

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

Giáo trình Kỹ thuật Điện

Biên soạn: Nguyễn Hồng Anh, Bùi Tân Lợi, Nguyễn Văn Tân, Võ Quang Sơn

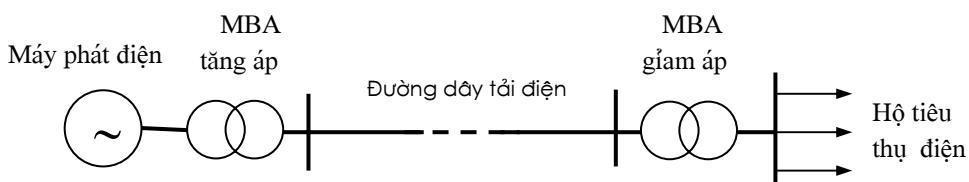
Chương 6

MÁY BIẾN ÁP

6.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY BIẾN ÁP

6.1.1. Vai trò và công dụng MBA

Để dẫn điện từ nhà máy phát điện đến hộ tiêu thụ cần phải có đường dây tải điện (hình 6.1). Thông thường khoảng cách từ nơi sản xuất điện đến hộ tiêu thụ lớn, một vấn đề đặt ra là việc truyền tải điện năng đi xa làm sao cho đảm bảo chất lượng điện áp và kinh tế nhất.



Hình 6.1 Sơ đồ cung cấp điện đơn giản

Giả sử hộ tiêu thụ có công suất P , hệ số công suất $\cos\phi$, điện áp của đường dây truyền tải là U , thì dòng điện truyền tải trên đường dây là :

$$I = \frac{P}{U \cos\phi}$$

Và tổn hao công suất trên đường dây:

$$\Delta P = R_d I^2 = R_d \frac{P^2}{U^2 \cos^2 \phi}$$

Trong đó: R_d là điện trở đường dây tải điện và $\cos\phi$ là hệ số công suất của lưới điện, còn ϕ là góc lệch pha giữa dòng điện I và điện áp U .

Từ các công thức trên cho ta thấy, cùng một công suất truyền tải trên đường dây, nếu điện áp truyền tải càng cao thì dòng điện chạy trên đường dây sẽ càng bé, do đó trọng lượng và chi phí dây dẫn sẽ giảm xuống, tiết kiệm được kim loại màu, đồng thời tổn hao năng lượng trên đường dây sẽ giảm xuống. Mặt khác để đảm bảo chất

lượng điện năng trong hệ thống điện, với đường dây dài không thể truyền dẫn ở điện áp thấp. Vì thế, muốn truyền tải công suất lớn đi xa người ta phải dùng điện áp cao, thường là 35, 110, 220, 500kV... . Trên thực tế, các máy phát điện chỉ phát ra điện áp từ 3 ÷ 21kV, do đó phải có thiết bị tăng điện áp ở đầu đường dây. Mặt khác các hộ tiêu thụ thường yêu cầu điện áp thấp, từ 0.4 ÷ 6kV, vì vậy cuối đường dây phải có thiết bị giảm điện áp xuống. Thiết bị dùng để tăng điện áp ở đầu đường dây và giảm điện áp cuối đường dây gọi là máy biến áp (MBA). Như vậy MBA dùng để truyền tải và phân phối điện năng.

6.1.2. Định nghĩa MBA

Máy biến áp là thiết bị điện tử tinh, làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ, dùng để biến đổi một hệ thống dòng điện xoay chiều ở điện áp này thành một hệ thống dòng điện xoay chiều ở điện áp khác, với tần số không thay đổi.

6.1.3. Các đại lượng định mức MBA

Các đại lượng định mức của MBA qui định điều kiện kỹ thuật của máy. Các đại lượng này do nhà máy chế tạo qui định và ghi trên nhãn của mba.

1. Dung lượng (công suất định mức) S_{dm} [VA hay kVA] là công suất toàn phần hay biểu kiến đưa ra ở dây quấn thứ cấp của mba.
2. Điện áp sơ cấp định mức U_{1dm} [V hay kV] là điện áp của dây quấn sơ cấp.
3. Điện áp thứ cấp định mức U_{2dm} [V hay kV] là điện áp của dây quấn thứ cấp khi m.b.a không tải và điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp là định mức.
4. Dòng điện sơ cấp định mức I_{1dm} [A hay kA] và thứ cấp định mức I_{2dm} là những dòng điện của dây quấn sơ cấp và thứ cấp ứng với công suất và điện áp định mức.

Đối với mba ba pha điện áp và dòng điện ghi trên nhãn MBA là điện áp và dòng điện dây.

Đối với mba một pha:

$$I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{U_{1dm}} ; I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{U_{2dm}} \quad (6.1)$$

Đối với mba ba pha:

$$I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{1dm}} ; I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{2dm}} \quad (6.2)$$

5. Tần số định mức f_{dm} [Hz]. Các mba điện lực có tần số công nghiệp 50Hz.

Ngoài ra trên nhãn mba còn ghi các số liệu khác như : số pha m, sơ đồ và tổ nối dây...

6.1.4. Các loại máy biến áp chính

1. MBA lực dùng để truyền tải và phân phối công suất trong hệ thống điện lực.
2. MBA chuyên dùng cho các lò luyện kim, cho các thiết bị chỉnh lưu, mba hàn ..

3. MBA tự ngẫu dùng để liên lạc trong hệ thống điện, mổ máy động cơ không đồng bộ công suất lớn.

4. MBA đo lường dùng để giảm điện áp và dòng điện lớn đưa vào các dụng cụ đo tiêu chuẩn hoặc để điều khiển.

5. MBA thí nghiệm dùng để thí nghiệm điện áp cao.

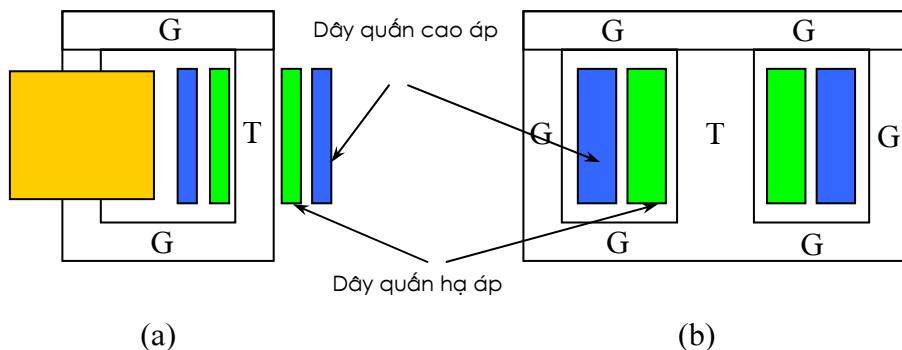
MBA có rất nhiều loại song thực chất hiện tượng xảy ra trong chúng đều giống nhau. Để thuận tiện cho việc nghiên cứu, sau đây ta xét mba điện lực một pha hai dây quấn.

6.2. CẤU TẠO MÁY BIẾN ÁP

Cấu tạo mba gồm ba bộ phận : lõi thép, dây quấn và vỏ máy.

6.2.1. Lõi thép mba.

Lõi thép (hình 6.2) mba dùng để dẫn từ thông, được chế tạo bằng các vật liệu dẫn từ tốt, thường là thép kỹ thuật điện có bề dày từ $0,35 \div 1$ mm, mặt ngoài các lá thép có sơn cách điện rồi ghép lại với nhau thành lõi thép. Lõi thép gồm hai phần: **Trụ và Gông**. Trụ T là phần để đặt dây quấn còn gông G là phần nối liền giữa các trụ để tạo thành mạch từ kín.



Hình 6.2 Mạc từ mba một pha. a) kiểu trụ. b) kiểu bọc

6.2.2. Dây quấn MBA

Dây quấn MBA (hình 6.2) thường làm bằng dây dẫn đồng hoặc nhôm, tiết diện tròn hay chữ nhật, bên ngoài dây dẫn có bọc cách điện. Dây quấn gồm nhiều vòng dây và lồng vào trụ thép. Giữa các vòng dây, giữa các dây quấn và giữa dây quấn với lõi thép đều có cách điện. Máy biến áp thường có hai hoặc nhiều dây quấn. Khi các dây quấn đặt trên cùng một trụ thì dây quấn điện áp thấp đặt sát trụ thép còn dây quấn điện áp cao đặt bên ngoài. Làm như vậy sẽ giảm được vật liệu cách điện.

6.2.3. Vỏ mba.

Vỏ mba làm bằng thép gồm hai bộ phận : thùng và nắp thùng.

1. **Thùng mba** : Trong thùng mba đặt lõi thép, dây quấn và dầu biến áp. Dầu biến áp làm nhiệm vụ tăng cường cách điện và tản nhiệt. Lúc mba làm việc, một phần năng lượng tiêu hao thoát ra dưới dạng nhiệt làm dây quấn, lõi thép và các bộ phận khác nóng lên. Nhờ sự đối lưu trong dầu và truyền nhiệt từ các bộ phận bên trong mba sang dầu và từ dầu qua vách thùng ra môi trường xung quanh (hình 6.3).



Hình 6.3 MBA dầu ba pha, hai dây quấn, 250kVA

2. **Nắp thùng** : Dùng để đậy trên thùng và có các bộ phận quan trọng như :

- Sứ ra của dây quấn cao áp và dây quấn hạ áp.
- Bình dẫn dầu (bình dầu phụ)
- Ống bảo hiểm

6.3. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY BIẾN ÁP LÝ TƯỞNG

Máy biến áp lý tưởng có các tính chất như sau :

1. Cuộn dây không có điện trở.
2. Từ thông chạy trong lõi thép móc vòng với hai dây quấn, không có từ thông tản và không có tổn hao trong lõi thép.
3. Độ từ thẩm của thép rất lớn ($\mu = \infty$), như vậy dòng từ hoà cần phải có để sinh ra từ thông trong lõi thép là rất nhỏ không đáng kể, nghĩa là stđ cần để sinh ra từ thông trong lõi thép bằng không.

Hình 6.4 vẽ sơ đồ nguyên lý của mba một pha gồm lõi thép và hai dây quấn. Dây quấn sơ cấp có số vòng dây N_1 được nối với nguồn điện áp xoay chiều và các đại lượng phía dây quấn sơ cấp thường ký hiệu có chỉ số 1 kèm theo như u_1, i_1, e_1, \dots . Dây quấn thứ cấp có N_2 vòng dây, cung cấp điện cho phụ tải Z_t và các đại lượng phía dây quấn thứ cấp có chỉ số 2 kèm theo như u_2, i_2, e_2, \dots

Khi đặt điện áp u_1 lên dây quấn sơ cấp, trong dây quấn sơ cấp sẽ có dòng điện i_1 chảy qua, trong lõi thép sẽ sinh ra từ thông Φ móc vòng với cả hai dây quấn. Từ thông này cảm ứng trong dây quấn sơ và thứ cấp các sđđ e_1 và e_2 . Dây quấn thứ cấp có tải sẽ sinh ra dòng điện i_2 đưa ra tải với điện áp u_2 . Như vậy năng lượng của dòng điện xoay chiều đã được truyền từ dây quấn sơ cấp sang dây quấn thứ cấp.

