

Chương 3: MẠCH TỪ - HỒ CẢM - MÁY BIẾN ÁP

• Mạch từ .

- Các định luật điện từ.
- Quan hệ B(H).
- Định luật Ohm, Kirchhoff trong mạch từ.
- Mạch từ tương đương.
- Ví dụ

• Hồ cảm

• Máy biến áp

Các định luật điện từ

- Ứng dụng lý thuyết trường điện từ vào hệ thống biến đổi năng lượng điện cơ
- Khảo sát chủ yếu hệ thống trường từ
- Áp dụng các phương trình Maxwell dạng tích phân

Định luật Ampere

Định luật Gauss
(Bảo toàn từ thông)

Định luật Faraday

Định luật bảo toàn
điện tích

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

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

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

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

Các định luật điện từ

♦ Các định luật giải mạch từ:

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{J}_f \cdot \vec{n} da \quad \text{Định luật toàn phần dòng điện}$$

$$\oint_S \vec{B} \cdot \vec{n} da = 0 \quad \text{Định luật bảo toàn từ thông}$$



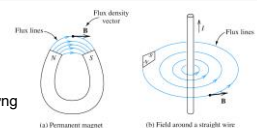
$$\text{Quan hệ B-H: } \vec{B} = \mu \vec{H}$$

Từ các định luật trên xây dựng các
định luật Ohm và định luật Kirchhoff nút (KCL) và vòng (KVL) đối với mạch từ.

→ Giải quyết các vấn đề điện và từ trong thiết bị từ tĩnh
(không có phần từ chuyển động)
Ví dụ: cuộn cảm, máy biến áp

Các định luật điện từ

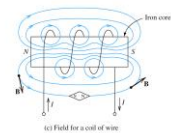
♦ Trường từ trong Thiết Bị Từ Tĩnh



Từ trường được biểu diễn bằng các đường
từ thông hay **đường sức từ khép kín.**

Cảm ứng từ B tiếp xúc với đường này.

Dùng la bàn có thể biết hướng của
từ trường tại một điểm bất kỳ.

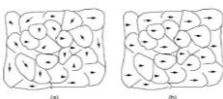


♦ **Mạch từ là tập hợp tất cả vật chất và môi trường
nằm trên đường cong khép kín của từ thông**

Đường cong B(H) của vật liệu sắt từ (Đặc tính từ hóa của vật liệu sắt từ)

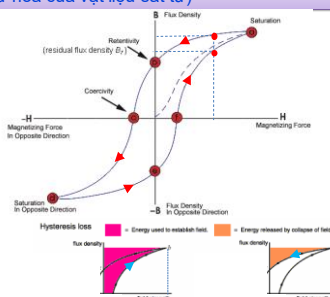
Quan hệ B(H) của vật liệu sắt
từ có đặc tính: **bão hòa và từ trễ**

- Bão hòa



- Từ trễ → Tổn hao

Vòng từ trễ hẹp
→ Đặc tính B(H) đồng nhất



Đường cong B(H) của vật liệu sắt từ (Đặc tính từ hóa của vật liệu sắt từ)

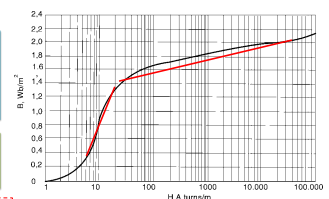
Quan hệ B(H) của vật liệu sắt
từ có đặc tính: **bão hòa và từ trễ**
Vòng từ trễ hẹp →

Khi mạch từ làm việc ở đoạn
chưa bão hòa → có thể xem
quan hệ B(H) là tuyến tính
→ tuyến tính hoá đoạn đặc
tính làm việc: $\mu_r \approx \text{const}$

Tuyến tính hoá từng đoạn chính
xác hơn - Mỗi đoạn có giá trị μ_r
tương ứng

Đối với vật liệu phi từ tính như:
đồng, nhôm, vật liệu cách điện,
không khí... có thể xem $\mu_r \approx 1$

$$B = \mu_0 H$$



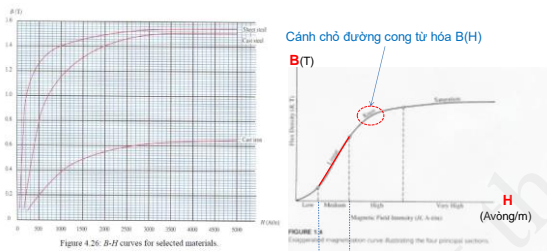
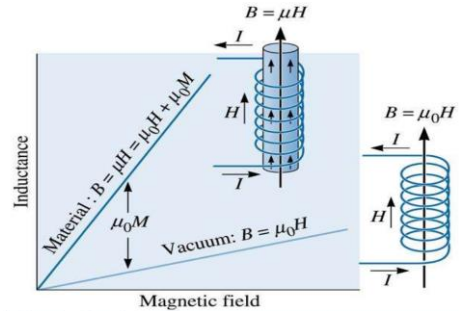
Quan hệ B(H) (Đặc tính từ hóa)

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

- μ : Độ từ thẩm phụ thuộc vào cường độ từ trường ngoài đặt vào: $\mu = \mu(H)$
- μ_0 : Hằng số từ hay độ từ thẩm môi trường chân không
Trong hệ đo lường SI: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$
- μ_r : Độ từ thẩm tương đối, $\mu_r = \mu / \mu_0$.
phụ thuộc vào cường độ từ trường ngoài đặt vào: $\mu_r = \mu_r(H)$
 $\mu_r \approx$ (vài chục đến vài chục ngàn)

♦ Xem B là hàm tuyến tính của H thì μ (hoặc μ_r) bằng hằng số (Mạch từ chưa bão hòa)

Quan hệ B(H) (Đặc tính từ hóa)



♦ Xem B là hàm tuyến tính của H thì μ (hoặc μ_r) bằng hằng số (Mạch từ chưa bão hòa)

Vật liệu từ

Vật liệu từ $\mu_r > 1$

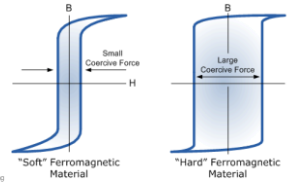
- Từ trễ và bão hòa
- Nhiệt độ Curie

Vật liệu từ mềm

Dễ từ hóa, dễ khử từ

Vật liệu từ cứng

Khó khử từ, khó từ hóa (NCVC)



Vật liệu từ

Vật liệu từ mềm

★ Sắt non

★ Tole Silic (Thép lá KTD): Fe + Silic(1→10%) + ...

★ Hợp kim permalloy : 20% sắt và 80% Nikel, μ_r khoảng 100.000
Molybdenum permalloy: 81% nickel, 17% iron và 2% molybdenum.

Từ tính tốt
Tần số không cao

★ Vật liệu gốm ferrit mềm: chế tạo đơn giản, độ bền cao, điện trở suất rất cao → giảm tổn hao xoay → sử dụng ở tần số cao MHz
Kí hiệu chung: $\text{MO.Fe}_2\text{O}_3$ Ví dụ: Ferrit MnZn, Ferrit NiMn

Tần số cao
Từ tính không tốt

→ Oxid kim loại khác có hóa trị 2: Nikel, Mangan, kẽm

★ Vật liệu từ mềm nano tinh thể (Nanocrystalline materials) ví dụ $\text{Fe}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$
Độ từ thẩm μ_r có thể đạt tới vài trăm ngàn
Có từ độ bão hòa cao tới 1,2-1,5T. Tổn hao trở cực nhỏ
Có điện trở suất cao hơn của kim loại tới vài bậc, do đó giảm thiểu tổn hao xoay và cho phép sử dụng ở tần số cao (tới kHz thậm chí tới MHz).

Định luật Ohm

Khảo sát 1 mạch từ (lõi thép) đối xứng hình vòng xoắn, quấn rải đều N vòng dây

1. **A_c : tiết diện** (cắt ngang mạch từ vuông góc với từ thông)

R_o : bán kính trong ; R_1 : bán kính ngoài
 R : bán kính trục lõi (bán kính trung bình) , $R_1 - R_o \ll R$
 i : dòng điện ; N : số vòng dây

2. **l_c : Chiều dài trung bình đường sức từ** .
= Đường trục lõi có chu vi : $l_c = 2 \pi R$



Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Định luật Ohm

Khảo sát 1 mạch từ (lõi thép) đối xứng hình **vòng xuyên**, quấn rải đều N vòng dây

A_c: tiết diện (cắt ngang mạch từ vuông góc với từ thông)

r_o: bán kính trong; r_i: bán kính ngoài

r: bán kính trục lõi (bán kính trung bình), r_i - r_o << r

i: dòng điện; N: số vòng dây

l_c: Chiều dài trung bình đường sức từ.

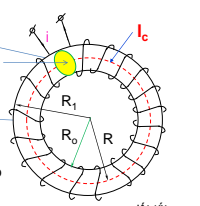
= Đường trục lõi có chu vi: l_c = 2 π R

- Áp dụng định luật toàn phần dòng điện (định luật Ampere) $\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int \vec{J} \cdot \vec{n} da$ cho mạch vòng khép kín l_c. Với H = const trên suốt đường cong l_c

Nếu H_i = const trên đoạn l_i.

$$\sum_{i=1}^n H_i l_i = Ni$$

Định luật toàn phần dòng điện (định luật Ampere)



c: viết tắt core, Lõi thép

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = H l_c = \frac{B}{\mu} l_c = B A_c \frac{l_c}{\mu A_c} = \Phi_c R_c \Rightarrow Ni = \Phi_c R_c$$

21

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Định luật vòng Kirchoff (KVL)

$$Ni = \Phi_c R_c$$

→ Định luật KVL đối với mạch từ

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

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

BMTBĐ-CSKTD-PVLong (TCBinh added 2016)

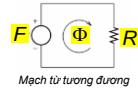
23

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Định luật Ohm

→ Định luật Ohm trong mạch từ

$$Ni = \Phi_c R_c$$



Mạch từ tương đương

• Ni: sức từ động (magneto motive force (mmf)), còn ký hiệu là F (A.vòng)

R = $\frac{l_c}{\mu A_c}$: từ trở mạch từ (reluctance). (1/H)

μ = 1/R: từ dẫn mạch từ (permeance). (H)

• Φ = BA_c: từ thông (flux) chạy trong mạch từ. (Wb)

B: từ cảm (chính là mật độ từ thông). (Wb/m²), (T)

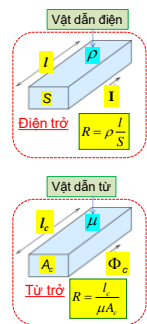
• U_m = Φ_cR = Ni = H.l : từ áp. (A.vòng)

Sức từ động F=Ni là nguồn sinh ra từ thông Φ chạy khép kín trong mạch từ có từ trở R

→ Ta có mạch từ tương đương như trong mạch điện

BMTBĐ-CSKTD-PVLong (TCBinh added 2016)

22



Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Định luật nút Kirchoff (KCL)

Xét mạch từ hình E

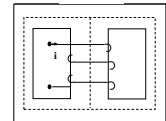
Trụ giữa được quấn N vòng dây và có dòng điện i chạy qua

Sức từ động Ni sinh ra các từ thông Φ_a, Φ_b và Φ_c chạy khép kín trong mạch từ.

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

$$\Phi_b - \Phi_a - \Phi_c = 0$$

$$\text{hay } \Phi_b = \Phi_a + \Phi_c$$



→ Định luật nút Kirchoff (KCL) đối với mạch từ

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

Đối với một nút bất kỳ trong mạch từ: tổng đại số các từ thông đi vào đi ra khỏi nút bằng không

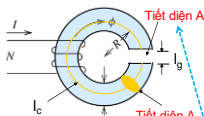
BMTBĐ-CSKTD-PVLong (TCBinh added 2016)

24

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Mạch từ tương đương.

→ Xét vòng xuyên từ có khe hở không khí



g: viết tắt gap khe hở kk
c: viết tắt core, lõi thép

1. Áp dụng định luật Ampere

$$\sum_{i=1}^n H_i l_i = Ni$$

$$\rightarrow Ni = H_s l_s + H_c l_c = \frac{B_s}{\mu_0} l_s + \frac{B_c}{\mu_r \mu_0} l_c$$

BMTBĐ-CSKTD-PVLong (TCBinh added 2016)

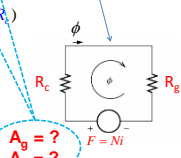
2. Áp dụng định luật KVL

→ Xây dựng mạch tương đương

$$Ni = \Phi(R_s + R_c)$$

$$R_s = \frac{l_s}{\mu_0 A_g}$$

$$R_c = \frac{l_c}{\mu A_c}$$

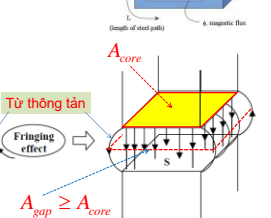
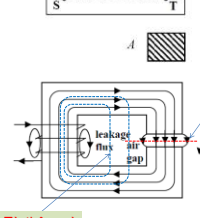
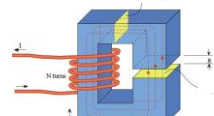
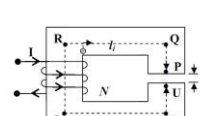


$$A_g = ?$$

$$A_c = ?$$

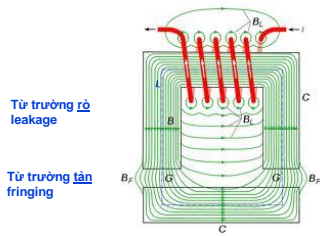
25

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA



BMTBĐ-CSKTD-PVLong (TCBinh added 2016)

26



Từ trường rò
leakage

Từ trường tràn
fringing

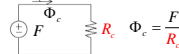
$$A_{gap} \geq A_{core}$$

$$A_g = k A_c \quad k \geq 1$$

Mạch từ tương đương.

Sự tương tự giữa mạch từ và mạch điện

Mạch từ



Mạch điện



MẠCH TỪ			MẠCH ĐIỆN		
Đại lượng	Ký hiệu	Thứ nguyên (Đơn vị)	Đại lượng	Ký hiệu	Thứ nguyên (Đơn vị)
Sức từ động	Ni hoặc F	A.vòng	Sức điện động	e	V
Từ áp	U _m	A.vòng	Điện áp	U	V
Từ thông	Φ	Wb	Dòng điện	I	A
Mật độ từ thông	B	[Wb/m ²], [T]	Mật độ dòng điện	J	A/m ²
Độ từ thẩm	μ	[Wb(A.vòng.m)], H/m	Điện dẫn suất	1/ρ	m/Ω
Từ trở	R _m	[A.vòng/Wb], [1/H]	Điện trở	R	Ω
Từ dẫn	P _m	H	Điện dẫn	G	1/Ω
Tổng trở từ	Z _m	1/H	Tổng trở	Z	Ω
Cường độ từ trường	H	A.vòng/m	Điện trường	E	V/m

Chương 3: MẠCH TỪ - HỒ CẢM - MÁY BIẾN ÁP

Mạch từ.

