

## CHƯƠNG 3 CHẾ ĐỘ TẢI CỦA MÁY BIẾN ÁP

### 3.1 MỞ ĐẦU.

Khi phía sơ cấp máy biến áp được nối vào lưới điện xoay chiều, còn phía thứ cấp được nối vào bộ tiêu thụ năng lượng điện (phụ tải) ta gọi đó là chế độ tải của máy biến áp. Ở chế độ này, cuộn sơ cấp và thứ cấp đều có dòng điện chạy. Trong máy biến áp có một từ trường tổng do tác động tương hỗ giữa từ trường do dòng điện cuộn sơ cấp sinh ra và từ trường do cuộn thứ cấp sinh ra.

Ở chế độ tải tổn hao tăng so với chế độ không tải do có thêm tổn hao phía thứ cấp.

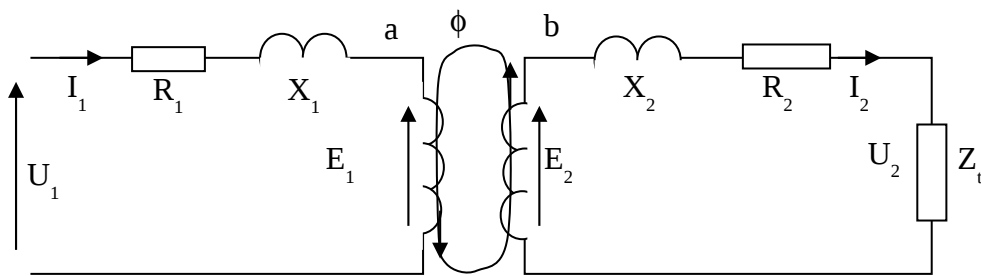
Chúng ta hãy nghiên cứu sâu chế độ này.

### 3.2 SƠ ĐỒ TƯƠNG ĐƯƠNG CỦA MÁY BIẾN ÁP Ở CHẾ ĐỘ TẢI.

Để chuyển một máy biến áp thực sang một sơ đồ điện tương đương chúng ta phải đảm bảo các nguyên tắc sau:

- Đảm bảo không thay đổi sự phân bố dòng điện trong máy biến áp;
- Đảm bảo không thay đổi về năng lượng và công suất;
- Đảm bảo không thay đổi về tổn hao.

Dựa theo nguyên tắc chuyển từ sơ đồ thực sang sơ đồ điện tương đương ta thấy, khi máy biến áp không tải, thì mỗi cuộn dây của biến áp có thể được thay bằng một điện trở thuần, một trở kháng tản còn sđđ cảm ứng được đặc trưng bằng trở kháng tổng  $X_{\mu}$ . Trên hình 3.1 biểu diễn sơ đồ tương đương của 2 cuộn dây máy biến áp khi có tải.



Hình 3.1 Sơ đồ tương đương 2 cuộn dây máy biến áp

Hình 3.1 chưa phải là sơ đồ tương đương của biến áp. Chúng ta không thể nối điểm a với điểm b vì  $W_1 \neq W_2$  nên  $E_1 \neq E_2$ . Nếu nối điểm a với điểm b thì sẽ có dòng chạy từ a đến b điều đó đã phá vỡ sự phân bố dòng trong máy biến áp. Để có thể nối điểm a với điểm b mà không chạy dòng điện, ta phải làm cho điện thế của điểm b bằng điểm a. Để làm điều đó ta đưa vào một sđđ tính toán  $E'_2$  có giá trị bằng  $E_1$ .

$$E'_2 = E_1$$

$$\text{Hay } E_2' = k_u E_2 \quad (3.1)$$

Sở dĩ như vậy vì  $\frac{E_1}{E_2} = k_u$  suy ra  $E_2 = \frac{E_1}{k_u}$  hay  $E_1 = E_2 \cdot k_u$ .

Khi thay  $E_2 = E_2'$  thì điện thế điểm b bằng điện thế điểm a. Bây giờ ta có thể nối điểm a với điểm b mà không có dòng điện chạy.

