

Đại Học Đà Nẵng - Trường Đại học Bách Khoa
Khoa Điện - Nhóm Chuyên môn Điện Công Nghiệp

Giáo trình MÁY ĐIỆN 1

Biên soạn: Bùi Tấn Lợi

Chương 3

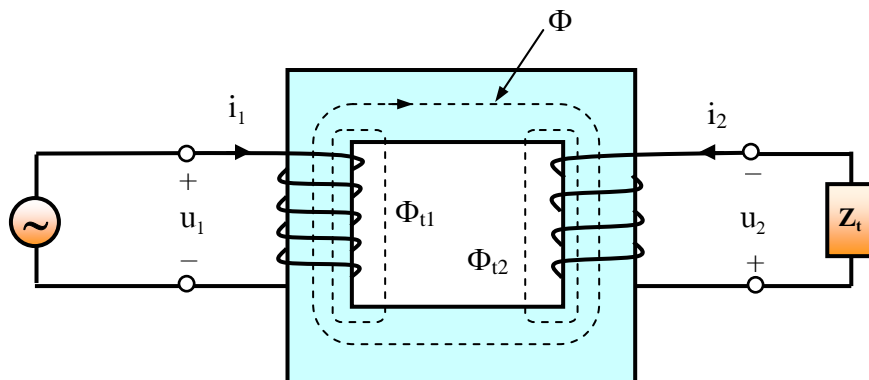
QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG MBA

Trong chương này chúng ta sẽ nghiên cứu sự làm việc của mba lúc tải đối xứng và mọi vấn đề có liên quan đều được xét trên một pha của mba ba pha hay trên mba một pha.

3.1. CÁC PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG CỦA MÁY BIẾN ÁP

Để thấy rõ quá trình năng lượng trong mba, ta hãy xét các quan hệ điện từ trong trường hợp này.

3.1.1. Phương trình cân bằng điện áp (sđđ)



Hình 3.1 Từ thông mba một pha hai dây quấn

Trên hình 3.1 trình bày mba một pha hai dây quấn, trong đó dây quấn sơ cấp nối với nguồn, có số vòng N_1 , dây quấn thứ cấp nối với tải có tổng trở Z_t , có số vòng N_2 . Khi nối điện áp u_1 vào dây quấn sơ cấp, trong dây quấn sơ cấp có dòng điện i_1 chạy qua. Nếu phía thứ cấp có tải thì trong dây quấn thứ cấp sẽ có dòng điện i_2 chạy qua. Các dòng điện i_1 và i_2 sẽ tạo nên stđ sơ cấp $i_1 N_1$ và stđ thứ cấp $i_2 N_2$. Phần lớn từ thông do hai stđ $i_1 N_1$ và $i_2 N_2$ sinh ra được khép mạch qua lõi thép móc vòng với cả dây quấn sơ cấp và thứ cấp được gọi là từ thông chính Φ . Từ thông chính Φ gây nên trong các dây quấn sơ cấp và thứ cấp những sđđ e_1 và e_2 như đã biết ở chương 2 như sau :

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Psi_1}{dt}; \quad (3.1a)$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Psi_2}{dt}. \quad (3.1b)$$

trong đó $\Psi_1 = N_1\Phi$ và $\Psi_2 = N_2\Phi$ là từ thông móc vòng với dây quấn sơ cấp và thứ cấp ứng với từ thông chính Φ .

