 xuống 50000 (giảm 50%), xác định tỷ lệ thay đổi tương ứng của hệ số khuếch đại vòng đóng G ?

2.3. Mạch khuếch đại đảo

❑ Điện trở vào và điện trở ra của mạch khuếch đại đảo

$$R_i = \frac{V_i}{i_1} = \frac{V_i}{V_i / R_1} = R_1$$

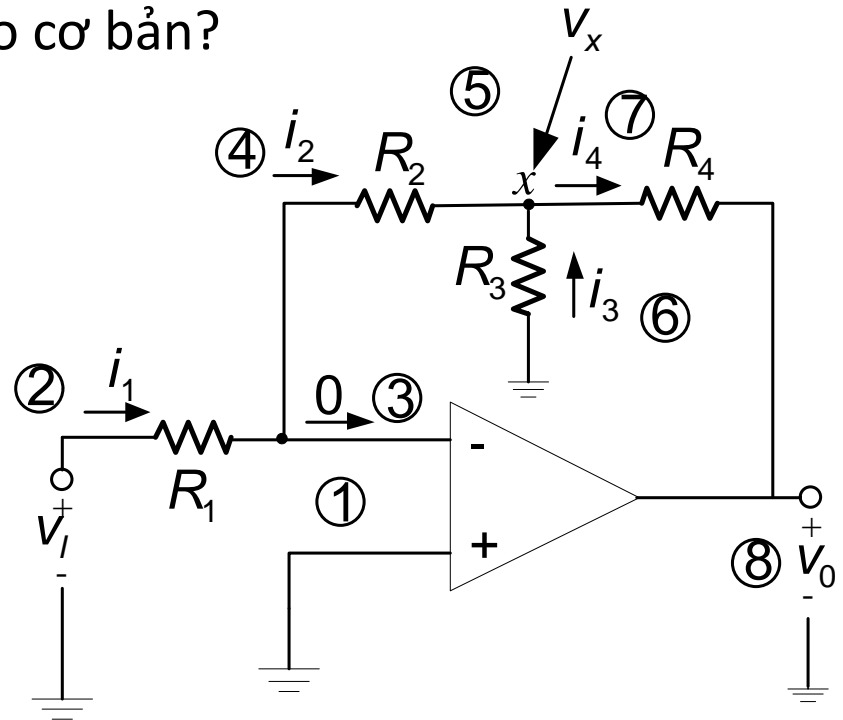
$$R_o = 0$$

Thông thường yêu cầu R_i lớn, điều này dẫn đến G giảm. Nhược điểm này bằng theo cách như ví dụ dưới đây.

2.3. Mạch khuếch đại đảo

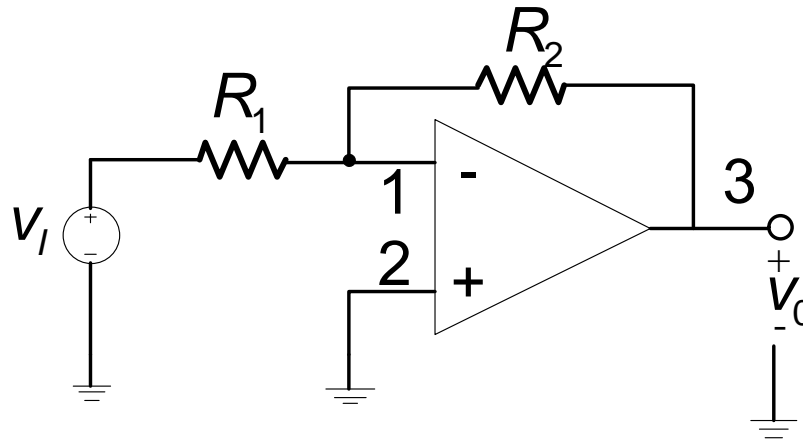
❑ Ví dụ 2.5: Giả sử mạch khuếch đại thuật toán là lý tưởng, hệ số khuếch đại vòng đóng là v_o/v_i . Sử dụng mạch này thiết kế mạch khuếch đại có hệ số khuếch đại 100, trở kháng lối vào là 1 MΩ. Theo yêu cầu thực tế không sử dụng các điện trở thành phần có giá trị lớn hơn 1 MΩ. So sánh mạch này với mạch khuếch đại đảo cơ bản?

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



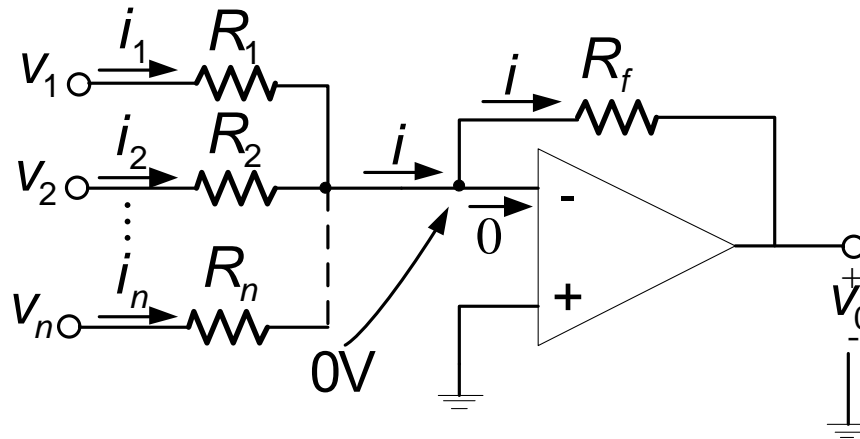
2.3. Mạch khuếch đại đảo

❑ Ví dụ 2.6: Cho mạch khuếch đại đảo dưới đây. Hãy xác định giá trị R_1 và R_2 để thiết kế 1 mạch khuếch đại đảo có giá trị khuếch đại -10 và trở kháng vào $100\text{k}\Omega$.



2.3. Mạch khuếch đại đảo

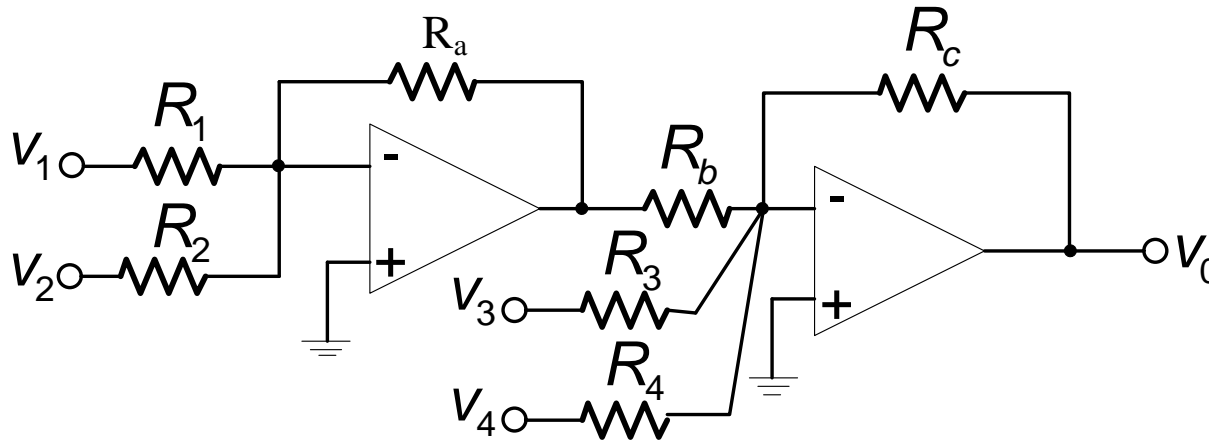
❑ Mạch tổng có trọng số cùng dấu



$$V_o = - \left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \dots + \frac{R_f}{R_n} V_n \right)$$

2.3. Mạch khuếch đại đảo

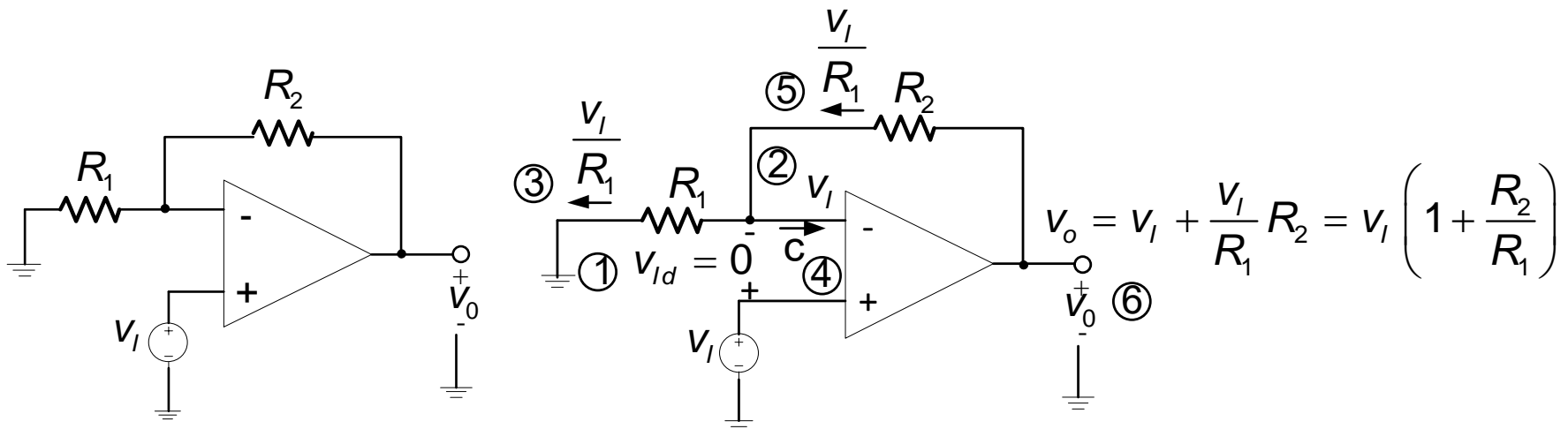
❑ Mạch tổng có trọng số khác dấu



$$V_o = V_1 \left(\frac{R_a}{R_1} \right) \left(\frac{R_c}{R_b} \right) + V_2 \left(\frac{R_a}{R_2} \right) \left(\frac{R_c}{R_b} \right) - V_3 \left(\frac{R_c}{R_3} \right) - V_4 \left(\frac{R_c}{R_4} \right)$$

