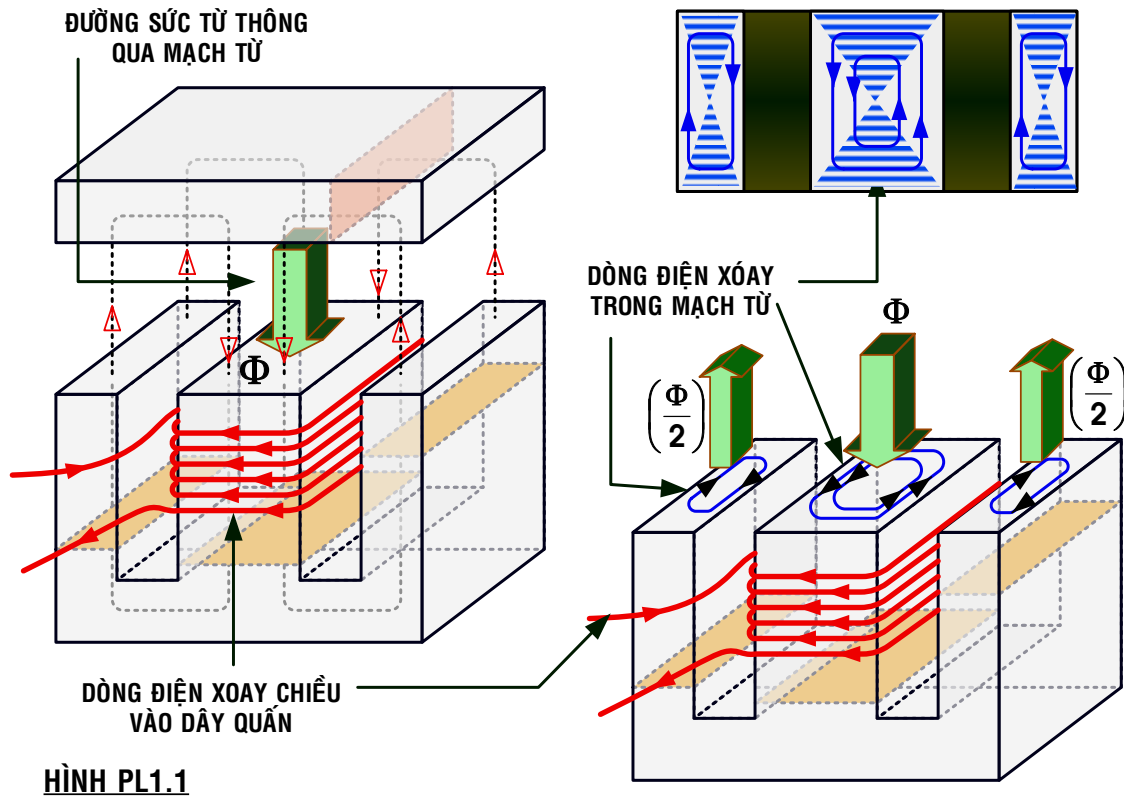


PHỤ LỤC 1

TỶ HẠO TRONG MẠCH TỪ

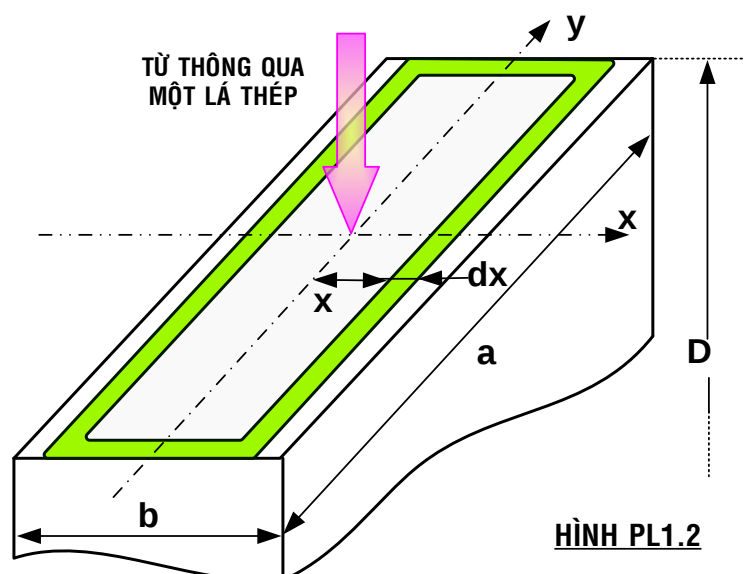
PL1.1. TỶ HẠO TRONG MẠCH TỪ XOAY CHIỀU DO DÒNG ĐIỆN XOÁY:

HÌNH PL1.1

Dòng điện xoáy (eddy current) còn được gọi là **dòng điện Foucault** hình thành trên **mạch từ khi có từ thông biến thiên đi qua**. Trong hình PL1.1 khi cấp dòng xoay chiều $i(t)$ vào dây quấn trên mạch từ, sức từ động $F(t)$ hình thành và tạo ra từ thông $\Phi(t)$ qua mạch từ. Hướng đường sức từ khép kín trong mạch từ được xác định bằng qui tắc bàn tay phải. Vì từ thông biến thiên theo thời gian xuyên qua mạch từ, **trong lõi thép (hay từng lá thép tạo nên mạch từ)** sinh ra sức điện động cảm ứng, hơn nữa **do tính dẫn điện của lá thép** sẽ tạo thành **dòng cảm ứng (chính là dòng xoáy) đi trong từng lá thép của mạch từ**.

Hướng của dòng cảm ứng trên từng lá thép tuân theo định luật Lenz. Dòng xoáy cảm ứng chạy trong lõi thép (hay từng lá thép) khép kín mạch và có khuynh hướng tạo ra từ thông đối kháng với từ thông từ hóa trong mạch từ.

Dòng cảm ứng trong từng lá thép gọi là dòng điện xoáy và sinh ra tổn hao trên lõi thép dưới dạng nhiệt.



HÌNH PL1.2

Độ lớn của dòng điện xoáy trên mỗi lá thép phụ thuộc giá trị của sức điện động cảm ứng sinh ra trong từng lá thép, hay phụ thuộc vào:

✚ **Độ lớn của từ thông** đi qua mỗi lá thép.

✚ **Tiết diện của từng lá thép.**

✚ Tốc độ biến thiên theo thời gian của từ thông hay **tần số nguồn xoay chiều cấp vào dây quấn trên mạch từ.**

Tổn hao do dòng xoáy được xác định theo phương pháp tính trình bày sau đây. Trong hình PL1.2; xét tiết diện của một lá thép kỹ thuật điện khi có từ thông biến thiên xuyên đi qua, gọi:

✚ **b** : bề dày của mỗi lá thép tạo nên mạch từ.

✚ **a** : bề rộng của lá thép

✚ **D** : bề dài của thép.

✚ Φ_{th} : từ thông xoay chiều đi qua 1 lá thép với biên độ của từ thông là Φ_m .

✚ **x** : là tọa độ tại vị trí khảo sát .

Giả sử từ thông biến thiên qua mỗi lá thép là: $\Phi_{th} = \Phi_m \cdot \cos(\omega t)$, trong đó:

✚ $\omega = 2\pi \cdot f$: tần số góc nguồn áp xoay chiều cấp vào dây quấn và **f** là tần số nguồn áp xoay chiều.

