

PHÓNG ĐIỆN CỤC BỘ (PD) VÀ ỨNG DỤNG THIẾT BỊ CÔNG NGHỆ CỦA HÃNG OMICRON ĐỂ ĐO PD MÁY BIẾN ÁP

PARTIAL DISCHARGE AND APPLICATION OF OMICRON'S TECHNOLOGY EQUIPMENT TO MEASUREMENT OF PARTIAL DISCHARGE OF TRANSFORMERS

Đoàn Anh Tuấn¹, Đào Minh Kính²

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; datuan@dut.udn.vn

²Công ty Cổ phần Điện lực Khánh Hòa (KHPC); kinhkhpc@gmail.com

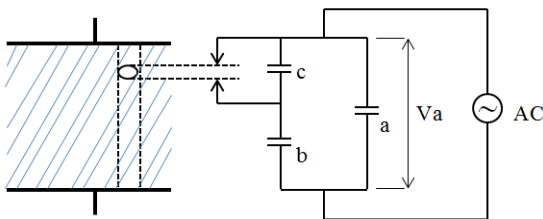
Tóm tắt - Hiện nay, ứng dụng các công nghệ thí nghiệm chẩn đoán trong công tác đề phòng sự cố đối với ngành điện đang dần trở thành xu thế mới trên thế giới. Khi các phương pháp thí nghiệm thông thường chỉ kết luận thiết bị đủ hoặc không đủ điều kiện vận hành thì phương pháp thí nghiệm chẩn đoán sẽ cho phép đánh giá thiết bị một cách chi tiết hơn, giúp phát hiện và dò tìm điểm yếu của cách điện để từ đó đề ra kế hoạch sửa chữa, bảo trì, bảo dưỡng hợp lý. Các công nghệ chẩn đoán này cho thấy hiệu quả và ưu điểm vượt trội so với các thí nghiệm thông thường. Ứng dụng các công nghệ thí nghiệm chẩn đoán sự cố mà điển hình là đánh giá tình trạng phóng điện cục bộ (PD) của thiết bị điện là hết sức cần thiết. Bài báo này giới thiệu lý thuyết về PD, ảnh hưởng của PD đối với cách điện của thiết bị và ứng dụng thiết bị công nghệ của hãng OMICRON vào việc đo, phân tích, đánh giá hiện tượng PD đối với máy biến áp (MBA) trong trạm 110 kV.

Từ khóa - thí nghiệm; phóng điện cục bộ (PD); chẩn đoán cách điện; chẩn đoán sự cố; công nghệ chẩn đoán cách điện.

1. Các vấn đề về PD

1.1. Hiện tượng PD trong điện môi

Theo IEC 60270 [2], PD là hiện tượng phóng điện đánh thủng điện môi cục bộ dưới tác dụng của ứng suất điện áp cao, nó chỉ xảy ra cục bộ, nối tắt một phần giữa các điện cực. PD thường xảy ra tại các vị trí khiếm khuyết (bọc khí, nứt, gãy...) trong môi trường cách điện khi điện trường đạt tới một giá trị nhất định nào đó. Mặc dù PD chỉ diễn ra trong một phạm vi hẹp (cục bộ) với một cường độ yếu, nhưng khi đã phát sinh sẽ dần dần phát triển và có thể dẫn tới phá hủy toàn bộ cách điện.



Hình 1. Mô hình mô phỏng mạch tương đương của PD

Hình 1 mô phỏng mạch tương đương của PD, với điện dung **a** tượng trưng cho phần cách điện tốt (the healthy part of the insulation), **b** tượng trưng cho điện dung của điện môi mắc nối tiếp với điện dung của bọc khí (hoặc lỗ trống) **c** trong cách điện. **V_a** là điện áp đặt trên toàn bộ cách điện.

1.2. Ảnh hưởng của PD trong hệ thống cách điện

Ảnh hưởng của PD bên trong thiết bị điện nói chung là rất nghiêm trọng, có thể dẫn đến phá hủy hoàn toàn hệ thống cách điện hay thiết bị điện. Ngoài ra, ảnh hưởng của PD trong điện môi rắn là hình thành nhiều nhánh phóng điện

Abstract - Today, the application of diagnostic testing technologies to the prevention of incidents for the power sector is gradually becoming a new trend in the world. While conventional testing methods only assess whether the equipment can operate or not, diagnostic testing methods more detailedly evaluate the operation status of the equipment, assisting in detecting weaknesses so that reasonable plans for repairs and maintenance can be proposed to prevent incidents effectively. These technologies have demonstrated their effectiveness and outstanding advantages compared to the conventional ones. The application of diagnostic testing technologies to the prevention of incidents, especially assessing status of partial discharge (PD) for equipment is crucial. This paper introduces general theory of PD, its influence on the device's insulating system and application of OMICRON equipment to measuring, analyzing PD phenomena for transformers in 110 kV substations.

