

## ĂN MÒN LƯU HUỖNH TRONG MÁY BIẾN ÁP LỰC: CƠ CHẾ HÌNH THÀNH, CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG VÀ CÔNG TÁC PHÂN TÍCH, GIÁM SÁT TẠI VIỆT NAM

### CORROSION SULFUR IN POWER TRANSFORMERS: MECHANISM OF FORMATION, AFFECTING FACTORS AND ITS ANALYSIS, OBSERVATION IN VIETNAM

**Lê Khắc Lâm**

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 18/06/2021, Ngày chấp nhận đăng: 20/12/2021, Phản biện: TS. Phạm Văn Bình

#### **Tóm tắt:**

Máy biến áp lực (MBA) là thiết bị điện quan trọng ở các nhà máy và trạm điện. Các sự cố của MBA có thể dẫn đến việc ngừng cung cấp điện, gây ra tổn thất kinh tế cũng như các mối nguy hiểm gây hậu quả về mặt môi trường. Do đó, một trong các bài toán cơ bản đảm bảo độ an toàn vận hành của MBA là theo dõi chẩn đoán tình trạng của thiết bị, đảm bảo khả năng phát hiện sớm sự phát triển của khiếm khuyết. Từ đầu những năm 2000 đến nay trên thế giới đã có hàng chục báo cáo về hiện tượng ăn mòn lưu huỳnh trong MBA và các sự cố liên quan. Tuy nhiên, công tác nghiên cứu và giám sát ăn mòn lưu huỳnh trong các MBA trong lưới điện Việt Nam hiện nay mới chỉ bắt đầu được tiến hành ở mức độ hết sức hạn chế.

Bài báo này trình bày tổng quan các kết quả nghiên cứu về ăn mòn lưu huỳnh trong MBA và thực trạng công tác giám sát nó trong các MBA đang được vận hành tại Việt Nam.

#### **Từ khóa:**

Dầu cách điện, giấy cách điện, sulfide đồng, lưu huỳnh ăn mòn, dibenzyl disulfide.

#### **Abstract:**

Power transformers (PTs) are important electrical equipment in power plants and substations. A potential fault of the PTs leads to a power outage, a threat of electricity supply, as well as accelerating economic losses and environmental problems. Therefore, one of the basic problems to ensure the operational safety of the PTs is to monitor and diagnose the condition of the equipment, which assures the ability to initial detect the development of defects. From the early 2000s up to now, there have been dozens of reports of sulfur corrosion in PTs and related failures. However, research and monitoring of sulfur corrosion in transformers in the Vietnamese power grid have merely begun to be performed at a limited extent.

This article presents an overview of research results on sulfur corrosion in transformers and the observation status of transformers in operation in Vietnam.

#### **Keywords:**

Insulating oil, insulation paper, copper sulfide, corrosive sulfur, dibenzyl disulfide.

## 1. GIỚI THIỆU

Đồng sulfide ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) là sản phẩm phản ứng của sự ăn mòn lưu huỳnh và cuộn dây đồng trong điều kiện nhất định. Dầu khoáng chứa các hợp chất của lưu huỳnh, phần lớn được loại bỏ trong quá trình tinh chế, nhưng vẫn còn dư lại một lượng nhỏ, từ 0,001 đến 0,5% [4]. Những hợp chất lưu huỳnh này gây ra hiện tượng ăn mòn với các kim loại khác nhau, như đồng và bạc.

Quá trình lắng tụ đồng và bạc sulfur trên bề mặt kim loại và đồng sulfur trên bề mặt giấy cách điện trong các cuộn dây và khuếch tán vào hệ thống cách điện giấy - dầu làm giảm độ bền cách điện giữa các cuộn dây, dẫn đến hư hỏng cách điện trong MBA [10].

Sự hình thành sulfur kim loại trên bề mặt của đồng và bạc dẫn đến quá nhiệt ở các tiếp điểm, hơn nữa, sự bong tách các phần tử dẫn điện từ bề mặt tiếp điểm kim loại có thể gây ra đánh thủng điện môi ở tần số và cường độ điện trường định mức [1].



