TẠP CHÍ DẦU KHÍ
Số 4 - 2020, trang 40 - 49
ISSN 2615-9902

NGHIÊN CỨU, ĐÁNH GIÁ THỰC TRẠNG VÀ GIẢI PHÁP NÂNG CAO HIỆU QUẢ HOẠT ĐỘNG CỦA MÁY BIẾN ÁP CHÍNH TRONG CÁC NHÀ MÁY NHIỆT ĐIỆN

Vũ Minh Hùng[1], Lê Văn Sỹ[1], Nguyễn Phan Anh[1], Nguyễn Hà Trung[2]
[1]Đại học Dầu khí Việt Nam
[2]Đại học Bách khoa Hà Nội
Email: hungvm@pvu.edu.vn

Tóm tắt

Máy biến áp chính là thiết bị điện quan trọng trong các nhà máy điện giúp nâng điện áp từ khoảng 20 - 26kV ở đầu ra của máy phát lên 220 - 230kV. Sau một thời gian sử dụng cần đánh giá lại tổn thất, hiệu suất, chế độ vận hành để có các giải pháp tăng hiệu quả làm việc và hạn chế sự cố, đồng thời kéo dài tuổi thọ máy biến áp.

Nhóm tác giả đã khảo sát tại 5 nhà máy điện (Cà Mau 1 & 2, Nhơn Trạch 1 & 2 và Vũng Áng 1) với các máy biến áp có công suất từ 231 - 300MVA, đã vận hành từ 6 - 13 năm. Từ kết quả đo đạc, nhóm tác giả đã xây dựng phần mềm CLET (Computing Losses and Efficiency of Transformer) để phân tích, đánh giá thực trạng hoạt động và hiệu quả làm việc của các máy biến áp, từ đó đề xuất chế độ vận hành, bảo trì, bảo dưỡng để đảm bảo an toàn và nâng cao tuổi thọ của máy biến áp.

Từ khóa: Máy biến áp, nhiệt điện, tổn thất, hiệu suất, CLET.

1. Giới thiệu

Máy biến áp là thiết bị điện quan trọng trong hệ thống truyền tải và phân phối điện năng. Trong các nhà máy điện, máy biến áp thường được sử dụng để biến đổi điện áp từ khoảng 20 - 30kV thành điện áp cao trên 110/220/500kV trước khi hòa vào lưới điện quốc gia. Vì công suất của máy biến áp thường rất lớn (có thể lên đến 200 - 750MVA) nên các tổn thất không tải (hay còn gọi là tổn thất sắt từ) và tổn thất ngắn mạch (tổn thất đồng) rất lớn. Đối với các máy biến áp mới, 2 loại tổn thất này được chỉ rõ trong bảng thông số kỹ thuật. Tuy nhiên, hiệu suất thực tế của máy biến áp còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác như: chế độ vận hành, chế độ làm mát và nhiệt độ môi trường. Ngoài ra, theo thời gian sử dụng thì hiệu suất của máy biến áp cũng sẽ giảm dần do chất lượng của lõi sắt từ, dây quấn, hệ thống làm mát (quạt, bơm, dầu) và lão hóa của các loại vật liệu bên trong làm tăng nguy cơ sự cố. Vì thế việc định kỳ phân tích thực trạng hoạt động, đánh giá các loại tổn thất và ước lượng hiệu suất thực của các máy biến áp là yêu cầu cấp thiết, từ đó sẽ có các giải pháp phù hợp để độ vận hành máy biến áp an toàn và hiệu quả hơn.

Ngày nhận bài: 26/11/2019. Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 26/11/2019 - 14/1/2020. Ngày bài báo được duyệt đăng: 14/4/2020.

Nghiên cứu về tổn thất và hiệu suất của máy biến áp, đặc biệt là máy biến áp chính trong các nhà máy điện thu hút được sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu trên thế giới. Gần đây đã có phân tích, đánh giá hiệu suất của máy biến áp công suất lớn theo hệ số tải [1]. Nhóm tác giả sử dụng phương pháp đo ngắn mạch và hở mạch để xác định các tham số của máy biến áp; đề xuất ứng dụng phương pháp đo thực nghiệm để đánh giá tổn thất của máy biến áp phân phối cho trường hợp tải phi tuyến [2]. Thực hiện nghiên cứu về tổn thất và hiệu suất của các máy biến áp ở châu Âu dựa trên việc mô hình hóa lại máy dưới dạng mạch điện [3]. Trong các loại tổn thất của máy biến áp thì tổn thất tản mặc dù khó đo đếm được trực tiếp nhưng có các phương pháp số để mô phỏng và ước lượng nếu biết chính xác mô hình của máy biến áp [4]. Tổn thất tản có thể được hạn chế bằng cách sử dụng các vật liệu phi kim loại thay thế [5] hoặc vật liệu có tính chất đặc biệt [6, 7]. Ngược lại, tổn thất đồng có thể ước lượng được dựa trên việc tính toán, dự báo nhiệt độ cuộn dây [8, 9]. Theo thời gian không chỉ tổn thất của máy biến áp tăng lên mà các vật liệu bên trong máy cũng bị lão hóa đòi hỏi máy biến áp phải được đánh giá tình trạng kỹ thuật, theo dõi và các kiểm tra chẩn đoán để phòng ngừa sự cố và gia tăng tuổi thọ máy [10, 11].

Bảng 1. *Số liệu được thu thập ở các nhà máy*

TT	Nhà máy	Thời gian thu thập	Loại số liệu bên sơ cấp	Loại số liệu bên thứ cấp
1	Nhà máy Điện Cà Mau 1, 2	11/2018 - 3/2019	- Điện áp - Dòng điện - P_1 (công suất tác dụng máy phát) - Q_1 (công suất phản kháng máy phát) - Công suất P_{td} tự dùng - Nhiệt độ của dầu - Nhiệt độ cuộn dây - Chế độ làm mát	- Điện áp - Dòng điện - P_2 (công suất tác dụng ra máy biến áp) - Q_2 (công suất phản kháng ra máy biến áp) - Nhiệt độ môi trường - Nhiệt độ của dầu - Nhiệt độ cuộn dây - Chế độ làm mát
2	Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2	4 - 8/2019		
3	Nhà máy Điện Nhơn Trạch 1	1 - 5/2019		
4	Nhà máy Nhiệt điện Vũng Áng 1	2 - 5/2019		

Hiệu suất làm việc của máy biến áp được cải thiện thông qua các phương thức vận hành hợp lý, vì chỉ cần cải thiện hiệu suất nhỏ của máy biến áp chính sẽ có ý nghĩa rất lớn trong cán cân năng lượng và kinh tế của nhà máy. Hiệu suất máy biến áp sẽ lớn nhất (tổn thất nhỏ nhất) khi tổn thất đồng (thay đổi trong chế độ vận hành) tiến gần tới tổn thất sắt (gần như không thay đổi nhiều trong mọi chế độ vận hành). Vì vậy, để đánh giá thực trạng hoạt động, tổn thất và hiệu suất thực của máy biến áp cần thu thập các số liệu vận hành trong khoảng 3 - 5 tháng gần nhất (theo các khoảng thời gian mà hệ thống đo đếm ghi lại được), gồm các thông số của máy phát, công suất tự dùng, bên sơ cấp (từ máy phát đi ra) và bên thứ cấp (từ máy biến áp đấu lên thanh cái truyền tải). Từ đó, phân tích dữ liệu, xây dựng mô hình máy biến áp, tính toán được hiệu suất của máy biến áp trong các chế độ làm việc. Mặc dù máy biến áp trong các nhà máy nhiệt điện do Tập đoàn Dầu khí Việt Nam đầu tư/tham gia đầu tư có 3 chế độ làm mát: ONAN (làm mát tự nhiên), ONAF (dầu tự nhiên, quạt cưỡng bức) và ODAF (dầu cưỡng bức, quạt cưỡng bức) nhưng phần lớn hoạt động ở chế độ ONAF. Các chế độ vận hành làm mát sẽ có quyết định chính đến độ bền của máy biến áp và tổn thất đồng. Ngoài ra, chế độ vận hành tải cũng ảnh hưởng đến tổn thất đồng do dòng điện trực tiếp chạy qua cuộn dây gây nên tổn thất.

