

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI

VIỆN ĐIỆN



KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG

Nguyễn Thị Huế
BM: Kỹ thuật đo và Tin học công nghiệp



- Phần 1: Cơ sở lý thuyết kĩ thuật đo lường
 - ❖ Chương 1: Khái niệm cơ bản về kĩ thuật đo lường
 - ❖ Chương 2: Đơn vị đo, chuẩn và mẫu
 - ❖ Chương 3: Đặc tính cơ bản của dụng cụ đo
- Phần 2: Các phần tử chức năng của thiết bị đo
 - ❖ Chương 4: Cấu trúc cơ bản của dụng cụ đo
 - ❖ Chương 5: Cơ cấu chỉ thị cơ điện, tự ghi và chỉ thị số
 - ❖ Chương 6: Mạch đo lường và gia công thông tin đo
 - ❖ Chương 7: Các chuyển đổi đo lường sơ cấp
- Phần 3: Đo lường các đại lượng điện
 - ❖ Chương 8: Đo dòng điện
 - ❖ Chương 9: Đo điện áp
 - ❖ Chương 10: Đo công suất và năng lượng
 - ❖ Chương 11: Đo góc lệch pha, khoảng thời gian và tần số
 - ❖ Chương 12: Đo thông số mạch điện
 - ❖ Chương 13: Dao động kí
- Phần 4: Đo lường các đại lượng không điện
 - ❖ Chương 14: Đo nhiệt độ
 - ❖ Chương 15: Đo lực
 - ❖ Chương 16: Đo các đại lượng không điện khác



➤ Sách:

- ❖ Kỹ thuật đo lường các đại lượng điện tập 1,2- Phạm Thượng Hàn, Nguyễn Trọng Quế....
- ❖ Đo lường điện và các bộ cảm biến: Ng.V.Hoà và Hoàng Sĩ Hồng

➤ Bài giảng và website:

- ❖ Bài giảng kỹ thuật đo lường và cảm biến-Hoàng Sĩ Hồng.
- ❖ Bài giảng Cảm biến và kỹ thuật đo: P.T.N.Yến, Ng.T.L.Huong, Lê Q. Huy
- ❖ Bài giảng MEMs ITIMS - BKHN

➤ Website: sciendirect.com/sensors and actuators A and B

Chương 8: Đo dòng điện



Kí hiệu



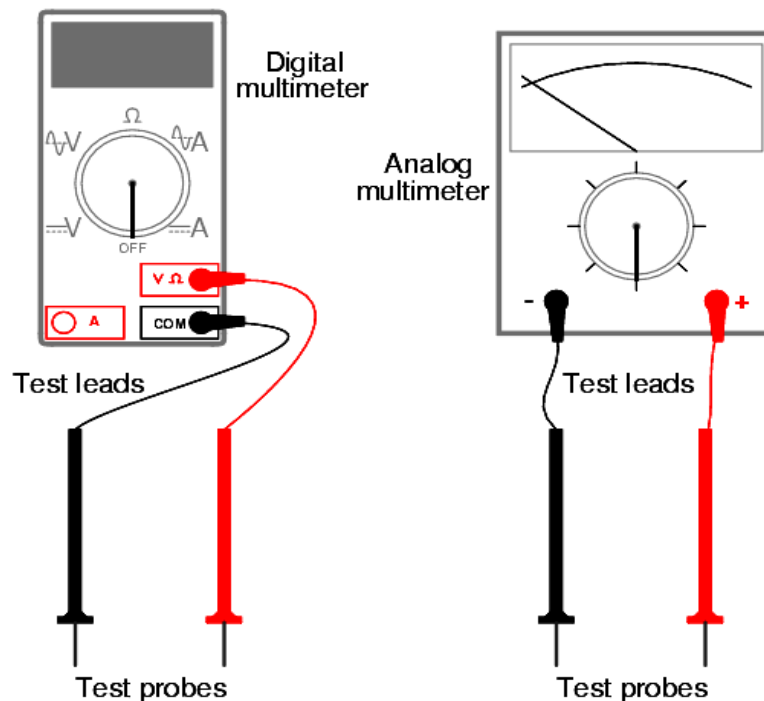
Phân loại

Nếu chia theo kết cấu ta có:

- + Ampe kế từ điện
- + Ampe kế điện từ
- + Ampe kế điện động
- + Ampe kế nhiệt điện
- + Ampe kế bán dẫn

Nếu chia theo tính chất của đại lượng đo, ta có:

- + Ampe kế một chiều
- + Ampe kế xoay chiều



Nếu chia theo loại chỉ thị ta có:

- + Ampe kế chỉ thị số (Digital)
- + Ampe kế chỉ thị kim (kiểu tương tự / Analog)

Chương 8: Đo dòng điện



Yêu cầu đối với dụng cụ đo dòng điện là:

- Công suất tiêu thụ càng nhỏ càng tốt, điện trở của ampe kế càng nhỏ càng tốt và lý tưởng là bằng 0.
- Điều kiện làm việc

❖ **Về giá trị đo:** $I_{\text{đo}} < I_n$

$I_{\text{đo}}$: dòng điện đo bởi Ampemet; I_n : dòng điện định mức của Ampemet

❖ **Về sai số:** $\beta_{\text{đo}} < \beta_{yc}$

$\beta_{\text{đo}}$: sai số tương đối của phép đo, ; β_{yc} : sai số yêu cầu.

- Dựa trên 2 điều kiện ấy, ta có thể chọn dụng cụ đo thích hợp với $I_{\text{đo max}} < I_n$ và

$$\gamma \frac{X_n}{X_{\text{domin}}} < \beta_{yc}$$

Chương 8: Đo dòng điện

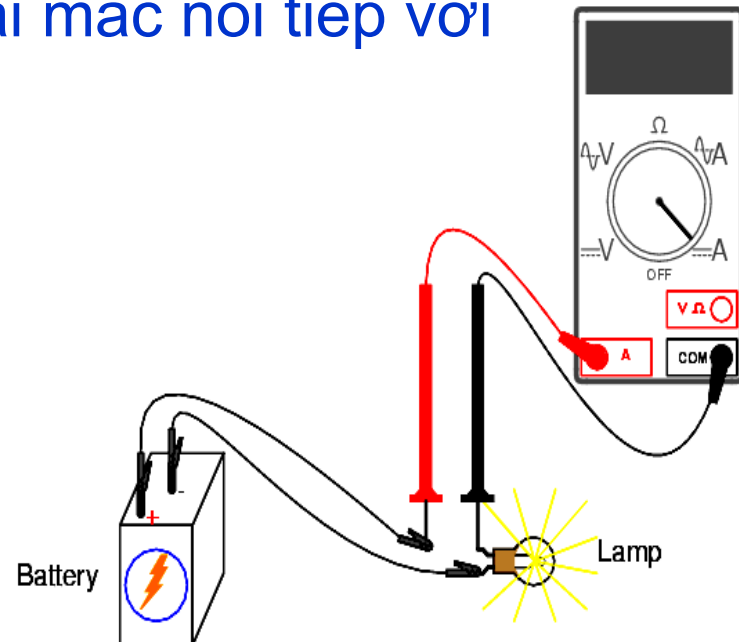
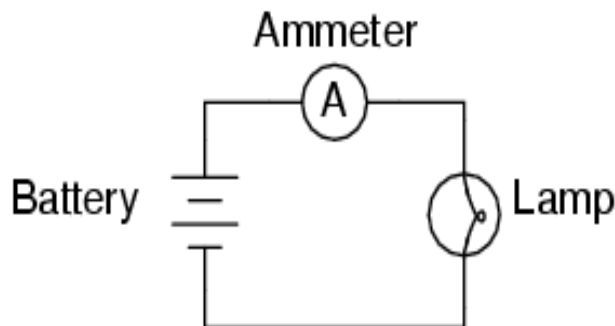


■ Sai số phương pháp:

- ❖ Khi Amperemeter được ghép nối tiếp vào phụ tải sẽ gây ra một sự biến đổi về dòng điện và gây ra sai số phương pháp

$$\gamma_{pp} = \frac{\Delta I}{I} \approx \frac{R_A}{R_t}$$

- Mắc ampe kế để đo dòng phải mắc nối tiếp với dòng cần đo (hình dưới)



Chương 8: Đo dòng điện



- Đo dòng một chiều
 - ❖ Đo bằng cơ cấu tương tự
 - ❖ Đo bằng cơ cấu số
 - ❖ Đo dòng điện rất lớn
 - ❖ Đo dòng điện rất nhỏ
- Đo dòng xoay chiều
 - ❖ Đo dòng tức thời
 - ❖ Đo dòng hiệu dụng
 - ❖ Biến dòng điện

Cơ cấu tương tự - Ampe kế một chiều



- Ampe kế một chiều được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị từ điện.

- Trong cơ cấu từ điện, góc quay: $\alpha = \frac{BSW}{D} I = K_I I$

$K_I = \frac{BSW}{D}$ là hệ số biến đổi dòng điện của cơ cấu từ điện.

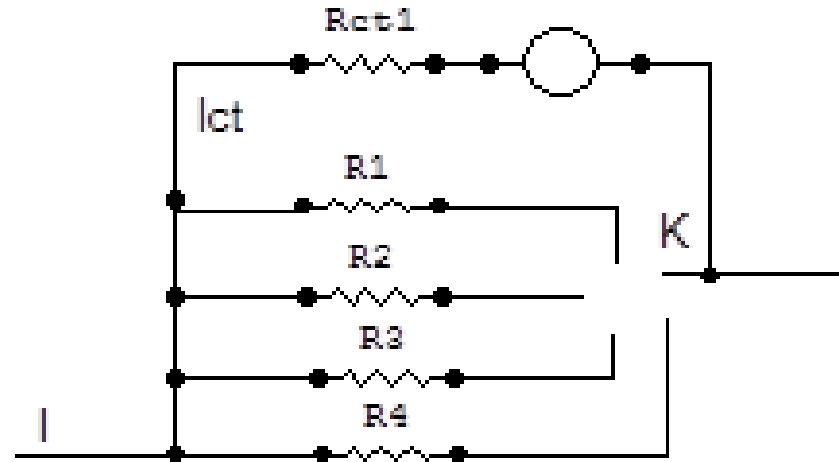
- Độ lệch của kim tỉ lệ thuận với dòng chạy qua cuộn động nhưng độ lệch kim được tạo ra bởi dòng điện rất nhỏ và cuộn dây quấn bằng dây có tiết diện bé nên khả năng chịu dòng rất kém.
- Thông thường, dòng cho phép qua cơ cấu chỉ trong khoảng 10^{-4} đến 10^{-2} A; điện trở của cuộn dây từ 20Ω đến 2000Ω với cấp chính xác 0,1; 1; 0,5; 0,2; và 0,05

Cơ cấu tương tự - Ampe kế một chiều

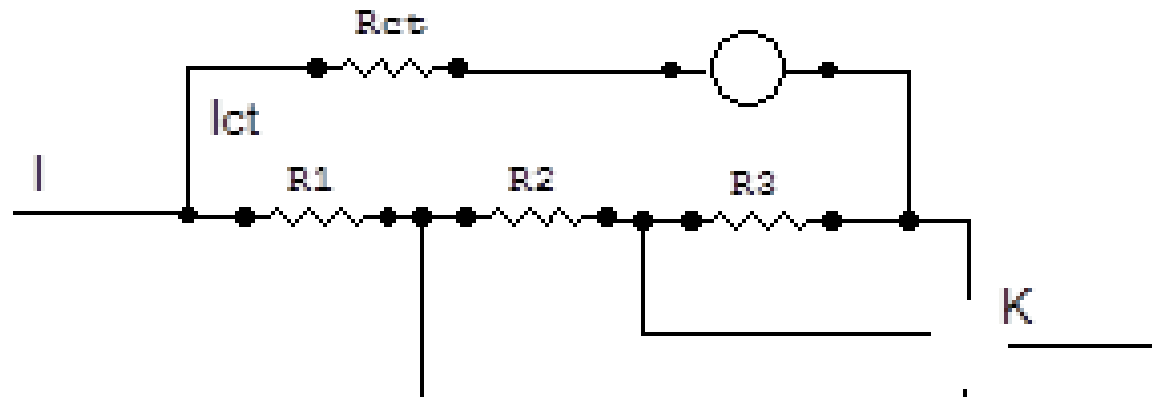


- Để tăng khả năng chịu dòng cho cơ cấu (cho phép dòng lớn hơn qua) người ta mắc thêm điện trở sun song song với cơ cấu chỉ thị

Mắc điện trở sun kiểu song song



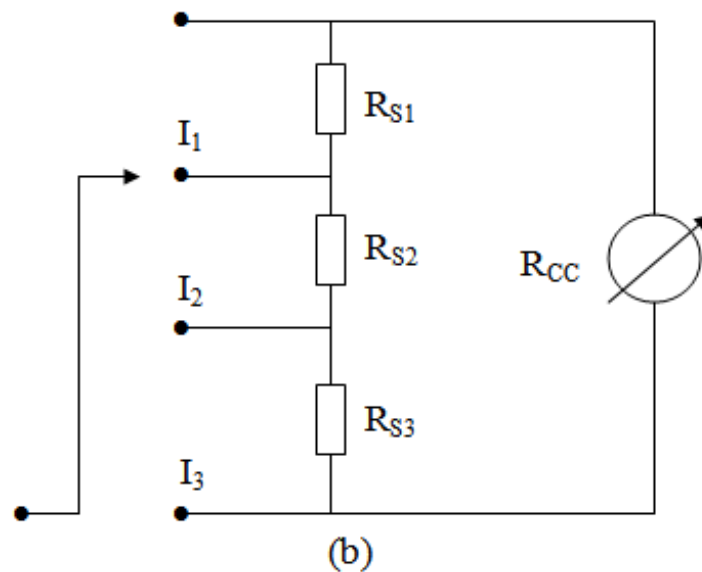
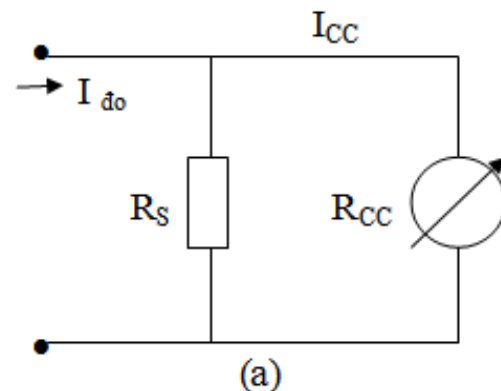
Mắc điện trở sun kiểu nối tiếp



Ampe kế một chiều



$$\left\{ \begin{array}{l} R_{S1} = \frac{R_{S2} + R_{S3} + R_{CC}}{n_1 - 1} \\ R_{S1} + R_{S2} = \frac{R_{S3} + R_{CC}}{n_2 - 1} \\ R_{S1} + R_{S2} + R_{S3} = \frac{R_{CC}}{n_3 - 1} \end{array} \right.$$



Ampe kế một chiều



- Sai số do nhiệt độ và bù nhiệt độ trong Ampemet từ điện:

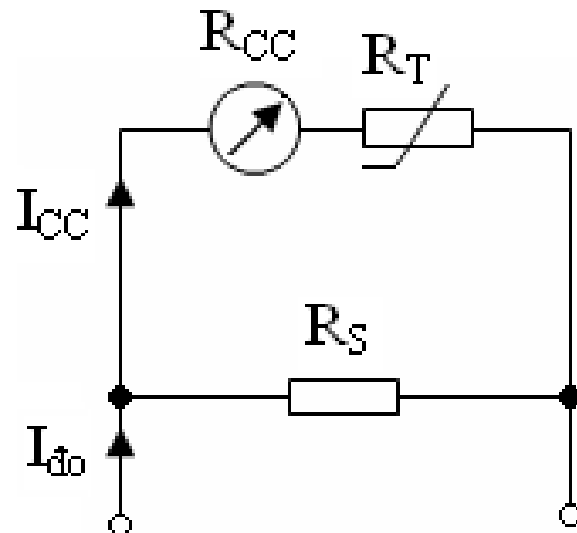
$$\Delta I_{CC} = R_S I_{do} \left(\frac{1}{R_{CC}(1+\alpha t) + R_S} - \frac{1}{R_{CC} + R_S} \right)$$

- Để bù sai số đó ta nối tiếp với cơ cấu đo một nhiệt điện trở bán dẫn có hệ số nhiệt độ β

$$\Delta R_{CC} + R_T \beta t = 0$$

- Điện trở bán dẫn có giá trị

$$R_T = - \frac{R_{CC} \alpha}{\beta}$$





Ví dụ:

- 1. Một dụng cụ từ điện có dòng cực đại qua chỉ thị là $100\mu\text{A}$ và điện trở cuộn dây $R_{CT} = 1\text{k}\Omega$. Tính điện trở shunt cần thiết để biến dụng cụ thành 1 ampe kế có độ lệch thang đo 100mA và độ lệch thang đo 1A .
- 2. Một ampe kế từ điện có dòng điện cực đại chạy qua chỉ thị là $0,1\text{mA}$; điện trở khung dây chỉ thị $R_{CT} = 99\Omega$. Điện trở shunt $R_S = 1\Omega$. Xác định dòng đo được khi kim của ampe kế ở vị trí:
 - + Lệch toàn thang đo
 - + Lệch $1/2$ thang đo
 - + Lệch $1/4$ thang đo



Bài 1

■ Độ lệch thang do 100mA

$$V_{CT} = R_{CT} \cdot I_{CT} = 1k\Omega \cdot 100\mu A = 100mV$$

$$I_S = I - I_{CT} = 100mA - 100\mu A = 99,9mA$$

$$R_S = \frac{V_{CT}}{I_S} = \frac{100}{99,9} = 1,001\Omega$$

■ Độ lệch thang do 10A

$$V_{CT} = R_{CT} \cdot I_{CT} = 1k\Omega \cdot 100\mu A = 100mV$$

$$I_S = I - I_{CT} = 1A - 100\mu A = 999,9mA$$

$$R_S = \frac{V_{CT}}{I_S} = \frac{100}{999,9} = 0,10001\Omega$$



■ Lệch toàn thang đo

$$I_{CT} = 0,1mA$$

$$U_{CT} = I_{CT} \cdot R_{CT} = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 99 = 9,9 \cdot 10^{-3} V = 9,9mV$$

$$I_s = \frac{U_{CT}}{R_s} = \frac{9,9 \cdot 10^{-3}}{1} = 9,9 \cdot 10^{-3} A$$

$$I = I_{CT} + I_s = 0,1 + 9,9 = 10mA$$

■ Lệch 1/2 thang đo

$$I_{CT} = \frac{0,1}{2} = 0,05mA$$

$$U_{CT} = I_{CT} \cdot R_{CT} = 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot 99 = 4,95 \cdot 10^{-3} V$$

$$I_s = \frac{U_{CT}}{R_s} = \frac{4,95 \cdot 10^{-3}}{1} = 4,95 \cdot 10^{-3} A$$

$$I = I_{CT} + I_s = \frac{0,1}{2} + 4,95 = 5mA$$



- **Ví dụ 3:** một ampe có 3 thang đo với các điện trở sun $R_1=0,05\Omega$; $R_2=0,45\Omega$; $R_3=4,5\Omega$ mắc nối tiếp. $R_{CT} = 1k\Omega$; $I_{CT} = 50\mu A$
 - ❖ Tính giá trị dòng cực đại qua chỉ thị trong 3 trường hợp đó.
- **Ví dụ 4:** Một miliampe kế từ điện có thang đo 150 vạch với giá trị độ chia là $C=0.1mA$; $R_{ct} = 100\Omega$. Tính giá trị R_s để đo được các giá trị dòng tối đa là 1A, 2A và 3A

Bài tập 3.



Khóa ở vị trí 3

$$R_s = R1 + R2 + R3 = 5\Omega$$

$$I_s = \frac{I_{CT} \cdot R_{CT}}{R_s} = \frac{50 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3}{5} = 10mA$$

không đo được $\approx 10\mu A$

Khóa ở vị trí 2

$$R_s = R1 + R2 = 0,5\Omega$$

$$I_s = \frac{I_{CT} \cdot R_{CT}}{R_s} = \frac{50 \cdot 10^{-6} \cdot (4,5 + 10^3)}{0,5} = 100mA$$

không đo được $\approx 100\mu A$

Khóa ở vị trí 1.

$$R_s = R1 = 0,05\Omega$$

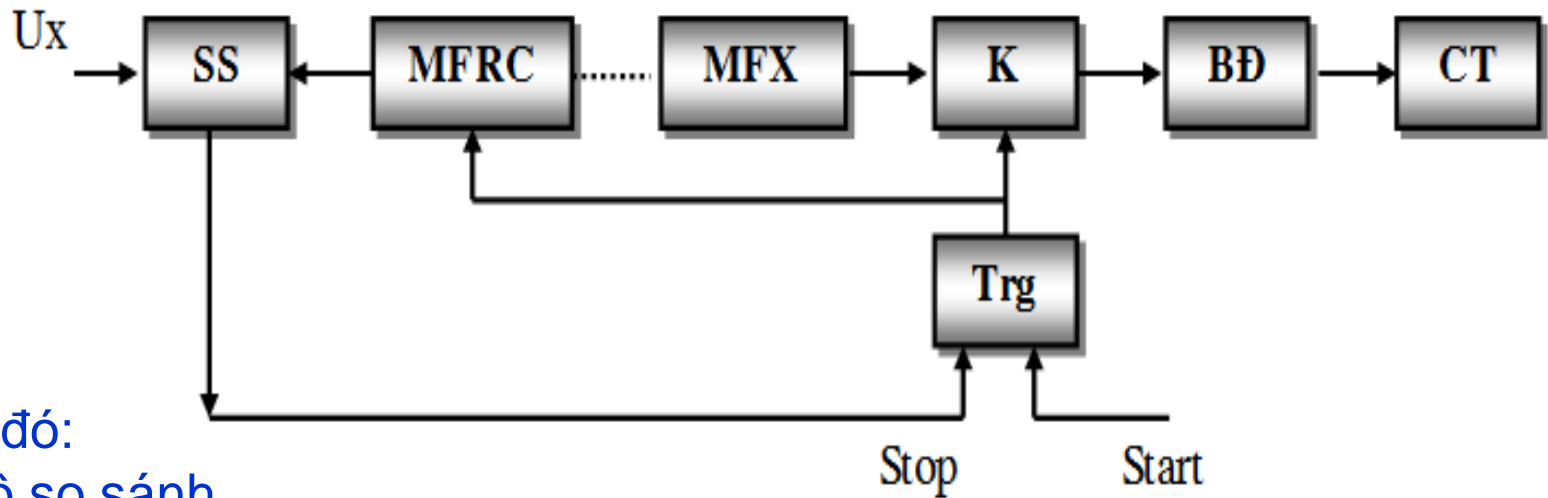
$$I_s = \frac{I_{CT} \cdot R_{CT}}{R_s} = \frac{50 \cdot 10^{-6} \cdot (0,45 + 4,5) \cdot 10^3}{5} = 1A$$

không đo được $\approx 1A$

Ampemet số chuyển đổi thời gian



- Nguyên tắc hoạt động: I_x tỷ lệ với U_x , Bộ đếm được dùng để đếm số lượng xung (N) tỉ lệ với U_x để suy ra U_x .
- Sơ đồ khối:



Trong đó:

SS: Bộ so sánh

MFRC: mạch phát tín hiệu rã cực

MFX: mạch phát xung chuẩn tần số f_0

Trigo: mạch lật

K: Khóa điện tử được điều khiển bởi trigo

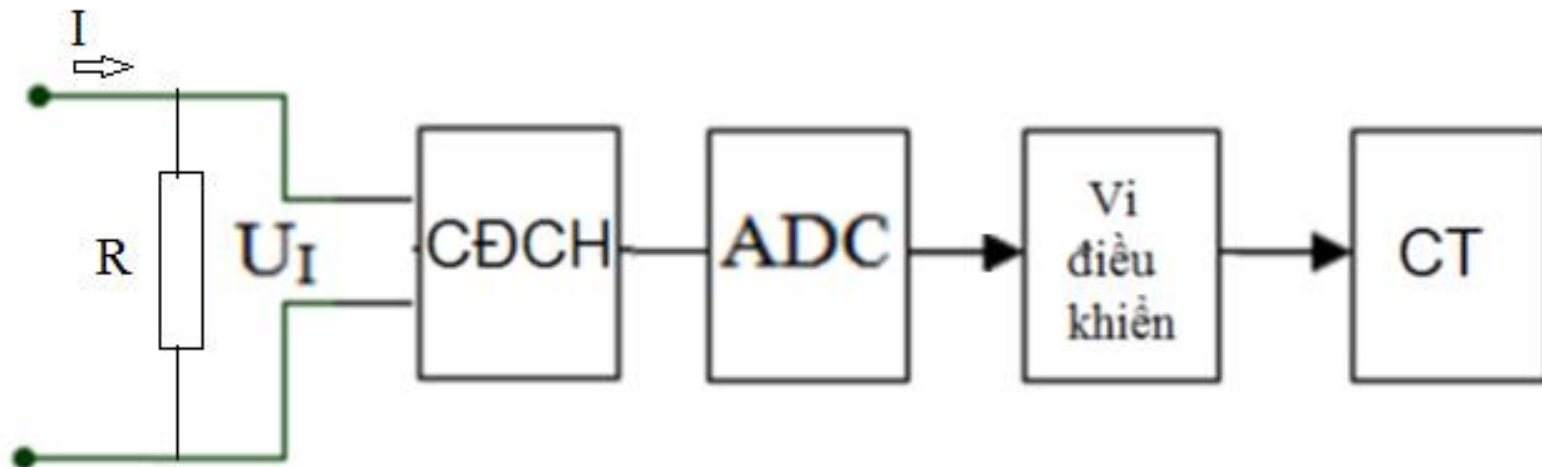
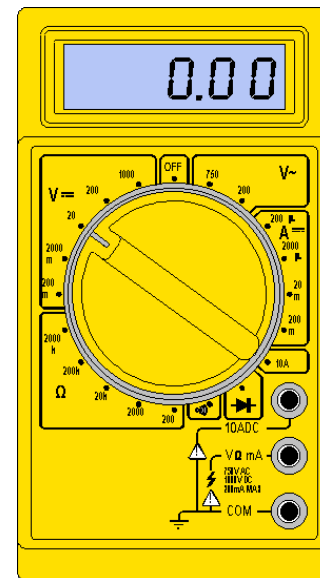
BĐ: bộ đếm

CT: bộ chỉ thị số (bao gồm cả mạch mã hoá, giải mã và hiển thị)

Ampe kế số



- Ampe kế số là dụng cụ chỉ thị kết quả bằng con số mà không phụ thuộc vào cách đọc của người đo.



Các phương pháp khác đo dòng điện một chiều

Đo dòng điện lớn

- Khi dòng điện đo quá lớn, hao tổn trên R_S $p_{th} = R_S \cdot I^2$ rất lớn. Để cho p_{th} đủ nhỏ thì R_S phải vô cùng nhỏ (cỡ $n\Omega$) rất khó chế tạo. Người ta sử dụng phương pháp không tiếp xúc.
- Dòng điện I gây ra một từ trường quanh nó theo công thức

$$H = \frac{I}{2\pi d}$$

H: Từ trường trong mặt phẳng vuông góc với dây dẫn

I: Dòng điện chạy trong dây

d: Khoảng cách từ điểm đo đến dây dẫn

- Từ cảm ứng: $B = \mu H$
- Để đo B có thể sử dụng các biện pháp sau:
 - ❖ Cuộn dây cảm ứng với mạch tích phân
 - ❖ Cảm biến Hall
 - ❖ Cộng hưởng từ hạt nhân.

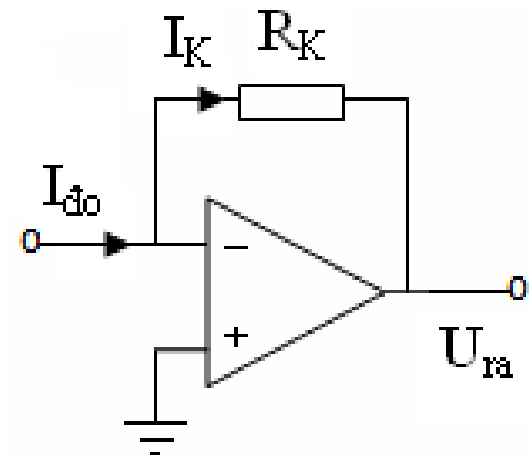
Các phương pháp khác đo dòng điện một chiều

Đo dòng điện rất nhỏ

- Từ công thức: $U_S = R_S I_{đo}$
- Nếu dòng điện $I_{đo}$ nhỏ, để cho U_S đủ để đo được (cỡ 10mV trở lên), điện trở R_S phải lớn.
- Ta dùng biện pháp bù dòng bằng khuếch đại thuật toán ở sơ đồ dưới gọi là mạch electromet.

$$I_K = \frac{U_{ra}}{R_K} = I_{do}$$

$$\text{Nên: } U_{ra} = R_K \cdot I_{đo}$$



9.2 Ampemet xoay chiều



- Dòng điện biến thiên $i = f(t)$ là dòng điện thay đổi theo thời gian. Trong thực tế, dòng điện chu kỳ có hai dạng thông

❖ Dòng điện hình sin:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

- Để xác định dòng điện hình sin phải xác định I_m , ω và φ .
- Cũng có thể xác định dòng trung bình và dòng hiệu dụng của một dòng điện biến thiên.

❖ Dòng điện xung

- Dòng điện xung là dòng có chu kỳ; có hai dạng thông dụng: xung nhọn và xung vuông.

9.2 Ampemet xoay chiều



Đo dòng điện tức thời

- Đo dòng điện tức thời tức là xác định được giá trị dòng điện ở các thời điểm khác nhau.
- Sự ra đời của các ADC tốc độ cao và các vi xử lý cho phép theo dõi các tín hiệu biến thiên có tốc độ rất cao (MHz hay cao hơn nữa).
- Hiện nay các ADC kiểu so sánh song song có thể đạt đến 25GS/s cho phép theo dõi các quá trình xảy ra cỡ ns hay tín hiệu có tần số 500MHz, tức vượt các máy hiện sóng hiện đại.

9.2 Ampemet xoay chiều



- **Đo dòng điện tức thời**
- Để đo được giá trị tức thời của dòng điện biến thiên ta sử dụng phương pháp rời rạc hoá tín hiệu bằng các phần tử lấy mẫu và ghim giữ (Sample and Hold).
- Chu kỳ rời rạc hoá và lấy mẫu T_{lm} phụ thuộc vào sai số yêu cầu rời rạc hoá và thời gian biến đổi T_{ADC} của ADC

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{lm} \leq \sqrt{\frac{2\gamma_{yc} X_m}{g_m}} \\ T_{lm} > T_{ADC} \end{array} \right.$$

T_{lm} : Chu kỳ rời rạc hoá hay lấy mẫu.
 γ : Sai số yêu cầu của phép đo.
 X_m : Giá trị cực đại của tín hiệu.
 g_m : Giá tốc cực đại của tín hiệu;



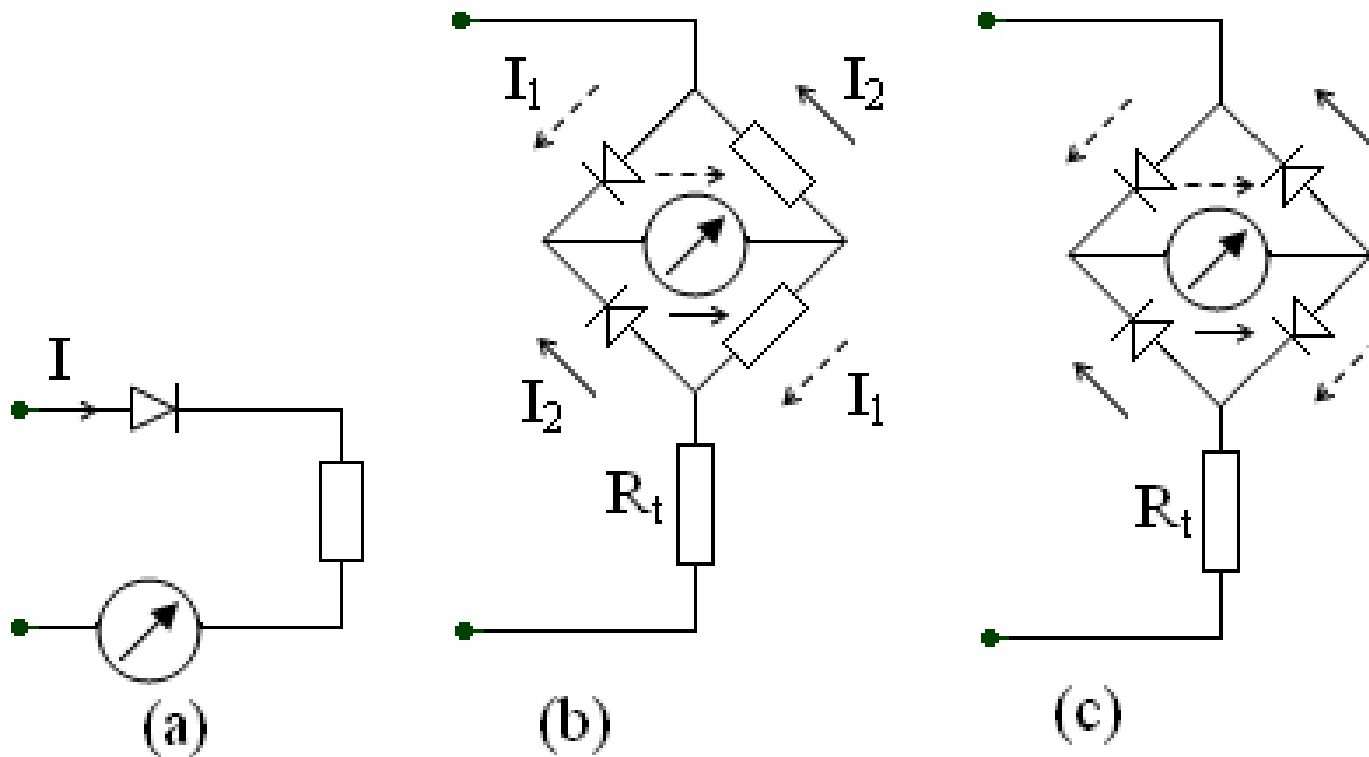
Đo dòng trung bình, hiệu dụng

- Để đo cường độ dòng điện xoay chiều tần số công nghiệp người ta thường sử dụng
 - ❖ Ampemet từ điện chỉnh lưu
 - ❖ Ampemet điện từ
 - ❖ Ampemet điện động

Ampemet từ điện chỉnh lưu



- Là dụng cụ đo dòng điện xoay chiều kết hợp giữa cơ cấu chỉ thị từ điện và mạch chỉnh lưu bằng diode





Dòng trung bình

■ Với chỉnh lưu nửa chu kì

$$I_{tb} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} I_{IM} \sin \omega t dt = \frac{1}{\omega T} I_{IM} (\cos 0 - \cos \pi) = \frac{1}{\pi} I_{IM}$$

■ Chỉnh lưu hai nửa chu kì

❖ Đối với dòng điện hình sin I_{tb} lấy trong một chu kỳ đối xứng. Vì vậy I_{tb} chỉ có nghĩa khi lấy giá trị trong $\frac{1}{2}$ chu kỳ:

$$I_{tb} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} I_m \sin(\omega t) dt = -\frac{2}{T} I_m \frac{1}{\omega} \cos(\omega t) \Big|_0^{T/2} = \frac{2I_m}{\pi}$$



Đo dòng hiệu dụng

$$I_{hd} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad I_{hd} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (I_m \sin \omega t)^2 dt} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

■ Chỉnh lưu nửa chu kì

$$I_{tb} = \frac{1}{\pi} I_{IM} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} I_{Ihd} = \frac{1}{2,22} I_{Ihd}$$

■ Chỉnh lưu cả chu kì

$$I_{tb} = \frac{2}{\pi} I_{IM} = \frac{2 \times \sqrt{2}}{\pi} I_{Ihd} = \frac{1}{1,11} I_{Ihd}$$

Ampemet từ điện chỉnh lưu



Chỉnh lưu cả chu kỳ

■ Đối với dòng điện hình sin

$$I_{trb} = \frac{2}{\pi} \cdot I_p = 0,637 \cdot I_m$$

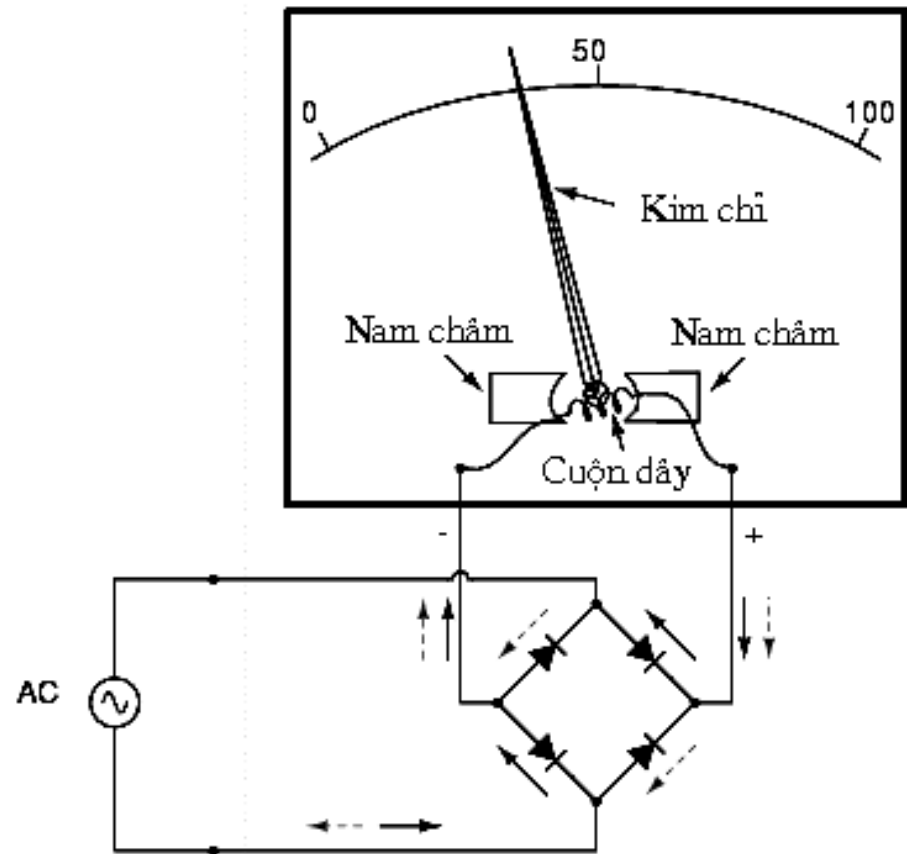
$$I_{rms} = \frac{I_p}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot I_m$$

$$I_{rms} = 1,11 \cdot I_{trb}$$

I_m - dòng đỉnh

I_{trb} - dòng trung bình

I_{rms} - dòng hiệu dụng



Giá trị dòng mà kim chỉ thị dừng là giá trị dòng trung bình nhưng thang khắc độ thường theo giá trị rms

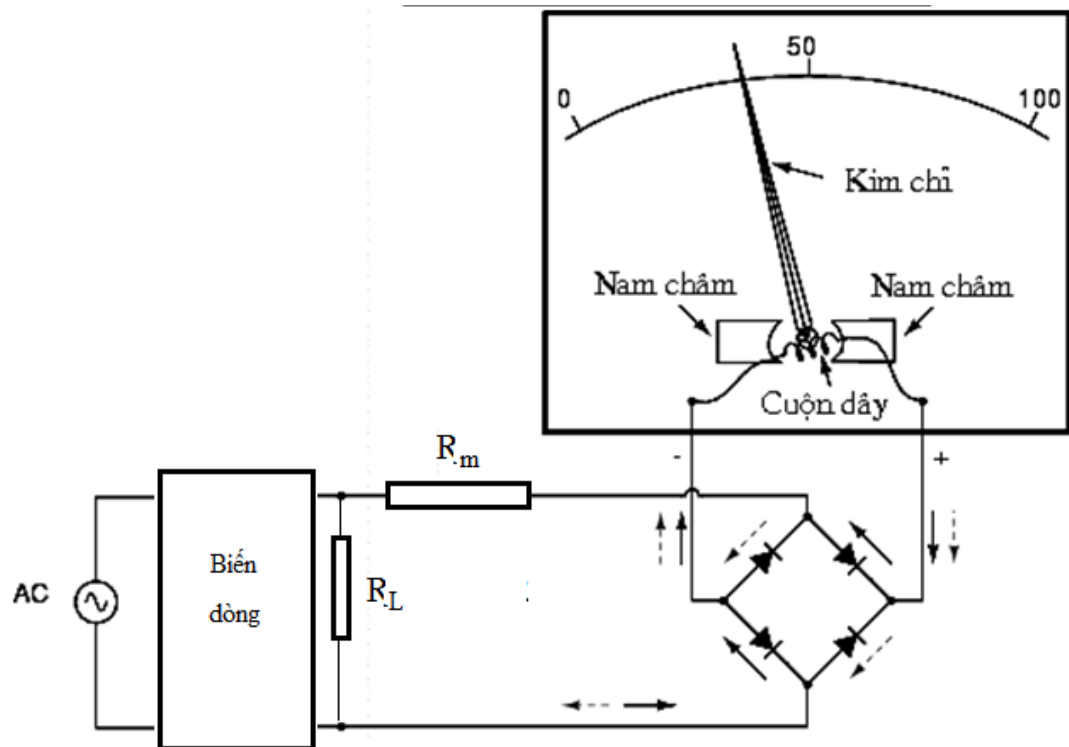
Ampemet từ điện chỉnh lưu



- Ví dụ: Một ampe kế chỉnh lưu hai nửa chu kỳ (sơ đồ như hình dưới) có với dòng sơ cấp là 250mA. Máy đo có dòng qua cơ cấu chỉ thị là 1mA; R_{ct} là 1,7k Ω . Biến áp dòng có số vòng dây của cuộn sơ cấp và thứ cấp là 4 và 500 vòng; sụt áp trên diode là 0,7V; R_m là 20k Ω .

