

HỆ CHUYÊN GIA CHẨN ĐOÁN SỰ CỐ MÁY BIẾN ÁPQuyền Huy Ánh⁽¹⁾, Lê Văn Bằng⁽¹⁾, Nguyễn Ngọc Phúc Diễm⁽²⁾

(1) Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM

(2) Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG- HCM

(Bài nhận ngày 05 tháng 05 năm 2005, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 28 tháng 09 năm 2006)

TÓM TẮT: Bài báo này trình bày về một hệ chuyên gia chẩn đoán sự cố máy biến áp. Hệ chuyên gia này sử dụng kỹ thuật phân tích hòa tan khí trong dầu (DGA) để chẩn đoán trạng thái sự cố của máy biến áp. Một vài phương pháp đã được sử dụng trong hệ chuyên gia này như: phương pháp bốn tỉ số mờ của Roger, phương pháp NTT Flagpoint và phương pháp tỉ số tốc độ phát sinh khí (GR). Điều này làm tăng độ chính xác cho cả hai phương pháp vì logic mờ giúp chỉ ra sự không chắc chắn của dữ liệu DGA máy biến áp. Tất cả ba phương pháp đã được tích hợp trong hệ chuyên gia này nhằm nâng cao độ chính xác trong việc phân tích trạng thái sự cố máy biến áp.

1. GIỚI THIỆU

Máy biến áp dầu là thiết bị quan trọng được sử dụng trong tất cả hệ thống truyền tải và phân phối điện. Các sự cố và hư hỏng trong các máy biến áp dầu có tác động trực tiếp đến độ ổn định của hệ thống điện, đặc biệt là các sự cố điện và nhiệt. Các trạng thái sự cố như phóng hồ quang điện, phát tia lửa điện, phóng điện cục bộ và quá nhiệt trong máy biến áp dẫn đến sự phân hủy hóa học của các vật liệu cách điện [2], sự cố này nếu không được sửa chữa kịp thời sẽ gây ra hư hỏng và cuối cùng dẫn đến sự cố máy biến áp [1]. Dầu cách điện trong máy biến áp có nhiệm vụ làm mát cho máy biến áp. Dầu máy biến áp cũng bị phân hủy do các sóc điện và nhiệt. Khi đó một vài chất khí xuất hiện trong quá trình sự cố máy biến áp, đó là: H₂, O₂, N₂, CO, CO₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂ và C₂H₈. Các khí này cũng hòa tan một phần hoặc toàn bộ trong dầu cách điện. Vì thế, kết quả phân tích khí hòa tan trong dầu sẽ cung cấp các thông tin cần thiết trong việc bảo trì và sửa chữa máy biến áp.

Có nhiều công trình nghiên cứu chẩn đoán sự cố máy biến áp dựa trên cơ sở phân tích khí phát sinh trong dầu cách điện như: phương pháp hệ logic mờ [3], phương pháp mạng nơron hay phương pháp mạng thần kinh nhân tạo [4]. Nhưng các phương pháp này đòi hỏi phải có thời gian phân tích dữ liệu, thời gian huấn luyện mạng, số mẫu chưa nhiều (62 mẫu), và mới chỉ dừng lại ở việc phát hiện ra sự cố mà chưa xác định được chính xác nguyên nhân gây ra sự cố cũng như chưa đưa ra các biện pháp giảm thiểu sự cố.

Bài báo đề cập tới hệ chuyên gia chẩn đoán sự cố máy biến áp. Hệ chuyên gia này có khả năng chẩn đoán một cách nhanh chóng, chính xác các sự cố của máy biến áp, dựa trên phân tích các khí hòa tan trong dầu (DGA) để xác định nguyên nhân gây ra sự cố và đưa ra các biện pháp thích hợp để giảm thiểu sự cố, đồng thời đưa ra các phương pháp chẩn đoán để tiếp tục giám sát sự cố. Hệ chuyên gia kiểm tra 144 mẫu dữ liệu DGA và đạt độ chính xác 97.92%, gia tăng độ chính xác hơn so với các phương pháp truyền thống khác.

2. PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH KHÍ HÒA TAN TRONG DẦU (DGA)

Phương pháp thông thường để chẩn đoán sự cố máy biến áp là phương pháp phân tích nồng độ khí phát sinh trong dầu máy biến áp kết hợp với các tỉ số thực nghiệm như tỉ số Dornenberg [3], tỉ số Roger [4], phương pháp khí chính [5].... Phương pháp phân tích khí hòa tan trong dầu (DGA) là kỹ thuật được sử dụng rộng rãi để giám sát và chẩn đoán sự cố của một máy biến áp. Kỹ thuật phân tích này sử dụng mối quan hệ của các khí được phát sinh trong quá trình hoạt động của máy biến áp để xác định trạng thái sự cố. Ngày nay, có nhiều phương pháp chẩn đoán

sự cố máy biến áp sử dụng dữ liệu DGA, đó là phương pháp bốn tỉ số mờ của Roger, phương pháp Northern Technology & Testing (NTT) Flagpoint Method, phương pháp tỉ số tốc độ phát sinh khí (GR) [6], và phương pháp phân tích tổng khí dễ cháy hòa tan (TDGA) [5].

2.1.Phương pháp NTT Flagpoint

Phương pháp NTT Flagpoint đặt các giới hạn ngưỡng riêng biệt của các khí phát sinh trong dầu máy biến áp, phương pháp này tương tự như phương pháp khí chính. Tuy nhiên, phương pháp khí chính không có bất kỳ một giới hạn, ranh giới hoặc phạm vi nào. Điều này gây khó khăn trong lập trình, vì không có giá trị xác định cho chương trình để tham khảo. Vì vậy, phương pháp Flagpoint thích hợp hơn so với phương pháp khí chính. Theo phương pháp này, nếu có một sự tập trung khí nào đó trong máy biến áp vượt quá ngưỡng giới hạn nào đó (Bảng 1) thì máy biến áp này được cho là có sự cố.

Bảng 1. Giới hạn các khí

Khí	Bình thường (<)	Bất thường (>)	Sự cố
H ₂	150 ppm	1500 ppm	Hiện tượng vàng quang, hồ quang
CH ₄	25 ppm	80 ppm	Tia lửa điện
C ₂ H ₆	10 ppm	35 ppm	Quá nhiệt cục bộ
C ₂ H ₄	20 ppm	150 ppm	Quá nhiệt nghiêm trọng
C ₂ H ₂	15 ppm	70 ppm	Hồ quang
CO	500 ppm	1000 ppm	Quá nhiệt nghiêm trọng
CO ₂	10.000 ppm	15.000 ppm	Quá nhiệt nghiêm trọng

2.2.Phương pháp tổng khí dễ cháy được hòa tan (TDCG)

Phương pháp tổng khí dễ cháy được hòa tan cho phép người sử dụng xác định rõ trạng thái của máy biến áp dựa trên sự gia tăng số lượng các khí trong một khoảng thời gian xác định, khoảng thời gian lấy mẫu hoặc các ngưỡng giới hạn sự tập trung khác nhau của các khí dễ cháy. Nó cung cấp thông tin quan trọng về mối quan hệ giữa tỉ lệ gia tăng sự tập trung các khí hiện tại và các trạng thái sự cố của máy biến áp.

Do đó, để phát hiện trạng thái máy biến áp, phương pháp tổng khí dễ cháy được hòa tan (TDCG) được sử dụng để phân tích và phân loại máy biến áp vào trong các trạng thái hoạt động khác nhau. Bảng 2 tập hợp tất cả trạng thái cho phương pháp TDCG.

Bảng 2. Phương pháp tổng khí dễ cháy được hòa tan với trạng thái 1-2-3-4

Giới hạn sự tập trung các khí chính hòa tan (ppm: point per million)							
Trạng thái	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	TDGA
Trạng thái 1	100	120	35	50	65	350	720
Trạng thái 2	101-700	121-400	36-50	51-100	66-100	351-570	721-1920
Trạng thái 3	701-1800	401-1000	51-80	101-200	101-150	571-1400	1921-4630
Trạng thái 4	> 1800	> 1000	> 80	> 200	> 150	> 1400	> 4630

Tất cả các giá trị khí được kiểm tra, nếu tất cả các khí ở trong giới hạn một trạng thái nào thì máy biến áp sẽ ở trong trạng thái phân loại đó. Nếu dữ liệu DGA vượt quá giới hạn của trạng thái đầu tiên (trạng thái bình thường), sau đó trạng thái máy biến áp sẽ rơi vào trong loại trạng thái hoạt động tiếp theo (trạng thái sự cố). Tiếp tục cho đến khi máy biến áp ở trạng thái 4, đó là trạng thái cuối cùng và nghiêm trọng nhất.

