

CHƯƠNG III:

KHUẾCH ĐẠI THUẬT TOÁN

I. CÁC TÍNH CHẤT VÀ THAM SỐ CƠ BẢN.

1. Các tính chất cơ bản.

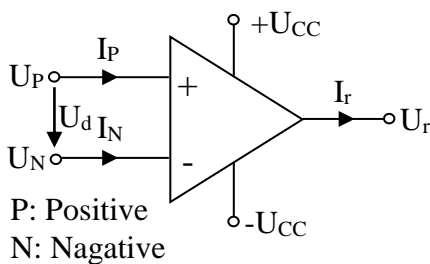
Khuếch đại thuật toán OA: Operational Amplifier.

Giữa bộ khuếch đại thuật toán và các bộ khuếch đại thông thường về cơ bản không có sự khác nhau. Cả hai loại này đều được dùng để khuếch đại điện áp, dòng điện và công suất.

Trong khi tính chất của bộ khuếch đại thông thường phụ thuộc vào kết cấu bên trong của mạch thì tác dụng của bộ khuếch đại thuật toán có thể thay đổi được và chỉ phụ thuộc vào các linh kiện mắc ở mạch ngoài.

Để thực hiện được điều đó, bộ khuếch đại thuật toán phải có hệ số khuếch đại rất lớn, trở kháng vào rất lớn và trở kháng ra rất nhỏ.

Bộ khuếch đại thuật toán được biểu diễn:



U_P, I_P : Điện áp vào và dòng điện vào cửa không đảo.

U_N, I_N : Điện áp vào và dòng điện vào cửa đảo.

U_r, I_r : Điện áp ra và dòng điện ra.

U_d : Điện áp vào hiệu: $U_d = U_P - U_N$

Bộ khuếch đại thuật toán có hệ số khuếch đại: $K_0 > 0$.

Do đó, điện áp ra:

$$U_r = K_0 U_d = K_0 (U_P - U_N)$$

- Nếu $U_N = 0$ thì $U_r = K_0 U_P$: Điện áp ra U_r đồng pha với điện áp vào U_P . Vì vậy, người ta gọi cửa P là cửa vào không đảo, hoặc cửa vào thuận của bộ khuếch đại thuật toán và ký hiệu “+”.
- Nếu $U_P = 0$ thì $U_r = -K_0 U_N$: Điện áp ra U_r ngược pha với điện áp vào U_N . Vì vậy, người ta gọi cửa N là cửa vào đảo của bộ khuếch đại thuật toán và ký hiệu “-”.

Ngoài ra, bộ khuếch đại thuật toán còn có 2 cửa để đấu với một nguồn cung cấp đối xứng $\pm U_{CC}$.

Một bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng, có những tính chất sau:

- + Trở kháng vào $Z_v = \infty$.
- + Trở kháng ra $Z_r = 0$.
- + Hệ số khuếch đại $K_0 = \infty$.

Như vậy, bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng sẽ có:
$$\begin{cases} U_P = U_N \\ I_P = I_N = 0 \end{cases}$$

Trong thực tế, không có bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng, để đánh giá bộ khuếch đại thuật toán thực so với bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng, người ta căn cứ vào các tham số của nó.

2. Các tham số cơ bản.

2.1. Hệ số khuếch đại đồng pha.

Nếu đặt vào cửa thuận và cửa đảo của bộ khuếch đại thuật toán các điện áp bằng nhau:

$$U_p = U_N = U_{cm} \neq 0 \Rightarrow U_d = 0$$

Gọi U_{cm} là điện áp vào đồng pha.

Ta có: $U_r = 0$.

Tuy nhiên trong thực tế: $U_r \neq 0$.

Quan hệ của điện áp ra với điện áp vào đồng pha:

$$K_{cm} = \frac{\Delta U_r}{\Delta U_{cm}} \quad K_{cm}: \text{ gọi là hệ số khuếch đại đồng pha.}$$

2.2. Hệ số nén đồng pha.

Để đánh giá khả năng làm việc của bộ khuếch đại thực so với bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng, người ta dùng hệ số nén đồng pha CMRR (Common Mode Rejection Ratio), được xác định:

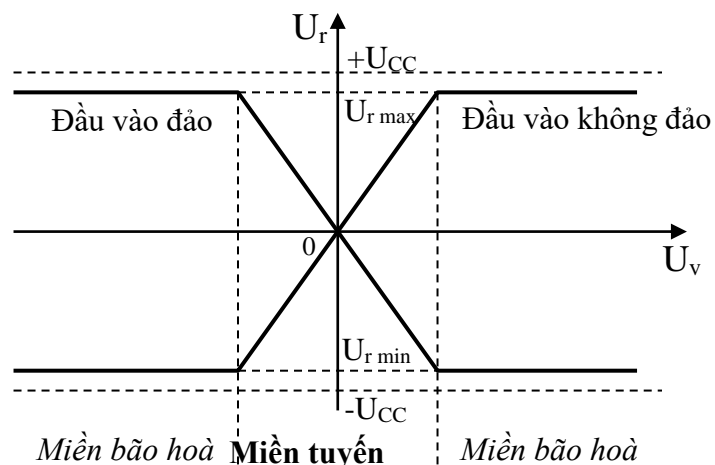
$$CMRR = \frac{K_0}{K_{cm}}$$

Giá trị CMRR càng lớn thì OA càng gần với OA lý tưởng.

Thông thường: $CMRR = 10^3 \div 10^5$.

2.3. Đặc tuyến truyền đạt.

Đặc tuyến quan trọng nhất của OA là đặc tuyến truyền đạt.



Theo đặc tuyến này, U_r tỷ lệ với U_v trong dải điện áp ($U_{r\min} \div U_{r\max}$) nào đó. Dải điện áp này gọi là dải biến đổi điện áp ra của OA (hay miền tuyến tính).