Để giữ cho công suất phía thứ cấp không đổi do điện áp tăng lên  $k_u$  lần thì dòng điện phải giảm đi  $k_u$  lần. (Vì  $S_2 = E_2 \cdot I_2$ ).

$$\text{Do đó } I_2' = \frac{I_2}{k_u} \quad (3.2)$$

Để tổn hao không đổi khi dòng điện giảm đi  $k_u$  lần, thì điện trở phải tăng lên  $k_u^2$  lần (vì tổn hao công suất tỷ lệ với bình phương điện trở).

$$\text{Nên } R_2' = R_2 k_u^2 \quad (3.3)$$

Bằng cách tính như vậy ta có:

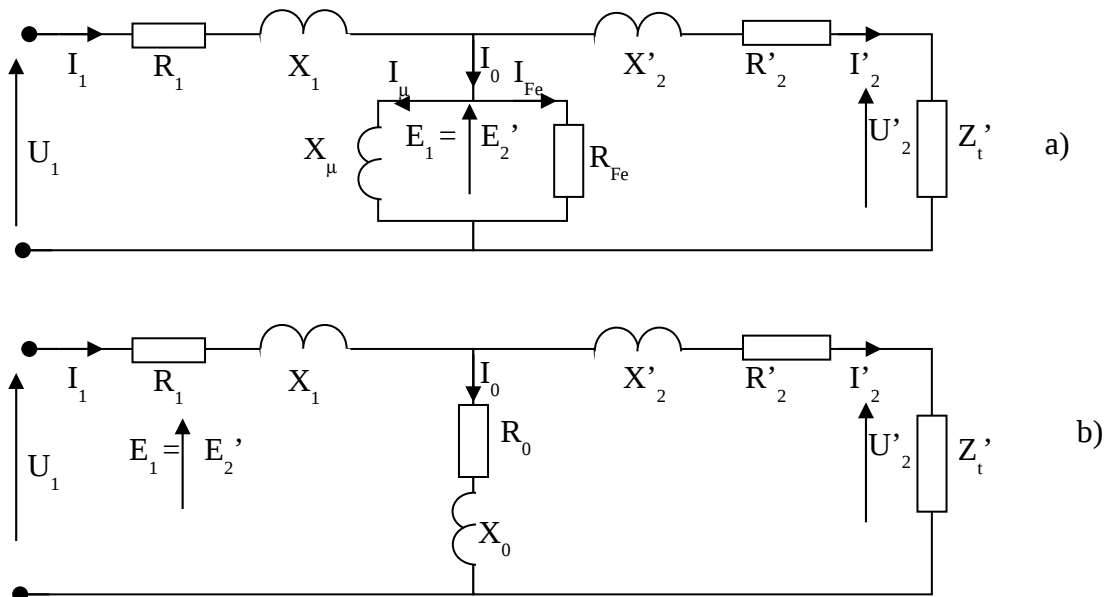
$$U_2' = U_2 \cdot k_u \quad (3.4)$$

$$X_2' = X_2 \cdot k_u^2 \quad (3.5)$$

$$Z_t' = Z_t k_u^2 \quad (3.5a)$$

Các đại lượng có dấu phẩy gọi là các đại lượng tính qui đổi từ phía thứ cấp sang sơ cấp. Người ta có thể tính qui đổi từ phía sơ cấp sang phía thứ cấp.

Sơ đồ tương đương của máy biến áp ở chế độ tải có dạng hình 3.2:



Hình 3.2 Sơ đồ tương đương máy biến áp khi tải :a) Sơ đồ mắc song song,

b) Sơ đồ mắc nối tiếp.

### 3.3 ĐỒ THỊ VEC TƠ CỦA MÁY BIẾN ÁP MỘT PHA.

Từ đồ thị véc tơ (hình 3.2) ta có các phương trình sau:

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

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 &= -\dot{E}_2 - \dot{I}_2' R_2 + jX_2' \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 &= \dot{I}_2' (R_2 + jX_2') = Z_2' \dot{I}_2 \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2$$

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_{Fe} + \dot{I}_\mu$$

$$\dot{F}_0 = \dot{F}_1 + \dot{F}_2$$

Để vẽ đồ thị véc tơ, thì về lý thuyết ta có thể bắt đầu từ một véc tơ bất kỳ. Song trong thực tế ta phải xác định xem véc tơ nào đã cho.

Ở biến áp các đại lượng cho trước thường là: điện áp, tần số ở phía nguồn cung cấp, giá trị và tính chất của tải ( $\cos\phi_2$ ).