- > Các định luật điện từ.
- > Quan hệ B(H).
- > Định luật Ohm, Kirchoff trong mạch từ.
- > Mạch từ tương đương.
- > Ví dụ

- Hồ cảm
- Máy biến áp

Mạch từ

Tóm tắt:

♦ Mạch từ là tập hợp tất cả vật chất và môi trường nằm trên đường cong khép kín của từ thông (sắt từ $\mu = \mu_r \mu_0$, không khí μ_0)

♦ Mạch từ: **định hướng, phân bố** từ thông

Giải mạch từ:

Xây dựng mạch từ tương đương

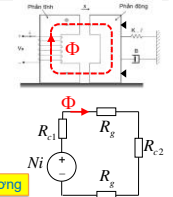
Giải mạch từ tương đương

$$\text{KH vòng:} \quad \sum_{p=1}^n N_p i_p + \sum_{k=1}^m \phi_k R_k = 0$$

$$\text{KH nút:} \quad \sum_{i=1}^n \phi_i = 0$$

$$\sum_{k=1}^m \phi_k R_k = Ni$$

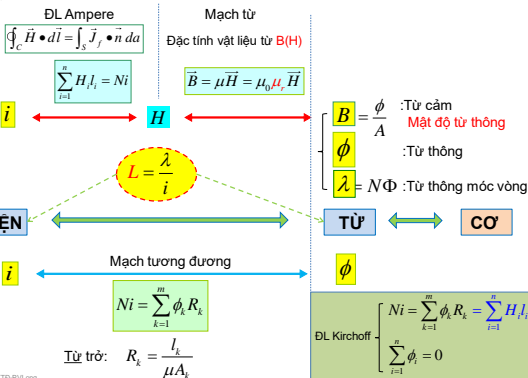
$$\sum_{i=1}^n \phi_i = 0$$



Maxwell

$$\sum_{i=1}^n H_i l_i = Ni$$

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



Ví dụ

Ví dụ: Cho từ thông, tìm sức từ động cần thiết để sinh ra từ thông

Cho mạch từ hình xuyên với: $l_c = 6\text{cm}$, $A_c = 1\text{cm}^2$, $\mu_r = 10^4$, $I_0 = 0,1\text{cm}$, $A_0 = 1,1\text{A}$. Cuộn dây 1000vòng
- Xác định sức từ động cần thiết để tạo ra mật độ từ thông ở khe hở thông khí là $0,5\text{ (Wb/m}^2\text{)}$.
- Dòng điện cần thiết qua cuộn dây?

$$R_c = \frac{l_c}{\mu_r \mu_0} = \frac{0,06}{(10^4)(4\pi \times 10^{-7})(10^{-4})} = 47,7 \times 10^3 \text{ Av/Wb (hoac } \frac{1}{H})$$

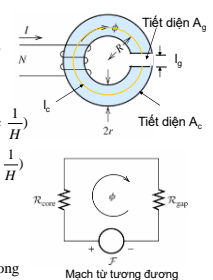
$$R_g = \frac{l_g}{\mu_0 A_g} = \frac{0,001}{(4\pi \times 10^{-7})(1,1 \times 10^{-4})} = 7,23 \times 10^6 \text{ Av/Wb (hoac } \frac{1}{H})$$

$$\phi = B_g A_g = (0,5)(1,1 \times 10^{-4}) = 5,5 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

Sức từ động cần thiết.

$$Ni = (R_c + R_g) \phi = (47,7 + 7230) \times 10^3 \times 5,5 \times 10^{-5} = 400 \text{ Avong}$$

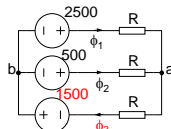
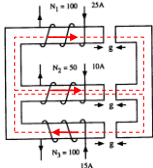
$$\text{Dòng điện cần thiết. } i = \frac{(Ni)}{N} = \frac{400}{1000} = 0,4 \text{ A}$$



Ví dụ (tt)

Ví dụ: Cho sức từ động, tìm từ thông trong mạch từ

Cho mạch từ như hình vẽ với $g=0,1\text{cm}$, $A_g=4\text{cm}^2$, $\mu_c = \infty$, bỏ qua từ thông tản, xác định các từ thông trong mạch từ (trong lòng các cuộn dây)



Mạch từ tương đương

Ví dụ (tt)

Từ trở các khe hở không khí

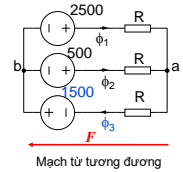
$$R_1 = R_2 = R_3 = R = \frac{(0,1 \times 10^{-3})}{(4\pi \times 10^{-7})(4 \times 10^{-4})} = 2 \times 10^6 \text{ A/V/Wb}$$

Áp dụng KCL cho ϕ_1 , ϕ_2 , và ϕ_3 , KVL giữa 2 điểm a và b, F: Sức từ động (hoặc từ áp) giữa 2 điểm a và b:

$$\phi_1 + \phi_2 = \phi_3$$

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

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



Mạch từ tương đương

Chương 3: MẠCH TỪ - HỒ CẢM - MÁY BIẾN ÁP

- Mạch từ
- Hồ cảm**
 - Điện cảm. Hệ số tự cảm. Hồ cảm.
 - Điện áp cảm ứng.
 - Ghép hồ cảm.
 - Cực tính cuộn dây.
 - Năng lượng tích trữ trong các cuộn dây.
- Máy biến áp

Điện cảm L / Tự cảm / Hồ cảm

Dòng điện i chạy qua cuộn dây có N vòng dây

→ từ thông (flux) Φ móc vòng qua N vòng dây

→ từ thông móc vòng (flux linkage) : $\lambda = N\Phi$

• Điện cảm (inductance) : $L = \frac{\lambda}{i}$

Đơn vị của điện cảm: Henry (H) = Wb/A = T.m²/A

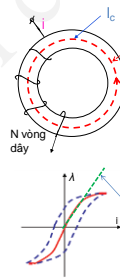
• Tự cảm (self inductance) : $L = \frac{\lambda}{i}$ Riêng Biệt ($= L_{ii} = L_i$)

• Hồ cảm (mutual inductance) : $M = \frac{\lambda}{i}$ Tương Hồ ($= L_{ij}$)

Nếu xem quan hệ $\lambda(i)$ tuyến tính → $L = \text{const}$ (không phụ thuộc i)

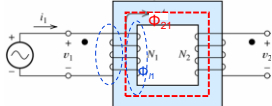
Điện áp cảm ứng trong cuộn dây (ngược chiều sức điện động cảm ứng)

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

Tự cảm cuộn dây N_1

Xét 2 cuộn dây N_1 và N_2 quấn trên cùng một mạch từ
Khi có điện vào các cuộn dây → Từ thông móc vòng qua các cuộn dây
→ Điện áp cảm ứng trên các cuộn dây

Cuộn dây N_1 đấu vào nguồn điện, cuộn dây N_2 để hở mạch



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

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

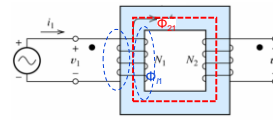
Tổng từ thông đi xuyên qua N_1 $\phi_{11} = \phi_{11} + \phi_{21}$

Từ thông móc vòng qua N_1 $\lambda_1 = N_1 \phi_{11} = L_1 i_1$

L_1 là điện cảm cuộn dây N_1

Điện áp cảm ứng trong N_1 do tổng từ thông Φ_{11} , móc vòng qua chính nó $v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt}$

Hồ cảm do cuộn dây 1 gây ra trên cuộn dây 2



Từ thông Φ_{21} , móc vòng qua N_2

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

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

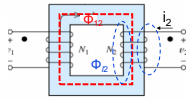
M_{21} hồ cảm giữa cuộn dây 1 và 2, đặc trưng cho khả năng của cuộn dây 1 gây ra điện áp cảm ứng trong cuộn dây 2 khi có dòng điện i_1 qua cuộn dây 1

Điện áp cảm ứng trong N_2 do từ thông chính Φ_{21} , móc vòng qua N_2 $v_2 = \frac{d\lambda_2}{dt} = M_{21} \frac{di_1}{dt}$

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Tự cảm cuộn dây N_2

Xét cuộn dây N_2 có dòng điện i_2
Cuộn dây N_1 để hở mạch



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

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

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

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

L_2 điện cảm cuộn dây N_2

Điện áp cảm ứng trong N_2 do từ thông tổng Φ_{22} móc vòng qua chính nó

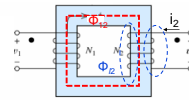
$$v_2 = L_2 \frac{di_2}{dt}$$

BMTBĐ-CKKTĐ-PV/Lang
(TCBinh edited 2016)

44

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Hồ cảm do cuộn dây 2 gây ra trên cuộn dây 1



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

M_{12} hồ cảm giữa 2 cuộn dây

$$\text{Điện áp cảm ứng trong } N_1 \text{ do } \Phi_{12} \text{ móc vòng qua } N_1 \quad v_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} = M_{12} \frac{di_2}{dt}$$

$$\text{Dựa vào năng lượng ta được quan hệ:} \quad M_{12} = M_{21} = M$$

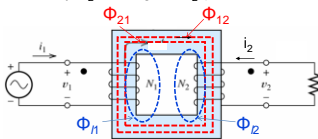
BMTBĐ-CKKTĐ-PV/Lang
(TCBinh edited 2016)

45

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Điện áp cảm ứng trong các cuộn dây

Cuộn dây N_1 đấu vào nguồn điện, có dòng điện i_1 .
Cuộn dây N_2 có dòng điện i_2 (với máy biến áp N_2 nối với tải)



Từ thông Φ_{21}, Φ_{12} chạy trong mạch từ móc vòng với cả 2 cuộn N_1 và N_2

Tổng từ thông đi xuyên qua N_1 và N_2

$$\phi_1 = \phi_{11} + \phi_{21} + \phi_{12} = \phi_{11} + \phi_{12}$$

$$\phi_2 = \phi_{22} + \phi_{12} + \phi_{21} = \phi_{22} + \phi_{21}$$

Từ thông móc vòng qua N_1 và N_2

$$\lambda_1 = N_1 \phi_{11} + N_1 \phi_{12} = L_1 i_1 + M i_2$$

$$\lambda_2 = N_2 \phi_{22} + N_2 \phi_{21} = L_2 i_2 + M i_1$$

Điện áp cảm ứng:

$$v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$$

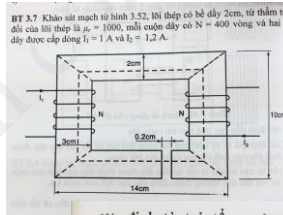
$$v_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$$

BMTBĐ-CKKTĐ-PV/Lang
(TCBinh edited 2016)

46

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Hồ cảm do cuộn dây 2 gây ra trên cuộn dây 1



- Xác định từ trở tổng của mạch và từ thông móc vòng của hai cuộn dây. Không bỏ qua từ thông tản ở khe hở không khí.
- Tính sai số phát sinh nếu bỏ qua từ trở của lõi thép.
- Tính sai số phát sinh nếu bỏ qua từ thông tản ở khe hở không khí.
- Xác định giá trị tự cảm L_1, L_2 và giá trị hồ cảm M của hai cuộn dây.

BMTBĐ-CKKTĐ-PV/Lang
(TCBinh edited 2016)

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Năng lượng tích trữ trong các cuộn dây

Năng lượng tích trữ trong một cuộn dây

$$W = \frac{1}{2} L i^2$$

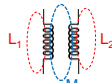
$$W = \frac{1}{2} \lambda i$$

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 cả hai dòng điện cùng đi vào hay đi ra khỏi cực tính. (Thuận cực tính)

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

Năng lượng từ trường tích trữ trong thể tích V khi từ trường phân bố đều

$$W_m = w_m V$$

Nếu mạch từ tuyến tính:

Mật độ năng lượng $w_m = w'_m$ mật độ dòng năng lượng

$$w'_m = w'_m = \frac{1}{2} BH$$

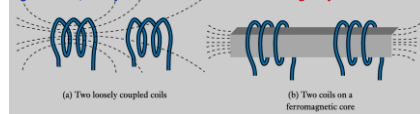
BMTBĐ-CKKTĐ-PV/Lang
(TCBinh edited 2016)

48

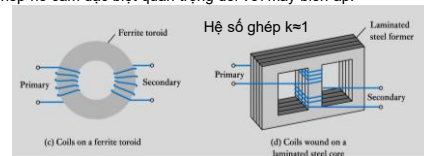
Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Ghép hồ cảm

Tăng mức độ ghép hồ cảm bằng cách quấn các cuộn dây trên cùng một lõi sắt từ, lồng các cuộn dây vào nhau, xen kẽ các vòng dây

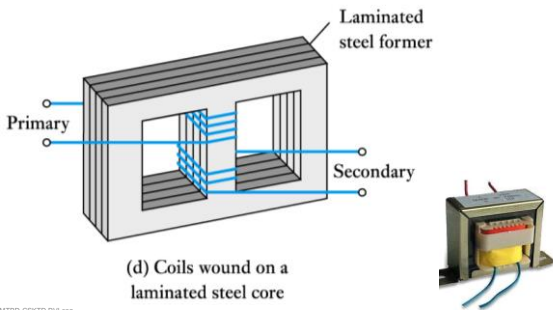


Sự ghép hồ cảm đặc biệt quan trọng đối với máy biến áp.

BMTBĐ-CKKTĐ-PV/Lang
(TCBinh edited 2016)

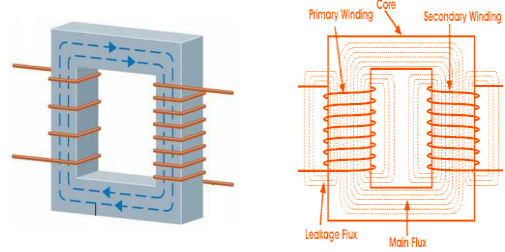
49

Ghép hồ cảm

BMTBĐ-CSKTD-PV/Long
(TCBinh edited 2016)

50

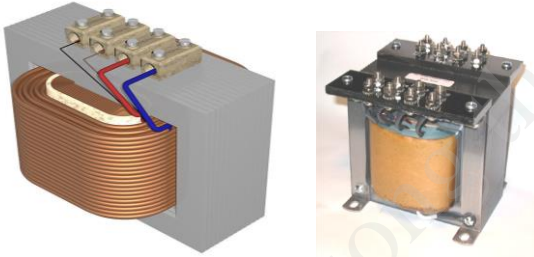
Ghép hồ cảm

BMTBĐ-CSKTD-PV/Long
(TCBinh edited 2016)

51

Ghép hồ cảm

Tăng mức độ ghép hồ cảm bằng cách quấn các cuộn dây trên cùng một lõi sắt từ và lồng các cuộn dây vào nhau

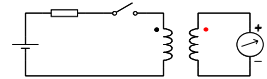
BMTBĐ-CSKTD-PV/Long
(TCBinh edited 2016)

52

Cách xác định cực tính thực tế

➤ Với các thiết bị thực tế, trong nhiều trường hợp không thể biết được các cuộn dây được quấn ra sao, do đó người ta sử dụng phương pháp thực tế sau.

Dùng 1 nguồn DC để kích thích một cuộn dây, xem hình bên.



Đánh dấu chấm vào cực nối với cực dương của nguồn DC.

BMTBĐ-CSKTD-PV/Long
(TCBinh edited 2016)

53

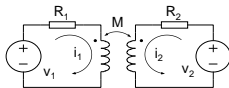
Viết phương trình cho mạch có hồ cảm

➤ Cho hai cuộn dây có hồ cảm đã đánh dấu cực tính, viết phương trình.

