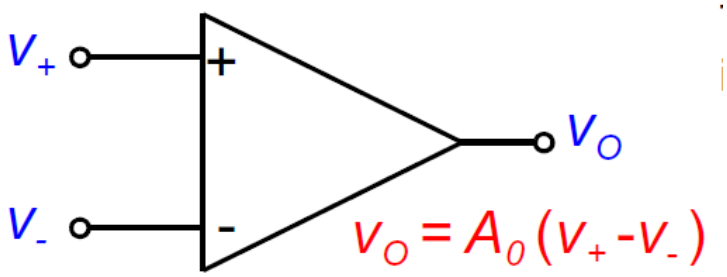
Bộ khuếch đại thuật toán:

Bộ khuếch đại thuật toán (tiếng Anh: operational amplifier, thường được gọi tắt là op-amp) là một mạch khuếch đại "DC-coupled" (tín hiệu đầu vào bao gồm cả tín hiệu BIAS) với hệ số khuếch đại rất cao, có đầu vào vi sai, và thông thường có đầu ra đơn. Trong những ứng dụng thông thường, đầu ra được điều khiển bằng một mạch hồi tiếp âm sao cho có thể xác định độ lợi đầu ra, tổng trở đầu vào và tổng trở đầu ra.

Các Bộ khuếch đại thuật toán có những ứng dụng trải rộng trong rất nhiều các thiết bị điện tử thời nay từ các thiết bị điện tử dân dụng, công nghiệp và khoa học. Các Bộ khuếch đại thuật toán thông dụng hiện nay có giá bán rất rẻ. Các thiết kế hiện đại đã được điện tử hóa chặt chẽ hơn trước đây, và một số thiết kế cho phép mạch điện chịu đựng được tình trạng ngắn mạch đầu ra mà không làm hư hỏng.

Bộ khuếch đại thuật toán là một mạch khuếch đại đa năng, có thể lắp ráp để xử lý rất nhiều thuật toán khác nhau cho các tín hiệu analog. Các Bộ khuếch đại thuật toán có nhiều thông số khác nhau, nhưng để dễ dàng quan sát, thiết kế và lý luận mạch, người ta thường dùng mô hình Bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng.

Bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng:



Bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng là mạch *khuếch đại vi sai* lý tưởng, có*:*

$A_0 = A_d = \infty$ $A_{cm} = 0$

$R_i = \infty$ $R_o = 0$

$B = \infty$

Chân ngõ vào được đánh dấu "+" được gọi là *ngõ vào không đảo*. . . .

Chân ngõ vào được đánh dấu "-" được gọi là *ngõ vào đảo* . . .

Mô hình tương đương của bộ khuếch đại thuật toán, là một nguồn điện áp phụ thuộc điện áp, với độ lợi là:

$$A_0 (v_+ - v_-),$$

Mô hình này sẽ khá đơn giản để chúng ta có thể phân tích mạch.

Nguyên lý vận hành của Bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng.

Với độ lợi $A_0 = \infty$, Chúng ta có thể giả định 3 quy luật vận hành sau:

1. Nếu $v_+ > v_-$ thì v_o tăng . . .

2. Nếu $v_+ < v_-$ thì v_o giảm . . .

3. Nếu $v_+ = v_-$ thì v_o không thay đổi . . .

Trong một Bộ khuếch đại thuật toán thực tế, v_o không thể vượt quá điện áp nguồn nuôi, mà chúng ta đã không vẽ ở hình trên.

Trong các ứng dụng thông thường như mạch khuếch đại, Bộ khuếch đại thuật toán sẽ sử dụng *hồi tiếp âm* tức là lấy một phần điện áp ra đưa vào đầu vào đảo của mạch.

Hoạt động của Bộ khuếch đại thuật toán với hồi tiếp âm

Chúng ta xem xét hiệu quả của hồi tiếp âm:

- Nếu $v_+ > v_-$ thì v_o tăng . . .
  Vì một phần của v_o được đưa đến ngõ vào đảo, nên v_- tăng . . .
  Sai biệt điện thế giữa V_+ và V_- sẽ giảm đi, và có thể giảm đến 0 . . .
  Như vậy, V_o sẽ thay đổi cho đến khi đạt được trị số mà có thể làm cho $V_+ - V_- = 0$!!!
- Nếu $V_+ < V_-$ thì V_o giảm . . .
  Vì một phần của v_o được đưa đến ngõ vào đảo, nên v_- giảm . . .
  Sai biệt điện thế giữa V_+ và V_- sẽ giảm đi, và có thể giảm đến 0 . . .
  Như vậy, V_o sẽ thay đổi cho đến khi đạt được trị số mà có thể làm cho $V_+ - V_- = 0$!!!

Trong cả hai trường hợp, điện thế ngõ ra sẽ thay đổi đến một giá trị nào đó sao cho

$$V_+ - V_- = 0!!!$$

Khi phân tích các mạch chúng ta chỉ cần xác định giá trị của Vo sao cho nó gây ra kết quả là

$$V_+ - V_- = 0.$$

Tốc độ biến thiên điện áp

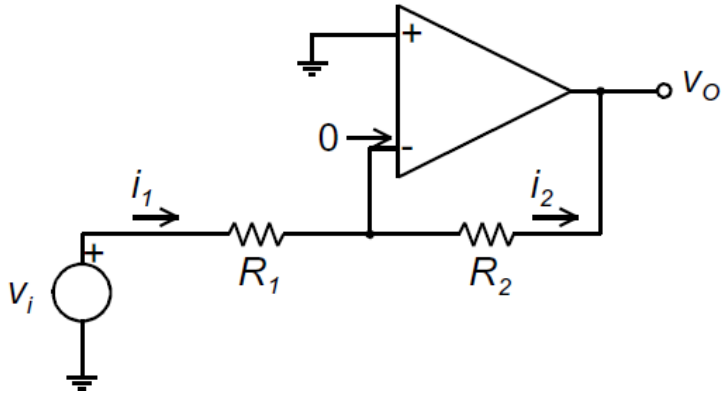
Từ đầu đến giờ chúng ta chưa nói gì đến tốc độ tăng hay giảm điện thế ngõ ra Vo.

