

### Chương 3

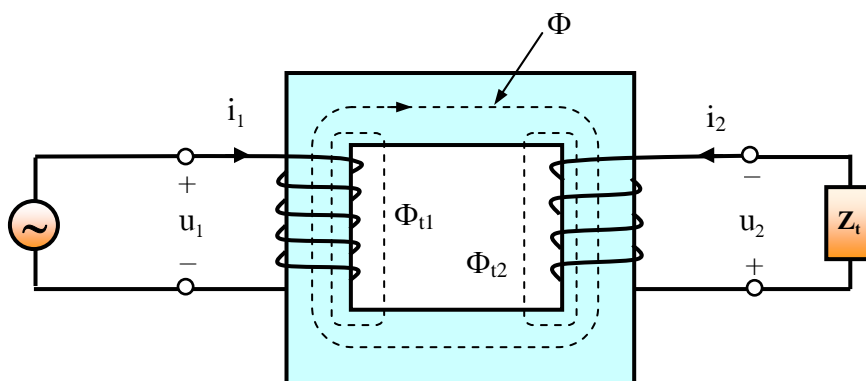
## QUAN HỆ ĐIỆN TỬ TRONG MBA

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 tử 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  $\Phi$ . Từ thông chính  $\Phi$  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  $\Phi$ .

Ngoài từ thông chính  $\Phi$  chạy trong lõi thép, trong mba các std  $i_1N_1$  và  $i_2N_2$  còn sinh ra từ thông tản  $\Phi_{t1}$  và  $\Phi_{t2}$ . 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  $\Phi_{t1}$  do dòng điện sơ cấp  $i_1$  gây ra và từ thông tản  $\Phi_{t2}$  do dòng điện thứ cấp  $i_2$  gây ra. Các từ thông tản  $\Phi_{t1}$  và  $\Phi_{t2}$  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  $\Phi_m$  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  $\Phi$  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:

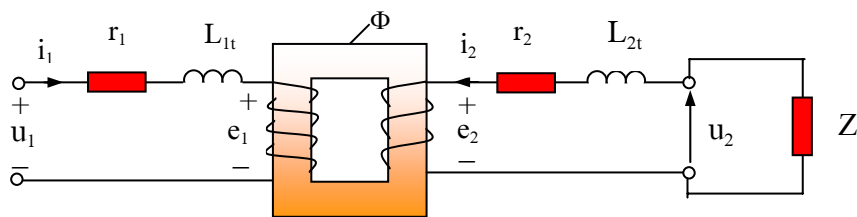
$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + Z_1 \dot{I}_1 \quad (3.17a)$$

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

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

### 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 :

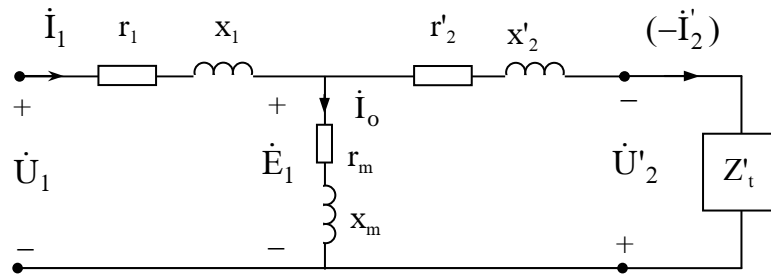
$$-\dot{E}_1 = (r_m + jx_m)\dot{I}_0 = Z_m\dot{I}_0 \quad (3.26)$$

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  $\Phi$ .



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.

