

**Mục lục**

	<b>Trang</b>
Lời nói đầu .....	3
1 Phạm vi áp dụng .....	5
2 Tài liệu viện dẫn .....	5
3 Yêu cầu liên quan đến khả năng chịu ngắn mạch .....	6
4 Thể hiện khả năng chịu ngắn mạch .....	10
Phụ lục A (tham khảo) – Đánh giá lý thuyết khả năng chịu lực điện động của ngắn mạch .....	23
Phụ lục B (tham khảo) – Định nghĩa máy biến áp tương tự .....	38

**Lời nói đầu**

TCVN 6306-5 : 2006 thay thế TCVN 6306-5 : 1997 (IEC 76-5: 1994);

TCVN 6306-5 : 2006 hoàn toàn tương đương với tiêu chuẩn IEC 60076-5 : 2006;

TCVN 6306-5 : 2006 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn TCVN/TC/E1 *Máy điện và khí cụ điện* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ ban hành.

## Máy biến áp điện lực – Phần 5 : Khả năng chịu ngắn mạch

*Power transformers –*

*Part 5: Ability to withstand short circuit*

### 1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này quy định các yêu cầu đối với máy biến áp điện lực để chịu được mà không bị hỏng do hiệu ứng quá dòng có nguồn gốc là ngắn mạch từ bên ngoài. Tiêu chuẩn này mô tả các qui trình tính toán để thể hiện khả năng chịu nhiệt của máy biến áp điện lực để chịu các quá dòng điện như vậy, đồng thời đưa ra các thử nghiệm đặc biệt và phương pháp đánh giá lý thuyết để thể hiện khả năng chịu lực điện động liên quan. Các yêu cầu này áp dụng cho các máy biến áp được định nghĩa trong phạm vi áp dụng của TCVN 6306-1 (IEC 60076-1).

### 2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau đây là rất cần thiết để áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm ban hành thì áp dụng các bản được nêu. Đối với tài liệu viện dẫn không ghi năm ban hành thì áp dụng phiên bản mới nhất (kể cả các sửa đổi).

TCVN 6306-1 (IEC 60076-1), Máy biến áp điện lực – Phần 1: Qui định chung

TCVN 6306-3: 2006 (IEC 60076-3: 2000), Máy biến áp điện lực – Phần 3: Mức cách điện, thử nghiệm điện môi và khoảng cách ly bên ngoài trong không khí

IEC 60076-8:1997, Power transformers – Part 8: Application guide (Máy biến áp điện lực – Phần 8: Hướng dẫn áp dụng)

IEC 60076-11:2004, Power transformers – Part 11: Dry-type transformers (Máy biến áp điện lực – Phần 11: Máy biến áp loại khô)

### 3 Yêu cầu liên quan đến khả năng chịu ngắn mạch

#### 3.1 Qui định chung

Máy biến áp cùng với tất cả các thiết bị và phụ kiện phải được thiết kế và có kết cấu để chịu được các hiệu ứng nhiệt và hiệu ứng lực điện động do ngắn mạch từ bên ngoài ở các điều kiện qui định trong 3.2.

Ngắn mạch từ bên ngoài không chỉ giới hạn ở ngắn mạch ba pha; chúng bao gồm các sự cố giữa hai pha, giữa hai pha với đất và giữa pha với đất. Trong tiêu chuẩn này, dòng điện do các điều kiện này sinh ra chạy trong cuộn dây được gọi là quá dòng.

#### 3.2 Điều kiện quá dòng

##### 3.2.1 Xem xét chung

###### 3.2.1.1 Các điều kiện ứng dụng đòi hỏi phải xem xét đặc biệt

Các trường hợp sau đây ảnh hưởng đến biên độ, thời gian hoặc tần suất xuất hiện quá dòng đòi hỏi phải xem xét đặc biệt và phải nhận biết được một cách rõ ràng trong qui định của máy biến áp:

- máy biến áp điều chỉnh có trở kháng rất thấp, trở kháng này phụ thuộc vào trở kháng của thiết bị nối trực tiếp để hạn chế quá dòng;
- tổ máy biến áp – máy phát dễ bị ảnh hưởng bởi quá dòng lớn do nối máy phát vào hệ thống đồng bộ bên ngoài;
- máy biến áp nối trực tiếp với máy điện quay, ví dụ động cơ điện hoặc máy bù đồng bộ hoạt động như một máy phát cung cấp dòng điện vào máy biến áp trong điều kiện sự cố hệ thống;
- máy biến áp đặc biệt và máy biến áp lắp đặt trong hệ thống đặc trưng bởi các thông số sự cố cao (xem 3.2.6);

điện áp vận hành cao hơn điện áp danh định duy trì ở (các) đầu nối không có sự cố trong khi diễn ra một điều kiện sự cố.

###### 3.2.1.2 Giới hạn dòng điện liên quan đến máy biến áp kích áp

Nếu trở kháng phối hợp của máy biến áp kích áp và hệ thống dẫn đến các mức dòng điện ngắn mạch mà với mức đó việc thiết kế máy biến áp để chịu được là không kinh tế hoặc không khả thi, thì nhà chế tạo và người mua phải có thoả thuận chung về quá dòng cho phép lớn nhất. Trong trường hợp đó, người mua cung cấp các điều khoản để hạn chế quá dòng đến giá trị lớn nhất do nhà chế tạo xác định và được nêu trên tấm thông số đặc trưng.

##### 3.2.2 Máy biến áp có hai cuộn dây riêng biệt

3.2.2.1 Tiêu chuẩn này thừa nhận ba cấp công suất danh định của máy biến áp ba pha hoặc các tổ máy ba pha:



- cấp I: 25 kVA đến 2 500 kVA;
- cấp II: 2 501 kVA đến 100 000 kVA;
- cấp III: trên 100 000 kVA.

**3.2.2.2** Nếu không có qui định nào khác, dòng điện ngắn mạch đối xứng (đối với giá trị hiệu dụng, xem 4.1.2) phải được tính thông qua trở kháng ngắn mạch đo được của máy biến áp cộng với trở kháng của hệ thống.

Đối với máy biến áp thuộc cấp I, phải bỏ qua trở kháng của hệ thống khi tính dòng điện ngắn mạch nếu trở kháng này bằng hoặc nhỏ hơn 5 % trở kháng của máy biến áp.

Giá trị đỉnh của dòng điện ngắn mạch phải được tính theo 4.2.3.

**3.2.2.3** Giá trị trở kháng ngắn mạch nhỏ nhất được thừa nhận chung của máy biến áp tại dòng điện danh định (nấc điều chỉnh chính) được cho trong bảng 1. Nếu có yêu cầu giá trị thấp hơn thì khả năng chịu ngắn mạch của máy biến áp phải được thỏa thuận giữa người mua và nhà chế tạo.

**Bảng 1 – Giá trị trở kháng ngắn mạch nhỏ nhất được thừa nhận  
đối với máy biến áp có hai cuộn dây riêng biệt**

Trở kháng ngắn mạch ở dòng điện danh định	
Công suất danh định kVA	Trở kháng ngắn mạch nhỏ nhất %
25 đến 630	4,0
631 đến 1 250	5,0
1 251 đến 2 500	6,0
2 501 đến 6 300	7,0
6 301 đến 25 000	8,0
25 001 đến 40 000	10,0
40 001 đến 63 000	11,0
63 001 đến 100 000	12,5
trên 100 000	>12,5

CHÚ THÍCH 1: Nói chung các giá trị trở kháng ngắn mạch nhỏ nhất ứng với công suất danh định lớn hơn 100 000 kVA phải được thỏa thuận giữa nhà chế tạo và người mua.

CHÚ THÍCH 2: Trong trường hợp các khối một pha được đấu nối để tạo thành tổ máy ba pha, giá trị của công suất danh định được áp dụng cho thông số tổ máy ba pha.

**3.2.2.4** Công suất biểu kiến ngắn mạch của hệ thống tại vị trí đặt máy biến áp cần được người mua qui định trong bản yêu cầu để đạt được giá trị dòng điện ngắn mạch đối xứng dùng cho thiết kế và thử nghiệm.

Nếu công suất biểu kiến ngắn mạch của hệ thống không được qui định thì phải sử dụng giá trị cho trong bảng 2.

**Bảng 2 – Công suất biểu kiến ngắn mạch của hệ thống**

Điện áp cao nhất dùng cho thiết bị, $U_m$ KV	Công suất biểu kiến ngắn mạch MVA	
	Thực tế hiện hành ở Châu Âu	Thực tế hiện hành ở Bắc Mỹ
7,2; 12; 17,5 và 24	500	500
36	1 000	1 500
52 và 72,5	3 000	5 000
100 và 123	6 000	15 000
145 và 170	10 000	15 000
245	20 000	25 000
300	30 000	30 000
362	35 000	35 000
420	40 000	40 000
525	60 000	60 000
765	83 500	83 500

CHÚ THÍCH: Nếu không được qui định, giá trị từ 1 đến 3 phải được xem như tỷ số của trở kháng thứ tự không và trở kháng thứ tự thuận của hệ thống.

**3.2.2.5** Đối với máy biến áp có hai cuộn dây riêng biệt, thường chỉ quan tâm đến ngắn mạch ba pha vì xem xét trường hợp này là đủ về căn bản để khắc phục các loại sự cố khác có thể xảy ra (ngoại trừ trường hợp đặc biệt được xem xét trong chú thích 3.2.5).

CHÚ THÍCH: Trong trường hợp cuộn dây nối zigzag, dòng điện sự cố một pha với đất có thể đạt đến giá trị cao hơn dòng điện ngắn mạch ba pha. Tuy nhiên, các giá trị cao này bị hạn chế theo hai biên liên quan, đến một nửa cuộn dây và hơn nữa dòng điện chạy trong cuộn dây nối sao khác lại thấp hơn dòng điện ngắn mạch ba pha. Nguy hiểm của lực điện động tác động lên cuộn dây iếp cùng có thể cao hơn ở ngắn mạch ba pha hoặc một pha tùy thuộc vào thiết kế của cuộn dây. Nhà chế tạo và người mua nên thỏa thuận kiểu ngắn mạch nào cần quan tâm.

**3.2.3 Máy biến áp có nhiều hơn hai cuộn dây và máy biến áp tự ngẫu**

Quá dòng điện trong các cuộn dây, kể cả cuộn dây ổn định và cuộn dây phụ, phải được xác định từ các trở kháng của máy biến áp và (các) hệ thống. Phải tính đến các dạng khác của sự cố hệ thống khác có thể xảy ra trong khi vận hành, ví dụ, sự cố pha-đất và sự cố pha-pha kết hợp với các điều kiện nối đất máy biến áp và hệ thống liên quan (xem IEC 60076-8). Đặc trưng của mỗi hệ thống (ít nhất là ở mức công suất biểu kiến ngắn mạch và dây tỷ số giữa trở kháng thứ tự không và trở kháng thứ tự thuận) phải được người mua qui định trong bản yêu cầu.

Cuộn dây ổn định nối tam giác của máy biến áp ba pha phải có khả năng chịu được quá dòng do các dạng khác nhau của sự cố hệ thống gây ra mà các sự cố này có thể nảy sinh trong khi vận hành kết hợp với các điều kiện nối đất của hệ thống liên quan.

Trong trường hợp máy biến áp một pha đấu nối để tạo thành tổ máy ba pha, cuộn dây ổn định phải có khả năng chịu được ngắn mạch trên các đầu nối của nó, trừ khi người mua qui định phải thực hiện các biện pháp để phòng đặc biệt để tránh nguy hiểm do ngắn mạch pha-pha.

**CHÚ THÍCH:** Có thể không kinh tế khi thiết kế cuộn dây phụ để chịu các ngắn mạch trên các đầu nối của chúng. Trong các trường hợp này, mức quá dòng phải được hạn chế bằng các phương tiện thích hợp như các tụ điện nối tiếp hoặc cầu chảy trong một số trường hợp. Phải chú ý ngăn ngừa các sự cố trong vùng giữa máy biến áp và các thiết bị bảo vệ.

### 3.2.4 Máy biến áp kích áp

Trở kháng của máy biến áp kích áp có thể rất thấp và vì vậy quá dòng trong các cuộn dây được xác định chủ yếu bằng các đặc trưng của hệ thống tại vị trí đặt của máy biến áp. Các đặc trưng này phải được người mua qui định trong bản yêu cầu.

Nếu một máy biến áp kích áp được nối trực tiếp với một máy biến áp với mục đích thay đổi pha và/hoặc biên độ điện áp thì nó phải có khả năng chịu được quá dòng sinh ra do trở kháng kết hợp của cả hai máy biến áp này.

### 3.2.5 Máy biến áp nối trực tiếp với các thiết bị khác

Trong trường hợp máy biến áp nối trực tiếp với các thiết bị khác, trở kháng của nó sẽ hạn chế dòng điện ngắn mạch, trở kháng tổng của máy biến áp, hệ thống và thiết bị nối trực tiếp có thể được tính đến, theo thỏa thuận giữa người mua và nhà chế tạo.