2.3.Phương pháp bốn tỉ số mờ của Roger

Logic mờ được lựa chọn để bổ sung cho phương pháp NTT Flagpoint và phương pháp bốn tỉ số của Roger. Logic mờ cho phép các ngõ vào là mơ hồ hoặc chưa xác định rõ. Các biến ngôn ngữ đầu vào được biểu diễn trực tiếp bởi một hệ mờ. Tuy nhiên, các biến ngôn ngữ tự

nhiên làm cho giao tiếp giữa kỹ sư tri thức và chuyên gia lĩnh vực trở nên dễ dàng hơn. Vì thế, hệ mờ có thể đặc trưng cho tri thức, nơi mà trong hệ chuyên gia có thể khó thực hiện việc tập hợp rất nhiều luật mà hệ chuyên gia yêu cầu. Sự mờ hóa của các phương pháp được dựa trên 3 tập toán học là: hợp, giao và bù [6]. Ba tập này có thể được định nghĩa là:

$$\chi_{A \cup B}(x) = \max \{ \chi_A(x), \chi_B(x) \} = \chi_A(x) \vee \chi_B(x) \quad (1)$$

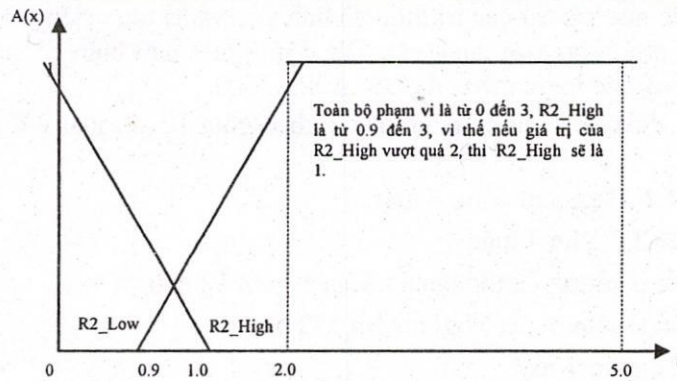
$$\chi_{A \cap B}(x) = \min \{ \chi_A(x), \chi_B(x) \} = \chi_A(x) \wedge \chi_B(x) \quad (2)$$

$$\chi_{A'}(x) = 1 - \chi_A(x) \quad (3)$$

Các tỉ số R1, R2, R3 và R4 của phương pháp bốn tỉ số của Roger được mờ hóa theo luật tam giác mờ:

Bảng 3. Tỉ số R2 cho C₂H₆/CH₄

Phương pháp truyền thống		Giá trị mờ hóa		
Phạm vi	Mã	Phạm vi	Mã	Điểm giữa
R2 < 1	0	R2 < 1	R2_Low	0
R2 >= 1	1	R2 > 0.9	R2_High	0



Hình 1. Minh họa sự mờ hóa của tỉ số R2

Dưới đây trình bày luật mờ hóa cho R2 như là một ví dụ:

$$\text{Luật hình tam giác cho tập } R2_Low: A_{(R2_Low)} = \begin{cases} 0 \Rightarrow x > 1.0 \\ \frac{x}{1.0} \Rightarrow x < 1.0 \\ 1.0 \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{Luật hình tam giác cho tập } R2_High: A_{(R2_High)} = \begin{cases} 0 \Rightarrow x < 2.9 \\ \frac{x - 2.9}{2.0 - 0.9} \Rightarrow 0.9 < x \leq 2.0 \\ 1 \Rightarrow x > 2.0 \end{cases} \quad (5)$$

Tương tự cho các tỉ số R1, R3 và R4. Sau khi mờ hóa các tỉ số R1, R2, R3 và R4, việc giải mờ bằng cách lấy trung bình tất cả trạng thái sự cố, phép toán Boolean là “OR” và “AND” được sử dụng để thực hiện sự kết hợp các mã. Sau đó, các luật If - Then - Else sẽ được sử dụng để xác định rõ trạng thái sự cố để tìm ra được sự cố có thể xảy ra cao nhất.

