

## CHƯƠNG 6.

## MẠCH ĐO VÀ XỬ LÝ KẾT QUẢ ĐO (3 LT)

### 6.1. Khái niệm chung.

a) **Định nghĩa:** mạch đo là thiết bị kỹ thuật làm nhiệm vụ biến đổi, gia công thông tin tính toán, phối hợp các tín tức với nhau trong một hệ vật lý thống nhất.

b) **Phân loại:** theo chức năng có các loại mạch đo:

- **Mạch tỉ lệ:** thực hiện một phép nhân (hoặc chia) với một hệ số  $k$ , đại lượng vào là  $x$  thì đại lượng ra là  $k.x$ . Ví dụ: sun, phân áp, biến dòng, biến áp...

- **Mạch khuếch đại:** thực hiện một phép nhân (hoặc chia) với một hệ số  $k$  (gọi là hệ số khuếch đại) nhưng có công suất tín hiệu ra lớn hơn công suất tín hiệu vào (đại lượng vào điều khiển đại lượng ra).

- **Mạch gia công và tính toán:** thực hiện các phép tính: cộng, trừ, nhân, chia, tích phân, vi phân, lôgarit, hàm mũ...

- **Mạch so sánh:** thực hiện so sánh giữa hai tín hiệu (thường là hai điện áp), thường được sử dụng trong các thiết bị đo dùng phương pháp so sánh.

- **Mạch tạo hàm:** tạo ra những hàm số theo yêu cầu của phép đo, nhằm mục đích tuyến tính hóa các đặc tính của tín hiệu đo ở đầu ra các bộ cảm biến.

- **Mạch biến đổi  $A/D$ ,  $D/A$ :** biến đổi tín hiệu từ dạng tương tự sang dạng số và ngược lại, sử dụng cho kỹ thuật đo số và chế tạo các mạch ghép nối với máy tính.

- **Mạch đo sử dụng kỹ thuật vi xử lý:** mạch đo có cài đặt vi xử lý để tạo ra các cảm biến thông minh, khắc độ bằng máy tính, nhớ và gia công sơ bộ số liệu đo...

Mạch đo càng phức tạp khi thiết bị đo càng hiện đại, chức năng càng chính xác. Mạch đo có tác dụng làm tăng độ nhạy và độ chính xác của thiết bị đo và hệ thống đo.

### 6.2. Các đặc tính cơ bản của mạch đo.

Mỗi mạch đo đều có những đặc tính kỹ thuật cụ thể quyết định tính chất, tác dụng của mạch đo đó, tùy từng mạch đo sẽ có những đặc tính riêng biệt, tuy nhiên có thể xét những đặc tính cơ bản chung của các loại mạch đo khác nhau.

#### 6.2.1. Chức năng và phạm vi làm việc:

- **Chức năng của mạch đo:** chức năng cơ bản của mạch đo là thực hiện các phép tính. Phương trình quan hệ giữa đầu vào và đầu ra của mạch đo trong trường hợp đơn giản là tỉ số  $W=Y/X$  với  $X$  là tập các đầu vào và  $Y$  là tập các đầu ra.

Trong trường hợp phức tạp thì  $W$  là một hàm của thời gian  $W(t)$  gọi là hàm truyền đạt tương hỗ.

Dựa vào hàm truyền đạt  $W$  xác định được chức năng của mạch đo.

- **Phạm vi của mạch đo:** hàm truyền đạt  $W$  được xác định trong một phạm vi nào đó của đại lượng vào và đại lượng ra gọi là phạm vi làm việc của mạch đo, vượt ra ngoài phạm vi đó thì  $W$  không còn đảm bảo sai số cho phép.

#### 6.2.2. Sai số:

Sai số trong mạch đo có thể chia làm hai loại:

- Sai số của chính bản thân mạch đo gây ra bởi những sự biến động về quan hệ tương hỗ (hàm truyền đạt):

- Sai số do sự kết hợp các đại lượng vào

**a) Sai số của chính bản thân mạch đo gây ra bởi những sự biến động về quan hệ tương hỗ (hàm truyền đạt):**

Hàm truyền đạt của mạch đo là:

$$W = \frac{Y}{X}$$

Giả sử khi đại lượng vào X không mắc sai số nhưng đầu ra Y mắc phải sai số  $\Delta Y$ , nguyên nhân là do sai số của hàm truyền đạt  $\Delta W$  gây ra do ảnh hưởng của sự biến động các yếu tố ngoại lai hay nội tại đến mạch đo  $\Delta \theta_i$ .

Sai số này được đánh giá bằng:

$$K = \frac{\Delta W / W}{\Delta \theta / \theta} = \frac{\gamma_w}{\gamma_\theta}$$

với:  $\gamma_w$  : sai số tương đối của hàm truyền đạt.

$\gamma_\theta$  : độ biến động tương đối của các yếu tố ngoại lai hay nội tại tác động đến mạch đo.

Tương ứng có sai số ở đầu ra là:

$$\Delta Y = \gamma_w \cdot W \cdot X$$

**b) Sai số do sự kết hợp các đại lượng vào:** nếu một mạch đo có nhiều đại lượng vào thì có sự kết hợp với nhau vì vậy mà sai số sẽ bằng tổng các sai số:

$$\Delta(x_1 \pm x_2) = \Delta x_1 \pm \Delta x_2$$

Sai số tương đối của tích hai đại lượng bằng tổng sai số tương đối của chúng:

$$\gamma_{x_1 x_2} = \frac{\Delta x_1}{x_1} + \frac{\Delta x_2}{x_2} = \gamma_{x_1} + \gamma_{x_2}$$

### 6.2.3. Đặc tính động:

Khi đo các đại lượng biến thiên theo thời gian yêu cầu mạch đo phải đáp ứng được các đặc tính động yêu cầu.

Đặc tính động của mạch đo phải đảm bảo để cho sai số của mạch đo không vượt quá sai số cho phép của cả thiết bị đo. Do đó khi xét đặc tính động học ta phải xét đến hàm truyền đạt của mạch đo phụ thuộc vào tần số  $W(p)$  như khi xét một mạng bốn cực.

### 6.2.4. Công suất tiêu thụ:

Ngoài nhiệm vụ thực hiện các phép gia công, mạch đo còn có nhiệm vụ nối các khâu với nhau, hay nói cách khác là có nhiệm vụ phối hợp trở kháng đầu vào và đầu ra của các khâu.

Thường thì cố gắng làm cho trở kháng đầu vào của mạch đo rất lớn so với trở kháng đầu ra của khâu trước đó, tức là công suất tiêu thụ của mạch đo nhỏ hơn so với công suất ra của khâu trước.

Sai số do công suất tiêu thụ của mạch đo gây nên khi mắc vào với khâu trước là:

$$\gamma_P = \frac{P}{P_{\max}}$$

với:  $P$ : công suất tiêu thụ ở đầu vào của mạch đo.

$P_{\max}$ : công suất đầu ra cực đại của khâu trước.

Khi tính toán, sai số này được cộng thêm sai số của khâu trước nó.

Ngược lại ở đầu ra của mạch đo phải làm thế nào cho công suất ra lớn nhất, tức là:  $P_{ra} = P_t$ , với  $P_t$  là công suất của tải. Sai số được tính theo công thức:

$$\gamma_{ra} = \frac{P_{ra} - P_t}{P_{ra}}$$

(nếu tải biến thiên thì  $P_t$  được thay bằng công suất tải định mức  $P_{tN}$ )

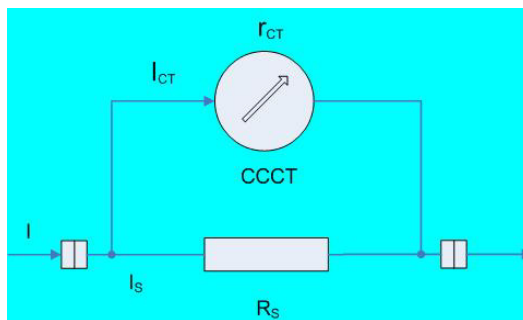
### 6.3. Mạch tỷ lệ.

Mạch tỷ lệ là mạch thông dụng nhất trong các mạch đo lường. Có thể chia thành mạch tỷ lệ về dòng và mạch tỷ lệ về áp.

#### 6.3.1. Mạch tỷ lệ về dòng:

Là loại mạch thông dụng nhất. Đối với mạch một chiều thường dùng mạch sun, đối với mạch xoay chiều thường dùng biến dòng điện (BI).

**a) Sun:** là một điện trở mắc song song với cơ cấu chỉ thị (như hình 6.1):



Hình 6.1. Cách mắc điện trở sun

Các dòng điện chạy trong mạch gồm:

- Dòng chạy trong mạch chính là  $I$
- Dòng chạy trong mạch chỉ thị là  $I_{CT}$
- Dòng chạy qua sun là  $I_s$

Các dòng điện này có các mối quan hệ:

$$I = I_{CT} + I_s \quad \text{và} \quad \frac{I}{I_{CT}} = n$$

$n$  gọi là hệ số chia dòng điện, thường  $n > 1$ .

Điện trở sun  $R_s$  được tính bằng:

$$R_s = \frac{r_{CT}}{n - 1} \quad (6.1)$$

**Cấu tạo của sun:** có cấu tạo như điện trở 4 đầu, bao gồm 2 đầu dòng và 2 đầu áp như hình 6.2:

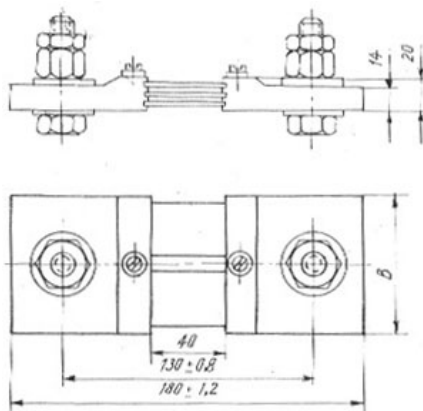
- 2 đầu dòng: để đưa dòng  $I_s$  vào.
- 2 đầu áp: lấy điện áp ra để đưa vào cơ cấu chỉ thị.

Trên sun thường có ghi dòng  $I_s$  có thể đi qua và điện áp ở đầu ra:

$$U_S = I_S.R_S = (I - I_{CT}).R_S$$

Để đạt độ chính xác cao một sun thường chỉ làm việc với một chỉ thị nhất định và phải có dây nối đã xác định trước điện trở.

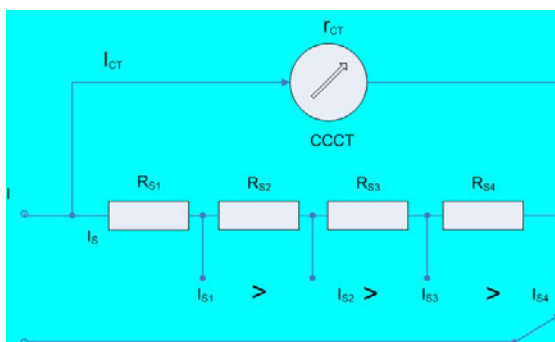
Để điều chỉnh điện trở sun có thể xẻ rãnh khác nhau.



Hình 6.2. Cấu tạo sun

Dùng sun có hệ số chia dòng khác nhau: muốn dùng sun với hệ số chia dòng khác nhau có thể dùng sun với nhiều cấp khác nhau như hình 6.3.

Hình thức này thường được ứng dụng để mở rộng thang đo trong ampemét một chiều.



Hình 6.3. Mắc sun nhiều cấp

Để tính các điện trở  $R_1, R_2, R_3, R_4$  có thể dựa vào biểu thức (6.1), bằng cách lập hệ phương trình ứng với các dòng khác nhau:

$$R_{S4} = \frac{r_{CT}}{n_4 - 1} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 ; \quad n_4 = \frac{I_4}{I_{CT}}$$

$$R_{S3} = \frac{r_{CT} + R_4}{n_3 - 1} = R_1 + R_2 + R_3 ; \quad n_3 = \frac{I_3}{I_{CT}}$$

$$R_{S2} = \frac{r_{CT} + R_4 + R_3}{n_2 - 1} = R_1 + R_2 ; \quad n_2 = \frac{I_2}{I_{CT}}$$

$$R_{S1} = \frac{r_{CT} + R_4 + R_3 + R_2}{n_1 - 1} = R_1 ; \quad n_1 = \frac{I_1}{I_{CT}}$$

Ta có 4 phương trình với 4 ẩn số, giải ra tìm được  $R_1, R_2, R_3, R_4$ .

Trong công nghiệp sun được làm bằng vật liệu có điện trở không phụ thuộc nhiệt độ như manganin. Thường sun được chế tạo với dòng từ vài mA đến  $10^4$  A; điện áp sun cỡ 60, 75, 100, 150 và 300mV.

*Ứng dụng của sun:* sun được dùng chủ yếu trong mạch một chiều, mở rộng thang đo cho các ampe mét một chiều. Trong mạch xoay chiều chỉ dùng sun khi tải là thuần trở còn khi tải là điện kháng thì mắc phải sai số về góc pha.

**b) Biến dòng điện (BI):** được sử dụng trong mạch xoay chiều để biến đổi dòng điện trong phạm vi rộng. Biến dòng điện là một biến áp mà thứ cấp ngắn mạch, sơ cấp nối tiếp với mạch có dòng điện chạy qua.