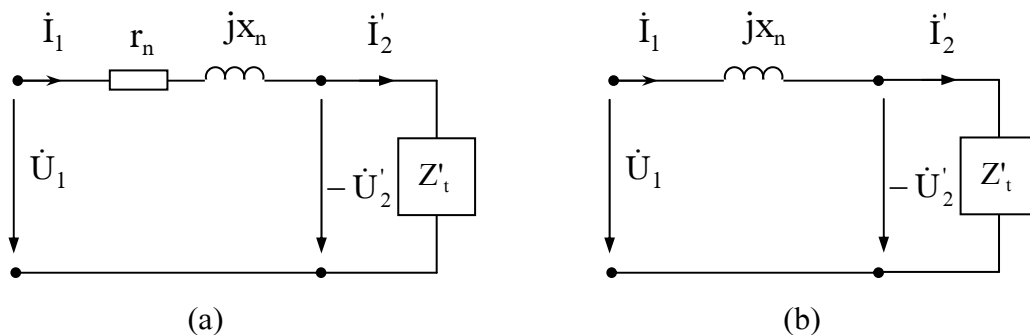
Trên thực tế thường tổng trở nhánh từ hóa rất lớn ( $Z_m \gg Z_1$  và  $Z_2'$ ), do đó trong nhiều trường hợp có thể bỏ qua nhánh từ hóa ( $Z_m = \infty$ ) và thành lập lại sơ đồ thay thế gần đúng trình bày trên hình 3.3a.

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.

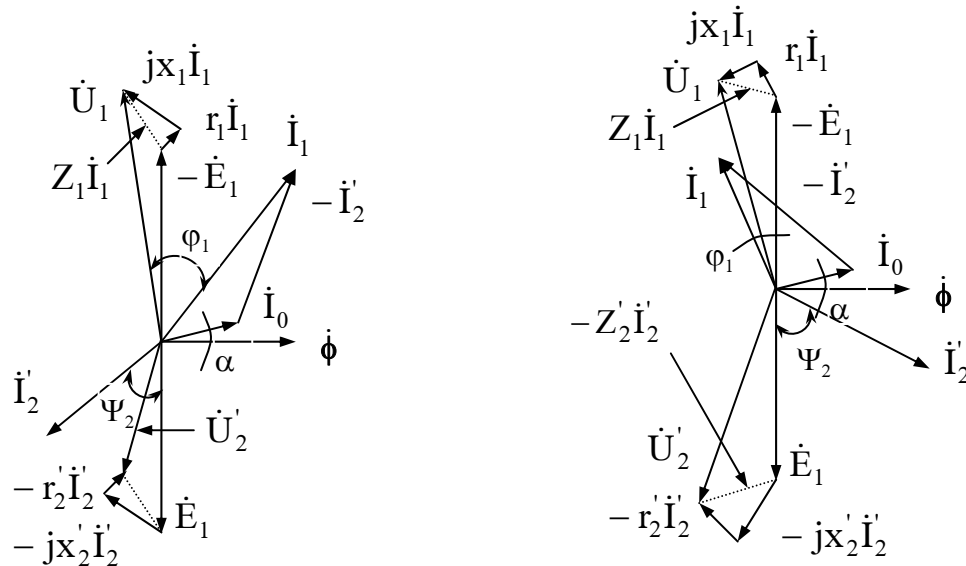
Trong MBA thường  $r_n \ll x_n$ , nên có thể bỏ qua điện trở ngắn mạch ( $r_n = 0$ ). Trong trường hợp này mạch điện thay thế MBA trình bày trên hình 3.3b.



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 std 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  $\alpha$ .
- + 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  $90^\circ$ .
- + Do tải có tính điện cảm nên dòng điện  $\dot{I}_2'$  chậm sau  $\dot{E}_2'$  một góc  $\psi_2$ .

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

+ 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  $\psi_2$  (hình 3-4b).

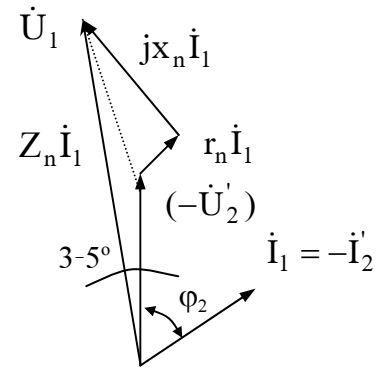
### Đồ thị vectơ đơn giản mba

Trong sơ đồ thay thế gần đúng (hình 3-3a), ta cho là dòng điện  $\dot{I}_0 = 0$ , nên  $\dot{I}_1 = -\dot{I}'_2$ .