2.4. Mạch khuếch đại không đảo

❑ Mạch khuếch đại không đảo khi hệ số khuếch đại A là vô cùng



2.4. Mạch khuếch đại không đảo

❑ Mạch khuếch đại không đảo khi hệ số khuếch đại A là hữu hạn

$$G = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1 + (R_2 / R_1)}{1 + \frac{1 + (R_2 / R_1)}{A}}$$

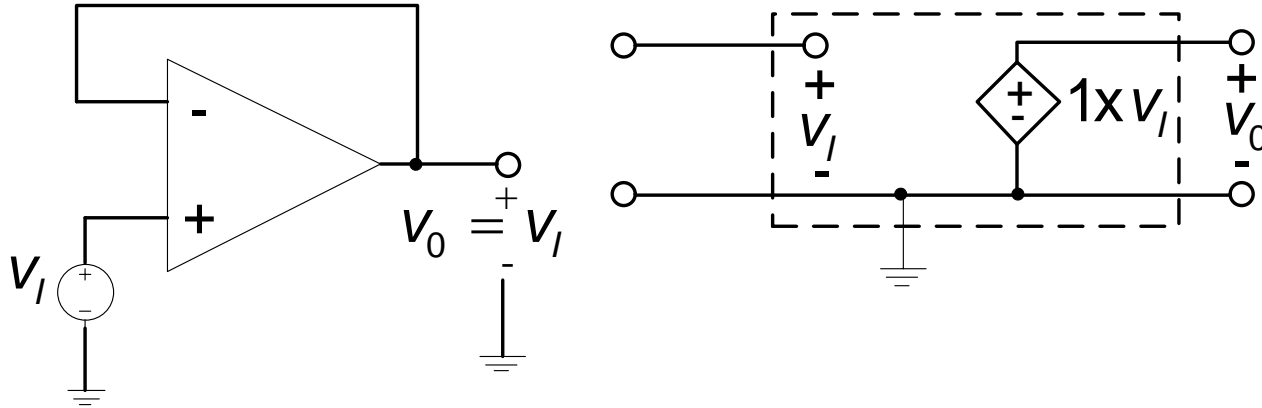
❑ Điện trở vào và ra của mạch khuếch đại không đảo

$$R_{in} = \infty$$

$$R_{out} = 0$$

2.4. Mạch khuếch đại không đảo

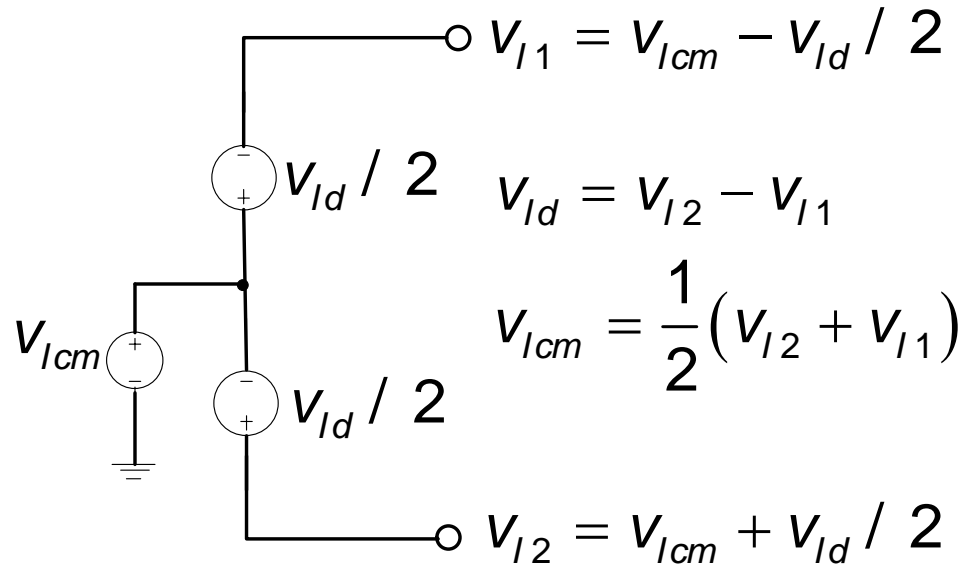
□ Sơ đồ mạch lặp lại



2.5. Mạch vi sai

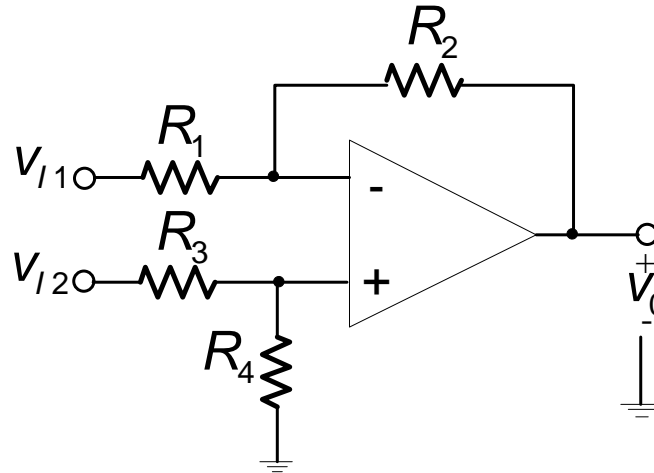
❑ Mạch vi sai chỉ khuếch đại sự sai khác giữa hai tín hiệu vào và loại bỏ hai tín hiệu lỗi vào giống nhau.

Tín hiệu lỗi vào được biểu diễn thông qua thành phần vi sai và đồng pha



2.5. Mạch vi sai

❑ Mạch vi sai sử dụng một khuếch đại thuật toán.



❑ Áp dụng nguyên lý xếp chồng để phân tích mạch trên

2.5. Mạch vi sai

- Với $v_{I2} = 0$: mạch khuếch đại đảo

$$v_{o1} = -\frac{R_2}{R_1} v_{I1}$$

- Với $v_{I1} = 0$: mạch khuếch không đại đảo

$$v_{o2} = v_{I2} \frac{R_4}{R_4 + R_3} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

- Với $v_{I1} \neq 0, v_{I2} \neq 0$:

$$v_o = v_{o1} + v_{o2} = v_{Id} \frac{R_4}{R_4 + R_3} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

- Chọn

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1} \quad \rightarrow \quad v_o = \frac{R_2}{R_1} v_{Id} \quad A_d = \frac{R_2}{R_1}$$

2.5. Mạch vi sai

❑ Trong chế độ tín hiệu vào đồng pha

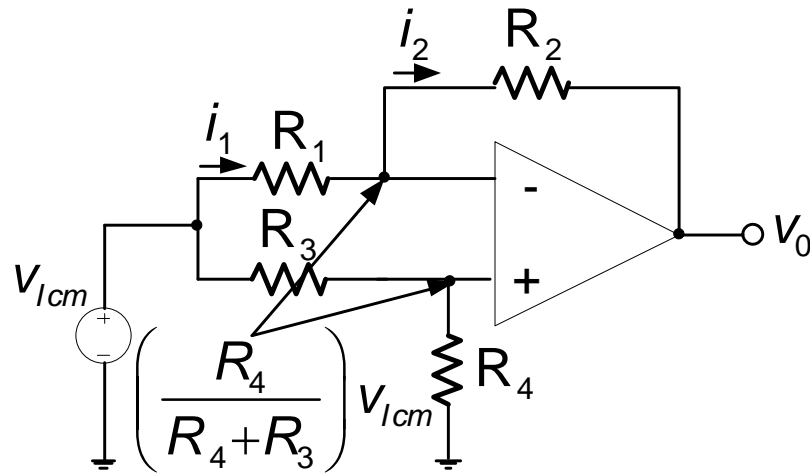
$$V_o = V_{Icm} \frac{R_4}{R_4 + R_3} \left(1 - \frac{R_2}{R_1} \frac{R_3}{R_4} \right)$$