Nếu biến dòng làm việc lí tưởng (không có tổn hao) thì:

$$K_I = \frac{I_1}{I_2} = \frac{W_2}{W_1}$$

với:  $K_I$  là hệ số biến dòng, có thể lớn hơn 1 (nhân dòng) hoặc bé hơn 1 (chia dòng);

$I_1, I_2$  là dòng điện sơ cấp và thứ cấp;

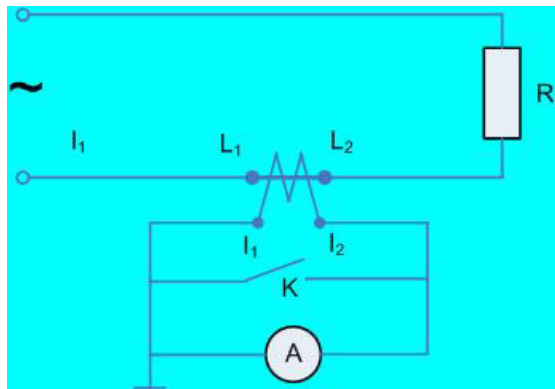
$W_1, W_2$ : số vòng dây quấn của cuộn sơ cấp và thứ cấp.

*Cấu tạo:* giống biến áp: thường làm bằng lõi thép silic, chỉ khác là tiết diện dây quấn lớn hơn và số vòng bé hơn biến áp động lực.

*Yêu cầu:* phải có tổn hao lõi thép nhỏ, điện trở tải càng nhỏ càng tốt.

*Đặc tính cơ bản cấu biến dòng BI:*

- Chế độ làm việc bình thường là ngắn mạch thứ cấp. Khi thứ cấp bị hở mạch sẽ làm điện áp thứ cấp tăng vọt từ hàng chục vôn đến vài kilôvôn rất nguy hiểm cho người sử dụng, làm cháy biến dòng, đánh thủng cách điện. Vì vậy cuộn thứ cấp phải nối đất để đề phòng đánh thủng cách điện, không tiếp xúc với mạch cao áp (như hình 6.4):



Hình 6.4. Sơ đồ nối biến dòng với ampe mét

Trong hướng dẫn sử dụng của biến dòng thường ghi rõ giá trị điện trở tới hạn để ngắn mạch thứ cấp

- Trong thực tế khi dòng sơ cấp  $I_1$  thay đổi thì hệ số biến dòng  $K_I$  cũng thay đổi, vì vậy thường lấy hệ số  $K_{IN}$  - là hệ số biến dòng định mức làm hệ số biến dòng điện, khi đó mắc phải sai số về môđun là:

$$\gamma_I = \frac{K_{IN} - K_I}{K_{IN}} \cdot 100\%$$

- Có tổn hao trong lõi thép và ngoài tải thuần trở còn có tải điện cảm, vì vậy còn sai số về góc pha. Lõi thép càng tổn hao nhiều thì sai số góc pha càng lớn (biến thiên từ  $\pm 2$  phút đến  $\pm 120$  phút).

Biến dòng đo lường thường được chế tạo với điện áp định mức từ 0,5÷35 kV.

Dòng sơ cấp định mức từ 0,1÷25000A. Dòng thứ cấp định mức là 1A hoặc 5A.

Cấp chính xác của biến dòng thường là: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5.

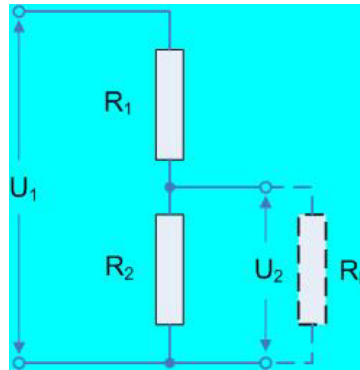
### 6.3.1. Mạch tỉ lệ về áp:

Thông dụng nhất là mạch phân áp và mạch biến áp.

a) **Mạch phân áp:** là mạch phân điện áp, thường có  $U_2$  nhỏ hơn  $U_1$  tức là công suất ra nhỏ hơn công suất vào.

Có một số mạch như sau:

- **Mạch phân áp điện trở:** các điện trở được nối như hình 6.5:



Hình 6.5. Mạch phân áp điện trở

Hệ số phân áp được tính là:

$$m = \frac{U_1}{U_2}$$

Có hai trường hợp xảy ra:

- Khi không có tải (hay  $R_L \rightarrow \infty$ ) có:

$$m_o = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I(R_1 + R_2)}{I \cdot R_2} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

- Khi có tải  $R_L$  ta có:

$$\begin{aligned} m_L &= \frac{U_1}{U_2} = \frac{I \cdot R_1 + I \cdot (R_2 // R_L)}{I \cdot (R_2 // R_L)} \\ &= 1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_L} = m_o + \frac{R_1}{R_L} \end{aligned}$$

Khi tải là những cơ cấu chỉ thị có điện trở không đổi: thường  $R_2$  là điện trở của bản thân chỉ thị, phân áp chỉ có  $R_1$  (gọi là điện trở phụ)-hình 6.6 .

Điện trở phụ được tính như sau:

$$R_p = r_{CT} \cdot (m - 1)$$

với  $m = U_x / U_{CT}$  là tỉ số giữa điện áp cần đo và điện áp trên cơ cấu chỉ thị.

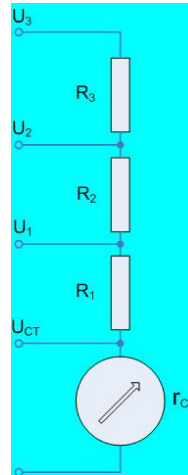
Nếu một vônmet có nhiều thang đo thì cách tính các điện trở phụ như sau:

$$R_{p1} = R_1 = r_{CT} \cdot (m_1 - 1); \quad m_1 = \frac{U_1}{U_{CT}}$$

$$R_{p2} = R_1 + R_2 = r_{CT} \cdot (m_2 - 1); \quad m_2 = \frac{U_2}{U_{CT}}$$

$$R_{p3} = R_1 + R_2 + R_3 = r_{CT} \cdot (m_3 - 1); \quad m_3 = \frac{U_3}{U_{CT}}$$

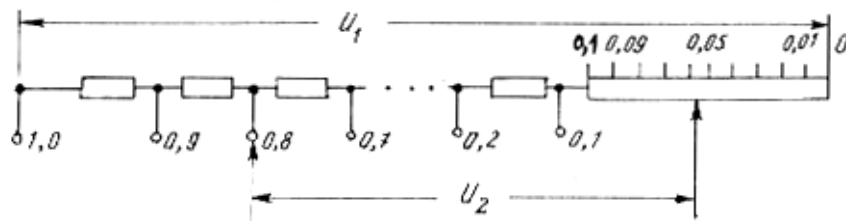
Với 3 phương trình 3 ẩn số, giải ra tìm được các giá trị  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ .



Hình 6.6. Mở rộng thang đo của vônmet.

*Phân áp có hệ số phân áp thay đổi tùy ý:* thường là một biến trở trượt có gắn thêm một thang chia độ trên có khắc hệ số phân áp tương ứng với vị trí của nó, mạch này có độ chính xác không cao (thường từ 1÷5%).

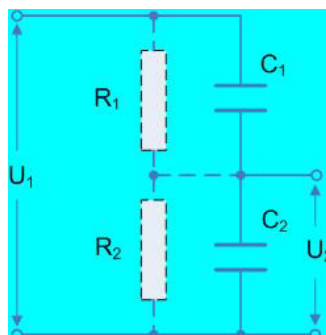
*Các phân áp có cấp chính xác cao (0,05÷0,1):* được chế tạo theo kiểu nhảy cấp hoặc bố trí thành từng cấp thập phân (hình 6.7), thường làm bằng dây điện trở maganin có hệ số nhiệt điện trở thấp. Điện áp vào  $U_1$  cố định, điện áp ra biến thiên từ  $0,0001U_1$  đến  $0,9999U_1$ .



Hình 6.7. Bộ phân áp có độ chính xác cao.

*Ứng dụng của mạch phân áp điện trở:* thường được sử dụng để chế tạo các hộp điện trở mẫu, các điện thế kế, các cầu đo...

- **Mạch phân áp điện dung:** có thể dùng trong mạch xoay chiều, gồm các tụ điện  $C_1$ ,  $C_2$  ghép nối tiếp và được biểu diễn trong sơ đồ bằng điện dung  $C_1$ ,  $C_2$  cùng với các điện trở rò  $R_1$ ,  $R_2$  (hình 6.8):



Hình 6.8. Mạch phân áp điện dung

Hệ số phân áp là:

$$m = \frac{U_1}{U_2} = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2}$$



$$= 1 + \frac{C_2(1 + \frac{1}{j\omega C_2 R_2})}{C_1(1 + \frac{1}{j\omega C_1 R_1})} = f(\omega) \quad (6.2)$$

Như vậy hệ số phân áp m của mạch phân áp điện dung phụ thuộc vào tần số  $\omega$ .

Nếu  $\omega$  lớn thì:

$$\frac{1}{\omega C_2 R_2} \text{ và } \frac{1}{\omega C_1 R_1} \ll 1 \Rightarrow m = 1 + \frac{C_2}{C_1} \quad (6.3)$$

Tức là m không phụ thuộc tần số, vì vậy mạch phân áp điện dung thường được sử dụng trong mạch có tần số cao.

*Sử dụng mạch phân áp điện dung trong mạch có dải tần rộng:* phải mắc song song thêm với những tụ điện các điện trở sao cho:

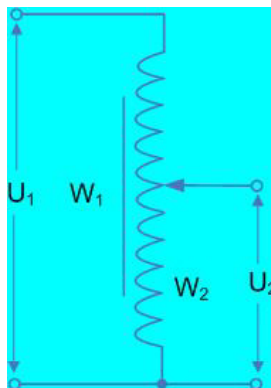
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{C_1}{C_2} \Leftrightarrow R_1 C_1 = R_2 C_2$$

Khi đó hệ số phân áp được tính:

$$m = 1 + \frac{C_2}{C_1} \quad \text{không phụ thuộc tần số.}$$

*Ứng dụng:* mạch phân áp điện dung thường được sử dụng để giảm áp trong các mạch xoay chiều ở đầu vào các vônmet điện tử xoay chiều hay các dao động kí điện tử.

- **Mạch phân áp điện cảm:** có đặc điểm là đầu vào và đầu ra được liên hệ với nhau bằng điện và bằng từ, có thể coi như một biến áp tự ngẫu như hình 6.9:



Hình 6.9. Mạch phân áp điện cảm.

Muốn phân áp có độ chính xác cao thì biến áp phải gần điều kiện lý tưởng, khi đó:

$$K_u = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} \geq 1$$

với  $W_1, W_2$  là số vòng dây để lấy các điện áp tương ứng  $U_1, U_2$ .

Để đảm bảo điều kiện trên, lõi thép phải chế tạo đảm bảo: tổn hao từ thông nhỏ, từ thông móc vòng đều trên toàn cuộn dây phân áp, từ thông tản vừa nhỏ và đều.

Cuộn dây được chia thành nhiều phân đoạn ứng với số cấp của phân áp.

*Ưu điểm:* hệ số phân áp  $K_u$  ít thay đổi lúc tải đầu ra thay đổi.

*Nhược điểm:* có sai số tần số khi tần số thay đổi.

**b) Mạch biến điện áp đo lường (BU):** cũng là hình thức của mạch phân áp điện cảm, chỉ khác là  $K_u$  có thể lớn hay nhỏ hơn 1. Điện áp vào và ra có thể liên hệ với



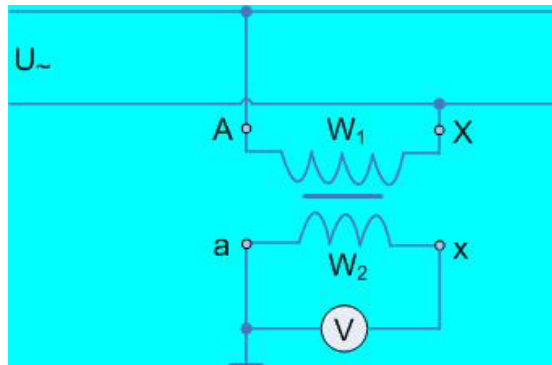
nhau cả bằng điện và từ (biến áp tự ngẫu) hoặc chỉ liên hệ với nhau về từ.

Hệ số biến áp:

$$K_u = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

Trong hướng dẫn sử dụng của biến điện áp đo lường thường chỉ rõ: công suất định mức, điện áp vào  $U_1$ , điện áp ra  $U_2$ , hệ số biến điện áp  $K_u$ .

Ngược với biến dòng điện đo lường, biến điện áp đo lường sử dụng ở chế độ hở mạch cuộn thứ cấp, vì thế cuộn thứ cấp thường được nối với vônmet có điện trở vào lớn để đo điện áp  $U_2$  sau đó nhân với hệ số  $K_u$  có được  $U_1$



Hình 6.10. Mắc vônmet vào biến áp đo lường

**Đặc điểm:** Điện áp định mức của cuộn thứ cấp thường là 100V, điện áp định mức của cuộn sơ cấp chính là điện áp cần đo hay kiểm tra.