Xác định R_L

R_L được chọn để gánh phần dòng dư thừa giữa I_{trb} và I_{ct} hay chính là sun mở rộng thang đo





■ Ta có: $R_L = \frac{U_{2rms}}{I_Lrms}$

$$U_{2rms} = 0,707.U_{2p}$$

$$U_{2p} = I_{2p}.(R_m + R_{ct}) + 2.V_D$$

$$I_{2p} = \frac{I_{trb}}{0,637} = \frac{1mA}{0,637} = 1,57mA$$

$$\Rightarrow U_{2rms} = 0,707(1,57.10^{-3} \cdot 21,7.10^3 + 2.0,7) = 25,08V$$

$$I_Lrms = I_{2rms} - I_{ctrms}$$

$$I_{2rms} = \frac{N_1}{N_2}.I_{1rms} = \frac{4}{500}.250mA = 2mA$$

$$I_{ctrms} = 1,11.I_{ctrb} = 1,11.1mA = 1,11mA$$

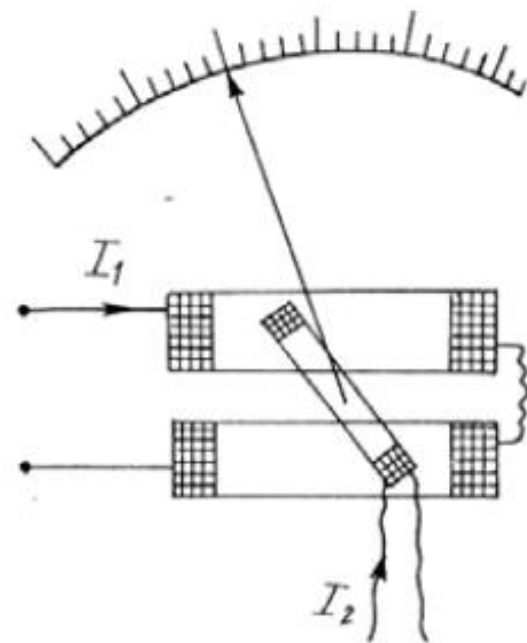
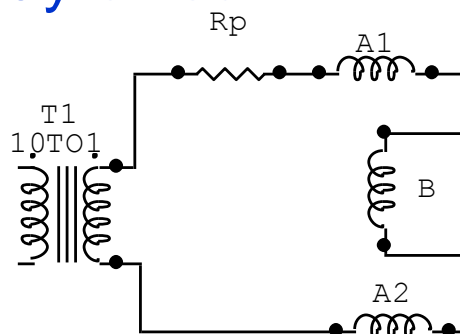
$$\Rightarrow I_Lrms = 2 - 1,11 = 0,89mA$$

$$\Rightarrow R_L = \frac{25,08V}{0,89mA} = 28,18k\Omega$$

Ampemet điện động



- Thường được sử dụng để đo dòng điện ở tần số 50Hz và cao hơn (400 – 2.000Hz) với độ chính xác khá cao (cấp 0,5 – 2)
- Khi dòng điện đo nhỏ hơn 0,5A người ta mắc nối tiếp cuộn tĩnh và cuộn động còn khi dòng lớn hơn 0,5A thì mắc song song
- Do độ lệch của dụng cụ đo điện động tỉ lệ với I^2 nên máy đo chỉ giá trị r_{ms} .
- Dụng cụ có thể đo giá trị hiệu dụng của dòng một chiều hoặc xoay chiều.



Ampemet điện từ



- Là dụng cụ đo dòng điện dựa trên cơ cấu chỉ thị điện từ.
- Trong cơ cấu này, góc quay

$$\alpha = \frac{dL}{2Dd\alpha} I^2$$



- Mỗi cơ cấu điện từ được chế tạo với số ampe vòng xác định (I.W là một hằng số)
- Các ampemet điện từ thường có số vòng rất ít. Đối với các ampemet có cuộn dây tròn $IW = 200$ (A.vòng).
- Để thay đổi thang đo, ta chỉ cần thay đổi số vòng quấn của ampemet.

Ampemet nhiệt điện



- Là dụng cụ kết hợp giữa chỉ thị từ điện và cặp nhiệt điện.
- Cặp nhiệt điện (hay còn gọi là cặp nhiệt ngẫu) một đầu gọi là điểm làm việc (nhiệt độ t_1), hai đầu kia nối với milivonkế gọi là đầu tự do (nhiệt độ t_0).
- Khi nhiệt độ đầu làm việc t_1 khác nhiệt độ đầu tự do t_0 thì cặp nhiệt sẽ sinh ra sức điện động

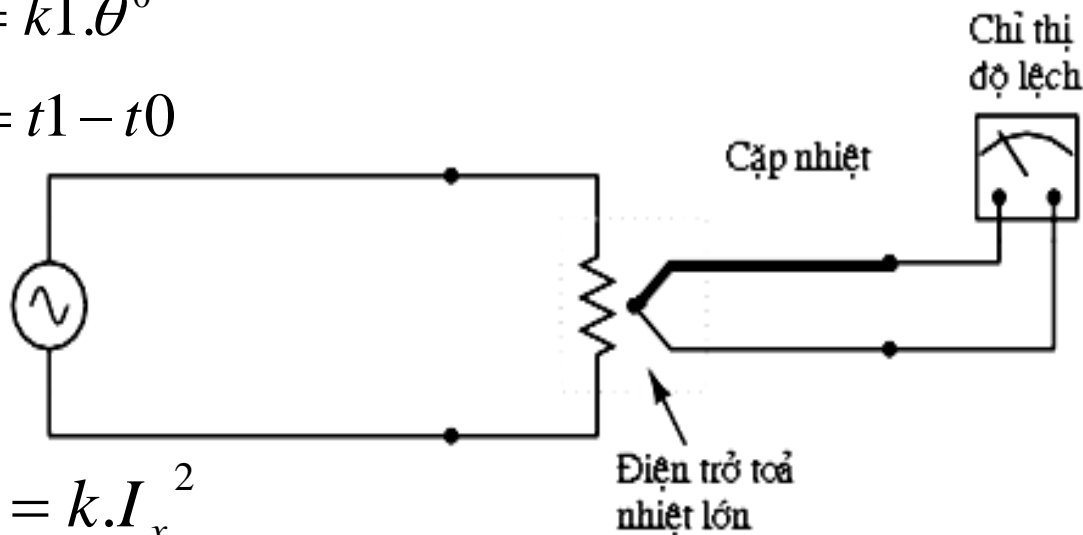
$$Et = k_1 \cdot \theta^0$$

$$\theta^0 = t_1 - t_0$$

Khi dùng dòng I_x để
đốt nóng đầu t_1 thì:

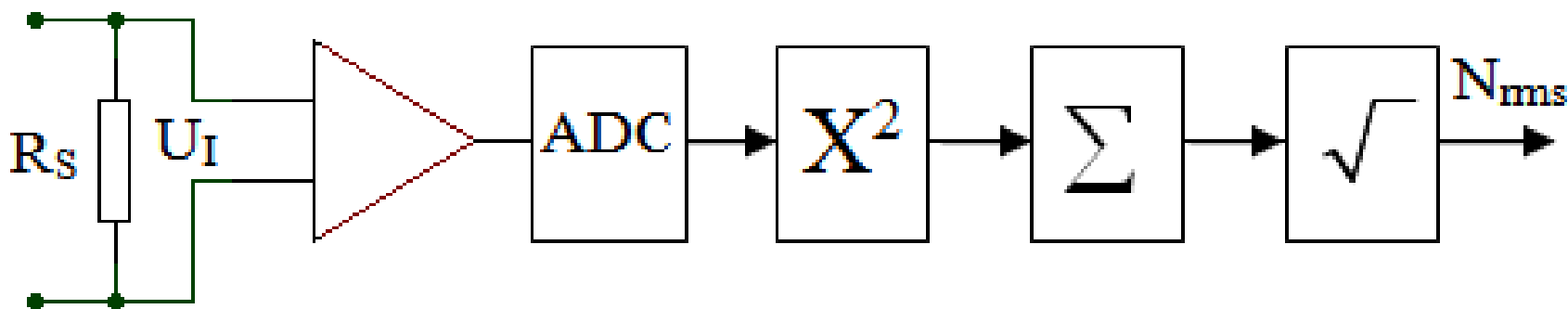
$$\theta^0 = k_2 \cdot I_x^2$$

$$\Rightarrow Et = k_1 \cdot k_2 \cdot I_x^2 = k \cdot I_x^2$$





- Dòng điện I_x tạo trên R_s một điện áp U_I , điện áp này được khuếch đại thông qua một khuếch đại đo lường chính xác cao, sau đó qua một ADC tốc độ đủ lớn biến thành số tỷ lệ với dòng tức thời. Con số này được bình phương, lấy trung bình, lấy căn thành N_{rms} . Các phép bình phương, cộng, chia, lấy căn đều thực hiện trong không gian số nhờ vi xử lý.



$$I_{hd} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_i^2}$$

$$N_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N N_{ADCi}^2}$$

Đo dòng gián tiếp



- Dòng điện cần đo đi qua vòng xuyên như hình dưới
- Mối quan hệ giữa dòng điện và từ trường

$$B = \frac{\phi}{S}; \quad \phi = \frac{F}{R_m} = \frac{I.W}{R_m}$$

$$\Rightarrow B = \frac{IW}{R_m.S}$$

- Trong đó:

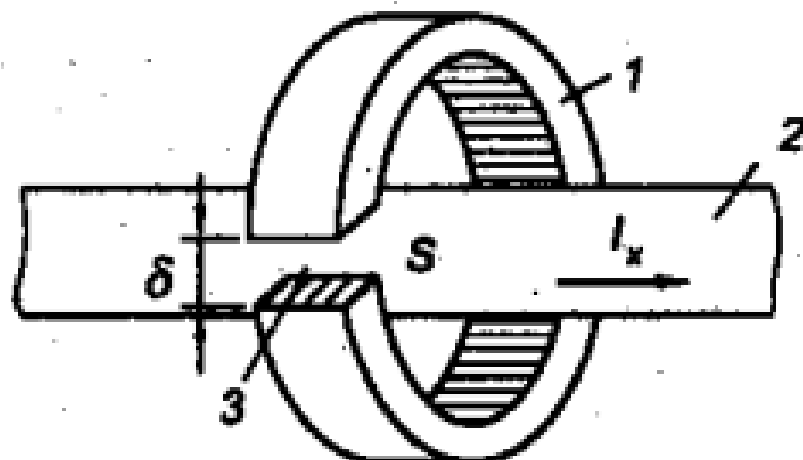
❖ B: từ cảm

❖ Phi: từ thông

❖ S: tiết diện mà từ thông xuyên qua

❖ R_m : từ trở mạch từ,

❖ W: số vòng dây quấn trên mạch từ



1. Mạch từ hình xuyên ;

2. Dây dẫn điện để dòng I_x chạy qua ;

3. Khe hở không khí.

❖ I: Dòng điện chạy qua cuộn dây tạo lực từ F

❖ F: Lực từ

Đo dòng gián tiếp

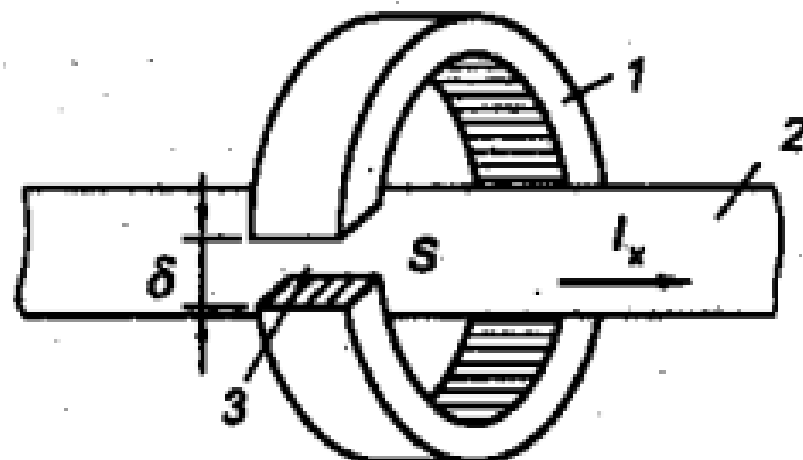


- Dòng điện cần đo đi qua vòng xuyên như hình dưới
- Từ trở của mạch từ

$$R_m = \frac{\delta}{\mu_0 \cdot S}$$

- Trong đó:

- ❖ delta : từ cảm
- ❖ μ_i : Hệ số từ thẩm của không khí
- ❖ S: tiết diện cực từ



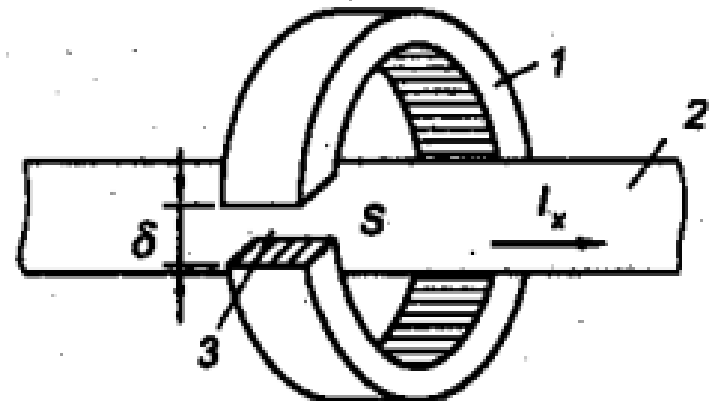
1. Mạch từ hình xuyên ;
2. Dây dẫn điện để dòng I_x chạy qua ;
3. Khe hở không khí.



- Nếu số lượng vòng dây $W=1$

$$B = \frac{\mu_0}{\delta} I$$

- Như vậy người ta có thể đo dòng điện thông qua từ cảm B



- 1. Mạch từ hình xuyên ;
- 2. Dây dẫn điện để dòng I_x chạy qua ;
- 3. Khe hở không khí.

Biến dòng điện

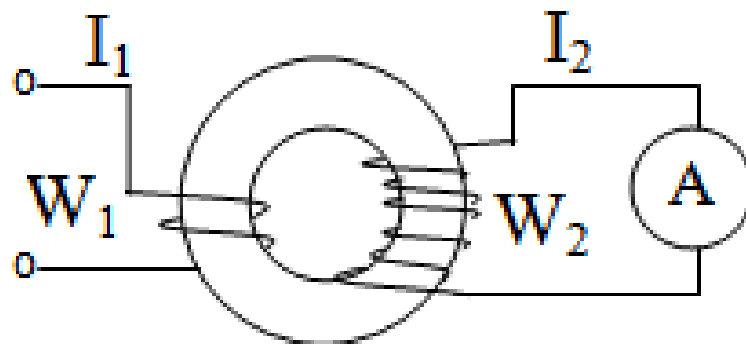


Khi cần đo dòng điện lớn hoặc đo dòng điện ở điện áp cao, người ta sử dụng biến dòng điện.

Biến dòng điện TI là một loại biến áp nhỏ có cuộn dây sơ cấp rất ít vòng W_1 cho dòng điện cần đo I_x chạy qua. Cuộn dây thứ cấp W_2 nhiều vòng nối trực tiếp vào Ampemet điện từ

Ampemet có điện trở rất nhỏ, biến dòng điện (TI) là biến áp làm việc ở chế độ ngắn mạch thứ cấp nên ta có

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

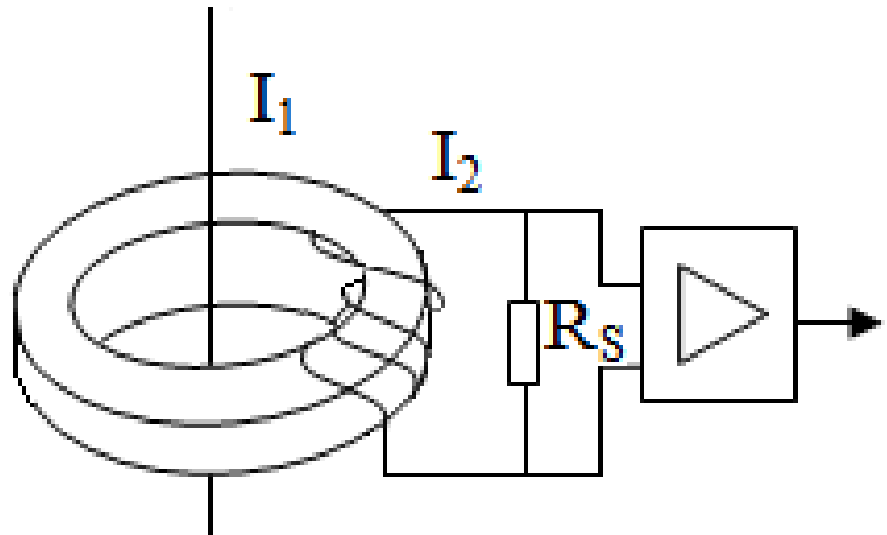


Biến dòng điện



- Biến dòng điện là một lõi hình xuyên có số vòng W_2 lớn còn W_1 chỉ là một vòng ứng với dây dẫn xuyên qua lõi thép nên $W_1=1$

Thứ cấp ngắn mạch phải đặt một điện trở R_s biến dòng thứ cấp thành điện áp $U_s = I_2 R_s$.



R_s còn có nhiệm vụ đảm bảo là biến dòng làm việc ở chế độ thứ cấp ngắn mạch (tức $R_s \ll R_{W2}$).

Biến dòng điện




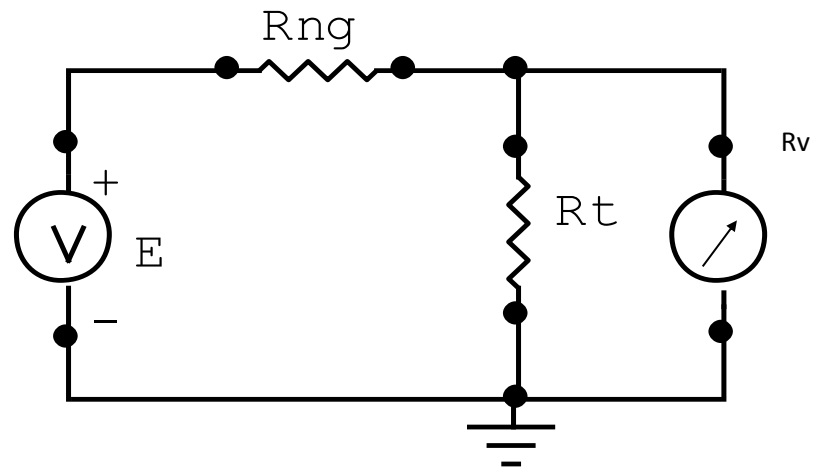
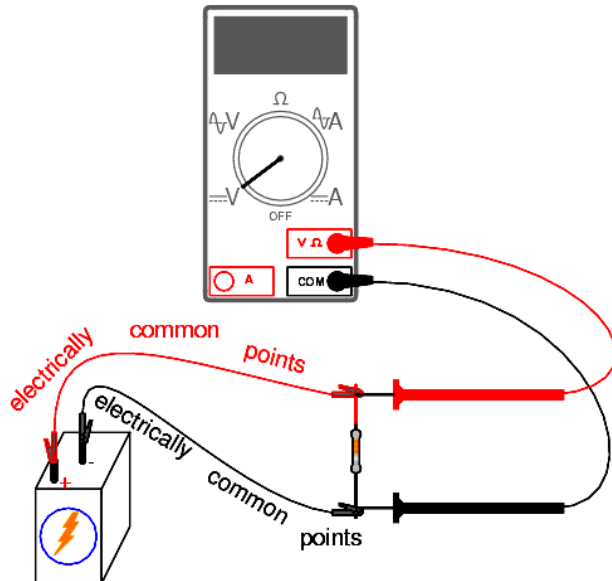
- Để tiện lợi cho việc đo, người ta chế tạo các biến dòng, có cuộn dây thứ cấp có nhiều vòng ứng với các hệ số biến dòng điện hay hệ số biến đổi dòng – áp khác nhau.
- Để phục vụ cho việc đo dòng điện trên đường dây đang hoạt động, người ta chế tạo ra các biến dòng lõi thép có thể mở ra – đóng lại để có thể cặp lên đường dây. Ta gọi là Ampemet kìm.



Chương 9: Đo điện áp



- Dụng cụ dùng để đo điện áp gọi là Vôn kế hay Vôn met (Voltmeter)
- Ký hiệu là 
- Khi đo điện áp bằng Vôn kế thì Vôn kế luôn được mắc song song với đoạn mạch cần đo như hình dưới đây

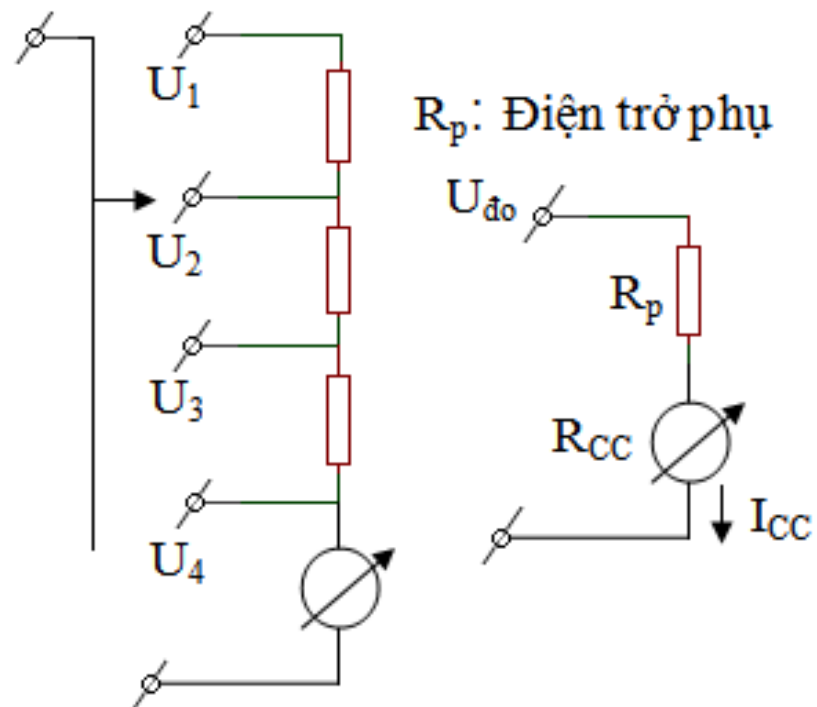


Volmet một chiều từ điện



- Cơ cấu từ điện chủ yếu chế tạo để đo dòng điện một chiều.
- Bản thân cơ cấu có cuộn dây bằng đồng điện trở vào khoảng $5-600\Omega$ ứng với dòng điện $150\mu A$ tức vào khoảng $U_{CC}=100mV$.

Để đo các điện áp trên $100mV$, ta phải mở rộng thang đo. Điện trở R_{CC} làm một điện trở của phân áp, điện trở kia được gọi là điện trở phụ của Volmet



Volmet một chiều từ điện



- Một dụng cụ đo C với ĐLTĐ (độ lệch thang đo) là $100\mu\text{A}$ và $R_{ct} = 1\text{k}\Omega$ được sử dụng để làm Vôn kế.
 - + Xác định điện trở nhân cần thiết nếu muốn đo điện áp 100 V trên toàn thang.
 - + Tính điện áp đặt vào khi kim chỉ $3/4$; $1/2$ và $1/4$ ĐLTĐ



- + Để đo điện áp 100V trên toàn thang thì phải sử dụng điện trở R_p có giá trị như sau:

- $R_p = R_{ct} \cdot (m - 1)$

$$m = \frac{U}{U_{ct}} = \frac{U}{I_{ct} \cdot R_{ct}} = \frac{100}{100 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3} = 1000$$

$$\Rightarrow R_p = (1000 - 1) \cdot 1k\Omega = 999k\Omega$$

- Với ĐLTT $I_{ct} = 100\mu A$

- ❖ 3/4 ĐLTT sẽ có $U_x = \frac{3}{4} \cdot I_{ct} \cdot (R_{ct} + R_p) = 75V$

- ❖ 1/2 ĐLTT sẽ có $U_x = \frac{1}{2} \cdot I_{ct} \cdot (R_{ct} + R_p) = 50V$

- ❖ 1/4 ĐLTT sẽ có $U_x = \frac{1}{4} \cdot I_{ct} \cdot (R_{ct} + R_p) = 25V$

Đo điện áp xoay chiều



- Volmet chỉnh lưu từ điện
- Volmet xoay chiều điện từ
- Vôn kế điện động
- Vôn kế số
- Biến áp



Volmet chỉnh lưu từ điện



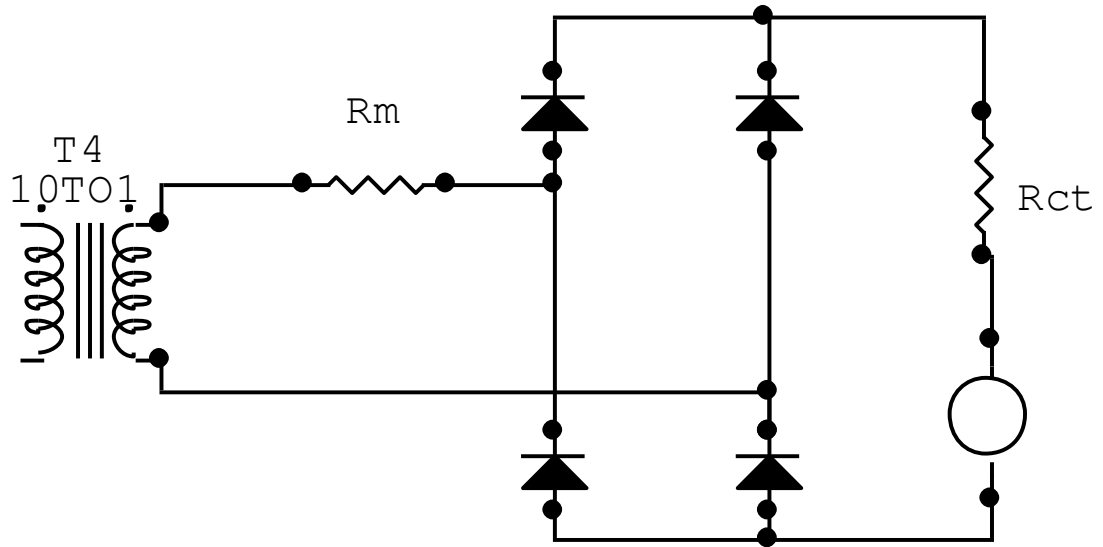
Sơ đồ chỉnh lưu cầu

- Đối với sóng đầu vào hình sin thì các giá trị điện áp được tính như sau:

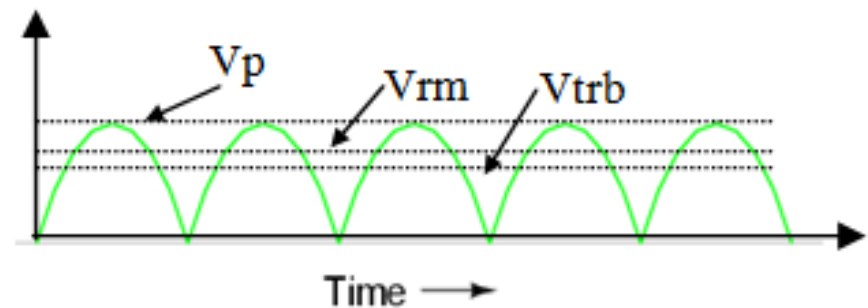
$$V_{rms} = 0,707.V_p$$

$$V_{trb} = 0,637.V_p$$

$$V_{rms} = 1,11.V_{trb}$$



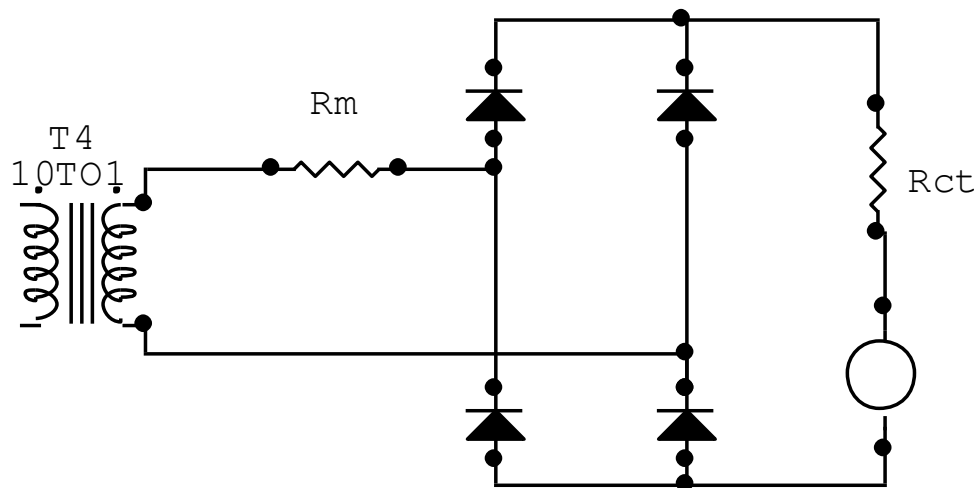
Dòng qua chỉ thị có dạng:



Volmet chỉnh lưu từ điện



- Ví dụ: Một dụng cụ đo với ĐLTD là $100\mu\text{A}$ và $R_{ct} = 1\text{k}\Omega$ được dùng như một Vôn kế xoay chiều có ĐLTD là 100V bằng cách sử dụng sơ đồ chỉnh lưu cầu diode như hình trên.
 - + Xác định giá trị của điện trở nhân cần thiết
 - + Xác định dòng trung bình đi qua cơ cấu khi điện áp vào V_{rms} là 75V và 50V
 - + Tính độ nhạy của Vôn kế trên



Bài tập



■Giải: Xác định điện trở nhân

điện trở toàn phần của mạch = (điện áp đỉnh đặt vào - độ sụt áp chỉnh lưu)/dòng đỉnh chạy trong mạch

ĐLTD của cơ cấu chỉnh thị TĐNCVC là $100\mu\text{A} \Rightarrow I_{trb} = 100\mu\text{A}$

ĐLTD của Vôn kế là $100\text{V} \Rightarrow V_{rms} = 100\text{V}$

Từ đó ta có công thức tính các đại lượng liên quan là:

$$V_p = V_{rms} / 0,707 = 100\text{V} / 0,707 = 141,44\text{V}$$

$V_D = 0,7\text{V}$ (giả sử mạch cầu sử dụng diode Si)

$$I_p = I_{trb} / 0.637 = 156,99\mu\text{A}$$

$$R_m + R_{ct} = \frac{V_p - 2.V_D}{I_p} = \frac{141,44 - 2.0,7}{156,99.10^{-6}} = 892.10^3 \Omega$$

$$\text{vì } R_{ct} = 1\text{k}\Omega \quad \Rightarrow R_m = 892 - 1 = 891\text{k}\Omega$$



- Xác định số chỉ của kim, nghĩa là xác định giá trị dòng trung bình ứng với các điện áp đầu vào là 75V và 50V

❖ Khi điện áp đầu vào là 75V ta có:

$$V_p = \sqrt{2}.V_{rms} = \sqrt{2}.75$$

$$\Rightarrow I_{trb} = 0,637.I_p = 0,637 \cdot \frac{V_p - 2.V_D}{R_m + R_{ct}} = 0,637 \cdot \frac{\sqrt{2}.75 - 2.0,7}{\sqrt{2}.100 - 2.0,7} \cdot \frac{100\mu A}{0,637} \approx 75\mu A$$

❖ Khi điện áp đầu vào là 50V ta có:

$$V_p = \sqrt{2}.V_{rms} = \sqrt{2}.50$$

$$\Rightarrow I_{trb} = 0,637.I_p = 0,637 \cdot \frac{V_p - 2.V_D}{R_m + R_{ct}} = 0,637 \cdot \frac{\sqrt{2}.50 - 2.0,7}{\sqrt{2}.100 - 2.0,7} \cdot \frac{100\mu A}{0,637} \approx 50\mu A$$



■ Tính độ nhạy của Vôn kế

Độ nhạy = $1 / \text{giá trị dòng rms trên toàn thang đo} = \text{điện trở của Vôn kế} / \text{giá trị điện áp rms trên toàn thang đo}$

Vôn kế trên có dòng trb ứng với ĐLTT là $100\mu\text{A}$

$$\Rightarrow I_{rms} = 1,11 \cdot I_{trb} = 1,11 \cdot 100\mu\text{A} = 111\mu\text{A}$$

$$\Rightarrow \text{độ nhạy của Vôn kế là } 1 / 111\mu\text{A} = 9.009\text{k}\Omega/\text{V}$$

Có thể tính cách khác như sau:

$$V_{rms} = 100\text{V}$$

$$R_V = \frac{V_{rms}}{I_{rms}} = \frac{100}{1,11 \cdot 100 \cdot 10^{-6}}$$

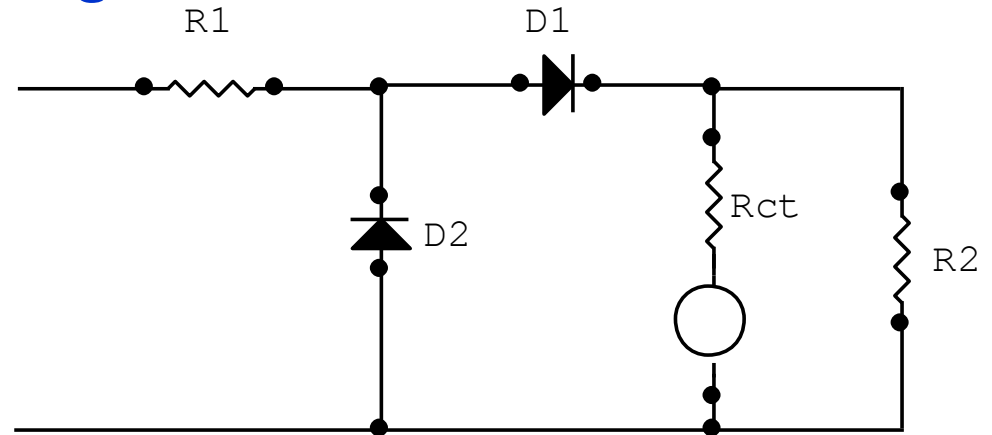
$$\text{Độ nhạy} \quad \frac{R_V}{V_{rms}} = 90..9\text{k}\Omega/\text{V}$$



■ Sơ đồ chỉnh lưu nửa sóng

$$I_{trb} = \frac{1}{2} \cdot 0,637 \cdot I_p$$

$$I_{rms} = \frac{1}{2} \cdot I_p$$

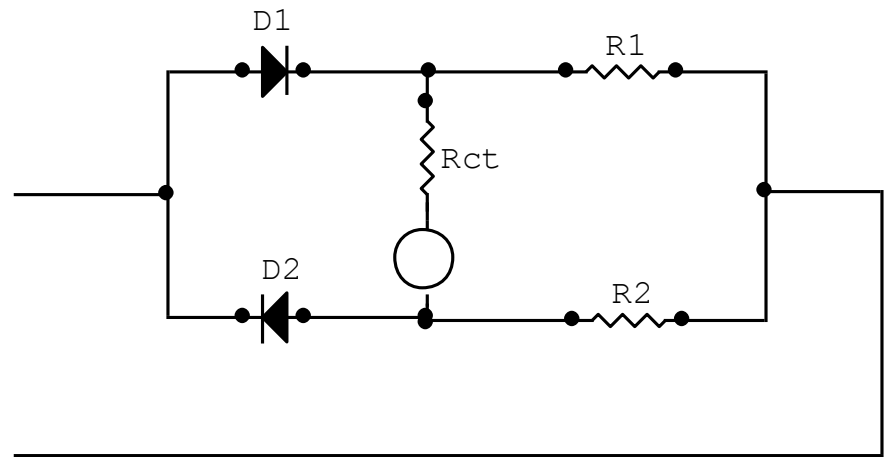


■ Sơ đồ chỉnh lưu nửa cầu toàn sóng

$$V_{rms} = 0,707 \cdot V_p$$

$$V_{trb} = 0,637 \cdot V_p$$

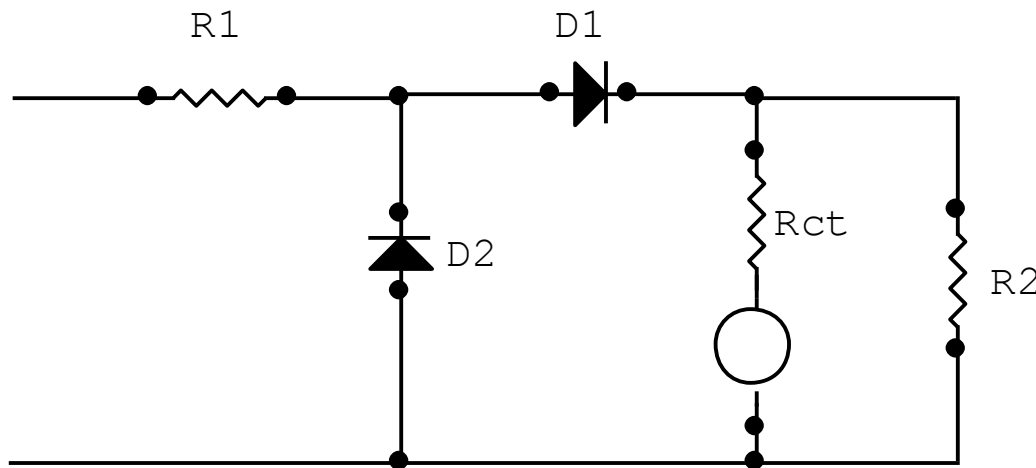
$$V_{rms} = 1,11 \cdot V_{trb}$$



Volmet chỉnh lưu từ điện



- Một dụng cụ đo với ĐLTT là 50 và $R_{ct} = 1,7k\Omega$. D1 phải có dòng thuận minh $100\mu A$ khi điện áp cần đo là 20% ĐLTT. Vôn kế chỉ 50V tại toàn thang.
- + Xác định R1 và R2
- + Tính độ nhạy của Vôn kế ở trên khi có D2 và không có D2



Volmet xoay chiều điện từ



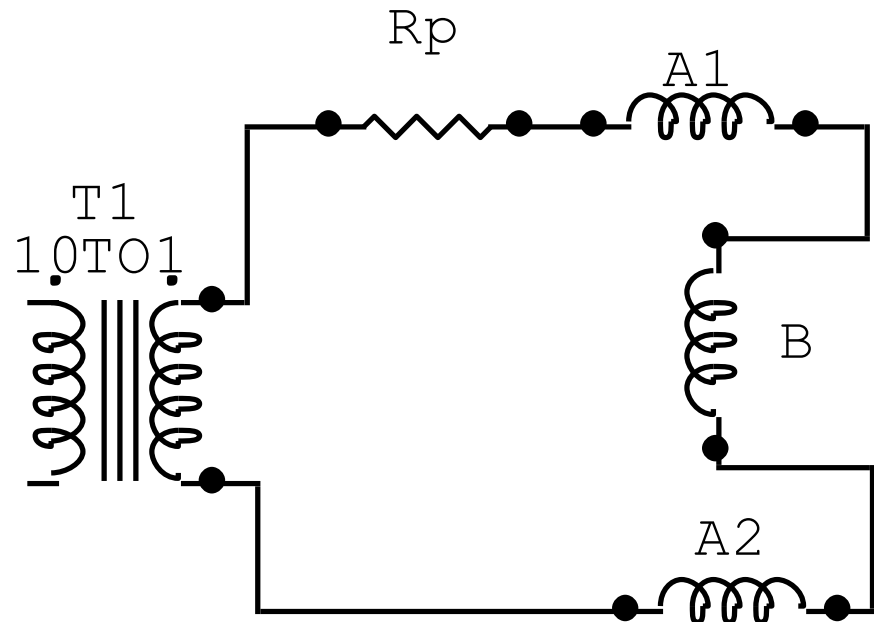
- Lúc chế tạo cơ cấu điện từ, I_W có một giá trị cố định. Vì thế khi chế tạo volmet điện từ, người ta chế tạo cuộn dây với rất nhiều vòng (hàng vạn vòng), dòng điện đủ nhỏ; khi điện trở của cuộn dây chưa đủ lớn. Ta nối tiếp nó với một điện trở phụ để đảm bảo điện trở vào của volmet.
- Tuy nhiên, công suất tiêu thụ của volmet điện từ lớn và sai số lớn. Hơn nữa, thiết bị đo điện từ rẻ hơn so với thiết bị đo điện từ. Vì vậy, ngày nay thiết bị đo điện từ chỉ còn được sử dụng rất ít



Vôn kế điện động



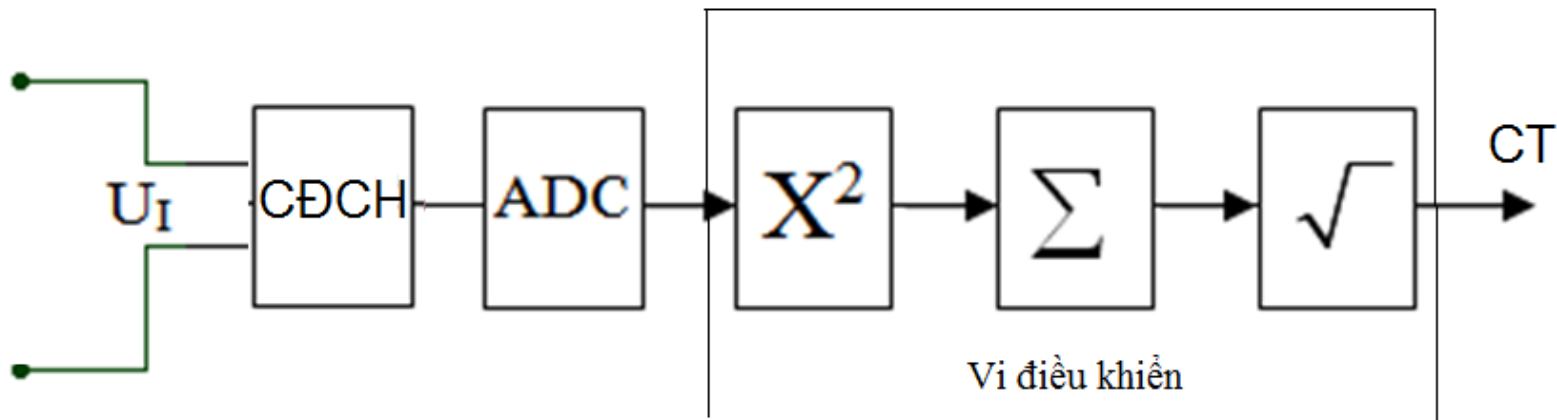
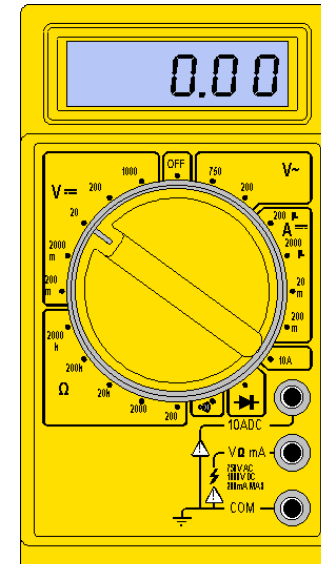
- Cuộn kích được chia làm 2 phần nối tiếp nhau và nối tiếp với cuộn động. Độ lệch của kim chỉ thị tỉ lệ với I^2 nên kim dừng ở giá trị trung bình của I^2 tức giá trị tức thời rms.
- Tác dụng của dòng rms giống như trị số dòng một chiều tương đương nên có thể khác độ theo giá trị một chiều và dùng cho cả xoay chiều



Vôn kế số



- Vôn kế số là dụng cụ chỉ thị kết quả bằng con số mà không phụ thuộc vào cách đọc của người đo.