Ta đặt véc tơ  $\phi$  nằm ngang (trùng với trục hoành). Véc tơ  $\dot{E}_1 = \dot{E}_2$  chậm sau  $\phi$  một góc  $90^\circ$ . Giả sử tải có tính cảm kháng nên dòng  $\dot{I}_2'$  chậm sau  $\dot{E}_2$  một góc  $\phi_2$ . Để vẽ được  $\dot{U}_2$  thì từ mũi véc tơ  $\dot{E}_2$  ta đặt một véc tơ  $j\dot{I}_2' X_2$  vượt trước  $\dot{I}_2'$  một góc  $90^\circ$  xác định được điểm B. Từ B vẽ véc tơ  $\dot{I}_2' R_2$  song song và trùng chiều với  $\dot{I}_2'$ , xác định được điểm C. Đoạn OC chính là véc tơ  $\dot{U}_2$ .

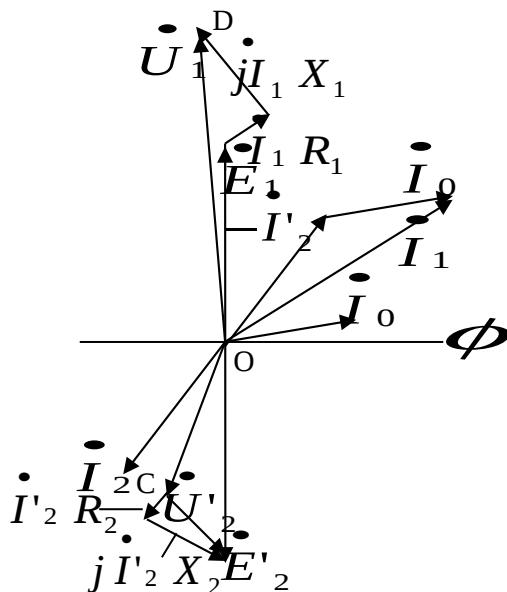
Thực vậy từ đồ thị ta có:

$$\overline{OC} = \dot{E}_2 - j\dot{I}_2' X_2 - \dot{I}_2' R_2 = \dot{I}_2' Z_2' = \dot{U}_2$$

Muốn vẽ véc tơ  $\dot{I}_1$  trước tiên vẽ véc tơ  $\dot{I}_0$  vượt trước  $\phi$  một góc  $\alpha$  ứng với tổn hao không tải, hoặc

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_{Fe} + \dot{I}_\mu$$

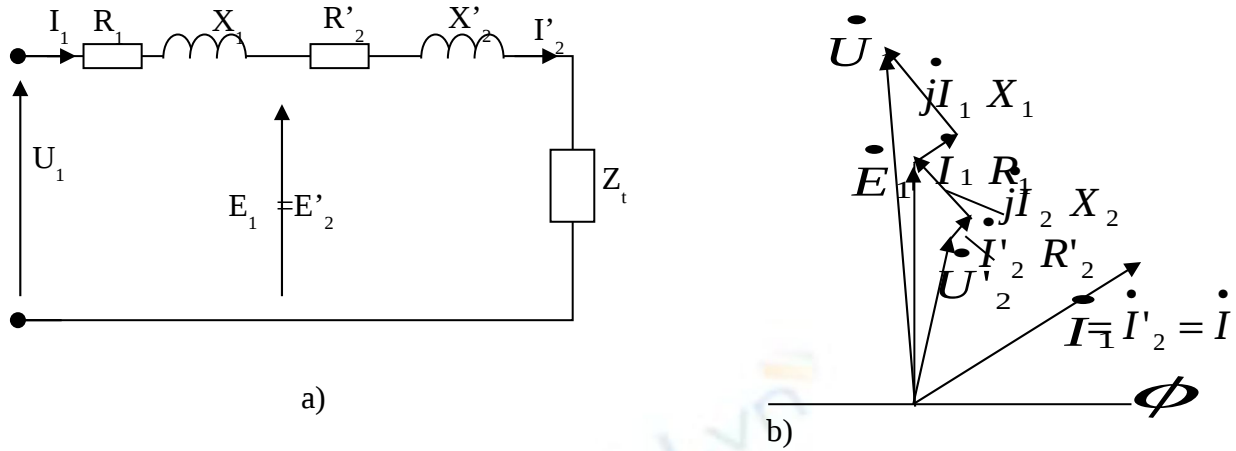
Rồi từ nút  $\dot{I}_0$  ta đặt véc tơ  $\dot{I}_2 = k_u^2 \dot{I}_2'$ . Nối với điểm đầu toạ độ ta được  $\dot{I}_1$  (hình 3.4)



