

## BÀI THÍ NGHIỆM SỐ 1

# MÁY BIẾN ÁP BA PHA

### I. MỤC ĐÍCH VÀ YÊU CẦU THÍ NGHIỆM:

#### 1. Mục đích:

- Tìm hiểu cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy biến áp 3 pha.(tổ mba 3 pha).
- Xác định các thông số của máy biến áp 3 pha.
- Xác định một vài đường đặc tính của máy biến áp.

#### 2. Yêu cầu :

- Xem kỹ phần phụ lục để biết được các thiết bị, cách ghép nối, các từ và thuật ngữ mới cần thiết cho bài thí nghiệm.
- Xem lại các đặc điểm chính của mạch điện 3pha.

### II. TÓM TẮT LÝ THUYẾT

#### 1. Nguyên lý làm việc cơ bản MBA

Hình 1.1 vẽ sơ đồ nguyên lý của mba một pha hai dây quấn. Dây quấn 1 có  $W_1$  vòng dây được nối với nguồn điện áp xoay chiều  $u_1$ , gọi là dây quấn sơ cấp. Dây quấn 2 có  $W_2$  vòng dây cung cấp điện cho phụ tải  $Z_t$ , gọi là dây quấn thứ cấp.

Đặt điện áp xoay chiều  $u_1$  vào dây quấn sơ, trong dây quấn sơ sẽ có dòng  $i_1$ . Trong lõi thép sẽ có từ thông  $\Phi$  móc vòng với cả hai dây quấn gọi là từ thông chính, từ thông chính cảm ứng trong dây quấn sơ sđd  $e_1$  và trong dây quấn thứ sđd  $e_2$ . Khi mba có tải, trong dây quấn thứ sẽ có dòng điện  $i_2$  đưa ra tải với điện áp là  $u_2$ .

Giả sử điện áp  $u_1$  sin nên từ thông  $\Phi$  cũng biến thiên sin và có dạng:

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t$$

Sđd cảm ứng  $e_1, e_2$  sinh ra trong dây quấn sơ cấp và thứ cấp mba là:

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

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

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

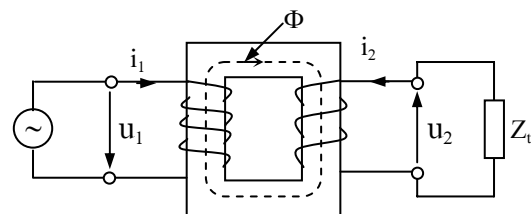
$$E_1 = \frac{\omega N_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \pi \sqrt{2} f N_1 \Phi_m = 4,44 f N_1 \Phi_m$$

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

Tỉ số biến áp k của mba: 
$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

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

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = k$$



**Hình 1-1.** Sơ đồ nguyên lý của mba một pha hai dây quấn

## 2. Phương trình cân bằng

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 đầu 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. Các từ thông tản  $\Phi_{t1}$  và  $\Phi_{t2}$  biến thiên theo thời gian nên cũng cảm ứng trong dây quấn sơ cấp sdd tản  $e_{t1}$  và thứ cấp sdd tản  $e_{t2}$ , mà trị số tức thời là:

$$e_{t1} = -N_1 \frac{d\Phi_{t1}}{dt} = -\frac{d\Psi_{t1}}{dt}; \quad e_{t2} = -N_2 \frac{d\Phi_{t2}}{dt} = -\frac{d\Psi_{t2}}{dt}.$$

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 thì tỉ lệ với dòng điện sinh ra nó :

$$\Psi_{t1} = L_{t1}i_1; \quad \Psi_{t2} = L_{t2}i_2$$

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

Ta có sdd tản sau khi thế từ thông móc vòng vào:

$$e_{t1} = -L_{t1} \frac{di_1}{dt}; \quad e_{t2} = -L_{t2} \frac{di_2}{dt}$$

Biểu diễn sdd tản dưới dạng phức số :

$$\dot{E}_{t1} = -j\omega L_{t1}\dot{I}_1 = -jx_1\dot{I}_1;$$

$$\dot{E}_{t2} = -j\omega L_{t2}\dot{I}_2 = -jx_2\dot{I}_2$$

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.

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

Xét mạch điện sơ cấp gồm nguồn điện áp  $u_1$ , sdd  $e_1$ , điện trở dây quấn sơ cấp  $r_1$ , sdd tản sơ cấp  $e_{t1}$ . Mạch điện thứ cấp gồm sdd  $e_2$ , điện trở dây quấn thứ cấp  $r_2$ , sdd tản thứ cấp  $e_{t2}$ , điện áp ở hai đầu của dây quấn thứ cấp là  $u_2$ . Áp dụng định luật Kirchoff 2 ta có phương trình điện áp sơ cấp và thứ cấp viết dưới dạng trị số tức thời là:

$$u_1 + e_1 + e_{t1} = r_1i_1; \quad e_2 + e_{t2} = u_2 + r_2i_2.$$

hoặc  $u_1 = -e_1 - e_{t1} + r_1i_1; \quad u_2 = e_2 + e_{t2} - r_2i_2.$

Biểu diễn dưới dạng số phức và thay sdd tản vào các phương trình, ta có:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 - \dot{E}_{t1} + r_1\dot{I}_1 = -\dot{E}_1 + jx_1\dot{I}_1 + r_1\dot{I}_1$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 + \dot{E}_{t2} - r_2\dot{I}_2 = \dot{E}_2 - jx_2\dot{I}_2 - r_2\dot{I}_2$$

Vậy phương trình điện áp sơ cấp và thứ cấp viết dưới dạng phức là:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + (r_1 + jx_1)\dot{I}_1 = -\dot{E}_1 + Z_1\dot{I}_1 \quad (1-1)$$