Sai số của biến điện áp: giống ở biến dòng, gồm sai số về môđun và sai số góc pha lúc điện áp đo và tải thay đổi.

Cấp chính xác của biến áp đo lường là: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5.

**Ứng dụng:** biến áp đo lường thường được sử dụng trong mạch xoay chiều khi phải đo điện áp rất lớn mà không thể đo trực tiếp bằng vônmet được.

#### 6.4. Mạch khuếch đại (Amplifier).

**a) Đặc điểm của mạch khuếch đại:** về phương diện gia công tín tức, mạch khuếch đại cũng được xem như một mạch tỉ lệ, nghĩa là:

$$X_r = K \cdot X_v$$

Tuy nhiên ở mạch khuếch đại có đặc điểm ngược với mạch tỉ lệ là có công suất đầu ra lớn hơn công suất đầu vào, có thể coi đại lượng vào điều khiển đại lượng ra, đây là đặc điểm ưu việt của mạch điện tử. Nhờ có mạch khuếch đại, độ nhạy của thiết bị đo được tăng lên rất nhiều, cho phép đo những đại lượng đo rất nhỏ.

Mạch khuếch đại đo lường còn có khả năng mở rộng đặc tính tần số của thiết bị đo và đặc biệt là giảm rất nhiều công suất tiêu thụ của thiết bị đo lấy từ đối tượng đo.

Mạch khuếch đại được thực hiện bằng đèn điện tử, đèn bán dẫn và ngày nay chủ yếu sử dụng vi điện tử.

##### 6.4.1. Mạch khuếch đại lặp lại:

###### a) Tác dụng:

- Trong các thiết bị đo, tín hiệu đo được lấy ra từ các bộ cảm biến (sensor) có công suất đầu ra rất nhỏ, muốn khuếch đại được những tín hiệu như vậy đòi hỏi điện trở vào của bộ khuếch đại phải rất lớn. Để tạo được điều kiện đó thường sử dụng

các mạch lặp lại ở đầu vào.

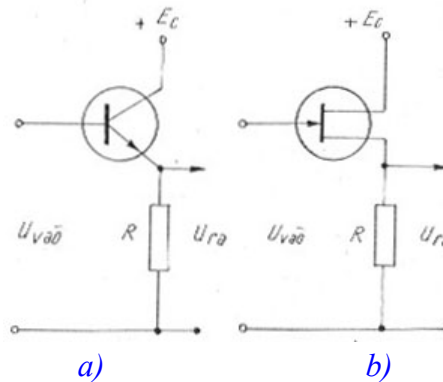
- Phối hợp tải giữa các tầng với nhau (impedance matching).

**b) Mạch lặp sử dụng BJT:** có điện trở vào lớn, điện trở ra nhỏ. Nhờ có phản hồi âm sâu nên hệ số khuếch đại về áp  $K_u \approx 1$ , hệ số khuếch đại về dòng khá lớn:

$$K_I = \frac{\Delta I_e}{\Delta I_b} = 1 + \beta$$

với  $\beta$  là hệ số khuếch đại dòng của BJT.

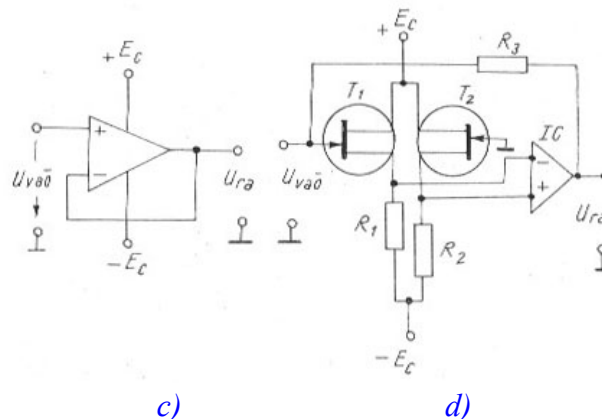
**c) Mạch lặp sử dụng JFET:** có trở vào lớn hơn so với mạch lặp dùng BJT.



Hình 6.11a,b: Mạch lặp lại:  
a) Dùng BJT; b) Dùng FET;

**d) Mạch lặp sử dụng KĐTT có phản hồi âm sâu:** có trở vào lớn.

**e) Mạch lặp có trở vào rất lớn:** sử dụng kết hợp giữa JFET và KĐTT mắc theo mạch cầu có phản hồi âm sâu.



Hình 6.11c,d: Mạch lặp lại:  
c) Dùng KĐTT; d) Dùng FET kết hợp KĐTT

#### 6.4.2. Mạch khuếch đại đo lường (Instrumentation Amplifier):

Trong các mạch đo lường thường sử dụng bộ KĐ đo lường, là mạch kết hợp các bộ lặp lại và các bộ khuếch đại điện áp.

Mạch khuếch đại đo lường gồm có hai tầng:

- **Tầng 1:** là hai bộ lặp lại dùng KĐTT có trở vào lớn do tín hiệu vào được đưa đến đầu vào không đảo. Hệ số khuếch đại tầng 1 là:

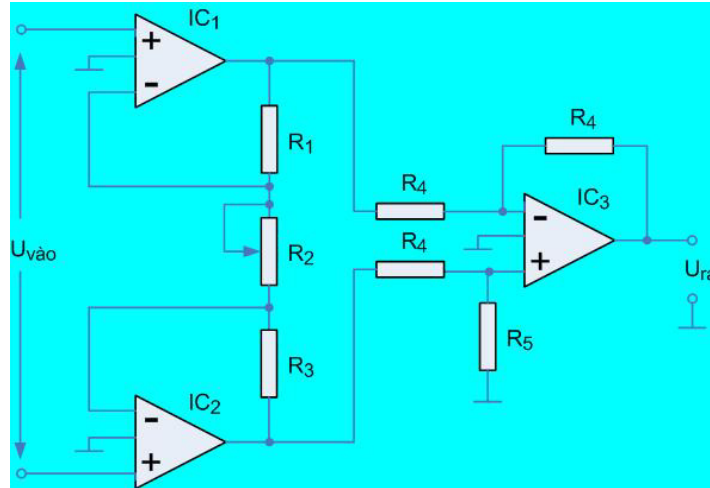
$$K_1 = 1 + \frac{R_1 + R_3}{R_2} : \text{có thể thay đổi bằng cách thay đổi } R_2$$

- **Tầng 2:** mạch khuếch đại áp sử dụng KĐTT, có hệ số khuếch đại là:

$$K_2 = \frac{R_5}{R_4}$$

Như vậy hệ số khuếch đại của cả mạch là:

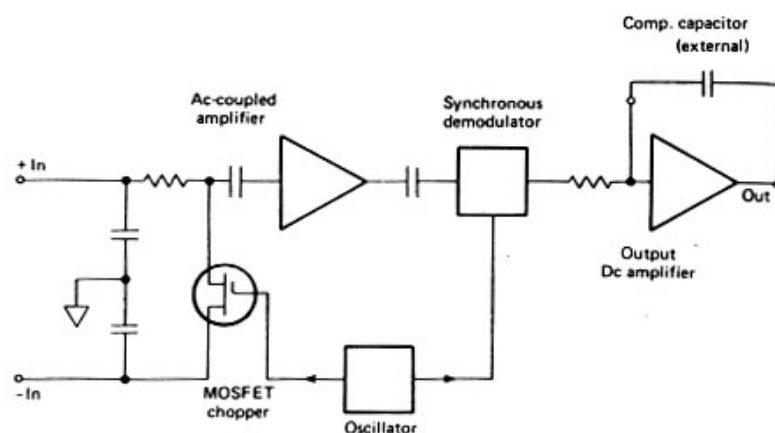
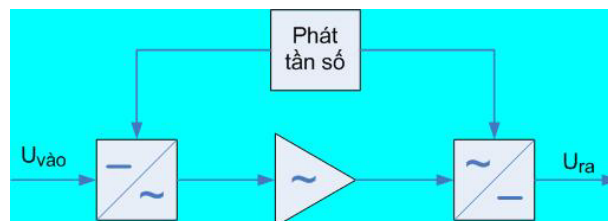
$$K = K_1 \cdot K_2 = \frac{R_5}{R_4} \cdot \left(1 + \frac{R_1 + R_3}{R_2}\right)$$



Hình 6.12. Mạch khuếch đại đo lường.

#### 6.4.3. Mạch khuếch đại điều chế (Chopping Amplifier):

Để tránh hiện tượng trôi điểm không và sự lệch điện áp ra do sự tăng giảm của nguồn cung cấp ở KĐ một chiều, người ta dùng biện pháp biến tín hiệu một chiều đầu vào thành xoay chiều, sau đó cho qua bộ KĐ xoay chiều và cuối cùng biến đổi lại thành điện áp một chiều ở đầu ra, mạch như vậy gọi là mạch khuếch đại điều chế.



Hình 6.13. Sơ đồ khối và sơ đồ nguyên lý của bộ khuếch đại điều chế

Bộ điều chế có tác dụng biến đổi tín hiệu một chiều thành xoay chiều. Ngược lại bộ giải điều chế có tác dụng biến đổi tín hiệu xoay chiều thành một chiều

Một ví dụ về bộ KĐ này là sử dụng một máy phát tần số để đóng mở hai khóa

điện tử ở đầu vào và đầu ra của bộ KĐ xoay chiều. Máy phát tần số thường là một bộ dao động đa hài.

#### 6.4.4. Mạch khuếch đại cách ly:

Trong kỹ thuật đo cần phải đo những điện áp lớn có khi đến vài kilôvôn, tức là cao hơn nhiều so với điện áp cho phép. Để giải quyết vấn đề này cần phải tách mạch đo thành hai phần cách ly nhau về điện:

- Phần phát: làm việc dưới điện áp cần đo.
- Phần thu: làm việc dưới điện áp đủ thấp cho phép.

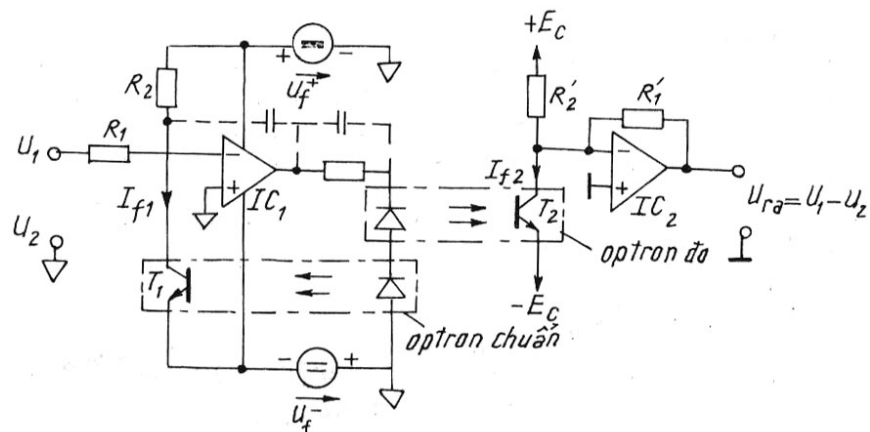
Để thực hiện một thiết bị như vậy yêu cầu đảm bảo phần cho phần có nguồn dòng riêng được cách ly so với đất.

Việc truyền kết quả đo sang phần thu cách ly về điện cũng gặp phải những khó khăn nhất định. Có hai khả năng truyền:

- Ghép biến áp: không thể truyền trực tiếp điện áp một chiều. Điện áp một chiều phải được điều chế thành điện áp xoay chiều với tần số mang đủ cao (trong dải tần đến 100kHz - điều chế tần số hoặc biên độ).
- Ghép quang học: có thể truyền trực tiếp điện áp một chiều.

**Khi đòi hỏi độ chính xác cao:** có thể chuyển đổi tín hiệu analog trên phần phát thành tín hiệu số, sau đó truyền tín hiệu số sang phần thu bằng phương pháp quang học. Phương pháp này không bị ảnh hưởng do độ phi tuyến của việc ghép quang học.

Hình 6.14 minh họa việc truyền tín hiệu analog bằng phương pháp quang học. Để bù méo tuyến tính do các ôptrôn gây ra, dòng của phôtô điốt được điều chỉnh bằng bộ KĐTT  $IC_1$  sao cho dòng quang của ôptron chuẩn  $T_1$  bằng một trị số cho trước.



Hình 6.14. Truyền tín hiệu đo analog bằng phương pháp quang học.

Các bộ khuếch đại cách ly ghép biến áp hay ghép quang học thường được chế tạo dưới dạng môđun. Ở phần phát bố trí bộ khuếch đại đo hoặc bộ khuếch đại đảo pha. Đa số các môđun chứa bộ biến đổi điện áp một chiều trong phần phát đều là loại nguồn dòng cách ly với đất, do đó từ phía ngoài chỉ cần đấu thêm một nguồn dòng nối đất. Hiệu điện thế cho phép giữa phần phát và phần thu có thể vào khoảng vài kilôvôn.