Ngoài dải này, điện áp ra không thay đổi và được xác định bằng các giá trị $U_{r\min}$, $U_{r\max}$ gọi là điện áp bão hoà, giá trị điện áp này không phụ thuộc vào điện áp vào và gần bằng trị số nguồn cung cấp.

2.4. Điện trở vào hiệu, điện trở vào đồng pha và điện trở ra.

- Điện trở vào hiệu r_d :

$$r_d = \begin{cases} \frac{\Delta U_P}{\Delta I_P} & \text{khi } U_N = 0 \\ \frac{\Delta U_N}{\Delta I_N} & \text{khi } U_P = 0 \end{cases}$$

- Điện trở vào đồng pha r_{cm} :

$$r_{cm} = \frac{\Delta U_P}{\Delta I_P} = \frac{\Delta U_N}{\Delta I_N} \quad \text{khi } U_P = U_N = U_{cm}$$

- Điện trở ra r_r của bộ khuếch đại thuật toán: Đánh giá khả năng sự biến thiên của điện áp ra theo tải:

$$r_r = \frac{\Delta U_r}{\Delta I_r}$$

2.5. Dòng vào tĩnh, điện áp vào lệch không.

- Dòng vào tĩnh: là trị trung bình của dòng vào cửa thuận và dòng vào cửa đảo.

$$I_t = \frac{I_P + I_N}{2} \quad \text{với: } U_P = U_N = 0$$

- Dòng vào lệch không: là hiệu các dòng vào ở hai cửa của bộ khuếch đại thuật toán.

$$I_0 = I_P - I_N \quad \text{với: } U_P = U_N = 0$$

$$\text{Thông thường: } I_0 \approx 0,1I_t$$

Dòng vào lệch không phụ thuộc nhiệt độ, do đó khi nhiệt độ thay đổi, trị số của dòng lệch không thay đổi theo.

- Điện áp vào lệch không U_0 : là hiệu điện áp cần phải đặt giữa hai đầu vào của bộ khuếch đại thuật toán để cho $U_r = 0$.

$$U_0 = U_P - U_N \quad \text{khi } U_r = 0.$$

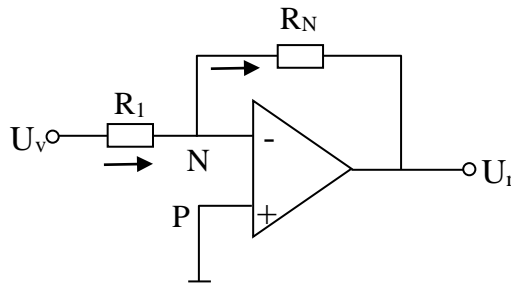
Điện áp vào lệch không cũng phụ thuộc nhiệt độ.

II. CÁC SƠ ĐỒ KHUẾCH ĐẠI CƠ BẢN.

Khi dùng bộ khuếch đại thuật toán, người ta dùng hồi tiếp âm mà không dùng hồi tiếp dương, vì hồi tiếp dương làm cho bộ khuếch đại làm việc ở trạng thái bão hoà là trạng thái chỉ dùng ở chế độ khoá. Do đó, chỉ cần đưa vào một điện áp hiệu có trị số rất nhỏ mạch đã có thể chuyển sang làm việc ở trạng thái bão hoà. Mạch hồi tiếp âm sẽ làm giảm điện áp ra sao cho điện áp hiệu đầu vào $U_d \approx 0$.

1. Mạch khuếch đại đảo.

Sơ đồ mạch:



Ta xét 2 trường hợp:

- Trường hợp lý tưởng: $K_0 \approx \infty$, $r_d \approx \infty$.

$$\text{OA lý tưởng: } \begin{cases} U_P = U_N \\ I_P = I_N = 0 \end{cases}$$

Tại nút N:

$$\frac{U_v - U_N}{R_1} = \frac{U_N - U_r}{R_N}$$

$$\text{Mà: } U_P = 0 \Rightarrow U_N = 0$$

Vậy, điện áp ra:

$$U_r = -\frac{R_N}{R_1} U_v$$

Do có hồi tiếp âm nên trong quá trình làm việc của bộ khuếch đại, điện áp ra U_r sẽ biến thiên sao cho $U_N = 0$. Vì thế cửa N trong sơ đồ này còn được gọi là điểm đất ảo.

Hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại khi có hồi tiếp âm:

$$K' = \frac{R_{ht}}{R_1} < K_0$$

Chứng tỏ, hệ số khuếch đại của hệ thống giảm khi có hồi tiếp âm và chỉ phụ thuộc vào linh kiện mạch ngoài.

- Trường hợp: K_0 hữu hạn, $r_d \approx \infty$.

Ta có:

$$U_r = K_0(U_P - U_N) = -K_0 U_N$$

$$\Rightarrow U_N = -\frac{U_r}{K_0}$$

Do $r_d \approx \infty$ nên $I_N = 0$.

Tại nút N:

$$\frac{U_v - U_N}{R_1} = \frac{U_N - U_r}{R_N}$$

$$\Rightarrow \frac{U_v + \frac{U_r}{K_0}}{R_1} = \frac{-\frac{U_r}{K_0} - U_r}{R_N}$$

$$\Rightarrow \frac{K_0 U_v + U_r}{R_1} = -\frac{(1 + K_0)U_r}{R_N}$$

$$\Rightarrow U_r = -\frac{K_0}{1 + \frac{R_1}{R_N}(1 + K_0)} U_v$$

2. Mạch khuếch đại không đảo.

Sơ đồ mạch:

Bộ khuếch đại không đảo có mạch hồi tiếp âm điện áp đặt vào đầu vào đảo, còn tín hiệu đặt vào đầu vào không đảo.