. . . Giá trị này được gọi là *tốc độ biến thiên điện áp.*

Trong các Bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng, chúng ta coi tốc độ biến thiên điện áp này đủ nhanh để có thể bỏ qua.

Bộ khuếch đại thuật toán – Mạch khuếch đại đảo

Áp dụng những nguyên lý của Bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng vào mạch dưới đây, ta thấy:



Độ lợi điện áp

Vì Bộ khuếch đại thuật toán có $R_i = \infty$, nên dòng điện ngõ vào sẽ bằng 0.

Điều đó nghĩa là $i_1 = i_2$, i.e., các điện trở R_1 *và* R_2 *hình thành một bộ chia điện áp.*

Từ đó, chúng ta sẽ tìm điện áp V_- .

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

Vì có hồi tiếp âm, V_o sẽ đạt đến một giá trị sao cho

$$V_+ - V_- = 0,$$

và vì

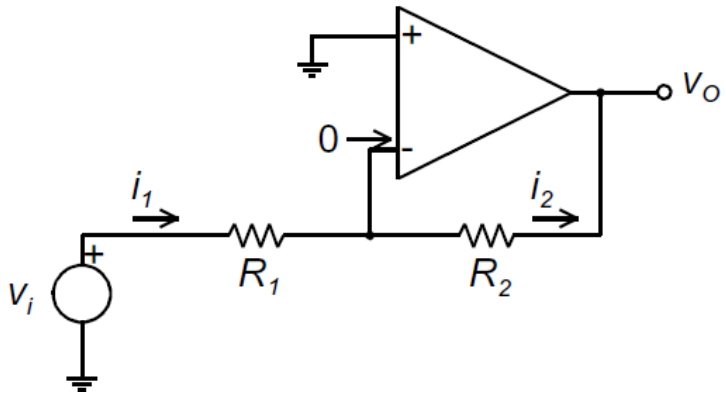
$$V_+ = 0 \; !!!$$

Do đó $V_- = 0$, và giải phương trình trên ta sẽ có được giá trị của V_o :

$$v_i R_2 + v_o R_1 = 0 \quad \Rightarrow \quad v_o = -\frac{R_2}{R_1} v_i \quad \Rightarrow \quad A_v = -\frac{R_2}{R_1}$$

Bộ khuếch đại thuật toán – Mạch khuếch đại đảo

Xem lại sơ đồ trước ta thấy



Tổng trở ngõ vào

Tổng trở ngõ vào có nghĩa là tổng trở nhìn từ nguồn tín hiệu v_i, chứ không phải tổng trở của Bộ khuếch đại thuật toán, vốn rất lớn.

Vì v_- = 0, nên điện áp đặt vào R_1 sẽ là v_i. Do đó:

$$i_1 = \frac{v_i}{R_1} \quad \Rightarrow \quad R_{in} = \frac{v_i}{i_1} = \frac{v_i}{\frac{v_i}{R_1}} = R_1$$

Tổng trở ngõ ra:

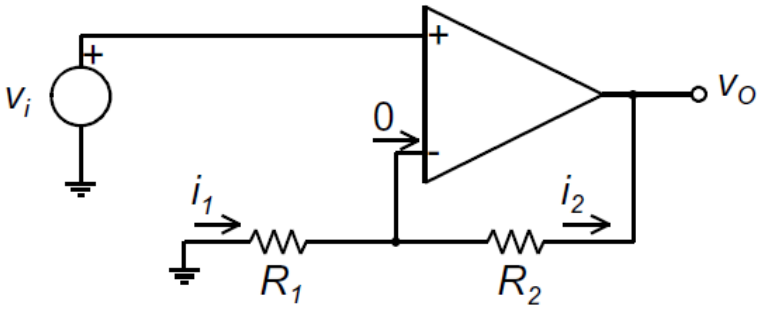
Tổng trở ngõ ra là tổng trở tương đương Thevenin được nhiền từ phía tải, ngược về ngõ ra của mạch.

Đối với Bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng, tổng trở tương đương của mạch bằng không:

$$R_o=0$$

Bộ khuếch đại thuật toán – Mạch khuếch đại không đảo

Nếu ta đổi chỗ giữa 2 mối nối v_i và đất trong mạch khuếch đại đảo, ta sẽ có mạch khuếch đại không đảo:



Độ lợi điện áp

Trong trường hợp này, nguyên lý vận hành của mạch và công thức phân chia điện áp sẽ dẫn đến:

$$V_I=V_+=V_-=R_1/(R_1+R_2)$$

Trong đó:

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

Tổng trở vào và tổng trở ra:

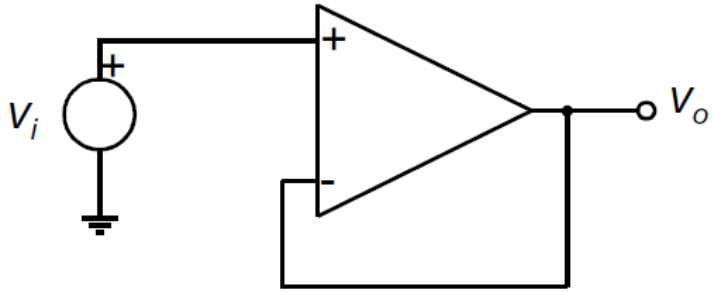
Nguồn tín hiệu được nối trực tiếp với đầu vào Bộ khuếch đại thuật toán, do đó:

$$R_{in} = R_i = \infty$$

Tải sẽ nhìn thấy tổng trở tương đương Thevenin giống như trường hợp mạch khuếch đại đảo:

$$R_o=0$$

Bộ khuếch đại thuật toán – Mạch theo điện áp



Độ lợi điện áp

Mạch này có thể tính dễ dàng:

$$V_i=V_+=V_-=V_o \text{ do đó } A_V=1$$

Nghĩa là điện thế ngõ ra sẽ theo điện thế ngõ vào.