**Hình 1. Dấu vết ăn mòn lưu huỳnh trong phần dây dẫn MBA**

Báo cáo [12] tổng hợp các trường hợp sự cố liên quan đến ăn mòn lưu huỳnh đã cho thấy những đặc điểm như sau:

- Phần lớn các sự cố xảy ra trong máy phát điện, MBA truyền tải công suất lớn và các kháng điện (>100 MVA, hơn 70%), tiếp theo là MBA công nghiệp và MBA điều chỉnh (21%);
- Hầu hết các hư hỏng do lỗi ở vòng dây quấn bên trong (khoảng 39%) và do sự kết hợp của ăn mòn lưu huỳnh và cách điện rắn lão hóa bất thường (nghiêm trọng) (khoảng 46%); kết quả tương tự được thống kê không chỉ đối với MBA tăng áp (GSU) và MBA truyền tải, mà còn ở cả các kháng điện và MBA điều chỉnh;
- Sự cố xảy ra đối với đa số các thiết bị làm việc với phụ tải cao liên tục (54%) và phụ tải thay đổi (32%);
- Các hư hỏng đáng kể do điện môi (khoảng 25%) và ở bộ điều chỉnh điện áp (khoảng 21%);
- Phần lớn sự cố xảy ra ở các loại dầu không bị ức chế (54%), nhưng cũng có một số lượng đáng kể ở các loại dầu bị ức chế (36%);

Nhìn chung hiện nay, so với các dạng sự cố khác ở MBA, tỷ lệ các sự cố liên quan đến ăn mòn lưu huỳnh được biết đến tương đối nhỏ, thậm chí trong một số trường hợp, nguyên nhân sự cố không thể xác định một cách chính xác, vì việc phát

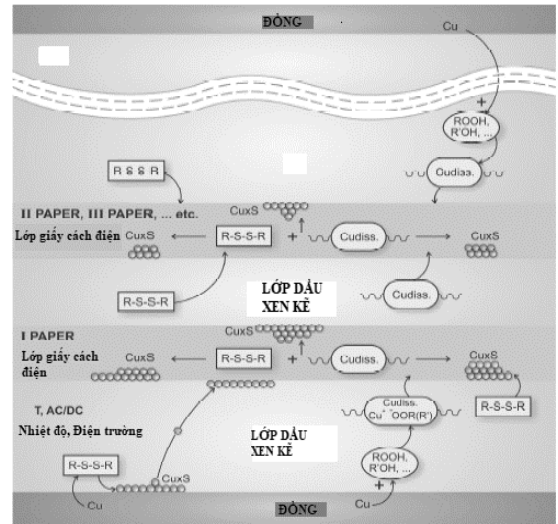
hiện các vấn đề liên quan đến lưu huỳnh ăn mòn không dễ dàng. Tuy nhiên, quá trình ăn mòn lưu huỳnh có xu hướng phát triển mà không bị phát hiện trong thiết bị trong khoảng thời gian vài năm trước khi sự cố xảy ra. Điều này khiến ăn mòn lưu huỳnh trong các MBA trở thành đối tượng cần được quan tâm, giám sát [3].

## 2. CƠ CHẾ HÌNH THÀNH ĂN MÒN LƯU HUỖNH

Cơ chế hình thành đồng sulfur trên bề mặt kim loại trần do phản ứng trực tiếp của kim loại trần với các hợp chất lưu huỳnh đã được đề cập nhiều và được trình bày chi tiết [5]. Các nghiên cứu về cơ chế hình thành đồng sulfur trong cách điện giấy đã đưa ra một mô hình dựa trên sự hòa tan đồng trong dầu, tiếp theo là sự khuếch tán và hấp thụ phức hợp đồng trung gian trong giấy, nơi đồng sulfur được tạo thành trong phản ứng với các hợp chất lưu huỳnh. Đây hiện là mô hình cơ chế toàn diện nhất thể hiện được sự phát triển của đồng sulfur trong lớp cách điện giấy, sau khi hấp thụ các hợp chất đồng và lưu huỳnh hòa tan trong cách điện giấy - dầu [6].