Lần lượt viết phương trình KVL cho các mạch vòng có i_1 và i_2 .

$$v_1 = i_1 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$$

$$v_2 = i_2 R_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$$

BMTBĐ-CSKTD-PV/Long
(TCBinh edited 2016)

54

Ghép hồ cảm

Hệ số ghép hồ cảm k

Mức độ ghép hồ cảm giữa hai cuộn dây được xác định qua hệ số ghép k

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

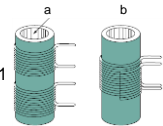
Do $\Phi_{11} \geq \Phi_{21}$ và $\Phi_{22} \geq \Phi_{12}$, nên $0 \leq k \leq 1$

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

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

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

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

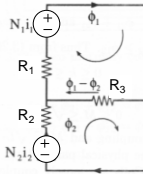
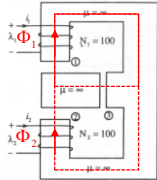
BMTBĐ-CSKTD-PV/Long
(TCBinh edited 2016)

55

Ví dụ

Ví dụ: Cho trước thông số mạch từ và cuộn dây. Vẽ mạch tương đương và tính các giá trị tự cảm và hồ cảm. $\mu_{core} = \infty$

Cho: $R_1 = 3 \cdot 10^6 (1/H)$, $R_2 = 2 \cdot 10^6 (1/H)$, $R_3 = 2 \cdot 10^6 (1/H)$, $N_1 = N_2 = 100$ vòng



Mạch từ tương đương

BMTBD-CKTKD-PV/Lang
(TCBinh edited 2016)

56

Ví dụ

Chọn chiều từ thông như hình vẽ ta có hệ phương trình:

$$N_1 i_1 = R_3 (\phi_1 - \phi_2) + R_1 \phi_1$$

$$N_2 i_2 = R_2 \phi_2 - R_3 (\phi_1 - \phi_2)$$

$$100 i_1 = (5 \phi_1 - 2 \phi_2) 10^6$$

$$100/2 = (-2 \phi_1 + 4 \phi_2) 10^6$$

$$\phi_1 = (25 i_1 + 12,5 i_2) 10^{-6} (Wb)$$

$$\phi_2 = (12,5 i_1 + 31,25 i_2) 10^{-6} (Wb)$$

Từ thông móc vòng qua các cuộn dây

$$\lambda_1 = N_1 \phi_1$$

$$\lambda_2 = N_2 \phi_2$$

Tự cảm:

$$\lambda_1 = (25 i_1 + 12,5 i_2) 10^{-4}$$

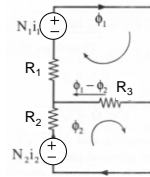
$$\lambda_2 = (12,5 i_1 + 31,25 i_2) 10^{-4}$$

$$L_1 = 25 \cdot 10^{-4} (H) = 2,5 (mH)$$

$$L_2 = 31,25 \cdot 10^{-4} (H) = 3,125 (mH)$$

Hồ cảm:

$$M = 12,5 \cdot 10^{-4} (H) = 1,25 (mH)$$



$$[\lambda] = [L][i]$$

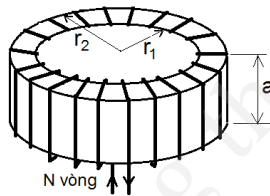
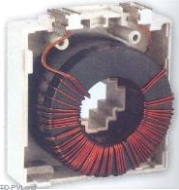
BMTBD-CKTKD-PV/Lang
(TCBinh edited 2016)

57

Bài tập

Một cuộn dây N vòng quấn rải đều trên mạch từ như hình vẽ tạo ra từ thông phân bố đồng đều trong mạch từ: $r_1 = 80$ mm, $r_2 = 100$ mm, $a = 20$ mm, $N = 200$ vòng. Độ từ thẩm tương đối của mạch từ là 900.

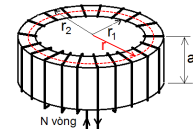
Tính tự cảm L của cuộn dây.



Bài tập

Một cuộn dây N vòng quấn rải đều trên mạch từ như hình vẽ tạo ra từ thông phân bố đồng đều trong mạch từ: $r_1 = 80$ mm, $r_2 = 100$ mm, $a = 20$ mm, $N = 200$ vòng. Độ từ thẩm tương đối của mạch từ là 900.

Tính tự cảm của cuộn dây.

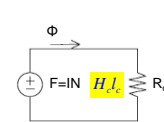


$$L = \frac{\lambda}{i} = \frac{N \phi}{i} = \frac{N}{i} \left(\frac{Ni}{R_c} \right)$$

$$\text{Từ trở của mạch từ: } R_c = \frac{1}{\mu_0 \mu_r} \frac{2 \pi r}{A} = \frac{1}{\mu_0 \mu_r} \frac{2 \pi (r_1 + r_2)/2}{a(r_2 - r_1)}$$

$$L = \frac{N^2}{R_c} = \frac{\mu_0 \mu_r a (r_2 - r_1) N^2}{\pi (r_1 + r_2)}$$

$$= \frac{(4 \pi \cdot 10^{-7}) (900) (20 \cdot 10^{-3}) (20 \cdot 10^{-3}) (200)^2}{\pi (180 \cdot 10^{-3})} = 0,032 = 32 mH$$

BMTBD-CKTKD-PV/Lang
(TCBinh edited 2016)

67

BMTBD-CKTKD-PV/Lang
(TCBinh edited 2016)

68

Bài tập

Một mạch từ như hình vẽ với: $a = 20$ mm, $h = 40$ mm, $l = 50$ mm, bề dày $b = 30$ mm, chiều dài khe hở không khí $g = 5$ mm, độ từ thẩm tương đối của lõi sắt là $\mu_r = 1200$, $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} (H/m)$.

Trên mạch từ quấn cuộn dây có $N = 1000$ vòng. Bỏ qua từ thông rò rỉ, tính tự cảm L của cuộn dây.

$$R_c = \frac{l_c}{\mu A}$$

$$R_g = \frac{g}{\mu_0 A}$$

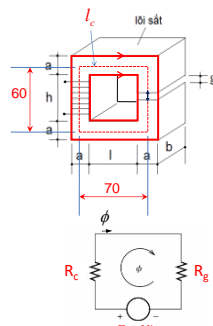
Chiều dài trung bình lõi sắt:

$$l_c = 2(70 + 60) - 5 = 255 mm$$

$$g = 5 mm$$

$$A = a \cdot b = 20 \times 30 mm^2$$

$$R_g + R_c = \frac{g}{\mu_0 A} + \frac{l_c}{\mu_r \mu_0 A} = \frac{\mu_r g + l_c}{\mu_r \mu_0 A}$$



$$R_c = \frac{l_c}{\mu A}$$

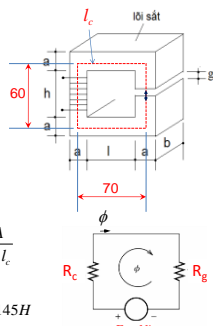
$$R_g = \frac{g}{\mu_0 A}$$

$$R_g + R_c = \frac{g}{\mu_0 A} + \frac{l_c}{\mu_r \mu_0 A} = \frac{\mu_r g + l_c}{\mu_r \mu_0 A}$$

Tự cảm cuộn dây:

$$L = \frac{\lambda}{i} = \frac{N \phi}{i} = \frac{N}{i} \left(\frac{Ni}{R_g + R_c} \right) = \frac{N^2}{R_g + R_c} = \frac{N^2}{\frac{\mu_r g + l_c}{\mu_r \mu_0 A}} = \frac{\mu_r \mu_0 A N^2}{\mu_r g + l_c}$$

$$= 1000^2 \frac{(1200)(4 \pi \cdot 10^{-7})(20 \cdot 30 \cdot 10^{-6})}{(1200)(0,005) + (0,255)} = \frac{0,9047}{6,225} = 0,145 H$$

BMTBD-CKTKD-PV/Lang
(TCBinh edited 2016)

69

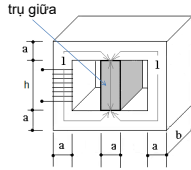
BMTBD-CKTKD-PV/Lang
(TCBinh edited 2016)

70

Bài tập

Một mạch từ như hình 1, gồm 2 phần:

- Phần trụ giữa có tiết diện chữ nhật cạnh $a = 30\text{mm}$, $b = 40\text{mm}$, dài $h = 150\text{mm}$, làm bằng vật liệu từ có độ thấm tương đối $\mu_r = 1000$.
- Phần còn lại có kích thước $a = 30\text{mm}$, $b = 40\text{mm}$, chiều dài trung bình đường sức từ $l = 300\text{mm}$ như hình vẽ, làm bằng vật liệu có đặc tính từ hóa $B(H)$:



Hình 1

B (T)	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,1	1,3	1,5	1,6
H (A.vòng/m)	300	400	500	700	900	1020	1215	1500	1630

Khe hở không khí lắp ghép giữa 2 phần xem như bằng không. Bỏ qua từ thông rò rỉ. Cuộn dây có số vòng $N = 570$ được quấn trên trụ bên trái và cho dòng điện DC chạy qua.

Xác định dòng điện cần thiết của cuộn dây để tạo từ thông qua trụ giữa có giá trị là $\Phi = 1,2 \cdot 10^{-3}\text{Wb}$

Bài tập (tt)

$$\text{Mật độ từ thông trụ giữa} \quad B_s = \frac{\Phi_s}{A_s} = \frac{1,2 \cdot 10^{-3}}{(30 \cdot 10^{-3})(40 \cdot 10^{-3})} = 1\text{ T}$$

Cường độ từ trường trụ giữa

$$H_s = \frac{B_s}{\mu_r \mu_0} = \frac{1}{10^3 (4\pi \cdot 10^{-7})} = \frac{10^4}{4\pi} = 795,77\text{ A.vòng/m}$$

Từ áp rơi trên nhánh phải: $H_p l = H_s h$; Từ áp rơi trên trụ giữa

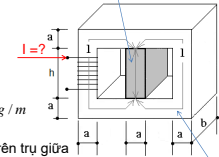
Cường độ từ trường nhánh phải:

$$H_p = H_s \frac{h}{l} = H_s \frac{150}{300} = \frac{H_s}{2} = \frac{10^4}{8\pi} = 397,88 \approx 400\text{ A.vòng/m}$$

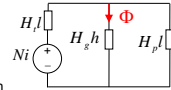
Theo đặc tính vật liệu từ $B(H) \rightarrow B_p = 0,5\text{T}$

Từ thông qua nhánh phải: $\Phi_p = B_p A_p = B_p (ab)$

trụ giữa: $\Phi = 1,2 \cdot 10^{-3}\text{Wb}$



$$\begin{aligned} I &= ? \\ I &= \frac{F}{N} \\ F &= H_p l + H_s h \end{aligned}$$



Sơ đồ mạch

Bài tập (tt)

Theo đặc tính vật liệu từ $B(H) \rightarrow B_p = 0,5\text{T}$

Từ thông qua nhánh phải:

$$\Phi_p = B_p A_p = B_p (ab) = 0,5 (1,2 \cdot 10^{-3}) = 0,6 \cdot 10^{-3}\text{Wb}$$

Từ thông qua nhánh trái:

$$\Phi_l = \Phi_s + \Phi_p = (1,2 \cdot 10^{-3}) + (0,6 \cdot 10^{-3}) = 1,8 \cdot 10^{-3}\text{Wb}$$

$$\text{Mật độ từ thông qua nhánh trái: } B_l = \frac{\Phi_l}{A_l} = \frac{1,8 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 10^{-3}} = 1,5\text{ T}$$

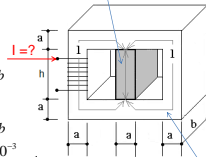
Theo đặc tính vật liệu từ $B(H) \rightarrow H_l = 1500\text{ A.vòng/m}$

Sức từ động cần thiết của cuộn dây

$$\begin{aligned} F &= H_l l + H_s h \\ &= 1500 (300 \cdot 10^{-3}) + 795,77 (150 \cdot 10^{-3}) = 569,37\text{ A.vòng} \end{aligned}$$

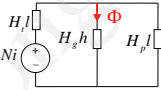
$$\text{Dòng điện cần thiết của cuộn dây } I = \frac{F}{N} = \frac{569,37}{570} = 1\text{ A}$$

trụ giữa: $\Phi = 1,2 \cdot 10^{-3}\text{Wb}$



Hình 1

$$\begin{aligned} I &= \frac{F}{N} \\ F &= H_l l + H_s h \end{aligned}$$



The magnetic circuit of Fig. 1.6a consists of an N -turn winding on a magnetic core of infinite permeability with two parallel air gaps of lengths g_1 and g_2 and areas A_1 and A_2 , respectively.

Find (a) the inductance of the winding and (b) the flux density B_1 in gap 1 when the winding is carrying a current i . Neglect fringing effects at the air gap.

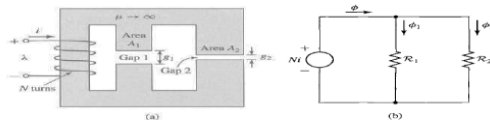
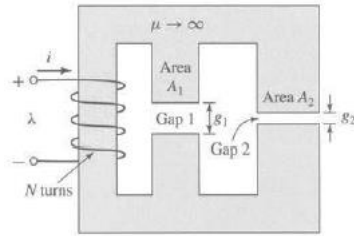


Figure 1.6 (a) Magnetic circuit and (b) equivalent circuit for Example 1.3.

Solution

a. The equivalent circuit of Fig. 1.6b shows that the total reluctance is equal to the parallel combination of the two gap reluctances. Thus

$$\Phi = \frac{N i}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}$$

where

$$R_1 = \frac{l_1}{\mu_0 A_1} \quad R_2 = \frac{l_2}{\mu_0 A_2}$$

From Eq. 1.29,

$$\begin{aligned} L &= \frac{\Phi}{i} = \frac{N \Phi}{i} = \frac{N^2 (R_1 + R_2)}{R_1 R_2} \\ &= \mu_0 N^2 \left(\frac{A_1}{l_1} + \frac{A_2}{l_2} \right) \end{aligned}$$

b. From the equivalent circuit, one can see that

$$\Phi_1 = \frac{N i}{R_1} = \frac{\mu_0 A_1 N i}{l_1}$$

and thus

$$B_1 = \frac{\Phi_1}{A_1} = \frac{\mu_0 N i}{l_1}$$

Chương 3: MẠCH TỪ - HỒ CẢM - MÁY BIẾN ÁP

- Mạch từ
- Hồ cảm
- Máy biến áp (MBA):

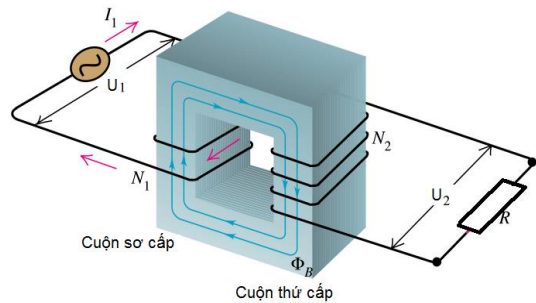
- Giới thiệu
- Máy biến áp lý tưởng.
- Máy biến áp thực.
- Mạch điện tương đương.
- MBA trong chế độ làm việc xác lập điều hòa
- Quy đổi MBA ngược lại.
- Thí nghiệm MBA.
- Đặc tính MBA

Chương 3:
MẠCH TỪ - HỒ CẢM - MÁY BIẾN ÁP

MÁY BIẾN ÁP

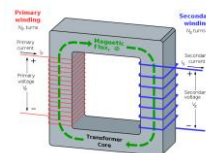
- Giới thiệu
- Máy biến áp lý tưởng = Biến đổi tỉ số dòng áp
- Máy biến áp lực.
 - Điện áp cảm ứng
 - Mạch điện tương đương :
 - Qui về sơ cấp
 - Qui về thứ cấp
 - Mạch điện tương đương gần đúng :
 - Hình Γ
 - Chỉ có tổng trở dây quấn
- Đặc tính MBA.
 - Đặc tính về vật liệu chế tạo MBA → Thí nghiệm MBA.
 - Đặc tính vận hành MBA →
 - Hiệu suất
 - Độ thay đổi điện áp

Máy biến áp



MÁY BIẾN ÁP - Giới thiệu chung

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



- Ứng dụng máy biến áp trong ngành điện từ/viên thông như dùng để phối hợp tổng trở, cách ly DC...
- Ứng dụng máy biến áp trong truyền tải và phân phối điện năng: MBA lực (hay MBA điện lực) tăng và giảm áp.

Chương này tập trung vào MBA điện lực (power transformer).

MBA lý tưởng

Khảo sát máy biến áp với các giả thiết:

- Bỏ qua tổn hao trong các cuộn dây
- Bỏ qua tổn hao trong lõi thép
- Độ từ thẩm lõi thép $\mu \rightarrow \infty$ (Từ trở lõi thép $R_c = 0$)
- Bỏ qua điện dung ký sinh (Dòng điện rò)

Nếu trong mạch từ có từ thông biến thiên Φ

- Theo định luật cảm ứng điện từ
- Điện áp cảm ứng trên 2 dây quấn

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

Tìm quan hệ giữa i_1 và i_2 ?