✚ Giả sử **từ thông phân bố đều trên tiết diện lá thép**. Thành phần **từ thông xuyên qua một phần diện tích lá thép tại vị trí x bất kỳ**, giới hạn bởi hình chữ nhật vành khăn có bề dày **dx** được xác định theo quan hệ sau:

$$\Phi = \Phi_{th} \cdot \left(\frac{2x \cdot a}{b \cdot a} \right) = \left(\frac{2x}{b} \right) \cdot \Phi_m \cdot \cos(\omega t) \quad (PL1.1)$$

✚ Sức điện động cảm ứng sinh ra trong phần tiết diện có bề dày **dx** là:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} = - \left(\frac{2x}{b} \right) \cdot \Phi_m \cdot \frac{d}{dt} (\cos(\omega t))$$

Suy ra:
$$e = \left(\frac{2x}{b} \right) \cdot \Phi_m \cdot \omega \cdot \sin(\omega t) \quad (PL1.2)$$

Từ (PL1.2) suy ra **sức điện động cảm ứng hiệu dụng** là:

$$E = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{2x}{b} \right) \Phi_m \cdot \omega \quad (PL1.3)$$

Hay:
$$E = \left(\pi \sqrt{2} \cdot f \right) \left(\frac{2x}{b} \right) \Phi_m \quad (PL1.4)$$

✚ Bây giờ xét điện trở của phần diện tích hình chữ nhật có bề dày là **dx** và bề rộng chính là chiều dài **D** của lá thép. Gọi **K** là điện trở suất của vật liệu sắt từ, điện trở của hai đoạn thanh dẫn bề dài **a** là :

$$R = K \cdot \frac{2a}{D \cdot dx} \quad (PL1.5)$$

✚ Công suất tác dụng tiêu thụ trên điện trở **R** của 2 đoạn hình chữ nhật do sức điện động **E**

sinh ra là:
$$dP = \frac{E^2}{R} = \frac{\left(\pi \sqrt{2} \cdot f \cdot \left(\frac{2x}{b} \right) \cdot \Phi_m \right)^2}{\left(\frac{2aK}{D} \right) \cdot \left(\frac{1}{dx} \right)} = \left(\frac{\pi^2 \cdot f^2 \cdot \Phi_m^2 \cdot D}{K \cdot b^2 \cdot a} \right) \cdot 4x^2 \cdot dx \quad (PL1.6)$$

✚ Khi cho dx biến đổi dọc theo bề dày lõi thép từ 0 đến $\left(\frac{b}{2}\right)$ ta có **tổng tổn hao tạo bởi dòng xoáy cho toàn bộ lá thép** xác định theo quan hệ:

$$P_{th} = \int_0^{\left(\frac{b}{2}\right)} dP = \left(\frac{\pi^2 \cdot f^2 \cdot \Phi_m^2 \cdot D}{K \cdot b^2 \cdot a} \right) \cdot \int_0^{\left(\frac{b}{2}\right)} 4x^2 \cdot dx$$

$$P_{th} = \left(\frac{4\pi^2 \cdot f^2 \cdot \Phi_m^2 \cdot D}{K \cdot b^2 \cdot a} \right) \cdot \left[\frac{x^3}{3} \right]_0^{\left(\frac{b}{2}\right)} = \frac{\pi^2 \cdot f^2 \cdot \Phi_m^2 \cdot D \cdot b}{6K \cdot a} \quad (PL1.7)$$

✚ Biến đổi quan hệ (PL1.7), tìm được **công thức Steinmetz**. Giá trị **từ thông cực đại** được xác định theo quan hệ:

$$\Phi_m = B_m \cdot (b \cdot a) \quad (PL1.8)$$

Trong đó, B_m là cảm ứng từ cực đại và tích số $(b \cdot a)$ là tiết diện của 1 lá thép cho từ thông cực đại Φ_m đi qua. Từ các quan hệ (PL1.7) và (PL1.8) suy ra:

$$P_{th} = \frac{\pi^2 \cdot f^2 \cdot (B_m \cdot b \cdot a)^2 \cdot D \cdot b}{6K \cdot a} = \frac{\pi^2 \cdot f^2 \cdot B_m^2 \cdot D \cdot b^3 \cdot a}{6K} \quad (PL1.9)$$

