

CHƯƠNG 15.

ĐO VÀ THỬ NGHIỆM CÁC ĐẠI LƯỢNG TỪ (2 LT)

15.1. Các cơ sở chung.

Trong các thiết bị điện và điện tử sử dụng rất nhiều vật liệu từ, các phương pháp từ cũng được sử dụng trong nghiên cứu vật liệu bán dẫn, siêu dẫn và các hạt cơ bản. Trong việc thăm dò khoáng sản phương pháp từ cũng chiếm vai trò quan trọng.

Nội dung của đo lường từ được tóm tắt như sau:

1. Đo các đại lượng từ: đo cường độ từ trường H , cảm ứng từ B : trong không khí, trong các vật liệu từ như:

- Đo cường độ từ trường Trái đất, các thiên thể
- Đo trường phân bố từ trường trong thăm dò địa chất và thám không.
- Đo mômen từ
- ...

2. Nghiên cứu vật liệu sắt từ: vật liệu sắt từ có hai loại: sắt từ cứng và sắt từ mềm.

Trong vật liệu sắt từ mềm thường cần xác định đường quan hệ $B(H)$ hoặc $\mu(H)$. Ngoài ra còn cần đo cảm ứng từ bão hòa B_s , lực khử từ H_C .

3. Trong các thiết bị điện có hình dáng mạch từ phức tạp: việc đánh giá hiệu quả của mạch từ được thực hiện bằng phương pháp đo cường độ từ trường, cảm ứng từ trong các bộ phận khác nhau của mạch từ.

4. Trong nghiên cứu cấu trúc vật chất: phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân và cộng hưởng từ điện tử là một trong các phương pháp có hiệu quả và đạt độ chính xác cao.

5. Xác định khuyết tật trong các chi tiết máy và xác định kích thước của các chi tiết trong gia công cơ khí bằng phương pháp từ: là lĩnh vực quan trọng của đo lường từ. Khuyết tật có thể xác định tổng hợp hay cục bộ thông qua từ dẫn hoặc điện trở suất của chi tiết, hoặc thông qua điện cảm L hay hồ cảm M của cuộn dây có lõi là chi tiết kiểm tra.

15.2. Các phương pháp đo từ thông, cảm ứng từ, cường độ từ trường.

15.2.1. Tổng quan các phương pháp đo từ thông, cảm ứng từ, cường độ từ trường:

Trong các lĩnh vực khác nhau khoảng đo rất khác nhau và yêu cầu về độ chính xác khác nhau, khả năng phân ly cũng rất khác nhau. Tuy nhiên ta cũng có thể suy ra các đại lượng cơ bản cần đo và những ứng dụng của chúng trong các lĩnh vực khác nhau. Nói chung đo các đại lượng từ được quy về các phép đo: đo cường độ từ trường, đo cảm ứng từ, đo từ thông.

Đo cường độ từ trường, cảm ứng từ hay từ thông liên quan đến nhau. Đại đa số trường hợp ta có thể đo các đại lượng này để suy ra các đại lượng kia. Vì thế mà đại đa số các thiết bị đo từ được gọi là từ thông kế (Teslamet) chủ yếu đo từ

thông Φ và cảm ứng từ B . Từ kế magnetomet - chủ yếu đo cường độ từ trường H .

Đặc điểm thứ hai của đo lường từ đó là khi có thiết bị đo không phải là đã có thể đo ngay được các đại lượng từ cần thiết mà nhiều khi còn phải tính toán tạo mẫu thử và việc này cũng đòi hỏi những kiến thức tối thiểu về đo lường từ.

Các đại lượng từ nói trên có quan hệ với nhau thông qua quan hệ sau:

$$\psi = \Phi \cdot W \quad (15.1)$$

trong đó: ψ - từ thông móc vòng
 Φ - từ thông
 W - số vòng dây của cuộn dây móc vòng vào từ thông

$$\Phi = B \cdot S \quad (15.2)$$

trong đó: B - từ cảm ứng
 S - diện tích mà từ cảm xuyên qua.

$$B = \mu \cdot H \quad (15.3)$$

trong đó: μ - Hệ số dẫn từ của vật liệu
 H - Cường độ từ trường.

$$H = \frac{I \cdot W}{l} \quad (15.4)$$

trong đó: $I \cdot W = F$: sức từ động do cuộn dây kích từ tạo ra
 l - chiều dài của mạch từ

Ta có:
$$\Phi = \frac{I \cdot W}{\frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{S}}$$

Từ trở của mạch từ:
$$R_M = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{S}$$

Điện cảm của cuộn dây:
$$L = \frac{\psi}{I} = \frac{W^2}{\frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{S}} = \frac{W^2}{R_M} \quad (15.5)$$

Các phương pháp đo các đại lượng từ:

<ul style="list-style-type: none"> - Phương pháp cảm ứng - Từ thông kế từ điện - Đo từ thông bằng điện kế xung kích - Từ thông kế theo phương pháp khuếch đại tích phân 	<ul style="list-style-type: none"> - Từ thông kế chuyển đổi Hall - Đo từ trường bằng cảm biến điều chế (dò từ) - Đo từ trường bằng phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân - Đo từ trường bằng hiệu ứng siêu dẫn
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

15.2.2. Phương pháp cảm ứng:

Nguyên lý hoạt động: điểm cơ bản của phương pháp này là tạo ra một sự biến thiên từ thông móc vòng vào một cuộn dây đo lường. Biến thiên từ thông móc vòng cảm ứng ra sức điện động:

$$e = \frac{d\psi}{dt} \Rightarrow d\psi = e dt$$

lấy tích phân $d\psi$ ta được:

$$\psi = [\psi]_{t_1}^{t_2} = \int_{t_1}^{t_2} e dt \Rightarrow \psi_2 - \psi_1 = \Delta\psi = \int_{t_1}^{t_2} e dt$$

hoặc: $\Delta\psi = R \cdot q$

với q là điện tích chạy trong mạch đo.

Để tạo ra sự biến thiên từ thông có thể làm như sau:

- Rút cuộn dây đo ở trong từ trường cần đo ra ngoài không khí như thế ψ_1 là từ trường cần đo, còn $\psi_2 = 0$.

- Quay ngược cuộn dây để cho từ thông móc vòng biến thiên từ $-\psi$ đến $+\psi$

- Quay cuộn dây trong từ trường cần đo, đo sức điện động cảm ứng:

$$e = \psi_{\max} \omega \cdot \cos \omega t$$

- Thay đổi chiều dòng điện kích từ trong mạch từ:

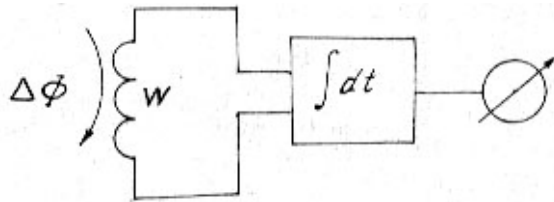
$$\Delta\psi = 2\psi_{do}$$

- Rung cuộn dây đo với biên độ không đổi, tạo ra sự biến thiên từ thông $\Delta\psi = \psi_{\max} - \psi_{\min}$, sức điện động cảm ứng được đưa vào một khuếch đại tích phân: điện áp ra của khuếch đại sẽ là :

$$U = \int_0^t e \cdot dt$$

Như vậy U - tỷ lệ với từ thông móc vòng của cuộn dây đo. Ta gọi thiết bị này là từ thông kế.