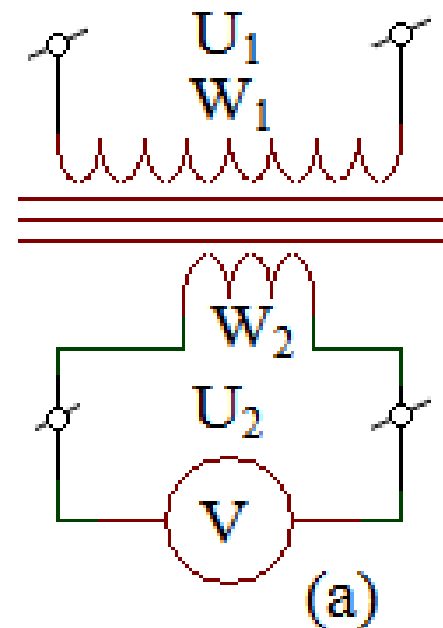
Biến điện áp



- Biến điện áp hay biến áp đo lường được dùng trong các hệ thống điện biến điện áp cao áp ở các cấp khác nhau thành điện áp thống nhất ở thứ cấp. Đó là một biến áp công suất nhỏ như những biến áp điện lực. Sơ cấp được nối vào lưới điện cao áp, thứ cấp nối với các Volmet để đo điện áp
- Theo nguyên lý các Volmet có điện trở vào rất lớn nên thứ cấp của biến điện áp coi là hở mạch

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

K_u Hệ số biến điện áp



Chương 10: Đo công suất và năng lượng



- Công suất là đại lượng cơ bản của các hiện tượng và quá trình vật lý nói chung và của các hệ thống điện tử nói riêng, do vậy việc xác định công suất là phép đo quan trọng và phổ biến.
- Trong thực tế, người ta phân công suất thành các loại như sau:
 - ❖ Công suất thực (công suất hữu công): P
 - ❖ Công suất phản kháng (công suất vô công): Q
 - ❖ Công suất biểu kiến (công suất danh định): S
- Dải đo của công suất từ 10^{-20} W đến 10^{10} W và dải tần từ 0 tới 10^9 Hz

Đo công suất và năng lượng



- * Đối với mạch điện một chiều công suất thực P được tính theo một trong các công thức sau đây:

$$P = U.I$$

$$P = I^2.R$$

$$P = U^2 / R$$

Trong đó:

I là dòng trong mạch

U là điện áp rơi trên phụ tải có điện trở R

- * Đối với mạch điện xoay chiều một pha

$$P = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i dt$$

Trong đó: p , u , i là các giá trị tức thời của công suất, áp và dòng. T là chu kỳ

Đo công suất và năng lượng



Như vậy công suất tác dụng trong mạch xoay chiều một pha được xác định như là một giá trị trung bình của công suất trong một chu kỳ T

Nếu dòng điện và điện áp có dạng hình sin thì công suất được tính theo công thức:

$$P = U.I.\cos\varphi$$

$$Q = U.I.\sin\varphi$$

$$S = U.I$$

Trong đó: U, I là các giá trị hiệu dụng

$\cos\varphi$ được gọi là hệ số công suất

Năng lượng trong mạch

$$W = \int_0^T P dt = \int_0^T u.i dt$$

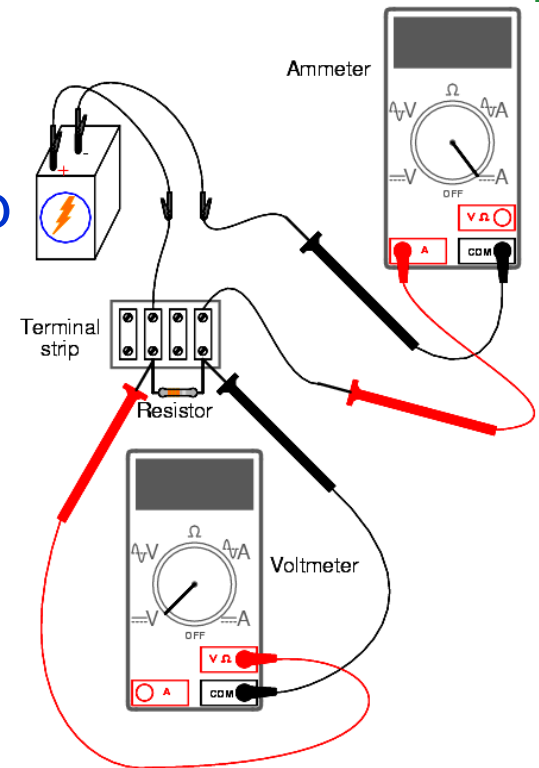
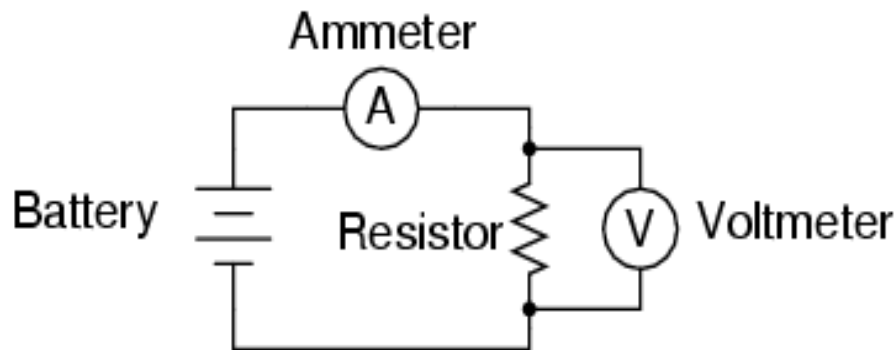
10.1. Dụng cụ đo công suất trong mạch một pha

- Từ công thức tính P ta có thể thấy ngay rằng để đo công suất của mạch một chiều trên phụ tải R thì có thể sử dụng các cặp dụng cụ như sau:

+ Ampe kế và Vôn kế

Khi đó: $P = U.I$

U và I là kết quả chỉ thị trên Vôn kế và Amp



Dụng cụ đo công suất trong mạch một pha



Có các phương pháp đo cơ bản sau:

- Đo theo phương pháp cơ điện:
 - ❖ Watmet điện động
 - ❖ Watmet sắt điện động
- Đo theo phương pháp điện:
 - ❖ Watmet chỉnh lưu điện tử
 - ❖ Watmet dùng chuyển đổi Hall
 - ❖ Watmet dùng phương pháp nhiệt điện
 - ❖ Watmet dùng phương pháp điều chế
 - ❖ Dùng ADC, Vi xử lý,...

Đo theo phương pháp cơ điện (Oat kế điện động)

- Oat kế điện động (hoặc sắt điện động) là dụng cụ cơ điện để đo công suất thực trong mạch điện một chiều hoặc xoay chiều một pha. Cấu tạo chủ yếu của Oat kế điện động là cơ cấu chỉ thị điện động

- Với mạch một chiều

$$\alpha = \frac{1}{D} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

$$I_1 = I$$

$$I_2 = \frac{U}{R_u + R_p}$$

$$g/s: \frac{dM_{12}}{d\alpha} = const$$

$$\Rightarrow \alpha = K \cdot U \cdot I = K \cdot P$$

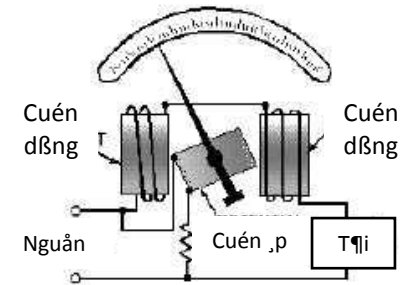
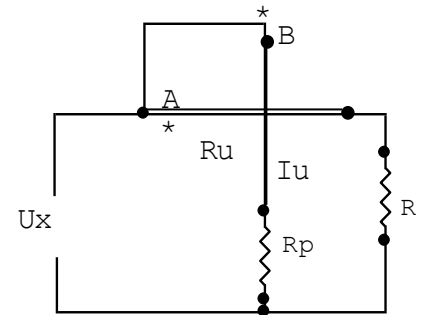
$$K = \frac{1}{D \cdot (R_u + R_p)} \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha} = const$$

D: momen cản riêng của lò xo phản kháng

I_1, I_2 : dòng qua cuộn tĩnh và cuộn động

M_{12} : hồ cảm giữa 2 cuộn dây

K được gọi là hệ số của Oat met với dòng một chiều



(A)



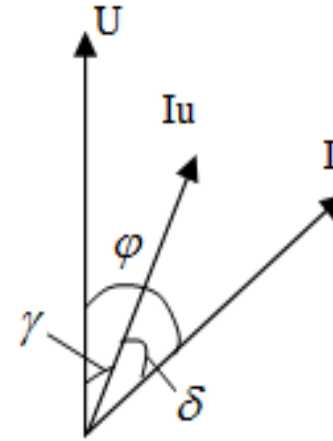
(B)

Đo theo phương pháp cơ điện (Oat kế điện động)

■ Với mạch xoay chiều

$$\alpha = \frac{1}{D} \cdot I \cdot I_u \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha} \cos \delta$$

$$I_u = \frac{U}{R_u + R_p} \cdot \cos \gamma$$

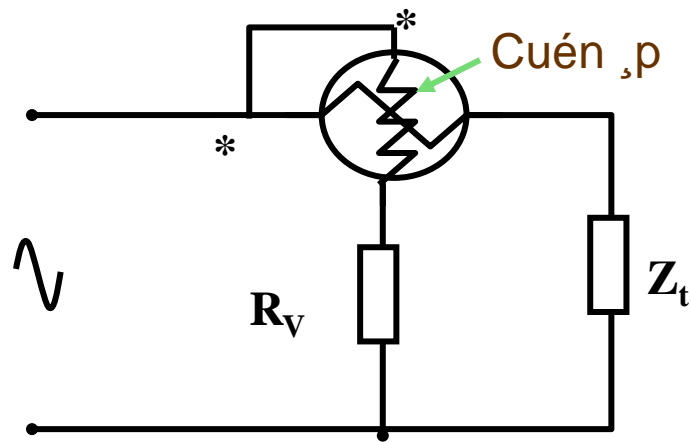


$$\delta = \varphi - \gamma$$

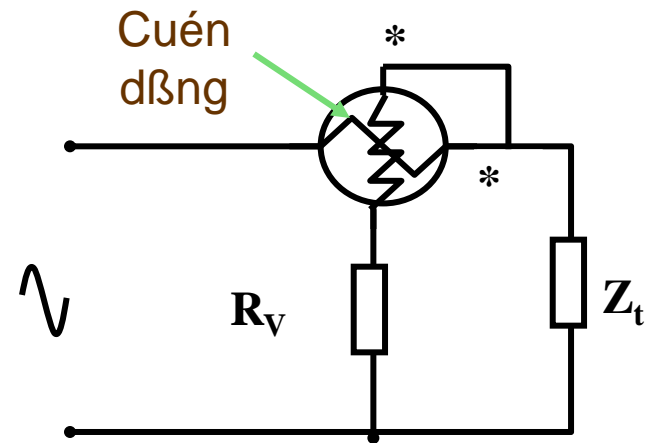
$$\Rightarrow \alpha = \frac{1}{D} \cdot \frac{U \cdot I}{R_u + R_p} \cdot \cos \gamma \cdot \cos(\varphi - \gamma)$$

Nếu $\varphi = \gamma \Rightarrow \alpha = K \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = K \cdot P$ nghĩa là số chỉ của Oatmet tỉ lệ với công suất tiêu thụ trên phụ tải.

Sơ đồ mắc trong mạch



a)



b)

- Mạch a) phù hợp cho tải nhỏ còn b phù hợp cho tải lớn

- Để xác định được chiều công suất cần đánh dấu đầu cuối của cuộn dây.

Đo công suất bằng phương pháp điều chế tín hiệu

Oatmet nhiệt điện

- Biến áp có điện áp thứ cấp tỉ lệ với điện áp U và tạo ra dòng i_u tỉ lệ với U và biến dòng có dòng thứ cấp tỉ lệ với dòng điện I và tạo dòng i_i tỉ lệ với dòng tải I .

Với sơ đồ như trên ta có dòng đốt nóng $R1$ là $(i_i + i_u)$ và dòng đốt nóng $R2$ là $(i_i - i_u)$

Theo công thức của cặp nhiệt điện ta có:

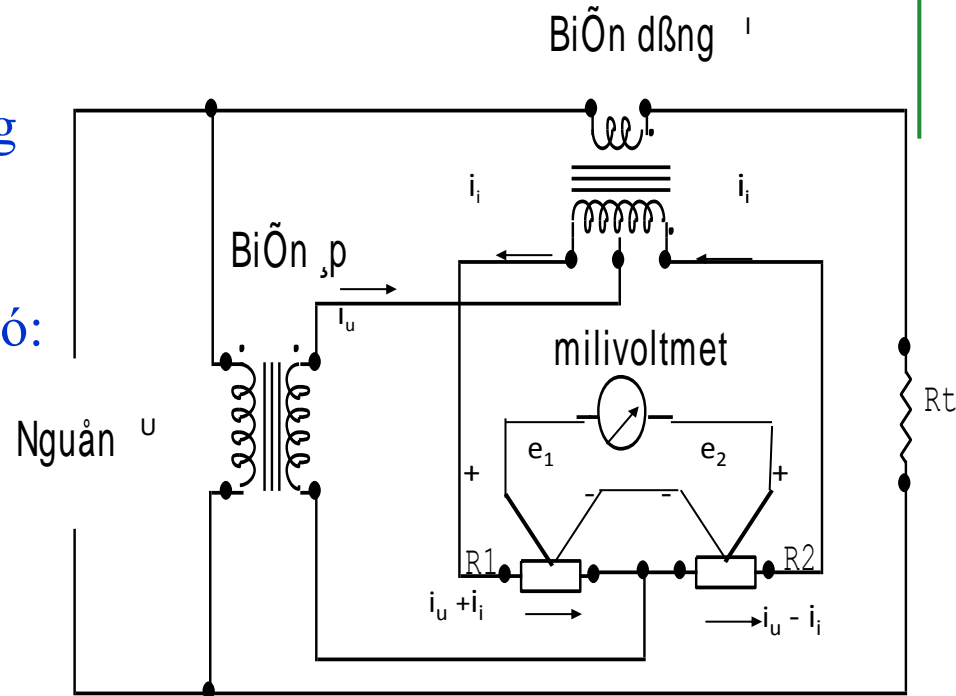
$e_1 = k.(i_i + i_u)^2$ và $e_2 = k.(i_i - i_u)^2$
(giả sử 2 cặp nhiệt điện có hệ số k như nhau)

Số chỉ của milivonmet khi đó là

$$E_{ra} = e_1 - e_2 = 4ki_u i_i$$

Do bộ biến đổi nhiệt có quán tính nhiệt cao nên loại bỏ thành phần xoay chiều ta sẽ có:

$$E_{ra} = K.U.I = K.P$$



Đo công suất bằng phương pháp điều chế tín hiệu

Oatmet dùng chuyển đổi Hall

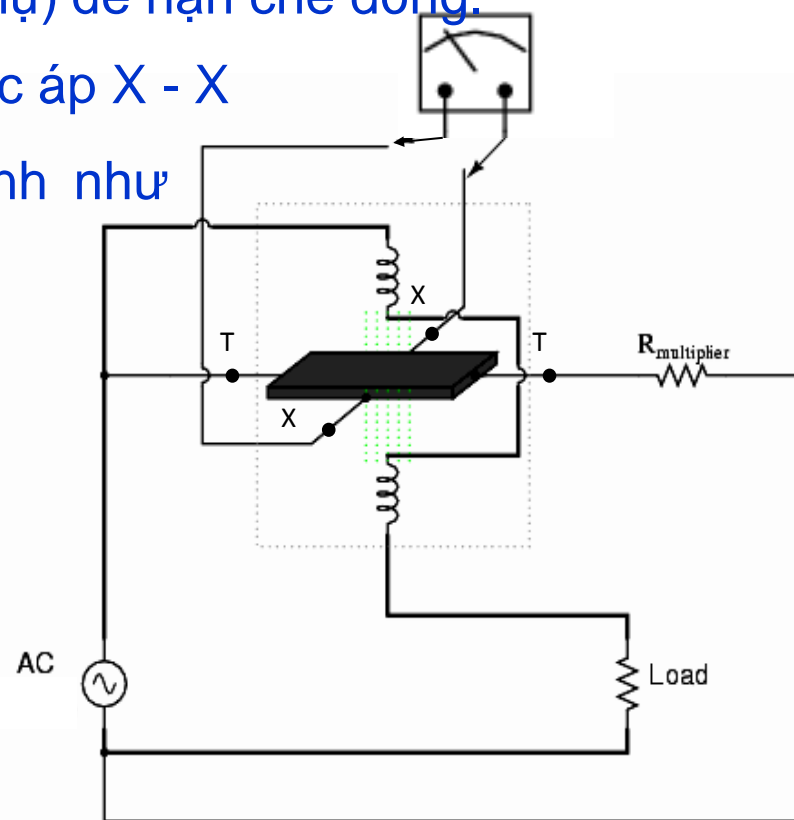
- Cho chuyển đổi vào khe hở của nam châm điện. Hướng của từ trường như hình vẽ (đường gạch – gạch). Dòng qua cuộn hút L chính là dòng qua phụ tải. Dòng qua 2 cực T – T tỉ lệ với điện áp đặt lên phụ tải (load). $R_{multiplier}$ (điện trở phụ) để hạn chế dòng.
- Milivonke để xác định áp giữa hai cực áp X - X
- Khi đó thế điện động Hall được tính như sau:

$$e_x = k.u.i = k.P$$

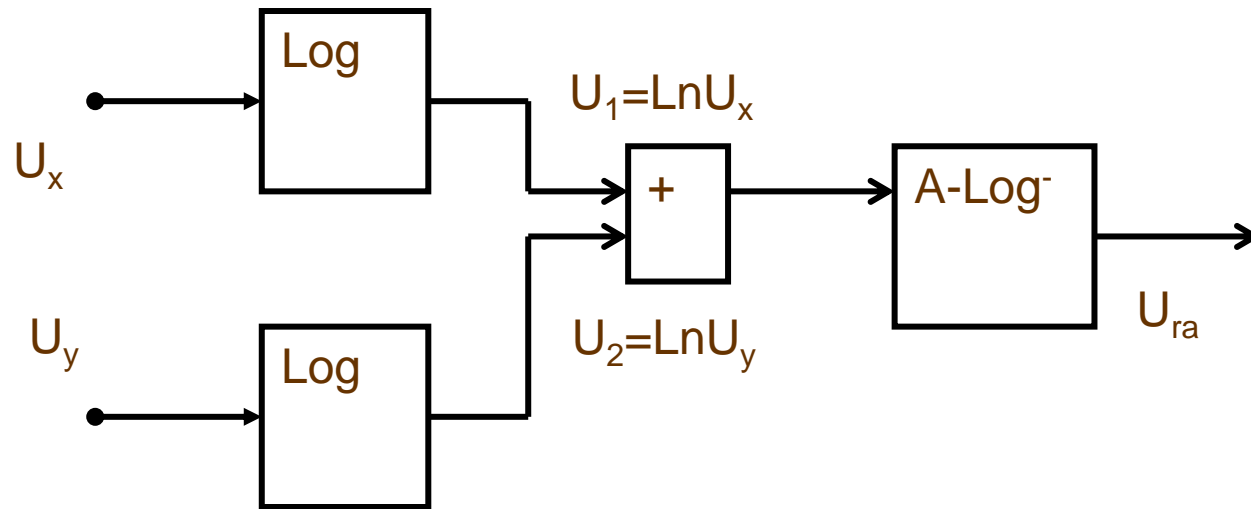
- Trong đó:

e_x được xác định bởi milivon kế;
 k là hệ số tỉ lệ

Do đó có thể suy ra giá trị của công suất P là: $P = e_x / k$



Nhân bằng Logarithm và Anti-logarithm



Hai đại lượng U_x và U_y được đưa vào hai bộ loga:

$$U_1 = \text{Ln}U_x ; U_2 = \text{Ln}U_y$$

U_1, U_2 được cho vào bộ cộng: $U_3 = U_1 + U_2 = \text{Ln}(U_x \cdot U_y)$

$$U_{ra} = \text{antilog}(\text{Ln}(U_x U_y)) = U_x U_y = k \cdot U_x I_y$$

Nhân bằng phần tử A/D và D/A

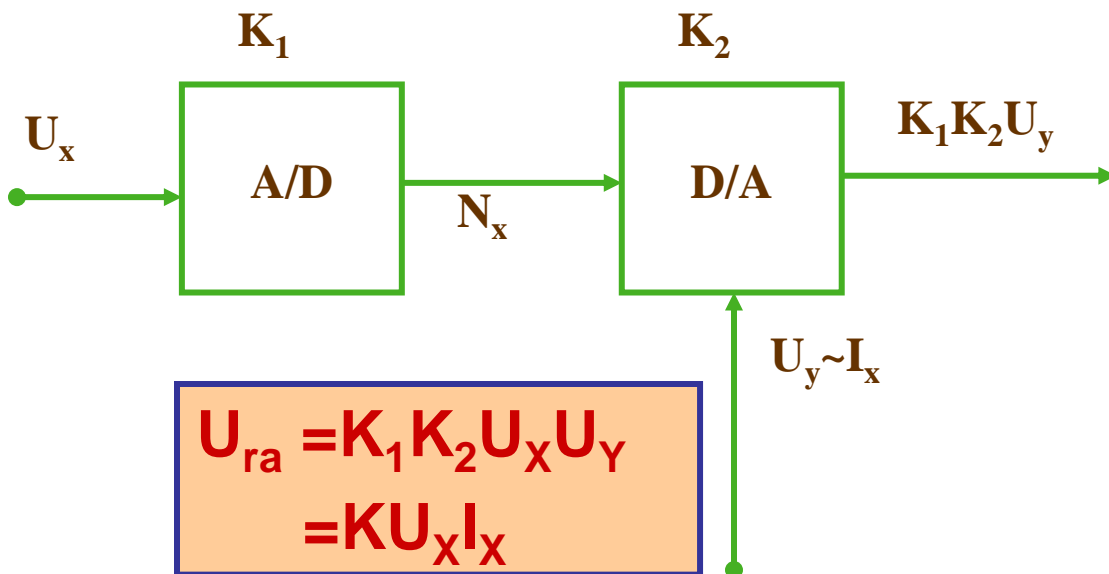


U_x đưa vào bộ A/D
biến thành N_x :

$$N_x = K_1 U_x$$

N_x lại đưa vào bộ D/A
được chế tạo đặc biệt
có điện áp cung cấp
nền U_Y

$$U_{ra} = K_2 N_x U_Y$$

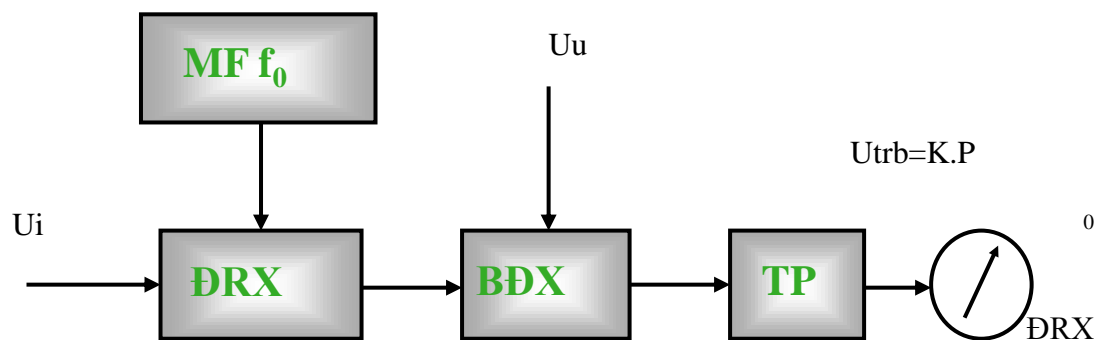


- Để đảm bảo bộ biến đổi được Công suất tức thời, thì thời gian biến đổi của A/D và D/A phải đủ nhanh (cỡ $100\mu s$)
- Người ta chế tạo D/A đặc biệt cho bộ nhân, bộ phân áp có điều khiển, bộ biến đổi mã dòng - điện. Ví dụ ADC 7107 thuộc họ Intel.

Đo theo phương pháp điện



Watmet dùng phương pháp điều chế

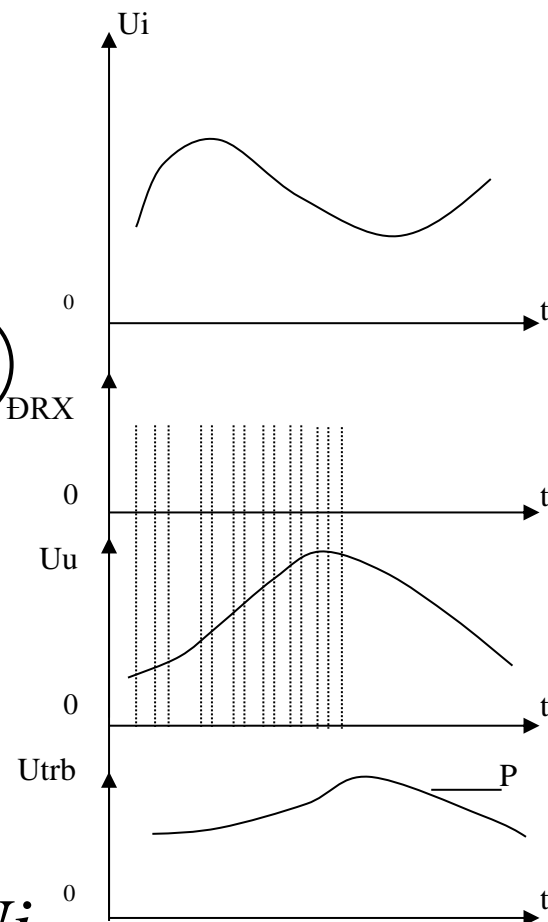


MF f_0 : máy phát xung tần số chuẩn f_0

ĐRX: bộ điều chế độ rộng xung

BĐX: bộ điều chế biên độ xung

TP: bộ tích phân

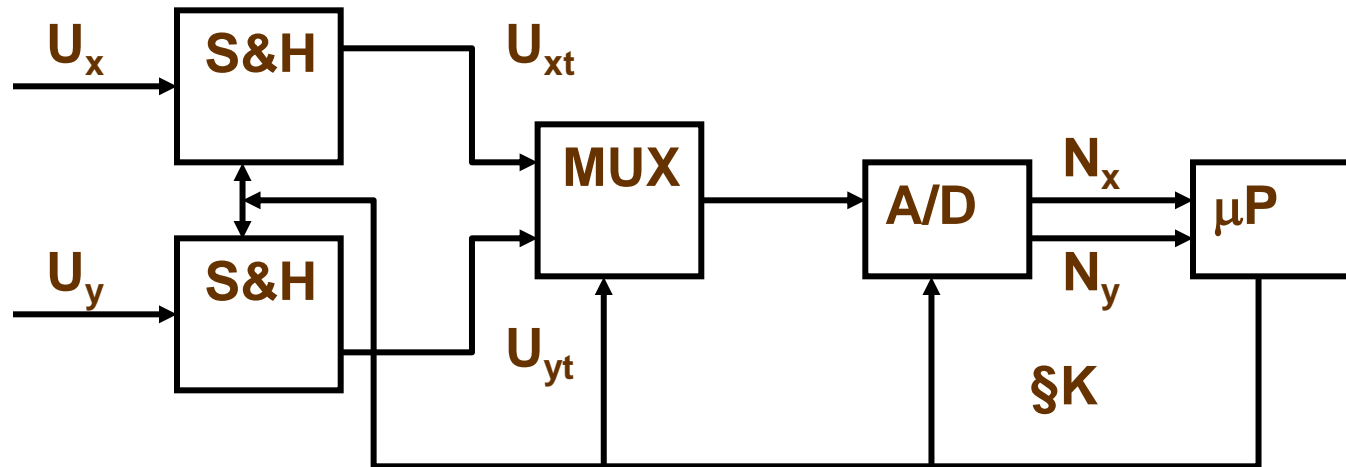


$$S(t) = k_2 \cdot U_u \cdot t_i = k_1 \cdot k_2 \cdot U_u \cdot U_i = K \cdot U_u \cdot U_i$$

Mạch nhân tức thời dùng vi xử lý



Vi xử lý thực hiện việc nhân các giá trị tức thời $u_x(t)$ và $u_y(t)$
Chú ý: Giá trị $u_x(t)$ và $u_y(t)$ phải được lấy cùng thời điểm



U_x được bộ A/D biến thành $N_x = K_1 U_x$
 U_y được bộ A/D biến thành $N_y = K_2 U_y$
 N_x và N_y được đưa vào bộ vi xử lý để làm phép nhân

$$N_z = N_x N_y = K_1 K_2 U_x U_y$$

Nếu $U_x = K_X \cdot u$; u điện áp tức thời
 $U_y = K_Y \cdot i$; i dòng tức thời



N_z là giá trị tức thời của p , có giá trị khác nhau ở các thời điểm khác nhau.

Mạch nhân tức thời dùng vi xử lý (2)



- Để xét sự biến thiên của p theo thời gian N_z được lưu giữ lại thành một bảng số liệu về giá trị tức thời ở các thời điểm khác nhau và cũng có thể vẽ trên màn hình ở giá trị biến thiên theo t , hoặc in ra.
- Để công suất tức thời $p=ui$, giá trị tức thời của u và i phải được lấy cùng thời gian. Bộ lấy mẫu S&H được dùng để ghim giữ giá trị của u và i vào cùng một thời điểm. Cũng có thể sử dụng một A/D cùng cho cả hai biến u và i .
- Để giảm sai số lượng tử hoá của p , số lần lấy mẫu cho một chu kỳ phải đủ lớn, chu kỳ lấy mẫu đủ nhỏ, tốc độ biến thiên của A/D phải đủ lớn. Tốc độ tính toán của bộ xử lý phải đủ nhanh để có thể tính toán theo thời gian thực.

Mạch nhân tức thời dùng vi xử lý (3)



- Từ công thức tính công suất tức thời p , công suất trung bình hay năng lượng truyền cho tải:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt \quad \text{hay} \quad P = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n u_k i_k \quad W = \int_0^t u i dt \quad W = \sum_{k=1}^n u_k i_k$$

- Có thể tính năng lượng giờ cao điểm và thấp điểm, tính hệ số $\cos \varphi = P/UI$ ở thời điểm khác nhau → Bằng cách này công ty ARDETEM Pháp đã chế tạo bộ biến đổi (P,U,I) số PECA-2000 trong đó dùng bộ biến đổi tương tự số 12 bit tốc độ lớn để băm tín hiệu điện, điện áp thành 300 điểm rời rạc hoá trong một chu kỳ. Vi xử lý dùng để xử lý thuật toán là bộ vi xử lý 32 bit tốc độ nhanh

10.2 Đo năng lượng trong mạch xoay chiều một pha

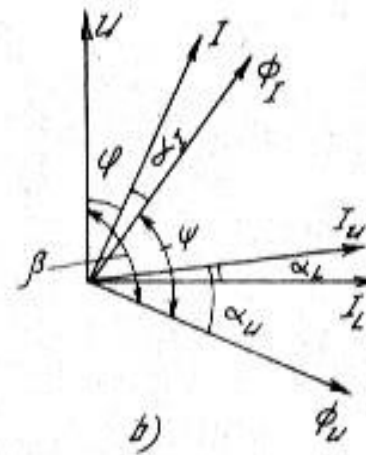
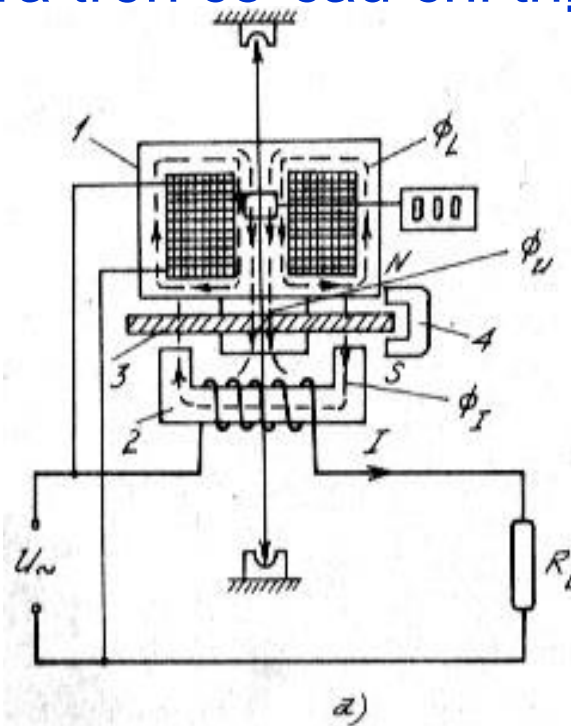


10.2 Đo năng lượng trong mạch xoay chiều một pha

- Năng lượng trong mạch xoay chiều một pha được tính:

$$W = \int_0^T P dt = \int_0^T u \cdot i dt$$

- Dụng cụ đo để đo năng lượng là công tơ. Công tơ được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị cảm ứng



Công tơ một pha



Cấu tạo:

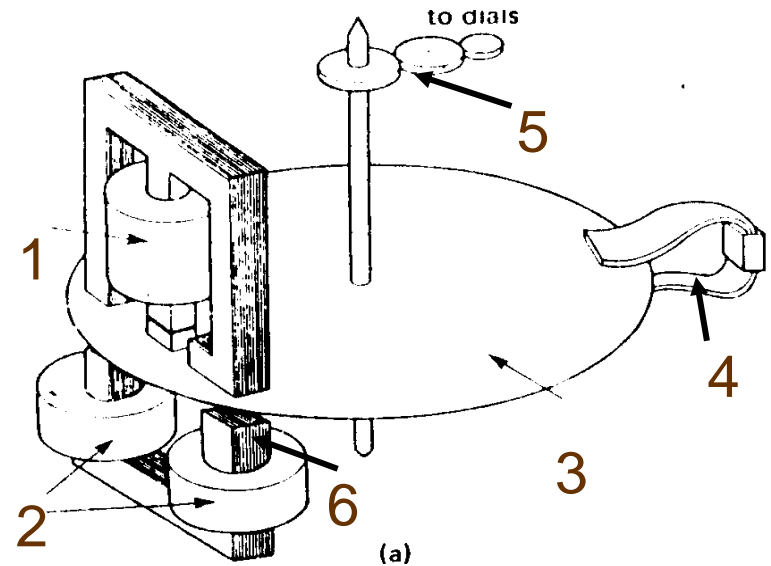
Cuộn dây 1 (tạo nên nam châm điện 1): gọi là cuộn áp được mắc song song với phụ tải. Cuộn này có số vòng dây nhiều, tiết diện dây nhỏ để chịu được điện áp cao.

Cuộn dây 2 (tạo nên nam châm điện 2): gọi là cuộn dòng được mắc nối tiếp với phụ tải. Cuộn này dây to, số vòng ít, chịu được dòng lớn.

Đĩa nhôm 3: được gắn lên trục tì vào trụ có thể quay tự do giữa hai cuộn dây 1, 2.

Hộp số cơ khí 5: gắn với trục của đĩa nhôm.

Nam châm vĩnh cửu 4: có từ trường của nó xuyên qua đĩa nhôm để tạo ra mômen hãm



Công tơ một pha

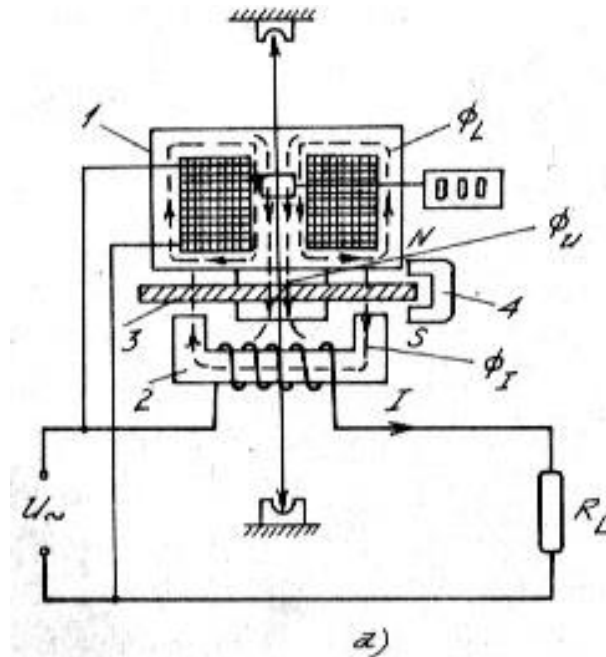


Nguyên lý làm việc

- khi có dòng điện I chạy trong phụ tải, qua cuộn dòng tạo ra từ thông Φ_I cắt đĩa nhôm hai lần.
- Đồng thời điện áp U được đặt vào cuộn áp sinh ra dòng I_u , dòng này chạy trong cuộn áp tạo từ thông Φ_U :

$$\phi_I = k_i I; \quad \phi_u = k_u I = k_u \frac{U}{Z_u}$$

k_I , k_U : là hệ số tỉ lệ về dòng và áp;
 Z_u : là tổng trở của cuộn áp



Công tơ một pha



- Vì cuộn áp có điện trở thuần nhỏ so với điện kháng của nó cho nên

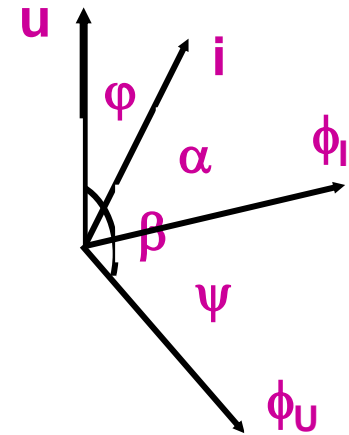
$$Z_u \approx X_u = 2\pi f L_u \Rightarrow \phi_u = k_u \frac{U}{2\pi f L_u} = k_u \frac{U}{f}$$

- Mômen quay của cơ cấu chỉ thị cảm ứng được tính:

$$M_q = C \cdot f \cdot \phi_I \cdot \phi_U \cdot \sin \psi = C \cdot k_u \cdot k_u \cdot U \cdot I \cdot \sin \psi = k \cdot U \cdot I \cdot \sin \psi$$

$$\psi = \beta - \alpha - \varphi$$

- Để thực hiện điều kiện $\beta - \alpha = \pi/2$ ta có thể điều chỉnh góc β , tức là điều chỉnh Φ_U bằng cách thay đổi vị trí sun từ của cuộn áp hoặc điều chỉnh góc α bằng cách thêm hoặc bớt vòng ngắn mạch của cuộn dòng





- Mômen quay tỉ lệ với công suất.

$$M_q = k \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = k \cdot P$$

- Mômen hãm sinh ra do từ thông của nam châm vĩnh cửu Φ_M và dòng điện xoáy sinh ra ở trong đĩa nhôm I_M

$$M_C = k_1 \cdot \Phi_M \cdot I_M$$

- khi cân bằng có:

$$M_q = M_C \Leftrightarrow k \cdot P = k_3 \cdot \Phi_M^2 \cdot n_0$$

- Sau một thời gian t đĩa quay được N vòng tức là $n_0 = N / t$

$$k \cdot P = k_3 \cdot \Phi_M^2 \cdot \frac{N}{t} \Rightarrow N = \left(\frac{k}{k_3 \Phi_M^2} \right) \cdot P t$$

Công tơ một pha



- Sau một thời gian t đĩa quay được N vòng suy ra:

$$N = C_p P \cdot t = C_p \cdot W$$

C_p là hằng số công tơ

$$C_P = \frac{N}{W} = \frac{N}{P \cdot t}$$

C_p là số vòng của công tơ khi tiêu hao công suất là 1kW trong 1 giờ, hằng số này không đổi và ghi trên mặt công tơ

Sai số của công tơ được tính như sau :

$$\beta_w (\%) = \frac{W_N - W_{do}}{W_{do}} \cdot 100\% = \frac{C_N - C_{do}}{C_{do}} \cdot 100\%$$

W_N, C_{PN} : là năng lượng và hằng số công tơ định mức.

W_{do}, C_{Pdo} : là năng lượng và hằng số công tơ đo được.