Giả thử điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp là hình sin và từ thông Φ do nó sinh ra cũng là hàm số hình sin và có dạng :

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t \quad (6.3)$$

Theo định luật cảm ứng điện từ, các sđđ cảm ứng e_1, e_2 sinh ra trong dây quấn sơ cấp và thứ cấp mba là:

$$e_1 = -W_1 \frac{d\Phi}{dt} = \omega N_1 \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ) = \sqrt{2} E_1 \sin(\omega t - 90^\circ) \quad (6.4)$$

$$e_2 = -W_2 \frac{d\Phi}{dt} = \omega N_2 \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ) = \sqrt{2} E_2 \sin(\omega t - 90^\circ) \quad (6.5)$$

trong đó, E_1, E_2 là trị số hiệu dụng của sđđ sơ cấp và thứ cấp, cho bởi:

$$E_1 = \frac{\omega N_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \pi \sqrt{2} f N_1 \Phi_m = 4,44 f N_1 \Phi_m \quad (6.6)$$

$$E_2 = \frac{\omega N_2 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \pi \sqrt{2} f N_2 \Phi_m = 4,44 f N_2 \Phi_m \quad (6.7)$$

Tỉ số biến áp của mba:

$$a = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (6.8)$$

Nếu bỏ qua sụt áp gây ra do điện trở và từ thông tản của dây quấn (MBA lý tưởng) thì $E_1 \approx U_1$ và $E_2 \approx U_2$:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (6.9)$$

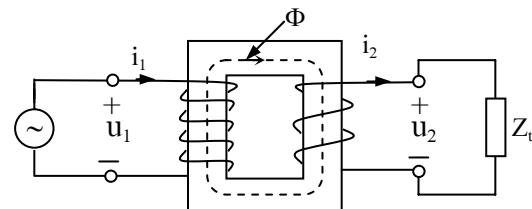
Nếu bỏ qua tổn hao trong mba thì:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

Như vậy, ta có: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_1}{I_2} = a$ (6.10)

Nếu $N_2 > N_1$ thì $U_2 > U_1$ và $I_2 < I_1$: mba tăng áp.

Nếu $N_2 < N_1$ thì $U_2 < U_1$ và $I_2 > I_1$: mba giảm áp.



Hình 6.4 Sơ đồ nguyên lý của mba một pha hai dây quấn

6.4. CÁC PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG CỦA MÁY BIẾN ÁP

6.4.1. Phương trình cân bằng điện áp

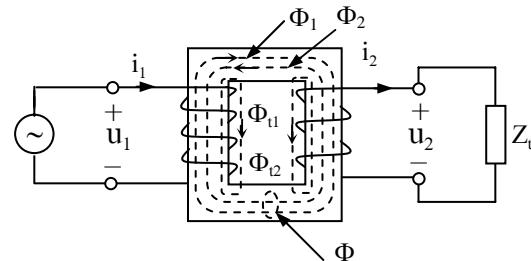
Trên hình 6.5 trình bày mba một pha hai dây quấn, trong đó dây quấn sơ cấp nối với nguồn, có số vòng N_1 , dây quấn thứ cấp nối với tải có tổng trổ Z_t , có số vòng N_2 . Khi nối điện áp u_1 vào dây quấn sơ cấp, trong dây quấn sơ cấp có dòng điện i_1 chạy qua, chiều dòng điện i_1 được chọn tuỳ ý, còn chiều từ thông Φ_1 do i_1 gây ra phải chọn phù hợp với i_1 theo qui tắc vặn nút chai. Chiều sđđ e_1 và e_2 phù hợp với chiều Φ_1 cũng theo qui tắc vặn nút chai. Theo định luật Lenz, dòng điện i_2 (dòng cảm ứng) phải có chiều sao cho từ thông Φ_2 do nó sinh ra ngược chiều Φ_1 . Do vậy chiều i_2 phù hợp với Φ_2 (ngược chiều Φ_1). Tổng đại số từ thông chạy trong lõi thép $\Phi = \Phi_1 - \Phi_2$ được gọi là từ thông chính.

Ngoài từ thông chính Φ chạy trong lõi thép, trong mba còn có 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. Tương ứng với các từ thông tản Φ_{t1} và Φ_{t2} , ta có điện cảm tản L_{t1} và L_{t2} của dây quấn sơ cấp và thứ cấp.:

$$L_{t1} = \frac{N_1 \Phi_{t1}}{i_1} = \frac{\Psi_{t1}}{i_1}$$

$$L_{t2} = \frac{N_2 \Phi_{t2}}{i_2} = \frac{\Psi_{t2}}{i_2}$$

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.



Hình 6.5 Tứ thômb mba một pha hai dây quấn

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 , điện trổ dây quấn sơ cấp R_1 , điện cảm tản của dây quấn sơ cấp L_{t1} . Áp dụng định luật Kirchhoff 2, ta có phương trình điện áp sơ cấp viết dưới dạng trị số tức thời là:

$$u_1 = e_1 + L_{t1} \frac{di_1}{dt} + R_1 i_1$$

Biểu diễn dưới dạng số phức:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + j\omega L_{t1} \dot{I}_1 + R_1 \dot{I}_1 \quad (6.11)$$

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + jX_1 \dot{I}_1 + R_1 \dot{I}_1$$

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + (R_1 + jX_1) \dot{I}_1 = \dot{E}_1 + Z_1 \dot{I}_1 \quad (6.12)$$

trong đó: $Z_1 = R_1 + jX_1$ là tổng trở phức của dây quấn sơ cấp.

R_1 : là điện trở của dây quấn sơ cấp,

$X_1 = \omega L_{t1}$ là điện kháng tản 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:

Mạch điện thứ cấp gồm sức điện động e_2 , điện trở dây quấn thứ cấp R_2 , điện cảm tản dây quấn thứ cấp L_{t2} , 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:

$$u_2 = e_2 - L_{t2} \frac{di_2}{dt} - R_2 i_2$$

Biểu diễn dưới dạng số phức:

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - j\omega L_{t2} \dot{I}_2 - R_2 \dot{I}_2 \quad (6.13)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - jX_2 \dot{I}_2 - R_2 \dot{I}_2 \quad (6.14)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - (R_2 + jX_2) \dot{I}_2 = \dot{E}_2 - Z_2 \dot{I}_2 \quad (6.15)$$

trong đó: $Z_2 = R_2 + jX_2$ là tổng trở phức của dây quấn thứ cấp.

R_2 : là điện trở của dây quấn thứ cấp,

$X_2 = \omega L_{t2}$ là điện kháng tản của dây quấn thứ cấp,

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

$$\text{Mặt khác ta có: } \dot{U}_2 = Z_t \dot{I}_2 \quad (6.16)$$

6.4.2. Phương trình cân bằng dòng điện

Định luật Ohm từ (5.6), áp dụng vào mạch từ (hình 6.5) cho ta:

$$N_1 i_1 - N_2 i_2 = R_\mu \Phi \quad (6.17)$$

Trong biểu thức (6.12), thường $Z_1 \dot{I}_1 \ll \dot{E}_1$ nên $E_1 \approx U_1$. Vậy theo (6.6) từ thông cực đại trong lõi thép:

$$\Phi_m = \frac{U_1}{4,44fN_1} \quad (6.18)$$

Ở đây $U_1 = U_{1dm}$, tức là U_1 không đổi, theo (6.18) từ thông Φ_m cũng không đổi. Do đó vé phải của (6.17) 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:

$$N_1 i_1 - N_2 i_2 = N_1 i_0 \quad (6.19)$$

$$\text{Hay: } N_1 \dot{I}_1 - N_2 \dot{I}_2 = N_1 \dot{I}_0 \quad (6.20)$$

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

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2 \frac{N_2}{N_1} = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \quad (6.21)$$

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

Từ (6.21) 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.

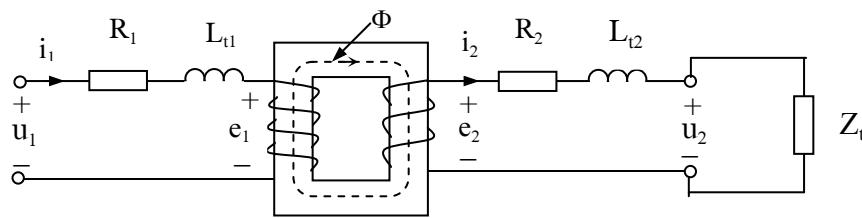
Tóm lại mô hình toán của mba như sau:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + Z_1 \dot{I}_1 \quad (6.22a)$$

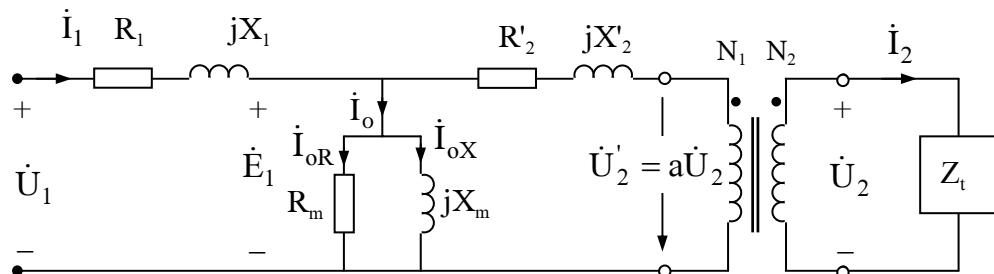
$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - Z_2 \dot{I}_2 \quad (6.22b)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \quad (6.22c)$$

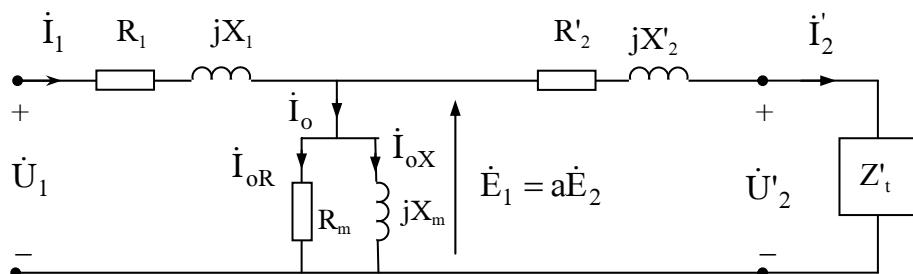
6.5. MẠCH ĐIỆN THAY THẾ CỦA MÁY BIẾN ÁP



(a)



(b)



(c)

Hình 6-6. Mạch điện tương đương của mba một pha hai dây quấn

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.