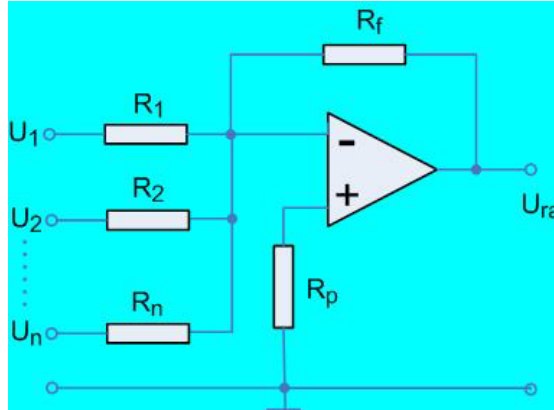
*Ví dụ: các loại KĐ cách ly 3650, 3456 (hãng Burr-Brown); 275 (hãng Analog Devices)...*

## 6.5. Mạch xử lý và tính toán.

### 6.5.1. Mạch cộng:

Là loại mạch thực hiện phép cộng (cộng các tín hiệu với nhau), thường là cộng điện áp.

#### a) Mạch cộng dùng KĐTT mắc theo sơ đồ đảo dấu:



Hình 6.15. Mạch cộng dùng KĐTT mắc theo sơ đồ đảo dấu.

Tín hiệu ra  $U_{ra}$  tỉ lệ với tổng đại số của các tín hiệu vào:

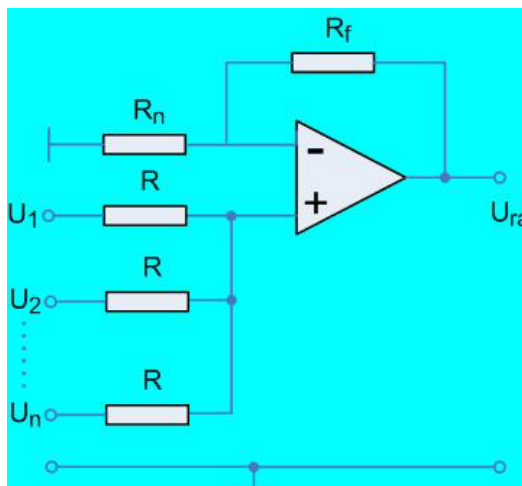
$$U_{ra} = -\frac{R_f}{R_1}U_1 - \frac{R_f}{R_2}U_2 - \dots - \frac{R_f}{R_n}U_n = \sum_{i=1}^n -\frac{R_f}{R_i}U_i$$

Nếu  $R_f = R_1 = R_2 = \dots = R_i = R_n$  thì:

$$U_{ra} = -\sum_{i=1}^n U_i$$

Ưu điểm của mạch cộng đảo dấu là không bị ảnh hưởng bởi nhiễu của tín hiệu cần đo vì các tín hiệu này được cộng với nhau tại một điểm có thể bằng “0”, các tín hiệu vào độc lập với nhau do được nối với điểm đất ảo (đầu vào đảo). Các hệ số khuếch đại đối với từng tín hiệu vào có thể thay đổi được (bằng cách thay đổi trở vào tương ứng) mà không ảnh hưởng đến các tín hiệu vào khác.

#### b) Mạch cộng dùng KĐTT mắc theo sơ đồ không đảo dấu:



Hình 6.16. Mạch cộng dùng KĐTT mắc theo sơ đồ không đảo dấu

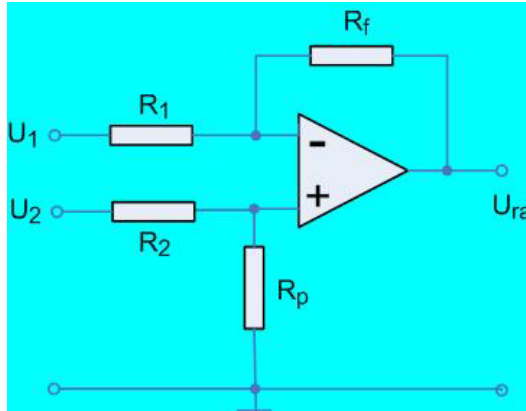
Tín hiệu ra  $U_{ra}$  tỉ lệ với tổng đại số của các tín hiệu vào:

$$U_{ra} = \frac{1}{n} \cdot \left(1 + \frac{R_f}{R_n}\right) \cdot (U_1 + U_2 + \dots + U_n) = \frac{1}{n} \cdot \left(1 + \frac{R_f}{R_n}\right) \cdot \sum_{i=1}^n U_i$$

Nếu  $n = (1 + \frac{R_f}{R_n})$  thì:  $U_{ra} = \sum_{i=1}^n U_i$

Nhược điểm của mạch cộng không đảo dấu là các tín hiệu vào không độc lập với nhau, việc thay đổi điện trở vào của bất kỳ tín hiệu vào nào đều ảnh hưởng đến hệ số khuếch đại của tất cả các tín hiệu còn lại.

### 6.5.2. Mạch trừ:



Hình 6.17. Mạch trừ sử dụng KĐTT

Điện áp ra  $U_{ra}$ :  $U_{ra} = U_{ra}(U_1) + U_{ra}(U_2)$

$$= -\frac{R_f}{R_1}U_1 + \frac{R_p \cdot (R_1 + R_f)}{R_1 \cdot (R_2 + R_p)}U_2 = -\frac{R_f}{R_1}U_1 + \frac{\frac{R_p}{R_2} \cdot (1 + \frac{R_f}{R_1})}{1 + \frac{R_p}{R_2}}U_2$$

Đặt:  $\frac{R_p}{R_2} = \alpha_p$ ;  $\frac{R_f}{R_1} = \alpha_N$ , có:  $U_{ra} = -\alpha_N U_1 + \frac{1 + \alpha_N}{1 + \alpha_p} \cdot \alpha_p U_2$

Trường hợp đặc biệt khi  $\alpha_p = \alpha_N = 1$ , có:  $U_{ra} = U_2 - U_1$

### 6.5.3. Mạch nhân:

Có nhiều trường hợp phải sử dụng mạch nhân như khi đo công suất  $P = U \cdot I \cdot \cos\phi$  hoặc khi cần nhân hai điện áp... vì thế mạch nhân rất quan trọng trong đo lường.

Các phần tử nhân thường dùng trong đo lường là:

- Phần tử điện động, phần tử sắt điện động: được dùng để chế tạo các wátmet đo công suất.
- Chuyển đổi Hôn (Hall): sử dụng để đo công suất.
- Các bộ nhân điện tử: phép nhân tín hiệu tương tự có thể thực hiện bằng nhiều cách, ở đây chỉ xét hai cách phổ biến nhất là nhân bằng các phần tử lôgarit và nhân bằng phương pháp điều khiển độ dẫn của tranzito.

#### a) Bộ nhân sử dụng nguyên lý lấy lôgarit và đối lôgarit:

- Các mạch ( $IC_1, T_1$ ) và ( $IC_2, T_2$ ) làm nhiệm vụ tạo hàm lôgarit:

$$U_{ra1} = -U_T \cdot \ln\left(\frac{U_x}{I_{ES} \cdot R_1}\right); \quad U_{ra2} = -U_T \cdot \ln\left(\frac{U_y}{I_{ES} \cdot R_2}\right)$$

với:  $U_T$  là thế nhiệt của tranzito:  $U_T = \frac{K \cdot T}{q}$ ;  $K = 1,38 \cdot 10^{-23} J/K$ ;  $q = 1,6 \cdot 10^{-19} C$

$I_{ES}$  là dòng điện ngược bão hòa của tiếp giáp EC, hệ số phụ thuộc nhiệt độ.

- IC<sub>3</sub> là mạch cộng:

$$U_{ra3} = -\alpha.(U_{ra1} + U_{ra2}) = \alpha.U_T \left[ \ln\left(\frac{U_x}{I_{ES}.R_1}\right) + \ln\left(\frac{U_y}{I_{ES}.R_2}\right) \right]$$

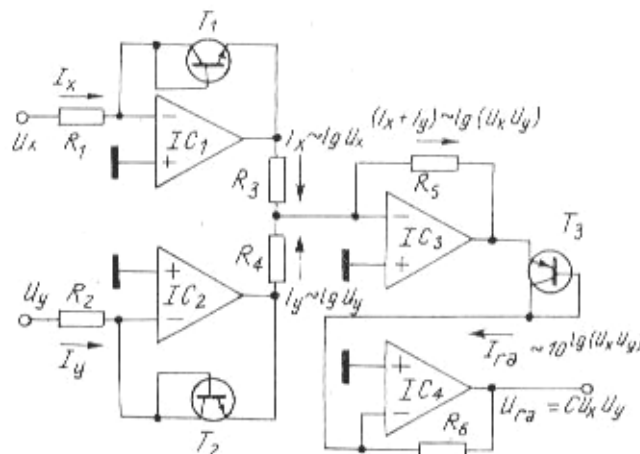
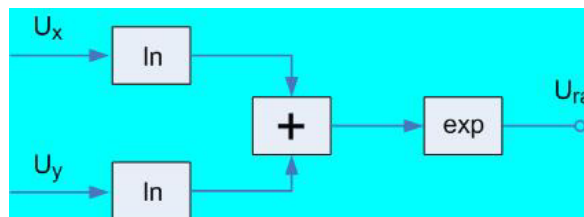
chọn  $\alpha = .U_T \Rightarrow U_{ra3} = \ln\left[\left(\frac{U_x}{I_{ES}.R_1}\right)\left(\frac{U_y}{I_{ES}.R_2}\right)\right]$

- Mạch (IC<sub>4</sub>, T<sub>4</sub>) là mạch đối lôgarit (mạch hàm mũ):

$$U_{ra} = \exp(U_{ra3}) = \exp\left\{\ln\left[\left(\frac{U_x}{I_{ES}.R_1}\right)\left(\frac{U_y}{I_{ES}.R_2}\right)\right]\right\}$$

$$= C.U_x.U_y$$

với  $C = f(R_1, R_2)$



*Hình 6.18. Sơ đồ khối và sơ đồ nguyên lý mạch nhân dùng mạch khuếch đại lôgarit và đối lôgarit sử dụng KĐTT.*

Ưu điểm của mạch nhân sử dụng mạch lôgarit là có thể sử dụng với tín hiệu vào có khoảng động lớn.

Ngày nay các mạch nhân được tích hợp trong một IC, các mạch nhân sử dụng nguyên lý này là: 755N (hãng Analog Devices), 433 (hãng Analog Devices), 4301 (hãng Burr Brown)...

**b) Bộ nhân bằng phương pháp điều khiển độ dẫn của tranzito:** sử dụng phương pháp thay đổi hệ số khuếch đại của KĐ vi sai dùng hai tranzito.

#### 6.5.4. Mạch chia:

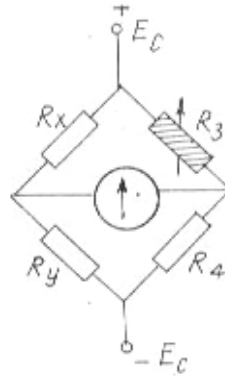
Mạch chia được sử dụng rộng rãi trong các phép đo gián tiếp. Kết quả phép đo có thể là một đại lượng hoặc là một giá trị không có thứ nguyên (thường đặc trưng cho phẩm chất).

Thông dụng nhất là các phương pháp: lôgômét, mạch cầu, mạch chia điện tử...

**a) Mạch chia bằng cơ cấu chỉ thị lôgômét:** có góc quay của kim chỉ thị tỉ lệ với tỉ số của hai dòng điện.



**b) Mạch chia dựa trên mạch cầu cân bằng:** như hình 6.19: là mạch lấy tỉ số giữa hai điện trở của hai nhánh của cầu:



*Hình 6.19. Mạch chia sử dụng mạch cầu cân bằng*

Khi cầu cân bằng có phương trình:

$$R_x \cdot R_4 = R_y \cdot R_3$$

với  $R_3$  thường là một biến trở có giá trị phụ thuộc vào góc quay  $\alpha$ :

$$\alpha = f(R_3)$$

$$R_3 = R_4 \cdot \frac{R_x}{R_y} \Rightarrow \alpha = f(R_3) = f\left(\frac{R_x}{R_y}\right)$$

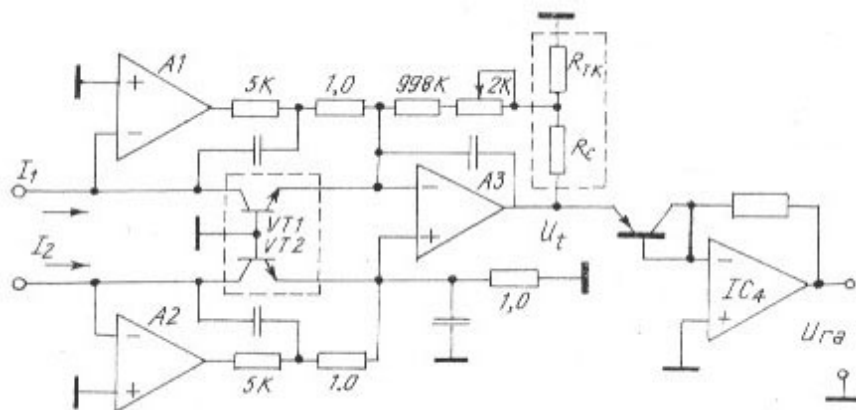
**c) Bộ chia điện tử:** giống bộ nhân điện tử, sử dụng hai bộ khuếch đại lôgarit ( $IC_1, T_1$ ) và ( $IC_2, T_2$ ), sau đó tín hiệu được đưa vào mạch trừ bằng  $IC_3$ . Sau bộ trừ có:

$$U_t = K_1 \cdot \lg\left(\frac{I_x}{I_y}\right)$$

Tín hiệu này sau khi qua bộ đổi lôgarit ( $IC_4, T_3$ ) có:

$$U_{ra} = K_2 \left(\frac{I_x}{I_y}\right)$$

Trong kỹ thuật số việc nhân chia được thực hiện trong các mạch vi xử lý ( $\mu P$ ) và các vi mạch tính toán nhỏ.