Cấp chính xác của công tơ thường là: 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5

10.2 Đo năng lượng trong mạch xoay chiều một pha

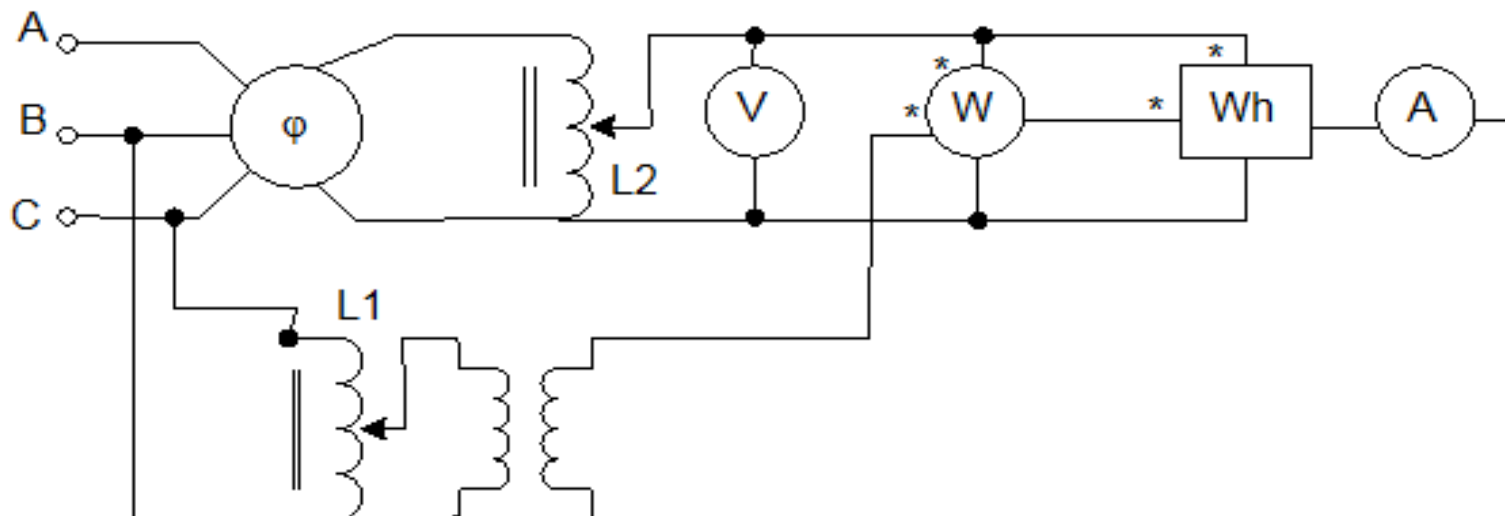
■ Ý NGHĨA CÁC THÔNG SỐ

- ❖ **220V**: điện áp định mức của công tơ
- ❖ **5(20)A**: Dòng điện định mức của công tơ là 5A. Có thể sử dụng quá tải đến 20A mà vẫn đảm bảo độ chính xác. Nếu sử dụng quá 20A thì công tơ chạy không đảm bảo chính xác và có thể hỏng.
- ❖ **900 vòng/kWh**: Đĩa công tơ quay 900 vòng thì được 1 kWh. 450 vòng/kWh, 225vòng/kWh cũng tương tự
- ❖ **Cấp 2**: Cấp chính xác của công tơ. Sai số 2% toàn dải đo. Tương tự cho cấp 1, cấp 0.5.
- ❖ **50Hz**: Tần số lưới điện





- Kiểm tra công tơ với ý nghĩa ®m b¶o mômen bù ma sát lớn hơn mômen ma sát một ít.
 - Điều chỉnh tự quay của công tơ:
 - Điều chỉnh góc
 - Chỉnh hằng số công tơ, xác định sai số tương đối quy đổi với các tải khác nhau và $\cos \varphi$ khác nhau.





Điều chỉnh tự quay của công tơ:

- Chỉ L2 sao cho $U = U_N$; chỉ L1 sao cho $I=0 \rightarrow$ công tơ đứng yên, nếu công tơ quay là hiện tượng tự quay, chỉnh mô men hãm

Điều chỉnh góc $\beta - \alpha = \pi/2$

- Chỉnh L2 sao cho $U=U_N$, Điều chỉnh L1 $I=I_N$, điều chỉnh góc lệch pha $\varphi = \pi/2$
- Lúc này watmet chỉ 0, công tơ lúc này phải đứng yên, nếu công tơ quay điều đó có nghĩa là $\beta - \alpha \neq \pi/2$ và công tơ không tỉ lệ với công suất ta điều chỉnh từ thông Φ_u bằng cách điều chỉnh bộ phận phân nhánh từ của cuộn áp

Kiểm tra công tơ



Kiểm tra hằng số công tơ

- Chỉnh L2 sao cho $U=U_N$, $I=I_N$, điều chỉnh góc lệch pha $\varphi = 0$

Đo thời gian quay của công tơ bằng đồng hồ bấm giây t.
Đếm số vòng N mà công tơ quay được trong khoảng thời gian t. Từ đó ta tính được hằng số công tơ:

$$C_p = \frac{N}{W} = \frac{N}{U \cdot I \cdot t} \quad \text{vòng / kWh}$$

- Sai số $\gamma_c \% = \frac{C_N - C_{do}}{C_{do}} \cdot 100(\%)$

- Trong thực tế đôi khi người ta sử dụng một đại lượng nghịch đảo với hằng số C_p đó là hằng số k:

$$k = \frac{1}{C_p} = \frac{P_t}{N} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{so vong}} \right]$$

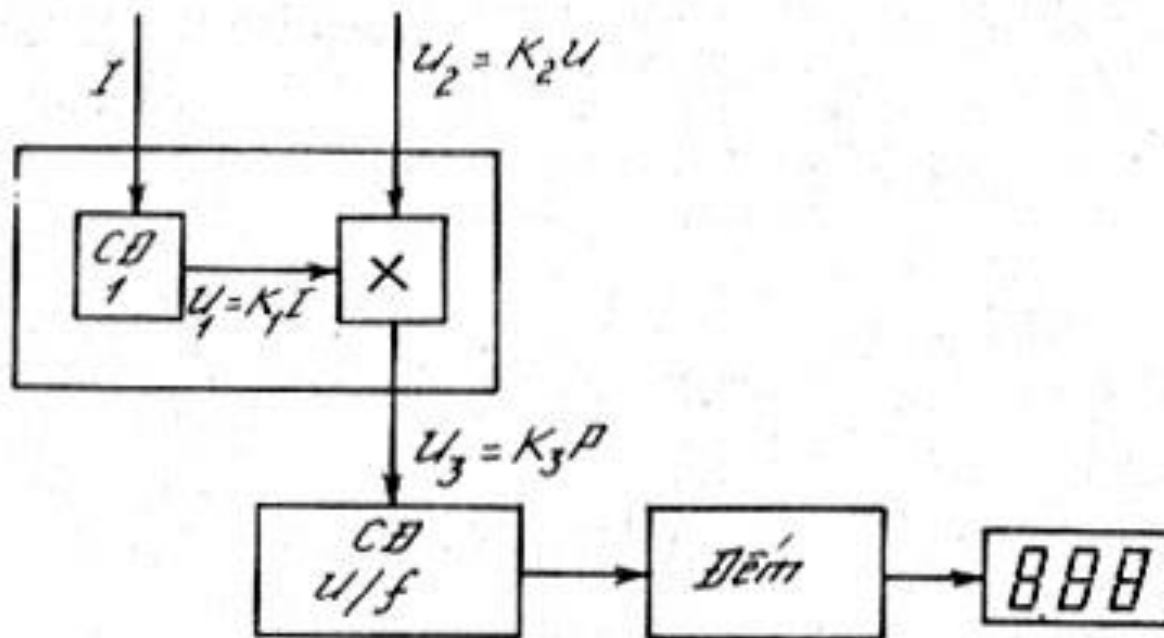


- Để chế tạo công tơ điện tử, người ta biến đổi dòng điện I thành điện áp U_1 tỉ lệ với nó:

$$U_1 = k_1 I$$

- Một điện áp khác tỉ lệ với điện áp đặt vào U :

$$U_2 = k_2 U$$



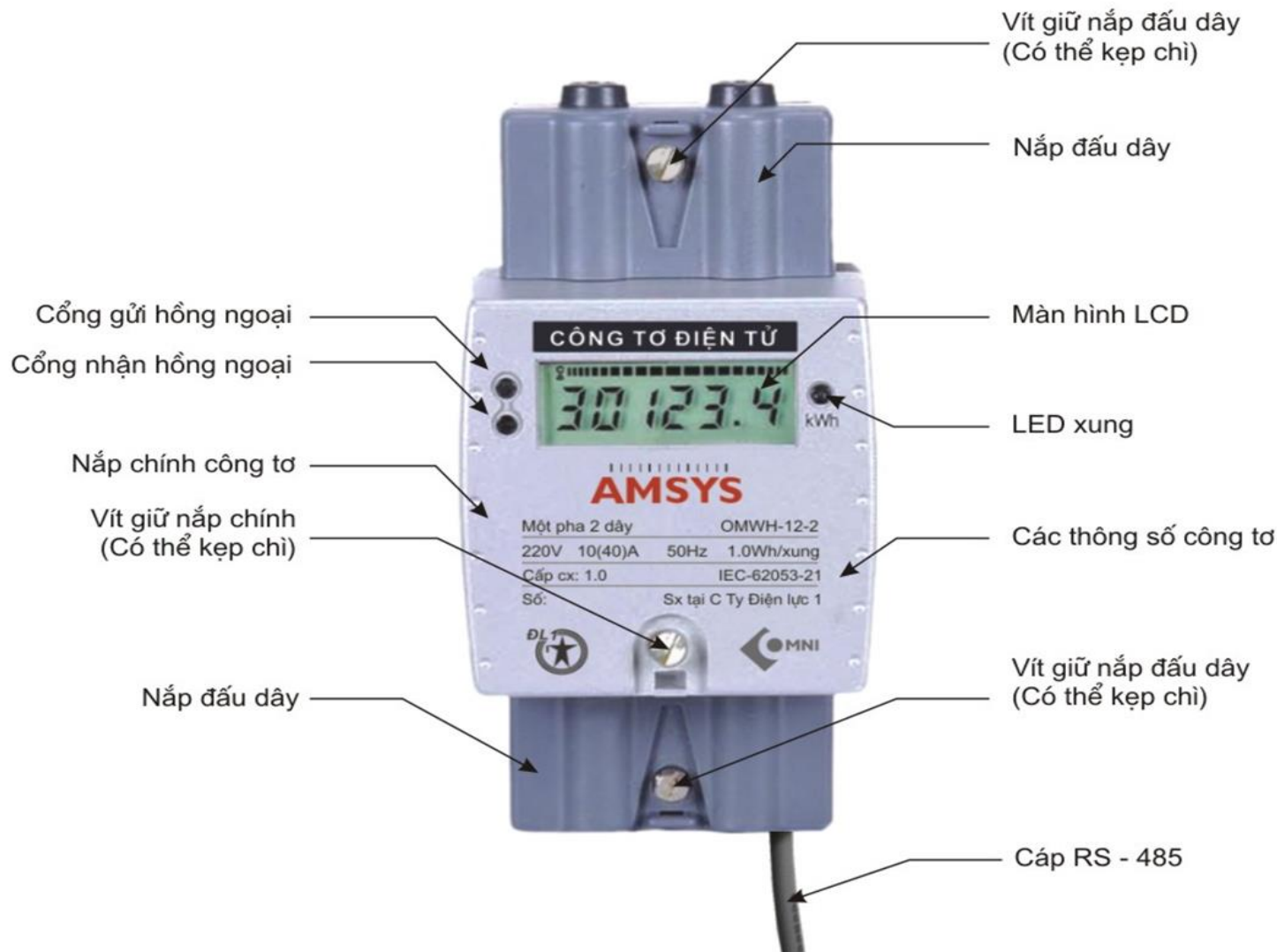
- U_1 , U_2 qua bộ phận điện tử (nhân analog) sẽ nhận được điện áp U^3 tỉ lệ với công suất P :

$$U_3 = k_3 \cdot P$$



- Tiếp theo điện áp này sẽ lần lượt qua các khâu: qua bộ biến đổi điện áp-tần số (hoặc bộ biến đổi A/D), vào bộ đếm, ra chỉ thị số. Số chỉ của cơ cấu chỉ thị số sẽ tỉ lệ với năng lượng $N = CW$ trong khoảng thời gian cần đo năng lượng đó.





Một số dòng IC chế tạo công tơ số



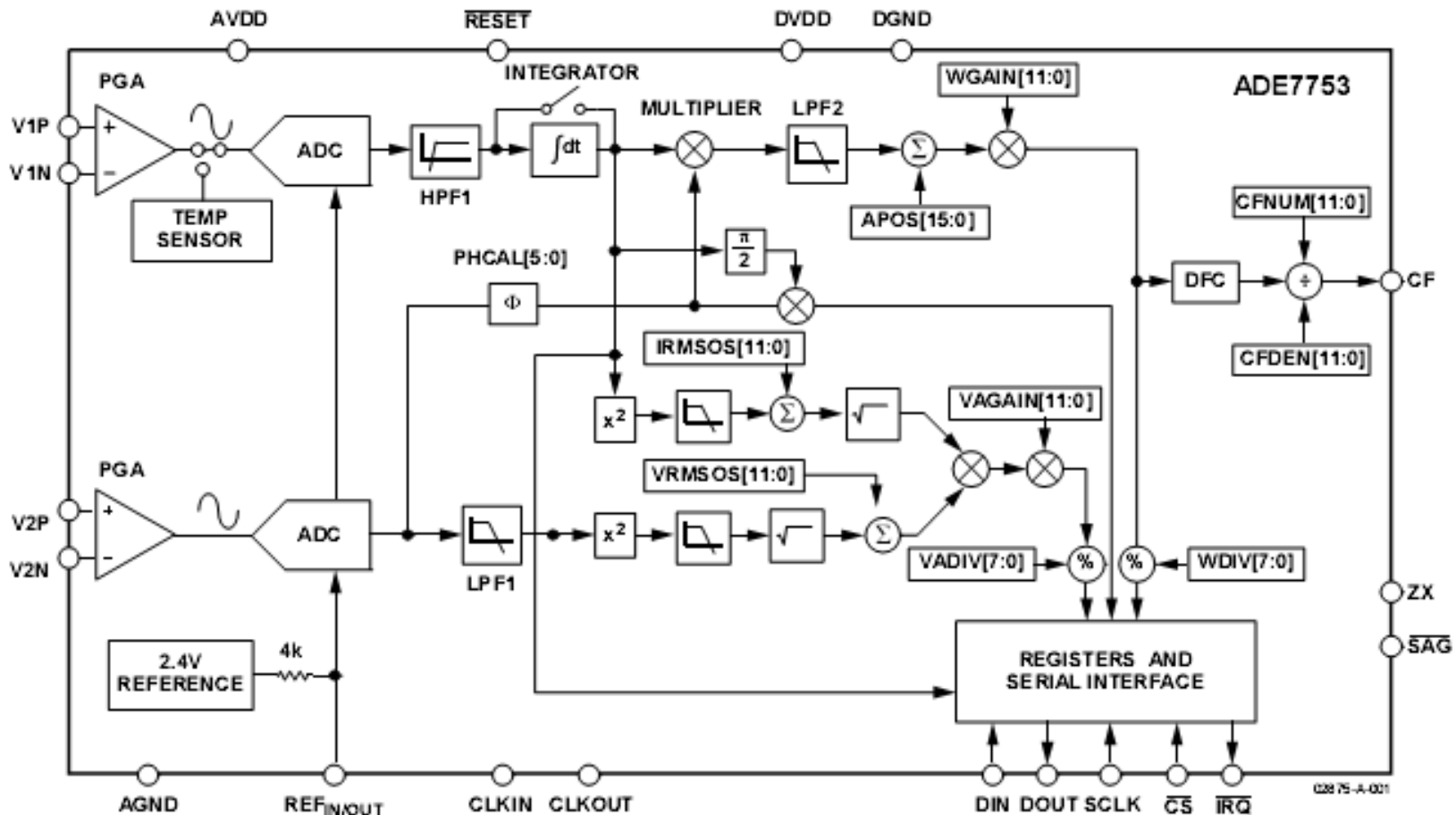
- Biến đổi dùng để chế tạo công tơ 1 pha gồm các IC: AD7750, AD7751, AD7755, ADE 7757
- Biến đổi vạn năng 1 pha gồm các IC: ADE7753, ADE7756, ADE7759, v.v...

Ở các loại IC này cho phép giao tiếp với vi xử lý MCU thông qua các đầu: IRQ, SPI và DIN, DOUT; cho phép lấy ra các số liệu sau: Điện áp hiệu dụng U_{rms} , dòng điện hiệu dụng I_{rms} , điện áp tức thời u_t , dòng điện tức thời i_t , công suất tức thời p , công suất tác dụng P , công suất phản kháng Q , công suất biểu kiến S , năng lượng tác dụng E_a , năng lượng phản kháng E_r , tần số f , hệ số công suất $\cos\varphi$ và góc lệch pha φ .

Giới thiệu ADE7753



- ADE7753 có thể coi là một bộ biến đổi vạn năng một pha điển hình. Sơ đồ cấu trúc chức năng của ADE7753 có thể tóm tắt ở sơ đồ hình sau



Giới thiệu ADE7753



- Với giá trị định mức 500mV. Tín hiệu qua 2 khuếch đại lập trình được (PGA) với các giá trị sau: 1, 2, 4, 8, 16 điều khiển bằng 6 bit của thanh ghi chọn thang đo.
- ADC là một bộ biến đổi tương tự số có thể lên đến 24 bit; tốc độ biến đổi 900 ks/sc đảm bảo cho được giá trị tức thời của các tín hiệu dòng và áp lên đến 20kHz.
- Sai số có thể đạt được là 0.1 %.
- Như vậy là sau ADC là các số liệu số của 2 điện áp V_1 và V_2 . Các chức năng còn lại trong sơ đồ đều thực hiện trong không gian số nhờ một DSP mạnh (TS-320 của Texas Instrument) các bộ lọc thông cao, thông thấp, nhân, cộng, biến đổi số thành tần v.v...đều thực hiện bằng số



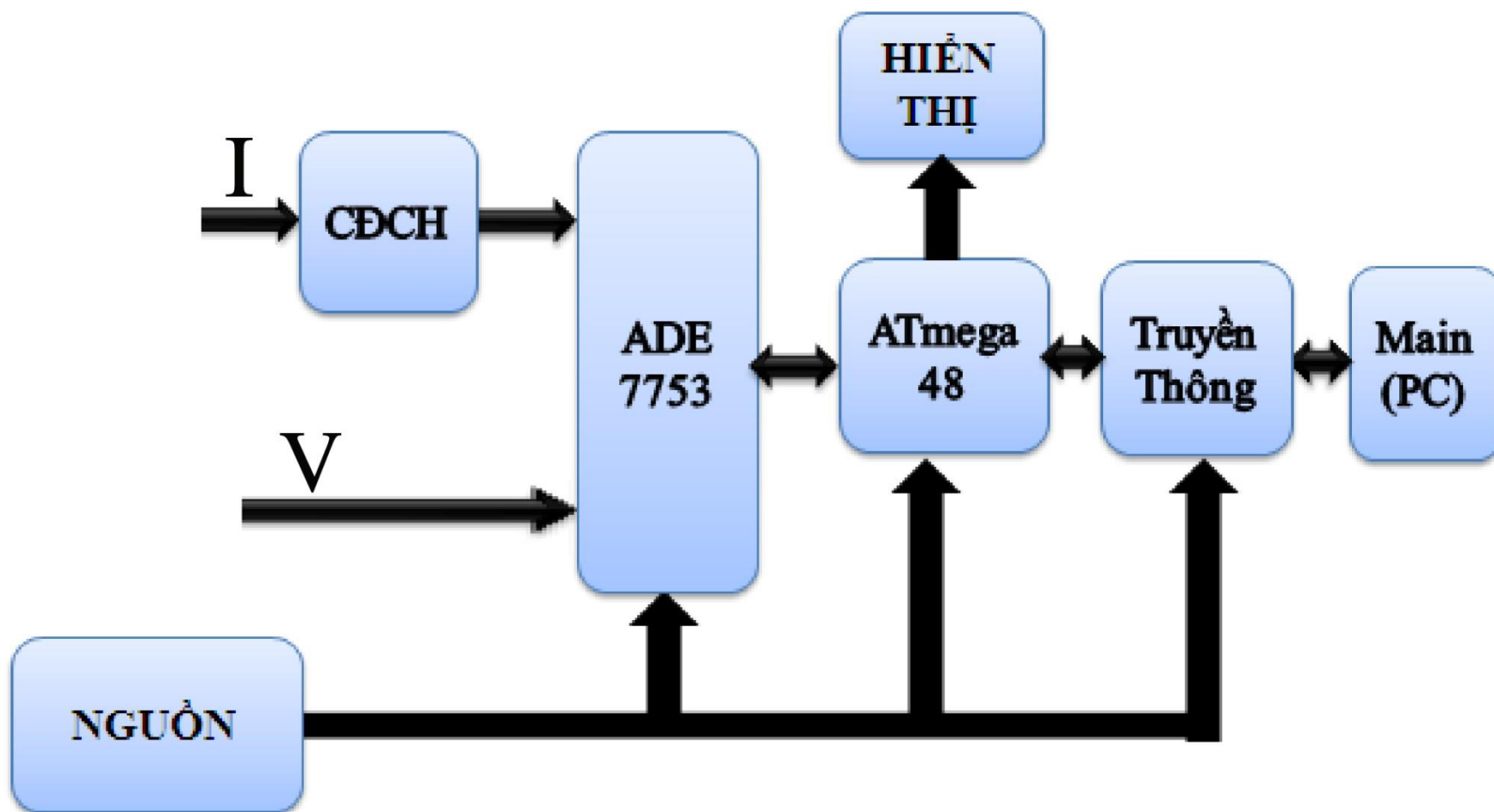
- Các khâu hiệu chỉnh được lập trình trên các thanh ghi của DSP và điều khiển thông qua các cổng của ADE. Dòng và áp hiệu dụng được xử lý theo công thức

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i^2} \quad U_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i^2}$$

- Công suất tác dụng P được tính

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i$$

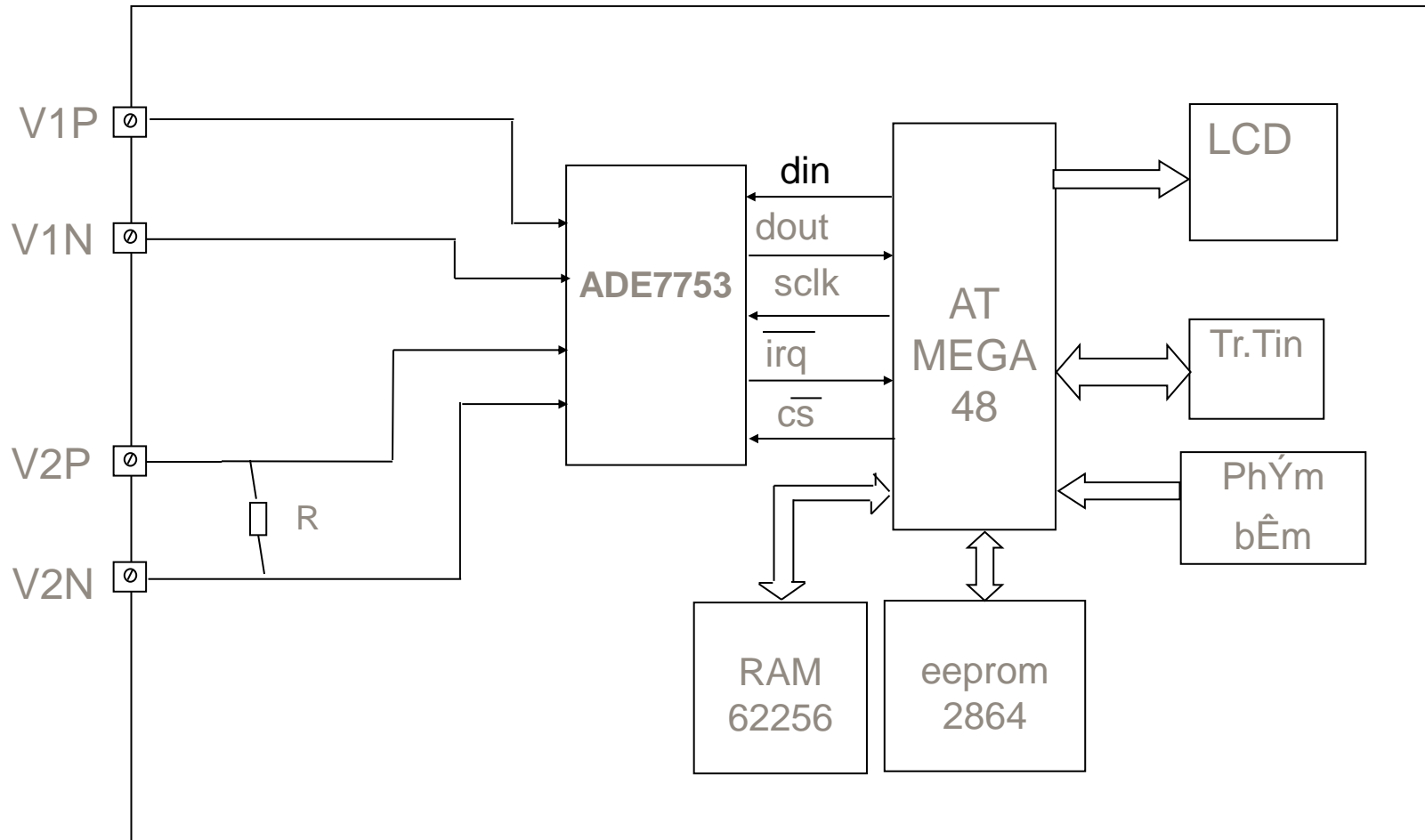
Giới thiệu ADE7753



Giới thiệu ADE7753



■ Mô hình chế tạo thiết bị





Trong sơ đồ đo công tơ có các thông số sau: 5A -220V; hằng số công tơ 1100 vòng/kWh.

- ❖ Voltmet có khoảng đo 0-250V 100 vạch
 - ❖ Ampemet có khoảng đo 0-5A 100vạch chia
 - ❖ Wattmet có khoảng đo 0-1500W 150 vạch chia
- Tính toán các giá trị I,U,P trong bảng kết quả thí nghiệm sau?

U _{v1ch}	88	88	88	88	88
I _{v1ch}	20	40	60	80	100
P _{v1ch}	22	44	66	88	110
N _{vβng}	5	5	10	10	10
t _{gi©y}	68,1	34	45,2	34	27,2

- Tính sai số ở các giá trị khác nhau của P?
- Lập quan hệ $\gamma = f(p)$ bằng đồ thị?



Sau một tháng công tơ của một trạm biến thế quay 125.000 vòng, với hằng số công tơ 600vòng/kWh.

Công tơ được nối qua biến điện áp có: $k_u = 15.000/100$ và biến dòng $k_i = 100/5$

1. Tính số tiền phải trả, biết giá điện năng là 1300đ/kWh
2. Công tơ phản kháng quay 100.000vòng . Tính hệ số $\cos\varphi$. Tính tiền điện phải trả với giá điện sau:

$\cos\varphi > 0.8$ Giá điện 1400đ/kWh

$0.7 < \cos\varphi < 0.8$ Giá điện 1500đ/kWh

$0.5 < \cos\varphi < 0.7$ Giá điện 2000đ/kWh

10.3. Đo công suất mạch ba pha



- Biểu thức tính công suất tác dụng và công suất phản kháng là :

$$P = P_A + P_B + P_C$$

$$= U_{\Phi A} I_{\Phi A} \cos \phi_A + U_{\Phi B} I_{\Phi B} \cos \phi_B + U_{\Phi C} I_{\Phi C} \cos \phi_C$$

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C$$

$$= U_{\Phi A} I_{\Phi A} \sin \phi_A + U_{\Phi B} I_{\Phi B} \sin \phi_B + U_{\Phi C} I_{\Phi C} \sin \phi_C$$

với: U_{Φ} , I_{Φ} : điện áp pha và dòng pha hiệu dụng

ϕ : góc lệch pha giữa dòng và áp của pha tương ứng.

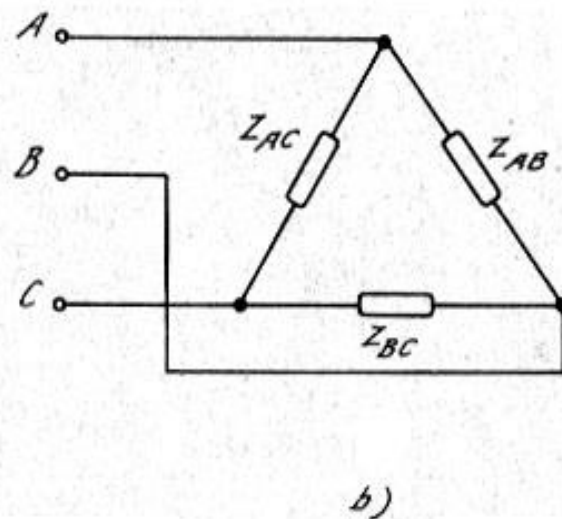
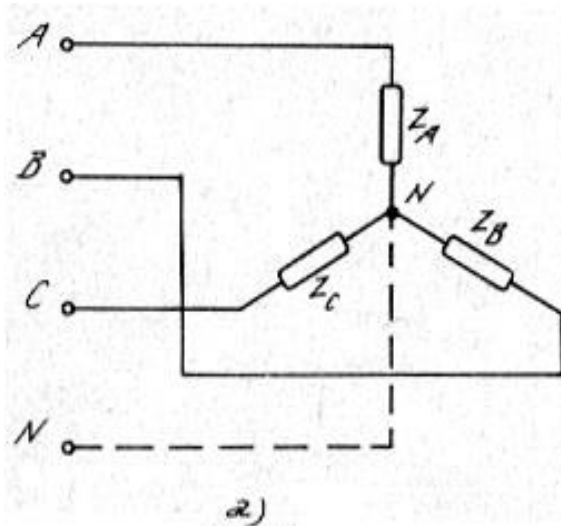
- Tính theo công suất tức thời ta có:



Đo công suất mạch ba pha



- Trong mạch điện 3 pha, phụ tải thường được mắc theo hai cách: phụ tải mắc hình sao hoặc phụ tải mắc hình tam giác.
- Đối với phụ tải hình sao có thể không có dây trung tính (nghĩa là mạch chỉ có 3 dây) hoặc có dây trung tính (tức là mạch có 4 dây)



Đo công suất mạch ba pha

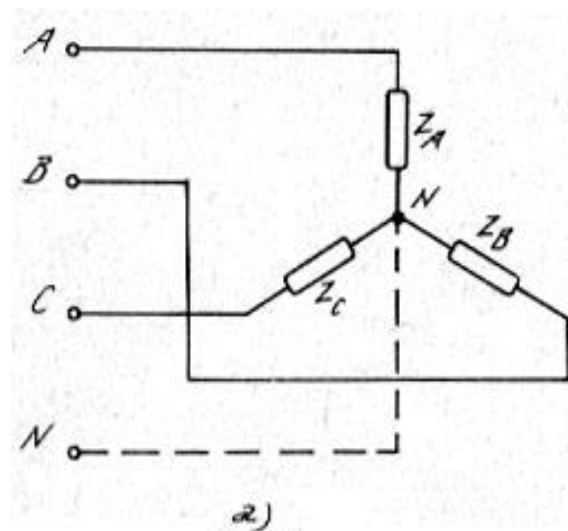


- Các điện áp u_{AB} , u_{BC} , u_{AC} là các giá trị tức thời của điện áp dây; u_{AN} , u_{BN} , u_{CN} là các giá trị tức thời của điện áp pha ; i_A , i_B , i_C là các giá trị tức thời của dòng điện pha.
- Ta có thể viết các phương trình sau đây :

$$i_A + i_B + i_C = 0; P_{\Sigma} = u_{AN}i_A + u_{BN}i_B + u_{CN}i_C$$

Suy ra:

$$\begin{aligned} P_{\Sigma} &= u_{AN}i_A + u_{BN}i_B - u_{CN}i_A - u_{CN}i_B \\ &= i_A \cdot (u_{AN} - u_{CN}) + i_B \cdot (u_{BN} + u_{CN}) \\ &= i_A \cdot u_{AC} + i_B \cdot u_{BC}. \end{aligned}$$

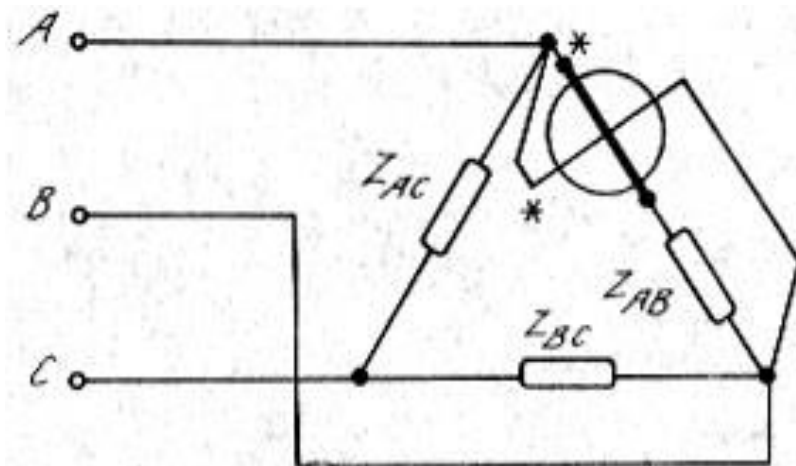
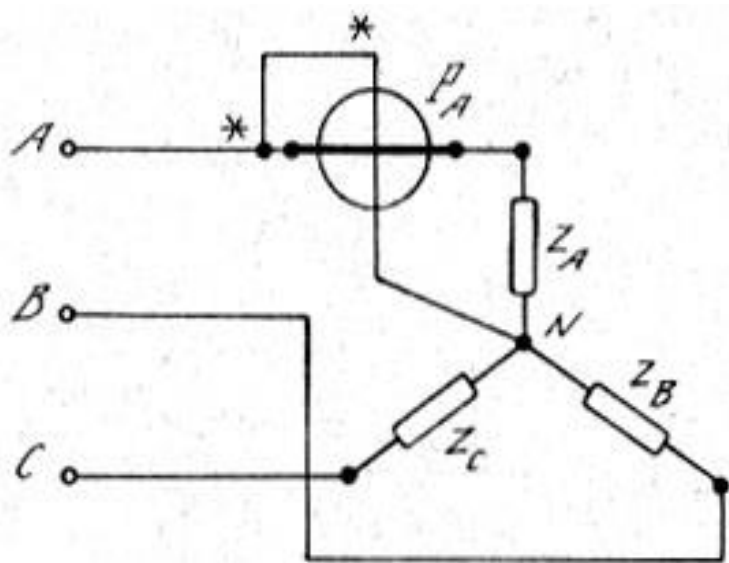


Đo công suất mạch ba pha



■ Đo công suất bằng một watmet

Nếu như mạch 3 pha có phụ tải hình sao đối xứng hoặc mắc tam giác đối xứng : chỉ cần đo công suất ở một pha của phụ tải sau đó nhân 3 ta nhận được công suất tổng



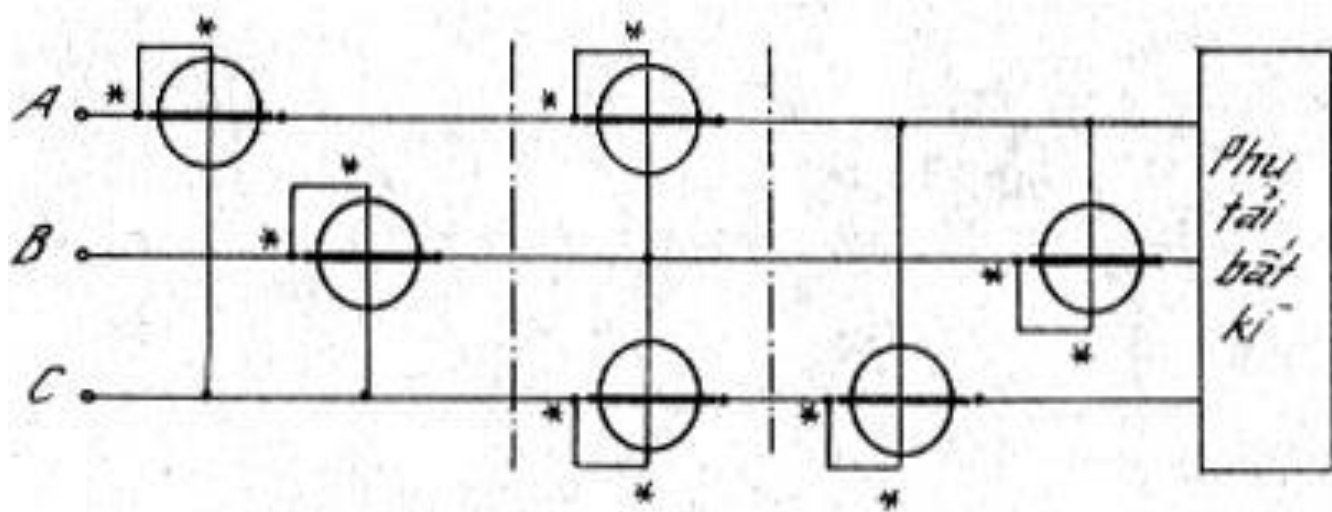
Đo công suất mạch ba pha



■ Đo công suất bằng hai watmet

$$P_{\Sigma} = u_{AC}i_A + u_{BC}i_B ; P_{\Sigma} = u_{AB}i_A + u_{CB}i_C ; P_{\Sigma} = u_{BA}i_B + u_{CA}i_C .$$

Không phụ thuộc vào phụ tải (đối xứng hay không đối xứng, tam giác hay hình sao không có dây trung tính) đều có thể đo công suất tổng bằng hai watmet theo một trong 3 cách mắc như sau:



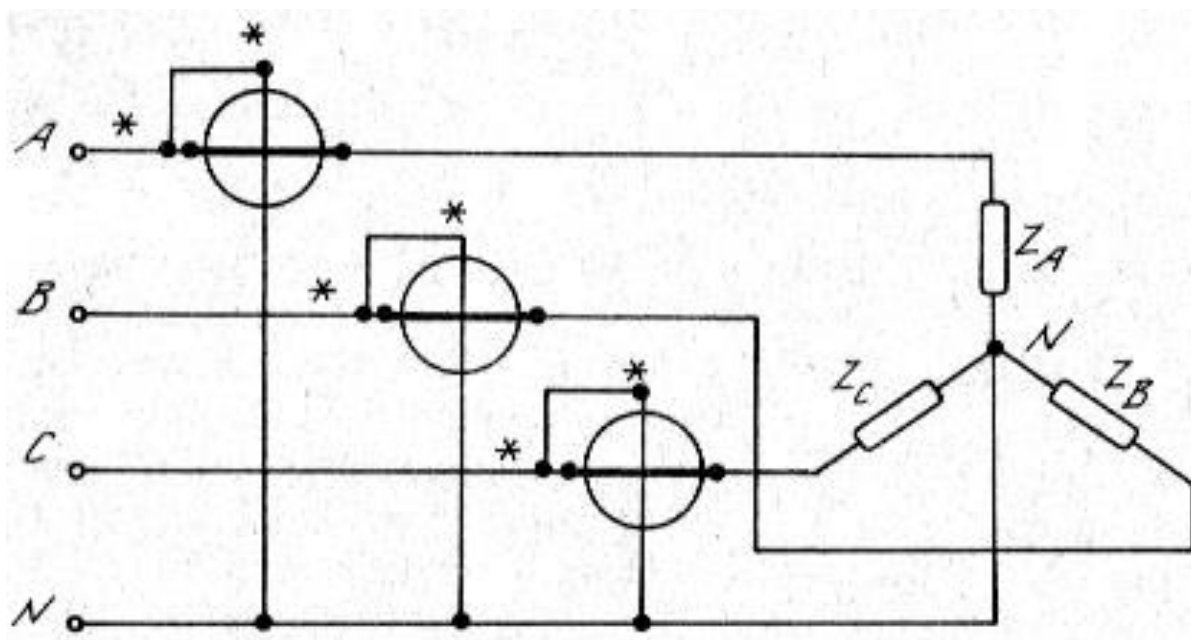
Đo công suất mạch ba pha



■ Đo công suất bằng ba watmet:

Trong trường hợp mạch 3 pha có tải hình sao có dây trung tính: nghĩa là mạch 3 pha 4 dây phụ tải không đối xứng. Để đo được công suất tổng ta phải sử dụng 3 watmet, công suất tổng bằng tổng công suất của cả 3 watmet

$$P_{\Sigma} = P_A + P_B + P_C$$



10.4 Đo năng lượng trong mạch 3 pha



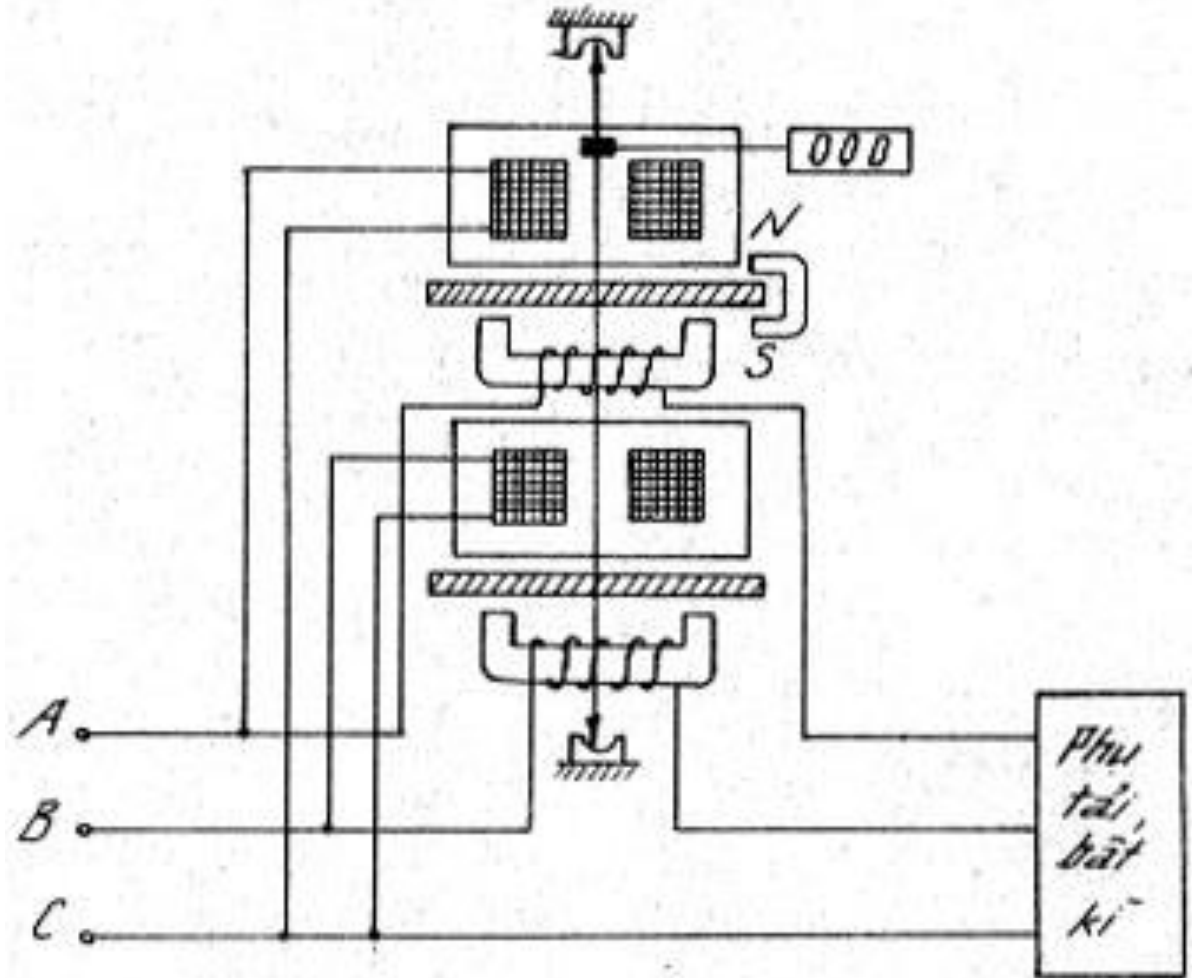
Cũng giống như trường hợp đo công suất, đo năng lượng trong mạch 3 pha ta cũng sử dụng phương pháp 1 công tơ, 2 công tơ, hay 3 công tơ một pha:

- Trường hợp sử dụng phương pháp 1 công tơ khi mà phụ tải hoàn toàn đối xứng: năng lượng tổng bằng 3 lần năng lượng của một pha.
- Trường hợp sử dụng phương pháp 2 công tơ khi phụ tải bất kỳ, và mạch chỉ có 3 dây: năng lượng tổng bằng tổng năng lượng của hai công tơ.
- Trường hợp sử dụng phương pháp 3 công tơ khi mạch có 4 dây (nghĩa là tải hình sao có dây trung tính) và đặc tính của phụ tải có thể đối xứng hay không đối xứng: năng lượng tổng bằng tổng năng lượng của ba công tơ.

