

**Mục lục**

	<b>Trang</b>
Lời nói đầu .....	4
1 Phạm vi áp dụng .....	5
2 Tài liệu viện dẫn .....	5
3 Các ký hiệu nhận dạng theo phương pháp làm mát .....	6
4 Giới hạn độ tăng nhiệt .....	7
5 Thử nghiệm độ tăng nhiệt .....	11
Phụ lục A (tham khảo) – Lưu ý về nhiệt độ dầu trong máy biến áp có tuần hoàn dầu cưỡng bức ...	18
Phụ lục B (tham khảo) – Mang tải quá độ – Mô hình toán học và thử nghiệm .....	20
Phụ lục C (tham khảo) -- Kỹ thuật sử dụng khi thử nghiệm độ tăng nhiệt của máy biến áp ngàh trong dầu .....	23

## **TCVN 6306-2 : 2006**

### **Lời nói đầu**

TCVN 6306-2 : 2006 thay thế TCVN 6306-2 : 1997 (IEC 76-2);

TCVN 6306-2 : 2006 hoàn toàn tương đương với tiêu chuẩn IEC 60076-2 : 1993;

TCVN 6306-2 : 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 2 : Độ tăng nhiệt

*Power transformers –*

*Part 2: Temperature rise*

### 1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này phân biệt các máy biến áp theo phương pháp làm mát, xác định các giới hạn độ tăng nhiệt và qui định chi tiết các phương pháp thử nghiệm để đo độ tăng nhiệt. Phần này áp dụng cho máy biến áp thuộc phạm vi áp dụng của TCVN 6306-1 (IEC 60076-1).

### 2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau đây rất cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm ban hành thì áp dụng phiên bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm ban hành thì áp dụng phiên bản mới nhất. Tuy nhiên, các bên có thỏa thuận dựa trên tiêu chuẩn này cần nghiên cứu khả năng áp dụng phiên bản mới nhất của các tài liệu liệt kê dưới đây.

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

IEC 60085, Electrical insulation – Thermal classification (Cách điện – Phân loại theo nhiệt độ)

IEC 60279, Measurement of the winding resistance of an a.c. machine during operation at alternating voltage (Đo điện trở cuộn dây của máy điện xoay chiều khi vận hành ở điện áp xoay chiều)

IEC 60076-7, Power transformer – Part 7: Loading guide for oil-immersed transformers (Máy biến áp điện lực – Phần 7: Hướng dẫn mang tải đối với máy biến áp loại ngâm trong dầu)

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

IEC 60076-11, Power transformer – Dry-type transformers (Máy biến áp điện lực – Máy biến áp loại khô)

IEC 60905 : 1987, Loading guide for dry-type power transformers (Hướng dẫn mang tải đối với máy biến áp điện lực loại khô)

ISO 2592 : 1973, Petroleum products – Determination of flash and fire points – Cleveland open-cup method (Sản phẩm dầu mỏ – Xác định điểm chớp cháy và điểm cháy – Phương pháp cốc hở Cleveland)

### 3 Các ký hiệu phân biệt theo phương pháp làm mát

Các máy biến áp được phân biệt theo phương pháp làm mát đang sử dụng. Đối với máy biến áp ngâm trong dầu, sự phân biệt này được thể hiện bằng mã bốn chữ cái như mô tả dưới đây. Các mã tương ứng dùng cho máy biến áp loại khô được nêu trong IEC 60076-11.

Chữ cái thứ nhất: Môi chất làm mát bên trong tiếp xúc với cuộn dây:

- O dầu khoáng hoặc chất lỏng cách điện tổng hợp có điểm cháy\*  $\leq 300$  °C;
- K chất lỏng cách điện có điểm cháy\*  $> 300$  °C;
- L chất lỏng cách điện có điểm cháy không đo được.

Chữ cái thứ hai: Cơ cấu tuần hoàn đối với môi chất làm mát bên trong:

- N dòng xi phong nhiệt tự nhiên qua thiết bị làm mát rồi đi vào các cuộn dây;
- F tuần hoàn cưỡng bức qua thiết bị làm mát, dòng xi phong nhiệt trong cuộn dây;
- D tuần hoàn cưỡng bức qua thiết bị làm mát, hướng trực tiếp từ thiết bị làm mát đến ít nhất là cuộn dây chính.

Chữ cái thứ ba: Môi chất làm mát bên ngoài:

- A không khí;
- W nước.

Chữ cái thứ 4: Cơ cấu tuần hoàn đối với môi chất làm mát bên ngoài:

- N đối lưu tự nhiên;
- F tuần hoàn cưỡng bức (quạt, bơm).

CHÚ THÍCH: Trong máy biến áp được thiết kế có tuần hoàn dầu cưỡng bức trực tiếp (chữ cái thứ hai của mã – D), tốc độ dòng dầu qua cuộn dây chính được xác định bằng máy bơm và về nguyên tắc nó không được xác định bằng việc mang tải. Một phần nhỏ của dòng dầu qua thiết bị làm mát có thể được điều khiển trực tiếp đi tắt qua để làm mát phần lõi và các phần khác ở bên ngoài cuộn dây chính. Các cuộn dây điều chỉnh và/hoặc cuộn dây khác có công suất tương đối nhỏ cũng có thể có tuần hoàn không trực tiếp của dầu đi tắt qua.

\* Phương pháp thử nghiệm "cốc hở Cleveland", xem ISO 2592.

Trong máy biến áp có làm mát cưỡng bức không trực tiếp, (chữ cái thứ hai của mã – F), nhưng ốc độ của dòng dầu qua tất cả các cuộn dây thay đổi theo tải và không liên quan trực tiếp tới dòng dầu được bơm qua thiết bị làm mát.

Một máy biến áp có thể có các phương pháp làm mát khác nhau. Do đó, qui định kỹ thuật và tấm nhãn ở máy phải có thông tin về chỉ số công suất mà tại đó máy biến áp đạt được các giới hạn về độ tăng nhiệt khi sử dụng các phương pháp làm mát này, xem 7.1 m) của TCVN 6306-1 (IEC 60076-1). Chỉ số công suất đối với phương pháp có khả năng làm mát cao nhất là công suất danh định của máy biến áp (hoặc của một cuộn dây riêng trong máy biến áp có nhiều cuộn dây, xem 4. của TCVN 6306-1 (IEC 60076-1). Các phương pháp làm mát được liệt kê theo qui ước với trật tự tăng dần theo khả năng làm mát.

Ví dụ:

ONAN/DNAF. Máy biến áp có hệ thống quạt có thể đưa vào làm việc ở phụ tải cao theo yêu cầu. Sự tuần hoàn dầu chỉ do hiệu ứng xi phong nhiệt trong cả hai trường hợp.

ONAN/OFAF. Máy biến áp có thiết bị làm mát bằng bơm và quạt gió nhưng máy biến áp đó cũng qui định khả năng mang tải bị giảm ở điều kiện làm mát tự nhiên (ví dụ, trong trường hợp có sự cố nguồn tự dùng).

## 4 Giới hạn độ tăng nhiệt

### 4.1 Qui định chung

Các giới hạn về độ tăng nhiệt đối với máy biến áp được xác định theo các phương thức tùy chọn khác nhau.

- Một loạt các yêu cầu được áp dụng liên quan đến công suất danh định ở chế độ liên tục. Các yêu cầu này được nêu ở 4.2.
- Khi các yêu cầu đã được xác định rõ ràng, còn phải thêm các yêu cầu có liên quan đến chu trình mang tải qui định. Qui trình này được mô tả ở 4.4. Nó có thể được áp dụng chủ yếu cho các máy biến áp hệ thống lớn trong đó các điều kiện mang tải khẩn cấp đáng được lưu tâm đặc biệt và không nên sử dụng thường xuyên đối với máy biến áp cỡ nhỏ và cỡ vừa đã được tiêu chuẩn hóa.

Trong tiêu chuẩn này, giả thiết rằng nhiệt độ vận hành của các bộ phận khác nhau của máy biến áp có thể được coi là tổng của nhiệt độ môi chất làm mát (không khí xung quanh hoặc nước làm mát) và độ tăng nhiệt của bộ phận trong máy biến áp.

Nhiệt độ môi chất làm mát và độ cao so với mực nước biển (liên quan tới tỷ trọng không khí làm mát) là đặc điểm của nơi lắp đặt. Khi các điều kiện vận hành bình thường chiếm ưu thế, xem 1.2 của TCVN 6306-1 (IEC 60076-1), thì các giá trị bình thường của độ tăng nhiệt của máy biến áp xác định nhiệt độ làm việc cho phép

## **TCVN 6306-2 : 2006**

Các giá trị độ tăng nhiệt là các đặc trưng của máy biến áp. Các đặc trưng này là các đối tượng cần được bảo đảm và cần được thử nghiệm trong các điều kiện qui định. Các giới hạn bình thường của độ tăng nhiệt được áp dụng, trừ khi đơn đặt hàng và hợp đồng có nêu rõ "điều kiện làm việc không bình thường". Trong các trường hợp đó, các giới hạn về độ tăng nhiệt sẽ được thay đổi như đã nêu ở 4.3.

Giới hạn độ tăng nhiệt không cho phép có dung sai dương.

### **4.2 Giới hạn về độ tăng nhiệt bình thường ở công suất danh định liên tục**

Khi một máy biến áp có cuộn dây điều chỉnh có dải điều chỉnh lớn hơn  $\pm 5\%$  thì các giới hạn độ tăng nhiệt sẽ áp dụng theo từng nấc ứng với công suất, điện áp và dòng điện ở các nấc đó, xem 5.6 của TCVN 6306-1 (IEC 60076-1). Tổn thất có tải là khác nhau đối với các nấc điều chỉnh khác nhau và đôi khi các tổn thất không tải cũng vậy, nghĩa là trong dải điều chỉnh có sự biến đổi điện áp từ thông thay đổi đã được qui định.

