

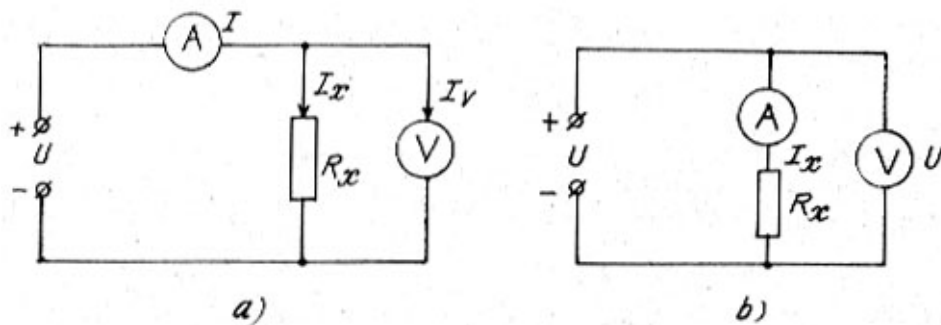
CHƯƠNG 13.**ĐO CÁC THÔNG SỐ MẠCH ĐIỆN (4 LT)**

Các thông số cơ bản của mạch điện gồm: điện trở R , điện dung (C) và dung kháng Z_C , điện cảm (L) và cảm kháng Z_L , góc tổn hao ($\text{tg}\delta$) và hệ số phẩm chất của cuộn dây (Q)... Các thông số này có thể được đo bằng nhiều phương pháp và thiết bị đo khác nhau: đo bằng phương pháp gián tiếp (dùng vônmet đo điện áp U , ampe mét đo dòng điện I qua điện trở, dùng định luật Ôm $R = U/I$ tính được kết quả điện trở R); hoặc dùng phương pháp trực tiếp đo R bằng các ômmét, faradômét, henrimét...; đo tổng trở Z và các thành phần của nó bằng các cầu xoay chiều...

Tùy thuộc vào yêu cầu và điều kiện cụ thể của bài toán đo lường mà ta chọn phương pháp và thiết bị đo cho phù hợp.

13.1. Các phương pháp đo điện trở.**13.1.1. Các phương pháp gián tiếp:**

- Đo điện trở bằng vônmet và ampe mét (H.13.1a,b):



Hình 13.1. Đo điện trở bằng vônmet và ampe mét

Dựa vào số chỉ của ampe mét và vônmet xác định được giá trị điện trở R'_x :

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

Giá trị thực R_x của điện trở cần đo được xác định theo cách mắc ampe mét và vônmet trong mạch như sau:

Hình 13.1a:
$$R_x = \frac{U}{I_x} = \frac{U}{I - I_v} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}}$$

Hình 13.1b:
$$R_x = \frac{U - U_A}{I_x} = \frac{U - I \cdot R_A}{I}$$

Như vậy giá trị R'_x tính theo độ chỉ của ampe mét và vônmet sẽ có sai số.

Sai số trong sơ đồ hình a) do độ chỉ của ampe mét là tổng dòng qua vônmet và dòng qua R_x tức là sai số phụ thuộc điện trở trong của vônmet (R_v):

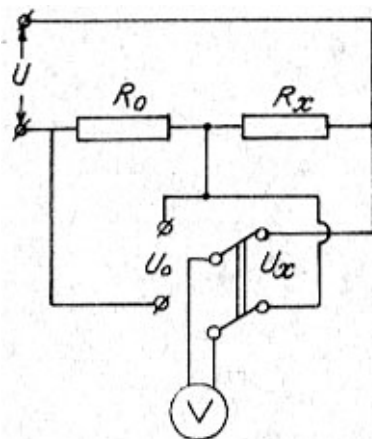
$$\beta_a \% = \frac{R'_x - R_x}{R_x} \cdot 100(\%) = -\frac{R_x}{R_x + R_v} \cdot 100(\%) \approx -\frac{R_x}{R_v} \cdot 100(\%)$$

Sai số trong sơ đồ hình b) do độ chỉ của vônmet là tổng điện áp rơi trên ampemét và điện trở rơi trên R_x , tức là sai số phụ thuộc điện trở trong của ampemét (R_A):

$$\beta_b \% = \frac{R'_x - R_x}{R_x} \cdot 100(\%) \approx \frac{R_A}{R_x} \cdot 100(\%)$$

Như vậy để bảo đảm sai số nhỏ nhất thì để đo điện trở R_x tương đối nhỏ nên dùng sơ đồ hình a), còn đo điện trở R_x tương đối lớn thì dùng sơ đồ hình b).

- Đo điện trở bằng vônmet và điện trở mẫu R_0 (H.13.2):



Hình 13.2. Đo điện trở bằng vônmet và điện trở mẫu

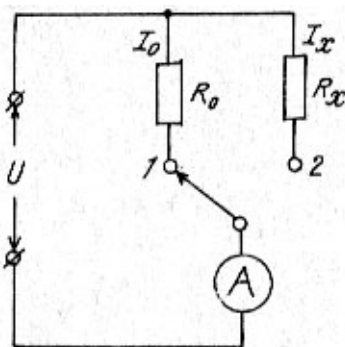
Điện trở R_x cần đo mắc nối tiếp với điện trở mẫu R_0 (có độ chính xác cao) và nối vào nguồn U . Dùng vônmet đo điện áp rơi trên R_x là U_x và điện áp rơi trên điện trở mẫu là U_0 .

Dựa trên giá trị các điện áp đo được tính ra giá trị điện trở cần đo R_x :

$$I_0 = I_x \Leftrightarrow \frac{U_0}{R_0} = \frac{U_x}{R_x} \Leftrightarrow R_x = \frac{U_x}{U_0} \cdot R_0$$

Sai số của phép đo điện trở này bằng tổng sai số của điện trở mẫu R_0 và sai số của vônmet (hoặc dụng cụ đo điện áp).

- Đo điện trở R_x bằng một ampemét và điện trở mẫu (R_0) (H.13.3):



Hình 13.3. Đo điện trở bằng một ampemét và điện trở mẫu

Điện trở R_x cần đo nối song song với điện trở mẫu R_0 và mắc vào nguồn cung cấp U . Dùng ampemét lần lượt đo dòng điện qua R_x là I_x và dòng qua R_0 là I_0 . Dựa trên giá trị các dòng điện đo được tính ra giá trị điện trở cần đo R_x :

$$U_0 = U_x \Leftrightarrow I_0 \cdot R_0 = I_x \cdot R_x \Leftrightarrow R_x = \frac{I_0}{I_x} \cdot R_0$$

Sai số của phép đo này bằng tổng sai số của điện trở mẫu R_0 và sai số của ampe-mét (hoặc dụng cụ đo dòng điện).

13.1.2. Các phương pháp trực tiếp:

Để đo trực tiếp điện trở thường sử dụng Ôm kế (Ohmmeter).

Nguyên lý của ôm kế: xuất phát từ định luật Ôm (Ohm's Law):

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

Nếu giữ cho điện áp U không thay đổi thì dựa vào sự thay đổi dòng điện qua mạch khi điện trở thay đổi có thể suy ra giá trị điện trở cần đo. Cụ thể nếu dùng mạch đo dòng điện được khắc độ theo điện trở R thì có thể trực tiếp đo điện trở R . Trên cơ sở đó người ta chế tạo các ôm kế đo điện trở.