Bài báo trình bày kết quả khảo sát ở 3 Trung tâm Điện lực Dầu khí: Nhơn Trạch, Cà Mau và Vũng Áng (Bảng 1), từ đó phân tích, tính toán các thành phần tổn thất và hiệu suất của máy biến áp chính. Do lượng số liệu thu thập rất lớn, đòi hỏi cần có phần mềm quản trị cơ sở dữ liệu để thuận tiện cho việc tra cứu, tính toán tổn thất, hiệu suất và hiển thị kết quả dưới các dạng biểu đồ trực quan, vì vậy nhóm tác giả đã xây dựng phần mềm CLET (Computing Losses and Efficiency of Transformer) để hỗ trợ thực hiện các công việc này. Dựa trên thực tế khảo sát ở các nhà máy nhiệt điện, nhóm tác giả đề xuất giải pháp đảm bảo vận hành an toàn, hiệu quả các máy biến áp chính, đồng thời gia tăng tuổi thọ máy.

2. Tính toán tổn thất, hiệu suất của máy biến áp

Hiệu suất của máy biến áp được tính bằng công thức sau [1 - 3]:

$$Efficiency = \eta = \frac{P_2}{P_1 - P_{td}} \quad (1)$$

Trong đó:

P_1: Công suất tác dụng của máy phát;

P_2: Công suất tác dụng ở đầu ra (tải tiêu thụ) của máy biến áp;

P_{td}: Công suất tác dụng tự dùng của các thiết bị tiêu thụ điện trong nhà máy.

Tổn thất (Losess) của máy biến áp được tính như sau:

$$Losess = P_1 - P_{td} - P_2 = \Delta P_{st} + \Delta P_đ + \Delta P_{tan} \quad (2)$$

Trong đó:

ΔP_{st}: Tổn thất sắt từ bằng tổn thất không tải;

và $\Delta P_đ = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = k^2 P_n$

Trong đó:

I_1, R_1: Dòng điện và điện trở cuộn dây bên sơ cấp;

I_2, R_2: Dòng điện và điện trở cuộn dây bên thứ cấp;

$k = I_2/I_{2đm}$: Hệ số tải;

P_n: Tổn thất ngắn mạch;

ΔP_{tan} : Tổn thất tản do dòng điện xoáy.

Trong đó, các loại tổn thất ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất sẽ là: ΔP_{st} tổn thất sắt, gần như không thay đổi theo hệ số tải, vì chỉ phụ thuộc vào điện áp làm việc (gần như không thay đổi trong các chế độ vận hành). Biểu thức tổn thất sắt:

$$\Delta P_{st} = P_h + P_e = K_h B^{1,6} f + K_e B^2 f^2 t^2$$

Trong đó:

P_h: Tổn thất do hiện tượng từ trễ;

P_e: Tổn thất do dòng xoay;

B: Mật độ từ thông cực đại trong lõi sắt;

f: Tần số;

t: Bề dày của các lá thép.

$\Delta P_đ$: Tổn thất đồng (tổn thất có tải), phụ thuộc vào bình phương của hệ số tải và có biểu thức sau:

$$\Delta P_đ = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = I'^2 R_e$$

Trong đó:

I_1: Dòng sơ cấp;

I_2: Dòng thứ cấp;

R_1: Điện trở dây quấn sơ cấp;

R_2: Điện trở dây quấn thứ cấp;

I'_2: Dòng thứ cấp quy đổi về sơ cấp;

$R_e = R_1 + R'_2$ = điện trở tương đương của máy biến áp quy đổi về sơ cấp.

Giá trị tổn thất đồng $\Delta P_đ$ thay đổi theo bình phương của hệ số tải và bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ các dây quấn. Tổn thất do từ trường tản ΔP_{tan} đi vào các phần kết cấu sắt thép (bulông, vỏ máy, khung xà...) tạo ra các tổn thất do dòng xoáy và phụ thuộc vào dòng tải. Ngoài ra còn có tổn thất điện môi là tổn thất trong các chất cách điện dưới ảnh hưởng của điện trường, là giá trị không đổi và rất nhỏ. Các tổn thất trên có thể chia làm 2 loại: tổn thất không đổi (chủ yếu phụ thuộc vào điện áp, có giá trị gần như không đổi) và tổn thất thay đổi (chủ yếu phụ thuộc vào dòng tải, có giá trị thay đổi theo hệ số tải). Giả sử x là hệ số tải, hiệu suất có thể tính:

$$\rho = (xS\cos\theta_2)/(xS\cos\theta_2 + P_{const} + x^2 P_{var}) \quad (3)$$

với S là công suất (MVA) định mức của máy biến áp; P_{const}: tổn thất không đổi; P_{var}: tổn thất thay đổi ở dòng tải định mức; $\cos\theta_2$: hệ số công suất tải thứ cấp.

Giá trị hiệu suất của máy biến áp sẽ đạt cực đại khi: tổn thất sắt = tổn thất đồng, nghĩa là $P_{const} = x^2 P_{var}$, $x = \sqrt{\frac{Pconst}{Pvar}}$ và hiệu suất cực đại sẽ là:

$$\eta_{max} = (xS\cos\theta_2)/(xS\cos\theta_2 + 2P_{const}) \quad (4)$$

Có thể thấy giá trị η_{max} thay đổi theo $\cos\theta_2$. Với máy biến áp làm việc gần tải định mức, hiệu suất làm việc sẽ đạt giá trị η_{max} khi máy có tổn thất đồng (là thành phần chủ yếu của tổn thất không tải) gần bằng với tổn thất sắt (là thành phần chủ yếu của tổn thất không đổi). Tuy nhiên, trong thực tế giá trị tổn thất không đổi (chủ yếu là tổn thất sắt) có giá trị khá nhỏ so với tổn thất đồng (do chất lượng các lá thép silic công nghệ mới đã được cải thiện rất nhiều trong các thập niên qua và có suất tổn thất W/kg rất thấp, thực tế hiện nay các máy biến áp lực công suất lớn đều sử dụng lá tôn silic có chất lượng rất tốt, về mặt khả năng dẫn từ qua hệ số từ thẩm μ rất cao, ở giá trị cực đại của mật độ từ thông B_{max} khoảng ~ 1,7T, trong khi suất tổn thất W/kg chỉ vào khoảng 0,85 - 1 W/kg ở 1,7T) - giá trị này là 110,32kW đối với máy biến áp Hyundai 300MVA, nên cũng không thể cho máy làm việc ở hệ số tải với tổn thất đồng ở tải định mức về giá trị tổn thất sắt được. Tổn thất có tải của máy biến áp Hyundai là 782.868kW ở chế độ ODAF 300MVA, Tap No.0. Tổng tổn thất là 893.188kW ở chế độ ODAF, 300MVA, 75°C, Tap No.0, hiệu suất ở chế độ làm việc này là 99,703%.