Điều này được áp dụng, ví dụ, cho tổ máy biến áp máy phát nếu việc đấu nối giữa máy biến áp và máy phát được thực hiện theo cách làm cho khả năng xảy ra sự cố hai pha với đất hoặc sự cố pha-pha trong vùng này là không đáng kể.

**CHÚ THÍCH:** Nếu việc đấu nối giữa máy biến áp và máy phát được thực hiện theo cách này thì có thể xuất hiện điều kiện ngắn mạch nặng nề nhất, trong trường hợp tổ máy biến áp máy phát được nối sao/tam giác có trung tính nối đất, khi sự cố pha-đất xuất hiện trên hệ thống nối vào cuộn dây nối sao, hoặc trong trường hợp đồng bộ hóa lệch pha.

### 3.2.6 Máy biến áp đặc biệt và máy biến áp lắp đặt trong hệ thống có tỷ lệ sự cố cao

Khả năng máy biến áp chịu quá dòng thường xuyên phát sinh từ các ứng dụng cụ thể (ví dụ, máy biến áp lò hồ quang và biến áp đặt tĩnh tại cung cấp cho hệ thống kéo), hoặc điều kiện vận hành (ví dụ, số lượng sự cố xuất hiện nhiều trong (các) hệ thống được nối), phải được thỏa thuận riêng giữa nhà chế tạo và người mua. Dự báo bất cứ điều kiện vận hành không bình thường nào có thể xuất hiện trong (các) hệ thống phải được người mua nêu ra trước với nhà chế tạo.

### 3.2.7 Thiết bị điều chỉnh theo nấc

Thiết bị điều chỉnh nấc nếu được lắp đặt phải có khả năng mang quá dòng tương tự do ngắn mạch gây ra như các cuộn dây. Tuy nhiên, bộ điều chỉnh theo nấc ở điều kiện có tải không yêu cầu phải có khả năng đóng cắt dòng điện ngắn mạch.

### 3.2.8 Đầu nối trung tính

Đầu nối trung tính của cuộn dây nối sao hoặc ziczac phải được thiết kế để quá dòng điện cao nhất có thể chạy qua đầu nối này.

## 4 Thể hiện khả năng chịu ngắn mạch

Các yêu cầu trong điều này áp dụng cho cả máy biến áp loại ngâm trong dầu và máy biến áp loại khô như qui định trong TCVN 6306-1 (IEC 60076-1) và 60076-11 tương ứng.

### 4.1 Khả năng về nhiệt để chịu ngắn mạch

#### 4.1.1 Qui định chung

Theo tiêu chuẩn này, khả năng về nhiệt để chịu ngắn mạch phải được chứng minh bằng tính toán. Việc tính toán này được thực hiện phù hợp với các yêu cầu của các điều từ 4.1.2 đến 4.1.5.

#### 4.1.2 Giá trị của dòng điện ngắn mạch đối xứng I

Đối với máy biến áp ba pha có hai cuộn dây riêng biệt, giá trị hiệu dụng của dòng điện ngắn mạch đối xứng I phải được tính như sau:

$$I = \frac{U}{\sqrt{3} \times (Z_t + Z_s)} \quad (\text{kA}) \quad (1)$$

trong đó:

$Z_t$  là trở kháng ngắn mạch của hệ thống.

$$Z_s = \frac{U_s^2}{S}, \text{ tính bằng ôm } (\Omega) \text{ cho mỗi pha (nối sao tương đương)} \quad (2)$$

trong đó:

$U_s$  là điện áp danh định của hệ thống, tính bằng kilôvôn (kV);

$S$  là công suất ngắn mạch biểu kiến của hệ thống, tính bằng mêgavôn ampe (MVA).

$U$  và  $Z_t$  được xác định như sau:

a) đối với nấc chuyển đổi chính:

$U$  là điện áp danh định  $U_n$  của cuộn dây đang xét, tính bằng kilôvôn (kV);

$Z_1$  là trở kháng ngắn mạch của máy biến áp liên quan đến cuộn dây đang xét; tính như sau:

$$Z_1 = \frac{z_1 \times U_r^2}{100 \times S_r}, \text{ tính bằng } \Omega \text{ cho mỗi pha (nối sao tương đương)} \quad (3)$$

trong đó:

$z_1$  là trở kháng ngắn mạch đo được ở dòng điện và tần số danh định tại nấc điều chỉnh chính và tại nhiệt độ chuẩn, tính bằng phần trăm;

$S_r$  là công suất danh định của máy biến áp, tính bằng mega vôn ampe (MVA);

b) đối với các nấc điều chỉnh không phải là nấc điều chỉnh chính:

$U$  là điện áp nấc điều chỉnh<sup>2</sup> của cuộn dây đang xét, tính bằng kilôvôn (kV), nếu không có qui định khác;

$Z_1$  là trở kháng ngắn mạch của máy biến áp liên quan đến cuộn dây và nấc điều chỉnh đang xét, tính bằng  $\Omega$  cho mỗi pha.

Đối với máy biến áp có nhiều hơn hai cuộn dây, máy biến áp tự ngẫu, máy biến áp kích áp và máy biến áp kết hợp trực tiếp với các thiết bị khác, quá dòng được tính theo 3.2.3, 3.2.4 hoặc 3.2.5, nếu áp dụng được.

Đối với tất cả các máy biến áp, không kể những trường hợp đã nêu ở 3.2.2.2, ảnh hưởng của trở kháng ngắn mạch trong (các) hệ thống phải được xét đến.

CHÚ THÍCH: Ở cuộn dây nối zigzag, dòng điện ngắn mạch trong trường hợp sự cố một pha-đất có thể đạt đến giá trị cao hơn đáng kể so với ở sự cố ba pha. Sự gia tăng dòng điện này phải được quan tâm khi tính độ tăng nhiệt của cuộn dây nối zigzag.

#### 4.1.3 Thời gian của dòng điện ngắn mạch đối xứng

Thời gian của dòng điện  $I$  được dùng để tính khả năng về nhiệt để chịu ngắn mạch phải là 2 s nếu không có qui định về khoảng thời gian khác.

CHÚ THÍCH: Đối với máy biến áp tự ngẫu và đối với máy biến áp có dòng điện ngắn mạch vượt quá 25 lần dòng điện danh định, thời gian của dòng điện ngắn mạch dưới 2 s có thể chấp nhận được khi có thỏa thuận giữa người mua và nhà chế tạo.

#### 4.1.4 Giá trị nhiệt độ trung bình cho phép lớn nhất của mỗi cuộn dây

Nhiệt độ trung bình  $\theta_1$  của mỗi cuộn dây sau khi mang tải với dòng điện ngắn mạch đối xứng  $I$  có giá trị và thời gian lần lượt như qui định trong 4.1.2 và 4.1.3 không được vượt quá giá trị lớn nhất nêu trong bảng 3 tại bất kỳ vị trí nấc điều chỉnh nào.

<sup>1</sup> Ký hiệu  $Z_1$  và  $z_1$  ở đây được sử dụng thay cho  $Z$  và  $z$  một cách tương ứng, được chấp nhận cho cùng một đại lượng trong TCVN 6306-1 (IEC 60076-1), để làm rõ khi liên quan đến nội dung của 4.2.3.

<sup>2</sup> Định nghĩa điện áp nấc điều chỉnh, xem 5.2 của TCVN 6306-1 (IEC 60076-1).

Nhiệt độ ban đầu của cuộn dây  $\theta_0$  được dùng trong công thức (4) và (5) phải tương ứng với tổng nhiệt độ môi trường cho phép lớn nhất và độ tăng nhiệt của cuộn dây ở các điều kiện danh định được đo bằng phương pháp điện trở. Nếu chưa có sẵn giá trị độ tăng nhiệt đo được của cuộn dây thì nhiệt độ ban đầu của cuộn dây  $\theta_0$  phải tương ứng với tổng nhiệt độ môi trường cho phép lớn nhất và độ tăng nhiệt cho phép đối với hệ thống cách điện của cuộn dây.

**Bảng 3 – Nhiệt độ trung bình cho phép lớn nhất của mỗi cuộn dây sau ngắn mạch**

Loại máy biến áp	Nhiệt độ hệ thống cách điện °C (cấp chịu nhiệt ghi trong ngoặc)	Nhiệt độ lớn nhất °C	
		Đồng	Nhôm
Ngâm trong dầu	105 (A)	250	200
Khô	105 (A)	180	180
	120 (E)	250	200
	130 (B)	350	200
	155 (F)	350	200
	180 (H)	350	200
	200	350	200
	220	350	200

CHÚ THÍCH 1: Trong trường hợp cuộn dây làm bằng hợp kim nhôm có độ bền kéo cao, cho phép nhiệt độ lớn nhất có giá trị cao hơn nhưng không vượt quá các giá trị liên quan đến đồng, theo thỏa thuận giữa người mua và nhà chế tạo.

CHÚ THÍCH 2: Khi hệ thống cách điện không phải là cấp chịu nhiệt A được dùng cho máy biến áp loại ngâm trong dầu thì cho phép nhiệt độ lớn nhất có giá trị khác, theo thỏa thuận giữa người mua và nhà chế tạo.

**4.1.5 Tính nhiệt độ  $\theta_1$**

Nhiệt độ trung bình  $\theta_1$  đạt được trong cuộn dây sau ngắn mạch phải được tính bằng công thức sau:

$$\theta_1 = \theta_0 + \frac{2 \times (\theta_0 + 235)}{106\,000} \left( \frac{J^2 \times t}{J^2 \times t} - 1 \right) \quad \text{đối với đồng} \quad (4)$$

$$\theta_1 = \theta_0 + \frac{2 \times (\theta_0 + 225)}{45\,700} \left( \frac{J^2 \times t}{J^2 \times t} - 1 \right) \quad \text{đối với nhôm} \quad (5)$$

trong đó:

$\theta_0$  là nhiệt độ ban đầu của cuộn dây, tính bằng độ C (°C);

$J$  là mật độ dòng điện ngắn mạch, dựa trên giá trị hiệu dụng của dòng điện ngắn mạch đối xứng, tính bằng ampe trên milimét vuông ( $A/mm^2$ );

$t$  là thời gian, tính bằng giây (s).

CHÚ THÍCH: Công thức (4) và (5) dựa trên điều kiện đoạn nhiệt và chỉ có giá trị trong thời gian ngắn, không quá 10 s. Các hệ số dựa trên tính chất của vật liệu như sau:

	Đồng	Nhôm
Tỷ nhiệt ở 100 °C (J/kg. °C)	398,4	928
Khối lượng riêng ở 100 °C ( $kg/m^3$ )	8 894	2 685
Điện trở suất ở 100 °C ( $\mu\Omega.m$ )	0,022 4	0,035 5

## 4.2 Khả năng chịu ảnh hưởng của lực điện động do ngắn mạch

### 4.2.1 Qui định chung

Nếu người mua yêu cầu, khả năng chịu ảnh hưởng của lực điện động do ngắn mạch phải được chứng minh:

- bằng thử nghiệm, hoặc
- bằng cách tính và xem xét thiết kế và chế tạo.

Việc chọn sử dụng phương pháp nào phải có thỏa thuận giữa người mua và nhà chế tạo trước khi hợp đồng.

Khi đã chọn thử nghiệm ngắn mạch, thử nghiệm này phải được xem là một thử nghiệm đặc biệt (xem 3.11.3 của TCVN 6306-1 (IEC 60076-1)) và phải được qui định trước khi hợp đồng. Thử nghiệm phải được thực hiện phù hợp với yêu cầu của các điều từ 4.2.2 đến 4.2.7.

Máy biến áp có công suất lớn đôi khi không thể thử nghiệm theo tiêu chuẩn này, ví dụ do các hạn chế về thử nghiệm. Trong các trường hợp này, điều kiện thử nghiệm phải được thỏa thuận giữa người mua và nhà chế tạo.

Khi chọn cách chứng minh dựa trên tính toán và xem xét thiết kế và chế tạo thì phải theo hướng dẫn nêu trong phụ lục A.

### 4.2.2 Điều kiện của máy biến áp trước khi thử nghiệm ngắn mạch

4.2.2.1 Nếu không có qui định khác, các thử nghiệm phải được thực hiện trên máy biến áp chưa qua sử dụng và sẵn sàng đưa vào vận hành. Các thiết bị bảo vệ như rơle điều khiển dầu-khí và thiết bị giảm áp suất phải được gắn trên máy biến áp trong quá trình thử nghiệm.

CHÚ THÍCH: Không yêu cầu phải gắn các thiết bị không gây ảnh hưởng tới hoạt động trong quá trình ngắn mạch (ví dụ thiết bị làm mát thảo rời được).

4.2.2.2 Trước khi thử nghiệm ngắn mạch, máy biến áp phải chịu các thử nghiệm thường xuyên được qui định trong TCVN 6306-1 (IEC 60076-1). Tuy nhiên, không yêu cầu thử nghiệm xung sét ở giai đoạn này.