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

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

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

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

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

### **Phương trình cân bằng std**

Định luật Ohm từ áp dụng vào mạch từ (hình 1.1) cho ta:

$$W_1 i_1 + W_2 i_2 = R_\mu \Phi \quad (1-2)$$

Thường  $Z_1 \dot{I}_1 \ll \dot{E}_1$  nên từ (1-1), ta có  $E_1 \approx U_1$ . Vậy từ thông cực đại trong lõi thép:

$$\Phi_m = \frac{U_1}{4,44fN_1}$$

Ở đây  $U_1 = U_{1dm}$ , tức là  $U_1$  không đổi, vậy từ thông  $\Phi_m$  cũng không đổi. Do đó vế phải của (1-2) 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:

$$N_1 i_1 + N_2 i_2 = N_1 i_0$$

Hay:  $N_1 \dot{I}_1 + N_2 \dot{I}_2 = N_1 \dot{I}_0$

Chia hai vế cho  $W_1$  và chuyển vế, ta có:

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

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

Dòng điện  $\dot{I}_1$  gồm hai thành phần, thành phần dòng điện  $\dot{I}_0$  không đổi 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.

Tóm lại mô hình toán của mba như sau:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + Z_1 \dot{I}_1 \quad (1.3a)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - Z_2 \dot{I}_2 \quad (1.3b)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2') \quad (1.3c)$$

### **3. Mạch điện thay thế MBA**

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.

#### **Qui đổi các đại lượng thứ cấp về sơ cấp.**

Nhân phương trình (1.3b) với  $k$ , ta có:

$$k\dot{U}_2 = k\dot{E}_2 - (k^2 Z_2) \frac{\dot{I}_2}{k} = (k^2 Z_1) \frac{\dot{I}_2}{k}$$

Đặt:  $\dot{E}'_2 = k\dot{E}_2$ ;  $\dot{U}'_2 = k\dot{U}_2$ ;  $\dot{I}'_2 = \dot{I}_2 / k$

$$Z'_2 = k^2 Z_2 ; r'_2 = k^2 r_2 ; x'_2 = k^2 x_2$$

$$Z'_t = k^2 Z_t ; r'_t = k^2 r_t ; x'_t = k^2 x_t$$

Phương trình (1.3b) viết lại thành:

$$\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - Z'_2 \dot{I}'_2 = Z'_t \dot{I}'_2$$

Trong đó:  $\dot{E}'_2, \dot{U}'_2, \dot{I}'_2, Z'_2, Z'_t$  tương ứng là sdd, 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 :

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + Z_1 \dot{I}_1$$

$$\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - Z'_2 \dot{I}'_2 = Z'_t \dot{I}'_2$$

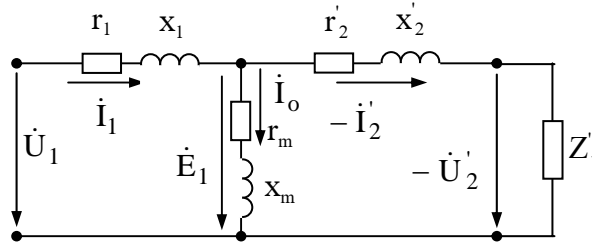
$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2)$$

**Mạch điện thay thế của mba.**

Dựa vào hệ phương trình qui đổi, ta suy ra một mạch điện tương ứng gọi là mạch điện thay thế của mba (hình 1-2).

Sdd  $-\dot{E}_1$  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 :

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



Hình 1-2 Mạch điện thay thế máy biến áp

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.  $p_{Fe} = r_m I_0^2$
- $x_m$  là điện kháng từ hóa đặc trưng cho từ thông chính  $\Phi$ .

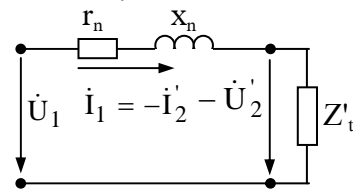
**Mạch điện thay thế đơn giản của mba**

Thông thường tổng trở nhánh từ hóa rất lớn ( $Z_m \gg Z_1$  và  $Z'_2$ ), do đó có thể bỏ qua nhánh từ hóa ( $Z_m = \infty$ ) và thành lập lại sơ đồ thay thế gần đúng (Hình 1-3).

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

$$Z_n = Z_1 + Z'_2 = r_n + jx_n \tag{1.4}$$

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.



Hình 1-3 Mạch điện thay thế đơn giản của mba

**4. Chế độ 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  $U_1$ .

**Phương trình và mạch điện thay thế MBA khi không tải.**

Khi không tải (Hình 1.4) dòng điện thứ cấp  $I_2 = 0$ , ta có phương trình là:

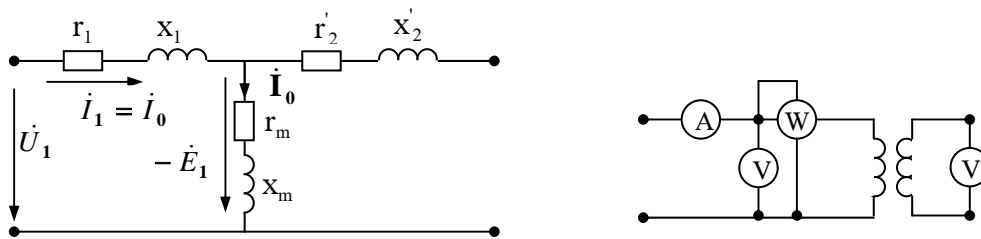
$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 Z_1$$

hoặc  $\dot{U}_1 = \dot{I}_0 (Z_1 + Z_m) = \dot{I}_0 Z_0$  (1.5)

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

**Thí nghiệm không tải MBA**

Thí nghiệm không tải là 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.



