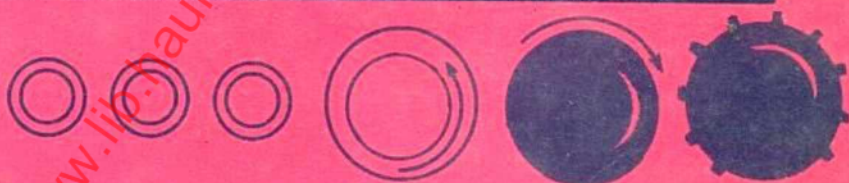


PHẠM THƯỢNG HÀN  
NGUYỄN TRỌNG QUẾ  
NGUYỄN VĂN HÒA  
NGUYỄN THỊ VẤN

4910,56



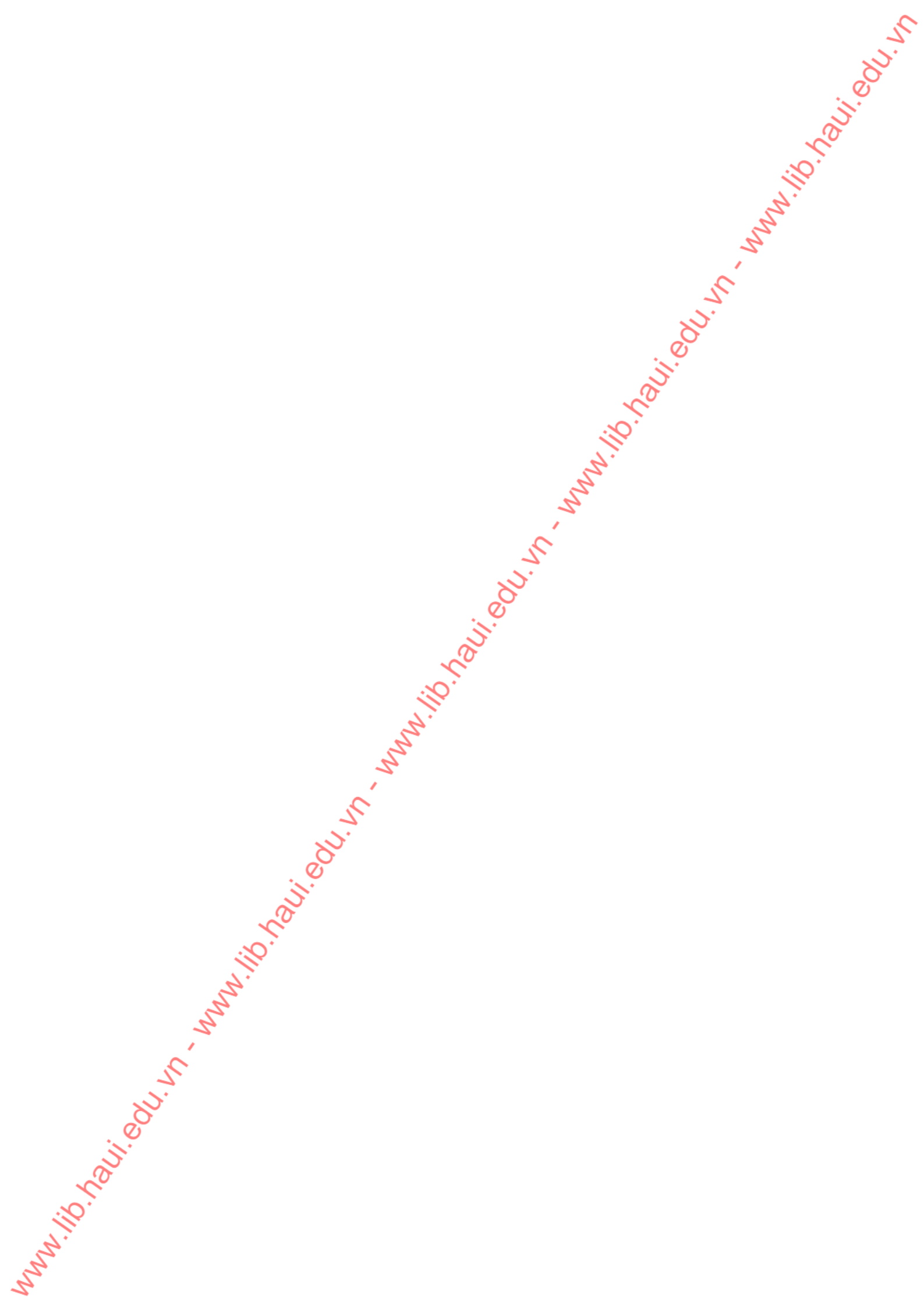
# KI THUẬT ĐO LƯỜNG

## các đại lượng vật lí

TẬP HAI



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC



PHẠM THƯỢNG HÀN (chủ biên)  
NGUYỄN TRỌNG QUẾ - NGUYỄN VĂN HÒA - NGUYỄN THỊ VẤN

# KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG các đại lượng vật lí

TẬP HAI

(Tái bản lần thứ nhất, có sửa chữa)

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC - 1997



### Phần III

## ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐIỆN VÀ KHÔNG ĐIỆN

### Chương 8. ĐO DÒNG ĐIỆN

#### 8-1. KHÁI NIỆM CHUNG

Trong các đại lượng điện, dòng điện và điện áp là các đại lượng cơ bản nhất. Vì vậy trong công nghiệp cũng như trong các công trình nghiên cứu khoa học người ta luôn quan tâm đến các phương pháp và thiết bị đo dòng điện

Có thể đo dòng điện, bằng các phương pháp trực tiếp, gián tiếp và so sánh (phương pháp bù). Trong phương pháp đo trực tiếp, người ta dùng các dụng cụ đo dòng điện như Ampemét, miliAmpemét, microAmpemét v.v... để đo dòng và trực tiếp đọc kết quả trên thang chia độ dụng cụ đo.

Trong phương pháp đo gián tiếp: người ta có thể dùng Vônmet đo điện áp rơi trên một điện trở mẫu (mắc trong mạch có dòng điện cần đo chạy qua); thông qua tính toán ta sẽ được dòng điện cần đo.