2.4. Phương pháp tỉ số tốc độ phát sinh khí (GR)

Phương pháp tỉ số tốc độ phát sinh khí áp dụng chủ yếu để đưa ra chỉ số sự cố với sự tập trung khí của sự cố riêng biệt, sự tập trung khí giữa sự cố khác nhau và sự tập trung khí tiền sự cố. Trong phương pháp Flagpoint, sự phát sinh các khí riêng biệt cho biết loại sự cố đặc thù. Ví dụ, mẫu dầu máy biến áp bao gồm số lượng lớn acetylene (C_2H_2) và một số lượng nhỏ hydrogen (H_2) sẽ cho biết có hồ quang. Tuy nhiên, một tập dữ liệu duy nhất là không đủ cung cấp chính xác thông tin các sự cố mới phát sinh. Do đó, cần chú ý đến các tập kết quả DGA khác nhau, qua đây dễ dàng thấy được sự gia tăng khí trong thời điểm sự cố mới bắt đầu. Vì vậy, phương pháp GR được đưa ra để sử dụng tỉ số giữa tập dữ liệu DGA sự cố hiện tại và tập dữ liệu DGA trước sự cố. Công thức toán học của phương pháp này là:

$$\text{Tốc độ phát sinh khí} = \frac{\text{Khí hiện tại} - \text{Khí trước sự cố}}{\text{Khí hiện tại}} \quad (6)$$

Công thức toán học trên được minh họa để thực hiện và kiểm tra trên cả hai tập dữ liệu DGA sự cố và trước sự cố.

3. HỆ CHUYÊN GIA CHẨN ĐOÁN SỰ CỐ MÁY BIẾN ÁP

Hệ chuyên gia hoạt động thay cho chuyên gia người và bao gồm hai thành phần chính: cơ chế suy diễn và cơ sở tri thức.

Cơ sở tri thức là nơi lưu trữ các tri thức về lĩnh vực và tri thức riêng. Tri thức chứa trong cơ sở tri thức thường thể hiện dưới dạng các luật. Dạng luật phổ biến có dạng IF – THEN, IF – THEN – ELSE, hay các logic mệnh đề OR, AND, NOT.

Hệ chuyên gia chẩn đoán sự cố máy biến áp bao gồm 10 tập luật với 276 luật. Các tập luật cụ thể như sau:

- Tập luật NTT Flagpoint gồm: 6 luật
- Tập luật TDCG: gồm 4 luật
- Tập luật bốn tỉ số truyền thống của Roger: gồm 18 luật
- Tập luật bốn tỉ số mờ của Roger: gồm 172 luật
- Tập luật RG: gồm 7 luật
- Tập luật PD: gồm 8 luật
- Tập luật LO: gồm 8 luật
- Tập luật SO: gồm 22 luật
- Tập luật SP: gồm 14 luật
- Tập luật PD: gồm 17 luật

Ví dụ: Sau khi đã mã hóa bốn tỉ số R1, R2, R3 và R4 thì các luật bốn tỉ số của Roger được thể hiện như sau:

- Luật 1: If (R1 = 0) & (R2 = 0) & (R3 = 0) & (R4 = 0)
Then Máy biến áp hoạt động bình thường
- Luật 2: If (R1 = 5) & (R2 = 0) & (R3 = 0) & (R4 = 0)
Then Phóng điện cục bộ

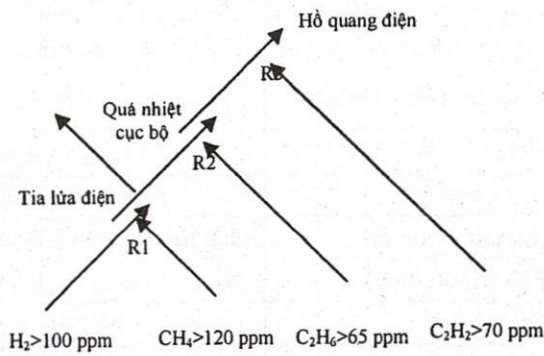
Cơ chế suy diễn là phần giải thuật và điều khiển hoạt động của toàn bộ hệ thống, nó thực hiện việc suy diễn dựa trên những những tri thức của hệ thống cơ sở tri thức để đưa ra kết luận.