Sự hình thành đồng sulfur trên tấm đồng và trong giấy thường diễn ra song song với nhau, nhưng không phải luôn luôn xảy ra như vậy. Đối với các loại dầu không có chất ức chế, đồng sulfur thường chỉ lắng đọng trên tấm đồng, trong khi với dầu bị ức chế, thường quan sát thấy sự lắng đọng đồng sulfur trong giấy [12]. Quá trình chủ yếu, tức cặn bám trên đồng hoặc cặn trong giấy, phụ thuộc vào nhiệt

độ, thành phần của dầu gốc và mức độ tinh luyện, hàm lượng oxy và sự hiện diện của các chất ức chế trong dầu. Các kết quả nghiên cứu trên thực tế đã củng cố tất cả các giả thuyết về mô hình lắng đọng đồng sulfur này.



Hình 2. Cơ chế hình thành đồng sulfide trong giấy cách điện [12]

Một cơ chế ăn mòn khác được công nhận dựa trên tiếp xúc cũng đã được đề xuất, về việc vận chuyển các hạt đồng sulfur đến lớp giấy đầu tiên qua khe dầu. Oxy được quan sát thấy có ảnh hưởng đến tương tác bề mặt giữa đồng sulfur và đồng gây ra sự dịch chuyển của nó, mặc dù cơ chế hiện vẫn chưa được làm rõ [11].

Trong hai thập kỷ qua, trong phần lớn các MBA gặp sự cố, lưu huỳnh ăn mòn có ảnh hưởng nhất định. Dầu khoáng cách điện được sử dụng trong các MBA đó có chứa thành phần dibenzyl disulfide (DBDS) - lưu huỳnh hoạt hóa. DBDS xuất hiện trong dầu với một nồng độ đáng kể, cao hơn bất kỳ hợp chất hữu cơ nào

khác của lưu huỳnh. Các hợp chất hữu cơ chứa lưu huỳnh, bao gồm cả DBDS, phần lớn được sử dụng trong các sản phẩm dầu nhờn; tuy nhiên nhược điểm lớn của nó là tính ăn mòn cao của dầu sulfur hóa đối với đồng. DBDS có thể có mặt trong dầu thô, nhưng do độ ổn định nhiệt tương đối thấp, nó có thể dễ dàng bị loại bỏ bằng các kỹ thuật tinh luyện thông thường.

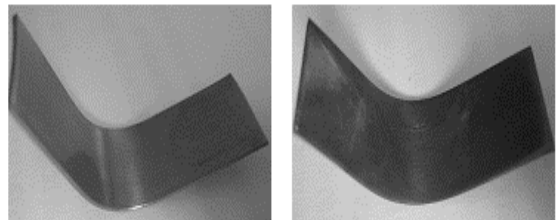
Một cuộc điều tra trên thế giới được thực hiện trong năm 2005 - 2006 đã chứng minh rằng, DBDS thực tế không có trong tất cả các dầu được chế xuất theo công nghệ cũ dựa trên quá trình tinh luyện furan. Trong các loại dầu mới, sản xuất sau những năm 90 thế kỷ XX, hàm lượng DBDS dao động trong phạm vi 100 - 200 ppm. Sau đó, một số công ty dầu mỏ đã điều chỉnh, thay đổi thành phần dầu thành phẩm và ngày nay tất cả các loại dầu mới (chưa dùng) hiện có trên thị trường đều không có DBDS.

Nhiều nghiên cứu trong phòng thí nghiệm và thực tiễn cho thấy rằng, nhiệt độ và nồng độ oxy có thể thúc đẩy sự hình thành đồng sulfur, có thể được hình thành từ các hợp chất khác nhau của lưu huỳnh, không chỉ riêng DBDS. Khả năng phản ứng của các hợp chất này thay đổi theo nhiệt độ và sự hiện diện của các thành phần khác trong dầu, tức là thành phần dầu gốc và các chất phụ gia.