- Nếu chọn

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

- Thì $v_o = 0$

$$A_{cm} = 0$$



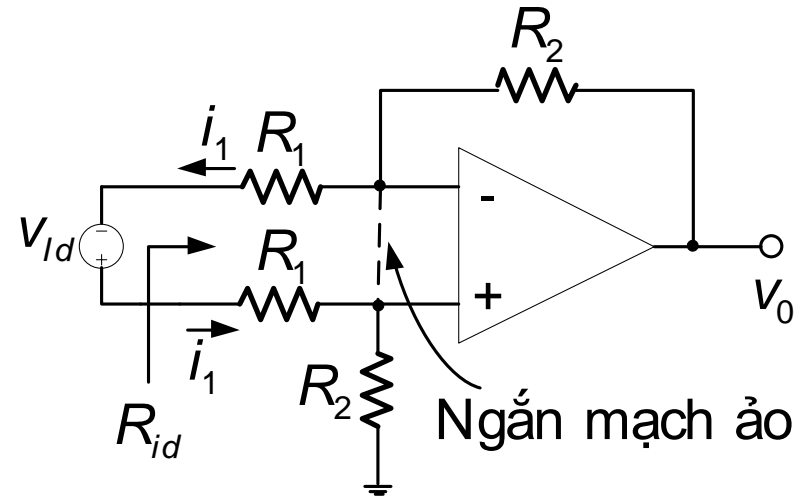
2.5. Mạch vi sai

❑ Điện trở lối vào của mạch vi sai

$$R_{id} = \frac{V_{id}}{i_1}$$

$$V_{id} = i_1 R_1 + 0 + i_1 R_1 = 2i_1 R_1$$

$$R_{id} = 2R_1$$

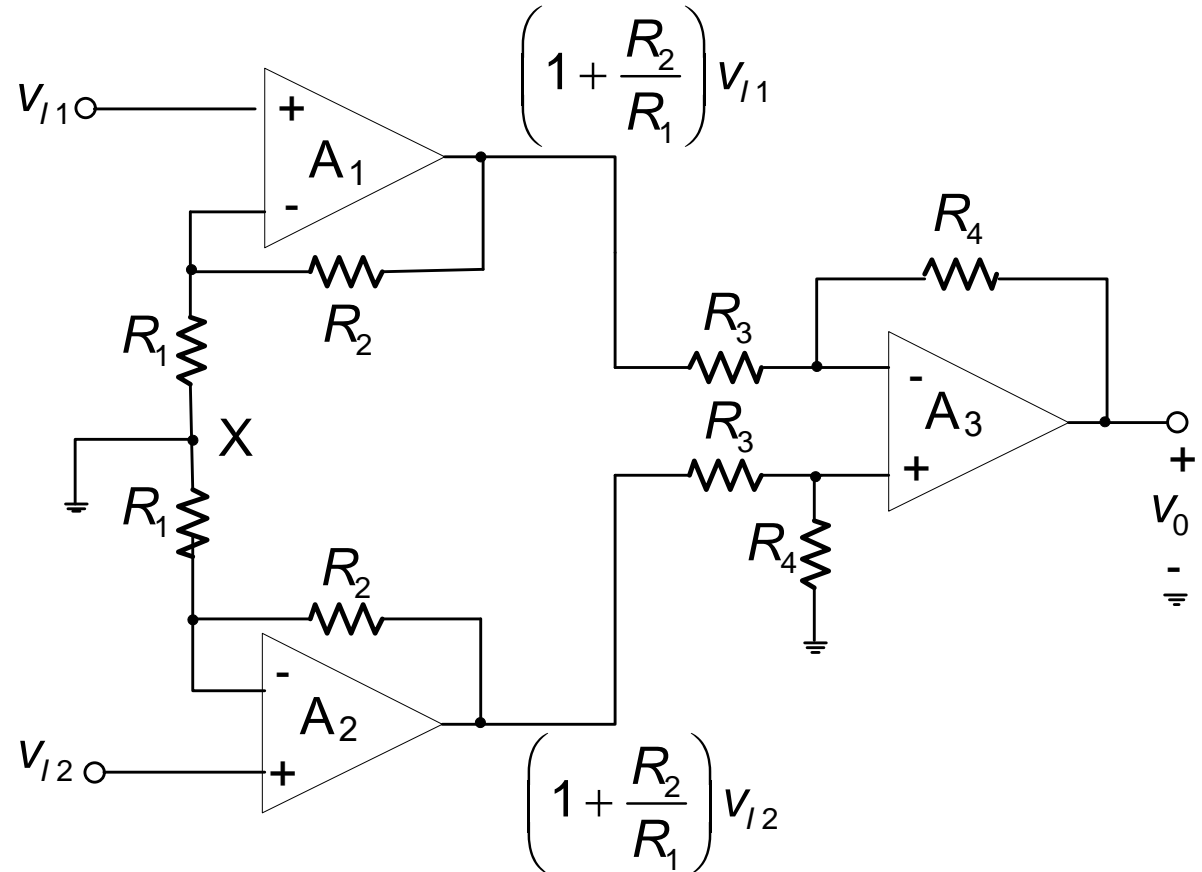


❑ Nếu muốn R_{id} cao thì hệ số R_2/R_1 nhỏ, điều này làm ảnh hưởng đến hệ số khuếch đại của tín hiệu vi sai A_d . Khắc phục nhược điểm này bằng mạch khuếch đại công cụ

2.6. Mạch khuếch đại công cụ

□ Sơ đồ mạch khuếch đại công cụ

$$A_d = \frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$



2.6. Mạch khuếch đại công cụ

❑ Ưu và nhược điểm của mạch khuếch đại công cụ

Ưu điểm

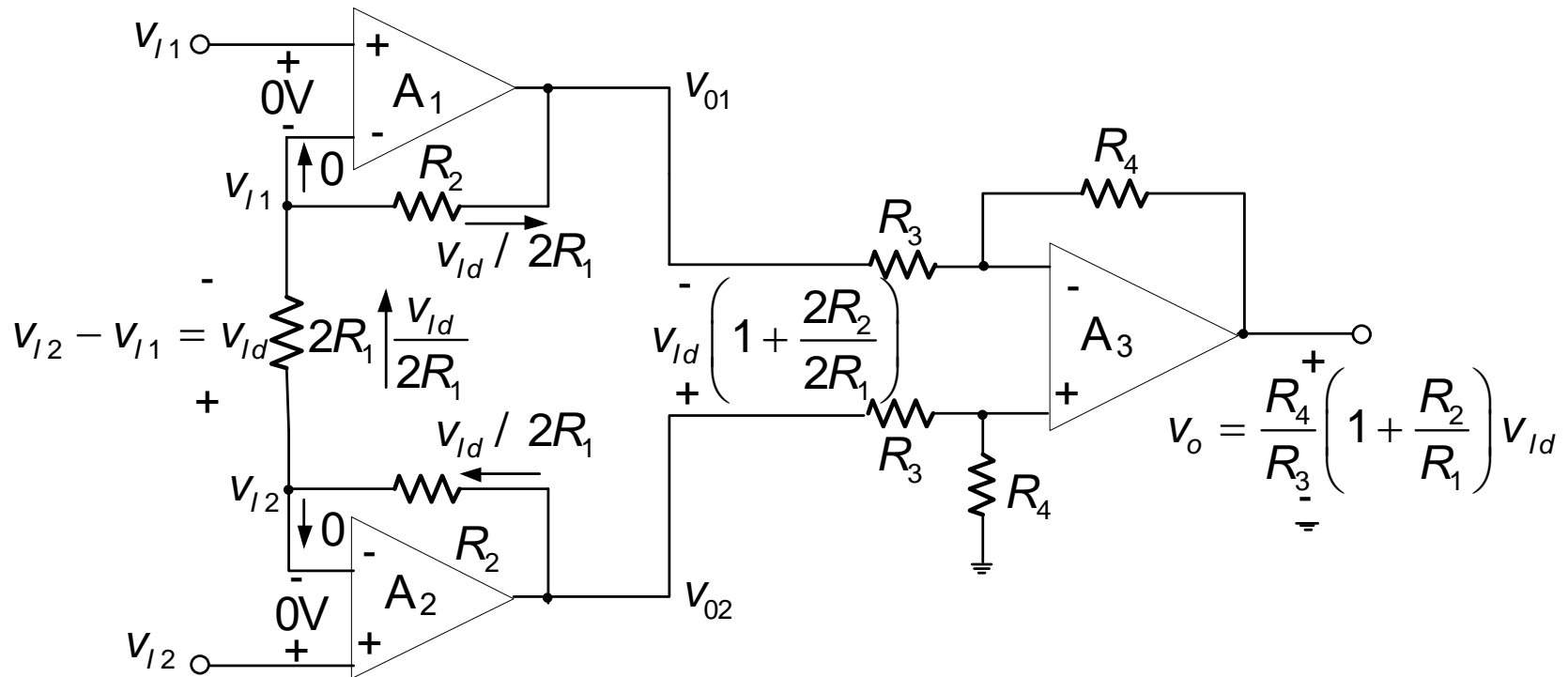
- Điện trở lối vào rất lớn, là điện trở lối vào của mạch khuếch đại thuật toán ở chế độ vòng mở
- Hai tín hiệu lối vào đối xứng (do sử dụng hai khuếch đại thuật toán A1 và A2 giống nhau)

Nhược điểm

- Tín hiệu lối vào **đồng pha v_{lcm} được khuếch đại** giống như tín hiệu lối vào vi sai v_{ld}
- Hai khuếch đại thuật toán đầu vào phải **giống nhau** để tránh tạo ra các tín hiệu giả giữa lối vào
- Để điều chỉnh hệ số khuếch đại hai điện trở ký hiệu **R1 cần được thay đổi đồng bộ**. Đây là một kỹ thuật rất khó trong kỹ thuật điện tử.

2.6. Mạch khuếch đại công cụ

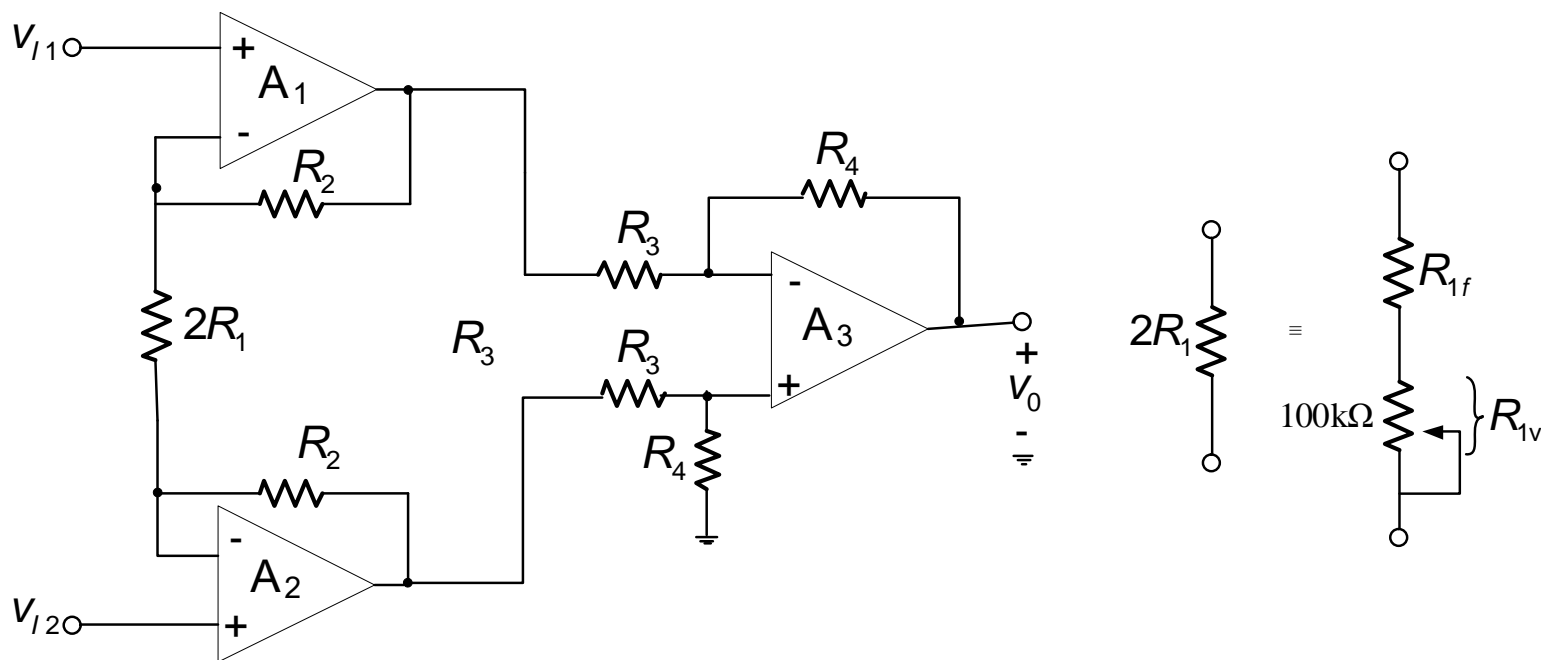
❑ Khắc phục các nhược điểm trên bằng mạch sau:



❑ Trong chế độ đồng pha, dòng qua R_1 và $R_2 = 0$, $v_{O1} = v_{O2} = v_{lcm}$, tầng 1 chỉ truyền tín hiệu vào tới lối ra chứ không khuếch đại.

