

CÁC PHƯƠNG PHÁP HIỆN ĐẠI TRONG KỸ THUẬT CHẨN ĐOÁN CÁCH ĐIỆN
PHẦN I: CHẨN ĐOÁN MỨC ĐỘ LÃO HÓA TRONG VẬT LIỆU BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHỔ ĐIỆN MÔI
ADVANCED METHODS IN INSULATION DIAGNOSTIC
PART I: INSULATION AGEING DIAGNOSTIC BY DIELECTRIC SPECTROSCOPY METHOD

Phạm Hồng Thịnh, Trần Văn Tóp
Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Tình trạng cách điện là một trong những yếu tố quyết định đến tuổi thọ và độ tin cậy trong vận hành của thiết bị điện. Hiểu rõ tình trạng cách điện và các cơ chế gây nên hiện tượng lão hóa cách điện luôn luôn là một thách thức lớn, đòi hỏi kiến thức tổng quát về cấu tạo vật liệu, cơ chế gây lão hóa và phân tích kết quả đo. Bài báo đánh giá mức độ lão hóa của một vật liệu composit thông qua phương pháp đo phổ điện môi. Hằng số điện môi tương đối và chỉ số tổn hao điện môi được đo trên dải tần số rộng từ 0,001Hz đến 1000Hz ở điện trường thấp tương ứng với các mức độ lão hóa khác nhau. Cơ chế phân cực lớp tiếp giáp là nguyên nhân gây ra sự tăng đột ngột của hằng số điện môi tương đối và chỉ số tổn hao ở tần số thấp. Chỉ số tổn hao điện môi đặc biệt nhạy với hàm lượng nước trong vật liệu trên toàn miền tần số và là chỉ số tin cậy để đánh giá tình trạng cách điện.

ABSTRACT

Insulation condition is one of the key elements which determine the lifetime and the reliability of an electric equipment. Understanding the accurate condition of the insulation and its ageing mechanism requires a broad range of knowledge on material structure, ageing mechanism and measurement analyzing. In this paper, ageing phenomena of a composite material were investigated by dielectric spectroscopy method. Relative permittivity and loss index of the materials corresponding to different levels of water content were measured in the frequency range from 0.001Hz to 1000Hz, and under low electric field. It was found that the increasing of relative permittivity and loss index at low frequency is due to interfacial polarisation. Loss index is especially sensitive to water uptake in the material, and it was the reliable criterion to assess the insulation.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Với yêu cầu cao về độ tin cậy trong hệ thống điện ngày nay, các thiết bị điện phải được vận hành và bảo dưỡng theo những tiêu chuẩn ngặt nghèo để đảm bảo việc được vận hành một cách liên tục và kinh tế. Một yếu tố quan trọng nhất và đáng quan tâm nhất của một thiết bị điện chính là các kết cấu cách điện. Ngoài chức năng cách ly phần mang điện và không mang điện với nhau, cách điện còn có thể đảm nhận các chức năng quan trọng khác như chịu lực, che chắn, làm mát... Vì thế cách điện nói chung bị lão hóa bởi nhiều tác nhân khác nhau và phối hợp cùng nhau như điện trường, nhiệt độ, lực cơ học, môi trường và thời tiết [1]. Quá trình lão hóa có thể kéo dài vài năm, thậm chí vài chục năm và làm suy giảm tính chất cách điện của thiết bị điện và cuối cùng là dẫn đến phóng điện chọc thủng cách điện [2]. Khi phóng điện chọc thủng xảy ra, đặc biệt là ở các thiết bị quan trọng như máy phát, máy biến áp, thiết bị

về mặt kinh tế do phải thay thế thiết bị có thể tính toán được. Tuy nhiên trong trường hợp mất điện do gián đoạn vận hành các thiết bị này có thể không tính toán được. Vì vậy đánh giá được tình trạng cách điện của thiết bị điện là một nhiệm vụ hết sức quan trọng. Khi đã kiểm soát được tình trạng cách điện, ta có thể chủ động trong việc bảo trì bảo dưỡng hoặc thay thế mà không làm gián đoạn việc cung cấp điện. Từ thực tế này, kỹ thuật chẩn đoán cách điện đã ra đời và càng ngày càng có những tiến bộ quan trọng. Từ những thiết bị chẩn đoán cách điện kiểu « qua hay không » (fail or pass), ngày nay kỹ thuật chẩn đoán cách điện đã có tính chuyên môn hóa rất cao, ứng với từng loại cách điện cụ thể hoặc tác nhân gây lão hóa để có những kỹ thuật chẩn đoán riêng. Các kỹ thuật chẩn đoán hiện đại còn cho phép biết được bản chất của tác nhân gây lão hóa, giám sát « online » các thiết bị và đưa ra những cảnh báo tức thời về tình trạng cách điện.