- Áp dụng KVL cho mạch từ:

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

a: là tỷ số biến áp

MBA lý tưởng (tt)

Tùy theo chiều quy ước dòng điện i_2 , ta có

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

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

Hoặc:

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

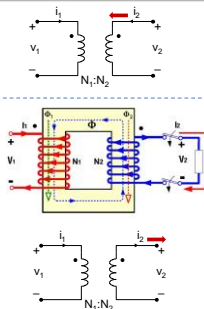
$$v_1(t)i_1(t) = v_2(t)i_2(t)$$

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

→ Như vậy đối với MBA lý tưởng, ta có:

- Hệ số ghép hồ cảm $k=1$
- Từ cảm mỗi cuộn dây không xác định ($L_1=L_2=\infty$)
- $\frac{i_1}{i_2} = -\frac{\sqrt{L_2}}{\sqrt{L_1}} = -\frac{v_2}{v_1} = -\frac{1}{a}$ hoặc $\frac{i_1}{i_2} = \frac{\sqrt{L_2}}{\sqrt{L_1}} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{a}$

→ MBA lý tưởng là MBA chỉ biến đổi tỉ số dòng, áp



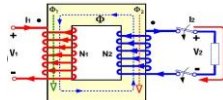
Chương 3:
MẠCH TỪ - HỒ CẢM - MÁY BIẾN ÁP

MÁY BIẾN ÁP

- Giới thiệu
- Máy biến áp lý tưởng = Biến đổi tỉ số dòng áp
- Máy biến áp lực.
 - Điện áp cảm ứng
 - Mạch điện tương đương :
 - Qui về sơ cấp
 - Qui về thứ cấp
 - Mạch điện tương đương gần đúng :
 - Hình Γ
 - Chỉ có tổng trở dây quấn
- Đặc tính MBA.
 - Đặc tính về vật liệu chế tạo MBA → Thí nghiệm MBA.
 - Đặc tính vận hành MBA →
 - Hiệu suất
 - Độ thay đổi điện áp

MBA lực - Giá trị hiệu dụng của điện áp

- Vấn sử dụng các giả thiết: (MBA lý tưởng)
- Bỏ qua tổn hao (trên điện trở) các cuộn dây.
 - Bỏ qua tổn hao trong lõi thép (từ trễ, dòng xoáy)
 - Độ từ thẩm lõi thép $\mu \rightarrow \infty$ (Từ trở lõi thép $R_c = 0$)
 - \rightarrow Bỏ qua từ thông rò Φ_{r1}, Φ_{r2}
 - Bỏ qua dòng điện rò



Cuộn dây sơ cấp đấu vào nguồn điện áp dạng sin
Giả sử sđđ cảm ứng và từ thông cũng biến thiên điều hòa $\Phi(t) = \Phi_{\max} \cos \omega t$

Từ định luật cảm ứng điện từ Faraday sđđ cảm ứng:
(Đã bỏ qua từ thông rò Φ_{r1})

$$e_1(t) = -\frac{d\lambda_1}{dt} = -N_1 \frac{d(\Phi_{\max} \cos \omega t)}{dt} = \omega N_1 \Phi_{\max} \sin \omega t = E_{\max} \sin \omega t$$

\Rightarrow Trị biên độ sđđ cảm ứng trong dây quấn sơ cấp: $E_{m1} = \omega N_1 \Phi_{\max} = 2\pi f N_1 \Phi_{\max}$

\Rightarrow Trị hiệu dụng sđđ cảm ứng trong dây quấn sơ cấp:

$$E_1 = \frac{\omega}{\sqrt{2}} N_1 \Phi_{\max} = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} N_1 \Phi_{\max} = \sqrt{2} \pi f N_1 \Phi_{\max} = 4,44 f N_1 \Phi_{\max}$$

MBA lực - Giá trị hiệu dụng của điện áp

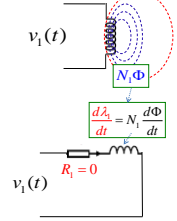
Phương trình cân bằng điện áp trên cuộn dây sơ cấp:

$$v_1(t) = R_1 i_1 + \frac{d\lambda_1}{dt}$$

Do bỏ qua điện trở dây quấn ($R_1 = 0$) nên điện áp nguồn cân bằng với sđđ cảm ứng trên cuộn dây

$$v_1(t) = \frac{d\lambda_1}{dt} = -e_1(t)$$

Phương trình cơ bản để khảo sát, tính toán, thiết kế MBA

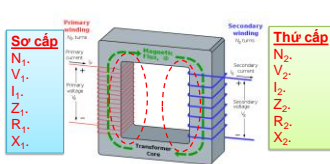


\Rightarrow Trị hiệu dụng sđđ cảm ứng trong dây quấn sơ cấp = Điện áp nguồn

$$E_1 = \frac{\omega}{\sqrt{2}} N_1 \Phi_{\max} = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} N_1 \Phi_{\max} = \sqrt{2} \pi f N_1 \Phi_{\max} = 4,44 f N_1 \Phi_{\max} = V_1$$

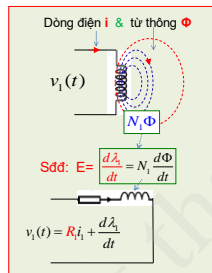
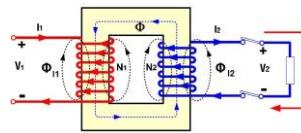
Quy ước: Thông số điện: V, I, \dots giá trị hiệu dụng
Thông số từ: Φ, λ, B, H giá trị biên độ

($R_1 = 0$)



Tỉ số biến áp:

$$a = \frac{N_1}{N_2}$$



$$E_1 = \frac{\omega}{\sqrt{2}} N_1 \Phi_{\max} = 4,44 f N_1 \Phi_{\max} = V_1$$

Sđđ cảm ứng = Điện áp nguồn

MBA lực

Ví dụ: Một MBA có $N_1=200$ vòng, $N_2=400$ vòng, tiết diện lõi thép $S=0,005\text{m}^2$, chiều dài trung bình lõi thép $l=0,5\text{m}$, đường cong B(H) tuyến tính (300A/vòng/m, 1Wb/m^2) điện áp nguồn 220V/50Hz. Tìm từ cảm B trong mạch từ và dòng điện dây quấn sơ cấp (từ hóa).

Sử dụng phương trình cơ bản: $V_1 = 4,44 f N_1 \Phi_{\max}$

Do đó, ta có: $\Phi_{\max} = \frac{220}{4,44 \times 50 \times 200} = 4,96 \times 10^{-3} \text{ Wb}$

Từ cảm B trong mạch từ: $B_m = \frac{\Phi_m}{S} = \frac{4,96 \times 10^{-3}}{0,005} = 0,992 \text{ Wb/m}^2$

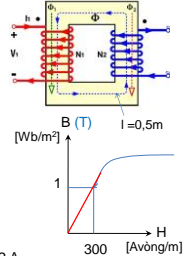
Cường độ từ trường trong lõi thép: $H_m = 0,992 \times 300 = 297,6 \text{ A.vòng/m}$

Biên độ dòng điện dây quấn sơ cấp

$$I_m = \frac{F}{N_1} = \frac{H_m l}{N_1} = \frac{(297,6)(0,5)}{200} = 0,74 \text{ A}$$

Trị hiệu dụng dòng điện dây quấn sơ cấp:

$$I_{\text{rms}} = 0,52 \text{ A}$$



Chương 3:
MẠCH TỪ - HỒ CẢM - MÁY BIẾN ÁP

MÁY BIẾN ÁP

➢ Giới thiệu

➢ Máy biến áp lý tưởng = Biến đổi tỉ số dòng áp

➢ Máy biến áp lực.

➢ Điện áp cảm ứng

➢ Mạch điện tương đương: $\begin{cases} \text{- Qui về sơ cấp} \\ \text{- Qui về thứ cấp} \end{cases}$

➢ Mạch điện tương đương gần đúng: $\begin{cases} \text{- Hình } \Gamma \\ \text{- Chỉ có tổng trở dây quấn} \end{cases}$

➢ Đặc tính MBA.

➢ Đặc tính về vật liệu chế tạo MBA \rightarrow Thí nghiệm MBA.

➢ Đặc tính vận hành MBA \rightarrow $\begin{cases} \text{- Hiệu suất} \\ \text{- Độ thay đổi điện áp} \end{cases}$

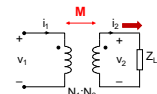
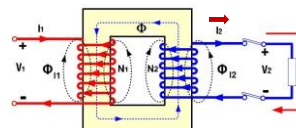
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad \frac{i_1}{i_2} = \frac{1}{a}$$

Mạch điện tương đương MBA (Mạch điện thay thế)

- Chỉ giả thiết: Bỏ qua tổn hao trong lõi thép (và dòng điện rò)
- Có tính đến tổn hao (trên điện trở) của các cuộn dây.
 - Độ từ thẩm lõi thép μ hữu hạn (Từ trở lõi thép $R_c \neq 0$)
 - \rightarrow Có tính đến từ thông rò.
 - Điện áp thứ cấp V_2 cung cấp cho tải Z_L .

\Rightarrow Phương trình cân bằng điện áp sơ cấp và thứ cấp:

$$v_1 = i_1 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}$$



Chương 3: Mạch từ - Hở cảm - MBA

Mạch điện tương đương MBA (Mạch điện thay thế)

- Chỉ giả thiết: Bỏ qua tổn hao trong lõi thép (và dòng điện rò)
- Có tính đến tổn hao (trên điện trở) của các cuộn dây.
 - Độ từ thẩm lõi thép vô hữu hạn (Từ trở lõi thép $R_c \neq 0$)
 - Có tính đến từ thông rò.
 - Điện áp thứ cấp V_2 cung cấp cho tải R_L .

⇒ Phương trình cân bằng điện áp sơ cấp và thứ cấp:

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

$= i_1$ nếu MBA lý tưởng

BMTBD-C&KTD-P&Lung
(TCBinh edited 2016)

118

Chương 3: Mạch từ - Hở cảm - MBA

Mạch điện tương đương MBA (tt)

Nhận xét:

Mạch Điện Tương Đương (MDTD) nhìn từ phía sơ cấp (qui đổi về sơ cấp). Các thông số liên quan với thứ cấp $v_2, i_2, M, R_2, L_2, R_L$ có hệ số qui đổi a, a^2 ($a = N_1/N_2$)

1. Ý nghĩa các thông số trên MDTD:

2. Qui đổi về sơ cấp

$$* L_1 - aM = N_1^2 \left(\frac{\Phi_1}{i_1} \right) \quad (\text{với } \Phi_1: \text{Từ thông rò cuộn 1})$$

 $L_1 - aM$: điện cảm rò của cuộn dây 1 (leakage inductance)

$$* a^2 L_2 - aM = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \left(\frac{N_2^2 \Phi_2}{i_2} \right) \quad (\text{với } \Phi_2: \text{Từ thông rò cuộn 2})$$

 $a^2 L_2 - aM$: điện cảm rò cuộn dây 2 qui đổi về cuộn dây 1

* aM : điện cảm từ hóa (magnetizing inductance), có dòng từ hóa $[i_1 - i_2/a]$ (magnetizing current) chạy qua, dòng điện cần thiết để tạo ra từ thông móc vòng cả 2 dây quấn.

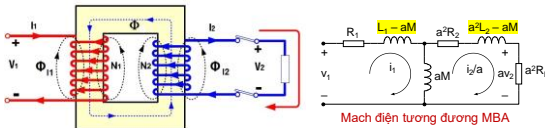
Mạch điện tương đương MBA

BMTBD-C&KTD-P&Lung
(TCBinh edited 2016)

119

Chương 3: Mạch từ - Hở cảm - MBA

Mạch điện tương đương MBA (tt)



Mạch điện tương đương MBA

1. Ý nghĩa các thông số trên MDTD:

$$* L_1 - aM = N_1^2 \left(\frac{\Phi_1}{i_1} \right) \quad (\text{với } \Phi_1: \text{Từ thông rò cuộn 1})$$

 $L_1 - aM$: điện cảm rò của cuộn dây 1 (leakage inductance)

$$* a^2 L_2 - aM = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \left(\frac{N_2^2 \Phi_2}{i_2} \right) \quad (\text{với } \Phi_2: \text{Từ thông rò cuộn 2})$$

 $a^2 L_2 - aM$: điện cảm rò cuộn dây 2 qui đổi về cuộn dây 1

* aM : điện cảm từ hóa (magnetizing inductance), có dòng từ hóa $[i_1 - i_2/a]$ (magnetizing current) chạy qua, dòng điện cần thiết để tạo ra từ thông móc vòng cả 2 dây quấn.

Đã phân tích ở phần hồ cảm

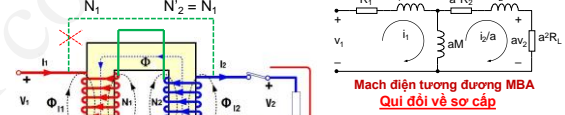
BMTBD-C&KTD-P&Lung
(TCBinh edited 2016)

120

Chương 3: Mạch từ - Hở cảm - MBA

Mạch điện tương đương MBA (tt)

2. Qui đổi về sơ cấp

Mạch điện tương đương MBA
Qui đổi về sơ cấpĐiện áp cảm ứng do hồ cảm (do từ thông chính Φ) của 2 cuộn bằng nhauBMTBD-C&KTD-P&Lung
(TCBinh edited 2016)

122

Chương 3: Mạch từ - Hở cảm - MBA

Mạch điện tương đương MBA (tt)

Khảo sát MBA khi tính đến từ thông rò và điện trở dây quấn sơ cấp R_1 , thứ cấp R_2 . Tải Z_L

Và tính đến tổn hao trong lõi thép

⇒ Chỉ cần nối thêm điện trở R_{c1} song song (hoặc nối tiếp) với nhánh từ hóa aM.Chú ý: • R_{c1} và (aM) , có chỉ số 1 (qui đổi máy biến áp về cuộn dây 1).

- Các giá trị trở, kháng trên phía thứ cấp, kể cả tổng trở tải cũng được qui đổi về cuộn dây 1 (dây quấn sơ cấp) với hệ số a^2 .
- Dòng điện và điện áp phía thứ cấp cũng phải qui đổi về cuộn dây 1 (sơ cấp) với hệ số $1/a$ và a

BMTBD-C&KTD-P&Lung
(TCBinh edited 2016)

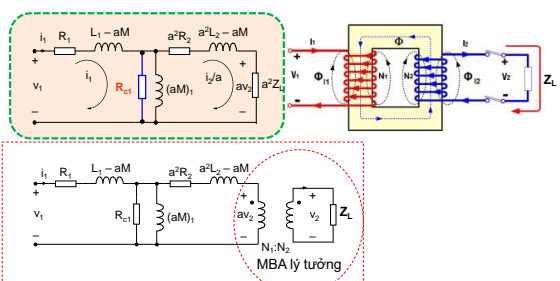
123

Chương 3: Mạch từ - Hở cảm - MBA

Mạch điện tương đương MBA (tt)

Trên mạch điện tương đương tải đã qui đổi và dòng điện qua tải cũng qui đổi.