Phương trình cân bằng điện áp :

$$\dot{U}_1 = -\dot{U}'_2 + \dot{I}_1 Z_n \quad (3.30)$$

Ta vẽ được đồ thị vector tương ứng khi phụ tải có tính cảm như hình 3.5.



Hình 3-5 Đồ thị vectơ đơn giản mba

## 3.4. XÁC ĐỊNH CÁC THAM SỐ CỦA MÁY BIẾN ÁP

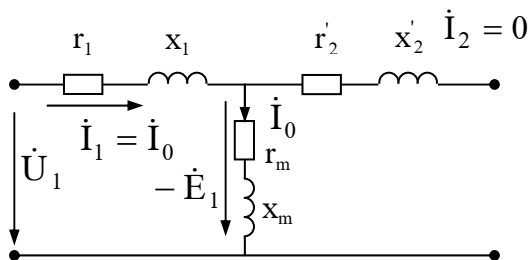
Các tham số của MBA có thể xác định bằng thí nghiệm hoặc bằng tính toán.

### 3.4.1. Xác định các tham số bằng thí nghiệm

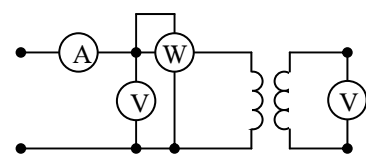
Hai thí nghiệm dùng để xác định các tham số là thí nghiệm không tải và thí nghiệm ngắn mạch.

#### 1. Thí nghiệm không tải mba.

Chế độ không tải mba là chế độ mà thứ cấp hở mạch ( $I_2 = 0$ ), còn sơ cấp được cung cấp bởi một điện áp  $U_1$ . Trên hình 3.6 là mạch điện thay thế máy biến áp khi không tải.



Hình 3-6. Sơ đồ thay thế mba khi không tải



Hình 3-7. Sơ đồ thí nghiệm không tải

Khi không tải (hình 3.6) dòng điện thứ cấp  $I_2 = 0$ , ta có phương trình là:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 Z_1 \quad (3.31a)$$

hoặc 
$$\dot{U}_1 = \dot{I}_0 (Z_1 + Z_m) = \dot{I}_0 Z_0 \quad (3.31b)$$

trong đó:  $Z_0 = Z_1 + Z_m = r_0 + jx_0$  là tổng trở không của tải mba;

$r_0 = r_1 + r_m$  là điện trở không của tải mba;

$x_0 = x_1 + x_m$  là điện kháng không của tải mba;



Để xác định hệ số biến áp  $k$ , tổn hao sắt từ trong lõi thép  $p_{Fe}$ , và các thông số của mba ở chế độ không tải, ta thí nghiệm không tải. Sơ đồ nối dây để thí nghiệm không tải như trên hình 3.7. Đặt điện áp  $U_1 = U_{1dm}$  vào dây quấn sơ cấp, thứ cấp hở mạch, các dụng cụ đo cho ta các số liệu sau: oát kế  $W$  đo được  $P_0$  là công suất không tải; Ampe kế đo  $I_0$  là dòng điện không tải; còn vôn kế nối phía sơ cấp và thứ cấp lần lượt đo  $U_{1dm}$  và  $U_{20}$  là điện áp sơ cấp và thứ cấp.

Từ các số liệu đo được, ta tính :

a) *Tỉ số biến áp  $k$ :*

$$k = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_{1dm}}{U_{20}} \quad (3.32)$$

b) *Dòng điện không tải phần trăm*

$$i_0 \% = \frac{I_0}{I_{1dm}} 100 = 1\% \div 10\% \quad (3.33)$$

c) *Tổng trở nhánh từ hoá*

+ Điện trở không tải :

$$r_0 = r_1 + r_m = \frac{P_0}{I_0^2} \quad (3.34)$$

Điện trở từ hóa  $r_m \gg r_1$  nên lấy gần đúng bằng:

$$r_m = r_0 \quad (3.35)$$

+ Tổng trở không tải :

$$Z_0 = \frac{U_{1dm}}{I_0} \quad (3.36)$$

+ Điện kháng không tải :

$$x_0 = x_1 + x_m = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2} \quad (3.37)$$