Cấu tạo: có sơ đồ nguyên lý cấu tạo như hình 15.1:



Hình 15.1. Sơ đồ nguyên lý cấu tạo của từ thông kế theo phương pháp cảm ứng

15.2.3. Từ thông kế từ điện:

Nguyên lý hoạt động: trong từ thông kế từ điện, dụng cụ tích phân là một cơ cấu từ điện không có mômen phản kháng tức là dòng điện vào ra từ thông kế đi qua một dây mảnh không có mômen phản kháng. Điện trở cuộn dây đo và khung quay của từ thông kế nhỏ vì vậy thành phần chủ yếu của mômen trong hệ cơ khí này là thành phần cản dộ.

Phương trình cân bằng mômen trong hệ này là:

$$P \cdot \frac{d\alpha}{dt} = M_q = B \cdot S \cdot W \cdot I$$

với: P là hệ số cản dộ: $P = \frac{1}{B \cdot S \cdot W}$

M_q - mômen quay gây nên bởi dòng điện cảm ứng:

$$M_q = B \cdot S \cdot W \cdot I = \frac{B \cdot S \cdot W}{R} \cdot e$$

Phương trình trở thành:

$$\frac{R}{(B.S.W)^2} \cdot d\alpha = e dt$$

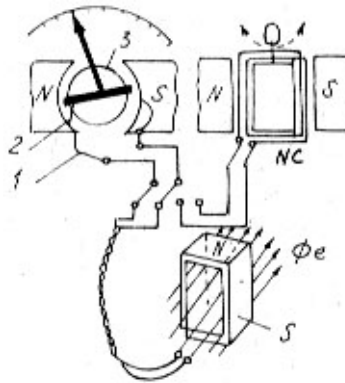
Lấy tích phân hai vế:

$$\begin{aligned} \frac{R}{(B.S.W)^2} \cdot [\alpha]_{\alpha_1}^{\alpha_2} &= \int_{t_1}^{t_2} e dt = [\psi]_{t_1}^{t_2} \\ \Rightarrow \alpha_1 - \alpha_2 &= \frac{(B.S.W)^2}{R} [\psi_2 - \psi_1] \\ \Leftrightarrow \Delta \psi &= RC_\Phi (\alpha_2 - \alpha_1) \end{aligned}$$

với C_Φ được gọi là hằng số từ thông kế:

$$C_\Phi = \frac{1}{(B.S.W)^2}$$

Cấu tạo: như hình 15.2:



Hình 15.2. Sơ đồ nguyên lý cấu tạo của từ thông kế từ điện.

15.2.4. Đo từ thông bằng điện kế xung kích:

Nguyên lý hoạt động: điện kế xung kích là một cơ cấu từ điện có quán tính của phần động rất lớn, do đó thành phần chủ yếu trong phương trình cân bằng mômen là mômen động năng.

Ta có thể viết:

$$J \cdot \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \frac{P \cdot d\alpha}{dt} + D \cdot \alpha = B.S.W \cdot I$$

tích phân 2 vế ta có:

$$J \cdot \frac{d\alpha}{dt} + P \cdot \alpha = B.S.W \cdot q$$

Với $v = \frac{d\alpha}{dt}$ có:

$$J \cdot v + P \cdot \alpha = B.S.W \cdot q$$

Tại thời điểm $v = 0$ ta coi $\alpha = \alpha_{\max}$, phương trình trên trở thành:

$$P \cdot \alpha_{\max} = B.S.W \cdot q \Rightarrow \alpha_{\max} = \frac{B.S.W \cdot q}{P}$$

mặt khác hệ số cản dịu P là: $P = \frac{1}{B.S.W}$

suy ra:

$$\alpha_{\max} = (B.S.W)^2 q$$

với q là điện tích chạy trong mạch đo: $q = \Delta\psi / R$

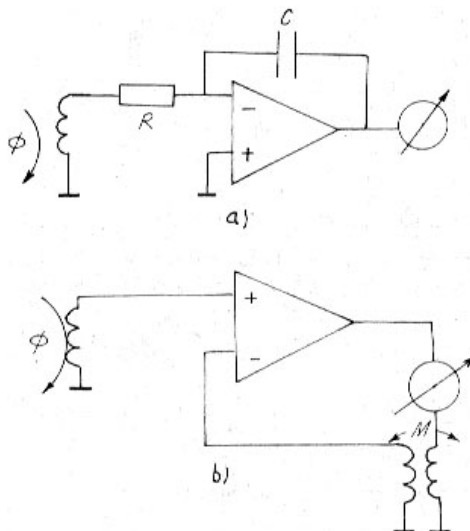
như vậy: $\alpha_{\max} = \frac{(B.S.W)^2 \Delta\psi}{R} \Rightarrow \Delta\psi = R.C_b . \alpha_{\max}$

với: C_b : hằng số xung kích của điện kế

R : tổng điện trở trong mạch đo

15.2.5. Từ thông kế theo phương pháp khuếch đại tích phân:

Cấu tạo: khuếch đại tích phân có thể thực hiện trên khuếch đại thuật toán hay một khuếch đại có hệ số khuếch đại lớn, phản hồi bằng mạch RC hay bằng cuộn dây hồ cảm. Sơ đồ của từ thông kế bằng khuếch đại tích phân cho ở hình 15.3:



Hình 15.3. Sơ đồ của từ thông kế bằng khuếch đại tích phân

Nguyên lý hoạt động: trong sơ đồ hình 15.3a ta có :

$$U_{ra} = \frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} e dt = \frac{1}{RC} \Delta\psi \quad \text{và:} \quad \Delta\psi = (U_2 - U_1) RC$$

với: U_1 : điện áp đầu ra ứng với ψ_1

U_2 : điện áp đầu ra ứng với ψ_2

Trong sơ đồ hình 15.3b ta có: mạch phản hồi là cuộn dây hồ cảm M_{12}

Sức điện động đầu vào $e_v = d\psi / dt$ được cân bằng với sức điện động hồ cảm

$e_k = M_{12} . dI / dt$, suy ra:

$$\frac{d\psi}{dt} = M_{12} \frac{dI}{dt}$$

lấy tích phân hai vế ta có:

$$\begin{aligned} [\psi]_{t_1}^{t_2} &= M_{12} [I]_{t_1}^{t_2} \\ \Delta\psi &= \psi_2 - \psi_1 = M_{12} . [I_2 - I_1] \end{aligned}$$

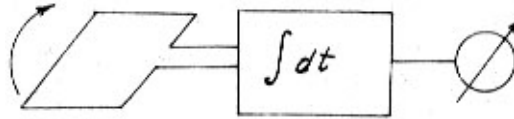
Ví dụ: trong micrôwêbemet $\Phi 190$ người ta sử dụng một khuếch đại điện kế có ngưỡng nhạy thấp, ít nhiễu. Thang đo đạt được 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500 micrôWeber, sai số 1,5%.

Khuếch đại tích phân kiểu này cũng được sử dụng trong trường hợp đo từ trường bằng cuộn dây quay hay cuộn dây rung:

Ta có sức điện động cảm ứng vào của cuộn dây.

$$e = \frac{d\psi}{dt} = \psi_m \cdot \omega \cos \omega t$$

với: ψ_m - từ thông móc vòng cực đại.
 ω - tần số góc của cuộn dây quay



Hình 15.4. Đo từ thông bằng cuộn dây quay

Qua khuếch đại tích phân (H.15.4) ta có:

$$U_{ra} = k \int e dt = k \int \psi_m \omega \cos \omega t \cdot dt$$

$$\Leftrightarrow U_{ra} = k \psi_m \sin \omega t$$

như vậy U_{ra} tỉ lệ với ψ_m , đo điện U_{ra} có thể suy ra từ thông ψ_m .