Hệ chuyên gia thực hiện suy luận bằng cách tìm các luật để khớp phần giả thiết của luật với thông tin có trong bộ nhớ, khi phát hiện thấy khớp, kết luận của luật này là thông tin mới. Vì suy diễn tiến thích hợp trong các bài toán đi thu thập thông tin, rồi đưa ra kết luận từ các thông tin có được nên cơ chế suy diễn trong hệ chuyên gia chẩn đoán sự cố máy biến áp là cơ

chế suy diễn tiến, kết hợp với phân tích các thông tin đã biết để đưa ra kết luận trạng thái hoạt động của máy biến áp.

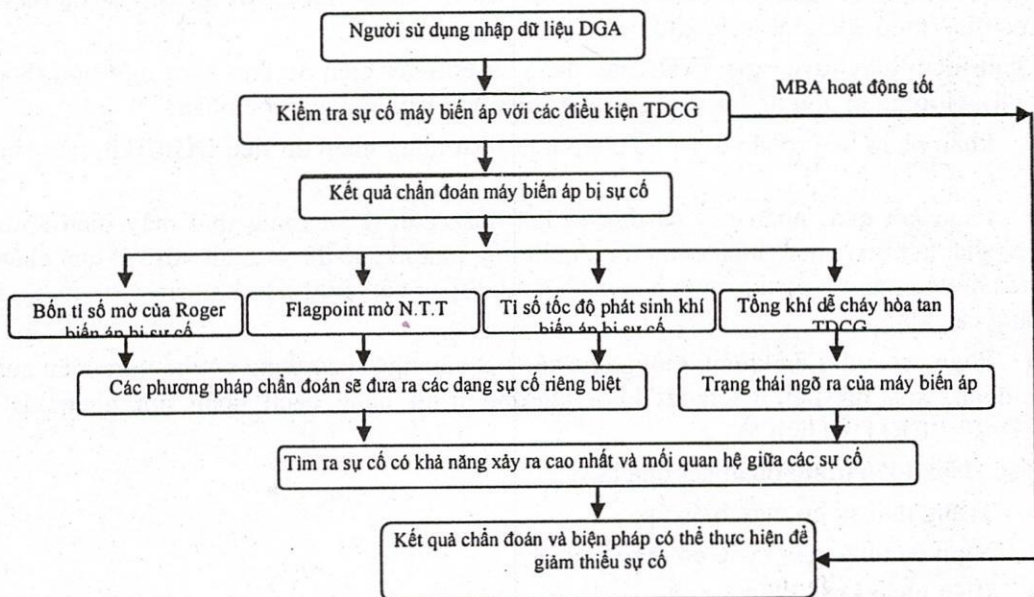
Ví dụ: Khi máy biến áp bị sự cố hồ quang điện, thủ tục chẩn đoán của hệ chuyên gia bằng cách suy luận tiến như sau:

- Luật 1: If $(H_2 > 100 \text{ ppm}) \text{ AND } (CH_4 > 120 \text{ ppm})$
Then Máy biến áp bị sự cố phát tia lửa điện
- Luật 2: If $(CH_4 > 120 \text{ ppm}) \text{ AND } (C_2H_6 > 65 \text{ ppm})$
Then Máy biến áp bị sự cố quá nhiệt cục bộ dẫn tới nhiệt độ tăng cao
- Luật 3: If $C_2H_2 > 70 \text{ ppm}$
Then Máy biến áp bị sự cố quá nhiệt nghiêm trọng dẫn tới hồ quang điện



Hình 2. Quá trình suy luận tiến sự cố hồ quang điện

Để đạt được tính thống nhất trong phân tích các sự cố máy biến áp, cần có sự phối hợp các phương án khác nhau với kỹ thuật trí tuệ nhân tạo được kết hợp trong hệ chuyên gia. Hệ chuyên gia này bao gồm phân ngõ vào, phân loại, chẩn đoán và đưa ra kết quả. Dữ liệu phân tích khí hòa tan (DGA data) được đưa vào hệ thống với một phần triệu (ppm). Trạng thái của máy biến áp được kiểm tra đối với bất kỳ trạng thái bất thường nào thông qua hệ chuyên gia có lưu đồ trình bày ở Hình 3.