◆ Để có các giá trị thực trên tổng trở tải → dùng thêm MBA lý tưởng



Mạch điện tương đương MBA qui đổi về sơ cấp

BMTBD-C&KTD-P&Lung
(TCBinh edited 2016)

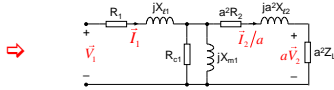
125

MBA trong chế độ làm việc xác lập điều hòa

Khi nối MBA vào nguồn $v_1 = V_m \sin \omega t$. Ở chế độ xác lập ta có thể biểu diễn dòng, áp dưới dạng vector, và định nghĩa các thông số trên mạch điện thay thế:

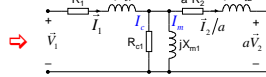
- Điện cảm** → **Điện kháng**
- $\omega(L_1 - aM) = X_{11}$: điện kháng **rò** của cuộn dây 1 (thường ký hiệu X_1)
 - $\omega(L_2 - M/a) = X_{12}$: điện kháng **rò** cuộn dây 2 (thường ký hiệu X_2)
 - $\omega(a^2 L_2 - aM) = a^2 X_{12}$: điện kháng **rò** cuộn dây 2 quy đổi về cuộn dây 1
 - $\omega a M = X_{m1}$: điện kháng từ hóa quy đổi về cuộn dây 1
 - $a^2 Z_L$: tổng trở tải quy đổi về cuộn dây 1

Từ đó ta có:
MDTD MBA ở chế độ
xác lập điều hòa



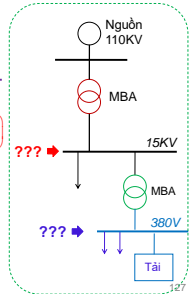
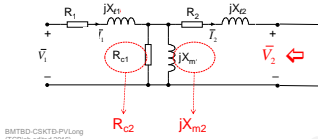
Mạch điện tương đương MBA - Quy đổi ngược lại về thứ cấp

Ta đã quy đổi MBA từ thứ cấp (2) về sơ cấp (1) ($a = \frac{N_1}{N_2}$)



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

Điền các giá trị vào MDTD qui về thứ cấp dưới đây? ($a = \frac{N_1}{N_2}$)

Chương 3:
MẠCH TỪ - HỒ CẢM - MÁY BIẾN ÁP

MÁY BIẾN ÁP

- > Giới thiệu
- > Máy biến áp lý tưởng = Biến đổi tỉ số dòng áp
- > Máy biến áp lực:

- Điện áp cảm ứng
- Mạch điện tương đương: { Quy về sơ cấp
- (MBA trong chế độ làm việc xác lập điều hòa) { Quy về thứ cấp

- Mạch điện tương đương gần đúng: { - Hình 7
- { - Chỉ có tổng trở dây quấn

- Đặc tính MBA.
- Đặc tính về vật liệu chế tạo MBA → Thí nghiệm MBA.
- Đặc tính vận hành MBA → { - Hiệu suất
- { - Độ thay đổi điện áp

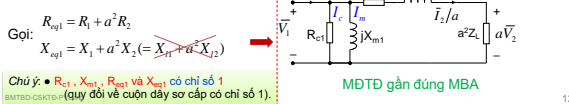
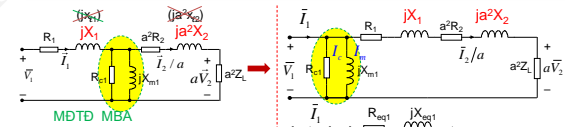
Mạch điện tương đương gần đúng MBA

Do R_{c1} và X_{m1} lớn so với R_1 và X_{11} (đặc biệt đối với MBA công suất lớn)

- ⇒ Xây dựng mạch điện tương đương gần đúng MBA
- ⇒ thuận tiện trong tính toán

♦ Để đơn giản mà không nhân lẫn có thể thay thế kí hiệu:

- X_{11} : Điện kháng **rò** dây quấn sơ cấp bởi X_1 : Điện kháng dây quấn sơ cấp
- X_{12} : Điện kháng **rò** dây quấn thứ cấp bởi X_2 : Điện kháng dây quấn thứ cấp

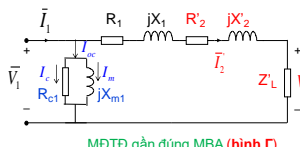
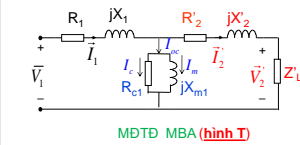


Mạch điện tương đương gần đúng MBA

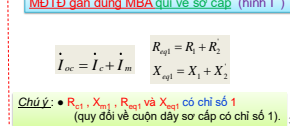
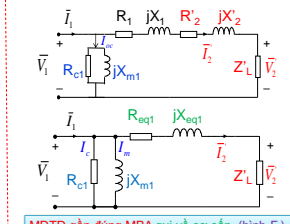
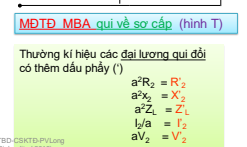
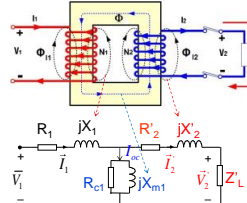
Thường kí hiệu các đại lượng
qui đổi có thêm dấu phẩy (')

$$\begin{aligned} a^2 R_2 &= R'_2 \\ a^2 X_2 &= X'_2 \\ a^2 Z_L &= Z'_L \\ I_2/a &= I'_2 \\ aV_2 &= V'_2 \end{aligned}$$

Đặt: $I_{oc} = I_c + I_m$



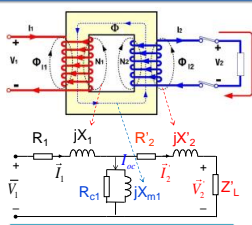
Mạch điện tương đương gần đúng MBA



Chú ý: • R_{c1} , X_{m1} , R_{eq1} và X_{eq1} chỉ số 1
(quy đổi về cuộn dây sơ cấp có chỉ số 1).

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Mạch điện tương đương gần đúng MBA



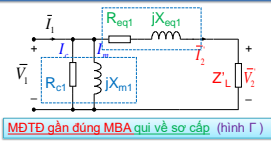
MDTD MBA qui về sơ cấp (hình T)

Thường kí hiệu các đại lượng qui đổi có thêm dấu phẩy (')

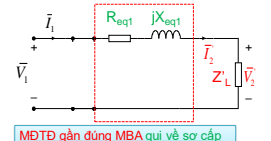
$$\begin{aligned} a^2 R_2 &= R_2' \\ a^2 X_2 &= X_2' \\ a^2 Z_L &= Z_L' \\ I_2/a &= I_2' \\ a V_2 &= V_2' \end{aligned}$$

BMTBD-CBKTD-PV/Lung
(TCBinh edited 2016)

132



MDTD gần đúng MBA qui về sơ cấp (hình Γ)

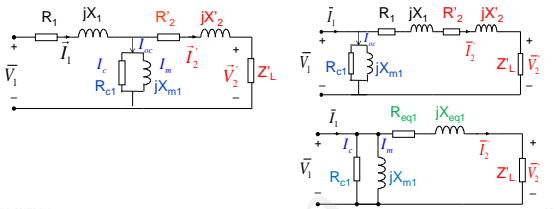


MDTD gần đúng MBA qui về sơ cấp (chỉ có tổng trở dây quấn Zeq)

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Ví dụ

Một MBA: 110 kVA, 2200/110 V có các thông số trên mạch điện thay thế : $R_1 = 0.22 \Omega$, $R_2 = 0.5 \text{ m}\Omega$, $X_{1l} = 2 \Omega$, $X_{2l} = 5 \text{ m}\Omega$, $R_{C1} = 5494.5 \Omega$, $X_{m1} = 1099 \Omega$. MBA mang tải định mức phía hạ áp với hệ số công suất bằng 1. (tải có công suất định mức = 110 kVA và điện áp định mức = 110 V). Tính dòng điện qua X_{m1} , R_{C1} ? Tính dòng điện tiêu thụ trên MBA? Tính dòng điện trên tải? Tính công suất tổn hao đồng, tổn hao sắt?

BMTBD-CBKTD-PV/Lung
(TCBinh edited 2016)

134

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Chương 3:
MẠCH TỪ - HỒ CẢM - MÁY BIẾN ÁP

MÁY BIẾN ÁP

> Giới thiệu

> Máy biến áp lý tưởng = Biến đổi tỉ số dòng áp

> Máy biến áp thực.

- Điện áp cảm ứng
- Mạch điện tương đương : { Qui về sơ cấp
(MBA trong chế độ làm việc xác lập điều hòa) { Qui về thứ cấp
- Mạch điện tương đương gần đúng : { - Hình Γ
{ Chỉ có tổng trở dây quấn

♦ Đặc tính MBA.

- Đặc tính về vật liệu chế tạo MBA → Thí nghiệm MBA.
- Đặc tính vận hành MBA → { - Hiệu suất
{ - Độ thay đổi điện áp

BMTBD-CBKTD-PV/Lung
(TCBinh edited 2016)

135

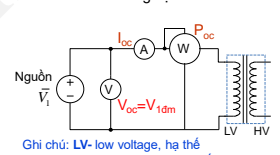
Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Thí nghiệm MBA - Thí nghiệm không tải

Các điện trở và điện kháng trong MDTD của máy biến áp có thể được xác định từ các kết quả thí nghiệm không tải và thí nghiệm ngắn mạch (hoặc tính toán từ các thông số của mạch từ, dây quấn máy biến áp).

1. Thí nghiệm không tải (hở mạch)

Sơ đồ thí nghiệm



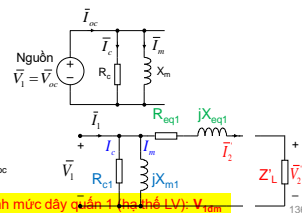
Chỉ chú: LV- low voltage, hạ thế
HV- high voltage, cao thế

Các số liệu thí nghiệm đo được: V_{oc} , I_{oc} , P_{oc}
(oc: Open Circuit)

Lưu ý: V_{oc} bằng điện áp định mức dây quấn 1 (hạ thế LV): V_{1dm}

Sơ đồ thay thế ?

(Dựa theo sơ đồ thay thế gần đúng hình Γ ta có)

BMTBD-CBKTD-PV/Lung
(TCBinh edited 2016)

136

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Thí nghiệm MBA - Thí nghiệm không tải

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

Tính: R_c , X_m

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

$$\text{do } \bar{I}_{oc} = \bar{I}_c + \bar{I}_m \quad I_c = \frac{V_{oc}}{R_c}$$

$$\rightarrow I_m = \sqrt{I_{oc}^2 - I_c^2}$$

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

$$R_c \text{ và } X_m \text{ là các giá trị quy đổi về phía hạ thế LV của MBA}$$

Lưu ý: P_{oc} : Công suất tổn hao không tải của MBA gần bằng công suất tổn hao trên mạch từ P_{core} .

BMTBD-CBKTD-PV/Lung
(TCBinh edited 2016)

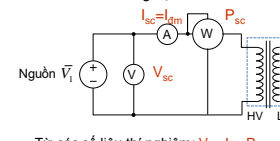
137

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Thí nghiệm MBA - Thí nghiệm ngắn mạch

2. Thí nghiệm ngắn mạch

Sơ đồ thí nghiệm



Từ các số liệu thí nghiệm: V_{sc} , I_{sc} , P_{sc} → Tính: R_{eq} , X_{eq} ?

Lưu ý: - I_{sc} là dòng điện định mức dây quấn 1 (cao thế HV)
- Điện áp ngắn mạch $V_{sc} \ll$ Điện áp định mức dây quấn 1 (hạ thế LV): V_{1dm}

$$\rightarrow R_{eq} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2} \quad Z_{eq} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \quad X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2}$$

- R_{eq} và X_{eq} là các giá trị qui đổi về phía cao thế của MBA

⇒ Với 2 thí nghiệm trên để xây dựng MDTD cần có các giá trị qui đổi về cùng 1 phía MBA

BMTBD-CBKTD-PV/Lung
(TCBinh edited 2016)

138

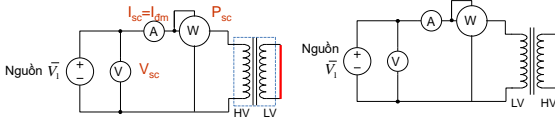
Chương 3: Mạch từ - Hệ cảm - MBA

Thí nghiệm MBA - Thí nghiệm ngắn mạch

2. Thí nghiệm ngắn mạch

Sơ đồ thí nghiệm

Sơ đồ thí nghiệm không tải



Từ các số liệu thí nghiệm: V_{sc} , I_{sc} , P_{sc} → Tính: R_{eq} , X_{eq} ?

Lưu ý:

- I_{sc} = dòng điện định mức dây quấn 1 (cao thế HV)
- Điện áp ngắn mạch $V_{sc} \ll$ Điện áp định mức dây quấn 1 (hạ thế LV): V_{dm}

$$\rightarrow R_{eq} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2}, \quad Z_{eq} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}}, \quad X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2}$$

- R_{eq} và X_{eq} là các giá trị quy đổi về phía cao thế của MBA

⇒ Với 2 thí nghiệm trên để xây dựng MĐĐT cần có các giá trị quy đổi về cùng 1 phía MBA

BMTBĐ-CBKTD-PVLong

(TCBinh edited 2016)

139

Chương 3: Mạch từ - Hệ cảm - MBA

Thí nghiệm MBA - Ví dụ

Ví dụ: Cho 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 LV): $V_{0c}=220V$, $I_{0c}=1A$, $P_{0c}=50W$
- Thí nghiệm ngắn mạch (đo bên HV): $V_{sc}=15V$, $I_{sc}=17A$, $P_{sc}=60W$

Vẽ mạch điện thay thế MBA.

Thí nghiệm không tải xác định được:

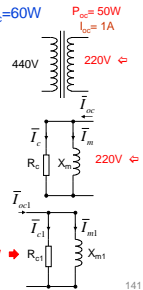
$$R_c = \frac{(220)^2}{50} = 968 \Omega, \quad I_c = \frac{220}{968} = 0,227 A$$

$$I_m = \sqrt{I^2 - (0,227)^2} = 0,974 A, \quad X_m = \frac{220}{0,974} = 225,9 \Omega$$

R_c và X_m là các giá trị quy đổi về phía hạ thế (LV) của MBA

→ Cần quy đổi về phía cao thế (HV), với $a=2$
(để thống nhất với TN ngắn mạch ở phần sau và xây dựng MĐĐT nhìn cùng 1 phía HV)

$$R_{c1} = 968,2^2 = 3872 \Omega, \quad X_{m1} = 225,9,2^2 = 904 \Omega$$



141

Chương 3: Mạch từ - Hệ cảm - MBA

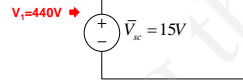
Thí nghiệm MBA - Ví dụ (tt)

Thí nghiệm ngắn mạch xác định được:

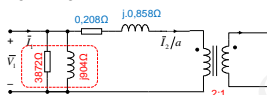
$$R_{eq} = \frac{60}{(17)^2} = 0,208 \Omega, \quad Z_{eq} = \frac{15}{17} = 0,882 \Omega$$

$$X_{eq} = \sqrt{0,882^2 - 0,207^2} = 0,858 \Omega$$

R_{eq} và X_{eq} là các giá trị quy đổi về phía cao thế (HV) của MBA



Mạch điện tương đương của MBA



BMTBĐ-CBKTD-PVLong

(TCBinh edited 2016)

142

Chương 3: Mạch từ - Hệ cảm - MBA

Đặc tính MBA - Hiệu suất

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

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

$$\eta\% = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{core} + P_{Cu}} \times 100\%$$

P_{Cu} : tổn hao đồng (Cu, copper, $I^2 R_{eq}$) trên dây quấn sơ cấp và thứ cấp

$$P_{Cu} = I_1^2 (R_1 + a^2 R_2) = I_2^2 \left(R_2 + \frac{R_1}{a^2} \right)$$

P_{Fe} : tổn hao sắt (Fe, iron core, dòng xoay và từ trễ) trên lõi thép MBA

$$P_{Fe} = I_c^2 R_c = P_{core}$$

BMTBĐ-CBKTD-PVLong

(TCBinh edited 2016)

143

Chương 3: Mạch từ - Hệ cảm - MBA

Đặc tính MBA - Độ thay đổi điện áp (phần trăm hiệu chỉnh điện áp)

Độ thay đổi điện áp (thường là sụt áp) tính theo phần trăm được định nghĩa như sau:

$$\Delta V\% = \frac{V_{không tải} - V_{có tải}}{V_{có tải}} \times 100\%$$

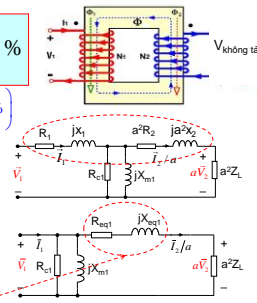
$$(\% \text{ voltage regulation} = \frac{V_{no load} - V_{load}}{V_{load}} \times 100\%)$$

⇒ Theo mạch điện tương đương, để đáng thấy nếu không có sụt áp trên MBA thì $V_1 = aV_2$:

♦ Hoặc có thể tính (theo điện áp sơ cấp):

$$\Delta V\% = \frac{V_1 - aV_2}{aV_2} \times 100\%$$

Sụt áp trên MBA



BMTBĐ-CBKTD-PVLong

(TCBinh edited 2016)

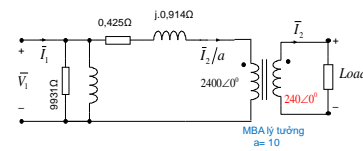
144

Chương 3: Mạch từ - Hệ cảm - MBA

Ví dụ

MBA có: công suất 150KVA, 2400/240 V, 50 Hz, và $R_{eq} = 0,425 \Omega$, $X_{eq} = 0,914 \Omega$, $R_c = 9931 \Omega$ nhìn từ phía cao áp.