15.2.6. Từ thông kế chuyển đổi Hall:

Nguyên lý hoạt động: chuyển đổi (cảm biến) Hall là một mảnh mỏng bán dẫn kết cấu đặc biệt. Khi có dòng điện i chạy dọc theo tấm bán dẫn đồng thời có từ cảm ứng B tác động lên bề mặt xuyên qua tấm bán dẫn thì ở trên hai cực điện nằm trên hai thành ngang của tấm bán dẫn xuất hiện sức điện động theo hiệu ứng Hall:

$$E_H = K_H \cdot I \cdot B \cdot \sin \psi$$

trong đó: ψ - là góc lệch giữa I và B
 K_H - hệ số hiệu ứng Hall
 I - dòng điện chạy dọc tấm cảm biến
 B - từ cảm xuyên qua tấm cảm biến

Từ cảm ứng B có thể một chiều hoặc xoay chiều. Trong trường hợp B là một chiều, nếu dòng điện I cũng là một chiều thì do sự chế tạo không đối xứng lúc chưa có B trên hai điện cực áp của cảm biến cũng có điện áp không cân bằng một chiều, do đó nếu dùng khuếch đại một chiều ta phải bố trí mạch bù zêrô ban đầu. Hiện tượng này được khử đi khi dùng khuếch đại xoay chiều tức là dòng điện I cung cấp là dòng xoay chiều.

Khi đo từ cảm ứng nhỏ, sức điện động Hall rất nhỏ vì vậy hệ số khuếch đại phải lớn, do vậy để đảm bảo độ chính xác của phép đo người ta dùng phương pháp bù: tức là dòng điện ra của khuếch đại sau khi chỉnh lưu được đưa vào cuộn dây tạo ra từ trường bù với từ trường cần đo:

$$B_k = \mu \frac{W}{l} I_{ra}$$

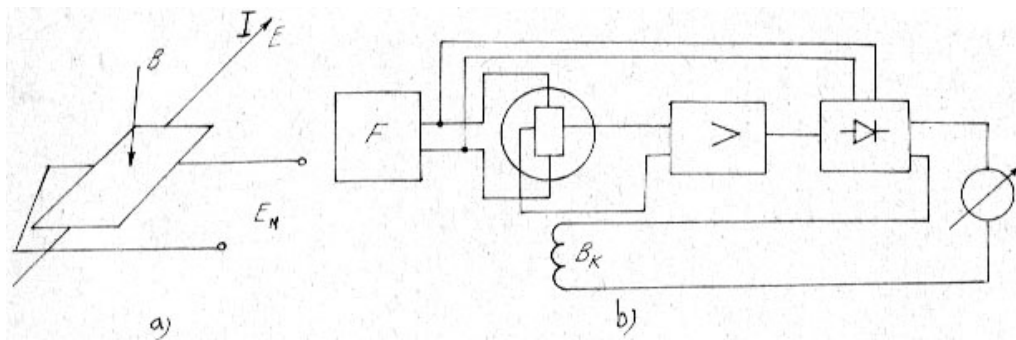
Với hệ số khuếch đại của mạch rất cao ta có:

$$B = B_k = \mu \frac{W}{l} I_{ra}$$

do I_{ra} ta có thể suy ra B .

Cấu tạo: sơ đồ của từ thông kế dùng chuyển đổi Hall cho ở hình 15.6: chuyển đổi Hall được cung cấp bằng một nguồn xoay chiều tần số 1000Hz.

Điện áp ra của cảm biến được khuếch đại và giải điều chế rồi đưa vào cuộn dây bù tạo ra B_k . Nếu hệ số khuếch đại đủ lớn B có thể coi là bằng B_k :



Hình 15.5. Sơ đồ của từ thông kế dùng chuyển đổi Hall

15.2.7. Đo từ trường bằng cảm biến điều chế (dò từ):

Nguyên lý hoạt động: hai lõi sắt từ có hệ số từ rất cao (pecmalôi) hoàn toàn giống nhau được kích từ bằng một từ trường H_1 với tần số f_1 .

Cuộn dây thứ cấp W_2 nối xung đối nhau. Khi chưa có tác dụng của từ trường một chiều ở ngoài: do tính đối xứng của hai biến áp điện áp ra bằng zêrô; khi có từ trường ngoài tác động vào lõi thép của bộ điều chế từ thì sự cân bằng từ trong hai lõi bị phá vỡ và có suất điện động xuất hiện ở đầu ra E_2 :

$$E_2 = k \cdot B_1 \cdot \frac{d\mu}{dH_1} \mu \cdot f_2 \cdot H_x$$

trong đó: E_2 : suất điện động thứ cấp của điều chế từ có tần số là $f_2 = 2f_1$

B_1, H_1 : là cảm ứng từ và cường độ từ trường kích thích

μ : hệ số dẫn từ của lõi

H_x : từ trường một chiều cần đo.

Cấu tạo: cấu tạo của điều chế có nhiều dạng khác nhau như ở hình 15.6:

Trong hình 15.7a: lõi của dò từ gồm hai thanh pecmalôi thẳng đặt song song được kích từ theo hai chiều ngược nhau, cuộn dây thứ cấp W_2 được bọc ngoài cả hai lõi thép. Từ trường đo có chiều dọc theo hai lõi thép.

Dò từ loại này có độ nhạy thấp nên phải có khuếch đại và tách sóng có điều khiển ở tần số $f_2 = 2f_1$,

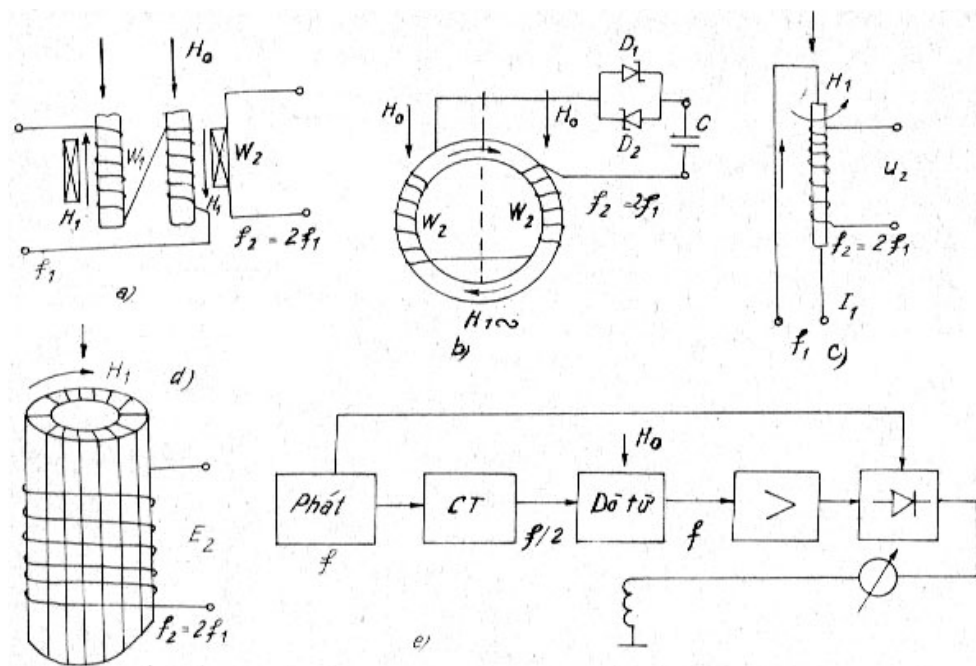
Trong hình 15.6b: dò từ được tạo nên bằng một hình xuyên chia làm hai phần đối xứng. Cuộn dây kích từ W_1 được bố trí rải đều trên trên mạch từ. Cuộn dây thứ cấp W_2 chia làm hai phân đoạn bố trí đối xứng nhau qua một đường kính (trục đo của từ trường H) và nối xung đối nhau.