- Trường hợp lý tưởng: $K_0 \approx \infty$, $r_d \approx \infty$.

$$\text{OA lý tưởng: } \begin{cases} U_P = U_N \\ I_P = I_N = 0 \end{cases}$$

Tại nút N:

$$\frac{U_r - U_N}{R_N} = \frac{U_N}{R_1} \Rightarrow U_r = \left(1 + \frac{R_N}{R_1}\right) U_N$$

$$\text{Mà: } U_P = U_v \Rightarrow U_N = U_v$$

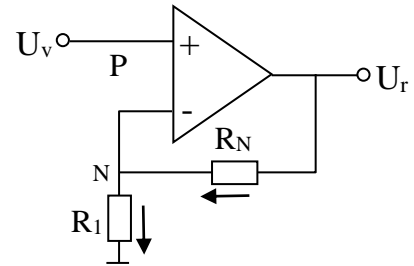
Vậy, điện áp ra:

$$U_r = \left(1 + \frac{R_N}{R_1}\right) U_v$$

Vậy hệ số khuếch đại của mạch:

$$K' = 1 + \frac{R_{ht}}{R_1}$$

Trở kháng vào của bộ khuếch đại: $Z_v = r_d \approx \infty$. Vì điện áp U_v được đặt trực tiếp vào cửa thuận.



Đây là một đặc điểm rất quan trọng của sơ đồ khuếch đại không đảo. Nó được sử dụng trong các bộ khuếch đại yêu cầu trở kháng vào lớn.

- Trường hợp: K_0 hữu hạn, $r_d \approx \infty$.

Do $r_d \approx \infty \Rightarrow I_N = 0$

Tại nút N:

$$\frac{U_N - U_r}{R_N} = \frac{U_N}{R_1} \Rightarrow U_N = \frac{R_1}{R_1 + R_N} U_r$$

Do K_0 hữu hạn nên:

$$U_d = U_P - U_N = U_v - U_N = \frac{U_r}{K_0}$$

$$\Rightarrow U_v - \frac{R_1}{R_1 + R_{ht}} U_r = \frac{U_r}{K_0}$$

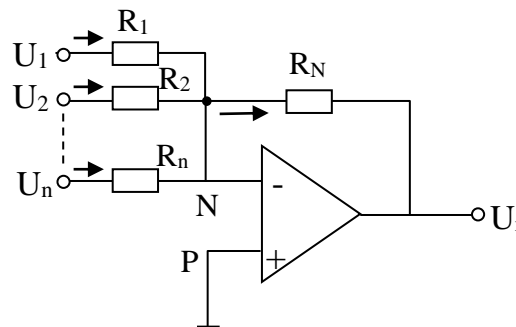
$$\Rightarrow U_r = \frac{1}{K_0 + \frac{R_1}{R_1 + R_{ht}}} U_v$$

Trong bộ khuếch đại thuận còn có điện áp vào đồng pha, vì lúc này $U_N = U_v \neq 0$. Do hệ số nén tín hiệu đồng pha trong bộ khuếch đại thực hữu hạn, nên trong mạch có thêm sai số do điện áp đồng pha gây nên.

3. Mạch cộng.

3.1. Mạch cộng đảo.

Sơ đồ mạch:



$$\text{OA lý tưởng: } \begin{cases} U_P = U_N \\ I_P = I_N = 0 \end{cases}$$

Tại nút N:

$$\frac{U_1 - U_N}{R_1} + \frac{U_2 - U_N}{R_2} + \dots + \frac{U_n - U_N}{R_n} = \frac{U_N - U_r}{R_N}$$

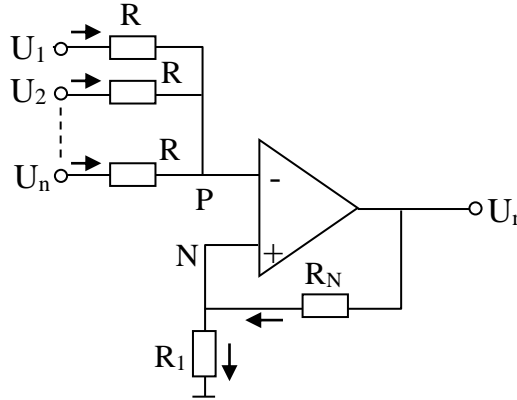
Mà: $U_P = 0 \Rightarrow U_N = 0$

Quan hệ giữa điện áp ra và điện áp vào:

$$U_r = - \left(\frac{R_N}{R_1} U_1 + \frac{R_N}{R_2} U_2 + \dots + \frac{R_N}{R_n} U_n \right)$$

3.2. Mạch cộng không đảo.

Sơ đồ mạch:



OA lý tưởng:
$$\begin{cases} U_P = U_N \\ I_P = I_N = 0 \end{cases}$$

Tại nút P:

$$\frac{U_1 - U_P}{R} + \frac{U_2 - U_P}{R} + \dots + \frac{U_n - U_P}{R} = 0$$

$$\Rightarrow U_P = \frac{1}{n} (U_1 + U_2 + \dots + U_n)$$

Tại nút N:

$$\frac{U_r - U_N}{R_N} = \frac{U_N}{R_1} \Rightarrow U_r = \left(1 + \frac{R_N}{R_1} \right) U_N$$

Mà: $U_P = U_N$

$$\Rightarrow U_r = \frac{1}{n} \left(1 + \frac{R_N}{R_1} \right) (U_1 + U_2 + \dots + U_n)$$

4. Mạch trừ.

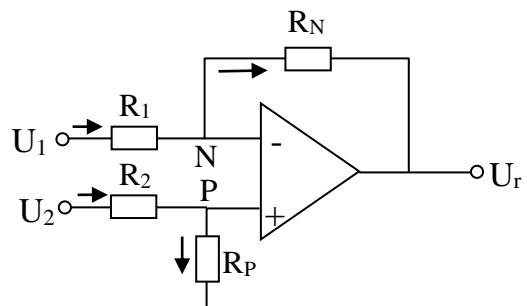
Sơ đồ mạch:

OA lý tưởng:
$$\begin{cases} U_P = U_N \\ I_P = I_N = 0 \end{cases}$$

Tại nút N:

$$\frac{U_1 - U_N}{R_1} = \frac{U_N - U_r}{R_N} \Rightarrow U_r = -\frac{R_N}{R_1} U_1 + \left(1 + \frac{R_N}{R_1} \right) U_N$$

