Nhận dạng thông số điện máy biến áp lực áp dụng chẩn đoán sự cố

Nguyễn Khắc Hiệu, Ngô Văn Hiền, Phạm Thị Minh Thái, Phạm Đình Anh Khôi*

***Tóm tắt*—Công tác thí nghiệm chẩn đoán máy biến áp lực đóng vai trò rất quan trọng trong việc phát hiện sớm các sự cố tiềm ẩn, tránh nguy cơ sự cố phát triển lan rộng dẫn đến hư hỏng thiết bị đắt tiền nhất trong hệ thống điện và ảnh hưởng độ tin cậy vận hành. Hiện nay, để nâng cao chất lượng chẩn đoán tình trạng máy biến áp lực, ngoài các kỹ thuật thông thường theo quy định của ngành điện, các kỹ thuật chẩn đoán nâng cao như phân tích đáp ứng tần số, phân tích đáp ứng điện môi... đã bắt đầu được áp dụng tại các công ty thí nghiệm điện nhưng hiệu quả ứng dụng vẫn chưa cao.**

Để mở rộng khả năng ứng dụng các kỹ thuật chẩn đoán nâng cao, bài báo đề xuất một phương pháp mới xác định các thông số điện cảm và điện dung trong mô hình mạch điện thông số tập trung của các máy biến áp lực ba pha ba trụ tiêu biểu đang vận hành trên lưới điện 110 kV dựa trên kỹ thuật phân tích đáp ứng tần số. Kết quả áp dụng trong nhận dạng sự cố chập vòng dây cho các máy biến áp khảo sát cho thấy phương pháp đề xuất này có thể áp dụng mở rộng trong việc phát hiện các sự cố điện cơ khác dựa trên sự thay đổi các thông số điện trong mô hình mạch tương đương.

***Từ khóa*—máy biến áp lực, phân tích đáp ứng tần số, thí nghiệm chẩn đoán, thông số điện.**

1 TỔNG QUAN

Máy biến áp lực (MBA) là một trong những thiết bị quan trọng nhất và đắt tiền nhất trong hệ thống truyền tải và phân phối điện. Xét về số lượng, lưới điện miền Nam trải rộng khắp 22 tỉnh thành phía Nam từ Ninh Thuận đến Cà Mau có 19 MBA với cấp điện áp cao nhất 500 kV, 115 MBA 220 kV, 576 MBA 110 kV, do nhiều nhà sản xuất cung cấp như: ABB, Đông Anh, Toshiba, Cơ điện Thủ Đức... [1]. Hiện nay, yêu cầu về chất lượng điện năng cũng như độ tin cậy cung cấp điện, thông qua các chỉ số SAIDI (*System Average Interruption Duration Index) và* SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)... ngày càng cao nên việc đánh giá tình trạng vận hành của các MBA đóng vai trò quyết định trong công tác vận hành chủ động của các công ty điện lực.

Để đánh giá tình trạng MBA phục vụ công tác vận hành chủ động, công tác thử nghiệm chẩn đoán phát hiện sớm các sự cố tiềm ẩn là hết sức quan trọng, tránh sự cố tiếp tục phát triển lan rộng. Bên cạnh các phương pháp thử nghiệm truyền thống cho các phần tử bên trong MBA như cuộn dây (điện trở, tỉ số biến áp, tổng trở ngắn mạch, điện trở cách điện, điện dung và tổn hao điện môi, điện áp cảm ứng), đầu sứ (điện dung và tổn hao điện môi, phóng điện cục bộ), dầu cách điện (hàm lượng nước, phân tích khí hòa tan, cường độ cách điện, ứng suất bề mặt, ổn định oxy hóa, tổn thất...), lõi thép (điện trở cách điện, thử điện thế đất), bộ điều áp dưới tải (đo hồng ngoại, tình trạng tiếp điểm, dòng điện thao tác...) [2], nhiều phương pháp nâng cao mới cũng đã được đưa vào quy trình thử nghiệm MBA như phân tích đáp ứng tần số, phân tích đáp ứng điện môi, phân tích phóng điện cục bộ phi truyền thống... [3] nhằm đánh giá toàn diện tình trạng MBA, đưa ra kết luận về khả năng tiếp tục vận hành hay phải bảo trì bảo dưỡng, thậm chí sửa chữa khắc phục sự cố.

Hiện nay, kỹ thuật phân tích đáp ứng tần số (PTĐUTS), Frequency Response Analysis, đã được áp dụng trong quy trình thí nghiệm MBA tại các công ty thí nghiệm điện thuộc các Tổng công ty truyền tải và phân phối điện, nhưng chủ yếu vẫn mang tính chất cảnh báo về các sự cố điện và cơ dựa trên sự sai khác của các đặc tuyến đáp ứng tần số của cuộn dây giữa các lần đo ở các thời điểm

Ngày nhận bản thảo: 07-10-2018, ngày chấp nhận đăng: 20 -11-2018, ngày đăng: 30-11-2018.

Nghiên cứu này được tài trợ bởi trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM trong khuôn khổ đề tài mã số T-ĐĐT-2018-16.

Nguyễn Khắc Hiệu công tác tại công ty Thí nghiệm điện miền Nam, Tổng công ty Điện lực miền Nam (e-mail: khachieu1001@gmail.com).

Ngô Văn Hiền công tác tại công ty Cổ phần nghiên cứu và thí nghiệm điện (e-mail: ngohien0308@gmail.com).

Phạm Thị Minh Thái, Phạm Đình Anh Khôi công tác tại Bộ môn Hệ thống điện, Khoa Điện – Điện tử, Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM (e-mail: ptmthai@hcmut.edu.vn, khoipham@hcmut.edu.vn).

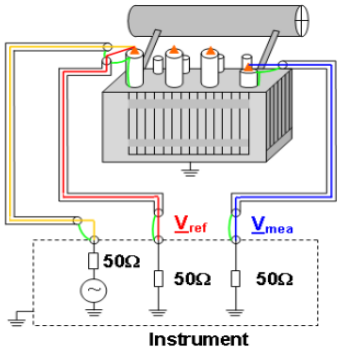
khác nhau, giữa các pha của cùng một MBA hay của các MBA giống nhau [4–6]. Điều này hạn chế khả năng ứng dụng của kỹ thuật phân tích đáp ứng tần số, ảnh hưởng đến chất lượng công tác thử nghiệm chẩn đoán nói chung.