Nếu thực hiện thử nghiệm điển hình độ tăng nhiệt trên các máy biến áp như vậy thì thử nghiệm sẽ được tiến hành trên "nấc điều chỉnh dòng điện lớn nhất", nếu không có qui định nào khác, xem 5.3 của TCVN 6306-1 (IEC 60076-1).

**CHÚ THÍCH:** Trong máy biến áp có cuộn dây riêng rẽ, nấc điều chỉnh dòng điện lớn nhất thường là nấc điều chỉnh có tổn thất có tải cao nhất.

Trong máy biến áp tự ngẫu có các nấc điều chỉnh, việc lựa chọn nấc điều chỉnh để thử nghiệm độ tăng nhiệt phụ thuộc vào cách bố trí các nấc điều chỉnh.

Đối với máy biến áp có nhiều cuộn dây, các yêu cầu về độ tăng nhiệt liên quan đến công suất danh định đồng thời của tất cả các cuộn dây, nếu công suất danh định của một cuộn dây bằng tổng các công suất danh định của các cuộn dây khác. Nếu không phải là trường hợp trên thì phải chọn và qui định một hay nhiều tổ hợp tải đặc biệt cho thử nghiệm độ tăng nhiệt, xem 5.2.3.

Trong các máy biến áp có bố trí cuộn dây đồng tâm, hai hoặc nhiều cuộn dây riêng rẽ có thể đặt chồng lên nhau. Trong trường hợp này, giới hạn nhiệt độ cuộn dây phải áp dụng cho giá trị trung bình các chỉ số của các cuộn dây chồng nhau nếu các cuộn dây này có cùng kích cỡ và thông số đặc trưng. Nếu không thì việc đánh giá sẽ theo thỏa thuận.

Các giới hạn độ tăng nhiệt cho dưới đây có hiệu lực đối với các máy biến áp có cách điện rắn "cấp A" theo IEC 60085, và ngâm trong dầu mỏ hoặc chất lỏng tổng hợp có điểm cháy không lớn hơn  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  (chữ cái thứ nhất của mã: O).

Các giới hạn độ tăng nhiệt của máy biến áp có hệ thống cách điện chịu nhiệt cao hơn và/hoặc được ngâm trong chất lỏng khó cháy hơn (chữ cái của mã K hoặc L) thì phải có sự thỏa thuận.

Các giới hạn độ tăng nhiệt của máy biến áp khô với các hệ thống cách điện khác nhau được nêu trong IEC 60076-11.

Các giới hạn sau đây về độ tăng nhiệt của các máy biến áp ngâm trong dầu (chữ cái của mã O) liên quan đến trạng thái ổn định tại công suất danh định liên tục. Các giới hạn này chỉ có hiệu lực khi áp dụng điều kiện vận hành bình thường có làm mát, xem 4.3.1 dưới đây.

- Độ tăng nhiệt ở lớp dầu trên cùng, xem 5.3.1 60 °C

Độ tăng nhiệt trung bình của cuộn dây (bằng cách đo điện trở, xem 5.4)

- Đối với máy biến áp được phân biệt là ON .. hoặc OF .. 65 °C

- Đối với máy biến áp được phân biệt là OD .. 70 °C

Không có qui định giới hạn độ tăng nhiệt của lõi, các mối nối điện ở ngoài cuộn dây hoặc của các bộ phận kết cấu nằm trong thùng máy. Tuy nhiên, có một yêu cầu rõ ràng là các bộ phận này không được đạt đến nhiệt độ có thể gây hỏng các bộ phận lân cận hoặc làm cho dầu bị lão hoá quá mức. Đối với máy biến áp lớn, điều này có thể khảo sát được bằng thử nghiệm đặc biệt, xem phụ lục B.

### 4.3 Yêu cầu cần sửa đổi do điều kiện làm việc không bình thường

Nếu điều kiện làm việc tại địa điểm dự định lắp đặt không nằm trong giới hạn về "điều kiện làm việc bình thường" thì các giới hạn về độ tăng nhiệt đối với máy biến áp sẽ được sửa đổi cho phù hợp.

Các qui định đối với máy biến áp không được nêu ở 2.2 của IEC 60076-11.

#### 4.3.1 Máy biến áp ngâm trong dầu, làm mát bằng không khí

Các giới hạn về nhiệt độ không khí bình thường (-25 °C và +40 °C) đối với máy biến áp điện lực được nêu ở 1.2 của TCVN 6306-1 (IEC 60076-1). Đối với máy biến áp làm mát bằng không khí thì điều kiện nhiệt độ tại địa điểm dự định lắp đặt không được vượt quá:

+30 °C trung bình tháng, của tháng nóng nhất; hoặc

+20 °C trung bình năm.

Nếu điều kiện nhiệt độ tại nơi lắp đặt vượt quá một trong các giới hạn này thì tất cả các giới hạn độ tăng nhiệt đối với máy biến áp sẽ phải giảm đi một lượng bằng lượng vượt quá. Các con số sẽ được làm tròn đến các số nguyên gần nhất của nhiệt độ.

CHÚ THÍCH: Nhiệt độ trung bình được suy ra từ các số liệu khí tượng như dưới đây (TCVN 6306-1 (IEC 60076-1), định nghĩa 3.12).

Nhiệt độ trung bình tháng:

trung bình cộng giữa nhiệt độ trung bình cực đại hàng ngày và nhiệt độ trung bình cực tiểu hàng ngày trong một tháng cụ thể, được theo dõi trong nhiều năm;

Nhiệt độ trung bình năm:

trung bình của các nhiệt độ trung bình tháng trong một năm.

## TCVN 6306-2 : 2006

Nếu địa điểm lắp đặt cao hơn 1 000 m so với mực nước biển nhưng nhà máy chế tạo không ở độ cao đó thì độ tăng nhiệt cho phép khi thử nghiệm trong nhà máy sẽ được giảm xuống như sau.

Đối với máy biến áp làm mát tự nhiên (...AN), giới hạn độ tăng nhiệt trung bình của cuộn dây sẽ giảm đi 1 °C cho mỗi khoảng 400 m khi độ cao so với mực nước biển của địa điểm lắp đặt vượt quá 1 000 m.

Đối với máy biến áp làm mát cưỡng bức (...AF) thì cứ 250 m giảm đi 1 °C.

Có thể áp dụng việc hiệu chỉnh ngược lại một cách tương ứng trong trường hợp mà nhà máy chế tạo đặt tại nơi cao hơn 1 000 m so với mực nước biển, còn địa điểm lắp đặt máy biến áp lại thấp hơn 1 000 m so với mực nước biển.

Bất cứ sự hiệu chỉnh nào về độ cao so với mực nước biển cũng phải làm tròn nhiệt độ về số nguyên gần nhất.

Khi giới hạn độ tăng nhiệt qui định của máy biến áp đã được giảm đi do nhiệt độ môi chất làm mát cao hoặc do địa điểm lắp đặt có độ cao so với mực nước biển là lớn thì điều đó phải được chỉ dẫn trên tấm nhãn, xem 7.2 của TCVN 6306-1 (IEC 60076-1).

**CHÚ THÍCH:** Khi các máy biến áp đã được tiêu chuẩn hoá được dùng ở độ cao so với mực nước biển là lớn, có thể tính toán được chỉ số giảm công suất, tương ứng với vận hành ở công suất danh định trong điều kiện môi trường bình thường từ quan điểm làm mát và độ tăng nhiệt.

### 4.3.2 Máy biến áp ngâm trong dầu, làm mát bằng nước

Nhiệt độ nước làm mát bình thường, theo 1.2 của TCVN 6306-1 (IEC 60076-1) không được cao hơn +25 °C. Nếu nhiệt độ nước làm mát vượt quá giới hạn này thì giới hạn độ tăng nhiệt qui định đối với máy biến áp đó phải giảm đi một lượng bằng lượng vượt quá. Chỉ số nhiệt độ sẽ được làm tròn về số nguyên gần nhất.

Ảnh hưởng của sự khác về nhiệt độ môi trường hoặc độ cao so với mực nước biển đến khả năng làm mát bằng không khí của thùng máy được bỏ qua.

### 4.4 Độ tăng nhiệt trong một chu trình tải qui định

Nếu điều kiện bảo trì và/hoặc thử nghiệm đặc biệt đối với chu trình tải đòi hỏi phải qui định thì phải bao gồm các thông số sau đây:

- điều kiện nhiệt độ ban đầu của máy biến áp hoặc ở nhiệt độ môi trường hoặc với độ tăng nhiệt ổn định tương ứng với tỷ lệ qui định của dòng điện danh định ("trước tải");
- biên độ (không đổi) của dòng điện thử nghiệm, được biểu thị là bội số của dòng điện danh định và thời gian duy trì dòng điện đó;
- giá trị độ tăng nhiệt lớn nhất cho phép của lớp dầu phía trên và nhiệt độ trung bình của cuộn dây (đo bằng điện trở) tại thời điểm kết thúc thử nghiệm. Yêu cầu này là tùy chọn. Có thể tiến hành thử nghiệm chỉ để lấy thông tin mà không có bất kỳ giới hạn nào và cần được thỏa thuận trước.



– các quan trắc và phép đo cần thực hiện, ví dụ như đo trực tiếp nhiệt độ điểm nóng, ước lượng nhiệt độ làm nóng vỏ của thùng máy và các giới hạn có thể có liên quan đến chúng.

Các khuyến cáo khác và nội dung liên quan đến việc nghiên cứu chu trình tải – đặc biệt là các phép đo và đánh giá, xem điều B.4, phụ lục B.

## 5 Thử nghiệm độ tăng nhiệt

### 5.1 Qui định chung

Điều này mô tả qui trình để xác định nhiệt độ và độ tăng nhiệt khi thử nghiệm tại nhà máy chế tạo cũng như các phương pháp thay thế chế độ mang tải bằng các qui trình thử nghiệm tương đương.