**Hình 1.4** Sơ đồ thay thế mba khi không tải và Sơ đồ nối dây thí nghiệm không tải

Sơ đồ nối dây thí nghiệm không tải (hình 1.4). 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:  $P_0$  là công suất tổn hao không tải;  $I_0$  là dòng điện không tải; còn  $U_{1dm}$  và  $U_{20}$  là điện áp sơ cấp và thứ cấp. Từ đó ta tính được:

a) Hệ số biến áp  $k$ :  $k = \frac{U_{1dm}}{U_{20}}$

b) Dòng điện không tải phần trăm :  $i_0 \% = \frac{I_0}{I_{1dm}} 100 = 1\% \div 10\%$

c) Tổn hao trong lõi thép :  $p_{Fe} = P_0 - r_1 I_0^2 \approx P_0$

d) Tổng trở không tải

+ Điện trở không tải:  $r_0 = r_1 + r_m = \frac{P_0}{I_0^2}$

Do  $r_m \gg r_1$  nên gần đúng lấy bằng:  $r_m = r_0 - r_1$

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

+ Điện kháng không tải.  $x_0 = x_1 + x_m = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}$

Điện kháng từ hóa  $x_m \gg x_1$  nên lấy gần đúng bằng:  $x_m = x_0$

e) Hệ số công suất không tải.:  $\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_{1dm} I_0}$

## 5. Chế độ 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. Trong vận hành, nhiều nguyên nhân làm máy biến áp bị ngắn mạch như hai dây dẫn phía thứ cấp chạm vào nhau, rơi xuống đất hoặc nối với nhau bằng tổng trở rất nhỏ. Đây là tình trạng sự cố.

### Phương trình và mạch điện thay thế mba khi ngắn mạch

Khi m.b.a ngắn mạch  $U_2 = 0$ , mạch điện thay thế m.b.a vẽ trên hình 1.5. Dòng điện sơ cấp là dòng điện ngắn mạch  $I_n$ .

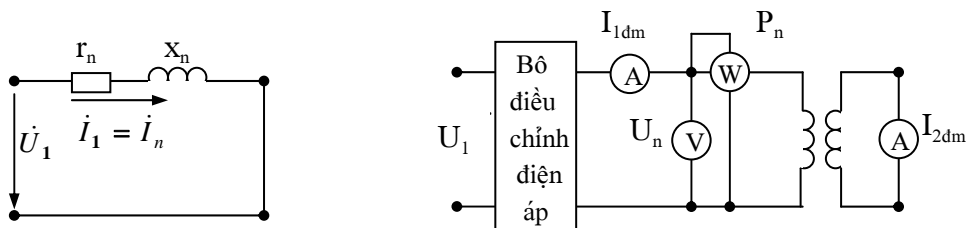
Phương trình điện áp của mba ngắn mạch:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_n (r_n + jx_n) \dot{I}_n = \dot{I}_n Z_n \quad (1.6)$$

### 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  $P_{d\text{dm}}$ , 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 1.5.

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  $U_n$  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.



**Hình 1.5** Mạch điện thay thế m.b.a khi ngắn mạch và Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch

#### a) Tổn hao ngắn mạch

Lúc thí nghiệm ngắn mạch, điện áp ngắn mạch  $U_n$  nhỏ nên từ thông  $\Phi$  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:

$$P_n = r_1 I_{1\text{dm}}^2 + r_2 I_{2\text{dm}}^2 = r_n I_n^2 \quad (1.7)$$

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

$$+ \text{Tổng trở ngắn mạch: } Z_n = \frac{U_n}{I_{1\text{dm}}} \quad (1.8)$$

$$+ \text{Điện trở ngắn mạch: } r_n = r_1 + r'_2 = \frac{P_n}{I_{1\text{dm}}^2} \quad (1.9)$$

$$+ \text{Điện kháng ngắn mạch: } x_n = \sqrt{Z_n^2 - r_n^2} \quad (1.10)$$

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:

$$r_1 = r'_2 = \frac{r_n}{2}; \quad x_1 = x'_2 = \frac{x_n}{2}$$

c) Hệ số công suất ngắn mạch :  $\cos \varphi_n = \frac{P_n}{U_{dm} I_{1dm}}$

d) Điện áp ngắn mạch

Điện áp ngắn mạch phần trăm:

$$u_n \% = \frac{Z_n I_{1dm}}{U_{1dm}} 100\% = \frac{U_n}{U_{1dm}} 100\% \quad (1.11)$$

+ Điện áp ngắn mạch tác dụng phần trăm:  $u_{nr} \% = \frac{r_n I_{1dm}}{U_{1dm}} \times 100\%$

+ Điện áp ngắn mạch phản kháng phần trăm:  $u_{nx} \% = \frac{x_n I_{1dm}}{U_{1dm}} \times 100\%$

### 6. Chế độ có tải MBA

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  $\beta$ :

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2dm}} = \frac{I_1}{I_{1dm}} = \frac{P_2}{P_{2dm}} = \frac{S_2}{S_{2dm}} \quad (1.12)$$

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

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

a) Độ biến thiên điện áp thứ cấp

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

$$\Delta U = U_{2dm} - U_2 \quad (1.12)$$

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

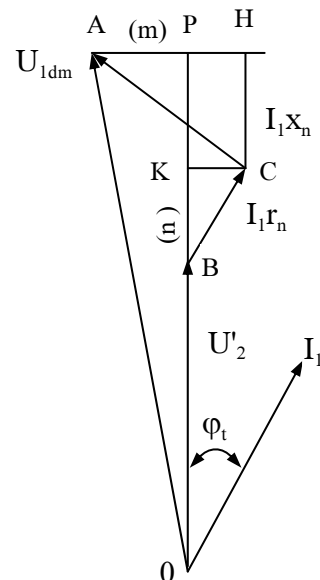
$$\Delta U_2 \% = \frac{U_{2dm} - U_2}{U_{2dm}} \times 100\%$$