Để có thể góp phần nâng cao chất lượng chẩn đoán sự cố MBA, bài báo giới thiệu một phương pháp ứng dụng mới xác định các thông số điện trong mô hình điện tương đương của các MBA lực tiêu biểu thuộc lưới điện 110 kV. Ý tưởng của nghiên cứu này xuất phát trên quan điểm "mô hình điện tương đương của MBA là một mạng lưới các phần tử RLC kết hợp với nhau, những hư hỏng về mặt vật lý của MBA đều dẫn đến những thay đổi về giá trị các thông số điện trong mạng lưới RLC này" [7–9].

2 KỸ THUẬT PHÂN TÍCH ĐÁP ỨNG TẦN SỐ

Nguyên lý của kỹ thuật phân tích đáp ứng tần số (PTĐƯTS) hiện nay là đánh giá sai số biên độ giữa các đặc tuyến đáp ứng tần số đo lường dưới dạng tỷ số tín hiệu điện áp trên các đầu cực cuộn dây MBA (V_{mea} và V_{ref} trong hình 1, điện áp nguồn cấp dạng hình sin, độ lớn 1-10 V_{rms}, tần số biến thiên thông thường từ 20 Hz đến 2 MHz, tùy theo cấu trúc cuộn dây MBA và hệ thống đo). Biên độ và góc pha của đáp ứng tần số được xác định theo [4, 5]:

- Biên độ = $20\log10(|V_{mea}|/|V_{ref}|)$ (dB)
- Góc pha = pha$\{V_{mea}\}$ – pha$\{V_{ref}\}$ (độ)

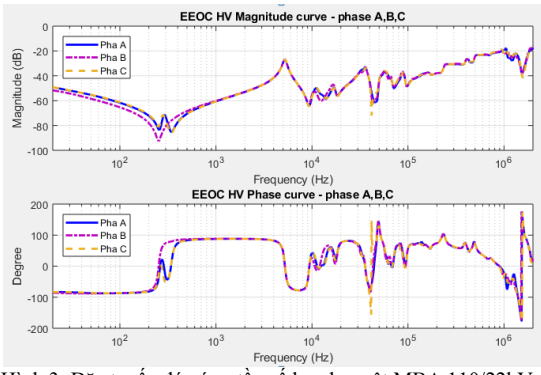


Hình 1. Sơ đồ thử nghiệm đáp ứng tần số MBA [10]

Thiết bị đo được sử dụng trong nghiên cứu là thiết bị FRAX 101 Sweep Frequency Response Analyzer do hãng Megger sản xuất (hình 2) có thể phát điện áp thử nghiệm tối đa 12 V_{p-p} trong khoảng tần số từ 0,1 Hz đến 25 MHz, cấp chính xác ±0,1 dB (trong dải từ +10 dB xuống đến −50 dB) và ±0,5 dB (trong dải dưới −100 dB).

Hình 2. Thiết bị FRAX 101 [11]

Hình 3 giới thiệu minh họa biên độ và góc pha đặc tuyến đáp ứng tần số hở mạch (End-to-End Open-Circuit - EEOC) các cuộn dây của một MBA biến áp ba pha 40 MVA 110/22 kV tổ đấu dây YNyn0.



Hình 3. Đặc tuyến đáp ứng tần số ba pha một MBA 110/22kV, 40MVA, YNyn0

Với kết quả đo đặc tuyến các đáp ứng tần số (ĐƯTS) như trên hình 3 thì có thể đưa ra kết luận gì về tình trạng của MBA khảo sát? Đặc biệt khi MBA này không có các dữ liệu đo ĐƯTS trước đây để so sánh nhằm xác định sai số?

Trong trường hợp có các kết quả đo ĐƯTS trước đây của MBA này (ở tình trạng xuất xưởng hay tình trạng đang vận hành tốt), các đặc tuyến ĐƯTS của từng cuộn dây sẽ được so sánh với nhau để đánh giá chẩn đoán định tính (theo kinh nghiệm chuyên gia, kết hợp với hướng dẫn, tiêu chuẩn quốc tế CIGRE và IEEE [5, 12]) hay đánh giá định lượng (qua các hệ số tương quan trong 3 phân vùng tần số theo tiêu chuẩn Trung Quốc DL/T-911 [6]). Ngoài ra, còn có thể so sánh các đặc tuyến ĐƯTS cuộn dây hai pha ngoài cùng (A và C) hay so với một MBA có cùng thông số định mức, nếu dữ liệu trước đây không có sẵn.

Trong thực tế, việc đánh giá định tính phụ thuộc lớn vào kinh nghiệm chuyên gia nên có thể rất tản mạn và không có tính thuyết phục trong quy trình

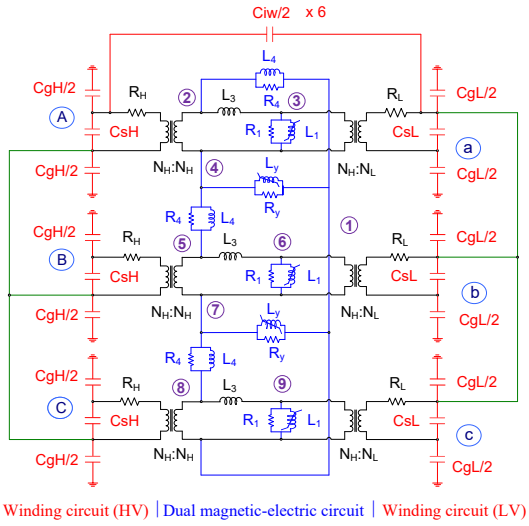
chẩn đoán. Đánh giá định lượng theo các hệ số tương quan theo tiêu chuẩn Trung Quốc cũng chỉ có ý nghĩa tham khảo vì có nhiều yếu tố chưa được khảo sát trong tiêu chuẩn này như loại MBA, nhiều kiểu dây quấn, tổ đấu dây... hiện nay cách thức này cũng chưa được cộng đồng quốc tế phê chuẩn là công cụ chính thức ứng dụng chẩn đoán... Để góp phần nâng cao độ tin cậy trong đánh giá định lượng các kết quả đo ĐƯTS, bài báo này giới thiệu một phương pháp mới xác định các thông số điện trong một mô hình điện tương đương của MBA, góp phần nâng cao chất lượng chẩn đoán sự cố điện và cơ vốn đang dựa vào các kỹ thuật thử nghiệm truyền thống.

