

XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN CHẾ ĐỘ NHIỆT MÁY BIẾN ÁP DỰA TRÊN MÔ HÌNH ĐỘNG CỦA IEC

BUILDING PROGRAM FOR THERMAL CALCULATION OF POWER TRANSFORMER BASED ON THE IEC DYNAMIC THERMAL MODEL

Vũ Hoàng Giang, Nguyễn Đăng Toàn, Lê Nguyễn Thành Trung

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 19/9/2018, Ngày chấp nhận đăng: 20/12/2018, Phản biện: TS. Dương Trung Kiên

Tóm tắt:

Bài báo trình bày kết quả xây dựng chương trình tính toán nhiệt độ của điểm nóng nhất và độ suy giảm tuổi thọ của máy biến áp dựa trên mô hình động của IEC 60076-7. Chương trình tính toán được xây dựng dựa trên mô hình tích phân về chế độ nhiệt của máy biến áp. Để xác nhận tính hợp lệ, kết quả tính toán của chương trình được so sánh với kết quả cho trong tiêu chuẩn. Sau đó bộ thông số mô hình nhiệt của một máy biến áp truyền tải thực tế 600MVA - 500kV với kiểu làm mát ONAF được lựa chọn để tính toán. So sánh kết quả tính toán và dữ liệu đo cho sai lệch bé xác nhận tính khả thi trong ứng dụng chương trình vào giám sát chế độ nhiệt của máy biến áp.

Từ khóa:

Độ suy giảm tuổi thọ, máy biến áp, mô hình động về chế độ nhiệt, nhiệt độ điểm nóng nhất.

Abstract:

This paper introduces the results of building a program for calculating the hot-spot temperature and loss of life of power transformer based on the dynamic thermal model of IEC60076-7. The program is developed on the basis of thermal differential equations of the transformer. To validate the program, calculating results are compared to those given by the standard. Afterwards, the parameters of the model of a real transformer 600 MVA - 500 kV with cooling method of ONAF is selected to calculate. The comparison between simulating result and measurement provides with small error that the program can be feasibly applied to the monitoring thermal behavior of the transformer.

Key words:

Loss of life, power transformer, thermal dynamic model, hot-spot temperature.

1. MỞ ĐẦU

Trong hệ thống điện, máy biến áp (MBA) là một phần tử rất quan trọng trong quá trình truyền tải, phân phối điện năng từ nguồn đến nơi tiêu thụ. Hơn nữa, sự cố hư hỏng của MBA có thể gây hậu quả nặng

nề về mặt kinh tế do chi phí đầu tư thiết bị lớn, đôi khi gây ảnh hưởng cả về chính trị và xã hội. Vì vậy, việc vận hành MBA một cách an toàn, hiệu quả đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo tính kinh tế kỹ thuật của hệ thống điện.

Một trong những thông số quan trọng nhất để đánh giá tình trạng vận hành của MBA là nhiệt độ bên trong máy. Nghiên cứu chế độ nhiệt MBA đã được hình thành từ lâu ở đó tính toán chế độ nhiệt đã được hướng dẫn trong các tiêu chuẩn của IEC-60076-7 [1] hay tiêu chuẩn IEEE Std C57.92-1981 [2].

Ngoài ra mô hình động tính toán chế độ nhiệt còn được đề xuất bởi nhiều nghiên cứu như mô hình tuyến tính theo hướng dẫn của IEEE [3], mô hình của Swift [4], mô hình đơn giản hóa của Susa [5]. Ưu điểm của mô hình tuyến tính là đơn giản, khối lượng tính toán nhỏ và có thể dễ dàng sử dụng trong giám sát nhiệt độ trực tuyến. Tuy nhiên, những mô hình này đã áp dụng các giả thiết đơn giản hóa như coi hằng số thời gian của dầu không thay đổi theo các điều kiện vận hành khác nhau nên đã có hạn chế về độ chính xác trong tính toán. Các nghiên cứu [4] và [5] đều đưa ra cách tính toán dựa trên phương trình vi phân xuất phát từ nguyên lý đối lưu nhiệt tự nhiên. Đặc biệt mô hình trong [5] còn xét đến sự ảnh hưởng độ nhớt của dầu trong mô hình tính toán. Nhược điểm của các phương pháp này là không xét đến sự đối lưu cưỡng bức và sự thay đổi của điện trở nhiệt. Hơn nữa phương trình mô tả có dạng phi tuyến và việc xác định các thông số là một quá trình phức tạp.