Sơ đồ của thiết bị đo cường độ từ trường bằng dò từ xuyên có độ nhạy cao nên có thể trực tiếp đưa vào dụng cụ đo không cần khuếch đại. Dòng kích từ có tần số 5 kHz. Tần số thứ cấp có thành phần điều hoà bậc chẵn tỉ lệ với từ trường đo H_x . Điện áp ra E_2 lớn nên có thể dùng bộ tách sóng bậc chẵn đơn giản bằng hai điốt ổn áp.

Trong hình 15.6c: dò từ được tạo nên bằng một ống vật liệu có hệ số dẫn từ μ cao. Cuộn kích từ được quấn như cuộn dây hình xuyên và phân bố đều trên khắp tiết diện. Cuộn dây đo được quấn ngang ống.

Dò từ được kích từ bằng dòng xoay chiều có tần số $f_1 = 5 \div 10 \text{ kHz}$ phụ thuộc

vào chiều dày của thép chế tạo lõi. Độ nhạy của dò từ đo từ trường rất cao do đó cho phép đo những từ trường rất nhỏ cỡ $10^{-9} \div 10^{-4}$ A/m.



Hình 15.6. Đo từ trường bằng cảm biến điều chế (dò từ):

- a) Cấu tạo của cảm biến dò từ lõi thẳng
- b) Cấu tạo của cảm biến dò từ hình xuyên
- c) Cấu tạo của cảm biến dò từ kích từ dọc
- d) Cấu tạo của cảm biến dò từ hình ống
- e) Sơ đồ khối nguyên lý dụng cụ đo từ trường bằng dò từ

Sơ đồ khối nguyên lý dụng cụ đo từ trường bằng dò từ: như hình 15.6e: mạch phát xung cơ sở có tần số, sau khi được chia hai nó được lọc sau đó được khuếch đại để đưa vào kích thích dò từ.

Điện áp ra của dò từ có tần số $2f_1$ được khuếch đại chọn lọc sau đó tách sóng có điều khiển ở tần số $2f_1$ và đưa ra chỉ thị.

Thiết bị này thường dùng để đo từ trường quả đất theo ba phần, xác định các giá trị từ trường, độ lệch từ khuynh và từ thiên dùng trong vật lý địa cầu và thăm dò khoáng sản, trong các chuyến bay thăm dò.

Để phép đo có độ chính xác cao, ta có thể dùng một thiết bị bù từ trường là một cuộn dây Hembôn, đó là cuộn dây tròn chia làm hai phần đặt cách nhau một khoảng bằng bán kính của cuộn dây. Với cách bố trí như vậy từ trường tạo ra trong cuộn dây là đều và có giá trị :

$$H_H = 0,719 \frac{I.W}{R}$$

Công thức này khá chính xác nên chỉ cần đo dòng điện I để suy ra H_H .

15.2.8. Đo từ trường bằng phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân:

Nguyên lý hoạt động: đây là phương pháp đo từ thông có độ chính xác cao nhất. Nó dựa trên chuyển đổi lượng tử cộng hưởng từ hạt nhân (xem lại chương 7, mục 7.8).

Tần số cộng hưởng từ hạt nhân được xác định là:

$$\omega = \frac{\mu \cdot B}{P} = \gamma \cdot B$$

Theo biểu thức này ta có thể xác định độ từ cảm B theo giá trị tần số cộng hưởng ω và hệ số thủy từ γ :

$$B = \frac{\omega}{\gamma}$$

Hệ số γ đối với mỗi chất có thể xác định chính xác đến 0,001% còn sai số về đo ω có thể đạt đến 0,0001% bằng tần số kế chỉ thị số vì vậy sử dụng phương pháp này có thể đo độ từ cảm B của từ trường với độ chính xác rất cao.

Với phương pháp này có thể đo độ từ cảm của từ trường đều từ 0,005T trở đi. Giới hạn đo phụ thuộc vào hạt nhân nguyên tử của chất mà ta sử dụng.

Ví dụ: Nếu dùng hạt nhân hydro (H_2) thì có thể đo từ trường đến 0,5T; nếu dùng Li^7 thì đo từ 0,5÷1,0T còn dùng nước nặng D thì có thể đo từ 1,0T trở đi.

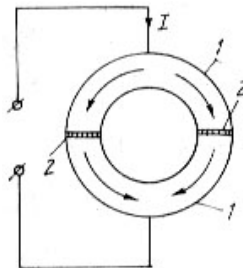
15.2.9. Đo từ trường bằng hiệu ứng siêu dẫn:

Nguyên lý hoạt động: dựa trên đặc tính của lượng tử từ thông xuyên qua màng siêu dẫn:

$$\Phi_0 = \frac{h}{2e} = 2,1 \cdot 10^{-15} [Wb]$$

Có một phần tử siêu dẫn gồm hai vật siêu dẫn ngăn cách bởi một lớp cách điện; dòng điện một chiều có thể đi qua phần tử này mà không có điện áp rơi trên lớp cách điện (hiện tượng này gọi là hiệu ứng Jozepson).

Phần tử Jozepson được tạo thành có dạng như hình 15.8:



Hình 15.8. Phần tử Jozepson

Khi dòng điện một chiều chạy qua phần tử đạt đến giá trị tới hạn thì trên phần tử nói trên (hai bên màng cách điện) xuất hiện điện áp xoay chiều mà tần số phụ thuộc vào từ trường bên ngoài tác dụng vào phần tử siêu dẫn. Dòng điện tới hạn trong phần tử siêu dẫn có dạng:

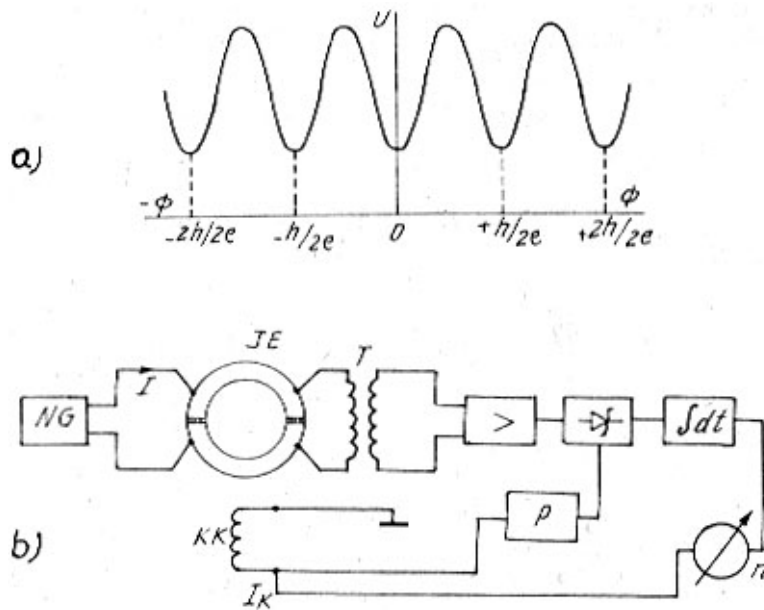
$$I = 2I_m \cos \pi \left[\frac{\Phi}{\Phi_0} \right]$$

với: Φ - từ thông đo; Φ_0 - lượng tử từ thông

Do dòng điện I có tính chu kỳ nên điện áp trên phần tử này cũng có tính xoay chiều mà tần số phụ thuộc vào từ thông tác dụng lên phần tử (H. 15.9a).