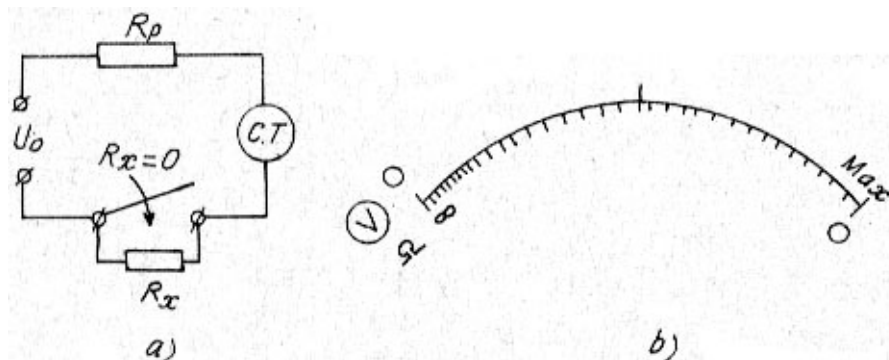
Phân loại ôm kế: phụ thuộc vào cách sắp xếp sơ đồ mạch đo của ôm kế có thể chia ôm kế thành hai loại:

- Ôm kế nối tiếp
- Ôm kế song song

13.2. Ohm kế (Ohmmeter).

13.2.1. Ôm kế nối tiếp:

Là ôm kế có điện trở cần đo R_x được nối tiếp với cơ cấu chỉ thị từ điện (H.13.4a):



Hình 13.4. Ôm kế nối tiếp:

a) Sơ đồ mạch đo ; b) Đặc tính thang chia độ

Các ôm kế sơ đồ nối tiếp thường dùng để đo các điện trở có giá trị Ω trở lên.

Trong sơ đồ cấu tạo có R_p dùng để bảo đảm sao cho khi $R_x = 0$ thì dòng qua cơ cấu chỉ thị là lớn nhất (lệch hết thang chia độ), tác dụng là để bảo vệ cơ cấu chỉ thị khỏi dòng quá lớn. Giá trị điện trở bảo vệ quá dòng R_p được tính:

$$R_p + r_{ct} = \frac{U_0}{I_{ct \max}} \Rightarrow R_p = \frac{U_0}{I_{ct \max}} - r_{ct}$$

với một cơ cấu nhất định sẽ có $I_{ct \max} = I_{ct \text{đm}}$ nhất định và $r_{ct} = r_{ct \text{đm}}$ nhất định

Điện trở trong của ôm kế: mỗi ôm kế cũng có điện trở trong nhất định, được tính như sau:

$$R_{\Omega} = r_{ct} + R_p = \frac{U_0}{I_{ct \max}}$$

như vậy: khi $R_x = 0$:
$$I_{ct\max} = \frac{U_0}{R_\Omega} = \frac{U_0}{r_{ct} + R_p}$$

khi $R_x \neq 0$:
$$I_{ct} = \frac{U_0}{r_{ct} + R_p + R_x} \rightarrow 0 \text{ khi } R_x \rightarrow \infty$$

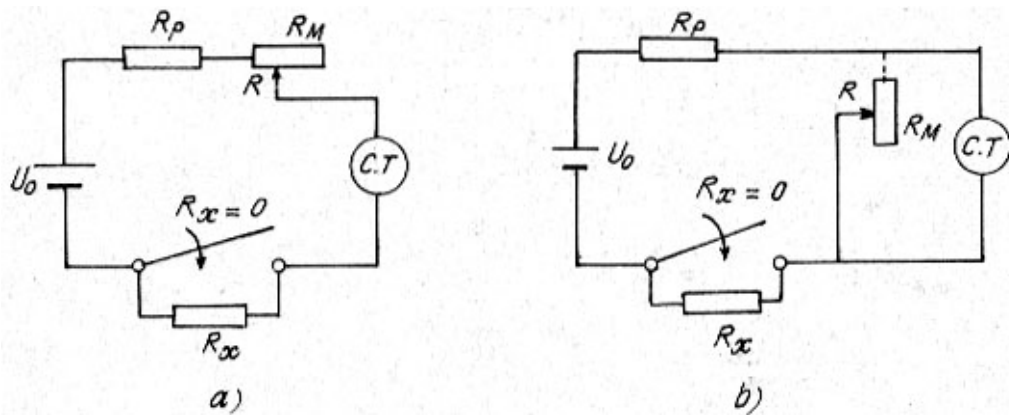
Từ nhận xét trên ta có thể vẽ đặc tính thang chia độ ôm kế nối tiếp như hình 13.4b. Ta nhận thấy rằng thang chia độ của ôm kế ngược với thang chia độ của vônmet (khi cùng sử dụng một cơ cấu chỉ thị: ví dụ như trong đồng hồ vạn năng chỉ thị kim).

Sai số của ôm kế do nguồn cung cấp: từ biểu thức tính I_{ct} thấy rằng độ chỉ của ôm kế rất phụ thuộc nguồn cung cấp U_0 thường bằng pin hoặc ắc quy, nếu nguồn thay đổi giá trị sẽ gây sai số rất lớn.

Ví dụ: Nếu $R_x = 0$ (chập hai đầu que đo) vì $U_{0T} < U_0$ chuẩn ban đầu thì kim ôm kế không chỉ zêro (chú ý là kim chỉ zêro khi dòng I_{ct} lớn nhất).

Để khắc phục điều này người ta có thể thay đổi từ cảm B trong nam châm vĩnh cửu (dạng sun từ) sao cho $B.U = \text{const}$. Tuy nhiên trong các dụng cụ vạn năng không thể dùng biện pháp này được mà thường hạn chế sai số do nguồn bằng cách đưa vào sơ đồ cấu trúc của đồng hồ đo một chiết áp hoặc biến trở R_M để chỉnh zêro khi $R_x = 0$ (chiết áp R_M trên hình 13.5).

Ôm kế nối tiếp hạn chế sai số do nguồn bằng biến trở R_M mắc nối tiếp với cơ cấu chỉ thị: hình 13.5a là sơ đồ ôm kế nối tiếp có biến trở R_M mắc nối tiếp với cơ cấu chỉ thị:



Hình 13.5. Ôm kế nối tiếp hạn chế sai số do nguồn:

a) biến trở R_M mắc nối tiếp với cơ cấu chỉ thị

b) biến trở R_M mắc song song với cơ cấu chỉ thị

Với sơ đồ này người ta tính các phần tử của mạch như sau:

Xác định điện trở phụ R_p sao cho khi $R_x = 0$ với $U_0 = U_{0\min}$ thì kim chỉ thị lệch toàn thang đo, lúc đó $R = 0$ (tức là không cần chiết áp).

$$R_p = \frac{U_{0\min}}{I_{ct\max}} - r_{ct}$$

Khi làm việc có thể $U_0 > U_{0\min}$, dòng $I_{ct\max}$ có thể tăng nếu giữ nguyên giá trị các thông số của mạch như đã tính toán ở trên. Muốn cho $I_{ct\max}$ không thay đổi thì phải điều chỉnh R_M sao cho R có giá trị phù hợp với thông số đã tính. Vậy để thỏa mãn yêu cầu thang đo của ôm kế thì điện trở toàn phần của biến trở R_M được

tính:

$$R_M \geq \frac{U_{0\max} - U_{0\min}}{I_{ct\max}}$$

tức là phải đảm bảo điều kiện chỉnh zêrô khi $U_0 = U_{0\max}$.