Hình 3. Lưu đồ Hệ chuyên gia tổng quát

Chương trình hệ chuyên gia cho phép người sử dụng nhập dữ liệu DGA, sau đó sử dụng phương pháp TDCG để phân loại tình trạng máy biến áp hoạt động bình thường hay bị sự cố. Đây là phương pháp phân tích đầu tiên được sử dụng để xác định trạng thái ban đầu của máy biến áp. Nếu dữ liệu DGA của máy biến áp được phân tích là không có sự cố thì chương trình sẽ bỏ qua tất cả các thủ tục chẩn đoán còn lại và đi thẳng tới cuối chương trình. Điều này cho phép tiết kiệm thời gian và công sức, nếu máy biến áp không bị sự cố. Nếu máy biến áp được chẩn đoán là có sự cố, chương trình sẽ kiểm tra dữ liệu DGA với các phương pháp bốn ti số mờ của Roger, phương pháp NTT Flagpoint, phương pháp GR và phương pháp TDCG để tìm ra sự cố có khả năng xảy ra cao nhất.

Sau khi trạng thái có thể xảy ra cao nhất được xác định, chương trình sẽ tiến hành kiểm tra đối với trạng thái thứ hai, vì trong quá trình hoạt động máy biến áp luôn luôn chịu đựng cả hai tác động nhiệt và điện. Do đó, ở bên trong máy biến áp một trạng thái sự cố về nhiệt có thể dẫn tới một sự cố về điện hoặc ngược lại (Bảng 4). Vì vậy, việc phát hiện trạng thái sự cố thứ hai cho phép chẩn đoán các trạng thái máy biến áp được chính xác hơn.

Bảng 4. Sự liên quan của sự cố thứ nhất dẫn đến sự cố thứ hai

Trạng thái sự cố thứ nhất	Trạng thái sự cố thứ hai
Quá nhiệt cục bộ (sự cố nhiệt)	Phát tia lửa điện (sự cố điện)
Quá nhiệt nghiêm trọng (sự cố nhiệt)	Phát tia lửa điện hoặc hồ quang (sự cố điện)
Phóng điện cục bộ (PD) (sự cố điện)	Nhiệt độ thấp có liên quan đến sự cố nhiệt
Phát tia lửa điện (sự cố điện)	Quá nhiệt cục bộ hoặc nghiêm trọng (sự cố nhiệt)
Hồ quang (sự cố điện)	Quá nhiệt cục bộ hoặc nghiêm trọng (sự cố nhiệt)

Phần cuối cùng là đưa ra kết quả chẩn đoán về trạng thái sự cố của máy biến áp, nguyên nhân gây ra sự cố, các biện pháp có thể thực hiện nhằm giảm thiểu sự cố và các phương pháp chẩn đoán sau đó để tiếp tục giám sát sự cố.

4. PHẦN MỀM HỆ CHUYÊN GIA TFD CHẨN ĐOÁN SỰ CỐ MÁY BIẾN ÁP

Phần mềm hệ chuyên gia TFD chẩn đoán sự cố máy biến áp được xây dựng trong môi trường Matlab Version 7.0, Chương trình này có thể chạy được với tất cả các hệ điều hành Microsoft Window 95, 98, NT, 2000 và XP.