3 MÔ HÌNH ĐIỆN TƯƠNG ĐƯƠNG CỦA MÁY BIẾN ÁP LỰC

Các mô hình điện tương đương của MBA có thể được nghiên cứu cung cấp các thông tin định lượng phục vụ đánh giá tình trạng MBA nếu phản ánh được các hiện tượng điện từ trong MBA một cách vật lý. Trong số các nghiên cứu về mô hình điện MBA, chỉ có các mô hình thông số tập trung [8, 13, 14] và mô hình thông số phân bố [9, 15-17] đáp ứng được tiêu chí đề ra; các mô hình phi vật lý xem xét MBA là một hộp đen chứa ma trận các tổng dẫn đầu cực khảo sát trong [18, 19] không thể hiện được sự thay đổi vật lý các thông số điện gây ra do sự cố. Bài báo này chỉ tập trung khảo sát mô hình điện thông số tập trung trong [8] do giới hạn các phép đo ĐƯTS có sẵn tại các công ty điện lực cho phân tích.

3.1 Mô hình điện thông số tập trung

Theo nguyên lý vận hành, công suất điện truyền giữa các cuộn dây MBA dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ; vì vậy, mô hình MBA phải biểu diễn vật lý hiện tượng này thông qua nguyên lý biến đổi đối ngẫu mạch từ - mạch điện ở vùng tần số thấp. Hình 4 giới thiệu mô hình thông số tập trung cho một MBA ba pha hai cuộn dây có tổ đấu dây Ynyn6; trong đó, toàn bộ cuộn dây có thể được khảo sát tập trung, biểu diễn bởi một bộ phần tử tập trung (điện cảm, các điện dung và thành phần tổn hao tương ứng) [9]. Lưu ý là mô hình tương đương này có thể được ứng dụng khảo sát đối với bất cứ tổ đấu dây nào của các MBA ba pha hai cuộn dây (bằng cách thay đổi đấu nối tương ứng giữa các đầu cực trong các mạch cuộn dây (winding circuit) phía cao áp (high voltage - HV) và hạ áp (low-voltage - LV), trong khi mạch tương hỗ từ - điện (dual magnetic-electric circuit) không thay đổi) nên tính ứng dụng tổng quát luôn được đảm bảo.



Hình 4. Mô hình tương đương thông số tập trung một MBA ba pha Ynyn6 [9]

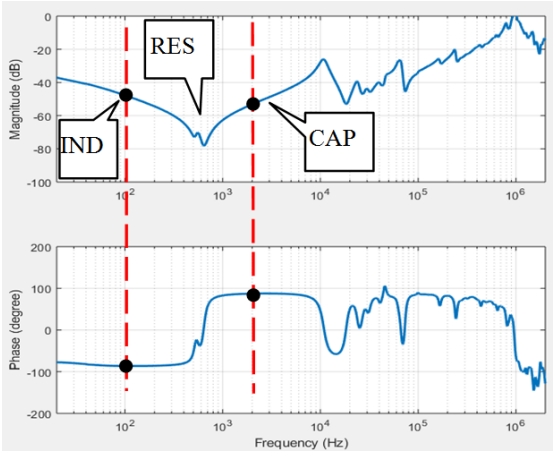
Trong hình 4:

- R_1 và L_1: tương ứng là điện trở và điện cảm phi tuyến (theo tần số) tương đương của trụ lõi thép một pha (Ω);
- R_y và L_y: tương ứng là điện trở và điện cảm phi tuyến tương đương của gông lõi thép giữa hai pha (Ω);
- L_3: điện cảm rò (pha) tương đương (mH);
- R_4 và L_4: tương ứng là điện trở và điện cảm (pha) thứ tự không (Ω);
- R_H, R_L - điện trở tương ứng của cuộn dây cao áp và hạ áp (Ω);
- C_{sH}, C_{sL} - điện dung dọc tương ứng của cuộn dây (pha) cao áp và hạ áp (nF);
- C_{gH}, C_{gL} - điện dung tương ứng của cuộn dây (pha) cao áp và hạ áp so với đất (nF);
- C_{iw} - điện dung giữa hai cuộn dây (pha) cao áp và hạ áp (nF);

Mô hình thông số tập trung có ưu điểm là đơn giản, có thể được ứng dụng để xác định giá trị các thông số chính (điện cảm, điện dung) từ các dữ liệu đáp ứng tần số được đo lường bởi công ty điện lực. Tuy nhiên, mô hình này chỉ có thể ứng dụng trong vùng tần số thấp (từ 20 Hz đến khoảng vài kHz, tùy theo loại MBA và cấu trúc cuộn dây), vì ở tần số cao hơn, cuộn dây cần phải được chia thành nhiều phân đoạn để khảo sát sự tương tác của các thành phần điện cảm/hỗ cảm và điện dung dọc/đất giữa các phân đoạn [9].

3.2 *Xác định thông số trong mô hình điện thông số tập trung*

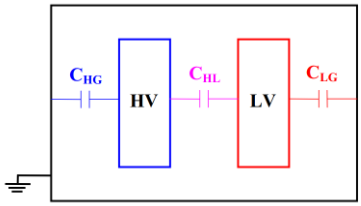
Hình 5 giới thiệu một kết quả đo ĐƯTS dạng hở mạch tiêu biểu cho một cuộn dây trong một MBA ba pha với ba phân vùng ảnh hưởng chính ở tần số thấp: 1) vùng ảnh hưởng chủ yếu bởi các thông số điện cảm tương đương của lõi thép (L_1, L_y) với điểm đặc trưng "IND" tương ứng với góc pha (tỉ số điện áp) gần –90° (điện cảm rò L_3 chỉ ảnh hưởng ở vùng tần số trung bình và cao [8-9]); 2) vùng ảnh hưởng chính bởi các thông số điện dung (C_s, C_g, C_{iw}) với điểm đặc trưng "CAP" tương ứng với góc pha (tỉ số điện áp) gần +90°; 3) vùng tương tác giữa các điện cảm và điện dung trên, với các điểm cộng hưởng đặc trưng "RES" (góc pha gần 0°). Ảnh hưởng của các thông số tổn hao (điện trở, điện dẫn) không đáng kể tại các điểm "IND" và "CAP" (do góc pha đạt cực trị), và dễ dàng xác định tại các điểm "RES" (theo giải pháp mô phỏng) nên nghiên cứu này chỉ tập trung khảo sát các thông số chính bao gồm điện cảm và điện dung.