Như vậy, có 2 phương pháp tính hiệu suất máy biến áp. Trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng công thức (1) để tính hiệu suất và công thức (2) để tính tổn thất.

3. Xây dựng phần mềm tính toán tổn thất hiệu suất máy biến áp CLET

Nhóm tác giả đã xây dựng phần mềm CLET để lưu trữ, quản lý một lượng số liệu lớn của các máy biến áp tại các nhà máy điện: Nhơn Trạch 1, Nhơn Trạch 2, Cà Mau 1, Cà Mau 2 và Vũng Áng 1. Đồng thời, có thể hiển thị theo bộ lọc thời gian và độ lớn. Phần mềm CLET được phát triển dựa trên ngôn ngữ lập trình JAVA và hệ quản trị cơ sở dữ liệu mã nguồn mở MySQL. Hiệu suất của các máy biến áp được tính bằng công thức (1) và tổn thất của máy biến áp được tính bằng công thức (2). Các giá trị tổn thất và hiệu suất thực tế sẽ được so sánh với các ngưỡng chuẩn do nhà thầu cung cấp trong một điều kiện thử nghiệm cụ thể khi chạy nghiệm thu máy. Phần mềm có thể hiển thị kết quả dưới dạng trực quan từ đó hỗ trợ người dùng diễn giải và đưa ra các phân tích, đánh giá về tổn thất, hiệu suất của các máy biến áp. Phần mềm CLET (Hình 1) bao gồm các chức năng:

- Có khả năng nhập số liệu từ file excel theo định dạng;
- Lưu trữ, hiển thị số liệu của các máy biến áp theo bảng, biểu đồ và đồ thị;

- Có các bộ lọc để tra cứu số liệu;

- Tính toán các tổn thất, hiệu suất theo từng máy biến áp và theo thời gian, kết quả hiển thị trực quan;

- So sánh kết quả tổn thất, hiệu suất hiện tại với ngưỡng chuẩn ban đầu của nhà chế tạo;

- Dự báo tổn thất, hiệu suất, nhiệt độ dầu và cuộn dây.

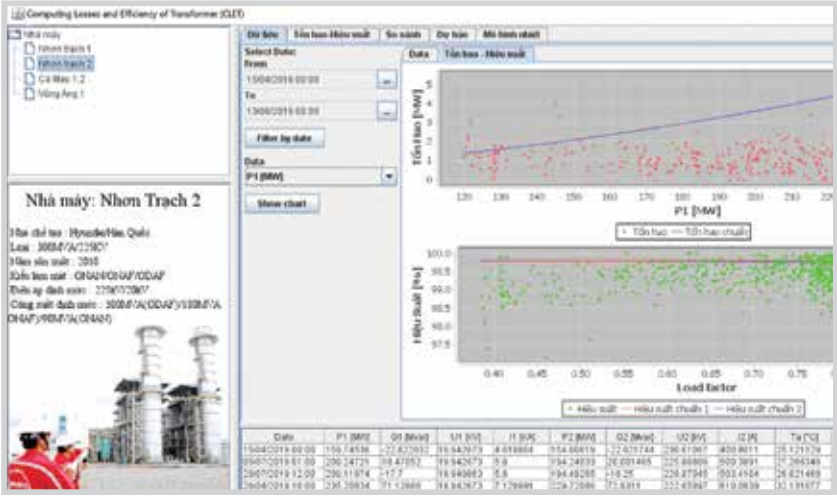
4. Thực trạng và giải pháp vận hành máy biến áp an toàn, hiệu quả

4.1. Thực trạng

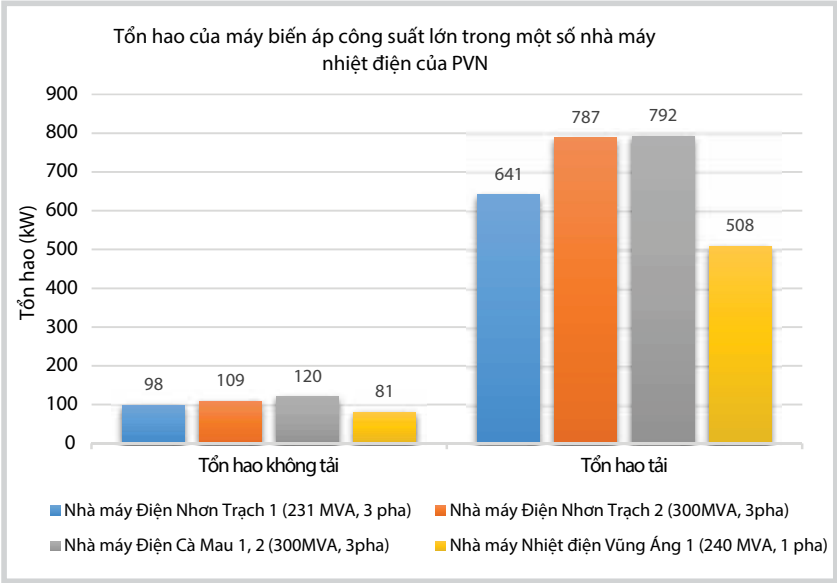
Nhà máy Điện Cà Mau 1, Nhà máy Điện Cà Mau 2 và Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 sử dụng máy biến áp 3 pha ngâm dầu Hyundai 300MVA. Trong khi đó, Nhà máy Điện Nhơn Trạch 1 dùng máy biếp áp 3 pha Fortune 231MVA. Riêng Nhà máy Nhiệt điện Vũng Áng 1 sử dụng máy biến áp 1 pha công suất 240MVA của ABB. Như vậy, Nhà máy Nhiệt điện Vũng Áng 1 cần đến 6 máy biến áp cho cả 2 tổ máy công suất 1.200MW, trong khi đó các nhà máy điện khí công suất nhỏ hơn chỉ cần 3 máy biến áp loại 3 pha.

Tổn thất không tải (tổn thất sắt từ) và tổn thất tải (tổn thất đồng + tổn thất tản) của các máy biến áp xét tại điều kiện định mức được thể hiện trên biểu đồ Hình 2 cho thấy mặc dù các máy biến áp Hyundai ở Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2, Nhà máy Điện Cà Mau 1 & 2 đều có công suất 300MVA nhưng tổn thất không tải khác nhau đến khoảng 10% do Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 đầu tư sau và được hưởng lợi từ sự thay đổi công nghệ. Tuy nhiên, tổn thất tải thì không có sự khác nhau nhiều (787kW của Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 so với 792kW của Nhà máy Điện Cà Mau 1 và 2).