2.6. Mạch khuếch đại công cụ

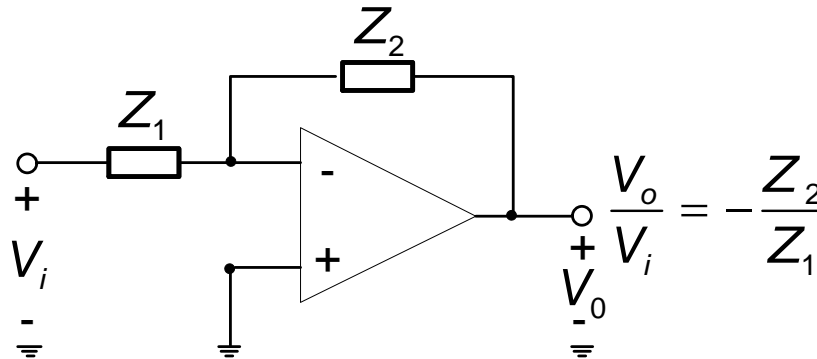
❑ Ví dụ 2.7: Thiết kế mạch khuếch đại thuật toán dựa vào mạch trên sao cho hệ số khuếch đại thay đổi từ 2 đến 1000 sử dụng biến trở 10 kΩ.



$$A_d = \frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

2.7. Mạch tích phân và vi phân

□ Sơ đồ mạch khuếch đại đảo với trở kháng tổng quát

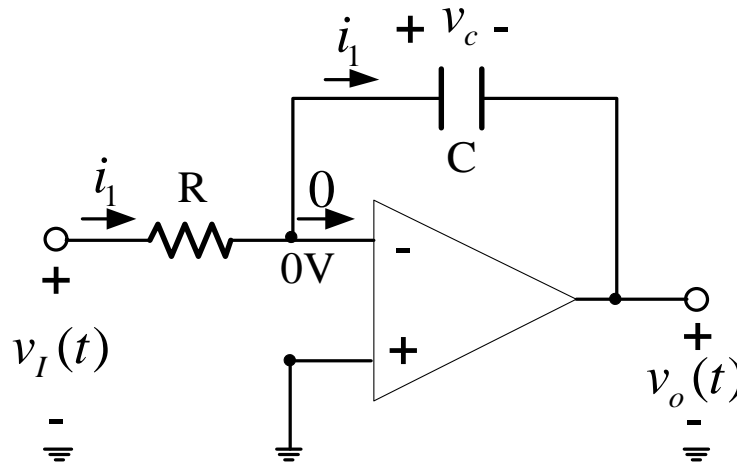


Hàm truyền của mạch:

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = -\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)}$$

2.7. Mạch tích phân và vi phân

❑ Mạch tích phân Miller



$$v_o(t) = -\frac{1}{CR} \int_0^t v_I(t) dt - V_C$$

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{1}{sCR}$$

Hàm truyền với tần số:

$$\frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)} = -\frac{1}{j\omega CR}$$

2.7. Mạch tích phân và vi phân

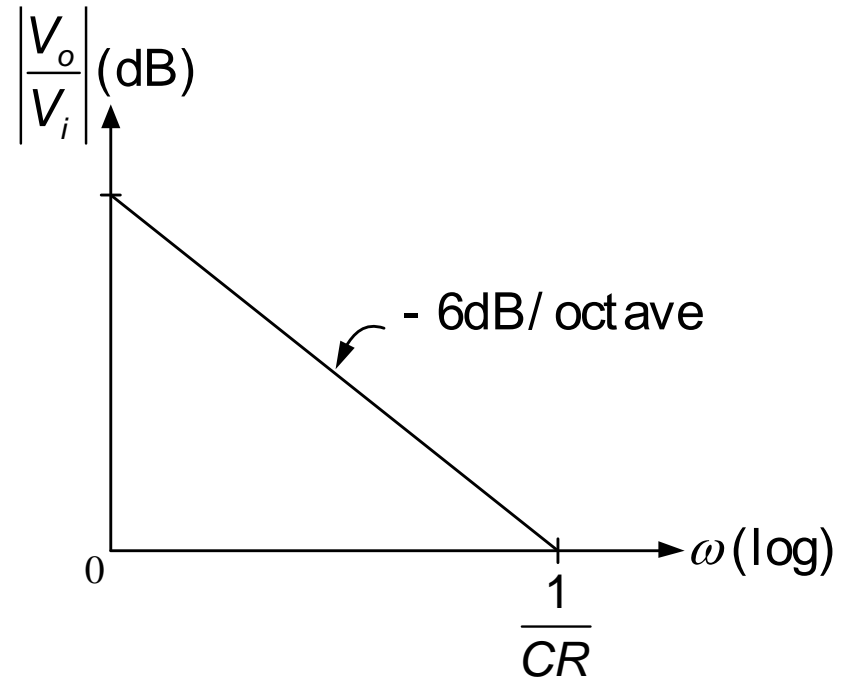
Đáp ứng tần số:

Biên độ $\left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{1}{\omega CR}$

Pha $\phi = +90^\circ$

Tần số tích phân

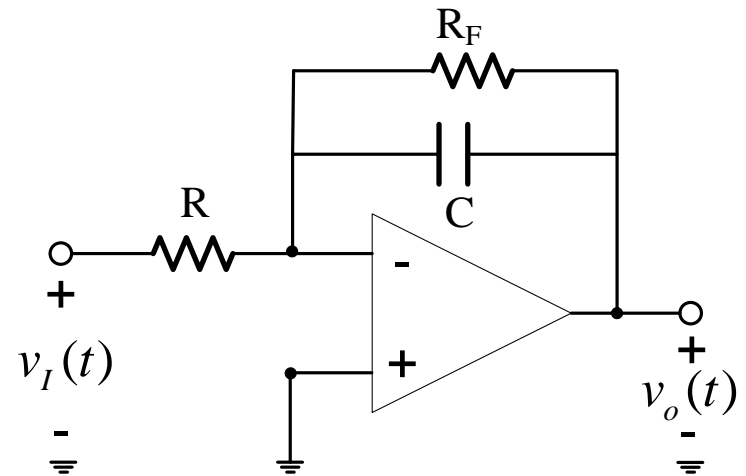
$$\omega_{\text{int}} = \frac{1}{CR}$$



2.7. Mạch tích phân và vi phân

❑ Mạch tích phân Miller với điện trở R_F

- Hệ số khuếch đại của mạch tích phân đảo tỉ lệ nghịch với tần số ω . Do đó, hệ số khuếch đại của mạch tích phân bằng vô cùng tại tần số bằng không (tín hiệu dc).
- Một điện trở R_F được nối song song với tụ điện để cấp một phản hồi âm. Khi đó, hệ số khuếch đại tại dc có giá trị hữu hạn.



$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = -\frac{R_F / R}{1 + sCR_F}$$

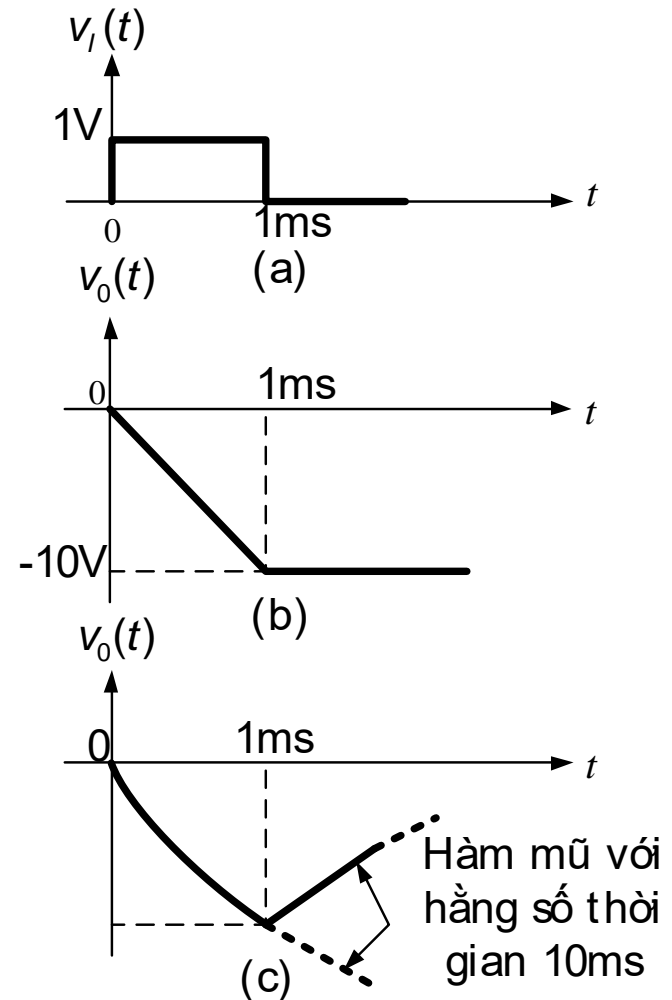
2.7. Mạch tích phân và vi phân

❑ Ví dụ 2.8: Xác định tín hiệu lỗi ra của mạch khuếch đại tích phân Miller khi nhận tín hiệu lỗi vào như sau. Biết rằng $R = 10 \text{ k}\Omega$, $C = 10 \text{ nF}$. Tụ điện tích phân được nối song song với một điện trở $1 \text{ M}\Omega$. Khuếch đại thuật toán được nuôi bằng nguồn $\pm 13 \text{ V}$.

$$v_o(t) = -\frac{1}{CR} \int_0^t 1 dt = -10t, \quad 0 \leq t \leq 1 \text{ ms}$$