10.4 Đo năng lượng trong mạch 3 pha



- Tuy nhiên trong thực tế người ta sử dụng công tơ 3 pha. Công tơ 3 pha có hai loại:
 - Loại 2 phần tử (dựa trên phương pháp 2 công tơ)
 - Loại 3 phần tử (dựa trên phương pháp 3 công tơ)

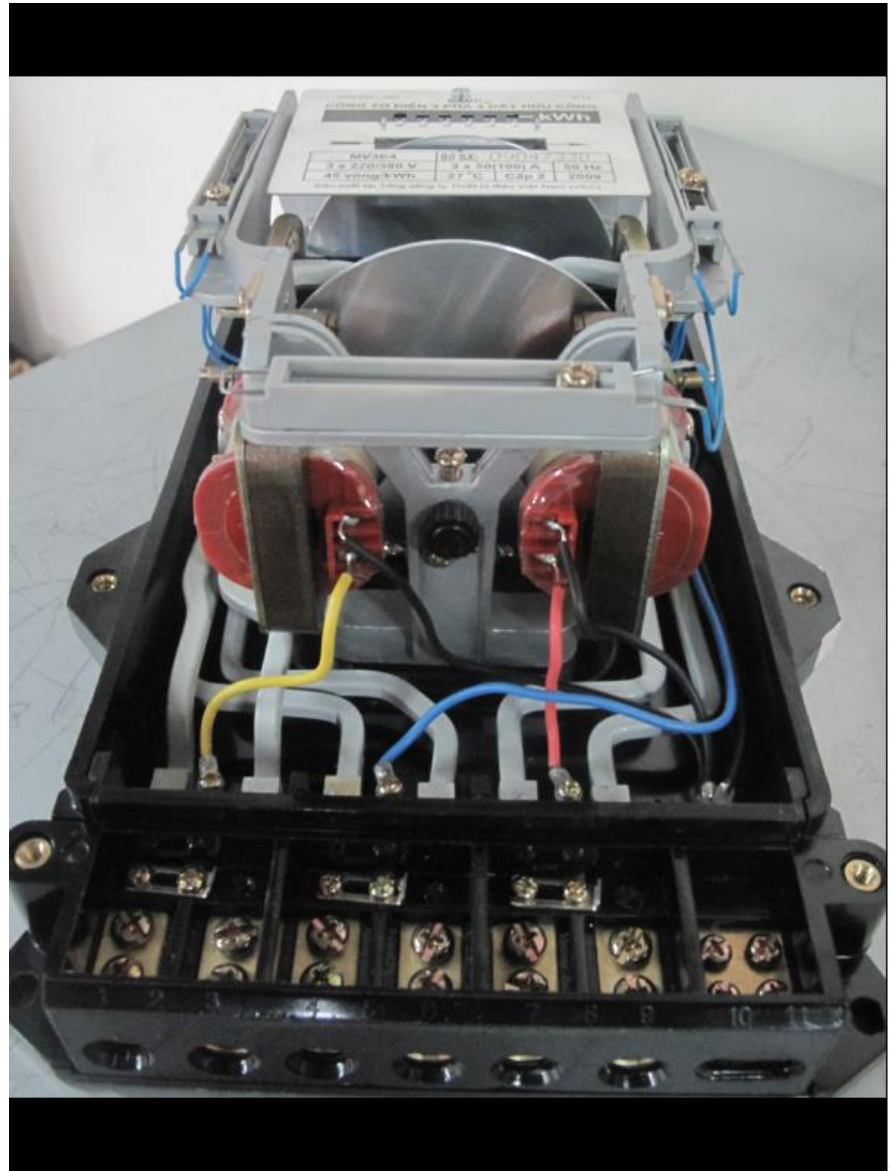


Sơ đồ cấu tạo của một công tơ 2 phần tử

10.4 Đo năng lượng trong mạch 3 pha



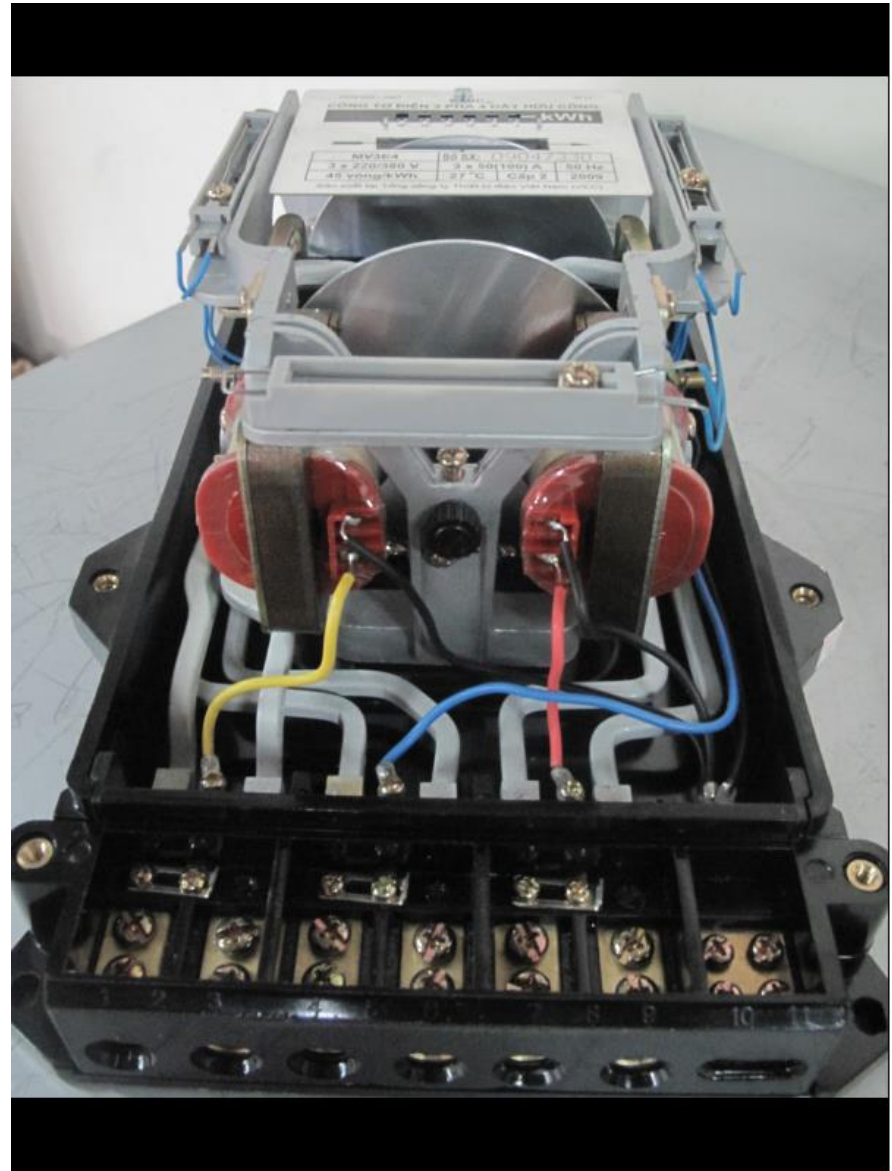
- Phần động gồm 2 đĩa nhôm được gắn vào cùng một trục dựa vào trụ có thể quay được. Mỗi đĩa nhôm đều nằm trong từ trường của cuộn áp và cuộn dòng của pha tương ứng (phần tĩnh). Cuộn áp được mắc song song với phụ tải (có một pha chung), cuộn dòng của các pha được mắc nối tiếp với phụ tải.



10.4 Đo năng lượng trong mạch 3 pha



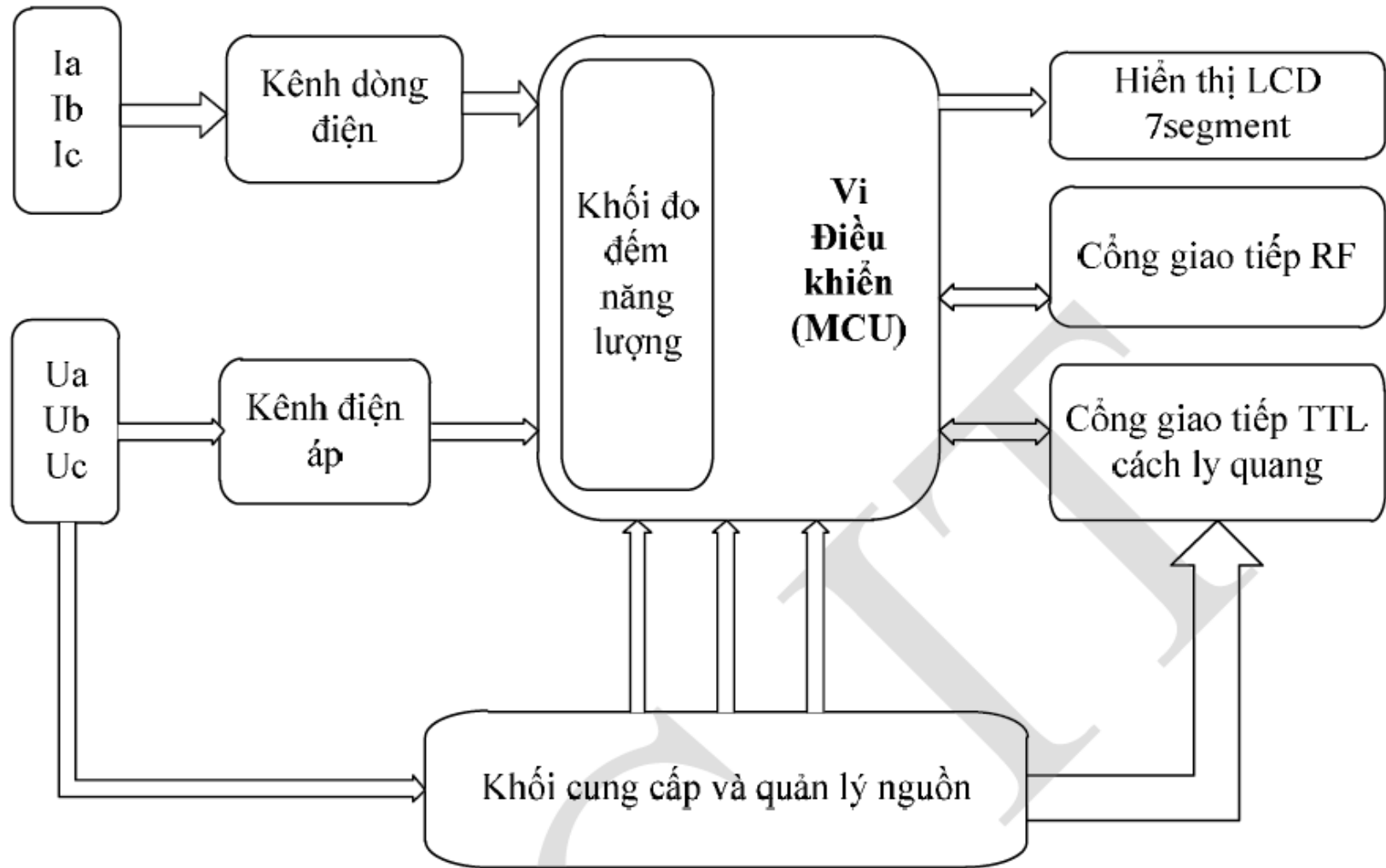
- Nam châm vĩnh cửu được đặt vào một trong hai đĩa nhôm. Như vậy mômen quay tạo ra sẽ bằng tổng của hai mômen quay do hai phần tử sinh ra và năng lượng đo được chính là tổng của mạch 3 pha.



10.4 Đo năng lượng trong mạch 3 pha



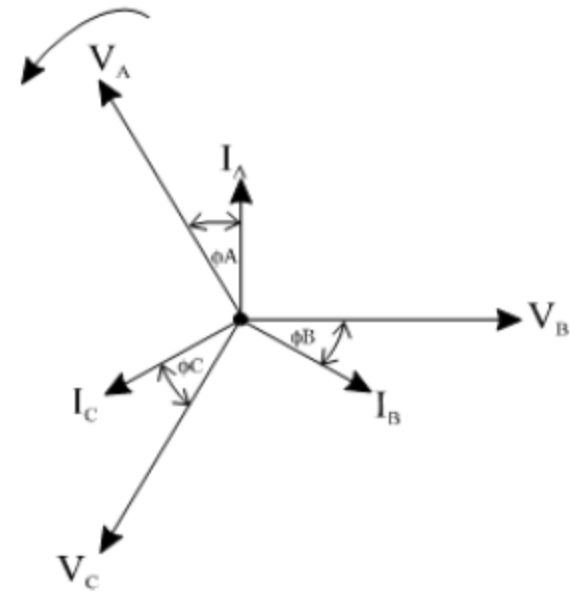
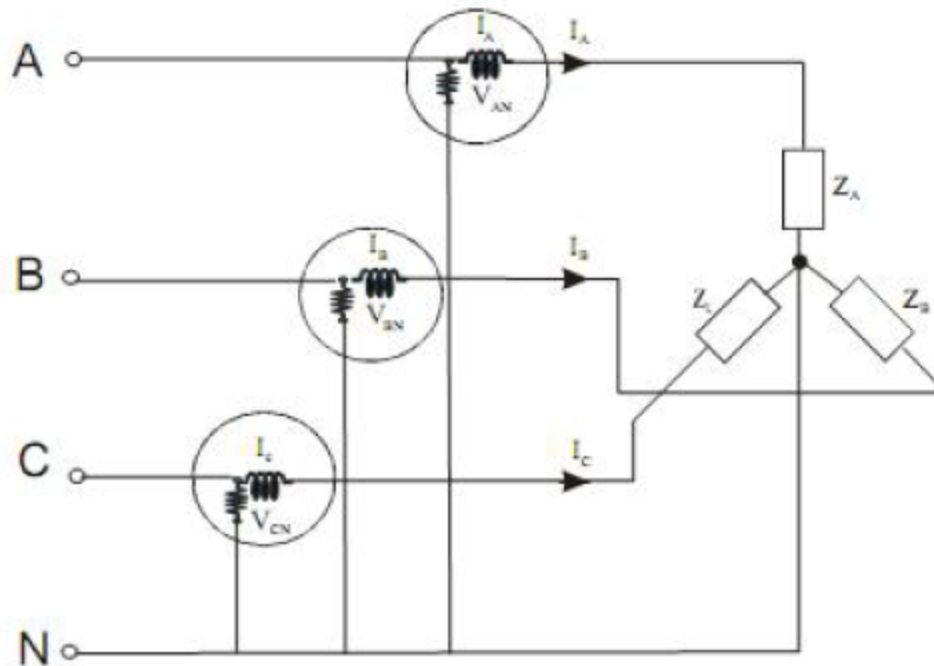
■ Công tơ điện tử ba pha



10.4 Đo năng lượng trong mạch 3 pha



■ Công tơ điện tử ba pha

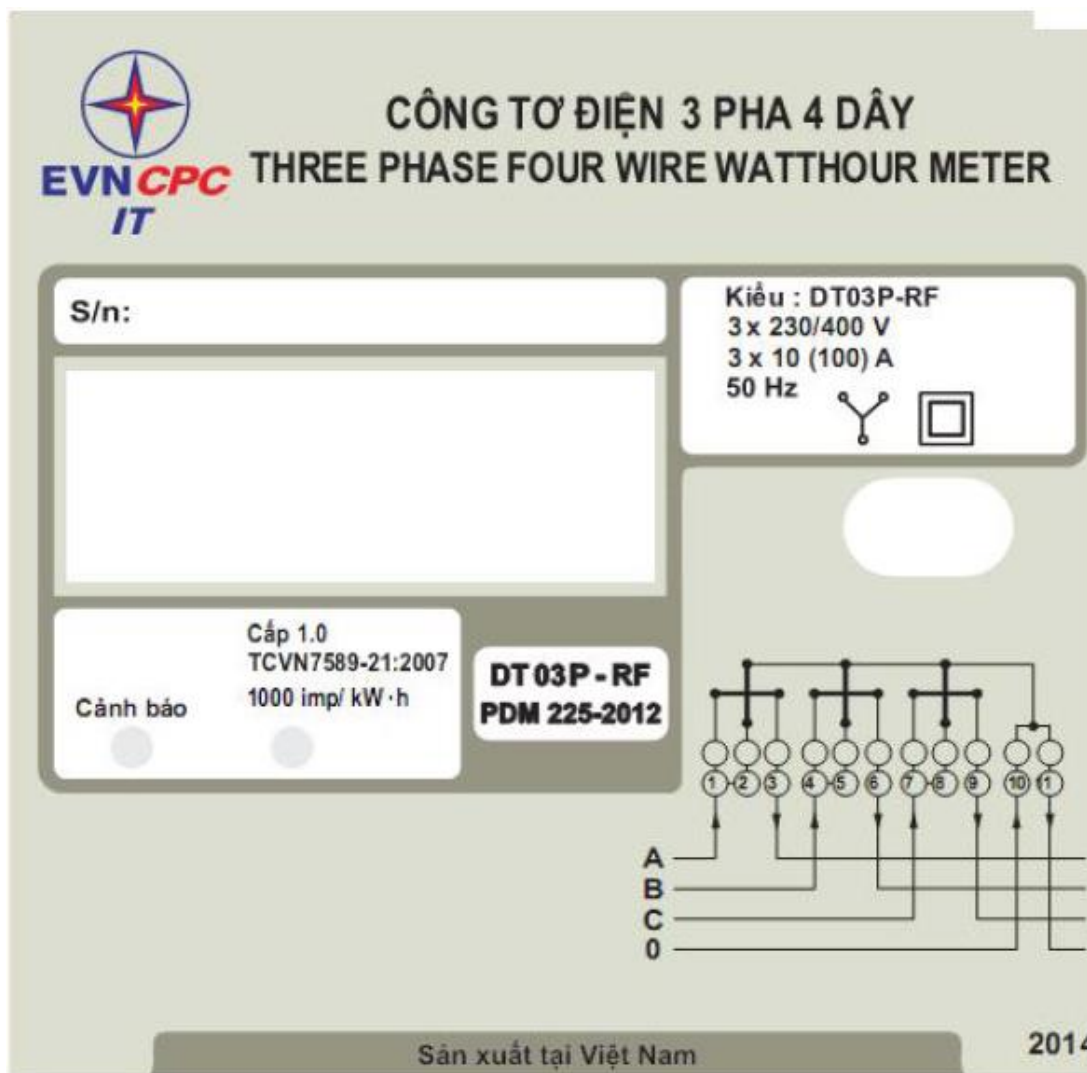


$$E_P(kWh) = \int_{T1}^{T2} (V_A I_A \cos \Phi_A + V_B I_B \cos \Phi_B + V_C I_C \cos \Phi_C) dt$$

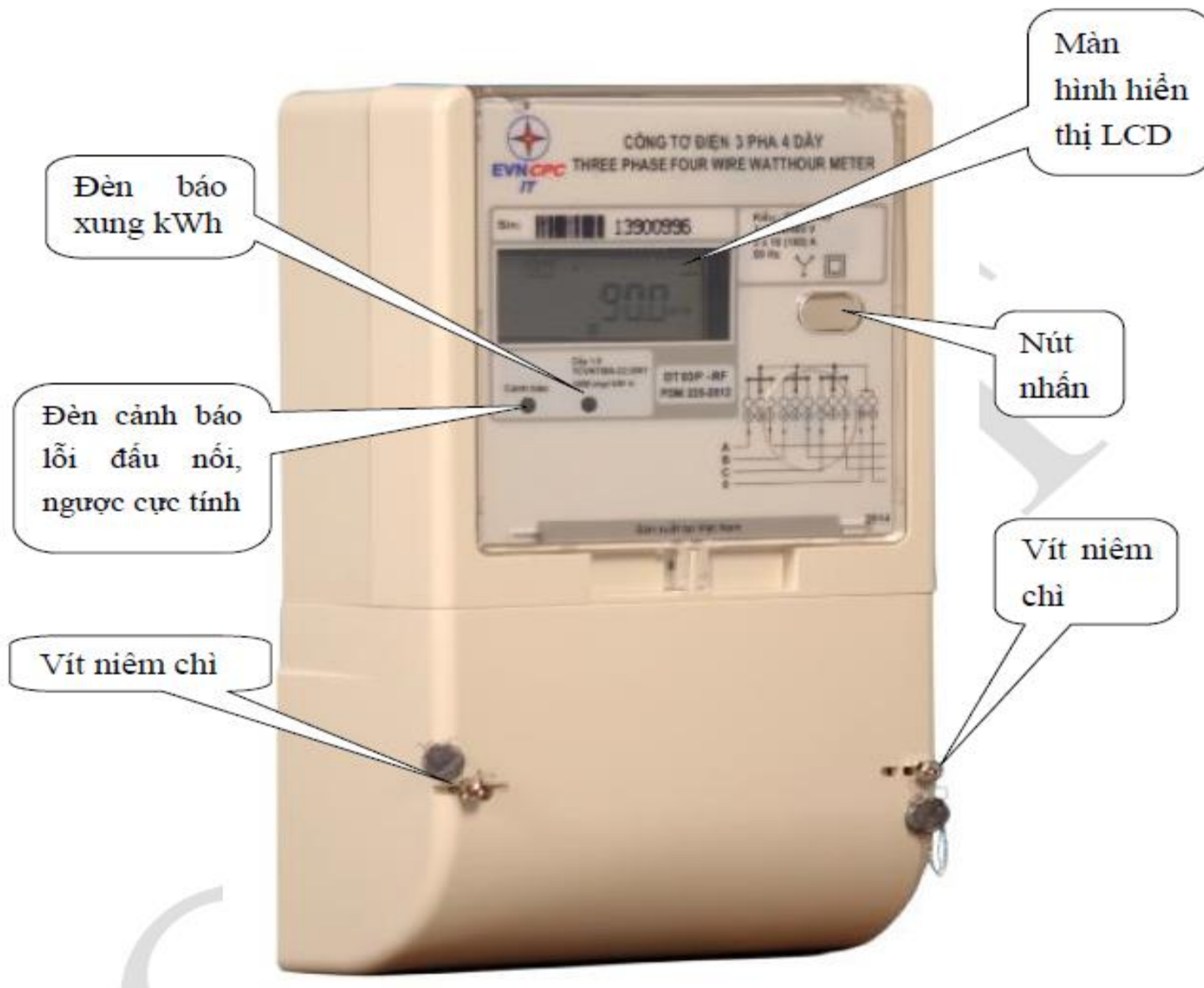
10.4 Đo năng lượng trong mạch 3 pha



■ Công tơ điện tử ba pha



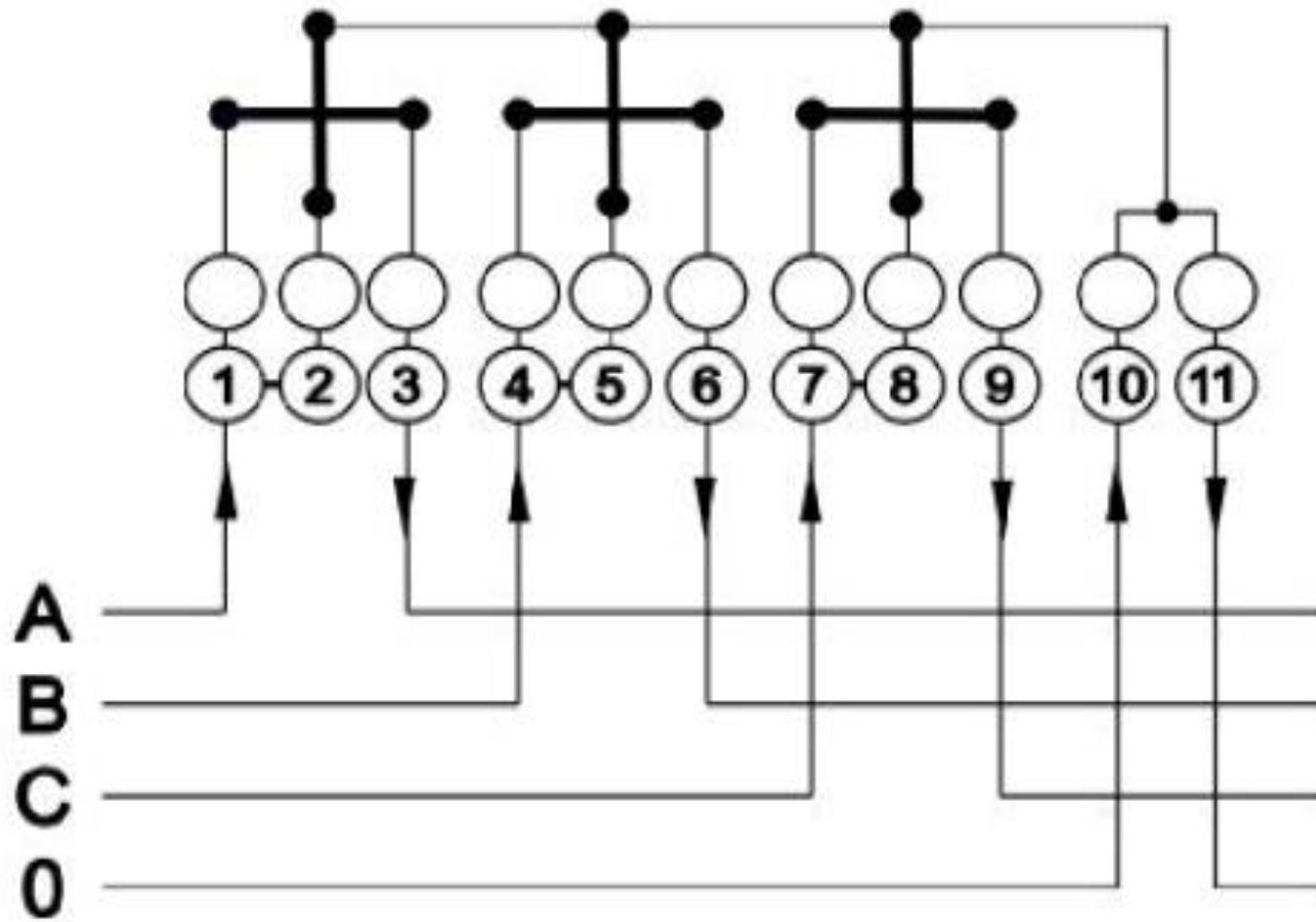
10.4 Đo năng lượng trong mạch 3 pha



10.4 Đo năng lượng trong mạch 3 pha



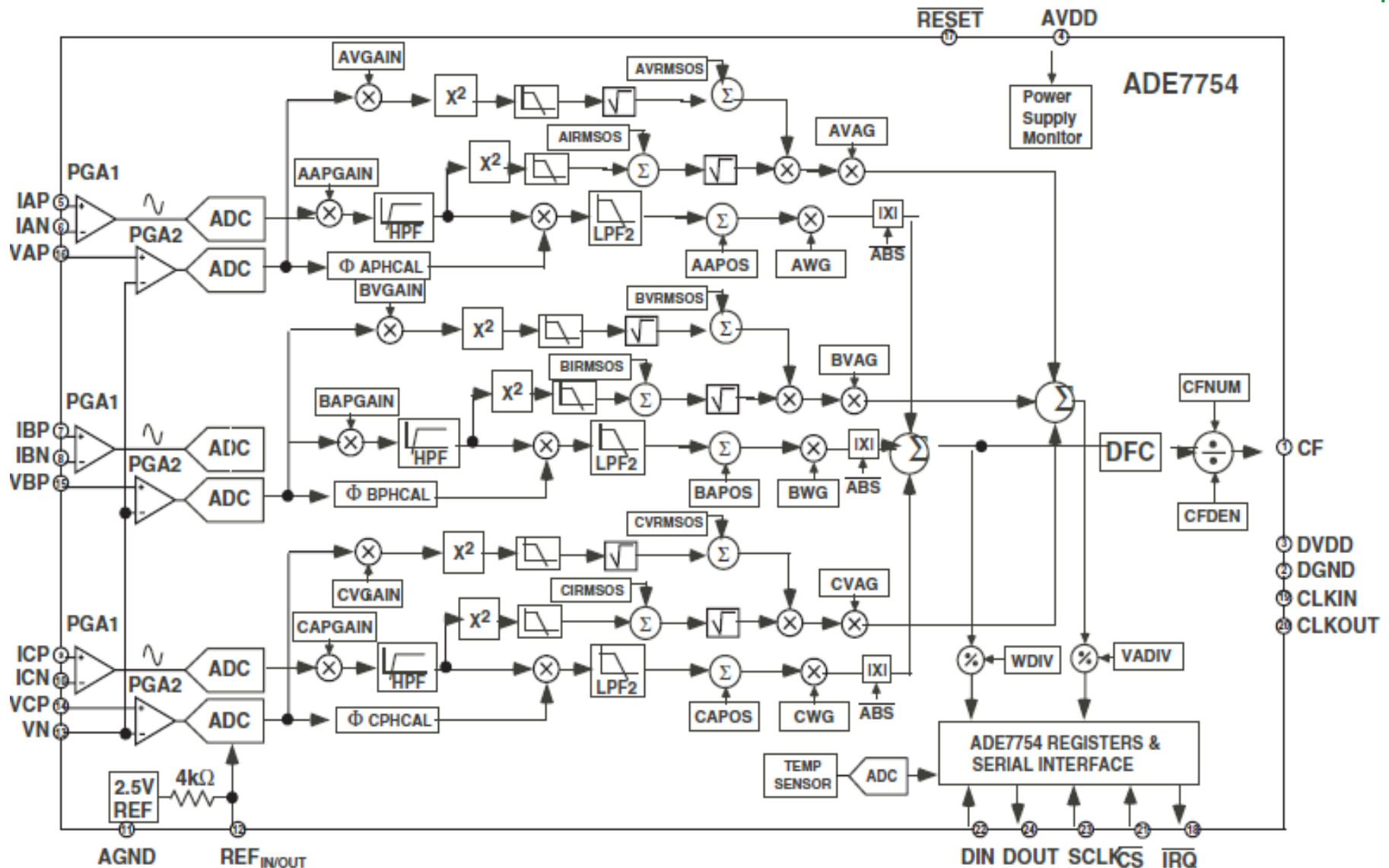
■ Sơ đồ đấu nối dây



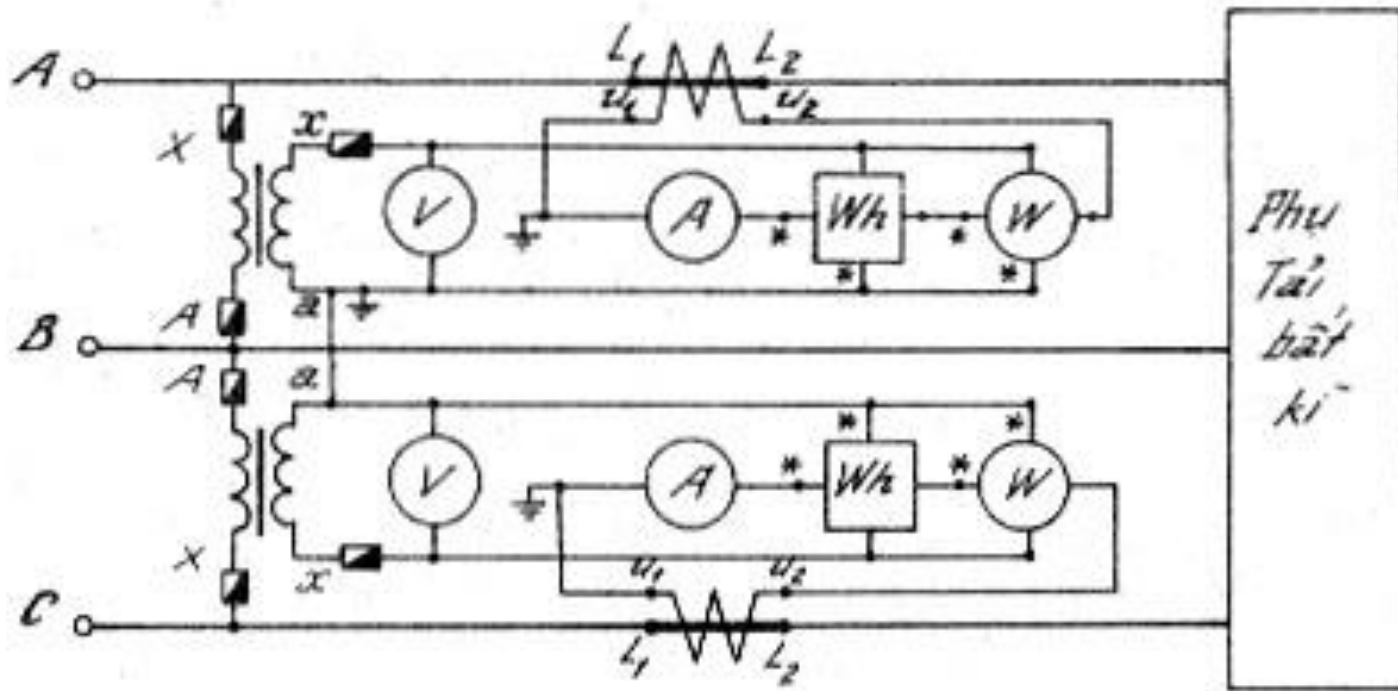
IC Biến đổi vạn năng 3 pha của Analog Devices

- Analog device đưa ra thị trường các bộ biến đổi vạn năng 3 pha AD7752 ADE7754 và ADE7758.
- Các bộ biến đổi này cho phép thu thập các số liệu sau: Điện áp hiệu dụng 3 pha U_a, U_b, U_c ; dòng điện hiệu dụng 3 pha I_a, I_b, I_c ; công suất tác dụng 3 pha $P_{3\text{ pha}}$; công suất phản kháng $Q_{3\text{ pha}}$; công suất biểu kiến S ; năng lượng tác dụng E_a ; năng lượng phản kháng E_r ; tần số f ; $\cos\varphi$.
- Như vậy là với bộ các IC biến đổi của Analog device cho phép ứng dụng để đo tất cả các đại lượng điện trong công nghiệp với độ chính xác theo yêu cầu của công nghệ phát điện truyền tải và sử dụng điện năng.
- Các công tơ 3 pha nhiều chức năng hiện nay đều được xây dựng trên cơ sở các IC này.

IC Biến đổi vận năng 3 pha của Analog Devices



Đo CS, năng lượng trong mạch 3 pha cao áp



- Thông thường kết quả đo phụ thuộc vào sai số của dụng cụ đo và của biến áp và biến dòng đo lường mà chủ yếu là sai số góc.
- Kết quả đo công suất tổng bằng tổng công suất (và năng lượng) của từng dụng cụ đo nhân với hệ số biến áp và biến dòng

Chương 11: Đo thông số của mạch điện



- Thông số của mạch điện bao gồm điện trở R , điện cảm L , điện dung C , góc tổn hao của tụ điện và hệ số phẩm chất của cuộn dây.
- Có 2 phương pháp đo thông số của mạch là đo trực tiếp và đo gián tiếp.
 - ❖ + Đo gián tiếp là sử dụng ampe kế và vôn kế đo dòng và áp để từ các phương trình và định luật suy ra thông số cần đo.
 - ❖ + Đo trực tiếp là dùng các thiết bị xác định trực tiếp thông số cần đo như Ohmmet, Henrimet, Faramet

Chương 11: Đo thông số của mạch điện



Các quan hệ trong mạch điện

■ Trong mạch điện một chiều

❖ Điện trở $R = \frac{U}{I}$

❖ Điện cảm và điện dung không có tác dụng

■ Trong mạch điện xoay chiều

❖ Điện áp trên điện cảm: $U_L = -L \frac{di}{dt}$

❖ Điện áp trên điện dung $U_C = \frac{1}{C} \int i dt$

$$U = RI + \frac{1}{C} \int i dt - L \frac{di}{dt}$$

Chương 11: Đo thông số của mạch điện



- Trong mạch điện tín hiệu hình sin, ta có:

- ❖ Điện áp trên điện cảm: $U_L = L\omega I = X_L I$

- ❖ Điện áp trên điện dung: $U_C = \frac{1}{\omega C} I = X_C I$

- Trong mạch điện xoay chiều hình sin có R, L, C, quan hệ giữa dòng điện và điện áp được viết theo quan hệ véctor

$$U = IR + (X_L - X_C)I$$

- Hay viết theo giá trị hiệu dụng

$$U = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} I = ZI$$

Chương 11: Đo thông số của mạch điện



Các điều kiện kỹ thuật

■ Sai số về thiết bị đo.

$$R = \frac{U}{I}; X_L = \frac{U_L}{I}; X_C = \frac{U_C}{I}$$

❖ U, I được đo bằng volmet và ampemet.

❖ Sai số $\gamma = \gamma_U + \gamma_I$

■ Sai số phương pháp

❖ Để đảm bảo sai số yêu cầu sai số phương pháp phải nhỏ hơn rất nhiều so với sai số của thiết bị đo.

❖ Đối với các thiết bị đo U và I phải có các điều kiện sau

❖ $R_A \ll R_{đo}$: điện trở thiết bị đo dòng điện; $R_A < R_{đo} \cdot \gamma_{yc}$

❖ $R_V \gg R_{đo}$: điện trở thiết bị đo điện áp. $R_V > R_{đo} / \gamma_{yc}$

Chương 11: Đo thông số của mạch điện



■ Sai số do yếu tố ảnh hưởng.

- ❖ Điện trở, điện cảm, điện dung thường chịu ảnh hưởng của môi trường. Ví dụ:
 - Điện trở của dây dẫn chịu ảnh hưởng của nhiệt độ.
 - Điện cảm chịu ảnh hưởng của từ trường bên ngoài.
 - Điện dung thay đổi theo nhiệt độ và độ ẩm.
- ❖ Vì thế, khi đo thông số của mạch điện phải chú ý đến sai số gây ra do các yếu tố ảnh hưởng nói trên.
- ❖ Ngoài ra, nhiều khi người ta lại sử dụng các yếu tố ảnh hưởng đến thông số của mạch điện để đo các đại lượng ảnh hưởng đến các thông số ấy. Ví dụ:
 - Đo nhiệt độ bằng nhiệt điện trở,
 - Đo độ ẩm bằng cảm biến điện dung

11.1. Đo điện trở



- Đo điện trở gián tiếp
 - ❖ Đo bằng phương pháp $U I$
 - ❖ Đo điện trở bằng phương pháp so sánh với điện trở mẫu
- Đo điện trở trực tiếp
 - ❖ Đo điện trở trực tiếp bằng Ohmmet
- Đo điện trở cách điện của vật liệu (đo điện trở rất lớn)
 - ❖ Meghomet tương tự
 - ❖ Meghomet chỉ số
- Phương pháp đo điện trở rất nhỏ (điện trở 4 đầu)

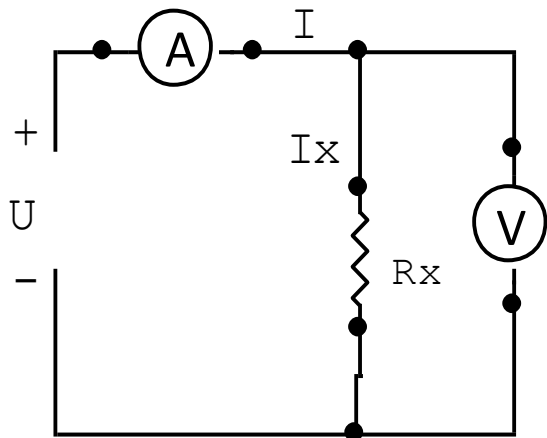
Đo điện trở gián tiếp



Sử dụng Ampe kế và Vôn kế

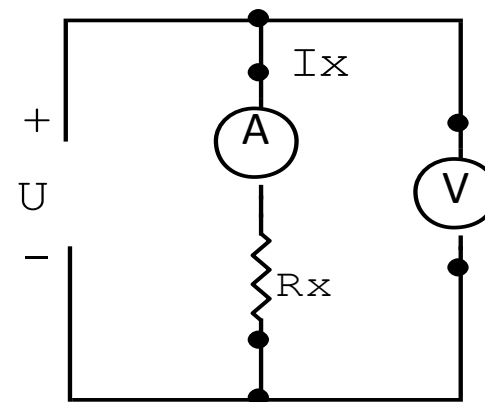
- Dựa vào định luật Ohm ta xác định được
- Có thể mắc theo một trong hai sơ đồ sau:

$$R = \frac{U}{I}$$



$$R'_x = \frac{U_v}{I_x} = \frac{U_v}{I_A - I_v} = \frac{U_v}{I_A - \frac{U_v}{R_v}}$$

Hình a



$$R'_x = \frac{U_v - U_A}{I_A} = \frac{U_v - I_A \cdot R_A}{I_A}$$

Hình b

Đo điện trở gián tiếp



- Hình a: Ta thấy phép đo đạt giá trị chính xác cao khi R_V càng lớn càng tốt ($R_V \gg R_x$).
 - ❖ Đảm bảo sai số yêu cầu $R_V > R_{đo} / \gamma_{yc} \Rightarrow R_{đo} < R_V \cdot \gamma_{yc}$
 - ❖ Sơ đồ này được dùng để đo điện trở có giá trị nhỏ.