Hình 3 cho thấy tổn thất không tải của máy biến áp ALSTOM 231MVA ở Nhà máy Điện Nhơn Trạch 1 và máy



Hình 1. *Giao diện phần mềm CLET*

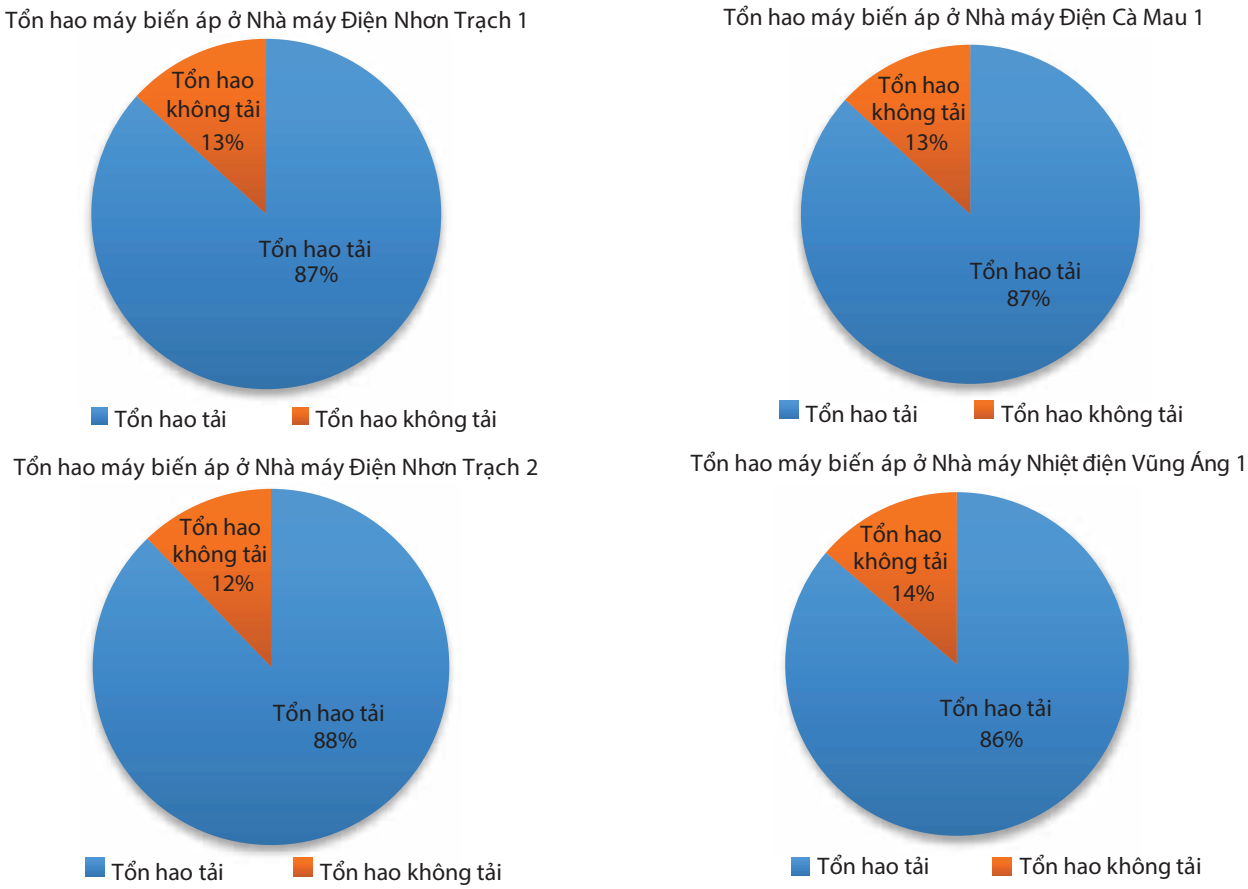


Hình 2. *Tổn thất không tải và tổn thất tải của các máy biến áp*

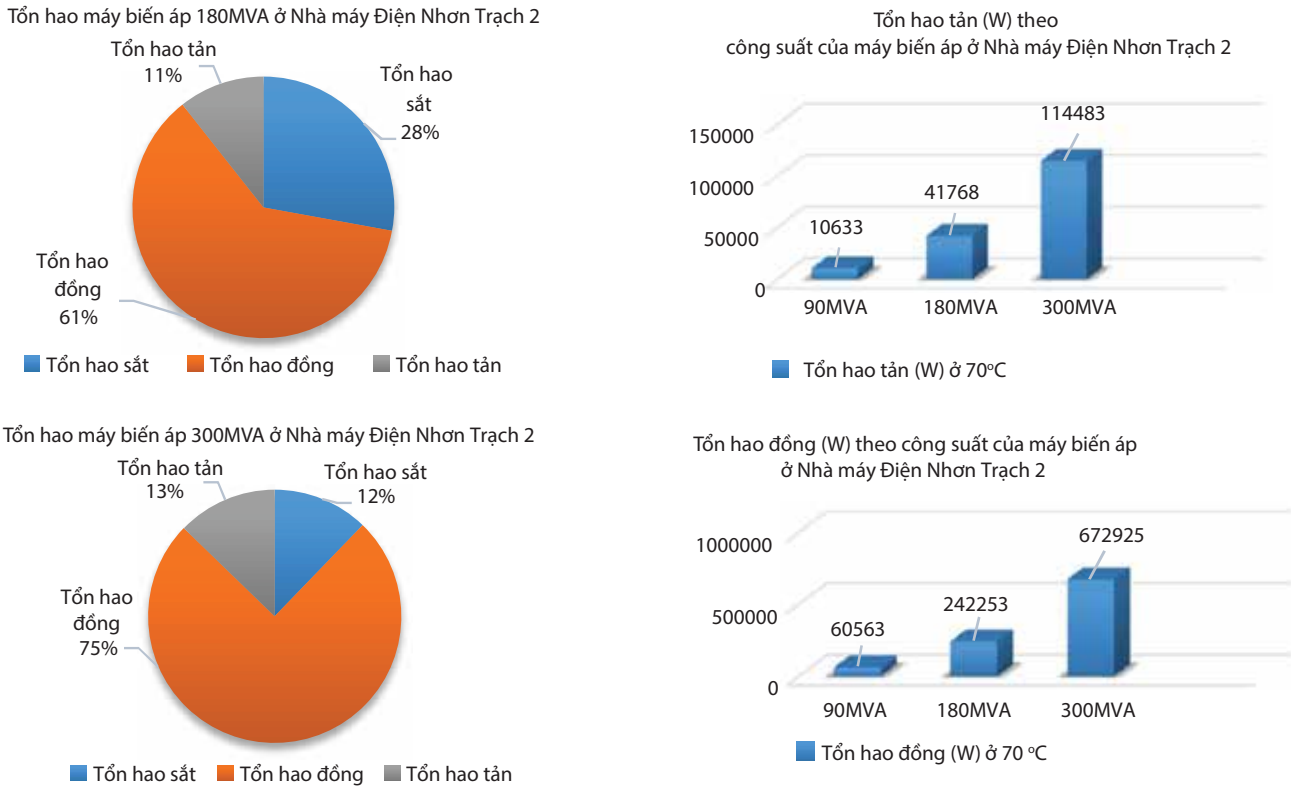
biến áp Hyundai 300MVA ở Nhà máy Điện Cà Mau 1 chiếm khoảng 13%. Như vậy, tổng tổn thất đồng và tổn thất tản được gọi chung là tổn thất tải chiếm khoảng 87%. Riêng máy biến áp ABB 240MVA ở Nhà máy Nhiệt điện Vũng Áng 1 có tỷ lệ tổn thất không tải cao nhất với mức 14%. Thực tế, các dòng máy biến áp 3 pha thường có tỷ lệ tổn thất không tải nhỏ hơn dòng máy biến áp 1 pha.

Do số lượng dữ liệu lớn nên nhóm tác giả chỉ minh họa kết quả khảo sát và phân tích cho Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2, các nhà máy khác được thực hiện tương tự.