Điện trở vào của ôm kế sẽ là:

$$R_\Omega = R_p + R + r_{ct} = \frac{U_0}{I_{ct\max}}$$

Như vậy điện trở vào của ôm kế thay đổi theo sự thay đổi của áp nguồn cung cấp. Mỗi thang đo của ôm kế phù hợp với một trở vào nhất định. Do đó khi điện áp thay đổi sẽ gây sai số phụ cho phép đo. Sai số này được xác định bởi sự thay đổi tương đối của điện áp nguồn.

Ôm kế nối tiếp hạn chế sai số do nguồn bằng biến trở R_M mắc song song với cơ cấu chỉ thị: hình 13.5b là sơ đồ ôm kế nối tiếp có biến trở nối song song với cơ cấu chỉ thị.

Tính toán các phần tử của mạch sao cho khi $R_x = 0$, $U_0 = U_{0\min}$ muốn dòng qua chỉ thị lệch hết thang đo ($I_{ct\max}$) thì phải điều chỉnh biến trở sao cho nó có giá trị lớn nhất ($R = R_M$).

Nếu $U_0 > U_{0\min}$ với điều kiện như trên thì $I_{ct\max}$ sẽ tăng (quá thang đo), khi đó phải chỉnh biến trở sao cho $I_{ct\max}$ không thay đổi tức là ôm kế chỉ zêrô.

Điện trở vào của ôm kế theo sơ đồ này là:

$$R_\Omega = R_p + \frac{R \cdot r_{ct}}{R + r_{ct}}$$

Từ biểu thức này thấy rằng trong quá trình điều chỉnh zêrô bằng biến trở R_M thì điện trở vào của ôm kế cũng thay đổi theo. Tuy nhiên sự thay đổi này không thể vượt quá giá trị r_{ct} và do $R_p \ll r_{ct}$ nên điện trở vào của ôm kế loại này ít phụ thuộc điện áp cung cấp và khi áp cung cấp thay đổi cỡ 20÷30% thì sai số phụ chỉ vài %.

Ôm kế sơ đồ nối tiếp nhiều thang đo (H.13.6a,b): ôm kế nhiều thang đo được chế tạo theo nguyên tắc: chuyển từ giới hạn đo này sang giới hạn đo khác bằng cách thay đổi điện trở vào của ôm kế một số lần xác định sao cho khi $R_x = 0$ kim chỉ thị vẫn bảo đảm lệch hết thang đo (nghĩa là dòng qua cơ cấu chỉ thị bằng giá trị định mức của cơ cấu từ điện đã chọn).

Thường mở rộng giới hạn đo của ôm kế bằng cách dùng nhiều nguồn cung cấp và các điện trở phân nhánh dòng (điện trở sun) cho các thang đo khác nhau.

Ôm kế nhiều thang đo dùng nhiều nguồn cung cấp: có sơ đồ nguyên lý như hình 13.6a (ví dụ ở đây có hai thang đo ứng với giá trị 1 và 2).

Với giới hạn đo 1: khoá chuyển mạch B đặt ở vị trí 1: khi đó

$$R_{p1} = R_{\Omega 1} - R_{ab}$$

và nguồn cung cấp của thang đo này là U_1 .

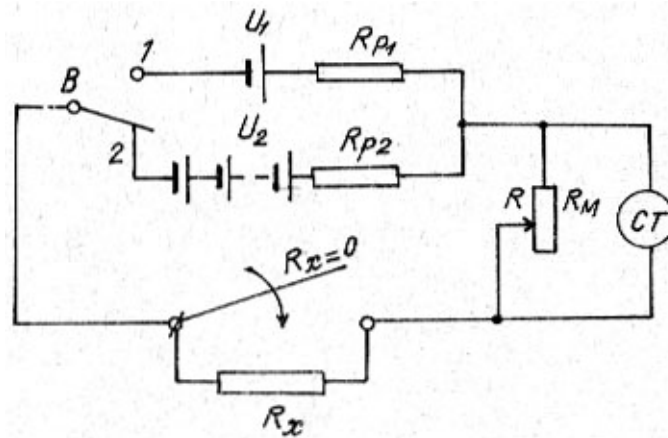
Điện trở R_{ab} là điện trở tương đương của r_{ct} mắc song song với R (một phần tử của R_M). Thường chọn $R \approx 0,75 R_M$.

Khi chuyển từ giới hạn đo 1 sang giới hạn đo 2 (do R_x lớn hơn ở giới hạn đo 1): đặt B ở vị trí 2. Lúc này $R_{\Omega 2} = 10R_{\Omega 1}$. Từ đó điện trở phụ của mạch cũng thay

đôi:

$$R_{p2} = R_{\Omega 2} - R_{ab}$$

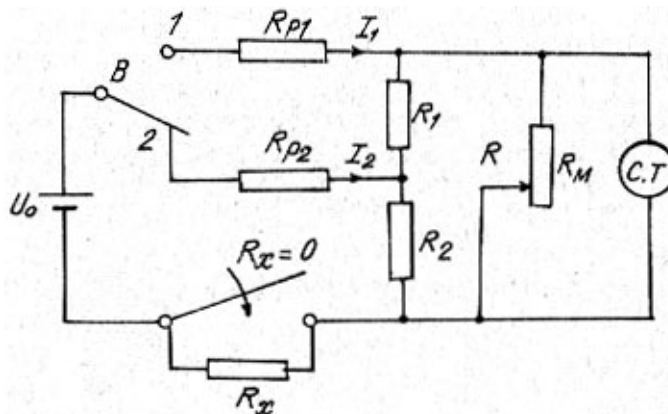
Với giá trị các thông số như trên, để đảm bảo kim chỉ thị lệch hết thang đo, yêu cầu nguồn cung cấp U_2 cũng phải tăng tương ứng, tức là: $U_2 = 10U_1$.



Hình 13.6a. Ôm kế sơ đồ nối tiếp nhiều thang đo dùng nhiều nguồn cung cấp

Khi sử dụng nguồn điện áp cao và chỉ thị đủ nhạy thì R_{Ω} có thể đạt hàng chục $M\Omega$ hoặc lớn hơn. Có thể dùng sơ đồ này để mở rộng giới hạn thang đo về phía điện trở nhỏ với điều kiện có thể giảm nguồn cung cấp xuống N lần.

Ôm kế nhiều thang đo chỉ dùng một nguồn cung cấp và điện trở phân nhánh dòng: khi điện trở vào của ôm kế R_{Ω} không lớn lắm (cỡ $k\Omega$ hoặc nhỏ hơn) thì có thể tạo ôm kế nhiều thang đo chỉ dùng một nguồn cung cấp và điện trở phân nhánh dòng có sơ đồ như hình 13.6b:



Hình 13.6b. Ôm kế nhiều thang đo chỉ dùng một nguồn cung cấp và điện trở phân nhánh dòng

Ở sơ đồ này vị trí 1 dùng để đo điện trở lớn và vị trí 2 dùng đo điện trở nhỏ hơn.

