

# Kỹ thuật đo lường (2)

**GV: Hoàng Sĩ Hồng**

# Chương 6. Mạch Đo Lường và Gia Công Thông Tin Đo

- Khái niệm chung:
- Đ/N: 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



# Phân loại



- Mạch tỉ lệ là mạch thực hiện một phép nhân hoặc chia: sun, phân áp, biến áp, biến dòng
- Mạch khuếch đại tương tự như tỉ lệ nhưng công suất ra lớn hơn công suất vào
- Mạch gia công tính toán thực hiện các phép tính đại số như cộng, trừ, nhân, chia, tích và vi phân..
- Mạch so sánh giữa hai điện áp
- Mạch tạo hàm
- Mạch biến đổi A/D và D/A
- Mạch đo sử dụng kĩ thuật vi xử lí

# Các đặc tính cơ bản của mạch đo



1. Chức năng và phạm vi làm việc
2. Sai số của mạch đo

a) Sai số do chính bản thân mạch đo

hàm truyền đạt  $W = Y/X$

Nguyên nhân là do ảnh hưởng của sự biến động các yếu tố ngoại lai hay nội tại  $\Delta\theta$

Sai số được đánh giá  $k = (\Delta W/W)/(\Delta\theta/\theta) = \gamma_w / \gamma_\theta$

Sai số đầu ra là  $\Delta Y = \gamma_w \cdot W \cdot X$

# Sai số



- Sai số do sự kết hợp các đại lượng vào
- $\Delta (x_1 \pm x_2) = \Delta x_1 \pm \Delta x_2$
- Sai số tương đối của tích hai đại lượng bằng tổng sai số
- Đặc tính động của mạch đo phải bảo đảm để cho sai số của mạch đo không vượt quá sai số cho phép.

# Sai số



- Công suất tiêu thụ của mạch đo:
- Trong đa số các trường hợp điện trở đầu vào của mạch đo rất lớn so với điện trở ra của khâu trước đó.
- Sai số do công suất tiêu thụ của mạch đo gây nên khi mắc vào khâu trước sẽ là:
- $\gamma_p = P / P_{\max}$
- $P$  là công suất tiêu thụ đầu vào mạch đo
- $P_{\max}$  công suất cực đại mà khâu trước cho ra
- Ngược lại ở đầu ra mạch đo phải tính toán để công suất ra lớn nhất tức là  $P_{ra} = P_{tai}$
- Sai số  $\gamma_{ra} = (P_{ra} - P_{tai}) / P_{ra}$

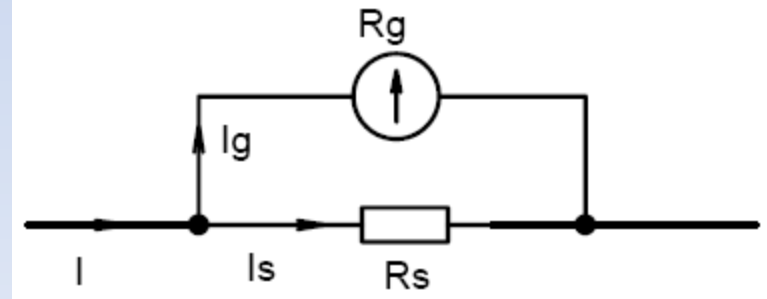
# Mạch tỉ lệ

- 1. mạch tỉ lệ về dòng
- Trong mạch một chiều thì dùng sun, mạch xoay chiều dùng biến dòng
- A) **sun** là một điện trở mắc song song với cơ cấu chỉ thị. Ta có  $n = I/I_g$  thông thường  $n > 1$  được gọi là hệ số chia dòng điện.

$$\frac{I_g}{I_s} = \frac{I_g}{nI_g - I_g} = \frac{1}{n-1} = \frac{R_s}{R_g}$$

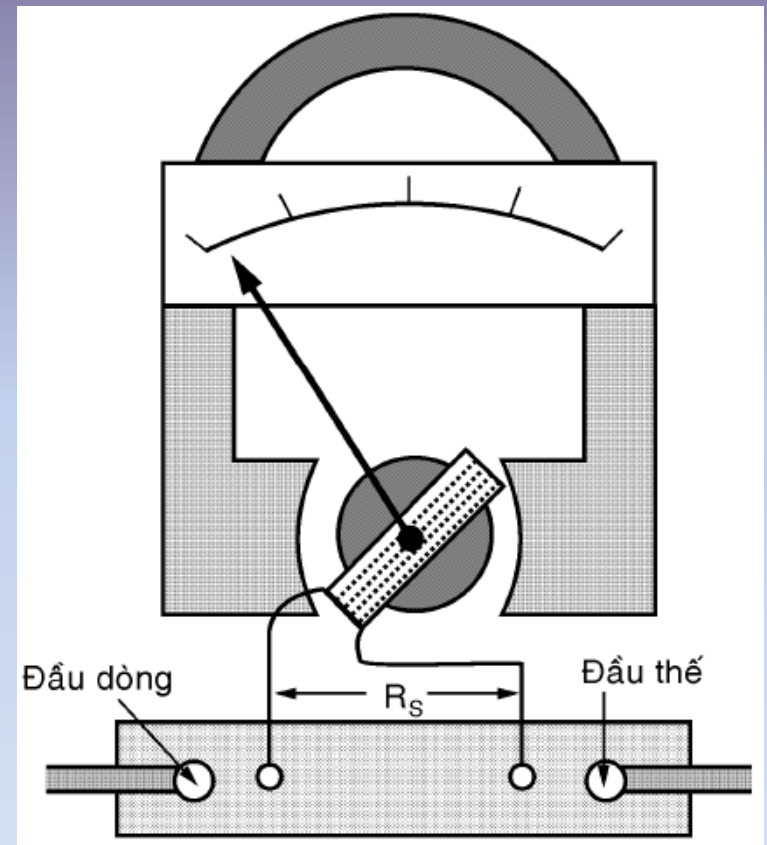
Hay:

$$R_s = \frac{R_g}{n-1}$$



# Cấu tạo của điện trở sun

- Sun có cấu tạo như điện trở 4 đầu, 2 đầu dòng và 2 đầu áp. Có thể mở rộng thang đo bằng cách chia thành nhiều cấp





# Mắc sun nhiều cấp

- Ta có 4 phương trình 4 ẩn số  $\rightarrow$  tính được  $R_1, R_2, R_3, R_4$

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

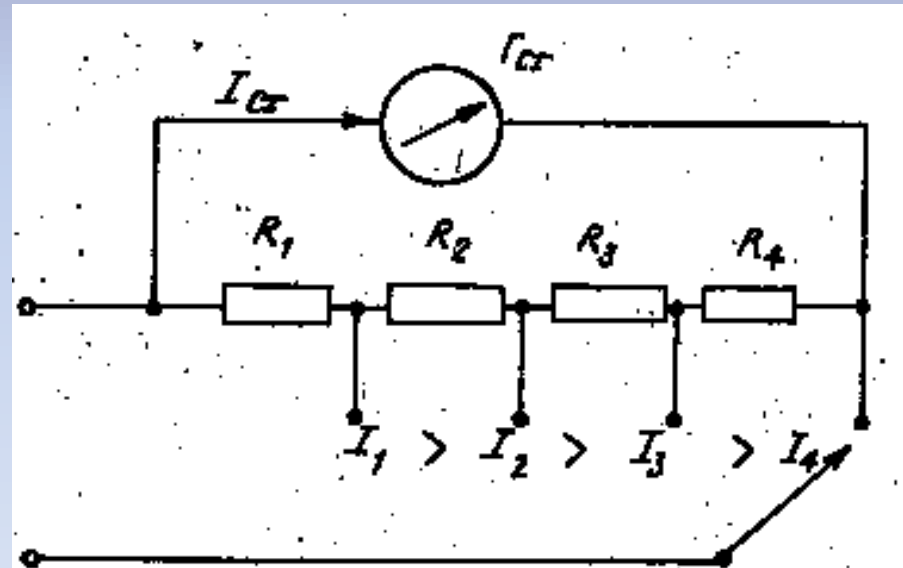
$$n_4 = \frac{I_4}{I_{CT}}$$

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

$$n_3 = \frac{I_3}{I_{CT}}$$

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

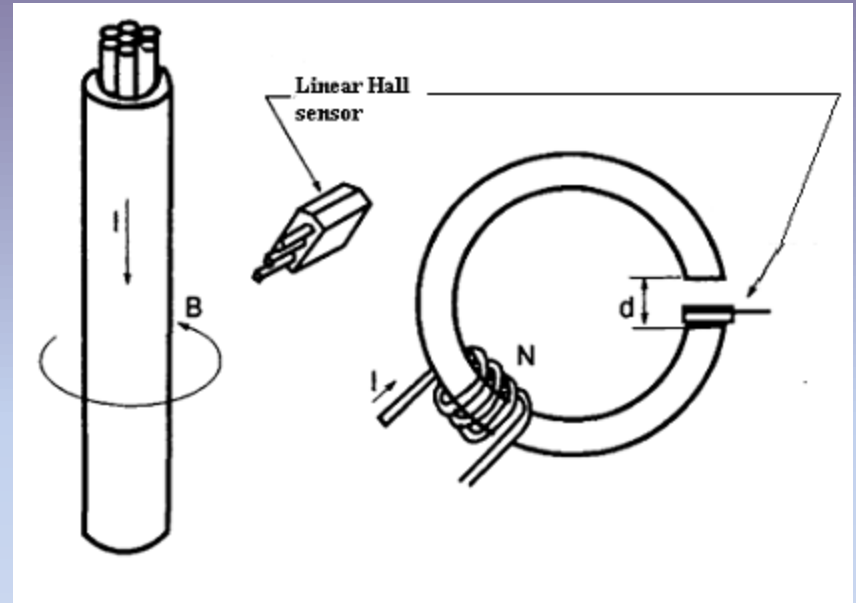
$$R_{S1} = \frac{I_{CT} + R_4 + R_3 + R_2}{n_1 - 1} = R_1; \quad n_1 = \frac{I_1}{I_{CT}}$$



Hình 6-3. Mắc sun nhiều cấp.