Điện kháng từ hóa  $x_m \gg x_1$  nên lấy gần đúng bằng:

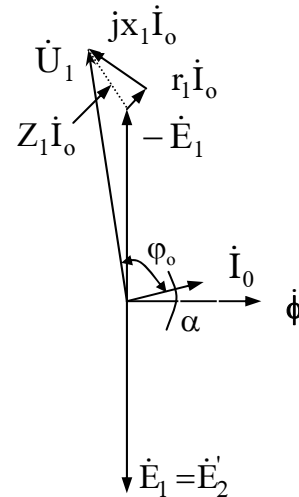
$$x_m = x_0 \quad (3.38)$$

d) *Tổn hao không tải*

Từ mạch điện thay thế hình 3.6, ta thấy tổn hao không tải là tổn hao đồng trên dây quấn sơ và tổn hao sắt trong lõi thép. Như vậy tổn hao không tải :

$$P_0 = r_m I_0^2 + r_1 I_0^2 \approx p_{Fe} \quad (3.39)$$

Do điện trở của dây quấn sơ và dòng điện không tải nhỏ nên ta bỏ qua tổn hao đồng trên dây quấn sơ lúc không tải. Như vậy tổn hao không tải  $P_0$  thực tế có thể xem là tổn hao sắt  $p_{Fe}$  do từ trễ và dòng điện xoáy trong lõi thép gây nên.



**Hình 3.8** Đồ thị vectơ của MBA không tải

Vì điện áp đặt vào dây quấn sơ không đổi, nên  $\Phi$ , do đó  $B$  cũng không đổi, nghĩa là tổn hao sắt, tức tổn hao không tải không đổi.

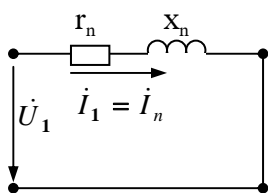
e) Hệ số công suất không tải.

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_{1dm} I_0} (\leq 0,1) \quad (3.40)$$

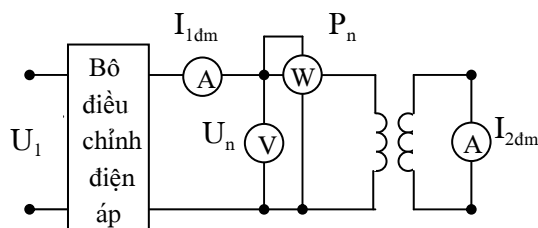
Từ đồ thị vectơ MBA không tải ở hình (3.8), ta thấy góc lệch pha giữa  $\dot{U}_1$  và  $\dot{I}_0$  là  $\varphi_0 \approx 90^\circ$ , nghĩa là hệ số công suất lúc không tải rất thấp, thường  $\cos \varphi_0 \leq 0,1$ . Điều này có ý nghĩa thực tế rất lớn là không nên để MBA làm việc không tải hoặc non tải, vì lúc đó sẽ làm xấu hệ số công suất của lưới điện.

## 2. Thí nghiệm ngắn mạch mba

Chế độ ngắn mạch mba là chế độ mà phía thứ cấp bị nối tắt, sơ cấp đặt vào một điện áp  $U_1$ . Trong vận hành, nhiều nguyên nhân làm máy biến áp bị ngắn mạch như hai dây dẫn phía thứ cấp chập vào nhau, rơi xuống đất hoặc nối với nhau bằng tổng trở rất nhỏ. Đây là tình trạng ngắn mạch sự cố, cần tránh.



Hình 3.8 Mạch điện thay thế m.b.a khi ngắn mạch



Hình 3.9 Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch

Khi m.b.a ngắn mạch  $U_2 = 0$ , mạch điện thay thế m.b.a vẽ trên hình 3.8. Dòng điện sơ cấp là dòng điện ngắn mạch  $I_n$ .