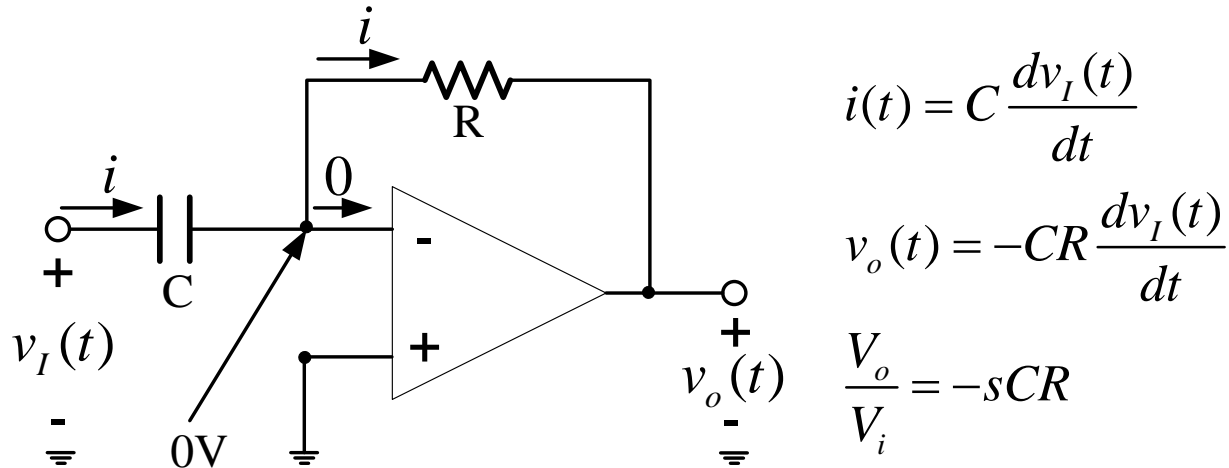
$$v_o(t) = -100(1 - e^{-t/10}) \quad 0 \leq t \leq 1 \text{ ms}$$

$$v_o(1 \text{ ms}) = -9.5 \text{ V}$$



2.7. Mạch đại tích phân và vi phân

❑ Mạch vi phân



Hàm truyền với tần số:

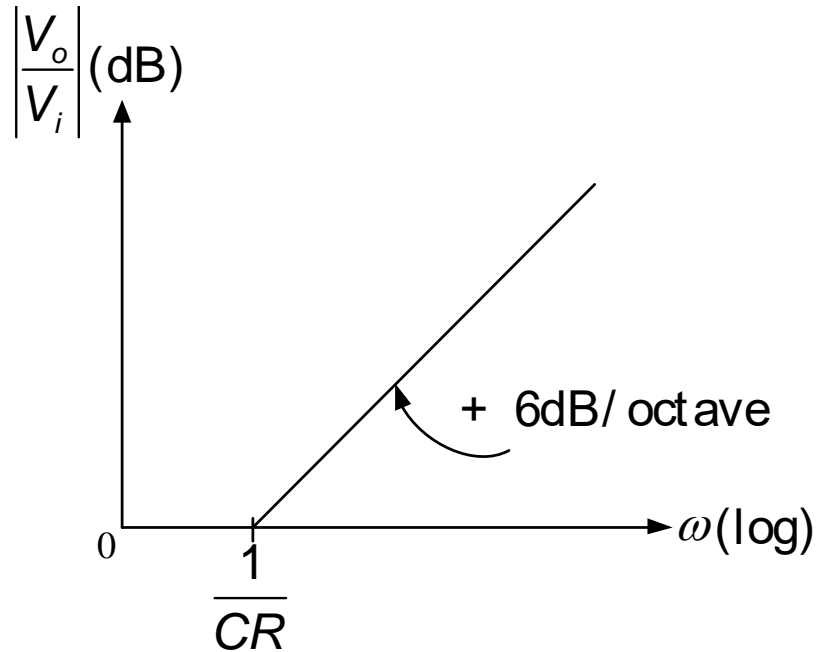
$$\frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)} = -j\omega CR$$

2.7. Mạch đại tích phân và vi phân

- Đáp ứng biên độ và pha:

$$\left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \omega CR$$

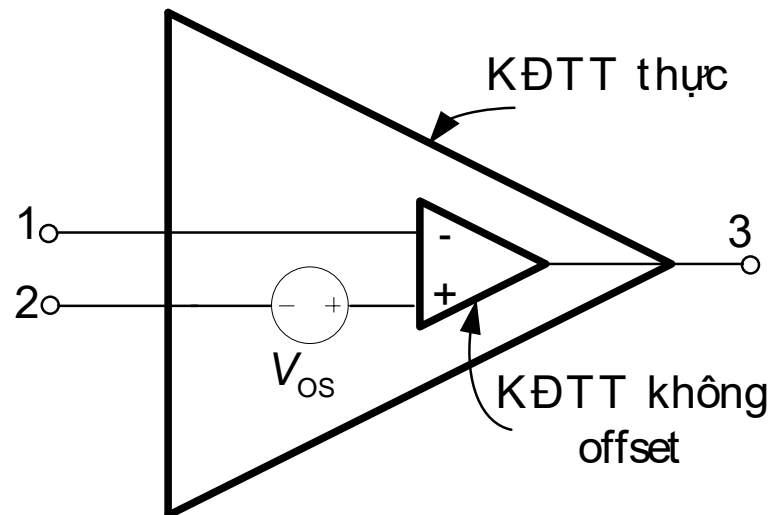
$$\phi = -90^\circ$$



2.8. Tác động xấu về dc

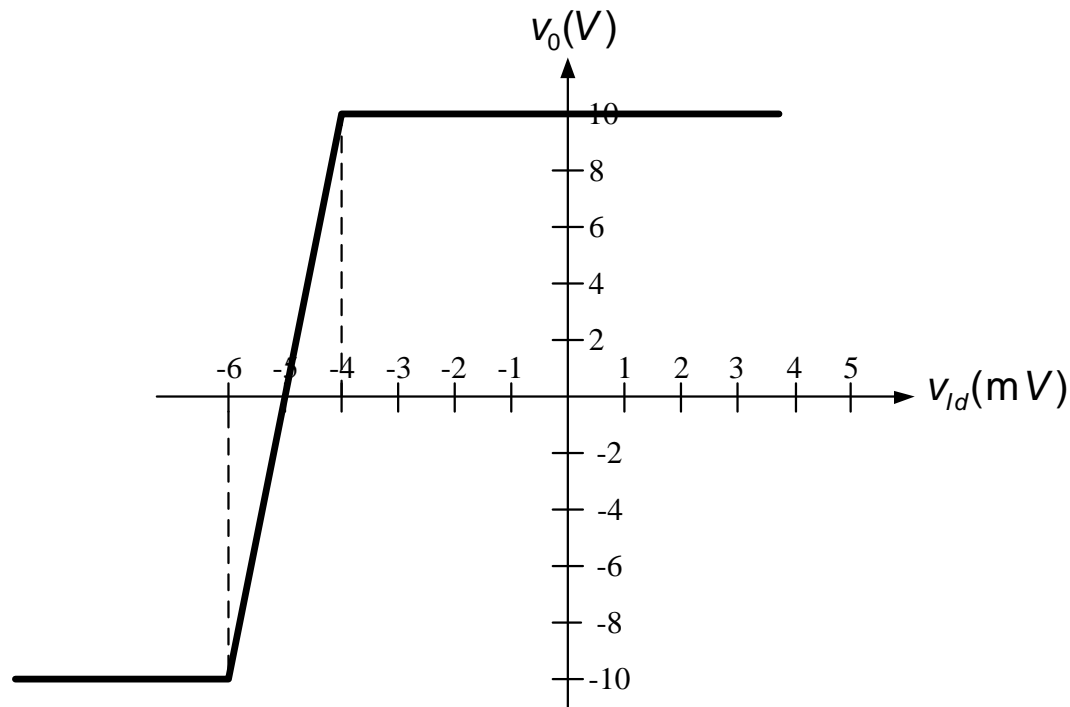
❑ Điện áp offset

- Khi hai tín hiệu vào bằng nhau mà vẫn tồn tại một điện áp dc khác không tại lối ra của bộ khuếch đại thuật toán
- Điện áp dc được gọi là thế offset V_{os}
- V_{os} dao động trong khoảng 1 mV đến 5 mV



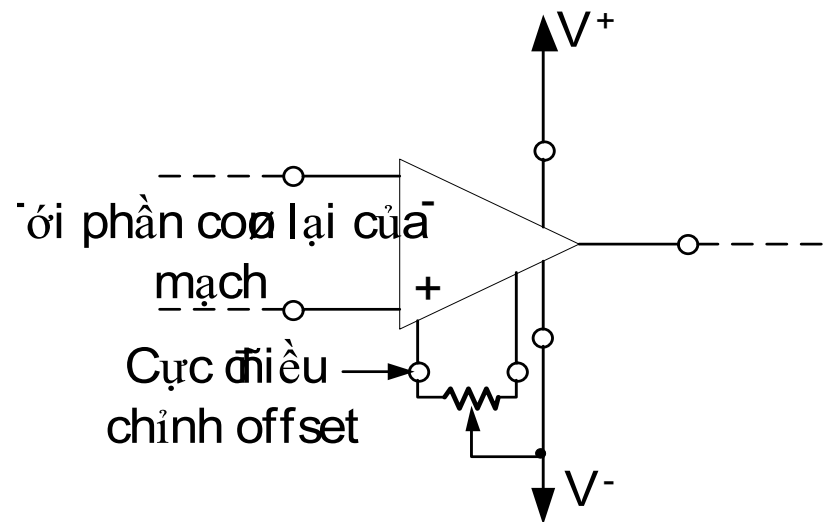
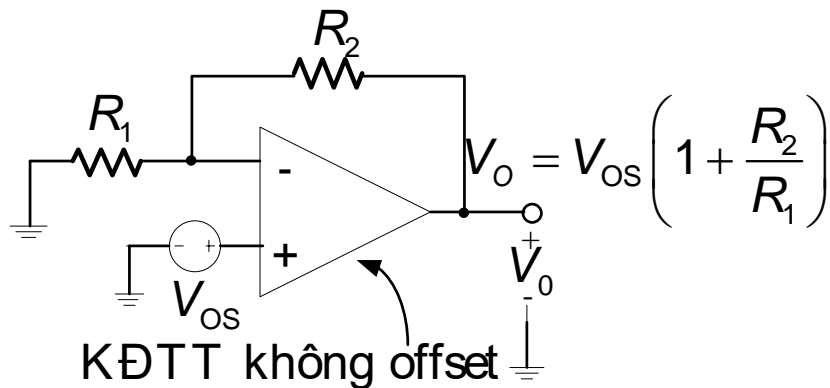
2.8. Tác động xấu về dc

❑ Ví dụ 2.9: Vẽ hàm truyền của khuếch đại thuật toán với hệ số khuếch đại $A_0 = 10^4$ V/V. Lỗi ra của khuếch đại thuật toán bão hoà tại điện áp ± 10 V, điện áp offset vào là +5 mV.