# Biến dòng điện

- Biến dòng điện là một máy biến áp mà thứ cấp ngắn mạch, sơ cấp nối tiếp với dòng điện chạy qua. Nếu lý tưởng  $K1 = I1/I2 = W2/W1$
- Sai số về modun
- $\gamma1 = ((K_{in} - K1)/K_{in}) \times 100\%$



# Một số lưu ý khi sử dụng



- Chế độ làm việc bình thường là ngắn mạch thứ cấp. Nếu thứ cấp bị hở mạch thì điện áp thứ cấp sẽ tăng vọt lên từ hàng chục von lên đến vài kilovon rất nguy hiểm cho người sử dụng và làm cháy biến dòng đánh thủng cách điện. Vì thế cuộn thứ cấp phải nối đất để đề phòng đánh thủng cách điện.
- Điện áp định mức: 0.5 – 35 KV
- Dòng định mức sơ cấp 0.1 – 25.000 A, định mức thứ cấp là 5A hoặc 1A, ccx: 0.05, 0.1, 0.2..

# Mạch tỉ lệ về áp

Mạch phân áp điện trở

$$R_p = r_{cT} (m-1), m = U_{đo}/U_{cT}$$

$$R_{p_1} = R_1 = r_{cT} (m_1 - 1)$$

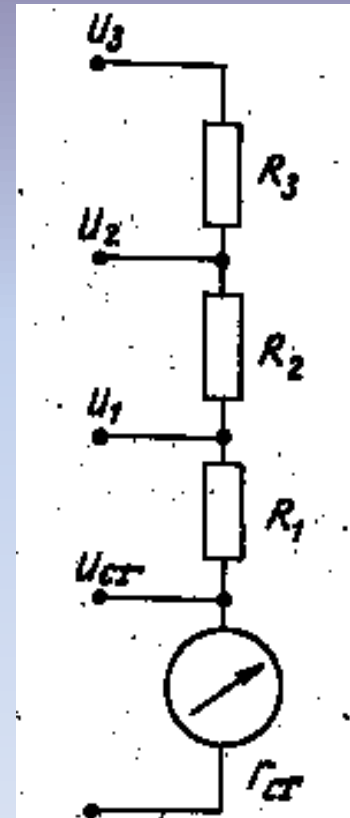
$$m_1 = \frac{U_1}{U_{cT}}$$

$$R_{p_2} = R_1 + R_2 = r_{cT} (m_2 - 1)$$

$$m_2 = \frac{U_2}{U_{cT}}$$

$$R_{p_3} = R_1 + R_2 + R_3 = r_{cT} (m_3 - 1)$$

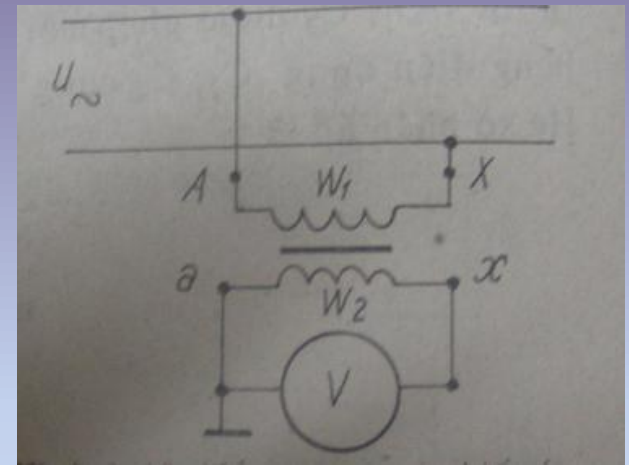
$$m_3 = \frac{U_3}{U_{cT}}$$



Hình 6-6. Mở rộng thang đo của vônmet.

# Biến áp đo lường

- Khi  $U_1 > U_2$  ta có biến áp hạ áp
- Khi  $U_1 < U_2$  ta có biến áp tăng áp
- hệ số biến áp  $K_u = U_1/U_2 = W_1/W_2$
- Ngược với biến dòng, biến áp đo
- Luôn sử dụng ở chế độ hở mạch
- Cuộn thứ cấp ( thứ cấp nối với vonmet có điện trở vào vô cùng lớn)
- Điện áp định mức của cuộn thứ cấp là 100V
- Cấp chính xác : 0.05, 0.1, 0.2 và 0.5



# Cách tính công suất định mức

biến dòng (gọi tắt là CT từ chữ current transformer) dùng để chuyển dòng điện xoay chiều biên độ lớn (vài chục đến vài ngàn ampere) thành dòng điện nhỏ để tương thích với các thiết bị/ dụng cụ đo lường/điều khiển... Ví dụ biến dòng loại 100/5 tức là nếu dòng sơ cấp là 100A thì dòng thứ cấp không tải sẽ là 5A. Lưu ý trạng thái không tải của biến dòng tức là ngắn mạch 2 đầu thứ cấp.