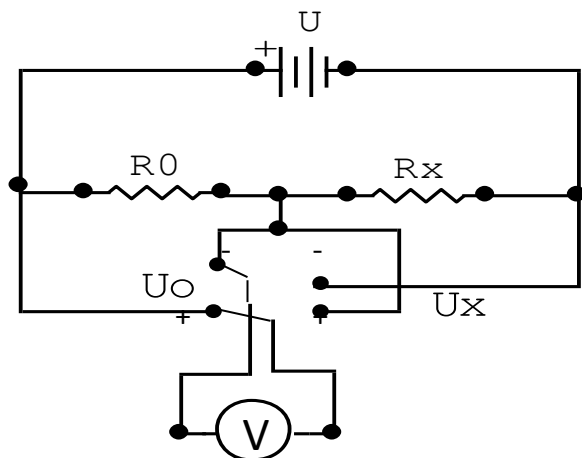
- Hình b: Rõ ràng để R_x tiến tới giá trị của R_A thì R_A càng nhỏ càng tốt ($R_A \ll R_x$).
 - ❖ Đảm bảo sai số yêu cầu $R_A < R_{đo} \cdot \gamma_{yc} \Rightarrow R_{đo} > R_A / \gamma_{yc}$
 - ❖ Sơ đồ b thường dùng để đo điện trở R_x lớn

Đo điện trở gián tiếp



Đo điện trở bằng phương pháp so sánh với điện trở mẫu

So sánh hai điện trở nối tiếp

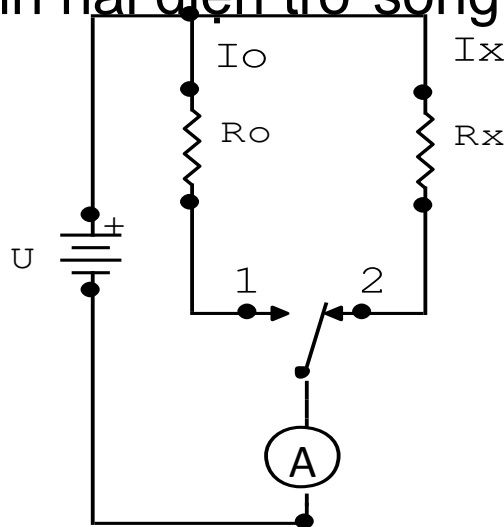


$$\frac{U_0}{R_0} = \frac{U_x}{R_x} \Rightarrow R_x = \frac{U_x}{U_0} \cdot R_0$$

Thích hợp cho đo điện trở nhỏ

$$R_V > R_x \cdot \frac{1}{\gamma}; R_V > R_0 \cdot \frac{1}{\gamma}$$

So sánh hai điện trở song song



$$I_0 \cdot R_0 = I_x \cdot R_x \Rightarrow R_x = \frac{I_0}{I_x} \cdot R_0$$

Thích hợp cho đo điện trở rất lớn

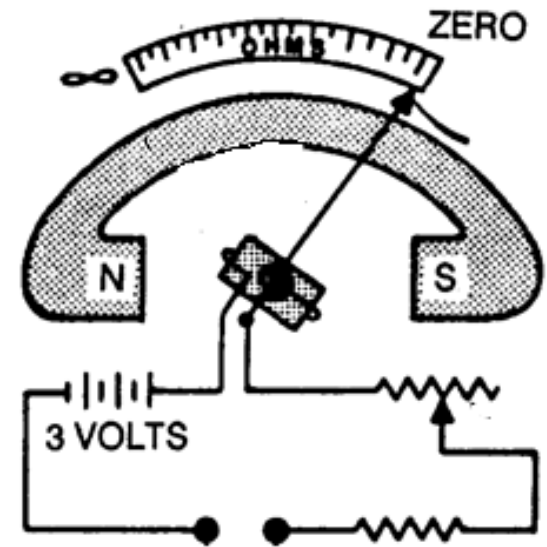
$$R_A < R_x \cdot \gamma; R_A < R_0 \cdot \gamma$$

Các phương pháp đo điện trở (Đo trực tiếp)



Đo điện trở trực tiếp bằng Ohmmet

- Ohmmet là dụng cụ đo có cơ cấu chỉ thị từ điện với nguồn cung cấp là pin và các điện trở chuẩn
- Dựa vào định luật Ohm ta có $R=U/I$, nếu giữ U không đổi thì dòng điện I qua mạch đo sẽ thay đổi khi điện trở thay đổi (tức là kim sẽ lệch những góc khác nhau khi giá trị của điện trở thay đổi).
- Có hai loại Ohmmet là
 - ❖ Ohmmet nối tiếp
 - ❖ Ohmmet song song.

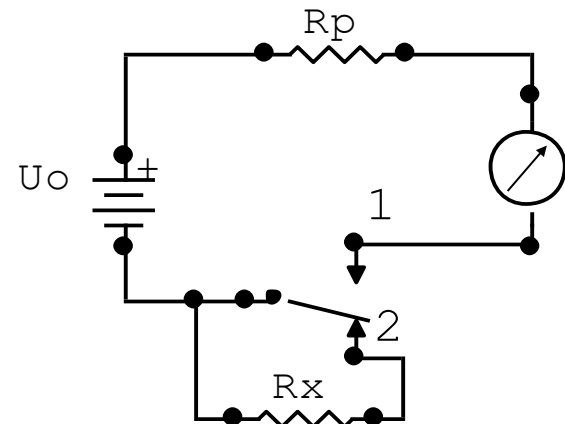


Ohmmet nối tiếp



- Đây là Ohmmet trong đó điện trở cần đo mắc nối tiếp với cơ cấu chỉ thị.
- Ohmmet loại này thường để đo giá trị điện trở R_x cỡ từ Ohm trở lên.
- R_p là điện trở phụ đảm bảo khi $R_x = 0$ dòng điện qua cơ cấu đo là lớn nhất (hết thang chia độ) và để bảo vệ cơ cấu chỉ thị.
- Điện trở trong của Ohmmet được xác định là

$$R_{\Omega} = R_{ct} + R_p = \frac{U_o}{I_{ct \max}}$$



$$R_x = 0 \quad I_{ct \max} = \frac{U_o}{R_{ct} + R_p}$$

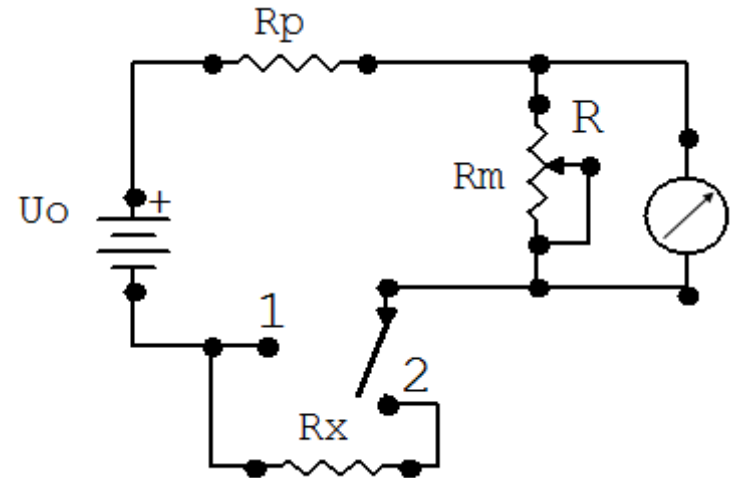
$$R_x \neq 0 \quad I_{ct} = \frac{U_o}{R_{ct} + R_p + R_x}$$

$$R_x = \infty \quad I_{ct} = 0$$

Ohmmet nối tiếp



- Ngoài ra số chỉ của Ohmmet còn phụ thuộc vào nguồn pin cung cấp bên trong. Khi U_0 giảm thì sai số khá lớn. Để điều chỉnh sai số này (hay còn gọi là điều chỉnh zero) người ta mắc thêm chiết áp R_m như hình bên:
- Cách chỉnh zero: mỗi lần sử dụng Ohmmet ta ngắn mạch đầu vào (cho $R_x = 0$ bằng cách chập hai đầu que đo với nhau), vặn núm điều chỉnh của R_m để kim chỉ zero trên thang đo.
- Bằng cách làm như trên ta sẽ có kết quả đo chính xác hơn dù nguồn pin bị yếu đi.

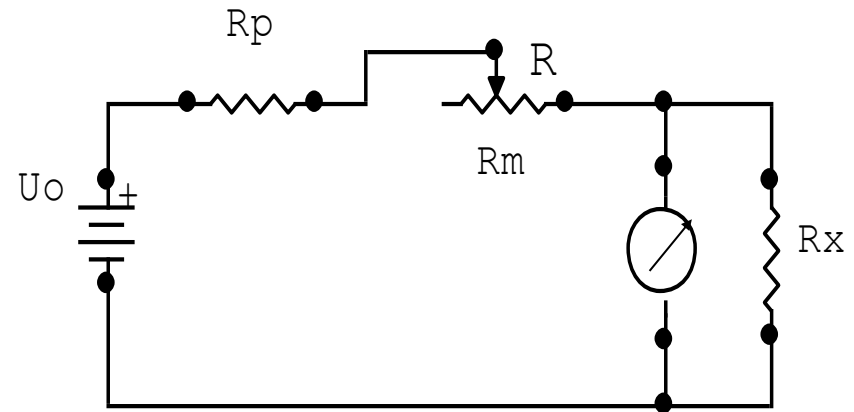


Ohmmet song song



- Loại Ohmmet này có điện trở cần đo R_x mắc song song với cơ cấu chỉ thị như hình dưới đây
- Ohmmet loại này dùng để đo điện trở R khá nhỏ, nó có thang đo thuận chiều vì khi không có R_x (tức là $R_x = \infty$) dòng qua chỉ thị là lớn nhất còn khi $R_x = 0$ dòng qua chỉ thị xấp xỉ 0.

$$I_{ct} = \frac{U_o}{R_{ct} \left(1 + R_p \left(\frac{1}{R_{ct}} + \frac{1}{R_x} \right) \right)}$$



- Như vậy thang đo của Ohmmet song song có dạng thuận

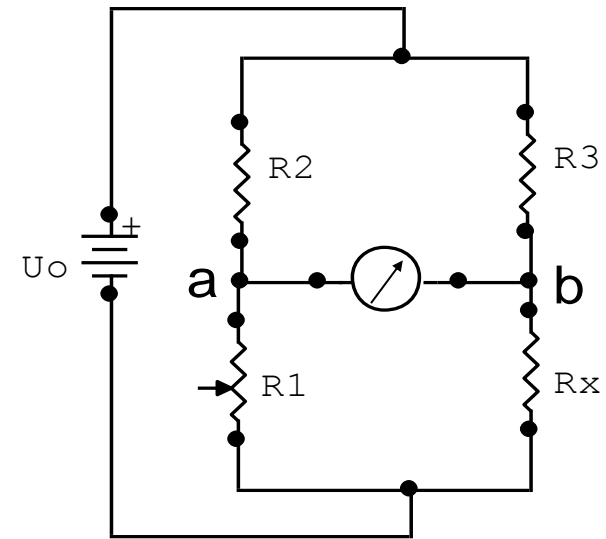
126

Các phương pháp đo điện trở (Cầu đo điện trở)

Cầu Wheatstone (cầu đơn)

- Để xác định điện trở R_x người ta điều chỉnh con chạy của R_1 để chỉ thị chỉ 0, khi đó cầu ở trạng thái cân bằng, tức là $U_{ab} = 0$
- Theo công thức phân áp ta có:

$$V_a = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_o \quad V_a = V_b \Rightarrow \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{R_x}{R_3 + R_x}$$
$$V_b = \frac{R_x}{R_x + R_3} \cdot U_o \quad \Leftrightarrow R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_x$$
$$\Rightarrow R_x = \frac{R_3}{R_2} \cdot R_1$$



Cầu Wheatstone

Đưa điện trở R_x vào cầu và điều chỉnh con chạy của R_1 sao cho kim chỉ thị chỉ 0, khi đó

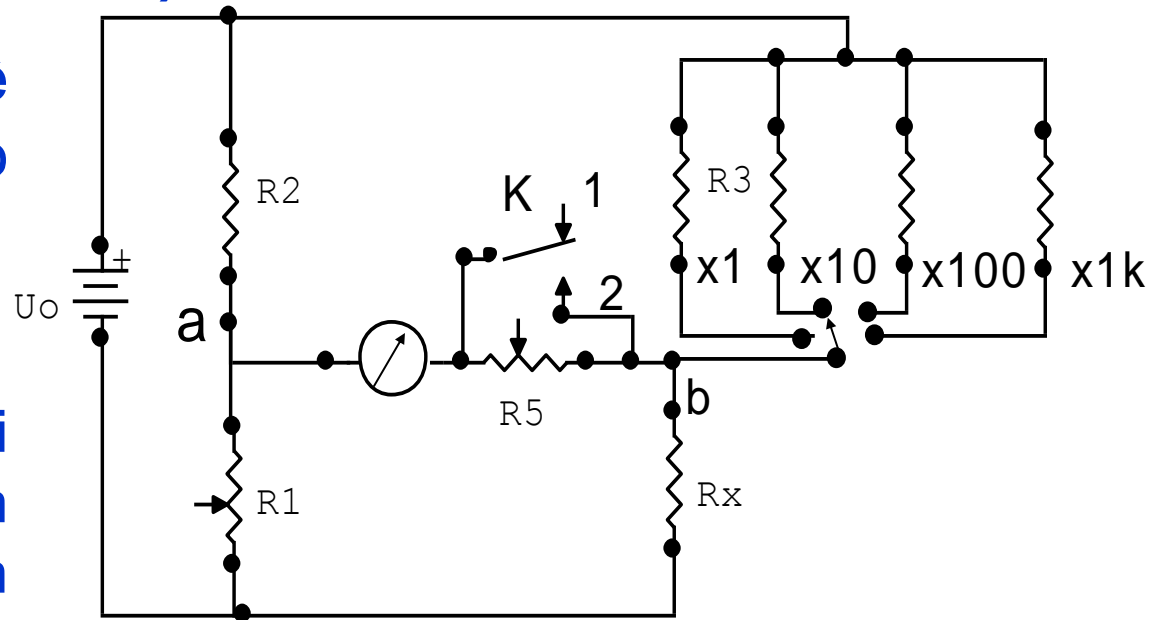
$$R_x = \frac{R_3}{R_2} \cdot R_1$$

Hệ số R_3 / R_2 biết trước nên thang khắc độ có thể khắc trực tiếp giá trị của điện trở cần đo tùy thuộc vào vị trí con chạy của R_1

Các phương pháp đo điện trở (Cầu đo điện trở)

Cầu Wheatstone (cầu đơn)

- Thông thường để mở rộng thang đo người ta
 - ❖ Giữ nguyên R_2
 - ❖ R_3 được thay bởi một dãy các điện trở có giá trị hơn kém nhau 10 lần
- khi đó ta sẽ có hệ số nhân là bội của 10.



Cầu Wheatstone nhiều thang đo

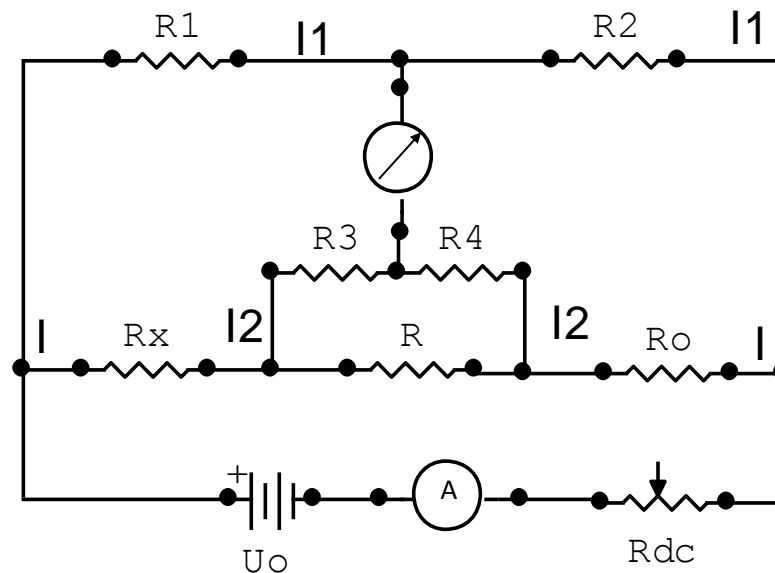
R_5 là chiết áp điều chỉnh độ nhạy của chỉ thị. Cách điều chỉnh

- Cho K ở vị trí 1 để chỉnh thô, bảo vệ quá dòng cho chỉ thị
- Cho K ở vị trí 2 để chỉnh tinh sao cho cầu cân bằng hoàn toàn

Các phương pháp đo điện trở (Cầu đo điện trở)

Cầu Kelvin (cầu kép)

- Đây là dụng cụ dùng để đo điện trở nhỏ và rất nhỏ mà cầu đơn ở trên không đo được hoặc có sai số quá lớn do điện trở dây nối và điện trở tiếp xúc.
- Dưới đây là mạch nguyên lý và sơ đồ thông thường của cầu kép:



Các phương pháp đo điện trở (Cầu đo điện trở)

Cầu Kelvin (cầu kép)

- Khi cầu cân bằng ta có chỉ thị chỉ 0, dòng qua chỉ thị bằng 0 nên dòng qua R_1 , R_2 là dòng I_1 , dòng qua R_3 , R_4 là dòng I_2

Vòng 1

$$I_1 \cdot R_1 = I \cdot R_x + I_2 \cdot R_3$$

$$I \cdot R_x = I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_3$$

$$\Rightarrow I \cdot R_x = R_1 \left(I_1 - I_2 \cdot \frac{R_3}{R_1} \right)$$

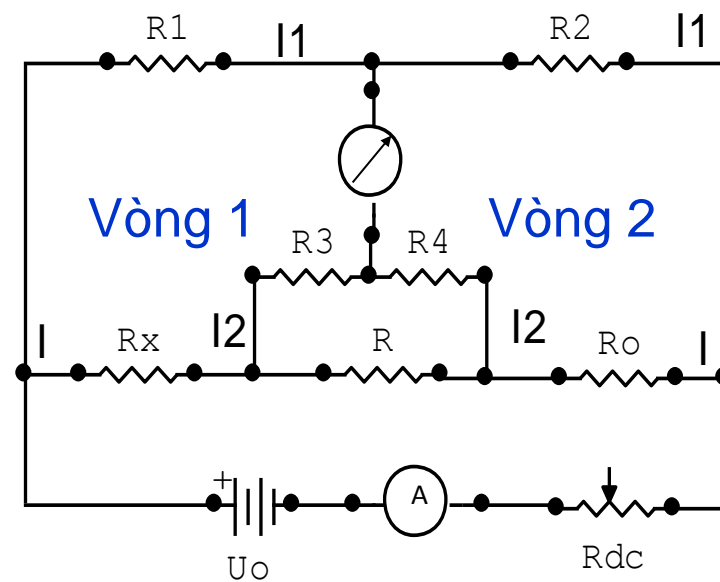
Vòng 2

$$I_1 \cdot R_2 = I \cdot R_o + I_2 \cdot R_4$$

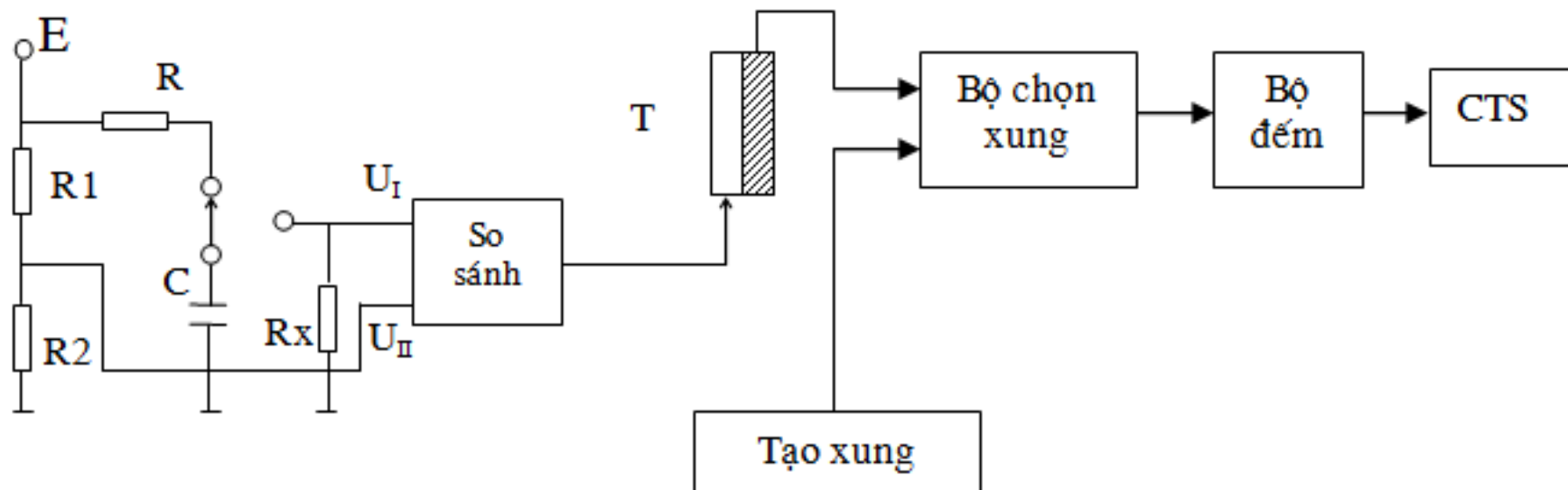
$$I \cdot R_o = I_1 \cdot R_2 - I_2 \cdot R_4$$

$$\Rightarrow I \cdot R_o = R_2 \left(I_1 - I_2 \cdot \frac{R_4}{R_2} \right)$$

$$\Rightarrow \frac{R_x}{R_o} = \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{I_1 - I_2 \cdot \frac{R_3}{R_1}}{I_1 - I_2 \cdot \frac{R_4}{R_2}} \quad \text{Neu } \frac{R_3}{R_1} = \frac{R_4}{R_2} \Rightarrow R_x = R_o \cdot \frac{R_1}{R_2}$$



Đo điện trở chỉ thị số



Đo điện trở chỉ thị số



- Tụ C phóng điện qua điện trở R_X theo phương trình :

$$U_T = E.e^{-t/T}$$

$T = R_X C$ hằng số thời gian của mạch

- Sau khoảng $t=T$, ta có $U_I = E.e^{-1}$
- Trong quá trình chế tạo, chọn R_1 và R_2 sao cho :

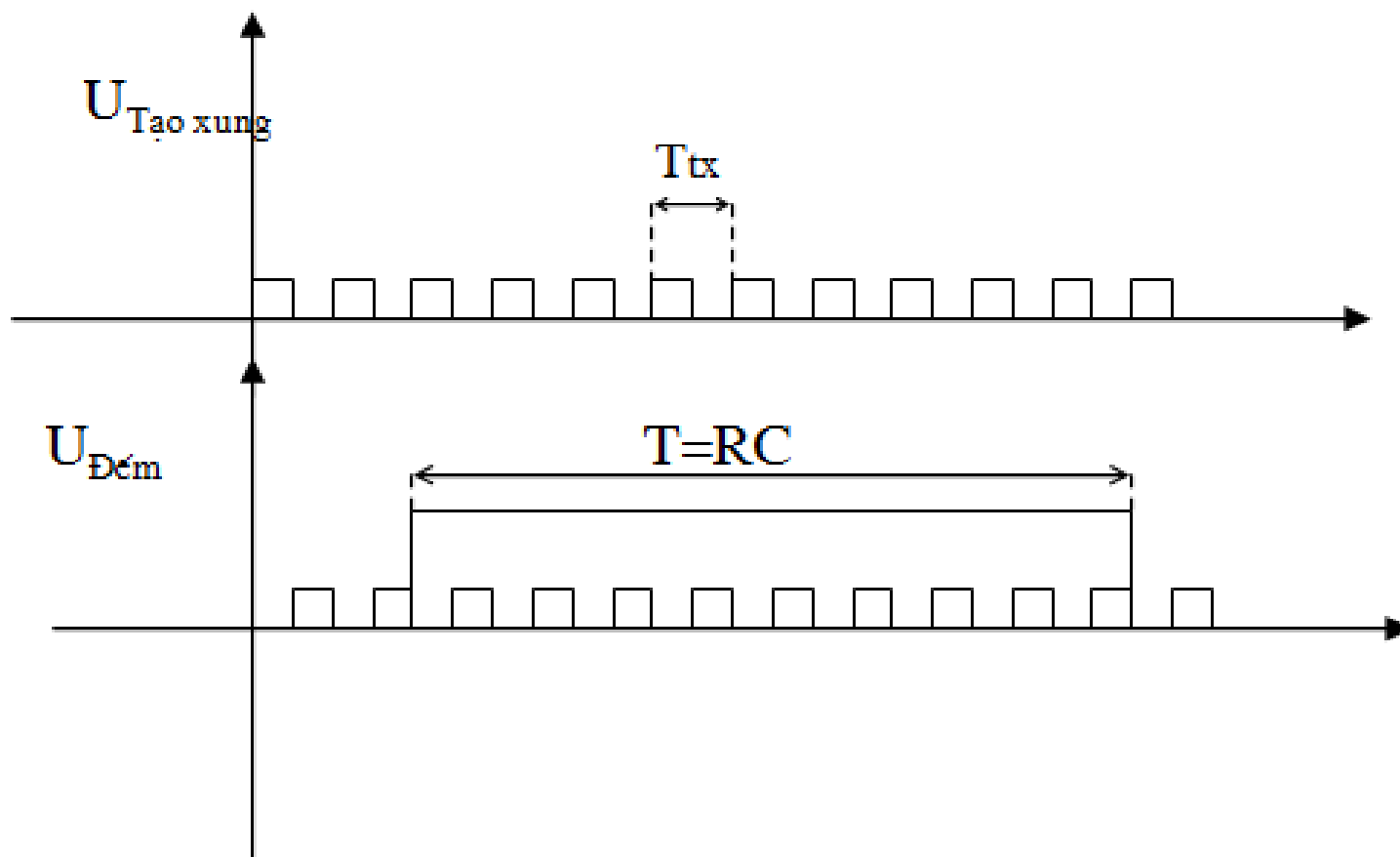
$$U_{II} = E.R_2 / (R_1 + R_2) = E.e^{-1}$$

- Tức là sau khoảng thời gian $t=T=RC$ điện áp đầu vào bộ so sánh là bằng nhau, tức là đầu ra bộ so sánh có tín hiệu, tín hiệu này kích hoạt trigger T làm T chuyển trạng thái '1'-->'0', làm cho mạch chọn xung ngừng không cho xung qua, mạch đếm kết thúc quá trình đếm. Bộ chỉ thị chỉ thị kết quả đo

Đo điện trở chỉ thị số



Ta có biểu đồ thời gian như sau :



Gọi số xung đếm được là m , ta có : $T = R_x C = m \cdot T_{tx} \Rightarrow$

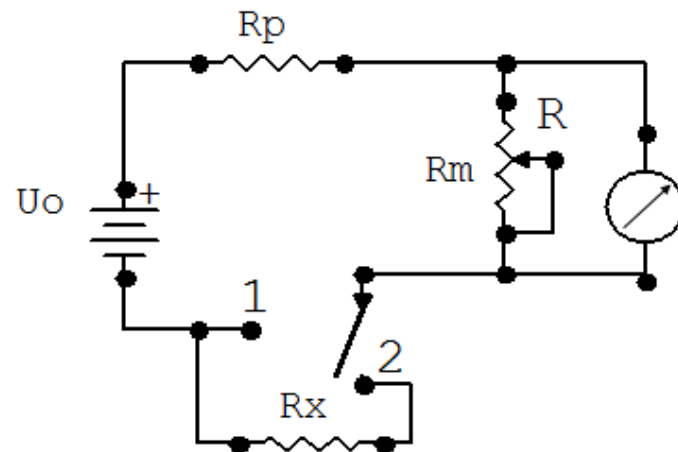
$R_x = (T_{tx} / C) \cdot m = K \cdot m$, trong đó K là hằng số, vì T, C là những giá trị biết trước

Đo điện trở



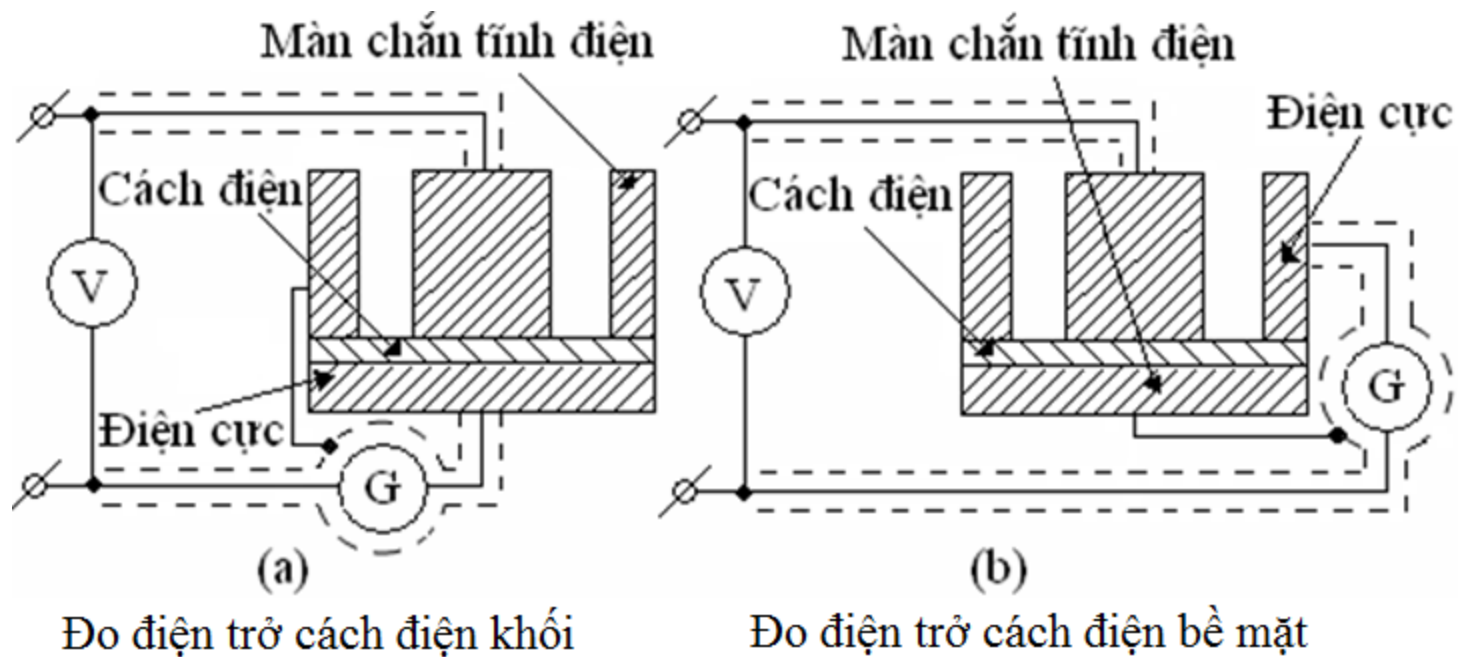
Xác định khoảng đo điện trở của Ommet nối tiếp có các chỉ kỹ thuật sau:

- Điện áp cung cấp $U_0 = 3V$; điện trở phụ nối tiếp $R_p = 30k\Omega$; điện trở điều chỉnh “0” $R_M = 50\Omega$ nối song song với các cơ cấu chỉ thị : $I_{ctmax} = 50\mu A$, giá trị nhỏ nhất cơ cấu đo được là $\varepsilon = 1\mu A$
- Vẽ sơ đồ Ommet, xác định khoảng đo R và tính các R_x tương ứng với các dòng điện sau: $I_{ct} = 1/2 I_{ctmax}$; $I_{ct} = 3/4 I_{ctmax}$



Đo điện trở cách điện của vật liệu (đo điện trở rất lớn)

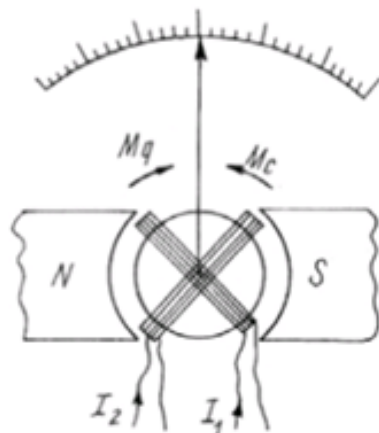
- Điện trở cách điện của vật liệu đo được thông qua đo dòng xuyên qua vật liệu gọi là cách điện khối.
- Điện trở cách điện của vật liệu đo được thông qua đo dòng bò trên bề mặt vật liệu gọi là cách điện mặt.
- Phương pháp đo là phương pháp U, I nhưng khi đo cách điện khối thì phải loại trừ dòng điện bò trên mặt và ngược lại.



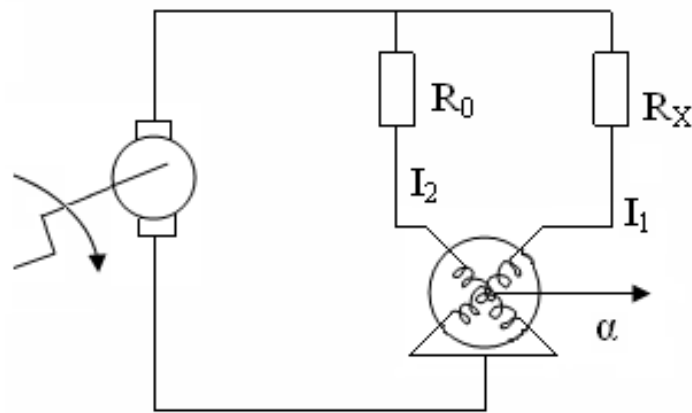
Đo điện trở cách điện của vật liệu (đo điện trở rất lớn)

Meghomet tương tự

- để có nguồn cao áp, trong megohmmeter phải có một máy phát điện một chiều quay tay. Người đo phải quay máy phát với một tốc độ đủ lớn để phát được điện áp đủ cho phép đo.



(a) Logomet từ điện



(b) Sơ đồ megohmmet

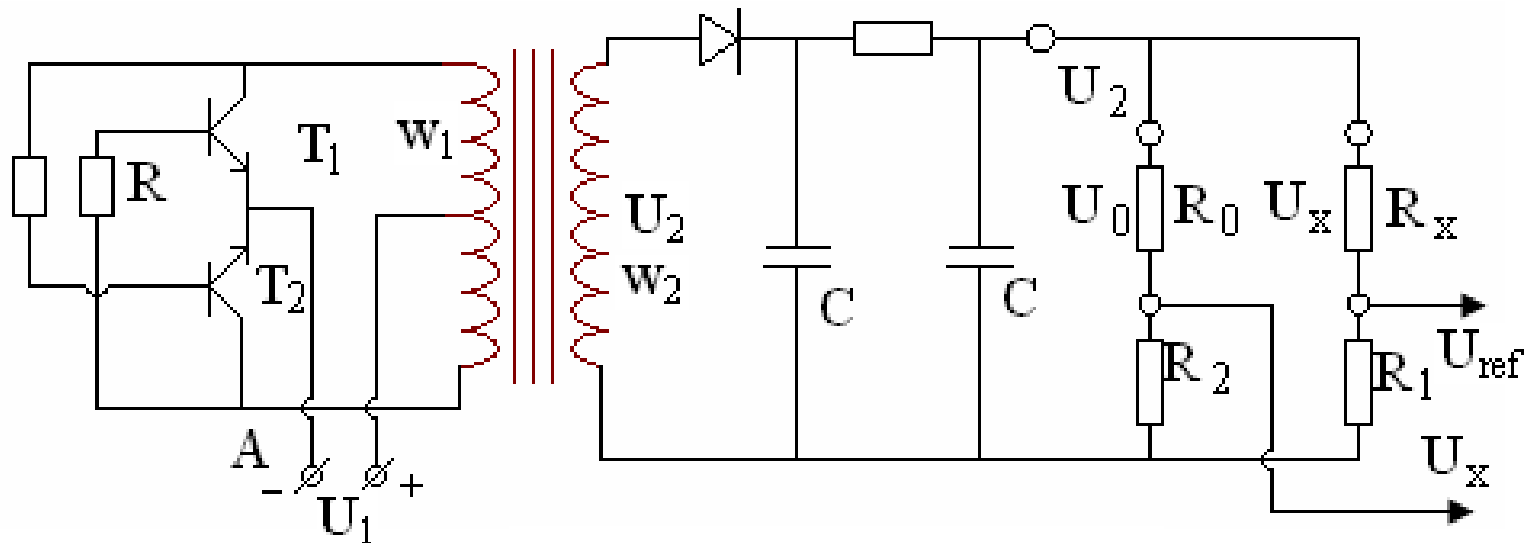
- Góc quay

$$\alpha = f\left(\frac{I_2}{I_1}\right) = f\left(\frac{U}{R_0} : \frac{U}{R_x}\right) = f\left(\frac{R_x}{R_0}\right)$$

Đo điện trở cách điện của vật liệu (đo điện trở rất lớn)

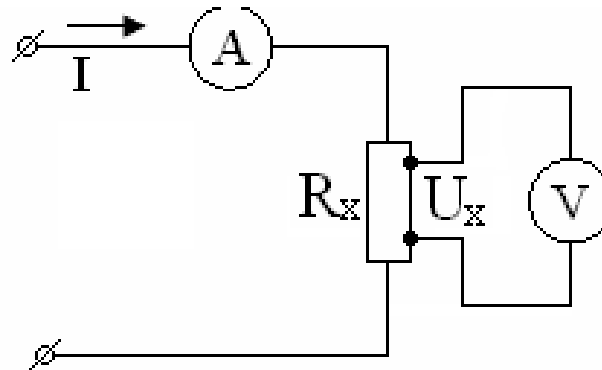
Meghomet chỉ số

- Nguồn cao áp được chế tạo bằng một bộ phát nghẹt (blocking generator). Logomet sử dụng là bộ mã hoá tích phân 2 sườn xung ICL 7106.



Phương pháp đo điện trở rất nhỏ (điện trở 4 đầu)

- Trong thực tế người ta phải đo những điện trở nhỏ như đo điện trở của các cuộn dây của động cơ.
- Nếu dùng phương pháp U, I; $U_V = IR_x + 2IR_{tx}$.
- Để loại trừ ảnh hưởng của điện trở tiếp xúc, ta thực hiện phép đo với sơ đồ điện trở 4 đầu

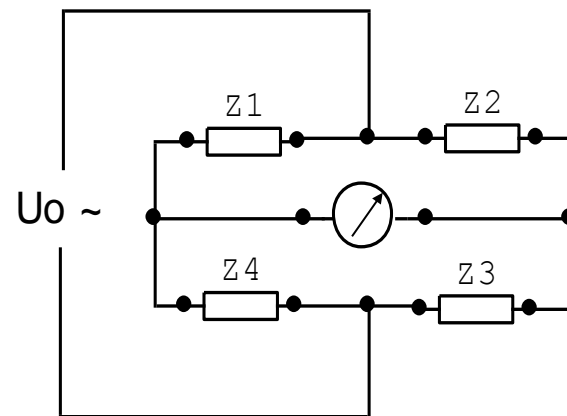


- Tuy nhiên, để có thể đo các điện trở rất nhỏ, I phải đủ lớn (10-100A) và dụng cụ đo áp phải đủ nhạy (cỡ mV).
- Ví dụ: Dòng $I = 10A$, $U_x = 5mV \rightarrow$ Điện trở $R_x = 0.5m\Omega$.

11.2 Cầu dòng xoay chiều (Đo C, L)



- Đây là dụng cụ dựa trên cầu đơn để đo điện cảm, điện dung, góc tổn hao và hệ số phẩm chất Q.
- Nguồn cung cấp là nguồn xoay chiều tần số công nghiệp (50 – 60Hz), âm tần hoặc cao tần từ máy phát tần.
- Chỉ thị zero là dụng cụ xoay chiều như điện kế điện tử, máy hiện sóng ...
- Trong đó Z là tổng trở của các nhánh, $Z = R + jX$ với R là phần thực và X là phần ảo.
- Điều kiện cân bằng của cầu là:
 $Z_1.Z_3 = Z_2.Z_4$
- Điều kiện trên thoả mãn khi các điều kiện cân bằng biên độ và cân bằng pha được thoả mãn.



Mạch cầu dòng xoay chiều

11.2.1 Cầu xoay chiều đo điện dung



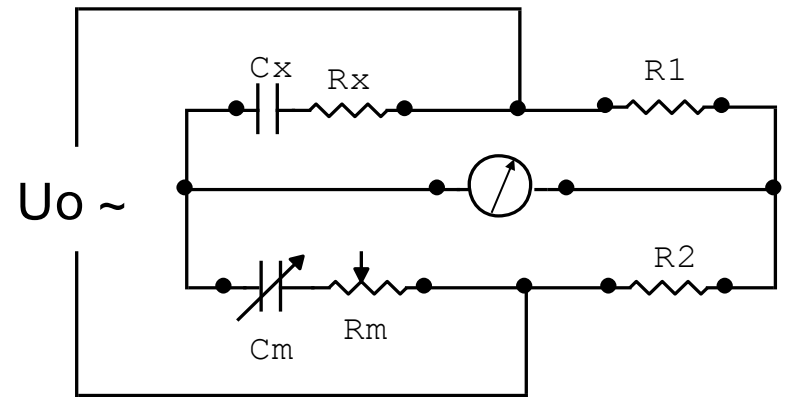
- Tụ điện lý tưởng là tụ không tiêu thụ công suất (dòng điện một chiều không qua tụ) nhưng trong thực tế vẫn có thành phần dòng rò đi qua lớp điện môi vì vậy trong tụ có sự tổn hao công suất. Để đặc trưng cho sự tổn hao này người ta sử dụng thông số góc tổn hao δ
 - ❖ Với tụ có tổn hao nhỏ $\tan \delta = R \cdot \omega \cdot C$
 - ❖ Với tụ có tổn hao lớn $\tan \delta = 1 / (R \cdot \omega \cdot C)$
- Trong đó R , C là hai thành phần đại diện cho phần thuần trở và phần thuần dung của tụ điện.

a. Cầu đo tụ điện tổn hao nhỏ



- Tụ điện có tổn hao nhỏ được biểu diễn bởi một tụ điện lý tưởng mắc nối tiếp với một điện trở. Khi đó người ta mắc cầu như hình bên

- ❖ C_x , R_x là nhánh tụ điện cần đo
- ❖ C_m , R_m là nhánh tụ mẫu điều chỉnh



Cụ thể thì mô hình tổn hao r

Khi cầu cân bằng ta có mối quan hệ: $Z_x \cdot Z_2 = Z_1 \cdot Z_m$

$$Z_x = R_x + \frac{1}{j\omega C_x}$$

$$Z_m = R_m + \frac{1}{j\omega C_m} \Rightarrow$$

$$Z_1 = R_1, \quad Z_2 = R_2$$

$$(R_x + \frac{1}{j\omega C_x}) \cdot R_2 = R_1 (R_m + \frac{1}{j\omega C_m})$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} R_2 \cdot R_x = R_1 \cdot R_m \\ R_2 / C_x = R_1 / C_m \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_m \\ C_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot C_m \end{cases}$$

b. Cầu đo tụ điện tổn hao lớn



- Cầu cân bằng ta có điều kiện:

$$Z_x \cdot Z_2 = Z_1 \cdot Z_m$$

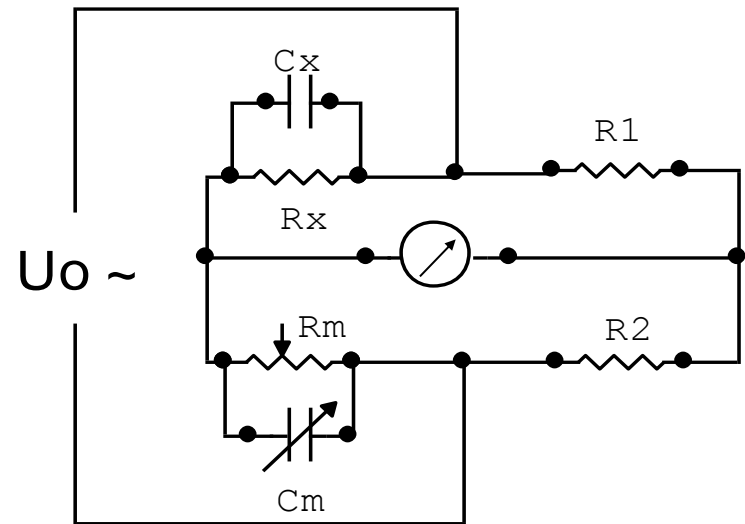
$$Z_x = \frac{R_x \cdot \frac{1}{j\omega C_x}}{R_x + \frac{1}{j\omega C_x}} = \frac{1}{1/R_x + j\omega C_x}$$

$$Z_m = \frac{R_m \cdot \frac{1}{j\omega C_m}}{R_m + \frac{1}{j\omega C_m}} = \frac{1}{1/R_m + j\omega C_m}$$

$$Z_1 = R_1 \quad Z_2 = R_2$$

$$\Rightarrow \frac{R_1}{1/R_m + j\omega C_m} = \frac{R_2}{1/R_x + j\omega C_x}$$

$$\Rightarrow R_1(1/R_x + j\omega C_x) = R_2(1/R_m + j\omega C_m)$$



Cầu đo tụ điện tổn hao lớn

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_m} \\ R_1 \cdot C_x = R_2 \cdot C_m \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_m \\ C_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot C_m \end{cases}$$

11.2.2 Cầu đo điện cảm



- Cuộn cảm lý tưởng là cuộn dây chỉ có thành phần điện kháng là ($X_L = L$) hoặc chỉ thuần khiết là điện cảm L , nhưng trong thực tế các cuộn dây bao giờ cũng có một điện trở nhất định. Điện trở càng lớn phẩm chất của cuộn dây càng kém. Q là thông số đặc trưng cho phẩm chất của cuộn dây, nó được tính bằng:

$$Q = \frac{X_L}{R_L}$$

- Để đo các thông số của cuộn dây người ta thường dùng mạch cầu xoay chiều.