Trong phương pháp so sánh, người ta đo dòng điện bằng cách so dòng cần đo với dòng điện mẫu, chính xác; Ở trạng thái cân bằng của dòng cần đo và dòng mẫu, sẽ đọc kết quả trên mẫu. Có thể so sánh trực tiếp và so sánh gián tiếp.

#### 8-2. CÁC DỤNG CỤ ĐO DÒNG ĐIỆN

##### 8-2-1. Yêu cầu đối với các dụng cụ đo dòng điện

Khi đo dòng điện ta mắc nối tiếp Ampemét với mạch điện cần đo. Ampemét này lấy một phần năng lượng của mạch đo, gây sai số phương pháp cho phép đo dòng. Phần năng lượng này còn gọi là công suất tiêu thụ của Ampemét, được tính :

$$P_A = I_A^2 \cdot R_A \quad (8-1)$$

Trong phép đo dòng điện yêu cầu công suất tiêu thụ  $P_A$  càng nhỏ càng tốt. Tức là yêu cầu  $R_A$  càng nhỏ càng tốt.

Khi đo dòng xoay chiều, điện trở của Ampemét còn chịu ảnh hưởng của tần số ( $X_L = \omega L$  : thành phần kháng trở của cuộn dây). Để bảo đảm cấp chính xác của dụng cụ đo, người ta thiết kế các dụng cụ đo dòng xoay chiều ở các miền tần số sử dụng nhất định (dải tần nhất định). Nếu sử dụng các dụng cụ đo dòng ở miền tần số khác miền tần số thiết kế, sẽ gây ra sai số do tần số.

##### 8-2-2. Các Ampemét một chiều

Các Ampemét một chiều được chế tạo chủ yếu dựa trên cơ cấu chỉ thị từ điện. Dòng cho phép qua cơ cấu này thường là  $10^{-1} \div 10^{-2} A$  với cấp chính xác 1,5; 1; 0,5; 0,2. Cao nhất có thể đạt tới cấp 0,05. Điện trở cơ cấu khoảng từ  $20\Omega \div 2000\Omega$ . Vì vậy để sử dụng cơ cấu này, chế tạo các dụng cụ đo dòng điện lớn hơn dòng qua cơ cấu chỉ thị, người ta phải dùng thêm một điện trở sun phân nhánh nối song song với cơ cấu chỉ thị từ điện (h.8-1).