Trên hình 6.6a trình bày MBA mà tổn hao trong dây quần và từ thông tản được đặc trưng bằng điện trở R và điện cảm L mắc nối tiếp với dây quần sơ và thứ cấp. Như vậy để có thể nối trực tiếp mạch sơ cấp và thứ cấp với nhau thành một mạch điện, các dây quần sơ cấp và thứ cấp phải có cùng một cấp điện áp. Trên thực tế, điện áp của các dây quần đó lại khác nhau (hình 6.6a, $E_1 \neq E_2$). Vì vậy phải qui đổi một trong hai dây quần về dây quần kia để cho chúng có cùng một cấp điện áp. Muốn vậy hai dây quần phải có số vòng dây như nhau. Thường người ta qui đổi dây quần thứ cấp về dây quần sơ cấp, nghĩa là coi dây quần thứ cấp có số vòng dây bằng số vòng dây của dây quần 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 biến áp trước và sau khi qui đổi là không đổi.

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

Nhân phương trình (6.22b) với a , ta có:

$$a\dot{U}_2 = a\dot{E}_2 - (a^2 Z_2) \frac{\dot{I}_2}{a} = (a^2 Z_t) \frac{\dot{I}_2}{a} \quad (6.23)$$

$$\text{Đặt : } \dot{E}'_2 = a\dot{E}_2 = \dot{E}_1 \quad (6.24)$$

$$\dot{U}'_2 = a\dot{U}_2 \quad (6.25)$$

$$\dot{I}'_2 = \dot{I}_2 / a \quad (6.26)$$

$$Z'_2 = a^2 Z_2 ; R'_2 = a^2 R_2 ; X'_2 = a^2 X_2 \quad (6.27)$$

$$Z'_t = a^2 Z_t ; R'_t = a^2 R_t ; X'_t = a^2 X_t \quad (6.28)$$

Phương trình (6.23) viết lại thành:

$$\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - Z'_2 \dot{I}'_2 = Z'_t \dot{I}'_2 \quad (6.29)$$

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 quần và tổng trở tải thứ cấp qui đổi về sơ cấp.

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

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + Z_1 \dot{I}_1 \quad (6.30a)$$

$$\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - Z'_2 \dot{I}'_2 = Z'_t \dot{I}'_2 \quad (6.30b)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2 \quad (6.30c)$$

6.5.2. Mạch điện thay thế chính xác của MBA

Dựa vào hệ phương trình qui đổi (6.30a,b,c) ta suy ra một mạch điện tương ứng gọi là mạch điện thay thế của MBA (hình 6.6b,c).

Xét phương trình (6.30a), vé 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 trên tổng dẫn Y_m , đặc trưng cho từ thông chính và tổn hao sắt từ. Từ thông chính và tổn hao sắt từ do dòng điện không tải sinh ra, do đó ta có thể viết :

$$\dot{I}_o = \dot{I}_{oR} + \dot{I}_{oX} \quad (6.31a)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\dot{E}_1}{R_m} + \frac{\dot{E}_1}{jX_m} \\ &= \dot{E}_1 G_m - jB_m \dot{E}_1 \\ &= \dot{E}_1 Y_m \end{aligned} \quad (6.31b)$$

trong đó: $Y_m = G_m - jB_m$ là tổng dẫn từ hóa.

- $G_m = \frac{1}{R_m}$ là điện dẫn từ hóa, còn R_m điện trở từ hóa đặc trưng cho tổn

hao sắt từ trong lõi thép. Nếu gọi p_{Fe} là công suất tổn hao sắt, như vậy :

$$p_{Fe} = I_{0R}^2 / G_m = R_m I_{0R}^2 \quad (6.32)$$

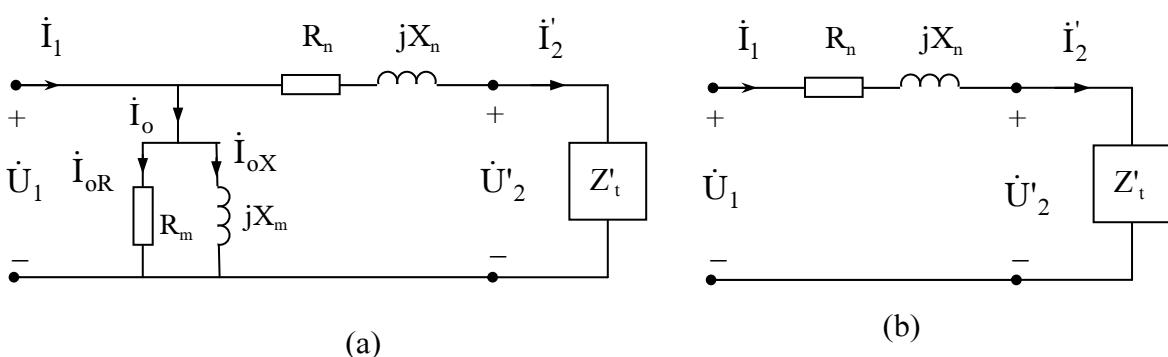
- X_m là điện kháng từ hóa đặc trưng cho từ thông chính Φ .

$$-jB_m = \frac{1}{jX_m} \quad (6.33)$$

với B_m là điện kháng dẫn.

6.5.3. Mạch điện thay thế gần đúng của mba

Để tiện việc tính toán, ta chuyển nhánh từ hóa Y_m về trước tổng trở Z_1 , như vậy ta có sơ đồ thay thế gần đúng hình 6.7a. Thông thường tổng dẫn nhánh từ hóa rất nhỏ ($Y_m \ll Z_1$ và Z'_2), do đó có thể bỏ qua nhánh từ hóa ($Y_m = 0$) và thành lập lại sơ đồ thay thế gần đúng (Hình 6.7b). Nếu bỏ qua cả tổn hao đồng trong hai dây quấn sơ cấp và thứ cấp mba thì ta thành lập được sơ đồ thay thế như hình 6.7b với $R_n = 0$.



Hình 6-7. Mạch điện tương đương gần đúng của mba một pha hai dây quấn

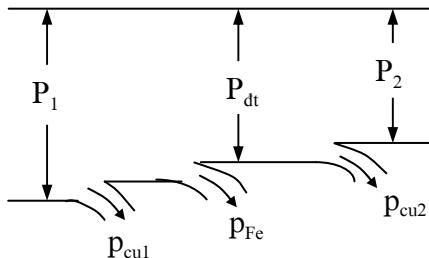
Khi bỏ qua nhánh từ hóa, ta có:

$$Z_n = Z_1 + Z'_2 = R_n + jX_n \quad (6.34)$$

Trong đó: $Z_n = R_n + jX_n$ là tổng trổ ngắn mạch của mba; $R_n = R_1 + R'_2$ là điện trổ ngắn mạch của mba; $X_n = X_1 + X'_2$ là điện kháng ngắn mạch của mba.

6.6. GIẢN ĐỒ NĂNG LƯỢNG MBA

Xét mba làm việc ở tải đối xứng, sự cân bằng năng lượng dựa trên sơ đồ thay thế.



Hình 6.8 Giản đồ năng lượng của mba

Công suất tác dụng đưa vào dây quấn sơ cấp mba:

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$$

Công suất này bù vào :

- Tổn hao đồng trên điện trổ của dây quấn sơ cấp: $p_{cu1} = R_1 I_1^2$
- Tổn hao sắt trong lõi thép MBA : $p_{Fe} = R_m I_{oR}^2$

Công suất còn lại gọi là công suất điện tử chuyển sang dây quấn thứ cấp:

$$P_{dt} = P_1 - (p_{cu1} + p_{Fe}) = E_2 I_2 \cos \Psi_2 \quad (6.35)$$

Công suất này bù vào :

- Tổn hao đồng trên điện trổ của dây quấn thứ cấp: $p_{cu2} = R_2 I_2^2 = R'_2 I_2'^2$

Còn lại là công suất ở đầu ra MBA :

$$P_2 = P_{dt} - p_{cu2} = U_2 I_2 \cos \varphi_2 \quad (6.36)$$

Hiệu suất MBA là tỉ số của công suất ra với công suất vào :

$$\eta = \frac{\text{CS ra}}{\text{CS vào}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum p}{P_1} = 1 - \frac{\sum p}{P_1 + \sum p} \quad (6.37)$$

trong đó: $\sum p = p_{cu1} + p_{cu2} + p_{Fe}$: tổng các tổn hao trong MBA.

6.7. CHẾ ĐỘ KHÔNG TẢI CỦA MÁY BIẾN ÁP

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 .

6.7.1. Mạch điện thay thế và phương trình cân bằng

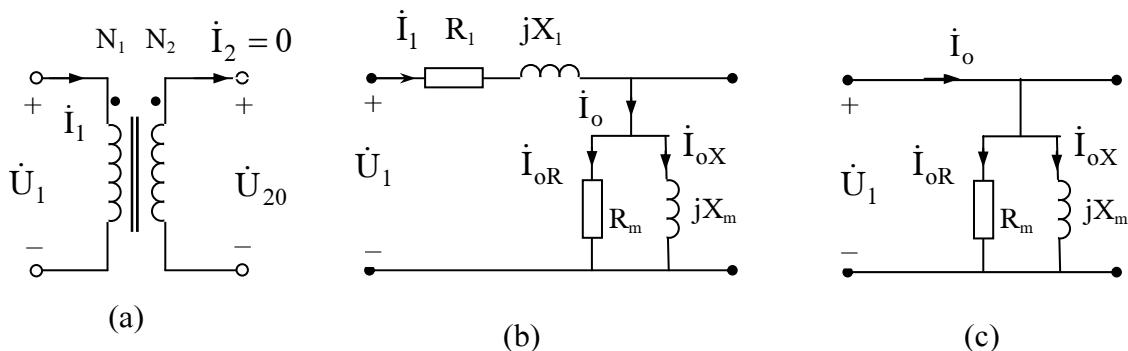
Hình 6-9a là mạch điện thực, hình 6-9b là mạch điện tương đương chính xác, còn hình 6-20c là mạch điện tương đương gần đúng. Khi không tải (hình 6-9b) dòng điện thứ cấp $I'_2 = 0$, nên dòng điện $\dot{I}_1 = \dot{I}_o$ và ta có phương trình là :

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_o(R_1 + jX_1) + \dot{I}_o(R_m // jX_m) \quad (6.38a)$$

hoặc $\dot{U}_1 = \dot{I}_o(Z_1 + Z_m) = \dot{I}_o Z_0 \quad (6.38b)$

trong đó: $Z_m = R_m // jX_m$ là tổng trỏ nhánh từ hóa mba.

trong đó: $Z_0 = R_1 + jX_1 + (R_m // jX_m) = R_o + jX_o$ là tổng trỏ không của tải mba, còn R_o là điện trỏ không tải và X_o là điện kháng không tải.



Hình 6-9. Chế độ không tải của mba.
a. Mạch điện thực tế;
b. Mạch điện tương đương chính xác; c. Mạch điện tương đương gần đúng

6.7.2. Đặc điểm của chế độ không tải

1. Dòng điện không tải

Từ (6.38) ta tính được dòng điện không tải như sau:

$$\dot{I}_o = \frac{\dot{U}_1}{Z_0} = \frac{\dot{U}_1}{R_1 + jX_1 + (R_m // jX_m)} \quad (6.39)$$

Tổng trỏ Z_0 thường rất lớn vì thế dòng điện không tải nhỏ $I_0 = (1\% \div 10\%)I_{dm}$.