Tại nút P:



$$\frac{U_2 - U_P}{R_2} = \frac{U_P}{R_P} \Rightarrow U_P = \frac{R_P}{R_2 + R_P} U_2$$

Mà: $U_P = U_N$

$$\Rightarrow U_r = -\frac{R_N}{R_1} U_1 + \left(1 + \frac{R_N}{R_1}\right) \frac{R_P}{R_2 + R_P} U_2$$

5. Mạch tích phân.

5.1. Mạch tích phân đảo.

Sơ đồ mạch:

$$\text{OA lý tưởng: } \begin{cases} u_P = u_N \\ i_P = i_N = 0 \end{cases}$$

Tại nút N:

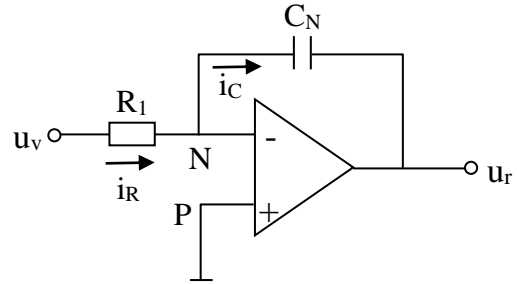
$$i_R = i_C \Rightarrow \frac{u_v - u_N}{R_1} = C_N \frac{d(u_N - u_r)}{dt}$$

$$\text{Mà: } u_P = 0 \Rightarrow u_N = 0 \Rightarrow \frac{u_v}{R_1} = -C_N \frac{du_r}{dt}$$

Vậy ta có:

$$u_r = -\frac{1}{R_1 C_N} \int u_v dt$$

Điện áp ra là tích phân điện áp vào.



5.2. Mạch tích phân tổng và hiệu.

a. Mạch tích phân tổng.

Sơ đồ mạch:

$$\text{OA lý tưởng: } \begin{cases} u_P = u_N \\ i_P = i_N = 0 \end{cases}$$

Ta có: $u_P = 0 \Rightarrow u_N = 0$

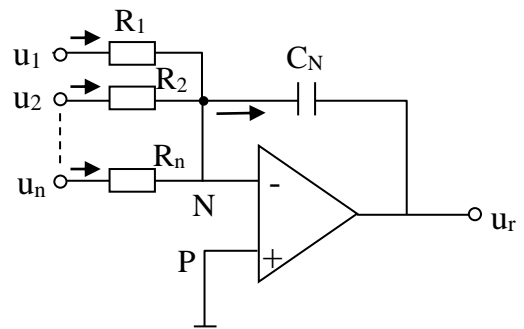
Tại nút N:

$$\frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} + \dots + \frac{u_n}{R_n} = -C_N \frac{du_r}{dt}$$

Vậy ta có:

$$u_r = -\frac{1}{C_N} \int \left(\frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} + \dots + \frac{u_n}{R_n} \right) dt$$

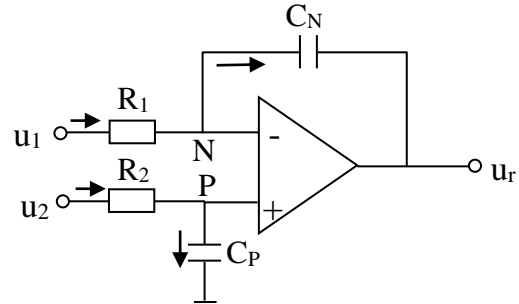
Điện áp ra là tổng tích phân của các điện áp vào.



b. Mạch tích phân hiệu.

Sơ đồ mạch:

OA lý tưởng: $\begin{cases} u_P = u_N \\ i_P = i_N = 0 \end{cases}$



Tại nút N:

$$\frac{u_1 - u_N}{R_1} = C_N \frac{d(u_N - u_r)}{dt} \Rightarrow C_N \frac{du_r}{dt} = -\frac{u_1}{R_1} + \frac{u_N}{R_1} + C_N \frac{du_N}{dt}$$

Tại nút P:

$$\frac{u_2 - u_P}{R_2} = C_P \frac{du_P}{dt} \Rightarrow \frac{u_2}{R_2} = \frac{u_P}{R_2} + C_P \frac{du_P}{dt}$$

Mà: $u_N = u_P$, $R_1 C_N = R_2 C_P = RC$ ta rút ra được:

$$u_r = \frac{1}{RC} \int (u_2 - u_1) dt$$

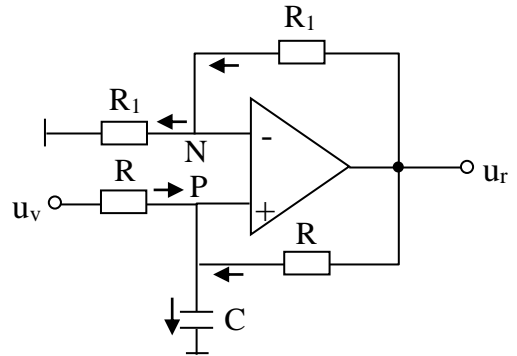
Điện áp ra là hiệu tích phân của các điện áp vào.

5.3. Mạch tích phân không đảo.

Sơ đồ mạch:

Đây thực chất là một mạch tích phân ghép với một bộ khuếch đại thuật toán làm nhiệm vụ đệm.