Điều này nêu các yêu cầu về việc thử nghiệm cả hai loại máy biến áp loại ngâm trong dầu và máy biến áp loại khô, nếu thuộc đối tượng phải áp dụng.

Trong khi thử nghiệm độ tăng nhiệt máy biến áp, phải được trang bị các thiết bị bảo vệ (ví dụ, rơle hơi Buchholz cho máy biến áp ngâm trong dầu). Mọi chỉ dẫn trong khi thử nghiệm đều phải được ghi rõ.

#### 5.1.1 Nhiệt độ không khí làm mát

Cần lưu ý để sự thay đổi nhiệt độ không khí làm mát là nhỏ nhất đặc biệt là giai đoạn cuối của thử nghiệm, khi đã đạt đến tình trạng ổn định. Sự thay đổi nhanh chóng số đo nhiệt độ do sự cố cần phải ngăn ngừa bằng các phương tiện thích hợp như các bể hấp thụ nhiệt, có hằng số thời gian thích hợp dùng cho các cảm biến nhiệt. Phải sử dụng ít nhất ba bộ cảm biến nhiệt. Chỉ số trung bình của các bộ đó sẽ được dùng để đánh giá trong thử nghiệm. Cần ghi lại các chỉ số sau những khoảng thời gian bằng nhau hoặc có thể sử dụng máy tự ghi liên tục.

Các bộ cảm biến phải được phân bố xung quanh thùng máy, cách thùng máy hoặc các bề mặt làm mát từ 1 m đến 2 m và được bảo vệ tránh bức xạ nhiệt trực tiếp. Xung quanh máy biến áp kiểu tự làm mát, các bộ cảm biến phải được đặt ở mức bằng nửa khoảng cách đến bề mặt làm mát.

Đối với máy biến áp kiểu làm mát bằng không khí cưỡng bức, các bộ cảm biến được đặt sao cho có thể ghi lại được nhiệt độ thực tế của không khí khi đưa vào bộ phận làm mát. Cần lưu ý tới không khí nóng có thể tuần hoàn trở lại. Nên bố trí đối tượng thử nghiệm sao cho hạn chế đến tối thiểu sự cản trở luồng không khí và tạo ra các điều kiện môi trường ổn định.

#### 5.1.2 Nhiệt độ nước làm mát

Cần có biện pháp làm giảm đến tối thiểu sự biến động nhiệt độ nước làm mát trong quá trình thử nghiệm. Nhiệt độ được đo ở đầu vào của bộ làm mát. Chỉ số đọc nhiệt độ và lưu lượng nước làm mát phải được lấy với các quãng thời gian đều đặn hoặc có thể sử dụng máy tự ghi liên tục.

## 5.2 Phương pháp thử nghiệm để xác định độ tăng nhiệt

### 5.2.1 Qui định chung

Vi lý do thực tiễn, phương pháp chuẩn để xác định độ tăng nhiệt trong trạng thái ổn định của máy biến áp ngâm trong dầu trên sàn thử nghiệm là thử nghiệm tương đương bằng cách đấu nối ngắn mạch theo 5.2.2 dưới đây.

Trong trường hợp đặc biệt, có thể chấp nhận thực hiện thử nghiệm với điện áp và dòng điện xấp xỉ danh định bằng cách đấu nối tải thích hợp. Điều này chủ yếu áp dụng cho máy biến áp có công suất danh định thấp.

Phương pháp "lưng tựa lưng" cũng có thể được chấp nhận. Theo phương pháp này, hai máy biến áp trong đó có một máy cần thử nghiệm được đấu nối song song và đều được cấp điện với điện áp danh định của máy biến áp cần thử nghiệm. Bằng các tỷ số điện áp khác nhau hoặc bằng một điện áp đưa vào, dòng điện danh định được cho chạy qua máy biến áp cần thử nghiệm.

Qui trình có thể áp dụng cho máy biến áp khô được mô tả ở IEC 60076-11.

### 5.2.2 Thử nghiệm bằng phương pháp ngắn mạch đến trạng thái xác lập

Trong thử nghiệm này, máy biến áp không đồng thời chịu điện áp danh định và dòng điện danh định mà chịu tổn thất tổng tính toán có được trước đây nhờ hai lần xác định tổn thất riêng biệt, cụ thể là tổn thất có tải ở nhiệt độ qui đổi và tổn thất không tải, xem 10.4 và 10.5 của TCVN 6306-1 (IEC 60076-1).

Thử nghiệm có hai mục tiêu:

- thiết lập độ tăng nhiệt của lớp dầu phía trên trong điều kiện trạng thái xác lập do tiêu thụ tổn thất tổng;
- thiết lập độ tăng nhiệt trung bình của cuộn dây ở dòng điện danh định và cùng với độ tăng nhiệt của lớp dầu phía trên như đã xác định ở trên.

Điều này được thực hiện bằng hai bước:

#### a) Đưa tổn thất tổng vào

Trước hết thiết lập độ tăng nhiệt trung bình của dầu và độ tăng nhiệt của lớp dầu phía trên khi máy biến áp chịu một điện áp thử nghiệm sao cho công suất tác dụng đo được bằng tổn thất tổng của máy biến áp, xem 3.6, 10.4 và 10.5 của TCVN 6306-1 (IEC 60076-1). Dòng điện thử nghiệm sẽ lớn hơn dòng điện danh định tới mức cần thiết để tạo ra thêm một lượng tổn thất bằng tổn thất không tải, và độ tăng nhiệt của cuộn dây cũng được tăng lên tương ứng.

Nhiệt độ dầu và nhiệt độ môi chất làm mát được theo dõi, và thử nghiệm được tiếp tục cho tới khi độ tăng nhiệt của dầu đạt đến trạng thái xác lập.

Có thể kết thúc thử nghiệm khi tỷ lệ độ tăng nhiệt của dầu phía trên có mức thay đổi dưới  $1^{\circ}\text{C}$  mỗi giờ và phải duy trì như thế trong 3 h. Nếu các chỉ số riêng lẻ đã được ghi lại trong những khoảng thời gian bằng nhau thì giá trị trung bình trong giờ cuối cùng được lấy làm kết quả của thử nghiệm. Nếu sử dụng máy tự ghi liên tục thì lấy giá trị trung bình trong giờ cuối cùng.

**CHÚ THÍCH:** Nếu hằng số thời gian của độ tăng nhiệt của dầu không quá 3 h thì có thể bỏ qua sai số do rút ngắn qui trình này. Các qui tắc khác về rút ngắn được đề cập ở phụ lục C.

#### b) Đưa dòng điện danh định vào

Khi thiết lập được độ tăng nhiệt của dầu phía trên thì thử nghiệm phải được tiếp tục ngay lập tức với dòng điện thử nghiệm giảm đến dòng điện danh định đối với tổ hợp cuộn dây được đấu nối (đối với máy biến áp có nhiều cuộn dây, xem 5.2.3). Điều kiện này được duy trì trong 1 h quan sát liên tục nhiệt độ của dầu và môi chất làm mát.

Cuối giờ, đo điện trở của các cuộn dây hoặc là sau khi cắt nhanh nguồn cấp và ngắn mạch (xem 5.5 và điều C.2 và C.3 của phụ lục C) hoặc, không cắt nguồn cấp, nhờ phương pháp xếp chồng bằng cách đưa vào cuộn dây dòng điện đo một chiều có giá trị nhỏ xếp chồng với dòng điện phụ tải.

**CHÚ THÍCH 1:** Việc sử dụng dòng điện một chiều xếp chồng để đo điện trở của cuộn dây được mô tả trong IEC 60279.

Giá trị nhiệt độ trung bình của hai cuộn dây được xác định từ điện trở, theo 5.4.

Trong vòng một giờ với dòng điện danh định, nhiệt độ dầu giảm. Các giá trị đo được của nhiệt độ cuộn dây bởi vậy cũng được nâng lên một lượng bằng lượng giảm của độ tăng nhiệt trung bình của dầu so với giá trị chính xác đã lấy theo qui trình a) ở trên. Giá trị đã được hiệu chỉnh của nhiệt độ cuộn dây trừ đi nhiệt độ môi chất làm mát tại thời kỳ cuối của thử nghiệm khi đưa tổn thất tổng vào là độ tăng nhiệt trung bình của cuộn dây.

**CHÚ THÍCH 2:** Để tính toán nhiệt độ khi tải thay đổi, coi độ tăng nhiệt của cuộn dây là tổng của hai phần: độ tăng nhiệt trung bình của dầu (so với nhiệt độ môi chất làm mát) cộng với chênh lệch giữa nhiệt độ trung bình của cuộn dây và nhiệt độ trung bình của dầu (xem 5.6 và điều B.2 và B.3 của phụ lục B).

Theo thỏa thuận, có thể kết hợp hai bước thử nghiệm thành một bằng cách dùng công suất ở mức giữa tổn thất có tải và tổn thất tổng. Giá trị độ tăng nhiệt của lớp dầu phía trên và của cuộn dây được xác định bằng cách dùng qui tắc hiệu chỉnh của 5.6. Tuy nhiên, công suất đưa vào trong quá trình thử nghiệm ít nhất phải bằng 80 % giá trị tổn thất tổng.

#### 5.2.3 Sửa đổi thử nghiệm đối với máy biến áp đặc biệt

Máy biến áp hai cuộn dây có nấc điều chỉnh lớn hơn  $\pm 5\%$

Nếu không có qui định nào khác, thử nghiệm độ tăng nhiệt được tiến hành với máy biến áp đầu nối vào "nấc điều chỉnh có dòng điện lớn nhất" (xem 5.3 của TCVN 6306-1 (IEC 60076-1)) và dòng điện nấc điều chỉnh này được dùng trong phần tiếp theo của thử nghiệm (xem 5.2.2 b)).

