

# Chương 3: Mạch từ Hỗ cảm Máy biến áp

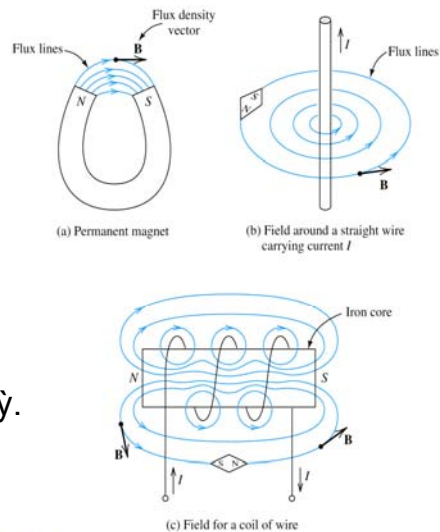
- 3.1 Định luật Kirchhoff 1 và 2 đối với mạch từ
- 3.2 Giải mạch từ
- 3.3 Hỗ cảm
- 3.4 Máy biến áp

## 3.1. Định luật Kirchhoff 1 và 2 đối với mạch từ

- 3.1 Định luật Kirchhoff 1 và 2 đối với mạch từ
- 3.2 Giải mạch từ
- 3.3 Hỗ cảm
- 3.4 Máy biến áp

## Trường từ trong Thiết Bị Từ Tĩnh

- Từ trường được biểu diễn bằng các đường từ thông hay đường sức từ khép kín.
- Cảm ứng từ  $B$  tiếp xúc với các đường sức từ.
- Dùng la bàn có thể biết hướng của từ trường tại một điểm bất kỳ.



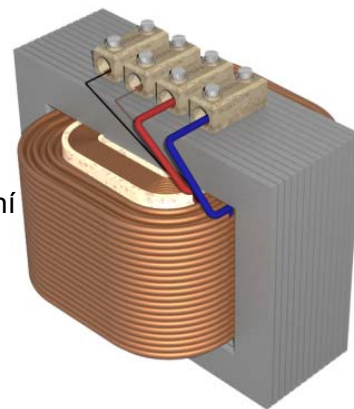
3

## Mạch từ tĩnh

Không có phần tử chuyển động



Không có khe hở không khí

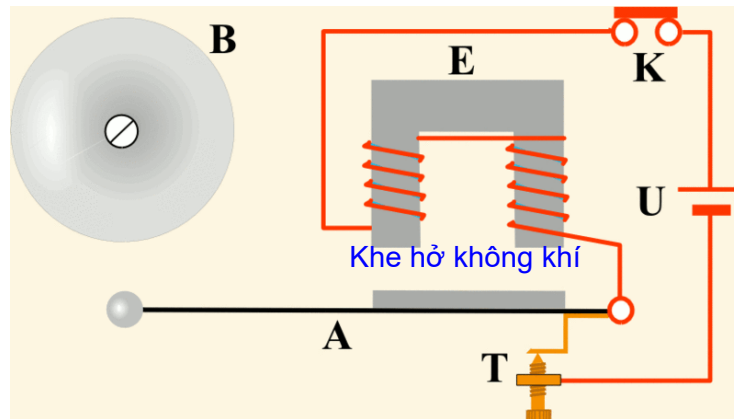


Hoặc có khe hở không khí

4

## Mạch từ động

Mạch từ có phần tử chuyển động và có khe hở không khí.

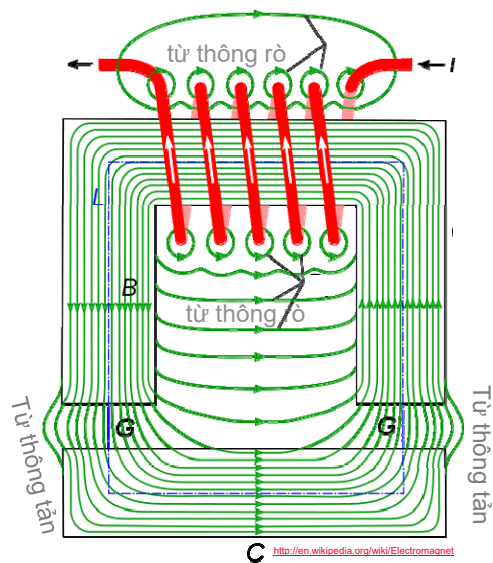


Chuông điện

5

## Định nghĩa mạch từ

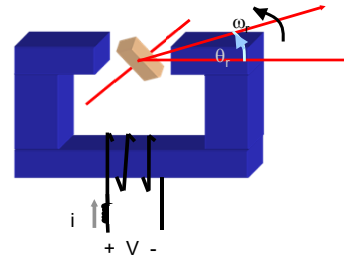
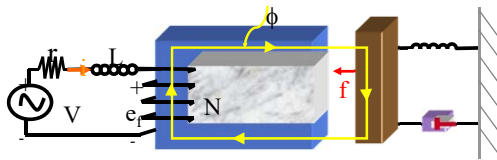
Mạch từ là tập hợp tất cả vật chất và môi trường nằm trên đường khép kín của từ thông.



6

## Ứng dụng lý thuyết trường điện từ

Áp dụng các phương trình Maxwell phân tích hệ thống biến đổi năng lượng điện cơ.



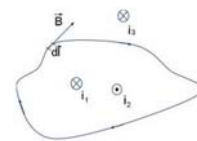
□ Khảo sát chủ yếu hệ thống trường từ chuẩn dừng.

7

## Các phương trình Maxwell liên quan đến bài toán trường điện từ

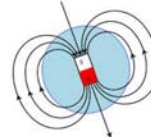
$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{J}_f \cdot \vec{n} da$$

Định luật Ampere  
hay định luật dòng điện toàn phần



$$\oint_S \vec{B} \cdot \vec{n} da = 0$$

Định luật Gauss  
từ trường



$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \vec{n} da$$

Định luật Faraday

$$\oint_S \vec{J}_f \cdot \vec{n} da = 0$$

Định luật bảo toàn  
điện tích

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

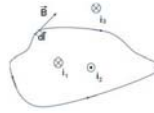
độ từ thẩm  $\mu$  phụ thuộc vào H

8

## Áp dụng định luật Ampere và định luật Gauss giải mạch từ

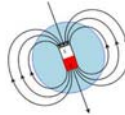
- Định luật Ampere hay định luật dòng điện toàn phần

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{J}_f \cdot \vec{n} da$$



- Định luật Gauss

$$\oint_S \vec{B} \cdot \vec{n} da = 0$$



→ xây dựng các định luật Ohm và các định luật Kirchhoff dòng từ thông (KCL) và từ áp (KVL) đối với mạch từ.

9

## Định luật Ohm trong mạch từ

Ví dụ áp dụng:

Mạch từ đối xứng vòng xuyên quấn N vòng dây

$A_c$ : tiết diện

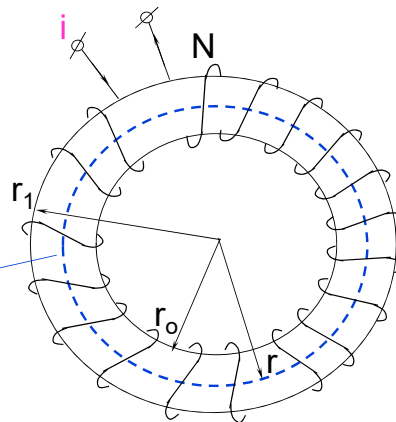
$r_o$ : bán kính trong

$r_1$ : bán kính ngoài

$r$ : bán kính trục lõi,  $r_1 - r_o \ll r$

$i$ : dòng điện

Đường trục lõi có chu vi là  $l_c = 2 \pi r$



c: viết tắt core



10

## Định luật Ohm trong mạch từ

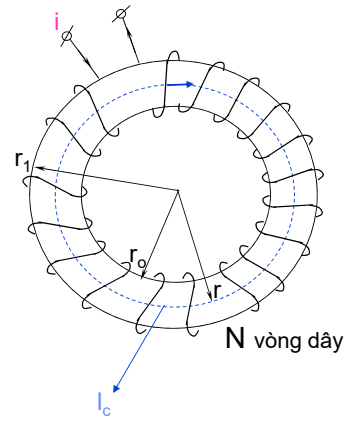
### Ví dụ áp dụng

Áp dụng định luật dòng điện toàn phần cho mạch vòng khép kín  $l_c$  là đường trục lõi

$$\oint_{l_c} \vec{H} d\vec{l} = H l_c = \boxed{\phantom{00}}$$

$$\boxed{\phantom{00}} = H l_c = \frac{B}{\mu} l_c = B \cdot A_c \frac{l_c}{\mu A_c} = \phi_c \cdot R_c$$

$$\boxed{\phantom{00}} = \phi_c \cdot R_c$$



11

## Định luật Ohm trong mạch từ

$$Ni = \phi_c \cdot R_c$$

→ Định luật Ohm trong mạch từ

$$Ni = \Phi R$$

$Ni$ : sức từ động, có thể ký hiệu  $F$

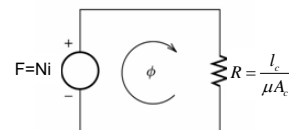
$$R = \frac{l_c}{\mu A_c} \quad : \text{từ trở}$$

$$G = 1/R \quad : \text{từ dẫn}$$

$$\Phi_c = B A_c: \text{từ thông chạy trong lõi thép}$$

$$F = \Phi_c R = H \cdot l \quad : \text{từ áp}$$

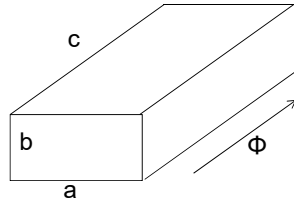
**Sức từ động  $Ni$  là nguồn sinh ra từ thông  $\Phi$  chạy khép kín trong mạch từ có từ trở  $R$ .**



12

## Định luật Ohm

Tính từ trở



13

## Định luật Kirchhoff áp (KVL)

Định luật Ohm → định luật Kirchhoff áp (KVL) đối với mạch từ

$$\sum_{p=1}^n N i_p + \sum_{k=1}^m \phi_k R_k = 0$$

Đối với một mạch vòng khép kín trong mạch từ, tổng đại số các từ áp rơi trên mạch vòng đó và các sức từ động là bằng không.

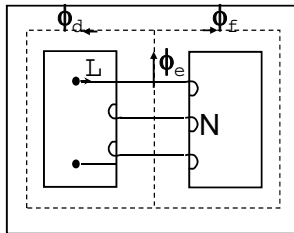
14

## Định luật Kirchhoff dòng (KCL)

Ví dụ áp dụng :

Xét mạch từ hình E.