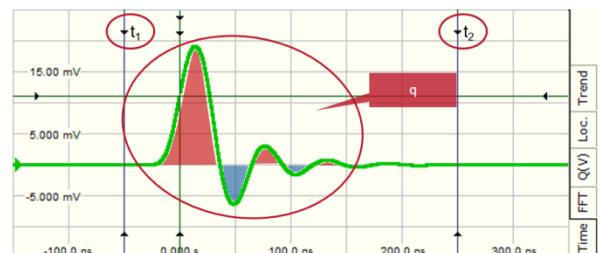
Key words - experiment; partial discharge; insulation diagnosis; fault diagnosis; insulation diagnostic technology.

khác nhau, dẫn đến việc xuất hiện những kênh phóng điện, quá trình này gọi là *cây điện*. Quá trình phóng điện lặp đi lặp lại sẽ dẫn đến sự hư hỏng về cơ khí và phá hủy tính chất hóa học của vật liệu cách điện. Sự biến đổi hóa học của điện môi cũng có khuynh hướng làm gia tăng tính dẫn điện của điện môi. Sự gia tăng ứng suất điện trong các khe hở càng làm đẩy nhanh hơn tiến trình phá hủy cách điện.

1.3. Đo PD theo miền thời gian và miền tần số (Time domain vs Frequency domain)

PD là tập hợp những xung phóng điện có thời gian rất ngắn, thường nhỏ hơn 1 μ s [3], và được biểu diễn bằng tích phân của dòng điện theo thời gian.

$$q = \int_{t_1}^{t_2} i(t)dt = \frac{1}{R} \int_{t_1}^{t_2} u(t)dt \quad (1)$$

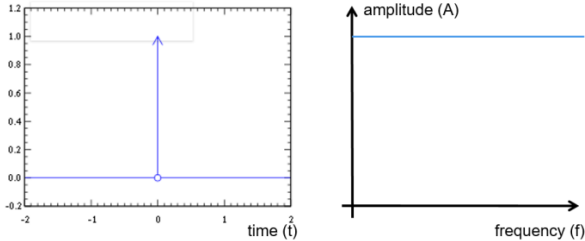


Hình 2. Mô tả một xung phóng điện theo miền thời gian

Miền thời gian cho biết giá trị của điện tích phóng điện cục bộ **q** theo thời gian, cho ta hiểu rõ hơn về bản chất vật lý của PD. Biểu diễn PD theo miền thời gian có những ứng dụng hiệu quả trong việc định vị nguồn PD theo phương pháp phản xạ miền thời gian (TDR).

Hạn chế của biểu diễn PD theo miền thời gian là rất khó để phân tích các dạng phóng điện khác nhau, cũng như việc xử lý tín hiệu hiệu quả bằng những kỹ thuật điện tử tiên tiến.

Dựa vào phép biến đổi Fourier, một tín hiệu PD ở miền thời gian có thể được biểu diễn sang miền tần số (frequency domain). Cơ sở của việc chuyển từ miền thời gian sang miền tần số là dựa trên mô hình về xung DIRAC lý tưởng và phép biến đổi Fourier: xung DIRAC sẽ được giữ nguyên biên độ trên toàn miền tần số.



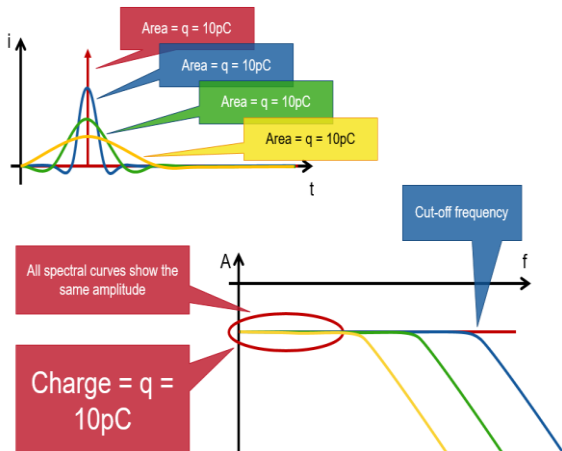
Hình 3. Xung DIRAC giữ nguyên biên độ khi chuyển từ miền thời gian sang miền tần số

Công thức Fourier liên tục từ một hàm số ở miền thời gian $f(t)$ sang miền tần số $f(\omega)$:

$$f(t) = F^{-1}(F)(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (2)$$

Tương tự, có thể biểu diễn các dạng xung khác nhau nhưng có biên độ như nhau ở miền thời gian sang miền tần số [4].