### 3. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN ĂN MÒN LƯU HUỖNH

*Nhiệt độ.* Ảnh hưởng của nhiệt độ đã được đề cập chi tiết trong TB 378 của CIGRE. Khi nhiệt độ tăng thêm 10°C, tốc

độ phản ứng hình thành hợp chất sulfur tăng gần gấp đôi [12]. Hầu hết các dữ liệu hiện có đều liên quan đến tốc độ phân rã DBDS, như hợp chất mẫu có khả năng phản ứng hóa học mạnh như đã nêu ở trên, và là hợp chất chứa lưu huỳnh được tìm thấy phổ biến nhất trong các loại dầu ăn mòn. Do khả năng xảy ra các phản ứng khác với các loại lưu huỳnh ngoài DBDS, sự hình thành đồng sulfur có thể xảy ra trong dải nhiệt độ rộng từ 80°C đến trên 300°C.



**Hình 3. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến ăn mòn lưu huỳnh: trước (trái) và sau (phải) khi thử nghiệm**

Hình trên cho thấy sự thay đổi của dây đồng trước và sau khi kiểm tra lão hóa nhiệt. Màu sắc của dây đồng chuyển dần từ màu vàng sang ánh sáng màu xám, màu xám đen, và màu đen khi tăng thời gian lão hóa. Quan sát tương tự sự thay đổi màu sắc của dây đồng có bọc giấy. Các chất màu tối hoặc màu xám trên dây đồng là đồng sulfide ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) [8, 9]. Điều này giải thích một thực tế là hầu hết các hư hỏng do lưu huỳnh ăn mòn xảy ra với các MBA làm việc trong môi trường nhiệt độ cao, MBA có phụ tải cao hoặc phụ tải biến đổi.

*Nồng độ oxy trong dầu.* Oxy là yếu tố có ảnh hưởng trong cơ chế hình thành đồng sulfur. Người ta thấy rằng, giá trị tối ưu

của nồng độ oxy hòa tan trong dầu cần thiết cho phản ứng gây ra sự lắng đọng đồng sulfur xảy ra trong giấy, là khoảng vài nghìn ppm. Các phản ứng oxy hóa kéo theo sự hình thành các loại lưu huỳnh oxy hóa, các oxit đồng, peroxit, đồng hydroperoxit, cacbonyl và các hợp chất có tính axit. Mỗi hợp chất này có thể tham gia vào quá trình hình thành đồng sulfur như các hợp chất trung gian. Các chất lắng đọng của đồng sulfur trên dây dẫn đồng được quan sát thấy dễ bị dịch chuyển khỏi bề mặt đồng hơn trong điều kiện có oxy [11].

*Thành phần dầu gốc và chất ức chế.* Sự lắng đọng của đồng sulfur trong giấy, hoặc trên đồng, phụ thuộc vào thành phần dầu gốc và thành phần hoá học hợp chất của lưu huỳnh. Sự khác biệt giữa quá trình lắng đọng sulfur đồng ở dầu bị và không bị ức chế thường xuyên được quan sát thấy [6]. Các loại dầu cùng loại nhưng gốc khác nhau có thể có cấu trúc hóa học chi tiết khác nhau đáng kể, do sự khác biệt trong các loại dầu thô gốc và quá trình tinh chế. Điều này có thể dẫn đến các dạng lắng đọng đồng sulfur khác nhau giữa các loại dầu có nguồn gốc khác nhau của cùng một loại, chủ yếu phụ thuộc vào khả năng hòa tan đồng của dầu.

*Độ phản ứng của các hợp chất lưu huỳnh.* Xếp hạng các hợp chất lưu huỳnh phản ứng hình thành đồng sulfur được thực hiện trên cơ sở các kết quả nghiên cứu trong phòng thí nghiệm với các loại dầu gốc khác nhau và dầu trắng (không chứa hợp chất thơm, chỉ chứa các hydrocacbon

parafinic và naphthenic) được tăng cường các hợp chất lưu huỳnh khác nhau được dùng cho thử nghiệm theo IEC 62535. Benzyl mercaptan dễ tạo thành đồng sulfur ở nhiệt độ thấp hơn đáng kể trên đồng trần, từ 100°C trở đi. Nhiệt độ bắt đầu phản ứng đối với disulfur (bao gồm cả DBDS) là từ 80°C trở lên [13].