Tổng trở vào và tổng trở ra

Khảo sát mạch này ta thấy tổng trở vào có trị số giống như mạch khuếch đại không đảo:

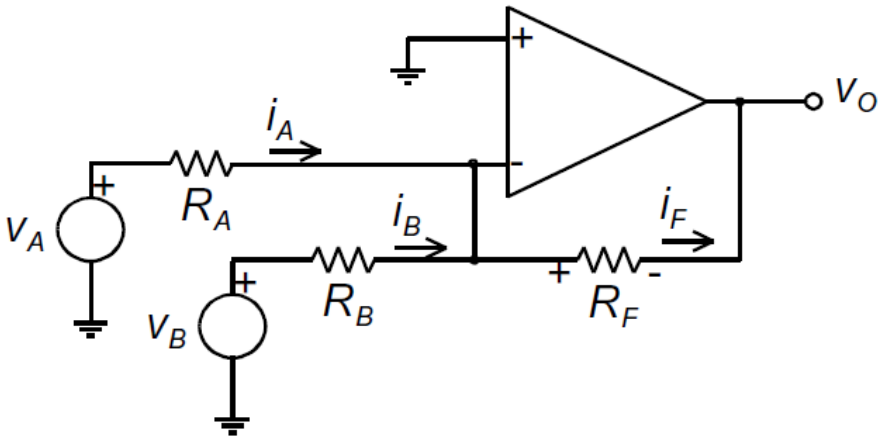
$$R_i=\infty \; R_o=0$$

Thực ra, mạch theo điện áp này chính là mạch khuếch đại không đảo, với

$$R_1=\infty \text{ và } R_2 = 0!!!$$

Bộ khuếch đại thuật toán – Mạch tổng đảo dấu

Đây là một biến thể của mạch khuếch đại đảo:



Độ lợi điện áp

Chúng ta có thể sử dụng phương pháp xếp chồng như đã dùng trong mạch khuếch đại đảo tiêu chuẩn, nhưng với mạch gồm 3 nguồn sẽ khó lý luận. Chúng ta sẽ lý luận bằng phương pháp sau để thay thế . . .

Nhắc lại: . . . v_O sẽ đạt trị số sao cho $v_- = v_+ = 0$ . . .

Như vậy điện áp rơi trên R_A là v_A và điện áp rơi trên R_B là v_B :

$$i_A = \frac{v_A}{R_A} \qquad \text{and} \qquad i_B = \frac{v_B}{R_B}$$

Vì dòng ngõ vào của Bộ khuếch đại thuật toán bằng 0:

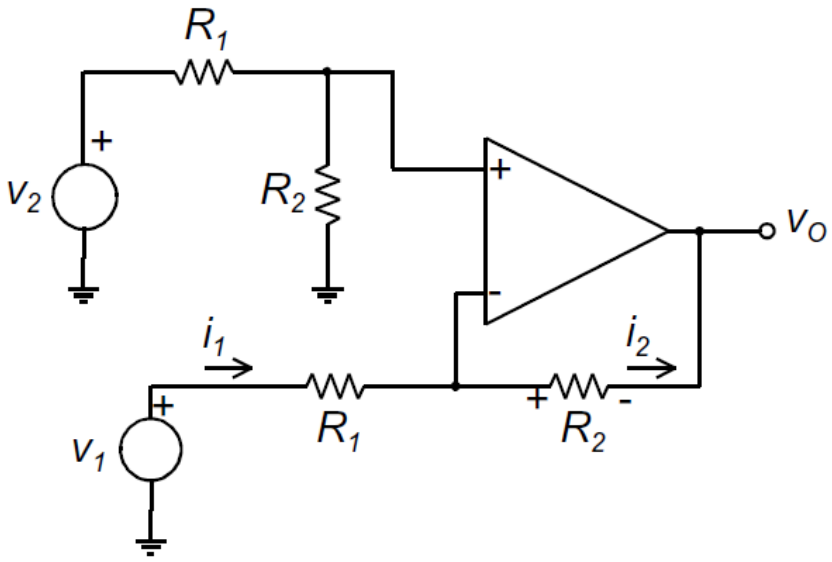
$$i_F = i_A + i_B \quad \text{and} \quad v_{R_F} = R_F\left(i_A + i_B\right) = R_F\left(\frac{v_A}{R_A} + \frac{v_B}{R_B}\right)$$

Cuối cùng điện áp tăng cho đến khi v_O bằng với điện áp rơi trên R_F:

$$v_O = -\left(\frac{R_F}{R_A}v_A + \frac{R_F}{R_B}v_B\right)$$

Bộ khuếch đại thuật toán – Mạch khuếch đại vi sai

Bộ khuếch đại thuật toán có đầu vào vi sai, vì thế nên ta dễ dàng lắp một mạch khuếch đại vi sai bằng Khuếch đại thuật toán*!!!*



Độ lợi điện áp

Nhắc lại, v_O sẽ đạt được điện áp yêu cầu khi $v_+ = v_-$.
Thus:

$$v_+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_2 = v_-$$

Ta có thể thấy dòng điện i_1, phải bằng với dòng điện i_2:

$$i_1 = \frac{v_1 - v_-}{R_1} = \frac{v_1}{R_1} - \frac{R_2}{R_1(R_1 + R_2)} v_2 = i_2$$

Biết i_2, chúng ta có thể tính được điện áp rơi trên R_2. . .

$$v_{R_2} = i_2 R_2 = \frac{R_2}{R_1} v_1 - \frac{R_2 R_2}{R_1(R_1 + R_2)} v_2$$

Sau đó chúng ta cộng thành điện áp ở ngõ ra:

$$v_O = v_+ - v_{R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1 + \frac{R_2 R_2}{R_1 (R_1 + R_2)} v_2$$

Chúng ta chỉ tính riêng thành phần v_2 trong công thức trên . . .