Sơ đồ cấu tạo của Ampemét từ điện trên hình 8-1.

Dựa trên các thông số của cơ cấu chỉ thị từ điện và dòng điện cần đo, người ta có thể tính giá trị điện trở sun phù hợp cho từng dòng điện cần đo (6-6) là :

$$R_s = \frac{r_{ct}}{n - 1} \quad (8-2)$$

Trong đó  $r_{ct}$  : điện trở trong của cơ cấu chỉ thị từ điện

$$n = \frac{I}{I_{ct}} : \text{hệ số mở rộng thang đo của Ampemét}$$

$I$  : dòng cần đo

$I_{ct}$  : dòng cực đại mà cơ cấu chỉ thị chịu được.

Đối với các Ampemét đo dòng điện nhỏ hơn 30A thì sun đặt trong vỏ của Ampemét. Còn các Ampemét dùng đo dòng điện lớn hơn hoặc bằng 30A thì Sun đặt ngoài vỏ (coi như một phụ kiện kèm theo Ampemét; phần này sẽ nghiên cứu trong mục đo dòng điện lớn).

Trên cơ sở mắc sun song song với cơ cấu chỉ thị người ta chế tạo Ampemét từ điện có nhiều thang đo.

Hình 8-2 là sơ đồ Ampemét từ điện 3 thang đo ( $I_1, I_2, I_3$ ). Các điện trở  $R_1, R_2, R_3$  mắc nối tiếp với nhau rồi nối song song với  $r_{ct}$ . Tính các điện trở sun ứng với các dòng điện cần đo như đã thực hiện ở mục 6-3.

Để giữ cho cấp chính xác của Ampemét từ điện không thay đổi ở các giới hạn đo khác nhau, phải chế tạo sun với độ chính xác cao hơn độ chính xác của cơ cấu từ điện ít nhất là một cấp. Ví dụ cơ cấu từ điện chính xác 0,5 thì sun phải có chính xác 0,2. Vì vậy thường chế tạo sun bằng Mangannin và chính định rất chính xác. Do đó điện trở của sun không thay đổi theo nhiệt độ. Trong khi đó điện trở khung quay của cơ cấu chỉ thị làm bằng đồng thay đổi theo nhiệt độ.

$$r_{ct} = r_{cto} (1 + \alpha t) \quad (8-3)$$

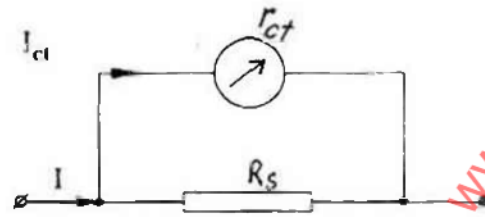
$r_{ct}$  : điện trở của cơ cấu ở nhiệt độ  $t^{\circ}\text{C}$

$r_{cto}$  : điện trở của cơ cấu ở  $0^{\circ}\text{C}$

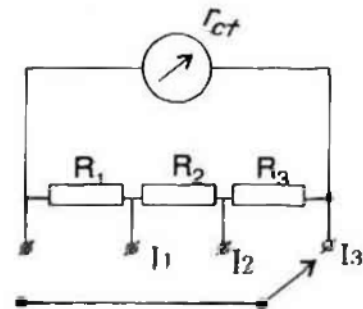
$\alpha$  : hệ số nhiệt độ của dây quấn trên khung quay (đối với đồng  $\alpha = 0,4\%/^{\circ}\text{C}$ )

Từ đây ta có thể tính sai số do nhiệt độ của Ampemét từ điện :

$$\begin{aligned} \Delta I_{ct} &= I_{cto} - I_{ct} \\ &= \frac{I \cdot R_A}{r_{cto}} - \frac{I \cdot R_A}{r_{ct}} = \frac{I \cdot R_s}{r_{cto} + R_s} - \frac{I \cdot R_s}{r_{ct} + R_s} \end{aligned}$$