Ngoài ra trong các nghiên cứu vừa qua có thể tìm thấy các phương pháp cải tiến tính toán chế độ nhiệt dựa trên mô hình được xây dựng trên cơ sở các hiện tượng vật lý bên trong MBA và có xét đến sự biến thiên của điện trở nhiệt. Tuy nhiên các phương pháp này thường đi kèm với cấu trúc mô hình tính toán phức tạp và trong

một số trường hợp các thông số đầu vào của mô hình rất khó xác định.

Mô hình tính toán chế độ nhiệt trong MBA theo tiêu chuẩn IEC được áp dụng đã lâu, là mô hình được lựa chọn sử dụng trong bài báo. Các kết quả tính toán theo mô hình của IEC có sai lệch bé so với các dữ liệu đo thực tế [1]. Hơn nữa, tiêu chuẩn này thường xuyên bổ sung cập nhật để hoàn thiện hơn về độ chính xác trong tính toán.

Đóng góp chính của nghiên cứu này là xây dựng chương trình tính toán chế độ nhiệt dựa trên cấu trúc mô hình tiêu chuẩn được giới thiệu trong mục 2. Trong mục này, bài báo giới thiệu ứng dụng tính toán giám sát nhiệt độ điểm nóng nhất và độ suy giảm tuổi thọ cho MBA. Trong mục 3, sau khi xác nhận tính hợp lệ của chương trình, nhiệt độ lớp dầu trên của một MBA truyền tải thực tế được tính toán bằng chương trình và so sánh với dữ liệu đo thực tế. Trong quá trình tính toán, thông số của mô hình cũng được lựa chọn hợp lý để thu được kết quả với sai lệch bé nhất. Cuối cùng là một số tổng kết được đưa ra trong mục 4.

2. XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN DỰA TRÊN MÔ HÌNH ĐỘNG THEO TIÊU CHUẨN IEC 60076-7

2.1. Mô hình động theo tiêu chuẩn IEC 60076-7

Các phương trình vi phân mô tả quá trình truyền nhiệt tương ứng chỉ ở dạng tuyến tính trong trường hợp làm mát với dòng dầu cưỡng bức (OD). Đối với các kiểu làm mát khác (OF và ON) tốc độ tuần hoàn dầu phụ thuộc vào bản thân nhiệt độ của môi chất làm mát.

Kết quả là đối với các kiểu làm mát ON và OF, mô hình động được biểu diễn dưới dạng phương trình vi phân là phi tuyến, nghĩa là độ tăng nhiệt của lớp dầu trên và của điểm nóng nhất khi có sự tăng đột biến của dòng tải không theo quy luật hàm mũ [4].

Phương trình vi phân với ẩn là nhiệt độ của lớp dầu trên được viết dưới dạng [1]:

$$\left[\frac{1+K^2R}{1+R} \right]^x \cdot (\Delta\theta_{or}) = k_{11}\tau_o \cdot \frac{d\theta_o}{dt} + [\theta_o - \theta_a] \quad (1)$$

Độ tăng nhiệt của điểm nóng nhất có thể tính dưới dạng tổng của hai thành phần:

$$\Delta\theta_h = \Delta\theta_{h1} - \Delta\theta_{h2} \quad (2)$$

Trong đó hai số hạng về phải là lời giải của hai phương trình sau:

$$k_{21}K^y\Delta\theta_{hr} = k_{22}\tau_w \frac{d\Delta\theta_{h1}}{dt} + \Delta\theta_{h1} \quad (3)$$

$$(k_{21}-1)K^y\Delta\theta_{hr} = \frac{\tau_o}{k_{22}} \frac{d\Delta\theta_{h2}}{dt} + \Delta\theta_{h2} \quad (4)$$