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} v_2 + \frac{R_2 R_2}{R_1 (R_1 + R_2)} v_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 (R_1 + R_2)} v_2 + \frac{R_2 R_2}{R_1 (R_1 + R_2)} v_2$$

$$= \frac{R_1 R_2 + R_2 R_2}{R_1 (R_1 + R_2)} v_2 = \frac{R_2 (R_1 + R_2)}{R_1 (R_1 + R_2)} v_2 = \frac{R_2}{R_1} v_2$$

Và cuối cùng quay trở lại công thức cuối của trang trước:

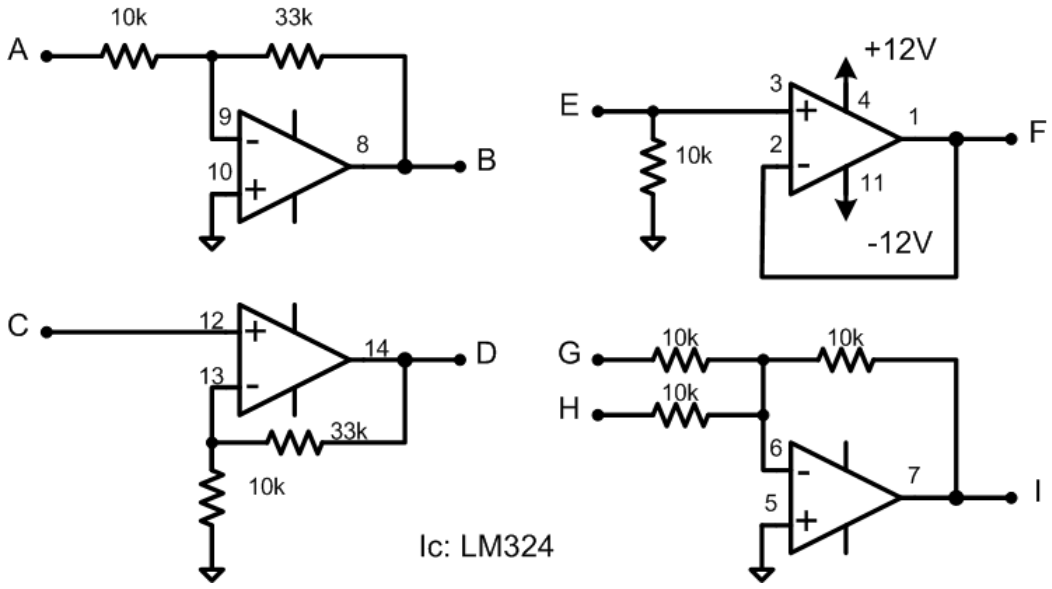
$$v_O = -\frac{R_2}{R_1} v_1 + \frac{R_2}{R_1} v_2 = \frac{R_2}{R_1} (v_2 - v_1)$$

Như vậy với điều kiện chúng ta có các điện trở tương ứng với nhau, và với Bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng, chúng ta thực sự có được mạch khuếch đại vi sai.

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

Bài tập thực hành:

Lắp ráp mạch điện dưới đây:



1. Mạch 1
   - Đặt tín hiệu 1VDC vào điểm A.
   - Đo tín hiệu DC ra ở điểm B.

   - Cho tín hiệu 400Hz, 1VAC vào điểm A.
   - Đo tín hiệu DC và AC ra ở điểm B.
   - Dùng oscilloscope quan sát dạng sóng và so pha 2 tín hiệu giữa A và B.

2. Mạch 2
   - Đặt tín hiệu 1VDC vào điểm C.
   - Đo tín hiệu DC ra ở điểm D.

   - Cho tín hiệu 400Hz, 1VAC vào điểm C.
   - Đo tín hiệu DC và AC ra ở điểm D.
   - Dùng oscilloscope quan sát dạng sóng và so pha 2 tín hiệu giữa C và D.

3. Mạch 3
   - Đặt tín hiệu 1VDC vào điểm E.
   - Đo tín hiệu DC ra ở điểm F.

   - Cho tín hiệu 400Hz, 1VAC vào điểm E.
   - Đo tín hiệu DC và AC ra ở điểm F.
   - Dùng oscilloscope quan sát dạng sóng và so pha 2 tín hiệu giữa E và F.

4. Mạch 4
   - Đặt tín hiệu 1VDC vào điểm G, điểm H bỏ trống.
   - Đo tín hiệu DC ra ở điểm I.

   - Đặt tín hiệu 1VDC vào điểm H, điểm G bỏ trống.
   - Đo tín hiệu DC ra ở điểm I.

   - Đặt tín hiệu 1VDC vào điểm G, 2VDC vào điểm H.
   - Đo tín hiệu DC ra ở điểm I.

   - Đặt tín hiệu 1VDC vào điểm G, -2VDC vào điểm H.
   - Đo tín hiệu DC ra ở điểm I.

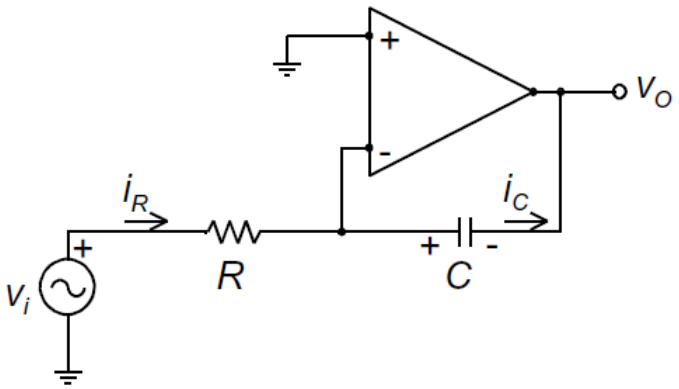
   - Cho tín hiệu 400Hz, 1VAC vào điểm H, 1 VDC vào điểm G.
   - Đo tín hiệu DC và AC ra ở điểm I.
   - Dùng oscilloscope quan sát dạng sóng và so pha 2 tín hiệu giữa G và I.