2. Tốn hao không tải

Công suất do máy tiêu thụ lúc không tải P_0 gồm công suất tổn hao trong lõi thép p_{Fe} và tổn hao đồng trên điện trỏ dây quấn sơ cấp p_{Cu1} . Vì dòng điện không tải nhỏ cho nên có thể bỏ qua công suất tổn hao trên điện trỏ dây quấn sơ.

Theo mạch điện hình 6.9b, ta có tổn hao không tải :

$$P_0 = R_1 I_0^2 + R_m I_{oR}^2 \approx R_m I_{oR}^2 = p_{Fe} \quad (6.40)$$

Như vậy có thể nói tổn hao không tải là tổn hao sắt trong lõi thép MBA.

3. Hệ số công suất không tải

Công suất phản kháng không tải Q_0 rất lớn so với công suất tác dụng không tải P_0 . Hệ số công suất không tải rất thấp :

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{P_0^2 + Q_0^2}} = \frac{I_{oR}}{I_o} = 0,1 \div 0,3 \quad (6.41)$$

hoặc tính theo P_0 , U_1 và I_0 hoặc công suất toàn phần không tải $S_o = U_1 I_0$:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_1 I_0} = \frac{P_0}{S_o} \quad (6.42)$$

6.7.3. Thí nghiệm không tải mba

Để xác định hệ số biến áp a , 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 thí nghiệm không tải (hình 6.10). 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 : Watt kế chỉ P_0 là công suất không tải; Ampe kế chỉ I_0 là dòng điện không tải; còn Vôn kế chỉ U_{1dm} và U_{20} là điện áp sơ cấp và thứ cấp. Từ đó ta tính được:

1. Hệ số biến áp a :

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_{20}} \quad (6.43)$$

2. Dòng điện không tải phần trăm

$$i_0 \% = \frac{I_0}{I_{1dm}} 100 = 1 \% \div 10 \% \quad (6.44)$$

3. Tổn hao trong lõi thép

$$P_{Fe} = P_0 - R_1 I_0^2 \approx P_0 \quad (6.45)$$

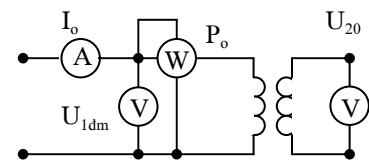
4. Tổng dẫn nhánh từ hóa

$$+ Điện trở không tải : \quad R_o = \frac{P_0}{I_o^2} \quad (6.46)$$

$$+ Tổng trở không tải : \quad Z_0 = \frac{U_{1dm}}{I_0} \quad (6.47)$$

+ Điện kháng không tải. Do $R_m \gg X_m$ nên xem $R_m = \infty$, vậy :

$$X_0 = X_1 + X_m = \sqrt{Z_0^2 - R_o^2} \quad (6.48)$$



Hình 6.10 Sơ đồ nối dây thí nghiệm không tải máy biến áp

Điện kháng từ hóa $X_m \gg X_1$ nên lấy gần đúng bằng:

$$X_m = X_0 \quad \text{hay} \quad B_m = \frac{1}{X_m} \quad (6.49)$$

$$\text{Thường dòng điện } I_{oR} \ll I_{ox}, \text{ nên } X_m \approx \frac{U_{1dm}}{I_o}$$

+ Điện trở đặc trung tổn hao thép : bỏ qua tổn hao đồng trong dây quấn sơ cấp khi không tải ($R_1 = 0$, hình 6.9c), ta có điện trở đặc trung tổn hao thép là :

$$R_m = \frac{U_{1dm}^2}{P_o} \quad \text{hay} \quad G_m = \frac{P_o}{U_{1dm}^2} \quad (6.50)$$

$$Y_m = \frac{I_o}{U_{1dm}} = \sqrt{G_m^2 + B_m^2} \quad (6.51)$$

5. Hệ số công suất không tải.

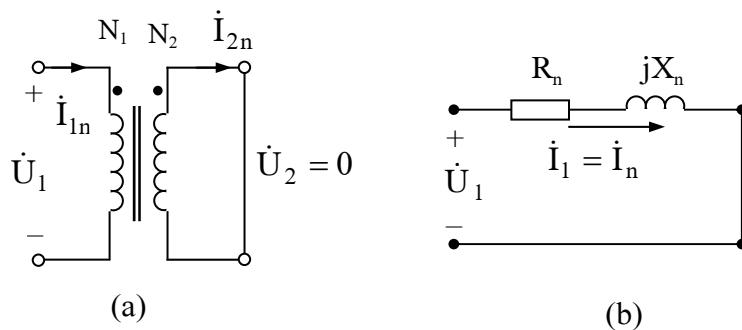
$$\cos \varphi_0 = \frac{P_o}{U_{1dm} I_o} \quad (6.52)$$

6.8. CHẾ ĐỘ NGẮN MẠCH CỦA MÁY BIẾN ÁP

Chế độ ngắn mạch mba là chế độ mà phía thứ cấp bị nối tắt, sơ cấp đặt vào một điện áp. 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 sự cố.

6.8.1. Phương trình và mạch điện thay thế mba khi ngắn mạch

Khi MBA ngắn mạch $U_2 = 0$, mạch điện thay thế MBA vẽ trên hình 6.11. Dòng điện sơ cấp là dòng điện ngắn mạch I_n .



Hình 6-11 Chế độ ngắn mạch m.b.a
a. Mạch điện thực; b. Mạch điện thay thế

Phương trình điện áp của MBA ngắn mạch:

$$U_1 = I_n (R_n + jX_n) = I_n Z_n \quad (6.53)$$

6.8.2. Đặc điểm của chế độ ngắn mạch

1. Dòng điện ngắn mạch :

Từ phương trình (6.53), ta có dòng điện ngắn mạch khi điện áp định mức:

$$I_n = \frac{U_{1\text{dm}}}{Z_n} \quad (6.54)$$

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

2. Tốn hao ngắn mạch

Công suất ngắn mạch P_n do máy tiêu thụ lúc ngắn là tổn hao đồng trong hai dây quấn :

$$P_n = P_{\text{Cu1}} + P_{\text{Cu2}} = R_1 I_{1n}^2 + R_2 I_{2n}^2 = R_n I_n^2 \quad (6.55)$$

3. Hệ số công suất ngắn mạch

$$\cos \varphi_n = \frac{P_n}{U_1 I_n} = \frac{R_n}{Z_n} \quad (6.56)$$

6.8.3. Thí nghiệm ngắn mạch

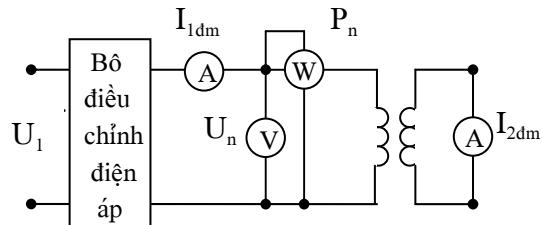
Thí nghiệm ngắn mạch là để xác định điện áp ngắn mạch phần trăm $u_n\%$, tổn hao đồng định mức $P_{\text{Cu dm}}$, hệ số công suất $\cos \varphi_n$, điện trở ngắn mạch R_n và điện kháng ngắn mạch X_n của mạch điện thay thế mba. Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch vẽ trên hình 6.12.

Tiến hành thí nghiệm 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 bằng $U_1 = U_n$ sao cho dòng điện trong các dây quấn bằng định mức. Điện áp U_n gọi là điện áp ngắn mạch. Lúc đó các dụng cụ đo cho ta các số liệu sau: U_n là điện áp ngắn mạch; P_n là tổn hao ngắn mạch; $I_{1\text{dm}}$ và $I_{2\text{dm}}$ là dòng điện sơ cấp và thứ cấp định mức.

1. Tốn hao ngắn mạch

Lúc thí nghiệm ngắn mạch, điện áp ngắn mạch U_n nhỏ nên từ thông Φ nhỏ, có thể bỏ qua tổn hao sắt từ. Công suất đo được trong thí nghiệm ngắn mạch P_n chính là tổn hao trên điện trở hai dây quấn khi mba làm việc ở chế độ định mức. Ta có:

$$P_n = R_1 I_{1\text{dm}}^2 + R_2 I_{2\text{dm}}^2 = R_n I_n^2 \quad (6.57)$$



Hình 6-12 Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch

2. Tổng trở, điện trở và điện kháng ngắn mạch.

+ Tổng trở ngắn mạch:

$$Z_n = \frac{U_n}{I_{1dm}} \quad (6.58)$$

+ Điện trở ngắn mạch:

$$R_n = \frac{P_n}{I_{1dm}^2} \quad (6.59)$$

+ Điện kháng ngắn mạch:

$$X_n = \sqrt{Z_n^2 - R_n^2} \quad (6.60)$$

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:

$$\left. \begin{array}{l} R_1 = R'_2 = \frac{R_n}{2} \\ X_1 = X'_2 = \frac{X_n}{2} \end{array} \right\} \quad (6.61)$$

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

$$R_2 = \frac{R'_1}{a^2}; \quad X_2 = \frac{X'_1}{a^2} \quad (6.62)$$

3. Hệ số công suất ngắn mạch

$$\cos \varphi_n = \frac{P_n}{U_n I_{1dm}} \quad (6.63)$$

4. Điện áp ngắn mạch

Điện áp ngắn mạch $U_n = Z_n I_{1dm}$ 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 phần trăm:

$$u_n \% = \frac{Z_n I_{1dm}}{U_{1dm}} 100 \% = \frac{U_n}{U_{1dm}} 100 \% \quad (6.64)$$

+ Điện áp ngắn mạch tác dụng phần trăm:

$$u_{nR} \% = \frac{R_n I_{1dm}}{U_{1dm}} \times 100 \% \quad (6.65)$$

+ Điện áp ngắn mạch phản kháng phần trăm:

$$u_{nX} \% = \frac{X_n I_{1dm}}{U_{1dm}} \times 100 \% \quad (6.66)$$

6.9. CHẾ ĐỘ CÓ TẢI CỦA MÁY BIẾN ÁP

Chế độ có tải mba là chế độ mà dây quấn sơ nối với nguồn điện áp định mức, dây quấn thứ cấp nối với tải. Để đánh giá mức độ tải của máy, ta so sánh nó với tải định mức và định nghĩa hệ số tải k_t :

$$k_t = \frac{I_2}{I_{2\text{dm}}} \approx \frac{I_1}{I_{1\text{dm}}} \approx \frac{P_2}{P_{2\text{dm}}} \approx \frac{S_2}{S_{2\text{dm}}} \quad (6.67)$$

Khi $k_t = 1$: máy có tải định mức; $k_t < 1$: máy non tải; $k_t > 1$: máy quá tải.