Từ đây có thể đề ra phương án từ thông kế kiểu siêu dẫn như hình 15.9b: bộ phận chính của từ thông kế là một phần tử siêu dẫn hình xuyên, cung cấp bằng nguồn dòng một chiều có giá trị bằng hoặc lớn hơn dòng tới hạn một ít. Lúc có từ

trường bên ngoài tác động, xuất hiện điện áp xoay chiều, điện áp này được khuếch đại để đo tần số.



Hình 15.9. Từ thông kế sử dụng phân tử Jozepson:

a) Sự thay đổi điện áp lúc từ thông vượt giá trị lượng tử

b) Sơ đồ khối từ thông kế sử dụng phân tử Jozepson

Trong dụng cụ đo từ thông kiểu bù ta sử dụng cuộn dây bù KK vừa tạo ra từ thông bù, vừa tạo ra từ thông điều chế bằng máy phát tần số thấp. Từ thông điều chế này gây ra một biến thiên từ thông được điều chế ở đầu ra của phân tử Jozepson.

Sau khi được khuếch đại, tích phân, tín hiệu một chiều ra được đưa vào cuộn dây bù KK và đo bởi dụng cụ đo I_{ra} . Dòng ra giữ giá trị cố định khi từ thông $\Phi_k = \Phi_{do}$.

Từ thông kế siêu dẫn này cho phép đo những từ thông có giá trị rất nhỏ 10^{-12} T(tesla).

15.3. Đo các thông số vật liệu từ.

Vật liệu sắt từ được dùng nhiều trong công nghiệp kỹ thuật điện, trong giao thông vận tải và kỹ thuật tự động. Có thể chia vật liệu sắt từ thành: vật liệu sắt từ cứng và vật liệu sắt từ mềm.

Đối với vật liệu sắt từ cứng: cần chú ý đến từ dư, lực khử từ (H_c) và năng lượng từ tích lũy trong vật liệu.

Đối với vật liệu sắt từ mềm: người ta quan tâm đến đường cong từ hoá tức là quan tâm đến quan hệ $B(H)$, đường cong từ trễ, quan hệ $\mu(H)$ tĩnh và động. Ngoài ra còn phải xác định tổn hao sắt từ trên một đơn vị trọng lượng.

Tuy nhiên nhìn vào mối quan hệ, ta thấy chủ yếu hai đại lượng cần đo là B và H . Bố trí để đo B và H trong vật liệu sắt từ là một vấn đề không phải dễ dàng mà liên quan đến mẫu thử.

15.3.1. Mẫu thử:

Để nghiên cứu vật liệu sắt từ các phép đo đều được thực hiện trên một mẫu thử vì

thể việc chọn mẫu thử và bố trí đo B và H trên mẫu thử quyết định tính chính xác của phép đo.

a) Mẫu thử hình xuyên hay hình khép kín:

Đối với mẫu xuyên có thể thực hiện bằng hai cách:

- Lõi làm bằng dải lá mỏng quấn thành hình xuyên.
- Lõi dập bằng lá mỏng.

Cuộn dây kích từ W_1 được phân bố dải đều trên vòng xuyên và từ trường kích thích được tính toán thông qua dòng kích từ I:

$$H = \frac{I \cdot W_1}{2\pi \cdot R_{tb}}$$

trong đó: W_1 : số vòng cuộn dây kích từ

$2\pi R_{tb}$: chiều dài trung bình của xuyên: $R_{tb} = \frac{R_{ng} + R_{tr}}{2}$

R_{ng} : bán kính ngoài của xuyên

R_{tr} : bán kính trong của hình xuyên.

Cuộn dây đo B được quấn ở ngoài có số vòng W_2 . Sức điện động cảm ứng với W_2 được đo bằng từ thông kế hay một khuếch đại tích phân:

$$\Delta\psi = \int e_2 dt$$

Mẫu thử hình xuyên thường được dùng cho vật liệu sắt từ mềm, có từ dư B_d và đường cong từ trễ hẹp, lực khử từ nhỏ.

b) Mẫu thử hình thẳng:

Đối với mẫu thử thẳng, người ta phải chế tạo thiết bị tạo ra từ trường mạnh để có thể từ hoá vật liệu. Từ thẩm kế phải được chế tạo đảm bảo tạo ra một miền có cường độ từ trường đều và mạnh.

Từ thẩm kế có thể là một cuộn dây Xêlênôit lớn có chiều dài gấp 50 lần đường kính. Cuộn dây đo B được quấn ở phần giữa mẫu thử và được đặt ở miền giữa của Xêlênôit. Với lõi này cường độ từ trường có thể tính:

$$H = \frac{I \cdot W}{l}$$

với: I : dòng điện chạy trong Xêlênôit.

W : số vòng của Xêlênôit

l : chiều dài của cuộn dây.

Trong trường hợp Xêlênôit không đảm bảo tỉ số giữa chiều dài và đường kính, cường độ từ trường được tính theo một công thức lý thuyết phụ thuộc vào kích thước.

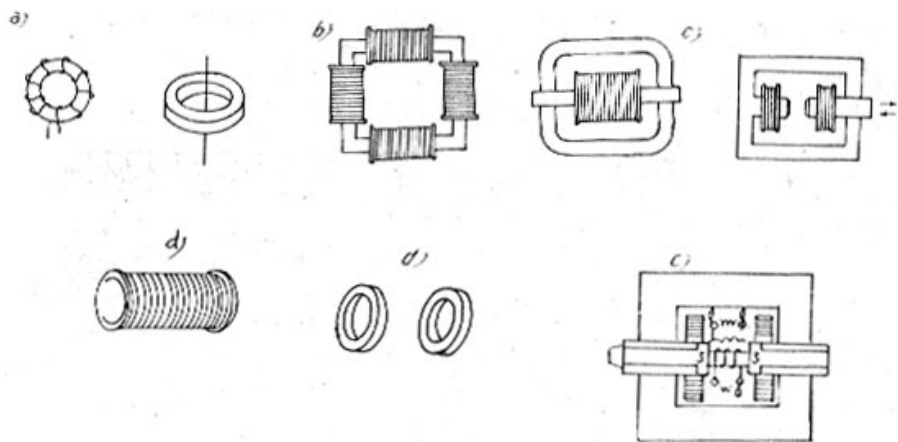
Cấu tạo của từ thẩm kế như hình vẽ 15.10: gồm một mạch từ rất mạnh gồm hai nửa hình Π . Để có thể thay đổi được khoảng cách miền từ trường mạnh và đều, lõi thép hình Π kẹp chặt vào phần mạch từ hình T và I. Nhờ kết cấu như vậy lõi được giữ chặt không bị dịch chuyển trong quá trình đo.