Trụ giữa được quấn N vòng dây và có dòng điện I chạy qua. Sức từ động NI sinh ra các từ thông  $\phi_a$ ,  $\phi_b$ ,  $\phi_c$  chạy khép kín trong mạch từ.



15

## Định luật Kirchhoff dòng (KCL)

Áp dụng định luật Gauss cho mặt kín bao quanh phần giao của ba trụ lõi thép

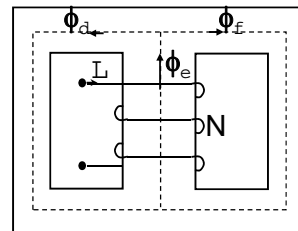
$$\phi_b - \phi_a - \phi_c = 0$$

$$\phi_b = \phi_a + \phi_c$$

→ Định luật Kirchhoff dòng (KCL) đối với mạch từ

Tổng đại số các từ thông đi vào đi ra khỏi một nút bất kỳ trong mạch từ bằng không.

$$\sum_{i=1}^n \phi_i = 0$$



16



## Đường cong B(H) của vật liệu sắt từ

Khi từ trường ngoài tác động là **từ trường 1 chiều**

Quan hệ B(H): phi tuyến

$$\vec{B} = \mu \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$$

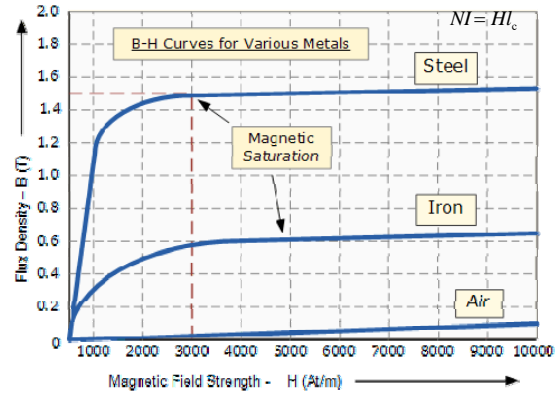
•  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ : hằng số từ hay độ từ thẩm chân không.

•  $\mu = \mu(H) = \mu_0 \mu_r(H)$ : độ từ thẩm

•  $\mu_r$ : độ từ thẩm tương đối

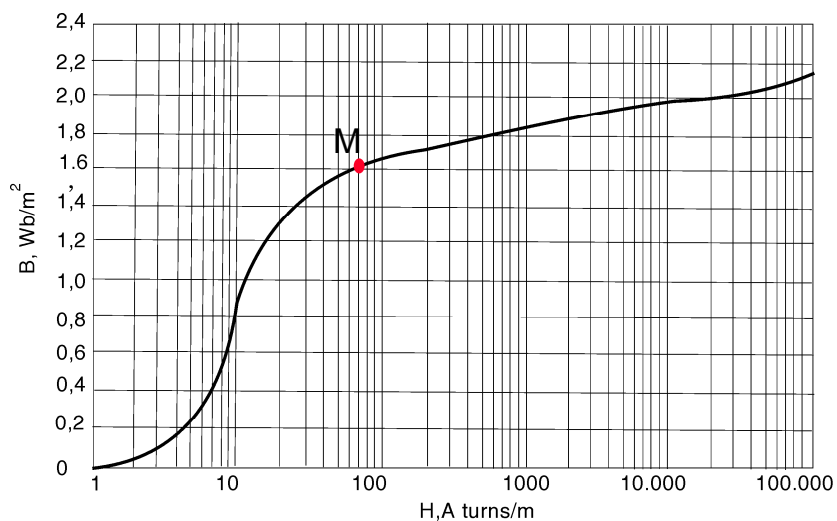
□ Khi mạch từ làm việc ở đoạn chưa bão hòa  $\rightarrow$  có thể tuyến tính hoá đoạn đặc tính làm việc:  $\mu_r \approx \text{const}$

□ Đối với các vật liệu phi từ tính như đồng, nhôm, vật liệu cách điện, không khí,... thì  $\mu_r \approx 1$



17

## Đường cong B(H) của thép M-5

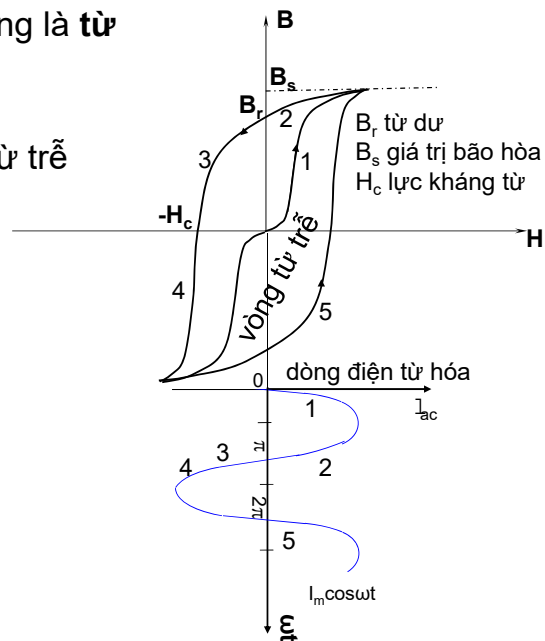
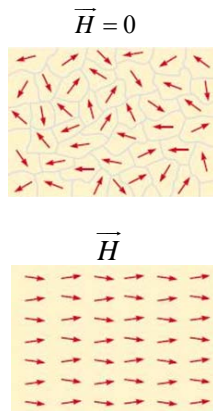


18

## Đường cong B(H) của vật liệu sắt từ

Khi từ trường ngoài (H) tác động là **từ trường xoay chiều**

→ vòng từ trễ → tổn hao do từ trễ



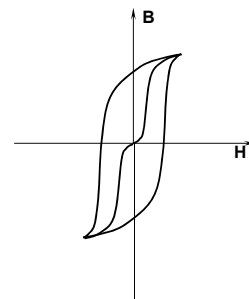
19

## Tổn hao trong vật liệu sắt từ

### Tổn hao từ trễ (hysteresis loss):

Ma sát nội tại giữa các vùng con khi bị xoay theo chiều tác động của từ trường ngoài → tổn hao từ trễ.

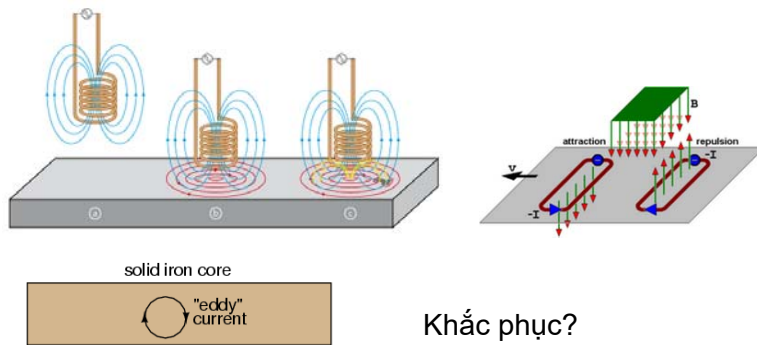
Tổn hao do từ trễ tăng theo diện tích vòng từ trễ và tần số từ trường ngoài.



20

## Tổn hao trong vật liệu sắt từ

Tổn hao dòng xoáy (eddy current loss)



## 3.2 Giải mạch từ

3.1 Định luật Kirchhoff 1 và 2 đối với mạch từ

3.2 Giải mạch từ

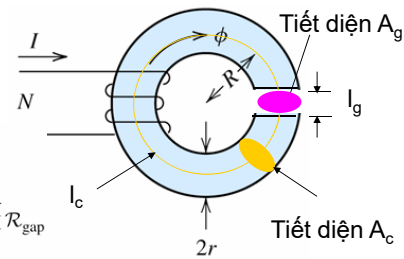
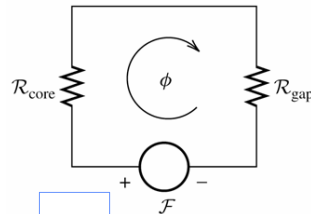
3.3 Hồ cảm

3.4 Máy biến áp

## Vòng xuyên có khe hở không khí

Cho vòng xuyên có khe hở không khí

Vẽ sơ đồ thay thế



Từ trở của lõi thép  $R_c =$

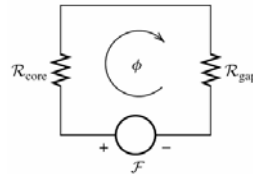
Từ trở của khe hở không khí  $R_g =$

23

## Vòng xuyên có khe hở không khí

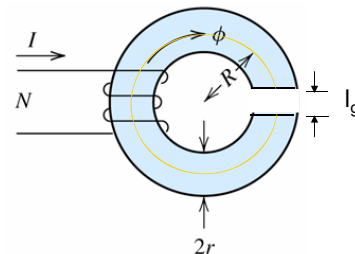
- Áp dụng định luật KVL

$$Ni = \phi(R_g + R_c)$$



- Hoặc áp dụng định luật Ampere

$$Ni = H_g l_g + H_c l_c = \frac{B_g}{\mu_0} l_g + \frac{B_c}{\mu_r \mu_0} l_c$$

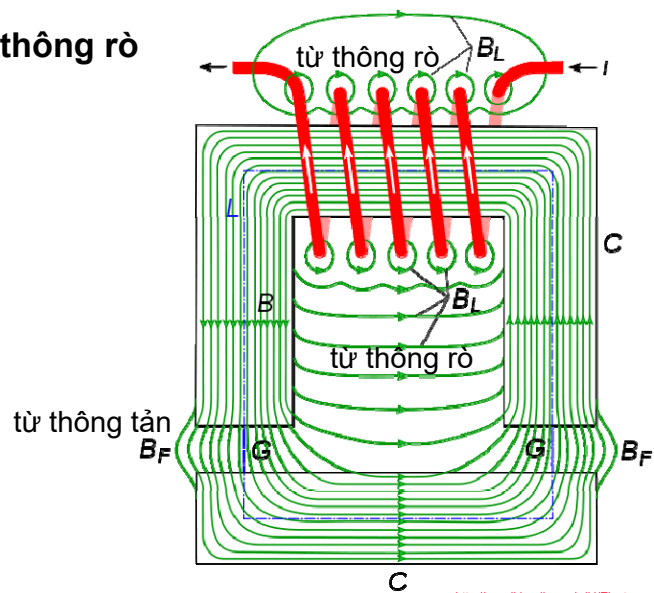


Lưu ý  $\phi R_g = H_g l_g$   $\phi R_c = H_c l_c$  là các **từ áp**

24

## Xét đến từ thông tản

### Từ thông tản và từ thông rò



<http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnet>

25

## Xét đến từ thông tản

Từ trở khe hở không khí  $R_g = \frac{l_g \text{ (hay } \delta \text{)}}{\mu_0 A_g}$