Chế độ có tải, phương trình cân bằng điện áp và dòng điện xét ở mục 6.4, còn mạch điện thay thế xét ở mục 6.5.

6.9.1. Độ biến thiên điện áp thứ cấp mba và đặc tính ngoài.

1. Độ biến thiên điện áp thứ cấp

Khi máy biến áp mang tải, theo (6.15) sự thay đổi dẫn đến điện áp thứ cấp U_2 thay đổi. Độ biến thiên điện áp thứ cấp mba ΔU_2 là hiệu số số học giữa trị số điện áp thứ cấp lúc không tải $U_{2\text{dm}}$ (điều kiện $U_1 = U_{1\text{dm}}$) và lúc có tải U_2 .

$$\Delta U = U_{2\text{dm}} - U_2 \quad (6.68)$$

Độ biến điện áp thứ cấp phần trăm tính như sau:

$$\Delta U_2 \% = \frac{U_{2\text{dm}} - U_2}{U_{2\text{dm}}} \times 100\%$$

Nhân tử và mẫu với hệ số biến áp a, ta có:

$$\Delta U_2 \% = \frac{aU_{2\text{dm}} - aU_2}{aU_{2\text{dm}}} \times 100\%$$

$$\Delta U_2 \% = \frac{U_{1\text{dm}} - U'_2}{U_{1\text{dm}}} \times 100\% \quad (6.69)$$

Xác định $\Delta U_2 \%$ bằng phương pháp giải tích.

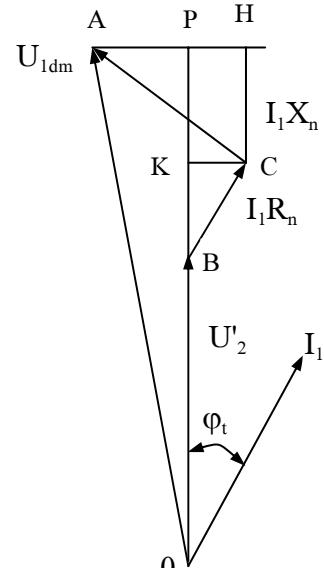
Gọi: $k_t = \frac{I_2}{I_{2\text{dm}}} = \frac{I'_2}{I_{2\text{dm}}}$: hệ số tải của mba.

$\cos\varphi_t$ hay $\cos\varphi_2$ hệ số công suất của phụ tải.

Đồ thị vectơ của mba ứng với mạch điện thay thế gần đơn giản vẽ trên hình 6.13. Trên thực tế góc lệch pha giữa $U_{1\text{dm}}$ và U'_2 rất nhỏ, để tính ΔU_2 từ A và C họ đường thẳng vuông góc xuống OB, cắt OB kéo dài tại P và K, có thể coi gần đúng :

$$U_{1\text{dm}} = OA \approx OP$$

$$U_{1\text{dm}} - U'_2 \approx BP = BK + KP$$



Hình 6.13 Xác định ΔU của mba

$$\text{Tính: } BK = I_1 R_n \cos \varphi_t = I_{1dm} R_n \left(\frac{I_1}{I_{1dm}} \right) \cos \varphi_t = k_t U_{nr} \cos \varphi_t \quad (6.70a)$$

$$KP = I_1 X_n \sin \varphi_t = I_{1dm} X_n \left(\frac{I_1}{I_{1dm}} \right) \sin \varphi_t = k_t U_{nx} \sin \varphi_t \quad (6.70b)$$

Lấy (6.70a) và (6.70b) thay vào (6.69), ta có:

$$\Delta U_2 \% = \frac{k_t (U_{nr} \cos \varphi_t + U_{nx} \sin \varphi_t)}{U_{1dm}} \times 100\%$$

$$\Delta U_2 \% = k_t \left(\frac{U_{nr} \cos \varphi_t}{U_{1dm}} \times 100\% + \frac{U_{nx} \sin \varphi_t}{U_{1dm}} \times 100\% \right)$$

$$\Delta U_2 \% = k_t (u_{nR} \% \cos \varphi_t + u_{nX} \% \sin \varphi_t) \quad (6.71)$$

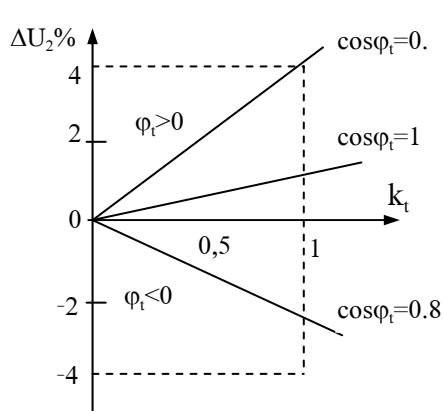
$$\text{trong đó: } u_{nR} \% = \frac{U_{nR}}{U_{1dm}} 100\% = u_n \% \cos \varphi_n; \quad (6.72a)$$

$$u_{nX} \% = \frac{U_{nx}}{U_{1dm}} 100\% = u_n \% \sin \varphi_n \quad (6.73b)$$

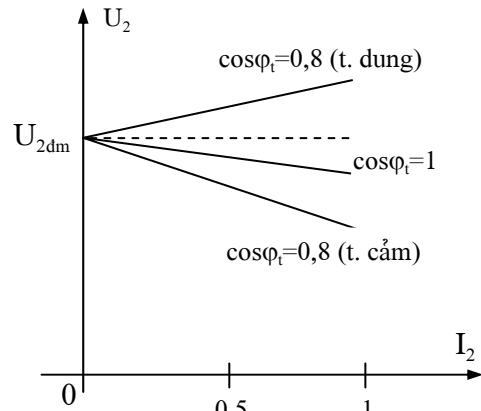
Từ công thức (6.71) cho thấy độ biến thiên điện áp thứ cấp ΔU_2 phụ thuộc vào hệ số tải k_t và hệ số công suất $\cos \varphi_t$. Giả thiết hệ số công suất $\cos \varphi_t$ không đổi thì $\Delta U_2 \% = f(k_t)$. Trên hình (6.14) vẽ quan hệ $\Delta U_2 \% = f(k_t)$ với các $\cos \varphi_t$ khác nhau.

2. Đặc tính ngoài của mba

Đường đặc tính ngoài của máy biến áp biểu diễn quan hệ $U_2 = f(I_2)$, khi $U_1 = U_{1dm}$ và $\cos \varphi_t = \text{const}$ (hình 6.15).



Hình 6.14 Quan hệ $\Delta U_2 \% = f(k_t) \mid \cos \varphi_t = \text{const}$



Hình 6.15 Đặc tính ngoài $U_2 = f(I_2)$

Điện áp thứ cấp U_2 là:

$$U_2 = U_{2dm} - \Delta U_2 = U_{2dm} \left(1 - \frac{\Delta U_2 \%}{100} \right) \quad (6.74)$$

Dựa vào công thức (6.74) ta vẽ đường đặc tính ngoài với các tính chất tải khác nhau. Từ đồ thị ta thấy, khi tải dung I_2 tăng thì U_2 tăng còn khi tải cảm hoặc trở I_2 tăng thì U_2 giảm. Tải cảm U_2 giảm nhiều hơn.

Khi cung cấp điện cần phải đảm bảo chất lượng điện áp, do đó cần phải điều chỉnh điện áp thứ cấp U_2 . Để điều chỉnh U_2 ta thay đổi số vòng dây trong cuộn dây khoảng $\pm 2 \times 2,5\%$. Thường thay đổi số vòng dây của cuộn dây cao áp vì ở đó dòng điện nhỏ nên việc thay đổi số vòng dây được dễ dàng hơn. Những mba có công suất nhỏ, việc thay đổi số vòng dây bằng tay thì phải cắt mba ra khỏi lưới điện, còn những mba có công suất lớn, thường việc thay đổi số vòng dây tự động không cắt mba ra khỏi lưới điện (dùng bộ điều áp dưới tải)

6.9.2. Hiệu suất máy biến áp

Hiệu suất η của mba :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum p}{P_1} = 1 - \frac{\sum p}{P_2 + \sum p} \quad (6.75)$$

với $\sum p = p_{cu1} + p_{cu2} + p_{Fe}$

Ta đã có phân trước: $p_{Fe} = P_0$

$$p_{Cu1} + p_{Cu2} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 = R_n I_2^2 = R_n I_{2dm}^2 \left(\frac{I_2}{I_{2dm}} \right)^2 = P_n k_t^2 \quad (6.76)$$

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_t \approx U_{2dm} I_{2dm} \frac{I_2}{I_{2dm}} \cos \varphi_t = k_t S_{dm} \cos \varphi_t \quad (6.77)$$

Thế (6.76) và (6.77) vào (6.75), ta có:

$$\eta = 1 - \frac{P_0 + k_t^2 P_n}{k_t S_{dm} \cos \varphi_t + P_0 + k_t^2 P_n} \quad (6.78a)$$

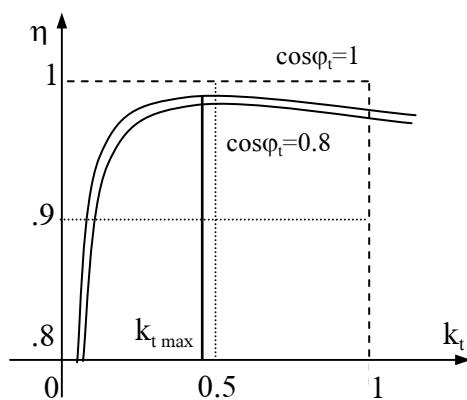
hay $\eta = \frac{k_t S_{dm} \cos \varphi_t}{k_t S_{dm} \cos \varphi_t + P_0 + k_t^2 P_n} \quad (6.78b)$

Ta thấy hiệu suất mba là một hàm của hệ số tải và hệ số công suất $\eta = f(k_t, \cos \varphi_t)$. Khi $\cos \varphi_t = \text{const}$, hiệu suất của mba đạt cực đại η_{max} bằng cách đạo hàm của nó theo hệ số tải k_t và cho bằng không, ta có:

$$\frac{d\eta}{dk_t} = 0$$

Sau khi tính đạo hàm, tìm được:

$$k_t^2 P_n = P_0$$



Hình 6.16 Quan hệ $\eta = f(k_t) \mid \cos \varphi_t = \text{const}$

Như vậy hiệu suất m.b.a cực đại khi tổn hao đồng bằng tổn hao sắt từ.

$$k_t = \sqrt{\frac{P_0}{P_n}} \quad (6.79)$$

Đối với m.b.a có công suất trung bình và lớn, thường được thiết kế tạo đạt hiệu suất cực đại khi:

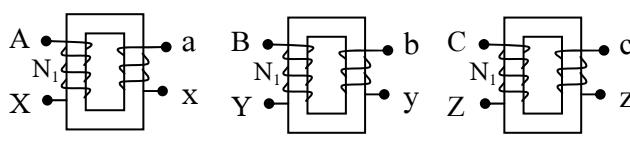
$$\frac{P_0}{P_n} = 0.2 \div 0.25$$

Vậy $k_t = 0.45 \div 0.5$ và đặc tính hiệu suất trình bày trên hình 6.16.