**Bảng 1. Độ phản ứng của các hợp chất lưu huỳnh**

Hợp chất	Công thức	Độ phản ứng
Lưu huỳnh tự do	S	Rất cao
Mercaptans	R-S-H	Tương đối cao
Sulfides	R-S-R <sub>1</sub>	Cao
Disulfides	R-S-S-R	Tương đối thấp
Triophenes	Liên kết vòng với phân tử lưu huỳnh	Rất thấp

#### 4. THỰC TRẠNG CÔNG TÁC GIÁM SÁT ĂN MÒN LƯU HUỖNH Ở MBA TRÊN LƯỚI ĐIỆN VIỆT NAM

##### 4.1. Tổng quan về MBA trong hệ thống điện Việt Nam

Theo báo cáo thường niên năm 2018 của Tập đoàn Điện lực Việt Nam (EVN) [15] tính đến 31/12/2018, trên lưới truyền tải của Tập đoàn đã lắp đặt và vận hành các MBA 500 kV và MBA 220 kV với tổng công suất tương ứng lần lượt là 33000 MVA và 52688 MVA. Trong giai đoạn 2021-2025 dự kiến lắp mới các MBA 500 kV với tổng công suất 26400 MVA và 33888 MVA đối với các MBA 220 kV. Ở

trên lưới truyền tải, tính đến 31/12/2018, tổng công suất MBA 220 kV được lắp đặt là 8500 MVA và 106830 MVA đối với cấp điện áp 110 kV, chi tiết cụ thể như bảng dưới đây [15].

**Bảng 2. Tổng công suất lắp đặt MBA cấp điện áp 500 kV, 220 kV và 110 kV trên lưới điện truyền tải tại Việt Nam năm 2018. (Đơn vị: MVA)**

	500kV	220kV	110kV
EVNNPT	33300	4250	53415
EVNNPC	0	750	16274
EVNCPC	0	0	6036
EVNSPC	0	750	18515
EVNHANOI	0	500	6138
EVNHCMC	0	2250	6452

Trong điều kiện phụ tải tăng trưởng mạnh khi hạ tầng hệ thống đường dây truyền tải điện phát triển chưa đồng bộ, riêng trong năm 2018 tại EVNNPC ghi nhận có 34 MBA xuất hiện quá tải do phụ tải tăng tại các khu vực Nam Định, Thái Bình, Bắc Ninh, Bắc Giang, Vĩnh Phúc, Hưng Yên, Thanh Hóa, Nghệ An. Số lượng MBA mang tải từ 80% đến 100% là 77 máy chiếm 18,11% tổng số MBA đang vận hành. Ngoài ra, có 96 máy trong tổng số 425 MBA 110 kV thường xuyên phải mang tải cao, chiếm 22,59%. Tình trạng này có thể dẫn đến sự cố nghiêm trọng đối với các MBA đã qua thời gian sử dụng lâu dài, tuổi thọ còn lại ngắn [16].

Phần lớn các MBA cao áp tại Việt Nam được lắp đặt và vận hành từ sau khi cơ bản hoàn thành xây dựng đường dây 500 kV năm 1994, do đó tuổi thọ các máy được lắp đặt vận hành thời kỳ này đến

nay đã trên dưới 25 năm, đây chính là giai đoạn tần suất xảy ra lỗi ở các máy tăng lên, tiềm ẩn các nguy cơ gây sự cố làm mất ổn định và tin cậy trong truyền tải và phân phối điện năng của hệ thống. Ngoài ra, nhiều thiết bị nhất thứ cũ, nhiều chủng loại khác nhau, không hỗ trợ giao thức phục vụ điều khiển từ xa và tỷ lệ sử dụng tín hiệu có sẵn trên thiết bị đầu cuối (RTU) thấp, việc thi công bổ sung tín hiệu thiếu từ RTU cần nhiều thời gian. Bên cạnh đó, để đáp ứng yêu cầu thu thập, điều khiển giám sát đòi hỏi phải cải tạo, thay thế rất nhiều thiết bị nhất thứ và nhị thứ. Những nguyên nhân trên dẫn đến các sự cố, hỏng hóc không tránh khỏi của MBA trong quá trình vận hành, bao gồm cả nguy cơ liên quan đến ăn mòn lưu huỳnh.