Hình 3.4 Đồ thị véc tơ máy biến áp khi tải

Trên hình 3.4 ta vẽ không đúng tỷ lệ các đại lượng nhằm cho hình vẽ sáng sủa. Vì dòng  $I_0 = (0,01-0,1)I_{dm}$  nên khi tải định mức, ta có thể bỏ qua dòng  $I_0$ . Bỏ  $I_0$  cũng có nghĩa là bỏ nhánh giữa của sơ đồ tương đương (hình 3.5a), lúc này ta có đồ thị véc tơ như hình 3.5b.

Lưu ý rằng bỏ qua  $I_0$  trong tính toán chứ không bỏ trong nghiên cứu vì nếu bỏ  $I_0$  thì từ thông  $\phi=0$  lúc này  $E_1=E_2=0$  vậy còn gì là biến áp.



Hình 3.5 Đồ thị véc tơ máy biến áp khi tải bỏ qua dòng không tải: a) sơ đồ tương đương; b) Đồ thị véc tơ

Để dễ dàng so sánh các đại lượng khác nhau chúng ta cho dưới đây giá trị trung bình các điện trở của biến áp (cho ở đại lượng tương đối):

	Biến áp	
	Công suất nhỏ	công suất lớn
$R_1 \approx R'_2 \approx$	0,01	÷ 0.003
$X_1 \approx X'_2 \approx$	0,01	÷ 0.07
$X_{\mu} \approx$	10	÷ 100
$R_{Fe} \approx$	100	÷ 500
$Z_{tdm} \approx$	1	

Ở đây  $Z_{tdm}$  là tổng trở tải định mức của biến áp.

### 3.4. Tính chất của biến áp khi tải.

#### 3.4.1 Khái niệm

Để nghiên cứu tính chất của máy biến áp khi tải ta dựa vào sơ đồ tương đương và đồ thị véc tơ. Thông thường người sử dụng quan tâm tới  $U_1$ ,  $U_2$  và các độ sụt áp trên các điện trở của máy biến áp. Các đại lượng này nhận được từ đồ thị véc tơ. ( $U_1$ ,  $U_2$ ,  $\Delta U_{R1}$ ,  $\Delta U_{R2}$ ,  $\Delta U_{X1}$ ,  $\Delta U_{X2}$ ,  $E_1$ ,  $E_2$ ).

Giá trị dòng điện và tính chất tải quyết định vị trí của tam giác sụt áp.

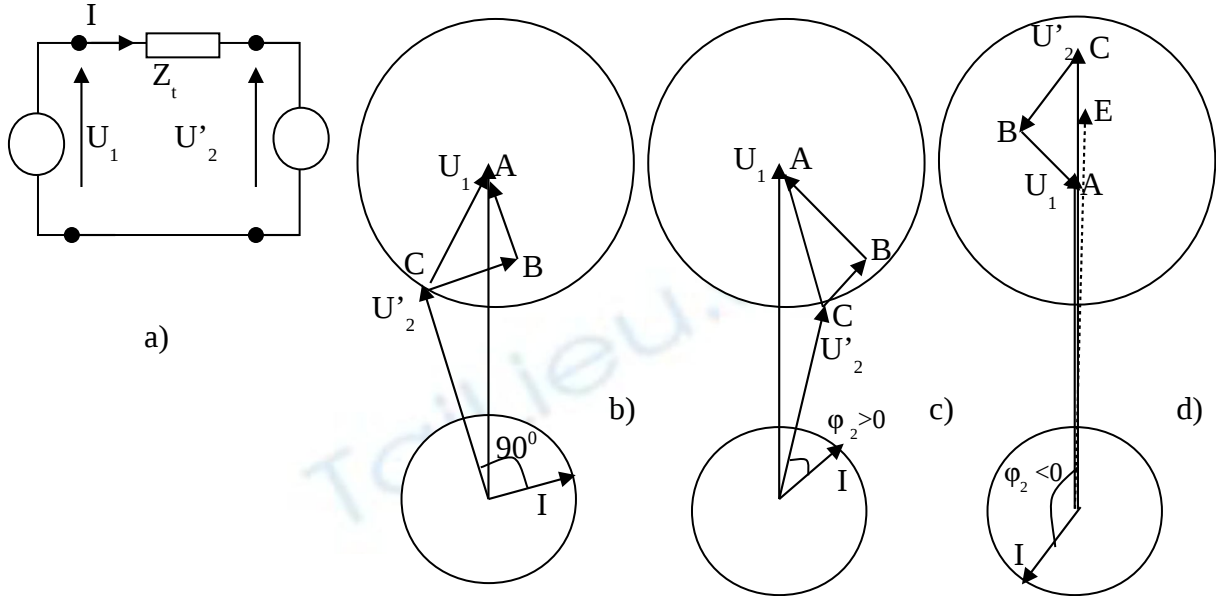
Khi điện áp nguồn cung cấp  $U_1 = \text{const}$  thì từ thông  $\phi = \text{const}$ . Sđđ cảm ứng trong cuộn dây tỷ lệ với số vòng dây. Khi số vòng dây không đổi, thì nếu biết  $E_1$  ta có thể tính được từ thông và tổn hao trong lõi thép. Từ thông tính theo (2.6) còn tổn hao lõi thép tính được:

$$\Delta P_{Fe} = CB^2 = C_1 \phi^2 = C_2 E_1^2 \quad (3.7)$$

Dưới đây ta nghiên cứu tính chất của máy biến áp khi tải.

3.4.2 Biến áp làm việc khi giá trị dòng tải không đổi nhưng tính chất tải thay đổi ( $\cos\varphi_2 = \text{var}$ ).

Giả thiết rằng giá trị điện áp, tần số nguồn nạp không đổi ( $U_1, f = \text{const}$ ) giá trị dòng tải  $I'_2 = \text{const}$  nhưng tính chất tải thay đổi ( $\cos\varphi_2 = \text{var}$ ), lúc này tam giác sụt áp ABC quay quanh điểm A là điểm mút của véc tơ  $U_1$  (hình 3.6)



Hình 3.6 Chế độ làm việc của biến áp với  $U_1 = \text{const}$ ,  $f = \text{const}$ ,  $I = \text{const}$ ,  $\cos\varphi_2 = \text{var}$

Trên hình 3.6 ta vẽ cho 3 trường hợp của góc tải  $\varphi_2 = 90^\circ$ ,  $\varphi_2 > 0$ , và  $\varphi_2 < 0$ . Từ hình vẽ chúng ta thấy:

-Khi điện áp nguồn cung cấp  $U_1 = \text{const}$  mà tính chất tải thay đổi ( $\cos\varphi_2 = \text{var}$ ) sẽ làm cho  $U_2 = \text{var}$ .

-Tổn hao các cuộn dây như nhau trong các chế độ nhưng tổn hao lõi thép khác nhau vì  $E_1 = \text{var}$

-Khi tải mang tính cảm kháng thì điện áp  $U'_2$  giảm, còn khi tải mang tính dung kháng thì  $U'_2$  tăng (hình 3.6c).

3.4.3 Biến áp làm việc khi giá trị dòng tải thay đổi nhưng tính chất tải không thay đổi ( $\cos\varphi = \text{const}$ ).

Vẫn có điện áp và tần số sơ cấp không đổi nhưng bây giờ giá trị dòng tải thay đổi mà giữ nguyên tính chất tải ( $\cos\varphi_2 = \text{const}$ ).

Dựa vào hình 3.7 ta có:

$$\alpha = \pi + \varphi_2 + \varphi_{ngm} = \text{const} \quad (\text{vì } \varphi_2 = \text{const}, \varphi_{ngm} = \text{const.})$$

Điều này cho phép ta dựng được một đường tròn qua 3 điểm ACD vì tam giác nội tiếp trong đường tròn chắn các cung không đổi.