Cầu xoay chiều dùng điện cảm mẫu



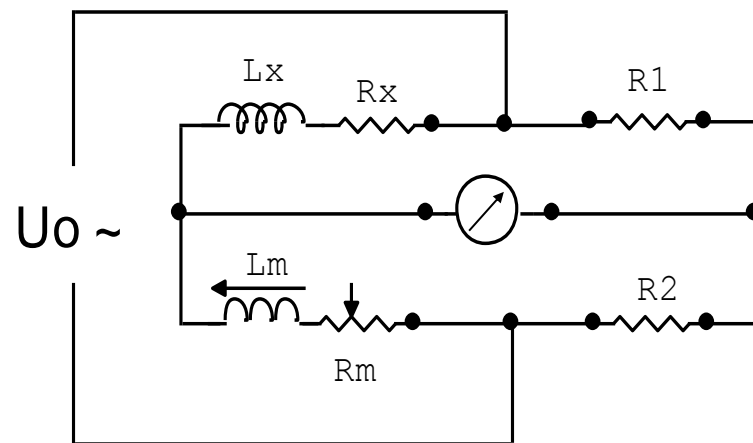
- Khi cầu cân bằng ta có:

$$Z_x \cdot Z_2 = Z_1 \cdot Z_m$$

$$Z_x = R_x + j\omega L_x$$

$$Z_m = R_m + j\omega L_m$$

$$Z_1 = R_1, \quad Z_2 = R_2$$



Cầu xoay chiều dùng điện cảm mẫu

$$\Rightarrow (R_x + j\omega L_x) \cdot R_2 = (R_m + j\omega L_m) \cdot R_1$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} R_x \cdot R_2 = R_m \cdot R_1 \\ L_x \cdot R_2 = L_m \cdot R_1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_m \\ L_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot L_m \end{cases} \Rightarrow Q_x = \frac{\omega \cdot L_x}{R_x} = \frac{\omega \cdot L_m}{R_m}$$

Cầu điện cảm Maxwell



- Khi cầu cân bằng ta có:

$$Z_x \cdot Z_m = Z_1 \cdot Z_2$$

$$Z_x = R_x + j\omega L_x$$

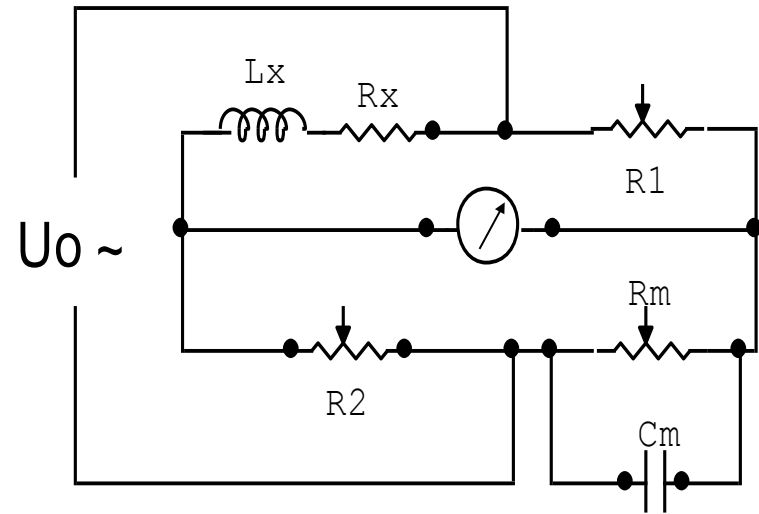
$$Z_m = \frac{1}{1/R_m + j\omega C_m}$$

$$Z_1 = R_1, \quad Z_2 = R_2$$

$$\Rightarrow (R_x + j\omega L_x) \cdot \frac{1}{1/R_m + j\omega C_m} = R_1 \cdot R_2$$

$$R_x + j\omega L_x = R_1 \cdot R_2 \left(\frac{1}{R_m} + j\omega C_m \right)$$

$$Q_x = \frac{\omega \cdot L_x}{R_x} = \omega \cdot C_m \cdot R_m$$



Cầu điện cảm Maxwell

$$\Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_m} \\ L_x = R_1 \cdot R_2 \cdot C_m \end{cases}$$

Cầu điện cảm Hay



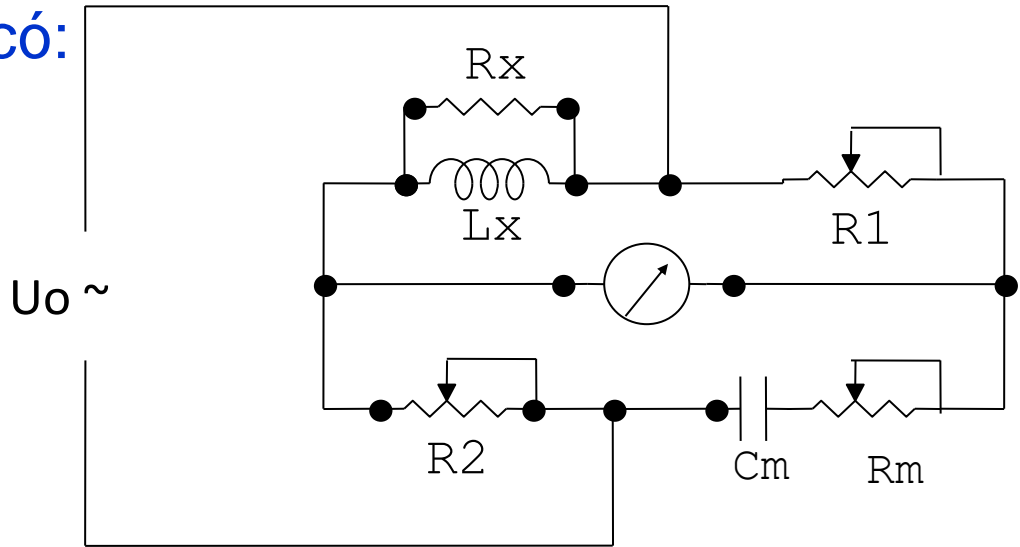
- Khi cầu cân bằng ta có:

$$Z_x \cdot Z_m = Z_1 \cdot Z_2$$

$$Z_x = \frac{R_x \cdot j\omega L_x}{R_x + j\omega L_x}$$

$$Z_m = R_m + \frac{1}{j\omega C_m}$$

$$Z_1 = R_1, \quad Z_2 = R_2$$



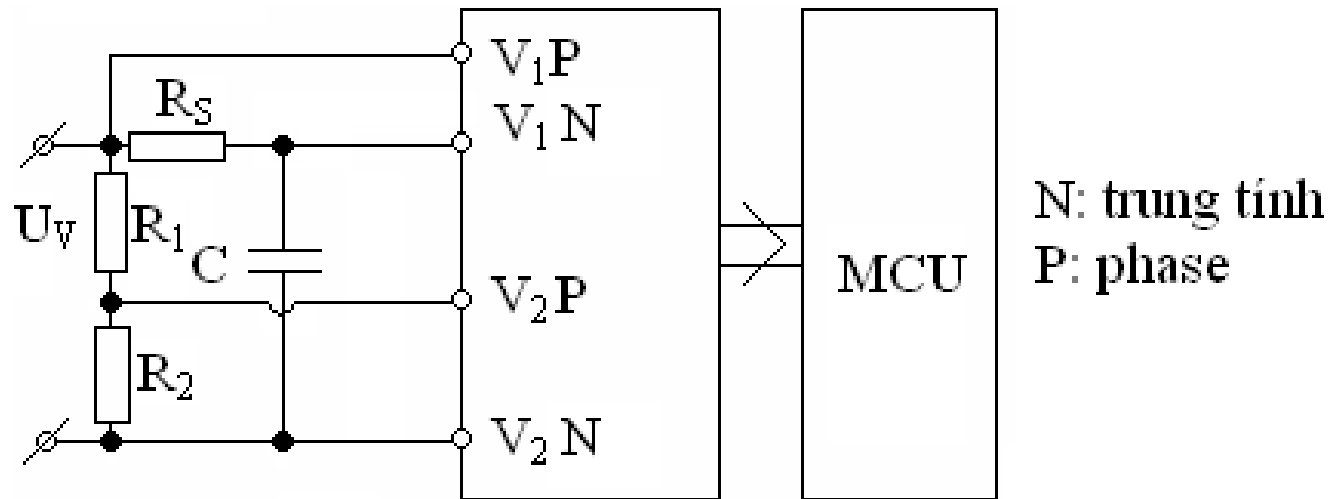
Cầu điện cảm Hay

$$\Rightarrow \frac{R_x \cdot j\omega L_x}{R_x + j\omega L_x} \left(R_m + \frac{1}{j\omega C_m} \right) = R_1 \cdot R_2 \quad \Leftrightarrow \begin{cases} L_x = R_1 \cdot R_2 \cdot C_m \\ R_x = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_m} \end{cases}$$

$$Q_x = \frac{\omega \cdot L_x}{R_x} = \omega \cdot C_m \cdot R_m$$

11.3.Đo điện dung, điện cảm với bộ biến đổi vạn năng

- Sử dụng ADE7753 có thể đo tổn hao của tụ điện cùng với điện dung của tụ điện



- Điện áp được đo bằng đầu V_2 thông qua phân áp.

$$U_2 = U_v \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_c = \frac{U_v}{\sqrt{\left(\frac{1}{\omega C}\right)^2 + R_s^2}}$$



- ADE7753 cho ta U_{rms} , I_{rms} , $p_{tồn hao}$, f .

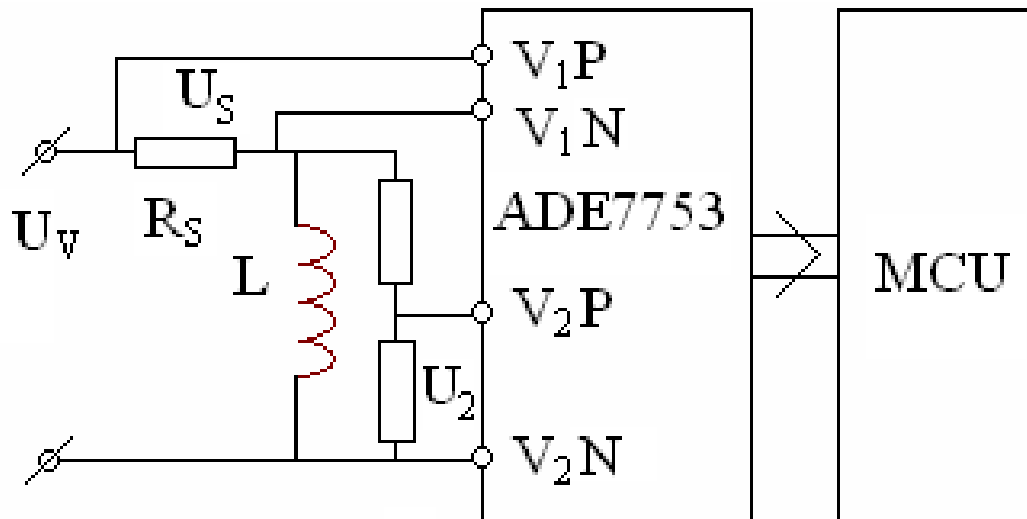
$$C = \frac{1}{2\pi f \sqrt{\left(\frac{U_c}{I_c}\right)^2 - \left(\frac{P}{I^2}\right)^2}}$$

- Các công thức trên được tính trong MCU nối với ADE7753. Các số liệu f , I_c , U_c , P được lấy trong các thanh ghi tương ứng

Đo điện dung, điện cảm với bộ biến đổi vạn năng



- Đầu vào điện áp V_1 và V_2 của ADE7753 có nhiều thang đo và có thể lập trình điều khiển tự động.



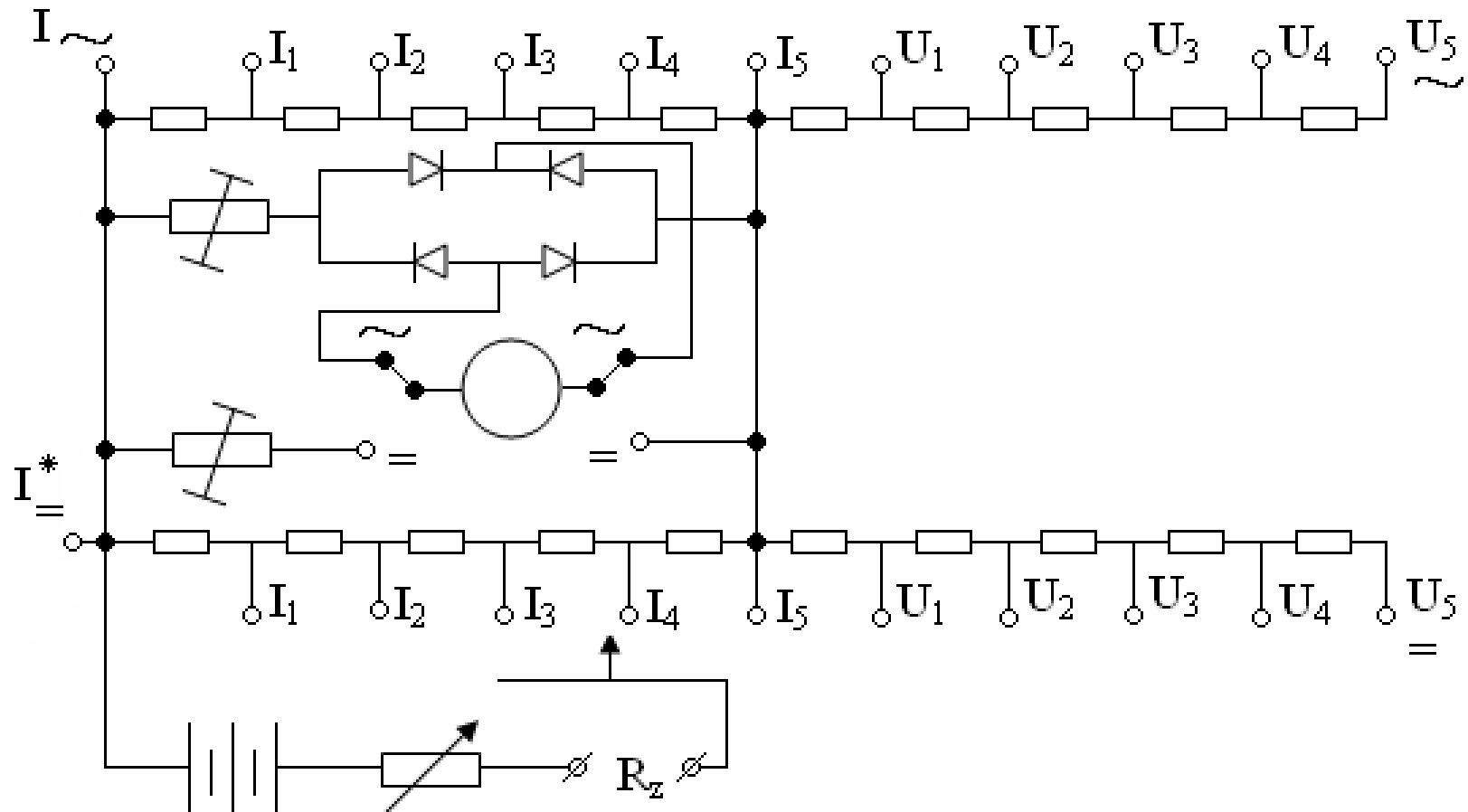
$$L = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{U_{\text{rms}}}{I_{\text{rms}}}\right)^2 - \left(\frac{P}{I_{\text{rms}}^2}\right)^2}$$



- Vạn năng kế được chế tạo để đo các đại lượng điện thường gặp trong thực tế.
- Các đại lượng cần đo như là: điện áp một chiều, điện áp xoay chiều, dòng điện một chiều, dòng điện xoay chiều, điện trở. Các đại lượng đo được bố trí và có nhiều thang đo do người sử dụng tùy chọn hoặc có thể tự động chọn thang đo
 - ❖ Vạn năng kế tương tự
 - ❖ Vạn năng kế số



■ Vạn năng kế tương tự



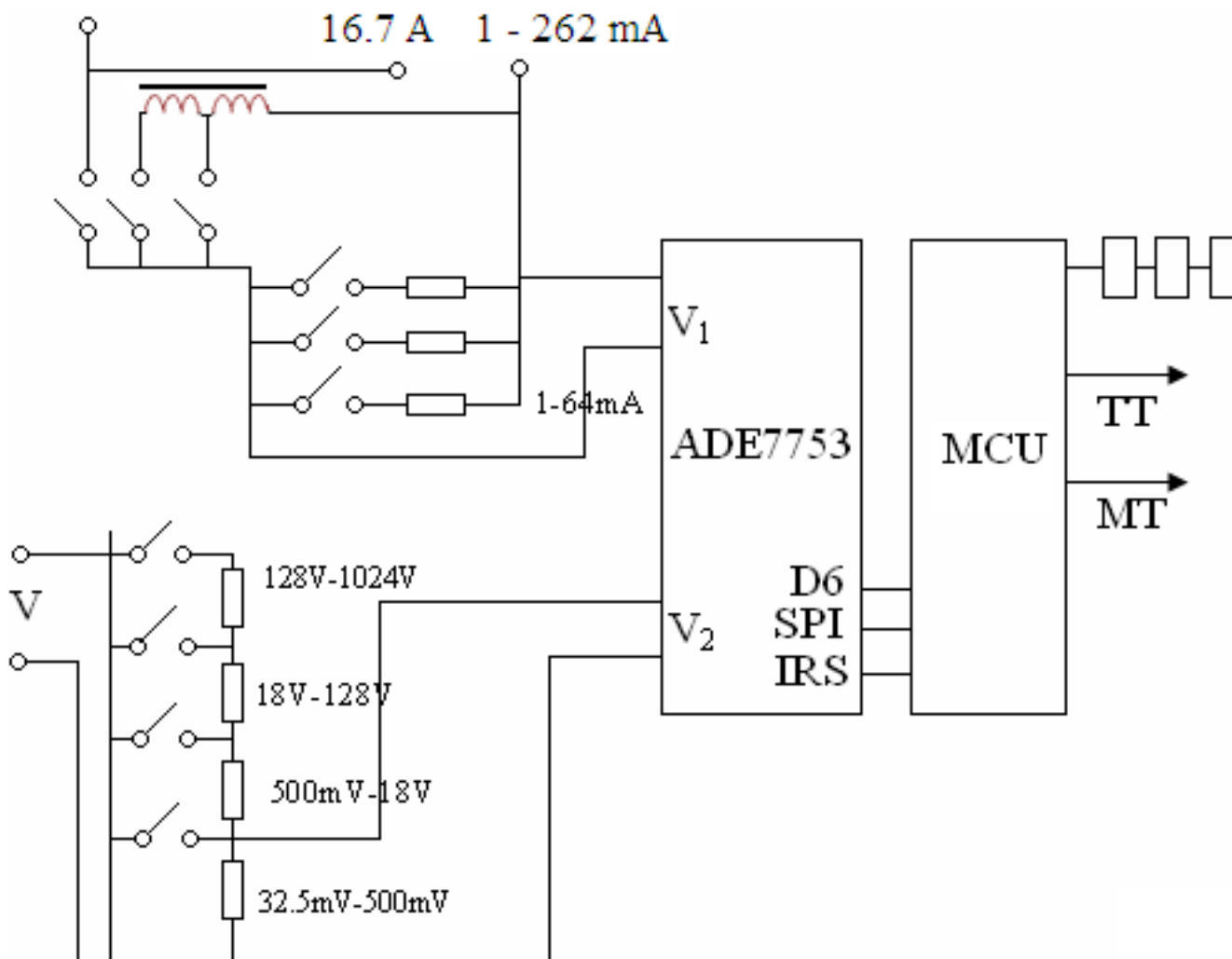


■ Vận năng kế tương tự

- ❖ Dòng điện và điện áp xoay chiều được chỉnh lưu cho ta giá trị trung bình của điện áp hay dòng điện.
- ❖ Điện trở được đo bằng phương pháp U, I nhưng điện áp U được duy trì cố định, đo dòng điện để suy ra R.



■ Bộ biến đổi vạn năng và vạn năng kế số.





■ Bộ biến đổi vạn năng và vạn năng kế số.

- ❖ Ví dụ trên cho thấy dòng điện có thể đo được từ $1\mu\text{A}$ đến $107\mu\text{A}$ và có lập trình cho rất nhiều thang đo (35 thang), điện áp có thể đo từ $31,2\text{mV}$ đến 2048V với 20 thang đo ở 2 đầu vào. Dòng và áp như vậy có thể bố trí đo công suất với khoảng đo rất thấp đến rất cao.
- ❖ Cũng có thể bố trí đo điện trở thông qua U , I , P ; đo L và C bằng phương pháp U , I , P nói ở trên.
- ❖ Phối hợp với máy tính có thể biến thành thiết bị tự ghi dòng, áp, công suất, tần số.

Chương 12: Đo tần số, chu kì và góc pha



- Tần số, chu kì và góc pha là các đại lượng đặc trưng cho các quá trình dao động có chu kỳ.
- Phép đo tần số sử dụng tần số chuẩn có thể đạt độ chính xác cao nhất so với các phép đo khác ($10^{-13} - 10^{-12}$)
 - + Chu kỳ $T(s)$ là khoảng thời gian nhỏ nhất mà giá trị của tín hiệu lặp lại độ lớn của nó $U(t) = U(t + T)$
 - + Tần số $f(Hz)$ được xác định bởi số chu kỳ lặp lại của tín hiệu trong một đơn vị thời gian.
 - + Tần số góc của tín hiệu được xác định bởi biểu thức

$$\omega = 2\pi f$$

Tần số, góc pha và chu kỳ liên quan với nhau theo biểu thức:

$$\varphi = \frac{\tau}{T} \cdot 2\pi$$

Với τ là khoảng thời gian chênh lệch giữa hai tín hiệu

Chương 12: Đo tần số, chu kì và góc pha

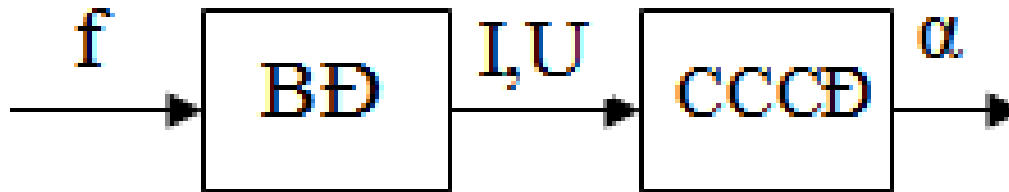


- Tần số kế tương tự
 - ❖ Tần số kế điện từ
 - ❖ Tần số kế chỉnh lưu
 - ❖ Tần số kế kiểu điện động
 - ❖ Tần số cộng hưởng
- Tần số kế số
 - ❖ Bộ đếm vạn năng
 - ❖ Tần số kế, máy đo chu kỳ, khoảng thời gian

12.1 Tần số kế tương tự



- Tần số kế tương tự là tần số kế mà đầu ra là dòng điện hoặc điện áp chỉ thị bằng dụng cụ chỉ thị cơ điện
- Cấu trúc chung của tần số kế



- Tín hiệu vào bất kỳ có tần số f . BĐ là bộ biến đổi tần số - áp hoặc tần số - dòng. Dòng hoặc áp qua cơ cấu cơ điện (CCCĐ) biến thành góc quay chỉ thị trên thang chia độ



Tần số kế điện từ

- Bộ biến đổi (BĐ) là một khâu có đặc tính tần phụ thuộc tần số, là phần tử điện cảm, hoặc điện dung có đặc tính, tỷ lệ nghịch hoặc tỷ lệ thuận với tần số.

$$I = \frac{U}{\omega L} = \frac{U}{2\pi f L}$$

$$I = \frac{U}{1/(\omega C)} = U\omega C = U2\pi f C$$

- C hoặc L cố định, I phụ thuộc vào U và f để loại trừ ảnh hưởng của U biến động phải dùng cơ cấu điện từ kiểu logomet điện từ

Tần số kế điện từ

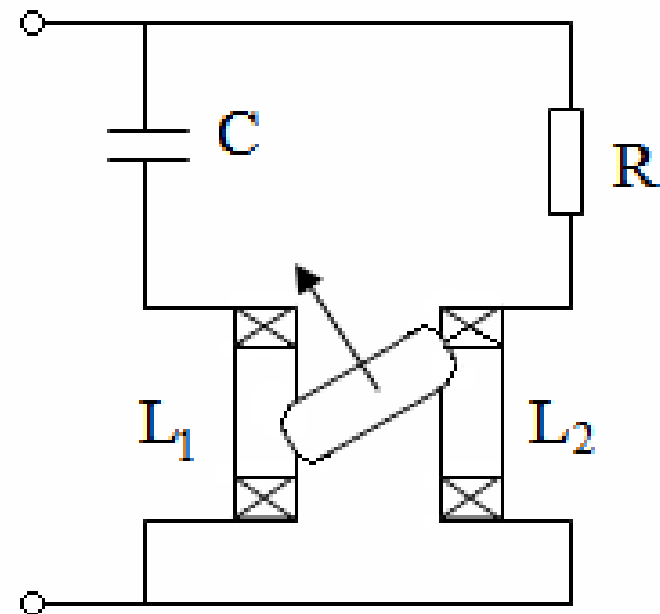


Tần số kế điện từ

- Logomet điện từ được chế tạo gồm 2 cuộn dây phần tĩnh L_1 và L_2

$$M_1 = \frac{dL_1}{d\alpha} I_1^2 = \frac{dL_2}{d\alpha} I_2^2 = M_2$$

$$\left(\frac{I_1}{I_2} \right)^2 = \frac{dL_2}{d\alpha} : \frac{dL_1}{d\alpha} = f(\alpha)$$



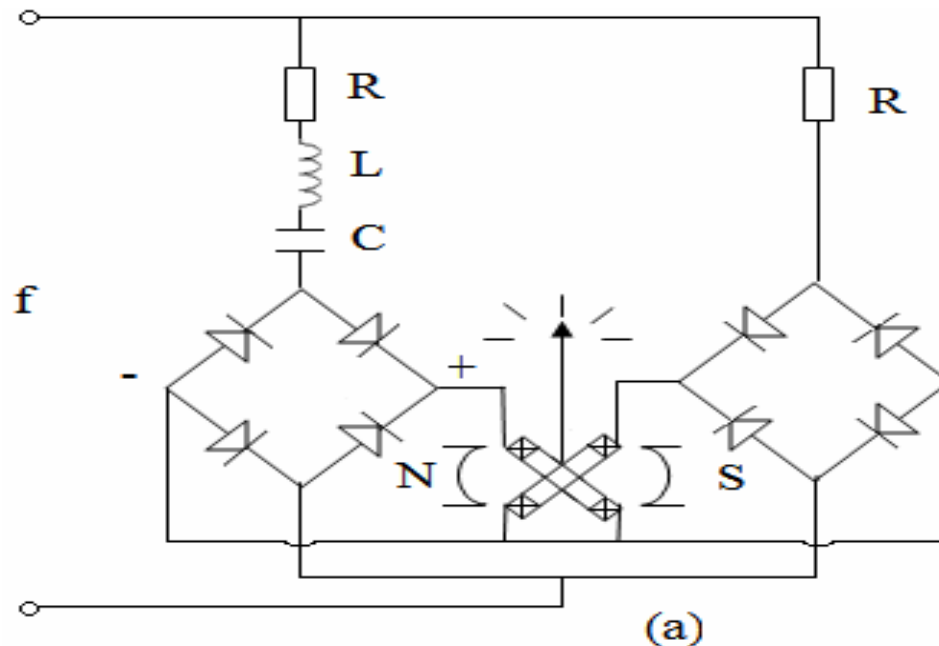
logomet điện từ

- Ở tần số kiểu điện từ thường ít được dùng vì $I_1 = U\omega C$ tỷ lệ với tần số f nhưng độ nhạy thấp vì C không thể lớn được và Độ chính xác của cơ cấu điện từ thấp.



Tần số kế chỉnh lưu

- Để cải thiện đặc tính tần số của bộ biến đổi (BĐ) và độ nhạy của cơ cấu cơ điện (CCCD) ta dùng một mạch cộng hưởng (RLC) ở bộ biến đổi (BĐ) và dùng logomet từ điện ở CCCT. Do logomet từ điện dùng cho điện một chiều nên cần có 2 bộ chỉnh lưu



$$\alpha = f \left(\frac{I_1}{I_2} \right)$$

$$\frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = R/Z(\omega)$$

Tần số kế tương tự



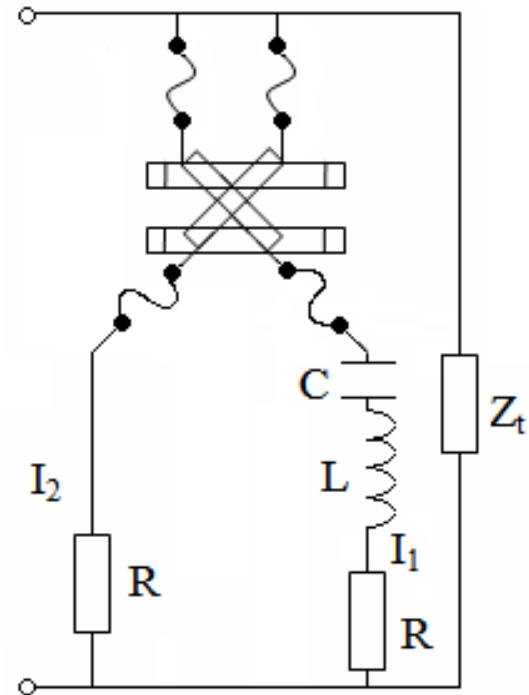
■ Tần số kế kiểu điện động

$$\dot{I}_1 = \dot{U} / Z(\omega) \quad \dot{I}_2 = \dot{U} / R$$

$$M_{q1} = \frac{dM_1}{d\alpha} \cdot I \cdot I_1 = \frac{dM_2}{d\alpha} \cdot I \cdot I_2 = M_{q2}$$

$$\Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{\frac{dM_2}{d\alpha}}{\frac{dM_1}{d\alpha}}$$

$$\alpha = G \left(\frac{I_1}{I_2} \right) = G \left(\frac{R}{Z(\omega)} \right) = F(\omega)$$



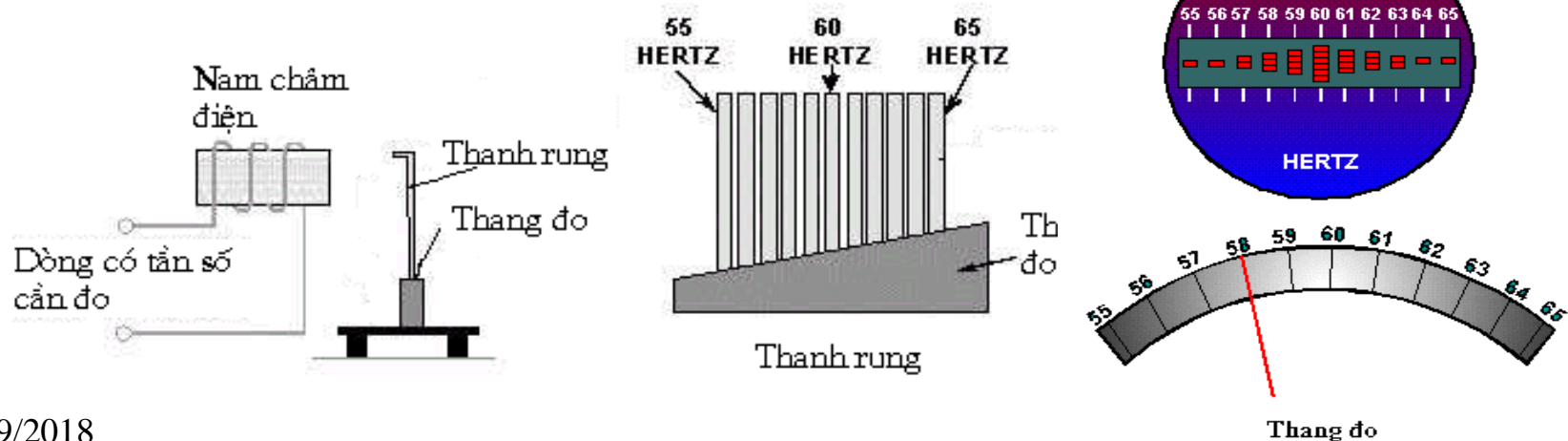
Tần số kế tương tự



Tần số kế cộng hưởng điện từ

■ Cấu tạo

- ❖ Nam châm điện
- ❖ Thanh rung bằng các lá thép có tần số cộng hưởng riêng. Một đầu của thanh rung bị gắn chặt còn một đầu dao động tự do. Tần số dao động riêng của mỗi thanh bằng 2 lần tần số cần đo.
- ❖ Thang đo khắc độ theo tần số, có thể dạng đĩa hoặc dạng thanh

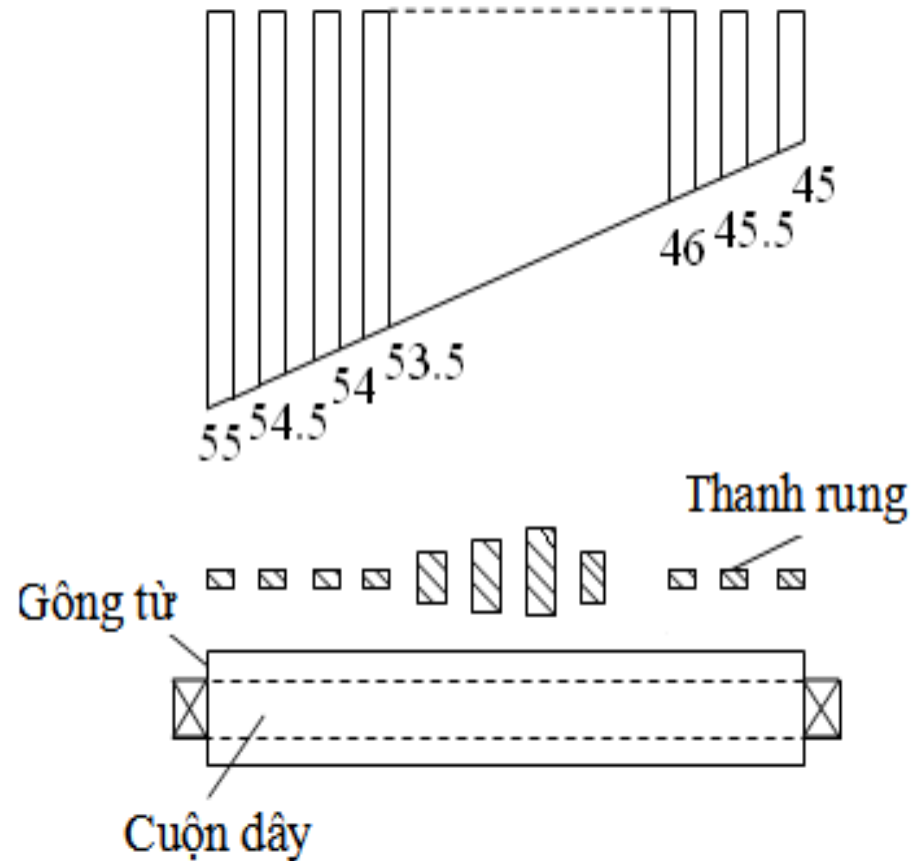


Tần số kế tương tự



Tần số kế cộng hưởng điện từ

- Điện áp của tín hiệu đo được đặt vào cuộn dây đo. Dòng điện chạy trong cuộn dây tạo ra từ trường có tần số bằng tần số của điện áp đo. Nếu tần số của từ trường bằng tần số 1 thanh rung nào đó, thanh rung ấy rung mạnh lên và tạo ra một dải rộng hơn các thanh rung khác



12.2. Tần số kế số



- Đo tần số hoặc chu kỳ là một vì từ $f \rightarrow T$ hay ngược lại.
- $T_x = N_x \cdot T_0$ trong phép đo chu kỳ hay $T_0 = N_x T_x$ trong phép đo tần số.
- Như vậy tần số kế gồm 3 phần:
 - ❖ Bộ đếm xung nhiều bit (để có N_x lớn).
 - ❖ Bộ phát xung chuẩn chính xác cao (để có T_0 chính xác).
 - ❖ Bộ khoá điện tử điều khiển đóng mở bộ đếm.
- Trong thực tế, người ta thường sản xuất trên một máy có các bộ phận:
 - ❖ Bộ đếm vạn năng
 - ❖ Tần số kế
 - ❖ Đo chu kỳ.

12.2.1 Bộ đếm vạn năng



■ Sơ đồ khối của bộ đếm vạn năng

TX: tạo xung

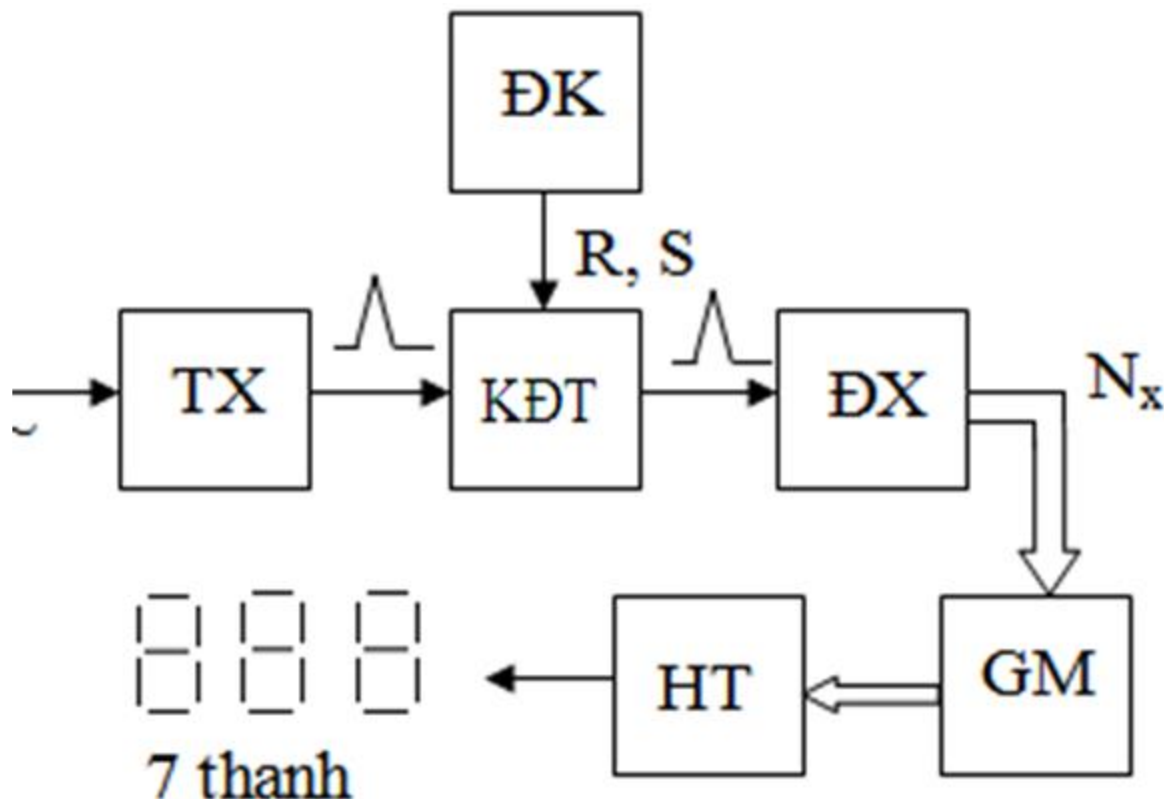
KĐT: khoá điện tử

ĐK: điều khiển

ĐX: đếm xung

GM: giải mã;

HT: hiển thị.