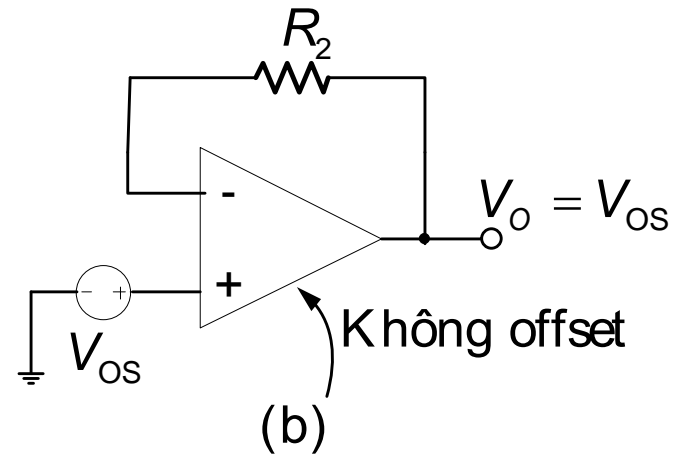
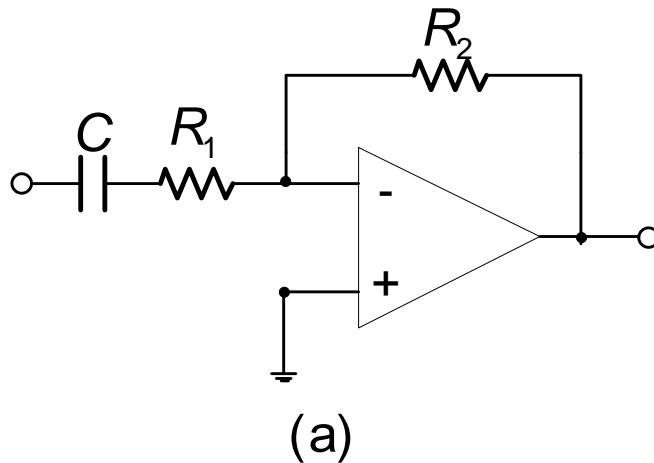
2.8. Tác động xấu về dc

❑ Ảnh hưởng của V_{os} lên hoạt động của khuếch đại thuật toán và sử dụng biến trở để bù thế offset.



2.8. Tác động xấu về dc

❑ Sử dụng tụ điện để loại bỏ thế offset



(a) Mạch khuếch đại đảo ghép điện dung.

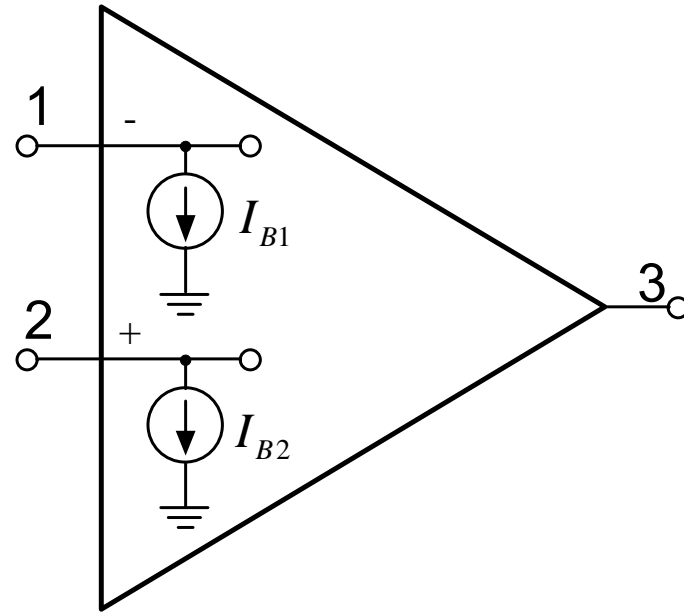
(b) Mạch tương đương để xác định điện áp offset lỗi ra

2.8. Tác động xấu về dc

❑ Dòng định thiên và dòng offset lỗi vào

$$I_B = \frac{I_{B1} + I_{B2}}{2}$$

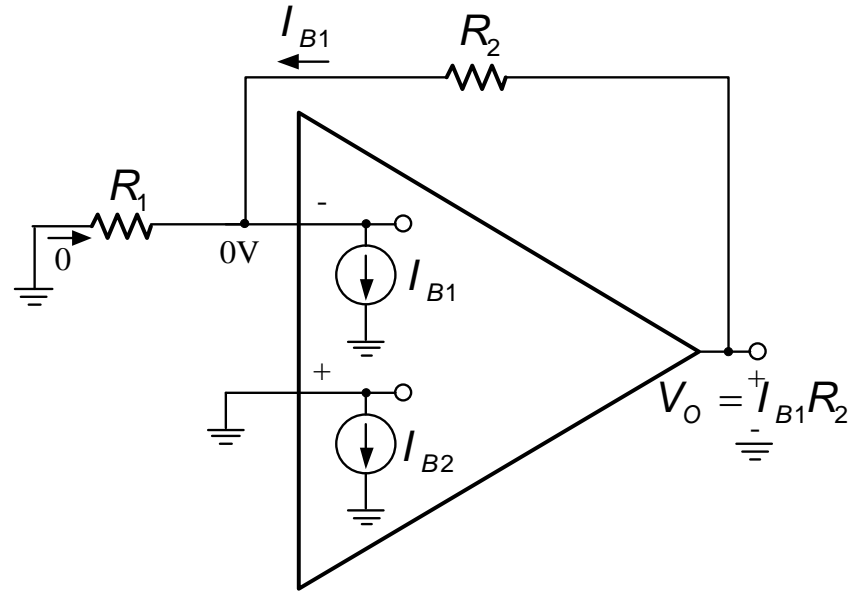
$$I_{OS} = |I_{B1} - I_{B2}|$$



2.8. Tác động xấu về dc

❑ Ảnh hưởng của dòng định thiên lên khuếch đại thuật toán

$$V_o = I_{B1} R_2 \approx I_B R_2$$



2.8. Tác động xấu về dc

❑ Ảnh hưởng của dòng định thiên lên khuếch đại thuật toán

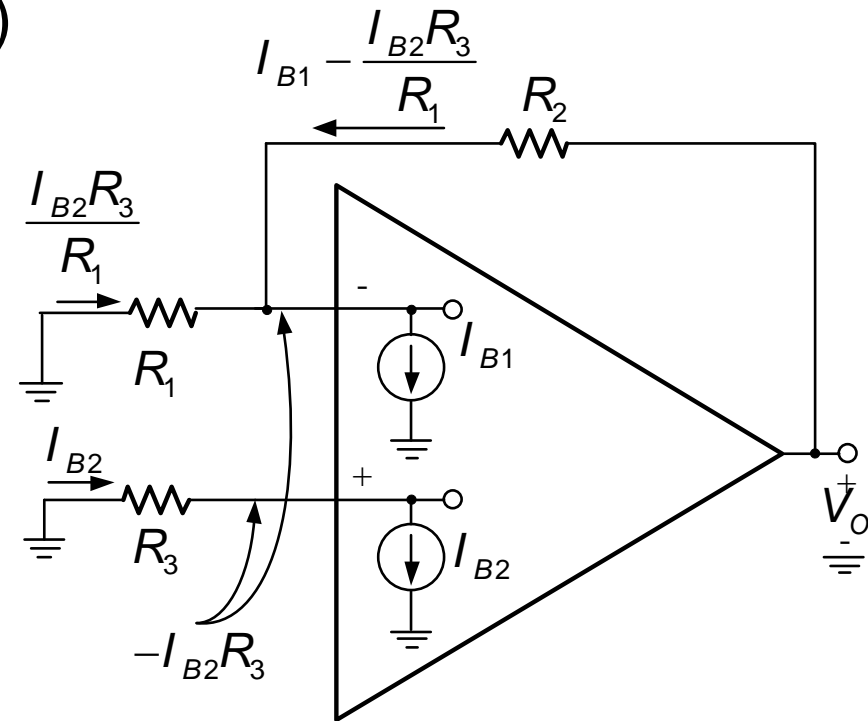
$$V_o = -I_{B2}R_3 + R_2(I_{B1} - I_{B2}R_3 / R_1)$$

Chọn $I_{B1} = I_{B2} = I_B$ thì:

$$V_o = I_B [R_2 - R_3(1 + R_2 / R_1)]$$

Chọn $R_3 = R_1 // R_2$ thì:

$$V_o = 0$$



2.8. Tác động xấu về dc

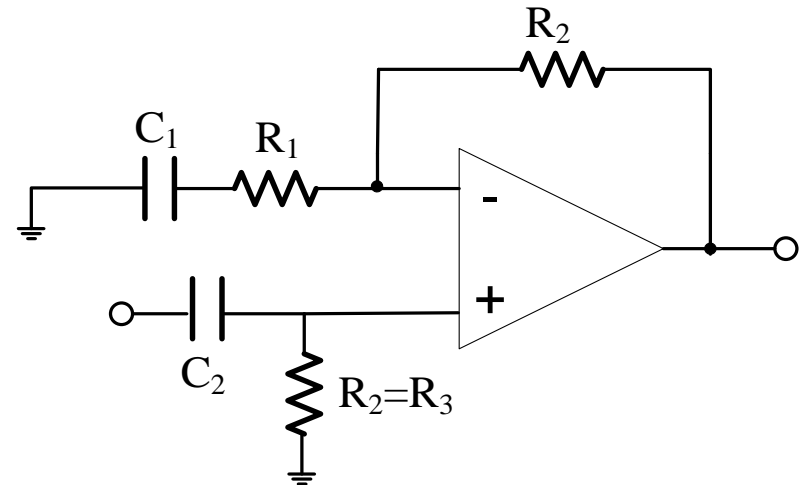
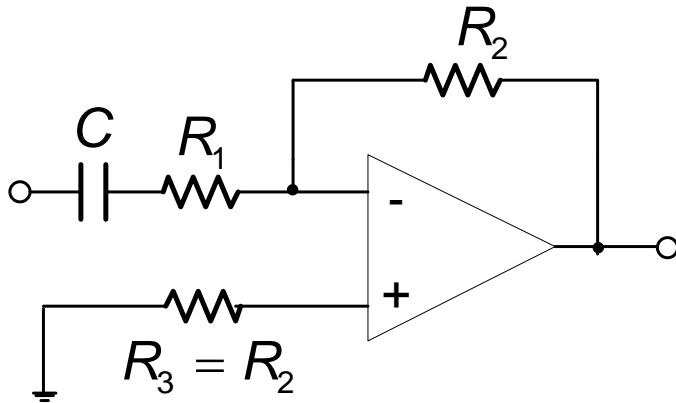
- ❑ Ảnh hưởng của dòng offset lên khuếch đại thuật toán