Khi chuyển từ vị trí 1 sang vị trí 2 thì điện trở vào của ôm kế R_{Ω} phải nhỏ đi N lần (ví $N = 10$), tức là $R_{\Omega 2} = 0,1.R_{\Omega 1}$, lúc đó nếu $R_x = 0$ thì dòng trong mạch sẽ tăng lên 10 lần: $I_2 = 10.I_1$.

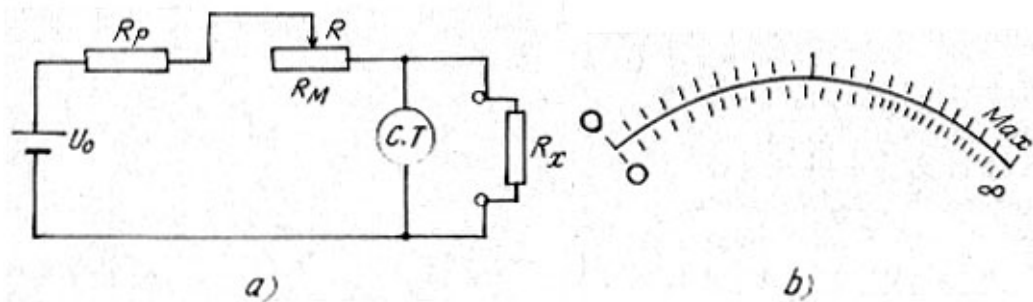
Để đảm bảo dòng qua chỉ thị không đổi thì phải mắc thêm các điện trở phân nhánh dòng (R_1, R_2) song song với cơ cấu chỉ thị.

13.2.2. Ôm kế sơ đồ song song:

Cấu tạo: theo sơ đồ nguyên lý như hình 13.7. Bộ phận chỉ thị của ôm kế nối

song song với điện trở cần đo (H.13.7a). Ôm kế loại này dùng để đo điện trở tương đối nhỏ ($R_x < k\Omega$).

Ưu điểm cơ bản: là đặt được điện trở vào của ôm kế (R_Ω) nhỏ khi dòng từ nguồn cung cấp không lớn lắm.



Hình 13.7. Ôm kế sơ đồ song song
a) Sơ đồ nguyên lý ; b) Đặc tính thang chia độ

Vì điện trở cần đo R_x mắc song song với cơ cấu chỉ thị nên khi $R_x = \infty$ (chưa mắc R_x vào mạch đo) thì dòng qua chỉ thị sẽ lớn nhất ($I_{ct} = I_{ctmax} = I_{ctd.m}$). Nếu $R_x \approx 0$ thì hầu như không có dòng qua cơ cấu chỉ thị: $I_{ct} \approx 0$. Như vậy thang đo của ôm kế loại này chung chiều với thang đo của vônmet (H.13.7b).

Điều chỉnh thang đo của ôm kế khi nguồn cung cấp thay đổi (thường điều chỉnh ứng với $R_x = \infty$ tức là hở mạch đo) bằng cách dùng chiết áp R_M . Xác định R_p và R_M của ôm kế giống như trường hợp ôm kế sơ đồ nối tiếp.

Điện trở vào của ôm kế song song được xác định như sau:

$$R_\Omega = \frac{(R_p + R).r_{ct}}{R_p + R + r_{ct}} = \frac{r_{ct}}{1 + \frac{r_{ct}}{R_p + R}}$$

Nhận biết tương quan giữa điện trở cần đo R_x và điện trở vào của ôm kế R_Ω qua vị trí kim chỉ trên thang đo: đặc tính khắc độ của ôm kế song song được xác định bởi tỉ số:

$$\frac{I_x}{I_{ct}} = \frac{R_x}{R_\Omega + R_x} = \frac{R_x / R_\Omega}{1 + R_x / R_\Omega}$$

như vậy:

- Khi $R_x < R_\Omega$ thì các giá trị sẽ chạy về phía trái thang đo đến giá trị “0” (ngược với ôm kế nối tiếp).
- Khi $R_x = R_\Omega$ thì $I_x / I_{ct} = 1/2$: tức là điểm giữa của thang chia độ tương ứng với giá trị điện trở cần đo bằng điện trở vào của ôm kế (giống ôm kế nối tiếp).
- Khi $R_x > R_\Omega$ thì các giá trị sẽ chạy về phía phải thang đo đến “ ∞ ”

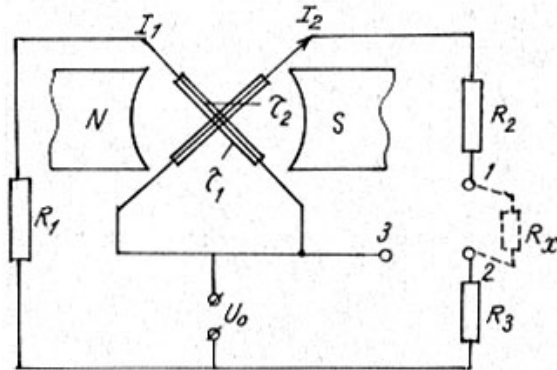
13.2.3. Ôm kế kiểu lôgômét:

Cấu tạo: có sơ đồ nguyên lý như hình 13.8. Cơ cấu đo kiểu lôgômét là cơ cấu có hai khung dây. Một khung dây tạo mômen quay và một khung dây tạo mômen phản kháng. Góc quay α của cơ cấu đo tỉ lệ với tỉ số hai dòng điện chạy trong hai khung dây. Trên cơ sở này người ta dùng chỉ thị kiểu lôgômét cho ôm kế nên gọi

là ôm kế kiểu lôgômét. Ta có:

$$I_1 = \frac{U_0}{R_1 + r_1} \quad ; \quad I_2 = \frac{U_0}{R_2 + R_3 + r_2 + R_x}$$

với: I_1 : dòng chạy qua khung dây 1 ; I_2 : dòng chạy qua khung dây 2.



Hình 13.8. Sơ đồ nguyên lý ôm kế kiểu lôgômét

Từ cảm B của nam châm vĩnh cửu tác dụng với dòng I_1 tạo ra mômen quay M_1 ; từ cảm B của nam châm vĩnh cửu tác dụng với dòng I_2 tạo ra mômen quay M_2 . Ở thời điểm cân bằng $M_1 = M_2$ từ đó có:

$$\alpha = F\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = F\left(\frac{R_2 + R_3 + r_2 + R_x}{R_1 + r_1}\right)$$

với r_1, r_2 là điện trở của các cuộn dây của lôgômét.

Với một cơ cấu nhất định thì các giá trị $R_1, R_2, R_3; r_1, r_2$ là hằng số nên góc α không phụ thuộc điện áp cung cấp U_0 .

Giới hạn đo của ôm kế được xác định bởi giá trị các điện trở R_1, R_2 và R_3 .