Ngoài từ thông chính Φ chạy trong lõi thép, trong mba các std i_1N_1 và i_2N_2 còn sinh ra từ thông tản Φ_{t1} và Φ_{t2} . Từ thông tản không chạy trong lõi thép mà móc vòng với không gian không phải vật liệu sắt từ như dầu biến áp, vật liệu cách điện ... Vật liệu này có độ từ thẩm bé, do đó từ thông tản nhỏ hơn rất nhiều so với từ thông chính và từ thông tản móc vòng với dây quấn sinh ra nó. Từ thông tản Φ_{t1} do dòng điện sơ cấp i_1 gây ra và từ thông tản Φ_{t2} do dòng điện thứ cấp i_2 gây ra. Các từ thông tản Φ_{t1} và Φ_{t2} biến thiên theo thời gian nên cũng cảm ứng trong dây quấn sơ cấp std tản e_{t1} và thứ cấp std tản e_{t2} , mà trị số tức thời là:

$$e_{t1} = -N_1 \frac{d\Phi_{t1}}{dt} = -\frac{d\Psi_{t1}}{dt}; \quad (3.2a)$$

$$e_{t2} = -N_2 \frac{d\Phi_{t2}}{dt} = -\frac{d\Psi_{t2}}{dt}. \quad (3.2b)$$

Trong đó: $\Psi_{t1} = N_1\Phi_{t1}$ là từ thông tản móc vòng với dây quấn sơ cấp; $\Psi_{t2} = N_2\Phi_{t2}$ là từ thông tản móc vòng với dây quấn thứ cấp.

Do từ thông tản móc vòng với không gian không phải vật liệu sắt từ nên tỉ lệ với dòng điện sinh ra nó :

$$\Psi_{t1} = L_{t1}i_1; \quad (3.3a)$$

$$\Psi_{t2} = L_{t2}i_2 \quad (3.3b)$$

Trong đó: L_{t1} và L_{t2} là điện cảm tản của dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

Thế (3.3) vào (3.2a,b), ta có:

$$e_{t1} = -L_{t1} \frac{di_1}{dt} \quad (3.4a)$$

$$e_{t2} = -L_{t2} \frac{di_2}{dt} \quad (3.4b)$$

Biểu diễn (3.4) dưới dạng phức số :

$$\dot{E}_{t1} = -j\omega L_{t1}\dot{I}_1 = -jx_1\dot{I}_1; \quad (3.5a)$$

$$\dot{E}_{t2} = -j\omega L_{t2}\dot{I}_2 = -jx_2\dot{I}_2 \quad (3.5b)$$

trong đó: $x_1 = \omega L_{t1}$ là điện kháng tản của dây quấn sơ cấp,

$x_2 = \omega L_{t2}$ là điện kháng tản của dây quấn thứ cấp.

1. Phương trình cân bằng điện áp dây quấn sơ cấp :

Xét mạch điện sơ cấp gồm nguồn điện áp u_1 , sức điện động e_1 , sdd tản của dây quấn sơ cấp e_{t1} , điện trở dây quấn sơ cấp r_1 . Áp dụng định luật Kirchhoff 2 ta có phương trình điện áp sơ cấp viết dưới dạng trị số tức thời là:

$$u_1 = -e_1 - e_{t1} + r_1 i_1 \quad (3.6a)$$

Biểu diễn (3.6) dưới dạng số phức:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 - \dot{E}_{t1} + r_1 \dot{I}_1 \quad (3.6b)$$

Thay (3.5a) vào (3.6b), ta có :

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + jx_1 \dot{I}_1 + r_1 \dot{I}_1$$

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + (r_1 + jx_1) \dot{I}_1 = -\dot{E}_1 + Z_1 \dot{I}_1 \quad (3.7)$$

trong đó: $Z_1 = r_1 + jx_1$ là tổng trở phức của dây quấn sơ cấp.

Còn $Z_1 \dot{I}_1$ là điện áp rơi trên dây quấn sơ cấp.