Nếu cuộn dây có nấc điều chỉnh, điện kháng và cả điện trở, nếu yêu cầu, phải được đo tại vị trí nấc mà thử nghiệm ngắn mạch sẽ được thực hiện.

Tất cả phép đo điện kháng phải có độ tái lập tốt hơn ± 0,2 %.

Hồ sơ thử nghiệm gồm kết quả của các thử nghiệm thường xuyên phải có sẵn trước khi thử nghiệm ngắn mạch.

4.2.2.3 Khi bắt đầu thử nghiệm ngắn mạch, nhiệt độ trung bình của cuộn dây tốt nhất là trong khoảng từ 10 °C đến 40 °C (xem 10.1 của TCVN 6306-1 (IEC 60076-1)).

Trong quá trình thử nghiệm, nhiệt độ cuộn dây có thể tăng do mạch vòng của dòng điện ngắn mạch. Việc này phải được xem xét khi bố trí mạch điện thử nghiệm dùng để thử máy biến áp cấp I.

**4.2.3. Thử nghiệm giá trị dòng điện đỉnh  $\hat{i}$  đối với máy biến áp hai cuộn dây**

Thử nghiệm phải được thực hiện với dòng điện không đối xứng về pha cần thử nghiệm là lớn nhất.

Biên độ  $\hat{i}$  của đỉnh đầu tiên của dòng điện thử nghiệm không đối xứng được tính như sau:

$$\hat{i} = I \times k \times \sqrt{2} \tag{6}$$

trong đó dòng điện ngắn mạch đối xứng  $I$  được xác định theo 4.1.2.

Hệ số  $k$  tính cho sự mất cân bằng ban đầu của dòng điện thử nghiệm và  $\sqrt{2}$  tính cho giá trị đỉnh – hiệu dụng của sóng hình sin.

Hệ số  $k \times \sqrt{2}$ , hoặc hệ số đỉnh, phụ thuộc vào tỷ số  $X/R$

trong đó:

$X$  là tổng điện kháng của máy biến áp và hệ thống ( $X_t + X_s$ ), tính bằng ôm ( $\Omega$ );

$R$  là tổng điện trở của máy biến áp và hệ thống ( $R_t + R_s$ ), tính bằng ôm ( $\Omega$ ), trong đó  $R_t$  là điện trở ở nhiệt độ chuẩn (xem 10.1 của TCVN 6306-1 (IEC 60076-1)).

Khi trở kháng ngắn mạch của hệ thống được kể đến trong tính toán dòng điện ngắn mạch thì tỷ số  $X/R$  của hệ thống, nếu không được qui định phải được giả thiết là bằng tỷ số  $X/R$  của máy biến áp. Bảng 4 qui định giá trị của hệ số đỉnh là hàm của tỷ số  $X/R$  sử dụng trong thực tế <sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Bảng 4 dựa trên công thức sau đối với hệ số đỉnh:

$$k \times \sqrt{2} = \left( 1 + \left( e^{-(\phi + \pi/2)R/X} \right) \sin \phi \right) \times \sqrt{2}$$

trong đó:

$e$  là cơ số logarit tự nhiên

$\phi$  là góc pha bằng  $\text{arctg } X/R$ , tính bằng radian



Bảng 4 – Giá trị đối với hệ số  $k \times \sqrt{2}$ 

X/R	1	1,5	2	3	4	5	6	8	10	14
$k \times \sqrt{2}$	1,51	1,64	1,76	1,95	2,09	2,19	2,27	2,38	2,46	2,55

CHÚ THÍCH: Đối với các giá trị X/R khác từ 1 đến 14, hệ số  $k \times \sqrt{2}$  có thể được xác định bằng phương pháp nội suy tuyến tính.

CHÚ THÍCH: Khi  $Z_s < 0,05 Z_i$ , có thể sử dụng  $x_i$  và  $r_i$  thay cho  $X_i$  và  $R_i$  (tính bằng ôm) đối với các điều chỉnh chính, trong đó:

- $x_i$  là thành phần điện kháng của  $z_i$ , tính bằng phần trăm (%);
- $r_i$  là thành phần điện trở của  $z_i$ , ở nhiệt độ chuẩn, tính bằng phần trăm (%);
- $z_i$  là trở kháng ngắn mạch của máy biến áp, ở nhiệt độ chuẩn, tính bằng phần trăm (%).

Nếu không có qui định khác, trong trường hợp  $X/R > 14$  hệ số  $k \times \sqrt{2}$  được giả thiết bằng:

$$1,8 \times \sqrt{2} = 2,55 \text{ đối với máy biến áp cấp II;}$$

$$1,9 \times \sqrt{2} = 2,69 \text{ đối với máy biến áp cấp III.}$$

#### 4.2.4 Dung sai của giá trị đỉnh không đối xứng và giá trị hiệu dụng đối xứng của dòng điện thử nghiệm ngắn mạch

Nếu thời gian của thử nghiệm ngắn mạch đủ dài thì dòng điện không đối xứng có biên độ đỉnh đầu tiên  $i$  sẽ chuyển thành dòng điện đối xứng có giá trị hiệu dụng  $I$  (xem 4.1.2).

Giá trị đỉnh của dòng điện đạt được trong thử nghiệm không được sai lệch quá 5 % và dòng điện đối xứng không được sai lệch quá 10 % từ giá trị qui định tương ứng.

#### 4.2.5 Qui trình thử nghiệm ngắn mạch đối với máy biến áp có hai cuộn dây

4.2.5.1 Để đạt được dòng điện thử nghiệm theo 4.2.4, điện áp không tải của nguồn có thể cao hơn điện áp danh định của cuộn dây được cung cấp. Ngắn mạch của cuộn dây có thể xảy ra trước (ngắn mạch xác lập trước) hoặc sau (ngắn mạch xác lập sau) đặt điện áp vào cuộn dây còn lại của máy biến áp<sup>4</sup>.

Nếu sử dụng cách ngắn mạch xác lập sau thì điện áp phải không quá 1,15 lần điện áp danh định của cuộn dây, nếu không có thỏa thuận nào khác giữa nhà chế tạo và người mua.

<sup>4</sup> Qui trình thử nghiệm khác gồm việc đặt đồng thời hai điện áp ngược pha nhau vào hai cuộn dây thử nghiệm. Hai cuộn dây này có thể được cấp nguồn từ cùng nguồn công suất hoặc từ hai nguồn công suất đồng bộ riêng biệt. Phương pháp này có lợi trong việc ngăn ngừa bão hòa lõi sắt và làm giảm công suất yêu cầu của nguồn.

## TCVN 6306-5 : 2006

Nếu sử dụng cách ngắt mạch xác lập trước đối với máy biến áp có các cuộn dây đồng trục đơn, nguồn cung cấp tốt nhất là nối với cuộn dây ở xa lõi sắt nhất. Cuộn dây gần lõi sắt hơn được nối tắt để tránh bão hòa lõi từ mà sự bão hòa này có thể dẫn đến dòng điện từ hóa quá mức xếp chồng lên dòng điện ngắt mạch trong một vài chu kỳ đầu.

Khi các tiện nghi thử nghiệm có sẵn yêu cầu nguồn cung cấp cần được nối với cuộn dây bên trong, phải thực hiện các biện pháp để phòng đặc biệt để ngăn ngừa dòng điện từ hoá tràn vào, ví dụ, bằng sự từ hoá trước của lõi sắt.

Đối với máy biến áp có cuộn dây xen kẽ hoặc máy biến áp có cuộn dây đồng trục kép, phương pháp ngắt mạch xác lập trước chỉ được dùng sau khi có thỏa thuận giữa người mua và nhà chế tạo.

Để tránh bị hỏng do quá nhiệt, phải có một khoảng thời gian nghỉ thích hợp giữa hai lần đặt quá dòng liên tiếp. Thời gian này phải được xác định theo thỏa thuận giữa nhà chế tạo và người mua.

CHÚ THÍCH: Khi máy biến áp thử nghiệm thuộc cấp I, có thể cần xem xét sự thay đổi của hệ số X/R do tăng nhiệt độ trong quá trình thử nghiệm và thiết lập căn cứ để bù lại trong mạch thử nghiệm.

**4.2.5.2** Để đạt đến giá trị dòng điện đỉnh ban đầu (xem 4.2.3) trong cuộn dây pha khi thử nghiệm, thời điểm đóng phải được điều chỉnh bằng phương tiện đóng cắt đồng bộ.

Để kiểm tra giá trị  $i$  và  $I$  của dòng điện thử nghiệm, phải thường xuyên ghi lại các giá trị này trên máy hiện sóng.

Để đạt được sự không đối xứng lớn nhất của dòng điện trên một trong các cuộn dây pha, thao tác đóng điện phải được thực hiện ở thời điểm điện áp đặt vào cuộn dây đi qua điểm không.

CHÚ THÍCH 1: Đối với cuộn dây nối sao, sự không đối xứng lớn nhất đạt được bằng cách đóng điện khi điện áp pha đi qua điểm không. Hệ số  $k$  của giá trị đỉnh  $i$  có thể được xác định từ biểu đồ dao động của dòng điện dây. Đối với các thử nghiệm ba pha trên cuộn dây nối tam giác, điều kiện này đạt được bằng cách đóng mạch khi điện áp pha-pha đi qua điểm không. Một trong các phương pháp xác định hệ số  $k$  là đóng điện khi các thử nghiệm điều chỉnh sơ bộ ở điện áp pha-pha lớn nhất. Trong trường hợp này, hệ số  $k$  được thấy từ biểu đồ dao động của dòng điện dây.

Một phương pháp khác để xác định dòng điện pha trong cuộn dây nối tam giác bằng cách đấu nối thích hợp cuộn dây thứ cấp của máy biến dòng đo dòng điện dây. Có thể dùng máy hiện sóng để ghi dòng điện pha.

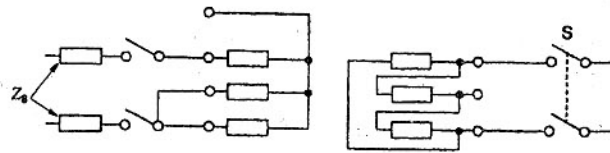
CHÚ THÍCH 2: Đối với máy biến áp nối sao-ziczac thuộc cấp I và biến thiên điện áp từ thông không đổi có giá trị  $x_1/r_1 \leq 3$  (xem 4.2.3), ba pha được đóng điện đồng thời nhưng không sử dụng thiết bị đóng cắt đồng bộ. Đối với máy biến áp nối sao-ziczac khác, phương pháp đóng điện phải được thỏa thuận giữa nhà chế tạo và người mua.

**4.2.5.3** Về nguyên tắc, tần số của nguồn thử nghiệm phải là tần số danh định của máy biến áp. Tuy nhiên, nếu có thỏa thuận giữa người mua và nhà chế tạo thì có thể cho phép thử nghiệm máy biến áp 60 Hz với nguồn cung cấp 50 Hz và máy biến áp 50 Hz với nguồn cung cấp 60 Hz với điều kiện là đạt được giá trị dòng điện thử nghiệm qui định như yêu cầu ở 4.2.3 và 4.2.4.

Qui trình này đòi hỏi điện áp của nguồn thử nghiệm được điều chỉnh thích hợp liên quan đến điện áp danh định của máy biến áp.

**4.2.5.4** Đối với máy biến áp ba pha, nên dùng nguồn cung cấp ba pha miễn là các yêu cầu của 4.2.4 có thể được đáp ứng. Nếu không, có thể sử dụng nguồn cung cấp một pha như mô tả dưới đây. Đối với cuộn dây nối tam giác, nguồn cung cấp một pha được đưa vào giữa hai góc của tam giác và điện áp trong quá trình thử nghiệm phải giống như điện áp giữa các pha trong thử nghiệm ba pha. Đối với cuộn dây nối sao, điện áp một pha được cung cấp giữa một đầu nối pha và hai đầu nối pha khác nối với nhau. Điện áp một pha trong thử nghiệm phải bằng  $\sqrt{3}/2$  lần điện áp giữa các pha trong quá trình thử nghiệm ba pha.

Ví dụ về hai khả năng bố trí thử nghiệm một pha mô phỏng thử nghiệm ba pha được cho trên hình 1 và hình 2.

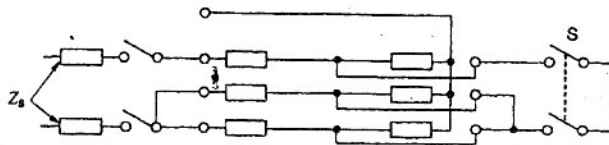


**Các linh kiện**

$Z_s$  trở kháng hệ thống thử nghiệm;

S thiết bị đóng cắt đồng bộ dùng cho ngắt mạch xác lập sau hoặc thanh nối cứng dùng cho ngắt mạch xác lập trước.