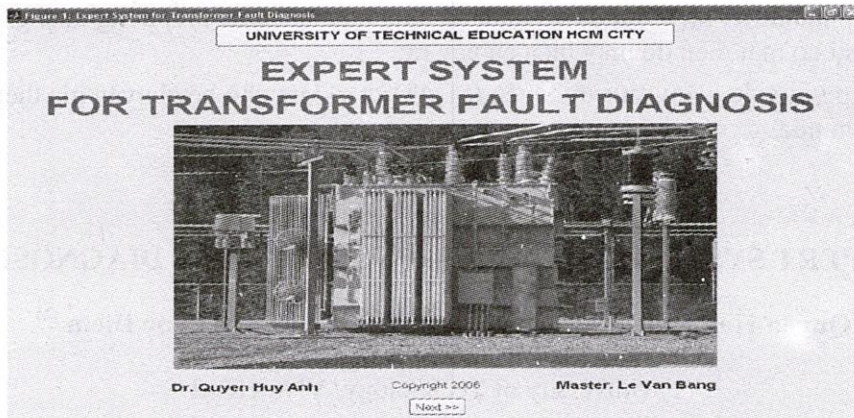
Phần mềm hệ chuyên gia TFD chẩn đoán sự cố máy biến áp bao gồm một hộp thoại đơn (Hình 4). Hộp thoại đơn này là một chương trình độc lập, bao gồm ba phần:

- Phần nhập liệu: phần này cho phép người sử dụng nhập dữ liệu DGA (khí hòa tan trong dầu);
- Phần kết quả: phần này sẽ đưa ra kết quả chẩn đoán trạng thái máy biến áp của hệ chuyên gia, kết quả chẩn đoán của một số phương pháp khác để so sánh với kết quả chẩn đoán của hệ chuyên gia, vẽ đồ thị minh họa dữ liệu khí bị sự cố và dữ liệu khí trước sự cố, xu hướng gia tăng các khí;
- Phần các nút điều khiển: thông qua các nút này người sử dụng có thể thực hiện quá trình chẩn đoán, xóa dữ liệu và thoát khỏi chương trình bằng cách nhấn nút nhấn "DONE", "CLEAR", "EXIT" (Hình 5).

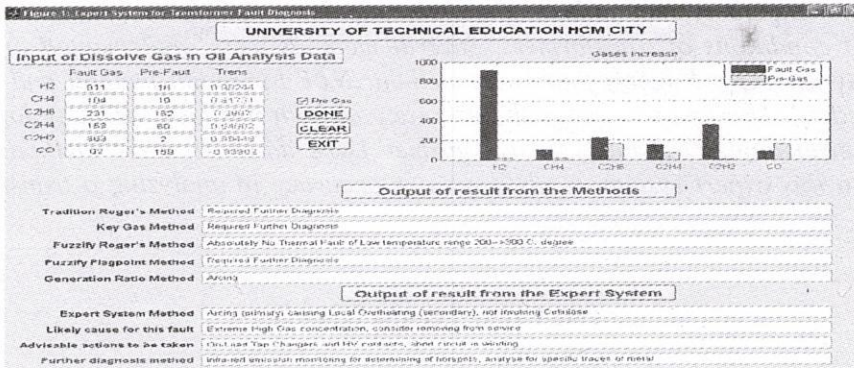
Các chẩn đoán trong phần kết quả là:

- Trạng thái sự cố máy biến áp;
- Nguyên nhân gây ra sự cố máy biến áp;
- Biện pháp khắc phục sự cố;
- Phương án chẩn đoán tiếp theo.

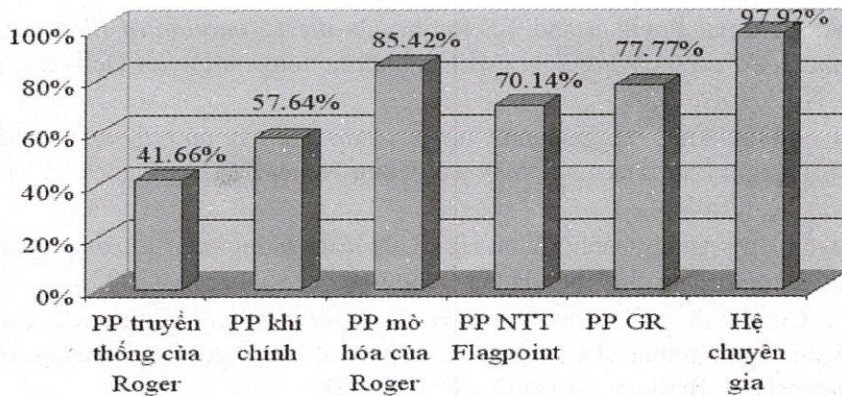
144 mẫu dữ liệu khác nhau của máy biến áp được sử dụng để kiểm tra sự chính xác của hệ chuyên gia, trong đó có 18 mẫu dữ liệu DGA trước sự cố. Hệ chuyên gia đạt được độ chính xác là 97.92%, gia tăng độ chính xác hơn nhiều so với các phương pháp truyền thống khác.