$A_g$  tiết diện thực tế khe hở không khí

- Khi  $l_g \ll a, b \rightarrow$  bỏ qua từ thông tản:

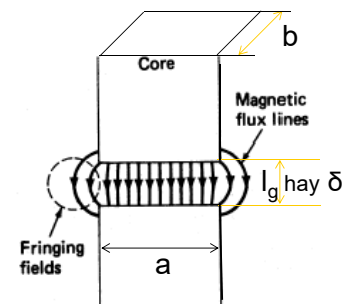
$$A_g = A_c = ab$$

- Khi không thỏa điều kiện trên, tồn tại từ thông tản

$$\rightarrow A_g > A_c$$

□ Một công thức kinh nghiệm

$$A_g = (a + l_g)(b + l_g)$$



26

## Sự tương tự giữa mạch từ và mạch điện



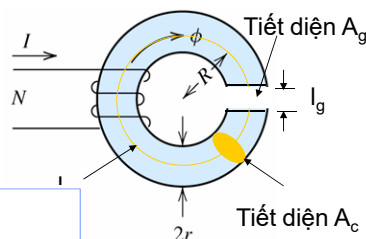
## Sự tương tự giữa mạch từ và mạch điện

MẠCH TỪ			MẠCH ĐIỆN		
Đại lượng	Ký hiệu	Thứ nguyên	Đại lượng	Ký hiệu	Thứ nguyên
Sức từ động	F	A vòng	Sức điện động	E	V
Từ thông	$\phi$	Wb	Dòng điện	I	A
Từ trở	$R_m$	1/H	Điện trở	R	$\Omega$
Từ dẫn	$G_m$	H	Điện dẫn	G	1/ $\Omega$
Tổng trở từ	$Z_m$	1/H	Tổng trở	Z	$\Omega$
Từ áp	$U_m$	A vòng	Điện áp	U	V

27

### Ví dụ. 3.1

Tìm sức từ động cần thiết để sinh ra mật độ từ thông 1 T trong khe hở không khí. Cho  $l_g=2$  mm,  $A_c=200$  mm<sup>2</sup>,  $l_c=60$  mm,  $\mu_r=5000$ . Giả sử  $A_g=1,1A_c$



Vẽ sơ đồ thay thế

Từ trở của lõi thép

$R_c =$

Từ trở của khe hở không khí

$R_g =$

28

### Ví dụ. 3.1

Từ thông trong khe hở không khí

Suy ra sức từ động

29

### Ví dụ. 3.2

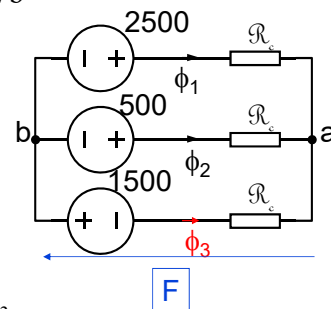
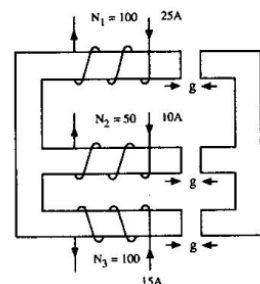
Tìm từ thông qua các cuộn dây. Xem độ từ thẩm lõi thép là vô cùng và bỏ qua từ thông tản. Lõi thép và khe hở không khí có cùng tiết diện  $4 \text{ cm}^2$ ,  $g=0,1 \text{ cm}$ .

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_c = \frac{(0,1 \cdot 10^{-2})}{(4\pi \cdot 10^{-7})(4 \cdot 10^{-4})} = 2 \cdot 10^6 \text{ Av/Wb}$$

Áp dụng KVL giữa 2 điểm a và b, KCL cho  $\phi_1$ ,  $\phi_2$ , và  $\phi_3$  ta có:

$$\frac{2500 - F}{R_c} + \frac{500 - F}{R_c} + \frac{-1500 - F}{R_c} = 0$$

$$\Rightarrow F = 500, \phi_1 = 10^{-3} \text{ Wb}, \phi_2 = 0, \phi_3 = -10^{-3} \text{ Wb}$$



30

## 3.3 Hồ cảm

3.1 Định luật Kirchhoff 1 và 2 đối với mạch từ

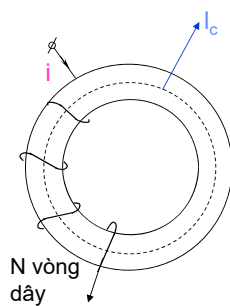
3.2 Giải mạch từ

3.3 Hồ cảm

3.4 Máy biến áp

### Hệ số tự cảm/độ tự cảm/điện cảm L

Dòng điện  $i$  chạy qua cuộn dây có  $N$  vòng dây



→ từ thông  $\Phi$  móc vòng qua  $N$  vòng dây và khép kín trong mạch từ.

→ từ thông móc vòng  $\lambda = N\Phi$

Nếu xem quan hệ  $\lambda(i)$  tuyến tính

→ **hệ số tự cảm** hay **độ tự cảm** hay **điện cảm**

$$L = \frac{\lambda}{i}$$

Đơn vị của điện cảm: Henry (H) = Wb/A = T.m<sup>2</sup>/A



## Hệ số tự cảm/độ tự cảm/điện cảm L

### Điện áp cảm ứng

Nếu dòng điện  $i$  chạy trong cuộn dây thay đổi theo thời gian

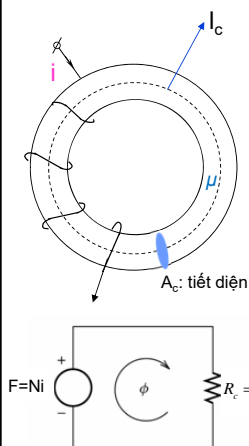
→ từ thông biến thiên móc vòng qua cuộn dây  $\lambda$

→ **điện áp cảm ứng** trong cuộn dây theo định luật cảm ứng điện từ Faraday:

$$v = \frac{d\lambda}{dt} = L \frac{di}{dt}$$

33

## Hệ số tự cảm/độ tự cảm/điện cảm L



Nếu xem quan hệ  $B(H)$  hay  $\lambda(i)$  là tuyến tính  
ie  $\mu$  không phụ thuộc  $i$  hay  $H$

→ độ tự cảm hay điện cảm

$$L = \frac{\lambda}{i} = \frac{N}{i} \phi = \frac{N}{i} \frac{Ni}{R_c} = \frac{N^2}{R_c} = \frac{N^2 A_c}{l_c} \mu$$

□ Trường hợp lý tưởng  $\mu = \infty$

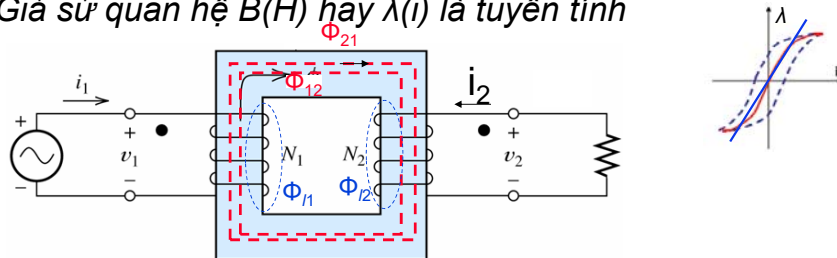
$$L = \frac{\lambda}{i} = \frac{N^2 A_c}{l_c} \mu = \infty$$

34

## Mạch từ có nhiều cuộn dây

**Xét mạch từ có 2 cuộn dây  $N_1$  và  $N_2$**  (ví dụ máy biến áp)

Giả sử quan hệ  $B(H)$  hay  $\lambda(i)$  là tuyến tính

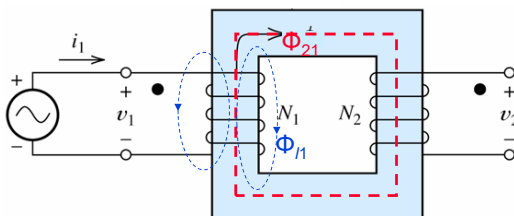


- Sức từ động  $i_1 N_1 \rightarrow$  từ thông chính  $\Phi_{21}$  móc vòng qua cả 2 cuộn dây  $N_1$  và  $N_2$ , và từ thông rò  $\Phi_{11}$  chỉ móc vòng qua cuộn dây  $N_1$ .
  - Sức từ động  $i_2 N_2 \rightarrow$  từ thông chính  $\Phi_{12}$  móc vòng qua cả 2 cuộn dây  $N_1$  và  $N_2$ , và từ thông rò  $\Phi_{22}$  chỉ móc vòng qua cuộn dây  $N_2$ .
- Cả 2 cuộn dây  $N_1$ , và  $N_2$  có cả tự cảm và hồ cảm.

35

## Tự cảm cuộn dây $N_1$

□  $N_1$  đấu vào nguồn điện,  $N_2$  để hở mạch.



$\Phi_{21}$ : từ thông chính, do  $i_1$  chạy trong  $N_1$  sinh ra và móc vòng qua cả 2 cuộn dây.

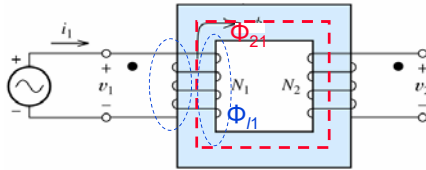
$\Phi_{11}$ : từ thông rò chỉ móc vòng qua cuộn dây  $N_1$ , do std  $i_1 N_1$  sinh ra.

- Tổng từ thông đi xuyên qua  $N_1$   $\phi_{11} = \phi_{21} + \phi_{11}$
- Từ thông móc vòng qua  $N_1$   $\lambda_1 = N_1 \phi_{11} = L_1 i_1$   
 $L_1$  điện cảm cuộn dây  $N_1$   $L_1 = \lambda_1 / i_1$
- Điện áp cảm ứng do tự cảm trong  $N_1$   $v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt}$

36

## Hỗ cảm $M_{21}$ do $N_1$ gây ra trên $N_2$

□  $N_1$  đấu vào nguồn điện,  $N_2$  hở mạch.