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

$$\Delta U_2 \% = \frac{kU_{2dm} - kU_2}{kU_{2dm}} \times 100\%$$

$$\Delta U_2 \% = \frac{U_{1dm} - U'_2}{U_{1dm}} \times 100\% \quad (1.13)$$

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



H.1.6 Xác định  $\Delta U$  của mba

Đồ thị vectơ của mba ứng với mạch điện thay thế gần đơn giản vẽ trên hình 1.6. Trên thực tế góc lệch pha giữa  $\dot{U}_{1dm}$  và  $(-\dot{U}'_2)$  rất nhỏ, để tính  $\Delta U_2$  từ A và C hạ đường thẳng vuông góc xuống OB, cắt OB kéo dài tại P và K, có thể coi gần đúng :

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

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

Tính:  $BK = I_1 r_n \cos\varphi_2 = I_{1dm} r_n \left( \frac{I_1}{I_{1dm}} \right) \cos\varphi_2 = \beta U_{nr} \cos\varphi_2 \quad (1.14a)$

$$KP = I_1 x_n \sin\varphi_2 = I_{1dm} x_n \left( \frac{I_1}{I_{1dm}} \right) \sin\varphi_2 = \beta U_{nx} \sin\varphi_2 \quad (1.14b)$$

Lấy (1.14a) và (1.14b) thay vào (1.13), ta có:

$$\Delta U_2 \% = \frac{\beta(U_{nr} \cos\varphi_2 + U_{nx} \sin\varphi_2)}{U_{1dm}} 100\%$$

$$\Delta U_2 \% = \beta \left( \frac{U_{nr} \cos\varphi_2}{U_{1dm}} \times 100\% + \frac{U_{nx} \sin\varphi_2}{U_{1dm}} 100\% \right)$$

$$\Delta U_2 \% = \beta(u_{nr} \% \cos\varphi_2 + u_{nx} \% \sin\varphi_2) \quad (1.15)$$

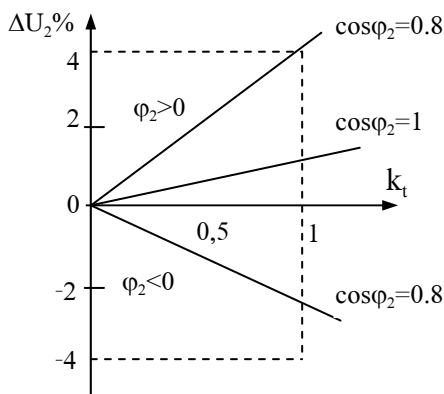
Từ công thức (1.15) cho thấy độ biến thiên điện áp thứ cấp  $\Delta U_2$  phụ thuộc vào hệ số tải  $\beta$  và hệ số công suất  $\cos\varphi_2$ . Giả thiết hệ số công suất  $\cos\varphi_1$  không đổi thì  $\Delta U_2 \% = f(\beta)$ . Trên hình (1.7) vẽ quan hệ  $\Delta U_2 \% = f(\beta)$  với các  $\cos\varphi_2$  khác nhau.

a) Đặc tính ngoài của mba

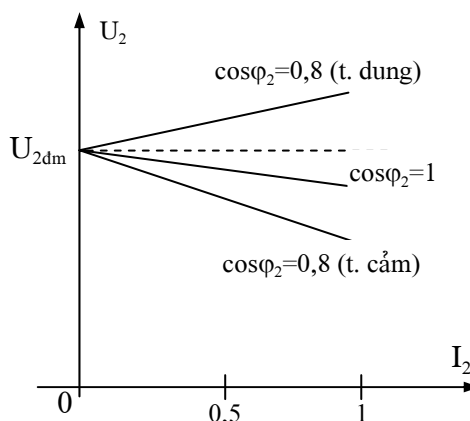
Đường đặc tính ngoài của máy biến áp biểu diễn mối quan hệ  $U_2 = f(I_2)$ , khi  $U_1 = U_{1dm}$  và  $\cos\varphi_2 = \text{const}$  được trình bày trên hình 1.8.

Điện áp thứ cấp  $U_2$  là:

$$U_2 = U_{2dm} - \Delta U_2 = U_{2dm} \left( 1 - \frac{\Delta U_2 \%}{100} \right) \quad (1.16)$$



Hình 1.7 Quan hệ  $\Delta U_2 = f(\beta) \Big|_{\cos\varphi_2 = \text{const}}$



Hình.1.8 Đặc tính ngoài  $U_2 = f(I_2)$



Dựa vào công thức (1.16) 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 cao áp 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)

## 2. Hiệu suất máy biến áp

Hiệu suất  $\eta$  của mba :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum p}{P_1} = 1 - \frac{\sum p}{P_2 + \sum p} \quad (1.17)$$

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

**Ta đã có phần trước:**

$$p_{Fe} = P_0$$

$$p_{Cu1} + p_{Cu2} = r_1 I_1^2 + r_2 I_2^2 = r_n I_2^2 = r_n I_{2dm}^2 \left( \frac{I_2}{I_{2dm}} \right)^2 = P_n \beta^2 \quad (1.18)$$

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2 = U_{2dm} I_{2dm} \frac{I_2}{I_{2dm}} \cos \varphi_2 = \beta S_{dm} \cos \varphi_2 \quad (1.19)$$

Thế (1.18) và (1.19) vào (1.17), ta có:

$$\eta = 1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_n}{\beta S_{dm} \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_n} \quad (1.20a)$$

hay 
$$\eta = \frac{\beta S_{dm} \cos \varphi_2}{\beta S_{dm} \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_n} \quad (1.20b)$$

Ta thấy hiệu suất mba là một hàm của hệ số tải và hệ số công suất  $\eta = f(\beta, \cos \varphi_2)$ . Khi  $\cos \varphi_2 = \text{const}$ , hiệu suất của mba đạt cực đại  $\eta_{\max}$  bằng cách đạo hàm của nó theo hệ số tải  $\beta$  và cho bằng không, ta có:

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

**Sau khi tính đạo hàm, tìm được:**

$$\beta^2 P_n = P_0$$

Như vậy hiệu suất MBA cực đại khi tổn hao đồng bằng tổn hao sắt từ.

$$\beta = \sqrt{\frac{P_0}{P_n}} \quad (1.21)$$

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

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

Vậy  $\beta = 0.45 \div 0.5$

**III. CÁC THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM :**

Xem bảng các dụng cụ cần dùng ở phụ lục C để biết các dụng cụ cần thiết cho bài thí nghiệm.