Từ đó tính được nhiệt độ của điểm nóng nhất:

$$\theta_h = \theta_o + \Delta\theta_h \quad (5)$$

Tuổi thọ thay đổi từ thời điểm t_1 đến thời điểm t_2 được xác định bởi :

$$L = \int_{t_1}^{t_2} V dt \quad (6)$$

với tốc độ già cỗi V được tính từ nhiệt độ của điểm nóng nhất:

$$V = e^{\left(\frac{15000}{110+273} - \frac{15000}{\theta_h+273} \right)} \quad (7)$$

Trong các phương trình (1) đến (5) thông

số cần biết bao gồm:

$\Delta\theta_{or}$: độ tăng nhiệt độ của dầu định mức;

$\Delta\theta_{hr}$: độ tăng nhiệt độ của điểm nóng nhất định mức;

k_{11}, k_{21}, k_{22} : các hằng số nhiệt của mô hình;

x : số mũ tương ứng độ tăng nhiệt độ dầu;

y : số mũ tương ứng với độ tăng nhiệt độ của cuộn dây;

τ_o : hằng số thời gian của dầu;

τ_w : hằng số thời gian của cuộn dây;

R : tỷ số tổn thất khi mang tải với dòng định mức và tổn hao không tải;

Dữ liệu đầu vào là nhiệt độ môi trường θ_a và hệ số mang tải K của MBA, đại lượng cần tính toán là nhiệt độ lớp dầu phía trên θ_o và nhiệt độ của điểm nóng nhất θ_h .

2.2. Xây dựng chương trình tính toán

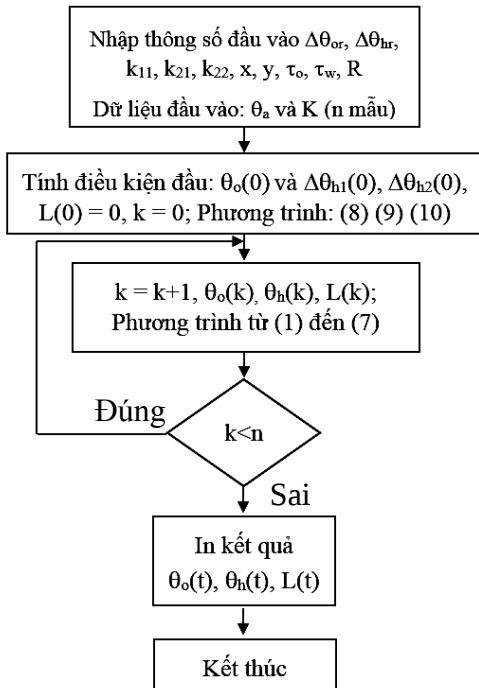
Chương trình tính toán chế độ nhiệt được thực hiện với các thông số đầu vào đã được giới thiệu trong mục 2.1. Trong thực tế, dữ liệu đo thường được lưu lại với thời gian lấy mẫu D_t cỡ vài phút. Để tính toán, các phương trình (1), (3) (4) và (6) được sai phân hóa với bước sai phân bằng D_t .

Điểm khởi tạo của lưu đồ được tính theo phương trình sau:

$$\theta_o(0) = \left[\frac{1+K^2R}{1+R} \right]^x \cdot \Delta\theta_{or} + \theta_a \quad (8)$$