Hình 4. Giao diện chính phần mềm hệ chuyên gia TFD chẩn đoán sự cố máy biến áp



Hình 5. Giao diện nhập dữ liệu và kết quả chẩn đoán sự cố máy biến áp



Hình 6. So sánh độ chính xác của các phương pháp

5. KẾT LUẬN

Qua nghiên cứu, nhóm tác giả có các kết luận sau:

- Dùng hệ chuyên gia chẩn đoán sự cố máy biến áp cho kết quả nhanh chóng, chính xác (97.92% cho 144 trường hợp) hơn so với các phương pháp chẩn đoán truyền thống khác;

- Sự tích hợp các phương pháp khác nhau trong hệ chuyên gia phát huy các ưu điểm của mỗi phương pháp và vận dụng hợp lý từng phương pháp trong từng giai đoạn cụ thể giúp cho hệ chuyên gia đưa ra kết luận chính xác toàn bộ trạng thái của máy biến áp. Từ đó, có thể xác định nguyên nhân gây ra sự cố và có phương án thay thế sửa chữa kịp thời trước khi máy biến áp bị hư hỏng, nhằm tiết kiệm tối đa về kinh tế cũng như về nhân lực, đồng thời giảm tới mức thấp nhất các sự cố mất điện do máy biến áp gây ra;
- Kết hợp với việc giám sát trực tuyến (SCADA) sẽ làm cho hệ chuyên gia thêm linh hoạt và hiệu quả hơn nữa.

EXPERT SYSTEM FOR TRANSFORMER FAULT DIAGNOSIS

Quyen Huy Anh⁽¹⁾, Le Van Bang⁽¹⁾, Nguyen Ngoc Phuc Diem⁽²⁾

(1) University of Technical Education HCMC

(2) University of Technology, VNU-HCM

ABSTRACT: *In this paper, an expert system for transformer fault diagnosis was developed. This expert system utilizes Dissolve Gas in oil Analysis (DGA) techniques to diagnose fault conditions of transformers. Several methods were implemented in this expert system, namely the fuzzy Roger's four ratio method; NTT Flagpoint method and Generation Rate ratio method. This is to increase the accuracy of both methods, as fuzzy logic helps to manage the uncertainties exhibited by transformer DGA data. All three methods then were integrated into this expert system, to yield greater accuracy in analyzing a transformer fault condition.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Zhenyuan Wang, *Artificial Intelligent Applications in the Diagnosis of Power Transformer Incipient Faults*, Doctor of Philosophy In Electrical Engineering, Blacksburg, Virginia, USA., Aug, (2000).
- [2]. Manoj Kumar Pradhan and T.S.Ramu, *On the Estimation of Elapsed Life of Oil-Immersed Power Transformer*, IEEE Transactions on Power Delivery, pp. 885 Vol. 20, No 3, July, (2005).
- [3]. Quyền Huy Ánh, Đặng Mạnh Cường, *Chẩn đoán sự cố máy biến áp dầu bằng hệ mờ*, Tạp chí Phát Triển Khoa Học & Công Nghệ, Đại học Quốc Gia Tp.HCM, Tập 8, Số 12, (2005).
- [4]. Quyền Huy Ánh, Quách Thanh Hải, *Ứng dụng mạng neural trong chẩn đoán sự cố máy biến áp*, Tạp chí Khoa Học & Công Nghệ, Số 42+43, (2003).
- [5]. Dan Cunningham, *Expert System for Transformer Fault Diagnosis*, Undergraduate Thesis, Department of Computer Science and Electrical Engineering. University of Queensland, Brisbane, Australia, Oct, (2002)
- [6]. K. O. Wong, Dr. T. K. Saha, *Expert System for the Fault Diagnosis of Oil-Filled Power Transformer Using Dissolved Gas Analysis*, School of Computer Science and Electrical Engineering, The University of Queensland, Australia, (2001).