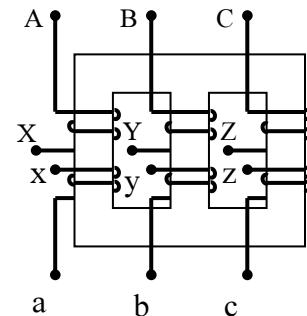
6.10. MÁY BIẾN ÁP BA PHA

6.10.1. Mạch từ mba ba pha

Để biến đổi điện áp của hệ thống dòng điện ba pha, ta có thể dùng ba mba một pha gọi là tổ mba ba pha (hình 6.17), hoặc dùng một mba ba pha ba trụ (hình 6.18). Dây cuốn sơ cấp của mba ba pha kí hiệu bằng các chữ in hoa: Pha A kí hiệu là AX, pha B là BY, pha C là CZ. Dây cuốn thứ cấp kí hiệu bằng các chữ thường: Pha a kí hiệu là ax, pha b là by, pha c là cz.

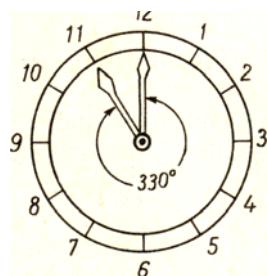


Hình 6.17 Tổ mba ba pha



Hình 6.18 Mba ba pha ba trụ

6.10.2. Các cách đấu dây mba ba pha.

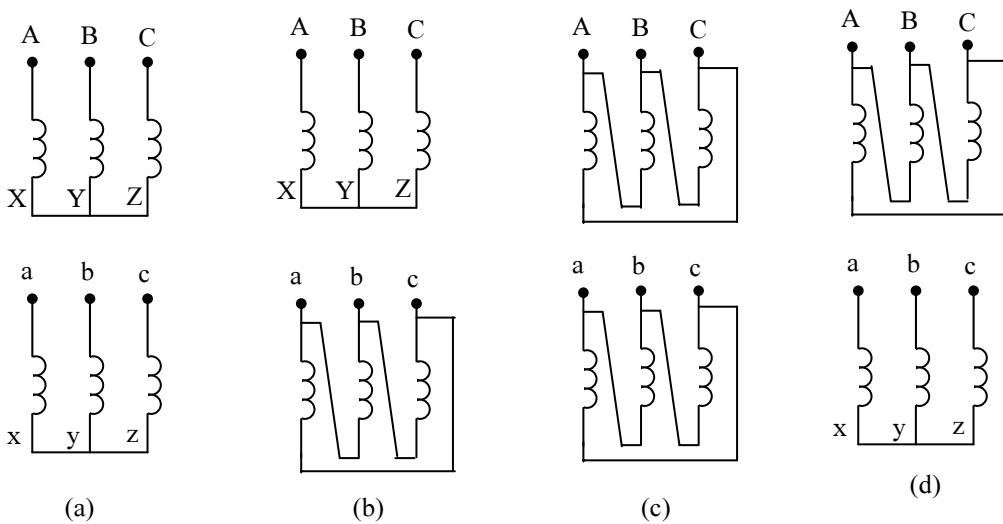


Hình 6.19 Biểu thị góc lệch pha

Dây cuốn sơ cấp và thứ cấp có thể nối hình sao hoặc hình tam giác. Nếu sơ cấp đấu hình sao và thứ cấp cũng đấu hình sao, ta kí hiệu Y/Y. Tương tự ta có 4 cách đấu cơ bản: Y/Y, Y/Δ, Δ/Δ, Δ/Y (hình 6.20a,b,c,d). Nếu phía đấu hình sao có dây trung tính ta kí hiệu Y₀.

Với các cách kí hiệu đấu dây và đấu dây khác nhau, thì điện áp dây sơ cấp và điện áp dây thứ cấp MBA ba pha lệch nhau một góc bằng bội số của 30°

và trên thực tế người ta không dùng độ để biểu thị góc lệch pha mà dùng phương pháp kim đồng hồ để biểu thị góc lệch pha (hình 6.19). Kim dài cố định ở con số 12, chỉ số dây sơ cấp, còn kim ngắn chỉ các con số 1, 2, 3, .., 12 tương ứng 30° , 60° , 90° , ..., 120° . Vì thế khi kí hiệu tổ đấu dây mba, ngoài kí hiệu cách đấu các dây quấn (hình sao hoặc hình tam giác), còn ghi thêm chữ số chỉ góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp. Ví dụ mba có tổ đấu dây Y/Y-12 (hình 6.20a), nghĩa là dây quấn sơ cấp đấu Y, dây quấn thứ cấp đấu Y và góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp là $12 \times 30^\circ = 360^\circ$; còn tổ đấu dây Y/ Δ -11 (hình 6.20b) góc lệch pha giữa hai điện áp dây là $11 \times 30^\circ = 330^\circ$. Tổ đấu dây rất quan trọng khi mba làm việc chung trong hệ thống điện.



Hình 6.20 Các cách đấu dây mba ba pha

6.10.1. Tỉ số biến áp

Gọi W_1 và W_2 lần lượt là số vòng dây một pha của dây quấn sơ và dây quấn thứ cấp. Tỉ số biến áp pha giữa dây quấn sơ cấp và thứ cấp là:

$$a_p = \frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{W_1}{W_2} \quad (6.80)$$

Tỉ số biến áp dây của mba ba pha được định nghĩa là:

$$a_d = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} \quad (6.81)$$

Tỉ số biến áp dây a_d không chỉ phụ thuộc vào tỉ số vòng dây của hai cuộn dây mà còn phụ thuộc vào cách đấu dây của mba. Thật vậy:

+ Khi mba nối Y/Y (hình 6.20a):

$$a_d = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_{p2}} = \frac{W_1}{W_2} \quad (6.82)$$

+ Khi mba nối Y/Δ (hình 6.20b):

$$a_d = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{p1}}{U_{p2}} = \sqrt{3} \frac{W_1}{W_2} \quad (6.83)$$

+ Khi mba nối Δ/ Δ (hình 6.20c):

$$a_d = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{W_1}{W_2} \quad (6.84)$$

+ Khi mba nối Δ/ Y (hình 6.20d):

$$a_d = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{U_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_{p2}} = \frac{W_1}{\sqrt{3} \cdot W_2} \quad (6.85)$$

6.10.2. Máy biến áp làm việc song song

Trong hệ thống điện, trong các lưới điện có các trạm biến áp. Những trạm này thường có các mba làm việc song song với nhau. Các mba làm việc song song là các mba có các cuộn dây sơ cấp lấy điện từ nguồn điện chung và các cuộn dây thứ cấp cung cấp điện cho một phụ tải chung. Nhờ làm việc song song, công suất lưới điện lớn rất nhiều so với công suất mba, cho phép nâng cao hiệu quả kinh tế của hệ thống điện và cung cấp điện an toàn, khi một mba hỏng hoặc phải sửa chữa.

Điều kiện để cho mba làm việc song song là : điện áp sơ cấp và thứ cấp của các máy phải bằng nhau, phải có cùng tổ nối dây và điện áp ngắn mạch phải bằng nhau.

1. Điện áp định mức sơ cấp và thứ cấp tương ứng của các MBA phải bằng nhau

$$U_{II} = U_{I\prime II} ; U_{2I} = U_{2\prime II}$$

Nghĩa là tỉ số biến áp của các mba phải bằng nhau :

$$a_I = a_{II}.$$

Trong thực tế cho phép hệ số biến áp của các mba khác nhau không quá 0,5%.

2. Các máy biến áp phải có cùng tổ nối dây

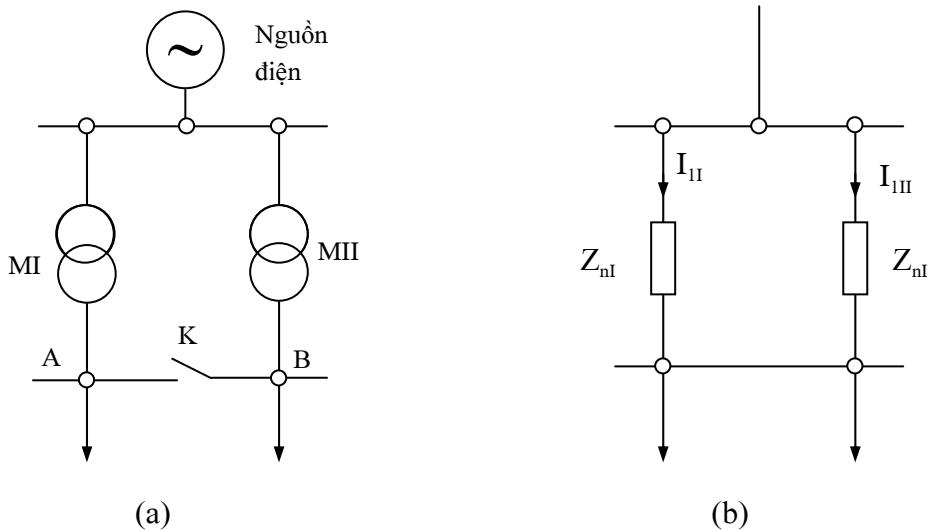
Trên hình 6.21a là sơ đồ nối hai mba làm việc song song. Nếu hai máy I có tổ nối dây Y/Δ-11 thì máy II cũng có tổ nối dây Y/Δ-11. Điều kiện này đảm bảo cho điện áp dây thứ cấp của hai mba trùng pha nhau.

Ta có thể giải thích sự cần thiết của điều kiện một và hai sơ đồ hình 6.21. Trên sơ đồ này khi chưa đóng cầu dao K, tại điểm A có điện áp dây thứ cấp U_{d2I} của máy một, còn tại điểm B có điện áp dây thứ cấp U_{d2II} của máy hai.

Do đó điện áp giữa hai đầu AB là :

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B = \dot{U}_{d2I} - \dot{U}_{d2II}$$

Khi điều kiện một và hai thỏa mãn, ta có $U_{d2I} = U_{d2II}$ và chúng trùng pha nhau nên $U_{AB} = 0$. Trong trường hợp này khi đóng cầu dao K để cho hai mba làm việc song song đảm bảo không có dòng điện cân bằng chạy trong hai máy. Nhưng nếu một trong hai điều kiện không thỏa mãn tức là $U_{d2I} \neq U_{d2II}$ hoặc chúng không trùng pha thì khi đóng cầu dao K, điện áp U_{AB} sẽ tạo ra dòng điện cân bằng rất lớn chạy quẩn trong hai máy, có khả năng làm cháy các máy biến áp.