**IV. NỘI DUNG THÍ NGHIỆM :**

**Thiết lập thiết bị :**

- Cài các Module nguồn điện, giao diện thu thập dữ liệu và máy biến áp 3 pha trong hệ thống.
- DAI LOW POWER INPUTS được nối với nguồn cung cấp chính, đặt công tắc nguồn AC-24V ở vị trí I (ON) và cáp dẹt của máy tính được nối với DAI.
- Tìm hiểu cấu tạo ghi các số liệu định mức của máy biến áp thí nghiệm.
- Hiển thị ứng dụng Metering.

**1. Đo điện trở một chiều của các cuộn dây sơ cấp và thứ cấp máy biến áp.**

- + Sử dụng nguồn cung cấp là nguồn điện một chiều (DC) điều chỉnh được từ 0-220V.
- + Chọn đặt File cấu hình ES19-1.cfg. Trên cửa sổ Metering chuyển các cửa sổ đo dòng điện và điện áp sang chế độ đo dòng điện và điện áp DC.
- + Dùng nguồn cung cấp điện một chiều đầu 7-N, Vôn kế E1, E2, E3 và Ampe kế I1, I2, I3 đấu nối với các cuộn dây của **dây quấn sơ cấp** như hình 1.10 để đo  $R_1$  và sau đó cho **dây quấn thứ cấp** máy biến áp để đo  $R_2$ .

+ Bật nguồn, xoay núm điều chỉnh tăng dần điện áp để dòng điện trong cuộn dây sơ cấp đạt 0,7Idm (khoảng 12V), còn đối với dây quấn thứ cấp là 8V. Trong quá trình tăng ghi lại các trị số đo được trên các cửa sổ đo E và I vào máy tính bằng cách đưa con trỏ chuột đến nút **record data**, nhấp chuột bên trái. Sau khi đo hết các cuộn dây, mở bảng số liệu để in hoặc ghi vào bảng 1. Từ các số liệu đo được tính điện trở của các cuộn dây theo công thức sau:

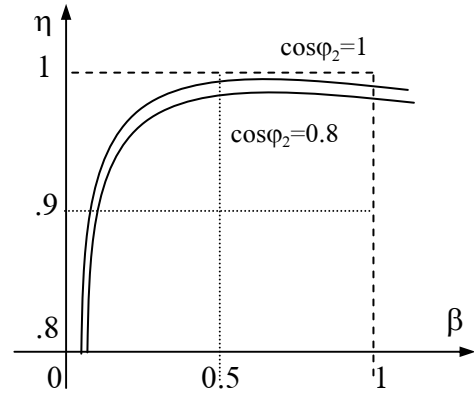
$$R_1 = \frac{E1}{I1}$$

+Tắt nguồn, xoay núm điều chỉnh điện áp về vị trí min, tháo gỡ các dây nối.

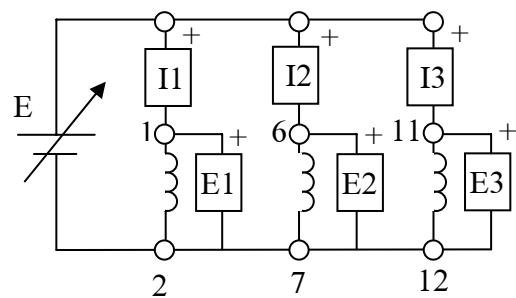
**2. Xác định tỉ số biến đổi điện áp K và góc lệch pha giữa điện áp dây sơ và thứ.**

**a) Máy biến áp ba pha nối Δ - Y**

Sơ đồ thí nghiệm như hình vẽ (hình 1-11).



H.1.9 Quan hệ  $\eta=f(\beta)$  |  $\cos\phi_2 = \text{const}$



Hình 1-10 Nối dây quấn sơ cấp

**Trình tự tiến hành như sau :**

- + Hiển thị ứng dụng Metering, chọn File cấu hình ES19-2.cfg.
- + Hở mạch dây quấn thứ cấp, bật nguồn và điều chỉnh điện áp để được điện áp dây, với các cấp : 120, 240, 380 V ứng với các lần đo.
- + Sử dụng E1 để đo điện áp dây của dây quấn sơ cấp  $U_{1-6}$  và E2 để đo điện áp dây trên dây quấn thứ cấp  $U_{4-9}$ , tăng dần điện áp ở các cấp khoảng 120, 240, 380V đưa con trở chuốt đến nút **record data**, nhấp chuột để ghi kết quả đo được vào bảng số liệu trong máy tính. Sau đó mở bảng số liệu đo được để in hoặc ghi số liệu vào bảng 2. Từ đó tính được hệ số biến áp theo công thức sau :

$$K_{1,2,3} = \frac{U_{1-6}}{U_{4-9}}; \quad K = \frac{K_1 + K_2 + K_3}{3}$$

**Chú ý :** Khi đo các điện áp, tắt nguồn trước khi thay đổi cách nối DAI với mạch điện.

- **Khảo sát sự lệch pha giữa các sđđ dây khi nối  $\Delta$ -Y trên Phasor Analyzer.**

+ Để nguyên cách nối dây như xác định tỉ số biến áp. Mở phân tích pha Phasor Analyzer và quan sát góc lệch pha giữa điện áp dây  $U_{1-6}$  và  $U_{4-9}$  trên màn hình Phasor Analyzer. Ghi các kết quả đo được vào bảng 3 hoặc in kết quả.