   - Cho tín hiệu 400Hz, 1VAC vào điểm H, 500Hz, 1 VAC vào điểm G.
   - Đo tín hiệu DC và AC ra ở điểm I.
   - Dùng oscilloscope quan sát dạng sóng và so pha 2 tín hiệu giữa G và I, giữa H và I.

Bộ khuếch đại thuật toán – Mạch tích phân và mạch vi phân

Các Bộ khuếch đại thuật toán không bị giới hạn trong những linh kiện thuần trở!!!

Mạch tích phân



Dựa theo nguyên lý và kinh nghiệm của những mạch trước, ta biết $v_- = 0$ và $i_R = i_C$, do đó . . .

$$i_R = \frac{v_i}{R} = i_C$$

Từ mối quan hệ *i-v* của tụ điện mà ta đã biết:

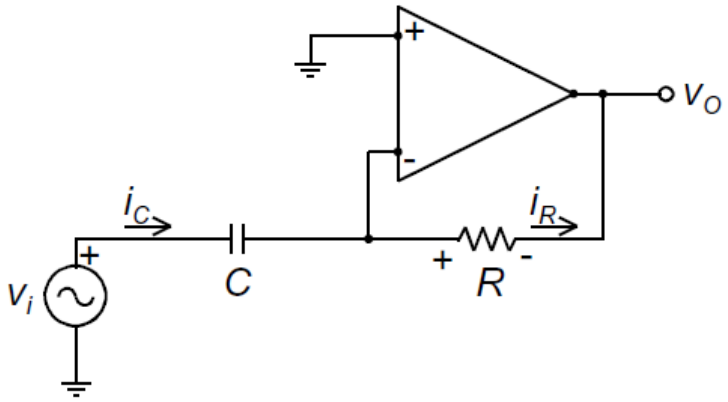
$$v_C = \frac{1}{C}\int_{-\infty}^{t} i_C dt = \frac{1}{C}\int_{0}^{t} i_C dt + v_C(0)$$

Kết hợp 2 công thức trên và giả định rằng $v_O = - v_C$:

$$v_O = -\frac{1}{C}\int_{0}^{t} \frac{v_i}{R} dt + v_C(0) = -\frac{1}{RC}\int_{0}^{t} v_i dt + v_C(0)$$

Thông thường $v_C(0) = 0$ (nhưng không phải luôn luôn). Như vậy điện áp ngõ ra sẽ là tích phân của điện áp ngõ vào v_i, đảo dấu và tỉ lệ với $1/RC$.

Mạch vi phân



Phân tích mạch vi phân này cũng tương tự như trước.
Từ quy luật và kinh nghiệm trước, ta biết $v_- = 0$ và $i_C = i_R$ . . .

Từ mối quan hệ *i-v* của tụ điện:

$$i_C = C\frac{dv_C}{dt} = C\frac{dv_i}{dt} = i_R$$

Ta tính được $v_O = -v_R$:

$$v_O = -v_R = -i_R R = -RC\frac{dv_i}{dt}$$

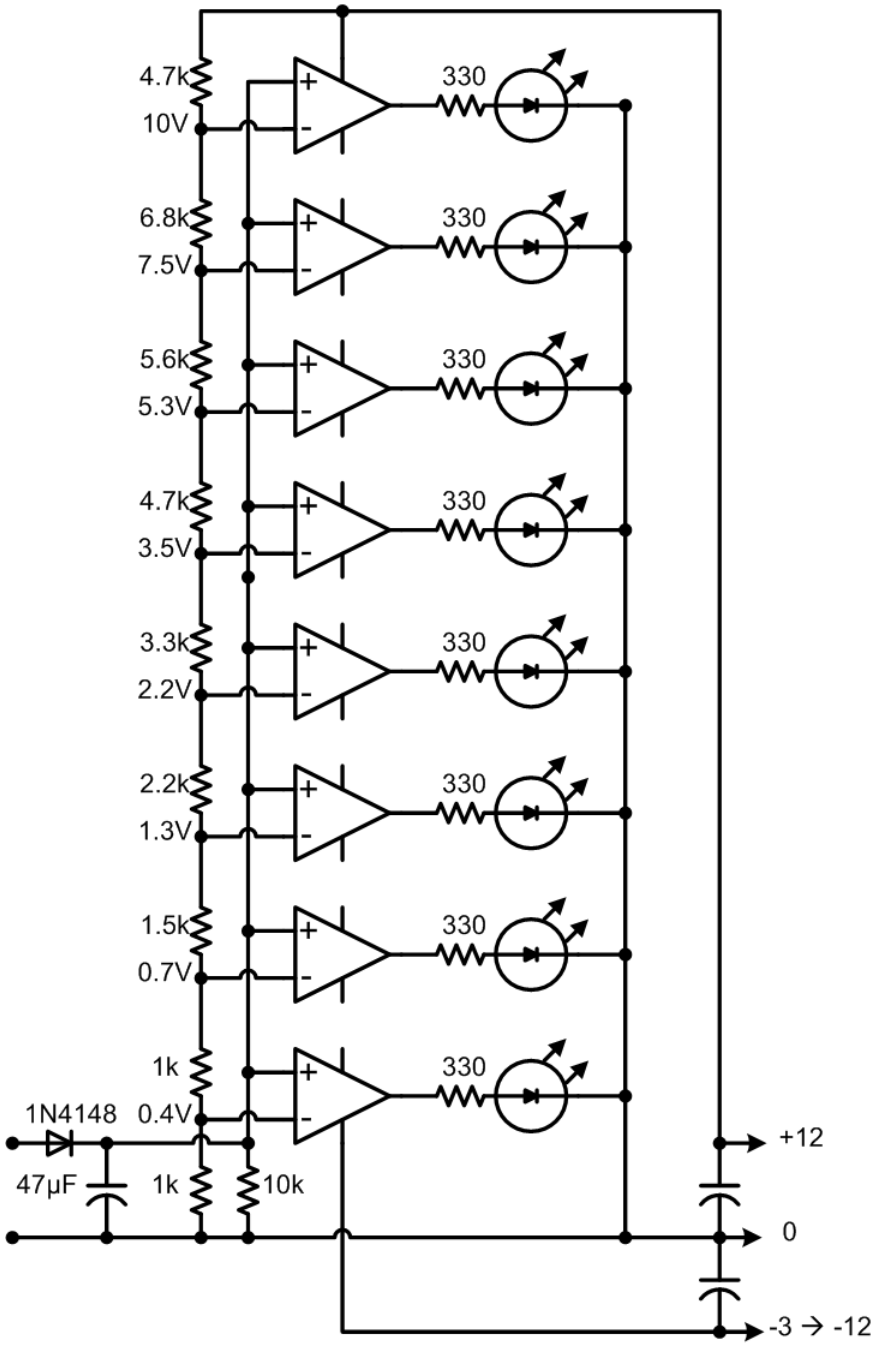
Bộ khuếch đại thuật toán – các so sánh và mạch đa hài