Tổn thất tổng được đưa vào ở bước thứ nhất của thử nghiệm (xem 5.2.2 a)) phải bằng giá trị cao nhất của tổng tổn thất xuất hiện ở nấc điều chỉnh bất kỳ (tương ứng với các số lượng nấc điều chỉnh của máy biến áp). Nấc điều chỉnh này thường là nấc điều chỉnh dòng điện cực đại nhưng không phải luôn là nấc điều chỉnh dòng điện cực đại. Bước này của thử nghiệm xác định độ tăng nhiệt cực đại của lớp dầu phía trên. Để xác định độ tăng nhiệt của cuộn dây tại nấc điều chỉnh dòng lớn nhất, giá trị độ tăng nhiệt của dầu được dùng để đánh giá phải tương ứng với tổn thất tổng của nấc điều chỉnh đó. Nếu thu được các số liệu khác thì giá trị trong bước thứ nhất của thử nghiệm phải được tính lại.

#### Máy biến áp nhiều cuộn dây

Trong bước thứ nhất của thử nghiệm, tổn thất tổng phải được tăng tương ứng với công suất danh định (hoặc công suất nấc điều chỉnh) trong tất cả các cuộn dây, nếu công suất danh định của một cuộn dây bằng tổng công suất danh định của các cuộn dây khác.

Nếu điều này không áp dụng thì có các trường hợp mang tải qui định với các tổ hợp khác nhau của mỗi cuộn dây riêng rẽ. Trường hợp có tổn thất tổng lớn nhất sẽ xác định công suất thử nghiệm dùng để xác định độ tăng nhiệt của dầu.

Giá trị độ tăng nhiệt của từng cuộn dây riêng rẽ so với nhiệt độ dầu phải đạt được khi có dòng điện danh định trong mỗi cuộn dây.

Để xác định độ tăng nhiệt của cuộn dây so với nhiệt độ môi trường, độ tăng nhiệt của dầu trong trường hợp mang tải đang xét sẽ được tính lại từ thử nghiệm bằng cách đưa tổn thất tổng vào theo 5.6, và cũng như vậy, độ tăng nhiệt của cuộn dây so với dầu cho từng cuộn dây, nếu thuộc đối tượng áp dụng.

Hướng dẫn tính toán lại các tổn thất trong máy biến áp nhiều cuộn dây được nêu trong IEC 60076-8.

Việc đưa tổn thất tổng để xác định độ tăng nhiệt của dầu được thực hiện như sau:

- hoặc theo cách càng gần trường hợp mang tải thực càng tốt, bằng cách đưa vào dòng điện tương ứng với tổn thất tổng trong một cuộn dây, còn các cuộn dây khác thì đồng thời bị nối ngắn mạch hoặc nối với trở kháng;
- hoặc theo cách gần đúng, không làm ngắn mạch hoặc đóng mạch một số cuộn dây nào đó; ví dụ, nếu một trong các cuộn dây có công suất danh định tương đối thấp và đóng góp ít vào tổn thất tổng của máy biến áp thì cuộn dây đó có thể để hở và nâng dòng điện trong các cuộn dây khác cho đến khi đạt được đúng tổn thất tổng.

Nếu không có phương pháp nào có thể áp dụng một cách đầy đủ do hạn chế về phương tiện thử nghiệm thì cũng có thể thỏa thuận để thực hiện thử nghiệm với tổn thất giảm còn 80 % giá trị thực. Khi đó giá trị nhiệt độ đo được phải được hiệu chỉnh theo 5.6.

Theo qui tắc, chỉ tiết thử nghiệm độ tăng nhiệt đối với máy biến áp có nhiều cuộn dây cần được trình bày và thỏa thuận ngay ở giai đoạn chào thầu.

### 5.3 Xác định nhiệt độ dầu :

#### 5.3.1 Lớp dầu phía trên

Nhiệt độ lớp dầu phía trên được xác định bằng một hoặc nhiều bộ cảm biến ngâm trong lớp dầu phía trên của thùng máy, trong các túi có vỏ bọc hoặc trong các ống dẫn từ thùng tới bộ phận tản nhiệt hoặc làm mát riêng. Việc sử dụng nhiều bộ cảm biến là đặc biệt quan trọng đối với các máy biến áp lớn, các chỉ số của chúng phải được lấy trung bình để đạt được giá trị nhiệt độ tiêu biểu.

CHÚ THÍCH: Ở phía trên của thùng máy, nhiệt độ của dầu ở các điểm khác nhau có thể khác nhau và phụ thuộc vào thiết kế. Phép đo có sử dụng túi có vỏ bọc có thể bị ảnh hưởng do phát nóng của dòng điện xoáy ở vỏ. Trong các máy biến áp có sự tuần hoàn cưỡng bức của dầu đến thiết bị làm mát, có sự trộn lẫn của dầu từ các cuộn dây với dầu đi tắt trong thùng, có thể có sự không đồng đều giữa các bộ phận khác nhau của thùng hoặc giữa các ống của mạch làm mát khác nhau. Về ý nghĩa của nhiệt độ dầu phía trên trong các máy biến áp với sự tuần hoàn cưỡng bức, xem thêm ở phụ lục A.

#### 5.3.2 Lớp dầu ở đáy và lớp dầu ở giữa

"Dầu ở đáy" là thuật ngữ mà trong thực tế có nghĩa là (nhiệt độ của) dầu đi vào các cuộn dây ở đáy thùng máy. Vì các lý do thực tiễn nên nhiệt độ của dầu từ thiết bị làm mát trở về thùng được xem là nhiệt độ "dầu ở đáy". "Dầu ở giữa" là khái niệm dùng để hiệu chỉnh các kết quả thử nghiệm độ tăng nhiệt nhất định, xem 5.2.2 và 5.6. Khái niệm này cũng được sử dụng trong mô hình toán học để dự báo nhiệt độ làm việc có tải cụ thể, không đổi hoặc biến đổi, xem phụ lục B.

Nhiệt độ lớp dầu ở đáy được xác định bằng các bộ cảm biến được gắn vào các ống dẫn trở về từ bộ phận làm mát hoặc tản nhiệt. Nếu có lắp nhiều bộ thiết bị làm mát thì nên sử dụng nhiều bộ cảm biến.

CHÚ THÍCH: Dòng chảy của dầu trong các ống dẫn trở về có thể bị rối nếu dòng chảy được đẩy bằng bơm, hoặc phân lớp, nếu là tuần hoàn tự nhiên qua bộ tản nhiệt. Đây là điều quan trọng để xác định nhiệt độ dầu tượng trưng trong đường ống dẫn dầu chính.

Về nguyên tắc, nhiệt độ trung bình của dầu phải là nhiệt độ trung bình của dầu làm mát trong các cuộn dây. Để đánh giá thử nghiệm, theo qui ước giá trị trung bình của nhiệt độ dầu phía trên và nhiệt độ dầu phía đáy được xác định như mô tả ở trên.

CHÚ THÍCH 1: Đối với máy biến áp ONAN có công suất đến 2 500 KVA có thùng máy phẳng hoặc gấp nếp hoặc các ống làm mát riêng lẻ được lắp trực tiếp vào thùng, độ tăng nhiệt trung bình của dầu so với nhiệt độ không khí xung quanh có thể lấy bằng 80 % độ tăng nhiệt của lớp dầu phía trên.

CHÚ THÍCH 2: Đối với các mục đích khác không dùng để đánh giá thử nghiệm, nhiệt độ trung bình của dầu có thể được xác định bằng cách khác, xem phụ lục A.

#### 5.4 Xác định nhiệt độ trung bình của cuộn dây

Nhiệt độ trung bình của cuộn dây được xác định bằng cách đo điện trở cuộn dây. Trong máy biến áp ba pha ưu tiên đo ở pha giữa. Tỷ số giữa giá trị điện trở  $R_2$  ở nhiệt độ  $\theta_2$  (độ C) và  $R_1$  ở nhiệt độ  $\theta_1$  được tính như sau:

$$\text{Đồng: } \frac{R_2}{R_1} = \frac{235 + \theta_2}{235 + \theta_1}$$

$$\text{Nhôm: } \frac{R_2}{R_1} = \frac{225 + \theta_2}{225 + \theta_1}$$

Phép đo chuẩn ( $R_1, \theta_1$ ) của tất cả các điện trở cuộn dây được thực hiện với máy biến áp tại nhiệt độ môi trường trong chế độ xác lập, xem 10.2.3 của TCVN 6306-1 (IEC 60076-1). Khi đo điện trở  $R_2$  tại nhiệt độ khác, nó cho giá trị nhiệt độ:

$$\text{Đồng: } \theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + \theta_1) - 235$$

$$\text{Nhôm: } \theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (225 + \theta_1) - 225$$

Nhiệt độ của môi chất làm mát bên ngoài ở lúc ngắt điện là  $\theta_a$ .

Cuối cùng, độ tăng nhiệt của cuộn dây là:

$$\Delta\theta_w = \theta_2 - \theta_a$$

Khi điện trở cuộn dây được đo sau khi ngắt nguồn điện và đấu nối ngắn mạch, giá trị điện trở  $R_2$  ngay trước khi cắt điện phải được xác định theo 5.5.

#### 5.5 Xác định nhiệt độ của cuộn dây trước khi cắt điện

Thử nghiệm độ tăng nhiệt (xem 5.2.2) đòi hỏi phải xác định nhiệt độ trung bình của cuộn dây ngay trước khi cắt điện. Phương pháp chuẩn như sau:

Ngay sau khi cắt nguồn điện thử nghiệm và tháo bỏ đấu nối ngắn mạch, một mạch đo một chiều được đấu nối vào các cuộn dây pha cần đo. Các cuộn dây có hằng số thời gian điện  $L/R$  lớn. Vì vậy, chỉ có thể lấy được số đo chính xác sau thời gian trễ nào đó. Điện trở của cuộn dây thay đổi theo thời gian khi cuộn dây nguội dần. Điện trở sẽ được đo trong một khoảng thời gian vừa đủ để cho phép ngoại suy trở về thời điểm cắt điện.