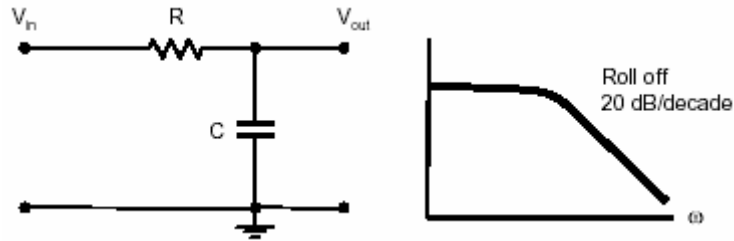
*Hình 6.20. Mạch chia điện tử*

#### 6.5.5. Mạch tích phân (Integrator):

Trong kỹ thuật đo lường thường sử dụng các khâu tích phân. Ví dụ việc biến đổi

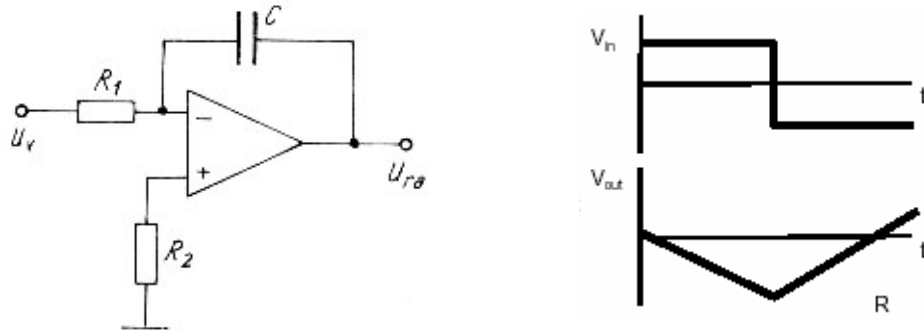
các tín hiệu rời rạc (discrete) thành tín hiệu liên tục (analog) để đưa tín hiệu vào dụng cụ đo tương tự hay trong mạch đo tần số...

Có nhiều loại mạch tích phân như: mạch RC, mạch LR...nhưng phổ biến nhất là mạch tích phân RC kết hợp với KĐTT.



Hình 6.21. Mạch tích phân RC và đặc tính tần số.

a) **Mạch tích phân RC kết hợp với KĐTT:** nhờ có mạch KĐTT có thể tạo ra phản hồi âm sâu làm tăng độ chính xác của mạch tích phân.



Hình 6.22. Mạch tích phân RC kết hợp với KĐTT

Quan hệ giữa điện áp vào và điện áp ra của mạch tích phân:

Viết phương trình dòng điện nút cho cực vào đảo của KĐTT :

$$u_N = u_P = 0 \Rightarrow i_1 + i_c = 0 \Leftrightarrow \frac{u_1}{R} + C \frac{du_r}{dt} = 0$$

$$\Leftrightarrow u_r = -\frac{1}{RC} \int u_1(t).dt = -\frac{1}{RC} \cdot \int_0^T u_1 dt + u_r(t=0)$$

với  $u_r(t=0)$  là điều kiện đầu của điện áp ra.

Trong mạch này tốc độ thay đổi điện áp ra tỉ lệ nghịch với hằng số thời gian  $\tau = R_1 C$ .

- *Khi tín hiệu vào thay đổi theo dạng bậc thang:* tốc độ thay đổi của tín hiệu ra là:

$$\frac{\Delta U_{ra}}{\Delta t} = -\frac{U_v}{R_1 C}$$

như thế đầu ra sẽ có tín hiệu tuyến tính tăng dần theo thời gian.

- *Khi tín hiệu vào là hình sin:* mạch tích phân là một bộ lọc thông thấp (low-pass filter) có hệ số khuếch đại tỉ lệ nghịch với tần số.

- *Bộ tích phân lý tưởng:* thỏa mãn điều kiện khi tín hiệu vào bằng 0 thì tín hiệu ra phải giữ nguyên không đổi. Muốn đưa về giá trị ban đầu phải ngắt mạch tụ C. Đặc tính này được sử dụng làm bộ nhớ động.

#### 6.5.6. Mạch vi phân (Differentiator):

Mạch vi phân đơn giản có thể thực hiện bằng điện cảm hay điện dung.

a) **Mạch vi phân RL:** như hình 6.23a:

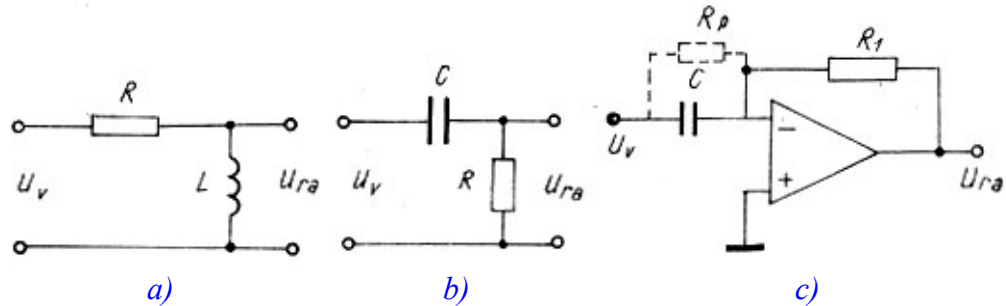
Phương trình điện áp ra là:

$$u_L = L \frac{di_L}{dt}$$

**b) Mạch vi phân RC:** như hình 6.23b:

Phương trình điện áp ra là:

$$i_c = C \frac{du_c}{dt}$$



Hình 6.23. Mạch vi phân

**c) Mạch vi phân kết hợp mạch RC với KĐTT:** trong thực tế để nâng cao độ chính xác thường phải kết hợp mạch RC với KĐTT như hình 6.23c: đây là mạch khuếch đại có phản hồi âm sâu bằng điện trở, hệ số phản hồi có thể xem bằng 1.

Điện áp ra của mạch là:

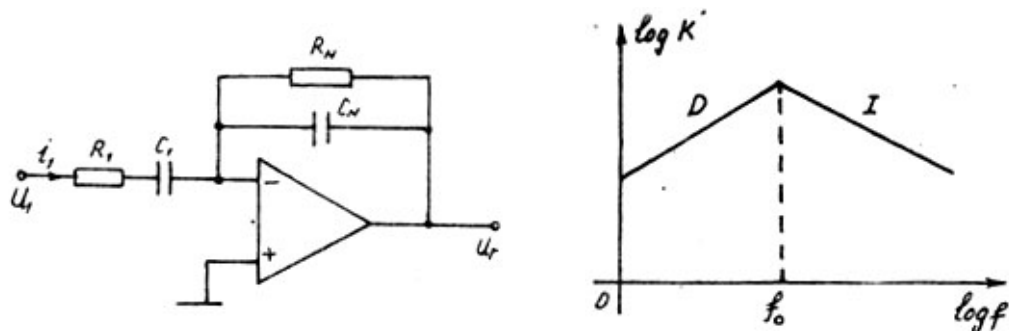
$$u_r = -R_1 C \frac{du_v}{dt}$$

Khi tín hiệu vào là hình sin thì bộ vi phân có tác dụng như bộ lọc cao tần, có hệ số khuếch đại tỉ lệ thuận với tần số của tín hiệu vào.

Mạch vi phân này có những nhược điểm sau:

- Vì hệ số khuếch đại tăng khi tần số tín hiệu vào tăng nên mạch nhạy với tín hiệu ồn cao tần, ồn đầu ra có thể lấn át tín hiệu.
- Trở kháng vào của mạch  $Z_v = 1/j\omega C$  giảm khi tần số tăng, do đó khi nguồn tín hiệu có trở kháng trong lớn thì chỉ một phần tín hiệu được vi phân, phần còn lại được khuếch đại. Ngoài ra ở tần số cao hệ số hồi tiếp của mạch giảm.
- Mạch kém ổn định.

**d) Mạch vi phân thực:** do các nhược điểm của các mạch vi phân trên nên trong thực tế thường dùng mạch vi phân thực như hình 6.24:



Hình 6.24. Mạch vi phân thực và đặc tính biên độ-tần số

Mạch chỉ hoạt động ở chế độ vi phân khi tín hiệu vào có tần số thỏa mãn:

$$f \ll f_o = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

khi đó có phương trình điện áp ra:

$$u_r = -R_N C_1 \frac{du_1}{dt}$$

### 6.6. Mạch so sánh (Comparator).

Mạch so sánh được sử dụng rất nhiều trong kỹ thuật đo lường, mạch có tác dụng phát hiện thời điểm bằng nhau của hai đại lượng vật lý nào đó (thường là giá trị điện áp). Trong phương pháp đo kiểu so sánh thường sử dụng mạch so sánh để phát hiện thời điểm không của điện kế.

Các mạch so sánh phổ biến là các mạch sử dụng KĐTT mắc theo kiểu một đầu vào hay hai đầu vào, hoặc có thêm phản hồi dương nhỏ để tạo ra đặc tính trễ của bộ so sánh. Cũng có thể sử dụng các điện trở mẫu như: mạch cầu, mạch điện thế kế với thiết bị chỉ thị lệch không với điện thế kế.

#### 6.6.1. Bộ so sánh các tín hiệu khác dấu bằng KĐTT mắc theo mạch một đầu vào:

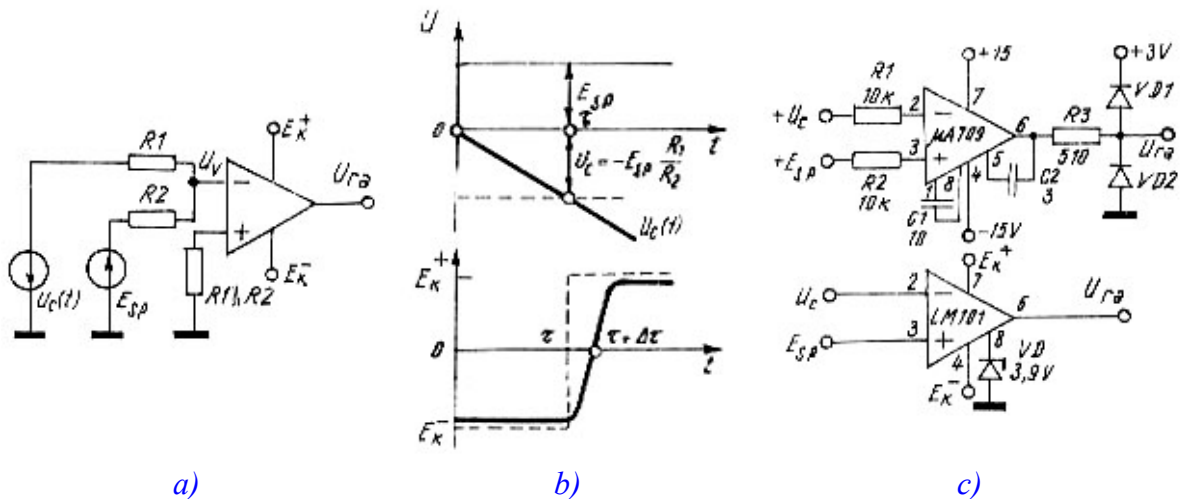
Bộ so sánh này được sử dụng để so sánh hai điện áp vào khác dấu, KĐTT hoạt động ở chế độ khuếch đại vòng hở theo nguyên tắc:

$$\Delta u = u_p - u_N = 0 \rightarrow u_{ra} = 0$$

$$\Delta u = u_p - u_N > 0 \rightarrow u_{ra} = E_K^+$$

$$\Delta u = u_p - u_N < 0 \rightarrow u_{ra} = E_K^-$$

điện áp ra  $U_{ra}$  của mạch so sánh sẽ chuyển trạng thái tại thời điểm cân bằng.



Hình 6.25: a) Bộ so sánh một đầu vào;  
b) Quá trình xảy ra ở bộ so sánh; c) Mạch thực tế

Với sơ đồ mạch này có  $u_p = 0$ . Quá trình chuyển trạng thái được biểu diễn trên hình 6.25b:

- Khi  $0 < t < \tau : u_c < E_{sp} \rightarrow u_N > 0 \rightarrow \Delta u = u_p - u_N = -u_N < 0 \rightarrow u_{ra} = E_K^-$
- Khi  $t = \tau : u_c = -E_{sp} \frac{R_1}{R_2} \rightarrow u_N = 0 \rightarrow \Delta u = u_p - u_N = -u_N = 0 \rightarrow u_{ra}$  chuyển trạng

thái sang  $u_{ra} = E_K^+$  sau thời gian  $\Delta \tau$ .