2. Phương trình cân bằng điện áp dây quấn thứ cấp

Mạch điện thứ cấp gồm sức điện động e_2 , sức điện động tản dây quấn thứ cấp e_{t2} , điện trở dây quấn thứ cấp r_2 , điện áp ở hai đầu của dây quấn thứ cấp là u_2 . Áp dụng định luật Kirchhoff 2 ta có phương trình điện áp thứ cấp viết dưới dạng trị số tức thời là:

$$u_2 = e_2 + e_{t2} - r_2 i_2 \quad (3.8a)$$

Biểu diễn (3.8) dưới dạng số phức:

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 + \dot{E}_{t2} - r_2 \dot{I}_2 \quad (3.8b)$$

Thay (3.5b) vào (3.8b), ta có :

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - jx_2 \dot{I}_2 - r_2 \dot{I}_2 \quad (3.9)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - (r_2 + jx_2) \dot{I}_2 = \dot{E}_2 - Z_2 \dot{I}_2 \quad (3.10)$$

trong đó $Z_2 = r_2 + jx_2$ là tổng trở phức của dây quấn thứ cấp.

Còn $Z_2 \dot{I}_2$ là điện áp rơi trên dây quấn thứ cấp.

$$\text{Mặt khác ta có: } \dot{U}_2 = Z_t \dot{I}_2 \quad (3.11)$$

3.1.2. Phương trình cân bằng dòng điện

Định luật Ohm từ (0.6), áp dụng vào mạch từ (hình 3.1) cho ta:

$$N_1 i_1 - N_2 i_2 = R_\mu \Phi \quad (3.12)$$

Trong biểu thức (3.7), thường $Z_1 \dot{I}_1 \ll \dot{E}_1$ nên $E_1 \approx U_1$. Vậy theo công thức (2.6) từ thông cực đại trong lõi thép:

$$\Phi_m = \frac{U_1}{4,44fN_1} \quad (3.13)$$

Ở đây $U_1 = U_{1dm}$, tức là U_1 không đổi, theo (3.13) từ thông Φ_m cũng không đổi. Do đó vế phải của (3.12) không phụ thuộc dòng i_1 và i_2 , nghĩa là không phụ thuộc

chế độ làm việc của mba. Đặc biệt trong chế độ không tải dòng $i_2 = 0$ và $i_1 = i_0$ là dòng điện không tải sơ cấp. Ta suy ra:

$$N_1 i_1 + N_2 i_2 = N_1 i_0 \quad (3.14)$$

Hay:
$$N_1 \dot{I}_1 + N_2 \dot{I}_2 = N_1 \dot{I}_0 \quad (3.15)$$

Chia hai vế cho N_1 và chuyển vế, ta có:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \left(-\dot{I}_2 \frac{N_2}{N_1}\right) = \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2) \quad (3.16)$$

trong đó: $\dot{I}'_2 = \frac{\dot{I}_2}{k}$ là dòng điện thứ cấp qui đổi về phía sơ cấp, còn $k = \frac{N_1}{N_2}$.

Từ (3.16) ta thấy rằng: dòng điện sơ cấp \dot{I}_1 gồm hai thành phần, thành phần dòng điện không đổi \dot{I}_0 dùng để tạo ra từ thông chính Φ trong lõi thép mba, thành phần dòng điện \dot{I}'_2 dùng để bù lại dòng điện thứ cấp \dot{I}_2 , tức là cung cấp cho tải. Khi tải tăng thì dòng điện \dot{I}_2 tăng, nên \dot{I}'_2 tăng và dòng điện \dot{I}_1 cũng tăng lên.

Tóm lại, mô hình toán của mba như sau:

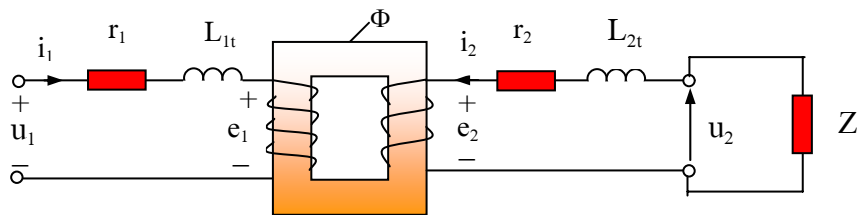
$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + Z_1 \dot{I}_1 \quad (3.17a)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - Z_2 \dot{I}_2 \quad (3.17b)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \quad (3.17c)$$

3.2. MẠCH ĐIỆN THAY THẾ CỦA MÁY BIẾN ÁP

Để đặc trưng và tính toán các quá trình năng lượng xảy ra trong mba, người ta thay mạch điện và mạch từ của mba bằng một mạch điện tương đương gồm các điện trở và điện kháng đặc trưng cho mba gọi là mạch điện thay thế mba.