+ Sau khi ghi lại kết quả đo được, quay điều chỉnh điện áp về vị trí min, tắt nguồn.

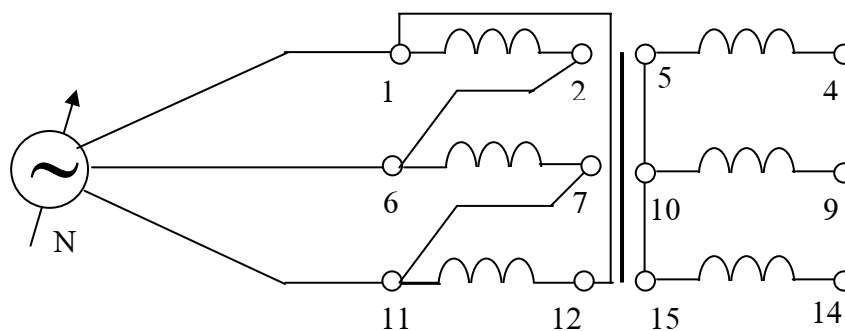
### b) Máy biến áp ba pha nối $\Delta$ - $\Delta$

Sau khi tắt nguồn đổi nối Module máy biến áp 3 pha thành hình  $\Delta$ - $\Delta$  (hình 1-12).

**Chú ý :** Kiểm tra cách nối  $\Delta$  trước khi đóng nguồn điện.

+ Bật nguồn và điều chỉnh điện áp để được điện áp dây  $E_s$  như đã cho ở trên. Chọn tạo File cấu hình ES19-4.cfg.

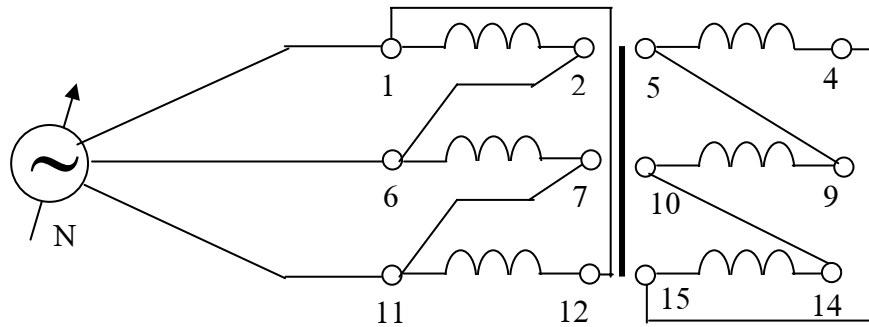
+ Sử dụng E1 và E2 để đo điện áp dây của các cuộn dây trên mạch sơ và thứ cấp và tiến hành thí nghiệm như nối  $\Delta$ /Y và ghi lại kết quả vào bảng 3 hoặc in.



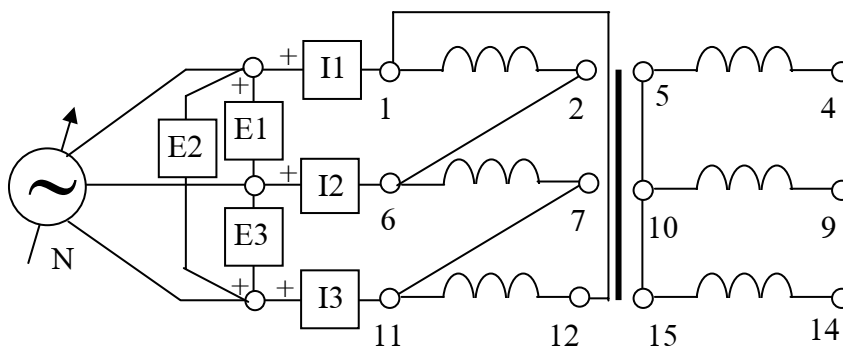
**Hình 1-11 : Sơ đồ đấu nối  $\Delta$  - Y**

**Trình tự tiến hành như sau :**

- + Như trường hợp máy biến áp nối  $\Delta$ -Y.
- + **Khảo sát sự lệch pha giữa các sđđ dây khi nối  $\Delta/\Delta$  trên Phasor Analyzer.**
- + Để nguyên cách nối dây như xác định tỉ số biến áp. Mở phân tích pha Phasor Analyzer và quan sát góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp  $U_{1-6}$  với điện áp dây thứ cấp  $U_{4-9}$  trên màn hình Phasor Analyzer. Ghi số liệu quan sát được vào bảng 3 hoặc in kết quả.
- + Tắt nguồn, vặn núm điều chỉnh điện áp về vị trí min tháo các dây nối.

**Hình 1.12 : Sơ đồ đấu nối  $\Delta$ - $\Delta$** **3. Thí nghiệm không tải :****Trình tự thí nghiệm :**

- + Đấu nối sơ đồ thí nghiệm như hình 1-13. (Đây là trường hợp đo công suất ba pha dùng hai wattmetre P1 và P3)
- + Hiển thị màn hình Metering và chọn đặt File cấu hình ES19-6.cfg.
- + Dùng E1, E2, E3 để đo điện áp dây  $U_{1-6}$ ,  $U_{1-11}$ ,  $U_{11-6}$  và I1, I2, I3 để đo dòng dây trên các pha trên mạch sơ cấp. Còn P1, P3 để đo công suất  $P_1$ ,  $P_3$  trên cửa sổ đo Metering (cách mắc này là đo công suất ba pha dùng hai wát mét). Để hở mạch thứ cấp, bật nguồn điều chỉnh điện áp tăng dần từ 0 đến 1,1Uđm. Trong quá trình tăng điện áp lấy ít nhất 10 trị số về dòng điện, điện áp và công suất  $P_1$ ,  $P_3$  trên cửa sổ đo Metering và ghi vào máy tính Sau đó mở bảng số liệu để in hoặc ghi vào bảng 4.