Hình 5. Ba phân vùng ảnh hưởng các thông số chính trên đặc tuyến ĐƯTS hở mạch

3.2.1 *Thông số điện dung*

Các giá trị điện dung C_{gH}, C_{gL}, C_{iw} (hình 4) được xác định dựa vào phép thử nghiệm truyền thống "đo điện dung và tổn hao điện môi" cho các cuộn dây trong MBA. Trong phép đo này, các cuộn dây pha cần đấu nối với nhau để xác định giá trị tổng cộng ba pha (tương ứng là C_{HG}, C_{LG}, C_{HL} trong hình 6) theo các cấu hình giới thiệu trong bảng 1 [20]; theo đó, chỉ cần ít nhất 3 phép đo phân biệt nhau là có thể xác định các điện dung tổng cộng C_{HG}, C_{LG}, C_{HL}; từ đó tính được các điện dung pha C_{gH}, C_{gL}, C_{iw}.



Hình 6. Sơ đồ điện dung MBA [20]

Bảng 1. Các phép đo điện dung MBA hai cuộn dây

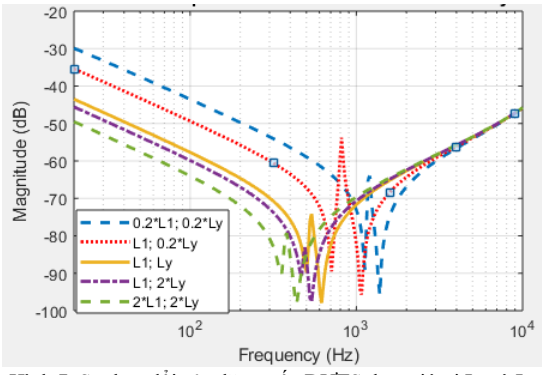
TT	Chế độ	Nguồn cấp	Nối đất	Bảo vệ	UST	Giá trị
1	UST	HV	–	–	LV	C_{HL}
2	UST	LV	–	–	HV	C_{HL}
3	GST	HV	LV	–	–	C_{HL}+ C_{HG}
4	GST	LV	HV	–	–	C_{HL}+ C_{LG}
5	GSTg	HV	–	LV	–	C_{HG}
6	GSTg	LV	–	HV	–	C_{LG}

Chú giải các từ viết tắt trong bảng 1: UST (Ungrounded Specimen Test): chế độ đo vật thử nghiệm không nối đất; GST (Grounded Specimen Test): chế độ đo vật thử nghiệm nối đất; GSTg (Grounded Specimen Test with guard): chế độ đo vật thử nghiệm nối đất có mạch bảo vệ; HV (high voltage terminal): cực cao áp; LV (low voltage terminal): cực hạ áp.

Trong mô hình mạch thông số tập trung ở hình 4 vẫn còn thông số điện dung dọc của các cuộn dây (C_{sH}, C_{sL}) chưa được xác định. Do điện dung này không đo được nên sẽ được xác định gián tiếp thông qua mô phỏng sử dụng công cụ Simulink/Matlab. Theo đó, nếu ĐƯTS mô phỏng (khi chưa xét có điện dung dọc trong mô hình) có sự sai khác so với ĐƯTS đo lường ở điểm "CAP", tức ảnh hưởng của điện dung dọc là đáng kể so với các điện dung đo được, một giá trị hợp lý của bộ {C_{sH}, C_{sL}} sẽ được thêm vào để cân bằng sự sai khác này [8].

3.2.2 *Thông số điện cảm*

Để xác định giá trị các điện cảm L_1 và L_y, [21] đã đề xuất một phương pháp tính trực tiếp dựa trên bộ cơ sở dữ liệu các phép đo thích hợp (ĐƯTS dạng tổng trở đầu cực với các cấu hình đo thích hợp). Tuy nhiên, trong thực tế vận hành, các công ty điện lực cũng chỉ có kết quả các phép đo ĐƯTS dạng tỉ số các điện áp (V_{mea} và V_{ref} trong hình 1). Vì vậy, các tác giả bài báo này đề xuất một phương pháp tính toán gián tiếp, dựa trên nguyên lý khảo sát sự thay đổi của đặc tuyến ĐƯTS (hở mạch) theo giá trị L_1 và L_y ở tần số thấp (20 Hz đến 5 kHz), minh họa ở hình 7.