(a)

Hình 3-2. MBA không từ thông tản và tổn hao trong dây quấn

Trên hình 3.2a trình bày MBA mà tổn hao trong dây quấn và từ thông tản được đặc trưng bằng điện trở R và điện cảm L mắc nối tiếp với dây quấn sơ và thứ cấp. Để có thể nối trực tiếp mạch sơ cấp và thứ cấp với nhau thành một mạch điện,

các dây quấn sơ cấp và thứ cấp phải có cùng một cấp điện áp. Trên thực tế, điện áp của các dây quấn đó lại khác nhau. Vì vậy phải **qui đổi** một trong hai dây quấn về dây quấn kia để cho chúng có cùng một cấp điện áp. Muốn vậy hai dây quấn phải có số vòng dây như nhau. Thường người ta qui đổi dây quấn thứ cấp về dây quấn sơ cấp, nghĩa là coi dây quấn thứ cấp có số vòng dây bằng số vòng dây của dây quấn sơ cấp. Việc qui đổi chỉ để thuận tiện cho việc nghiên cứu và tính toán mba, vì vậy yêu cầu của việc qui đổi là quá trình vật lý và năng lượng xảy ra trong máy mba trước và sau khi qui đổi là không đổi.

3.2.1. Qui đổi các đại lượng thứ cấp về sơ cấp.

Nhân phương trình (3.15b) với k, ta có:

$$k\dot{U}_2 = k\dot{E}_2 - (k^2 Z_2) \frac{\dot{I}_2}{k} = (k^2 Z_t) \frac{\dot{I}_2}{k} \quad (3.18)$$

$$\text{Đặt : } \dot{E}'_2 = k\dot{E}_2 \quad (3.19)$$

$$\dot{U}'_2 = k\dot{U}_2 \quad (3.20)$$

$$\dot{I}'_2 = \dot{I}_2 / k \quad (3.21)$$

$$Z'_2 = k^2 Z_2 ; r'_2 = k^2 r_2 ; x'_2 = k^2 x_2 \quad (3.22)$$

$$Z'_t = k^2 Z_t ; r'_t = k^2 r_t ; x'_t = k^2 x_t \quad (3.23)$$

Phương trình (3.12b) viết lại thành:

$$\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - Z'_2 \dot{I}'_2 = Z'_t \dot{I}'_2 \quad (3.24)$$

Trong đó: $\dot{E}'_2, \dot{U}'_2, \dot{I}'_2, Z'_2, Z'_t$ tương ứng là sđđ, điện áp, dòng điện, tổng trở dây quấn và tổng trở tải thứ cấp qui đổi về sơ cấp.

Tóm lại mô hình toán mba sau khi qui đổi là :

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + Z_1 \dot{I}_1 \quad (3.25a)$$

$$\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - Z'_2 \dot{I}'_2 = Z'_t \dot{I}'_2 \quad (3.25b)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2) \quad (3.25c)$$

3.2.2. Mạch điện thay thế chính xác của MBA.

Dựa vào hệ phương trình qui đổi (3.25a,b,c) ta suy ra một mạch điện tương ứng gọi là mạch điện thay thế của MBA như trình bày trên hình 3.3.