- Tính hiệu suất, điện áp sơ cấp khi MBA cấp cho tải có điện áp định mức 240V và dòng điện định mức với hệ số công suất 0,8 dòng điện chậm pha.
- Tính hiệu suất và độ thay đổi điện áp khi MBA có tải 100KW (với điện áp 240V), $pf = 0,8$ sớm pha.



BMTBĐ-CBKTD-PVLong

(TCBinh edited 2016)

145

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Ví dụ (tt)

Tính hiệu suất?

Dòng định mức thứ cấp $I_{2\text{dm}}$:

$$I_{2\text{dm}} = \frac{S_{\text{MBA}}}{V_{2\text{dm}}} = \frac{150.1000}{240} = 625 \text{ A}$$

Góc hệ số công suất: $\theta = \cos^{-1}(0,8) = +36,87^\circ$ (chậm pha); $aV_1 = 2400\angle 0^\circ$
 $\rightarrow I_2 = 625\angle -36,87^\circ \rightarrow \frac{I_2}{a} = 62,5\angle -36,87^\circ$

Điện áp sơ cấp tương ứng: $V_1 = 2400\angle 0^\circ + (0,425 + j0,914) \cdot 62,5\angle -36,87^\circ = 2455,7\angle 0,69^\circ \text{ V}$

Công suất tổn hao trong dây quấn MBA: $P_{\text{cu}} = \left(\frac{I_2}{a}\right)^2 \cdot R_{\text{eq}} = (62,5)^2 \cdot (0,425) = 1660 \text{ W}$

Công suất tổn hao trong mạch từ MBA: $P_{\text{core}} = \frac{(V_1)^2}{R_m} = \frac{(2455,7)^2}{9931} = 607 \text{ W}$

Hiệu suất: $\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + P_{\text{core}} + P_{\text{I}}} = \frac{S_{\text{MBA}} \cos \theta}{S_{\text{MBA}} \cos \theta + P_{\text{core}} + P_{\text{I}}} = \frac{150.10^3 \cdot 0,8}{150.10^3 \cdot 0,8 + 1660 + 607} = 0,9814 = 98,14\%$

BMTBĐ-CBKTD-PV/Long
(TCBinh edited 2016)

146

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Ví dụ (tt)

Tính hiệu suất, độ sụt áp khi $P=100\text{KVA}$, $p_f=0,8$ sớm pha ($\theta < 0$)

- Công suất (phức) tải:

$$S_2 = \frac{P_2}{\cos \theta} (\cos \theta + j \sin \theta)$$

$$= \frac{100}{0,8} (0,8 - j0,6) = 100 - j75 \text{ KVA}$$

- Dòng điện tải: $I_2 = \left(\frac{S_2^*}{V_2^*}\right) = \frac{(100 + j75)10^3}{240} = 520,83\angle +36,87^\circ \text{ A}$

- Điện áp sơ cấp tương ứng: $V_1 = 2400\angle 0^\circ + (0,425 + j0,914) \cdot 520,83\angle 36,87^\circ = 2389,7\angle 1,23^\circ \text{ V}$

- Công suất tổn hao trong dây quấn MBA: $P_{\text{cu}} = \left(\frac{I_2}{a}\right)^2 \cdot R_{\text{eq}} = \left(\frac{520,83}{10}\right)^2 \cdot (0,425) = 1152,87 \text{ W}$

- Công suất tổn hao trong mạch từ MBA: $P_{\text{core}} = \frac{(V_1)^2}{R_m} = \frac{(2389,7)^2}{9931} = 575,03 \text{ W}$

- Hiệu suất: $\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + P_{\text{core}} + P_{\text{I}}} = \frac{100.10^3}{100.10^3 + 1152,87 + 575,03} = 0,983 = 98,3\%$

- Độ thay đổi điện áp: $\Delta V\% = \frac{V_1 - aV_2}{aV_2} = \frac{2389,7 - 2400}{2400} \times 100\% = -0,43\%$

- Do $p_f=0,8$ sớm pha, (dòng điện sớm pha) \Rightarrow Độ thay đổi điện áp có dấu âm

BMTBĐ-CBKTD-PV/Long
(TCBinh edited 2016)

147

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Chương 3: MẠCH TỪ - HỒ CẢM - MÁY BIẾN ÁP

MÁY BIẾN ÁP

- Giới thiệu
- Máy biến áp lý tưởng = Biến đổi tỉ số dòng áp
- Máy biến áp lực.

- Điện áp cảm ứng
- Mạch điện tương đương:
 - Qui về sơ cấp
 - Qui về thứ cấp
- Mạch điện tương đương gần đúng:
 - Hình Γ
 - Chỉ có tổng trở dây quấn
- Đặc tính MBA.
 - Đặc tính về vật liệu chế tạo MBA \rightarrow Thí nghiệm MBA.
 - Đặc tính vận hành MBA \rightarrow
 - Hiệu suất
 - Độ thay đổi điện áp

Bài tập.

BMTBĐ-CKTD-PV/Long
(TCBinh edited 2016)

148

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

1 Bài tập

Kết quả thử nghiệm hồ mạch và ngắn mạch trên một máy biến áp 180KVA, 2400/240V, 50 Hz như sau:

Thử nghiệm hồ mạch phía cao áp (đặt điện áp vào phía hạ áp):

$$V_{\text{sc}} = 240 \text{ V}, I_{\text{sc}} = 15 \text{ A}, P_{\text{sc}} = 1152 \text{ W}$$

Thử nghiệm ngắn mạch phía hạ áp (đặt điện áp vào phía cao áp):

$$V_{\text{sc}} = 60 \text{ V}, I_{\text{sc}} = 75 \text{ A}, P_{\text{sc}} = 1500 \text{ W}$$

- Xác định các tham số của mạch tương đương gần đúng qui về phía cao áp.
- Vẽ mạch tương đương đối với các tham số đã tính được ghi rõ trên mạch tương đương.
- Tìm độ thay đổi điện áp khi máy biến áp cung cấp cho tải nối vào phía hạ áp ở điện áp định mức và dòng điện định mức với hệ số công suất 0,85 trễ.
- Tính hiệu suất của máy trong trường hợp trên.

BMTBĐ-CKTD-PV/Long
(TCBinh edited 2016)

149

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Bài tập (tt)

- Tham số của mạch tương đương gần đúng qui về phía cao áp:

Với TN không tải tính được các thông số nhánh từ hóa qui về hạ áp:

$$R_c = \frac{V_{\text{sc}}^2}{P_{\text{sc}}} = \frac{(240)^2}{1152} = 50 \Omega, I_R = \frac{240}{50} = 4,8 \text{ A}$$

$$X_m = \frac{V_{\text{sc}}}{I_m} = \frac{240}{14,21} = 16,89 \Omega, I_m = \sqrt{15^2 - 4,8^2} = 14,21 \text{ A}$$

Qui về phía cao áp: $X_{m1} = a^2 X_m = 10^2 \times 16,89 = 1689 \Omega$

$$R_{c1} = a^2 R_c = 10^2 \times 50 = 5000 \Omega$$

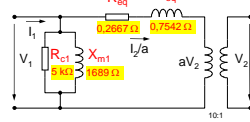
- Với TN ngắn mạch tính được các thông số nhánh dây quấn qui về cao áp:

$$R_{\text{eq}} = \frac{P_{\text{sc}}}{I_{\text{sc}}^2} = \frac{1500}{75^2} = 0,2667 \Omega$$

$$Z_{\text{eq}} = \frac{V_{\text{sc}}}{I_{\text{sc}}} = \frac{60}{75} = 0,8 \Omega$$

$$X_{\text{eq}} = \sqrt{0,8^2 - 0,2667^2} = 0,7542 \Omega$$

- Mạch tương đương gần đúng qui về phía cao áp:



Tỷ số biến áp $a = 2400/240 = 10$.

BMTBĐ-CKTD-PV/Long
(TCBinh edited 2016)

150

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Bài tập (tt)

- Tính độ thay đổi điện áp

Điện áp tải có giá trị định mức, chọn vector điện áp tải là gốc:

$$\vec{V}_2 = V_2 \angle 0^\circ = 240 \angle 0^\circ \text{ V}$$

Dòng điện tải định mức qui về phía cao áp: $\frac{\vec{I}_2}{a} = \frac{S}{V_2 \cdot a} = \frac{180000}{240 \times 10} \angle -\cos^{-1}(0,85) = 75 \angle -31,79^\circ \text{ A}$

Điện áp ngõ vào sơ cấp:

$$\vec{V}_1 = a\vec{V}_2 + (R_{\text{eq}} + jX_{\text{eq}}) \frac{\vec{I}_2}{a} = 2400 \angle 0^\circ + (0,2667 + j0,7542) \times 75 \angle -31,79^\circ = 2447,1 \angle 0,88^\circ$$

Khi không tải: $I_2 = 0 \rightarrow V_{2(\text{không tải})} = V_1/a = 2447,1/10 = 244,71 \text{ V}$

Độ thay đổi điện áp: $\Delta V\% = \frac{V_{2(\text{không tải})} - V_{2(\text{có tải})}}{V_{2(\text{có tải})}} \times 100 \%$

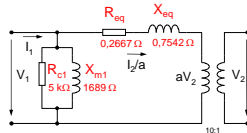
$$\Delta V\% = \frac{244,71 - 240}{240} \times 100 = 1,963\% \text{ Hay: } \Delta V\% = \frac{V_1 - aV_2}{aV_2} \times 100 = \frac{2447,1 - 2400}{2400} \times 100 = 1,963\%$$

BMTBĐ-CKTD-PV/Long
(TCBinh edited 2016)

151

Bài tập (tt)

d. Tính hiệu suất:

Công suất tác dụng của tải: $P_2 = S \cos \theta = 180000 \times 0,85 = 153000 \text{ W}$ Tổn hao lõi thép: $P_{\text{core}} = \frac{V_1^2}{R_{c1}} = \frac{2447,1^2}{5000} = 1198 \text{ W}$ Tổn hao dây quấn (tổn hao đồng): $P_{\text{cu}} = R_{eq} (I_2/a)^2 = 0,2667 \times 75^2 = 1500 \text{ W}$ Hiệu suất: $\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{core}} + P_{\text{cu}}} = \frac{153000}{153000 + 1198 + 1500} \times 100\% = 98,27\%$

2 Bài tập

MBA có tỉ số biến áp $a = 5$. Điện trở, điện kháng dây quấn: $R_1 = 0,5 \Omega$; $R_2 = 0,021 \Omega$; $X_1 = 3,2 \Omega$; $X_2 = 0,12 \Omega$,điện trở từ hóa $R_{ct} = 350 \Omega$ (qui về cao áp);điện kháng từ hóa $X_{m1} = 98 \Omega$ (qui về cao áp).

- Vẽ mạch điện tương đương gần đúng hình Γ qui về cao áp (sơ cấp). Tính các thông số trên mạch đó
- Vẽ mạch điện tương đương gần đúng hình Γ qui về hạ áp (thứ cấp) (thường sử dụng dạng Γ ngược). Tính các thông số trên mạch đó

Bài tập (tt)

- Vẽ mạch điện tương đương hình Γ qui về cao áp. Tính các thông số trên mạch đó

$$R_{eq} = R_1 + a^2 R_2 = 0,5 + 5^2 \cdot (0,021) = 1,025 \Omega$$

$$X_{1eq} = X_1 + a^2 X_2 = 3,2 + 5^2 \cdot (0,12) = 6,2 \Omega$$

$$R_{c1} = 350 \Omega$$

$$X_{m1} = 98 \Omega$$

- Vẽ mạch điện tương đương hình Γ qui về hạ áp. Tính các thông số trên mạch đó

$$R_{2eq} = (R_1/a^2) + R_2 = (0,5/25) + (0,021) = 0,041 \Omega$$

$$X_{2eq} = X_1/a^2 + X_2 = (3,2/25) + (0,12) = 0,248 \Omega$$

$$R_{c2} = \frac{R_{c1}}{a^2} = \frac{350}{25} \Omega = 14 \Omega$$

$$X_{m2} = \frac{X_{m1}}{a^2} = \frac{98}{25} \Omega = 3,92 \Omega$$

3 Bài tập

Một MBA: 15 kVA, 220V/220V.

 $R_c = 195 \Omega$ và $X_{m1} = 170 \Omega$ qui về hạ áp. R_{eq} và X_{eq} qui về cao áp là 6Ω và 10Ω .

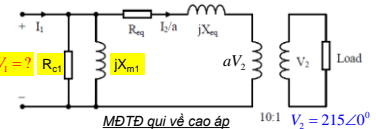
Nếu MBA cung cấp cho tải có công suất 10 kVA ở phía hạ áp với hệ số công suất trễ là 0,96 (dòng điện chậm pha) và điện áp (trên tải) là 215 V. Xác định độ biến thiên điện áp và hiệu suất.

$$V_2 = 215 \angle 0^\circ$$

$$a = \frac{2200}{220} = 10$$

$$aV_2 = 2150 \angle 0^\circ$$

$$\theta = \cos^{-1}(0,96) = +16,26^\circ$$

- Điện trở từ hóa R_c và điện kháng từ hóa X_{m1} qui về cao áp:

$$R_{c1} = a^2 R_c = 19500 \Omega$$

$$X_{m1} = a^2 X_{m1} = 17000 \Omega$$

Bài tập (tt)

Dòng điện tải: $I_2 = \frac{S}{V_2} = \frac{10 \cdot 10^3}{215} = 46,51 \text{ A}$

$$\vec{I}_2 = 46,51 \angle -16,26^\circ \text{ A}$$

Điện áp sơ cấp: $\vec{V}_1 = a\vec{V}_2 + (R_{eq} + jX_{eq})\frac{\vec{I}_2}{a}$
$$= 2150 \angle 0^\circ + (6 + j10) \times 4,651 \angle -16,26^\circ = 2190 \angle 0,964^\circ \text{ V}$$

Khi không tải $\rightarrow V_2(\text{không tải}) = V_1/a = 2190/10 = 219 \text{ V}$

Độ thay đổi điện áp $\Delta V\% = \frac{V_{\text{không tải}} - V_{\text{có tải}}}{V_{\text{có tải}}} \times 100\% = \frac{219 - 215}{215} \times 100 = 1,86\%$

♦ Hoặc có thể tính (theo điện áp sơ cấp):

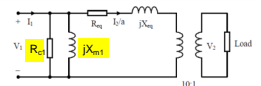
Khi điện áp thứ cấp 215V:

- Nếu không tải thì điện áp đặt vào sơ cấp: $V_{1(\text{không tải})} = aV_2 = (10)(215) = 2150 \text{ V}$

- Nếu có tải thì điện áp cần thiết đặt vào sơ cấp là 2190V

Độ thay đổi điện áp $\Delta V\% = \frac{V_1 - aV_2}{aV_2} \times 100\% = \frac{2190 - 2150}{2150} \times 100\% = 1,86\%$

Bài tập (tt)



- Công suất tổn hao trong dây quấn MBA:

$$P_{\text{cu}} = \left(\frac{I_2}{a}\right)^2 \cdot R_{eq} = \left(\frac{46,51}{10}\right)^2 (6) = 245,96 \text{ W}$$

- Công suất tổn hao trong mạch từ MBA:

$$P_{\text{core}} = \frac{(V_1)^2}{R_{c1}} = \frac{(2190)^2}{19500} = 129,8 \text{ W}$$

- Hiệu suất:

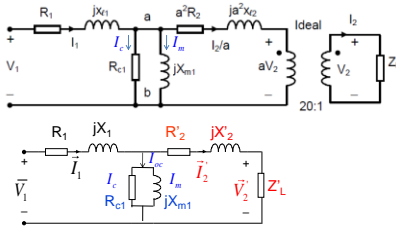
$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + P_{\text{cu}} + P_{\text{core}}} = \frac{S_{\text{m}} \cdot \cos \theta}{S_{\text{m}} \cdot \cos \theta + P_{\text{cu}} + P_{\text{core}}} = \frac{10000 \cdot 0,96}{10000 \cdot 0,96 + 245,95 + 129,8} = 0,9623 = 96,23\%$$

Tải có công suất 10 kVA ($S_{\text{m}} = 15 \text{ kVA}$) ở phía hạ áp với hệ số công suất trễ là 0,96