Phụ lục C đưa ra các khuyến cáo để thực hiện chi tiết phép đo và các phương pháp khác có thể sử dụng để tạo thuận lợi trong một số trường hợp đặc biệt.

Nhằm đạt được kết quả càng chính xác càng tốt, điều kiện làm mát trong khi tiến hành đo điện trở phải càng ít bị nhiễu càng tốt. Vấn đề này có liên quan đến các máy biến áp ngâm trong dầu làm mát cưỡng bức, được đề cập ở phụ lục A.

## 5.6 Hiệu chỉnh

Trong thử nghiệm, nếu không đạt được các giá trị công suất hoặc dòng điện qui định thì kết quả sẽ được hiệu chỉnh theo các quan hệ sau. Chúng có hiệu lực trong dải  $\pm 20\%$  từ giá trị mục tiêu của công suất và  $\pm 10\%$  từ giá trị mục tiêu của dòng điện. Theo thỏa thuận có thể áp dụng các giá trị này trong dải rộng hơn, xem B.2 của phụ lục B.

Độ tăng nhiệt của dầu so với nhiệt độ môi trường trong khi thử nghiệm được nhân với:

$$\left[ \frac{\text{tổn thất tổng}}{\text{tổn thất thử nghiệm}} \right]^x$$

$x = 0,8$  đối với máy biến áp phân phối (làm mát tự nhiên, công suất danh định lớn nhất là 2 500 kVA).

$x = 0,9$  đối với máy biến áp lớn hơn, làm mát kiểu ON ..

$x = 1,0$  đối với máy biến áp làm mát kiểu OF .. hay OD ..

Độ tăng nhiệt trung bình của cuộn dây so với nhiệt độ trung bình của dầu trong quá trình thử nghiệm được nhân với:

$$\left[ \frac{\text{dòng điện danh định}}{\text{dòng điện thử nghiệm}} \right]^y$$

$y = 1,6$  đối với máy biến áp làm mát kiểu ON .. và OF ..

$y = 2,0$  đối với máy biến áp làm mát kiểu OD ..

## Phụ lục A

(tham khảo)

### Lưu ý về nhiệt độ dầu trong máy biến áp có tuần hoàn dầu cưỡng bức

Trong máy biến áp kiểu ON .., về nguyên tắc, ở chế độ xác lập lưu lượng dầu qua các cuộn dây bằng lưu lượng qua bộ tản nhiệt. Nói chung, cùng một kết quả được áp dụng cho cả máy biến áp kiểu OD .. trong đó chỉ có một lượng rò rỉ vừa phải hoặc một dòng chảy có thể điều khiển được từ bộ phận làm mát vào thể tích rỗng của thùng máy. Tuy nhiên ở máy biến áp kiểu OF .. với dòng chảy không trực tiếp qua các cuộn dây, các điều kiện lại khác.

Trong máy biến áp kiểu OF .., dung lượng bơm đẩy tải phải đủ để thỏa mãn lưu lượng tối đa qua các cuộn dây ngay cả trong một số trường hợp quá tải có giới hạn nào đó. Do vậy, khi mang tải danh định và mang tải một phần, có một lượng thừa chảy qua bộ làm mát, song song ở ngoài cuộn dây, ở trong thùng. Mạch dầu song song này có nhiệt độ không đổi, sẽ từ từ dâng lên tới mức mà dầu nóng từ đỉnh các cuộn dây được phun ra.

Dòng dầu nóng này trộn lẫn với dầu chảy song song mát hơn ở trong thùng. Thể tích tính từ mức xả của cuộn dây tới đỉnh của thùng được chứa đầy một hỗn hợp có nhiệt độ tương đối đồng đều, thấp hơn nhiệt độ của dầu đi ra khỏi đỉnh của cuộn dây.

Phép đo qui ước với nhiệt độ dầu phía trên sẽ cho nhiệt độ của dầu hỗn hợp. Nếu dùng phép đo để xác định nhiệt độ trung bình trong cuộn dây và sự chênh lệch nhiệt độ cuộn dây và dầu thì kết quả là không thực tế và có thể phạm sai sót nếu dùng để tính toán nhiệt độ điểm nóng và nghiên cứu khả năng mang tải.

Một phương pháp khác để xác định nhiệt độ dầu trong cuộn dây đôi khi được nhắc đến như "nhiệt độ dầu trung bình ngoại suy". Theo phương pháp này, việc giám sát nhiệt độ trung bình của cuộn dây bằng phương pháp đo điện trở sau khi kết thúc thử nghiệm vẫn được tiếp tục thêm một khoảng thời gian nữa. Mức độ thay đổi điện trở giảm thêm trong thời gian từ 5 min đến 20 min. Vì không còn tổn thất tiêu tán trong cuộn dây nên nhiệt độ của nó sẽ đạt đến nhiệt độ của dầu xung quanh. Giả định ngầm là nhiệt độ dầu trung bình có thể xem như không đổi (hoặc chỉ giảm dần dần cùng với nhiệt độ của toàn bộ thể tích dầu trong máy biến áp). Giả định này là không có cơ sở. Đối với một số thiết kế, phương pháp này cho kết quả hoàn toàn không thực tế.

Thực tế, không có phương pháp chung và đáng tin cậy nào để xác định "nhiệt độ dầu xung quanh" trong máy biến áp kiểu OF .. mà chỉ căn cứ vào phép đo từ phía ngoài cuộn dây.

Trong 5.5 đã chỉ ra rằng điều kiện làm mát nên càng ít bị nhiễu càng tốt khi các phép đo nhiệt độ cuộn dây đang được tiến hành sau khi cắt điện. Trước khi cắt điện, lượng dầu tự do xung quanh cuộn dây có



"nhiệt độ dầu ở đáy". Cuộn dây nhận dầu ở nhiệt độ này. Bộ làm mát nhận một lượng dầu hỗn hợp phía trên của thùng, trên lối thoát dầu của cuộn dây.

Sau khi cắt điện nguồn thử nghiệm, tuần hoàn của dầu có thể tiếp tục theo nhiều cách khác nhau.

- Nếu vẫn còn sự tuần hoàn bằng bơm và thông gió của quạt thì bộ phận làm mát vẫn tiếp tục nhận dầu hỗn hợp và đưa dầu có nhiệt độ dầu ở đáy về thùng. Cứ tiếp tục như vậy, nhiệt độ dầu hỗn hợp bắt đầu hạ xuống và nhiệt độ dầu ở đáy hạ xuống theo.
- Nếu tuần hoàn của bơm còn duy trì mà các quạt thông gió ngừng thì các bộ phận làm mát sẽ đưa hầu hết lượng dầu có nhiệt độ phía trên về đáy thùng và từ đáy, dầu sẽ dâng lên và hòa lẫn với dầu tự do xung quanh các cuộn dây.
- Nếu cả bơm và quạt đều ngừng thì cuộn dây vẫn tiếp tục cấp dầu nóng phía trên thùng. Đường phân ranh giới giữa dầu phía trên và dầu ở đáy bắt đầu chìm xuống dưới mức dầu thoát ra từ cuộn dây. Điều này tiếp tục làm thay đổi trạng thái nhiệt của dầu trong thùng ở ngoài cuộn dây và ảnh hưởng đến sự tuần hoàn phía trên của dầu bên trong cuộn dây.

Nói chung tốt nhất là để cả bơm và quạt cùng hoạt động nhưng chênh lệch kết quả thử nghiệm giữa các khả năng khác nhau thật ra không quan trọng khi so sánh khi không chắc chắn lắm về sự phân bố nhiệt độ dầu trong cuộn dây như đã mô tả ở trên.

## Phụ lục B

(tham khảo)

### Mang tải quá độ – Mô hình toán học và thử nghiệm

#### B.1 Qui định chung

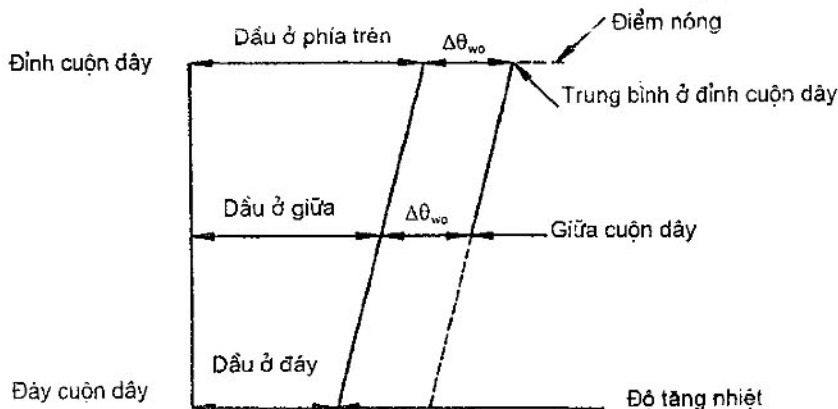
Kết quả từ thử nghiệm độ tăng nhiệt đến trạng thái ổn định, theo 5.2 có thể sử dụng để đánh giá độ tăng nhiệt ở trạng thái ổn định với một tải khác và cũng để đánh giá độ tăng nhiệt quá độ (nếu đã biết hằng số thời gian nhiệt của máy biến áp).

Đối với máy biến áp cỡ nhỏ và cỡ trung bình, những đánh giá như vậy được thực hiện theo mô hình toán học qui ước, được mô tả trong B.2 và B.3 dưới đây.

Tuy nhiên, hiệu lực của mô hình này đối với máy biến áp không chắn chắn như đối với máy biến áp có công suất danh định thấp hơn. Khi tiến hành phân tích khả năng mang tải, ví dụ liên quan đến mang tải khẩn cấp lớn hơn công suất danh định, nên lấy các số liệu thích hợp đối với máy biến áp thực. Có một cách tiến hành thử nghiệm đặc biệt với tải quá độ vượt quá công suất danh định. Các khuyến cáo về qui trình thử nghiệm thích hợp về việc quan sát và các phép đo kết hợp được trình bày ở B.4.