Các Bộ khuếch đại thuật toán ngoài việc khuếch đại ra còn có thể sử dụng như các so sánh và mạch đa hài!!!

Mạch so sánh một ngưỡng

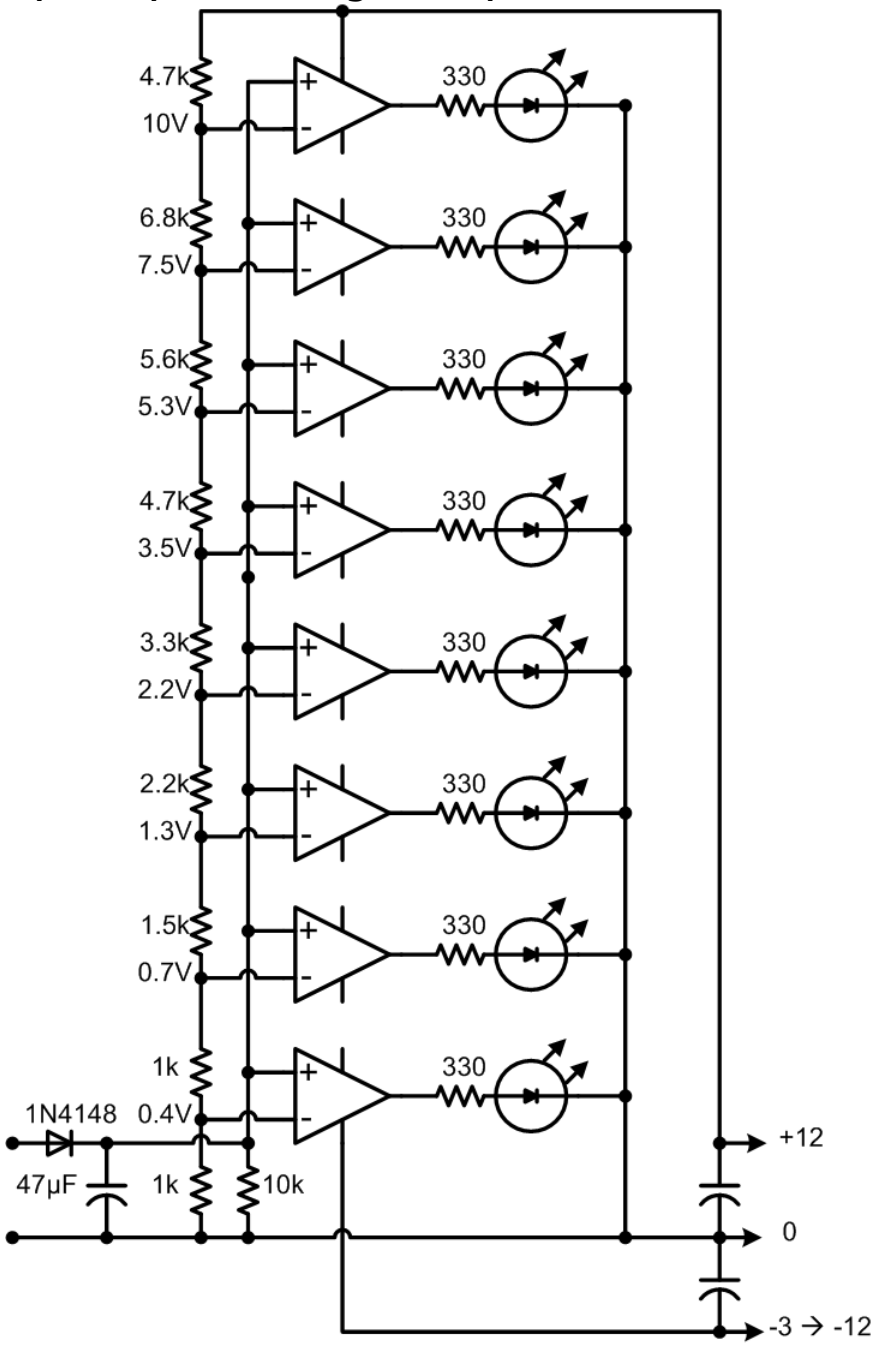
Khi không sử dụng hồi tiếp âm, bộ khuếch đại thuật toán sẽ có độ lợi vô cùng lớn. Do đó người ta sử dụng chúng như những mạch so sánh rất tốt . . .

Thí dụ: mạch đo lường tín hiệu âm thanh (VU metter):


4.7k
10V
330
6.8k
7.5V
330
5.6k
5.3V
330
4.7k
3.5V
330
3.3k
2.2V
330
2.2k
1.3V
330
1.5k
0.7V
330
1k
0.4V
330
1N4148
47µF
1k
10k
+12
0
-3 → -12

Bài tập thực hành:

Lắp ráp mạch điện đo lường tín hiệu âm thanh dưới đây:



Cho tín hiệu 400 Hz, 0.5 VAC vào đầu vào của mạch.

Theo dõi các đèn LED.

Đo điện áp các đầu vào và đầu ra.