Thực tế, năm 2017 ở EVNNPC đã xảy ra 7 vụ hỏng MBA chiếm 10,61% tổng số sự cố TBA, con số này giảm xuống còn 4 vụ trong năm 2018 chiếm 3,48%. Bài toán giữ và hạ thấp số vụ hỏng MBA trong thời gian tới chắc chắn gặp rất nhiều khó khăn trong điều kiện thiếu hụt nguồn cung và tăng trưởng cao của các phụ tải.

#### **4.2. Thực trạng công tác phân tích và theo dõi ăn mòn lưu huỳnh trong MBA tại Việt Nam**

Năm 2018, tại EVNNPC đã thực hiện xong công tác thí nghiệm định kỳ thiết bị tại 178 trạm biến áp 110 kV trong tổng số 193 trạm cần kiểm tra theo kế hoạch trên phạm vi lưới điện toàn Tổng công ty. Trong quá trình thí nghiệm định kỳ đã phát hiện 226 tồn tại nhưng mới xử lý

xong 48 tồn tại, chiếm 21,24% [16]. Cần lưu ý rằng, các phân tích này chủ yếu là phân tích khí hoà tan (DGA) và một số phân tích khác, chưa có phân tích ăn mòn lưu huỳnh. Trong khi đó, trong các báo cáo trên thế giới cho thấy, hầu hết các sự cố liên quan đến ăn mòn lưu huỳnh đều xảy ra đột ngột, không có cảnh báo trước từ các kết quả phân tích DGA hoặc các phân tích thí nghiệm khác [2]. Thực tế này cho thấy, khối lượng công việc của Thí nghiệm điện là rất lớn để đảm bảo độ tin cậy vận hành của toàn bộ các MBA trong hệ thống, trong khi nguồn nhân lực cũng như trang thiết bị hiện tại trong lĩnh vực này chưa đáp ứng được nhu cầu.

Hiện nay, trong các phòng thí nghiệm hoá dầu của các công ty thí nghiệm điện tại Việt Nam đang sử dụng phương pháp phân tích ăn mòn lưu huỳnh theo tiêu chuẩn ASTM D1275B [14]. Tiêu chuẩn này cũng được công nhận và sử dụng rộng rãi ở nhiều nước trên thế giới, được đánh giá là nhạy hơn so với IEC 62535 [7].

Theo quy trình phân tích này, 220 ml dầu mẫu được đổ vào bình phân tích 250 ml chứa tấm đồng đã được đánh bóng. Bọt khí nitơ được sục vào mẫu dầu trong bình bằng ống thủy tinh hoặc ống thép không gỉ có đường kính trong 1,5 mm trong 5 phút với tốc độ 0,5 lít/phút. Bình chứa mẫu thử được đặt vào tủ sấy ở nhiệt độ 150°C và được lấy ra sau khi gia nhiệt 48 giờ và để nguội. Dải đồng được lấy ra khỏi bình, rửa bằng axeton hoặc dung môi thích hợp khác để loại bỏ tất cả dầu cách

điện và để khô trong không khí tự nhiên. Sau đó nhúng hoàn toàn nửa dải đồng vào dung dịch HCl và nước cất tỷ lệ 1: 1 ở nhiệt độ phòng và đợi ( $20 \pm 2$ ) phút trong khi thỉnh thoảng lắc nhẹ. Nếu cặn vẫn còn và không bị phai hoặc mất màu, thì dầu có chứa lưu huỳnh ăn mòn. Nếu cặn bị loại bỏ hoặc chuyển sang màu nâu/be, nghĩa là trong mẫu dầu thử không có lưu huỳnh ăn mòn.



