

LÝ THUYẾT MẠCH

CHƯƠNG 3: MẠCH KHUẾCH ĐẠI VÀ KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Biên soạn: Phạm Khánh Tùng

Bộ môn Kỹ thuật điện – Khoa Sư phạm kỹ thuật

Email: tungpk@hnue.edu.vn

Website: <http://www.hnue.edu.vn/directory/tungpk>

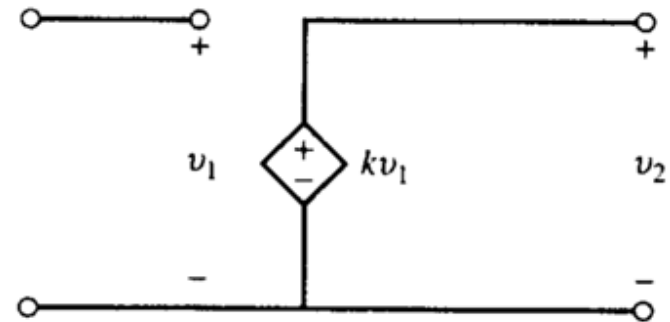
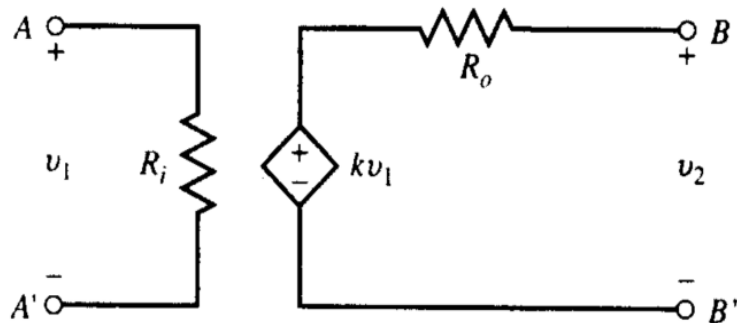
CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

1. MẠCH KHUẾCH ĐẠI

1.1. Khuếch đại tín hiệu

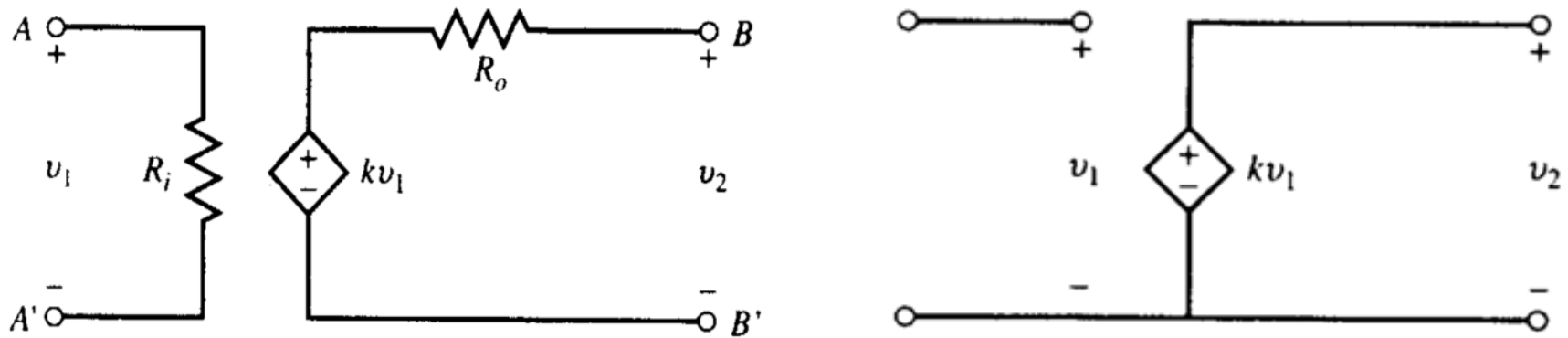
Mạch khuếch đại: Thiết bị biến đổi tín hiệu vào \rightarrow tín hiệu ra

Cấu trúc mạch: nguồn phụ thuộc, điều khiển bởi tín hiệu vào.



Các cực đầu vào và đầu ra của khuếch đại thường nối chung và tạo nên cực chung.

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN



Khi đầu ra để hở mạch ta có điện áp $v_2 = k.v_1$ trong đó k là hệ số khuếch đại.

Các điện trở R_i và R_o tương ứng là điện trở vào và ra của khuếch đại. Để hoạt động của khuếch đại tốt, các giá trị điện trở R_i cần phải cao và R_o cần phải thấp.

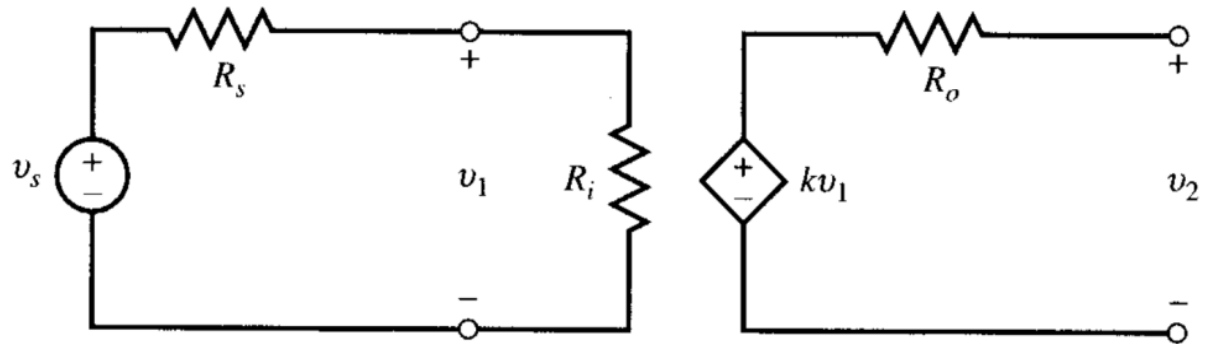
Khuếch đại lý tưởng có $R_i = \infty$ và $R_o = 0$.

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Một nguồn thử nghiệm v_s với điện trở trong R_s được kết nối với đầu vào của khuếch đại điện áp có điện trở vào R_i như trong hình.

Tìm tỉ số

$$v_2 / v_s$$



Điện áp vào v_1 được tính theo phân áp giữa R_i và R_s .

$$v_1 = \frac{R_i}{R_i + R_s} v_s$$

Tỉ số v_2 / v_s

Điện áp ra v_2 được tính

$$v_2 = k.v_1 = \frac{k.R_i}{R_i + R_s} v_s$$

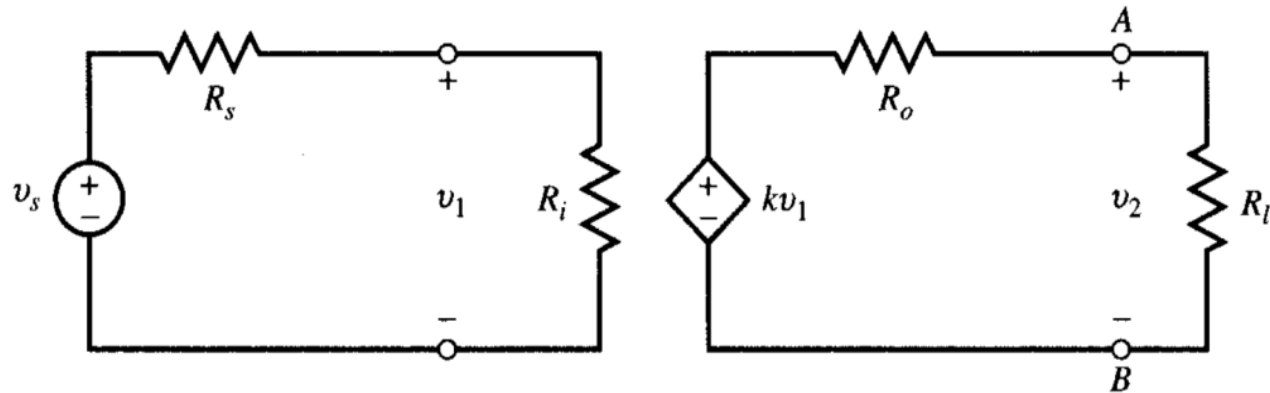
$$\frac{v_2}{v_s} = \frac{R_i}{R_i + R_s} k$$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Một nguồn v_s có điện trở trong R_s cấp nguồn cho tải RL qua một khuếch đại với điện trở vào, ra là R_i và R_o .

Tìm tỉ số

$$v_2 / v_s$$



Điện áp vào v_1 được tính theo phân áp giữa R_i và R_s .

$$v_1 = \frac{R_i}{R_i + R_s} v_s$$

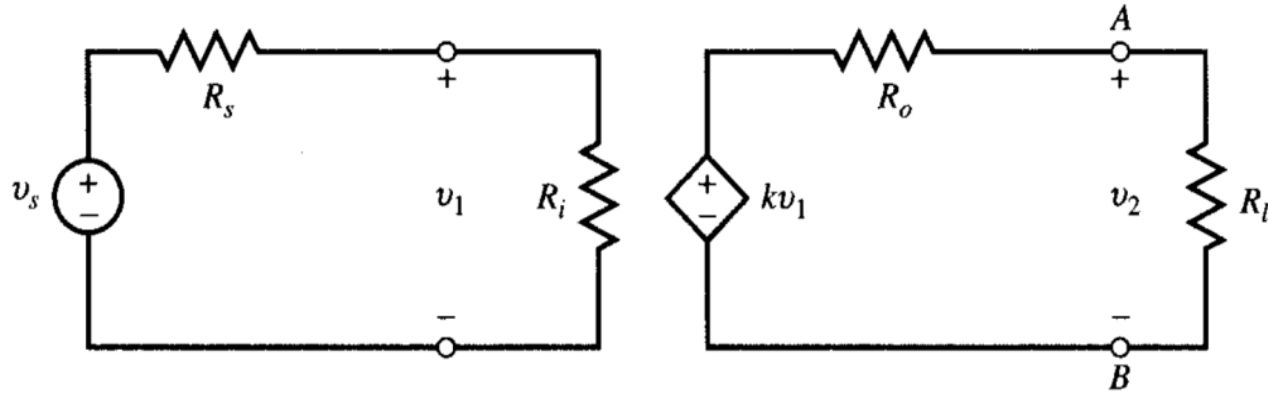
Điện áp ra v_2 được tính

$$v_2 = k.v_1 \frac{R_L}{R_L + R_o} = k \frac{R_i R_L}{(R_i + R_s)(R_L + R_o)} v_s$$

Tỉ số v_2 / v_s

$$\frac{v_2}{v_s} = k \frac{R_i}{R_i + R_s} \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN



Độ lợi (hệ số khuếch đại) tín hiệu giảm đi thêm một lượng $\frac{R_i}{R_i + R_s}$

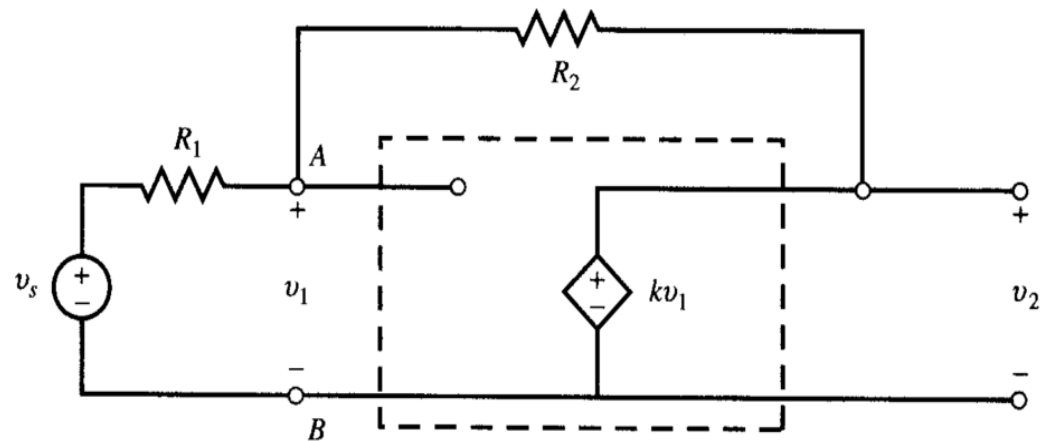
Như vậy, điện áp đầu ra phụ thuộc vào tải.

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

1.2. Sơ đồ khuếch đại hồi tiếp

Độ lợi tín hiệu có thể được kiểm soát thông qua hồi tiếp, bằng cách lấy một phần tín hiệu đầu ra truyền về cho đầu vào.

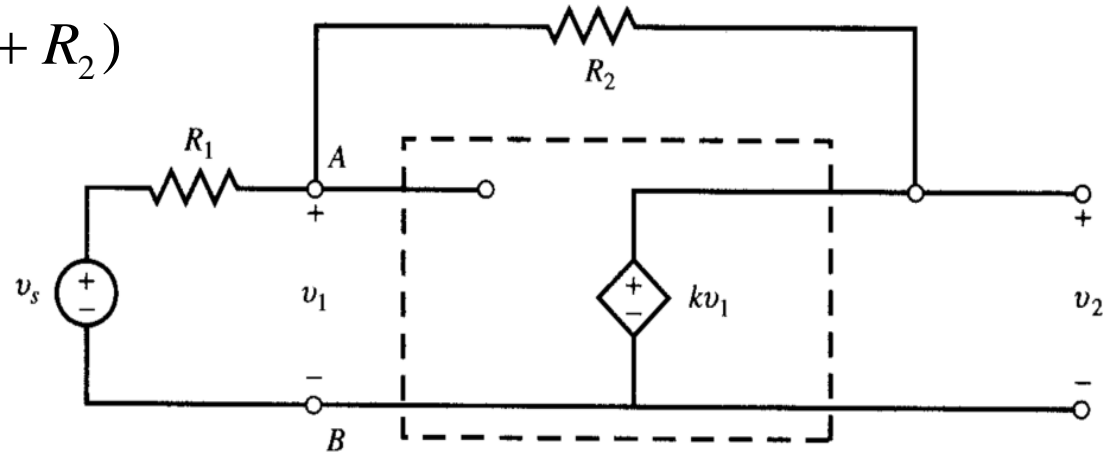
Trong mạch khuếch đại lý tưởng, thông qua điện trở R_2 thực hiện hồi tiếp.