**Hình 1.13 : Sơ đồ thí nghiệm không tải**

Từ kết quả đo được xác định điện áp, dòng điện và công suất không tải theo như sau :

$$\text{Điện áp không tải : } U_0 = \frac{U_{1-6} + U_{6-11} + U_{11-1}}{3}$$

$$\text{Dòng điện không tải : } I_0 = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}$$

$$\text{Công suất không tải : } P_0 = P_1 + P_3 \text{ và } \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}U_0I_0}$$

Từ kết quả trên vẽ các đường đặc tính sau trên cùng một hệ trục tọa độ :

$$\cos \varphi_0 = f(U_0) \quad P_0 = f(U_0) \quad I_0 = f(U_0)$$

Cho nhận xét.

**Chú ý :** Xem cách lập bảng số liệu và vẽ đồ thị trong phần phụ lục E.

Sau khi ghi lại kết quả, tắt nguồn xoay nóm điều chỉnh điện áp về vị trí min, tháo dây nối.

#### 4. Thí nghiệm ngắn mạch

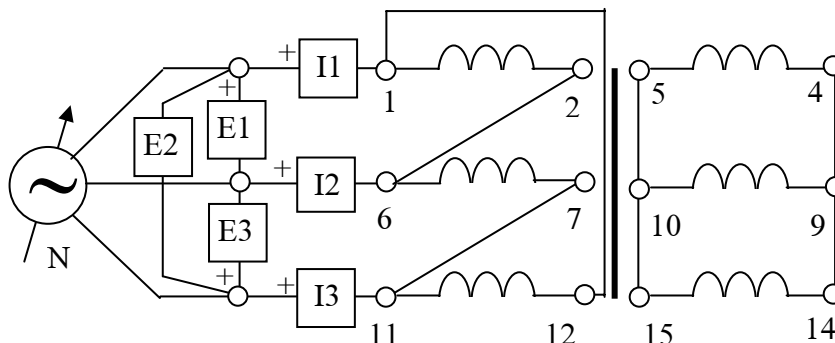
Chú ý rằng đây là thí nghiệm dễ xảy ra sự cố nếu sơ suất. Vì vậy cần lưu ý các trình tự tiến hành và khẩn trương.

Để thuận tiện cho việc thí nghiệm thường điện áp hạ áp đặt vào dây quấn cao áp và nối ngắn mạch dây quấn hạ áp của máy biến áp thí nghiệm. Dây nối ngắn mạch thường dùng đủ lớn để chịu được dòng ngắn mạch.

**Trình tự thí nghiệm :**

- + Đấu nối sơ đồ thí nghiệm như hình 1.14.
- + Hiện thị màn hình Metering và chọn đặt File cấu hình ES19-7.cfg.
- + Dùng E1, E2, E3 để đo điện áp dây  $U_{1-6}$ ,  $U_{1-11}$ ,  $U_{11-6}$  và I1, I2, I3 để đo dòng dây trên các pha trên mạch sơ cấp. Còn P1, P3 để đo công suất  $P_1$ ,  $P_3$ . Bật nguồn xoay nóm điều chỉnh tăng dần điện áp, hết sức từ từ sao cho dòng điện trong mạch sơ cấp đạt đến 1,2I<sub>dm</sub>. Lúc đó  $U_n \approx (5 \div 10)\%U_{dm}$ . Trong quá trình tăng lấy ít nhất 5 giá trị về dòng điện, điện áp và công suất  $P_1$ ,  $P_3$  trên cửa sổ đo Metering, ghi vào máy tính. Sau đó mở bảng số liệu để in hoặc ghi vào bảng 5.

Sơ đồ thí nghiệm như hình 1-14:



**Hình 1.14 Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch.**

+ Từ kết quả đo được xác định điện áp, dòng điện, công suất ngắn mạch :

Điện áp ngắn mạch : 
$$U_n = \frac{U_{1-6} + U_{6-11} + U_{11-1}}{3}$$

Dòng điện ngắn mạch : 
$$I_n = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}$$
 (đây là dòng dây)

Công suất ngắn mạch : 
$$P_n = P_1 + P_3$$

**5. Xác định các đại lượng và thông số mạch điện thay thế của mba từ thí nghiệm không tải và thí nghiệm ngắn mạch :**

**Chú ý :** Khi xác định các đại lượng và thông số mạch điện thay thế mba, ta sử dụng các đại lượng đo được ứng với điện áp hoặc dòng điện định mức.

+ Điện áp ngắn mạch phần trăm : 
$$U_n \% = \frac{U_n}{U_{dm}} . 100\%$$
 (ứng với dòng điện định mức)

+ Công suất ngắn mạch : 
$$P_n = P_1 + P_3$$
 (ứng với dòng điện định mức)

+ Dòng điện không tải phần trăm : 
$$i_0 \% = \frac{I_0}{I_{dm}} . 100\%$$
 (ứng với điện áp định mức)

+ Các thông số : 
$$r_0 = \frac{P_0}{3I_{0p}^2} ; Z_0 = \frac{U_{dmp}}{I_{0p}} ; x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2} ; r_m = r_0 - r_1 ;$$

$$r_n = \frac{P_n}{3I_{1dmp}^2} ; Z_n = \frac{U_{np}}{I_{1dmp}} ; x_n = \sqrt{Z_n^2 - r_n^2} ;$$

$$r_2 = r_n - r_1 ; x_1 = x_2 = x_n / 2 ; x_m = x_0 - x_1$$

+ Từ các thông số của máy biến áp đã xác định được thông qua thí nghiệm không tải và thí nghiệm ngắn mạch, vẽ sơ đồ thay thế máy biến áp (chỉ vẽ cho 1 pha).