#### B.2 Mô hình toán học về sự phân bố nhiệt độ trong một cuộn dây của máy biến áp dầu – Khái niệm về điểm nóng

Dầu làm mát đi vào đáy của cuộn dây và có "nhiệt độ dầu ở đáy". Dầu dâng lên qua cuộn dây và nhiệt độ của dầu giả thiết tăng lên tuyến tính với chiều cao. Tổn thất của cuộn dây được truyền từ cuộn dây sang dầu suốt dọc cuộn dây. Sự truyền nhiệt này đòi hỏi có sự giảm nhiệt độ giữa cuộn dây và dầu xung quanh mà nhiệt độ này được coi là như nhau ở mọi độ cao. Vì vậy, trong phần trình bày bằng đồ thị, hình B.1, nhiệt độ cuộn dây và nhiệt độ dầu sẽ là hai đường thẳng song song.



Hình B.1 – Mô hình phân bố nhiệt độ

Nhiệt độ cực đại tại bất cứ bộ phận nào của hệ thống cách điện của cuộn dây được gọi là "nhiệt độ điểm nóng". Thông số này được coi là đại diện cho giới hạn nhiệt về mang tải của máy biến áp. Theo qui tắc chung các bộ phận khác nhau của máy biến áp, ví dụ như: sứ xuyên, máy biến dòng hoặc bộ điều chỉnh theo nấc, nên được chọn sao cho không đại diện cho giới hạn hẹp hơn về khả năng mang tải của máy biến áp, xem 4.2 của TCVN 6306-1 (IEC 60076-1).

Ở phía đầu trên của cuộn dây thường có sự tập trung tổn thất dòng điện xoáy nên có thể cung cấp cho cuộn dây chất liệu cách điện đặc biệt làm tăng thêm độ cách nhiệt. Vì thế, chênh lệch nhiệt độ cực bộ thực tế giữa dây dẫn và dầu được giả thiết là cao hơn bằng "hệ số điểm nóng". Hệ số này được giả thiết là bằng từ 1,1 trong máy biến áp phân phối đến 1,3 trong máy biến áp cỡ trung bình. Trong các máy biến áp cỡ lớn, có sự thay đổi đáng kể phụ thuộc vào thiết kế và cần phải cho nhà chế tạo biết thông tin, trừ khi tiến hành các phép đo thực tế, ví dụ như theo B.4 dưới đây.

Chênh lệch nhiệt độ ở chế độ xác lập giữa cuộn dây và dầu, trung bình dọc theo cuộn dây được xem như chênh lệch giữa [nhiệt độ trung bình cuộn dây đo bằng điện trở] và [nhiệt độ dầu trung bình] xem 5.4 và 5.3 tương ứng.

Độ tăng nhiệt điểm nóng ở chế độ xác lập so với nhiệt độ môi chất làm mát bên ngoài (không khí hoặc nước) là tổng của [độ tăng nhiệt của dầu phía trên so với nhiệt độ môi chất làm mát] và [hệ số điểm nóng] x [chênh lệch nhiệt độ trung bình giữa cuộn dây và dầu].

Ở máy biến áp có dòng dầu cưỡng bức không trực tiếp (mã OD ..) khái niệm về nhiệt độ dầu ở phía trên và nhiệt độ dầu trung bình đều tối nghĩa chừng nào các số liệu nhiệt độ đó chỉ dựa vào các phép đo theo 5.3 và 5.4 (xem phụ lục A).

Các giá trị đo được về độ tăng nhiệt ở chế độ xác lập ở phụ tải đặc biệt được dùng để tính toán độ gia tăng tương ứng ở phụ tải khác bởi số mũ đã cho ở 5.6. Các giá trị này là các giá trị điển hình, chịu sự biến đổi tùy theo thiết kế và có hiệu lực với độ chính xác nào đó chỉ ở trong dải giới hạn của sự thay đổi tải. Điều 5.6 có giới hạn tương đối hẹp nhằm mục đích đánh giá các kết quả thử nghiệm tuân theo sự nam kết. Để ước lượng với yêu cầu về độ chính xác vừa phải, hàm số mũ có thể cho các kết quả hữu ích trên phạm vi rộng hơn.

### B.3 Phụ tải hoặc cách làm mát thay đổi. Hằng số thời gian nhiệt

Khi phụ tải thay đổi hoặc khi cường độ làm mát cưỡng bức thay đổi, nhiệt độ của cuộn dây và dầu sẽ thay đổi với một thời gian trễ nào đó. Điều này được mô tả có tính qui ước bằng hai hằng số thời gian. Một trong hai hằng số đó phản ánh nhiệt dung đo bằng calo của toàn bộ máy biến áp (trong đó nhiệt dung của khối lượng dầu chiếm phần lớn). Nói chung trị số này khoảng từ 1 h đến 5 h; ngắn hơn đối với các máy biến áp có làm mát cưỡng bức, kết cấu gọn, lớn và dài hơn đối với máy biến áp làm mát tự nhiên. Hằng số thời gian thứ hai ngắn hơn khoảng từ 5 min đến 20 min và phản ánh chênh lệch nhiệt độ giữa cuộn dây và dầu, tương ứng với những thay đổi về tổn thất toả ra.

Trong điều kiện thay đổi, độ tăng nhiệt của cuộn dây so với nhiệt độ của không khí hoặc nước làm mát được biểu thị bằng tổng của độ tăng nhiệt của dầu theo hằng số thời gian dài và độ tăng nhiệt của cuộn dây hơn nhiệt độ dầu theo hằng số thời gian ngắn. Các biểu thức toán học về sự thay đổi nhiệt độ quá độ theo thời gian được trình bày trong IEC 60076-7.

Mô hình toán học dùng cho máy biến áp khô được trình bày trong IEC 60905.

#### **B.4 Khuyến cáo về thử nghiệm độ tăng nhiệt có tải quá độ**

Như đã mô tả ở 4.4 của tiêu chuẩn này, có thể thỏa thuận để thực hiện thử nghiệm độ tăng nhiệt với tải trên đây ở dòng điện danh định trong khoảng thời gian giới hạn. Ví dụ, thử nghiệm này có thể được dùng để mô phỏng giai đoạn phụ tải đỉnh trong ngày phải vận hành khẩn cấp.

Tải của thử nghiệm được khuyến cáo bao gồm dòng điện không đổi, được biểu thị thích hợp theo đơn vị của dòng điện danh định, và với thời gian qui định và sau thời gian đó, cắt dòng điện thử nghiệm. Thử nghiệm được tiến hành bằng đầu nối ngắn mạch giống như thử nghiệm tới trạng thái xác lập ở phụ tải danh định. (Có thể chọn giá trị dòng tải đã qui định sao cho bao gồm cả tổn thất không tải.)

Có thể thực hiện tính toán đối với chu trình mang tải thực tế, ví dụ theo hướng dẫn ở IEC 60076-7, để kiểm chứng sự tương đương xấp xỉ của chu trình mang tải của thử nghiệm rút ngắn về nhiệt độ tối đa. Điều đó sẽ được qui định hoặc là thử nghiệm được bắt đầu với toàn bộ máy biến áp ở nhiệt độ môi trường của sản thử nghiệm, hoặc là ở nhiệt độ tương ứng với trạng thái xác lập ở dòng điện "trước tải" qui định, được biểu thị một cách thích hợp bằng một phần của dòng điện danh định.

Các bộ cảm biến nhiệt cần được lắp ít nhất là tới mức theo yêu cầu đối với thử nghiệm độ tăng nhiệt để đạt đến trạng thái xác lập. Nhiệt độ của dầu và cuộn dây (giá trị trung bình, tính bằng phương pháp điện trở), tại thời điểm cắt điện, được xác định bằng phương pháp chuẩn.

Các bộ cảm biến nhiệt bổ sung bên trong thùng máy biến áp có thể được sử dụng theo thỏa thuận. Nếu các bộ cảm biến được lắp đặt bên trong hệ thống cuộn dây nhằm ghi nhiệt độ điểm nóng cuộn dây thì nên sử dụng nhiều bộ cảm biến cùng một lúc. Gợi ý như vậy vì vị trí chính xác của điểm nóng nhất thường không biết trước. Nhiệt độ cục bộ có thể thay đổi từ điểm này đến điểm khác, và cũng biến đổi theo thời gian, phụ thuộc vào sự thay đổi ngẫu nhiên của dòng dầu. Cũng cần thừa nhận rằng nhiệt độ cục bộ, đo thực trong máy biến áp lớn có thể chênh lệch đáng kể so với các tính toán theo mô hình toán học qui ước được mô tả ở phần B.2 và trong IEC 60076-7. Trừ khi đã có kinh nghiệm về phương pháp đo đối với các thiết kế tương tự, các nghiên cứu chỉ được xem là khảo sát thăm dò. Nên hết sức thận trọng đối với các qui định có thể có trước về giới hạn nhiệt độ.

Việc giám sát nhiệt độ cục bộ của thùng máy và các đầu nối điện bằng kỹ thuật camera hồng ngoại có thể tiến hành nhằm giảm bớt nguy cơ hư hại trong quá trình thử nghiệm. Giám sát nhiệt độ các bộ phận kim loại kết cấu bên trong bằng các bộ cảm biến đặt tạm thời có thể phục vụ cho cùng một mục đích. Việc phân tích khí trong dầu trước và sau khi thử nghiệm là phương pháp chẩn đoán sự quá nhiệt ẩn (xem C.4).