Hình 8-1: Mắc điện trở Sun



Hình 8-2 :

Mở rộng thang đo của Ampemét

thay  $r_{ct} = r_{ct0} (1 + \alpha t)$  ta sẽ có :

$$\Delta I_{ct} = \frac{I R_s}{(r_{ct0} + R_s)} \frac{r_{ct0} \alpha t}{[r_{ct0} (1 + \alpha t) + R_s]}$$

Sai số do nhiệt độ của Ampemét :

$$\begin{aligned} \gamma_t \% &= \frac{\Delta I_{ct}}{I_{ct}} 100 = \frac{I R_s}{(r_{ct0} + R_s)} \frac{r_{ct0} \alpha t}{[r_{ct0} (1 + \alpha t) + R_s]} \frac{r_{ct0} (1 + \alpha t) + R_s}{I R_s} \\ &\approx \frac{r_{ct0} \alpha t}{r_{ct0}} 100 \approx \alpha t \cdot 100 \end{aligned} \quad (8-4)$$

Trong đó  $I$  : dòng điện chạy qua Ampemét

$R_A$  : điện trở của Ampemét ở nhiệt độ  $0^\circ\text{C}$

$R_{At}$  : điện trở của Ampemét ở  $t^\circ\text{C}$

$R_s$  : điện trở sun của Ampemét tương ứng với dòng điện  $I$ .

Ở những dụng cụ đo có độ chính xác thấp sai số do nhiệt độ  $\gamma_t$  thường nhỏ hơn sai số của cơ cấu. Ở những dụng cụ đo cấp chính xác cao,  $\gamma_t$  thường lớn hơn sai số cơ cấu. Để khắc phục nhược điểm này người ta phải tìm cách loại trừ hoặc giảm sai số do nhiệt độ.

Biện pháp đơn giản nhất là nối tiếp vào mạch cơ cấu chỉ thị một nhiệt điện trở  $R_T$  (h.8-3).

Theo sơ đồ này, sai số nhiệt độ được tính :

$$\gamma_t = \frac{r_{ct} \alpha t + R_T \beta t}{r_{ct} + R_T} \quad (8-5)$$

$\beta$ - Hệ số nở nhiệt của nhiệt điện trở.

Rõ ràng để bù hoàn toàn sai số nhiệt độ ( $\gamma_t = 0$ ) phải thỏa mãn điều kiện sau :

$$r_{ct} \alpha t = -R_T \beta t \quad (8-6)$$

Như vậy nhiệt điện trở phải có hệ số nhiệt độ âm (dùng nhiệt điện trở bán dẫn). Giá trị  $R_T$  được tính :

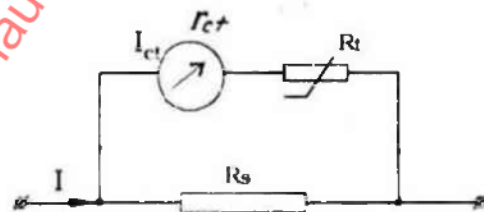
$$R_T = \frac{r_{ct} \alpha}{-\beta} \quad (8-7)$$

Điện trở sun của Ampemét này được tính :

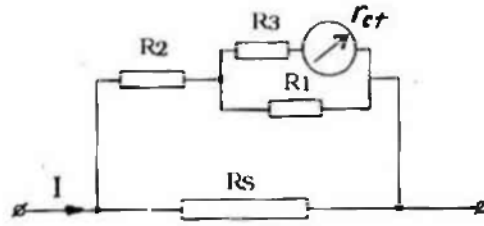
$$R_s = \frac{r_{ct} + R_T}{n - 1} \quad (8-8)$$

Nhiệt điện trở có hệ số nhiệt độ  $\beta$  càng lớn thì giá trị  $R_T$  càng nhỏ và  $R_s$  sẽ nhỏ, sai số hệ thống do Ampemét gây ra sẽ nhỏ.