Xét phương trình (3.23a), về phải phương trình có $Z_1 \dot{I}_1$ là điện áp rơi trên tổng trở dây quấn sơ cấp Z_1 và $-\dot{E}_1$ là điện áp rơi trên tổng trở Z_m , đặc trưng cho từ thông chính và tổn hao sắt từ. Từ thông chính do dòng điện không tải sinh ra, do đó ta có thể viết :

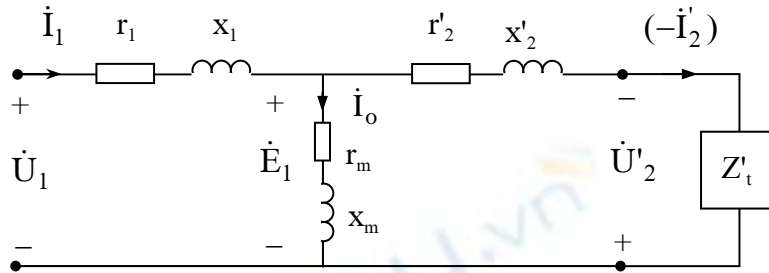
$$-\dot{E}_1 = (r_m + jx_m)\dot{I}_0 = Z_m\dot{I}_0 \quad (3.26)$$

trong đó: $Z_m = r_m + jx_m$ là tổng trở từ hóa đặc trưng cho mạch từ.

- r_m là điện trở từ hóa đặc trưng cho tổn hao sắt từ.

$$p_{Fe} = r_m I_0^2 \quad (3.27)$$

- x_m là điện kháng từ hóa đặc trưng cho từ thông chính Φ .



Hình 3-3. Mạch điện thay thế của MBA một pha hai dây quấn

3.2.3. Mạch điện thay thế gần đúng của MBA.

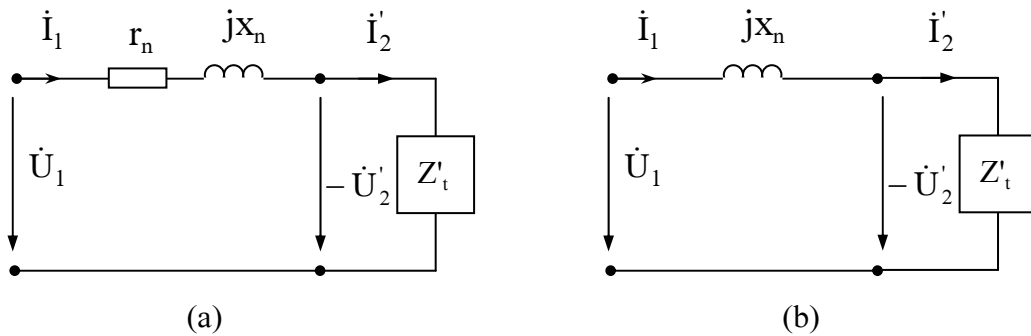
Trên thực tế thường tổng trở nhánh từ hóa rất lớn ($Z_m \gg Z_1$ và Z_2'), do đó trong nhiều trường hợp có thể bỏ qua nhánh từ hóa ($Z_m = \infty$) và thành lập lại sơ đồ thay thế gần đúng trình bày trên hình 3.3a.

Khi bỏ qua tổng trở nhánh từ hóa, ta có:

$$Z_n = Z_1 + Z_2' = r_n + jx_n \quad (3.28)$$

Trong đó $Z_n = r_n + jx_n$ là tổng trở ngắn mạch của mba; $r_n = r_1 + r_2'$ là điện trở ngắn mạch của mba; $x_n = x_1 + x_2'$ là điện kháng ngắn mạch của mba.