## Phụ lục C

(tham khảo)

### Kỹ thuật sử dụng khí thử nghiệm độ tăng nhiệt của máy biến áp loại ngâm trong dầu

#### C.1 Rút ngắn thử nghiệm đến chế độ xác lập

Danh mục các ký hiệu

$\theta$	Nhiệt độ tính bằng °C
$\theta(t)$	Nhiệt độ của dầu, thay đổi theo thời gian (đây có thể là dầu ở phía trên hoặc dầu ở giữa)
$\theta_a$	Nhiệt độ môi chất làm mát bên ngoài (không khí xung quanh hoặc nước) coi như không đổi
$\Delta\theta$	Độ tăng nhiệt của dầu so với $\theta_a$
$\theta_u, \Delta\theta_u$	Giá trị tới hạn ở chế độ xác lập
$\varepsilon(t)$	Độ lệch dư ở giá trị chế độ xác lập $\theta_u$
$T_o$	Hằng số thời gian đối với hàm biến thiên theo số mũ của độ tăng nhiệt của dầu
$h$	Khoảng thời gian giữa các lần đọc chỉ số
$\theta_1, \theta_2, \theta_3$	Ba chỉ số nhiệt độ được đọc liên tiếp với khoảng thời gian $h$ giữa các lần đọc.

Về nguyên tắc, nên tiếp tục thử nghiệm cho tới khi xác định được độ tăng nhiệt ở trạng thái xác lập (của dầu). Nhiệt độ không khí xung quanh hay nước làm mát phải được giữ sao cho càng ít thay đổi càng tốt. Giả thiết rằng nhiệt độ của dầu  $\theta(t)$  sẽ xích lại gần nhiệt độ cuối cùng  $\theta_u$  theo hàm số mũ với hằng số thời gian  $T_o$ . Nhiệt độ xung quanh là  $\theta_a$ . Độ tăng nhiệt tới hạn của dầu là  $\Delta\theta_u$ .

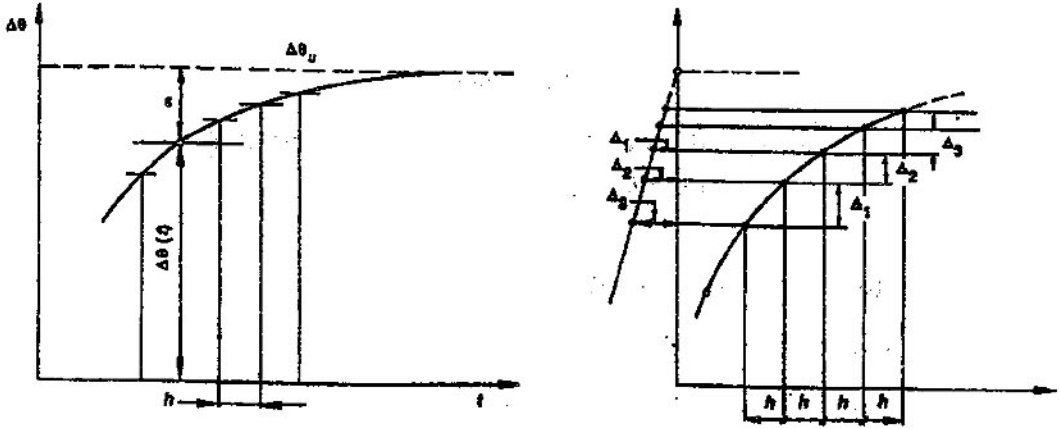
$$\theta_u = \theta_a + \Delta\theta_u \quad (1)$$

$$\theta(t) = \theta_a + \Delta\theta_u (1 - e^{-t/T_o}) \quad (2)$$

Độ lệch dư từ trạng thái xác lập là:

$$\varepsilon(t) = \theta_u - \theta(t) = \Delta\theta_u \times e^{-t/T_o} \quad (3)$$

Các giá trị của  $\varepsilon$  tại các khoảng thời gian bằng nhau sẽ tạo ra một cấp số nhân. Điều này cho phép qui trình ngoại suy đồ thị theo hình C.1.



Hình C.1 – Ngoại suy bằng đồ thị độ tăng nhiệt

Đối với hai điểm liên tiếp bất kỳ trên đường cong, cách nhau khoảng thời gian h giờ:

$$\Delta(\Delta\theta)_h = \epsilon_{t+h} - \epsilon_t = \epsilon_t (e^{h/T_0} - 1) \tag{4}$$

$$\epsilon_t = \frac{\Delta(\Delta\theta)_t}{(e^{h/T_0} - 1)} \tag{4a}$$

Ở thời điểm bất kỳ (t + t<sub>1</sub>):

$$\epsilon_{(t+t_1)} = \epsilon_t e^{-t_1/T_0} = \frac{\Delta(\Delta\theta)_t}{e^{t_1/T_0} (e^{h/T_0} - 1)} \tag{5}$$

Chuẩn mực qui ước để rút ngắn là quan sát khi tốc độ thay đổi nhiệt độ giảm xuống dưới 1 °C mỗi giờ, ví dụ:

h = 1 và Δ(Δθ)<sub>t</sub> < 1 công thức (4a) cho:

$$\epsilon_t < (e^{1/T_0} - 1)^{-1}$$

Thử nghiệm nên tiếp tục trong 3 h và sau đó có thể ngừng. Độ tăng nhiệt trung bình trong giờ cuối được lấy làm kết quả của thử nghiệm. Với T<sub>0</sub> = 3 h, điều này về lý thuyết dẫn tới sai số rút ngắn là vào khoảng 1 °C. Nếu hằng số thời gian ngắn hơn thì sai số nhỏ hơn và ngược lại.

Hằng số thời gian T<sub>0</sub> có thể được đánh giá theo nhiều cách khác nhau.

Công thức sau đây dựa vào các thông tin cho sẵn trên tám thông số đặc trưng của máy biến áp:

$$T_0 = \frac{5 \times [\text{khối lượng tổng}] + 15 \times [\text{khối lượng dầu}]}{[\text{tổng tổn thất}]} \times \left( \frac{\Delta\theta_u}{60} \right) \text{ giờ} \tag{6}$$

trong đó:

khối lượng tính bằng tấn và tổn thất tính bằng kilô oát;

Δθ<sub>u</sub> là độ tăng nhiệt tới hạn ước tính của lớp dầu phía trên.

Khối lượng dầu trong bình dầu phụ phải được trừ đi khỏi tổng khối lượng dầu, vì nó không tham gia vào quá trình làm thay đổi nhiệt độ.

Việc đánh giá thực nghiệm hằng số thời gian trong quá trình thử nghiệm có thể được thực hiện từ các chỉ số nhiệt độ liên tiếp cách nhau một khoảng thời gian  $h$  bằng nhau.

Cho ba số ghi liên tiếp  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ , nếu quan hệ hàm số mũ, công thức (2) là phép tính gần đúng của đường cong nhiệt độ thì các số gia có quan hệ sau đây:

$$\frac{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1}{\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2} = e^{h/T_0}$$

$$T_0 = \frac{h}{\ln \frac{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1}{\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2}} \quad (7)$$

Các số ghi cũng cho phép dự đoán về độ tăng nhiệt cuối cùng

$$\Delta\theta_u = \frac{(\Delta\theta_2)^2 - \Delta\theta_1 \Delta\theta_3}{2\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1 - \Delta\theta_3} \quad (8)$$

Phải thực hiện các đánh giá liên tiếp và chúng phải hội tụ. Để tránh các sai số ngẫu nhiên lớn khoảng thời gian  $h$  nên gần xấp xỉ  $T_0$  và  $\Delta\theta_3 / \Delta\theta_u$  không được nhỏ hơn 0,95.

Giá trị chính xác hơn của độ tăng nhiệt ở chế độ xác lập được tính bằng phương pháp bình phương tối thiểu của phép ngoại suy cho tất cả các điểm đo được xấp xỉ trên 60 % của  $\Delta\theta_u$  ( $\Delta\theta_u$  được tính bằng phương pháp ba điểm).

Một công thức khác là:

$$\Delta\theta_u \approx \Delta\theta_2 + \frac{\sqrt{(\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1)(\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2)}}{\ln \frac{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1}{\Delta\theta_3 - \Delta\theta_2}} \quad (9)$$

## C.2 Qui trình đo điện trở cuộn dây sau khi cắt điện

Điều 5.5 của tiêu chuẩn này chỉ ra nhiệt độ của cuộn dây vào giai đoạn cuối của thử nghiệm đến trạng thái xác lập được xác định bằng cách đo điện trở của cuộn dây. Phép đo được bắt đầu sau khi cắt nguồn điện thử nghiệm và đấu nối lại các cuộn dây từ nguồn thử nghiệm xoay chiều sang nguồn đo dòng điện một chiều.

Nhiệt độ cuộn dây và điện trở của cuộn dây thay đổi theo thời gian; và vấn đề là để ngoại suy ngược về thời gian đúng thời điểm cắt điện. Qui trình ngoại suy này được đề cập ở điều C.3.

Phép đo điện trở được bắt đầu càng sớm càng tốt ngay sau khi đấu nối các cuộn dây với thiết bị đo. Lúc bắt đầu các chỉ số là sai vì sự sụt điện áp cảm ứng trong cuộn dây, trước khi dòng điện đo một chiều được ổn định. Thời gian cần thiết cho sự ổn định này được giảm đi bằng cách:

- đưa mạch từ tới bão hòa sao cho điện cảm hữu ích giảm từ giá trị "không tải" cao xuống tới một giá trị có cùng biên độ như điện cảm ngắn mạch;
- dùng nguồn cấp có dòng không đổi, nguồn cấp ổn định bằng điện tử hoặc nguồn acqui lớn có biến trở lớn nối tiếp phụ thêm.

Đưa mạch từ tới bão hòa có nghĩa là tạo ra một thông lượng nào đó (thứ nguyên: vôn x giây). Do sử dụng sức điện động cao trong mạch điện nên giảm được thời gian trễ, trong thực tế được vài giây.