Bình chứa mẫu dầu 250 ml

Thiết bị tuần hoàn trang bị bộ điều khiển nhiệt độ

Miếng đồng bị ăn mòn lưu huỳnh (trên) và không bị ăn mòn lưu huỳnh (dưới)

**Hình 4. Các dụng cụ và thiết bị phục vụ phân tích ăn mòn lưu huỳnh theo ASTM D1275B**

Dù vậy, tại Việt Nam, việc phân tích lưu huỳnh ăn mòn mới chỉ được thực hiện trên các mẫu dầu mới đối với các MBA chuẩn bị được đưa vào vận hành hoặc theo yêu cầu dịch vụ riêng lẻ của khách hàng. Như vậy, việc phân tích các mẫu dầu trong các MBA đang được vận hành trong hệ thống điện và giám sát thường xuyên mức độ ăn mòn lưu huỳnh của dầu cách điện trong MBA chưa được thực hiện. Nguyên nhân của vấn đề này nằm ở 2 khía cạnh chính như sau:

- Giá thành của phân tích lưu huỳnh ăn mòn còn tương đối cao (giá tham khảo tại Mỹ là 400 \$/lần phân tích [17]) trong khi tỷ lệ sự cố MBA liên quan đến ăn mòn lưu huỳnh tại Việt Nam được báo cáo tương đối nhỏ. Điều này khiến việc theo dõi ăn mòn lưu huỳnh trở thành gánh nặng tài chính và là khoản đầu tư hiệu quả thấp;
- Tình trạng thiếu hụt nhân lực có trình độ chuyên môn trong lĩnh vực này dẫn đến các báo cáo về nguyên nhân sự cố MBA không được đầy đủ, yếu tố ăn mòn lưu huỳnh có thể bị bỏ qua, trong bối cảnh khối lượng công việc của các đơn vị thí nghiệm điện rất lớn và việc xác định các vấn đề liên quan đến lưu huỳnh ăn mòn không dễ dàng.

## 5. KẾT LUẬN

Sự hình thành đồng và bạc sulfur trên bề mặt kim loại và đồng sulfur lắng đọng ở bề mặt giấy cách điện trong các cuộn dây MBA có thể dẫn đến các sự cố ở cách điện giấy - dầu trong các cuộn dây MBA, ảnh hưởng xấu đến độ tin cậy của hệ thống điện, thậm chí làm hư hỏng hoàn toàn thiết bị.

Cơ chế hình thành và phát triển của ăn mòn lưu huỳnh trong giấy cách điện và trên bề mặt các phần tử dẫn điện, các tiếp xúc điện, liên quan đến sự hòa tan đồng trong dầu, sự khuếch tán và hấp thụ phức hợp đồng trung gian trong cách điện giấy - dầu, nơi đồng sulfur được tạo thành trong phản ứng với các hợp chất lưu

huỳnh.

Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành và phát triển của ăn mòn lưu huỳnh trong đó nhiệt độ, nồng độ oxy trong dầu, thành phần dầu gốc và chất ức chế cũng như độ phản ứng của các hợp chất chứa lưu huỳnh là các yếu tố nổi bật nhất.

Bài báo đã đưa ra tổng quan đặc điểm và vai trò MBA trong hệ thống điện Việt Nam và nhận thấy việc phân tích, giám sát ăn mòn lưu huỳnh đối với một số MBA đang vận hành với phụ tải cao trên lưới điện Việt Nam là cần thiết để đảm bảo tình trạng tốt của cách điện trong các MBA, qua đó duy trì sự ổn định của hệ thống truyền tải và phân phối điện năng trong điều kiện phụ tải tăng mạnh và hạ tầng truyền tải điện phát triển không tương xứng.

Qua việc xem xét và đánh giá thực trạng công tác thí nghiệm điện tại Việt Nam, cụ thể là phân tích ăn mòn lưu huỳnh, cho thấy với khối lượng công việc rất lớn, nhân lực và trang thiết bị hiện có của các cơ sở Thí nghiệm điện hiện nay chưa đáp ứng được nhu cầu và cần được đầu tư nhiều hơn nữa.