Chương 3: Mạch từ - Hệ cảm - MBA

4 Bài tập

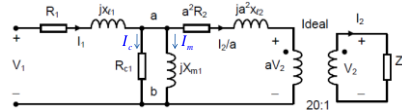
Một MBA: **110 kVA, 2200/110 V** có các thông số trên mạch điện thay thế :
 $R_1 = 0.22 \Omega$, $R_2 = 0.5 \text{ m}\Omega$, $X_{j1} = 2 \Omega$, $X_{j2} = 5 \text{ m}\Omega$, $R_{c1} = 5494.5 \Omega$, $X_{m1} = 1099 \Omega$.
 Xác định độ biến thiên điện áp và hiệu suất khi MBA mang **tải định mức** phía hạ áp với hệ số công suất bằng 1. (**tải có công suất định mức = 110kVA và điện áp định mức = 110V**)

BMTBĐ-CBKTD-PV/Long
(TCBinh edited 2016)

158

Chương 3: Mạch từ - Hệ cảm - MBA

Bài tập (tt)



Giả sử $V_2 = 110 \angle 0^\circ$ Tỷ số biến áp: $a = \frac{2200}{110} = 20$

Dòng điện tải: $I_2 = \frac{S}{V_2} = \frac{110 \cdot 10^3}{110} = 1000 \text{ A}$; $\vec{I}_2 = 1000 \angle 0^\circ \text{ A}$ (PF=1)

Điện áp trên nhánh từ hóa: $\vec{V}_{ab} = a\vec{V}_2 + (a^2 R_2 + ja^2 X_{j2}) \frac{\vec{I}_2}{a}$
 (giữa 2 nút a và b) $= 2200 \angle 0^\circ + (0.22 + j2) \times 50 \angle 0^\circ = 2212.3 \angle 2.59^\circ \text{ V}$

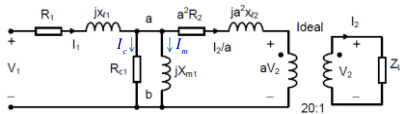
Dòng điện qua nhánh từ hóa:
 $I_{oc} = I_c + I_m = \frac{V_{ab}}{R_{c1}} + \frac{V_{ab}}{jX_{m1}} = \frac{2212.3}{5494.5} \angle 2.59^\circ + \frac{2212.3}{1099} \angle (2.59^\circ - 90^\circ)$
 $= 0.4932 - j1.993 \text{ A}$

BMTBĐ-CBKTD-PV/Long
(TCBinh edited 2016)

159

Chương 3: Mạch từ - Hệ cảm - MBA

Bài tập (tt)



Dòng điện sơ cấp: $I_1 = I_{oc} + \frac{I_2}{a} = 50.4932 - j1.993 = 50.53 \angle -2.26^\circ$

Điện áp sơ cấp: $\vec{V}_1 = \vec{V}_{ab} + (R_1 + jX_{j1}) \vec{I}_1$
 $= 2212.3 \angle 2.59^\circ + (0.22 + j2) \times 50.53 \angle -2.26^\circ = 2234 \angle 5.15^\circ \text{ V}$

Khi không tải $\rightarrow V_2(\text{không tải}) = V_1/a = 2234/20 = 111.7 \text{ V}$

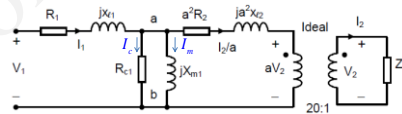
Độ thay đổi điện áp $\Delta V\% = \frac{V_{\text{không tải}} - V_{\text{có tải}}}{V_{\text{có tải}}} \times 100\% = \frac{111.7 - 110}{110} \times 100 = 1.36\%$

BMTBĐ-CBKTD-PV/Long
(TCBinh edited 2016)

160

Chương 3: Mạch từ - Hệ cảm - MBA

Bài tập (tt)



- Công suất tổn hao trong dây quấn MBA:

$$P_{cu} = R_1 I_1^2 + a^2 R_2 (I_2/a)^2 = 0.22(50.53)^2 + 0.0005(1000)^2 = 1062 \text{ W}$$

- Công suất tổn hao trong mạch từ MBA: $P_{core} = \frac{(V_{ab})^2}{R_{c1}} = \frac{(2212)^2}{5494.5} = 890 \text{ W}$

- Hiệu suất: $\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_i + P_{core}} = \frac{S_{out} \cos \theta}{S_{out} \cos \theta + P_i + P_{core}}$
 $= \frac{110000.1}{110000.1 + 890 + 1062} = 0.9826 = 98.26\%$

MBA mang tải định mức
110kVA phía hạ áp với
hệ số công suất bằng 1

BMTBĐ-CBKTD-PV/Long
(TCBinh edited 2016)

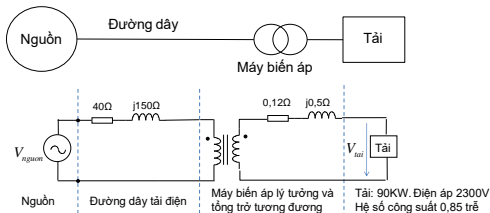
161

Chương 3: Mạch từ - Hệ cảm - MBA

5 Bài tập

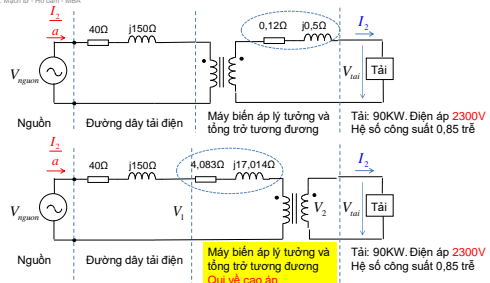
Hệ thống điện như hình vẽ bao gồm: - Nguồn. - Đường dây tải điện có tổng trở $(40 + j150) \Omega$. - Máy biến áp một pha 150KVA, **14.000V/2400V** có mạch điện thay thế gồm máy biến áp lý tưởng và tổng trở tương đương nối từ phía cao áp về phía hạ áp là $(0.12 + j0.5) \Omega$. - Tải 90KW, hệ số công suất 0,85 trễ với điện áp **2300V**.

Tính điện áp của nguồn trong điều kiện làm việc của tải trên.

BMTBĐ-CBKTD-PV/Long
(TCBinh edited 2016)

164

Chương 3: Mạch từ - Hệ cảm - MBA



Cách 1: Qui đổi hạ áp về cao áp: $a = \frac{14000}{2400} = \frac{35}{6}$, $\cos \theta = 0.85 \rightarrow \theta = 31.79^\circ$

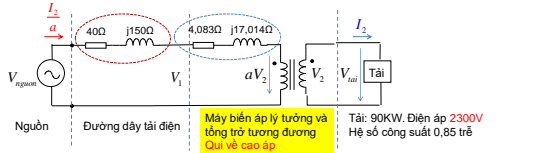
Tổng trở MBA qui về cao áp $\left(\frac{35}{6}\right)^2 (0.12 + j0.5) = 4.083 + j17.014 \Omega$

$I_1 = I_2 = \frac{P_{tải}}{V_{tải} \cos \theta} = \frac{90000}{2300 \cdot 0.85} = 46.036 \text{ A} \rightarrow$ qui về cao áp: $\frac{I_2}{a} = 7.892 \text{ A}$

BMTBĐ-CBKTD-PV/Long
(TCBinh edited 2016)

165

Chương 3: Mạch từ - Hô cảm - MBA



Cách 1: Qui đổi hạ áp về cao áp: $a = \frac{14000}{2400} = \frac{35}{6}$, $\cos \theta = 0,85 \rightarrow \theta = 31,79^\circ$

Tổng trở MBA qui về cao áp: $\left(\frac{35}{6}\right)^2 (0,12 + j0,5) = 4,083 + j17,014 \Omega$

$$I_2 = I_{tai} = \frac{P_{tai}}{V_{tai} \cos \theta} = \frac{90000}{2300 \cdot 0,85} = 46,036 A \rightarrow \text{qui về cao áp: } \frac{I_2}{a} = 7,892 A$$

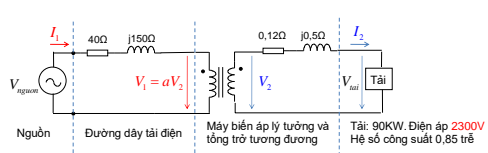
$$V_{nguồn} = (7,892 \angle -32,79^\circ) \left[(40 + j150) + \left(\frac{35}{6}\right)^2 (0,12 + j0,5) \right] + 2300 \frac{35}{6} \angle 0^\circ$$

$$= (7,892 \angle -32,79^\circ) [44,083 + j167,014] + 13417 \angle 0^\circ$$

BMTBĐ-CBKTD-PVLong
(TCBinh edited 2016)**Cách 2:** Tính theo 2 vòng hạ áp và cao áp

166

Chương 3: Mạch từ - Hô cảm - MBA



$$\cos \theta = 0,85 \rightarrow \theta = 31,79^\circ$$

$$I_2 = I_{tai} = \frac{P_{tai}}{V_{tai} \cos \theta} = \frac{90000}{2300 \cdot 0,85} = 46,036 A \approx 46 A$$

$$\text{KH vòng hạ áp: } V_2 = 2300 \angle 0^\circ + (0,12 + j0,5) (46 \angle -31,79^\circ) = 2317 \angle 0,412^\circ$$

$$\text{Qui đổi tỉ số qua MBA lý tưởng: } V_1 = a V_2 = 13515 \angle 0,412^\circ$$

$$I_1 = \frac{I_2}{a} = 7,89 \angle -31,79^\circ$$

$$\text{KH vòng cao áp: } V_{nguồn} = 13515 \angle 0,412^\circ + (7,89 \angle -31,79^\circ) (40 + j150) = 14430 \angle 3,7^\circ$$

BMTBĐ-CBKTD-PVLong
(TCBinh edited 2016)

167

Chương 3: Mạch từ - Hô cảm - MBA

6 Bài tập

Kết quả thí nghiệm hồ mạch (không tải) và ngắn mạch trên một máy biến áp (MBA) 1 pha 100 kVA, 12700/230 V, 50 Hz như sau:

- Thí nghiệm hồ mạch phía cao áp (đặt điện áp vào phía hạ áp):
 $V_{oc} = 230 \text{ V}$, $I_{sc} = 4,5 \text{ A}$, $P_{oc} = 200 \text{ W}$
- Thí nghiệm ngắn mạch phía hạ áp (đặt điện áp vào phía cao áp):
 $V_{sc} = 250 \text{ V}$, $I_{sc} = 7,87 \text{ A}$, $P_{sc} = 1400 \text{ W}$

- Xác định các tham số của mạch tương đương gần đúng của MBA (dạng Γ), quy về phía cao áp. Vẽ mạch tương đương đó với các tham số đã tính được (ghi rõ các giá trị này trên mạch tương đương).
- Tìm điện áp nguồn cần phải cung cấp bên cao áp khi phía hạ áp của máy biến áp được mắc vào một tải với công suất tiêu thụ 50 kW ở hệ số công suất 0,85 trễ và điện áp trên tải là 220 V.
- Tính hiệu suất của máy biến áp trong trường hợp trên.
- Tìm điện áp nguồn cần phải cung cấp bên cao áp khi có thêm một tải thuần trở tiêu thụ 35 kW được mắc song song với tải cũ.

BMTBĐ-CBKTD-PVLong
(TCBinh edited 2016)

171

Chương 3: Mạch từ - Hô cảm - MBA

Bài tập (tt)

- Xác định các tham số của mạch tương đương gần đúng của MBA (dạng Γ) quy về phía cao áp

$R_c = 264,5 \text{ ohms}$, quy đổi về phía cao áp $R_{c1} = 806450 \text{ ohms}$
 $X_m = 52,09 \text{ ohms}$, quy đổi về phía cao áp $X_{m1} = 158830 \text{ ohms}$
 $R_{eq} = 22,6 \text{ ohms}$, đã quy đổi về phía cao áp
 $X_{eq} = 22,32 \text{ ohms}$, đã quy đổi về phía cao áp

Vẽ mạch tương đương với các tham số đúng

- Điện áp tải quy đổi về phía cao áp

$$a \bar{V}_2 = \frac{12700}{230} \times 220 \angle 0^\circ = 12184 \angle 0^\circ \text{ [V]}$$

Công suất biểu kiến của tải: $S_2 = P_2 / (\text{PF}) = 58,824 \text{ kVA}$

Dòng điện phức mà tải tiêu thụ quy về phía cao áp:

$$\frac{\bar{I}_2}{a} = \frac{58824}{12184} \angle -\cos^{-1}(0,85) = 4,842 \angle -31,79^\circ \text{ [A]}$$

Điện áp nguồn cần đặt vào phía cao áp

$$\bar{V}_1 = a \bar{V}_2 + (R_{eq} + jX_{eq}) \frac{\bar{I}_2}{a} = 12298 \angle 0,1594^\circ \text{ [V]}$$

BMTBĐ-CBKTD-PVLong
(TCBinh edited 2016)

172

Chương 3: Mạch từ - Hô cảm - MBA

Bài tập (tt)

$$\text{c) Tồn hao lõi thép: } P_i = \frac{V_1^2}{R_i} = 187,5 \text{ [W]}$$

$$\text{Tồn hao đồng (trên cả hai dây quấn): } P_{cu} = R_{eq} \left(\frac{I_2}{a} \right)^2 = 530 \text{ [W]}$$

$$\text{Hiệu suất của máy biến áp: } \eta = \frac{P_2}{P_2 + P_i + P_{cu}} \times 100\% = 98,58\%$$

$$\text{d) Công suất phản kháng mà tổ hợp tải tiêu thụ bằng công suất phản kháng của riêng tải ban đầu}$$

$$Q_2 = P_2 \sqrt{(1/\text{PF})^2 - 1} = 30,987 \text{ [kVAR]}$$

Công suất phức mới mà tổ hợp tải tiêu thụ:

$$S_{2(new)} = (50000 + 35000) + j(30987) = 90472 \angle 20,03^\circ \text{ [kVAR]}$$

$$\text{Dòng điện mà tổ hợp tải tiêu thụ: } \bar{I}_{2(new)} / a = \frac{90472}{12184} \angle -20,03^\circ = 7,448 \angle -20,03^\circ \text{ [A]}$$

Điện áp nguồn cần đặt vào phía cao áp khi có thêm một tải thuần trở tiêu thụ 35 kW được mắc song song với tải cũ:

$$\bar{V}_{1(new)} = a \bar{V}_2 + (R_n + jX_n) \frac{\bar{I}_{2(new)}}{a} = 12363 \angle 0,4566^\circ \text{ [V]}$$

BMTBĐ-CBKTD-PVLong
(TCBinh edited 2016)

173

Chương 3: Mạch từ - Hô cảm - MBA

7 Bài tập

MBA có: Công suất 150KVA, 2400/240 V, 50 Hz. Điện trở, điện kháng dây quấn $R_1 = 0,2\Omega$; $R_2 = 2\text{m}\Omega$; $X_1 = 0,45\Omega$; $X_2 = 4,5\text{m}\Omega$ điện trở từ hóa $R_{c1} = 10\text{K}\Omega$ (qui về cao áp); điện kháng từ hóa $X_{m1} = 1,55\text{K}\Omega$ (qui về cao áp).