**Hình 1 - Máy biến áp nối sao/tam giác**



**Các linh kiện**

$Z_s$  trở kháng hệ thống thử nghiệm;

S thiết bị đóng cắt đồng bộ dùng cho ngắt mạch xác lập sau hoặc thanh nối cứng dùng cho ngắt mạch xác lập trước.

**Hình 2 - Máy biến áp tự ngẫu nối sao/sao**

**CHÚ THÍCH 1:** Việc sử dụng các thử nghiệm có nguồn cung cấp một pha chủ yếu áp dụng cho máy biến áp cấp II hoặc cấp III mà ít khi dùng cho máy biến áp cấp I.

**CHÚ THÍCH 2:** Đối với cuộn dây nối sao có cách điện không đồng nhất, cần phải kiểm tra cách điện của trung tính có đủ cho thử nghiệm một pha hay không.

**CHÚ THÍCH 3:** Đối với cuộn dây nối sao, nếu nguồn điện không đủ cho thử nghiệm một pha mô tả ở trên và trung tính sẵn có thì nhà chế tạo và người mua có thể thỏa thuận dùng nguồn điện một pha giữa đầu nối pha và trung tính, với điều kiện là trung tính có thể mang dòng liên quan. Với bố trí thử nghiệm này, có thể thuận tiện cho việc

đầu nối qua lại các đầu cực tương ứng của các pha không được đưa đến thử nghiệm để điều khiển điện áp của chúng tốt hơn, miễn là điều này có thể thực hiện và cách bố trí mạch điện là đúng.

**4.2.5.5.** Nếu không có qui định cụ thể, số lượng thử nghiệm trên máy biến áp ba pha và một pha được xác định như dưới đây, không bao gồm các thử nghiệm hiệu chỉnh ban đầu được thực hiện ở dòng điện nhỏ hơn 70 % dòng điện qui định để kiểm tra chức năng đúng của thử nghiệm thiết lập ở thời điểm đóng điện, kiểm tra giá trị đặt dòng điện, sự tắt dần và khoảng thời gian.

Đối với máy biến áp một pha cấp I và cấp II, số lượng thử nghiệm phải là ba. Nếu không có qui định khác, ba thử nghiệm trên máy biến áp một pha có nấc điều chỉnh được thực hiện ở các vị trí khác nhau của bộ điều chỉnh nấc, tức là một thử nghiệm ở vị trí tương ứng với tỷ số điện áp cao nhất, một thử nghiệm trên nấc điều chỉnh chính và một thử nghiệm ở vị trí tương ứng với tỷ số điện áp thấp nhất.

Đối với máy biến áp ba pha cấp I và cấp II, tổng số thử nghiệm phải là chín, tức là, ba thử nghiệm trên mỗi pha. Nếu không có qui định khác, chín thử nghiệm trên máy biến áp ba pha có nấc điều chỉnh được thực hiện ở các vị trí khác nhau của bộ điều chỉnh nấc, ví dụ, ba thử nghiệm ở vị trí tương ứng với tỷ số điện áp cao nhất trên một trong các pha ngoài, ba thử nghiệm ở nấc điều chỉnh chính trên pha giữa và ba thử nghiệm ở vị trí tương ứng với tỷ số điện áp thấp nhất trên một pha ngoài khác.

Đối với máy biến áp cấp III, cần có thỏa thuận giữa người mua và nhà chế tạo về số lượng thử nghiệm và vị trí đầu ra của bộ chuyển đổi. Tuy nhiên, để mô phỏng được càng sát với ảnh hưởng của việc ngắn mạch lặp lại sẽ xảy ra trong vận hành, để cho phép việc giám sát tốt hơn hoạt động của máy biến áp trong thử nghiệm và để cho phép phán đoán có ý nghĩa trong cách đấu nối với các thay đổi có thể của trở kháng đo ngắn mạch được, số lượng thử nghiệm nên như sau:

- ba thử nghiệm đối với máy biến áp một pha;
- chín thử nghiệm đối với máy biến áp ba pha.

Khi có xét đến vị trí đầu ra của bộ chuyển đổi và qui trình thử nghiệm, nên sử dụng qui trình tương tự như qui định cho máy biến áp cấp I và II.

Thời gian của mỗi thử nghiệm phải là:

- 0,5 s đối với máy biến áp cấp I,
- 0,25 s đối với máy biến áp cấp II và III,

với dung sai là  $\pm 10\%$ .

#### **4.2.6 Qui trình thử nghiệm ngắn mạch đối với máy biến áp có nhiều hơn hai cuộn dây và máy biến áp tự ngẫu**

Có thể xem xét các điều kiện sự cố khác nhau có thể được xem xét đối với máy biến áp có nhiều hơn hai cuộn dây và máy biến áp tự ngẫu (xem 3.2.3). Nói chung, các điều kiện này rất phức tạp so với ngắn mạch ba pha mà được xem là trường hợp chuẩn đối với máy biến áp hai cuộn dây (xem 3.2.2.5).

Mạch điện thử nghiệm đặc biệt thường cần để tái lập một số sự cố bằng các biện pháp thử nghiệm. Phải lựa chọn các chế độ thử nghiệm cần thực hiện, theo qui tắc, dựa trên sự phân tích kết quả tính toán lực điện động xuất hiện ở tất cả các trường hợp sự cố có thể.

Bố trí thử nghiệm, giá trị dòng điện, qui trình và số lượng thử nghiệm luôn phải được thỏa thuận giữa nhà chế tạo và người mua.

Khuyến cáo rằng dung sai của giá trị dòng điện ở thử nghiệm đã được thỏa thuận và thời gian của thử nghiệm phải nằm trong các giá trị đã qui định cho máy biến áp hai cuộn dây và qui trình thử nghiệm được chọn theo sự gia tăng dự kiến của lực điện động.

#### **4.2.7 Phát hiện các sự cố và đánh giá kết quả thử nghiệm**

**4.2.7.1** Trước khi thử nghiệm ngắn mạch, các phép đo và thử nghiệm phải được thực hiện theo 4.2.2 và role được điều khiển bằng dầu-khí (nếu có) đã được kiểm tra. Các phép đo và thử nghiệm này được xem là chuẩn đối với việc phát hiện sự cố.

**4.2.7.2** Trong thời gian tiến hành mỗi thử nghiệm (kể cả thử nghiệm sơ bộ), các ghi chép dạng dao động ký phải được thực hiện cho:

- điện áp đặt;
- dòng điện (xem 4.2.5.2).

Ngoài ra, phía ngoài của máy biến áp cần thử nghiệm phải được quan sát bằng mắt và ghi hình liên tục.

**CHÚ THÍCH 1:** Các phương tiện phát hiện bổ sung có thể được dùng để có được thông tin và cải thiện việc đánh giá các trường hợp trong thử nghiệm, ví dụ như ghi dòng điện giữa thùng máy (được cách điện) và đất, ghi mức ồn và rung, ghi sự thay đổi của áp suất dầu xuất hiện ở các vị trí khác nhau bên trong thùng máy khi có dòng ngắn mạch chạy qua, v.v...

**CHÚ THÍCH 2:** Việc tác động ngẫu nhiên của role được điều khiển bằng dầu-khí có thể xảy ra trong các thử nghiệm do rung. Trường hợp này là không đáng kể đối với khả năng chịu ngắn mạch của máy biến áp ngoại trừ có khí dễ cháy ở role.

**CHÚ THÍCH 3:** Có thể xuất hiện phóng điện tạm thời qua điểm nối của thùng máy tại thời điểm đóng điện và phóng điện bên trong ở các điểm nối khung tại thời điểm đóng điện và ngắn mạch.

**4.2.7.3** Sau mỗi thử nghiệm, kiểm tra biểu đồ dao động ghi lại trong quá trình thử nghiệm, kiểm tra role điều khiển dầu-khí, nếu có, và đo điện kháng ngắn mạch. Đối với máy biến áp ba pha, điện kháng đo được phải được đánh giá trên cơ sở 'từng pha', hoặc bằng cách đo trực tiếp điện kháng pha-trung tính trong trường hợp cuộn dây nối sao hoặc rút ra từ kết cấu cuộn dây tam giác bằng phương pháp thích hợp.

**CHÚ THÍCH 1:** Các biện pháp đánh giá bổ sung có thể được dùng để chứng minh kết quả thử nghiệm, ví dụ như đo trở kháng cuộn dây, kỹ thuật thử nghiệm xung điện áp thấp (để so sánh giữa biểu đồ dao động thu được trong trạng thái ban đầu và các biểu đồ sau thử nghiệm), phân tích phổ đáp tuyến tần số, phân tích chức năng truyền, đo dòng điện không tải và so sánh kết quả phân tích khí phát ra trước và sau thử nghiệm.

CHÚ THÍCH 2: Bất cứ sự chênh lệch nào giữa các kết quả của phép đo thực hiện trước và sau thử nghiệm có thể được dùng như một tiêu chí để xác định các khuyết tật có thể. Điều quan trọng là trong khoảng thời gian thực hiện các thử nghiệm liên tiếp, phải quan sát các thay đổi có thể về điện kháng ngắn mạch đo được sau mỗi thử nghiệm điện kháng này có thể tăng liên tục hoặc tiến về không.

CHÚ THÍCH 3: Để phát hiện sự cố kế tiếp, nên thực hiện phép đo trở kháng ngắn mạch từ phía điện áp cao cũng như từ phía điện áp thấp.

**4.2.7.4** Sau khi hoàn thành các thử nghiệm, phải kiểm tra phía ngoài của máy biến áp và role điều khiển dầu-khí, nếu có. Phải kiểm tra các kết quả của phép đo điện kháng ngắn mạch và biểu đồ dao động ghi được trong những thời điểm khác nhau của thử nghiệm để phát hiện bất kỳ hiện tượng bất thường có thể có trong thử nghiệm, đặc biệt là phát hiện sự thay đổi của điện kháng ngắn mạch.

CHÚ THÍCH 1: Ở cuối các thử nghiệm, nếu cuộn dây có nấc điều chỉnh, điện kháng phải được đo ở tất cả các vị trí nấc mà tại đó thực hiện các thử nghiệm ngắn mạch.

CHÚ THÍCH 2: Nói chung, sự thay đổi của điện kháng ngắn mạch cần thể hiện xu hướng giảm trong quá trình thử nghiệm. Cũng có thể có sự thay đổi nhất định của trở kháng theo thời gian sau các thử nghiệm. Vì vậy, nếu có sự thay đổi lớn của trở kháng vượt quá giới hạn qui định, dựa trên các phép đo được thực hiện ngay sau thử nghiệm thì để đảm bảo, nên lặp lại các phép đo sau một khoảng thời gian để kiểm tra xem có thay đổi nữa hay không. Giá trị điện kháng đo được sau khoảng thời gian này được chấp nhận là giá trị cuối khi được xác định phù hợp với yêu cầu của tiêu chuẩn.

Các qui trình khác nhau được tiến hành ở giai đoạn này đối với các máy biến áp cấp I, cấp II và cấp III. Các qui trình này và giới hạn trở kháng được nêu trong mục a) và b) dưới đây.

a) Máy biến áp cấp I và cấp II

Nếu không có thỏa thuận khác, bộ phận tác động phải được tháo ra khỏi thùng máy để kiểm tra lõi và cuộn dây rồi so sánh với trạng thái của nó trước thử nghiệm, để phát hiện các các nhược điểm có thể thấy được như thay đổi vị trí dây dẫn, sự xô dịch, v.v... có thể gây nguy hiểm cho sự vận hành an toàn của máy biến áp, mặc dù các thử nghiệm thường xuyên là đạt yêu cầu.

Tất cả các thử nghiệm thường xuyên, kể cả thử nghiệm điện môi tại 100 % giá trị thử nghiệm qui định (xem TCVN 6306-3 (IEC 60076-3)), phải được lặp lại. Nếu có qui định thử nghiệm xung sét thì phải thực hiện ở giai đoạn này. Tuy nhiên, đối với máy biến áp cấp I, cho phép bỏ qua việc lặp lại các thử nghiệm thường xuyên, trừ thử nghiệm điện môi.

Để coi máy biến áp đã đạt các thử nghiệm ngắn mạch, các điều kiện sau phải được thỏa mãn.

- 1) Kết quả các thử nghiệm ngắn mạch, các phép đo và các hạng mục kiểm tra, thực hiện trong quá trình thử nghiệm không được có bất kỳ biểu hiện nào của điều kiện sự cố.
- 2) Thử nghiệm điện môi và các thử nghiệm thường xuyên khác, nếu áp dụng được, phải lặp lại đạt yêu cầu và thử nghiệm xung sét, nếu qui định, cũng phải được thực hiện đạt yêu cầu.