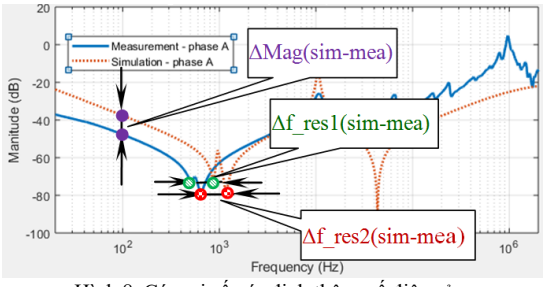


Hình 7. Sự thay đổi của đặc tuyến ĐUTS theo giá trị L_1 và L_y ở tần số thấp

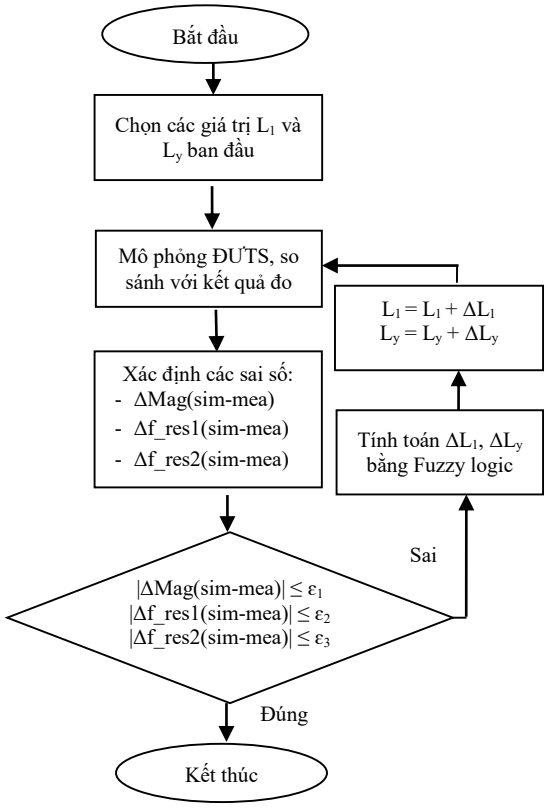
Quy luật ảnh hưởng của điện cảm L_1 và L_y đến biên độ đặc tuyến ĐUTS vùng tần số thấp từ 20 Hz đến 5 kHz (xem hình 7) như sau:

– Khi điện cảm L_1, L_y tăng, đặc tuyến có xu hướng giảm, dịch chuyển đi xuống (trục biên độ); đồng thời, các điểm cộng hưởng dịch sang trái (trục tần số).
– Khi điện cảm L_1, L_y giảm, đặc tuyến có xu hướng tăng (trục biên độ); đồng thời, điểm cộng hưởng bị dịch chuyển sang phải (trục tần số).
– Tỉ lệ L_y/L_1 càng lớn, khoảng cách giữa hai điểm cộng hưởng càng lớn và ngược lại.

Dựa vào quy luật này, các giá trị L_1 và L_y (áp dụng cho từng pha) sẽ được xác định định lượng theo các sai số biên độ ĐUTS (ΔMag) và độ lệch tần số ở điểm cộng hưởng (Δf_res) giữa mô phỏng và đo lường (sim-mea) ở ba vị trí, minh họa ở hình 8: điểm "IND", ΔMag(sim-mea), và 2 điểm cộng hưởng "RES", Δf_res1(sim-mea) và Δf_res2(sim-mea), theo lưu đồ giải thuật được giới thiệu ở hình 9.

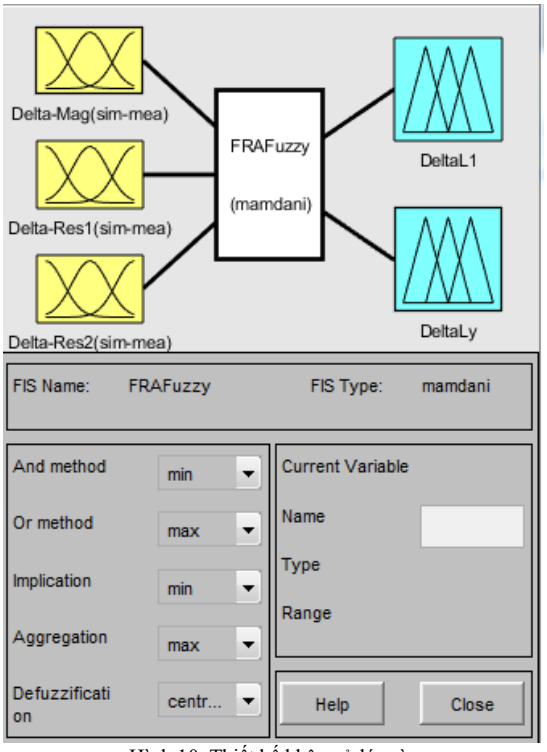


Hình 8. Các sai số xác định thông số điện cảm



Hình 9. Lưu đồ xác định điện cảm L_1 và L_y

Trong hình 9, bước đầu tiên "chọn giá trị L_1, L_y tùy ý ban đầu" phải nằm trong phạm vi phù hợp với công suất và cấp điện áp của MBA (trong dải 1-10 H) để thời gian chạy mô phỏng cũng như sự hội tụ của kết quả nhanh hơn; các thông số ε_1, ε_2, ε_3 là giới hạn sai số theo độ chính xác mong muốn. Dựa theo quy luật tác động của các điện cảm đến biên độ ĐUTS mô phỏng trong vùng tần số thấp, khâu xử lý Fuzzy logic trong hình 9 được thiết kế theo hệ thống "Mandani" 3 ngõ vào (các sai số ở hình 8) và 2 ngõ ra (ΔL_1 và ΔL_y) với các phép tính như sau: "And method" MIN, "Or method" MAX, "Implication" MIN, "Aggregation" MAX, "Defuzzification" CENTROID, minh họa trong hình 10. Hệ thống "Mandani" được chọn vì là một hệ thống logic mờ đơn giản, thích hợp cho các biến ngõ vào độc lập. Trong hệ thống này, phép "And method" sử dụng hàm MIN có tác dụng đáng kể khi có ít nhất một sai số trong hình 8 lớn, và phép "Or method" sử dụng hàm MAX để kết quả có thể hội tụ khi ít nhất có một sai số nói trên thỏa giới hạn cho trước; phép "Implication" và "Aggregation" trong thực tế không có ảnh hưởng đáng kể đến quá trình tính; phép "Defuzzification" CENTROID cho thấy phù hợp với loại bài toán khảo sát.



Hình 10. Thiết kế khâu xử lý mờ

4 ĐỐI TƯỢNG KHẢO SÁT VÀ KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM TRUYỀN THỐNG

4.1 Đối tượng khảo sát

Do các MBA 110 kV chiếm tỷ lệ lớn trong lưới điện truyền tải và phân phối của miền Nam, hai MBA 63 MVA, 115/23 kV với thông tin chi tiết cho ở bảng 2 được chọn thí điểm để khảo sát ứng dụng phương pháp đề xuất.

Bảng 2. Thông số các máy biến áp thử nghiệm

Số pha	3	Công suất	63 MVA
Cách điện	Dầu	Điện áp	115/23 kV
Năm sản xuất	2008	Tổ đấu dây	YNyn0

Hai MBA này có thông số và cấu trúc tương tự nhau; trong đó, MBA T1 ở tình trạng vận hành bình thường còn MBA T2 đã bị sự cố và cô lập vận hành. Do MBA T2 không có dữ liệu đo ĐƯTS trước đây, các dữ liệu đo ĐƯTS của MBA T1 có thể xem như là dữ liệu ở tình trạng vận hành bình thường của MBA T2 để phân tích.