Mạch so sánh một đầu vào có điện trở vào không lớn, tuy nhiên nó cho phép so

sánh các điện áp cso biên độ lớn mà không mắc phải sai số đồng pha.

Ở cực không đảo (cực P) của KĐTT có mắc thêm điện trở có giá trị bằng  $R_1//R_2$  để khử điện áp trôi (điện áp lệch không - offset voltage).

### 6.6.2. Bộ so sánh các tín hiệu cùng dấu bằng KĐTT mắc theo mạch hai đầu vào:

Mạch này được sử dụng để so sánh hai tín hiệu cùng dấu. Độ lớn của điện áp vào phải được giới hạn trong phạm vi cho phép của điện áp đồng pha  $E_{đp}$  của KĐTT đã chọn.

Xét mạch so sánh sử dụng KĐTT  $\mu A709$  như hình 6.25a: KĐTT hoạt động ở chế độ khuếch đại vòng hở theo nguyên tắc:

$$\Delta u = u_P - u_N = 0 \rightarrow u_{ra} = 0$$

$$\Delta u = u_P - u_N > 0 \rightarrow u_{ra} = E_K^+$$

$$\Delta u = u_P - u_N < 0 \rightarrow u_{ra} = E_K^-$$

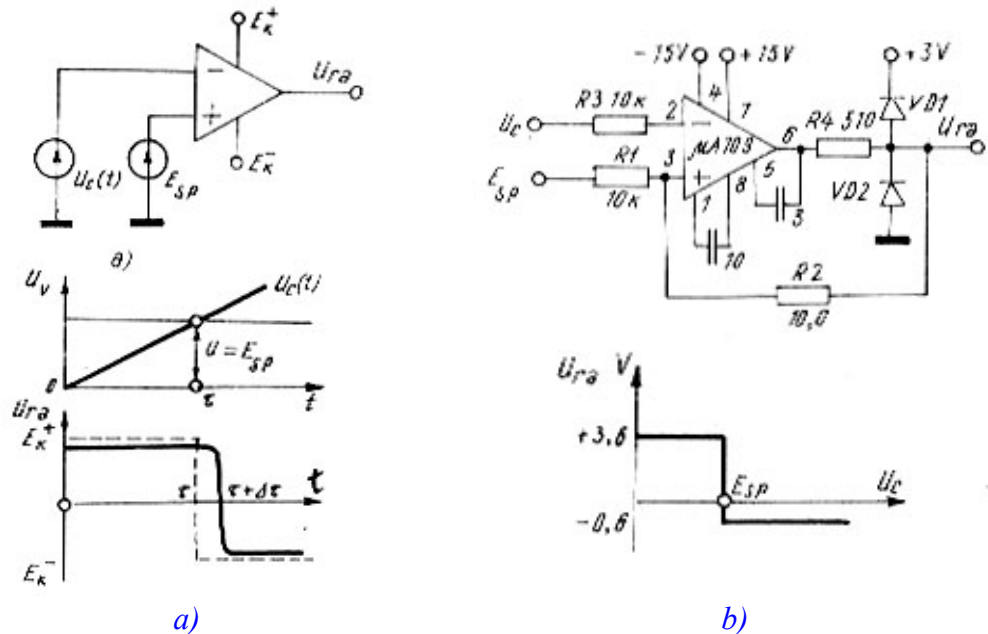
với  $\Delta u = E_{sp} - u_c(t)$ .

Tín hiệu chênh lệch nhỏ nhất mà mạch phát hiện được với KĐTT có hệ số khuếch đại vòng hở  $K_0 = 4.10^4$  và  $U_n = 2V$  là:

$$|\Delta u| = |E_{sp} - u_c(t)|_{\min} = \frac{U_n}{K_0} = 0,05mV$$

Đối với các mạch so sánh sử dụng các KĐTT tiêu chuẩn thì thời gian để điện áp ra tăng lên đến 4V khi hiệu  $|\Delta u| = |E_{sp} - u_c(t)|$  bằng 10mV mất khoảng  $0,5\mu s$ , thời gian trễ của tín hiệu ra cỡ 3-5 $\mu s$ .

Biên độ điện áp ra được giới hạn bởi mạch hạn chế gồm diốt  $VD_1$  (hạn chế trên) và  $VD_2$  (hạn chế dưới), điện áp ra có thể đưa thẳng vào đầu của các IC số.

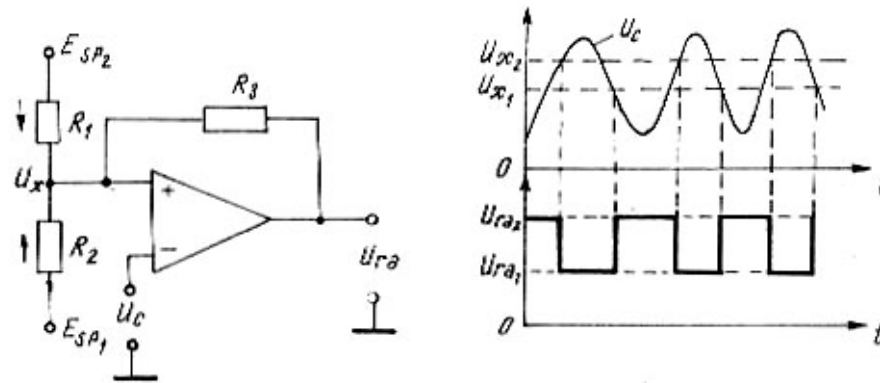


Hình 6.25. Bộ so sánh hai đầu vào và quá trình xảy ra ở bộ so sánh

### 6.6.3. Mạch so sánh hai mức:

Trong các hệ thống kiểm tra hay điều chỉnh tự động có lúc cần phải điều chỉnh một thông số nào đó luôn luôn phải nằm giữa hai mức cho trước, khi đó phải sử dụng mạch so sánh hai mức  $U_{x1}$ ,  $U_{x2}$  được tạo bởi tổng hợp của 2 nguồn  $E_{sp1}$ ,  $E_{sp2}$ .

Xét mạch ví dụ như hình 6.26 với  $U_{x1} < U_{x2}$ :



Hình 6.26. Mạch so sánh hai mức.

Tín hiệu đầu ra  $u_{ra}$  có hai trạng thái tương ứng với giá trị của tín hiệu vào  $u_c$ :

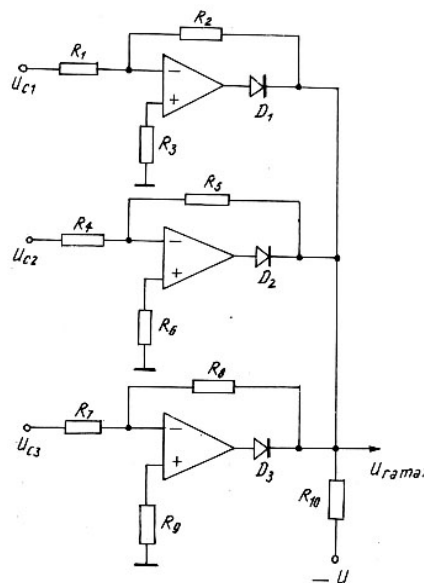
- Khi  $u_c > U_{x2}$ :  $u_{ra} = U_{ra1}$ , giữ nguyên khi  $u_c$  giảm.
- Khi  $u_c = U_{x1}$  đầu ra thay đổi trạng thái:  $u_{ra} = U_{ra2}$

Mạch hoạt động như một mạch Trigơ Smit.

#### 6.6.4. Mạch so sánh cực đại:

Ứng dụng khi cần so sánh những tín hiệu đo khác nhau và chỉ thị giá trị cực đại trong số các giá trị đo đó.

Mạch nguyên lý như hình 6.27:



Hình 6.27. Mạch so sánh cực đại

Các điện áp vào cần so sánh là  $u_{c1}$ ,  $u_{c2}$ ,  $u_{c3}$ , cho điện áp nền  $-U$  (có giá trị tuyệt đối lớn hơn các  $u_c$ ), khi có điện áp ở các đầu vào  $u_{c1}$ ,  $u_{c2}$ ,  $u_{c3}$  thì các điốt đều thông và ở đầu ra chỉ  $u_{ra\ max}$  của các điện áp đầu vào, lúc này chỉ có điốt tương ứng với  $u_{c\ max}$  là thông còn các điốt khác sẽ bị khóa.

#### 6.6.5. Mạch cầu đo:

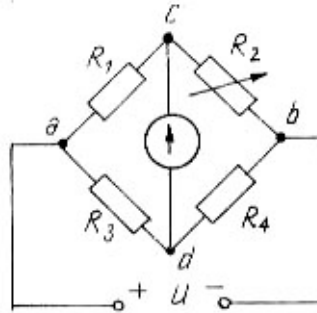
Mạch cầu được xem như là một mạch so sánh điện trở, tuy nhiên thực chất là biến thành sự so sánh hai điện thế.

Cấu tạo của mạch như hình 6.28:

Cầu cân bằng khi  $u_c = u_d$ , khi đó có quan hệ:

$$R_1.R_4 = R_2.R_3$$

Để đạt trạng thái cân bằng thường phải điều chỉnh một trong các điện trở, quá trình tìm cân bằng là quá trình điều chỉnh để so sánh hai điện thế  $u_c$  và  $u_d$ . Khi bằng nhau thì điện kế chỉ 0 và hệ thức trên không phụ thuộc vào điện áp nguồn.



Hình 6.28. Mạch cầu đo

Nếu sử dụng các điện trở chính xác (bằng vật liệu mangani) thì có thể sử dụng mạch cầu đo để đo điện trở với độ chính xác cao bằng cách: thay một điện trở của cầu (ví dụ  $R_1$ ) bằng điện trở cần đo  $R_x$ , ở trạng thái cầu cân bằng có:

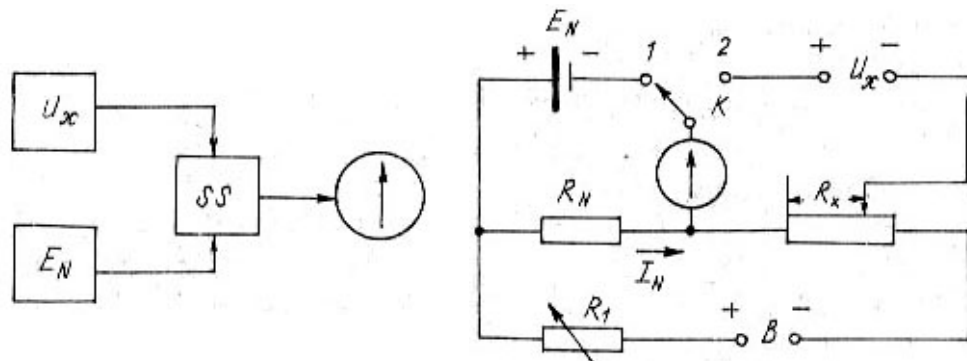
$$R_x = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

nếu chọn  $R_3 = R_4$  thì  $R_x = R_2$  với  $R_2$  là điện trở đã biết từ đó biết được giá trị của  $R_x$ . Đây là phép đo điện trở với độ chính xác cao dựa trên nguyên lý so sánh cân bằng.

#### 6.6.6. Mạch điện thế kế:

Là mạch đo dựa trên phương pháp so sánh cân bằng giữa hai điện áp: điện áp cần đo  $U_x$  và điện áp mẫu  $E_N$ .

Sơ đồ khối và sơ đồ nguyên lý của mạch như hình 6.29:



Hình 6.29. Sơ đồ khối và sơ đồ nguyên lý mạch điện thế kế.

Điện áp cần đo  $U_x$  được so sánh với điện áp mẫu  $E_N$ , ở thời điểm bằng nhau đọc  $E_N$  sẽ biết được giá trị của  $U_x$ .

Cách thực hiện như sau: bật công tắc K sang vị trí 1, điều chỉnh  $R_1$  sao cho kim điện kế chỉ 0, khi đó có:

$$E_N = I_N.R_N \text{ hay } I_N = \frac{E_N}{R_N}$$

là các đại lượng chính xác vì  $E_N$  là pin mẫu và  $R_N$  là điện trở mẫu.

Tiếp theo bật công tắc K sang vị trí 2, điều chỉnh  $R_x$  sao cho điện kế chỉ 0, khi đó có:



$$U_x = I_N \cdot R_x = \frac{E_N}{R_N} \cdot R_x$$

nếu chế tạo  $\frac{E_N}{R_N} = 10^n$  thì sẽ có:  $U_x = 10^n R_x$

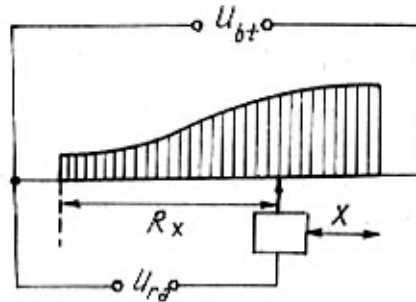
Đây là phép đo điện áp chính xác vì kết quả đo phụ thuộc vào độ chính xác của pin mẫu  $E_N$  và của các điện trở mẫu  $R_x, R_N$ . Độ chính xác của phép đo còn phụ thuộc vào độ nhạy của điện kế chỉ 0, thường phải chọn điện kế từ điện đủ nhạy (trong khoảng từ  $10^{-6}$ - $10^{-9}$  A/vạch).