Hệ số hồi tiếp $R_1 / (R_1 + R_2)$ ảnh hưởng đến độ lợi của khuếch đại và làm cho các bộ khuếch đại ít nhạy với sự thay đổi hệ số k .

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Ví dụ: Tìm hệ số khuếch đại trong mạch và biểu diễn nó dưới dạng hàm tỉ lệ của $b = R_1 / (R_1 + R_2)$



Từ mạch khuếch đại:

$$v_2 = k.v_1$$

$$\rightarrow v_1 = v_2 / k$$

Áp dụng định luật KCL cho nút A:

$$\frac{v_1 - v_s}{R_1} = \frac{v_1 - v_2}{R_2}$$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Thay $v_1 = v_2 / k$ vào biểu thức:

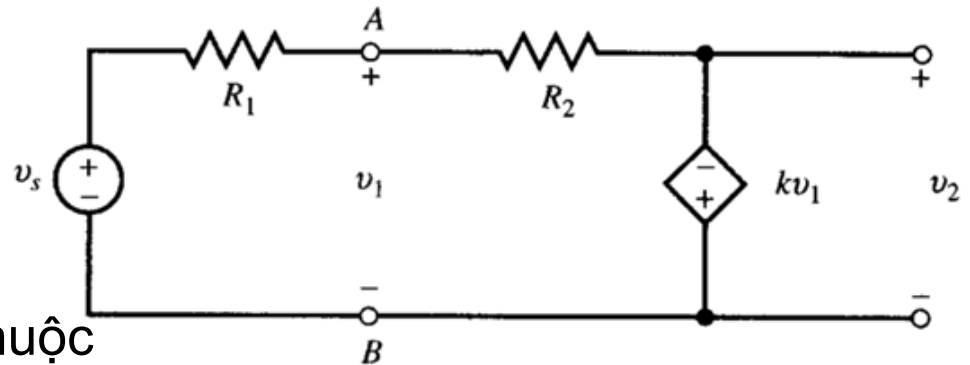
$$\frac{v_2 / k - v_s}{R_1} = \frac{v_2 / k - v_2}{R_2}$$

$$\frac{v_2}{v_s} = \frac{R_2 k}{R_2 + R_1 - R_1 k} = (1 - b) \frac{k}{1 - bk}$$

Trong đó: $b = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Ví dụ: Trong mạch điện các thông số, $R_1 = 1\text{k}\Omega$, và $R_2 = 5\text{k}\Omega$. (a) Tìm biểu thức hệ số khuếch đại là hàm của độ lợi k . (b) tính hệ số khuếch đại với $k = 100$ và 1000 , nhận xét về kết quả:



Do cực tính của nguồn phụ thuộc

thay đổi so với mạch ở ví dụ trước, nên sử dụng kết quả và thay $-k$.

$$\frac{v_2}{v_s} = (1 - b) \frac{-k}{1 + bk}$$

$$b = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{6}$$

$$\rightarrow \frac{v_2}{v_s} = \frac{-5k}{6 + k}$$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Với $k = 100$, $v_2/v_s = -4,72$; và $k = 1000$, $v_2/v_s = -4,97$.

Như vậy, với 10 lần tăng giá trị k , tỉ số v_2/v_s chỉ tăng 5,3%

$(4,97 - 4,72)/4,72 = 5,3\%$.

Với các giá trị rất lớn của k , tỉ số v_2/v_s tiến tới giá trị $-R_2/(R_1+R_2)$ không phụ thuộc vào k .

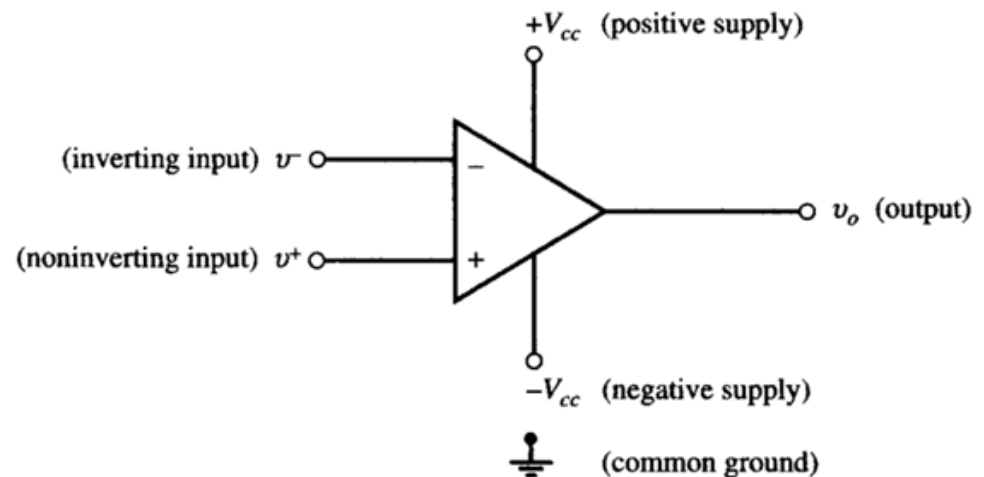
CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

2. KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

2.1. Khái niệm khuếch đại thuật toán

Khuếch đại thuật toán (Operational Amplifier – OA) là thiết bị có hai đầu vào được ký hiệu bằng các cực (+) và cực (–) hoặc tương ứng là cực không đảo và cực đảo. Thiết bị được cấp nguồn một chiều dương và âm ($+V_{cc}$ và $-V_{cc}$).

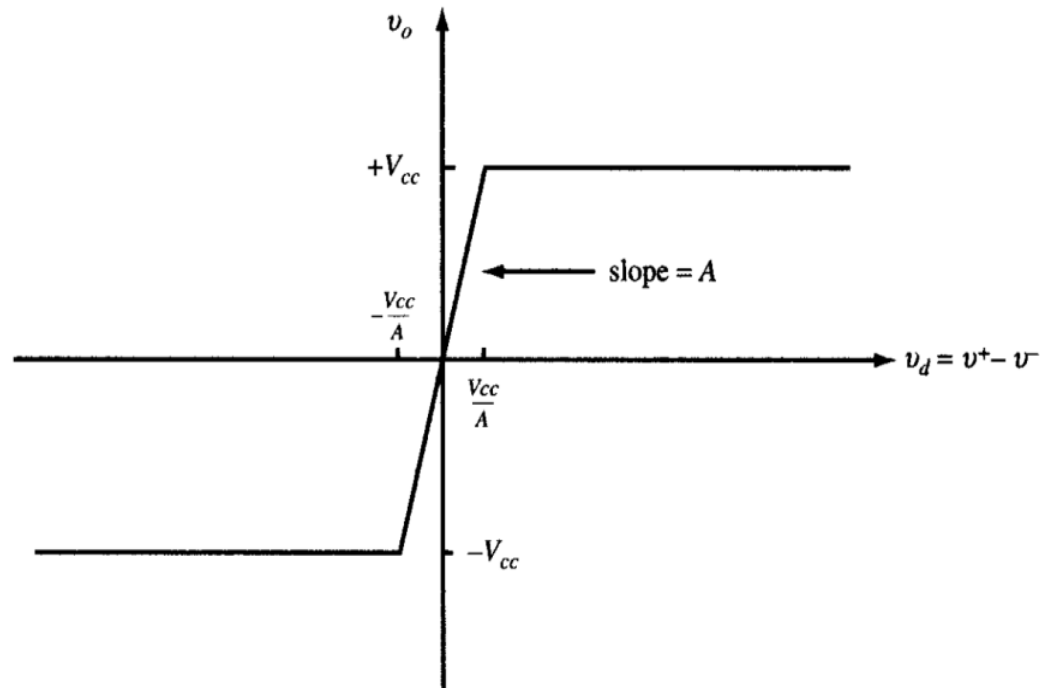
Cổng chung tham chiếu cực vào, cực ra, và cực cấp nguồn cho OA được gọi là đất.



CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Điện áp tín hiệu ra v_o phụ thuộc tín hiệu vào $v_d = v^+ - v^-$. Nếu bỏ qua các ảnh hưởng của điện dung, hàm truyền được mô tả trong hình. Phạm vi tuyến tính $v_o = A.v_d$ (A - hệ số khuếch đại hở, có giá trị rất cao).

Tín hiệu v_o bão hòa và đạt giá trị $+V_{cc}$ và $-V_{cc}$ khi tín hiệu vào v_d vượt quá phạm vi $|v_d| \geq V_{cc} / A$

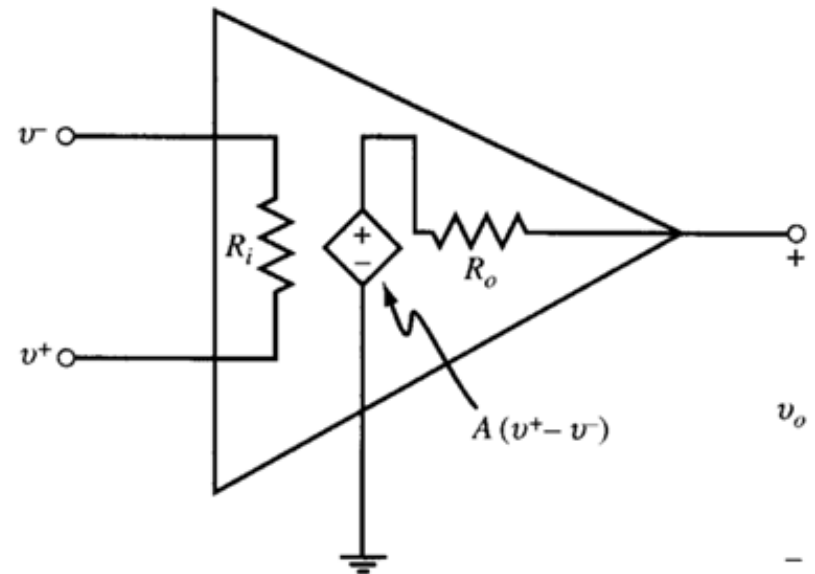


CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Cấu tạo của bộ khuếch đại thuật toán:

Trong phạm vi tuyến tính và để đơn giản ta lược bỏ nguồn cấp, thực tế, giá trị của R_i lớn, R_o nhỏ và hệ số khuếch đại A trong khoảng từ 10^5 đến vài triệu.

Sơ đồ trên hình hợp lệ nếu điện áp v_o trong phạm vi từ $+V_{cc}$ đến $-V_{cc}$ ($V_{cc} = 5 - 18 \text{ V}$).
Ví dụ: OA có $V_{cc} = 15\text{V}$, $A = 10^5$, $v^- = 0$. Tìm giá trị giới hạn của v^+ để OA trong chế độ tuyến tính.



$$|v_o| = |10^5 v^+| < 15\text{V} \quad \rightarrow |v^+| < 15 \cdot 10^{-5} = 150 \mu\text{V}$$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Ví dụ: OA có $V_{cc} = 5V$, $A = 10^5$, $v^- = 0$, $v^+ = 100\sin 2\omega t$ (μV). Tìm và vẽ điện áp v_o .

Điện áp vào của OA:

$$v_d = v^+ - v^- = (100\sin 2\pi.t)10^{-6}$$

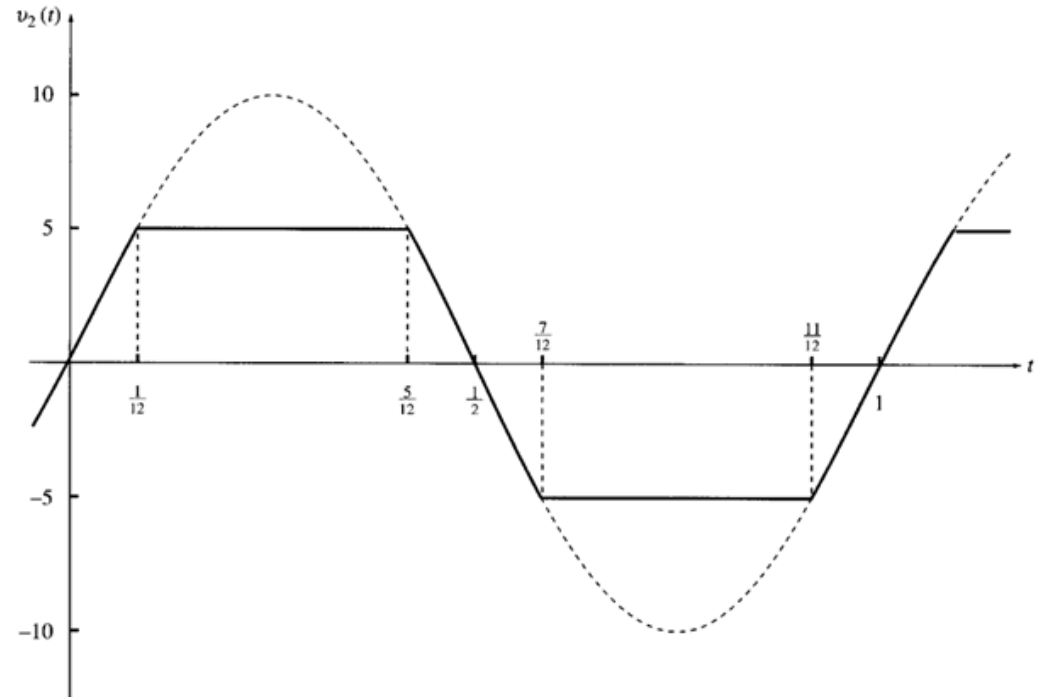
Khi OA làm việc ở chế độ tuyến tính:

$$v_o = 10^5 v_d = 10\sin 2\pi.t$$

Điện áp ra nằm trong phạm vi $+5V$ đến $-5V$, bão hòa bắt đầu khi $v_o = 10^5 v_d = 10\sin \omega t$ đạt giá trị $5V$ tại thời điểm $1/12$ s và kết thúc tại thời điểm $5/12$ s.