Chọn $R_3 = R_1 // R_2$ và đặt $I_{B1} = I_B + I_{OS}/2$, $I_{B2} = I_B - I_{OS}/2$ thì:

$$V_0 = I_{OS}R_2$$

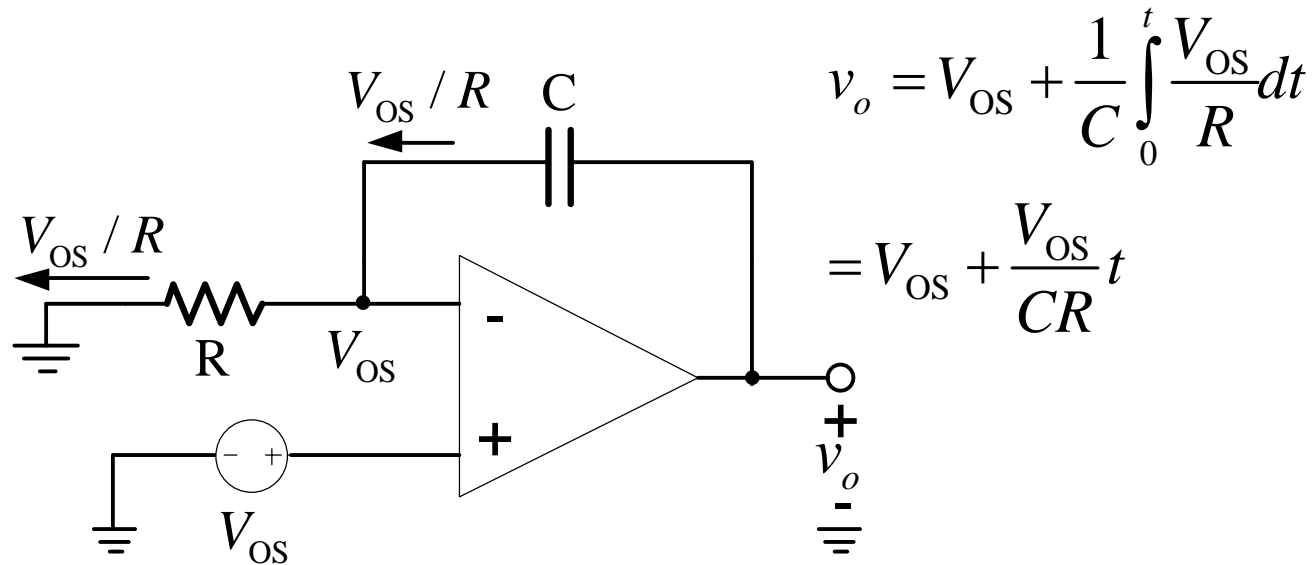
2.8. Tác động xấu về dc

❑ Loại bỏ ảnh hưởng của dòng định thiên lên khuếch đại thuật toán bằng cách ghép điện dung.



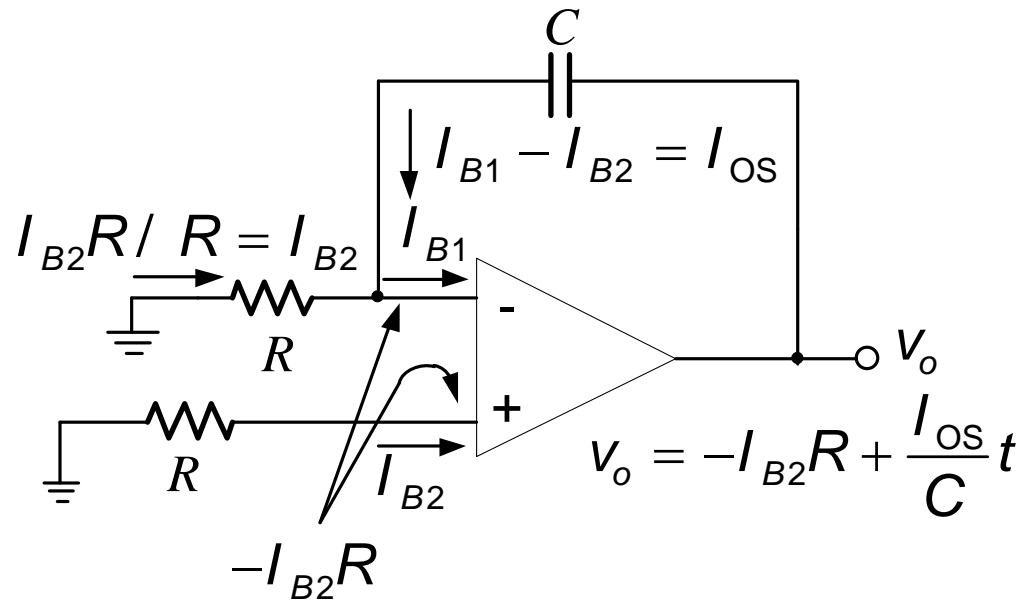
2.8. Tác động xấu về dc

❑ Ảnh hưởng của điện áp offset lên mạch tích phân đảo dùng khuếch đại thuật toán



2.8. Tác động xấu về dc

❑ Ảnh hưởng của dòng định thiên và dòng offset lên hoạt động của mạch tích phân đảo dùng khuếch đại thuật toán



2.9. Ảnh hưởng của A_o hữu hạn và dải thông

❑ Sự phụ thuộc của A_o vào tần số của mạch khuếch đại có bù trong

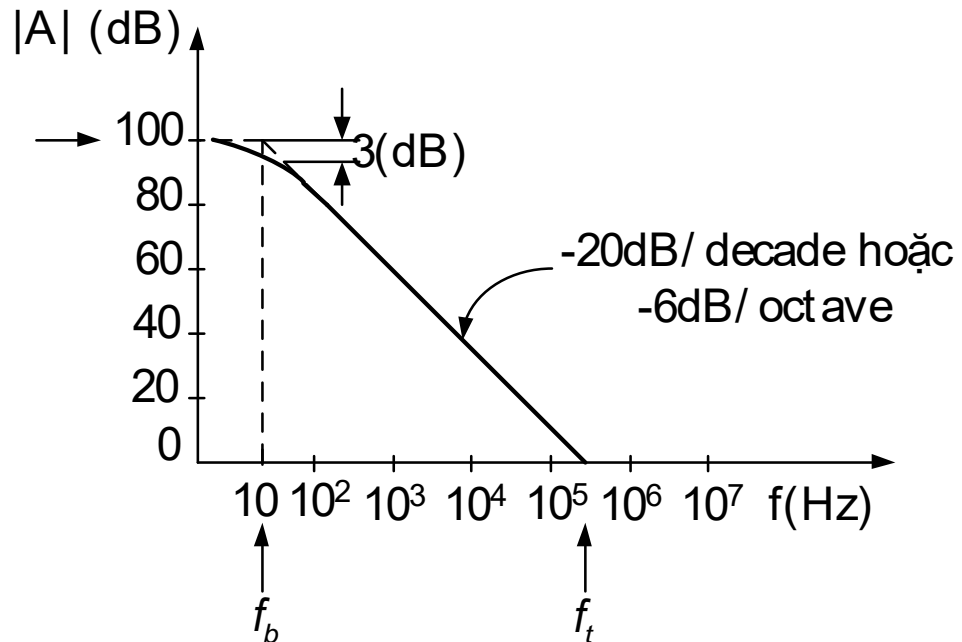
$$A(s) = \frac{A_o}{1 + s / \omega_b}$$

$$A(j\omega) = \frac{A_o}{1 + j\omega / \omega_b}$$

Với $\omega \gg \omega_b$

$$|A(j\omega)| = \frac{A_o \omega_b}{\omega}$$

$$\omega = A_o \omega_b$$



A_o : hệ số khuếch đại dc, f_b : tần số 3dB, tần số góc hay tần số bẻ gãy
 f_t : tần số tại đó $A = 0$.

2.9. Ảnh hưởng của A_o hữu hạn và dải thông

❑ Đáp ứng tần số của mạch khuếch đại vòng đóng

- Cấu hình đảo:

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{-R_2 / R_1}{1 + \frac{1}{A_o} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + \frac{s}{\omega_t / (1 + R_2 / R_1)}}$$

Nếu $A_o \gg 1 + R_2 / R_1$ thì:

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} \approx \frac{-R_2 / R_1}{1 + \frac{s}{\omega_t / (1 + R_2 / R_1)}}$$

$$\omega_{3dB} = \frac{\omega_t}{1 + R_2 / R_1}$$

2.9. Ảnh hưởng của A_o hữu hạn và dải thông

- Cấu hình không đảo:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1 + R_2 / R_1}{1 + (1 + R_2 / R_1) / A}$$

Nếu $A_o \gg 1 + R_2 / R_1$ thì:

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} \approx \frac{1 + R_2 / R_1}{1 + \frac{s}{\omega_t / (1 + R_2 / R_1)}}$$

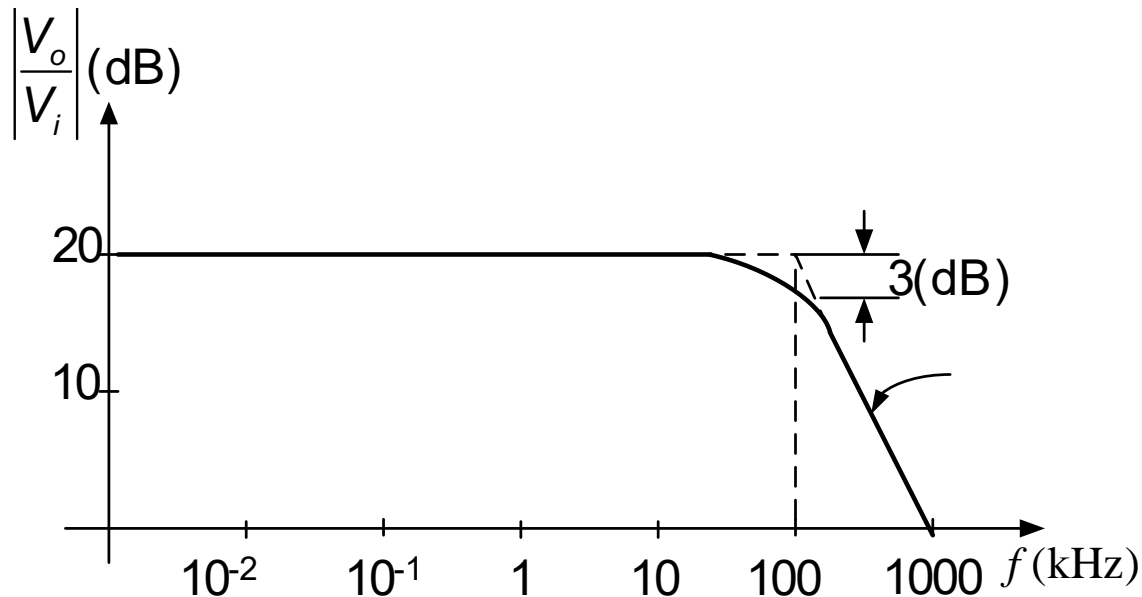
$$\omega_{3dB} = \frac{\omega_t}{1 + R_2 / R_1}$$

2.9. Ảnh hưởng của A_o hữu hạn và dải thông

□ Ví dụ 2.10: Xét mạch khuếch đại thuật toán với tần số $f_t = 1$ MHz. Tìm tần số 3 dB cho mạch vòng đóng với hệ số khuếch đại chuẩn hoá lần lượt là +1000, +100, +10, +1, -1, -10, -100, -1000. Vẽ đáp ứng tần số của mạch khi hệ số khuếch đại là +10 và -10.