### 6.7. Mạch tạo hàm.

Mạch tạo hàm được sử dụng rất nhiều khi gặp trường hợp đặc tính ra của các chuyển đổi sơ cấp là phi tuyến, khi đó cần phải tuyến tính hóa đặc tính ra bằng cách sử dụng các hàm ngược bằng các mạch tạo hàm. Mạch tạo hàm còn được sử dụng trong các chuyển đổi ngược để tạo các hàm giống với hàm đặc tính ra của chuyển đổi sơ cấp.

#### 6.7.1. Mạch tạo hàm bằng biến trở:

Biến trở của mạch tạo hàm có thiết diện được chế tạo theo hàm số mong muốn:



Hình 6.30a. Mạch tạo hàm bằng biến trở

Di chuyển của con chạy tỉ lệ với đại lượng vào:

$$l = k_1 X$$

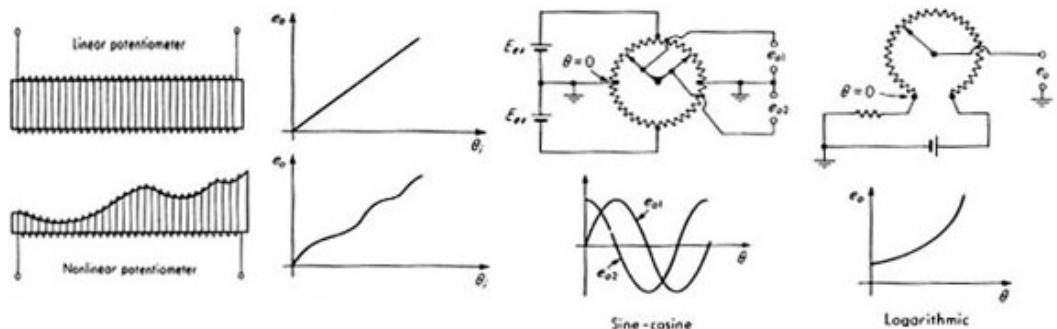
Lỗi của biến trở có hình dạng theo hàm số yêu cầu.

Gọi điện trở toàn bộ biến trở là  $R_{bt}$ , điện áp toàn bộ đặt lên nó là  $U_{bt}$ , điện áp ra sẽ là:

$$U_{ra} = \frac{U_{bt}}{R_{bt}} \cdot R_x = k \cdot R_x$$

nếu  $R_x = f(l)$  thì  $U_{ra} = k \cdot f(l)$

Nếu đặc tính ra của đại lượng cần đo  $X$  qua CĐSC là hàm phi tuyến thì cần chế tạo biến trở có hàm đặc tính là hàm ngược lại để có đầu ra là hàm tuyến tính.

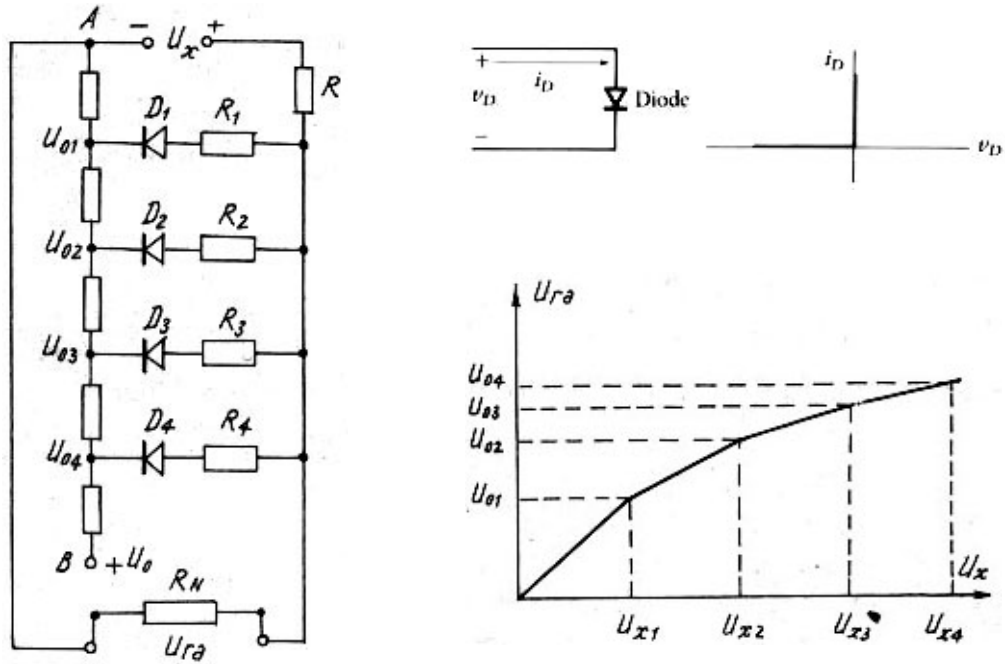


Hình 6.30b. Một số mạch tạo hàm bằng biến trở thông dụng

### 6.7.2. Mạch tạo hàm bằng điốt bán dẫn:

Điốt lý tưởng được xem như chỉ dẫn điện một chiều, điện trở ngược vô cùng lớn, điện trở thuận bằng 0.

Sơ đồ mạch tạo hàm đơn giản như hình 6.31:



Hình 6.31. Mạch tạo hàm bằng điốt bán dẫn.

Điện áp vào là \$U\_x\$. Nhờ bộ phân áp AB trên dây đặt điện áp nền \$U\_0\$, ở các catốt của điốt có điện áp \$U\_{01}, U\_{02} \dots\$

Khi thay đổi giá trị điện áp vào \$U\_x\$ có thể phân tích như sau:

- **Khi \$0 < U\_x < U\_{x1}\$:** tất cả các điốt đều khóa, không có dòng điện đi qua mạch phân áp, điện áp \$U\_x\$ được đặt trên điện trở \$R\$ và \$R\_N\$ nối tiếp nhau:

$$U_N = U_x \cdot \frac{R_N}{R + R_N}$$

- **Khi \$U\_{x1} < U\_x < U\_{x2}\$:** điốt \$D\_1\$ mở còn các điốt khác vẫn khóa, có:

$$I = U_x / \left( R + \frac{R_1 R_N}{R_1 + R_N} \right)$$

$$U_N = U_x - IR = U_x - \frac{RU_x}{R + R_E} \text{ với } R_E = \frac{R_1 R_N}{R_1 + R_N}$$

Cũng như vậy, khi \$U\_{x2} < U\_x < U\_{x3}\$, các điốt \$D\_1, D\_2\$ đều mở, dòng trong mạch chính tăng lên, điện áp rơi trên tải gồm những đoạn thẳng có góc \$\alpha\$ khác nhau nối lại với nhau. Kết quả nhận được đường cong theo hàm số mong muốn.

Để hiệu chỉnh độ cong có thể thay đổi các giá trị điện trở \$R\_1, R\_2, R\_3, R\_4\$ cho phù hợp.

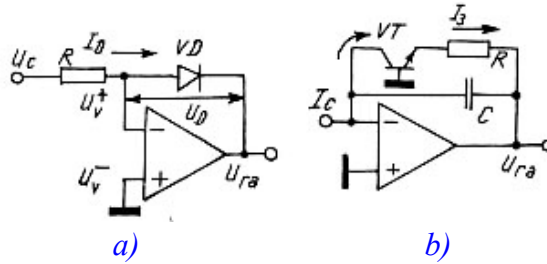
### 6.7.3. Mạch tạo hàm lôgarit:

Để tạo hàm lôgarit người ta sử dụng đặc tính vôn-ampe của tiếp giáp p-n. Đối với dụng cụ bán dẫn có chất lượng cao đặc tính đó có dạng:

$$U_D = N \cdot \lg \frac{I_D}{I_S}$$

với:  $U_D$ : điện áp rơi trên điốt;  $I_D$ : dòng điện qua điốt.  
 $I_S$ : dòng ngược của điốt;  $N$ : hệ số tỉ lệ

a) **Mạch tạo hàm lôgarit đơn giản:** xét mạch tạo hàm lôgarit đơn giản như hình 6.32a:



Hình 6.32. Mạch tạo hàm lôgarit đơn giản

Điện áp và dòng điện tính toán là:

$$I_D = \frac{U_c}{R}$$

$$U_{ra} = -U_D = -N \cdot \lg \frac{U_c}{R \cdot I_S}$$

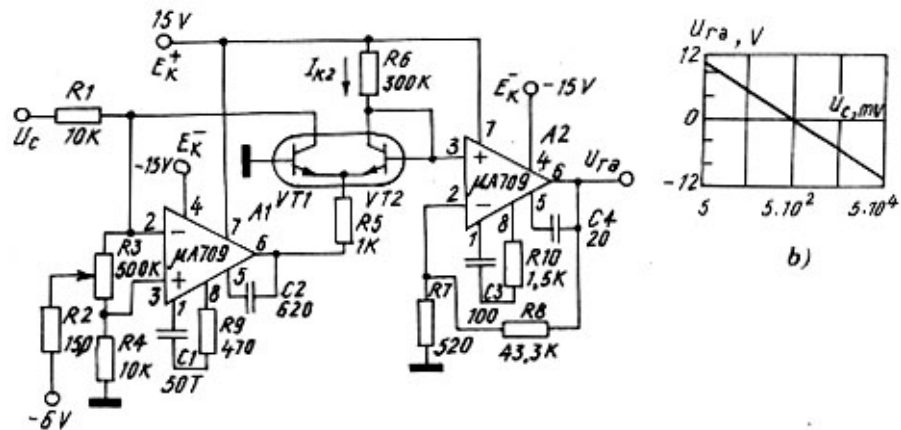
$$= -N \cdot \lg U_c + N \cdot \lg(R \cdot I_S)$$

do  $I_S$  rất nhỏ nên có thể bỏ qua thành phần  $N \cdot \lg(R \cdot I_S)$ , suy ra:

$$U_{ra} = -N \cdot \lg U_c$$

Ngoài ra có thể sử dụng mạch tranzito-điốt như hình 6.32b làm việc trong khoảng  $10^{-11}$ - $10^{-4}$ A

b) **Mạch tạo hàm lôgarit sử dụng môđun lôgarit:** trong thực tế để nâng cao hiệu quả của đặc tính lôgarit phải sử dụng môđun lôgarit bao gồm 2 tranzito có chung cực phát (emiter)  $VT_1$ ,  $VT_2$  mắc với 2 KĐTT loại  $\mu A709$  như hình 6.33:



Hình 6.33. Mạch tạo hàm lôgarit sử dụng môđun lôgarit

Đặc tính lôgarit được tạo ra nhờ sử dụng điện áp rơi trên tiếp giáp p-n còn hiệu điện áp góc-phát xuất hiện nếu  $VT_1$ ,  $VT_2$  làm việc với dòng góp (colector) khác nhau  $I_{c1}$ ,  $I_{c2}$ .

Điện áp ra của mạch tỉ lệ với lôgarit của điện áp vào  $U_c$  và nhiệt độ:

$$U_{ra} = \left(1 + \frac{R_8}{R_7}\right) \cdot \varphi_T \cdot \ln \left( \frac{R_6}{R_1} \cdot \frac{U_c}{E_k} \right)$$

Đồ thị hàm truyền đạt và sơ đồ nguyên lý của mạch như hình 6.33. Khoảng động

của mạch này cỡ 80dB, sai số nhiệt độ khoảng  $0,3\%/1^{\circ}\text{C}$ , khoảng nhiệt độ làm việc  $0-50^{\circ}\text{C}$ .

## 6.8. Mạch đo sử dụng vi xử lý ( $\mu\text{P}$ - MicroProcessor).

### 6.8.1. Giới thiệu về mạch vi xử lý:

Mạch vi xử lý thực hiện chức năng tính toán nhỏ, ghi nhớ, trao đổi thông tin vào/ra, tạo nhịp... là bộ phận đầu não của máy vi tính. Nó thực hiện chức năng của một đơn vị xử lý trung tâm (CPU) trong máy tính.

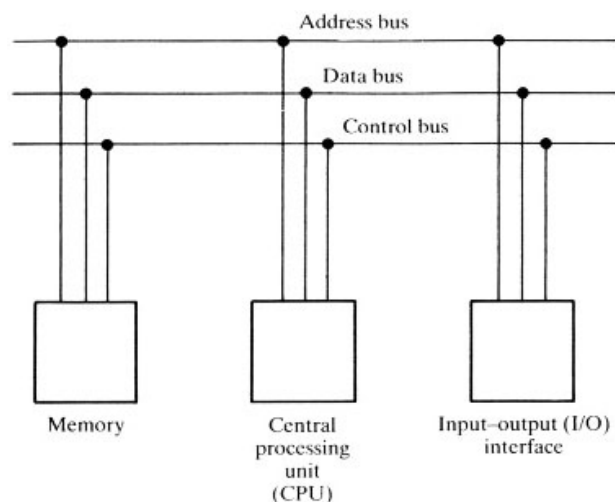
Trong kỹ thuật đo lường ngày nay  $\mu\text{P}$  đang được sử dụng rộng rãi kết hợp với các thiết bị ngoại vi và các thiết bị ghép nối.