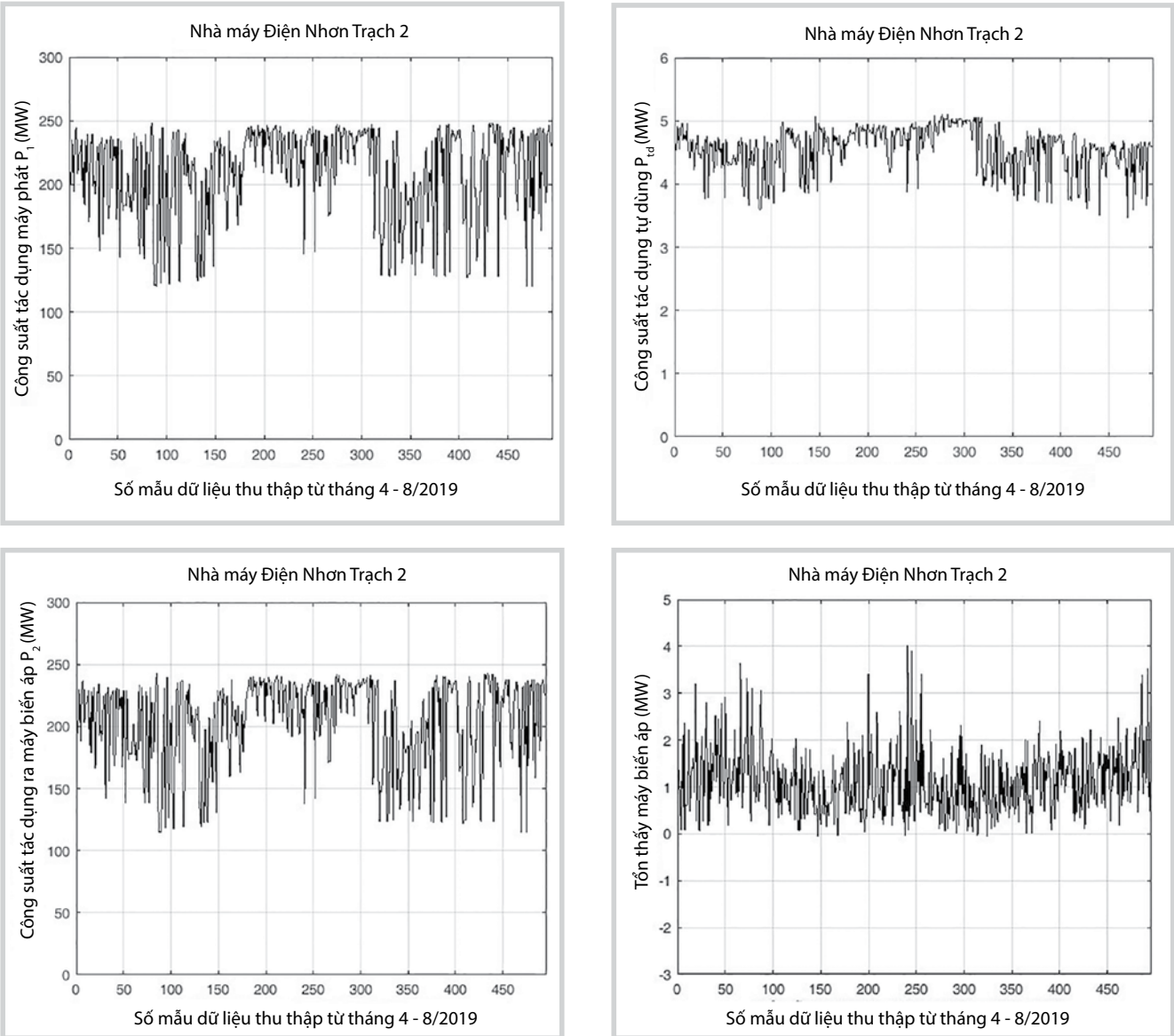
Tổn thất tải gồm tổn thất đồng và tổn thất tản đều có giá trị thay đổi rất lớn phụ thuộc vào công suất sử dụng của máy biến áp. Biểu đồ dạng cột (Hình 4) đã cho thấy tổn thất tản tăng gấp gần 4 lần khi công suất máy tăng gấp 2 lần từ 90MVA lên 180MVA. Tổn thất tản còn tăng khoảng 10 lần từ ngưỡng 10.633W ở 90MVA lên mức 114.483W tương ứng với công suất định mức 300MVA. Tổn thất đồng tăng khoảng 10 lần từ 60.563kW ở 90MVA lên mức 672.925W ở 300MVA.



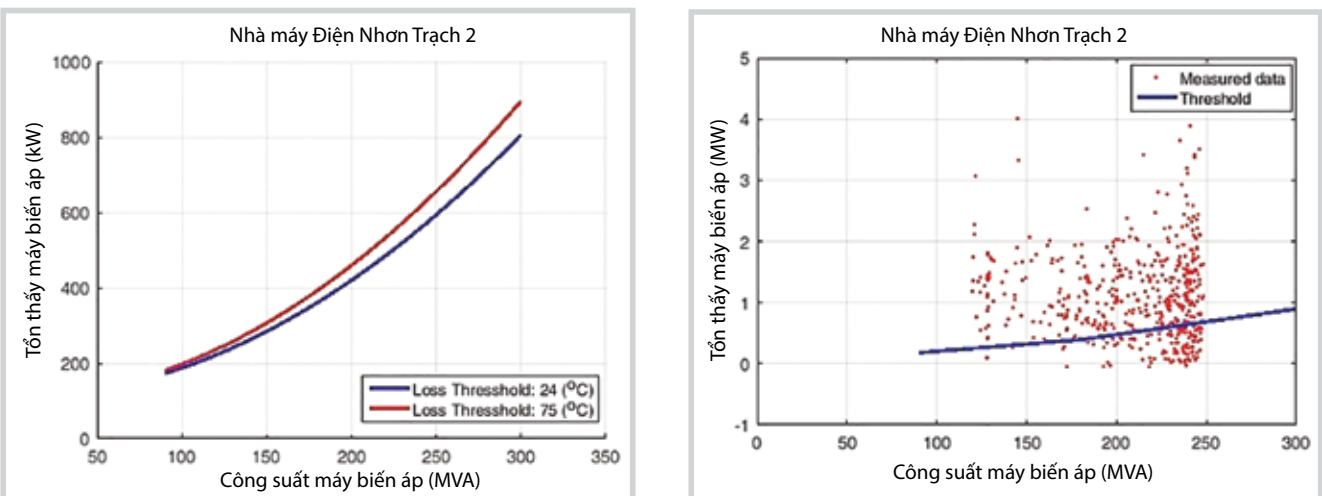
Hình 3. *Tỷ lệ tổn thất không tải và tổn thất tải của các máy biến áp*



Hình 4. *Các loại tổn thất máy biến áp ở Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2*