Như vậy, một xung PD khi chuyển từ miền thời gian sang miền tần số sẽ có biên độ không đổi ở một dải tần nào đó, điều này cho phép sử dụng các kỹ thuật xử lý tín hiệu theo tần số để phân tích PD. Việc chọn dải tần số đo sẽ đóng vai trò quyết định trong việc phân tích PD. Mỗi dạng phóng điện trong các loại cách điện khác nhau (SF₆, epoxy, XLPE...) sẽ có một dải tần thích hợp được khuyến cáo lựa chọn để thực hiện phép đo. Việc thu nhận tín hiệu ở dải tần nào sẽ do các coupling sensors (Coupling capacitor, HFCT, UHF...) tương ứng đảm nhiệm.



Hình 4. Biểu diễn các xung khác nhau nhưng có giá trị điện tích như nhau từ miền thời gian sang miền tần số

1.4. Lợi nhuận

Vấn đề lớn nhất của đo PD là nhiễu tín hiệu. Đặc biệt, trong trường hợp đo PD online, có rất nhiều nhiễu khác

nhau có thể xếp chồng tín hiệu PD thực đo biên độ tín hiệu nhiễu quá lớn. Do đó, việc xác định tín hiệu PD thực từ tín hiệu đo được đi kèm với nhiễu giữ vai trò quyết định trong nhận dạng PD xảy ra hay không, cũng như để phân loại sự cố [5]. Nhiều loại nhiễu có thể nhận biết được và loại bỏ bằng cách xử lý tín hiệu và các phương pháp khác nhau.

2. Sử dụng thiết bị hãng OMICRON để đo PD máy biến áp 110 kV

2.1. Các thiết bị đo được sử dụng của hãng OMICRON

- 01 bộ MPD 600 + MCU 502 + MPP 600 + HFCT cùng các phụ kiện đầu nối [1].

- 01 bộ PDL 650 + PDL 550 + MPP 600 + 04 cảm biến AES075 với tần số cộng hưởng 75 kHz, dải tần 30-120 kHz cùng các phụ kiện đầu nối; phần mềm đi kèm [2].

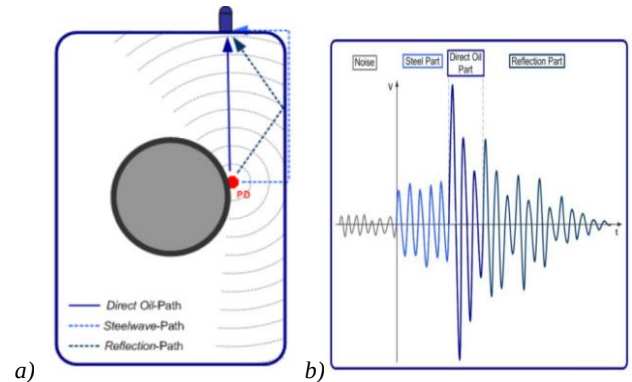
2.2. Phương pháp đo

2.2.1. Phương pháp điện (Electrical)

Cơ sở lý thuyết của phương pháp điện được quy định chi tiết trong IEC 60270. Thiết bị được sử dụng trong hạng mục này dựa trên nguyên lý đo theo IEC 60270. Sử dụng HFCT gắn vào tiếp địa của MBA để đo giá trị điện tích biểu kiến của nguồn PD, đồng thời làm tín hiệu kích hoạt cho các cảm biến âm thanh định vị điểm PD. Tuy nhiên, hạn chế của phép đo khi gắn vào tiếp địa của MBA là chịu ảnh hưởng nhiều bởi nhiễu nền, nên phương pháp này chỉ sử dụng tín hiệu PD đo được để kích hoạt (trigger) cho phương pháp âm thanh.

2.2.2. Phương pháp âm thanh (Acoustic)

PD trong MBA được đo lường bằng cảm biến áp - điện trong dải tần vài chục kHz đến vài trăm kHz.