Kỹ thuật chẩn đoán cách điện có thể tạm chia làm hai loại : chẩn đoán « offline » và chẩn đoán « online ». Chẩn đoán « offline » là việc đo đạc các thông số của cách điện khi thiết bị ngừng làm việc. Kỹ thuật chẩn đoán này có thể kể đến việc đo điện trở cách điện, đo hệ số hấp thụ, đo tổn hao điện môi, đo dòng điện phân cực và hồi phân cực, đo điện áp phục hồi, đo phóng điện cục bộ... Chẩn đoán « online » là việc đo đạc các thông số của cách điện ngay khi thiết bị đang làm việc như đo nhiệt độ của cách điện, đo độ rung của thiết bị, đo phóng điện cục bộ [3-5].

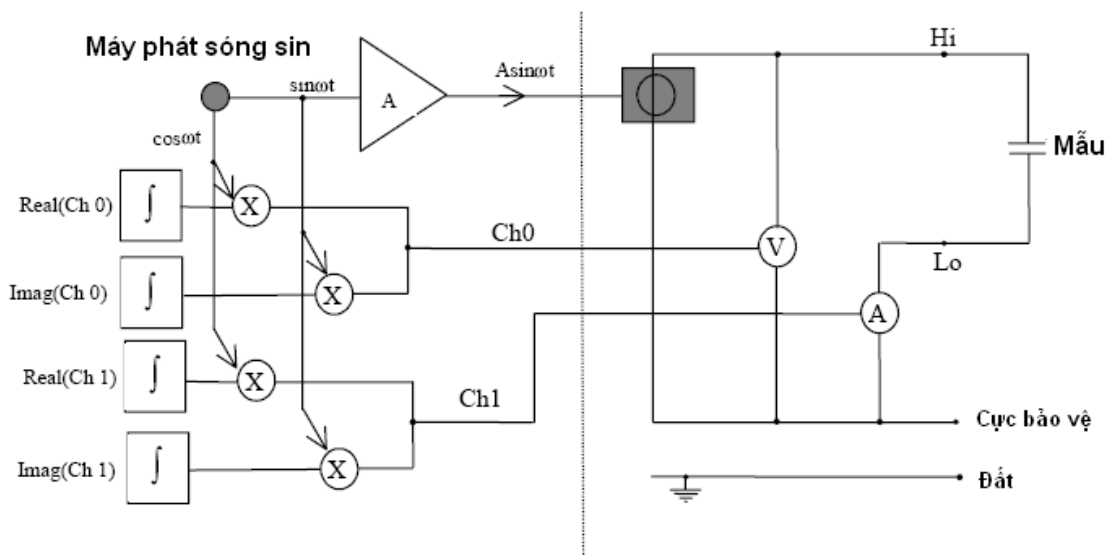
Ở Việt Nam hiện nay, kỹ thuật chẩn đoán cách điện trong các trung tâm thí nghiệm điện vẫn dựa vào các phương pháp cổ điển như đo điện trở cách điện, đo hệ số hấp thụ và đo góc tổn hao. Tuy có ưu điểm là đơn giản và tiện lợi, các phương pháp này có nhược điểm là không thể hiện được bản chất của cơ chế gây lão hóa để có biện pháp ngăn chặn hoặc thay thế loại vật liệu phù hợp, do không hiểu rõ bản chất gây lão hóa nên việc thay thế đôi khi quá muộn hoặc khi đã thay thế hiện tượng lão hóa vẫn diễn ra như cũ. Vì thế ứng dụng những phương pháp hiện đại trong kỹ thuật chẩn đoán cách điện là yêu cầu mang tính cấp thiết và có những lợi ích to lớn trong việc khai thác và vận hành an toàn và tin cậy hệ thống điện.

Trong loạt bài báo này chúng tôi sẽ trình bày một số kết quả nghiên cứu trong việc ứng

dụng các kỹ thuật hiện đại trong việc chẩn đoán tình trạng cách điện. Bài đầu tiên sẽ đi vào giới thiệu và trình bày một số kết quả nghiên cứu về tình trạng cách điện bằng phương pháp phổ điện môi.