4.2 Các kết quả thử nghiệm truyền thống đối với các MBA khảo sát

Trong số các hạng mục thí nghiệm chẩn đoán truyền thống đã thực hiện đối với MBA T2, chỉ có các phép đo tỉ số biến và thí nghiệm không tải điện áp thấp, trình bày tương ứng theo bảng 3 và 4, là bất thường và cho thấy, MBA này nhiều khả năng bị ngắn mạch chập vòng cuộn dây pha C. Cụ thể, ở bảng 3, tỉ số biến pha C lệch ít nhất 12,39% (nấc điều áp 19), trong khi độ lệch cho phép là 2% [22]; bảng 4 cho thấy tổn hao không tải pha C là 116.023 W (~17.832 %), lớn hơn rất nhiều so với giá trị cho phép đối với loại MBA này là 5% [22]. Các giá trị sai số tỉ số biến và tổn hao không tải lớn nhất đối với MBA T1 tương ứng là 0,11% và 0,31%.

Bảng 3. Kết quả đo tỉ số biến MBA T2

Nấc	K_A	K_B	K_C	$\%\Delta_C$
1	5,8014	5,7997	**6,6248**	**14,22**
10	5,0043	5,0028	**5,6537**	**13,07**
19	4,2076	4,2063	**4,7203**	**12,39**

Bảng 4. Kết quả thí nghiệm không tải MBA T2

Pha đo	U_0	I_0	P_0
A	10 kV	86,8 mA	647 W
B	10 kV	86,6 mA	642 W
C	**50 V**	**33,8 A**	**116.023 W**

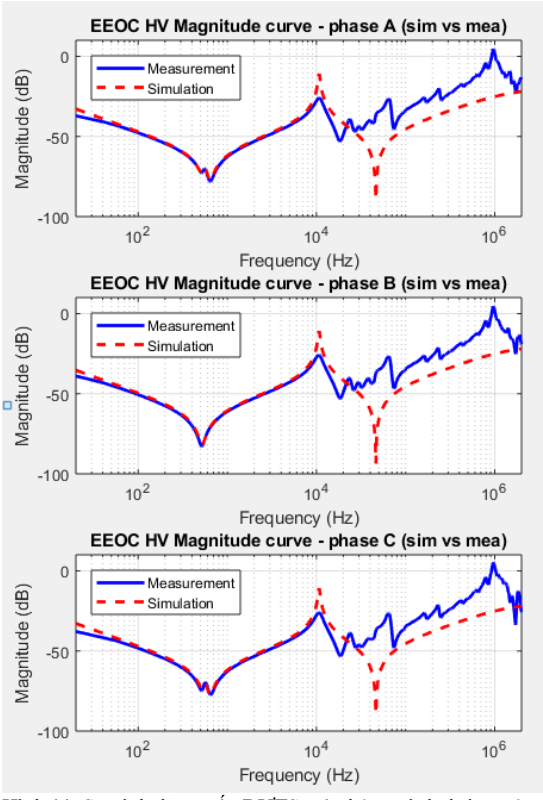
5 KẾT QUẢ

Bảng 5 giới thiệu giá trị các thông số điện dung (nhận được từ phân tích các phép đo điện dung và tổn hao điện môi) và điện cảm (từ phương pháp đề xuất, với các giới hạn sai số $\varepsilon_1 = 0,5$ dB, $\varepsilon_2 = 10$ Hz, $\varepsilon_3 = 10$ Hz) cho MBA T1.

Bảng 5. Thông số điện mô hình tập trung MBA T1

Điện dung (nF)		Điện cảm (H)	
C_{iw}	1,862	$L_{1\,(A,\,B,\,C)}$	22,00
C_{gH}	6,561	L_y	23,19
C_{gL}	3,775		

Hình 11 giới thiệu kết quả so sánh các đặc tuyến ĐƯTS mô phỏng (dựa trên mô hình điện thông số tập trung ở hình 4) và đo lường trong vùng tần số thấp, qua đó cho phép khẳng định các thông số điện chính (điện dung và điện cảm trong bảng 5) và các thông số phụ (điện trở, điện dẫn) đã được xác định một cách phù hợp. Các độ lệch nhỏ về biên độ ĐƯTS giữa mô phỏng và đo lường trong vùng tần số từ 20 Hz đến 100 Hz hoàn toàn có thể khắc phục đơn giản bằng cách sử dụng đặc tuyến phi tuyến điện trở theo tần số $R_1(f)$ và $R_y(f)$ thay vì một giá trị hằng số đã sử dụng để đơn giản hóa bài toán mô phỏng.



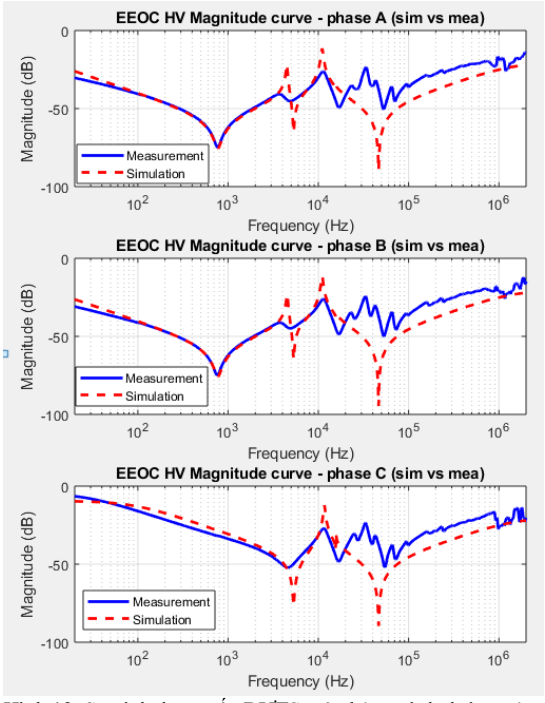
Hình 11. So sánh đặc tuyến ĐƯTS mô phỏng và đo lường của các cuộn dây MBA T1

Đối với MBA T2, bảng 6 giới thiệu các thông số điện trong mô hình thông số tập trung, tương tự như khi phân tích cho MBA T1. Có thể nhận thấy giá trị bất thường của điện cảm tương đương trụ lõi thép pha C (0 H), và điện cảm tương đương các gông lõi thép (6,20 H) so với các thông số tương ứng (22,00 H và 23,19 H) của MBA T1. Các thông số điện dung (bao gồm C_{sH} và C_{sL}) đều không thay đổi đáng kể so với MBA T1.