Vi thể tích của 1 lá thép là $(D \cdot e \cdot a)$ nên **tổn hao thép trên một đơn vị thể tích** là:

$$P_{th/v} = \frac{P_{th}}{(D \cdot b \cdot a)} = \frac{\pi^2 \cdot f^2 \cdot B_m^2 \cdot b^2}{6K} = \left(\frac{\pi^2 \cdot b^2}{6K} \right) \cdot f^2 \cdot B_m^2$$

Đặt:

$$K_e = \left(\frac{\pi^2 \cdot b^2}{6K} \right) \quad (PL1.10)$$

Tổn hao thép do dòng xoáy tính trên một đơn vị thể tích xác định theo **công thức Steinmetz** như sau:

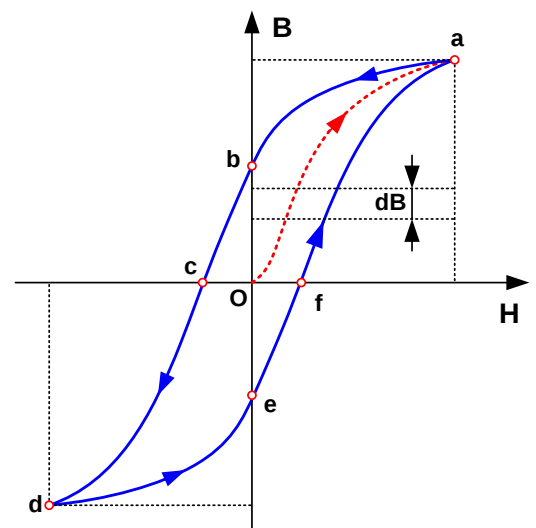
$$P_{th/v} = K_e \cdot f^2 \cdot B_m^2 \quad (PL1.11)$$

PL1.2. CHU TRÌNH TỪ TRỄ – TỔN HAO TỪ TRỄ:

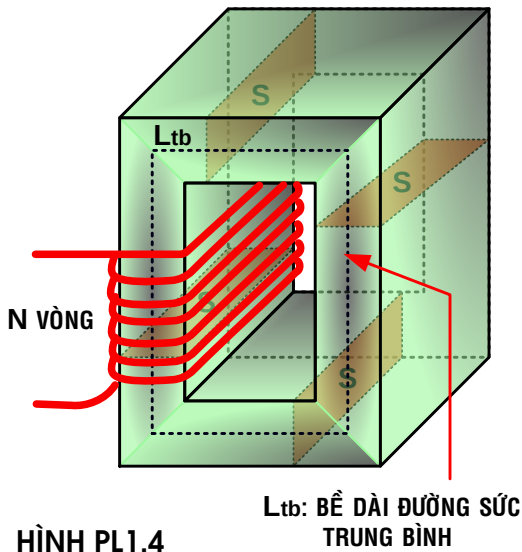
Theo lý thuyết trường điện từ, khi cấp vào mạch từ một sức từ động xoay chiều, cảm ứng từ B và cường độ từ trường H sẽ thay đổi trong mỗi chu kỳ của nguồn áp xoay chiều và tạo thành chu trình từ trễ (đồ thị mô tả quan hệ biến đổi từ cảm B theo cường độ từ trường H), xem Hình PL1.3.

✚ Khi bắt đầu khảo sát; sức từ động $F = 0$ nên cảm ứng từ $B = 0$ và từ trường $H = 0$. Vị trí bắt đầu khảo sát tại gốc O. Mạch từ ở trạng thái chưa từ hóa.

✚ Giả sử dòng điện tăng dần trong bán kỳ dương sức từ động tăng dần theo giá trị dương; từ cảm B và cường độ từ trường H cùng tăng. Khi sức từ động cực đại, đường từ hóa đạt đến vị trí a, **mạch từ bão hòa**.