Nhiệt điện trở bán dẫn là phần tử phi tuyến đối với nhiệt độ. Vì vậy nó chỉ bù hoàn toàn ở nhiệt độ nhất định. Điều này khó thực hiện. Thực tế trong các Ampemét từ điện, chính xác cao, ta thường bù nhiệt độ bằng nhiệt điện trở đồng, phối hợp với điện trở Manganin, bố trí mạch theo sơ đồ sau:



Hình 8-3 : Bù sai số do nhiệt độ



Hình 8-4 : Bù sai số do nhiệt độ

Trong sơ đồ này :  $R_2$  ;  $R_3$  bằng Manganin. Còn  $r_{ct}$  và  $R_1$  bằng đồng. Các điện trở này phải phối hợp với nhau sao cho khi dòng  $I$  không đổi ; nhiệt độ thay đổi vẫn giữ dòng qua cơ cấu không đổi.

### 8-2-3. Các Ampemét xoay chiều

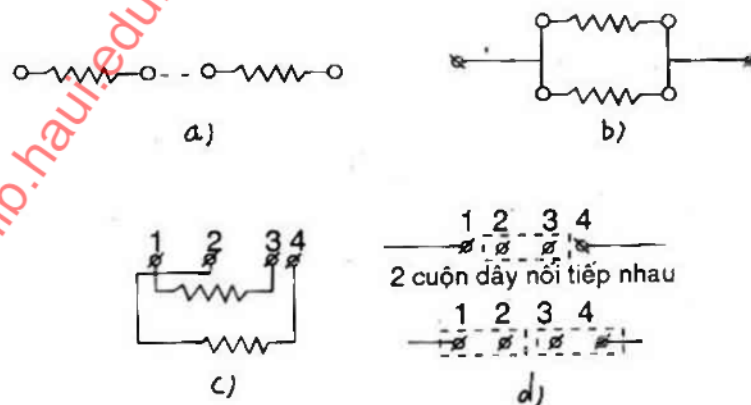
Để đo dòng điện xoay chiều miền tần số công nghiệp người ta thường dùng các Ampemét điện từ, điện động và sắt điện động.

Do dòng điện ở miền tần số âm tần và có thể dùng ở nhiều thang đo khác nhau, người ta thường sử dụng Ampe vòng từ điện chỉnh lưu. Ampemét nhiệt điện được dùng để đo dòng xoay chiều có tần số cao và siêu cao.

a) Ampemét điện từ được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị điện từ. Mỗi cơ cấu điện từ được chế tạo với số Ampe vòng nhất định (I.W). Đối với cơ cấu cuộn dây tròn thường có I.W = 200A. vòng; cuộn dây dẹt có I.W = 100 ÷ 150A. vòng. Loại mạch từ khép kín I.W = 50 ÷ 1000A. vòng. Như vậy để mở rộng thang đo của Ampemét điện từ chỉ cần thay đổi thể nào để bảo đảm I.W - const.

Ampemét điện từ nhiều thang đo được chế tạo bằng cách chia cuộn dây tính thành nhiều phân đoạn bằng nhau, thay đổi cách nối ghép các phân đoạn này (song song hoặc nối tiếp) để tạo các thang đo khác nhau.

Ví dụ Ampemét điện từ có hai thang đo: ta chia cuộn dây tính thành hai phần bằng nhau. Nếu nối tiếp hai phân đoạn với nhau ta sẽ đo được dòng điện là  $I$ . Và nếu nối song song hai phân đoạn với nhau ta sẽ đo được dòng điện là  $2I$  (h.8-5).