Cuộn dây kích từ rất lớn có thể thay đổi trong dải rất rộng từ μA cho đến 20A.

Mẫu thử thẳng được quấn cuộn dây W_B đo từ cảm B, ngoài ra còn có một cuộn dây không có lõi thép W_H để đo H. Để tạo sự biến thiên từ trường, từ cảm ứng... người ta phải đảo dòng điện chạy trong từ thẩm kế. Khi đảo dòng điện

trong từ thẩm kế thì $\Delta\psi$ trong hai cuộn dây đo B và H gây ra một góc quay α của từ thông kế.

$$B = \frac{C_\Phi \cdot \alpha_B}{2W_H \cdot S_B} ; \quad H = \frac{C_\Phi \cdot \alpha_H}{2W_H \cdot S_H \mu_0}$$

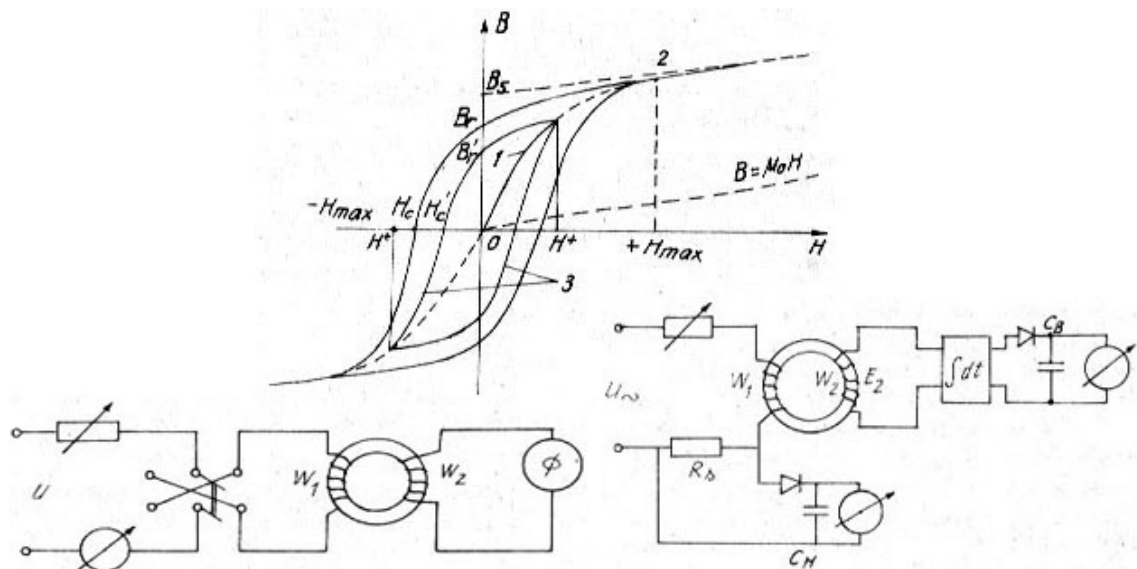


Hình 15.10. Cấu tạo của từ thẩm kế

15.3.2. Xác định đường cong từ hoá ban đầu:

a) **Xác định đường cong từ hoá ban đầu bằng dòng điện một chiều:** được thực hiện bằng cách đảo chiều từ trường kích thích đồng thời đo B và H.

Sơ đồ như hình 15.11:



Hình 15.11. Sơ đồ xác định đường cong từ hoá ban đầu bằng dòng điện một chiều, xoay chiều

Thay đổi dòng điện kích từ từ giá trị cao về zêrô, qua mỗi giá trị của dòng điện ta đảo chiều dòng điện và mỗi lần đảo chiều đọc giá trị góc α trên từ thông kế.

Đo H: Đối với lõi hình xuyên H được tính theo công thức:

$$H = \frac{I \cdot W_1}{2\pi R}$$

với: I - dòng điện kích từ;

W_1 - số vòng cuộn dây kích từ

R - bán kính trung bình lõi hình xuyên.

Đối với lõi thẳng và từ thẳm kế thì H được đo bằng cuộn dây W_H :

$$H = \frac{C_\Phi \cdot \alpha_H}{2W_H \cdot S_H \mu_0}$$

với: C_Φ - hằng số từ thông kế

α_H - góc quay của từ thông kế lúc đo H

W_H - số vòng dây của cuộn dây đo H

S_H - diện tích móc vòng bởi cuộn dây đo H

μ_0 - từ thẳm của không khí: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$.

Đo cảm ứng từ B: được đo bởi cuộn dây đo W_B quấn vào mẫu thử:

$$B = \frac{C_\Phi \cdot \alpha_B}{2W_B \cdot S_B}$$

với: W_B : số vòng của cuộn dây đo B

S_B : tiết diện của mẫu thử

α_B : góc quay của từ thông kế khi đo B

Ở mỗi giá trị của dòng kích thích I: tiến hành đo B và H và thành lập bảng mỗi quan hệ B(H).

b) Vẽ đường từ hoá ban đầu bằng điện xoay chiều:

Thực hiện bằng cách thay đổi dòng điện xoay chiều kích thích: đường cong từ hoá ban đầu sẽ là $B_m(H_m)$.

với: B_m : từ cảm ứng cực đại

H_m : cường độ từ trường cực đại.

Đối với lõi thử hình xuyên ta có:

$$H_m = \frac{\sqrt{2} I \cdot W_1}{2\pi \cdot R_{tb}}$$

với: H_m : giá trị cực đại của cường độ từ trường

I : giá trị hiệu dụng đo bởi Ampemét

W_1 : số vòng của cuộn dây kích từ

R_{tb} : bán kính trung bình của lõi hình xuyên

B_m : được xác định:

$$B_m = \frac{E_2}{4,44 \cdot f \cdot W_2 \cdot S}$$

với: E_2 : sức điện động hiệu dụng chỉ bởi dụng cụ đo ở thứ cấp cuộn dây thử.

f : tần số của dòng kích từ; W_2 : số vòng của dây đo B

S : tiết diện của lõi

Trong trường hợp dụng cụ đo E_2 là dụng cụ điện tử tức là điện trở vào rất lớn thì dụng cụ chỉ giá trị của E_2 .

Trong trường hợp dụng cụ đo E_2 là dụng cụ cơ điện (có điện trở vào nhỏ) thì phải tính ra:

$$E_2 = \frac{U_2}{R_v} (R_v + R_d)$$

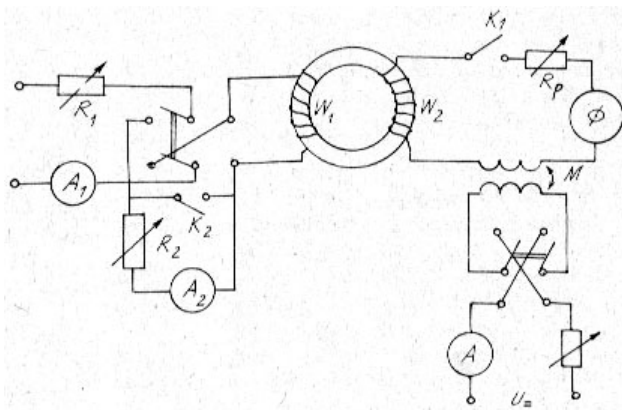
với: U_2 : điện áp đo bởi Vônmet; R_v : điện trở của Vônmet

R_d : điện trở của cuộn dây W_2 và dây dẫn

15.3.3. Xác định đường cong từ trễ của vật liệu sắt từ:

a) Xác định đường cong từ trễ vật liệu sắt từ bằng phương pháp đảo mạch dùng đổi nối:

Với lõi thử hình xuyên: sơ đồ của thiết bị đo lường từ trễ vật liệu sắt từ lõi thử hình xuyên như hình 15.12 :



Hình 15.12. Sơ đồ của thiết bị đo lường từ trễ vật liệu sắt từ lõi thử hình xuyên

Quá trình xác định đường cong từ trễ được thực hiện như sau:

- Giai đoạn chuẩn bị: Khoá K_1 mở, khoá K_2 đóng. Điều chỉnh R_1 để cho dòng điện chỉ I_1 có giá trị làm bão hoà lõi thép. Sau đó đổi nối DN sang vị trí 1, mở K_2 và điều chỉnh R_2 để I_2 có giá trị mong muốn.