Nếu đo điện trở R_x tương đối lớn: dùng sơ đồ mắc nối tiếp (nối R_x vào hai đầu 1 và 2), đọc kết quả trên thang đo 1.

Nếu đo điện trở R_x nhỏ: dùng sơ đồ song song (nối R_x vào hai đầu 2 và 3), ngắn mạch 1 và 2 đọc kết quả trên thang đo 2.

13.3. Đo điện trở lớn.

13.3.1. Đo điện trở lớn bằng phương pháp gián tiếp:

Có thể đo điện trở lớn cỡ $10^5 \div 10^{10} \Omega$ (ví dụ: điện trở cách điện) bằng phương pháp vôn-ampe nhưng phải chú ý loại trừ ảnh hưởng của dòng điện rò qua dây dẫn hoặc cách điện của máy. Muốn loại trừ điện rò cần phải dùng màn hình chắn tĩnh điện hoặc dây có bọc kim.

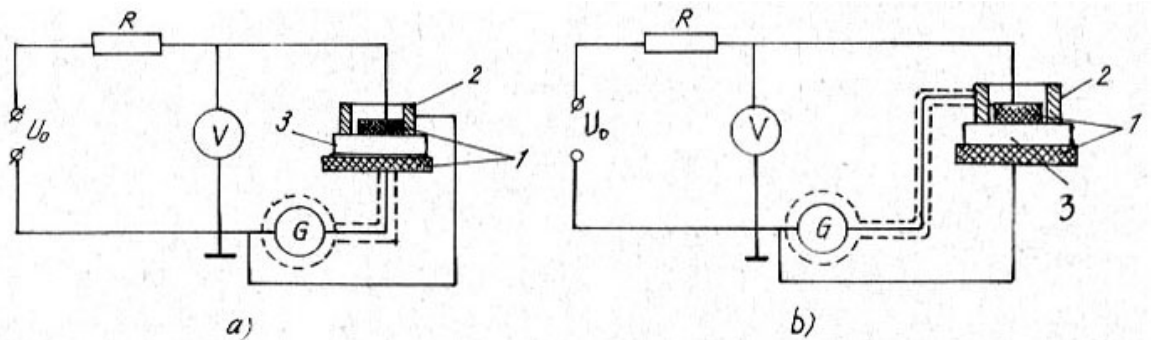
Sau đây xét ví dụ về mạch đo điện trở cách điện mặt và cách điện khối (H.13.9).

Đo điện trở cách điện khối: bố trí mạch đo như hình 13.9a: dùng điện kế G để đo dòng xuyên qua khối cách điện; còn dòng rò trên bề mặt của vật liệu sẽ qua cực phụ xuống đất. Điện trở cần đo được xác định nhờ độ chỉ của vôn-mét và điện kế (G):

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

Các điện trở R trong sơ đồ dùng để bảo vệ mạch đo, thường chọn khoảng $1 M\Omega$.

Đo điện trở cách điện mặt: bố trí sơ đồ mạch đo hình như hình 13.9b: ở đây dòng rò trên bề mặt của vật liệu được đo bằng điện kế, còn dòng xuyên qua khối vật liệu thì được nối qua cực chính xuống đất. Kết quả được xác định nhờ độ chỉ của vônmet và điện kế (G).

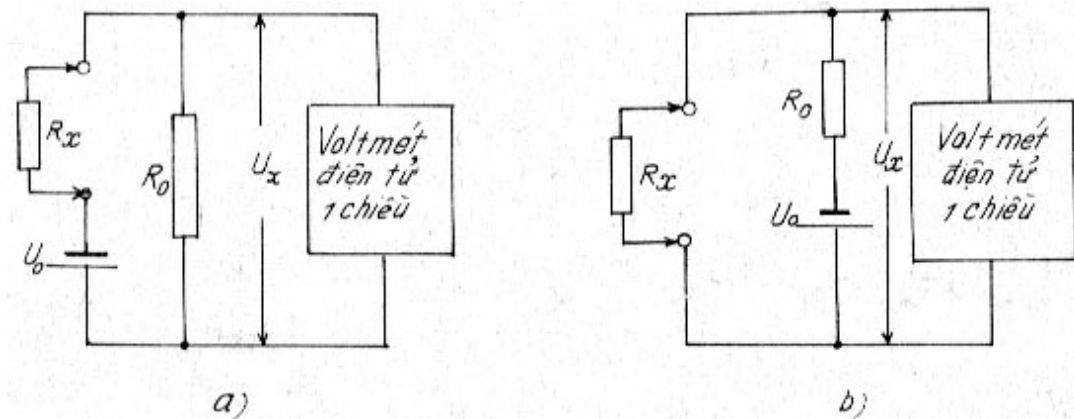


Hình 13.9. Mạch đo điện trở lớn bằng phương pháp gián tiếp:
a) Đo điện trở cách điện khối ; b) Đo điện trở cách điện mặt

1. Hai cực chính: đặt sát vật liệu cần đo.
2. Cực phụ
3. Vật liệu cần đo điện trở

13.3.2. Các ômmét điện tử và megômét điện tử:

Có thể dùng vônmet điện tử một chiều bất kì để đo điện trở cỡ trung bình và điện trở lớn với điều kiện phải thêm một sơ đồ đo ở đầu vào của vônmet này. Sơ đồ đo gồm nguồn cung cấp và điện trở nền R_0 . Mức điện áp nguồn cung cấp U_0 phụ thuộc vào tương quan giữa điện trở cần đo R_x và điện trở nền R_0 . Đó là cấu tạo của các ômmét điện tử (H.13.10):



Hình 13.10. Cấu tạo của các ômmét điện tử:

Ômmét điện tử sơ đồ hình 13.10a: điện áp U_x đưa vào vônmet điện tử được lấy từ điện trở R_0 được tính như sau :

$$U_x = \frac{U_0}{R_0 + R_x} \cdot R_0 = \frac{U_0}{1 + \frac{R_x}{R_0}}$$

Như vậy nếu giữ cho $U_0 \approx \text{const}$ và $R_0 \approx \text{const}$ thì U_x sẽ phụ thuộc R_x .

Khi $R_x = 0$: (tức là chập hai đầu que đo của ômmét) thì $U_x = U_0$ tức là điện áp U_x sẽ lớn nhất và dòng qua chỉ thị sẽ lớn nhất và kim chỉ thị lệch hết thang đo

(ứng với giới hạn đo đang đặt của vônmet điện tử U_n).

Ngược lại khi $R_x = \infty$: thì $U_x = 0$ tức là không có dòng qua cơ cấu chỉ thị của vônmet điện tử và kim chỉ thị ở tận cùng của bên trái thang chia độ.

Khi $R_x = R_0$: thì $U_x = U_0 / 2$, tức là kim chỉ thị ở giữa thang chia độ.

Như vậy đặc tính thang chia độ của ômmet loại này giống đặc tính thang chia độ của ômmet sơ đồ nối tiếp.