- Từ thông  $\Phi_{21}$  móc vòng qua  $N_2$

$$\lambda_2 = N_2 \phi_{21} = M_{21} i_1$$

- Định nghĩa **hệ số hỗ cảm** giữa cuộn dây 2 và 1:  $M_{21} = \lambda_2 / i_1$

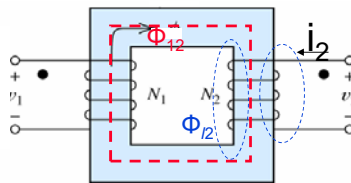
- Điện áp cảm ứng do hỗ cảm trong  $N_2$  (do  $\Phi_{21}$  của  $i_1$  móc vòng qua  $N_2$ )

$$v_2 = \frac{d\lambda_2}{dt} = M_{21} \frac{di_1}{dt}$$

37

## Tự cảm cuộn dây $N_2$

□  $N_2$  có dòng điện  $i_2$ ,  $N_1$  để hở mạch.



$\Phi_{12}$ : từ thông chính, do  $i_2$  chạy trong  $N_2$  sinh ra và móc vòng qua cả 2 cuộn dây

$\Phi_{22}$ : từ thông rò chỉ móc vòng qua cuộn dây  $N_2$ , do std  $i_2 N_2$  sinh ra

- Tổng từ thông đi xuyên qua  $N_2$   $\phi_{22} = \phi_{12} + \phi_{22}$

- Từ thông móc vòng qua  $N_2$   $\lambda_2 = N_2 \phi_{22} = L_2 i_2$

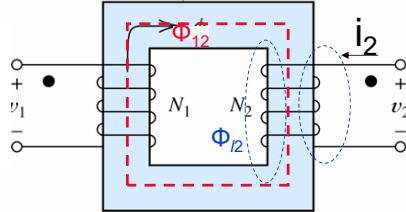
$L_2$ : điện cảm cuộn dây  $N_2$   $L_2 = \lambda_2 / i_2$

- Điện áp cảm ứng do tự cảm trong  $N_2$   $v_2 = L_2 \frac{di_2}{dt}$

38

## Hỗ cảm $M_{12}$ do $N_2$ gây ra trên $N_1$

□  $N_2$  có dòng điện  $i_2$ ,  $N_1$  để hở mạch.



• Từ thông  $\Phi_{12}$  móc vòng qua  $N_1$   $\lambda_1 = N_1 \phi_{12} = M_{12} i_2$

$M_{12}$  hỗ cảm giữa cuộn dây 1 và 2:  $M_{12} = \lambda_1 / i_2$

• Điện áp cảm ứng do hỗ cảm trong  $N_1$ :  $v_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} = M_{12} \frac{di_2}{dt}$

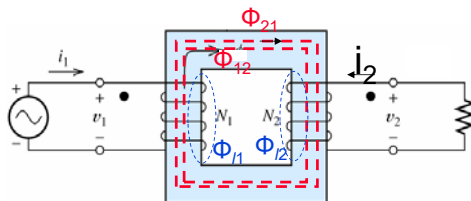
• Chứng minh được quan hệ:  $M_{12} = M_{21} = M$

Bằng cách khảo sát năng lượng tự cảm và hỗ cảm, hoặc tính hỗ cảm

39

## Điện áp cảm ứng trong các cuộn dây

□  $N_1$  có dòng điện  $i_1$ ,  $N_2$  có dòng điện  $i_2$ .



• Từ thông tổng

$$\begin{cases} \text{qua } N_1 & \phi_1 = \phi_{21} + \phi_{11} + \phi_{12} = \phi_{11} + \phi_{12} \\ \text{qua } N_2 & \phi_2 = \phi_{12} + \phi_{22} + \phi_{21} = \phi_{22} + \phi_{21} \end{cases}$$

• Từ thông móc vòng

$$\begin{cases} \lambda_1 = N_1 \phi_1 = N_1 \phi_{11} + N_1 \phi_{12} = L_1 i_1 + M i_2 \\ \lambda_2 = N_2 \phi_2 = N_2 \phi_{22} + N_2 \phi_{21} = L_2 i_2 + M i_1 \end{cases}$$

• Điện áp cảm ứng

$$\begin{cases} v_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \\ v_2 = \frac{d\lambda_2}{dt} = M \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt} \end{cases}$$

Nếu xem quan hệ  $\lambda(i)$  tuyến tính

40

## Hỗ cảm

- Mức độ ghép hỗ cảm giữa hai cuộn dây được xác định qua hệ số ghép hỗ cảm  $k$

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

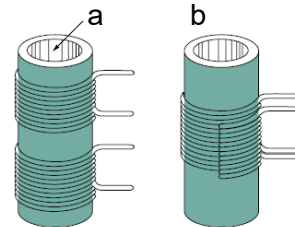
- Chứng minh được  $0 \leq k \leq 1$

$$0 \leq M \leq \sqrt{L_1 L_2}$$

Hỗ cảm không thể lớn hơn trung bình nhân (geometric mean) của các độ tự cảm.

$$\square k = 1 \Leftrightarrow M = \sqrt{L_1 L_2}$$

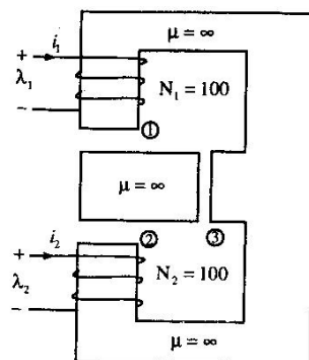
Ta có ghép lý tưởng, toàn bộ từ thông móc vòng cuộn dây này thì đều móc vòng qua cuộn dây kia.



41

## Ví dụ

Ví dụ 3.4: Cho trước từ trở của các khe hở không khí (KHKK) trong mạch từ:  $R_1=3 \cdot 10^6$ ,  $R_2=2 \cdot 10^6$ ,  $R_3=2 \cdot 10^6$  (AT/m). Vẽ mạch từ thay thế tương đương và tính các giá trị tự cảm và hỗ cảm.



Sơ đồ thay thế?



42

## Ví dụ

Ví dụ 3.4 (tt) tính các giá trị tự cảm và hồ cảm

$$\begin{cases} N_1 i_1 = \mathcal{R}_3 (\phi_1 - \phi_2) + \mathcal{R}_1 \phi_1 \\ N_2 i_2 = \mathcal{R}_2 \phi_2 - \mathcal{R}_3 (\phi_1 - \phi_2) \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 100 i_1 = (5 \phi_1 - 2 \phi_2) \cdot 10^6 \\ 100 i_2 = (-2 \phi_1 + 4 \phi_2) \cdot 10^6 \end{cases}$$

Tìm  $\phi_1$  và  $\phi_2$

$$\begin{cases} \phi_1 = (25 i_1 + 12,5 i_2) \times 10^{-6} \\ \phi_2 = (12,5 i_1 + 31,25 i_2) \times 10^{-6} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \lambda_1 = N_1 \phi_1 = (25 i_1 + 12,5 i_2) \cdot 10^{-4} \\ \lambda_2 = N_2 \phi_2 = (12,5 i_1 + 31,25 i_2) \cdot 10^{-4} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} v_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} = 25 \cdot 10^{-4} \frac{di_1}{dt} + 12,5 \cdot 10^{-4} \frac{di_2}{dt} \\ v_2 = \frac{d\lambda_2}{dt} = 12,5 \cdot 10^{-4} \frac{di_1}{dt} + 31,25 \cdot 10^{-4} \frac{di_2}{dt} \end{cases}$$

43

## Ví dụ

Ví dụ 3.4 (tt) tính các giá trị tự cảm và hồ cảm

$$(1) \begin{cases} v_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} = 25 \cdot 10^{-4} \frac{di_1}{dt} + 12,5 \cdot 10^{-4} \frac{di_2}{dt} \\ v_2 = \frac{d\lambda_2}{dt} = 12,5 \cdot 10^{-4} \frac{di_1}{dt} + 31,25 \cdot 10^{-4} \frac{di_2}{dt} \end{cases}$$

Từ định nghĩa độ tự cảm và hồ cảm ta có điện áp cảm ứng trong các cuộn dây  $N_1$  và  $N_2$ :

$$(2) \begin{cases} v_1 = \frac{d\lambda_1(i_1, i_2)}{dt} = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \\ v_2 = \frac{d\lambda_2(i_1, i_2)}{dt} = M \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt} \end{cases}$$

Đồng nhất hệ số (1) và (2)  $\rightarrow$

$$\begin{cases} L_1 = 25 \cdot 10^{-4} \text{ H} = 2,5 \text{ mH} \\ L_2 = 31,25 \cdot 10^{-4} \text{ H} = 3,125 \text{ mH} \\ M = 12,5 \cdot 10^{-4} \text{ H} = 1,25 \text{ mH} \end{cases}$$

44

### Ví dụ

Ví dụ 3.4 (tt) tính các giá trị tự cảm và hồ cảm

Trình bày ngắn gọn hơn:

Từ biểu thức từ thông móc vòng

$$\begin{cases} \lambda_1 = N_1 \phi_1 = (25i_1 + 12,5i_2) \cdot 10^{-4} \\ \lambda_2 = N_2 \phi_2 = (12,5i_1 + 31,25i_2) \cdot 10^{-4} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} L_1 = 25 \cdot 10^{-4} \text{ H} = 2,5 \text{ mH} \\ L_2 = 31,25 \cdot 10^{-4} \text{ H} = 3,125 \text{ mH} \\ M = 12,5 \cdot 10^{-4} \text{ H} = 1,25 \text{ mH} \end{cases}$$

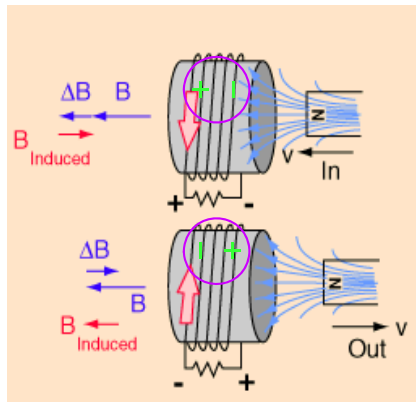
❑ Không cần phải chứng minh lại công thức

45

### Cực tính các cuộn dây

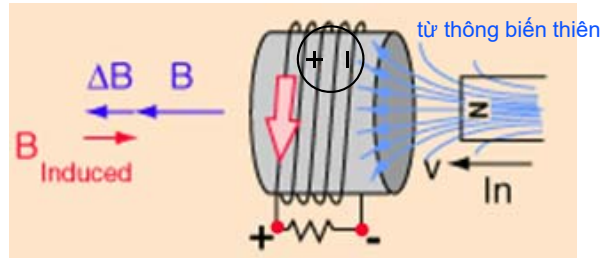
#### Định luật Lenz:

Điện áp cảm ứng bởi từ thông biến thiên có chiều sao cho dòng điện do nó sinh ra tạo ra từ thông chống lại từ thông biến thiên này.