12.2.1 Bộ đếm vạn năng

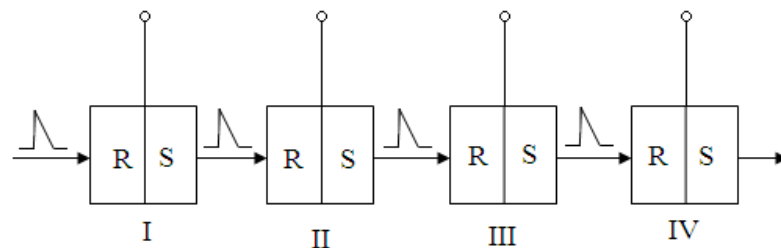


Tạo xung

- Biến đổi tín hiệu dạng bất kỳ thành xung vuông, sau đó thành xung nhọn thuận lợi cho việc đếm.
 - ❖ Mạch tạo xung thường được xây dựng trên cơ sở của Trigger Smith biến xung bất kỳ thành xung vuông.
 - ❖ Sau đó là mạch vi phân biến xung vuông thành xung nhọn.

Bộ đếm xung

- Bộ đếm xung (ĐX) được chế tạo bằng ghép các phần tử logic “trigger”



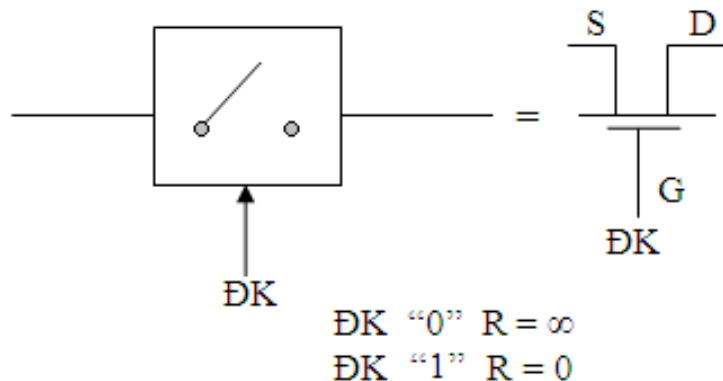
(a)

12.2.1 Bộ đếm vạn năng



Khoá điện tử

- Khóa điện tử là một phần tử điều khiển có các tính chất sau:
 - ❖ Khi xung điều khiển ở trạng thái “0” điện trở của phần tử bằng vô cực (trạng thái hở mạch), xung không truyền qua.
 - ❖ Lúc xung điều khiển ở trạng thái “1” điện trở của phần tử bằng 0, xung truyền qua.



12.2.1 Bộ đếm vạn năng



Bộ giải mã

- Trong bộ đếm hexa (gồm có 4 trigger) nếu ta dừng tại xung thứ 10 (0 đến 9), ta có bộ đếm nhị thập phân (BCD)
- Bộ giải mã có nhiệm vụ biến các ký hiệu ở mã nhị phân hay hexa thành mã thập phân.

Chỉ thị

- Ngày nay để hiển thị các con số người ta dùng kiểu số ghép gồm 7 thanh LED (diode phát quang)

Công nghiệp điện tử ngày nay đã tạo ra đầy đủ linh kiện về bộ đếm, giải mã, khoá điện tử và các bộ hiển thị theo các yêu cầu cần thiết.

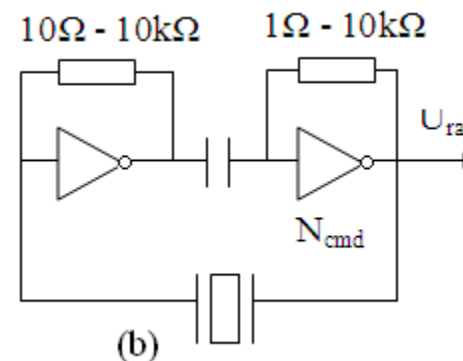
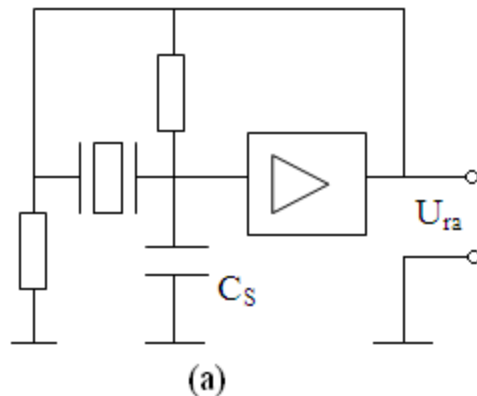


Máy phát tần số chuẩn

- Máy phát tần số chuẩn tạo thời gian chuẩn T_0 vì thế đòi hỏi phải có độ chính xác cao, độ ổn định cao
- Ngày nay, mạch phát tần số mẫu thường dùng là mạch phát xung chuẩn bằng thạch anh

Mạch tạo xung

- Mạch tạo xung rất đơn giản, có thể sử dụng một trong các sơ đồ



12.2.2 Tần số kế, máy đo chu kỳ, khoảng thời gian

- Các bộ đếm điện tử, máy phát tần số chuẩn ta có thể phối hợp để thực hiện việc đo tần số (tần số kế), đo chu kỳ hoặc đo và định thời gian

TX: tạo xung

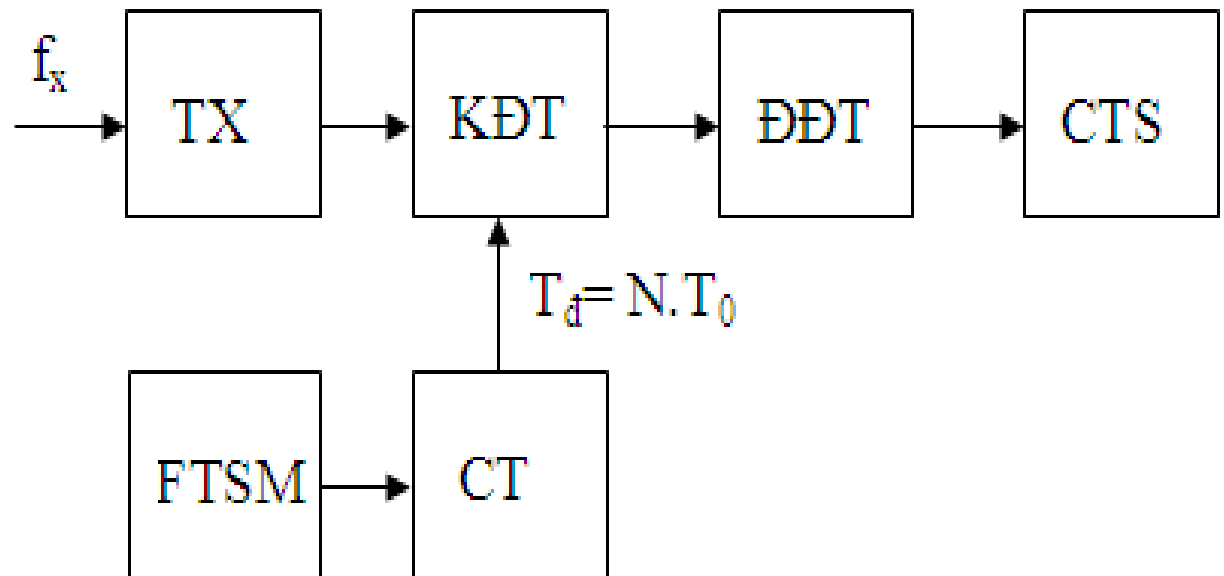
KĐT: khoá điện tử

ĐK: điều khiển

ĐĐT: Đếm điện tử;

CT: Chia tần.

CTS:Chỉ thị số



Tần số kế, máy đo chu kỳ, khoảng thời gian



Hoạt động của tần số kế

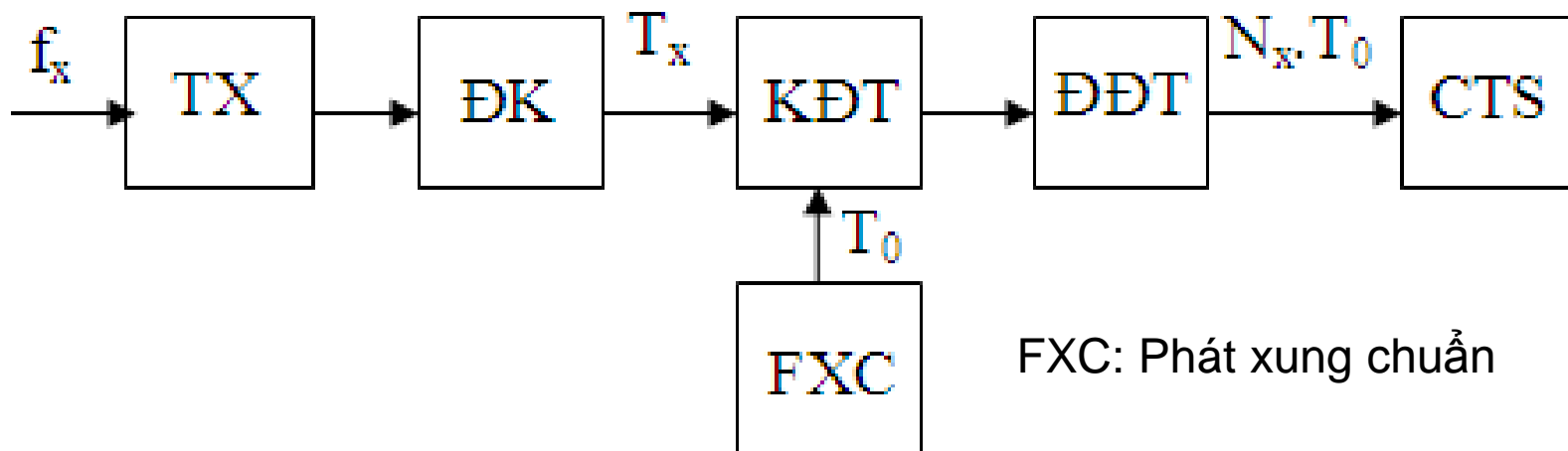
- Tín hiệu có tần số f_x được đưa vào bộ tạo xung (TX) biến thành xung hẹp (nhọn) thuận lợi cho việc đếm xung. Xung đi qua một khóa điện tử mở cho xung vào bộ đếm xung điện tử (ĐXĐT).
- Khoá điện tử làm việc theo sự điều khiển của một bộ điều khiển theo thời gian đếm T_d ; T_d được tạo ra chính xác do bộ phát tần số mẫu FTSM và bộ chia tần (CT), hệ số chia được xác định là N_0 thế nào để cho T_d là một ước số của giây (10, 1, 0.1, 0.01, v.v...).
- Giả sử trong thời gian T_d bộ ĐXĐT đếm được N_x xung thì $f_x = N_x / T_d$.
- Ví dụ trong 0.1 giây đếm được $N_x = 353750$ xung thì $f_x = 353750 / 0.1 = 3.5375 \text{ MHz}$.

Tần số kế, máy đo chu kỳ, khoảng thời gian



Đo chu kỳ

- Phương pháp đo chu kỳ được thực hiện trong trường hợp tần số cần đo f_x nhỏ



- Tín hiệu vào có chu kỳ T_x được đưa vào bộ tạo xung (TX) biến thành xung nhọn vào bộ điều khiển (ĐK) để tạo ra tín hiệu mở và đóng khoá điện tử theo chu kỳ xung T_x

$$T_x = N_x T_0 = \frac{N_x}{f_0} \rightarrow f_x = \frac{f_0}{N_x}$$

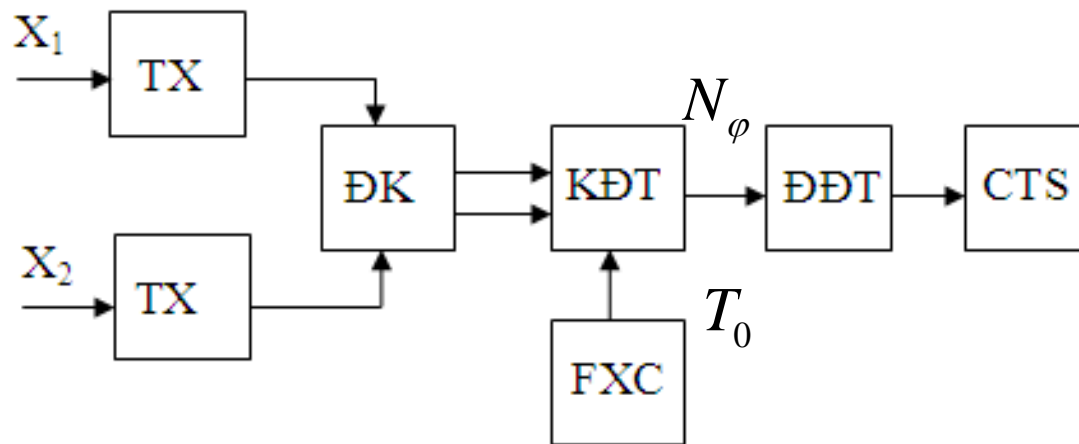


Đo góc lệch pha

- Góc lệch pha giữa hai tín hiệu chu kỳ được tính là thời gian lệch t_φ từ lúc tín hiệu thứ nhất qua Zero cho đến khi tín hiệu thứ 2 qua Zero

$$t_\varphi = N_\varphi T_0$$

$$\varphi = \frac{2\pi N_\varphi T_0}{T_{\text{ck}}}$$



- Tín hiệu X_1 qua điểm Zero, bộ tạo xung cho 1 xung vào điều khiển mở khóa điện tử (KĐT) và bộ đếm điện tử đếm số xung từ bộ phát xung chuẩn. Khi tín hiệu X_2 qua giá trị Zero, xung thứ hai khoá khoá điện tử lại

Tần số kế, máy đo chu kỳ, khoảng thời gian



- Ta có một bộ đếm điện tử có số đếm tối đa là 99999, một bộ phát xung mẫu 1MHz sai số 10^{-6} .
- 1. Lập sơ đồ đo tần số. Xác định thời gian đếm khi đo tần số 10MHz, 0.1MHz, và 50Hz. Điều kiện tận dụng tối đa bộ đếm, và từ bộ đếm đưa thẳng ra phần hiển thị
- 2. Đo góc pha giữa hai điện áp 50Hz ta được con số 2000, tính góc pha φ bằng độ

Tần số kế, máy đo chu kỳ, khoảng thời gian



- Đo bằng vi xử lý



- ***Đo tần số bằng phương pháp biến đổi thẳng bao gồm các loại sau:***
 - ❖ *Tần số kế cơ điện tương tự (tần số kế điện từ, điện động, sắt điện động). Loại tần số kế này dùng để đo tần số trong khoảng từ 20Hz – 2,5kHz với cấp chính xác không cao (0,2; 0,5; 1,5 và 2,5) và tiêu thụ điện năng khá lớn*
 - ❖ *Tần số kế điện dung tương tự để đo tần số trong dải từ 10Hz – 500kHz*
 - ❖ *Tần số kế chỉ thị số có thể đo khá chính xác tần số của tín hiệu xung và tín hiệu đa hài trong dải tần từ 10Hz – 50GHz. Ngoài ra nó còn được sử dụng để đo tỉ số giữa các tần số, chu kỳ, độ dài xung và khoảng thời gian.*

Chương 12: Đo tần số, chu kì và góc pha



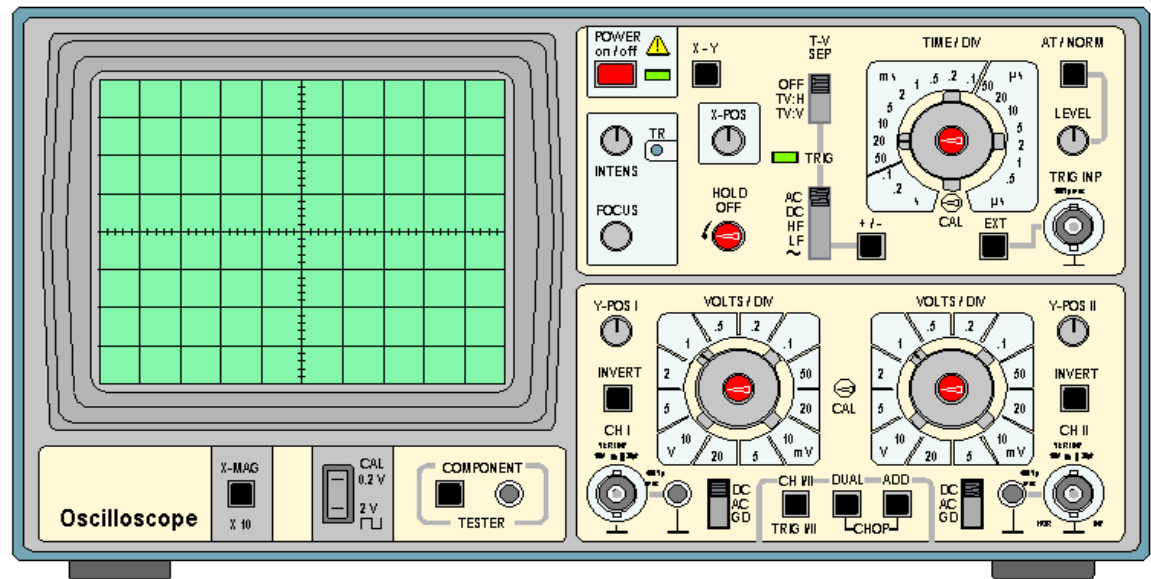
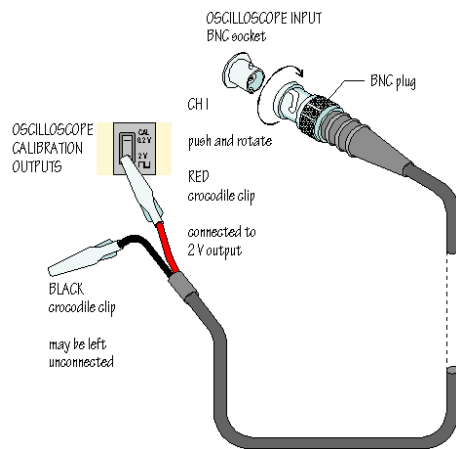
■ *Đo tần số bằng phương pháp so sánh bao gồm:*

- ❖ Tần số kế trộn tần dùng để đo tần số của các tín hiệu xoay chiều, tín hiệu điều chế biên độ trong khoảng 100kHz – 20GHz
- ❖ Tần số kế cộng hưởng để đo tần số trong dải tần 50kHz – 10GHz
- ❖ Cầu xoay chiều phụ thuộc vào tần số để đo tần số trong khoảng 20Hz – 20kHz
- ❖ Máy hiện sóng (oscilloscope) để so sánh tần số cần đo với tần số của máy phát chuẩn, dải tần đo có thể từ 10Hz – 100MHz (loại hiện đại nhất hiện nay có thể lên tới 500MHz)

Chương 13: Dao động kí điện tử



- Máy hiện sóng điện tử hay còn gọi là dao động ký điện tử (electronic oscilloscope) là một dụng cụ hiển thị dạng sóng rất thông dụng



Chương 13: Dao động kí điện tử



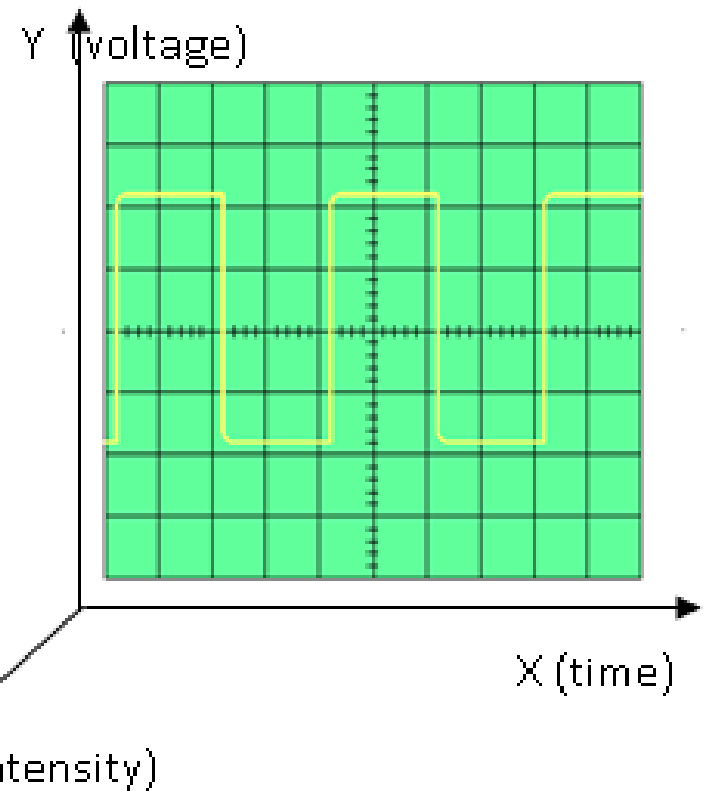
- Bằng cách sử dụng máy hiện sóng ta xác định được:
 - ❖ Giá trị điện áp và thời gian tương ứng của tín hiệu
 - ❖ Tần số dao động của tín hiệu
 - ❖ Góc lệch pha giữa hai tín hiệu
 - ❖ Dạng sóng tại mỗi điểm khác nhau trên mạch điện tử
 - ❖ Thành phần của tín hiệu gồm thành phần một chiều và xoay chiều như thế nào
 - ❖ Trong tín hiệu có bao nhiêu thành phần nhiễu và nhiễu đó có thay đổi theo thời gian hay không

Chương 13: Dao động kí điện tử



■ Màn hình của máy hiện sóng được chia ô, 10 ô theo chiều ngang và 8 ô theo chiều đứng. ở chế độ hiển thị thông thường, máy hiện sóng hiện dạng sóng biến đổi theo thời gian:

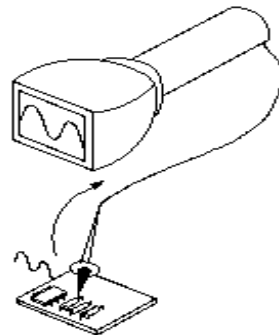
- ❖ Trục đứng Y là trục điện áp,
- ❖ Trục ngang X là trục thời gian.
- ❖ Độ chói hay độ sáng của màn hình đôi khi còn gọi là trục Z



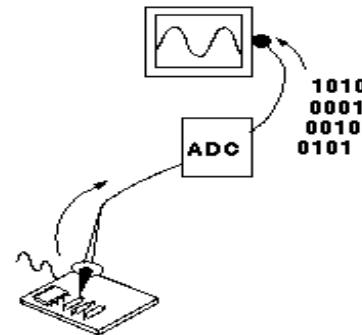
Chương 13: Dao động kí điện tử



- Các thiết bị điện tử thường được chia thành 2 nhóm
 - ❖ Máy hiện sóng tương tự (Analog oscilloscope) sẽ chuyển trực tiếp tín hiệu điện cần đo thành dòng electron bắn lên màn hình. Điện áp làm lệch chùm electron một cách tỉ lệ và tạo ra tức thời dạng sóng tương ứng trên màn hình.
 - ❖ Máy hiện sóng số (Digital oscilloscope) sẽ lấy mẫu dạng sóng, đưa qua bộ chuyển đổi tương tự / số (ADC). Sau đó nó sử dụng các thông tin dưới dạng số để tái tạo lại dạng sóng trên màn hình.



Analog Oscilloscopes

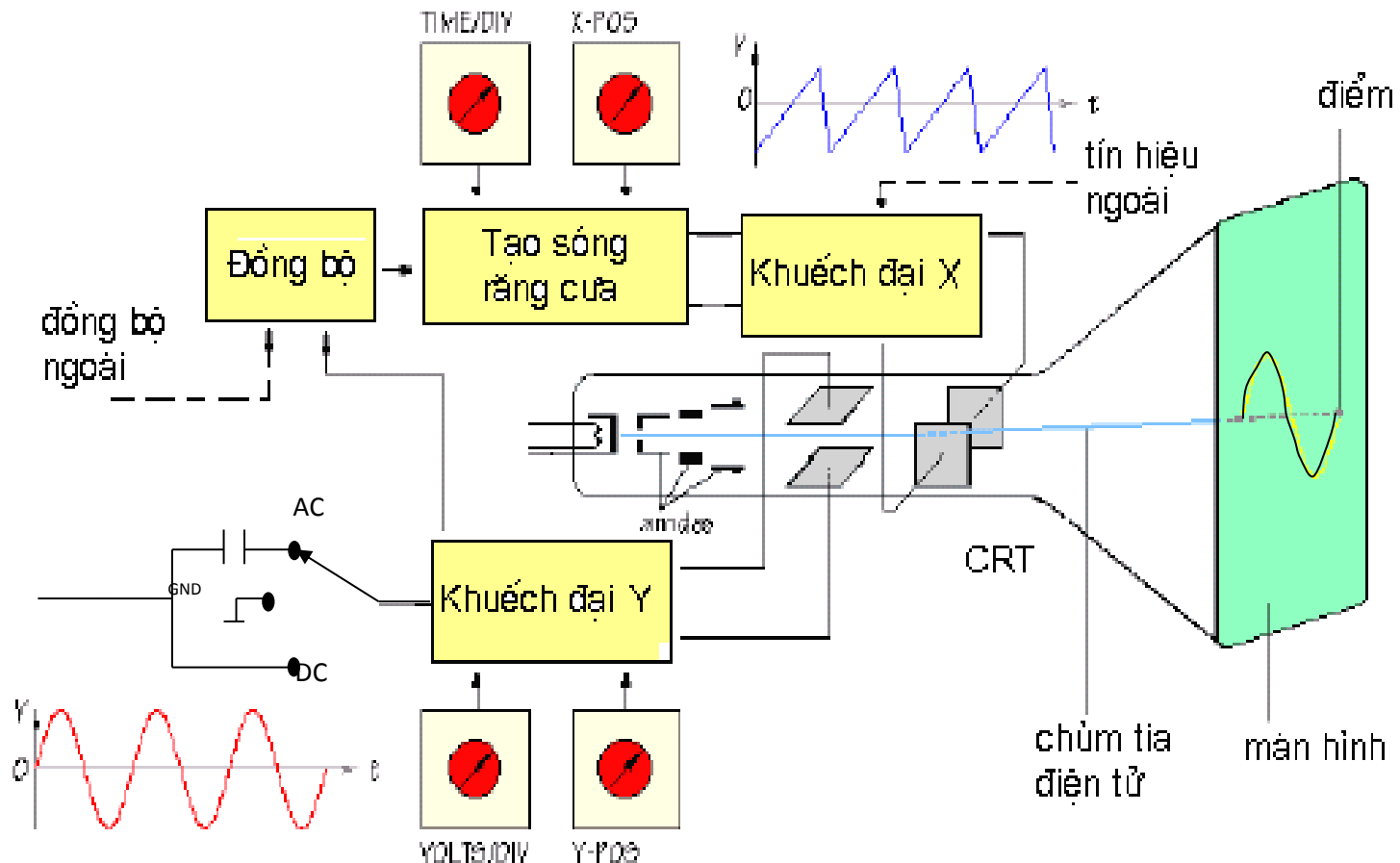


Digital Oscilloscopes

Chương 13: Dao động kí điện tử



■ Sơ đồ khối của một máy hiện sóng thông dụng



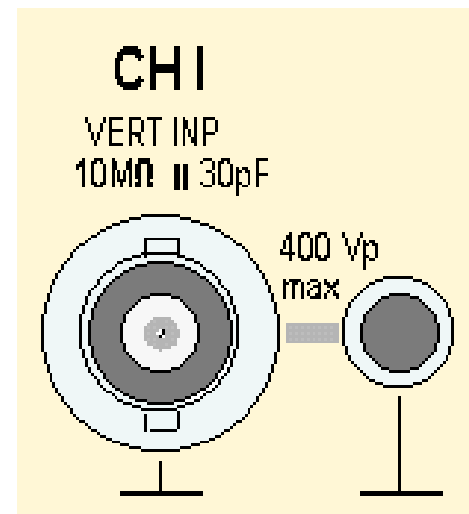
Chương 13: Dao động kí điện tử



Thiết lập chế độ hoạt động

- Panel trước của máy hiện sóng gồm 3 phần chính là VERTICAL (phần điều khiển đứng), HORIZONTAL (phần điều khiển ngang) và TRIGGER (phần điều khiển đồng bộ). Một số phần còn lại (FOCUS - độ nét, INTENSITY - độ sáng...) có thể khác nhau tùy thuộc vào hãng sản xuất, loại máy, và model.

Nối các đầu đo vào đúng vị trí (thường có ký hiệu CH1, CH2 với kiểu đầu nối BNC (xem hình bên). Các máy hiện sóng thông thường sẽ có 2 que đo ứng với 2 kênh và màn hình sẽ hiện dạng sóng tương ứng với mỗi kênh



Chương 13: Dao động kí điện tử



Cách điều khiển một máy hiện sóng

■ *Điều khiển màn hình*

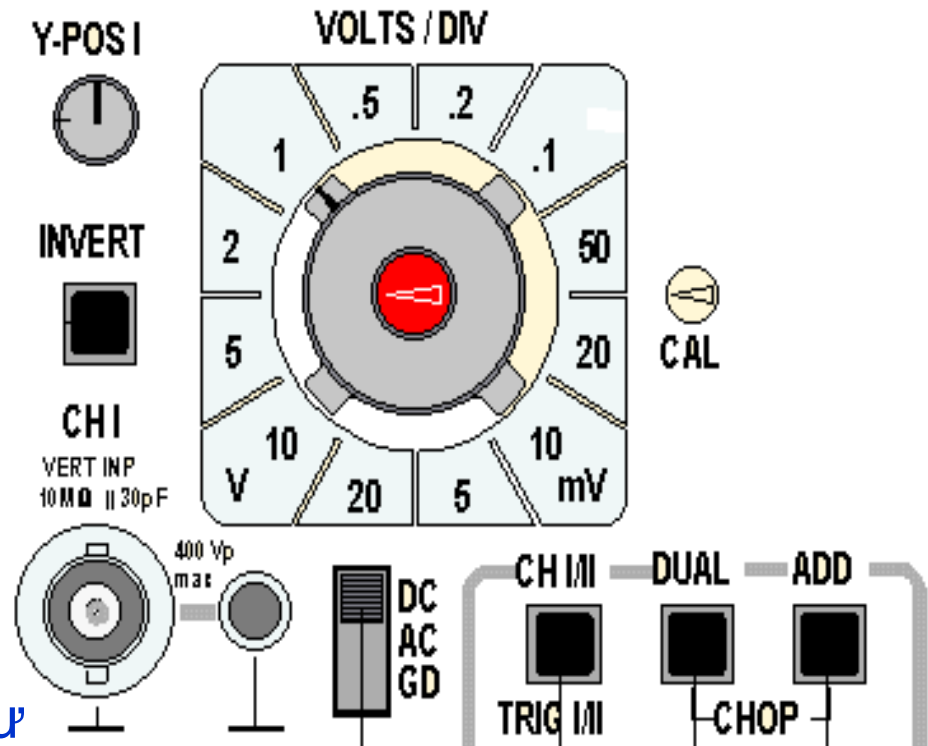
■ Phần này bao gồm:

- ❖ Điều chỉnh độ sáng- INTENSITY - của dạng sóng. Thông thường khi tăng tần số quét cần tăng thêm độ sáng để tiện quan sát hơn. Thực chất đây là điều chỉnh điện áp lưới
- ❖ Điều chỉnh độ nét – FOCUS - của dạng sóng. Thực chất là điều chỉnh điện áp các anot A1, A2 và A3
- ❖ Điều chỉnh độ lệch của trục ngang – TRACE - (khi vị trí của máy ở những điểm khác nhau thì tác dụng của từ trường trái đất cũng khác nhau nên đôi khi phải điều chỉnh để có vị trí cân bằng)

Chương 13: Dao động kí điện tử



- Điều khiển theo trục đứng
- Phần này sẽ điều khiển vị trí và tỉ lệ của dạng sóng theo chiều đứng. Khi tín hiệu đưa vào càng lớn thì VOLTS/DIV cũng phải ở vị trí lớn và ngược lại



- Ngoài ra còn một số phần như
 - ❖ INVERT: đảo dạng sóng
 - ❖ DC/AC/GD: hiển thị phần một chiều/ xoay chiều/ đất của dạng sóng
 - ❖ CH I/II: chọn kênh 1 hoặc kênh 2
 - ❖ DUAL: chọn cả hai kênh
 - ❖ ADD: cộng tín hiệu của cả hai kênh

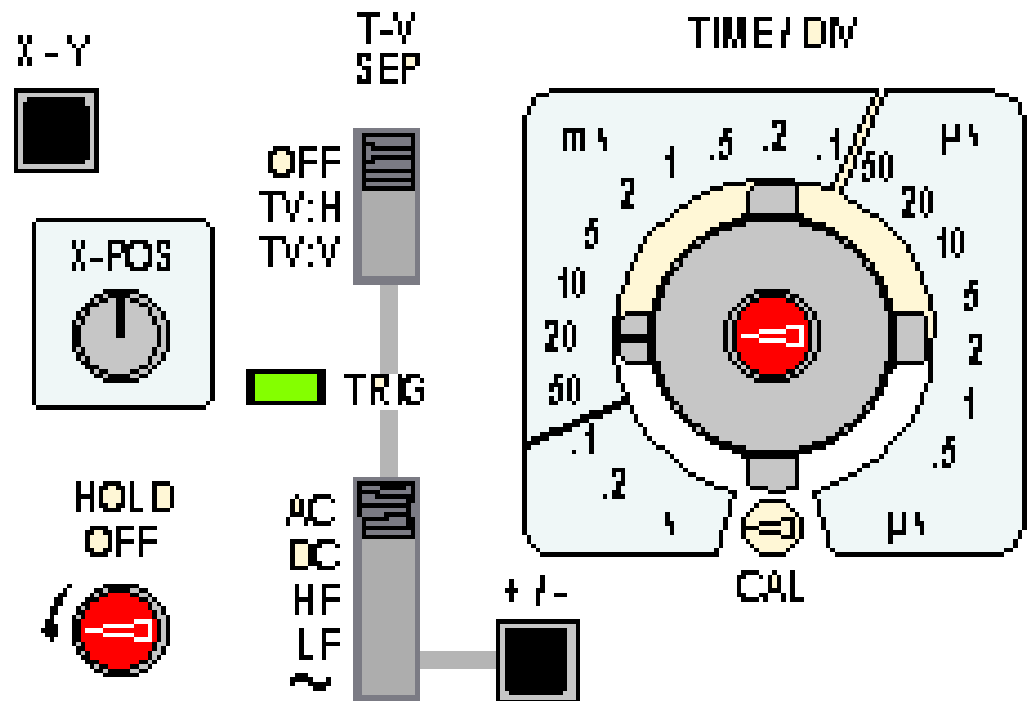
Chương 13: Dao động kí điện tử



Điều khiển theo trục ngang

- Phần này điều khiển vị trí và tỉ lệ của dạng sóng theo chiều ngang. Khi tín hiệu đưa vào có tần số càng cao thì TIME/DIV phải càng nhỏ và ngược lại. Ngoài ra còn một số phần sau:

- X-Y: ở chế độ này kênh thứ 2 sẽ làm trục X thay cho thời gian như ở chế độ thường.





Ứng dụng của máy hiện sóng trong kỹ thuật đo lường

- Máy hiện sóng hiện nay được gọi là máy hiện sóng vạn năng vì không đơn thuần là hiển thị dạng sóng mà nó còn thực hiện được nhiều kỹ thuật khác như thực hiện hàm toán học, thu thập và xử lý số liệu và thậm chí còn phân tích cả phổ tín hiệu ...
- Trong phần này chúng ta chỉ nói tới những ứng dụng cơ bản nhất của một máy hiện sóng
 - ❖ Quan sát tín hiệu
 - ❖ Đo điện áp
 - ❖ Đo tần số và khoảng thời gian
 - ❖ Đo tần số và độ lệch pha

Chương 13: Dao động kí điện tử



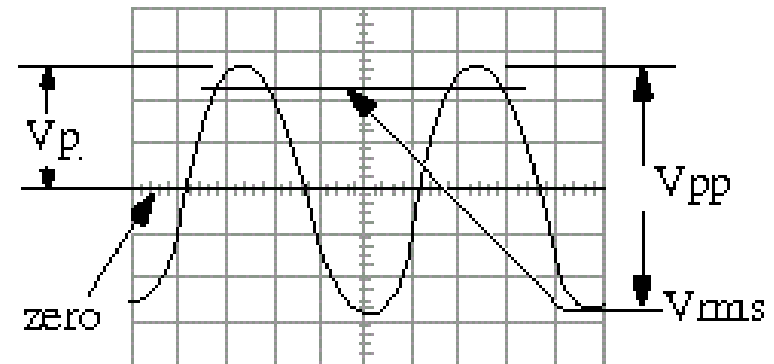
Đo điện áp

- Việc tính giá trị điện áp của tín hiệu được thực hiện bằng cách đếm số ô trên màn hình và nhân với giá trị VOLTS/DIV
- Ví dụ: VOLTS/DIV chỉ 1V thì tín hiệu cho ở hình trên có:

- ❖ $V_p = 2,7\text{ô} \times 1V = 2,8V$

- ❖ $V_{pp} = 5,4\text{ô} \times 1V = 5,4V$

- ❖ $V_{rms} = 0,707V_p = 1.98V$



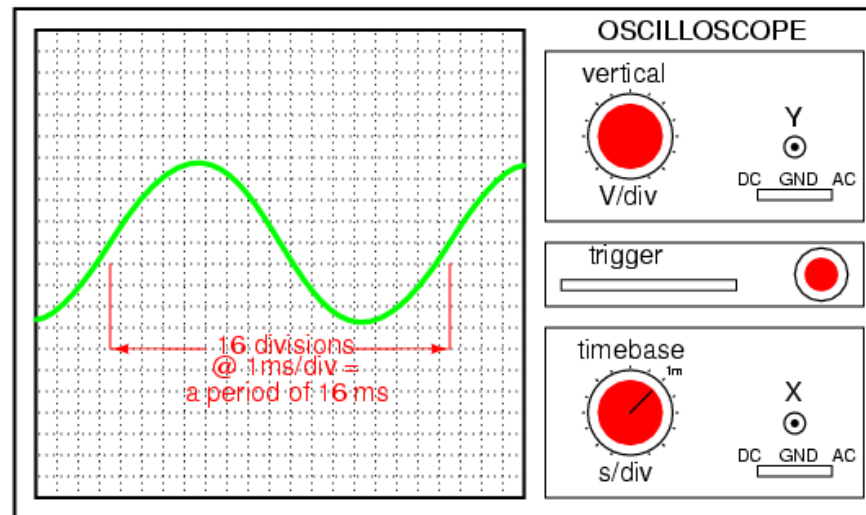
- Ngoài ra, với tín hiệu xung người ta còn sử dụng máy hiện sóng để xác định thời gian tăng sườn xung (rise time), giảm sườn xung (fall time) và độ rộng xung (pulse width) với cách tính như hình bên

Chương 13: Dao động kí điện tử



Đo tần số và khoảng thời gian

- Khoảng thời gian giữa hai điểm của tín hiệu cũng được tính bằng cách đếm số ô theo chiều ngang giữa hai điểm và nhân với giá trị của TIME/DIV
- Ví dụ: ở hình bên s/div là 1ms. Chu kỳ của tín hiệu dài 16ô, do vậy chu kỳ là 16ms $\Rightarrow f = 1/16\text{ms} = 62,5\text{Hz}$



$$\text{Frequency} = \frac{1}{\text{period}} = \frac{1}{16 \text{ ms}} = 62.5 \text{ Hz}$$

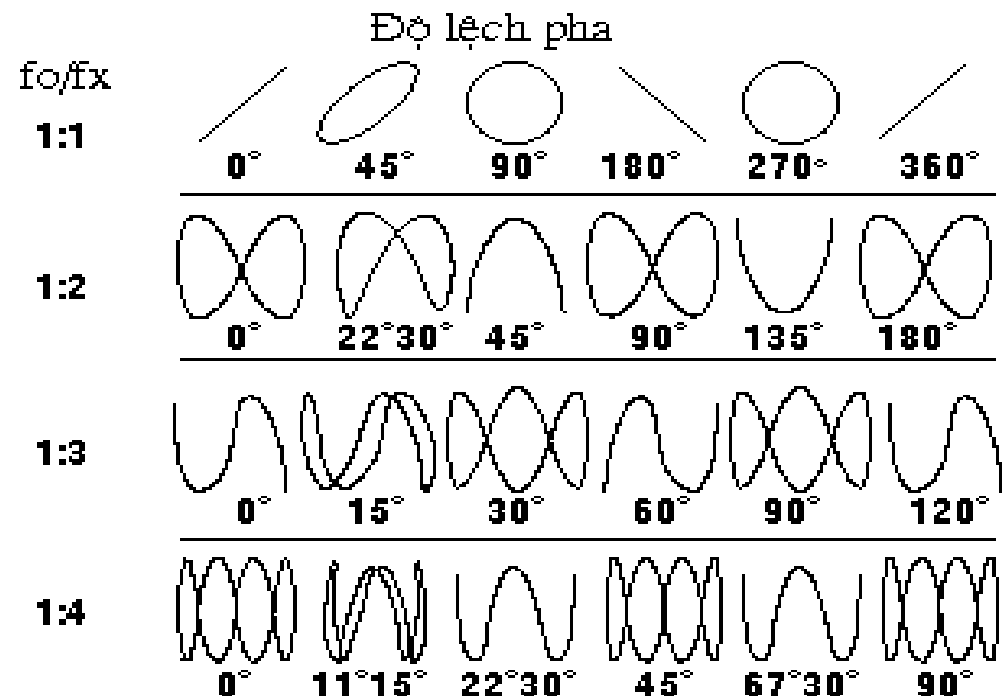
Chương 13: Dao động kí điện tử



- So sánh tần số của tín hiệu cần đo f_x với tần số chuẩn f_o
- Điều chỉnh tần số chuẩn tới khi tần số cần đo là bội hoặc ước nguyên của tần số chuẩn thì trên màn hình sẽ có một đường Lissajou đứng yên. Hình dáng của đường Lissajou rất khác nhau tùy thuộc vào tỉ số tần số giữa hai tín hiệu và độ lệch pha giữa chúng

$$\frac{f_o}{f_x} = \frac{m}{n}$$

n là số múi theo chiều ngang
 m là số múi theo chiều dọc



Chương 13: Dao động kí điện tử



- Nếu muốn đo độ lệch pha ta cho 2 tần số của hai tín hiệu bằng nhau, khi đó đường Lissajou có dạng elip. Điều chỉnh Y-POS và X-POS sao cho tâm của elip trùng với tâm màn hình (gốc tọa độ).

$$\varphi = \arctg\left(\frac{A}{B}\right)$$

với A, B là đường kính trục dài và đường kính trục ngắn của elip