Ômmet điện tử sơ đồ hình 13.10b: điện áp U_x được đưa vào vônmet điện tử lấy từ điện trở R_x , được xác định như sau:

$$U_x = \frac{U_0}{R_x + R_0} \cdot R_x = \frac{U_0}{1 + \frac{R_0}{R_x}}$$

Như vậy:

Khi $R_x = 0$: thì $U_x = 0$ tức là không có dòng chạy qua cơ cấu chỉ thị của vônmet điện tử (kim ở vị trí tận cùng bên trái thang đo)

Khi $R_x = \infty$: thì $U_x = U_0 = U_n$, tức là dòng qua cơ cấu chỉ thị lớn nhất (ứng với giới hạn đo của vônmet điện tử đang chọn), kim chỉ thị ở vị trí tận cùng về bên phải thang chia độ.

Khi $R_x = R_0$: thì $U_x = U_0 / 2$, kim ở giữa thang chia độ.

Như vậy đặc tính thang đo của ômmet loại này giống đặc tính thang đo của ômmet sơ đồ song song.

Qua hai sơ đồ trên đây ta thấy rằng điện trở nền R_0 quyết định giới hạn đo của ômmet điện tử. Vì vậy để chế tạo ômmet điện tử nhiều giới hạn đo người ta tạo điện trở nền R_0 có nhiều giá trị khác nhau. Mỗi giá trị của R_0 ứng với một giới hạn đo nhất định của ômmet điện tử. Thường chọn các điện trở thành phần của R_0 lớn nhỏ hơn nhau 10 lần.

Giới hạn dưới của ômmet điện tử bị hạn chế bởi R_0 nhỏ vì cần tăng dòng trong mạch cung cấp khi R_0 nhỏ và sự ảnh hưởng của điện trở trọng của nguồn cung cấp.

Giới hạn trên của ômmet điện tử giới hạn bởi trở vào của vônmet điện tử. Thông thường trở vào của vônmet điện tử lớn hơn điện trở nền R_0 khoảng 30 đến 100 lần. Những vônmet một chiều bằng bán dẫn trường cho phép tạo nên những ômmet điện tử đo điện trở rất lớn có thể đo được điện trở cỡ 10^9 , $10^{10} \Omega$. Trong những ômmet (mêgômmet) như vậy giá trị R_0 cũng phải lớn (thường $R_0 = 100M\Omega$), nhưng R_0 lớn thì độ chính xác và ổn định sẽ kém. Trong các teraômmet điện tử, người ta dùng những phương pháp đặc biệt để đo điện trở lớn cỡ $10^{11}\Omega$.

Chọn điện áp nguồn U_0 phải dựa vào giới hạn đo của vônmet điện tử. Thường chọn U_0 khoảng 1,5V; 3V cho việc đo điện trở R_x cỡ trung bình. Nếu R_x rất lớn như điện trở cách điện thì phải chọn U_0 lớn. Thường U_0 được tạo ra bằng các bộ chỉnh lưu ổn áp và chuyển đổi một chiều.

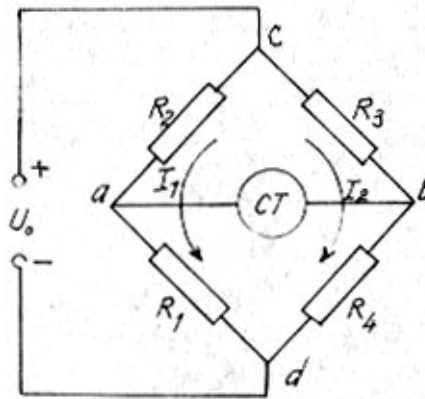
Trên cơ sở các ômmet điện tử, người ta chế tạo các dụng cụ đo điện năng (phối hợp đo U và R).

13.4. Cầu điện trở (cầu đơn, kép).

Cầu một chiều đo thuần trở thường gặp hai loại: cầu đơn và cầu kép.

13.4.1. Cầu đơn:

Sơ đồ nguyên lý như hình 13.11:



Hình 13.11. Cầu đơn một chiều đo điện trở

Cấu tạo: cầu gồm 4 nhánh thuần trở R_1 ; R_2 ; R_3 ; R_4 . Một đường chéo cầu (cd) nối với nguồn cung cấp một chiều U_0 , một đường chéo khác (ab) nối với chỉ thị cân bằng (CT).

Nguyên lý hoạt động: khi điện áp trên a và b bằng nhau tức là không có dòng qua cơ cấu chỉ thị ($r_{ct} = \infty$) thì cầu cân bằng ; ta có:

$$I_1 R_1 = I_2 R_4 \quad ; \quad I_1 R_2 = I_2 R_3$$

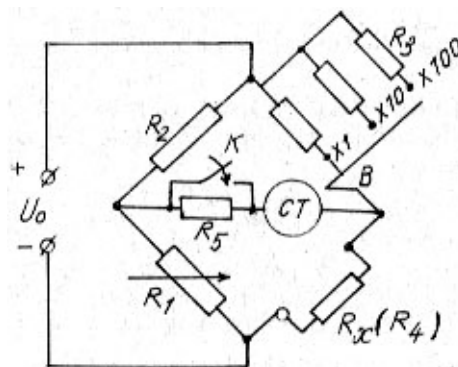
$$\Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3} \Leftrightarrow R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$$

Như vậy khi cầu cân bằng thì tích điện trở hai nhánh cầu đối nhau thì bằng nhau, nếu có một nhánh cầu có giá trị chưa biết thì ta có thể xác định theo tương mối quan hệ trên. Ví dụ nếu $R_4 = R_x$ chưa biết thì:

$$R_x = R_4 = \frac{R_1 R_3}{R_2}$$

Phụ thuộc vào cách cân bằng cầu, người ta chia cầu đơn thành hai loại: cầu hộp và cầu biến trở.

a) Cầu hộp: có sơ đồ nguyên lý như hình 13.12:



Hình 13.12. Sơ đồ nguyên lý cầu đơn một chiều dạng cầu hộp

Ở cầu hộp, ta cân bằng cầu khi đo bằng cách chọn một tỉ số R_3 / R_2 và giữ cố

định, thay đổi giá trị R_1 cho đến khi cầu cân bằng (bộ phận chỉ thị chỉ zêrô), đọc kết quả trên nhánh R_1 đem nhân với tỉ số R_3 / R_2 đã chọn sẽ được kết quả của phép đo.

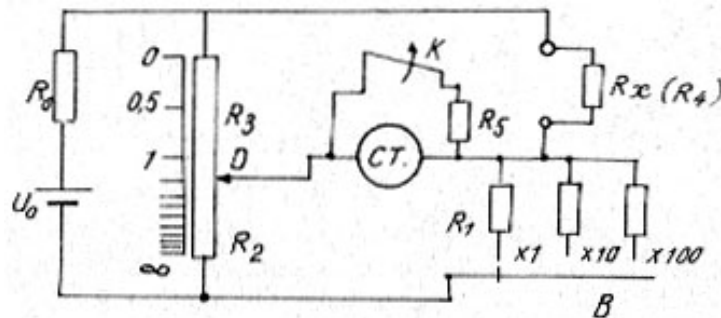
Từ biểu thức điều kiện cân bằng của cầu thấy rằng khi $R_3 = R_2$ thì $R_x = R_1$. Thông thường điện trở R_1 được chế tạo có dạng hộp điện trở hoặc biến trở chính xác cao, có nhiều mức điều chỉnh, khắc độ trực tiếp giá trị điện trở trên hộp này. Vì vậy nếu $R_3 = R_2$ thì giá trị điện trở R_x lớn nhất sẽ được xác định bằng điện trở toàn phần của R_1 .