46

## Cực tính các cuộn dây

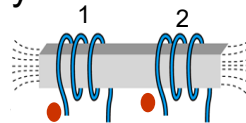


Chiều của điện áp cảm ứng phụ thuộc vào:

- chiều quấn cuộn dây
- việc chọn đầu đầu và đầu cuối.

47

## Đấu nối các cuộn dây

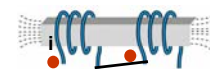


• Từ định luật Lenz → khi đấu nối những cuộn dây có từ thông móc vòng lẫn nhau, cần quan tâm đến đầu đầu và đầu cuối cuộn dây, ie. các cực cùng tên, hay là **cực tính của cuộn dây**.

• Việc đấu cùng hay ngược cực tính các cuộn dây liên quan đến sự cùng pha hay ngược pha của các điện áp cảm ứng (sđđ) tự cảm và hổ cảm trong từng cuộn dây:

- Đấu các cuộn dây cùng cực tính:

→ sđđ cảm ứng tự cảm và hổ cảm trong từng cuộn dây có cùng pha.



- Đấu các cuộn dây ngược cực tính:

→ sđđ cảm ứng trong từng cuộn dây ngược pha.



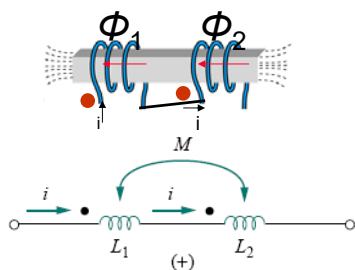
48



## Điện cảm tổng

Các trường hợp đầu nối:

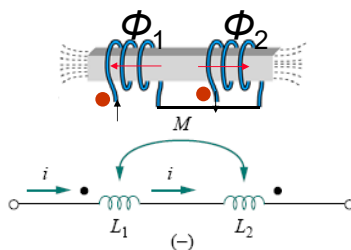
Đầu cùng cực tính



$$L = L_1 + L_2 + 2M$$

Điện áp cảm ứng tự cảm và hồ cảm trong các cuộn dây cùng pha.

Đầu ngược cực tính



$$L = L_1 + L_2 - 2M$$

Điện áp cảm ứng tự cảm và hồ cảm trong các cuộn dây ngược pha.

49

## Năng lượng tích trữ trong các cuộn dây

- Năng lượng tích trữ trong một cuộn dây

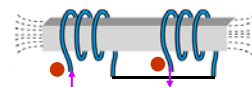
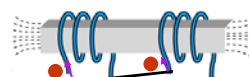
$$W = \frac{1}{2} L i^2 \quad \text{Đơn vị: Joule}$$

- Năng lượng tích trữ trong hai cuộn dây ghép hồ cảm:

$$W = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 \pm M i_1 i_2$$

Dấu cộng: khi đầu cùng cực tính (cả hai dòng điện cùng đi vào hay đi ra khỏi cực tính).

Dấu trừ: khi đầu ngược cực tính (khi có một dòng điện đi vào và một dòng điện đi ra khỏi cực tính).



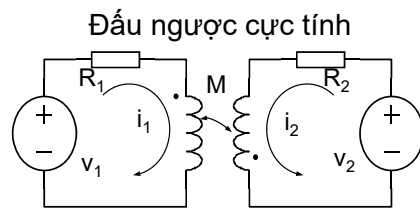
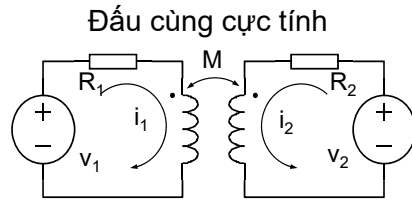
50

## Ví dụ máy biến áp

Chọn chiều dòng điện như hình vẽ

$$\begin{cases} v_1 = i_1 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} & M \frac{di_2}{dt} \\ v_2 = i_2 R_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} & M \frac{di_1}{dt} \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_1 = i_1 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} & M \frac{di_2}{dt} \\ v_2 = i_2 R_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} & M \frac{di_1}{dt} \end{cases}$$



Chỉ cần xét chiều dòng điện:

- cùng vào/cùng ra khỏi cuộn dây  $\rightarrow$  dấu +
- 1 dòng vào, 1 dòng ra  $\rightarrow$  dấu trừ

51

## Ví dụ

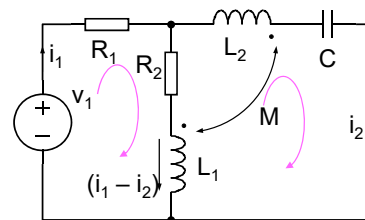
Ví dụ 3.6: Viết các phương trình mạch vòng cho mạch điện sau:

Giả sử điện áp ban đầu của tụ bằng 0.

- Xét mạch vòng bên trái

$$v_1 = i_1 R_1 + (i_1 - i_2) R_2 + L_1 \frac{d}{dt}(i_1 - i_2) \quad M \frac{di_2}{dt}$$

- Xét mạch vòng bên phải

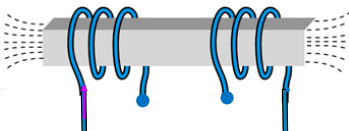
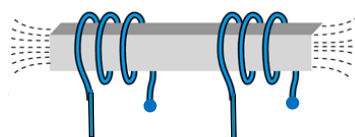


$$0 = L_2 \frac{di_2}{dt} \quad M \frac{d}{dt}(i_1 - i_2) + \frac{1}{C} \int_0^t i_2 dt - L_1 \frac{d}{dt}(i_1 - i_2) \quad M \frac{di_2}{dt} - (i_1 - i_2) R_2$$

52

## Phương pháp xác định cực tính các cuộn dây

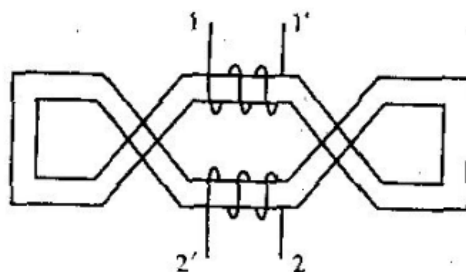
□ Trường hợp cho sẵn các cuộn dây với chiều quấn và các đầu ra



53

Ví dụ

Ví dụ 3.5



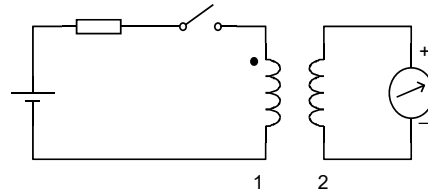
54

## Phương pháp xác định cực tính các cuộn dây

### ❑ Xác định bằng thực nghiệm

- Xác định bằng thực nghiệm cực tính các cuộn dây máy biến áp (2 cuộn dây quấn trên cùng 1 lõi)

- Dùng nguồn 1 chiều kích thích 2 đầu dây của cuộn dây 1.



- 2 đầu cuộn dây thứ hai đầu vào Vôn kế.
- Những đầu cùng ứng với cực dương của nguồn và chiều tăng dương của Vôn kế là cùng cực tính, hoặc ngược lại.

55

## 3.4 Máy biến áp

3.1 Định luật Kirchhoff 1 và 2 đối với mạch từ

3.2 Giải mạch từ

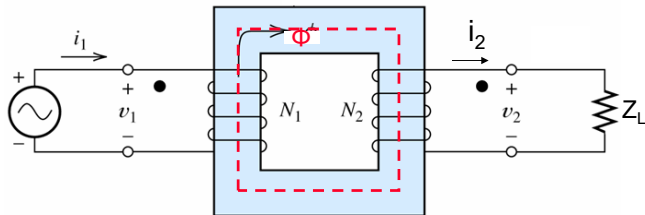
3.3 Hồ cảm

3.4 Máy biến áp

56

## Giới thiệu chung

- Máy biến áp (MBA) truyền tải năng lượng điện từ cuộn dây này sang cuộn dây kia thông qua từ trường biến thiên theo thời gian.

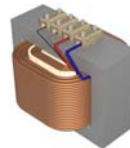


- Máy biến áp ứng dụng trong ngành điện tử/viễn thông như dùng để biến đổi điện áp, phối hợp tổng trở, cách ly DC, v.v
- Máy biến áp ứng dụng trong truyền tải và phân phối điện năng, gọi là MBA lực (hay MBA điện lực) dùng để tăng hoặc giảm áp.

57

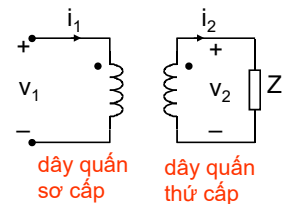
## MBA lực

- MBA gồm hai (hay nhiều hơn) cuộn dây quấn trên cùng một mạch từ.



- Cuộn dây đấu vào nguồn điện gọi là **cuộn dây hay dây quấn sơ cấp**.

- Cuộn dây cảm ứng từ thông móc vòng của dây quấn sơ cấp gọi là **dây quấn thứ cấp** (đấu vào tải).



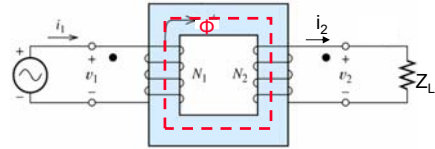
- Ký hiệu máy biến áp trong các sơ đồ điện:

58

## MBA lý tưởng – các quan hệ áp và dòng

Các giả thiết MBA lý tưởng:

- Bỏ qua bỏ qua điện trở cuộn dây
- Bỏ qua từ thông rò
- Bỏ qua tổn hao trong lõi thép,
- Độ từ thẩm  $\mu \rightarrow \infty$
- Bỏ qua điện dung ký sinh.



• Quan hệ giữa  $v_1$  và  $v_2$  thể hiện qua **tỷ số biến áp**:

Điện áp trên 2 đầu dây quấn (theo định luật cảm ứng điện từ) :

$$v_1(t) = N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad v_2(t) = N_2 \frac{d\phi}{dt} \quad \Rightarrow \quad \frac{v_1(t)}{v_2(t)} \cong \frac{N_1}{N_2} = a$$

**a: tỷ số biến áp**

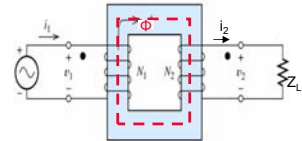
Áp dụng KVL cho mạch từ:

$$N_1 i_1 - N_2 i_2 = R_c \phi \cong 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{i_1(t)}{i_2(t)} \cong \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a}$$

□ Trong thực tế  $\mu \neq \infty \rightarrow R_c \neq 0 \rightarrow N_1 i_1 + N_2 i_2 \neq 0$

59

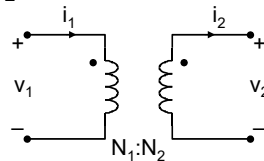
## MBA lý tưởng – quan hệ công suất



Tùy theo chiều quy ước dòng điện  $i_2$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad \frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a}$$

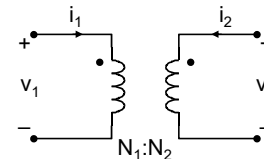
$$v_1(t)i_1(t) = +v_2(t)i_2(t)$$



Hoặc:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad \frac{i_1}{i_2} = -\frac{N_2}{N_1} = -\frac{1}{a}$$

$$v_1(t)i_1(t) = -v_2(t)i_2(t)$$



Ý nghĩa: *MBA không tích trữ năng lượng*, năng lượng nhận được từ nguồn điện được chuyển hết thành năng lượng sử dụng trên tải.

