

# NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH GIÀ HÓA CÁCH ĐIỆN CỦA VẬT LIỆU COMPOSIT DÙNG TRONG CÁC THIẾT BỊ ĐIỆN CAO ÁP BẰNG MÔ HÌNH THÍ NGHIỆM LÃO HÓA TĂNG TỐC.

## INVESTIGATION ON AGING PROCESS OF ELECTRIC COMPOSITE INSULATION MATERIAL USING IN HIGHVOLTAGE ELECTRIC EQUIPMENTS BY ACCELERATED AGING METHOD.

**TS. Nguyễn Hữu Kiên; ThS. Vũ Thanh Hải**

*Viện Năng lượng – Bộ Công Thương*

### TÓM TẮT

*Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu quá trình già hóa cách điện của vật liệu composite nền nhựa epoxy cốt sợi thủy tinh bằng mô hình thí nghiệm lão hóa tăng tốc. Quá trình khuếch tán của nước vào trong các mẫu vật liệu này được mang ra nghiên cứu và phân tích dưới góc độ về vật liệu kỹ thuật điện. Phương pháp phổ điện môi là một phương pháp kỹ thuật phù hợp để chẩn đoán cách điện và là phương pháp chẩn đoán không phá hủy cách điện, nhưng có khả năng cung cấp thông tin hiện thời của hệ cách điện. Qua đó xác định đặc trưng kết quả lão hóa do nhiệt độ - độ ẩm cao, nhận biết hậu quả của nó đối với cách điện và đánh giá sự lão hóa của vật liệu cách điện.*

### ABSTRACT

*The paper presents results of research on aging process of composite insulation material - glass fiber reinforced epoxy resin (epoxy/glass) by accelerated aging method of experiment in laboratory. Process of water diffusion into composite insulation material - glass fiber reinforced epoxy resin (epoxy/glass) was investigated and analyzed. The research was conducted using spectroscopy dielectric method for insulation non- breakdown diagnostic of insulation system. By this method the aging process and its consequences by high temperature and humid was determined.*

### I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vật liệu composite (VLC) là loại vật liệu mới ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong các ngành khoa học kỹ thuật và công nghiệp tiên tiến trên thế giới: hàng không vũ trụ; đóng tàu; kỹ thuật điện; ô tô cơ khí; dầu khí; xây dựng dân dụng và trong đời sống... nhờ kết hợp được các đặc tính cơ học và vật lý học mà bình thường không thể có được với một vật liệu đơn. Trong ngành điện VLC này được sử dụng rộng rãi làm cách điện cao áp như: cách điện xuyên trong trạm biến áp và cách điện đường dây, cách điện trong máy biến áp, vách ngăn trong các trạm phân phối kiểu GIS (Gas Insulated Substation), cách điện stator của máy điện quay [4]. Tuy nhiên, do đặc tính composite vùng tiếp giáp [1; 4] giữa các thành phần luôn là vùng xung yếu do liên kết hoá học và kết cấu vật lý ở vùng này không ổn định bằng liên kết trong bản thân từng thành phần. Vì vậy, trong quá trình vận hành, điều kiện làm việc các kết cấu thường xuyên chịu

tác động khắc nghiệt của nhiều tác nhân như: điện, cơ học, hóa học, nhiệt độ, độ ẩm, thời tiết và môi trường thay đổi làm cho các thành phần của vật liệu bị già hoá; đặc biệt là khi chịu tác dụng của môi trường như : nhiệt và nước làm cho liên kết giữa các thành phần tại lớp tiếp giáp bị suy yếu. Khi hấp thụ một vài phần trăm khối lượng nước, các đặc tính điện môi bị suy giảm mạnh: điện trở suất giảm, hằng số điện môi và tổn hao tăng và có thể dẫn tới hiện tượng phóng điện chọc thủng (breakdown).