Có thể mở rộng giới hạn đo của cầu hộp bằng cách tạo ra R_3 có nhiều giá trị lớn nhỏ hơn nhau 10 lần (H.13.12), dùng chuyển mạch B thay đổi tỉ số R_3 / R_2 .

Các sai số của phép đo điện trở bằng cầu hộp phụ thuộc vào độ ổn định, độ chính xác của các điện trở các nhánh cầu; phụ thuộc vào độ trễ của điện trở biến thiên (R_1); phụ thuộc độ chính xác và độ nhạy của chỉ thị cân bằng.

Thông thường, cầu được chế tạo bằng những điện trở mẫu chính xác cao, chỉ thị bằng điện kế gương, có độ nhạy cao nên sai số không vượt quá 0,1%.

b) Cầu biến trở: có sơ đồ nguyên lý như hình 13.13:



Hình 13.13. Sơ đồ nguyên lý cầu đơn một chiều dạng cầu biến trở

Trong cầu biến trở, việc cân bằng cầu được thực hiện bằng cách giữ cố định điện trở R_1 và điều chỉnh tỉ số R_3 / R_2 một cách đều đặn cho đến khi kim chỉ thị chỉ zêrô (tức là cầu đã cân bằng) và lấy kết quả đo.

Để thực hiện quá trình đo như vậy thì hai nhánh cầu R_2 và R_3 được tạo bởi một biến trở có con trượt, quấn trên ống thẳng hoặc đường tròn, dây điện trở thường bằng manganin. Tỉ số điện trở hai phần dây quấn hai bên con trượt D bằng tỉ số chiều dài hai phần ống này:

$$\frac{I_3}{I_2} = \frac{R_3}{R_2}$$

Thang chia độ giá trị tỉ số hai điện trở được khắc song song với ống dây điện trở này từ $0 \div \infty$ (H.13.13). Điểm giữa của thang chia độ tương ứng với trạng thái:

$$\frac{I_3}{I_2} = \frac{R_3}{R_2} = 1$$

Điều chỉnh vị trí con trượt D trên biến trở để đạt được điều kiện cân bằng của cầu. Giá trị điện trở cần đo R_x được xác định theo công thức :

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

Dải đo của cầu có thể mở rộng bằng cách chế tạo điện trở R_1 thành nhiều điện trở có giá trị khác nhau và thông qua chuyển mạch B để thay đổi các giá trị này.

Cầu biến trở có thể chế tạo gọn, nhẹ nhưng không chính xác bằng cầu hộp.

Trong hai sơ đồ cầu đơn trên (H.13.12 và H.13.13) có điện trở R_5 dùng để điều chỉnh độ nhạy của chỉ thị. Nghĩa là những lúc không thể cân bằng được cầu vì có một dòng điện tương đối lớn nào đó qua chỉ thị. Vì vậy sau khi điều chỉnh thô, để cân bằng cầu ta ấn khoá K để loại trừ R_5 ra khỏi mạch đo tiếp tục điều chỉnh tinh để cân bằng cầu.

Độ chính xác của trạng thái cân bằng của cầu phụ thuộc vào độ nhạy của chỉ thị và điện áp cung cấp. Vì vậy phải chọn điện áp cung cấp sao cho ở bất kỳ vị trí điều khiển nào và với bất kỳ điện trở R_x thì dòng qua chỉ thị không vượt quá dòng cho phép của chỉ thị.

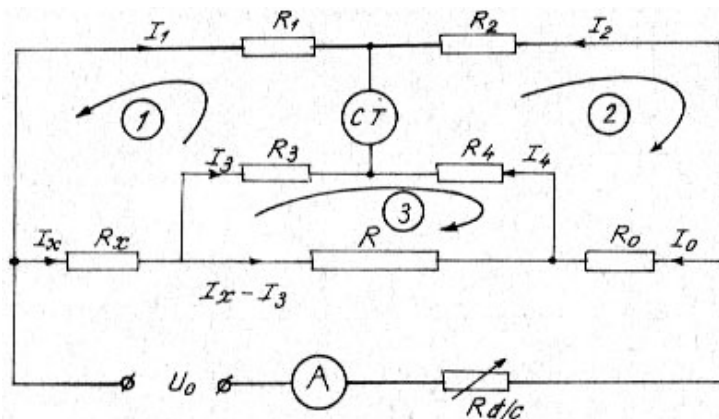
Giá trị điện trở cần đo càng lớn thì điện áp nguồn cung cấp (U_0) càng lớn. Khi đo R_x nhỏ cần phải giảm bớt U_0 đưa vào mạch cầu. Việc thay đổi giá trị của U_0 cho phù hợp với giá trị điện trở cần đo được thực hiện bằng R_0 .

Ứng dụng của cầu đơn: thường dùng cầu đơn để đo các điện trở có giá trị trung bình hoặc giá trị lớn.

13.4.2. Cầu kép:

Việc dùng cầu đơn để đo điện trở nhỏ (khoảng dưới 1Ω) thường không thuận tiện và sai số lớn vì bị ảnh hưởng của điện trở nối dây và điện trở tiếp xúc... Trong trường hợp này phải sử dụng cầu kép để đo điện trở nhỏ và rất nhỏ.

Cấu tạo của cầu kép: như hình 13.14:



Hình 13.14. Cấu tạo của cầu kép

Cầu kép gồm: các điện trở R_1 ; R_2 ; R_3 ; R_4 và R là điện trở của các nhánh cầu ; R_x là điện trở cần đo và R_0 là điện trở mẫu chính xác cao. Để tránh điện trở tiếp xúc khi nối các điện trở vào mạch bằng cách chế tạo R_0 và R_x dưới dạng các điện trở 4 đầu.

Nguyên lý hoạt động của cầu kép: khi cân bằng cầu ta có:

$$\begin{cases} I_1 = I_2 \\ I_3 = I_4 \\ I_x = I_0 \end{cases} \quad \text{và} \quad \begin{cases} I_x \cdot R_x + I_3 \cdot R_3 - I_1 \cdot R_1 = 0 \\ I_0 \cdot R_0 + I_4 \cdot R_4 - I_2 \cdot R_2 = 0 \\ I_3 \cdot R_3 - I_4 \cdot R_4 - (I_x - I_3) \cdot R = 0 \end{cases} \quad (\text{theo Kirchoff II})$$

Giải các hệ phương trình trên ta được giá trị điện trở cần đo R_x :

$$R_x = R_0 \cdot \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_4 \cdot R}{R + R_3 + R_4} \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right)$$

Để đơn giản cho việc điều chỉnh cân bằng cầu khi đo thì khi chế tạo phải bảo đảm sao cho:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad \text{hoặc} \quad R \approx 0$$

khi đó phương trình cân bằng cầu sẽ là:

$$R_x = R_0 \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

Như vậy khi đo R_x chỉ cần thay đổi giá trị R_0 và tỉ số R_1 / R_2 để cân bằng cầu.