Một cách đơn giản ta có thể mắc vào thứ cấp biến dòng 1 điện trở tải là  $R = 1 \text{ ohm}$ , điện áp rơi trên  $R$  sẽ tỷ lệ với dòng thứ cấp, qua đó sẽ tỷ lệ với dòng sơ cấp.

Cũng với ví dụ trên, biến dòng 100/5, giả sử dòng sơ cấp là 100A, dòng thứ cấp sẽ là 5A, điện áp trên  $R$  sẽ là 5V (xoay chiều, dĩ nhiên). Tuy nhiên với mọi loại biến thế, dù là biến dòng hay biến áp, bạn phải tính công suất phụ tải của nó.

Với ví dụ trên, phụ tải của biến dòng là  $R = 1 \text{ ohm}$ , ở dòng sơ cấp 100A thì công suất trên  $R$  là  $5A \times 5V = 25 \text{ W}$ , tương đương 25 VA. Như vậy nếu dùng  $R = 1 \text{ ohm}$  thì phải chọn loại biến dòng có công suất định mức lớn hơn 25VA.

# Mạch khuếch đại đo lường



- Trong các thiết bị đo tín hiệu đo được lấy ra từ các bộ cảm biến có công suất rất nhỏ. Muốn khuếch đại được những tín hiệu như vậy cần phải có những bộ khuếch đại điện trở đầu vào phải rất lớn

# Mạch KĐ đo lường vi sai

- ở tầng đầu vào là hai bộ lặp lại dùng kỹ thuật toán IC1 và IC2. Hệ số KĐ là:

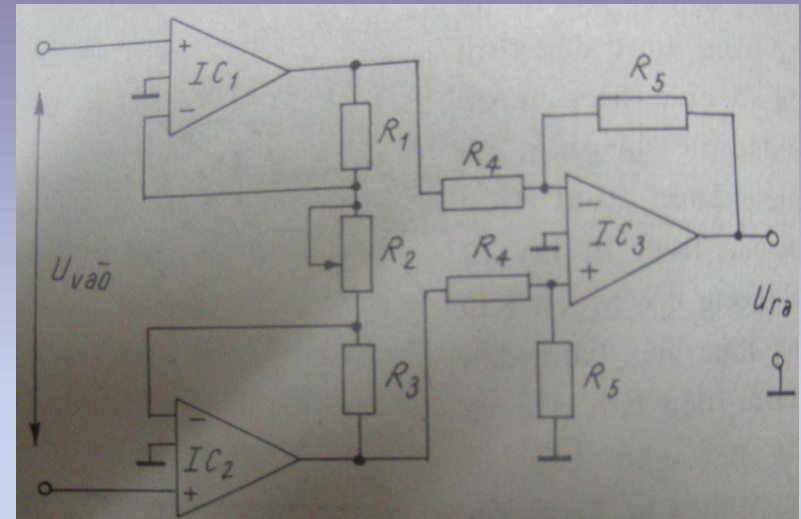
$$K_1 = 1 + \frac{R_1 + R_3}{R_2}$$

- ở tầng thứ 2 sử dụng IC3 có hệ số KĐ là:

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

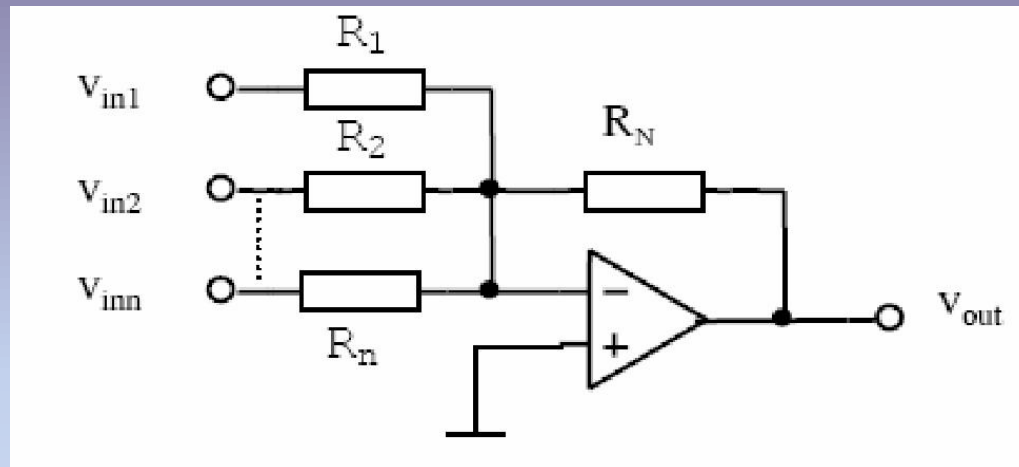
- Do đó hệ số KĐ của cả mạch là:

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





# Mạch cộng đảo



$$\frac{V_{in1}}{R_1} + \frac{V_{in2}}{R_2} + \dots + \frac{V_{inn}}{R_n} + \frac{V_{out}}{R_N} = 0$$

$$\Rightarrow V_{out} = - \left( \frac{R_N}{R_1} V_{in1} + \frac{R_N}{R_2} V_{in2} + \dots + \frac{R_N}{R_n} V_{inn} \right)$$

# Mạch trừ

Điện áp ở cửa vào thuận:

$$V_p = V_{in2} \frac{R_p}{R_p + \frac{R_p}{a}}$$

Điện áp ở cửa vào đảo:

$$V_N = (V_{in1} - V_{out}) \frac{R_N}{R_N + \frac{R_N}{a}} + V_{out}$$

Vì:

$$V_d = V_p - V_N = 0 \Rightarrow V_p = V_N$$

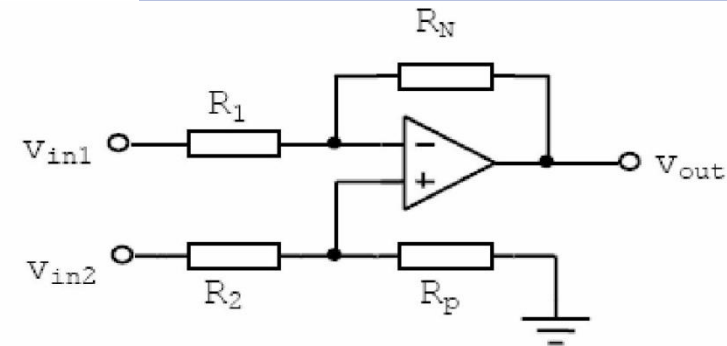
$$\Rightarrow V_{in2} \cdot \frac{R_p}{R_p + \frac{R_p}{a}} = \frac{R_N}{R_N + \frac{R_N}{a}} (V_{in1} - V_{out}) + V_{out}$$

Nếu  $R_N = R_p$ :

$$\Rightarrow V_{out} = a (V_{in2} - V_{in1})$$

$$R_1 = R_N/a$$

$$R_2 = R_p/a$$



# Mạch tích phân đảo

Phương trình dòng điện nút tại N:

$$i_1 + i_C = 0$$

Hay:

$$\frac{V_{in1}}{R} + C \frac{dV_{out}}{dt} = 0$$

Suy ra:

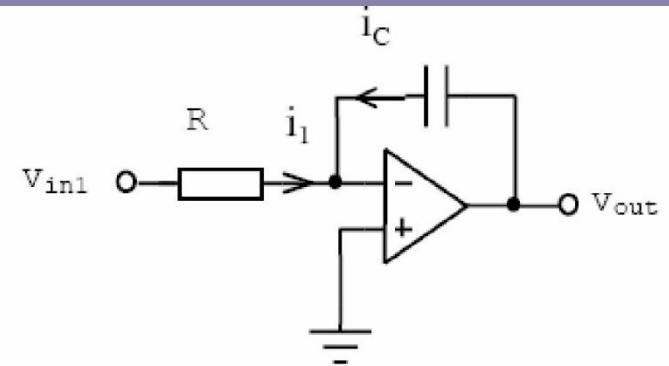
$$V_{out} = -\frac{1}{RC} \int V_{in1}(t) dt = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_{in1}(t) dt + V_{out}(t=0)$$

=> Điện áp ra tỉ lệ với tích phân điện áp vào.

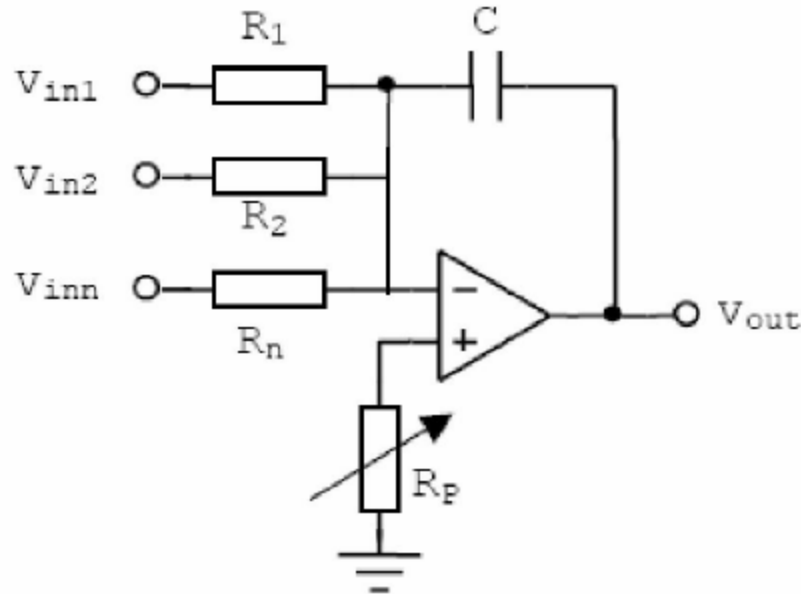
Thường chọn hằng số thời gian  $\tau = RC = 1s$ .  $V_{out}(t=0)$  là điều kiện đầu, không phụ thuộc vào điện áp vào  $V_{in1}$ .