Hình PL1.3



HÌNH PL1.4

✚ Khi dòng điện bắt đầu giảm xuống (nhưng vẫn duy trì giá trị dương), từ cảm **B** và cường độ từ trường **H** cùng giảm; nhưng **đường đặc tuyến về** lại đi theo đường khác từ **a** đến **b**. Tại vị trí **b** dòng điện đạt giá trị **0**, nên cường độ từ trường **H = 0**; tuy nhiên giá trị **B** tại vị trí **b** khác **0** do ảnh hưởng của **hiện tượng từ trễ**. Ta gọi **giá trị B tại vị trí b là từ cảm dư** (hay còn gọi là từ trường dư).

✚ Khi dòng điện chuyển sang bán kỳ âm cảm ứng từ dư giảm dần nhưng vẫn duy trì giá trị dương cho đến điểm **c** giá trị **B = 0**; nhưng cường độ từ trường **H** đạt giá trị âm. Giá trị từ trường tại **c** gọi là **từ trường kháng**.

✚ Sau đó, dòng điện tiếp tục giảm thấp theo giá trị âm, từ cảm **B** và cường độ từ trường **H** tiếp tục giảm cho đến điểm **d**. Lúc này dòng điện đạt đến giá trị âm của biên độ.

✚ Quá trình tiếp tục thực hiện tương tự và tạo nên vòng từ trễ: a-b-c-d-e-f-a

Muốn khảo sát tổn hao tạo nên do hiện tượng từ trễ, cần xét một mạch từ đơn giản như trong hình PL1.4. Khi cấp dòng xoay chiều hình sin vào bộ dây quấn có **N** vòng dây trên mạch từ, sức từ động **F** hình thành từ thông **Φ**. Theo Faraday sức điện động cảm ứng sinh ra trong bộ dây là: $e = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$. Khi chỉ để ý đến độ lớn của sức điện động cảm ứng và không quan tâm đến dấu (–), ta có **công suất tức thời** tạo bởi sức điện động **e(t)** là:

$$p(t) = e(t) \cdot i(t) = N \cdot i(t) \cdot \frac{d\Phi(t)}{dt} \quad (\text{PL1.12})$$

Gọi **A** là tiết diện mạch từ và **L_{tb}** là đường sức trung bình qua mạch từ, suy ra:

$$p(t) = N \cdot i(t) \cdot A \cdot \frac{dB(t)}{dt} = H(t) \cdot L_{tb} \cdot A \cdot \frac{dB(t)}{dt} \quad (\text{PL1.13})$$

Vì **A.L_{tb}** chính là **thể tích của mạch từ**, như vậy **công suất tức thời tính trên một đơn vị thể tích của lõi thép** là:

$$p_v(t) = \frac{p(t)}{A \cdot L_{tb}} = H(t) \cdot \frac{dB(t)}{dt}$$

Năng lượng tiêu thụ trên một đơn vị thể tích mạch từ là :

$$W_v = \int_{abcdefa} p_v \cdot dt = \oint H \cdot dB \quad (\text{PL1.14})$$

Giá trị của $\oint H \cdot dB$ chính là **diện tích của vòng từ trễ**. Tóm lại, với vật liệu sắt từ **có**

diện tích của vòng từ trễ càng lớn tổn hao trong mạch từ do hiện tượng từ trễ **có giá trị càng cao**. Trong kỹ thuật chúng ta áp dụng **công thức Steinmetz** như sau để xác định tổn hao từ trễ.

$$P_h = K_s \cdot f \cdot V \cdot B^\alpha \quad (\text{PL1.15})$$

Trong đó **K_s** là **hằng số Steinmetz**; **V** là thể tích mạch từ; **f** là tần số biến thiên của từ thông; **α** là **số mũ của Steinmetz** thường có **giá trị trung bình là 1,6** đối với lá thép kỹ thuật điện có **hàm lượng Silic từ 1% đến 4%**.