→ Đối với MBA lý tưởng, có thể chứng minh ([1]):

$$\text{Hệ số ghép hồ cảm } k=1 \quad \text{và} \quad \frac{i_1}{i_2} = -\frac{\sqrt{L_2}}{\sqrt{L_1}} = -\frac{v_2}{v_1} = -\frac{1}{a}$$

60

## MBA lý tưởng biến đổi tổng trở

Đầu tải  $Z_L$  vào cuộn dây 2

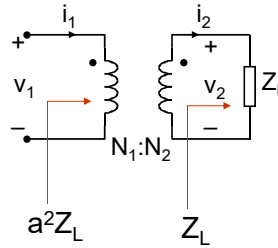
$$\frac{\bar{V}_2}{\bar{I}_2} = Z_L$$

Tổng trở nhìn từ cuộn dây sơ cấp

Do  $\bar{V}_2 = \bar{V}_1/a \quad \bar{I}_2 = a\bar{I}_1$

$$\frac{\bar{V}_1}{\bar{I}_1} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \frac{\bar{V}_2}{\bar{I}_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_L = a^2 Z_L$$

Tính chất biến đổi tổng trở của MBA:  $Z_L \rightarrow a^2 Z_L$



61

## Dùng MBA phối hợp tổng trở

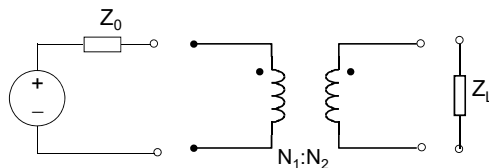
### • Phối hợp tổng trở

Dùng tính chất biến đổi tổng trở của MBA  $\rightarrow$  cực đại hóa năng lượng cung cấp cho tải từ nguồn điện

Điều kiện phối hợp tổng trở:  $Z_L = Z_0^*$

### • Thực hiện:

Đặt MBA giữa nguồn điện có tổng trở  $Z_0$  và tải  $Z_L$ .



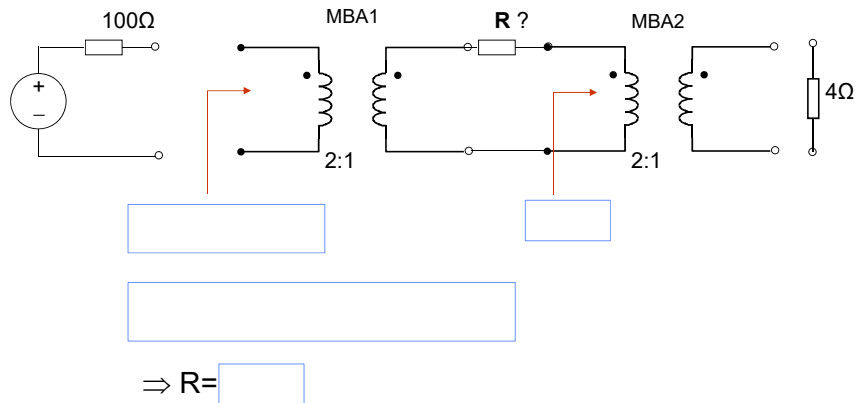
$\rightarrow$  Chọn tỷ số biến áp sao cho:

$$Z_0 \approx \left(N_1/N_2\right)^2 Z_L^*$$

62

## Dùng MBA phối hợp tổng trở

Ví dụ 3.7: Hai MBA lý tưởng có tỷ số biến áp 2:1 và 1 điện trở R được sử dụng để phối hợp điện trở tải 4 Ω với nguồn điện có điện trở 100 Ω. Tính R?



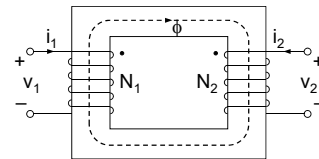
63

## MBA lực

### Quan hệ điện áp - từ thông:

Cuộn dây sơ cấp đấu vào nguồn điện áp dạng sin:

$$v_1(t) = V_{m1} \cos \omega t$$



Từ định luật cảm ứng điện từ Faraday

→ điện áp cảm ứng trong dây quấn sơ cấp:  $v = \frac{d\lambda}{dt}$

Nếu bỏ qua điện trở dây quấn và từ thông rò:  $v_1 \cong v = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{N_1 d\phi}{dt}$

Chuyển các phương trình vi phân → dạng số phức → các giá trị hiệu dụng và biên độ

$$\bar{V}_1 \cong \bar{V} = j\omega N_1 \bar{\phi}$$

$$V_1 \cong \frac{N_1 \omega \phi_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{N_1 2\pi f \phi_{\max}}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \pi f N_1 \phi_{\max} = 4,44 f N_1 \phi_{\max}$$

Quy ước: E, V, I: giá trị hiệu dụng  
Φ, λ, B, H: giá trị biên độ

64



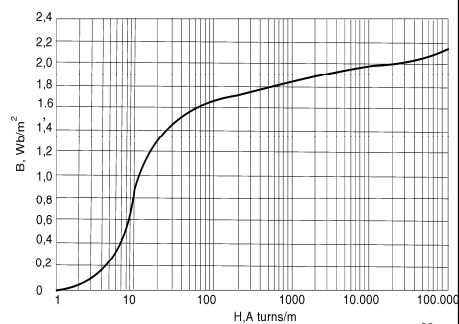
## MBA lực

Ví dụ 3.8: Cho MBA có  $N_1=200$  vòng,  $N_2=400$  vòng, tiết diện lõi thép  $0,005\text{m}^2$  và chiều dài trung bình lõi thép  $l=0,5\text{m}$ , **đường cong B-H tuyến tính ( $70\text{AT/m}$ ;  $1,6\text{Wb/m}^2$ )**, và điện áp nguồn  $230\text{V}$ ,  $60\text{Hz}$ . Tìm biên độ cảm ứng từ  $B$  và dòng điện từ hóa.

65

## MBA lực

Ví dụ 3.8: Cho MBA có  $N_1=200$  vòng,  $N_2=400$  vòng, tiết diện lõi thép  $0,005\text{m}^2$  và chiều dài trung bình lõi thép  $l=0,5\text{m}$ , **đường cong B-H phi tuyến**, và điện áp nguồn  $230\text{V}$ ,  $60\text{Hz}$ . Tìm biên độ cảm ứng từ  $B$  và dòng điện từ hóa.



66

## MBA lực

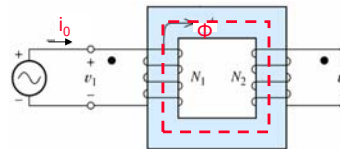
Ví dụ 3.8': Cho MBA có  $N_1=200$  vòng,  $N_2=400$  vòng, tiết diện lõi thép  $0,005\text{m}^2$  và chiều dài trung bình lõi thép  $l=0,5\text{m}$ , đường cong B-H tuyến tính ( $70\text{AT/m}$ ,  $1,6\text{ Wb/m}^2$ ), và điện áp nguồn  $230\text{V}$ ,  $60\text{Hz}$ . Tìm dòng điện từ hóa khi mạch từ có khe hở không khí  $l_g=1\text{mm}$ . Nhận xét

67

## Dòng điện từ hóa

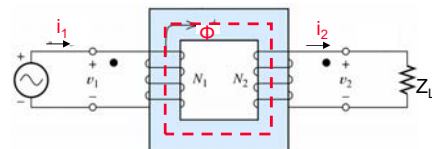
- Khi MBA hoạt động không tải:

$$N_1 I_1 = N_1 I_0 = \frac{\phi_m R_c}{\sqrt{2}}$$



- Khi MBA hoạt động có tải:

$$N_1 \dot{I}_1 - N_2 \dot{I}_2 = \frac{\phi_m R_c}{\sqrt{2}}$$



- Quan hệ giữa các dòng điện:

$$\rightarrow N_1 \dot{I}_1 - N_2 \dot{I}_2 \cong N_1 \dot{I}_0$$

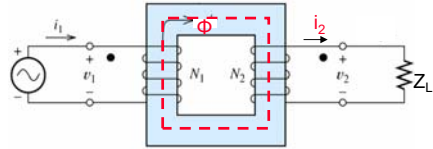
$$\text{Hay} \quad \dot{I}_1 - \dot{I}_2 / a = R_c \phi_m \cong \dot{I}_0$$

Dòng từ hóa máy biến áp = dòng không tải

68

## Mạch điện thay thế MBA

Xét MBA khi không bỏ qua từ thông rò và điện trở dây quấn sơ cấp và thứ cấp  $R_1$  và  $R_2$ .



Phương trình cân bằng điện áp trong dây quấn sơ cấp và thứ cấp:

$$\begin{cases} v_1 = i_1 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} \\ 0 = i_2 R_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt} + i_2 R_L \\ v_2 = i_2 R_L \end{cases}$$

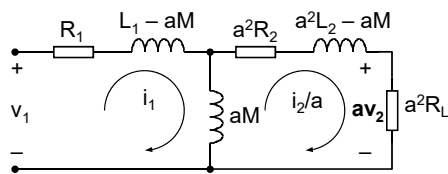
69

## Mạch điện thay thế MBA

Biến đổi tương đương hệ phương trình

$$\begin{cases} v_1 = i_1 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} \\ 0 = i_2 R_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt} + i_2 R_L \\ v_2 = i_2 R_L \end{cases} \quad a = \frac{N_1}{N_2} \quad \begin{cases} v_1 = i_1 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - aM \frac{d}{dt} \left( \frac{i_2}{a} \right) \\ 0 = \left( \frac{i_2}{a} \right) a^2 R_2 + a^2 L_2 \frac{d}{dt} \left( \frac{i_2}{a} \right) - aM \frac{di_1}{dt} + \left( \frac{i_2}{a} \right) a^2 R_L \\ av_2 = \left( \frac{i_2}{a} \right) a^2 R_L \end{cases}$$

↔ Mạch điện thay thế tương đương

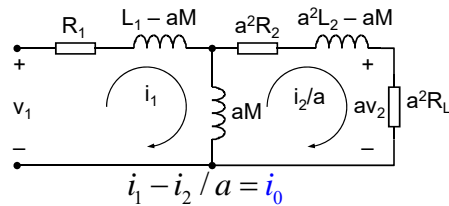


→ Dây quấn thứ cấp được **quy đổi** về dây quấn sơ cấp.