Nếu  $V_{in1}$  là điện áp xoay chiều hình sin:  $v_{in1} = V_{in1} \sin \omega t$  thì:

$$v_{out} = -\frac{1}{RC} \int V_{in1} \cdot \sin \omega t \cdot dt = \frac{V_{in1}}{\omega RC} \cdot \cos \omega t = V_{out} \cos \omega t$$



# Mạch tích phân tổng

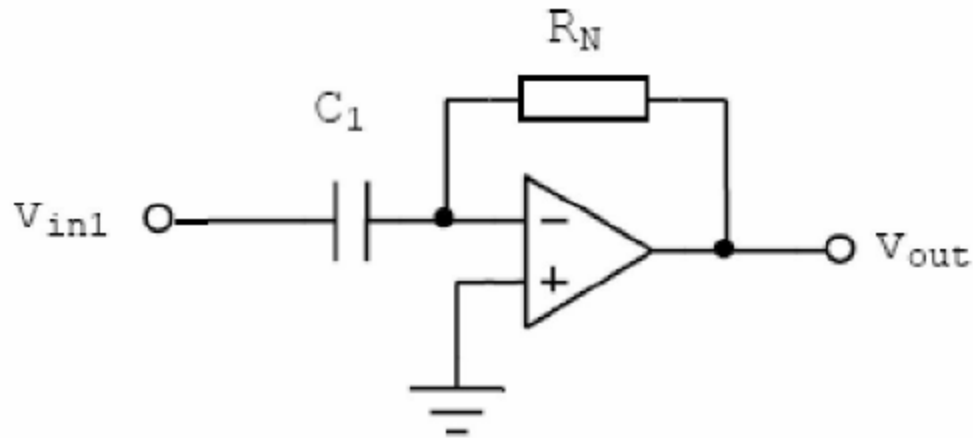


Hình 1.4. Sơ đồ mạch tích phân tổng

Dùng phương pháp xếp chồng và viết phương trình dòng điện nút đối với nút N ta tìm được:

$$V_{out} = -\frac{1}{C} \int \left( \frac{V_{in1}}{R_1} + \frac{V_{in2}}{R_2} + \dots + \frac{V_{inn}}{R_n} \right) dt$$

# Mạch vi phân



Hình 1.6. Sơ đồ mạch vi phân

$$i = C_1 \frac{dv_{in1}}{dt} = \frac{V_{out}}{R_N}$$

$$\Rightarrow V_{out} = -R_N C_1 \frac{dv_{in1}}{dt}$$

# Các bộ biến đổi ADC



- Chuyển đổi gián tiếp: tích phân 2 sườn dốc
  - $u(t) \Rightarrow \text{Time Interval}/f/T \Rightarrow \text{code}$
  - Chậm, rẻ tiền (\$s), độ phân ly và chính xác cao
  - Dùng cho đo lường, thu thập số liệu trong công nghiệp... không cần nhanh, loại được nhiều
- Chuyển đổi trực tiếp:  $u(t) \Rightarrow \text{code}$ 
  - Nhanh, độ phân ly thấp hơn [đắt tiền], dùng để thu thập và xử lý tín hiệu biến thiên nhanh
- Chuyển đổi kiểu xấp xỉ liên tiếp: 10k..10MSps
- Chuyển đổi song song: 10M..500 MSps