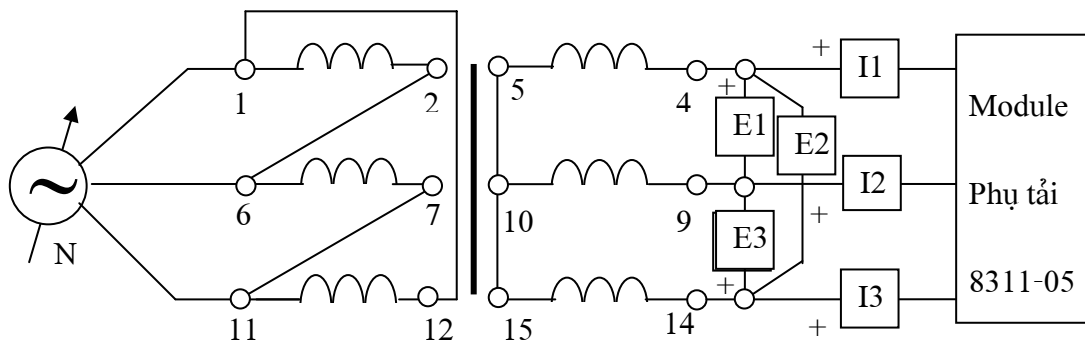
**6. Thí nghiệm có tải :**

**Trình tự thí nghiệm :**

+ Đấu nối sơ đồ thí nghiệm như hình 1.15.

+ Hiển thị màn hình Metering và chọn đặt File cấu hình ES19-8.cfg.

+ Dùng E1, E2, E3 để đo các điện áp dây của mạch thứ cấp và I1, I2, I3 để đo dòng điện trong mạch thứ cấp, Còn P1, P3 để đo công suất P<sub>1</sub>, P<sub>3</sub>.



**Hình 1.15 : Sơ đồ thí nghiệm có tải**

+ Bật nguồn xoay núm điều chỉnh tăng dần điện áp đến  $U_{dm}$ . Bậc công tắc của phụ tải, điều chỉnh phụ tải 3 pha đối xứng, mỗi lần điều chỉnh ghi lại số liệu, trong quá trình điều chỉnh luôn giữ cho điện áp sơ cấp ở giá trị  $U_{dm}$ . Ghi các giá trị đo được: dòng điện, điện áp và công suất vào bảng 6 (8-10 giá trị).

Trong bảng 7 :  $U_2 = \frac{E_{4-9} + E_{9-14} + E_{14-4}}{3}$  ;  $I_2 = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}$ .

Công suất ra :  $P_2 = P_1 + P_3 = \sqrt{3}U_2I_2 \cos \varphi_2$  vậy  $\cos \varphi_2 = P_2 / \sqrt{3}U_2I_2$

+ Nối Module tải trở **song song** với Module tải kháng thành tải R-L và sau đó với Module tải dung thành R-C. Thực hiện lại thí nghiệm với tải có tính cảm và có tính dung như như đã làm với tải trở, ghi các số liệu đo được vào bảng 6.

+ Tắt nguồn, xoay núm điều khiển điện áp về vị trí min. Tháo gỡ các dây nối.

+ Từ các số liệu đo được xác định hiệu suất của máy biến áp :

Hiệu suất lý thuyết :  $\eta\% = \frac{\beta S_{dm} \cos \varphi_2}{\beta S_{dm} \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_n} .100\%$ .

Trong đó :  $\beta = \frac{I_2}{I_{2dm}}$  là hệ số tải.

Từ số liệu đo được tính bảng số liệu các mối quan hệ :  $U_2, I_2, S_2, \beta, ..$  để vẽ đặc tính.

+ Vẽ đường đặc tính :  $U_2 = f(I_2)$  và  $\eta = f(\beta)$  với các tính chất tải khác nhau trên cùng đồ thị và nhận xét.

**Bảng 1**

Cuộn dây sơ cấp									
E1	E2	E3	I1	I2	I3	R1	R2	R3	R <sub>b</sub>
Cuộn dây thứ cấp									
E1	E2	E3	I1	I2	I3	R1	R2	R3	R <sub>b</sub>

**Bảng 2.**

E <sub>s</sub>	U <sub>1-6</sub>	U <sub>4-9</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K	Góc lệch pha
120							
240							
380							





**Bảng 6**

Số lần	Kết quả đo							Kết quả tính				
	$U_{1-6}$	$U_{6-11}$	$U_{11-1}$	$I_1$	$I_7$	$I_3$	$P_1$	$P_3$	$I_2$	$U_2$	$P_{tc}$	$\eta\%$
Tải thuần trở R												
1												
2												
3												
..												
Phụ Tải R-L												
1												
2												
3												
..												
Phụ Tải R-C												
1												
2												
3												
..												

**IV. CÂU HỎI KIỂM TRA**

1. Phân biệt các sơ đồ đấu nối MBA, điện áp, dòng điện dây và pha trên các cuộn dây trong các sơ đồ đấu nối.
3. Phân biệt thí nghiệm ngắn mạch và chế độ ngắn mạch.
4. Ý nghĩa của các đường đặc tính máy biến áp.
5. Cách xác định các thông số máy biến áp bằng thí nghiệm.
6. Cách tạo File cấu hình, bảng số liệu, lưu số liệu và vẽ đồ thị trong phần mềm Lab - Volt.

**Làm báo cáo Thí Nghiệm như tài liệu hướng dẫn.**