PL1.3. BÀI TOÁN MẠCH TỪ XOAY CHIỀU CÓ XÉT TỶ SỐ HAO LỖI THÉP :

✚ Giả sử từ thông qua mạch từ là : $\Phi = \Phi_m \cdot \cos(\omega t)$ (PL1.16)

✚ Sức điện động cảm ứng hình thành trong dây quấn mạch từ là :

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} = \omega N \Phi_m \cdot \sin(\omega t) \quad (\text{PL1.17})$$

✚ So sánh góc lệch pha giữa từ thông Φ và sức điện động e ta có kết quả sau:

$$\Phi = \Phi_m \cdot \cos(\omega t) = \Phi_m \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (\text{PL1.18})$$

Từ thông Φ sớm pha hơn sức điện động e góc 90° .

✚ Gọi thành phần dòng điện tạo ra từ thông Φ là i_x , dòng điện này **trùng pha thời gian với từ thông** và thỏa định luật Ampere, định luật Ohm (mạch từ): $F(t) = N i_x(t) = \mathcal{R} \cdot \Phi(t)$. Trong các quan hệ này xem như giá trị từ trở mạch từ không thay đổi. Suy ra:

$$i_x(t) = \left(\frac{\mathcal{R}}{N}\right) \cdot \Phi(t) = \left(\frac{\mathcal{R}}{N}\right) \cdot \Phi_m \cdot \cos(\omega t) \quad (\text{PL1.18})$$

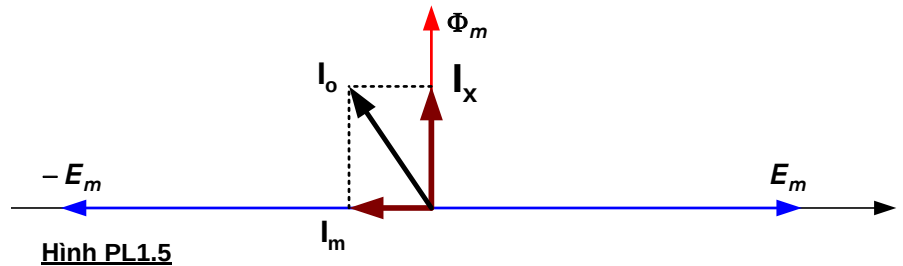
✚ Khi đề ý đến tổn hao lõi thép do **hiện tượng từ trễ và dòng xoáy**; thành phần tổn hao này được **tạo bởi từ thông Φ và từ thông này tạo ra sức điện động cảm ứng e** . Đặt thành phần dòng điện i_m qua dây quấn là thành phần dòng điện tạo ra các tổn hao trên lõi thép. Tổng tổn hao trên lõi thép xác định theo quan hệ sau và xem như tổn hao này được tạo bởi từ sức điện động e :

$$p_{th+h} = p_{th} + p_h = -e \cdot i_m$$

Nếu sử dụng phần tử điện trở R_c đặc trưng cho tổng tổn hao trên lõi thép, ta có dòng điện i_m và $(-e)$ trùng pha với nhau và thỏa quan hệ:

$$i_m = \frac{-e}{R_c} = \left(\frac{-\omega N \Phi_m}{R_c}\right) \cdot \sin(\omega t) = \left(\frac{\omega N \Phi_m}{R_c}\right) \cdot \sin(\omega t - \pi) \quad (\text{PL1.19})$$

✚ Tóm lại gọi **i_o là dòng cấp từ nguồn vào dây quấn**; dòng điện này chính là **dòng tổng hợp từ các thành phần dòng điện i_x và i_m** . Giản đồ vector của các thành phần dòng điện qua bộ dây và từ thông trong mạch từ trình bày trong hình PL1.5.



Giá trị hiệu dụng của các dòng thành phần i_m , i_x được xác định các theo quan hệ:

$$I_x = \left(\frac{\mathcal{R}}{N}\right) \cdot \frac{\Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{E}{X_m} \quad (\text{PL1.20})$$

$$I_m = \left(\frac{\omega N}{R_c}\right) \cdot \frac{\Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{E}{R_c} \quad (\text{PL1.21})$$

Giá trị hiệu dụng của dòng i_o từ nguồn cấp vào dây quấn là :

$$I_o = \sqrt{I_x^2 + I_m^2} \quad (\text{PL1.22})$$