Hình 6.21 Máy biến áp làm việc song song

3. Điện áp ngắn mạch của các máy biến áp phải bằng nhau

Gọi $u_{nI}\%$ là điện áp ngắn mạch phần trăm của máy I; $u_{nII}\%$ là điện áp ngắn mạch phần trăm của máy II. Hai mba có điện áp ngắn mạch bằng nhau, nghĩa là :

$$u_{nI}\% = u_{nII}\%$$

Điều kiện này đảm bảo cho hệ số tải của các mba bằng nhau, nghĩa là phụ tải sẽ phân bố tỉ lệ với công suất của máy. Thật vậy, từ sơ đồ tương đương hình 6.21b, với Z_{nI} và Z_{nII} là tổng trổ ngắn mạch của máy một và hai. Vì hai máy làm việc song song nên điện áp rơi trong hai máy phải bằng nhau $I_I Z_{nI} = I_{II} Z_{nII}$, Từ đó ta rút ra :

$$\frac{I_I}{I_{II}} = \frac{Z_{nII}}{Z_{nI}} \quad (6.86)$$

Nhân hai vế của (6.86) với $\frac{I_{IIdm}}{I_{Idm}}$, ta có :

$$\frac{I_I}{I_{II}} \times \frac{I_{IIdm}}{I_{Idm}} = \frac{Z_{nII} \cdot I_{IIdm}}{Z_{nI} \cdot I_{Idm}}$$

vậy

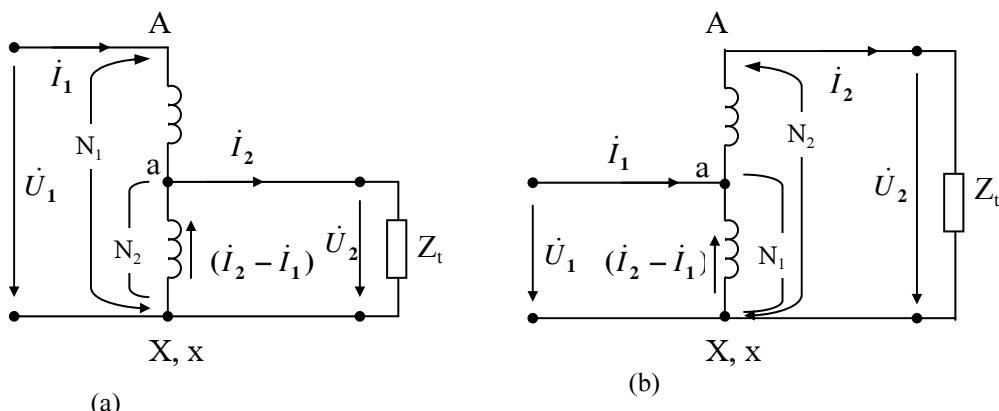
$$\frac{k_{tI}}{k_{tII}} = \frac{u_{nII} \%}{u_{nI} \%} \quad (6.87)$$

Như vậy, từ 6.87 ta có : khi $u_{nI} \% = u_{nII} \%$ thì hệ số tải của hai máy bằng nhau $k_{tI} = k_{tII}$; còn điều kiện ba không thỏa mãn, ví dụ $u_{nI} \% < u_{nII} \%$ thì $k_{tI} > k_{tII}$, nếu có quá tải thì máy một quá tải trước và ngược lại. Trong thực tế người ta cho phép điện áp ngắn mạch của các máy biến áp làm việc song song sai khác nhau 10%.

6.11 MÁY BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT

6.11.1. Máy tự biến áp

Máy tự biến áp hay còn được gọi là mba tự ngẫu. Máy tự biến áp là mba có dây quấn điện áp thấp là một bộ phận của dây quấn điện áp cao.



Hình 6.22 Máy tự biến áp: a) giảm áp; b) tăng áp

Máy tự biến áp một pha công suất nhỏ được dùng trong các phòng thí nghiệm và trong các thiết bị điện có yêu cầu điều chỉnh điện áp ra liên tục. Máy tự biến áp ba pha thường dùng để điều chỉnh điện áp khi mở máy các động cơ điện không đồng bộ ba pha công suất lớn để giảm dòng điện mở máy và dùng để liên lạc trong hệ thống điện có các cấp điện áp gần nhau.

Về cấu tạo và nguyên lý làm việc máy tự biến áp tương tự mba thông thường, chỉ khác cách đấu dây giữa hai cuộn dây sơ cấp và thứ cấp. Trong máy tự biến áp giảm áp (hình 6.22a) dây quấn thứ cấp là một phần của dây quấn sơ cấp. Trong máy tăng áp (hình 6.22b) dây quấn thứ cấp là một phần của dây quấn sơ cấp.

Tỉ số biến áp là:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

hay là $U_2 = U_1 \frac{N_2}{N_1}$

Ta thay đổi vị trí tiếp điểm trượt a, sẽ thay đổi được số vòng dây N_2 và do đó thay đổi được điện áp U_2 . Vì thế máy tự biến áp dùng để điều chỉnh điện áp liên tục.

Từ sơ đồ cho thấy, sự truyền tải năng lượng từ sơ cấp qua thứ cấp trong máy tự biến áp bằng hai con đường: **diện và điện từ**. Còn ở các máy biến áp thông thường có dây quấn sơ cấp và thứ cấp riêng biệt, năng lượng từ sơ cấp truyền qua thứ cấp chỉ bằng điện từ. Vì thế máy tự biến áp có ưu điểm hơn máy biến áp hai dây quấn: với cùng kích thước máy tự biến áp truyền công suất qua nhiều hơn, hiệu suất cao hơn, sụt áp ít hơn. Tuy nhiên U_1 và U_2 chênh nhau quá nhiều thì ưu điểm không đáng kể, nên máy tự biến áp chỉ được dùng khi tỉ số biến áp nhỏ hơn 3:1.

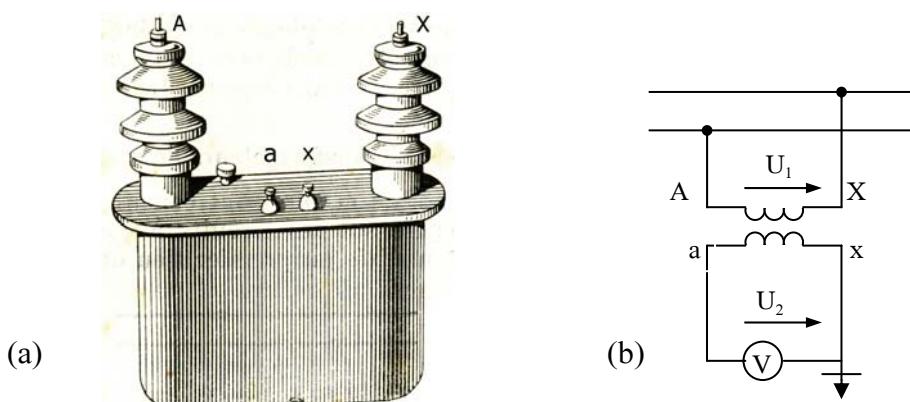
Còn khuyết điểm của máy tự biến áp là dây quấn sơ và dây quấn thứ không được cách ly về điện nên độ an toàn thấp. Chẳng hạn, nếu máy tự biến áp bị sụt trên đoạn ax ở hình 6.22a, đoạn này bị đứt như vậy gần như tải chịu toàn bộ điện áp sơ cấp, rất nguy hiểm.

6.11.2. Máy biến áp đo lường.

Khi cần đo điện áp hoặc dòng điện lớn, người ta dùng các máy biến điện có tỉ số chính xác kết hợp với các dụng cụ đo tiêu chuẩn. Có hai loại máy biến áp đo lường: máy biến dòng điện và máy biến điện áp.

1. Máy biến điện áp

Máy biến điện áp (hình 6.23a) dùng để biến điện áp cao thành điện áp thấp để đo lường bằng các dụng cụ đo tiêu chuẩn. Như vậy máy biến điện áp có dây quấn sơ nối song song với lối điện có điện áp lớn cần đo và dây quấn thứ nối với Vôn mét (hình 6.23b), cuộn dây áp của Oát mét... . Các loại dụng cụ này có tổng trở rất lớn nên xem như làm việc ở chế độ không tải. Thông thường người ta qui định điện áp U_2 định mức là 100V.



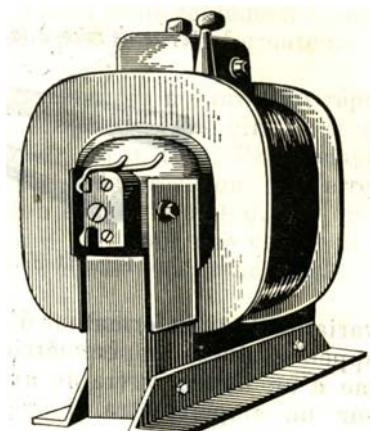
Hình 6.23 Máy biến điện áp

Chú ý: Khi sử dụng máy biến điện áp không được nối tắt mạch thứ cấp vì nối tắt mạch thứ cấp tương đương nối tắt sơ cấp nghĩa là gây sự cố ngắn mạch ở lưỡi điện.

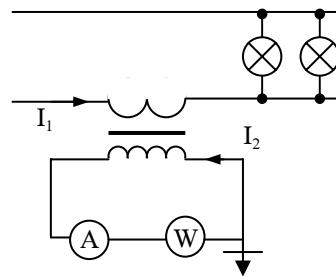
2. Máy biến dòng điện

Máy biến dòng điện dùng để biến dòng điện lớn xuống dòng điện nhỏ để đo lường bằng các dụng cụ đo tiêu chuẩn và các mục đích khác.

Máy biến dòng điện (hình 6.24a) có dây quấn sơ gồm ít vòng dây mắc nối tiếp với mạch cần đo dòng và dây quấn thứ gồm nhiều vòng dây nối với ampe mét, cuộn dây dòng của Woát mét (hình 6.24b), cuộn dây của các rôle bảo vệ, hoặc các thiếc bị điều khiển khác. Các loại dụng cụ này có tổng trở Z rất bé nên máy biến dòng điện làm việc ở trạng thái ngắn mạch, khi đó lõi thép không bảo hòa và $\Phi = (0.8 \div 1)Wb$.



(a)



(b)

Hình 6.24 Máy biến dòng điện

Chú ý: Khi sử dụng máy biến dòng điện không được để dây quấn thứ cấp hở mạch vì như vậy dòng từ hóa $I_0 = I_1$ rất lớn và lõi thép bảo hòa nghiêm trọng sẽ nóng lên làm cháy dây quấn, hơn nữa từ thông bằng đầu sẽ sinh ra sđd nhọn đầu ở dây quấn thứ cấp có thể xuất hiện điện áp cao hàng nghìn volt làm cho dây quấn thứ và người sử dụng không an toàn.

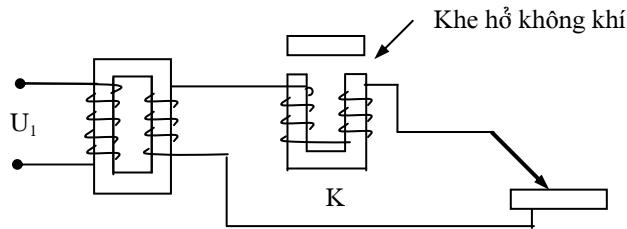
6.11.3. Máy biến áp hàn hồ quang

Là loại máy biến áp đặc biệt dùng để hàn bằng phương pháp hồ quang điện. Máy được chế tạo có điện kháng tản lớn và cuộn dây thứ cấp nối với điện kháng ngoài K để hạn chế dòng điện hàn. Vì thế đường đặc tính hàn rất dốc, phù hợp với yêu cầu hàn điện (hình 6.25).