Thiết bị ghép nối: là hệ thống ghép nối các bộ phận với nhau của hệ thống đo lường thông tin như: hệ thu thập số liệu, kênh liên lạc, xử lý và thể hiện kết quả đo...

Sự ra đời của  $\mu\text{P}$  mở ra một khả năng to lớn trong công nghiệp chế tạo máy vi tính, trong đo lường và điều khiển các quá trình sản xuất, quản lý đời sống xã hội.

### 6.8.2. Cấu trúc của bộ vi xử lý:

Có rất nhiều loại  $\mu\text{P}$  khác nhau từ đơn giản đến phức tạp tuy nhiên đều có một cấu trúc chung gần giống nhau (như hình 6.34a):



Hình 6.34a. Cấu trúc chung của một bộ vi xử lý

Gồm có các khối cơ bản:

- Khối xử lý trung tâm: CPU
- Khối giao tiếp vào - ra: I/O interface
- Khối bộ nhớ: Memory
- Khối bus: gồm bus điều khiển (Control bus), bus dữ liệu (Data bus) và bus địa chỉ (Address bus).

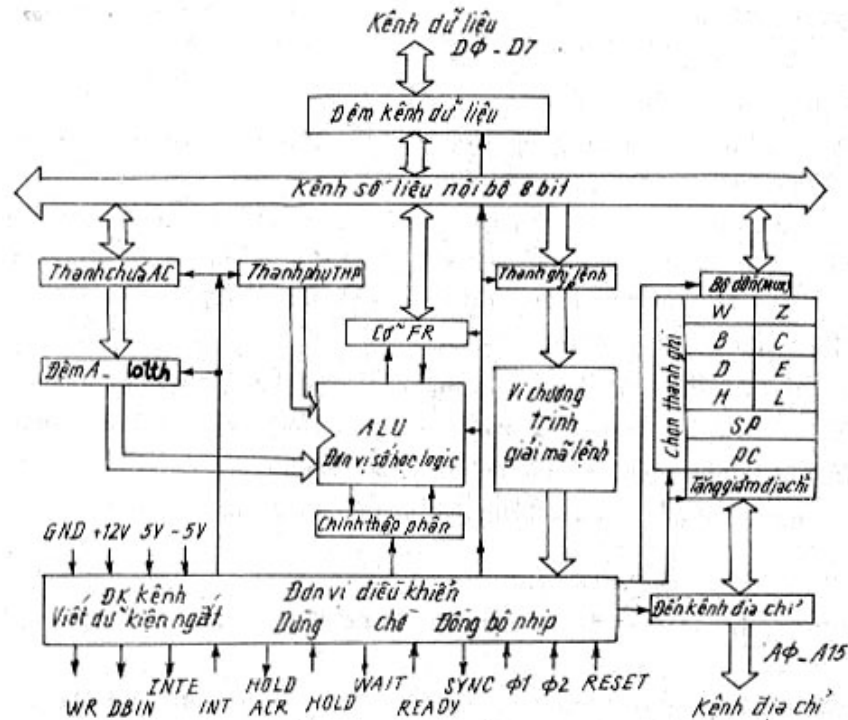
**Bộ vi xử lý 8 bit của hãng INTEL -  $\mu\text{P}$  8088:** dưới đây xét sơ đồ cấu trúc của bộ vi xử lý rất nổi tiếng và thông dụng nhất hiện nay đó là bộ vi xử lý 8 bit của hãng INTEL -  $\mu\text{P}$  8088 như hình 6.34b:

Cấu trúc của  $\mu\text{P}$  gồm 4 bộ phận chính:

- Đơn vị số học và logic (ALU): thực hiện các phép tính số học, các phép logic với các dữ liệu được đưa vào.
- Các thanh ghi (Register): thực hiện việc lưu trữ tạm thời các dữ liệu và thông

số về trạng thái của  $\mu P$ .

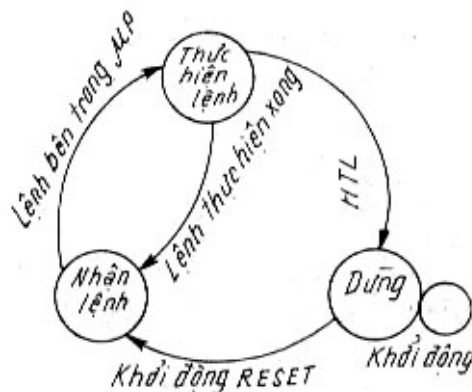
- *Bộ vi chương trình*: ghi tất cả các tập lệnh của hệ điều hành nhỏ của  $\mu P$ .
- *Bộ điều khiển (CU)*: điều khiển việc lựa chọn các lệnh từ bộ nhớ và thực hiện chúng; thực hiện việc vào/ra kênh dữ liệu và kênh địa chỉ.



Hình 6.34b. Cấu trúc của bộ vi xử lý  $\mu P8088$ .

### 6.8.3. Hoạt động của $\mu P$ :

Quá trình hoạt động của  $\mu P$  là quá trình thực hiện các câu lệnh của chương trình đã được lập trình trước, các câu lệnh được thực hiện tuần tự. Để bắt đầu làm việc, ta đưa lệnh khởi động (RESET), lúc đó đơn vị điều khiển CU gán giá trị 0 cho thanh đếm chương trình PC (Program Counter), đó là ô nhớ chứa lệnh đầu tiên của chương trình được đưa ra thực hiện.



Hình 6.35. Các chu kỳ lệnh của  $\mu$

Địa chỉ đầu được đưa ra kênh địa chỉ, đơn vị điều khiển thực hiện lệnh đó abung cách giữ nội dung của thanh ghi PC tới thanh ghi địa chỉ AR và bản thân PC tự động tăng lên 1 đơn vị để xác định ô lệnh tiếp theo của chương trình.

Đơn vị điều khiển tạo ra xung đọc để đưa nội dung ô nhớ đã được chỉ định trên AR vào bộ xử lý qua kênh số liệu vào thanh ghi lệnh IR. Byte đầu tiên của lệnh là

mã lệnh sẽ được chứa vào IR và lệnh được chuyển vào chương trình để phân tích và đưa ra các vi lệnh (các chỉ dẫn) cần thực hiện tương ứng với từng lệnh, mỗi lệnh yêu cầu một khoảng thời gian khác nhau để thực hiện.

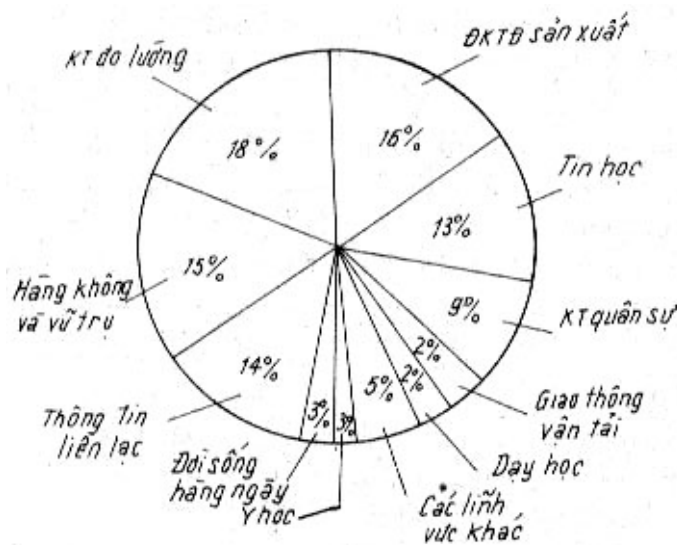
Trong quá trình thực hiện vi lệnh,  $\mu P$  phải sử dụng đến các thanh ghi, đơn vị xử lý số học ALU...tùy theo chỉ dẫn các phép tính hay các vi lệnh đã được chỉ định tương ứng với từng lệnh.

Các cờ (flag) sẽ được sử dụng để đưa ra các điều kiện thực hiện phép tính.

Kết thúc một lệnh, đơn vị điều khiển sẽ phát xung lệnh để bắt đầu một chu trình tương tự để thực hiện câu lệnh tiếp theo.

#### 6.8.4. Ứng dụng của $\mu P$ trong kỹ thuật đo lường:

Ngày nay vi xử lý được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực công nghiệp và đời sống, thống kê cho thấy tỉ lệ sử dụng vi xử lý trong các lĩnh vực như hình 6.36:



Hình 6.36. Lĩnh vực ứng dụng vi xử lý

Qua đó cho thấy lĩnh vực ứng dụng quan trọng nhất của kỹ thuật vi xử lý là kỹ thuật đo lường và điều khiển tự động.

Trong kỹ thuật đo lường việc sử dụng vi xử lý và thiết bị ghép nối đã mở ra những tiến bộ vượt bậc trong việc chế tạo các dụng cụ đo từ phức tạp đến đơn giản và hệ thống thông tin đo lường.

Các mạch vi xử lý thường được sử dụng trong các vôn-mét số, các dụng cụ tự ghi, các máy phát tín hiệu, các dao động ký điện tử, các máy vẽ đồ thị, các dụng cụ đo vận năng tự động, các dụng cụ đo trong y tế...

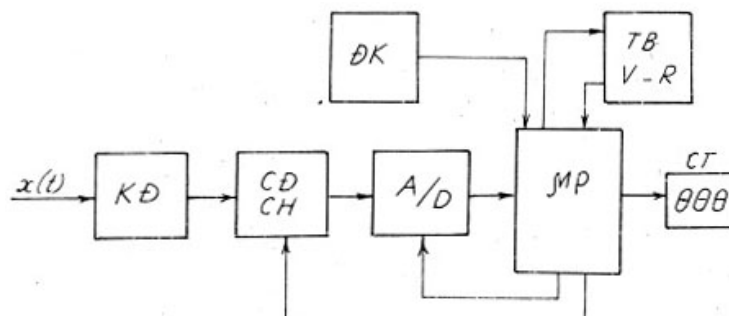
Vi xử lý được sử dụng trong các hệ thống thông tin đo lường, trong các thiết bị đo lường đòi hỏi các angôrit phức tạp và tính tự động hóa cao như:

- Các hệ thống kiểm tra tự động các thông số của đối tượng, kiểm tra phân loại sản phẩm.
- Hệ thống chẩn đoán kỹ thuật
- Hệ thống đo lường từ xa
- Các vôn-mét tích phân, các tương quan kế, các máy phân tích phổ, đo các thông số của điện áp xoay chiều, đo các đại lượng phức, các nguồn ổn áp nhiều giá trị
- Các bộ chuyển đổi AD- DA và các thiết bị đo thông minh mà từ trước chưa



thể thực hiện được bằng các mạch đo thông thường.

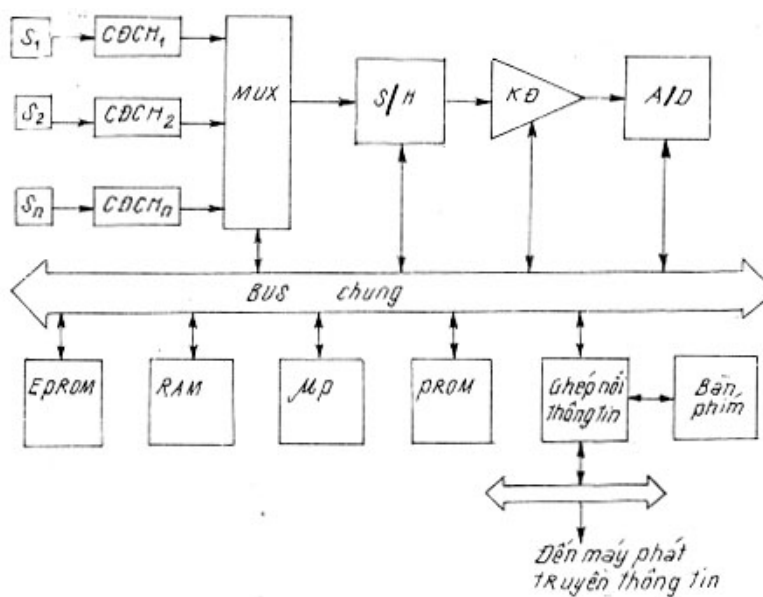
Trong các dụng cụ sử dụng  $\mu P$  thì mọi công việc thu nhận, gia công xử lý và cho ra kết quả đo đều do  $\mu P$  đảm nhận theo một thuật toán đã định sẵn.



Hình 6.37. Sơ đồ khối của một dụng cụ đo chỉ thị có số sử dụng  $\mu P$ .

Một dụng cụ đo phức tạp sẽ tiến dần đến như một máy tính trong đó có sử dụng các kênh chung (BUS) thực hiện việc liên hệ với nhau, quản lý, ra lệnh và làm việc theo chương trình. Các thiết bị đo càng ngày càng có xu hướng trở thành một máy tính thực sự, việc đo, gia công xử lý sẽ được thực hiện bằng phần mềm một cách linh hoạt để đảm bảo quá trình đo lường, kiểm tra, lưu giữ và cả điều khiển quá trình sản xuất.

Một hệ thống thông tin đo lường có sử dụng  $\mu P$  có cấu trúc điển hình như hình 6.38:



Hình 6.38. Hệ thống thông tin đo lường sử dụng  $\mu P$ .

**Hướng dẫn SV đọc thêm [1], trang 140-152.**