Phương trình điện áp của mba ngắn mạch:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_n (r_n + jx_n) \dot{I}_n = \dot{I}_n Z_n \quad (3.41)$$

Từ phương trình (3.41), ta có dòng điện ngắn mạch khi  $U_1 = U_{dm}$ :

$$I_n = \frac{U_{dm}}{Z_n} \quad (3.42)$$

$$\text{hay } I_n = \frac{U_{dm}}{Z_n \frac{I_{dm}}{I_{dm}} 100} 100 = \frac{I_{dm}}{\frac{Z_n I_{dm}}{U_{dm}} 100} 100 = \frac{I_{dm} \times 100}{u_n \%} \quad (3.43)$$

Do tổng trở ngắn mạch rất nhỏ nên dòng điện ngắn mạch rất lớn khoảng bằng  $(10 \div 25)I_{dm}$ . Đây là trường hợp sự cố, rất nguy hiểm cho máy biến áp. Khi sử dụng mba cần tránh tình trạng ngắn mạch này.

**Tiến hành thí nghiệm NM như sau:** Dây quấn thứ cấp nối ngắn mạch, dây quấn sơ cấp nối với nguồn qua bộ điều chỉnh điện áp. Ta điều chỉnh điện áp vào dây quấn sơ cấp sao cho dòng điện trong các dây quấn bằng định mức. Điện áp đó gọi là điện áp ngắn mạch  $U_n$ . Lúc đó các dụng cụ đo cho ta các số liệu sau: Vôn kế chỉ  $U_n$  là điện áp ngắn mạch; oát kế chỉ  $P_n$  là tổn hao ngắn mạch; Ampe kế chỉ  $I_{1dm}$  và  $I_{2dm}$  là dòng điện sơ cấp và thứ cấp định mức. Từ các số liệu đo được, ta tính :

a) *Tổn hao ngắn mạch*

Lúc thí nghiệm ngắn mạch, điện áp ngắn mạch  $U_n$  nhỏ ( $u_n = 4-15\%U_{dm}$ ) nên từ thông  $\Phi$  nhỏ, có thể bỏ qua tổn hao sắt từ. Công suất đo được trong thí nghiệm ngắn mạch  $P_n$  là :

$$P_n = r_n I_n^2 = r_1 I_{1dm}^2 + r_2 I_{2dm}^2 \quad (3.44)$$

Như vậy tổn hao ngắn mạch chính là tổn hao đồng trên hai dây quấn sơ cấp và dây quấn thứ cấp khi tải định mức.

b) *Tổng trở, điện trở và điện kháng ngắn mạch.*

+ Tổng trở ngắn mạch:

$$Z_n = \frac{U_n}{I_{1dm}} \quad (3.45)$$

+ Điện trở ngắn mạch:

$$r_n = r_1 + r'_2 = \frac{P_n}{I_{1dm}^2} \quad (3.46)$$

+ Điện kháng ngắn mạch:

$$x_n = x_1 + x'_2 = \sqrt{Z_n^2 - r_n^2} \quad (3.47)$$

Trong m.b.a thường  $r_1 = r'_2$  và  $x_1 = x'_2$ . Vậy điện trở và điện kháng tản của dây quấn sơ cấp:

$$\left. \begin{aligned} r_1 = r'_2 = \frac{r_n}{2} \\ x_1 = x'_2 = \frac{x_n}{2} \end{aligned} \right\} \quad (3.48)$$

và điện trở và điện kháng tản của dây quấn thứ cấp:

$$r_2 = \frac{r'_2}{k^2}; \quad x_2 = \frac{x'_2}{k^2} \quad (3.49)$$

c) *Hệ số công suất ngắn mạch*

$$\cos \varphi_n = \frac{P_n}{U_{dm} I_{1dm}} = \frac{r_n}{Z_n} \quad (3.50)$$

d) *Điện áp ngắn mạch*

Điện áp ngắn mạch phần trăm:

$$U_n \% = \frac{Z_n I_{ldm}}{U_{ldm}} 100\% = \frac{U_n}{U_{ldm}} 100\% \quad (3.51)$$

Điện áp ngắn mạch  $U_n$  gồm hai thành phần: Thành phần trên điện trở  $r_n$ , gọi là điện áp ngắn mạch tác dụng  $U_{nr}$ , Thành phần trên điện kháng  $x_n$ , gọi là điện áp ngắn mạch phản kháng  $U_{nx}$ .