Cuộn dây sơ cấp nối với nguồn điện, cuộn dây thứ cấp một đầu nối với cuộn điện kháng K rồi nối tới que hàn, còn đầu kia nối với tấm kim loại cần hàn.

Máy biến áp làm việc ở chế độ ngắn mạch ngắn hạn dây quần thử cáp. Điện áp thử cáp định mức của máy biến áp hàn thường là $60 \div 70V$. Khi dí que hàn vào tám kim loại, sẽ có dòng điện lớn

chạy qua làm nóng chõ tiếp xúc. Khi nhắc que hàn cách tám kim loại một khoảng nhỏ, vì cường độ điện trường lớn làm ion hóa chất khí, sinh hồ quang và tỏa nhiệt lượng lớn làm nóng chảy chõ hàn.



Hình 6.25 Sơ đồ máy biến áp hàn hồ quang

Để điều chỉnh dòng điện hàn, có thể thay đổi số vòng dây của dây quần thú cáp máy biến áp hàn hoặc thay đổi điện kháng ngoài bằng cách thay đổi khe hở không khí của lõi thép K.



BÀI TẬP

Bài 6.1. Xét MBA một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không). Cuộn dây sơ cấp có 400 vòng, cuộn dây thứ cấp có 800 vòng. Tiết diện lõi thép là 40cm^2 . Nếu cuộn dây sơ cấp được đấu vào nguồn 600V , 60Hz , hãy tính :

- a. Từ cảm cực đại trong lõi ?
 - b. Điện áp thứ cấp ?

Bài 6.2. Cho một MBA một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không) $20\text{kVA}, 1200\text{V}/120\text{V}$.

- a. Tính dòng định mức sơ cấp và thứ cấp ?
 - b. Nếu máy cấp cho tải 12kW có hệ số công suất = 0,8; tính dòng sơ và thứ cấp ?

Đáp số : a. 16.7A; 167A b. 12.5A; 125A.

Bài 6.3. Cho một MBA một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không) có tỉ số vòng dây 4:1. Điện áp thứ cấp là $120\angle 0^\circ$ V. Người ta đấu một tải $Z_t = 10\angle 30^\circ \Omega$ vào thứ cấp. Hãy tính :

- Điện áp sơ cấp, dòng điện sơ cấp và thứ cấp ?
- Tổng trở tải qui về sơ cấp ?

Đáp số : a. $480\angle 0^\circ$ V; $3\angle 30^\circ$ A, $12\angle 30^\circ$ A b. $160\angle 30^\circ$ Ω .

Bài 6.4. Cho MBA một pha lý tưởng (không sụt áp, tổn hao, dòng điện không tải bằng không) 50kVA, 400V/2000V cung cấp cho tải 40kVA có hệ số công suất =0,8 (R-L); Tính:

- Tổng trở tải ?
- Tổng trở tải qui về sơ cấp ?

Đáp số : a. $100\angle 36,87^\circ$ Ω b. $4\angle 36,87^\circ$ Ω .

Bài 6.5 Cho MBA một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không) có số vòng dây = 180: 45. Điện trở sơ và thứ cấp lần lượt bằng 0,242 và 0,076. Tính điện trở tương đương qui về sơ cấp ?

Đáp số : a. 1,4 T b. 1200V.

Bài 6.6. Cho MBA một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không) có số vòng dây = 220: 500. Phía sơ cấp đấu vào nguồn điện áp 220 V, phía thứ cấp cung cấp cho tải 10kVA.

- Tính điện áp trên tải, dòng điện thứ cấp và sơ cấp ?
- Tính tổng trở tương đương của máy nhìn từ nguồn ?

Đáp số : a. 500V, 20A, 50A b. $4,4\Omega$.

Bài 6.7. Trong thí nghiệm ngắn mạch của một MBA ba pha 100kVA nối Y/Y, 4000/1000V các dụng cụ đo đấu ở phía sơ cấp chỉ các giá trị : $U_n = 224V$; $I_n = 25A$; $P_n = 2500W$. Tính điện trở và điện kháng ngắn mạch của máy qui về sơ cấp ?

Đáp số : $R_n = 1,33\Omega$, $X_n = 5\Omega$

Bài 6.8. Một MBA một pha 500kVA, 2300/230V khi thí nghiệm không tải và ngắn mạch, các dụng cụ đo đấu ở phía sơ cấp chỉ các giá trị :

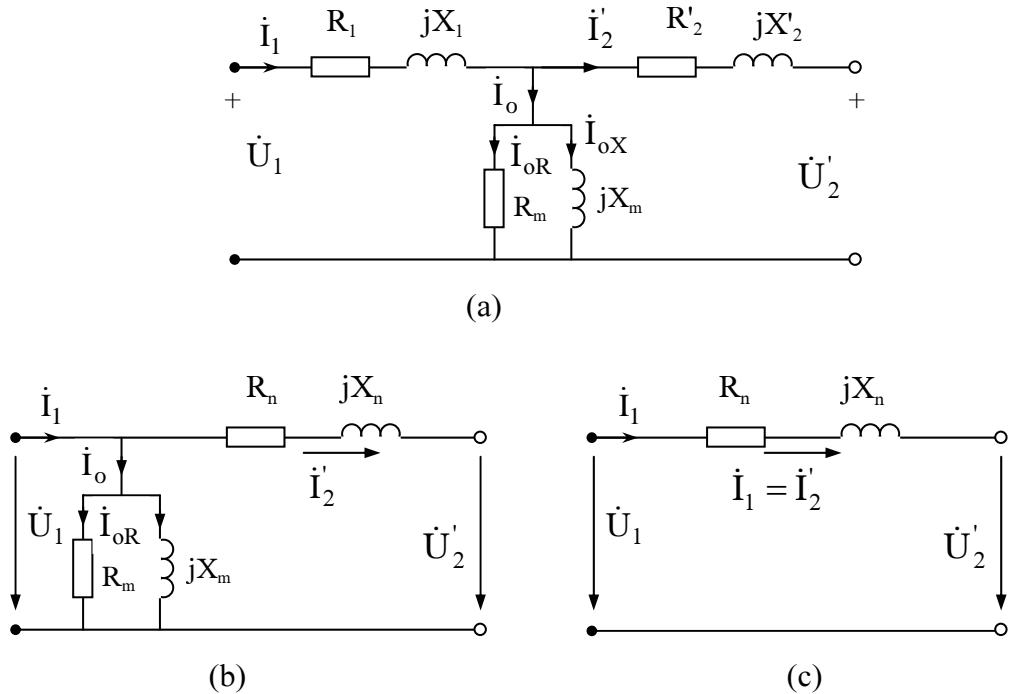
Thí nghiệm không tải : $U = 2300V$; $I_0 = 9,4A$; $P_0 = 2250W$

Thí nghiệm ngắn mạch : $U_n = 95V$; $I_n = 218A$; $P_n = 8.200W$.

Tính các thông số mạch điện thay thế của máy MBA qui về sơ cấp ?

Đáp số : $R_m = 2351\Omega$, $X_m = 244,7\Omega$, $R_1 = R'_2 = 0,087\Omega$, $X_1 = X'_2 = 0,2\Omega$

Bài 6.9. Một MBA một pha 500kVA, 2300/230V như bài tập 2-8, cung cấp dòng định mức cho tải có hệ số công suất $\cos\phi = 1$. Tính hiệu suất MBA bằng cách lần lược dùng các mạch điện tương đương sau :



Bài 6.10. Một MBA một pha 50kVA, 2400/240V, tổn hao đồng định mức 680W, tổn hao thép 260W.

- Tính hiệu suất khi hệ số công suất $\cos\varphi = 1$ lúc đầy tải và nửa tải ?.
- Tính hệ số tải khi hiệu suất cực đại và hiệu suất cực đại MBA ?

Bài 6.11. Một MBA một pha 10kVA, 480/120V có các thông số sau :

$$R_1 = 0,6 \Omega; R_2 = 0,0375 \Omega; X_1 = 1 \Omega; X_2 = 0,0625 \Omega; R_m = 3000 \Omega; X_m = 500 \Omega;$$

- Dùng mạch điện tương đương hình a để tính áp và dòng sơ cấp khi máy cung cấp 10kVA cho tải ở 120V và hệ số công suất $\cos\varphi = 0,85$ (R-L) ?.

- Tính tổn hao đồng sơ cấp, tổn hao đồng thứ cấp, tổn hao trong lõi thép và hiệu suất của MBA?

Bài 6.12. Một MBA một pha 50kVA, 400/2000V có các thông số sau :

$$R_1 = 0,02 \Omega; R_2 = 0,5 \Omega; X_1 = 0,06 \Omega; X_2 = 1,5 \Omega; R_m = 500 \Omega; X_m = 167 \Omega;$$

Máy cung cấp 40kVA cho tải có hệ số công suất $\cos\varphi = 0,8$ (R-L).

- Dùng mạch điện tương đương hình a,b,c để tính điện áp và dòng điện sơ cấp, tính độ biến thiên điện áp thứ cấp % ?.
- Tính hiệu suất của tải đang xét và hiệu suất cực đại của MBA?

Bài 6.13. Một MBA 3 pha có tổ nối dây Y/Y, 560kVA, 6000/400V có dòng điện không tải $i_o\% = 2,6\%$; điện áp ngắn mạch $u_n\% = 4\%$; tổn hao không tải $P_o = 1570W$; tổn hao ngắn mạch $P_n = 7000W$.

- Tìm dòng điện định mức, dòng không tải, hệ số công suất $\cos\varphi_o$?.
- Tính các thông số của mạch điện thay thế của MBA?
- Xác định hệ số tải để hiệu suất cực đại ?
- Tính điện áp thứ cấp và hiệu suất khi hệ số tải bằng 0,5 và $\cos\varphi_t = 0,8$ (R-L).

Bài 6.14. Một MBA 3 pha có tổ nối dây Y/Y, 560kVA, 6000/400V có các thông số của mạch điện thay thế một pha như sau :

$$R_1 = 0,4 \Omega; R_2 = 1,78 \cdot 10^{-3} \Omega; X_1 = 1,31 \Omega; X_2 = 5,8 \cdot 10^{-3} \Omega; R_m = 18274 \Omega; X_m = 1407 \Omega.$$

Máy cung cấp 450kVA cho tải ba pha có hệ số công suất $\cos\phi = 0,8$ (R-L).

- a. Dùng mạch điện tương đương hình a,b,c để tính áp và dòng dây sơ cấp, tính độ biến thiên điện áp thứ cấp % ?.
- b. Tính hiệu suất của tải đang xét và hiệu suất cực đại của MBA?