Bảng 6. Thông số điện mô hình tập trung MBA T2

Điện dung (nF)		Điện cảm (H)	
C_{iw}	1,862	$L_{1\ (A,\ B)}$	22,00
C_{gH}	6,561	**$L_{1\ (C)}$**	**0**
C_{gL}	3,775	**L_y**	**6,20**

Hình 12 so sánh kết quả mô phỏng và đo lường ĐƯTS hở mạch của các cuộn dây pha MBA T2. Nếu phân tích định lượng các ĐƯTS đo lường tương ứng giữa hai MBA T1 và T2, hoặc giữa hai pha ngoài cùng (A và C) của MBA T2 dựa trên các hệ số tương quan theo tiêu chuẩn DL/T-911 của Trung Quốc [6], chỉ nhận được kết luận rằng "cuộn dây bị biến dạng trầm trọng". Mặt khác, khi phân tích dựa trên phương pháp đề xuất, sự phù hợp của kết quả so sánh ở hình 12 cho thấy, các thông số điện ở bảng 6 được xác định một cách phù hợp, và có thể được sử dụng như là các thông số định lượng áp dụng chẩn đoán sự cố.



Hình 12. So sánh đặc tuyến ĐƯTS mô phỏng và đo lường của các cuộn dây MBA T2

Các giá trị điện dung ở bảng 5 và 6 đều không có sự thay đổi, chứng tỏ MBA T2 chưa có sự cố cơ (biến dạng ngang và dọc trục) vì không có sự thay đổi đáng kể cấu trúc hình học các cuộn dây. Điện cảm tương đương trụ lõi thép pha C giảm về giá trị không, biểu thị có sự thay đổi lớn về từ thông trong lõi thép pha này. Về nguyên lý, trong mạch phần cuộn dây bị chập vòng có điện áp cảm ứng sẽ xuất hiện dòng điện ngắn mạch, từ đó lại sinh ra thêm thành phần từ thông ngược chiều, khử từ thông chính ban đầu. Như vậy, có cơ sở để khẳng định nhận định chập vòng cuộn dây pha C trong MBA T2 dựa trên kết quả các thử nghiệm truyền thống trước đây.

6 KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất một phương pháp mới tin cậy và khả thi trong việc xác định các thông số điện cảm và điện dung trong mô hình thông số tập trung của các MBA khảo sát dựa trên các phép thử nghiệm truyền thống và kỹ thuật phân tích đáp ứng

tần số, qua đó cung cấp thêm thông tin định lượng góp phần nâng cao chất lượng chẩn đoán các sự cố chập vòng dây trong một MBA ba pha ba trụ tiêu biểu trên lưới điện 110 kV miền Nam.

Hiện tại, các phép thử nghiệm chẩn đoán (truyền thống và nâng cao) vẫn chưa được thực hiện đầy đủ đối với các MBA trên lưới điện truyền tải và phân phối miền Nam bởi các trang thiết bị thử nghiệm công suất lớn vẫn chưa được trang bị hoàn chỉnh. Vì vậy, phương pháp đề xuất có thể được ứng dụng để mở rộng cơ sở dữ liệu thử nghiệm hiện tại cho các MBA, nhằm gia tăng chất lượng chẩn đoán trong điều kiện hiện nay.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Trung tâm Điều độ Hệ thống Điện miền Nam "Sơ đồ Hệ thống điện miền Nam," 2018.
[2] IEEE 62-1995, "Guide for Diagnostic Field Testing Transformer, Regulators, and Reactors," 1995
[3] Phạm Đình Anh Khôi, "*Các kỹ thuật nâng cao chẩn đoán sự cố máy biến áp lực*," Nhà xuất bản ĐHQG-HCM, 2017.
[4] IEC 60076-18, "Power Transformer – Part 18: Measurement of Frequency Response," 2012.
[5] IEEE C57.149, "IEEE Guide for the Application and Interpretation of Frequency Response Analysis for Oil Immersed Transformers," 2012.
[6] DL/T 911, Chinese Standard, "Frequency Response Analysis on Winding Deformation of Power Transformer," 2005.
[7] Sagar B. Kudkelwar et. al., "Transformer fault diagnosis by sweep frequency response analysis," Int. Journal of Electrical, Electronics and Data Communication, 2015.
[8] Dinh Anh Khoi Pham et. al., "A New Method for purposes of Failure Diagnostic anf FRA Interpretation applicable to Power Transformer," *IEEE Trans. on Dielectr. and Electr. Ins.*, vol. 20, no. 6, pp 2026-2034, 2013.
[9] Dinh Anh Khoi Pham and Ernst Gockenbach, "Analysis of Physical Transformer Circuit for Frequency Response Interpretation and Mechanical Failure Diagnosis", IEEE *IEEE Trans. on Dielectr. and Electr. Ins.*, vol. 23, no. 3, pp 1491-1499, 2016.
[10] D. A. K. Pham et. al., "FRA-based Transformer Parameters at Low Frequencies," IEEE Int. Conf. on High Voltage Eng. and Appl., China, 2016.
[11] Megger Ltd., "FRAX User's Manual," England, 2010.
[12] CIGRE Report 342 Working Group A2.26, "Mechanical condition assessment of transformer windings using FRA," 2008.
[13] B. A. Mork, Francisco Gonzalez, Dmitry Ishchenko, Don L. Stuehm, and Joydeep Mitra, "Hybrid transformer model for transient simulation–Part I: Development and parameters," *IEEE Trans. on Pow. Del.*, vol. 22, no. 1, pp. 248–255, 2007.
[14] B. A. Mork, Francisco Gonzalez, Dmitry Ishchenko, Don L. Stuehm, and Joydeep Mitra, "Hybrid transformer model for transient simulation – Part II: Laboratory measurements and benchmarking," *IEEE Trans. on Pow. Del.*, vol. 22, no. 1, pp. 256–262, 2007.
[15] Abeywickrama N., Serdyuk Y. V., and Gubanski S. M., High-Frequency Modeling of Power Transformers for Use in Frequency Response Analysis, IEEE Trans. Pow. Del., vol. 23, no. 4, pp. 2042-2049, 2008.
[16] Wang Z., Li J., and Sofian D. M., "Interpretation of transformer FRA responses—Part I: Influence of winding structure," *IEEE Trans. on Pow. Del.*, vol. 24, no. 2, pp. 703-710, 2009.
[17] D. M. Sofian, Z. Wang, and J. Li, "Interpretation of transformer FRA responses—Part II: Influence of transformer structure," *IEEE Trans. on Pow. Del.*, vol. 25, no. 4, pp. 2582-2589, 2010.
[18] B. Gustavsen, "Wide band modeling of power transformers," *IEEE Trans. on Pow. Del.*, vol. 19, no. 1, pp. 414-422, 2004.
[19] B. Gustavsen, "A hybrid measurement approach for wideband characterization and modeling of power transformers," *IEEE Trans. on Pow. Del.*, vol. 25, no. 3, pp. 1932-1939, 2010.
[20] M. Krüger, "Application Guide: Capacitance and dissipation factor measurement with CPC 100 + CP TD1," Omicron GmbH, Austria, 2004.
[21] Dinh Anh Khoi Pham, "Measurement-based electrical parameters of power transformers for Frequency Response Analysis interpretation – Part I: Core analysis," *Tạp chí phát triển khoa học công nghệ ĐHQG-HCM*, tập 20, số K3, trang 5-11, 2017.
[22] Tổng công ty Điện lực Việt Nam, "Quy trình vận hành và sửa chữa máy biến áp," ban hành theo quyết định 623/ĐVN/KTNĐ, 1997.