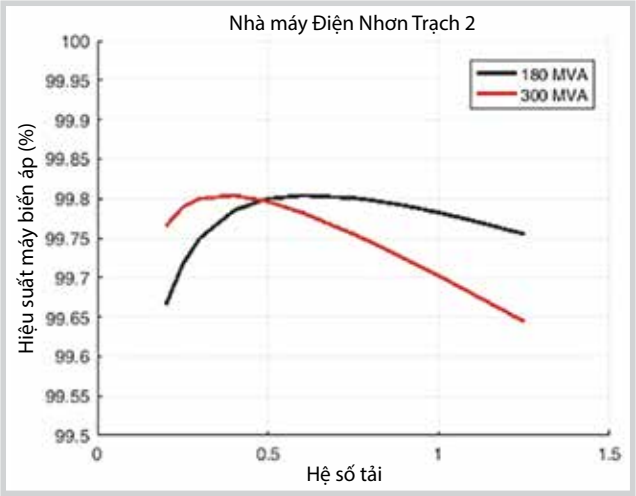


Hình 5. *Số liệu máy biến áp chính của Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 theo thời gian từ tháng 4 - 8/2019*

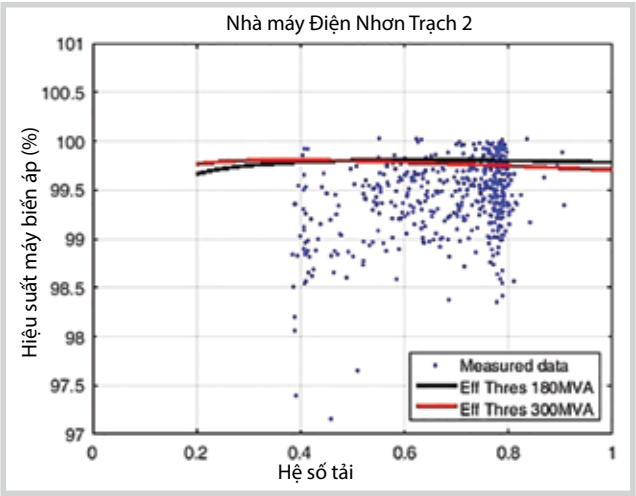


(a) *(b)*

Hình 6. *Ngưỡng tổn thất và tổn thất thực của máy biến áp chính của Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 theo thời gian từ tháng 4 - 8/2019*

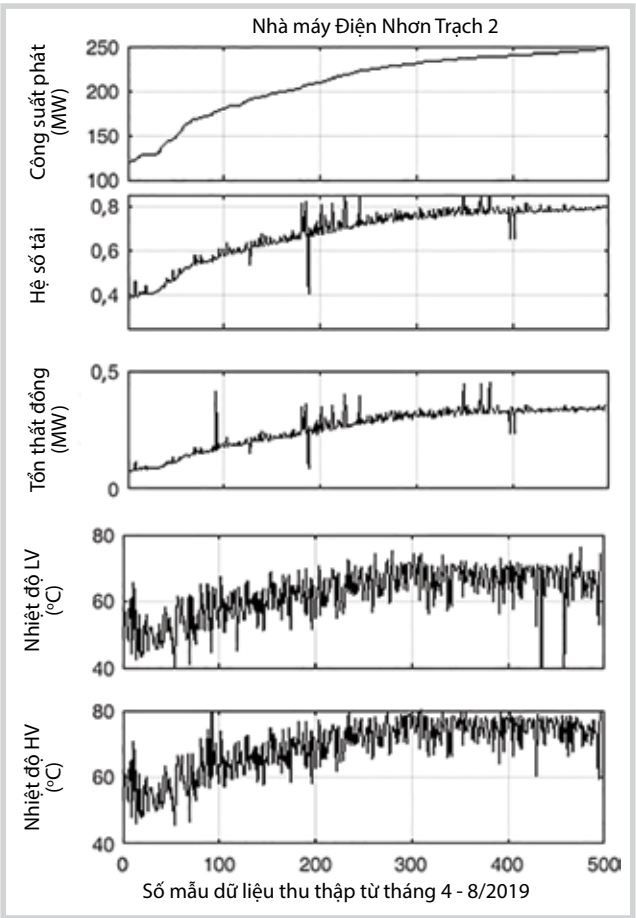


(a)



(b)

Hình 7. *Ngưỡng hiệu suất và hiệu suất thực của máy biến áp chính của Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 theo thời gian từ tháng 4 - 8/2019*



Hình 8. *Kết quả sắp xếp lại số liệu trong khoảng thời gian từ tháng 4 - 8/2019 ở Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 theo thứ tự từ nhỏ đến lớn*

Biểu đồ Hình 4 minh họa tỷ lệ của 3 thành phần tổn thất: sắt, đồng và tản ở nhiệt độ 75°C tương ứng với 2 mức công suất khác nhau: 180MVA và 300MVA. Các biểu đồ cho thấy khi công suất sử dụng tăng lên thì tỷ lệ tổn thất sắt sẽ giảm xuống và tỷ lệ tổn thất đồng sẽ tăng lên. Ví dụ ở mức công suất 180MVA, tổn thất sắt chiếm đến 28%, trong khi đó tổn thất đồng là 61%. Nhưng khi sử dụng ở công suất định mức 300MVA, tổn thất đồng đã chiếm 75%, còn tổn thất sắt chỉ chiếm 12%.

Số liệu cho máy biến áp chính ở Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 theo thời gian từ tháng 4 - 8/2019 (Hình 5) cho thấy công suất tác dụng P_1 (MW) của máy phát có sự dao động đáng kể từ 150 - 250MW và tập trung nhiều ở khoảng 230MW. Công suất tác dụng bên thứ cấp P_2 (MW) của máy biến áp dao động từ khoảng 145 - 245MW, tập trung nhiều ở dải công suất 230MW. Trong khi đó, công suất tác dụng tự dùng P_{td} (MW) dao động trong khoảng 4 - 5MW. Như vậy, tổn thất (losses) sẽ nằm trong khoảng 0,7 - 1,8MW.

Tổn thất không tải thay đổi rất chậm theo thời gian và giả định nó là hằng số. Đối với máy biến áp chính ở Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 thì tổn thất không tải có giá trị khoảng 109.737kW (đo tại định mức). Tổn thất tải phụ thuộc vào tải và nhiệt độ cuộn dây như trên Hình 6a. Khi công suất máy biến áp thay đổi từ 90 - 300MVA, tổn thất tải tăng rất mạnh từ 98 - 700kW (ở nhiệt độ 24°C) hoặc 790kW (ở nhiệt độ 75°C). Đường tổn thất tải ứng với nhiệt độ cao hơn nằm ở phía trên. Hình 6b minh họa tổn thất thực tế (chấm đỏ) tại thời điểm từ tháng 4 - 8/2019 so với ngưỡng chuẩn (đường đặc tính xanh) của nhà chế tạo. Từ đó có thể thấy rằng, khoảng 75% số liệu có tổn thất nằm trên đường chuẩn. Ngưỡng tổn thất chuẩn do nhà thầu cung cấp (đã được kiểm tra lúc ban đầu trước khi bàn giao máy) trong điều kiện xác định, là giới hạn giá trị lớn nhất đối với tổn thất. Nếu số liệu nằm dưới ngưỡng chuẩn được coi nằm trong giới hạn cho phép.

Hiệu suất của máy biến áp phụ thuộc vào hệ số tải. Hình 7a cho thấy khi máy biến áp hoạt động ở mức công

Hình 9. *Tỷ lệ các nguyên nhân gây sự cố máy biến áp*

suất trung bình (180MVA) thì hiệu suất lớn nhất khi hệ số tải bằng khoảng 0,6. Trường hợp máy vận hành với công suất định mức 300MVA, hiệu suất cực đại khi hệ số tải bằng 0,4. Hiệu suất của máy biến áp chính ở Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 trong khoảng thời gian tháng 4 - 8/2019 được thể hiện như Hình 7b. Kết quả đo cho thấy hiệu suất máy rất cao, dao động trong khoảng 99 - 99,8%. Tuy nhiên, hiệu suất (chấm xanh) chủ yếu vẫn nằm dưới ngưỡng hiệu suất chuẩn. Số liệu nằm trên ngưỡng chuẩn được coi là nằm trong giới hạn cho phép.