OA lý tưởng: $\begin{cases} u_P = u_N \\ i_P = i_N = 0 \end{cases}$



Tại nút N:

$$\frac{u_r - u_N}{R_1} = \frac{u_N}{R_1} \Rightarrow u_r = 2u_N$$

Tại nút P:

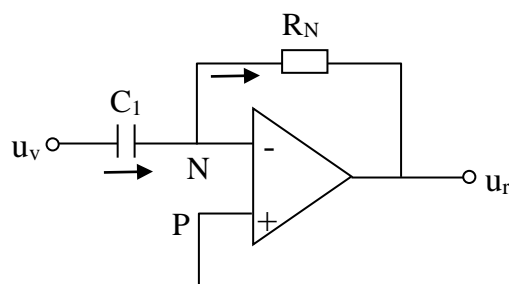
$$\frac{u_v - u_P}{R} + \frac{u_r - u_P}{R} = \frac{C du_P}{dt}$$

Mà: $u_P = u_N$ nên ta có:

$$u_r = \frac{2}{RC} \int u_v dt$$

6. Mạch vi phân.

Sơ đồ mạch:



OA lý tưởng: $\begin{cases} u_P = u_N \\ i_P = i_N = 0 \end{cases}$

Ta có: $u_P = 0 \Rightarrow u_N = 0$

Tại nút N:

$$C_1 \frac{d(u_v - u_N)}{dt} = \frac{u_N - u_r}{R_N} \Rightarrow C_1 \frac{du_v}{dt} = -\frac{u_r}{R_N}$$

Vậy ta có:

$$u_r = -R_N C_1 \frac{du_v}{dt} \quad \text{Điện áp ra là vi phân của điện áp vào.}$$

7. Mạch PI (*Proportional – Integrated*).

Trong kỹ thuật điều khiển hay dùng mạch PI. Mạch PI là mạch có điện áp ra:

$$u_r = Au_v + B \int u_v dt$$

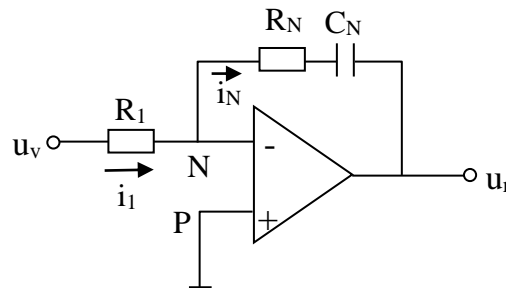
Sơ đồ mạch:

OA lý tưởng: $\begin{cases} u_P = u_N \\ i_P = i_N = 0 \end{cases}$

Ta có: $u_P = 0 \Rightarrow u_N = 0$

Tại nút N:

$$i_1 = i_N \Rightarrow \frac{u_v}{R_1} = i_N$$



Vậy điện áp ra:

$$-u_r = R_N i_N + \frac{1}{C_N} \int i_N dt = \frac{R_N}{R_1} u_v + \frac{1}{R_1 C_N} \int u_v dt$$

8. Mạch PID (*Proportional – Integrated – Differential*).

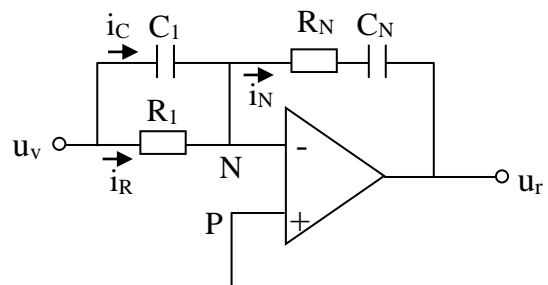
PID cũng là một mạch hay được dùng trong kỹ thuật điều khiển để mở rộng phạm vi tần số điều khiển của mạch và trong nhiều trường hợp tăng tính ổn định của hệ thống điều khiển trong một dải tần rộng.

Mạch PI là mạch có điện áp ra:

$$u_r = Au_v + B \int u_v dt + C \frac{du_v}{dt}$$

Sơ đồ mạch:

OA lý tưởng: $\begin{cases} u_P = u_N \\ i_P = i_N = 0 \end{cases}$



Ta có: $u_p = 0 \Rightarrow u_N = 0$

Tại nút N:

$$i_R + i_C = i_N \Rightarrow \frac{u_v}{R_1} + C_1 \frac{du_v}{dt} = i_N$$

Vậy điện áp ra:

$$-u_r = R_N i_N + \frac{1}{C_N} \int i_N dt = \left(\frac{R_N}{R_1} + \frac{C_1}{C_N} \right) u_v + \frac{1}{R_1 C_N} \int u_v dt + R_N C_1 \frac{du_v}{dt}$$

III. CÁC MẠCH KHUẾCH ĐẠI VÀ TẠO HÀM PHI TUYẾN.

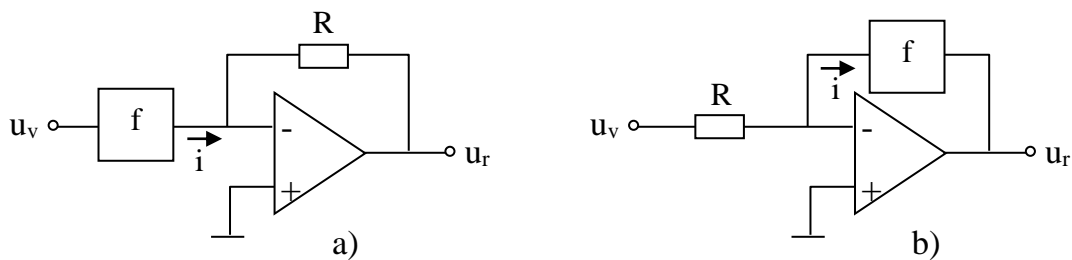
1. Khái niệm về mạch khuếch đại và tạo hàm phi tuyến.

Các mạch khuếch đại và tạo hàm phi tuyến dùng khuếch đại thuật toán là các mạch có trong vòng hồi tiếp các linh kiện thụ động hoặc tích cực có hàm truyền đạt phi tuyến.

Tùy thuộc vào đặc tính truyền đạt của mạch phi tuyến, chúng được phân thành hai loại:

- Các mạch phi tuyến liên tục: Là các mạch có hàm truyền đạt phi tuyến trơn và tồn tại đạo hàm tại mọi điểm trong khu vực làm việc.
- Các mạch phi tuyến không liên tục: Là các mạch mà hàm truyền đạt của chúng có chứa ít nhất một điểm gián đoạn.