+ Điện áp ngắn mạch tác dụng phần trăm:

$$u_{nr} \% = \frac{r_n I_{ldm}}{U_{ldm}} \times 100\% = \frac{U_{nr}}{U_{ldm}} \times 100\% = u_n \% \cos \varphi_n \quad (3.52)$$

+ Điện áp ngắn mạch phản kháng phần trăm:

$$u_{nx} \% = \frac{x_n I_{ldm}}{U_{ldm}} \times 100\% = \frac{U_{nx}}{U_{ldm}} \times 100\% = u_{nx} \% \sin \varphi_n \quad (3.53)$$

Điện áp ngắn mạch tác dụng cũng có thể tính :

$$u_{nr} \% = \frac{U_{nr}}{U_{dm}} 100 = \frac{I_{dm} r_n}{U_{dm}} \times \frac{I_{dm}}{I_{dm}} 100 = \frac{P_n (W)}{10.S_{dm} (kVA)} \quad (3.54)$$

### 3.4.2. Xác định các tham số bằng tính toán

#### 1. Tổng trở nhánh từ hóa

Điện trở nhánh từ hóa :

$$r_m = \frac{P_{Fe}}{I_0^2} \quad (3.55)$$

với  $P_{Fe} = p_{l/50} (B_t^2 G_t + B_g^2 G_g) \left( \frac{f}{50} \right)^{1,3}$ ;  $W$  và  $I_0 = \sqrt{I_{or}^2 + I_{ox}^2}$  (3.56)

Điện kháng nhánh từ hóa :

$$x_m = \frac{E_1}{I_{0x}} \quad (3.57)$$

với  $I_{0x} = \frac{Q_0}{mU_1} = \frac{q_{t.t} G_t + q_{t.g} G_g + nq_{\delta} S}{mU_1}$  (3.58)

#### 2. Tổng trở ngắn mạch

Điện trở ngắn mạch

$$r_1 = k_r \rho_{75^0} \frac{N_1 l_{tb.1}}{S_1}, \Omega ; \quad r_2 = k_r \rho_{75^0} \frac{N_2 l_{tb.2}}{S_2}, \Omega \quad (3.59)$$

$$r_n = r_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 r_2 \quad (3.60)$$

$k_r$  : hệ số làm tăng tổn hao do từ trường tản

$\rho_{75}$  : điện trở suất của dây dẫn làm dây quấn.

### Điện kháng ngắn mạch

Việc xác định  $x_1$  và  $x_2$  liên quan đến việc xác định sự phân bố từ trường tản của từng dây quấn. Ở đây ta xác định  $x_1$  và  $x_2$  gần đúng với giả thiết đơn giản. Xét cho trường hợp dây quấn hình trụ (hình 3-8). Chiều dài tính toán của dây quấn  $l_\sigma$  lớn hơn chiều dài thực  $l$  của dây quấn một ít :

$$l_\sigma = \frac{l}{k_R} \quad (3.61)$$

$k_R = 0,93-0,98$  : hệ số qui đổi từ trường tản lý tưởng về từ trường tản thực tế (hệ số Rogovski)

Theo định luật toàn dòng điện :

$$\oint H dl = \sum i$$

Đối với thép  $\mu_{Fe} = \infty$ , nên  $H_{Fe} = 0$ , vì vậy :

Trong phạm vi  $a_1$  ( $0 \leq x \leq a_1$ ) :

$$H_{x1} l_\sigma = \sum i = N_1 i_1 \frac{x}{a_1},$$

do đó 
$$H_{x1} = \frac{N_1 i_1}{l_\sigma} \times \frac{x}{a_1},$$

Trong phạm vi  $a_{12}$  ( $a_1 \leq x \leq a_1 + a_{12}$ ) :