Để tìm quy luật thay đổi của hệ số tải, tổn thất đồng, nhiệt độ cuộn cao áp (HV) và thấp áp (LV) các số liệu được sắp xếp lại theo thứ tự từ nhỏ đến lớn và kết quả được thể hiện như trên Hình 8. Kết quả cho thấy đường hệ số tải và tổn thất đồng có quan hệ đúng như phương trình $\Delta P_d = k^2P_n$, trong đó $k = I_2/I_{2dm}$ là hệ số tải và P_n là tổn thất ngắn mạch. Nhiệt độ cuộn LV tăng từ khoảng 45 - 70°C khi công suất phát tăng từ 120 - 250MW, nhiệt độ cuộn HV tăng cao hơn từ khoảng 50 - 79°C.

Qua quá trình khảo sát ở các nhà máy điện, nhóm tác giả có nhận xét như sau:

- Nhà máy Điện Cà Mau 1, Nhà máy Điện Cà Mau 2 và Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 có công suất phát từ khoảng 110 - 250MW (định mức) cho mỗi tổ máy và khoảng 30% thời lượng hoạt động dưới mức 200MW. Nhà máy Nhiệt điện Vũng Áng 1 có công suất phát từ khoảng 380 - 600MW cho mỗi tổ máy và khoảng hơn 30% thời lượng hoạt động dưới 400MW. Nhà máy Điện Nhơn Trạch 1 có công suất phát tương đối thấp, từ khoảng 120 - 170MW.

- Nhà máy Điện Cà Mau 1, Nhà máy Điện Cà Mau 2 và Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 có hệ số tải dao động từ khoảng 0,35 - 0,8; Nhà máy Nhiệt điện Vũng Áng 1 có hệ số tải từ 0,5 - 0,8; Nhà máy Điện Nhơn Trạch 1 thì hệ số tải từ khoảng 0,5 - 0,7.

- Điện áp ra máy biến áp (nối với tải) của Nhà máy Điện Cà Mau 1, Nhà máy Điện Cà Mau 2 tương đối ổn định ở mức 230kV; ở Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 thì dao động từ 225 - 230kV; Nhà máy Nhiệt điện Vũng Áng 1 dao động ở mức cao hơn, từ 228 - 232kV.

- Tổn thất của các máy biến áp ở các nhà máy đều cao hơn ngưỡng chuẩn do nhà thầu cung cấp. Hiệu suất máy biến áp ở Nhà máy Điện Cà Mau 1, Nhà máy Điện Cà Mau 2 và Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 dao động từ 99 - 99,8%. Trong khi đó, hiệu suất máy biến áp ở Nhà máy Nhiệt điện Vũng Áng 1 thì thấp hơn, dao động từ 98,6 - 99,6%.

- Nhiệt độ cuộn dây ở Nhà máy Điện Cà Mau 1, Nhà máy Điện Cà Mau 2 dao động từ 70 - 85°C; ở Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 dao động trong khoảng 50 - 78°C; trong khi đó ở Nhà máy Nhiệt điện Vũng Áng 1 chỉ dao động từ 40 - 65°C.

- Tổn thất sắt từ (hay tổn thất không tải) gần như không đổi; trong khi đó tổn thất đồng mặc dù cao nhưng vẫn trong mức giới hạn cho phép; riêng tổn thất tản tăng cao và không đo đếm được trực tiếp.

4.2. Đề xuất giải pháp vận hành máy biến áp an toàn, hiệu quả

Qua khảo sát thực tế tại các nhà máy nhiệt điện của PVN và phân tích các số liệu thống kê cho thấy tỷ lệ tổn thất của các máy biến áp đã tăng khá cao từ khoảng 30 - 80% so với ngưỡng tổn thất lớn nhất của nhà chế tạo. Trong đó có thành phần tổn thất không đo đếm được gồm: tổn thất điện môi (Dielectric loss), tổn thất từ trễ (Hysteresis loss), tổn thất dòng điện xoáy (Eddy current losses), tổn thất tản (Stray losses) và tổn thất do hài bậc cao (Extra losses due to Harmonics). Việc gia tăng các tổn thất này không chỉ làm giảm hiệu quả mà còn tiềm ẩn nguy cơ phóng điện cục bộ. Vì vậy, đối với các máy biến áp vận hành trên 10 năm cần phải có các hệ thống giám sát để đảm bảo an toàn và phát hiện sớm các sự cố. Tại thời điểm nhiệt độ cuộn dây tăng cao hơn so với mức chuẩn ở cùng công suất phát. Do vậy, cần phải kiểm tra chất lượng dầu làm mát định kỳ, lọc khí để đảm bảo hiệu quả làm mát. Đặc biệt hệ thống quạt và bơm dầu phải được bảo dưỡng và kiểm tra số vòng quay/phút, tốc độ gió, độ rung lắc của trục và cánh quạt để đảm bảo cung cấp đủ công suất làm mát.

Để giữ được hoặc gia tăng tuổi thọ máy biến áp so với tuổi thọ thiết kế thì máy biến áp phải được vận hành trong các điều kiện dưới danh định (giá trị định mức của công suất, dòng điện, điện áp) [10, 11]. Thực tế cho thấy, máy biến áp chính phải vận hành cả trong các điều kiện quá tải làm giảm tuổi thọ máy. Tỷ lệ sự cố của máy biến áp và tuổi thọ dự tính bị ảnh hưởng bởi yếu tố bên trong lẫn bên ngoài, như các nguyên nhân về điện, nhiệt và cơ. Các ứng suất điện như đột ngột chuyển mạch, xung chớp hoặc quá tải thường xuyên sẽ dần làm giảm sức bền điện môi của lớp cách điện, dẫn đến làm hỏng máy biến áp. Điện trở tiếp xúc tăng lên, sự phóng điện cục bộ (Partial Discharge - PD) và các vấn đề về hệ thống làm mát sẽ làm tăng nhiệt cuộn dây và dầu, trong khi biến dạng cơ có thể tăng khi có dòng ngắn mạch và truyền tải. Các ứng suất nhiệt và biến dạng cơ, khi kết hợp với độ ẩm và sự ô nhiễm, sẽ tăng tốc độ lão hóa của lớp cách điện và gây ra những hư hại. Thống kê nguyên nhân thường gặp gây ra sự cố máy biến áp được thể hiện ở Hình 9 [10]. Ngoài ra, ống bọc cách điện, bộ đổi đầu lối ra và bộ phận phụ trợ khác cũng góp phần không nhỏ làm ảnh hưởng tới tuổi thọ máy biến áp.

Để đảm bảo duy trì và gia tăng tuổi thọ của máy biến áp, cần thực hiện trong mỗi kỳ bảo trì bảo dưỡng các quy trình thí nghiệm, kiểm tra (Bảng 2) [10]:

Các sai hỏng có thể theo dõi online, kiểm tra hàng ngày hoặc kiểm tra chẩn đoán định kỳ. Sau đó nếu phát hiện bất thường ở bộ phận nào thì sẽ có giải pháp tương ứng.