Tâm O của đường tròn xác định bằng phương pháp sau: Qua điểm D dựng một đường thẳng K hợp với  $U_1$  một góc  $\beta$  thì đường trung tuyến của nó sẽ cắt tại điểm O. Đó chính là tâm đường tròn. Góc tính như sau:

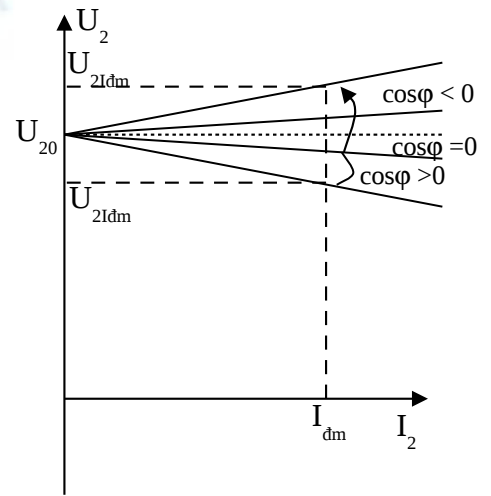
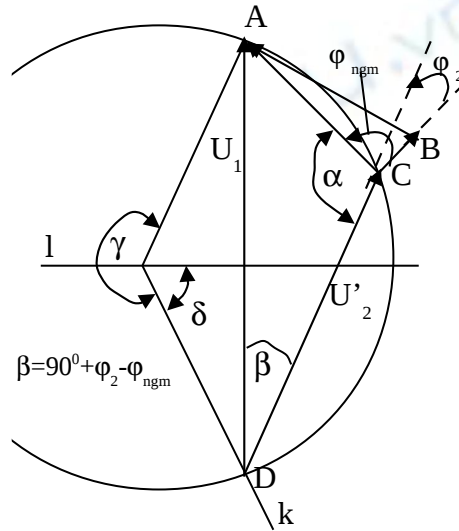
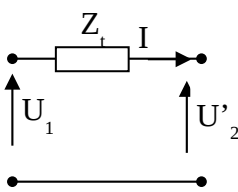
$$\beta = 90^\circ - \delta$$

mà  $\delta = \pi - \gamma / 2$  trong đó  $\gamma = 2\alpha$  vì nó là góc ở tâm đường tròn.

$$\text{vậy } \beta = 90^\circ \pm \varphi_2 - \varphi_{ngm}$$

Trước  $\varphi_2$  ta đặt dấu ‘ $\pm$ ’ là để chú ý tới tính chất của tải. Để dựng đường tròn ta cần biết  $U_1$ ,  $U'_2$  và  $\varphi_{ngm}$ . Sau khi dựng được đường tròn ta tìm được  $U'_2$ , khi  $\cos\varphi_2 = \text{const}$  và  $I'_2 = \text{var}$ . Với những giá trị  $\varphi_2$  khác nhau, góc  $\beta$  khác nhau, do đó ta có những đường tròn khác nhau. Tâm của đường tròn này chạy trên đường trung tuyến của AD. Chuyển từ không tải tới ngắn mạch, điểm C chuyển động trên cung AD từ A sang D (hình 3.7).

Đặc tính ngoài của biến áp là mối quan hệ giữa điện áp thứ cấp  $U_2$  với dòng  $I_2$  khi  $U_1$ ,  $f$  và  $\cos\varphi_2$  không đổi (hình 3.8).



Hình 3.7 Kiến trúc các điểm hình học trên sơ đồ véc tơ của biến áp ở điều kiện  $U_1 = \text{const}$ ,  $\cos\varphi_2 = \text{const}$ ,  $I = \text{var}$

Hình 3.8 Đặc tính ngoài của máy biến áp

### 3.4.4 Độ thay đổi điện áp

Một thông số nữa khá quan trọng của biến áp là hệ số thay đổi điện áp thứ cấp khi chuyển từ chế độ không tải sang tải định mức. Độ thay đổi tải định mức được định nghĩa như sau:

$$\delta_u \% = \frac{U_{20} - U_{2dm}}{U_{20}} 100\% \quad (3.8)$$

Trong đó  $U_{20}$  - điện áp thứ cấp khi không tải,  $U_{2dm}$  điện áp thứ cấp định mức,  $\delta_u\%$  còn có thể tính được như sau:

$$\Delta U_{Rđm} = \frac{R_{ngm} I_{dm}}{U_{dm}} 100 = \frac{R_{ngm} I_{dm}^2}{U_{dm} I_{dm}} 100 = \frac{\Delta P_{Cudm}}{S_{dm}} 100$$

$$\Delta U_{Xđm} = \frac{X_{ngm} I_{dm}}{U_{dm}} 100 = \sqrt{u_{ngm}^2 \Delta u_{Rđm}^2}$$

$$\delta_u \% \approx \beta (\Delta U_{Rđm} \cos\varphi_2 + \Delta U_{Xđm} \sin\varphi_2) + 0,005\beta^2 (U_{Rđm} \sin^2\varphi_2 - \Delta U_{Xđm} \cos\varphi_2)^2$$