# Tích phân 2 sườn dốc - Dual Slope Integration ADC:



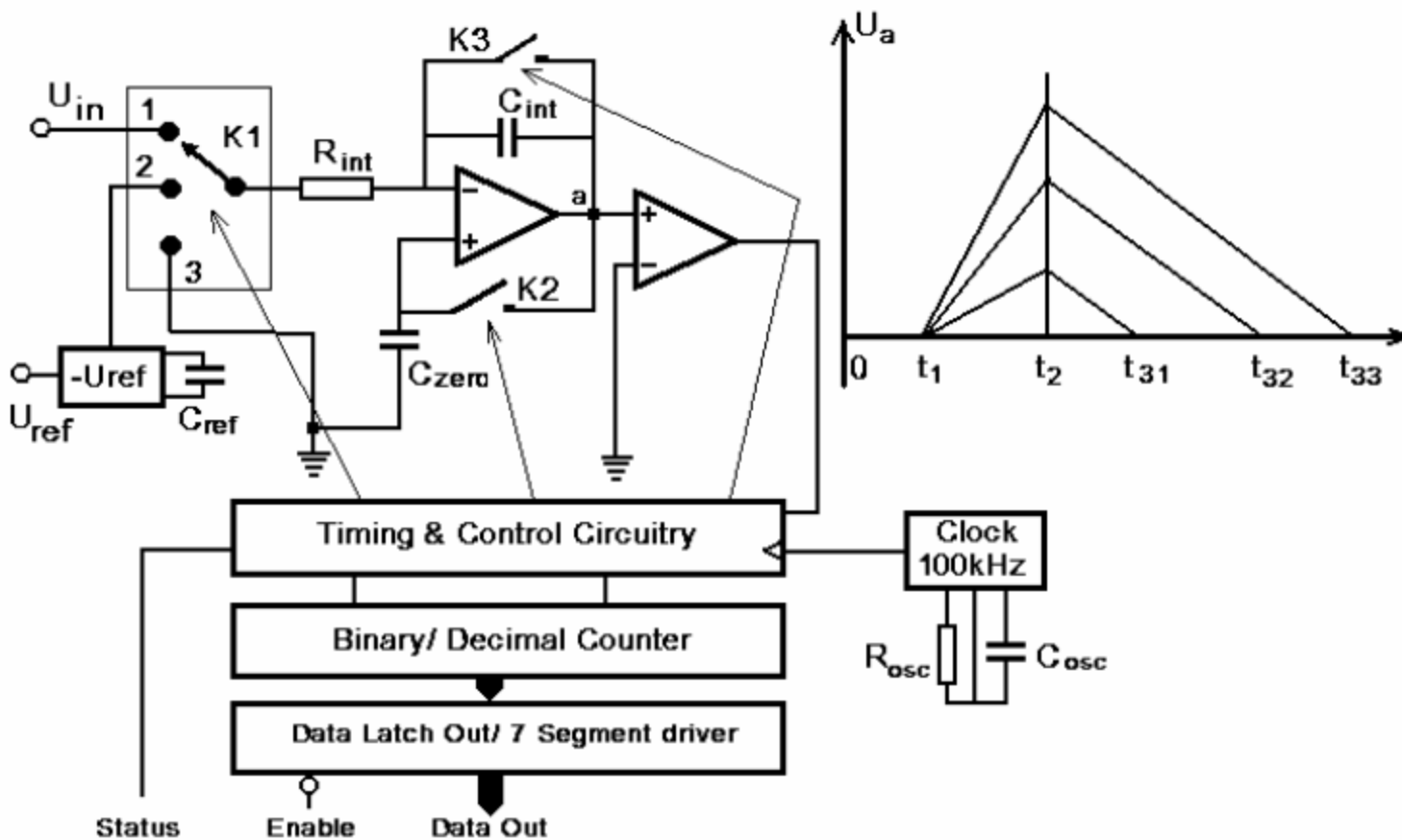
- – **Đặc điểm:**
- Chậm, hàng chục..hàng trăm ms - conversion time
- Loại bỏ được nhiễu lưới công nghiệp (50/60 Hz)
- Rẻ, độ phân li cao, độ chính xác cao, nếu Internal Ref
- và clock thì đắt hơn
- => Dùng để đo lường, thu thập số liệu trong công nghiệp

# *Ví dụ ICs: (ICL 17XY)*

- – ICL 7107, 15..17kđ,
- In: -2V..2V, Out: -1999 => 1999, 4.000 counts <=> 12 bit,
- LED 7 Seg drive directly w current sourcers for display
- Conversion time: 20..40ms
- – ICL 7135, 25..30kđ,
- Inp: -2V..+2V, Out: -19999 => +19999, 40.000 count >
- 15bit, 400 ms conversion time
- De-Multiplexed Out BCD for 5 digits of 7 Seg, scanned
- – ICL 7109, 120kđ, w REF & Clock
- Inp: -2V..+2V, Out: 12 bin + pole, 8/16 bit interface to CS



# Sơ đồ nguyên lý



Hình 6.20. Dual Slope Integration ADC

# Nguyên lý cấu trúc

- $U_{IN}$ : điện áp cần chuyển đổi,
- Switch: SPTT, chuyển mạch theo các phase hoạt động.

- Integrator: 
$$U_a = - \frac{1}{R_I C_I} \int_{t_1}^{t_2} (U_{IN} dt)$$

- AC: Analog Comparator:  $V_+ > V_- \Rightarrow \text{Out} = 1$   
 $V_+ < V_- \Rightarrow \text{Out} = 0$

***Chú ý: không có khái niệm  $V_+ = V_-$***

- Bộ "đảo dấu"  $U_{REF}$ , ví dụ:  $U_{REF} = -1,000 \text{ Volt}$  khi  $U_{IN} > 0 \text{ V}$   
 $U_{REF} = +1,000 \text{ Volt}$  khi  $U_{IN} < 0 \text{ V}$
- Timing-Control: điều khiển hoạt động của ADC
- Counter: để đếm thời gian ( $t_3 - t_2$ ), bin/BCD
- Output Latch: chốt số liệu ra: 7seg/bcd/bin; [3state] để ghép nối bus trực tiếp, có tín hiệu Hi/Low byte enable

# Hoạt động

- **Hoạt động:** Chia thành 3 phase, Free Run, không cần CS khởi động. CS có thể HOLD/RUN
- Zeroing Phase: (0.. t1)
  - K1 => grounded, K2, K3 closed => khử bỏ điện áp dư trên các phân tử (tare - trừ bì)
- Integrating Phase: (t1=>t2)
  - K1=> U<sub>IN</sub>, K2, K3 Opened

$$U_a(t2) = - \frac{1}{R_I C_I} \int_{t1}^{t2} (U_{IN} dt) + U_a(t1)$$

- Tuy nhiên, U<sub>a</sub>(t1) đã được qui zero trước đó.