Tăng dần tín hiệu lên 10V.

Theo dõi các đèn LED.

Ghi nhận các thông số điện áp vào mỗi khi có 1 LED đổi trạng thái.

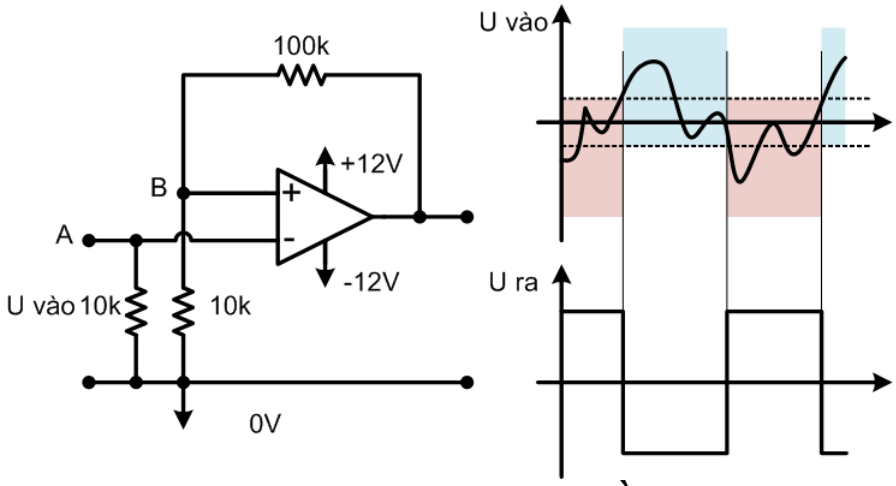
Bộ khuếch đại thuật toán – các so sánh và mạch đa hài

Mạch so sánh hai ngưỡng

Mạch so sánh hai ngưỡng còn gọi là Schmitt Triger, sử dụng hồi tiếp dương điện áp, tạo cho bộ khuếch đại thyuật toán chuyển mạch nhanh hơn.

Nhờ có 2 ngưỡng cách nhau, nên ngõ ra bộ so sánh không bị dao động khi tín hiệu vào thay đổi trong phạm vi nhỏ xung quanh giá trị cần so.

Mạch này còn dùng để biến dạng sóng bất kỳ thành sóng chữ nhật. . .



Giả sử khi ngõ ra đang là cao (+12V). Cầu phân áp sẽ làm cho điểm B có điện áp là +1,1V. Khi điện áp ngõ vào điểm A còn thấp hơn +1,1V thì ngõ ra tiếp tục cao.

Khi điện áp ngõ vào vượt lên trên +1,1V, bộ khuếch đại thuật toán sẽ chuyển mạch. Ngõ ra xuống thấp -12V.

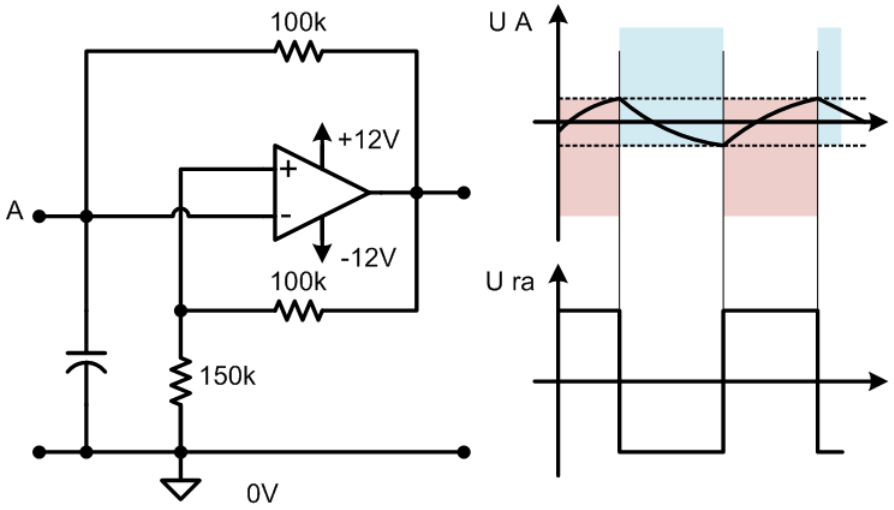
Khi ngõ ra thấp, cầu phân áp làm cho điểm B có điện áp -1.1V. Khi điện áp ngõ vào điểm A có giảm xuống nhưng còn cao hơn -1,1V thì ngõ ra tiếp tục thấp.

Khi điện áp ngõ vào giảm xuống thấp hơn -1,1V, bộ khuếch đại thuật toán sẽ chuyển mạch. Ngõ ra lên cao +12V.

Bộ khuếch đại thuật toán – các so sánh và mạch đa hài

Mạch dao động đa hài.

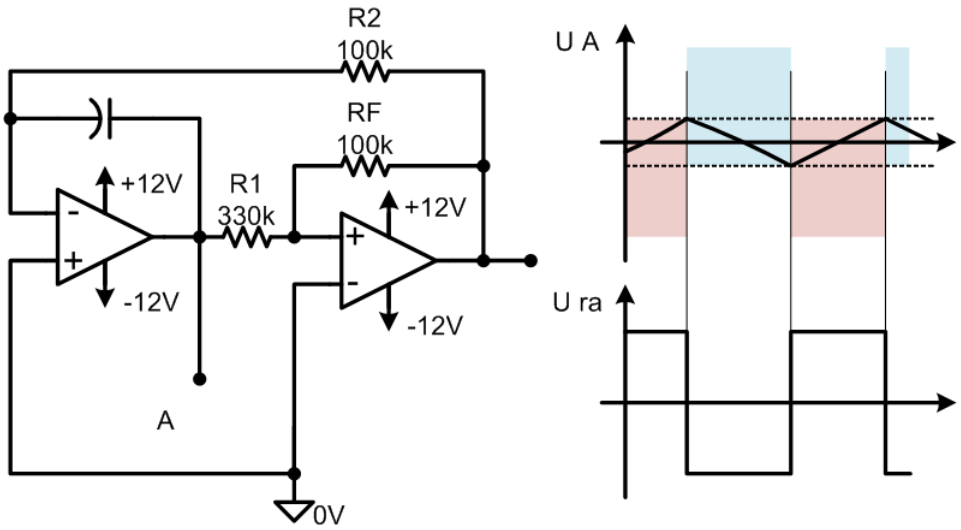
Mạch Khuếch đại thuật toán khi kết hợp giữa mạch hồi tiếp dương tuyến tính và hồi tiếp âm tích phân, sẽ thành một mạch dao động đa hài. . .