- Giai đoạn đo: Đóng K_2 lại, đảo đổi nối DN từ 8 đến 10 lần cho đường cong từ trễ ổn định sau đó đặt nó sang vị trí 1 để lấy giá trị B và H ở góc phần tư thứ 1. Đóng K_1 để mắc từ thông kế vào mạch đo sau đó mở khoá K_2 . Dòng điện từ giá trị I_1 chuyển sang giá trị I_2 (tức là cường độ từ trường kích thích chuyển từ H_1 sang H_2).

Do có sự biến thiên từ trường đo tạo ra trong lõi thử một biến thiên ΔB và từ thông kế lệch đi một góc α_B :

$$\Delta_B = \frac{S_\Phi \cdot \alpha_B}{W_B \cdot S}$$

$$B_2 = B_1 - \Delta_B \quad ; \quad H_2 = \frac{I_2 \cdot W_1}{2\pi \cdot R_{tb}}$$

Lập lại phép đo với các giá trị I_2 khác nhau ta có giá trị B_2 và H_2 trong góc phần tư thứ nhất.

Để có B_2 và H_2 ở góc phần tư thứ hai và thứ 3, ta cũng làm như trên chỉ khác là sau khi đảo đổi nối 8 ÷ 10 lần ta đặt vị trí của đổi nối về vị trí 2. Sau đó đóng K_1 và mở K_2 . Đảo chiều đổi nối về vị trí 1. Như vậy ta đã biến thiên chiều dòng điện từ I_2 sang $-I_2$ và như vậy cường độ từ trường từ H_1 sang $-H_2$ tạo ra một sự biến thiên từ cảm B_1 sang B_2 ; ΔB vẫn tính như cũ và $B_2 = B_1 - \Delta B$ có thể có dấu dương trong góc phần tư thứ 2 và B_2 có giá trị âm ở góc phần tư thứ 3. Còn H_2 có giá trị âm:

$$H_2 = \frac{I_2 \cdot W_1}{2\pi R_{tb}}$$

Có được các giá trị B_2 , H_2 từng đôi một ta có thể dựng thành đồ thị quan hệ

$B(H)$ tức là đường cong từ trễ.

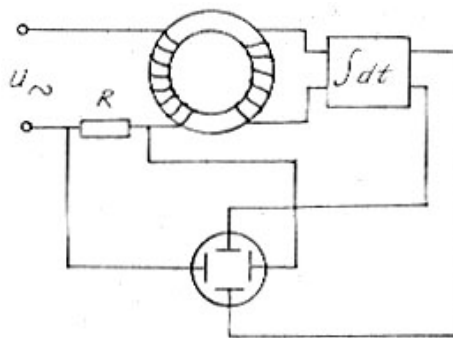
Với mẫu hình thẳng: quá trình đo tương tự như ở mẫu hình xuyên, chỉ khác là lõi được kích từ bằng từ thẳm kế, cuộn dây đo B được quấn quanh lõi W_B và từ trường được đo bằng một cuộn dây W_H kéo từ trong miền từ trường đều của từ thẳm kế ra ngoài không khí:

$$\Delta B = \frac{C_\Phi \cdot \alpha}{W_B \cdot S} \quad \text{và:} \quad B_2 = B_1 - \Delta B$$

Phương pháp này có thể dùng với vật liệu sắt từ cứng và xác định ở góc phần tư thứ 2 (với H_C rất lớn).

b) Vẽ đường cong từ trễ bằng điện xoay chiều:

Đường cong từ trễ trong mạch xoay chiều được xác định bằng quan hệ $B_t(H_t)$, tức là quan hệ giữa giá trị tức thời B và H . Đường cong này có thể thực hiện trên màn ảnh của máy hiện sóng như hình 15.13:



Hình 15.13. Vẽ đường cong từ trễ bằng điện xoay chiều thực hiện trên màn ảnh của máy hiện sóng

Từ trường H tỉ lệ với dòng kích thích I , còn điện áp thứ cấp là đạo hàm của từ thông vì vậy điện áp E_2 phải được tích phân để đưa vào đưa vào hai cực của máy hiện sóng để lập quan hệ tức thời giữa B và H . Giá trị tức thời của $B_t(H_t)$ có thể xác định bằng một chỉnh lưu pha có điều khiển.

Trong một mạch chỉnh lưu pha nếu ta thay đổi góc mở ban đầu của chỉnh lưu thì giá trị trung bình của dòng chỉnh lưu (trong nửa chu kỳ hoặc trong một chu kỳ) bằng giá trị tức thời tại thời điểm chỉnh lưu mở. Như vậy khi thay đổi góc mở của chỉnh lưu pha ta có thể có được tất cả các giá trị của dòng điện tức thời trong một chu kỳ.

Hình 15.14 là sơ đồ thiết bị vẽ đường cong từ trễ của vật liệu sắt từ.

Lõi thử hình xuyên được quấn cuộn dây kích từ W_1 và cuộn dây từ cảm W_2 . Dòng điện kích từ được chọn một giá trị để bão hoà lõi thép.

Xác định H_t : từ trường tức thời được xác định bằng:

$$H_t = \frac{I_t \cdot W_1}{2\pi R_{tb}}$$

với I_t được đo bằng chỉnh lưu pha.

Xác định B_t : bằng cách đo giá trị tức thời của tích phân sức điện động E_2 :

$$\int E_2 dt = \psi \cdot k_\Phi \cdot B_t \cdot S \cdot W_2 = E_{2t}'$$

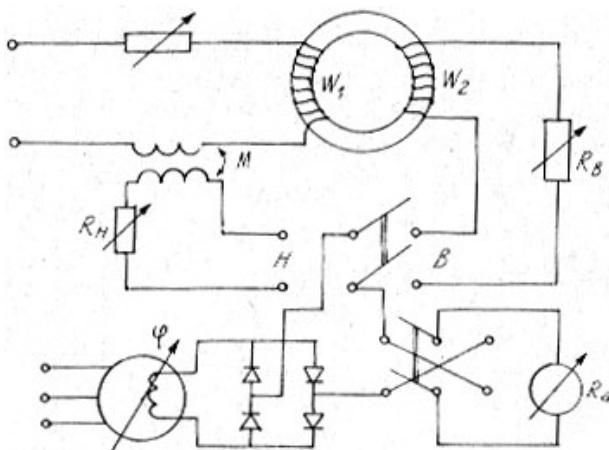
Giá trị tức thời của tích phân E_2 tỉ lệ với B_t :

$$B_t = \frac{E'_{2t}}{k_\Phi \cdot W_2 \cdot S}$$

với: k_Φ : là hệ số xác định bằng thực nghiệm

E_{2t} : xác định bằng chỉnh lưu pha

Như vậy ở tại một góc mở chỉnh lưu, ta có B_t và H_t tức thời, thay đổi góc mở ta có các giá trị B_t và H_t khác nhau. Lập đồ thị quan hệ $B_t(H_t)$ ta có đường cong từ trễ.