Hiện tượng tương tự cũng xảy ra với ngưỡng điện áp $-V_{cc}$: OA vào và ra khỏi trạng thái bão hòa tại các thời điểm $7/12$ và $11/12$ s.

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN



Điện áp ra v_o trong 1 chu kỳ (1 s) biến thiên như sau:

$$v_o = \begin{cases} +5 & 1/12 < t < 5/12 \\ -5 & 7/12 < t < 11/12 \\ 10 \sin 2\pi t & \text{giá trị khác } t \end{cases}$$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Ví dụ: OA có $V_{cc} = 5V$, $A = 10^5$, $v^- = 25 \mu V$, $v^+ = 100\sin 2\omega t$ (μV).

Tìm và vẽ điện áp v_o .

Điện áp vào của OA:

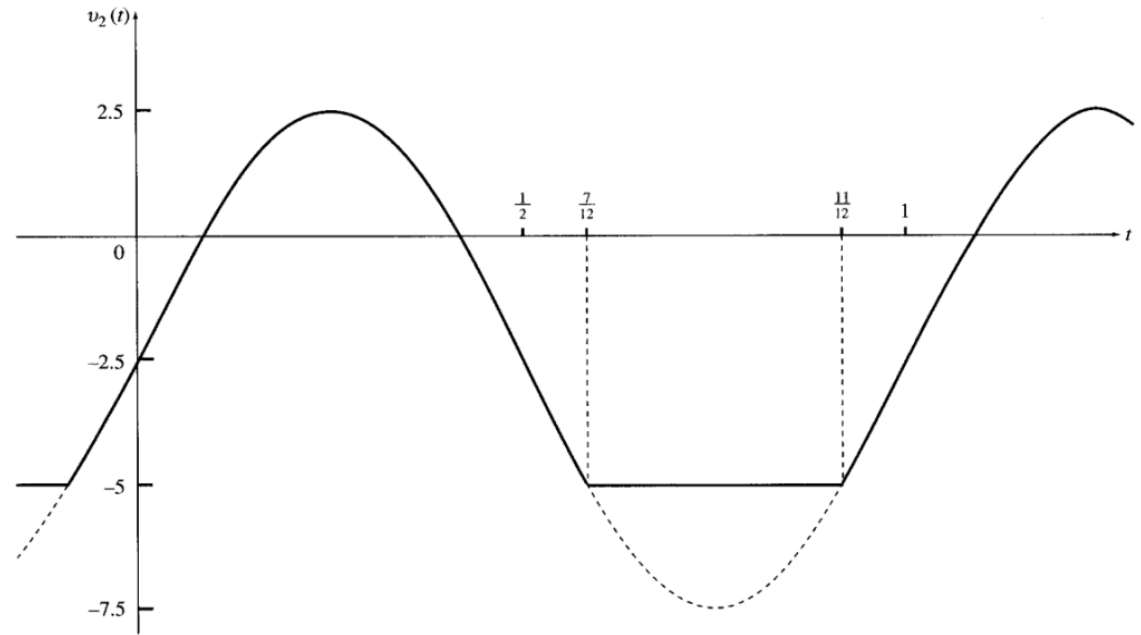
$$v_d = v^+ - v^- = 50.10^{-6} \sin 2\pi.t - 25.10^{-6} = 50(\sin 2\pi.t - 1/2)10^{-6}$$

Khi OA làm việc ở chế độ tuyến tính:

$$v_o = 10^5 v_d = 5(\sin 2\pi.t - 1/2)$$

Điện áp v_o bão hòa khi đạt mức $-5V$ tại thời điểm $t = 7/12$ và ra khỏi bão hòa khi $t = 11/12$.

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHÉCH ĐẠI THUẬT TOÁN

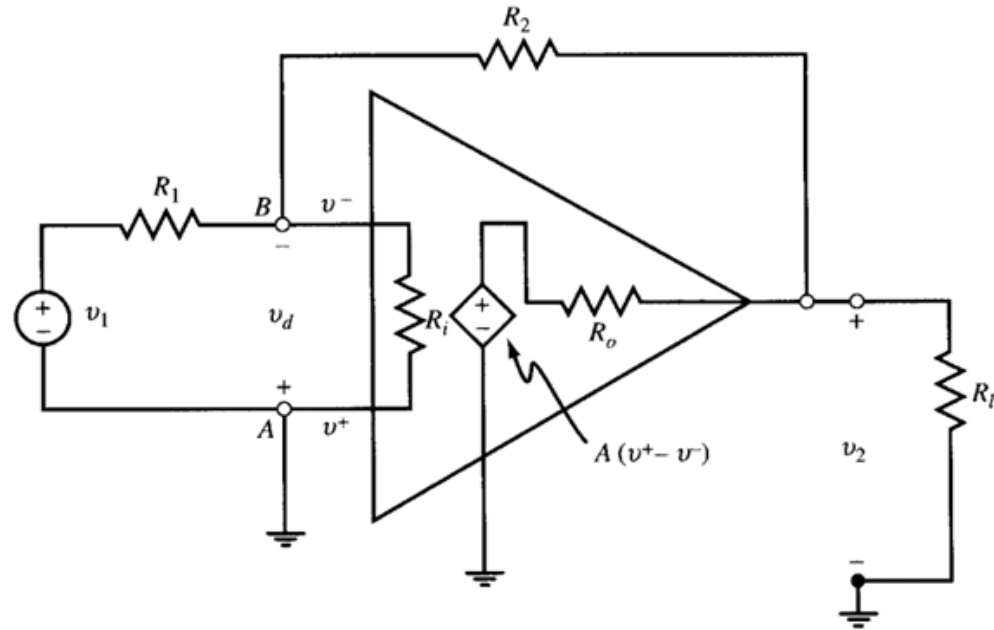


Điện áp ra v_o trong 1 chu kỳ (1 s) biến thiên như sau:

$$v_o = \begin{cases} -5 & 7/12 < t < 11/12 \\ 5 \sin 2\pi t & \text{elsewhere} \end{cases}$$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Ví dụ: Trong mạch OA, điện trở $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$, $R_i = 500 \text{ k}\Omega$, $R_o = 0$, $A = 10^5$.
Tìm tỉ số v_2/v_1 , giả thiết OA không bão hòa.



Tổng các dòng điện tại nút B bằng không, lưu ý $v_A = 0$ và $v_B = v_d$, ta có:

$$\frac{v_1 + v_d}{10} + \frac{v_d}{500} + \frac{v_2 + v_d}{50} = 0$$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Mạch OA có $R_o = 0$, do đó

$$v_2 = A.v_d = 10^5 v_d$$

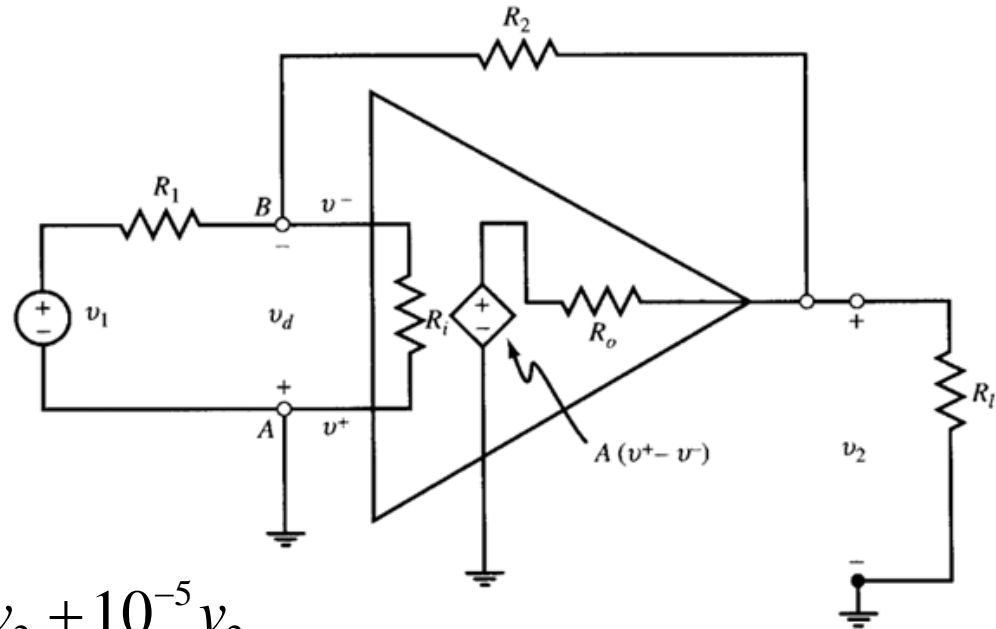
$$\rightarrow v_d = 10^{-5} v_2$$

Thay vào biểu thức KCL tại nút B:

$$\frac{v_1 + 10^{-5} v_2}{10} + \frac{10^{-5} v_2}{500} + \frac{v_2 + 10^{-5} v_2}{50} = 0$$

Từ đây ta tìm được tỉ số v_2/v_1 :

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{-5}{1 + 10^{-5} + 5 \cdot 10^{-5} + 0,1 \cdot 10^{-5}} = -5$$



CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

2.2. Mạch điện có khuếch đại thuật toán lý tưởng

Khuếch đại thuật toán (OA) lý tưởng có những đặc điểm sau:

- + Điện trở R_i và hệ số A hữu hạn và R_o bằng không.
- + Dòng điện tại các cổng đảo và không đảo của OA bằng không.
- + Nếu chế độ làm việc không bão hòa, hai đầu vào của OA có cùng điện áp.

Trong phần này chúng ta chỉ xét OA lý tưởng và ở chế độ không bão hòa, ngoại trừ các trường hợp đặc biệt có chỉ dẫn riêng.

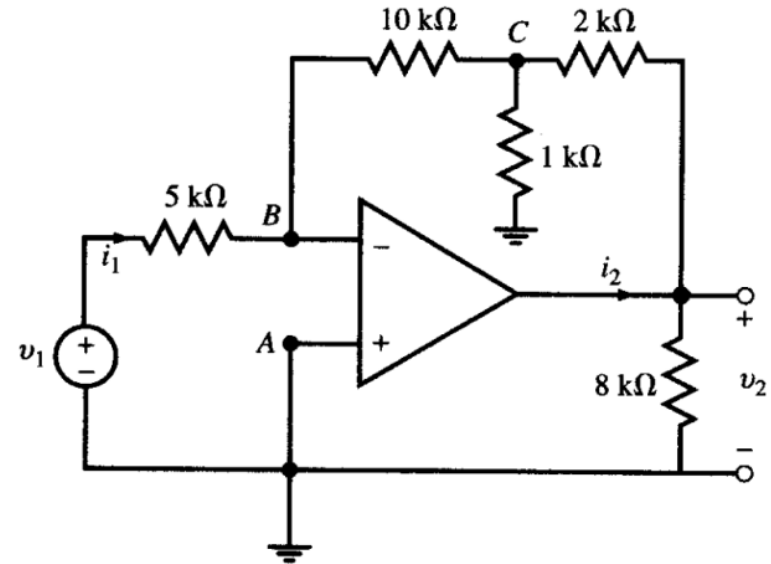
CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Ví dụ: Cho OA lý tưởng và không bão hòa. Hãy tính (a) v_2/v_1 ; (b) điện trở vào $R_{in} = v_1/i_1$; và (c) i_1 , i_2 , p_1 (công suất của nguồn v_1) và p_2 (công suất tiêu hao trong điện trở) với $v_1 = 0,5V$.