Với một phần tử phi tuyến có hàm truyền đạt $y = f(x)$ có thể tạo được hàm ngược $x = f^{-1}(y)$ của nó bằng cách thay đổi vị trí của nó trong mạch hồi tiếp.



Trên hình a: Phần tử phi tuyến có hàm truyền đạt f , được mắc ở nhánh vào của mạch hồi tiếp. Theo quan hệ của phần tử phi tuyến đó, ta viết được:

$$i = f(u_v)$$

Theo các quan hệ trong bộ khuếch đại thuật toán ta có:

$$u_r = -Ri = -Rf(u_v)$$

Vậy giữa u_r và u_v quan hệ phụ thuộc phi tuyến f .

Trên hình b: Để thay đổi vị trí, mắc phần tử phi tuyến vào nhánh ra của mạch hồi tiếp. Lúc đó có quan hệ:

$$i = f(-u_r) = \frac{u_v}{R}$$

Do đó: $u_r = f^{-1}(-i) = f^{-1}(-u_v/R)$

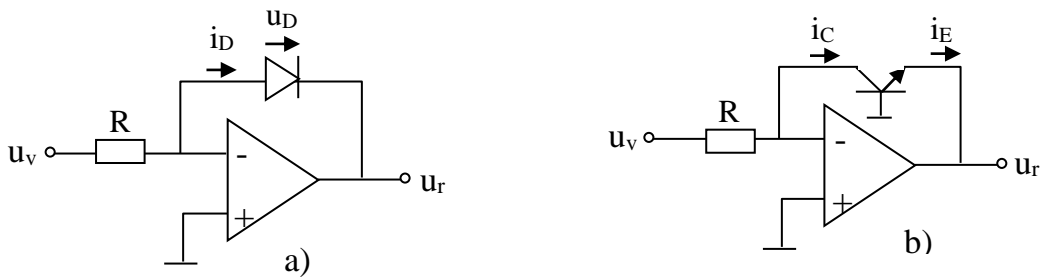
Giữa u_r và u_v có quan hệ phi tuyến ngược f^{-1} .

Khi phân tích phi tuyến ta lại giả thiết bộ khuếch đại thuật toán là lý tưởng, nghĩa là có thể áp dụng các quan hệ: $U_d = 0; I_P = I_N = 0$ mà sai số phạm phải có thể bỏ qua được.

2. Mạch khuếch đại loga và đối loga.

2.1. Mạch khuếch đại loga.

Để tạo mạch khuếch đại loga, mắc diode hoặc transistor vào mạch hồi tiếp của bộ khuếch đại thuật toán:



Mạch điện dùng diode (hình a) có thể làm việc tốt với dòng vào nằm trong khoảng nA đến mA. Nếu dùng transistor (hình b) thay cho diode thì có thể làm việc với dòng vào cỡ pA đến mA.

- Hình a:

Giữa dòng chạy qua diode và điện áp đặt lên diode có quan hệ:

$$i_D = I_0 \exp(u_D/U_T) \quad (3.1)$$

Trong đó:

i_D, u_D – lần lượt là dòng qua diode và điện áp đặt lên diode.

I_0 – dòng ban đầu, có trị số bằng dòng qua diode ứng với điện áp ngược cho phép.

U_T - điện áp nhiệt, ở nhiệt độ bình thường $U_T = 26$ mV.

Từ biểu thức (3.1) và sơ đồ hình a suy ra:

$$u_r \approx -u_D = -U_T \ln \frac{i_D}{I_0} = -U_T \ln \frac{u_v}{RI_0} \quad (3.2)$$

- Hình b:

Mạch chỉ làm việc với điện áp vào dương. Khi điện áp vào âm, transistor ngắt và mạch hồi tiếp không còn tác dụng nữa. Để đổi dấu điện áp vào có thể dùng loại transistor pnp thay cho loại npn trên hình b.

Ta biết rằng dòng colecto của transistor phụ thuộc vào điện áp bazo – emito theo quan hệ:

$$i_C = \alpha i_E = \alpha I_{Ebh} (e^{u_{BE}/U_T} - 1) \quad (3.3)$$

Trong đó: α là hệ số khuếch đại dòng điện khi mắc BC.

I_{Ebh} là dòng emito ở trạng thái bão hòa.

Khi $e^{U_{BE}/U_T} \gg 1$, ta có: $i_C = \alpha I_{Ebh} e^{u_{BE}/U_T}$

Với $u_r = -u_{BE}$ ta viết được:

$$i_C \approx \alpha I_{Ebh} e^{-u_r/U_T}$$

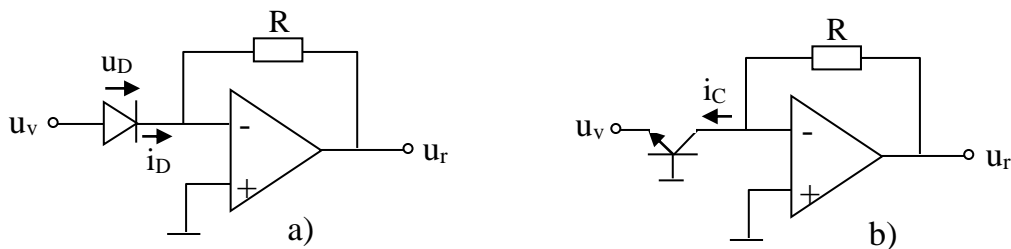
$$\Rightarrow u_r \approx -U_T \ln \frac{i_C}{\alpha I_{Ebh}} = -U_T \ln \frac{u_v}{\alpha I_{Ebh} R}$$

Dòng bão hòa emito I_{Ebh} và điện áp nhiệt U_T phụ thuộc nhiệt độ. Do đó, muốn mạch làm việc chính xác, cần phải thực hiện các biện pháp bù nhiệt.

2.2. Mạch khuếch đại đối loga.

Để tạo hàm đối loga, người ta mắc phần tử phi tuyến (diode, transistor) vào nhánh vào của bộ khuếch đại thuật toán.