Hình 15.14. Sơ đồ thiết bị vẽ đường cong từ trễ của vật liệu sắt từ

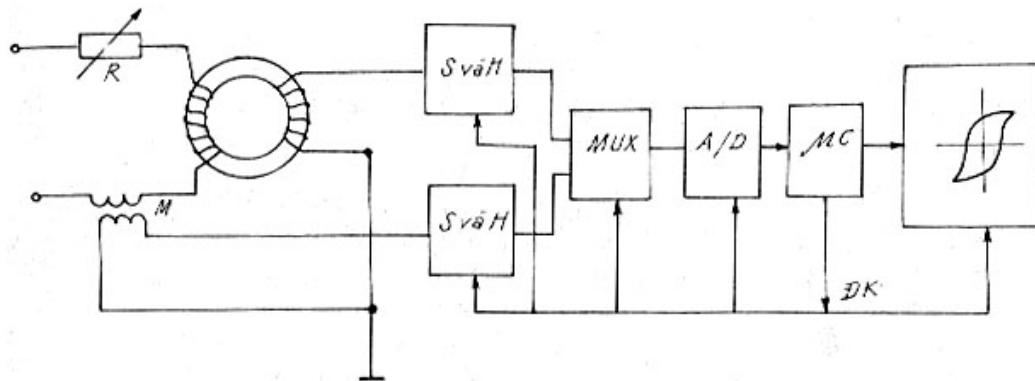
Việc vẽ đường cong từ trễ này cũng có thể được tự động hoá nhờ một hệ thu thập số đo bằng máy tính, có thể bố trí như hình 15.15.

Trong mạch này B_t được đo thông qua E_{2t} . Dòng điện được xác định thông qua hồ cảm M nối trong mạch kích từ.

Như vậy thay vì đo dòng điện và tích phân điện áp ta đo điện áp và đạo hàm dòng điện.

Các giá trị tức thời được bộ ghim giữ lại sau đó lần lượt đưa vào A/D biến thành giá trị số. Các số liệu được tính toán ra B_t và H_t và lưu giữ lại trong bộ nhớ của máy vi tính.

Sau một bước, vi xử lý lại điều khiển bộ ghim giữ lệch đi một giá trị xác định và lấy lại các giá trị B_t và H_t . Như vậy ta có được một tập số B_t và H_t ở tại các thời điểm khác nhau.



Hình 15.15. Hệ thu thập số đo bằng máy tính tự động vẽ đường cong từ trễ

Một chương trình vẽ cho phép hiện được đường cong từ trễ lên màn hình và trên giấy cùng với bảng số hiệu $B_t(H_t)$.

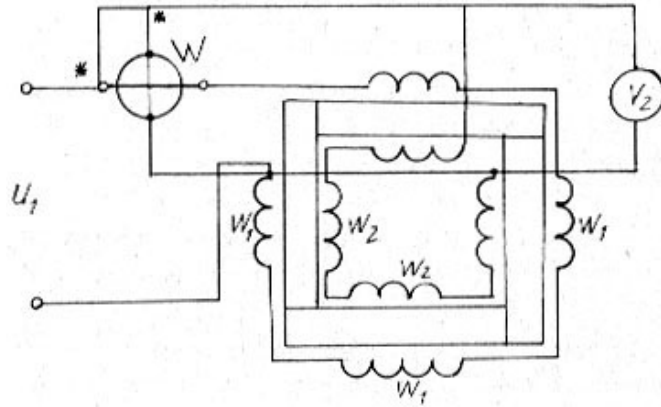
15.3.4. Đo tổn hao thép của vật liệu sắt từ:

Một thông số cần xác định trong vật liệu sắt từ là đo tổn hao sắt từ trên đơn vị trọng lượng, tổn hao công suất này do từ trễ và dòng xoáy vì thế thay đổi theo cảm ứng từ cực đại B_m và tần số f .

Theo quy định, người ta đo tổn hao ở hai giá trị B là $B = 1T$ và $B = 1,5T$ (tesla).

a) Đo tổn hao bằng Watmet:

Sơ đồ như hình 15.16:



Hình 15.16. Sơ đồ đo tổn hao thép của vật liệu sắt từ bằng Watmét

Trong đó cuộn dây dòng điện của Watmet được lắp vào mạch sơ cấp, còn cuộn điện áp mắc vào mạch thứ cấp. Lõi thép cần đo được ghép thành 4 thanh có trọng lượng vào khoảng 10kg vật liệu.

Theo sơ đồ trên, Watmet chỉ tổn hao trong lõi thép cộng với tổn hao trong cuộn dây lõi thử và tổn hao trong Vônmet và cuộn áp Watmet.

Phản công suất tiêu thụ thêm có thể viết:

$$P_p = \frac{U_2^2}{r_2} \left(1 + \frac{r_2'}{r_2} \right)$$

với: $r_2' = \frac{R_v \cdot R_w}{R_v + R_w}$ (Watmet và Vônmet mắc song song)

r_2 : điện trở của cuộn dây lõi thử

Như vậy tổn hao thép bây giờ có thể viết:

$$P_t = P_w \frac{W_1}{W_2} \left(1 + \frac{r_2'}{r_2} \right) - \frac{U_2^2}{r_2} \left(1 + \frac{r_2'}{r_2} \right)$$

$$P_t = \left(P_w \frac{W_1}{W_2} - \frac{U_2^2}{r_2} \right) \left(1 + \frac{r_2'}{r_2} \right)$$

Để có thể tách tổn hao từ trễ ra khỏi tổn hao dòng xoáy, ta có nhận xét sau: tổn hao từ trễ tỉ lệ với f còn tổn hao dòng xoáy tỉ lệ với f^2 . Vì vậy để tách tổn hao từ trễ ra khỏi tổn hao dòng xoáy ta đo tổn hao ở hai tần số khác nhau f_1 và f_2 .

$$\begin{cases} P_{t1} = af_1 + bf_1^2 \\ P_{t2} = af_2 + bf_2^2 \end{cases}$$

Giải hệ phương trình ta được a và b và tổn hao từ trễ là af_1 và af_2 , còn tổn hao dòng xoáy là bf_1^2 và bf_2^2 .

Ta cũng có thể đo công suất tổn hao bằng công thức $P = U.I.\cos\varphi$; Khi $U_t =$

U_m thì $I_t = I_m \cos \varphi$ ta có thể dùng chỉnh lưu pha để xác định U_m và $I_m \cos \varphi$.
Sơ đồ đo công suất tổn hao trong lõi thép như hình 15.16.

$$P_{th} = E_2 \left(\frac{W_2}{W_1} \right) \left(\frac{U_0}{r_0} \right) \cdot \cos \varphi$$

Công suất tổn hao cũng có thể xác định qua cuộn dây có lõi thép được đo bằng cầu xoay chiều.

Đo bằng cầu xoay chiều ta xác định được L_X và $\tan \delta$

$$\tan \delta = \frac{r_X}{\omega L_X}$$

trong đó:

$$r_X = r_0 + r_t$$

r_0 : điện trở của dây đồng quấn L_X

r_t : điện trở tương đương của tổn hao