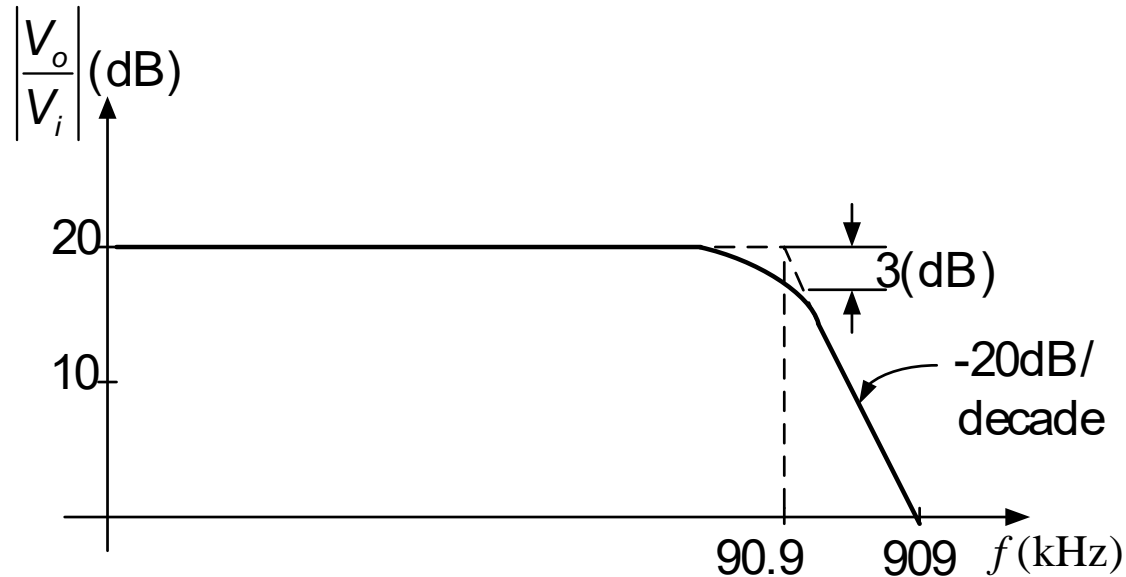
Hệ số khuếch đại vòng hở	R_2/R_1	$f_{3dB}=f_t/(1+R_2/R_1)$
+1000	999	1 kHz
+100	99	10 kHz
+10	9	100 kHz
+1	0	1 MHz
-1	1	0,5 MHz
-10	10	90,9 MHz
-100	100	9,9 MHz
-1000	1000	1 kHz

2.9. Ảnh hưởng của A_0 hữu hạn và dải thông



Đáp ứng tần số của bộ khuếch đại với hệ số khuếch đại
 10V/V

2.9. Ảnh hưởng của A_0 hữu hạn và dải thông



Đáp ứng tần số của bộ khuếch đại với hệ số khuếch đại -
10V/V

2.10. Hoạt động của KĐTT với tín hiệu lớn

- ❑ Sự bão hòa thế lối ra: khuếch đại thuật toán hoạt động tuyến tính trong một dải giới hạn của điện áp ra, ngoài mức này khuếch đại thuật toán sẽ hoạt động bão hòa
- ❑ Sự bão dòng lối ra: dòng lối ra của khuếch đại thuật toán bị giới hạn ở một giá trị cực đại. Dòng này bao gồm cả dòng phản hồi và dòng cấp tới tải.

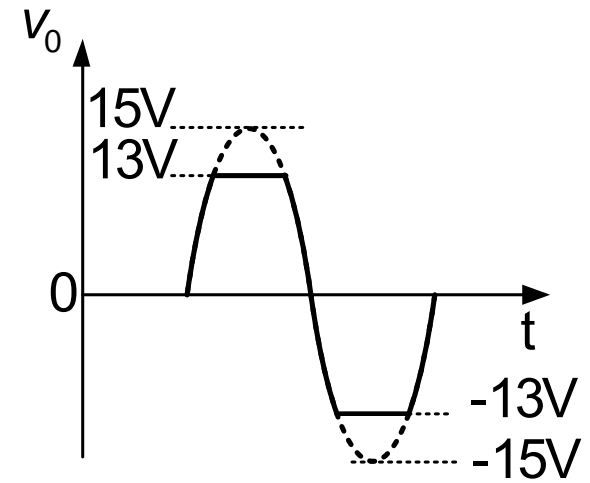
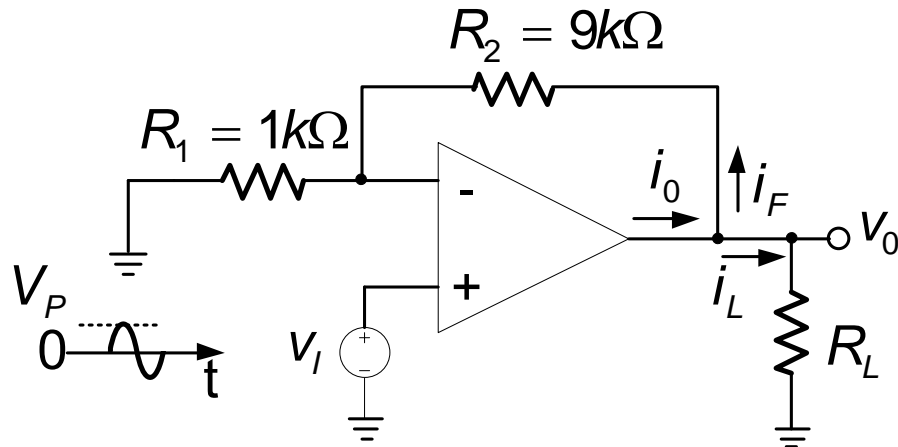
2.10. Hoạt động của KĐTT với tín hiệu lớn

□ Ví dụ 2.11:

Mạch điện sau được thiết kế với hệ số khuếch đại $(1+R_2/R_1) = 10$ V/V. Nó được nuôi bởi một tín hiệu sine với điện áp đỉnh V_p và điện trở tải R_L . KĐTT bão hoà ở điện áp 13 V và dòng ra giới hạn 20 mA.

- Với $V_p = 1$ V, $R_L = 1$ k Ω , xác định điện áp lỗi ra
- Với $V_p = 1,5$ V, $R_L = 1$ k Ω , xác định điện áp lỗi ra
- Với $R_L = 1$ k Ω , xác định giá trị V_p lớn nhất để tín hiệu lỗi ra không bị méo
- Với $V_p = 1$ V, xác định giá trị R_L nhỏ nhất để tín hiệu lỗi ra không bị méo

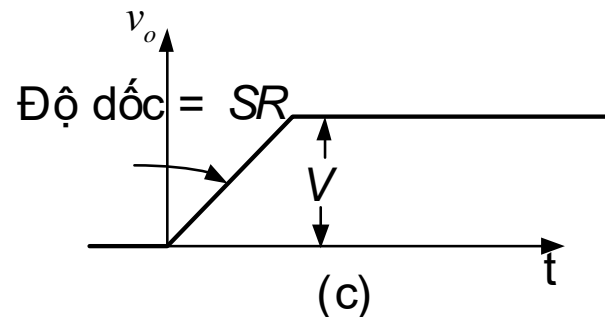
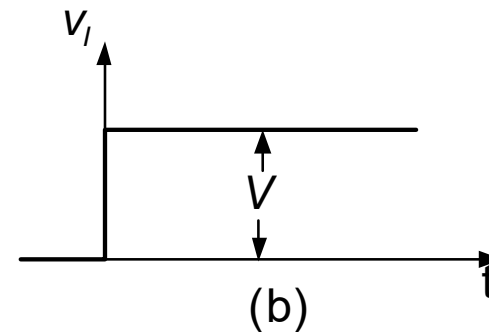
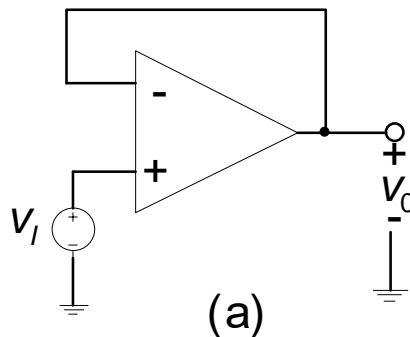
2.10. Hoạt động của KĐTT với tín hiệu lớn



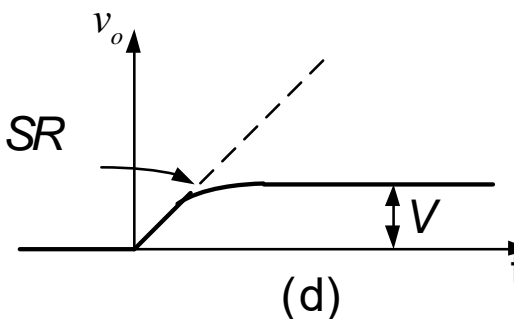
2.10. Hoạt động của KĐTT với tín hiệu lớn

❑ Độ dốc: là tốc độ thay đổi cực đại tại lối ra của khuếch đại thuật toán

$$SR = \left. \frac{dv_o}{dt} \right|_{\max}$$



$$\text{Độ dốc} = \omega_t V \leq SR$$



2.10. Hoạt động của KĐTT với tín hiệu lớn

□ Dải tần đầy đủ

$$v_i = \hat{V}_i \sin \omega t$$

$$\frac{dv_i}{dt} = \omega \hat{V}_i \cos \omega t$$

$$\omega_M V_{o\max} = SR$$

$$f_M = \frac{SR}{2\pi V_{o\max}}$$