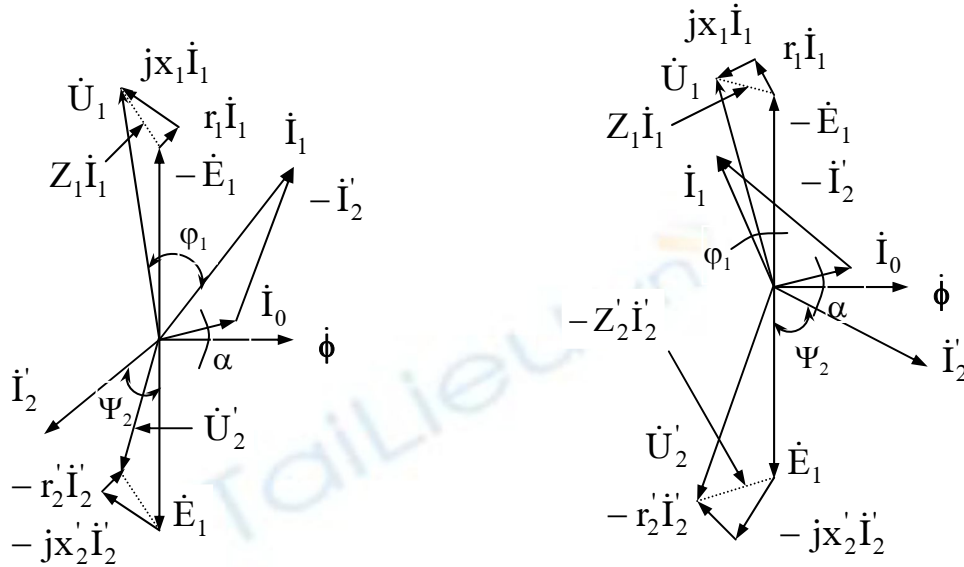
Trong MBA thường $r_n \ll x_n$, nên có thể bỏ qua điện trở ngắn mạch ($r_n = 0$). Trong trường hợp này mạch điện thay thế MBA trình bày trên hình 3.3b.



Hình 3-3. Mạch điện tương đương gần đúng của MBA một pha hai dây quấn

3.3. ĐỒ THỊ VECTƠ CỦA MÁY BIẾN ÁP

Vẽ đồ thị vectơ của mba nhằm mục đích thấy rõ quan hệ về trị số và góc lệch pha giữa các đại lượng vật lý $\Phi, \dot{U}, \dot{I}, \dots$ trong MBA, đồng thời để thấy rõ được sự thay đổi các đại lượng vật lý đó ở các chế độ làm việc khác nhau.



Hình 3-4 Đồ thị vector của máy biến áp
a, Tải tính cảm; b. Tải tính dung

Hình 3-4a là đồ thị vectơ mba trong trường hợp phụ tải có tính chất điện cảm. Đồ thị vectơ được vẽ dựa vào các phương trình cân bằng điện áp và stđ của MBA.

Cách vẽ đồ thị vectơ như sau :

- + Đặt vectơ từ thông $\dot{\Phi}_m$ theo chiều dương trục hoành trục hoành.
- + Vẽ vectơ dòng điện không tải \dot{I}_0 , vượt trước $\dot{\Phi}_m$ một góc α .
- + Vẽ các vectơ sdd \dot{E}_1 và $\dot{E}_2' = \dot{E}_1$ do $\dot{\Phi}_m$ sinh ra, chậm sau nó một góc 90° .
- + Do tải có tính điện cảm nên dòng điện \dot{I}_2 chậm sau \dot{E}_2' một góc ψ_2 .

$$\psi_2 = \arctg \frac{x_2' + x_t'}{r_2 + r_t'} \quad (3.29)$$

+ Theo phương trình (3.25c), ta vẽ vectơ dòng điện \dot{I}_1 bằng vectơ dòng điện \dot{I}_0 cộng với vectơ dòng điện $(-\dot{I}_2)$.

+ Vẽ các vectơ khác dựa vào các phương trình cân bằng (3.25a,b).

Đồ thị vectơ mba khi phụ tải có tính dung vẽ tương tự, nhưng dòng điện \dot{I}_2 vượt trước \dot{E}_2' một góc ψ_2 (hình 3-4b).