Nguyễn Khắc Hiệu sinh năm 1992 tại Ninh Thuận, Việt Nam. Ông tốt nghiệp Kỹ sư ngành Kỹ thuật điện năm 2015, và hoàn thành chương trình đào tạo Thạc sĩ cùng chuyên ngành năm 2018 tại trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM. Ông là thành viên của Hội Điện lực Việt Nam từ năm 2017.

Từ năm 2015 đến 2018, Ông công tác tại công ty Thí nghiệm Điện miền Nam, hoạt động chủ yếu trong lĩnh vực thí nghiệm hiệu chỉnh và sản xuất thiết bị điện. Ông tham gia hỗ trợ công tác thí nghiệm hiệu chỉnh nhiều công trình trạm biến áp 110 kV và 220 kV cũng như hoạt động sản xuất thiết bị điện.

Ngô Văn Hiền sinh năm 1991 tại Bình Thuận, Việt Nam. Ông tốt nghiệp Kỹ sư điện (2015), và đang triển khai đề tài luận văn cao học (2018) ngành Kỹ thuật điện tại Trường Đại học Bách Khoa - ĐHQG-HCM.

Từ năm 2017 đến 2018, Ông công tác tại công ty Cổ phần nghiên cứu và thí nghiệm điện. Ông tập trung nghiên cứu các kĩ thuật chẩn đoán sự cố cho

máy biến áp lực, và dự toán chi phí bảo trì bảo dưỡng & thí nghiệm hiệu chỉnh cho các công trình nhà máy điện và trạm biến áp đến cấp 500 kV.

Phạm Thị Minh Thái sinh năm 1979 tại Phú Yên, Việt Nam. Bà tốt nghiệp Đại học và Thạc sĩ chuyên ngành Kỹ thuật điện trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM tương ứng vào các năm 2002 và 2004, và làm thực tập sinh tại Đại học Hannover, CHLB Đức từ 2009 đến 2013.

Từ năm 2002 đến nay, Bà là giảng viên Bộ môn Hệ thống điện, khoa Điện – Điện tử, trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM. Các hướng nghiên cứu của Bà bao gồm phân tích, bảo vệ hệ thống điện và thử nghiệm máy biến áp lực.

Phạm Đình Anh Khôi sinh năm 1979 tại Ninh Thuận, Việt Nam. Ông tốt nghiệp Đại học và Thạc sĩ chuyên ngành Kỹ thuật điện trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM tương ứng vào các năm 2002 và 2004, và tốt nghiệp Tiến sĩ tại Đại học Hannover, CHLB Đức năm 2013.

Từ năm 2002 đến nay, Ông là giảng viên Bộ môn Hệ thống điện, khoa Điện – Điện tử, trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM. Các hướng nghiên cứu của Ông bao gồm mô phỏng và thử nghiệm chẩn đoán máy biến áp lực và kỹ thuật điện cao áp.

Identification of electrical parameters of power transformers applicable to failure diagnosis

Nguyen Khac Hieu[1], Ngo Van Hien[2], Pham Thi Minh Thai[3], Pham Dinh Anh Khoi[3,*]

[1]Southern Electrical Testing Company, Southern Power Corporation
[2]Electrical Testing and Research Company
[3]Ho Chi Minh City University of Technology, VNU-HCM
Corresponding author: khoipham@hcmut.edu.vn

Receive: 07-10-2018, Accepted: 20-11-2018, published: 30-11-2018

***Abstract*— Diagnostic testing of power transformers plays an important role in detection of implicit failures, avoiding the possibilities of increased failure level or even breakdown for the most expensive equipment in power systems, which affects the operation reliability. Currently advanced diagnostic testing techniques such as Frequency Response Analysis, Dielectric Frequency Response etc. have been applied in addition with traditional ones but the efficiency is not as expected.**

In order to improve the diagnostic quality and the application feasibility of advanced techniques, this paper proposes a new method in determining main parameters in an equivalent circuit of several typical 110-kV power transformers based on the Frequency Response Analysis technique. The results show that the proposed method could be applied in improving the diagnostic quality for current failures of investigated power transformers.

***Index Terms*—power transformers, Frequency response analysis, diagnostic testing, electrical parameters.**