Mạch nguyên lý:



- Hình a:

Áp dụng biểu thức (3.1) đối với dòng chạy qua diode, ta có:

$$u_r = -i_D R = -R I_0 e^{u_D/U_T}$$

Vì $u_D = u_v$ nên $u_r = -R I_0 e^{u_v/U_T}$

- Hình b:

Khi đặt lên đầu vào một điện áp âm, sẽ có dòng colecto i_C chạy qua transistor:

$$i_C = \alpha I_{Ebh} e^{u_{BE}/U_T} = \alpha I_{Ebh} e^{-u_v/U_T}$$

Do đó điện áp ra:

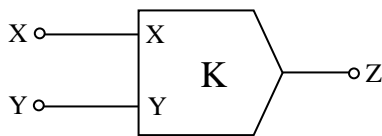
$$u_r = i_C R = R \alpha I_{Ebh} e^{-u_v/U_T}$$

Để ổn định nhiệt có thể dùng mạch khuếch đại đối loga có bù nhiệt.

3. Mạch nhân và mạch lũy thừa bậc hai.

3.1. Mạch nhân.

Sơ đồ quy ước:



Đó là một mạng bốn cực có hai đầu vào và có một đầu ra. Tín hiệu trên đầu ra của nó tỷ lệ với tích các tín hiệu đặt trên hai đầu vào:

$$Z = K \cdot X \cdot Y$$

Trong đó:

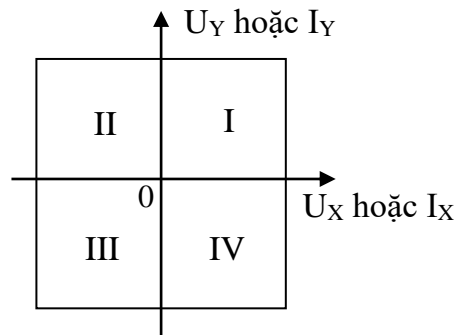
X, Y – Các tín hiệu vào.

Z – Tín hiệu ra.

K – Hệ số tỷ lệ, còn gọi là hệ số truyền đạt của mạch nhân. K được xác định ứng với một điện áp chuẩn nào đó.

Điện áp ra của bộ nhân lý tưởng bằng không khi một trong hai điện áp vào bằng không, nghĩa là bộ nhân lý tưởng không có tạp âm nội bộ và các tham số của nó không chịu ảnh hưởng của nhiệt độ.

Các bộ nhân thường được phân loại theo miền làm việc của nó trong hệ tọa độ đề-các:

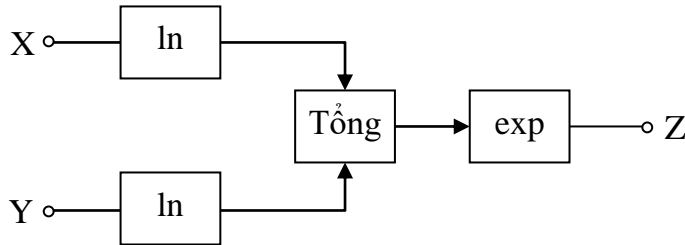


Theo cách phân loại này, có các bộ nhân sau:

- Bộ nhân làm việc trong cả bốn góc phần tư của hệ tọa độ, tức cả hai tín hiệu vào đều có thể lấy giá trị âm hoặc dương.
- Bộ nhân làm việc trong hai góc phần tư là bộ nhân mà một trong hai tín hiệu vào có thể lấy giá trị âm hoặc dương, tín hiệu còn lại là tín hiệu có một cực tính.
- Bộ nhân làm việc trong một góc phần tư, các tín hiệu vào chỉ có thể nhận một cực tính hoặc âm hoặc dương.

+ Mạch nhân được thực hiện bởi các mạch khuếch đại loga và đối loga:

Sơ đồ khối:



Gọi:

$$X = k_x U_x$$

$$Y = k_y U_y$$

$$Z = k_z U_z$$

Trong đó: k_x, k_y, k_z lần lượt là hệ số tỷ lệ của các điện áp vào U_x, U_y và điện áp ra U_z .

U_y và điện áp ra U_z .

Ta có:

$$U_z = \exp(\ln U_x + \ln U_y) \Rightarrow \frac{Z}{k_z} = \exp\left(\ln \frac{X}{k_x} + \ln \frac{Y}{k_y}\right) = \exp\left(\ln \frac{XY}{k_x k_y}\right)$$

$$\Rightarrow Z = \frac{k_z}{k_x k_y} XY$$

Mạch nhân loại này có sai số khoảng 0,25% ÷ 1% so với giá trị cực đại của tín hiệu vào. Mạch chỉ làm việc được với các tín hiệu vào $U_x, U_y > 0$.

3.2. Mạch lũy thừa bậc hai.

Đấu hai đầu vào của mạch nhân với nhau ta sẽ có mạch lũy thừa bậc 2.

Lúc này: $U_x = U_y$ nên:

$$U_z = K \cdot U_x^2$$

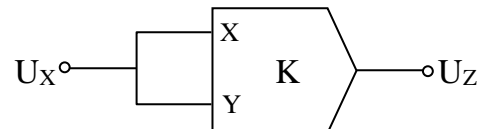
Giả sử điện áp vào có dạng hình sin:

$$U_x = U \cos \omega t$$

Điện áp ra:

$$U_r = (U \cos \omega t)^2 = \frac{U^2}{2} (1 + \cos 2\omega t)$$

Theo công thức trên có thể dùng mạch lũy thừa bậc 2 để nhân tần số.



4. Mạch chia và mạch khai căn.

4.1. Mạch chia.

Đối với mạch chia, người ta cũng phân biệt các loại mạch chia làm việc trong một góc phần tư, trong hai góc tư và trong bốn góc tư của hệ tọa độ đề các giống như các mạch nhân.