$$\Delta\theta_{h1}(0) = k_{21}K^y\Delta\theta_{hr} \quad (9)$$

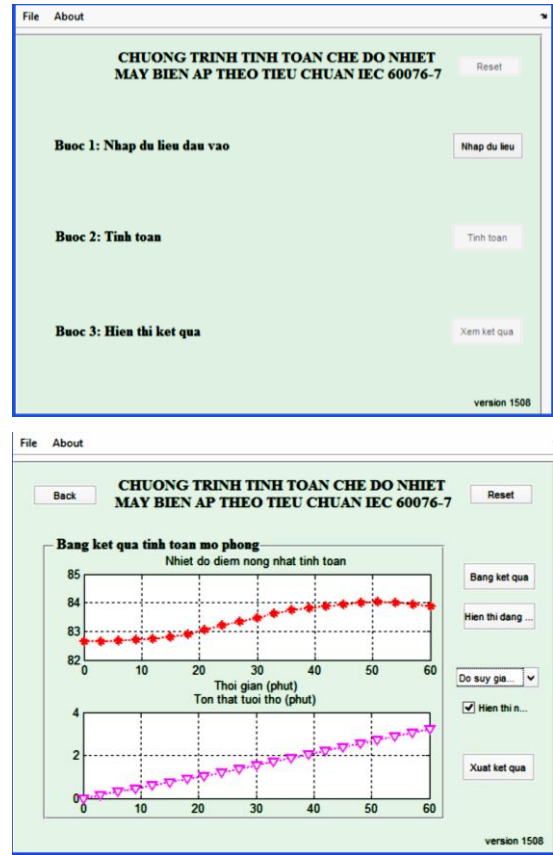
$$\Delta\theta_{h2}(0) = (k_{21}-1)K^y\Delta\theta_{hr} \quad (10)$$



Hình 1. Lưu đồ tính toán

Dựa vào các phương trình từ (1) đến (10) có thể xây dựng được chương trình tính toán theo lưu đồ trên Hình 1. Trong đó n là số mẫu dữ liệu đầu vào (nhiệt độ môi trường và hệ số mang tải). Chương trình có thể được thực hiện bằng các phần mềm lập trình phổ biến hiện nay, ví dụ trong môi trường Matlab có thể thực hiện với file .m. Ở đó phần đầu chương trình nhập các thông số đầu vào, tính toán điểm khởi tạo, sau đó vòng lặp được thực hiện để tính toán nhiệt độ của lớp dầu trên và nhiệt độ của điểm nóng nhất.

Một lựa chọn khác là xây dựng dựa trên công cụ trực quan GUI với ba bước: “Nhập dữ liệu”, “Tính toán” và “Xuất kết quả”. Trong đó, dữ liệu được nhập từ file MS Excel, tính toán dựa trên thuật toán mô tả ở trên và có thể xuất kết quả dạng bảng số hoặc dạng đồ thị như được thể hiện trên hình 2.

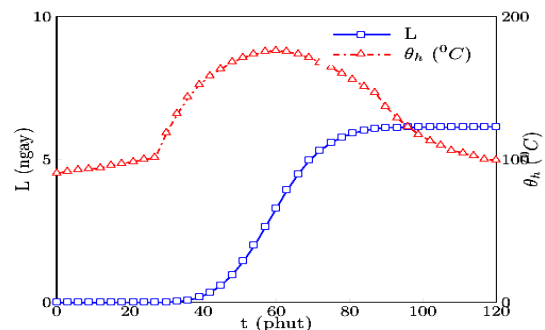


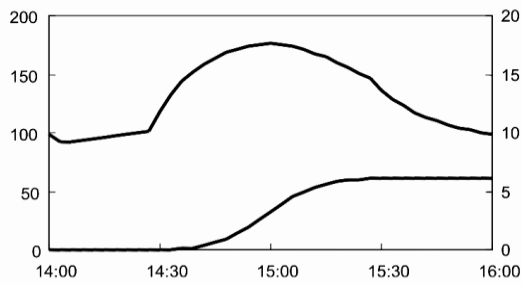
Hình 2. Màn hình khởi tạo của chương trình (hình trên); Kết quả tính toán (hình dưới)

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

3.1. Xác nhận tính hợp lệ của chương trình

Chương trình được xây dựng trong mục 2 được áp dụng tính toán cho số liệu cho trong tiêu chuẩn IEC60076-7. Kết quả chạy chương trình thu được hoàn toàn phù hợp với dữ liệu cho trong tiêu chuẩn, hình 3.