Hiện nay hầu hết các thiết bị điện có cách điện bằng VLC được nhập từ nước ngoài, tuy nhiên bản chất lão hóa cách điện của VLC vẫn chưa được đề cập tới và chưa được nghiên cứu một cách cụ thể.

Phòng thí nghiệm trọng điểm Quốc gia Điện cao áp (HVLAB) sẽ cơ sở nghiên cứu mạnh về vật liệu cách điện và thiết bị điện cao áp, với năng lực của mình nhiều nghiên cứu, thí nghiệm, đối tượng thí nghiệm sẽ lần đầu tiên được thực hiện ở Việt Nam, trong

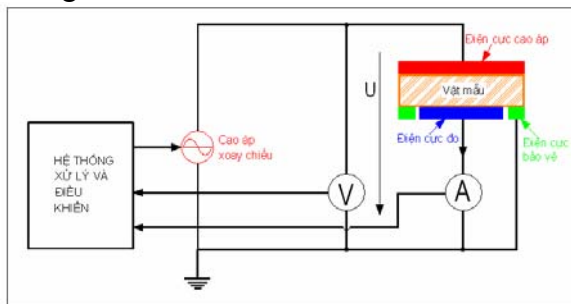
đó có thí nghiệm lão hóa tăng tốc để chẩn đoán sớm quá trình già hóa của cách điện composit.

Bài báo này trình bày về quá trình nghiên cứu tập trung công tác chuẩn đoán sớm hiện tượng lão hóa hay xác định ngưỡng lão hóa của các vật liệu cách điện composit đã và sẽ được sử dụng ở nước ta, trong đó có VLC nền nhựa epoxy cốt sợi thủy tinh, nhằm ứng dụng để cải thiện trong sản xuất thiết bị điện ở nước ta.

## II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

- Sử dụng phương pháp thí nghiệm lão hóa tăng tốc (Accelerated Experiment) để xác định các đặc tính điện môi của vật liệu cách điện composite dưới tác động tổng hợp của các yếu tố. Các phương pháp thí nghiệm với các thông số phù hợp với điều kiện vận hành tại Việt Nam để kiểm soát và định lượng sự xuống cấp của vật liệu. Nhiều tham số ảnh hưởng đến sự khuếch tán của nước sẽ được xem xét như: nhiệt độ, độ ẩm cao và độ dày. Các cơ chế khuếch tán của nước vào vật liệu cách điện composite cũng sẽ được phân tích cụ thể và chi tiết thông qua mô hình toán.

- Sử dụng phương pháp phổ điện môi trên miền tần số (Frequency Spectroscopy Dielectric Method-FSDM) để xác định các thông số điện môi nhằm đánh giá sự xuống cấp của vật liệu cách điện dưới tác động của nhiệt độ và độ ẩm cao. Xác định đặc trưng kết quả lão hóa do nhiệt độ - độ ẩm cao và nhận biết hậu quả của nó đối với cách điện. Độ nhạy của phương pháp phổ điện môi với các tính chất điện và điện môi đối với sự lão hoá, cũng như khả năng triển khai nhanh chóng.



Hình 1. Nguyên lý đo phổ điện môi.

## III. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

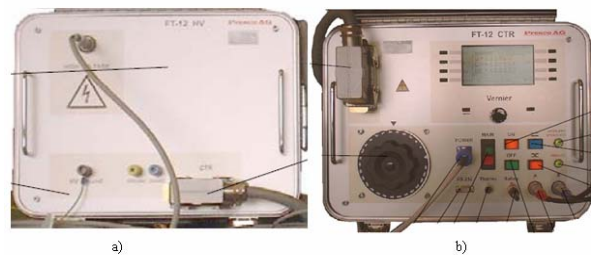
### 1. Chuẩn bị mẫu và thiết bị thí nghiệm