70

## Mạch điện thay thế MBA

Một số thuật ngữ và ký hiệu



$$L_1 - aM = N_1 \phi_{l1} / i_1 \quad \text{điện cảm rò của cuộn dây 1}$$

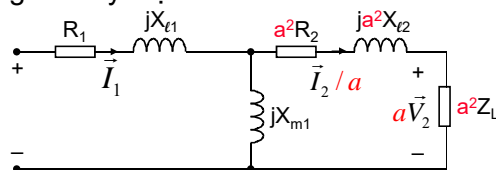
$$a^2 L_2 - aM = \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 N_2 \phi_{l2} / i_2 \quad \text{điện cảm rò cuộn dây 2 quy đổi của về cuộn dây 1}$$

$$aM \quad \text{điện cảm từ hóa, có dòng từ hóa } i_0 \text{ chạy qua, ie dòng điện cần thiết để tạo ra từ thông}$$

71

## Mạch điện thay thế MBA

Một số thuật ngữ và ký hiệu



$$\omega(L_1 - aM) = X_{l1} \quad \text{điện kháng rò của cuộn dây 1}$$

$$\omega(L_2 - M / a) = X_{l2} \quad \text{điện kháng rò cuộn dây 2}$$

$$\omega(a^2 L_2 - aM) = a^2 X_{l2} \quad \text{điện kháng rò cuộn dây 2 quy đổi của về cuộn dây 1}$$

$$\omega aM = X_{m1} \quad \text{điện kháng từ hóa quy đổi về cuộn dây 1}$$

$$R_1 \quad \text{điện trở cuộn dây 1}$$

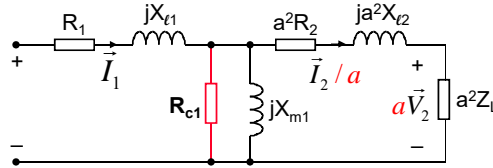
$$a^2 R_2 \quad \text{điện trở cuộn dây 2 quy đổi của về cuộn dây 1}$$

$$a^2 Z_L \quad \text{tổng trở tải quy đổi của về cuộn dây 1}$$

72

## Mạch điện thay thế xét đến tổn hao trong lõi thép

Nếu cần xét đến tổn hao do từ trễ và dòng xoáy trong lõi thép  
→ đấu thêm điện trở  $R_{c1}$  song song với nhánh từ hóa  $aM$  hay  $jX_{m1}$ .



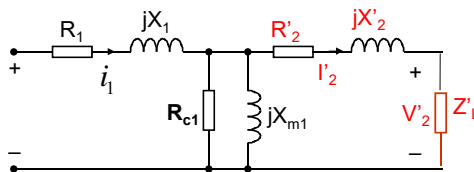
Trường hợp quy đổi máy biến áp về phía cuộn dây sơ cấp hay cuộn dây 1,  $R_{c1}$  và  $jX_{m1}$  ở về phía cuộn dây sơ cấp, lưu ý chỉ số (1).

- Các giá trị trở, kháng, tổng trở tải trên cuộn dây thứ cấp được **quy đổi về dây quấn sơ cấp** qua hệ số  $a^2$ .
  - Điện áp dây quấn thứ cấp quy đổi về dây quấn sơ cấp qua hệ số **a**
  - Dòng điện dây quấn thứ cấp quy đổi về dây quấn sơ cấp qua hệ số **1/a**
- ie. Bảo đảm năng lượng/công suất không bị thay đổi khi quy đổi.**

73

## Mạch điện thay thế MBA

Ký hiệu khác

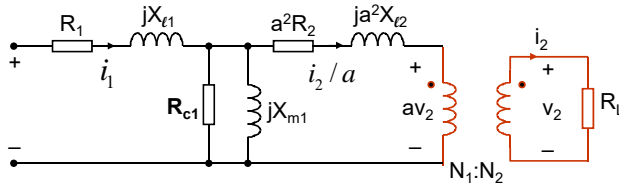


$$\begin{aligned} V'_2 &= aV_2 \\ I'_2 &= I_2/a \\ X'_2 &= ja^2X_{l2} \\ R'_2 &= a^2R_2 \\ Z'_L &= a^2Z_L \end{aligned}$$

74

## Mạch điện thay thế MBA

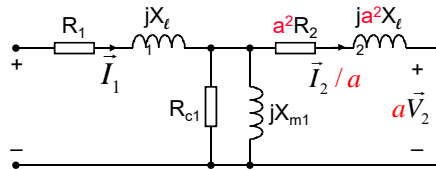
Để có các giá trị thực trên tổng trở tải  $\rightarrow$  dùng thêm MBA lý tưởng



75

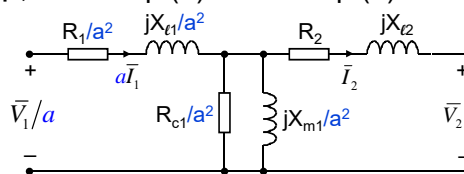
## Quy đổi MBA ngược lại, từ sơ cấp $\rightarrow$ thứ cấp

- Ta đã quy đổi MBA từ thứ cấp (2) về sơ cấp (1)

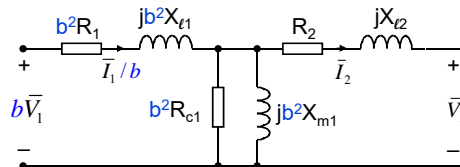


- Có thể quy đổi ngược lại, từ sơ cấp (1) về thứ cấp (2)

-  $a = N_1/N_2$



- Nếu ký hiệu  $b = N_2/N_1$

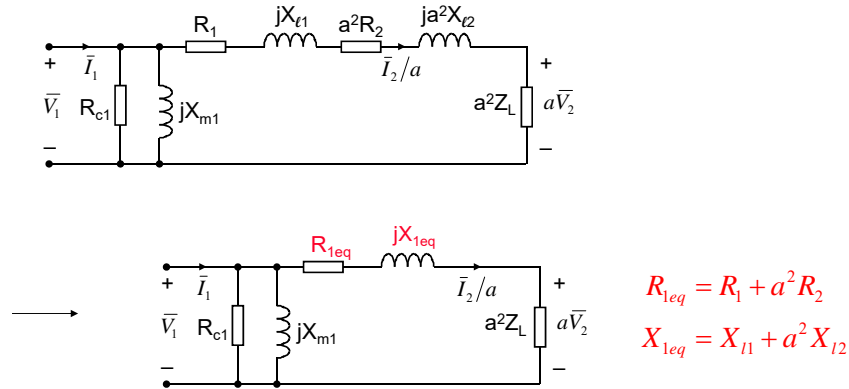


76

## Sơ đồ thay thế gần đúng MBA

Nếu  $R_{c1}$  và  $X_{m1}$  lớn (đặc biệt đối với MBA công suất lớn)

→ sơ đồ thay thế gần đúng MBA → thuận tiện trong tính toán



$R_{1eq}$  và  $X_{1eq}$ : điện trở và điện kháng tương đương quy đổi về sơ cấp của MBA.

77

## Thí nghiệm không tải và thí nghiệm ngắn mạch

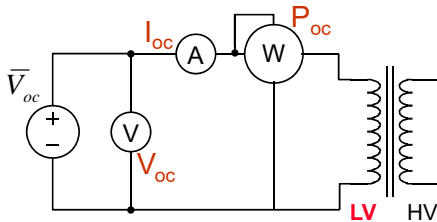
Các điện trở và điện kháng trong sơ đồ thay thế của máy biến áp có thể được:

- xác định từ các kết quả thí nghiệm không tải và thí nghiệm ngắn mạch
- tính toán từ các thông số của mạch từ, dây quấn máy biến áp.

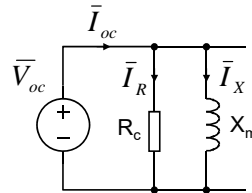
78

## Thí nghiệm không tải

### • Sơ đồ thí nghiệm

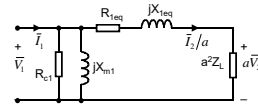


LV- low voltage, hạ thế  
HV- high voltage, cao thế  
oc: open circuit



### • Các số liệu thí nghiệm đo được ở LV: $V_{oc}$ , $I_{oc}$ , $P_{oc}$

Lưu ý  $V_{oc}$  = điện áp định mức dây quấn hạ thế



79

## Thí nghiệm không tải

### • Tính : $R_c$ , $X_m$

Từ các số liệu thí nghiệm:  $V_{oc}$ ,  $I_{oc}$ ,  $P_{oc}$

$$\rightarrow R_c = \frac{V_{oc}^2}{P_{oc}}$$

$$\text{do } \bar{I}_{oc} = \bar{I}_R + \bar{I}_X$$

$$I_R = \frac{V_{oc}}{R_c}$$

$$\rightarrow I_X = \sqrt{I_{oc}^2 - I_R^2}$$

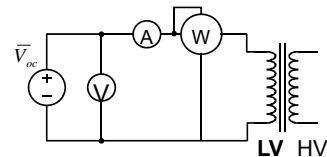
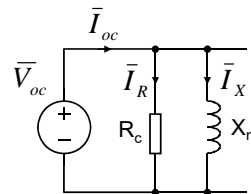
$$X_m = \frac{V_{oc}}{I_X}$$

$R_c$  và  $X_m$  quy đổi về phía LV hay HV?

Do tính bên LV  $\rightarrow R_c$  và  $X_m$  là các giá trị quy đổi về phía LV của MBA.

Quy đổi về phía HV (sơ cấp) bằng cách nhân hay chia các giá trị trên với  $a^2$ ?

$$a = V_{HV}/V_{LV} = N_{HV}/N_{LV}$$

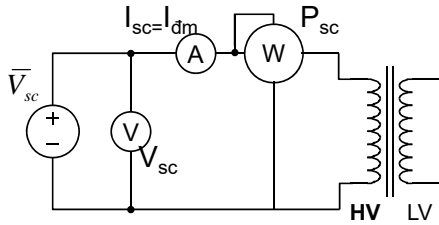


80

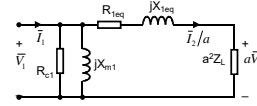
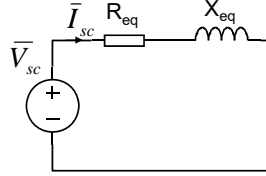


## Thí nghiệm ngắn mạch

- Sơ đồ thí nghiệm



- Sơ đồ thay thế ?