Giải

(a): Cổng không đảo A nối đất nên $v_A = 0$, do OA lý tưởng và không bão hòa $v_B = 0$. Áp dụng định luật Kirchhoff về dòng cho các nút B và C, lưu ý dòng điện đầu vào OA (giữa cực + và cực -) bằng không

Nút B:



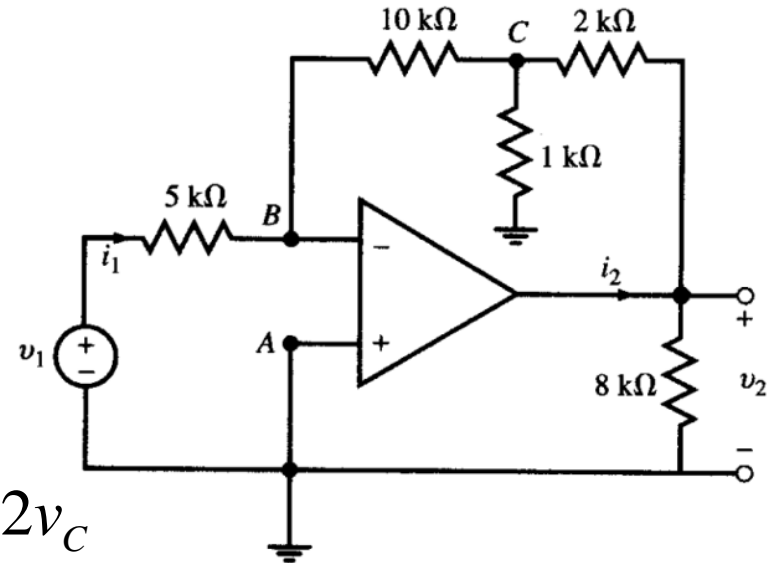
CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Nút B:

$$\frac{v_1}{5} + \frac{v_C}{10} = 0 \rightarrow v_C = -2v_1$$

Nút C:

$$\frac{v_C}{10} + \frac{v_C}{1} + \frac{v_C - v_2}{2} = 0 \rightarrow v_2 = 3,2v_C$$



Từ hai biểu thức trên:

$$v_2 = -2 \cdot 3,2v_1 = -6,4v_1 \rightarrow v_2 / v_1 = -6,4$$

(b): Với $v_B = 0 \rightarrow i_1 = v_1 / 5000$

Điện trở vào:

$$v_1 / i_1 = 5000$$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

(c): Với $v_1 = 5V$, dòng điện vào

$$i_1 = 5 / 5000 = 0,1mA$$

Áp dụng KCL tại nút đầu ra của OA:

$$i_2 = \frac{v_2}{8000} + \frac{v_2 - v_C}{2000}$$

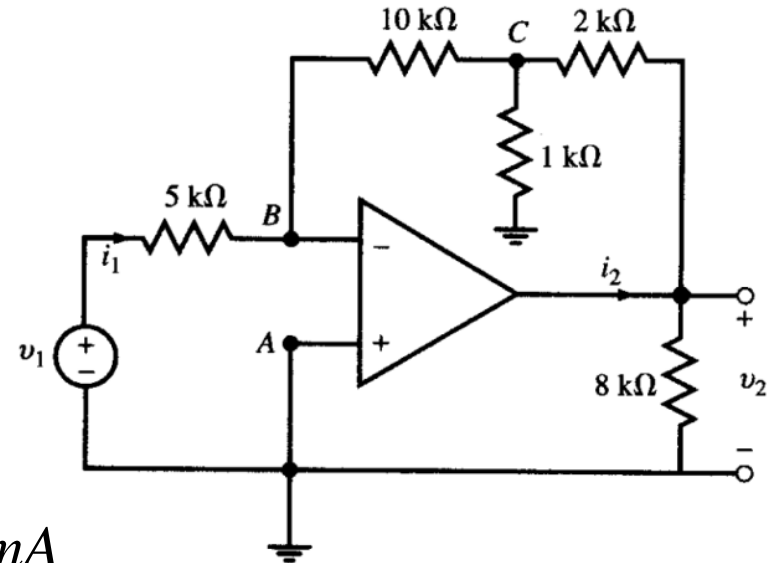
Với $v_C = -2v_1 = -1$

$$v_2 = 3,2v_C = -3,2$$

$$\rightarrow i_2 = 1,5mA$$

Công suất nguồn v_1 :

$$p_1 = v_1 i_1 = v_1^2 / 5000 = 50 \cdot 10^{-6} = 50 \mu W$$



CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Công suất trên các điện trở:

$$P_{1k\Omega} = v_C^2 / 1000 = 0,001 = 1000$$

$$P_{2k\Omega} = (v_2 - v_C)^2 / 2000 = 0,00242 = 2420$$

$$P_{5k\Omega} = v_1^2 / 5000 = 0,00005 = 50$$

$$P_{8k\Omega} = v_2^2 / 8000 = 0,00128 = 1280$$

$$P_{10k\Omega} = v_C^2 / 10000 = 0,0001 = 100$$

Tổng công suất trên các điện trở:

$$P_2 = P_{1k\Omega} + P_{2k\Omega} + P_{5k\Omega} + P_{8k\Omega} + P_{10k\Omega}$$

$$P_2 = 1000 + 2420 + 50 + 1280 + 100$$

$$P_2 = 4850 \mu W$$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

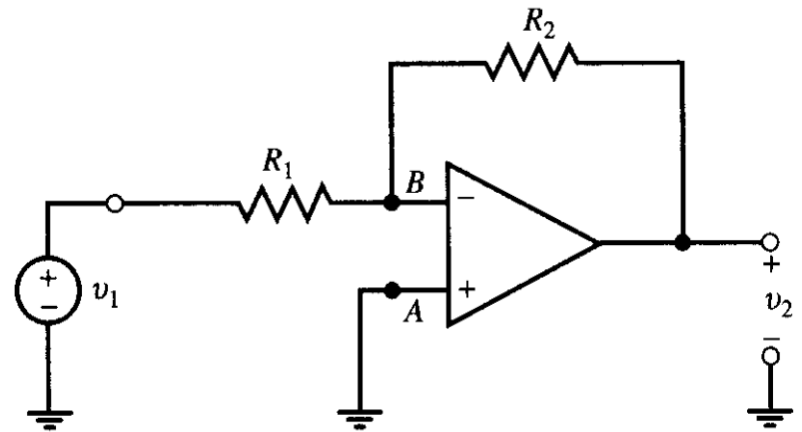
2.3. Mạch khuếch đại đảo

Tín hiệu vào qua điện trở R_1 nối trực tiếp với cổng đảo, tại cổng ra tín hiệu hồi tiếp thông qua điện trở R_2 về cổng đảo. Cổng không đảo được tiếp đất

Để tìm hệ số khuếch đại v_2/v_1 ,

áp dụng KCL tại nút B:

$$\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} = 0 \rightarrow \frac{v_2}{v_1} = -\frac{R_2}{R_1}$$



Hệ số khuếch đại có giá trị âm và chỉ phụ thuộc vào các giá trị điện trở R_1 và R_2 . Điện trở vào của mạch là R_1 .

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

2.4. Mạch khuếch đại không đảo

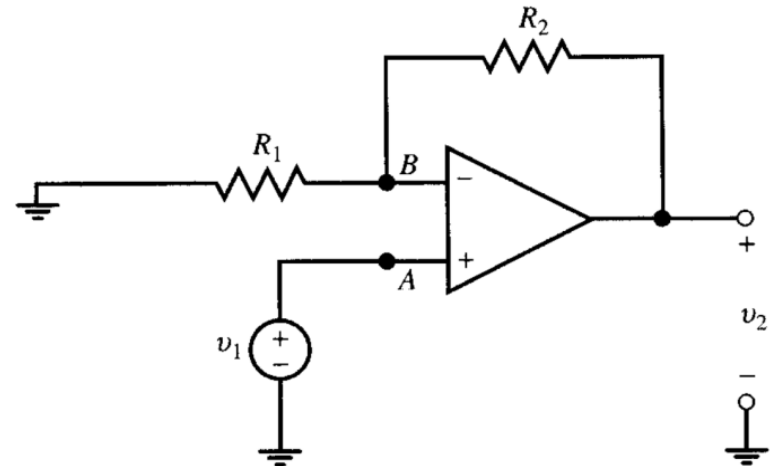
Tín hiệu vào kết nối với cổng không đảo của OA. Cổng đảo nối với đầu ra qua điện trở R_2 và tiếp đất qua điện trở R_1 .

Để tìm hệ số khuếch đại v_2/v_1 ,

Áp dụng KCL tại nút B (nút A và B có cùng điện thế v_1 và OA không có dòng điện):

$$\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_1 - v_2}{R_2} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{v_2}{v_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Hệ số khuếch đại v_2/v_1 dương và lớn hơn 1. Điện trở vào của mạch hữu hạn được xác định theo điều kiện dòng điện OA bằng không.



CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Ví dụ: Tìm hệ số khuếch đại v_2/v_1
cho sơ đồ mạch OA.

Giải

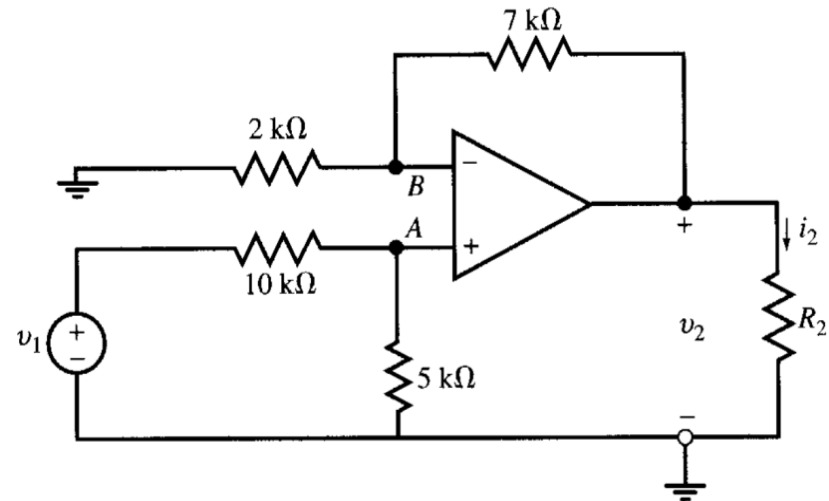
Điện thế v_A được xác định từ phân
áp v_1 trên điện trở $10\text{k}\Omega$ và $5\text{k}\Omega$:

$$v_A = \frac{5}{10+5} v_1 = \frac{1}{3} v_1$$

Từ biểu thức hệ số khuếch đại (KĐ không đảo):

$$v_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_A = \left(1 + \frac{7}{2}\right) v_A = \frac{9}{2} v_A = \frac{9}{2} \frac{1}{3} v_1 = 1,5 v_1$$

Hệ số khuếch đại : $v_2/v_1 = 1,5$



CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Cách 2:

Điện thế v_B được xác định từ phân áp v_2 trên điện trở $7\text{k}\Omega$ và $2\text{k}\Omega$:

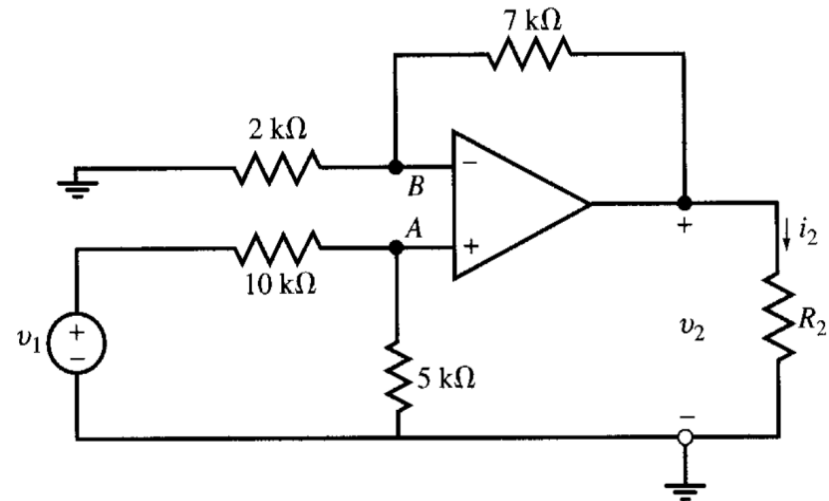
$$v_B = \frac{2}{2+7} v_2 = \frac{2}{9} v_2$$

Điện thế v_A được xác định từ phân áp v_1 trên điện trở $10\text{k}\Omega$ và $5\text{k}\Omega$:

$$v_A = \frac{5}{10+5} v_1 = \frac{1}{3} v_1$$

Theo tính chất của OA lý tưởng $v_A = v_B$:

$$\frac{1}{3} v_1 = \frac{2}{9} v_2 \rightarrow \frac{v_2}{v_1} = 1,5$$



CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

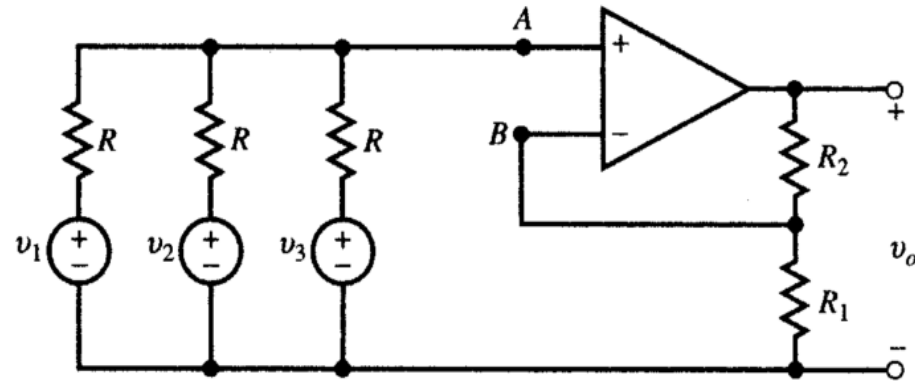
Ví dụ: Xác định điện áp v_o từ sơ đồ mạch OA với các điện áp v_1, v_2, v_3 và phần tử trong sơ đồ.
Giải

Áp dụng KCL xác định v_A :

$$\frac{v_1 - v_A}{R} + \frac{v_2 - v_A}{R} + \frac{v_3 - v_A}{R} = 0 \rightarrow v_A = \frac{1}{3}(v_1 + v_2 + v_3)$$

Từ biểu thức hệ số khuếch đại không đảo:

$$v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)v_A = \frac{1}{3}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)(v_1 + v_2 + v_3)$$



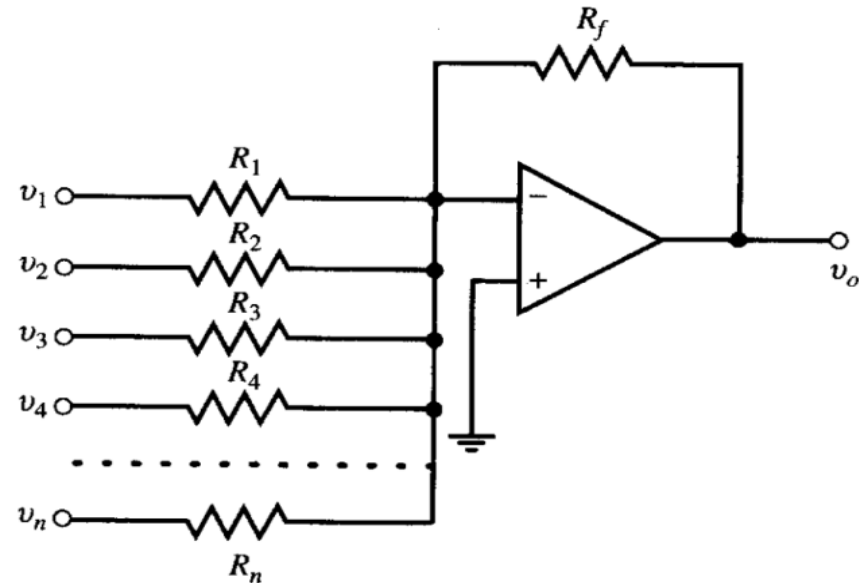
CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

2.5. Mạch khuếch đại cộng tín hiệu

Cộng giá trị của các điện áp trong mạch có thể thực hiện bằng OA trong mạch cộng tín hiệu, trường hợp mở rộng của khuếch đại đảo.