Mẫu vật liệu nghiên cứu thuộc họ composite epoxy có độ dày 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3 và 3,5mm, hình tròn  $\Phi=60$ mm. Tất cả các mẫu thử được làm khô trong tủ sấy ở nhiệt độ  $110\pm 120^\circ\text{C}$  và dưới chân không bậc một  $10^{-1}$  mBar trong thời gian bảy ngày. Mục đích là để xác định trọng lượng tham chiếu cho mỗi mẫu ở trạng thái hoàn toàn khô. Sau đó được ngâm trong bể nước cất tại các mức nhiệt độ khác nhau. Với  $m_0$  là trọng lượng tham chiếu của mẫu thử khô và  $m_i$  là trọng lượng mẫu thử vào thời điểm  $i$ , lượng nước khuếch tán vào trong mẫu thí nghiệm (tính theo %) được tính theo công thức sau:

$$M = \frac{m_i - m_0}{m_0} \times 100 (\%)$$



Hình 2. Các mẫu gia công để đo đặc cơ chế của việc khuếch tán nước.



Hình 3. Hộp bộ thí nghiệm đo đặc tính điện môi của vật liệu.

### 2. Kết quả thí nghiệm

Loại mẫu	Mẫu số	Hình dạng và kích thước mẫu		Chiều dày mẫu (mm)	Chiều dày mỗi lớp sợi thủy tinh ( $\mu\text{m}$ )	Đường kính mỗi sợi thủy tinh ( $\mu\text{m}$ )	Thành phần (%)	
		Hình tròn (mm)	Hình vuông (mm)				Sợi thủy tinh (%)	Epoxy (%)
Tấm cách điện bằng VLC	1; 1a	$\Phi 15$	15x15	2,5	$\approx 55$	$\approx 6,0$	60,22	39,78
	2; 2a	$\Phi 15$	15x15	2,0	$\approx 55$	$\approx 6,0$	60,20	39,8
	3; 3a	$\Phi 15$	15x15	1,5	$\approx 54$	$\approx 6,0$	60,25	39,75
	4; 4a	$\Phi 15$	15x15	1,0	$\approx 54$	$\approx 6,0$	60,27	39,73
	5; 5a	$\Phi 15$	15x15	0,5	$\approx 54$	$\approx 6,0$	60,24	39,76

#### Ghi chú:

- Kết quả này chỉ có giá trị trên mẫu thử do khách hàng cung cấp.
- Lưu mẫu trong 03 tháng.

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Loại mẫu và chiều dày (mm)	Mẫu số	Hình tròn (mm)	Hàm lượng nước (%)	Điện trở suất khối ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	Điện trở suất mặt ( $\Omega$ )
Tấm cách điện bằng VLC có chiều dày 1,0mm	1;	$\Phi 11$	0	$10^{18}$	$13 \times 10^{18}$
	1a;	$\Phi 11$	0,1	$10^{16}$	$12 \times 10^{16}$
	2;	$\Phi 11$	0,15	$10^{15}$	$12 \times 10^{15}$
	2a;	$\Phi 11$	0,25	$10^{14}$	$11 \times 10^{14}$
	3;	$\Phi 11$	0,30	$10^{13}$	$11 \times 10^{13}$
	3a;	$\Phi 11$	0,35	$10^{12}$	$11 \times 10^{12}$
	4;	$\Phi 11$	0,40	$10^{11}$	$10 \times 10^{11}$
	4a; 5	$\Phi 11$	0,62	$10^{10}$	$9 \times 10^{10}$
	và	$\Phi 11$	0,67	$10^9$	$9,5 \times 10^9$
	5a	$\Phi 11$	0,96	$10^8$	$8 \times 10^8$

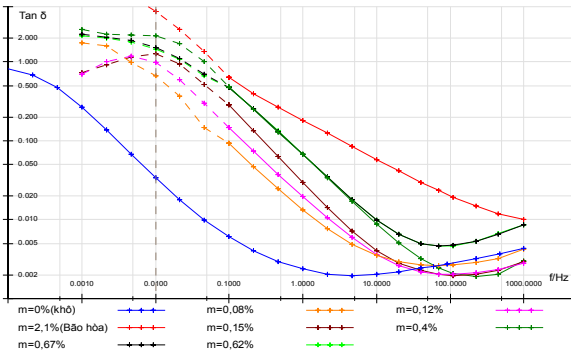
Ghi chú:

- Kết quả này chỉ có giá trị trên mẫu thử do khách hàng cung cấp.
- Lưu mẫu trong 03 tháng.