- 3) Kiểm tra khi không có thùng máy không phát hiện thấy bất kỳ sai lệch nào đáng kể như sự xê dịch, đổi các lớp, biến dạng cuộn dây, kết cấu đỡ hoặc các mối nối mà có thể gây nguy hiểm cho sự vận hành an toàn của máy biến áp.
- 4) Không tìm thấy vết phóng điện bên trong.
- 5) Giá trị điện kháng ngắn mạch, tính bằng ôm cho mỗi pha ở cuối thử nghiệm không lệch so với giá trị ban đầu quá:
  - 2 % đối với máy biến áp có cuộn dây đồng trục, tròn<sup>5</sup> và cuộn dây không tròn xen kẽ. Tuy nhiên, đối với máy biến áp có lá kim loại là dây dẫn trong cuộn dây điện áp thấp và có công suất danh định lên tới 10 000 kVA, chấp nhận các giá trị cao hơn, nhưng không quá 4 %, đối với máy biến áp có trở kháng ngắn mạch là 3 % hoặc lớn hơn. Nếu trở kháng ngắn mạch nhỏ hơn 3 % thì giới hạn 4 % ở trên phải được thỏa thuận giữa người mua và nhà chế tạo;
  - 7,5 % đối với máy biến áp có cuộn dây đồng trục không tròn có trở kháng ngắn mạch 3 % hoặc lớn hơn. Giá trị 7,5 % có thể được giảm xuống theo thỏa thuận giữa người mua và nhà chế tạo, nhưng không được dưới 4 %.

CHÚ THÍCH 3: Đối với các máy biến áp có cuộn dây đồng trục không tròn có trở kháng ngắn mạch dưới 3 %, sự thay đổi lớn nhất về điện kháng không thể qui định theo cách chung. Kiến thức thực tế về một số kiểu kết cấu dẫn tới sự chấp nhận đối với các máy biến áp này có sự thay đổi bằng  $(22,5 - 5,0 Z)$  %, Z, là trở kháng ngắn mạch tính bằng phần trăm.

CHÚ THÍCH 4: Máy biến áp nằm trong dãy bên trên của máy biến áp cấp II và có điện áp cao nhất dùng cho thiết bị  $U_m$  không quá 52 kV phải được chú ý đặc biệt và có thể yêu cầu điều chỉnh giới hạn thay đổi điện kháng trên đây.

Nếu không đáp ứng được bất kỳ điều kiện nào nêu trên thì phải tháo máy biến áp, nếu cần, để tìm nguyên nhân dẫn đến sai lệch.

#### b) Máy biến áp cấp III

Bộ phận hoạt động phải được chế tạo có thể nhìn thấy được để kiểm tra lõi thép và các cuộn dây và so sánh với trạng thái của nó trước thử nghiệm, để phát hiện các khuyết tật có thể thấy được như thay đổi vị trí của dây dẫn, sự xê dịch, v.v... mà có thể gây ra nguy hiểm cho sự vận hành an toàn của máy biến áp mặc dù các thử nghiệm thường xuyên là đạt yêu cầu.

Tất cả các thử nghiệm định kỳ, kể cả thử nghiệm điện môi tại 100 % giá trị thử nghiệm qui định (xem TCVN 6306-3 (IEC 60076-3)), phải được lặp lại. Nếu có qui định thử nghiệm xung sét thì thử nghiệm này phải được thực hiện trong thời gian này.

<sup>5</sup> Cuộn dây tròn bao gồm tất cả các cuộn dây cuộn lại theo dạng hình trụ, mặc dù, ví dụ như do có sự xuất hiện của các dây dẫn ra trong cuộn dây lá kim loại nên hình dạng trụ có thể bị lệch cục bộ.

Để coi như máy biến áp đã đạt các thử nghiệm ngắn mạch, máy biến áp phải thỏa mãn các điều kiện dưới đây.

- 1) Kết quả các thử nghiệm ngắn mạch, các phép đo và các hạng mục kiểm tra được thực hiện trong thử nghiệm không có bất kỳ biểu hiện nào của điều kiện sự cố.
- 2) Các thử nghiệm định kỳ được lặp lại đạt yêu cầu và thử nghiệm xung sét, nếu qui định, được thực hiện đạt yêu cầu.
- 3) Kiểm tra khi không có thùng máy không phát hiện thấy bất kỳ sai lệch nào đáng kể như sự xô dịch, đổi các lớp, biến dạng cuộn dây, kết cấu đỡ hoặc các mối nối mà chúng có thể gây nguy hiểm đến sự vận hành an toàn của máy biến áp.
- 4) Không tìm thấy vết phóng điện bên trong.
- 5) Giá trị điện kháng ngắn mạch, tính bằng ôm cho mỗi pha ở cuối thử nghiệm, không được chênh lệch với giá trị ban đầu quá 1 %.

Nếu sự thay đổi điện kháng nằm trong phạm vi từ 1 % đến 2 %, thì việc chấp nhận giá trị này phải có thỏa thuận giữa người mua và nhà chế tạo. Trong trường hợp này, có thể yêu cầu kiểm tra chi tiết hơn, kể cả tháo máy biến áp khi cần để phát hiện nguyên nhân gây sai lệch. Tuy nhiên, trước khi tháo, nên áp dụng các phương pháp chẩn đoán bổ sung (xem 4.2.7.3, chú thích 1).

CHÚ THÍCH 5: Liên quan đến tác động kinh tế về chi phí của máy biến áp cấp III và chi phí liên quan của xem xét bằng mắt toàn bộ các phần bên trong máy biến áp, nên chụp một loạt ảnh về các vị trí dây dẫn của cuộn dây, nắp điều chỉnh, sắp xếp các miếng đệm và kết cấu của các bộ phận cách điện ở đầu ra, v.v... để cho phép so sánh chính xác các bộ phận trước và sau thử nghiệm. Trong trường hợp này, có thể có ích khi kiểm tra độ ép dọc trục của cuộn dây. Nếu cần thì phải có thỏa thuận giữa các bên liên quan để chấp nhận tồn tại của sự dịch chuyển nhỏ và các thay đổi nhỏ, miễn là không ảnh hưởng đến độ tin cậy trong vận hành của máy biến áp.



## Phụ lục A

(tham khảo)

### Đánh giá lý thuyết khả năng chịu lực điện động của ngắn mạch

#### A.1 Phạm vi áp dụng

Phụ lục này nêu các hướng dẫn đối với việc đánh giá lý thuyết khả năng chịu lực điện động do ngắn mạch của máy biến áp điện lực, dựa trên việc tính và xem xét đặc tính của thiết kế và thực tế sản xuất.

#### A.2 Qui định chung

Đánh giá lý thuyết khả năng chịu lực điện động do ngắn mạch của máy biến áp điện lực bao gồm việc xem xét thiết kế liên quan đến khía cạnh độ bền cơ chủ yếu của máy biến áp. Tài liệu cần cho mục đích này bao gồm tất cả các dữ liệu kỹ thuật cần thiết như tờ dữ liệu về thiết kế bên trong, tính toán dòng ngắn mạch, lực điện từ và ứng suất cơ, được bổ sung bằng các bản vẽ, qui định về vật liệu, thực tế sản xuất và hướng dẫn quy trình, v.v..., được lập ra cho mục đích qui định cho thiết kế điện từ và thiết kế cơ của máy biến áp hoặc là một phần của tài liệu kỹ thuật của nhà chế tạo.

Việc xem xét thiết kế cần kiểm tra giá trị ứng suất và lực cơ học quyết định xuất hiện trong thiết kế như là kết quả của điều kiện sự cố qui định. Các giá trị này phải được so sánh tương ứng một-một với máy biến áp chuẩn đã thử nghiệm ngắn mạch đạt yêu cầu, với điều kiện là máy biến áp đang xét là tương tự<sup>6</sup> hoặc phải được kiểm tra dựa vào các qui tắc thiết kế của nhà chế tạo về độ bền ngắn mạch.

Xem xét thiết kế được mô tả trong phụ lục này chủ yếu áp dụng cho máy biến áp cấp II và cấp III.

Đối với máy biến áp cấp I, thường được chia thành các lô được bán với số lượng lớn, qui trình đánh giá bao gồm thực hiện thử nghiệm chịu ngắn mạch trên một hoặc hai lô là tối thiểu. Thử nghiệm ngắn mạch một hoặc hai lô của một đơn hàng với số lượng lớn thường được xem là cách nhanh nhất và rẻ nhất để kiểm tra sự phù hợp. Tuy nhiên, đối với các máy biến áp này, cũng có thể chấp nhận qui trình đánh giá bao gồm xem xét thiết kế.

Đối với máy biến áp cấp II và cấp III, thừa nhận rằng đôi khi nhà chế tạo khó có thể tìm được máy biến áp chuẩn tương tự như máy biến áp đang xét trong hồ sơ phù hợp để so sánh. Trong trường hợp này, để đánh giá, có thể so sánh đồng thời máy biến áp với một số lượng giới hạn các máy biến áp đã thử nghiệm ngắn mạch đạt yêu cầu ở các điều kiện mà từng đặc trưng của máy biến áp đang xét bằng với đặc trưng tương ứng của ít nhất một trong số các máy biến áp được chọn làm chuẩn, như liệt kê trong phụ lục B.

<sup>6</sup> Phụ lục B để cập đến định nghĩa về máy biến áp tương tự.

Ví dụ, đánh giá thiết kế của máy biến áp tự ngẫu ba pha có cuộn dây thứ ba nối tam giác ở công suất giảm có thể chia thành hai phần, đó là:

- đối với cuộn dây chung và cuộn dây nối tiếp: so sánh với dữ liệu thiết kế liên quan đến máy biến áp tự ngẫu ba pha không có cuộn dây thứ ba;
- đối với cuộn dây thứ ba: so sánh với máy biến áp ba pha có cuộn dây thứ ba ở công suất giảm, mà ở công suất đó, cuộn dây thứ ba đã được thử nghiệm.

### **A.3 Hướng dẫn tiến hành xem xét thiết kế**

#### **A.3.1 Qui định chung**

Xem xét thiết kế nên bao gồm các bước dưới đây.

- Kiểm tra máy biến áp dựa trên tài liệu kỹ thuật thích hợp.
- Đánh giá máy biến áp, hoặc:
  - bằng cách so sánh với máy biến áp chuẩn đã được thử nghiệm ngắn mạch đạt yêu cầu, hoặc
  - bằng cách kiểm tra dựa trên các quy tắc thiết kế của nhà chế tạo về độ bền ngắn mạch.
- Kết quả xem xét thiết kế và công nhận chính thức máy biến áp.

#### **A.3.2 Thông tin liên quan để đánh giá máy biến áp**

Các bằng chứng mà nhà chế tạo cần đưa ra để xem xét thiết kế gồm các hạng mục sau đây.

- a) Tờ dữ liệu thiết kế điện từ cần cho tính toán.
- b) Bản vẽ hoặc bản phác thảo cuộn dây hoàn chỉnh và cách bố trí cách điện trong cửa sổ lõi, có chỉ ra loại vật liệu.
- c) Phép tính giá trị dòng điện ngắn mạch (cả giá trị đỉnh và giá trị hiệu dụng đối xứng) ảnh hưởng đến từng cuộn dây đơn do các yêu cầu về chế độ vận hành qui định và loại sự cố cần xem xét, và do vị trí của nắp điều chỉnh trong trường hợp (các) cuộn dây có nắp điều chỉnh.
- d) Tính lực ngắn mạch chính (giá trị đỉnh xuất hiện ở đỉnh cao nhất của dòng điện kỳ vọng), có liên quan đến trường hợp sự cố, vị trí nắp điều chỉnh, vị trí tương đối và vị trí hình học của cuộn dây được xem xét về thiết kế. Các thông tin đầy đủ phải được đưa ra nếu kết cấu hình học đơn giản hoá nào đó được chấp nhận cho cuộn dây, lõi và thùng máy để tính trường từ rò và lực điện từ.

Lực ngắn mạch dọc trục của máy biến áp kiểu lõi và lực ngắn mạch hướng tâm với máy biến áp kiểu vỏ rất nhạy với vị trí tương đối của cuộn dây có lực từ động trái dấu. Nhà chế tạo nên qui định lượng dịch chuyển do dung sai chế tạo đã xét đến cũng như kết cấu cuộn dây (các mặt phẳng đối xứng và các điều kiện biên) được giả định để tính lực ngắn mạch.

Các lực điện từ dưới đây cần được xem xét.

- Với máy biến áp kiểu lõi:
  - lực hướng tâm hoặc lực li tâm trên từng cuộn dây;
  - lực ép dọc trục lớn nhất trên từng cuộn dây ( $F_c^7$ );
  - lực hướng trục lớn nhất (hướng lên/hướng xuống) trên từng cuộn dây;
  - lực biên dọc trục lớn nhất trên vòng ép (tấm ép), nếu có, và trên các kẹp lõi;
  - lực ép tác động lên các lõi ra dây của từng cuộn dây hạ áp chính ( $T^8$ ).
- Với máy biến áp kiểu vỏ
  - lực dọc trục tác động lên từng cuộn dây và trên các nhóm cuộn dây tại phía trong và phía ngoài của cửa sổ lõi;
  - lực hướng tâm tác động lên cuộn dây dẹt;
  - lực tổng trên các nêm giữa các pha và các khối ép lên kết cấu tăng cường của thùng máy và lõi;
  - lực tổng trên các lá thép của lõi;
  - lực tổng trên kết cấu tăng cường của thùng máy.