Hình 3. Nhiệt độ của điểm nóng nhất và độ suy giảm tuổi thọ: tính toán theo chương trình (hình trên); dữ liệu của tiêu chuẩn IEC 60076-7 (hình dưới)

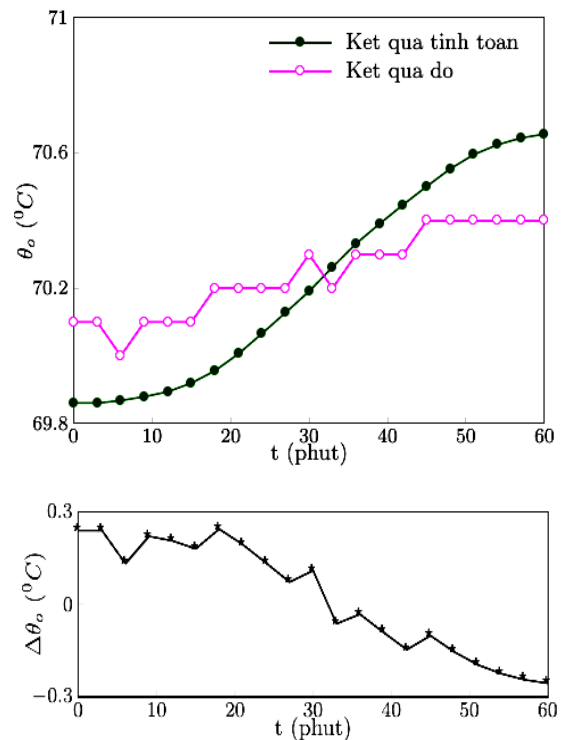
3.2. Tính toán cho máy biến áp 600 MVA, 500 kV ONAF thực tế

Máy biến áp được lựa chọn có công suất 600 MVA, 500 kV với kiểu làm mát ONAF (dầu tuần hoàn tự nhiên và gió cưỡng bức). Đây là MBA thuộc nhóm có công suất trung bình và lớn. Tra cứu trong tiêu chuẩn IEC-60076-7 [1] có bộ thông số như sau:

$\Delta\theta_{or} = 59$ K; $\Delta\theta_{hr}=26$ K; $k_{11}=0.5$; $k_{21}=2$; $k_{22}=2$; $x=0,8$; $y=1,3$; $\tau_o=150$; $\tau_w=7$; dựa vào thông số của máy, tính được $R = 7,74$.

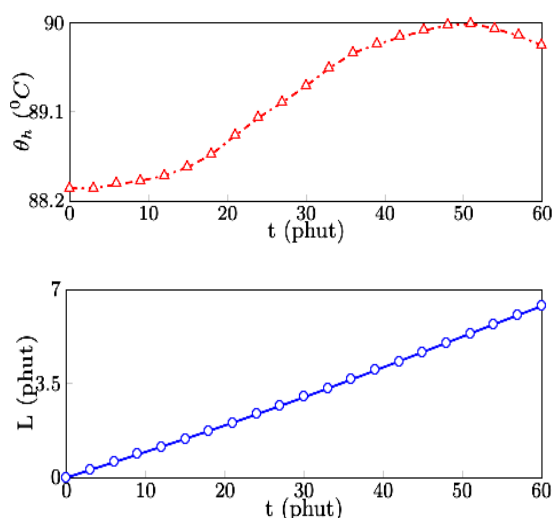
Kết quả tính toán nhiệt độ của lớp dầu trên cho MBA 600MVA, 500kV ONAF được thể hiện trên hình 4. Có thể thấy nhiệt độ tính toán và nhiệt độ đo thực tế có độ lệch rất bé, nhỏ hơn $0,3^{\circ}\text{C}$. Kết quả tính toán chính xác là nhờ việc lựa chọn bộ thông số của mô hình hợp lý theo khuyến nghị của tiêu chuẩn IEC và dữ liệu của nhà sản xuất. Hơn nữa thời gian lấy mẫu của dữ liệu đã đủ bé để đảm bảo độ chính xác trong tính toán. Đây đồng thời là nhược điểm trong ứng dụng khi các MBA hiện tại đều được vận hành với thời gian lấy mẫu phổ biến là 1 giờ. Tuy nhiên với sự phát triển nhanh chóng của

hệ thống điều khiển giám sát ở các trạm, việc lưu trữ với thời gian lấy mẫu cỡ vài phút không phải là trở ngại lớn. Với sai lệch đủ bé có thể cho phép sử dụng kết quả tính toán để giám sát nhiệt độ của lớp dầu trên. Đồng thời, chương trình đã tính toán các đại lượng khác như nhiệt độ điểm nóng nhất và độ suy giảm tuổi thọ MBA với kết quả thể hiện trên hình 5. Điểm nóng nhất trong thực tế rất khó xác định nên kết quả tính toán về đại lượng này rất có ý nghĩa trong việc giám sát chế độ nhiệt của MBA.