Hình 4. Kết quả phân tích mẫu thí nghiệm

Các kết quả này sẽ giúp chúng ta trong việc xác định hàm lượng nước trong VLC theo thời gian ngâm bằng các phép đo đặc điện môi về sau.

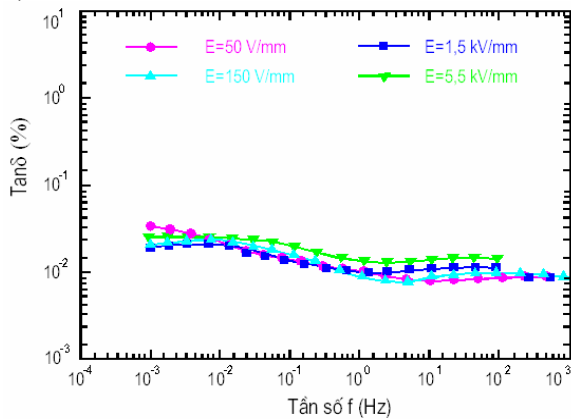
3. Đo đặc tính điện môi của VLC



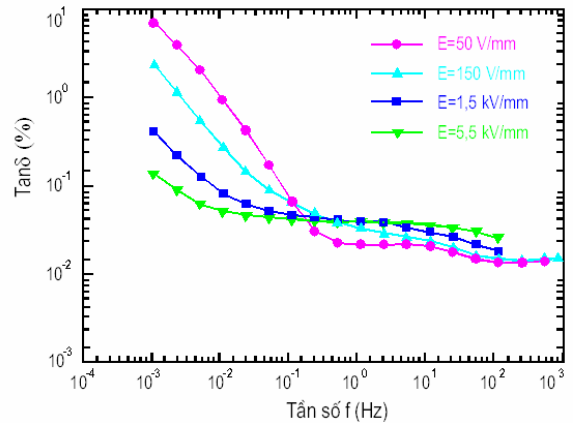
Hình 5. Tác động của hàm lượng nước (cho tới khi bão hòa) đối với tan delta

Kết quả cho thấy với  $m=0,62\%$  tại 50Hz tan delta tăng lên tới 0,5%, (gấp 2,5 lần trong điều kiện khô). Khi vật liệu đã bão hòa  $m=2,1\%$  tan delta tăng mạnh (>2%) tức là gấp 10 lần trong điều kiện khô.

a). Với  $m = 0\%$



b). Với  $m = 0,08\%$



Hình 6. Tan delta theo tần số tại điện trường khác nhau với mẫu thử khô và mẫu 0,08%

Với kết quả này ta thấy được tan delta biến thiên ít theo điện trường trong mẫu khô, tan delta tăng khi mẫu bị ẩm ( $m=0,08\%$ ) và giảm mạnh theo tần số <50Hz -> cần cân nhắc kỹ ở những nơi mà hiệu ứng không lớn của điện trường lên tan delta.

IV. KẾT LUẬN.

1. Đặc tính cách điện của VLC bị ảnh hưởng mạnh mẽ bởi sự xâm nhập của nước, khi hàm lượng nước ngấm vào trong vật liệu tăng từ 0÷0,35% điện trở suất của vật liệu giảm rất mạnh (từ  $10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$  xuống  $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ ). Đặc tính này được miêu tả rất cụ thể bởi lý thuyết thẩm thấu trong đó kênh dẫn dòng điện được hình thành từ các nhóm phân tử nước nằm trong vật liệu.