Đối với từng cuộn dây, điều kiện lực nặng nề nhất sinh ra do các trường hợp sự cố và vị trí nấc điều chỉnh được xét đến trong thiết kế phải được chỉ ra. Khi xem xét toàn bộ kết cấu máy biến áp, phải xét đến các lực do trường hợp sự cố gây ra gồm có cả lượng công suất phản kháng cao nhất lấy từ lưới điện.

e) Tính các ứng suất cơ cơ bản trên dây dẫn của cuộn dây và kết cấu ghép cơ khí liền kề được phát sinh do các lực ngắn mạch. Các ứng suất cơ sau đây phải được xét đến.

Với máy biến áp kiểu lõi:

- ứng suất kéo đai ôm trung bình trên các cuộn dây bên ngoài ( $\sigma_t^9$ );
- ứng suất nén đai ôm trung bình trên các cuộn dây bên trong kiểu dẹt, kiểu xoắn, kiểu lớp đơn ( $\sigma_c^{10}$ );

<sup>7</sup> Xem chú thích 1 ở cuối phụ lục này.

<sup>8</sup> Để biết định nghĩa và cách tính lực ép tác động lên các lõi ra dây của từng cuộn dây hạ áp, xem A.3.3.2.2.

<sup>9</sup> Liên quan đến cách tính ứng suất căng vòng trung bình, cuộn dây kiểu đĩa, kiểu xoắn có thêm một hoặc nhiều ống dẫn làm mát trong chiều rộng hướng tâm của cuộn dây, có thể được xem như các vòng cứng không có ống dẫn.

<sup>10</sup> Liên quan đến ứng suất nén đai ôm trung bình, các cuộn dây kiểu đĩa và kiểu xoắn có một hoặc nhiều ống làm mát trong chiều rộng hướng tâm của cuộn dây, có thể được xem như các vòng cứng không có ống.

- ứng suất nén đai ôm trung bình tương đương trên các cuộn dây bên trong kiểu lớp ( $\sigma'_{c,eq}$ )<sup>11</sup>;
  - ứng suất do uốn hướng tâm trên dây dẫn theo hình vòng cung giữa các thanh dọc trục và giữa các miếng đệm ống làm mát dọc trục bất kỳ nằm trong chiều rộng hướng tâm của cuộn dây ( $\sigma'_{br}$ );
  - ứng suất do uốn dọc trục trên dây dẫn theo hình vòng cung giữa các miếng đệm hướng tâm với các cuộn dây kiểu dẹt và kiểu xoắn ( $\sigma'_{ba}$ );
  - ứng suất ép lên miếng đệm hướng tâm với các cuộn dây kiểu đĩa và kiểu xoắn ( $\sigma'_{sp}$ )<sup>12</sup>;
  - ứng suất ép lên dây dẫn có giấy cách điện với các cuộn dây kiểu lớp ( $\sigma'_{pi}$ );
  - ứng suất ép lên các kết cấu cách điện cụm đầu ra ( $\sigma'_{es}$ ) và các khuyết đầu ra ( $\sigma'_{er}$ );
  - ứng suất ép lên các vòng ép chung (hoặc tấm ép), nếu có ( $\sigma'_{pr}$ );
  - ứng suất kéo căng lên các thanh nối (các tấm ván) của kết cấu kẹp ( $\sigma'_{rod}$ ).
- Với máy biến áp kiểu vỏ:
    - ứng suất do uốn dọc trục lên dây dẫn theo hình vòng cung giữa các các miếng đệm cuộn dây ( $\sigma'_{ba}$ );
    - ứng suất ép lên dây dẫn có giấy cách điện ( $\sigma'_{pi}$ ) và lên các miếng đệm trong các cuộn dây dẹt;
    - ứng suất ép lên các nêm giữa các pha ( $\sigma'_{nw}$ ) và lên các khối ép tựa vào lõi và kết cấu tăng cường của thùng máy ( $\sigma'_{pb}$ );
    - ứng suất uốn và ứng suất kéo căng lên các lá thép của lõi ( $\sigma'_{cl}$ );
    - ứng suất uốn và ứng suất kéo căng lên kết cấu tăng cường của thùng máy ( $\sigma'_{tr}$ ).

Đối với từng cuộn dây và thành phần kết cấu, điều kiện ứng suất nặng nề nhất sinh ra do lực ngăn mạch phải được xét đến.

f) Các bản vẽ, sơ đồ, hoặc dữ liệu đầu ra máy tính, liên quan đến kết cấu đỡ cuộn dây và bố trí kẹp lõi và cuộn dây, ví dụ:

- với máy biến áp kiểu lõi:
  - bố trí của kết cấu đỡ hướng tâm tựa vào rìa lõi, kết cấu cách điện cụm đầu ra, vòng ép chung (hoặc tấm ép), nếu có, bao quanh bố trí kẹp lõi và kẹp cuộn dây, v.v....;
- với máy biến áp kiểu vỏ:

<sup>11</sup> Trong trường hợp hai lớp bằng nhau, ứng suất nén đai ôm trung bình bằng trung bình đại số của các ứng suất riêng. Trong trường hợp có ba lớp hoặc nhiều hơn, ứng suất trên được giả thuyết là bằng 1,1 lần trung bình đại số của ứng suất nén tính trên các lớp khác nhau.

<sup>12</sup> Ứng suất ép lên miếng đệm hướng tâm được tính bằng cách xem vùng bao phủ bởi dây dẫn trần và bằng cách bỏ qua bất kỳ ảnh hưởng liên quan đến bán kính góc của chúng.

- bố trí kẹp hướng tâm, khối ép, chất độn, bố trí nêm dùng cho đầu cuộn dây và giữa các pha, tấm chắn cách điện giữa các cuộn dây và lõi, v.v...;
  - kết cấu đỡ của lõi tựa vào thùng máy, bố trí các lò xo để giữ lõi, kết cấu tăng cường của thùng máy, các trang bị kẹp chặt khác của cụm lá thép, v.v...;
  - với máy biến áp nói chung:
    - phương tiện để đảm bảo xiết chặt lõi ra dây của cuộn dây và dây nối hạ áp hoặc các thanh cái đến các sứ xuyên và dây nối đến các nắp chuyển đổi, v.v...;
    - phương tiện dùng cho mọi ứng dụng trước tải chiếu trực.
- g) Hướng dẫn để bảo đảm chất lượng và kiểm tra chất lượng liên quan đến cả vật liệu và thực tế chế tạo, có trích dẫn các hoạt động chế tạo như:
- quấn dây trên trục gá và điều khiển lực kéo, định cỡ và ổn định đàn hồi của các cuộn dây và cuộn dây, lắp ráp trong phạm vi dung sai qui định, làm khô và ngâm tẩm dầu, ứng dụng trước tải (lực kẹp), kẹp chặt/xiết chặt kết cấu đỡ cuộn dây, dây dẫn và các cơ cấu kẹp, v.v...;
  - riêng đối với máy biến áp kiểu vỏ: kẹp và ép của cuộn dây về phía trong hay phía ngoài của cửa sổ lõi bằng các nêm giữa các pha, khối ép nhằm mục đích kẹp tựa vào lõi và kết cấu tăng cường của thùng máy, v.v...
- h) Kiểm tra liên quan đến các bộ phận bên ngoài máy biến áp chính, cụ thể là sứ xuyên cao áp, đặc biệt trong trường hợp chúng được lắp nghiêng trên tháp máy, v.v...

### A.3.3 Đánh giá máy biến áp

#### A.3.3.1 Qui định chung

Có hai phương pháp thay thế được cho nhau được chọn khi đánh giá máy biến áp, hoặc là dựa trên việc so sánh với máy biến áp chuẩn đã thử nghiệm ngắn mạch đạt yêu cầu (xem A.3.3.2) hoặc là dựa trên việc kiểm tra các qui tắc thiết kế theo tài liệu đối với độ bền ngắn mạch được nhà chế tạo chấp nhận trong qui định chế tạo (xem A.3.3.3).

Hai phương pháp lựa chọn này được mô tả dưới đây.

#### A.3.3.2 Đánh giá bằng cách so sánh với máy biến áp chuẩn

##### A.3.3.2.1 Thừa nhận máy biến áp chuẩn

Máy biến áp chuẩn được xem là phù hợp để so sánh với điều kiện máy biến áp này thỏa mãn các yêu cầu sau đây.

- Các đặc tính của máy biến áp chuẩn là các đặc tính mà máy biến áp cần đánh giá có thể được xem là tương tự.

## TCVN 6306-5 : 2006

- Máy biến áp chuẩn được thiết kế về cơ bản là có cùng các phương pháp tính toán và tiêu chí chịu cơ học như đối với máy biến áp cần đánh giá.
- Máy biến áp chuẩn được chế tạo về cơ bản là có cùng một thực tế chế tạo, hướng dẫn bảo đảm chất lượng và kiểm tra chất lượng như đối với máy biến áp cần đánh giá.
- Hiệu lực của các qui tắc trong phạm vi độ bền ngắn mạch được chấp nhận đối với thiết kế bao trùm lên các đặc tính của cả hai máy biến áp.

Máy biến áp chuẩn đã qua thử nghiệm ngắn mạch đạt yêu cầu.

Công nhận (các) máy biến áp chuẩn gồm các bước sau:

- Kiểm tra xem có thích hợp để so sánh như đã mô tả ở trên.
- Kiểm tra (các) hồ sơ thử nghiệm liên quan đến (các) thử nghiệm ngắn mạch.
- Công nhận dữ liệu thiết kế điện từ chính, các tính toán đã thực hiện và các tiêu chí chịu cơ học đã được chấp nhận cho thiết kế.
- Công nhận thực tế chế tạo được chấp nhận để chế tạo và hướng dẫn bảo đảm chất lượng và kiểm tra chất lượng.

### A.3.3.2.2 Đánh giá so sánh

Đánh giá so sánh nên bắt đầu bằng việc kiểm tra và so sánh kết cấu cuộn dây và kết cấu cách điện chính và bố trí kẹp chặt của hai máy biến áp, đặc biệt là với các đặc tính chịu cơ hiển nhiên tương ứng của chúng. Từ đánh giá so sánh này có thể kết luận rằng máy biến áp cần đánh giá về cơ bản là giống như máy biến áp chuẩn về kết cấu cơ cơ bản.

Giá trị ứng suất và lực tương ứng (xem A.3.2) được tính trên hai máy biến áp được so sánh với nhau. Nên sử dụng bảng A.1 hoặc bảng A.2 để thực hiện việc này. Bất kỳ số liệu về lực hay ứng suất liên quan đến máy biến áp thực tế cần đánh giá và máy biến áp chuẩn nên được đưa vào cột tương ứng trong cột ghi nhãn là "act" (thực) và "ref" (chuẩn) tương ứng. Giá trị ứng suất hoặc lực lớn nhất từ các điều kiện ngắn mạch được xem xét trong thiết kế phải được sử dụng cho từng cuộn dây và các bộ phận liên kết và đối với toàn bộ kết cấu cơ của máy biến áp.

Kết quả so sánh, máy biến áp được xem là có khả năng chịu lực điện động do ngắn mạch với điều kiện không một số liệu nào của các ứng suất hay lực được điển trong bảng A.1 hoặc A.2 quá 1,2 lần số liệu tính được tương ứng trên máy biến áp chuẩn, ngoại trừ các lực và ứng suất mà cần các yêu cầu chặt chẽ hơn để áp dụng cho máy biến áp kiểu lỗi dưới đây.

- Ứng suất nén lên đai ôm trung bình trên cuộn dây kiểu đĩa-xoắn-một lớp

$$\sigma_{c,act} \leq 1,1 \cdot \sigma_{c,ref}$$

- Ứng suất nén lên đai ôm trung bình tương đương trên cuộn dây kiểu nhiều lớp

$$\sigma_{c,eq,act} \leq 1,1 \cdot \sigma_{c,eq,ref}$$

- Lực đẩy tác động lên các đầu ra dây của cuộn dây điện áp thấp<sup>13</sup>

$$T_{f,act} \leq 1,1 \cdot T_{f,ref}$$

### A.3.3.3 Đánh giá bằng cách kiểm tra các qui tắc thiết kế của nhà chế tạo đối với độ bền ngắn mạch

#### A.3.3.3.1 Công nhận thông tin thiết kế của nhà chế tạo đối với độ bền ngắn mạch

Các qui tắc đối với độ bền ngắn mạch mà nhà chế tạo dựa vào đó để đánh giá thiết kế máy biến áp cần phải có cơ sở kinh nghiệm vững chắc. Điều này có nghĩa là các qui tắc này cần xuất phát từ các phân tích kết quả của một số lần thực hiện thử nghiệm ngắn mạch trên máy biến áp thực hoặc kết quả của các thử nghiệm, thực hiện trên mô hình máy biến áp đại diện, kết hợp với bất kỳ bằng chứng hỗ trợ gián tiếp nào trên cơ sở vận hành không gặp khó khăn trong thời gian dài của một số máy biến áp trong quá trình liên quan đến tính năng ngắn mạch, hoặc dựa trên sự phân tích cả hai này. Nhà chế tạo cần đưa ra các thông tin dưới đây.