II. THIẾT BỊ ĐO PHỔ ĐIỆN MÔI VÀ VẬT LIỆU

Như đã trình bày ở trên, ứng với mỗi dải tần số thì một hiện tượng phân cực điện môi chủ yếu sẽ diễn ra. Lợi dụng đặc điểm này, ta tiến hành đo đặc tính điện môi (hằng số điện môi phức, tổn hao điện môi tgδ) trên một dải tần số rộng. Căn cứ vào đáp ứng của các đặc tính này trên từng dải tần số cụ thể, ta có thể nhận dạng cơ chế phân cực trong điện môi để từ đó biết được cơ chế gây lão hóa của vật liệu. Thiết bị đo phổ điện môi sử dụng trong bài báo này là máy đo phổ điện môi IDA 200 của hãng General Electric. Nguyên tắc đo phổ điện môi của máy IDA 200 được trình bày như trên hình 1. Điện áp đo được phát ra từ một máy phát sóng sin và được khuếch đại đến giá trị mong muốn và đặt lên mẫu, sau khi qua bộ khuếch đại máy phát sóng sin có khả năng tạo điện áp đầu ra đến 200V với tần số thay đổi từ 10^{-4} Hz đến 10^3 Hz. Phần thực và ảo của tín hiệu điện áp và dòng điện được lấy qua hai kênh 0 và kênh 1 để từ đó tính ta tổng dẫn phức của mẫu. Nếu ta nhập kích thước hình học của mẫu, máy sẽ tính trực tiếp ra hằng số điện môi phức và góc tổn hao tgδ.

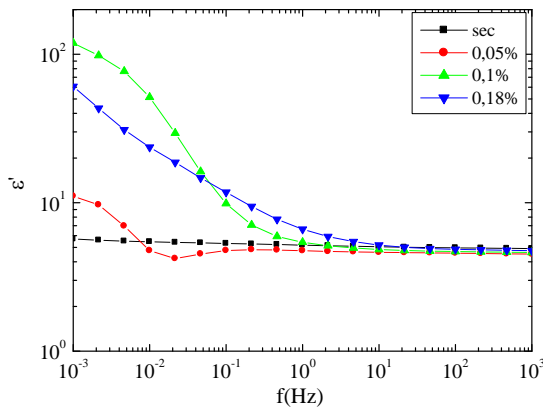


Hình 1. Nguyên tắc đo của máy đo phổ điện môi

Mẫu vật liệu nghiên cứu thuộc họ composit epoxy được dùng trong các thanh dẫn của máy phát điện công suất lớn. Nó được cấu tạo từ sợi thủy tinh, mica và nhựa epoxy. Mẫu được gia tốc lão hóa bằng cách ngâm trong nước cất ở nhiệt độ cao trong các khoảng thời gian khác nhau để tạo ra hàm lượng nước khác nhau trong mẫu.

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

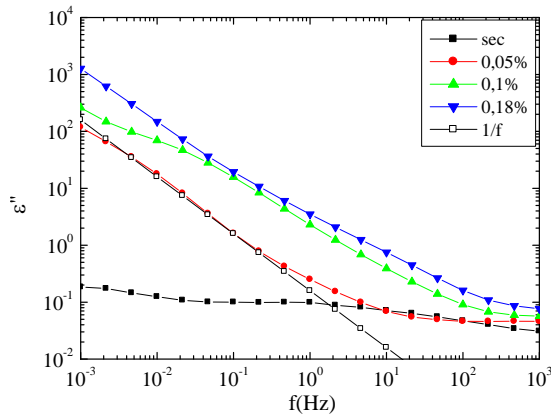
Các mẫu với hàm lượng nước 0% (khô); 0,05%; 0,1% và 0,18% được sử dụng để nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng nước lên đáp ứng của hằng số điện môi phức của vật liệu trong miền tần số. Hình 2 mô tả ảnh hưởng của hàm lượng nước lên sự hình thành các mô men phân cực bên trong điện môi. Thật vậy, đối với mẫu khô hằng số điện môi giữ giá trị không đổi trên toàn miền tần số đo từ 10⁻³Hz đến 10³Hz, giá trị này chính là hằng số điện môi tương đối của vật liệu ở tần số 50Hz với ε'≈5,6. Ở tần số thấp dưới 1Hz, hằng số điện môi tăng nhẹ khi giảm tần số. Điều này tương ứng với việc một số mô men lưỡng cực có tần số đáp ứng thấp bắt đầu định hướng lại dưới tác dụng của điện trường.



Hình 2. Đáp ứng của hằng số điện môi tương đối của vật liệu composit theo hàm lượng nước trong miền tần số

Khi cách điện bắt đầu có hiện tượng lão hóa ứng với việc điện môi chứa một hàm lượng nước rất nhỏ (0,05%), hằng số điện môi có sự thay đổi rõ nét đặc biệt là ở tần số thấp. Ở tần số f=10⁻³Hz, hằng số điện môi tăng lên gấp đôi so với cùng mẫu vật liệu ở trạng thái khô. Nếu ta tiếp tục tăng hàm lượng nước trong điện môi,

hằng số điện môi tiếp tục tăng cao ở tần số thấp và có thể đạt đến giá trị ε'≈100 ở f=10⁻³Hz.