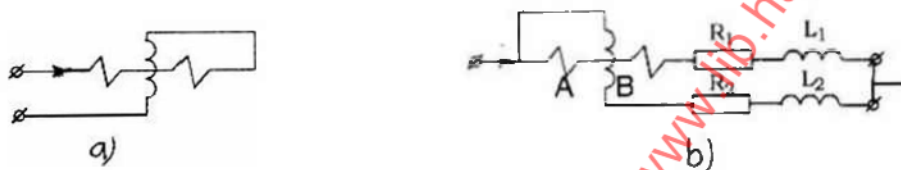


Hình 8-5 : Mở rộng thang đo của Ampemét điện từ

a) Đo được dòng điện  $I$ ; b) Đo được dòng điện  $2I$

Phương pháp phân đoạn cuộn dây tĩnh của cơ cấu điện từ cũng chỉ áp dụng để chế tạo Ampemét điện từ có nhiều nhất là ba thang đo, vì tăng số lượng thang đo, bố trí mạch chuyển thang đo phức tạp không thể thực hiện được. Người ta thường dùng biến dòng kết hợp với Ampemét điện từ để mở rộng giới hạn đo dòng xoay chiều.

b) *Ampemét điện động* thường dùng để đo dòng điện ở miền tần số cao hơn tần số công nghiệp (cỡ  $400 \div 2.000\text{Hz}$ ). Đồng thời như đã biết cơ cấu điện động là cơ cấu chính xác cao đối với tín hiệu xoay chiều vì vậy Ampemét điện động cũng có chính xác cao (0,2 ; 0,5) nên được sử dụng làm dụng cụ mẫu. Có hai loại sơ đồ mạch của Ampemét điện động : Khi dòng điện cần đo nhỏ hơn hoặc bằng 0,5A ( $I \leq 0,5\text{A}$ ) thì trong mạch của Ampemét cuộn dây động và cuộn dây tĩnh ghép nối tiếp nhau (h.8-6a). Khi dòng điện cần đo lớn hơn 0,5A ( $I > 0,5\text{A}$ ) thì trong sơ đồ mạch của Ampemét cuộn dây động và cuộn dây tĩnh ghép song song nhau (h.8-6b).



**Hình 8-6 : Cách sắp xếp mạch Ampemét điện động**

a) Mạch nối tiếp ; b) Mạch song song

A : cuộn dây tĩnh ; B : cuộn dây động

Các phần tử R và L trong sơ đồ Ampemét điện động đo dòng lớn hơn 0,5A dùng để tạo mạch bù sai số do tần số và làm cho dòng trong cuộn dây động và trong cuộn dây tĩnh cùng pha nhau.

Cách mở rộng thang đo và chế tạo Ampemét điện động nhiều thang đo giống như ở Ampemét điện từ.

Sai số do tần số của các Ampemét điện từ và điện động ở tần số vài kHz đến vài chục kHz khá lớn. vì vậy để đo dòng điện âm tần người ta thường dùng các Ampemét từ điện chỉnh lưu.

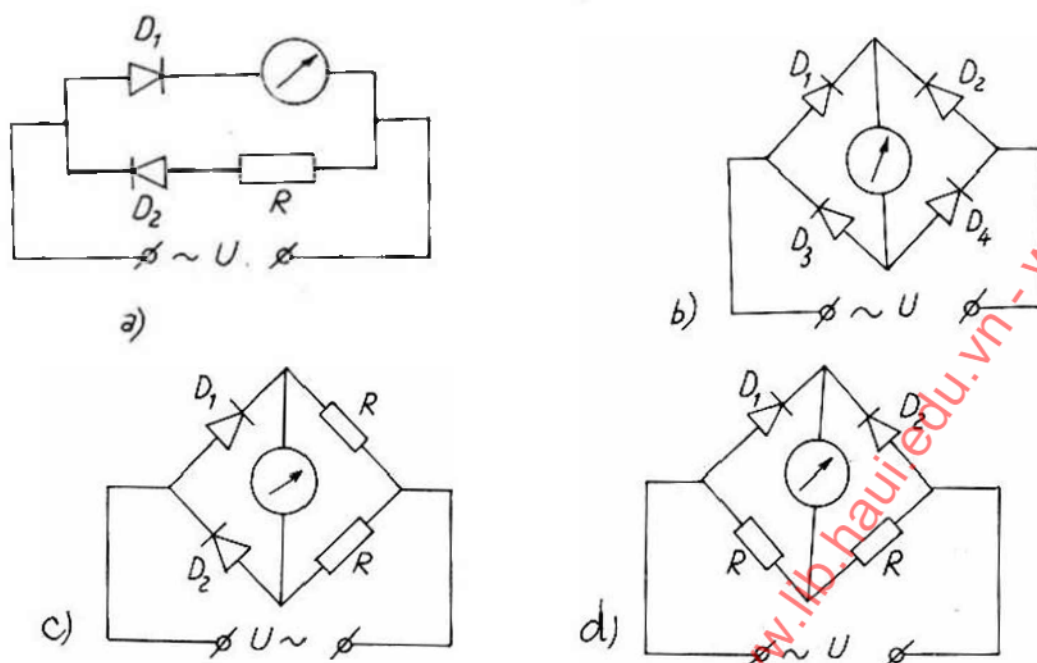
c) *Ampemét chỉnh lưu* là Ampemét kết hợp cơ cấu chỉ thị từ điện và mạch chỉnh lưu bằng diốt hoặc chỉnh lưu bằng cặp nhiệt ngẫu (gọi là Ampemét nhiệt điện).