Hai cuộn dây của cặp được thử nghiệm có thể hoặc đấu với hai mạch một chiều riêng rẽ hoặc đấu nối tiếp chung cùng một mạch. Trong cả hai trường hợp, hướng của dòng điện phải phối hợp để tạo ra bão hòa mạch từ.

Hằng số thời gian điện của mạch một chiều, sau khi đạt tới bão hòa, cũng có thể giảm bớt được vài giây, ngay cả trường hợp khó khăn nhất. Chênh lệch nhiệt độ 1 °C tương ứng với chênh lệch tương đối của điện trở vào khoảng 1/300 mà đối với mức giảm theo hàm số mũ của sai số, nó sẽ tương ứng với thời gian trễ từ năm đến sáu lần hằng số thời gian điện. Điều này có nghĩa là phép đo có ích nên làm trong vòng không quá 1 min sau khi sự bão hòa hữu hiệu đã được thiết lập.

Còn có các phương pháp khác để sử dụng trong các trường hợp đặc biệt. Một trong số đó là lấy các thành phần cảm ứng của điện áp qua một cuộn dây khác đang mở và không phải là một phần của mạch điện một chiều, và sử dụng điện áp này để hiệu chỉnh điện áp qua cuộn dây đo điện trở.

Khi có hai nửa song song và thực sự cân bằng của một cuộn dây thì có thể cho một dòng điện một chiều vào một nửa này và đi ra ở một nửa khác. Điều này cho phép giám sát điện trở, về nguyên tắc không có ảnh hưởng cảm ứng, và có thể ngay cả khi máy biến áp được cấp nguồn xoay chiều.

### C.3 Ngoại suy nhiệt độ của cuộn dây về thời điểm cắt điện

Điều C.2 của phụ lục này đề cập đến mạch cấp nguồn một chiều để đo điện trở và thời gian trễ trước khi ảnh hưởng cảm ứng bị dập tắt.

Thiết bị dùng để đo có thể là loại ghi chỉ số bằng tay, loại tự động, tương tự hoặc số. Một số lượng đáng kể của các chỉ số rời rạc có thể ghi lại được trong khoảng 20 min và chỉ số này được đánh giá để ngoại suy trở về thời điểm cắt điện.

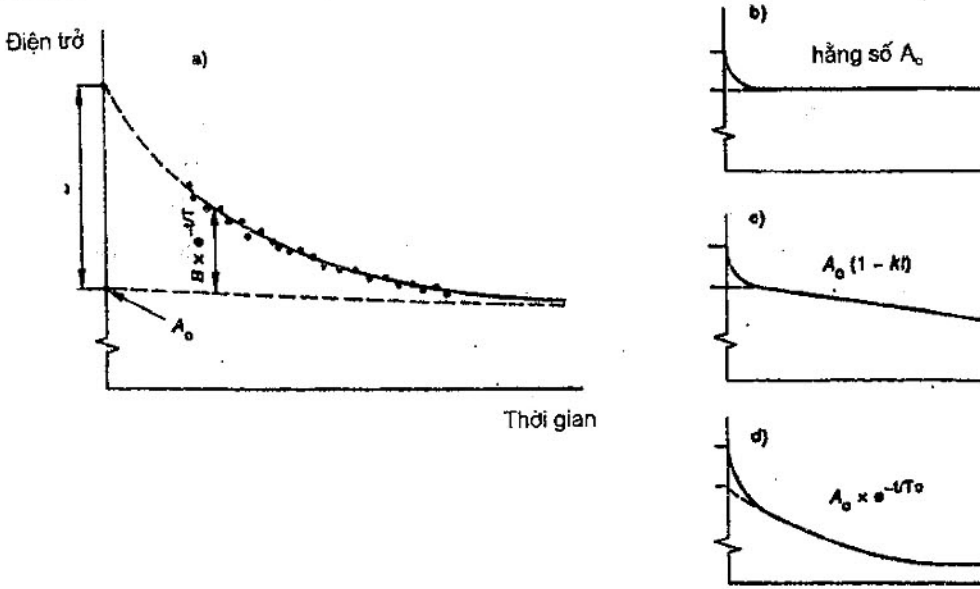
Một tập hợp các số đọc được chỉ ra như trên hình C.2. Điều đó chỉ rõ rằng nhiệt độ của cuộn dây biến đổi tương đối nhanh trong khoảng thời gian vài phút và sau đó trở nên bằng phẳng.

Trong một máy biến áp có hằng số thời gian nhiệt lớn đối với sự biến đổi nhiệt độ dầu (chủ yếu đối với máy biến áp kiểu ON ... với công suất danh định tương đối thấp) có thể giả thiết rằng đường tiệm cận là một giá trị không đổi.

Trong các trường hợp khác (đặc biệt là khi thử nghiệm máy biến áp lớn có làm mát cưỡng bức và thiết bị làm mát vẫn được duy trì vận hành sau khi cắt nguồn điện thử nghiệm, xem phụ lục A, có thể cần thiết



thừa nhận đường tiệm cận đi xuống mà sự biến đổi lúc ban đầu nhanh hơn được xếp chồng lên đường tiệm cận đó. Hình C.2 minh họa điều này.



- a) Phần đầu của bản ghi, với nhiệt độ giảm nhanh.
- b) c) d) Mô hình toán học để theo dõi, với sự giảm chậm.

**Hình C.2 – Đánh giá sự thay đổi điện trở sau khi cắt điện**

Việc đánh giá được thực hiện thích hợp bằng cách sử dụng máy tính số được gán chức năng phân tích cho một chuỗi các chỉ số. Việc thảo luận dưới đây chỉ minh họa các nguyên tắc chung.

Sự biến đổi của điện trở theo thời gian được giải thích như là tổ hợp của số hạng A biến đổi chậm hoặc cố định và số hạng khác cho thấy sự suy giảm hàm số mũ từ giá trị B và hằng số thời gian T:

$$R(t) = A(t) + B \times e^{-t/T} \tag{10}$$

Đối với số hạng đầu tiên, có thể sử dụng: một hằng số, một suy giảm tuyến tính hoặc một suy giảm theo số mũ:

$$A = A_0 \quad A = A_0(1 - kt) \quad A = A_0 \times e^{-t/T_0} \tag{11}$$

Các phép đo phải được tiến hành trong một khoảng thời gian sao cho số hạng thứ hai thực sự tắt hẳn. Khi đó, thông số  $A_0$ , hoặc  $A_0$  và k, hoặc  $A_0$  và  $T_0$  có thể đánh giá khá tốt từ phần sau của bản ghi.

Sau khi thực hiện xong điều này, sự biến thiên theo hàm số mũ được tách ra bằng cách đặt:

$$R'(t) = R(t) - A(t) = B \times e^{-t/T}$$

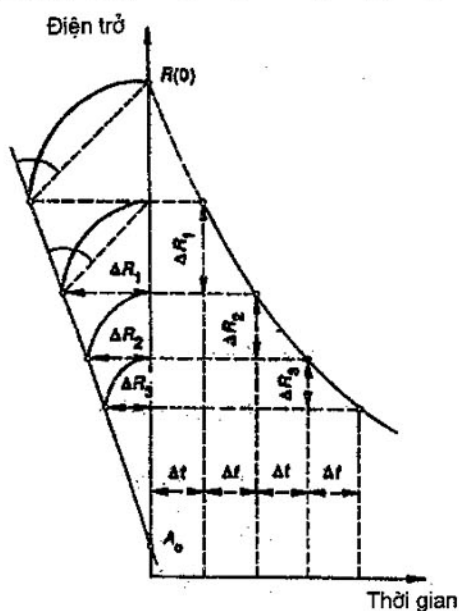
Đối với tập hợp giá trị  $(R'_i, t_i)$ , các thông số B và T được xác định bằng một số quá trình hồi qui.

Lúc đó, kết quả đánh giá sẽ là:

$$R(0) = A_0 + B$$

từ đó, nhiệt độ trung bình của cuộn dây được tính theo 5.4 của tiêu chuẩn này.

Phương pháp ngoại suy qui ước bằng đồ thị, với cùng mục tiêu sẽ dùng phương pháp vẽ trơn các điểm bằng tay. Các điểm giao được thực hiện tại những khoảng thời gian bằng nhau, xuất phát từ thời điểm cắt điện. Chênh lệch điện trở sẽ tạo thành một cấp số nhân, nếu đường cong suy giảm là hàm số mũ. Đường thẳng nghiêng trong đồ thị là thích hợp, như chỉ ra trong hình C.3. Đường thẳng này cắt trục R ở điểm tương ứng với  $A_0$  (hình C.3) và ở đầu kia, cũng cho phép đánh giá  $R_0$  bằng đồ thị.



Hình C.3 – Ngoại suy bằng đồ thị giá trị điện trở khi cắt điện

#### C.4 Phân tích khí trong dầu

Có thể sử dụng phân tích sắc ký của các chất khí hòa tan trong dầu để phát hiện sự quá nhiệt cục bộ có thể xảy ra mà không thể hiện bằng các trị số tăng nhiệt không bình thường trong quá trình thử nghiệm.

Nói chung, sự phân tích như vậy có thể chỉ ra "quá nhiệt yếu" của cuộn dây hoặc các bộ phận kết cấu, ở nhiệt độ từ 170 °C đến 200 °C hoặc quá nhiệt cục bộ nghiêm trọng ở nhiệt độ từ 300 °C đến 400 °C, ví dụ một tiếp xúc ngẫu nhiên kéo theo dòng điện xoay tuần hoàn.

Nên phân tích khí trong dầu đặc biệt đối với các máy biến áp lớn, vì hiệu ứng từ thông tản là một yếu tố nguy hại lớn tăng lên theo kích cỡ máy.

Kỹ thuật thử nghiệm được mô tả trong báo cáo của nhóm công tác CIGRE đăng trong tạp chí N° 82, tháng 5 năm 1982, trang 33 đến 40.