Áp dụng KCL cho nút tại cổng đảo:

$$\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \dots + \frac{v_n}{R_n} + \frac{v_o}{R_f} = 0$$



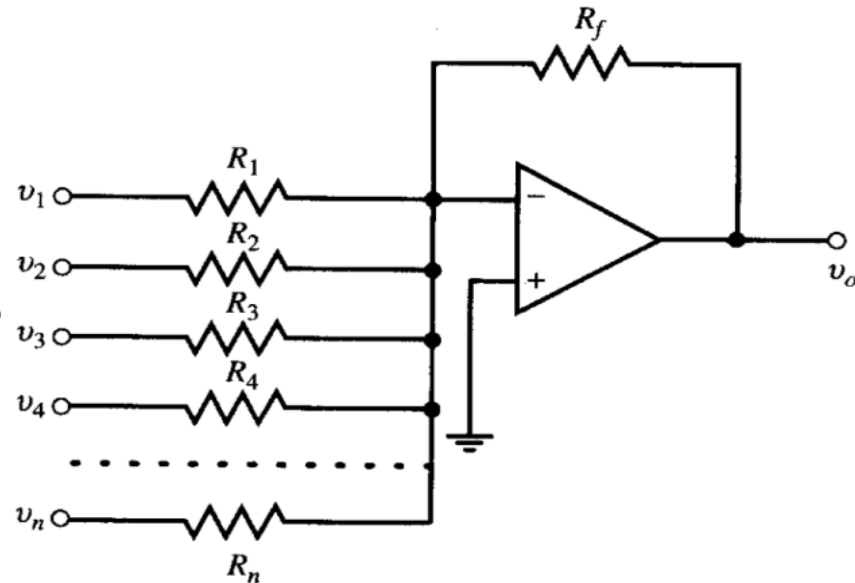
$$\rightarrow v_o = - \left(\frac{R_f}{R_1} v_1 + \frac{R_f}{R_2} v_2 + \dots + \frac{R_f}{R_n} v_n \right)$$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Ví dụ: Nếu trong sơ đồ mạch cộng có 4 đầu vào với các giá trị điện trở $R_1 = 1\text{k}\Omega$; $R_2 = 0,5\text{k}\Omega$; $R_3 = 0,25\text{k}\Omega$ và $R_4 = 0,125\text{k}\Omega$, $R_f = 1\text{k}\Omega$. Điện áp vào đặt một trong hai giá trị 1V và 0V. Tìm giá trị v_o trong các trường hợp điện áp v_4, v_3, v_2, v_1 nhận các giá trị:

(a): $v_4 = 1\text{V}$; $v_3 = 0\text{V}$; $v_2 = 0\text{V}$; $v_1 = 1\text{V}$.

(b): $v_4 = 1\text{V}$; $v_3 = 1\text{V}$; $v_2 = 1\text{V}$; $v_1 = 1\text{V}$.



CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Giải:

Từ biểu thức điện áp ra:

$$v_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}v_1 + \frac{R_f}{R_2}v_2 + \dots + \frac{R_f}{R_n}v_n\right) = -(8v_4 + 4v_3 + 2v_2 + v_1)$$

Thay các giá trị điện áp từ v_4 đến v_1 vào:

(a): $v_o = -9V$

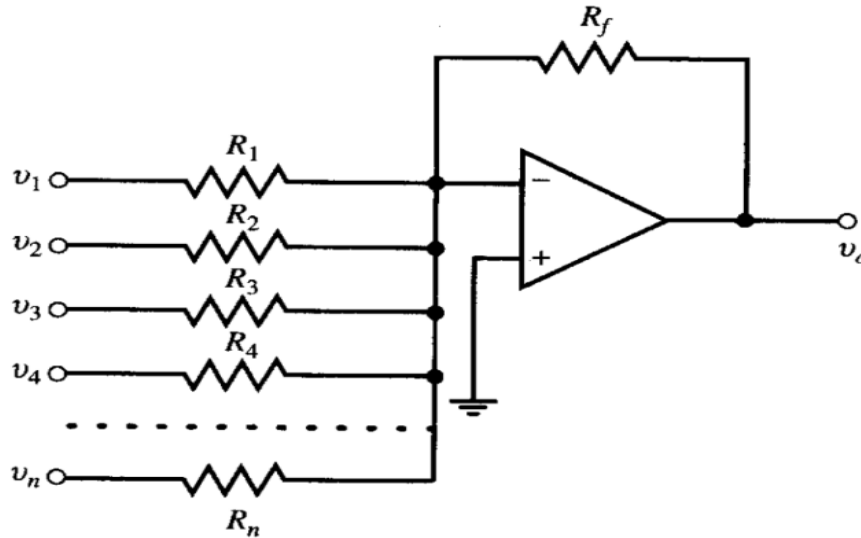
(b): $v_o = -14V$

Tập hợp $\{v_4 ; v_3 ; v_2 ; v_1\}$ có dạng nhị phân chứa 4 bit giá trị cao (1V) hoặc thấp (0V).

Mã nhị phân đầu vào các trường hợp (a) và (b) tương ứng là các số nhị phân $(1001)_2 = (9)_{10}$ và $(1110)_2 = (14)_{10}$.

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Mạch khuếch đại cộng tín hiệu



Với các giá trị đầu vào ở mức 0V (thấp) hoặc 1V (cao), mạch khuếch đại biến đổi giá trị nhị phân tương ứng với các tổ hợp $\{v_4 ; v_3 ; v_2 ; v_1\}$ thành điện áp âm đo bằng V trong hệ đếm cơ số 10 tương ứng.

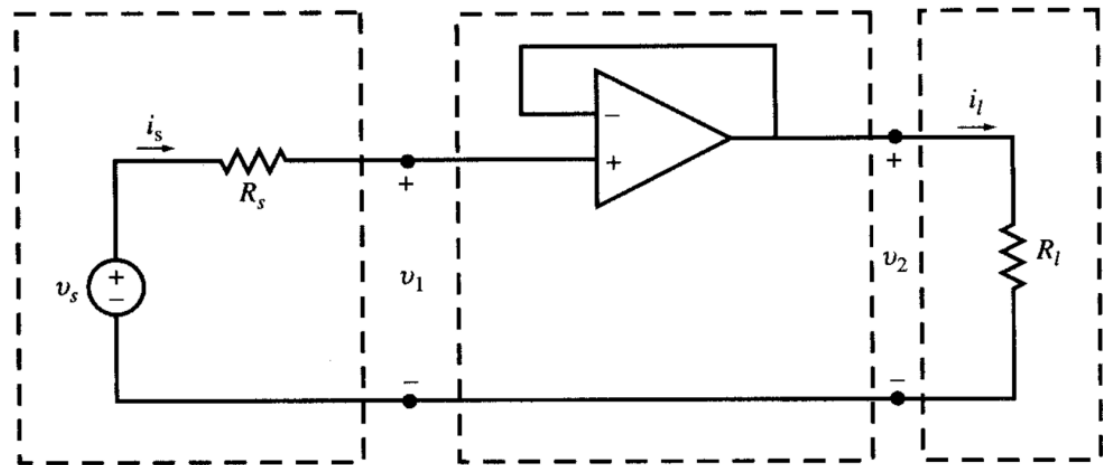
Mạch khuếch đại tổng tín hiệu có thể làm bộ biến đổi số-tương tự.

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

2.6. Mạch lặp điện áp

Mạch OA trên có hệ số khuếch đại bằng một, trong đó $v_2 = v_1$, từ đây ta có $v_1 = v^+$, $v_2 = v^-$ và $v^+ = v^-$. Điện áp ra v_2 lặp lại điện áp vào v_1 . Nếu nối thêm tải R_L , OA gây nên ảnh hưởng của dòng tải trên R_L và điện áp nguồn. Lúc này OA làm việc như bộ đệm.

Ví dụ: (a) Tìm các giá trị: i_s , v_1 , v_2 và i_L trong sơ đồ mạch lặp. (b) So sánh các kết quả tìm được với trường hợp nguồn nối trực tiếp với tải.



CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

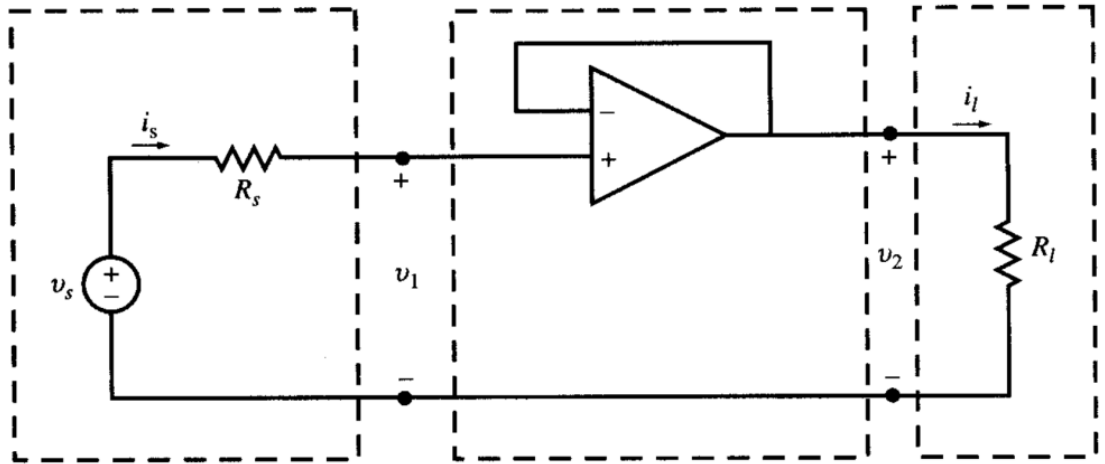
(a): Với sơ đồ OA trên mạch lặp, ta có:

$$i_s = 0$$

$$v_1 = v_s$$

$$v_2 = v_1 = v_s$$

$$i_L = \frac{v_s}{R_L}$$



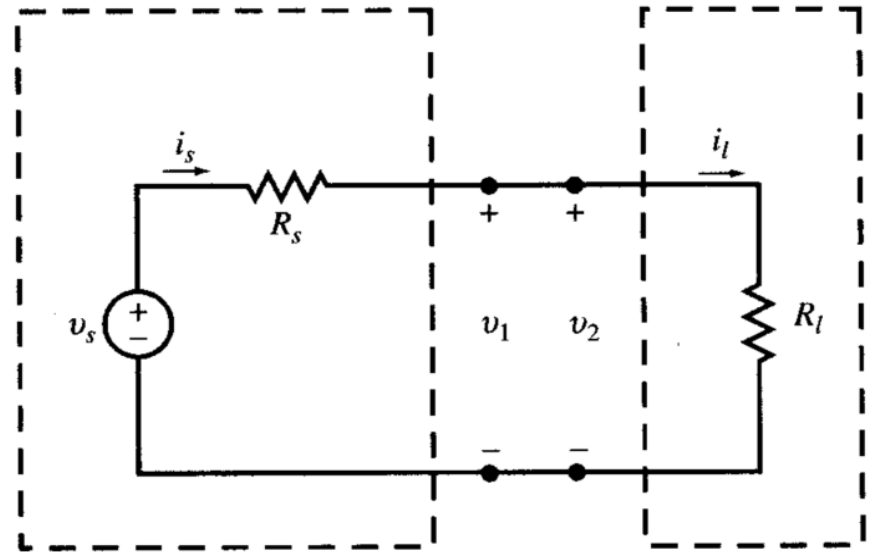
Do mạch OA có dòng điện bằng không, nên nguồn v_s được đưa đến trực tiếp trên tải R_L mà không bị suy giảm điện áp do dòng điện và điện trở R_s . Dòng điện trên tải được cấp từ OA.

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

(b): Khi loại bỏ OA trong mạch, ta có:

$$i_s = i_L = \frac{v_s}{R_s + R_L}$$

$$v_1 = v_2 = \frac{R_L}{R_s + R_L} v_s$$

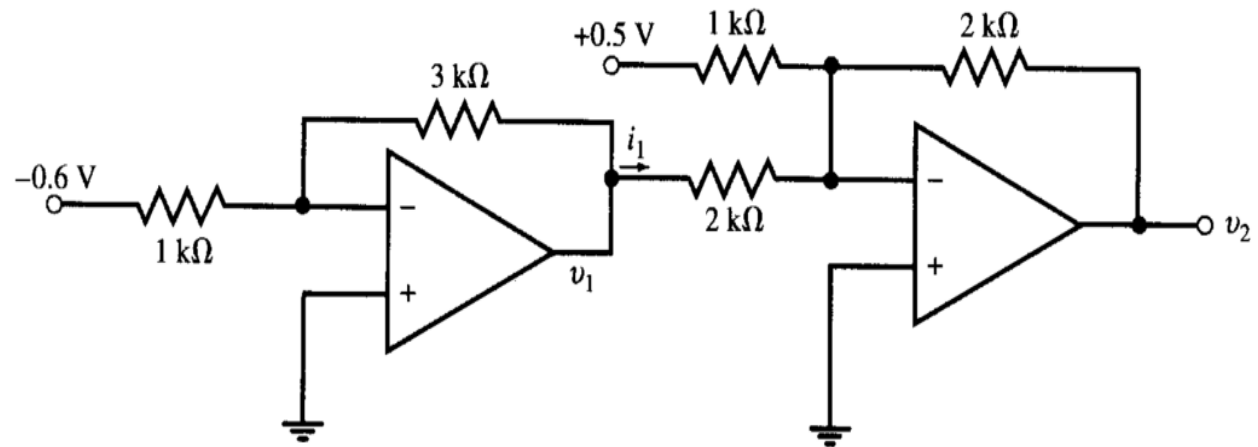


Dòng điện đến R_L đi qua R_s và gây nên điện áp rơi trên R_s . Điện áp v_2 phụ thuộc vào tải R_L và R_s .