# Hoạt động

- De-integration Phase: ( $t_2 \Rightarrow t_3$ ), K1  $\Rightarrow$  "- $U_{REF}$ ", K2, K3 Opened

$$U_a(t_3) = - \frac{1}{R_I C_I} \int_{t_2}^{t_3} (-U_{REF} dt) + U_a(t_2) = 0$$

$$\rightarrow \int_{t_1}^{t_2} U_{IN} dt = \int_{t_2}^{t_3} U_{REF} dt$$

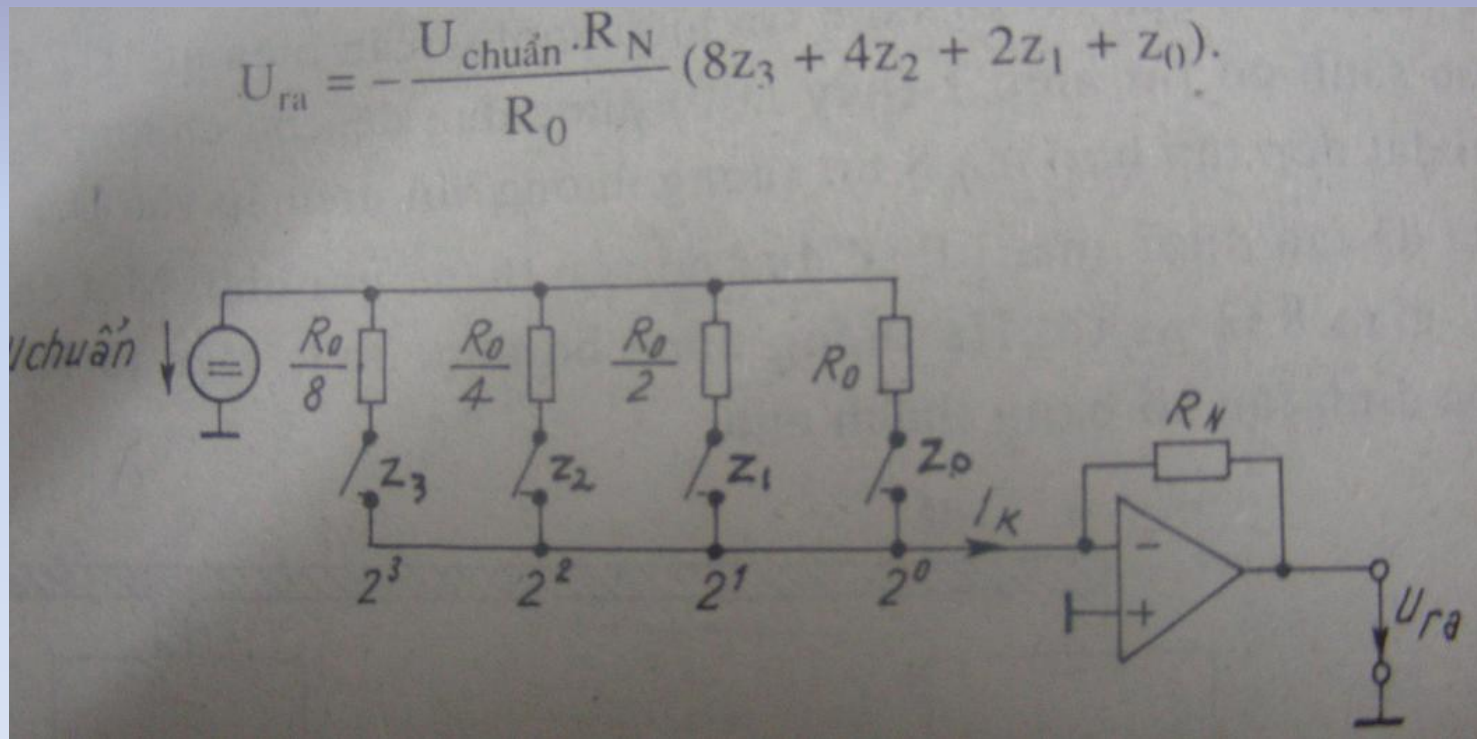
$$\rightarrow U_{IN} \sim (t_3 - t_2)$$

$$\rightarrow U_{IN}^* = k (t_3 - t_2);$$

với  $U_{IN}^*$  là trung bình tích phân của  $U_{IN}$  từ  $t_1 \Rightarrow t_2$

# Bộ biến đổi DAC

- Phương pháp lấy trọng số



$$\gamma_R = \frac{\Delta R}{R} < \frac{1}{2^{n+1}}$$

# Các chuyển đổi đo lường sơ cấp