- Bản liệt kê các máy biến áp của nhà chế tạo đã chịu thử nghiệm ngắn mạch, bao gồm các số liệu chính của máy biến áp như công suất danh định, điện áp danh định, dải điều chỉnh, và trở kháng ngắn mạch.
- Kết quả của các thử nghiệm được thực hiện trên mô hình, nếu có, và ảnh hưởng của chúng đối với các qui tắc thiết kế.
- Nội dung của các tiêu chuẩn kỹ thuật đối với độ bền ngắn mạch của máy biến áp điện lực do nhà chế tạo sử dụng trong các hoạt động sản xuất và thiết kế thông thường.
- Biên bản vận hành và tỉ lệ sự cố liên quan đến tính năng ngắn mạch.
- Số lượng máy biến áp được sản xuất và số năm vận hành bình thường của máy biến áp.

Từ các thông tin kể trên phải chứng tỏ rằng nhà chế tạo đưa ra các qui tắc thiết kế phù hợp đối với độ bền ngắn mạch.

#### A.3.3.3.2 Qui trình kiểm tra

Qui trình kiểm tra nên bắt đầu bằng kiểm tra sơ bộ kết cấu cuộn dây, cách điện chính và bố trí kẹp chặt của máy biến áp. Kết quả của việc kiểm tra này phải cho thấy cả kết cấu và cách bố trí kẹp chặt là phù hợp với máy biến áp tương ứng được nhà chế tạo chấp nhận trong sản xuất máy biến áp an toàn ngắn mạch.

<sup>13</sup> Lực đẩy tác động lên lõi ra dây của cuộn dây điện áp thấp (kN) thường được xem là bằng ứng suất nén đại om trung bình lên cuộn dây (kN/mm<sup>2</sup>). Lực đẩy có thể biến dạng cuộn dây bằng cách làm chặt nó bằng phương pháp bắt vít. Trong ít trường hợp, cuộn dây điện áp thấp là cuộn dây bên ngoài, ứng suất này là của độ căng tự nhiên và cuộn dây có thể có xu hướng bị tháo ra.



## TCVN 6306-5 : 2006

Bước tiếp theo bao gồm so sánh tất cả các giá trị ứng suất và lực được tính trên máy biến áp có giá trị tới hạn hoặc giá trị cho phép mà nhà chế tạo chấp nhận trong thiết kế hiện hành<sup>14</sup>. Các giá trị này có thể khác nhau đối với nhà chế tạo khác nhau.

Nên sử dụng bảng A.1 hoặc bảng A.2 cho mục đích này. Số liệu ứng suất hoặc lực bất kỳ liên quan đến máy biến áp cần đánh giá phải được ghi vào cột tương ứng có ghi nhãn "act" (thực). Số liệu ứng suất tới hạn hoặc cho phép liên quan bất kỳ phải được ghi vào cột tương ứng có ghi nhãn "all" (cho phép) hoặc "crit" (tới hạn). Giá trị ứng suất hoặc lực lớn nhất từ các điều kiện ngắn mạch được xem xét từ thiết kế phải được sử dụng cho từng cuộn dây và các thành phần liên kết và cho toàn bộ kết cấu tương ứng.

CHÚ THÍCH: Trong trường hợp máy biến áp kiểu lõi, phải có chú ý đặc biệt đối tới tầm quan trọng của ứng suất nén đai ôm trên các vòng dây. Các vòng dây phải chịu ứng suất ép đai ôm có thể không đạt yêu cầu vì sự uốn cong hướng vào trong quá mức của dây dẫn theo hình vòng cung giữa hai giá đỡ liên tiếp (uốn cong cưỡng bức) hoặc vì mất đi dạng ổn định do biến dạng hướng tâm nặng nề của dây dẫn tại một hoặc vài vị trí trên chu vi của vòng dây (uốn cong tự do).

Uốn cong cưỡng bức thường xuất hiện trên các cuộn dây có giá đỡ cứng tương đối tại đường viền bên trong.

Uốn cong tự do là một kiểu uốn cong phổ biến hơn, xuất hiện đột ngột ngay khi đạt đến giá trị ứng suất ép tới hạn.

Đặt giá trị ứng suất ép tới hạn bất kỳ cho uốn cong tự do là một nhiệm vụ vô cùng phức tạp, vì tính không đồng nhất của cuộn dây và ảnh hưởng nảy sinh từ các quy trình chế tạo.

Vì các lý do ở trên, không có công thức qui định nào đối với các ứng suất ép đai ôm tới hạn trên cuộn dây được đưa ra.

Do đã kiểm tra, máy biến áp được xem là có khả năng chịu lực điện động ngắn mạch trong điều kiện không có số liệu nào về lực hoặc ứng suất trong bảng A.1 hoặc bảng A.2 vượt quá số liệu lực hoặc ứng suất cho phép lớn nhất tương ứng được nhà chế tạo chấp nhận để thiết kế và không được vượt quá 0,8 lần giá trị ứng suất tới hạn liên quan được nhận biết bởi nhà chế tạo.

Lực và ứng suất cho phép giới hạn nêu dưới đây để hướng dẫn dựa trên kinh nghiệm, xem xét các điều kiện biên, như các tính chất của vật liệu, dung sai, chi tiết thiết kế cơ và quy trình sản xuất. Tuy nhiên, các giới hạn này không được xem là giới hạn tiêu chuẩn và có thể được vượt quá khi thiết kế trong điều kiện nhà chế tạo có thể chỉ ra kinh nghiệm và tài liệu vững chắc về các giá trị cao hơn.

a) Với máy biến áp kiểu lõi

- Ứng suất kéo căng đai ôm trung bình trên các cuộn dây hình đĩa và cuộn dây kiểu quấn xoắn và trên từng lớp riêng của các cuộn dây kiểu nhiều lớp<sup>15</sup>

$$\sigma_{t,act} \leq 0,9 \cdot R_{p0,2}$$

<sup>14</sup> Giá trị cho phép là bất kỳ giá trị lực hoặc ứng suất nào sao cho kết cấu có thể chịu được không bị hỏng về chức năng và độ bền; giá trị tới hạn là bất kỳ giá trị lực hoặc ứng suất nào gây ra biến dạng lâu dài, mất tính ổn định hoặc sụp đổ về cấu trúc.

<sup>15</sup> Ứng suất chịu được  $R_{p0,2}$  là ứng suất kéo căng sinh ra độ giãn không đàn hồi bằng với 0,2 % độ dài dương khi vẫn đặt tải



- Ứng suất ép đai ôm trung bình trên các cuộn dây hình đĩa, quấn xoắn và một lớp
  - với dây bện thông thường và CTC không có bọc<sup>16</sup>

$$\sigma_{c,act} \leq 0,35 \cdot R_{p0,2}$$
  - với dây bện nhựa và CTC
 
$$\sigma_{c,act} \leq 0,6 \cdot R_{p0,2}$$
- Ứng suất ép đai ôm trung bình tương đương trên các cuộn dây kiểu nhiều lớp
  - với dây bện thông thường và CTC không có bọc
 
$$\sigma_{c,eq,act} \leq 0,35 \cdot R_{p0,2}$$
  - với dây bện bọc nhựa và CTC
 
$$\sigma_{c,eq,act} \leq 0,6 \cdot R_{p0,2}$$
- Ứng suất do uốn hướng tâm trên dây dẫn theo hình vòng cung giữa các thanh dọc trục hoặc các miếng đệm
 
$$\sigma_{br,act} \leq 0,9 \cdot R_{p0,2}$$
- Ứng suất do uốn dọc trục trên dây dẫn theo hình vòng cung giữa các các miếng đệm hướng tâm
 
$$\sigma_{ba,act} \leq 0,9 \cdot R_{p0,2}$$
- Lực ép dọc trục lớn nhất trên từng cuộn dây liên quan đến độ nghiêng của dây dẫn<sup>17</sup>

$$F_{c,act} \leq 0,8 \cdot F_{ult}$$
- Ứng suất ép lên các đệm hướng tâm<sup>18</sup>
  - khi trên các dây dẫn có bọc giấy
 
$$\sigma_{sp,act} \leq 80 \text{ MPa}$$
  - khi dây dẫn có bọc emay tinh khiết
 
$$\sigma_{sp,act} \leq 120 \text{ MPa}$$
- Ứng suất ép lên giấy cách điện của dây dẫn với các cuộn dây kiểu lớp
 
$$\sigma_{pi,act} \leq 35 \text{ MPa}$$
- Ứng suất ép lên các vòng ra tám ép (kiểu dây xoắn)
 
$$\sigma_{er,act} \leq 40 \text{ MPa}$$

<sup>16</sup> CTC là các dây chuyển chỗ liên tục.

<sup>17</sup> Xem chú thích 2 ở cuối phụ lục này đối với  $F_{ult}$ .

<sup>18</sup> Các miếng đệm có hiệu lực làm bằng bìa ép trước khi bị nén.

## TCVN 6306-5 : 2006

- Ứng suất ép lên các vòng ra bằng ép (kiểu xếp chồng)

$$\sigma_{er, act} \leq 80 \text{ MPa}$$

- Ứng suất ép lên các bằng ép chung, các vòng ép hoặc các tấm ép (nếu sử dụng)

$$\sigma_{pr, act} \leq 80 \text{ MPa}$$

- Ứng suất kéo căng trên các thanh nối (ván nối) của kết cấu kẹp<sup>19</sup>

$$\sigma_{rod} \leq R_{eL}$$

### b) Với máy biến áp kiểu vỏ

- Ứng suất do uốn dọc trục lên dây dẫn theo hình vòng cung giữa các đệm cuộn dây

$$\sigma_{ba, act} \leq 0,9 \cdot R_{p0,2}$$

- Ứng suất ép lên giấy cách điện và đệm dây dẫn

$$\sigma_{bi, act} \sigma_{sp, act} \leq 35 \text{ MPa}$$

- Ứng suất ép lên nêm giữa các pha và khối ép làm bằng bằng ép

$$\sigma_{iw, act} \sigma_{pb, act} \leq 80 \text{ MPa}$$

- Ứng suất ép lên nêm giữa các pha và khối ép làm bằng sợi nhựa dẻo tăng cường hoặc gỗ dlat mỏng

$$\sigma_{iw, act} \sigma_{pb, act} \leq 120 \text{ MPa}$$

- Ứng suất kéo căng và ứng suất uốn tác dụng lên lõi làm bằng lá thép

$$\sigma_{cl, act} \leq R_{eL}$$

- Ứng suất kéo căng và ứng suất uốn tác dụng lên kết cấu tăng cường thùng máy

$$\sigma_{tr, act} \leq R_{eL}$$

- Ứng suất lên các phần chèn vào nhau của lá thép<sup>20</sup>

$$P_{act} \geq P$$

### A.3.4 Kết quả xem xét thiết kế và thừa nhận máy biến áp cần đánh giá

Kết quả xem xét máy biến áp là đạt yêu cầu nếu:

- các yêu cầu của qui định kiểm tra tính đúng đắn bao gồm các điều kiện hệ thống thực tế;
- thiết kế gồm đầy đủ các qui định;

<sup>19</sup>  $R_{eL}$  là ứng suất cong nhỏ hơn của vật liệu, thường bằng  $R_{p0,2}$ .