- Các số liệu thí nghiệm đo được ở HV:  $V_{sc}$ ,  $I_{sc}$ ,  $P_{sc}$

Lưu ý  $I_{sc}$  thường lấy bằng dòng điện định mức dây quấn HV (cao thế)

$$V_{sc} = (2 - 20)\% V_{HV \text{ định mức}}$$

- Tính:  $R_{eq}$ ,  $X_{eq}$  ?

$$R_{eq} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2}$$

$$Z_{eq} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}}$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2}$$

$R_{eq}$  và  $X_{eq}$  là các giá trị quy đổi về phía HV của MBA.

1

## Giải thích về các đại lượng định mức của MBA

- Công suất (biểu kiến) định mức  
= Dòng điện định mức \* Điện áp định mức

- Điện áp định mức, công suất định mức: các giá trị điện áp và công suất cho trên nhãn MBA.

MÁY BIẾN ÁP 1 PHA _ 50 KVA	
Thông số kĩ thuật	
Tiêu chuẩn	ĐL2 - QĐ1094
Dung lượng (KVA)	50
Điện áp	12,7 KV/ 0,23 KV
Tổ đấu dây	I/lo
Tổn hao không tải Po (W)	108
Dòng điện không tải Io (%)	1
Tổn hao ngắn mạch ở 75 độ C Pk(W)	570
Điện áp ngắn mạch Uk (%)	2,2
Kích thước máy	
L (mm)	690
W	300
H	1230
A	473
Trọng lượng (kg)	
Dầu (kg)	78
Ruột máy (kg)	229
Tổng (kg)	350

82

## Ví dụ

Ví dụ 3.9 Vẽ sơ đồ thay thế tương đương của MBA 7,5 KVA, 440/220V có các số liệu thí nghiệm không tải và ngắn mạch như sau:

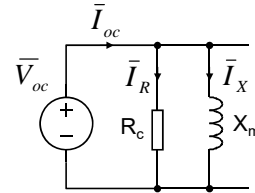
Thí nghiệm không tải (đo bên thứ cấp):  $V_{oc}=220V$ ,  $I_{oc}=1A$ ,  $P_{oc}=50W$

Thí nghiệm ngắn mạch (đo bên sơ cấp):  $V_{sc}=15V$ ,  $I_{sc}=17A$ ,  $P_{sc}=60W$

### • Từ thí nghiệm không tải

$$R_c = \frac{V_{oc}^2}{P_{oc}} = \frac{(220)^2}{50} = 968 \, \Omega \quad I_R = \frac{V_{oc}}{R_c} = \frac{220}{968} = 0,227 \, A$$

$$I_X = \sqrt{I_{oc}^2 - I_R^2} = \sqrt{1^2 - (0,227)^2} = 0,974 \, A \quad X_m = \frac{V_{oc}}{I_X} = \frac{220}{0,974} = 225,9 \, \Omega$$



$R_c$  và  $X_m$  là các giá trị quy đổi về phía thứ cấp của MBA

→ quy đổi về phía sơ cấp, với  $a=2$

$$R_c = 968 \cdot 2^2 = 3872 \, \Omega \quad X_m = 225,9 \cdot 2^2 = 904 \, \Omega$$

83

## Ví dụ

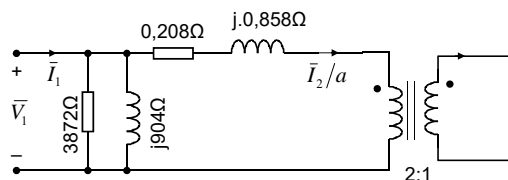
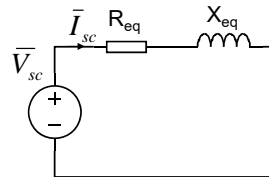
### • Từ thí nghiệm ngắn mạch

$$R_{eq} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2} = \frac{60}{(17)^2} = 0,208 \, \Omega \quad Z_{eq} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} = \frac{15}{17} = 0,882 \, \Omega$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2} = \sqrt{0,882^2 - 0,208^2} = 0,858 \, \Omega$$

$R_{eq}$  và  $X_{eq}$  là các giá trị quy đổi về phía sơ cấp của MBA

Sơ đồ thay thế tương đương của MBA



84

## Hiệu suất MBA

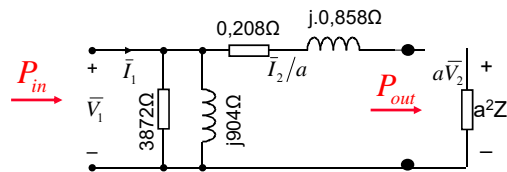
• Định nghĩa:  $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$  hay  $\eta\% = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$

• Tính hiệu suất  $\eta\% = \frac{P_{in} - P_c - P_i}{P_{in}} \times 100\%$

$$\eta\% = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_c + P_i} \times 100\%$$

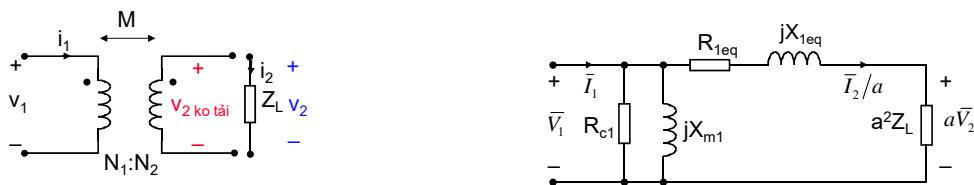
$P_c$ : tổn hao đồng ( $I^2R$ ) trên dây quấn sơ cấp và thứ cấp

$P_i$ : tổn hao sắt (dòng xoáy và từ trễ) trên lõi thép MBA



85

## Hiệu Chỉnh Điện Áp Máy Biến Áp



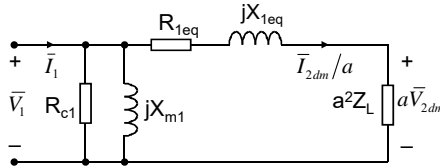
• Hiệu Chỉnh Điện Áp (voltage regulation) hay phần trăm độ thay đổi điện áp hay sụt áp MBA ở tải cho trước được định nghĩa như sau:

$$\% \text{ hiệu chỉnh điện áp} = \frac{V_{2 \text{ không tải}} - V_2}{V_2} \times 100\%$$

86

### Ví dụ 3.10

Cho máy biến áp 150 kVA, 2400/240 V, 60 Hz . Các thông số trong sơ đồ thay thế như sau:  $R_{1eq} = 0,425 \, \Omega$ ,  $X_{1eq} = 0,914 \, \Omega$ ,  $R_{c1} = 9931 \, \Omega$  quy đổi về cao thế. Tính hiệu suất MBA ở tải cảm định mức với hệ số công suất 0,8 chậm pha đầu ở hạ thế MBA.



87

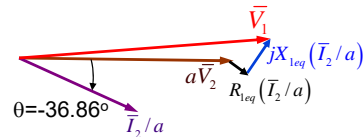
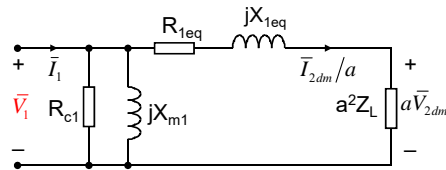
### Ví dụ 3.10

Tính điện áp không tải MBA với điện áp thứ cấp là định mức:

$$a = \frac{V_{1dm}}{V_{2dm}} = \frac{2400}{240} = 10$$

$$\bar{V}_{2dm} = 240 \angle 0^\circ, V$$

$$I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{V_{2dm}} = \frac{150 \times 10^3}{240} = 625 \, A$$

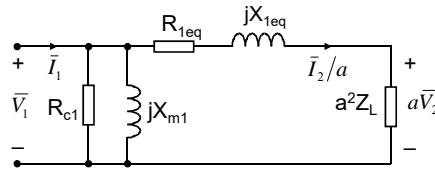


$$\bar{V}_1 = a \bar{V}_2 + (R_{1eq} + jX_{1eq}) \bar{I}_2 / a$$

88

### Ví dụ 3.10

Tính các tổn hao và hiệu suất máy biến áp



$P_c$ : tổn hao đồng ( $I^2R$ ) trên dây quấn sơ cấp và thứ cấp

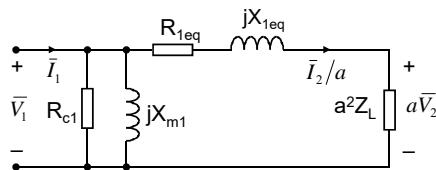
$P_i$ : tổn hao sắt (dòng xoáy và từ trễ) trên lõi thép MBA

$$\eta\% = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_c + P_i} \times 100\%$$

89

### Ví dụ 3.11

Tính phần trăm độ thay đổi điện áp ở chế độ tải tải cảm định mức với hệ số công suất 0,8

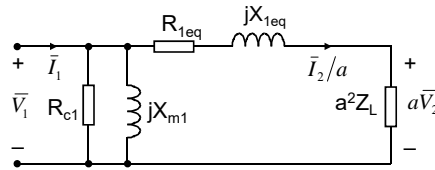


$$\% \text{ hiệu chỉnh điện áp} = \% \text{ sụt áp} = \frac{V_2 \text{ không tải} - V_2}{V_2} \times 100$$

90

### Ví dụ 3.12

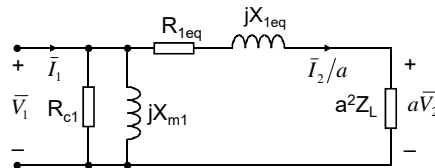
Tính phần trăm độ thay đổi điện áp ở tải 100kW với hệ số công suất 0,8 sớm pha.



91

### Ví dụ 3.12

Tính hiệu suất MBA ở tải trên.



$P_c$ : tổn hao đồng ( $I^2R$ ) trên dây quấn sơ cấp và thứ cấp

$$P_{copper} = (I_2 / a)^2 \times R_{1eq} = 52,08^2 \times 0,425 = 1152,87 \text{ W}$$

$P_i$ : tổn hao sắt (dòng xoáy và từ trễ) trên lõi thép MBA

$$P_{iron} = V_1^2 / R_c = 2389,7^2 / 9931 = 575,03 \text{ W}$$

Tính hiệu suất

$$\eta\% = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_c + P_i} \times 100\% = \frac{100.10^3 \times 0,8}{100.10^3 \times 0,8 + 1152,87 + 575,03} \times 100\% = 98,3\%$$

92