Trong đó  $\beta = \frac{I}{I_{dm}}$

### 3.4.5 Điều chỉnh điện áp ở máy biến áp.

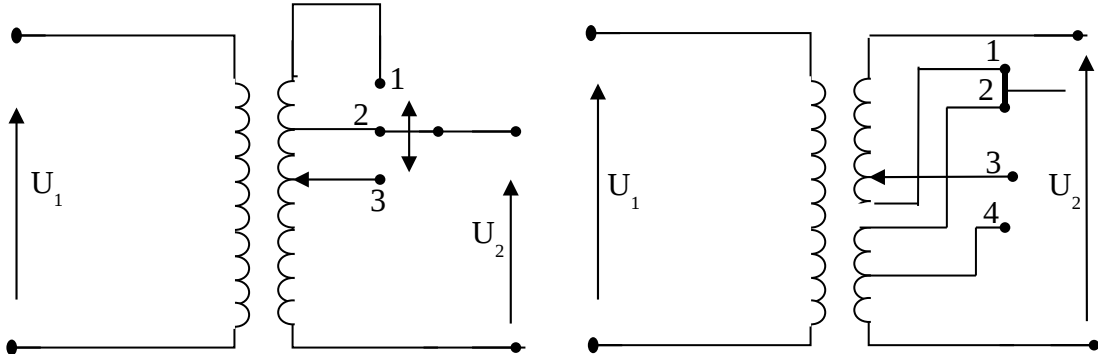
Trong thực tế kỹ thuật và trong đời sống hàng ngày, ta cần thay đổi điện áp sau biến áp.

Điện áp của máy biến áp có thể điều chỉnh bằng thay đổi số vòng dây phía sơ cấp hoặc phía thứ cấp một cách liên tục hay nhảy bậc.

Thông thường trong khai thác, để thay đổi điện áp, người ta thường thay đổi số vòng dây phía thứ cấp. Sở dĩ như vậy vì khi  $W_1 = \text{const}$ , từ thông của biến áp, tổn hao từ và dòng kích từ phụ thuộc vào tỷ số  $U_1/W_1$ . Tuy nhiên ở những biến áp có  $I_2 = \text{const}$  mà  $U_1 = \text{var}$  thì ta lại thay đổi số vòng dây  $W_1$  sao cho tỷ lệ  $U_1/W_1$  hầu như không đổi.

Ở những biến áp công suất lớn, cuộn sơ cấp và thứ cấp có phân nhánh cho phép ta điều chỉnh điện áp trong phạm vi  $\pm 5\%$ .

Ở những máy biến áp có công suất vừa và nhỏ người ta chia pha thành 3 phần (hình 3.9) và dùng bộ chuyển mạch để thay đổi số vòng dây. Các chuyển mạch này có cấu trúc đơn giản, giá thành rẻ. Thực hiện thay đổi số vòng dây sau khi ngắt biến áp khỏi tải. Để tránh bị ngắn mạch phía sơ cấp và thứ cấp, người ta thiết kế bộ chuyển mạch có cấu trúc sao cho nó chỉ hoạt động khi biến áp ngắt khỏi lưới cung cấp.



Hình 3.9 các phương pháp điều chỉnh điện áp ở máy biến áp

### 3.4.6 Tính toán biến áp một pha

Dưới đây trình bày tóm tắt các bước tính biến áp một pha công suất nhỏ. Những đại lượng cho trước:

- Điện áp xoay chiều phía sơ cấp  $U_1$ [V];
- Điện áp xoay chiều phía thứ cấp  $U_2$ [V];
- Dòng điện thứ cấp  $I_2$ [A];
- Công suất biến áp[VA].

Cần phải tìm:

- Loại và kích thước lõi thép;
- Số vòng cuộn dây;
- Đường kính cuộn dây;