Hình 4. Nhiệt độ của điểm nóng nhất và độ suy giảm tuổi thọ của MBA 600MVA, 500kV ONAF

Ngoài ra sau thời gian làm việc với mức độ mang tải theo thời gian khác nhau, độ suy giảm tuổi thọ hoàn toàn có thể ước lượng sơ bộ và làm số liệu tham khảo trong quá trình sử dụng máy.



Hình 5. Nhiệt độ của điểm nóng nhất và độ suy giảm tuổi thọ của MBA 600MVA, 500kV ONAF

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một ứng dụng mô hình động dạng tích phân trong xây dựng chương trình tính toán chế độ nhiệt của MBA. Bộ thông số của mô hình được lựa chọn phù hợp trên cơ sở áp dụng khuyến nghị của IEC và tính toán theo dữ liệu của nhà sản xuất cho kết quả tính toán có sai lệch bé so với dữ liệu đo thực tế. Sau một thời gian vận hành, các thông số có thể thay đổi nên việc cập nhật thông số rất cần thiết để duy trì độ chính xác tính toán. Đây đồng thời là hướng phát triển tiếp theo của nghiên cứu này trong lĩnh vực ước lượng thông số của mô hình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] IEC, "Tiêu chuẩn IEC 60076-7," International Electrotechnical Commission, 2005.
- [2] IEEE, "Std C57.92-1981, IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Power Transformers up to and Including 100 MVA with 55°C or 65°C Average Winding Rise".
- [3] B. Lesieutre, W. Hagman và J. Kirtley, "An improved transformer top oil temperature model for use in an on-line monitoring and diagnostic system," IEEE Transactions on Power Delivery, tập 12, số 1, p. 249–256, 1997.
- [4] G. Swift, T. Molinski và W. Lehn, "A Fundamental Approach to Transformer Thermal Modelling," IEEE transactions on power delivery, tập 16, số 2, p. 171 – 177, 2001.
- [5] D. Susa, M. Lehtonen và H. Nordman, "Dynamic thermal modelling of power transformers," IEEE Transactions on Power Delivery, tập 20, số 1, p. 197–204, 2005

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Vũ Hoàng Giang tốt nghiệp đại học và nhận bằng Thạc sĩ tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội vào các năm 2002 và 2005; năm 2014 nhận bằng Tiến sĩ Kỹ thuật điện tại Trường Đại học Claude Bernard Lyon 1, Cộng hòa Pháp; nghiên cứu sinh sau Tiến sĩ tại Trường Đại học Claude Bernard Lyon 1 từ năm 2014 đến năm 2015. Hiện nay tác giả đang công tác tại Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: chẩn đoán hư hỏng trong máy điện, ước lượng thông số của máy điện, điều khiển máy điện và các bộ biến đổi điện tử công suất, ứng dụng của các bộ biến đổi trong lưới điện thông minh, microgrid, máy cắt điện một chiều và hệ thống bảo vệ trong lưới điện microgrid.



Tác giả Nguyễn Đăng Toàn tốt nghiệp Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2001, nhận bằng Thạc sỹ năm 2003 tại AIT - Thái Lan, Tiến sĩ năm 2008 tại Grenoble - INP - Pháp chuyên ngành hệ thống điện. Tác giả hiện đang công tác tại Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: ổn định hệ thống điện, HVDC/FACTS, năng lượng mới.



Tác giả Lê Nguyễn Thành Trung tốt nghiệp Trường Đại học Điện lực vào năm 2016. Hiện tác giả đang là học viên cao học ngành kỹ thuật điện, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: điều khiển máy điện và các bộ biến đổi điện tử công suất.