- Dùng mạch điện tương đương hình T. Tính độ sụt áp, hiệu suất khi MBA cung cấp cho tải định mức với hệ số công suất 0,8 dòng điện chậm pha.
- Dùng mạch điện tương đương gần đúng hình Γ . Tính độ sụt áp, hiệu suất khi MBA cung cấp cho tải định mức với hệ số công suất 0,8 dòng điện chậm pha. So sánh với câu 1?
- Xác định dòng điện tải phía hạ áp để máy biến áp có hiệu suất cực đại. Giả thiết tải có hệ số công suất $\text{pf} = \text{const}$ và xem tổn hao trong sắt từ $P_{\text{core}} = \text{const}$ (không phụ thuộc vào tải)

Tải định mức = Tải có giá trị dòng điện và điện áp định mức

BMTBĐ-CBKTD-PVLong
(TCBinh edited 2016)

174

Chương 3: Mạch từ - Hệ cảm - MBA

Bài tập (tt)

1. Dùng mạch điện tương đương hình T. Tính độ sụt áp, hiệu suất khi MBA cung cấp cho tải định mức với hệ số công suất 0,8 dòng điện chậm pha ($\theta > 0$).

$$V_2 = 240 \angle 0^\circ; a = \frac{2400}{240} = 10; aV_2 = 2400 \angle 0^\circ$$

$$\theta = \cos^{-1}(0,8) = +36,8^\circ; a^2 R_2 = 0,2\Omega; a^2 X_2 = 0,45\Omega$$

$$I_2 = \frac{150 \cdot 10^3}{240} = 625 \text{ A}; \frac{I_2}{a} = 62,5 \angle -36,8^\circ$$

$$= 50 - j37,5 \text{ A}$$

$$V_{ab} = (2400 + j0) + (50 - j37,5)(0,2 + j0,45)$$

$$= 2427 + j15 = 2427 \angle 0,35^\circ \text{ V}$$

$$I_m = \frac{2427 \angle 0,35^\circ}{1550 \angle 90^\circ} = 1,56 \angle -89,65^\circ = 0,0095 - j1,56 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{2427 + j15}{10 \cdot 10^3} \approx 0,2427 + j0 \text{ A}$$

$$I_{oc} = I_c + I_m = 0,25 - j1,56 \text{ A}$$

$$I_1 = I_c + (I_2 / a) = 50,25 - j39,06 = 63,65 \angle -37,85^\circ \text{ A} \rightarrow \vec{V}_1$$

BMTBĐ-CBKTD-PV/Lung

(TCBinh edited 2016)

175

Chương 3: Mạch từ - Hệ cảm - MBA

Bài tập (tt)

$$V_1 = (2427 + j15) + (50,25 - j39,06)(0,2 + j0,45)$$

$$= 2455 + j30 = 2455 \angle 0,7^\circ \text{ V}$$

$$\Delta V\% = \frac{V_{không tải} - V_{có tải}}{V_{có tải}} \times 100 \%$$

$$= \frac{V_1 - aV_2}{aV_2} \times 100 = \frac{2455 - 2400}{2400} \times 100 = 2,3\%$$

• Hiệu suất ?

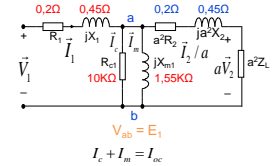
$$\eta\% = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{core} + P_i} \times 100 = \frac{120}{122,18} \times 100 = 98,2\%$$

$$\text{Với: } P_{out} = S \cdot \cos \theta = 150,0,8 = 120 \text{ KW}$$

$$P_{core} + P_i = R_{c1} I_c^2 + R_{l1} I_1^2 + R_{l2} I_2^2$$

$$= (10 \cdot 10^3)(0,2427)^2 + 0,2(63,65)^2 + (2 \cdot 10^{-3})(625)^2$$

$$= 2180 \text{ W} = 2,18 \text{ KW}$$



BMTBĐ-CBKTD-PV/Lung

(TCBinh edited 2016)

176

Chương 3: Mạch từ - Hệ cảm - MBA

Bài tập (tt)

2. Dùng mạch điện tương đương gần đúng hình T.

$$V_2 = 240 \angle 0^\circ; a = \frac{2400}{240} = 10; aV_2 = 2400 \angle 0^\circ$$

$$R_1 + a^2 R_2 = 0,4\Omega; X_1 + a^2 X_2 = 0,9\Omega$$

$$\frac{I_2}{a} = 62,5 \angle -36,8^\circ = 50 - j37,5 \text{ A}$$

$$V_1 = (2400 + j0) + (50 - j37,5)(0,4 + j0,9)$$

$$= 2453 + j30 = 2453 \angle 0,7^\circ \text{ V}$$

$$I_m = \frac{2453 \angle 0,7^\circ}{1550 \angle 90^\circ} = 1,58 \angle -89,3^\circ$$

$$I_c = \frac{2453 \angle 0,7^\circ}{10 \cdot 10^3} = 0,2453 \angle 0,7^\circ$$

$$I_{oc} = I_c + I_m = 0,2453 - j1,58 \text{ A}$$

$$I_1 = I_{oc} + (I_2 / a) = 50,25 - j39,08 = 63,66 \angle -37,9^\circ \text{ A}$$

$$\Delta V\% = \frac{V_{không tải} - V_{có tải}}{V_{có tải}} \times 100 \%$$

$$= \frac{V_1 - aV_2}{aV_2} \times 100 = \frac{2453 - 2400}{2400} \times 100 = 2,2\%$$

$$\eta\% = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{core} + P_i} \times 100 = \frac{120 \cdot 10^3}{120 \cdot 10^3 + (0,2453)^2 (10 \cdot 10^3) + (62,5)^2 (2 \cdot 10^{-3})} \times 100 = 98,2\%$$

BMTBĐ-CBKTD-PV/Lung

(TCBinh edited 2016)

177

Chương 3: Mạch từ - Hệ cảm - MBA

Bài tập (tt)

3. Xác định dòng điện tải phía hạ áp để máy biến áp có hiệu suất cực đại.

Theo mạch điện tương đương, ta có:

$$P_{core} = I_c^2 R_c; P_{Cu} = \left(\frac{I_2}{a}\right)^2 (R_1 + a^2 R_2) = I_2^2 \left(R_2 + \frac{R_1}{a^2}\right)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{core} + P_i} = \frac{V_2 I_2 \cos \theta}{V_2 I_2 \cos \theta + P_{core} + I_2^2 \left(R_2 + \frac{R_1}{a^2}\right)} \quad (\text{Với } \cos \theta = \text{const}; P_{core} = \text{const})$$

Để hiệu suất cực đại thì: $\frac{d\eta}{dI_2} = f(I_2) = 0$

$$\Rightarrow V_2 \left[V_2 I_2 + P_i + I_2^2 \left(R_2 + \frac{R_1}{a^2} \right) \right] - V_2 I_2 \left[V_2 + 2 I_2 \left(R_2 + \frac{R_1}{a^2} \right) \right] = 0$$

$$\Rightarrow P_{core} - P_i = 0$$

$$\Rightarrow P_{core} = P_i = I_2^2 \left(R_2 + \frac{R_1}{a^2} \right)$$

$$\rightarrow \text{Dòng điện tải để hiệu suất cực đại: } I_2 = \sqrt{\frac{P_{core}}{R_2 + \frac{R_1}{a^2}}}$$

BMTBĐ-CBKTD-PV/Lung

(TCBinh edited 2016)

178

Chương 3: Mạch từ - Hệ cảm - MBA

8 Bài tập

MBA có : Công suất 25KVA, điện áp sơ cấp 440V, điện áp thứ cấp 220V, 50Hz .
Với các kết quả đo được từ thí nghiệm :

- Thí nghiệm không tải, hồ mạch sơ cấp, đo ở thứ cấp: 220V; 9,6A ; 710W

- Thí nghiệm ngắn mạch phía thứ cấp đo ở sơ cấp : 42V ; 57A ; 1030W

- Vẽ mạch điện tương đương đúng hình T của MBA qui về sơ cấp , xác định các thông số trên mạch tương đương đó. Giả thiết $R_1 = a^2 R_2; X_1 = a^2 X_2$.
- Vẽ mạch điện tương đương gần đúng MBA qui về thứ cấp, xác định các thông số trên mạch điện tương đương đó.
- Khi MBA có tải 25KVA với hệ số công suất bằng 0,8 . Tính hiệu suất.

BMTBĐ-CBKTD-PV/Lung

(TCBinh edited 2016)

179

Chương 3: Mạch từ - Hệ cảm - MBA

Bài tập (tt)

1. Từ thí nghiệm ngắn mạch (42V ; 57A ; 1030W) tính được các thông số khi nhìn MBA từ phía sơ cấp

$$I_{10\%} = 25000/440 = 56,82 \text{ A} \approx 57 \text{ A}$$

$$Z_{1eq} = \frac{42}{57} = 0,737\Omega$$

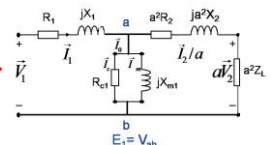
$$R_{1eq} = \frac{1030}{57^2} = 0,317\Omega$$

$$X_{1eq} = \sqrt{(0,737)^2 - (0,317)^2} = 0,665\Omega$$

Điện trở và điện kháng dây quấn sơ cấp:

$$\begin{cases} R_1 = a^2 R_2 = \frac{R_{1eq}}{2} = \frac{0,317}{2} = 0,158\Omega \\ X_1 = a^2 X_2 = \frac{X_{1eq}}{2} = \frac{0,665}{2} = 0,333\Omega \end{cases}$$

→ Điện trở và điện kháng dây quấn thứ cấp: $\begin{cases} R_2 = 0,0395\Omega \\ X_2 = 0,0832\Omega \end{cases}$



MDTD của MBA qui về sơ cấp

MDTD khi TN ngắn mạch

BMTBĐ-CBKTD-PV/Lung

(TCBinh edited 2016)

180

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Bài tập (tt)

⇒ Từ thí nghiệm không tải ($220V; 9,6A; 710W$) tính được các thông số từ hóa khi nhìn MBA từ phía thứ cấp

$$\theta_{sc} = \cos^{-1} \frac{710}{(9,6) \cdot 220} = \cos^{-1} 0,336 = -70^\circ$$

$$E_2 = 220 \angle 0^\circ - (9,6 \angle -70^\circ)(0,0395 + j0,0832) \approx 219 \angle 0^\circ V$$

Nghĩa là E_2 gần bằng $V_{20m} = 220V$

$$P_{e2} = 710 - (9,6)^2 (0,0395) = 706,3W$$

Nghĩa là P_{e2} gần bằng $P_c = 710W$

$$R_{e2} = \frac{(219)^2}{706,3} = 67,9 \Omega$$

$$I_{e2} = \frac{219}{67,9} = 3,23 A \rightarrow I_{m2} = \sqrt{(9,6)^2 - (3,23)^2} = 9,04 A$$

$$X_{m2} = \frac{219}{9,04} = 24,23 \Omega$$

- Cần qui về phía sơ cấp tương ứng với mạch điện thay thế yêu cầu của đề bài :

$$R_{e1} = a^2 R_{e2} = 271,6 \Omega$$

$$X_{m1} = a^2 X_{m2} = 96,92 \Omega$$

Hoặc R_{e2}, X_{m2} tính gần đúng như mạch thay thế gần đúng của thí nghiệm không tải (có giá trị như câu 2)

181

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Bài tập (tt)

⇒ Từ thí nghiệm không tải ($220V; 9,6A; 710W$) tính được các thông số từ hóa khi nhìn MBA từ phía thứ cấp

$$R_{e2} = \frac{(220)^2}{710} = 68,2 \Omega$$

$$\rightarrow I_{e2} = \frac{220}{68,2} = 3,22 A$$

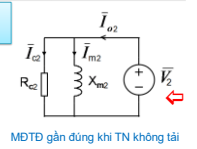
$$\rightarrow I_{m2} = \sqrt{(9,6)^2 - (3,22)^2} = 9,04 A$$

$$X_{m2} = \frac{220}{9,04} = 24,33 \Omega$$

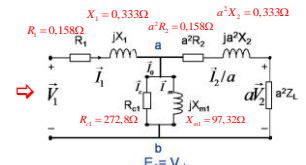
- Cần qui về phía sơ cấp tương ứng với mạch điện thay thế yêu cầu của đề bài :

$$R_{e1} = a^2 R_{e2} = 272,8 \Omega$$

$$X_{m1} = a^2 X_{m2} = 97,32 \Omega$$



MDTT gần đúng khi TN không tải



MDTT của MBA qui về sơ cấp

182

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Bài tập (tt)

2. Mạch điện thay thế gần đúng MBA qui về thứ cấp.

$$R_{e2} = \frac{(220)^2}{710} = 68,2 \Omega$$

$$\rightarrow I_{e2} = \frac{220}{68,2} = 3,22 A$$

$$\rightarrow I_{m2} = \sqrt{(9,6)^2 - (3,22)^2} = 9,04 A$$

$$X_{m2} = \frac{220}{9,04} = 24,33 \Omega$$

Trong câu 1 đã tính được R_{1eq} và X_{1eq} nhìn từ sơ cấp:

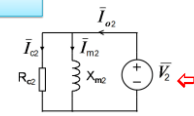
$$R_{1eq} = 0,317 \Omega$$

$$X_{1eq} = 0,665 \Omega$$

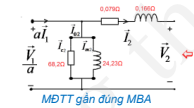
Cần qui về thứ cấp R_{2eq} và X_{2eq} :

$$R_{2eq} = \frac{0,317}{a^2} = \frac{0,317}{4} = 0,079 \Omega$$

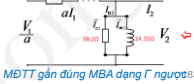
$$X_{2eq} = \frac{0,665}{a^2} = \frac{0,665}{4} = 0,166 \Omega$$



MDTT gần đúng khi TN không tải



MDTT gần đúng MBA



MDTT gần đúng MBA dạng Γ ngược

183

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Bài tập (tt)

3. Tính hiệu suất MBA khi tải 25 KVA $\cos \theta = 0,8$

Dựa vào MDTT gần đúng hình Γ :

$$P_{out} = 25 \cdot 10^3 (0,8) = 20 \cdot 10^3 W$$

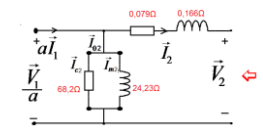
$$I_2 = \frac{25 \cdot 10^3}{220} = 113,64 A$$

$$I_{e2} = 3,22 A$$

$$\eta\% = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{core} + P_i} \times 100 = \frac{20 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3 + (3,22)^2 (68,2) + (113,64)^2 (0,079)} \times 100 = 92$$

- Hoặc theo MDTT gần đúng hình Γ ngược : với $a_1 = 2 \times (25000/440) = 113,64 A$
- Hoặc P_{core}, P_i tính theo mạch thay thế đúng.
- Hoặc lấy theo số liệu thí nghiệm $P_{core} = 710W, P_i = 1030W$

$$(I_{1dm} = 25000/440 = 56,82 A \approx 57 A \text{ khi TN ngắn mạch})$$

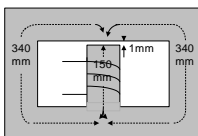


184

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

Example 5

A magnetic circuit made of silicon steel is arranged as in the Figure. The center limb has a cross-section area of 800 mm^2 and each of the side limbs has a cross-section area of 500 mm^2 . Calculate the m.m.f required to produce a flux of 1 mWb in the center limb, assuming the magnetic leakage to be negligible.

BMTBĐ-CKKTĐ-PV/Long
(TCBinh edited 2016)

189

Chương 3: Mạch từ - Hồ cảm - MBA

$$\Phi = B \times A \rightarrow B = \frac{\Phi}{A} = \frac{1 \times 10^{-3}}{800 \times 10^{-6}} = 1,25 T$$

Looking at graph at $B = 1,25 T$ $\mu_r = 34000$

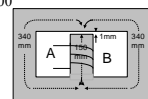
Apply voltage law in loops A and B

$$m.m.f = \Phi_A S_1 + (\Phi_A + \Phi_B)(S_2 + S_3)$$

$$S_1 = \frac{\ell_1}{\mu_r \mu_0 A_1} = \frac{340 \times 10^{-3}}{34000 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 500 \times 10^{-6}} = 15915$$

$$S_2 = \frac{150 \times 10^{-3}}{34000 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 800 \times 10^{-6}} = 4388$$

$$S_3 = \frac{1 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7} \times 800 \times 10^{-6}} = 994718$$

BMTBĐ-CKKTĐ-PV/Long
(TCBinh edited 2016)

190

Since the circuit is symmetry $\Phi_A = \Phi_B$

$$m.m.f = \Phi S_1 + (2\Phi)(S_2 + S_a)$$

In the center limb , the flux is 1mWb which is equal to 2 Φ
Therefore $\Phi=0.5\text{mWb}$

$$\begin{aligned} m.m.f &= 0.5 \times 10^{-3} (15915) + (1 \times 10^{-3}) (4388 + 994718) \\ &= 8 + 999 = 1007 \quad \text{A} \end{aligned}$$

cuu duong than cong . com