$$H_{x2} l_\sigma = \sum Ni = N_1 i_1,$$

do đó 
$$H_{x2} = \frac{N_1 i_1}{l_\sigma},$$

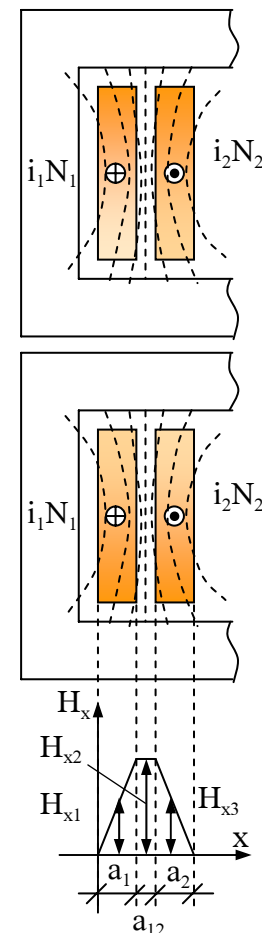
Trong phạm vi  $a_2$  ( $a_1 + a_{12} \leq x \leq a_1 + a_{12} + a_2$ ) :

$$H_{x3} l_\sigma = \sum i = N_1 i_1 + N_2 i_2 \frac{x - (a_1 + a_{12})}{a_2},$$

$$= N_1 i_1 - \frac{x - a_1 - a_{12}}{a_2} N_1 i_1, \quad \text{với } (i_1 N_1 = -i_2 N_2)$$

do đó 
$$H_{x3} = \frac{N_1 i_1}{l_\sigma} \times \frac{a_1 + a_{12} + a_2 - x}{a_2},$$

Xác định biên giới từ thông tản của hai dây quấn sẽ rất khó khăn, do đó việc tính toán riêng rẽ các tham số  $x_1$  và  $x_2$  không thể thực hiện được. Ta có thể xác



Hình 3-10 Từ thông tản

định  $x_1 + x_2$  với qui ước biên giới phân chia từ trường tản của hai ống dây sơ cấp và thứ cấp là đường ở giữa khe hở  $a_{12}$ .

Gọi  $D_{tb}$  là đường kính trung bình của cả hai dây quấn và bỏ qua sự thay đổi đường kính theo chiều  $x$  thì vi phân từ thông cách  $x$  một khoảng trong phạm vi  $a_1$ :

$$d\Phi_1 = \mu_0 H_{x1} \pi D_{tb} dx$$

móc vòng với số vòng dây:

$$N_x = \frac{x}{a_1} N_1$$

Vậy trong phạm vi  $a_{12}$  từ thông móc vòng với một số vòng dây là  $N_1$  vòng:

$$d\Phi_2 = \mu_0 H_{x2} \pi D_{tb} dx$$

Từ thông móc vòng với toàn bộ dây quấn 1 là:

$$\begin{aligned} \Psi_1 &= \int_0^{a_1} \frac{x}{a_1} N_1 \mu_0 \frac{N_1 i_1}{l_\sigma} \frac{x}{a_1} \pi D_{tb} dx + \int_{a_1}^{a_1 + \frac{a_{12}}{2}} N_1 \mu_0 \frac{N_1 i_1}{l_\sigma} \pi D_{tb} dx \\ &= \frac{\mu_0 N_1^2 i_1 \pi D_{tb}}{l_\sigma} \left( \frac{a_1}{3} + \frac{a_{12}}{2} \right) \end{aligned}$$

Tính tương tự, ta có từ thông móc vòng với toàn bộ dây quấn 2 là:

$$\Psi_2' = \frac{\mu_0 N_2^2 i_2 \pi D_{tb}}{l_\sigma} \left( \frac{a_2}{3} + \frac{a_{12}}{2} \right)$$

Điện kháng ngắn mạch:

$$\begin{aligned} x_n &= x_1 + x_2' = 2\pi f \frac{\Psi_1 + \Psi_2'}{i_1} \\ x_n &= 2\pi f \frac{\mu_0 N_1^2 i_1 \pi D_{tb} k_R}{l} \left( a_{12} + \frac{a_1 + a_2}{3} \right) \end{aligned} \quad (3.62)$$

Ta thấy  $x_n$  phụ thuộc vào kích thước hình học của các dây quấn  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_{12}$  và  $l$ . Kích thước này được chọn sao cho giá thành của máy là thấp nhất.