Hình 3. Đáp ứng của chỉ số tổn hao (loss index) của vật liệu composit theo hàm lượng nước trong miền tần số

Điều này phù hợp với cơ chế phân cực lớp tiếp giáp đã trình bày ở trên, theo đó sự có mặt của nước đã làm phá hủy liên kết nơi lớp tiếp giáp giữa nhựa epoxy/mica và nhựa epoxy/sợi thủy tinh để tạo thành các điện tích tự do mới. Các điện tích tự do này bị ứ đọng ở khu vực tiếp giáp kể trên và tạo thành các mô men lưỡng cực và làm cho hằng số điện môi đo được nhận các giá trị rất lớn. Trong khi đó hằng số điện môi tương đối ở tần số 50Hz lại hầu như không đổi khi thay đổi hàm lượng nước trong vật liệu. Điều này chỉ ra rằng nếu chỉ đo đặc tính của vật liệu ở tần số 50Hz, ta không thể phân biệt được vật liệu còn tốt hay đã bị lão hóa. Đo phổ điện môi giúp chúng ta chẩn đoán chính xác tình trạng vật liệu để đưa ra kết luận về tình trạng vật liệu.

Đối với thay đổi của chỉ số tổn hao (hình 3), ta nhận thấy chỉ số tổn hao đặc biệt nhạy với hàm lượng nước trong vật liệu, ngay cả ở tần số cao. Cũng giống như hằng số điện môi, chỉ số tổn hao gần như không đổi đối với vật liệu khô. Ở tần số 1Hz, ta bắt đầu nhận thấy sự khác biệt giữa vật liệu khô và vật liệu bị lão hóa nhẹ (0,05%) khi chỉ số tổn hao tăng từ 0,1 đến 0,2. Chỉ số tổn hao càng tăng ở tần số thấp và có thể lớn hơn chỉ số tổn hao đối với vật liệu khô hàng nghìn lần ở f=10⁻³Hz. Hàm lượng nước càng cao thì chỉ số tổn hao càng tăng, chúng phân biệt rõ ràng trên toàn miền tần số đặc biệt với hàm lượng nước cao. Mặt khác chỉ số tổn hao tỉ lệ nghịch với tần số theo đúng quan hệ ε''=1/f,

điều đó chứng tỏ cơ chế tổn hao trong vật liệu chủ yếu do các điện tích tự do gây ra [6]. Điều này hoàn toàn phù hợp với quan sát và nhận xét đối với hình dạng của hằng số điện môi tương đối ở trên trong đó các điện tích tự do hình thành ở lớp tiếp giáp sẽ là tác nhân chủ yếu gây tổn hao trong bản thân vật liệu.

IV. KẾT LUẬN

Tình trạng cách điện được phản ánh rất chính xác qua phương pháp đo phổ điện môi, hiện tượng lão hóa trong vật liệu composit rất

dễ bị bỏ qua nếu ta dùng các phương pháp chẩn đoán thông thường như đo tgδ ở tần số 50Hz. Bản chất cơ chế gây lão hóa cũng được nhận dạng rõ ràng trên phổ điện môi. Cả hai thông số quan trọng của vật liệu là hằng số điện môi tương đối và chỉ số tổn hao đều phản ánh chính xác tình trạng cách điện đặc biệt là ở tần số thấp. Cơ chế phân cực lớp tiếp giáp chính là nguyên nhân chính gây nên sự tăng vọt của các đặc tính điện môi của vật liệu bị lão hóa ở tần số thấp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Agarwal V. K. et al.*; The Mysteries of Multifactor Ageing ; IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.11(3), pp.37-43, 1995.
2. *Karner H. C.*; Technical Aspect of Interfacial Phenomena in Solid Insulating Systems; IEEE International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM), pp. 592-597, 1991
3. *Ken Kimura*; Progress of Insulation Ageing and Diagnostic of High Voltage Rotating Machine Winding in Japan; IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.9(3), pp.13-20, 1993
4. *Gupta B.K. and Culbert I.M.*; Assessment of Insulation Condition in Rotating Machine Stators; IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol.7(3), pp.500-507, 1992
5. *Toshikatsu Tanaka et al.*; Aging and Related Phenomena in Modern Electric Power Systems; IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.28(5), pp.826-844, 1993
6. *Keuffel E and Zaengl W. S.*; High Voltage Engineering: Fundamentals; Newnes, 2000

Địa chỉ liên hệ: Phạm Hồng Thịnh - Tel: (04) 3869.2009, Email: thinhph-htd@mail.hut.edu.vn
 Khoa Điện - Trường Đại học Bách khoa Hà Nội
 Số 1, Đại Cồ Việt, Hà Nội