- Giả sử điện áp ngõ vào đảo đang thấp hơn ngõ vào không đảo. Ngõ ra của mạch sẽ lên cao. Điện áp cao này sẽ chia làm 2 nhánh. Một nhánh đưa về ngõ vào không đảo, làm cho ngõ vào không đảo có một điện áp dương (tạm gọi là điện áp ngưỡng 1). Một nhánh đưa về hồi tiếp âm qua mạch tích phân RC làm cho điện áp trên tụ (ngõ vào đảo) tăng lên. Khi điện áp tại ngõ vào đảo tăng lên đến điện áp ngưỡng 1, thì ngõ ra sẽ xuống thấp.
- Khi ngõ ra của mạch xuống thấp, điện áp thấp này cũng chia làm 2 nhánh. Một nhánh đưa về ngõ vào không đảo, làm cho ngõ vào không đảo có một điện áp âm (tạm gọi là điện áp ngưỡng 2). Một nhánh đưa về hồi tiếp âm qua mạch tích phân RC làm cho điện áp trên tụ (ngõ vào đảo) giảm xuống. Khi điện áp tại ngõ vào đảo giảm xuống đến thấp hơn điện áp ngưỡng 2, thì ngõ ra sẽ lên cao.

Bộ khuếch đại thuật toán – các so sánh và mạch đa hài

Mạch tạo xung vuông – tam giác.



Mạch này tạo xung tam giác và xung vuông. Mạch khuếch đại thuật toán giữ vai trò của một mạch tích phân. Khi ra của mạch so sánh thấp, mạch tích phân này sẽ nạp điện vào tụ C cho đến khi điện thế ngõ ra của nó đạt đến điện áp ngưỡng, sao cho điện áp ở đầu phân áp R1, RF cao hơn so với masse.
Khi đó, điện áp ra của bộ so sánh sẽ chuyển lên mức cao. Mạch tích phân sẽ xả tụ và nạp theo chiều ngược lại.
Điện áp đỉnh ngõ ra của mạch tích phân được tính theo công thức:

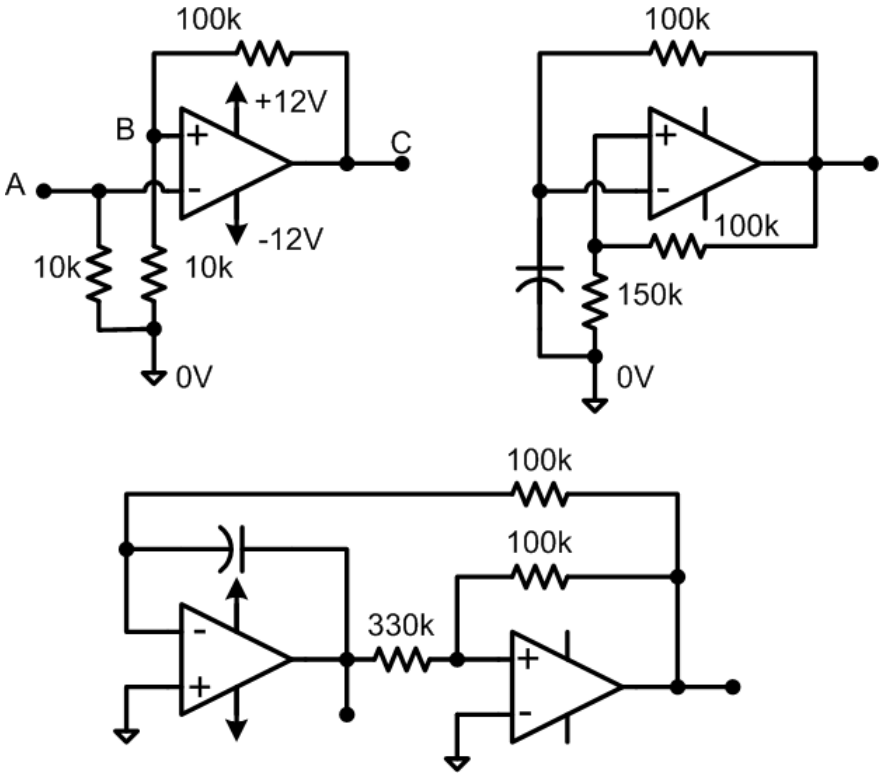
$$Vout = \pm Vcc \frac{R1}{RF}$$

Và tần số được tính theo công thức:

$$f = \frac{RF}{4CR1R2}$$

Bài tập thực hành:

Lắp ráp mạch điện dưới đây:



Mạch 1

- Đặt tín hiệu 0,5VDC vào điểm A.
- Đo tín hiệu DC ra ở điểm C và điện thế so sánh ở điểm B lần 1.
- Thay đổi điện thế ở A đến khi điện thế ở C thay đổi.
- Ghi nhận điện thế ngưỡng 1. So sánh điện thế ngưỡng 1 với điện thế điểm B đã đo lần 1.
- Đo điện thế ở điểm B lần 2.
- Giảm tín hiệu điện thế về 0, và giảm tiếp theo hướng âm cho đến khi điện thế ở B thay đổi.
- Ghi nhận điện thế ngưỡng 2. So sánh điện thế ngưỡng 2 với điện thế điểm B đã đo lần 2.

Mạch 2 và 3

- Dùng Ocillo scope xem dạng sóng tại các điểm đo.

Nguồn: PQT