Bảng 2. *Các hạng mục cần thực hiện khi bảo trì, bảo dưỡng*

TT	Hạng mục cần thực hiện khi bảo trì, bảo dưỡng định kỳ
1	Kiểm tra chất lượng dầu
2	Kiểm tra nhiệt kế hồng ngoại
3	Thử nghiệm dòng kích thích
4	Kiểm tra hệ số công suất/yếu tố điện môi
5	Đo chỉ số phân cực
6	Đo điện dung
7	Đo chức năng chuyển
8	Điều kiện chuyển Tap
9	Thí nghiệm lại cách điện giấy cellulose
10	Phân tích đáp ứng điện môi
11	Phân tích phóng điện cục bộ
12	Phân tích đáp ứng trở ngắn mạch và rò rỉ
13	Kiểm tra điện trở cuộn dây
14	Kiểm tra điện trở nối đất và lõi thép
15	Phân tích đáp ứng tần số Sweep

Việc sử dụng công nghệ siêu cao tần (UHF) để theo dõi và phát hiện các điểm phóng điện cục bộ mới phát sinh được các chuyên gia đánh giá cao. Công nghệ UHF phát triển rất nhanh và được ứng dụng rộng rãi giúp đảm bảo các thiết bị điện, đặc biệt là máy biến áp, vận hành an toàn, với độ tin cậy cao và nâng cao tuổi thọ vận hành máy. Đây là công nghệ mới tiên tiến, giúp quản lý vận hành máy, trợ giúp và thay thế con người trong việc quản lý vận hành máy biến áp, đảm bảo an toàn và tin cậy.

5. Kết luận

Nhóm tác giả đã thực hiện khảo sát các máy biến áp chính ở các nhà máy điện: Nhơn Trạch 1 & 2, Cà Mau 1 & 2 và Vũng Áng 1. Các số liệu về dòng điện, điện áp, công suất tác dụng, công suất phản kháng bên sơ cấp và thứ cấp; nhiệt độ của dầu, cuộn dây và nhiệt độ môi trường đã được thu thập trong thời gian từ 3 - 5 tháng theo chu kỳ lấy mẫu 2 - 3 giờ/lần. Số liệu khảo sát là cơ sở để phân tích, đánh giá thực trạng vận hành, tổn thất và hiệu suất máy biến áp so với điều kiện thử nghiệm ban đầu.

Nhóm tác giả đã xây dựng phần mềm CLET hỗ trợ vận hành máy biến áp với các chức năng: quản trị cơ sở dữ liệu, tính toán tổn thất và hiệu suất, phân tích mô hình nhiệt, dự báo và đưa các chỉ báo để đạt được chế độ vận hành tối ưu, cũng như duy trì/kéo dài tuổi thọ của máy biến áp. Phần mềm đã tính toán số liệu cho các máy biến áp Hyundai 300MVA ở Nhà máy Điện Cà Mau 1, Nhà máy Điện Cà Mau 2 và Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 cho thấy vẫn giữ được hiệu suất tương đối cao trên 99 - 99,8% trong suốt 5 tháng vận hành từ 11/2018 - 3/2019. Máy biến áp 1 pha ABB 240MVA của Nhà máy Nhiệt điện Vũng Áng 1 có hiệu suất từ 98,6 - 99,6%.

Tổn thất thực tế của máy biến áp về cơ bản cao hơn 30 - 80% so với mức chuẩn. Trong đó, có tổn thất không đo đếm được như: tổn thất điện môi, tổn thất từ trễ, tổn thất dòng điện xoáy, tổn thất tản và tổn thất do hài bậc cao…

Để dự báo nhiệt độ của dầu và cuộn dây, tính toán trước các giá trị tổn thất và hiệu suất theo chế độ tải, các mô hình nhiệt cho máy biến áp cần được phân tích, tính toán và mô phỏng.

Tài liệu tham khảo

[1]. R.Gouws and O.Dobzhanskyi, "Efficiency analysis of a three-phase power transformer", *Energize*, pp. 61 - 65, 2014.

[2]. Aleksandar Damnjanovic, "The measurement and evaluation of distribution transformer losses under non-

linear loading", *IEEE Power Engineering Society General Meeting, Denver CO, 9 June, 2004*.

[3]. Angelo Baggini, "Power transformers - Introduction to measurement of losses", Industrial and Tertiary Product Testing and Application of Standard, 2016.

[4]. Ankit M.Patel, Aniruddha S.Jhala and Hitesh M.Karkar, "Analysis of stray losses calculation in auto-transformer using coupled IEM and FEM technique", *International Journal of Advance Engineering and Research Development (IJAERD)*, Vol. 1, No. 3, 2014.

[5]. Manmohan Singh, Madhu Verma, Anuj Kanaujia, Sakshi Rai and Anagha Soman, "Reduction of stray losses in distribution transformer using different materials of clamping", *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Vol. 5, No. 5, pp. 2738 - 2740, 2018.

[6]. Juan Carlos Olivares-Galvan, Salvador Magdaleno-Adame and Rafael Escarela, "Reduction of stray losses in flange-bolt regions of large power transformer tanks", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 6, No. 8, pp. 4455 - 4463, 2014.

[7]. Masood Moghaddami, Arif I.Sarwat and Francisco de Leon, "Reduction of stray loss in power transformers using horizontal magnetic wall shunts", *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 53, No. 2, 2017.

[8]. Yun Zhang, "Research on hot spot temperature calculation and analysis of online, monitoring method of oil-immersed power transformer winding", *Advances in Computer Science Research*, 2017.

[9]. Longnv Li, Wei Liu, Hai Chen and Xiaoming Liu, "Prediction of oil flow and temperature distribution of transformer winding based on multi-field coupled approach", *The Journal of Engineering*, Vol. 16, pp. 2007 - 2012, 2019.

[10]. Md Mominul Islam, Gareth Lee and Sujeewa Nilendra Hettiwatte, "A review of condition monitoring techniques and diagnostic tests for lifetime estimation of power transformers", *Electrical Engineering*, Vol. 100, pp. 581 - 605, 2018.

[11]. Kelvinkumar Kalariya, Hardik Kannad, Dipesh Vyas and Pallav Gandhi, "A review on ageing of power transformer and insulation life assessment", *Advanced Research in Electrical and Electronic Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 117 - 122, 2014.

EVALUATING THE SITUATION AND SOLUTIONS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF MAIN TRANSFORMER'S OPERATION IN THERMAL POWER PLANTS

Vu Minh Hung[1], Le Van Sy[1], Nguyen Phan Anh[1], Nguyen Ha Trung[2]
[1]Petrovietnam University
[2]Hanoi University of Science and Technology
Email: hungvm@pvu.edu.vn

Summary

The transformer is an important electrical equipment in power plants, converting the voltage from 20 - 26kV at the generator output to 220 - 230kV. After a period of use, it is necessary to re-evaluate losses, efficiency, and operation mode to have suitable measures to increase working efficiency and limit incidents, as well as prolong the transformer's life. The authors conducted surveys at 5 power plants (Ca Mau 1 and 2, Nhon Trach 1 and 2, and Vung Ang). The transformers here have a capacity between 231 - 300MVA, and have been operating for 6 - 13 years. Based on measurement data, the authors have built the CLET software (Computing Losses and Efficiency of Transformer) to analyse and evaluate the status of operation and performance results of the above machines. From there, the authors made suggestions on operation and maintenance to ensure safety and prolong the life of the machine.

Key words: Transformer, thermal power, losses, efficiency, CLET.