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

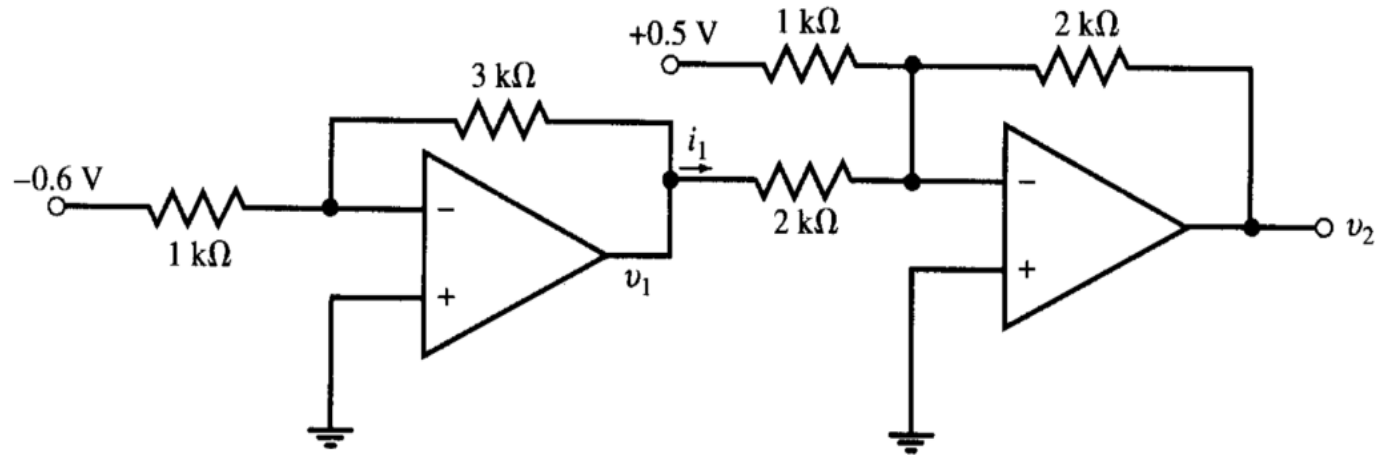
2.7. Mạch chứa nhiều bộ khuếch đại OA

Kết quả phân tích mạch chứa một khuếch đại đơn lẻ có thể áp dụng cho các mạch có chứa nhiều khuếch đại lý tưởng trong dạng liên tiếp hoặc lồng nhau do không có ảnh hưởng của tải.



Ví dụ: Tìm biểu thức của điện áp v_1 và v_2 trong mạch hai OA

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN



Từ OA #1:

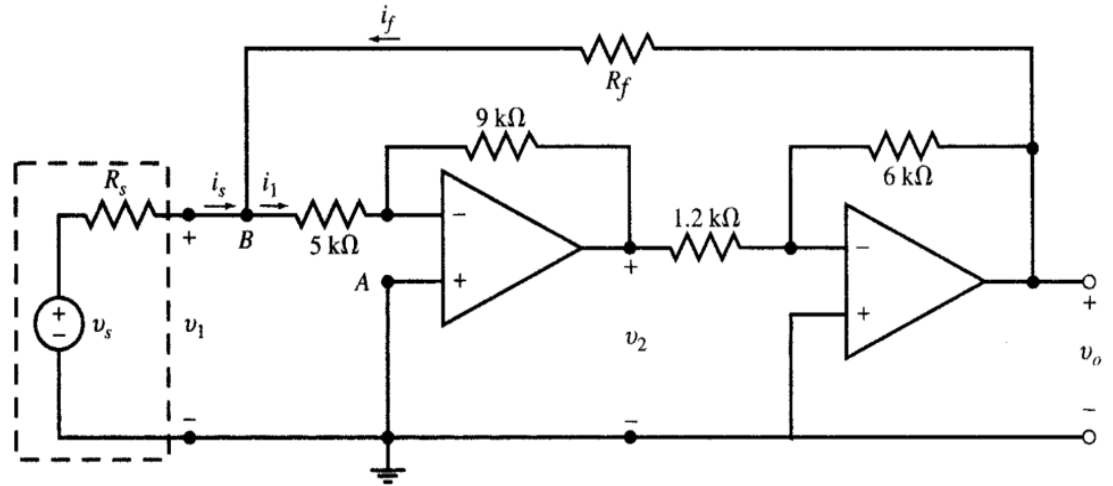
$$v_1 = -\frac{3}{1}(-0,6) = 1,8$$

Và OA #2 là mạch khuếch đại tổng:

$$v_2 = -\frac{2}{1}(0,5) - \frac{2}{2}(1,8) = -2,8$$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Ví dụ: Cho $R_s = 1\text{k}\Omega$
trong mạch OA, hãy
tìm v_1 , v_2 , v_o , i_s , i_1 và i_f
là hàm số của v_s với
các giá trị của



(a) $R_f = \infty$ và (b) $R_f = 40\text{k}\Omega$.

Giải

(a) $R_f = \infty$: dòng $i_f = 0$, hai bộ khuếch đại nối tiếp với $v^+ = 0$. Theo mạch phân áp đầu vào ta có:

$$v_1 = \frac{5}{5+1} v_s = \frac{5}{6} v_s$$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Theo biểu thức hệ số khuếch đại của các bộ OA ta có:

$$v_2 = -\frac{9}{5}v_1 = -\frac{9}{5} \frac{5}{6}v_s = -1,5v_s$$

$$v_o = -\frac{6}{1,2}v_2 = -\frac{6}{1,2}(-1,5v_s) = 7,5v_s$$

$$i_s = i_1 = \frac{v_s}{1000 + 5000} = \frac{v_s}{6000} \text{ (A)} = 0,166v_s$$

$$i_f = 0$$

(b) $R_f = 40\text{k}\Omega$: Theo các biểu thức hệ số khuếch đại: $v_o = -5v_2$ và $v_2 = -(9/5)v_1$, do đó $v_o = 9v_1$. Áp dụng KCL cho các dòng điện rời khỏi nút B:

$$\frac{v_1 - v_s}{1} + \frac{v_1}{5} + \frac{v_1 - v_o}{40} = 0$$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Thay $v_o = 9v_1$ vào và giải theo v_s :

$$v_1 = v_s \quad v_2 = -\frac{9}{5}v_1 = -1,8v_s$$

$$v_o = -\frac{6}{1,2}v_2 = \frac{6}{1,2}(-1,8v_s) = 9v_s$$

$$i_s = \frac{v_s - v_1}{6000} = 0$$

Áp dụng KCL cho nút B: $i_f = i_1 = \frac{v_s}{5000} (A) = 0,2v_s$

Dòng điện i_1 trên điện trở vào 5-k Ω được tạo nên bởi điện áp ra của OA thứ hai qua điện trở hồi tiếp 40-k Ω . Dòng điện i_s do nguồn v_s gây nên bằng không. Điện trở vào của mạch có giá trị vô hạn.

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

3. MẠCH KHUẾCH ĐẠI VI PHÂN – TÍCH PHÂN

3.1. Vi phân và khuếch đại vi phân

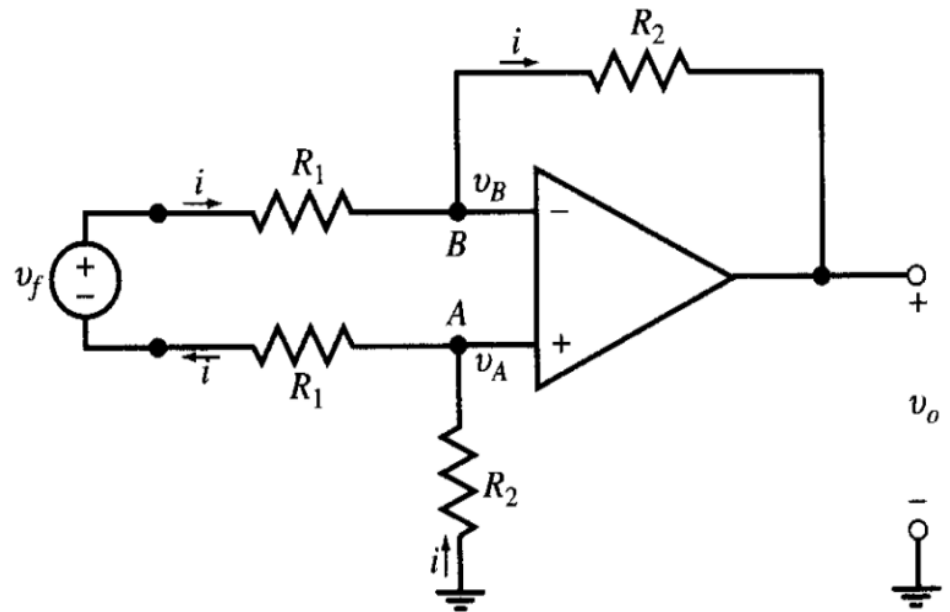
Nguồn v_f không nối đất được gọi là nguồn nổi. Tín hiệu nguồn như vậy có thể được khuếch đại thông qua mạch

Điện thế các cổng của OA

như nhau ($v_A = v_B$), nên theo

KVL ta có:

$$v_f = 2R_1 i \quad \rightarrow \quad i = \frac{v_f}{2R_1}$$

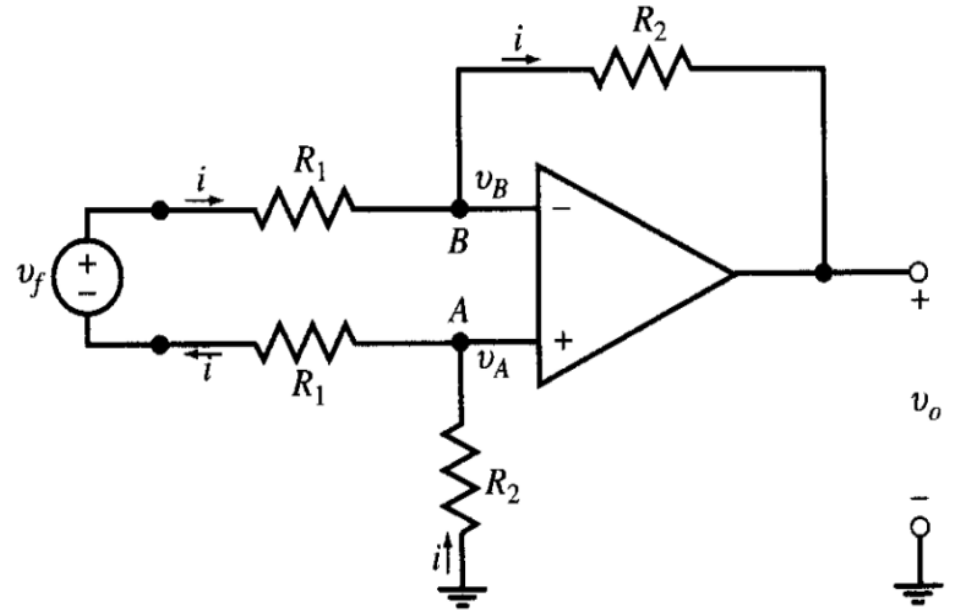


CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Vì OA không có dòng điện nên dòng đi qua R_2 cũng bằng i , áp dụng KVL, ta có:

$$v_o + R_2 i + R_2 i = 0$$

$$\rightarrow v_o = -2R_2 i = -\frac{R_2}{R_1} v_f$$



Trường hợp đặc biệt khi hai nguồn v_1 và v_2 có tiếp đất chung, tương ứng nối với cực đảo và không đảo của mạch OA, ta có $v_f = v_1 - v_2$:

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

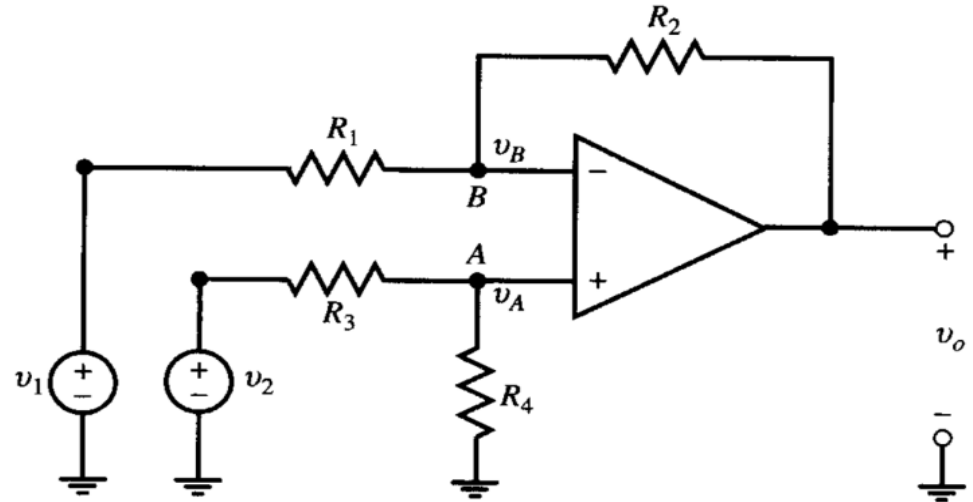
CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Ví dụ: Tìm biểu thức điện áp v_o như hàm số của v_1 và v_2 trong sơ đồ

Áp dụng KCL tại nút A và B:

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

$$\frac{v_B - v_1}{R_1} + \frac{v_B - v_o}{R_2} = 0$$



Do $v_A = v_B$, nên:
$$v_o = \frac{R_4(R_1 + R_2)}{R_1(R_3 + R_4)} v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1$$

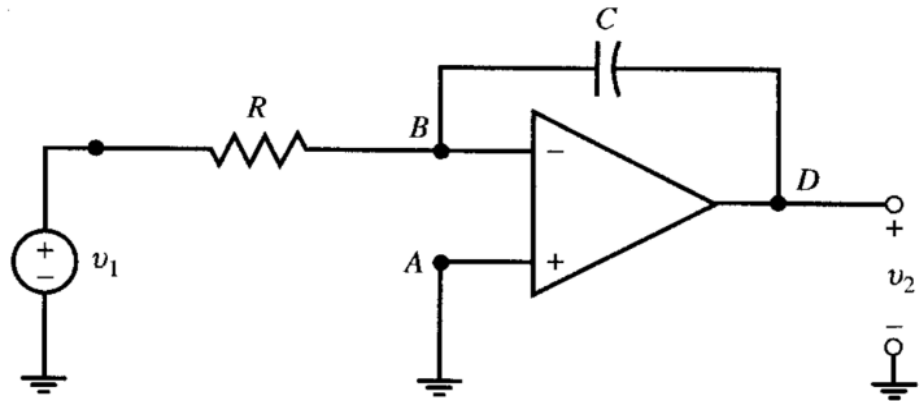
Nếu $R_3 = R_1$ và $R_2 = R_4$, biểu thức v_o trở về dạng rút gọn ở trên

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

3.2. Tích phân và mạch tích phân

Mạch tích phân

Thay điện trở hồi tiếp trong mạch vi phân bằng tụ điện ta có mạch tích phân cơ bản:



Quan hệ tín hiệu vào/ra được xác định bằng cách áp dụng KCL tại cổng đảo:

$$\frac{v_1}{R} + C \frac{dv_2}{dt} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{dv_2}{dt} = -\frac{1}{RC} v_1 \quad \rightarrow \quad v_2 = -\frac{1}{RC} \int_{-\infty}^t v_1 dt$$

Nói cách khác, tín hiệu ra bằng tích phân tín hiệu vào nhân với hệ số khuếch đại $-1/RC$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

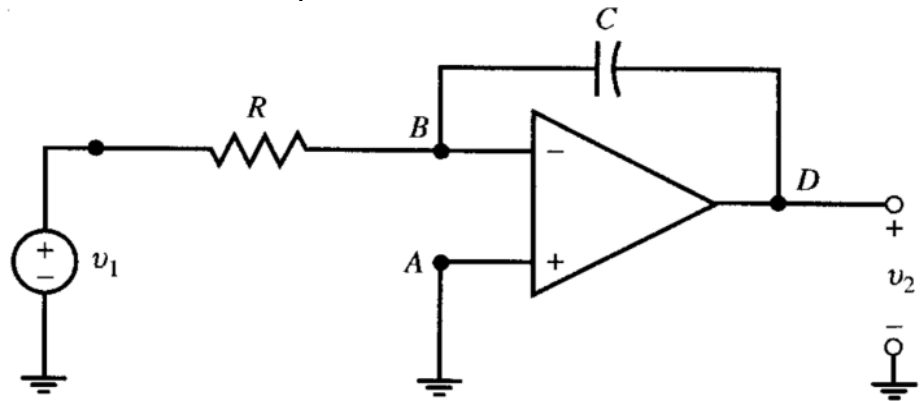
Ví dụ: Mạch điện, với $R = 1\text{k}\Omega$, $C = 1\mu\text{F}$ và $v_1 = \sin 2000t$.

Giả thiết $v_2(0) = 0$, hãy tìm v_2

với $t > 0$.

Giải

Điện áp ra:



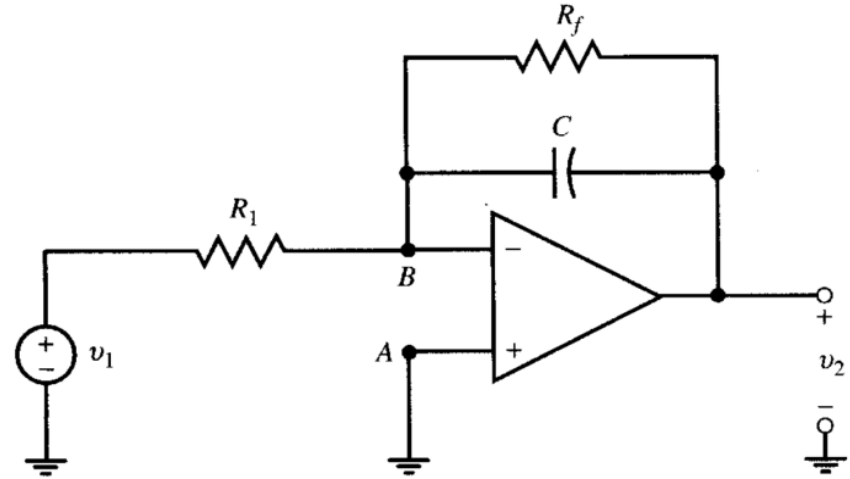
$$v_2 = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_1 \cdot dt$$

$$v_2 = -\frac{1}{10^3 \cdot 10^{-6}} \int_0^t \sin 2000t \cdot dt = 0,5(\cos 2000t - 1)$$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Mạch tích phân Leaky

Mạch tích phân leaky, có thêm điện trở R_f làm điện áp trên tụ luôn được xả. Điều này làm giảm hệ số khuếch đại và dịch góc pha của v_2 .



Ví dụ: Với $R = R_f = 1\text{k}\Omega$, $C = 1\mu\text{F}$ và $v_1 = \sin 2000t$. Hãy tìm v_2 .

Giải

Cực đảo của OA có điện thế bằng không và tổng dòng điện đến nút bằng không

$$\frac{v_1}{R_1} + C \frac{dv_2}{dt} + \frac{v_2}{R_f} = 0 \quad \rightarrow \quad v_1 + 10^{-3} \frac{dv_2}{dt} + v_2 = 0$$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Giải phương trình tìm được v_2 có dạng hàm sin cùng tần số với v_1 nhưng khác biệt về biên độ và góc pha:

$$v_2 = A \cos(2000t + B)$$

Trong đó: A và B là các hằng số có thể xác định từ điều kiện đầu:

$$\frac{dv_2}{dt} = -2000A \sin(2000t + B)$$

Thay vào phương trình vi phân $10^{-3} \frac{dv_2}{dt} + v_2 = -v_1$

$$-2A \sin(2000t + B) + A \cos(2000t + B) = -\sin 2000t$$

$$2A \sin(2000t + B) - A \cos(2000t + B) = \sin 2000t$$

$$A\sqrt{5} \sin(2000t + B - 26,57^\circ) = \sin 2000t$$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Từ phương trình: $A\sqrt{5} \sin(2000t + B - 26,57^\circ) = \sin 2000t$

Suy ra: $A = \sqrt{5} / 5$

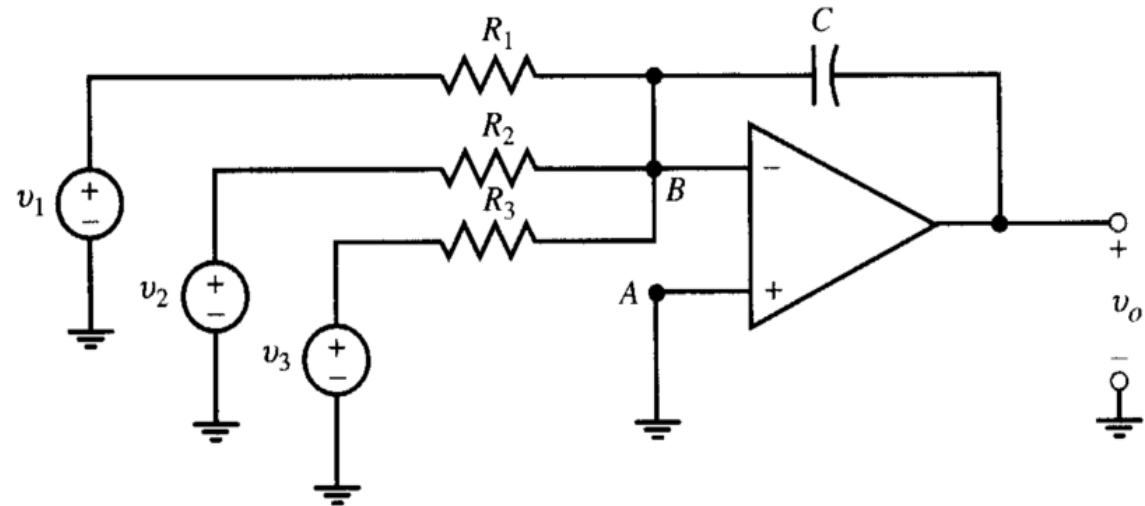
$$B = 26,57^\circ$$

Do đó:

$$v_2 = \frac{\sqrt{5}}{5} \cos(2000t + 26,57^\circ)$$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Mạch tích phân cộng tín hiệu



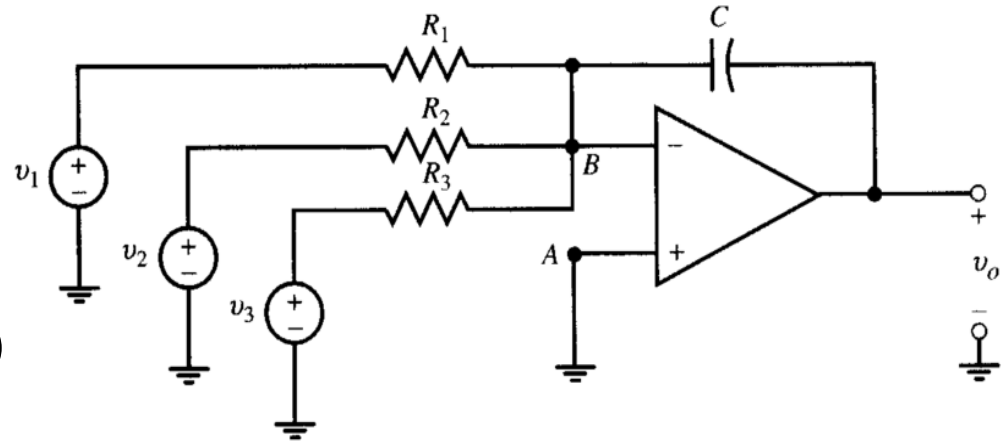
Mạch khuếch đại đơn, các tín hiệu vào khác nhau kết nối với cổng đảo và tụ điện C hồi tiếp, có thể tạo ra tổng của các tích phân các tín hiệu với độ lợi mong muốn.

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Ví dụ: Tìm tín hiệu ra v_o trong mạch khuếch đại tích phân tổng, với 3 tín hiệu vào

Áp dụng KCL tại cổng đảo

$$\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3} + C \frac{dv_o}{dt} = 0$$



$$v_o = - \int_{-\infty}^t \left(\frac{v_1}{R_1 C} + \frac{v_2}{R_2 C} + \frac{v_3}{R_3 C} \right) dt$$

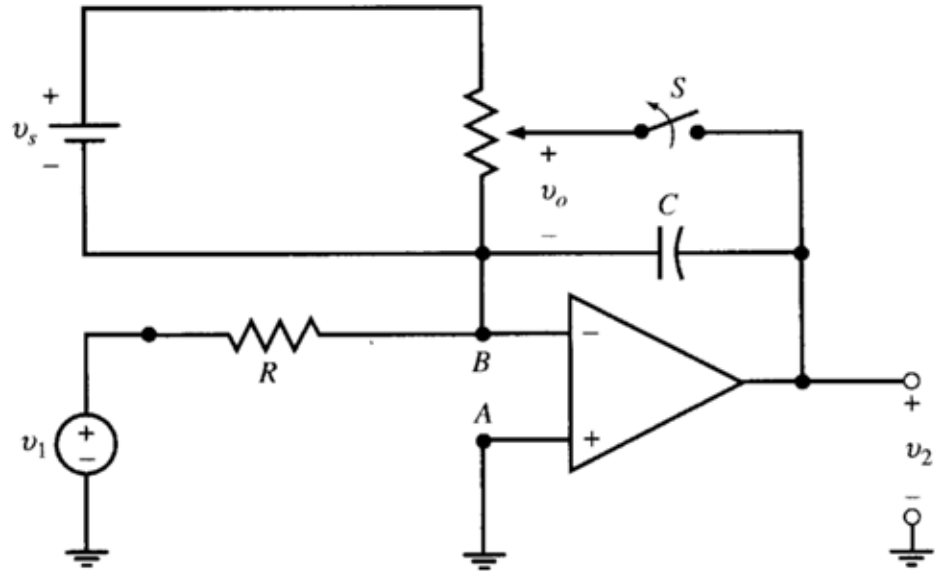
$$v_o = - \frac{1}{R_1 C} \int_{-\infty}^t v_1 dt - \frac{1}{R_2 C} \int_{-\infty}^t v_2 dt - \frac{1}{R_3 C} \int_{-\infty}^t v_3 dt$$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Thiết lập điều kiện đầu của tích phân (Initial Condition of Integration)

Điều kiện đầu mong muốn của v_o , trong mạch tích phân được thực hiện nhờ chuyển mạch S. Đóng chuyển mạch trong giây lát rồi lập tức ngắt ở thời điểm $t = t_0$, điều kiện đầu của giá trị v_o được thiết lập thông qua tụ điện và xuất hiện trên điện áp v_2 .