## LỜI CẢM ƠN

*Tác giả xin chân thành cảm ơn ông Nguyễn Xuân Năm - Trưởng Phòng thí nghiệm hoá của Công ty TNHH MTV Thí nghiệm điện miền Bắc và 2 kỹ sư Đặng Quốc Hoàn, Phạm Minh Hoàng - Công ty Thí nghiệm điện miền Nam, đã nhiệt tình giúp đỡ trong quá trình thực hiện bài viết này.*

## TÀI LIỆU THAM KHẢO



- [1] Lance R. Lewand. The role of corrosive sulfur in transformers and transformer oil. Doble Engineering Company, 2002.
- [2] Paul J. Griffin and Lance R. Lewand. Understanding corrosive sulfur problems in electric apparatus. 74th Annual International Doble Client Conference, 2007.
- [3] Paul J. Griffin and Lance R. Lewand. An update on understanding corrosive sulfur problems in electric apparatus. 75th Annual International Doble Client Conference, 2008.
- [4] F. Scatiggio, V. Tumiatti, R. Maina, M. Tumiatti, M. Pompili and R. Bartnikas. Corrosive Sulfur in Insulating Oils: Its Detection and Correlated power apparatus failures. IEEE Transactions on power delivery. Vol. 23, No. 1, January 2008.
- [5] T. Amimoto; E. Nagao; J. Tanimura; S. Toyama; Y. Fujita; H. Kawari; N. Yamada. Identification of Affecting Factors of Copper Sulfide Deposition on insulating Paper in Oil. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2009, 16, 509.
- [6] Jelena M. Lukic, Srdjan B. Milosavljevic and Aleksandar M. Orlovic. Degradation of the Insulating System of Power Transformers by Copper Sulfide Deposition: Influence of Oil Oxidation and Presence of Metal Passivator. Ind.Chem.Res. 2010, 49, 9600-9608.
- [7] R. Maina, Vincenzo Tumiatti, Massimo Pompili, Raymond Bartnikas. Corrosive sulfur effects in Transformer Oils and Remedial procedures. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. January 2010.
- [8] Jian Li, Zhiman He, Lianwei Bao and Lijun Yang. Influences of Corrosive Sulfur on Copper Wires and Oil-Paper Insulation in Transformers. Energies 2011, 4, 1563-1573; doi:10.3390/en4101563.
- [9] S. Kamishima, T. Ito, Y. Morishima. Change in Corrosivity of Insulating Oil Caused by Oxidative Deterioration of the Oil. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.19, No.2; April 2012.
- [10] P.S. Amaro, A.F. Holt, M. Facciotti, J.A. Pilgrim, P.L. Lewin, R.C.D. Brown, G. Wilson and P.N. Jarman. Impact of Corrosive Sulfur in Transformer Insulation Paper. 2013 Electrical Insulation Conference, Ottawa, Ontario, Canada, 2 to 5 June 2013.
- [11] M. Facciotti, et.al. Contact-based corrosion mechanism leading to copper sulphide deposition on insulating paper used in oil-immersed electrical power equipment. Corrosion Science, 84, 172-179 (2014), doi:10.1016/j.corsci.2014.03.024.
- [12] Copper sulphide long term mitigation and risk assessment. ISBN: 978-2-85873-328-6. CIGRE TB 625, July 2015.
- [13] Ricardo Manuel Arias Velasquez, Jenifer Vanessa Mejia Lara. Corrosive Sulfur effect in power and distribution transformers failures and treatments. Engineering Failure Analysis 92 (2018) 240-267.
- [14] ASTM D1275. Standard test method for corrosive sulfur in electrical insulating liquids.
- [15] Báo cáo thường niên năm 2018 của Tập đoàn Điện lực Việt Nam.
- [16] Lê Khắc Lâm, Trần Thanh Hải, Phạm Minh Hoàng. Đánh giá tình trạng máy biến áp truyền tải theo nồng độ methanol trong dầu biến áp: khảo sát và nghiên cứu ứng dụng tại Việt Nam. Kỷ yếu Hội nghị Tự động hoá Công nghiệp và Truyền thông, Lần thứ 12-2019, tr. 36-41.
- [17] <https://www.petrolube.com/price-list-catalog/astm-d1275-4250/>

### Giới thiệu tác giả:



Tác giả Lê Khắc Lâm bảo vệ luận án Tiến sỹ tại Đại học Năng lượng Matxcova (MPEI), Liên bang Nga, chuyên ngành Kỹ thuật điện cao thế năm 2018. Hiện nay tác giả là giảng viên Khoa Kỹ thuật điện - Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: công nghệ chế tạo máy điện và thiết bị điện, cách điện trong máy điện và hệ thống điện, chống sét cho đường dây và trạm điện.