Cấp chính xác của cầu một chiều phụ thuộc giới hạn đo của cầu.

Ví dụ: cầu P329 của Liên Xô (cũ) có các giới hạn đo và cấp chính xác sau:

Loại cầu	Giới hạn đo (Ω)	Cấp chính xác %
Cầu kép	$10^{-6} \div 10^{-5}$	1,00
	$10^{-5} \div 10^{-4}$	0,50
	$10^{-4} \div 10^{-3}$	0,10
	$10^{-3} \div 10^{+2}$	0,05
Cầu đơn	$50 \div 10^5$	0,05
	$10^5 \div 10^6$	0,50

13.5. Đo điện dung và góc tổn hao của tụ điện.

13.5.1. Khái niệm về điện dung và góc tổn hao:

Đối với tụ điện lý tưởng thì không có dòng qua hai tấm bản cực tức là tụ điện không tiêu thụ công suất. Nhưng thực tế vẫn có dòng từ cực này qua lớp điện môi đến cực kia của tụ điện, vì vậy trọng tụ có sự tổn hao công suất. Thường sự tổn hao này rất nhỏ và người ta thường đo góc tổn hao ($\text{tg}\delta$) của tụ để đánh giá tụ điện.

Để tính toán, tụ điện được đặc trưng bởi một tụ điện lý tưởng và một thuần trở mắc nối tiếp nhau (đối với tụ có tổn hao ít) hoặc mắc song song với nhau (đối với tụ có tổn hao lớn), trên cơ sở đó xác định góc tổn hao của tụ (H.13.15a,b):

$$\text{tg}\delta = \frac{U_R}{U_C}$$

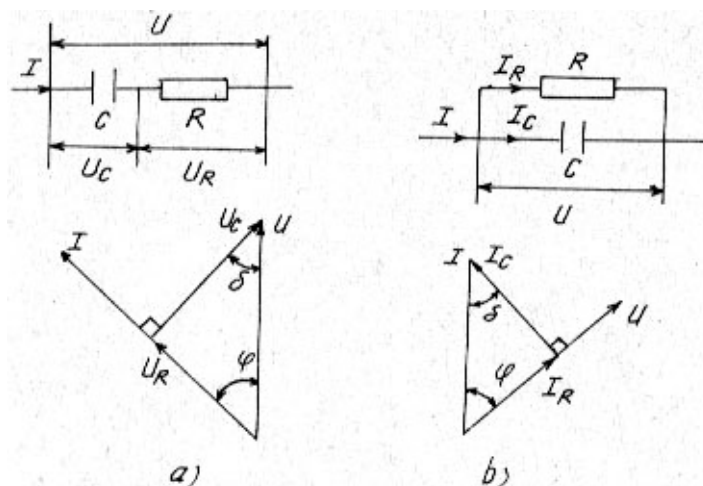
với δ là góc tổn hao của tụ điện được tạo bởi vectơ U và vectơ U_C .

Với tụ tổn hao ít (H.13.15a): dựa vào sơ đồ vectơ xác định được góc tổn hao như sau:

$$\text{từ: } \begin{cases} U_R = I \cdot R \\ U_C = I \cdot \frac{1}{\omega \cdot C} \end{cases} \Rightarrow \text{tg}\delta = \frac{U_R}{U_C} = \omega \cdot R \cdot C$$

Với tụ tổn hao lớn (H.13.15b): cũng cách chứng minh như trên ta xác định được góc tổn hao $\text{tg}\delta$:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega \cdot R \cdot C}$$

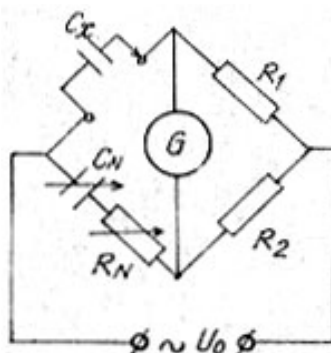


Hình 13.15. Sơ đồ mạch tương đương và biểu đồ vector để tính góc tổn hao của tụ điện:
a) Tụ tổn hao ít ; b) Tụ tổn hao lớn

13.5.2. Các loại cầu đo điện dung và góc tổn hao:

Thường dùng cầu xoay chiều bốn nhánh để đo các thông số của tụ.

a) Cầu đo tụ điện tổn hao ít: có sơ đồ như hình 13.16:



Hình 13.16. Cầu đo tụ điện tổn hao ít

Cấu tạo: cầu gồm bốn nhánh. Hai nhánh R_1 , R_2 thuần trở. Một nhánh là điện dung mẫu điều chỉnh được gồm: điện dung thuần C_N và điện trở thuần R_N điều chỉnh được. Nhánh còn lại là điện dung cần đo C_x . Một đường chéo của cầu nối với điện kế (G) chỉ sự cân bằng cầu. Đường chéo còn lại nối với nguồn cung cấp xoay chiều (U_0).

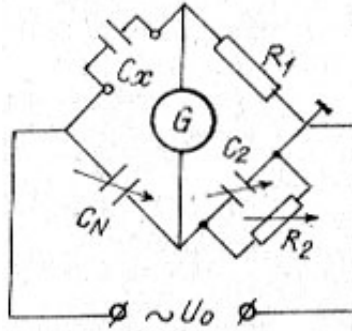
Nguyên lý hoạt động: khi cầu cân bằng có mối quan hệ:

$$R_2 \cdot \left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x} \right) = R_1 \cdot \left(R_N + \frac{1}{j\omega C_N} \right)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_N \\ C_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot C_N \end{cases} \Rightarrow \operatorname{tg} \delta = \omega \cdot R_x \cdot C_x = \omega \cdot R_N \cdot C_N$$

Quá trình đo: đầu tiên điều chỉnh cho $R_N = 0$. Tiếp theo thay đổi tỉ số R_1/R_2 cho đến khi nào chỉ thị cân bằng chỉ dòng nhỏ nhất. Điều chỉnh R_N và C_N cho đến khi cầu cân bằng (không có dòng qua G). Đọc kết quả trên R_N và C_N và tính toán theo biểu thức trên sẽ được tgδ.

b) Cầu đo tụ điện có tổn hao lớn hoặc đo tổn hao trong vật liệu cách điện: có sơ đồ cầu như hình 13.17:



Hình 13.17. Cầu đo tụ điện có tổn hao lớn hoặc đo tổn hao trong vật liệu cách điện

Cấu tạo: với sơ đồ này nếu mắc trực tiếp R_2 có giá trị lớn vào nhánh cầu thứ hai thì sẽ giảm độ nhạy của cầu vì vậy người ta nối song song R_2 và C_2 trong nhánh cầu thứ hai.

Nguyên lý hoạt động: khi cầu cân bằng có:

$$\left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x} \right) \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{R_2} + j\omega C_2 \right)} = R_1 \cdot \frac{1}{j\omega C_N}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_x = \frac{C_2}{C_N} \cdot R_1 \\ C_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot C_N \end{cases} \Rightarrow \operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega R_x C_x} = \frac{1}{\omega R_2 C_2}$$

Quá trình đo: giống như trường hợp cầu đo điện dung tổn hao ít.

13.6. Cầu ghi tự động.