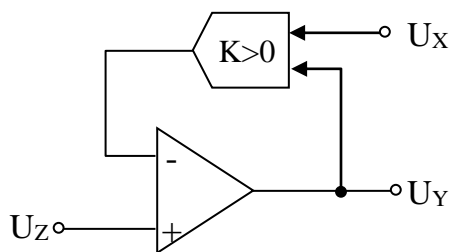
Khi tử số và mẫu số đều là tín hiệu đơn cực thì ta có mạch chia làm việc trong một góc phần tư. Thường mẫu số là một tín hiệu đơn cực, vì khi tín hiệu đổi dấu qua điểm không thì tín hiệu ra, về mặt lý thuyết lớn vô cùng. Do mạch không lý tưởng nên thực tế có $U_r \neq 0$, nghĩa là tại điểm này mạch có sai số lớn.

Xét về nguyên tắc làm việc, có thể phân biệt các loại mạch chia sau:

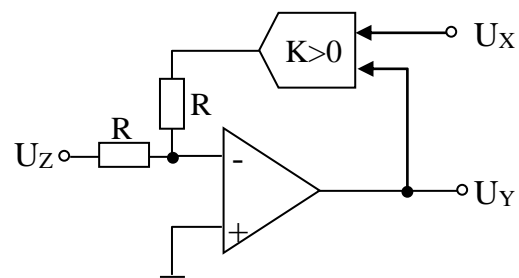
- *Mạch chia theo nguyên tắc nhân đảo:*

Mạch chia loại này được thực hiện bằng cách mắc trong mạch hồi tiếp của bộ khuếch đại thuật toán một mạch nhân theo nguyên tắc tạo hàm ngược.

Sơ đồ mạch:



Mạch chia thuận



Mạch chia đảo

+ Trong mạch chia thuận:

Điện áp vào cửa đảo của bộ khuếch đại thuật toán:

$$U_N = KU_x U_y$$

Điện áp vào cửa thuận: $U_P = U_z$

Do đó điện áp ra:

$$U_r = U_y = \frac{U_z}{KU_x}$$

+ Trong mạch chia đảo:

Điện áp vào cửa thuận $U_P = 0$ và điện áp vào cửa đảo:

$$U_N = \frac{U_z}{2} + \frac{KU_x U_y}{2}$$

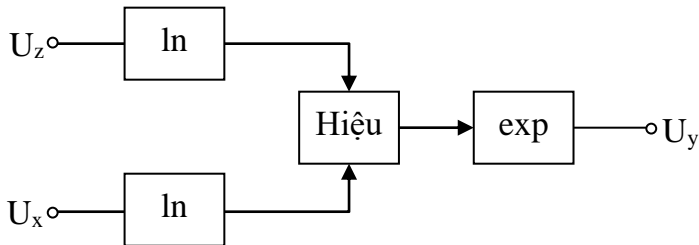
Do đó điện áp ra: $U_r = U_y = -\frac{U_z}{KU_x}$

Ta thấy rằng, U_z có thể lấy dấu tùy ý, còn U_x phải luôn luôn dương. Nếu $U_x < 0$ thì hồi tiếp qua bộ nhân về đầu vào bộ khuếch đại thuật toán là hồi tiếp dương, làm cho mạch chuyển sang làm việc ở trạng thái bão hòa, gây méo lớn.

Chú ý rằng, yêu cầu $U_x > 0$ chỉ đúng đối với mạch nhân thuận ($K > 0$). Đối với mạch nhân đổi dấu ($K < 0$) thì ngược lại, phải làm việc với $U_x < 0$ để đảm bảo hồi tiếp âm của bộ khuếch đại thuật toán.

- Mạch chia dùng mạch loga và đổi loga.

Sơ đồ khối:



Theo sơ đồ ta có:

$$U_y = \frac{U_z}{U_x}$$

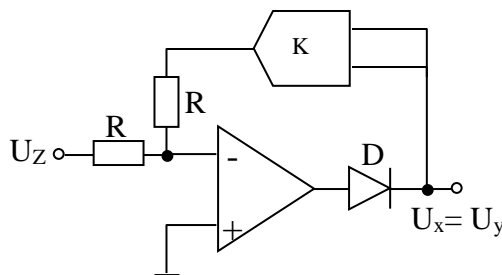
Trong đó: U_z và U_y chỉ lấy các giá trị dương. Mạch có độ chính

xác khá cao, dải động lớn và sai số phi tuyến nhỏ.

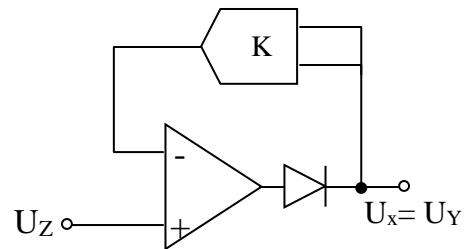
4.2. Mạch khai căn.

Mạch khai căn được thực hiện bằng cách mắc vào mạch hồi tiếp bộ khuếch đại thuật toán một mạch lũy thừa.

Sơ đồ mạch:



Mạch khai căn đảo



Mạch khai căn thuận

+ Trong mạch khai căn đảo:

Điện áp ra:

$$U_r = U_x = \sqrt{\frac{1}{K}(-U_z)} \quad \text{Với } U_z < 0.$$

+ Trong mạch khai căn thuận:

Điện áp ra:

$$U_r = U_x = \sqrt{\frac{U_z}{K}} \quad \text{Với } U_z \geq 0.$$

Mạch khai căn đảo chỉ làm việc với $U_z < 0$ và mạch khai căn thuận chỉ làm việc $U_z > 0$. Trong trường hợp ngược lại mạch sẽ có hồi tiếp dương làm cho mạch bị nghẹt. Có thể ngăn ngừa hiện tượng này bằng cách mắc nối tiếp với đầu ra bộ khuếch đại thuật toán một diode sao cho mạch hồi tiếp bị ngắt khi điện áp vào U_z không thỏa mãn điều kiện về dấu. Vì diode nằm trong mạch hồi tiếp nên sụt áp trên nó có gây ra sai số nhưng không đáng kể.