Với $t > t_0$, giá trị của điện áp ra thêm một lượng:
$$v_2 = -\frac{1}{RC} \int_{-\infty}^t v_1 dt + v_o$$



CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

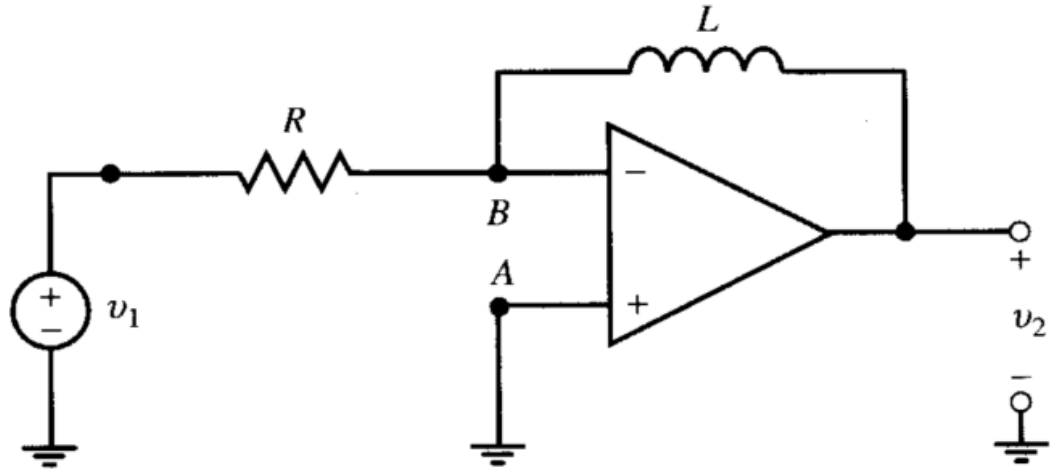
Mạch vi phân

Thay điện trở hồi tiếp bằng điện cảm của khuếch đại đảo ta có mạch vi phân, trong đó

tín hiệu vào v_1 được biến đổi thành tín hiệu ra v_2 .

Để xác định quan hệ vào – ra, áp dụng KCL tại nút cực đảo:

$$\frac{v_1}{R} + \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t v_2 dt \rightarrow v_2 = -\frac{L}{R} \frac{dv_1}{dt}$$



CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

4. MẠCH ỨNG DỤNG KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

4.1. Mạch tính tương tự

Các mạch khuếch đại đảo, cộng và tích phân được tích hợp thành khối ở dạng mạch tính tương tự để giải quyết các phương trình tuyến tính. Mạch vi phân không được dùng đến do có nhiều đáng kể. Khi thiết kế mạch tính tương tự, trước tiên phải biến đổi các phương trình vi phân bằng cách đưa đạo hàm bậc cao nhất hiện có của ẩn số mang xuống về một phía của phương trình. Bổ xung các mạch tích phân theo cấu trúc nối tiếp hoặc mạch vòng được trình bày trong ví dụ dưới đây. Trong phần này ta sử dụng những lưu ý sau:

$$x' = dx / dt \qquad x'' = d^2x / dt^2$$

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Ví dụ: thiết kế mạch với tín hiệu vào $x(t)$ cho tín hiệu ra $y(t)$, thỏa mãn phương trình sau: $y''(t) + 2y'(t) + 3y(t) = x(t)$

Giải:

Bước 1: chuyển lại phương trình

$$y'' = x - 3y - 2y'$$

Bước 2: Sử dụng mạch tích phân tổng tín hiệu OA#1 để lấy tích phân hai về phương trình.

Sử dụng biểu thức quan hệ vào – ra của mạch để xác định các giá trị R_1 ; R_2 ; R_3 và C_1 , theo cách tín hiệu ra của OA#1 là $v_1 = y'$.

Ta lấy $C_1 = 1\mu\text{F}$ để tìm các điện trở tương ứng:

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

$$y'' = x - 3y - 2y'$$

Bước 2:

Ta lấy $C_1 = 1\mu\text{F}$ để tìm các điện trở:

Nhánh có tín hiệu x :

$$R_1 C_1 = 1 \rightarrow R_1 = 1\text{M}\Omega$$

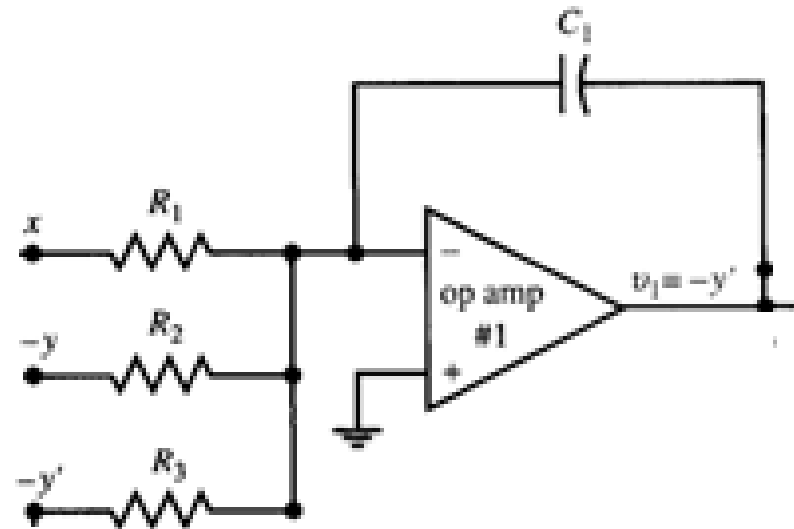
Nhánh có tín hiệu $-3y$:

$$R_2 C_1 = 1/3 \rightarrow R_2 = 333\text{k}\Omega$$

Nhánh có tín hiệu $2y'$:

$$R_3 C_1 = 1/2 \rightarrow R_3 = 500\text{ k}\Omega$$

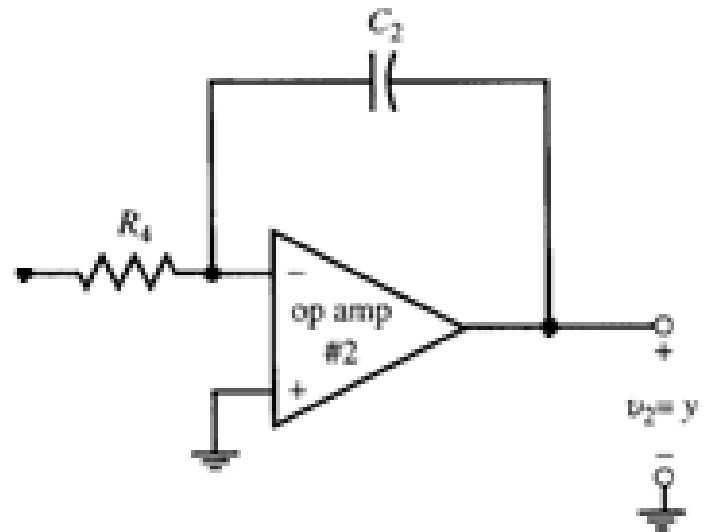
$$v_1 = -\int (x - 3y - 2y') dt = -\int y'' dt = -y'$$



CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Bước 3: Lấy tích phân $v_1 = -y'$ bằng mạch tích phân OA#2 để tìm giá trị y . Ta lấy giá trị $C_2 = 1\mu\text{F}$ và $R_4 = 1\text{M}\Omega$ để xác định được $v_2 = y$, tại đầu ra của OA#2.

$$v_2 = -\frac{1}{R_4 C_2} \int v_1 dt = \int y' dt = y$$



CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Bước 4: Thiết lập kết nối đầu vào cho OA#1 theo cách thức sau:

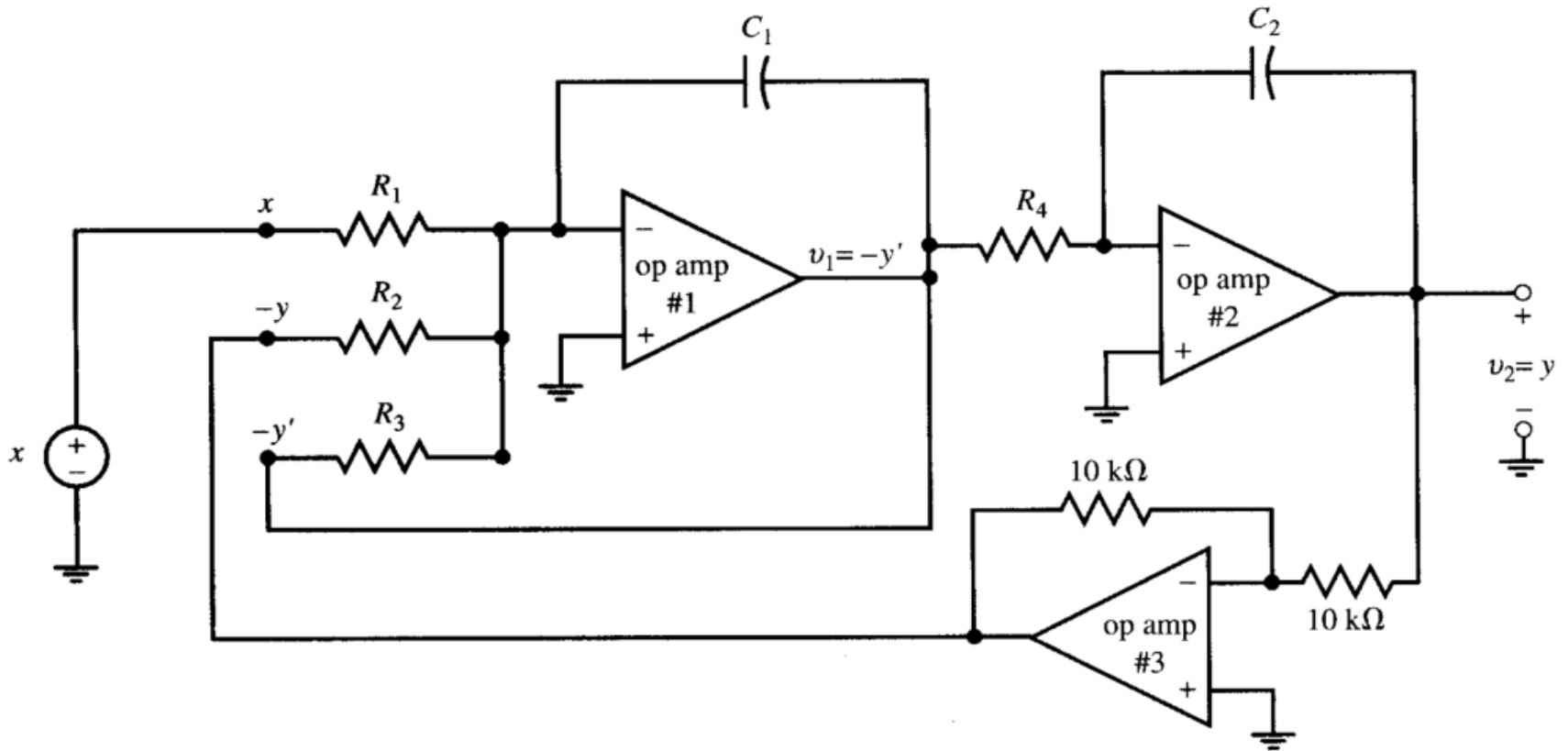
Hồi tiếp $v_1 = -y'$ trực tiếp tới cổng đảo của OA#1 thông qua điện trở R_3 .

Nối $v_2 = y$ qua bộ khuếch đại đảo bằng 1 (OA#3) để tạo ra tín hiệu $-y$, sau đó cấp vào cực đảo OA#1 thông qua R_2 .

Kết nối nguồn $x(t)$ vào cực đảo OA#1 thông qua điện trở R_1 .

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Sơ đồ hoàn chỉnh



CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Bước 4: Thiết lập kết nối đầu vào cho OA#1 theo cách thức sau:

Hồi tiếp $v_1 = -y'$ trực tiếp tới cổng đảo của OA#1 thông qua điện trở R_3 .

Nối $v_2 = y$ qua bộ khuếch đại đảo bằng 1 (OA#3) để tạo ra tín hiệu $-y$, sau đó cấp vào cực đảo OA#1 thông qua R_2 .

Kết nối nguồn $x(t)$ vào cực đảo OA#1 thông qua điện trở R_1 .

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

4.2. Mạch lọc tần số thấp

Bộ khuếch đại chọn tần có hệ số khuếch đại giảm từ giá trị nhất định xuống không tương ứng với sóng sin có tần số trong khoảng từ không (một chiều) đến giá trị vô cùng được gọi là bộ lọc thông thấp. Đồ thị của hệ số khuếch đại với sự thay đổi tần số được gọi là đáp ứng tần số.

Mạch tích phân leaky cũng có thể là bộ lọc thông thấp thông qua ví dụ sau: Mạch OA, cho $v_1 = \sin \omega t$. Hãy xác định $|v_2|$ với $\omega = 0; 10; 100; 10^3; 10^4$ và 10^5 rad/s.

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

Lặp lại công thức của ví dụ đã xét, đáp ứng tần số được ghi trong bảng sau:

ω , rad/s	0	10	100	10^3	10^4	10^5
f, Hz	0	1,59	15,9	159	$1,59 \cdot 10^3$	$15,9 \cdot 10^3$
$ v_2/v_1 $	1	1	0,995	0,707	0,1	0,001

CHƯƠNG 3 : KHUẾCH ĐẠI VÀ KHẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

4.3. Bộ so sánh

Sơ đồ mạch so sánh điện thế v_1 và điện thế tham chiếu v_o . Với giá trị rất lớn của hệ số khuếch đại, OA cho tín hiệu ra v_2 ở các mức giá trị V_{cc} (nếu $v_1 > v_o$) hoặc $-V_{cc}$ (nếu $v_1 < v_o$). Có thể viết $v_2 = \text{sgn} [v_1 - v_o]$, trong đó sgn là dấu của biểu thức trong ngoặc. Nếu $v_o = 0$, thì ta có:

$$v_2 = \begin{cases} +V_{cc} & v_1 > 0 \\ -V_{cc} & v_1 < 0 \end{cases}$$