<sup>20</sup> Xem chú thích 3 ở cuối phụ lục này đối với P

Bảng A.1 – So sánh lực và ứng suất trong máy biến áp kiểu lõi

Kiểu lực/ứng suất	Cuộn dây điện áp thấp (LV)				Cuộn dây điện áp trung bình (MV)				Cuộn dây điện áp cao (HV)				Cuộn dây có nấc điều chỉnh			
	act.	ref.	all.	crit.	act.	ref.	all.	crit.	act.	ref.	all.	crit.	act.	ref.	all.	crit.
Ứng suất kéo căng đai ôm trung bình lên các cuộn dây kiểu đĩa, xoắn và một lớp (MPa)																
Ứng suất ép đai ôm trung bình trên các cuộn dây kiểu đĩa, xoắn và một lớp (MPa)																
Ứng suất ép đai ôm trung bình tương đương lên các cuộn dây kiểu nhiều lớp (MPa)																
Ứng suất do uốn hướng tâm trên dây dẫn theo hình vòng cung giữa các thanh dọc trục hoặc các miếng đệm (MPa)																
Ứng suất do uốn dọc trục trên dây dẫn theo hình vòng cung giữa các các miếng đệm hướng tâm (MPa)																
Lực hướng trục tác động lên lõi ra dây của cuộn dây điện áp thấp (kN)																
Lực ép dọc trục lớn nhất trên từng cuộn dây (kN)																
Lực ép dọc trục lớn nhất trên cuộn dây so với lực tối hạn đối với độ nghiêng (kN)																
Lực hướng trục ra lớn nhất trên cuộn dây: - hướng lên (kN) - hướng xuống (kN)																
Ứng suất ép lên giấy cách điện của dây dẫn và miếng đệm hướng tâm (MPa)																
Ứng suất ép lên kết cấu cách điện cụm đầu ra và các khuyết đầu ra (MPa)																
Ứng suất ép lên các vòng ép chung (hoặc tấm ép) (MPa)			act.				ref.					all.				crit.
Ứng suất kéo căng trên thanh nối (ván nối) (MPa)			act.				ref.					all.				crit.
Lực kẹp hướng trục (kN)			act.				ref.					all.				
act. = giá trị lực hoặc ứng suất tính toán liên quan đến máy biến áp cần xem xét. ref. = giá trị lực hoặc ứng suất tính toán liên quan đến máy biến áp chuẩn. all. = giá trị lực hoặc ứng suất cho phép (dựa trên qui tắc thiết kế của nhà chế tạo). crit. = giá trị lực hoặc ứng suất tới hạn (dựa trên qui tắc thiết kế của nhà chế tạo).																

- xem xét thiết kế được thực hiện theo A.3.1/A.3.2 để nhận biết tất cả các ứng suất và lực tổng hợp;
- đánh giá máy biến áp cần xem xét được thực hiện theo A.3.3.2 hoặc A.3.3.3 và sự phù hợp với chỉ tiêu ứng suất và lực ngắn mạch liệt kê trong phụ lục này là lấy từ nội dung của bảng A.1 hoặc bảng A.2;
- thiết kế cơ và qui trình chế tạo/sản xuất phải được xem xét có đủ tính năng ngắn mạch yêu cầu của máy biến áp.

Người mua được yêu cầu thừa nhận chính thức rằng việc xem xét thiết kế của máy biến áp được thực hiện có kết quả đạt yêu cầu bằng cách theo các hướng dẫn chỉ ra trong phụ lục này. Trong trường hợp này, một báo cáo tương ứng phải được ký giữa người mua và nhà chế tạo.

Chữ ký của người mua không có nghĩa là miễn cho nhà chế tạo bỏ qua bất kỳ yêu cầu bắt buộc nào cũng như khả năng của máy biến áp chịu lực điện động do ngắn mạch cùng với các yêu cầu vận hành qui định.

Các thông tin đưa ra cho người mua trong trường hợp xem xét thiết kế giữ lại quyền sở hữu trí tuệ của nhà chế tạo và phải được giữ bí mật.

Bảng A.2 – So sánh lực và ứng suất trong máy biến áp kiểu vỏ

Kiểu lực/ứng suất	Cuộn dây điện áp thấp (LV)				Cuộn dây điện áp trung bình (MV)				Cuộn dây điện áp cao (HV)				Cuộn dây có nắp điều chỉnh			
	act.	ref.	all.	crit.	act.	ref.	all.	crit.	act.	ref.	all.	crit.	act.	ref.	all.	crit.
Ứng suất do uốn dọc trực trên dây dẫn theo hình vòng cung giữa các đệm cuộn dây (MPa)																
Ứng suất ép lên giấy cách điện và đệm dây dẫn (MPa)																
Lực tổng lên nêm giữa các pha và khối ép (kN)	act.				ref.				all.				crit.			
Lực tổng lên lõi làm bằng lá thép (kN)	act.				ref.				all.				crit.			
Lực tổng lên kết cấu tăng cường thùng máy (kN)	act.				ref.				all.				crit.			
Ứng suất ép lên nêm giữa các pha và khối ép (MPa)	act.				ref.				all.				crit.			
Ứng suất căng/uốn lên lõi làm bằng lá thép mỏng do lực hướng tâm sinh ra (MPa)	act.				ref.				all.				crit.			
Ứng suất căng/uốn lên kết cấu tăng cường thùng máy do lực dọc trục sinh ra (MPa)	act.				ref.				all.				crit.			

act. = giá trị lực hoặc ứng suất tính toán liên quan đến máy biến áp cần xem xét.

ref. = giá trị lực hoặc ứng suất tính toán liên quan đến máy biến áp chuẩn.

all. = giá trị lực hoặc ứng suất cho phép (dựa trên qui tắc thiết kế của nhà chế tạo).

crit. = giá trị lực hoặc ứng suất tới hạn (dựa trên qui tắc thiết kế của nhà chế tạo).

## TCVN 6306-5 : 2006

CHÚ THÍCH 1: Ký hiệu  $\overset{\sim}{\gamma}$  (trên đỉnh) sử dụng trong phụ lục này xác định đại lượng vật lý (lực hoặc ứng suất) liên quan đến điều kiện đỉnh lớn nhất của dòng điện ngắn mạch.

CHÚ THÍCH 2: Với máy biến áp kiểu lõi, khi cuộn dây phải chịu lực ép dọc trục quá mức thì nó có thể mất khả năng duy trì ổn định cơ. Trong trường hợp này, "độ nghiêng" vòng dây dẫn là toàn bộ tập hợp các dây dẫn liền nhau phía trong chiều rộng hướng tâm của vòng dây theo cùng một hướng, ngược lại, tập hợp các vòng dây dẫn liền kề dọc trục tiếp theo có hướng ngược lại. Kết quả là cuộn dây dẫn có mô hình zigzag biến dạng.

Do đó, yêu cầu lực ép dọc trục lớn nhất  $F_{\text{tối}}$  tác động lên cuộn dây phải nhỏ hơn lực tới hạn  $F_{\text{tối}}$  mà lực này gây ra méo do độ nghiêng của dây dẫn. Cũng cần phải có một giới hạn biên an toàn thích hợp giữa hai lực này.

Phải phân biệt hai trường hợp:

- với các cuộn dây kiểu đĩa, kiểu xoắn và kiểu lớp có dây dẫn gồm CTC bọc nhựa, không có thiết kế bắt buộc liên quan đến lực ép dọc trục lớn nhất với độ nghiêng. Thực tế, dây dẫn này chịu nghiêng rất cao bất chấp mức độ làm cứng của vật liệu làm bằng đồng. Do đó, không yêu cầu kiểm tra trong trường hợp này;
- với các cuộn dây kiểu đĩa, kiểu xoắn và kiểu lớp có dây dẫn gồm dây bện thông thường hoặc CTCs không có bọc, lực tới hạn tương ứng của  $F_{\text{tối}}$  nên được tính dựa trên công thức sau:

$$F_{\text{tối}}^* = \left[ K_1 \cdot E_0 \cdot \frac{n \cdot b_{\text{eq}} \cdot h^2}{D_{\text{mw}}} + K_2 \cdot \frac{n \cdot X \cdot b_{\text{eq}}^3 \cdot \pi \cdot D_{\text{mw}} \cdot \gamma}{h} \right] \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot 10^{-3} \quad (\text{kN})$$

trong đó

$E_0$  là suất đàn hồi của đồng =  $1,1 \times 10^5$  MPa;

$n$  là số dây bện thông thường hoặc dây dẫn kép trong chiều rộng hướng tâm của cuộn dây, trong trường hợp dây dẫn phẳng.

và bằng  $g \cdot (f-1)/2$  trong trường hợp dây dẫn CTC;

trong đó

$g$  là số CTC trong chiều rộng hướng tâm của cuộn dây;

$f$  là số dây bện thông thường trong một CTC;

$b_{\text{eq}}$  là chiều rộng hướng tâm của dây bện thông thường trong trường hợp dây dẫn phẳng (tính bằng mm);

là hai lần chiều rộng hướng tâm của dây dẫn đơn trong trường hợp dây dẫn kép có bọc nhựa (tính bằng mm);

là chiều rộng hướng tâm của dây bện thông thường đơn trong trường hợp dây dẫn CTC không có bọc (tính bằng mm);

$D_{\text{mw}}$  là đường kính trung bình của cuộn dây (tính bằng mm);

$X = \frac{c \cdot z}{\pi \cdot D_{\text{mw}}}$  là hệ số bao phủ của miếng đệm đối với các cuộn dây kiểu đĩa và kiểu xoắn

trong đó

$c$  là chiều rộng miếng đệm hướng tâm (theo hướng tròn) (tính bằng mm);

$z$  là số miếng đệm hướng tâm trên một đường tròn;

$X$  là 1,0 đối với cuộn dây kiểu lớp;

$h$  là chiều cao của dây bện thông thường nếu dây dẫn là dạng phẳng (tính bằng mm);

là hai lần chiều cao của dây bện thông thường đơn nếu có hai dây bện thông thường song song theo hướng dọc trục bọc giấy cách điện cùng nhau (tính bằng mm);

là chiều cao của dây bện thông thường đơn nếu dây dẫn là loại CTC (tính bằng mm);

- $\gamma$  là hằng số dùng cho hình dạng dây dẫn;  
 là 1,0 đối với dây chuẩn bên thông thường có bán kính góc;  
 là 0,85 đối với dây thường hoặc dây dẫn có dạng tròn hoàn toàn;
- $K_1$  hệ số dùng cho dạng xoắn = 0,5;
- $K_2$  hệ số dùng cho dạng lớp ( $N/mm^3$ );  
 là 45 đối với dây dẫn đôi và đơn;  
 là 22 đối với loại CTC không có bọc;
- $K_3$  là hệ số thay thế cho mức độ làm cứng của đồng (xem bảng A.3);
- $K_4$  là hệ số thay thế cho độ nghiêng động (xem bảng A.4).

**Bảng A.3 – Giá trị của hệ số  $K_3$** 

$R_{p0.2}$ MPa	$K_3$
Đã ủ	1,0
150	1,1
180	1,2
230	1,3
>230	1,4

**Bảng A.4 – Giá trị của hệ số  $K_4$** 

Kiểu dây dẫn	Kiểu cuộn dây	
	Đĩa-xoắn	Lớp
Dây bên thông thường hoặc dây đôi	1,2	1,1
CTC không có bọc	1,7	1,3

Cần chú ý rằng công thức trên để tính  $F'_{lit}$  liên quan đến độ nghiêng động và dựa trên phương pháp bán thực nghiệm. Giá trị tối hạn thực tế của lực này cũng phụ thuộc vào kết cấu cuộn dây và bản chất và độ dày của cách điện dây dẫn.

**CHÚ THÍCH 3:** Áp suất P cần để đặt vào vùng bị chống lên nhau của lá lõi làm bằng lá thép mỏng để giữ mạch từ phải ít nhất là:

$$P = \frac{F' \cdot 10^3}{2 \cdot S \cdot a \cdot t \cdot h} \quad (\text{MPa})$$

trong đó

- $F'$  là lực ngăn mạch (giá trị đỉnh) đặt lên đầu kẹp (kN);
- $S$  là vùng của góc bị chống lên nhau của lõi làm bằng lá thép mỏng ( $mm^2$ );
- $a$  là hệ số bám (p.u.);
- $t$  là số lá thép của lõi trên một đơn vị độ cao ( $mm^{-1}$ );
- $h$  là độ cao của mạch từ (mm).

## Phụ lục B

(tham khảo)

### Định nghĩa máy biến áp tương tự

Máy biến áp được xem là tương tự với máy biến áp khác được lấy làm chuẩn nếu máy biến áp này có các đặc tính dưới đây giống với máy biến áp chuẩn:

- cùng kiểu làm việc, ví dụ tổ máy phát – máy biến áp tăng thế, máy biến áp phân phối, máy biến áp liên lạc;
  - cùng kiểu thiết kế, ví dụ loại khô, loại ngâm trong dầu, kiểu lõi có cuộn dây đồng tâm, kiểu xen kẽ, kiểu vỏ, cuộn dây tròn, cuộn dây không tròn;
  - có cùng sự bố trí và trật tự hình học của các cuộn dây chính;
  - cùng loại dây cuốn, ví dụ bằng nhôm, hợp kim nhôm, đồng đã qua ủ hoặc đồng đã được làm cứng, dạng lá kim loại, dạng dây tròn, dây dẹt, dây dẫn chuyển vị liên tục và có liên kết epoxy, nếu sử dụng.
  - có cùng kiểu cuộn dây chính, ví dụ kiểu dẹt, kiểu đĩa, xoắn, nhiều lớp;
  - tiêu thụ công suất khi ngắn mạch (công suất danh định trên một đơn vị trở kháng ngắn mạch) trong phạm vi từ 30 % đến 130 % công suất so với máy biến áp chuẩn;
  - lực dọc trục và ứng suất cuộn dây xuất hiện khi ngắn mạch không vượt quá 120 % so với máy biến áp chuẩn;
  - cùng qui trình chế tạo;
  - cùng cách bố trí cơ cấu kẹp và đỡ cuộn dây.
-