2. Khi hấp thụ một vài phần trăm khối lượng nước, phẩm chất của đặc tính điện môi giảm rất mạnh tại tần số 50Hz của điện trường cao khi hàm lượng nước cao (điện hình khoảng 0,96%). Khi cách điện bị nhiễm ẩm, nước ẩm đọng lại làm cho liên kết giữa các thành phần tại lớp tiếp giáp (epoxy-sợi thủy tinh) bị suy yếu dẫn đến độ kết dính thấp, phân lớp bên trong tại vùng mặt phân cách làm tăng hiện tượng bề mặt khi hấp thụ nước. Ứng suất về điện cao dẫn đến sự khởi đầu của phóng điện cục bộ, chuyển động của các điện tích được truyền dọc theo mặt phân cách bên trong, các đặc tính điện môi của vật liệu bị suy giảm mạnh: điện trở suất giảm, hằng số điện môi và tổn hao tăng và điện trường phóng điện chọc thủng có thể giảm theo điện trường vận hành cuối cùng là phóng điện chọc thủng.

3. Việc hệ thống cách điện của thiết bị điện vận hành ở nhiệt độ cao trong một thời gian dài là nguyên nhân gây ra sự mất liên kết của các lớp cách điện này. Cả hai quá trình già hoá cơ học và nhiệt độ gây ra sự phân lớp này, và điều này đã dẫn đến sự hình thành những lỗ trống trong cách điện. Sự phân lớp là kết quả của quá trình các chất như: không khí, nước hoặc các phân tử khối lượng nhỏ thâm nhập vào trong vật liệu cách điện trong quá trình lưu hoá. Sự gắn kết giữa epoxy và sợi thủy tinh sẽ tốt hơn khi mật độ phân lớp trong vật liệu giảm đi.

4. Quá trình già hoá do nhiệt độ, độ ẩm và điện trường lên cách điện composite epoxy/thủy tinh sẽ tạo nên sự phân tách trong vật liệu, từ đó hình thành và phát triển các lỗ trống trong vật liệu, các lỗ trống mới hình thành này sẽ kết hợp với các lỗ trống tồn tại trong vật liệu để hình thành nên các đường nứt lớn và gây nên quá trình lão hoá và suy giảm cách điện trong VLC.

#### **V. LỜI CẢM ƠN**

Để hoàn thành đề tài này nhóm nghiên cứu gửi lời cảm ơn tới PGS.TS. Trần Văn Tóp, PGS.TS. Nguyễn Đình Thắng, TS. Phạm Hồng Thịnh bộ môn Hệ thống điện - Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, GS.TS.

Bùi Chương và các chuyên viên-Trung tâm nghiên cứu vật liệu Polyme-Trường Đại học Bách khoa Hà Nội; TS. Nguyễn Đức Hoàng – Cục Ứng dụng và phát triển công nghệ-Bộ Khoa học và Công nghệ.

Nhóm nghiên cứu rất mong nhận được sự bổ sung, góp ý hoàn thiện nội dung từ các chuyên gia, bạn bè đồng nghiệp nhằm nâng cao tính khả dụng của đề tài này.

#### **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. *Nguyễn Đình Thắng*; Vật liệu kỹ thuật điện; NXB Khoa học Kỹ thuật, 2004.
2. *Phạm Văn Bình và Lê Văn Doanh*; Máy biến áp lý thuyết vận hành, bảo dưỡng, thử nghiệm; NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2002.
3. *G.Beer, G.Gasparani, F.Osimo, and F.Ross*; Experimental Data on the Drying-out of Insulation Samples and Test Coil for Transformers; CIGRE Paper No.135,1996.
4. *T. Pham Hong*; *These de Doctorat*; UJF 2005.
5. *Crank J.*; The mathematics of diffusion; Clarendon Press, Oxford, 1975
6. *Springer S. G.*; Environmental Effects on Composite Materials ; Technomic Publication, 1981.