Các mạch chỉnh lưu thường gặp trong các Ampemét chỉnh lưu.

Sơ đồ hình (h-8-7a) chỉnh lưu nửa chu kì. Sơ đồ (h-8-7b,c,d) chỉnh lưu hai nửa chu kì. Trong các mạch chỉnh lưu này dùng diốt dòng nhỏ (Si hoặc Ge). Các diốt có hệ số chỉnh lưu :

$$k_{cl} = \frac{R_{ng}}{R_{th}} = 10^5 \div 10^6$$

Ở hình b) dòng điện được chỉnh lưu hoàn toàn và qua cơ cấu chỉ thị. Vì vậy hệ số chỉnh lưu cao. Ở hình 8-7c một phần dòng được chỉnh lưu qua cơ cấu chỉ thị, phần còn lại qua điện trở R. Còn ở hình d, một phần dòng điện được chỉnh lưu và qua cơ cấu chỉ thị, phần còn lại qua điện trở R. Vì vậy ở hai sơ đồ này hệ số chỉnh lưu của mạch không cao.



Hình 8-7 : Các Ampemét chỉnh lưu

Nói chung các Ampemét chỉnh lưu, chính xác không cao vì hệ số chỉnh lưu thay đổi theo nhiệt độ, trong đó khi nhiệt độ thay đổi, điện trở thuận và ngược của diốt thay đổi không như nhau (cụ thể khi nhiệt độ tăng, điện trở ngược của diốt giảm nhiều hơn so với điện trở thuận. Dẫn đến hệ số chỉnh lưu sẽ giảm).

Khi tần số tín hiệu đo tăng thì hệ số chỉnh lưu cũng giảm vì bị ảnh hưởng của điện dung giữa các mặt tiếp giáp của các diốt. Do đó trong các Ampemét từ điện chỉnh lưu có cấp chính xác cao (cấp 1 trở lên) cần phải có mạch bù nhiệt độ và bù tần số.

Với cách bố trí các sơ đồ chỉnh lưu, các Ampemét chỉnh lưu sẽ chỉ giá trị trung bình của dòng xoay chiều, nhưng thông thường các dụng cụ điện từ, điện động... đo dòng xoay chiều, được khắc độ theo trị hiệu dụng vì vậy để thống nhất về khắc độ các dụng cụ đo dòng xoay chiều, các Ampemét chỉnh lưu cũng phải khắc độ theo trị hiệu dụng.

Cách biến đổi để khắc độ Ampemét chỉnh lưu theo trị hiệu dụng như sau :

- Mômen quay tức thời được biểu diễn :

$$M_t = B.S.W.i ; i = I_m \sin \omega t$$

Tính mômen quay trung bình trong một chu kì :

$$M_{tr,b} = \frac{1}{T} \int_0^T M_t dt = B.S.W \frac{1}{T} \int_0^T I_m \sin \omega t dt = B.S.W I_{tr,b}$$

$$\alpha = \frac{B.S.W}{D} I_{tr,b} \quad (\text{phương trình đặc trưng của cơ cấu từ điện}).$$

$$\text{Biến đổi : } \alpha = \frac{B.S.W}{D} I_{tr,b} \cdot \frac{1}{I}$$