Hình 5. Các đường lan truyền cơ bản từ nguồn PD đến vị trí đặt sensor đối với MBA (thiết bị thử DUT) và các thành phần tín hiệu PD theo đường lan truyền

Có 3 đường lan truyền cơ bản từ nguồn PD đến vị trí đặt sensor (Hình 5a):

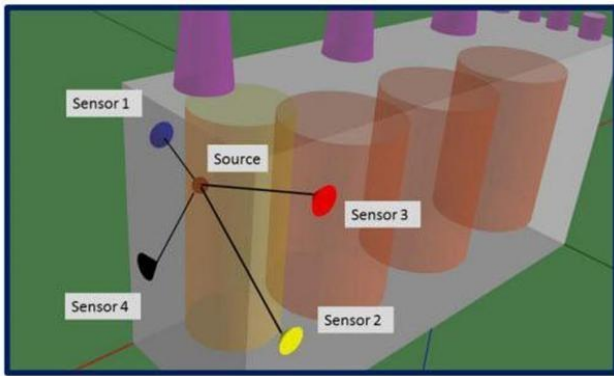
- *Lan truyền trực tiếp trong dầu (Direct oil-path):* Tín hiệu suy hao ít do đó biên độ tín hiệu lớn nhất, thời gian tín hiệu đến sensor chậm hơn so với lan truyền trong thép (vận tốc âm thanh truyền trong thép lớn hơn dầu).

- *Lan truyền trong thép (Steelwave-path):* Tín hiệu bị suy hao lớn nên biên độ nhỏ nhất, thời gian tín hiệu đến sensor sớm nhất.

- *Lan truyền phản xạ (Reflection-path):* Biên độ tín hiệu thành phần phản xạ lớn hơn biên độ tín hiệu lan truyền

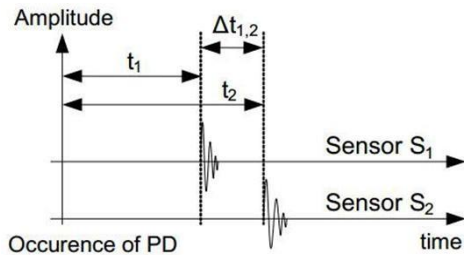
trong thép, nhỏ hơn biên độ tín hiệu lan truyền trong dầu và thời gian tín hiệu đến sensor chậm nhất (Hình 5b).

Định vị nguồn PD: Sử dụng 4 cảm biến âm thanh gắn vào thùng MBA để thu nhận tín hiệu từ nguồn PD (Hình 6).



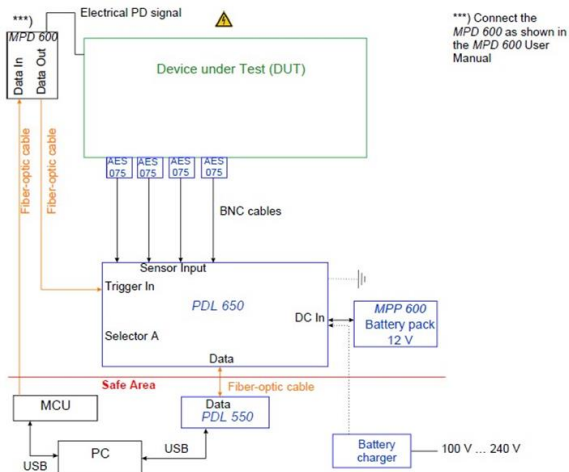
Hình 6. Nguyên lý định vị nguồn PD bằng phương pháp âm thanh

Thời gian từ vị trí nguồn PD đến các vị trí cảm biến khác nhau dẫn đến chênh lệch thời gian ($\Delta t_{1,2}$). Khi kích hoạt (trigger) một trong các cảm biến (hoặc kích hoạt bằng thiết bị đo PD điện - MPD 600) thu được các khoảng thời gian từ nguồn PD đến các cảm biến khác nhau. Thuật toán dựa vào khoảng thời gian chênh lệch này cùng với vận tốc âm thanh di chuyển trong thùng MBA để tính toán khoảng cách từ nguồn PD đến vị trí đặt cảm biến, từ đó đưa ra tọa độ chính xác nguồn PD (Hình 7).



Hình 7. Sơ đồ thể hiện thời gian tuyệt đối và tương đối từ nguồn PD đến sensor

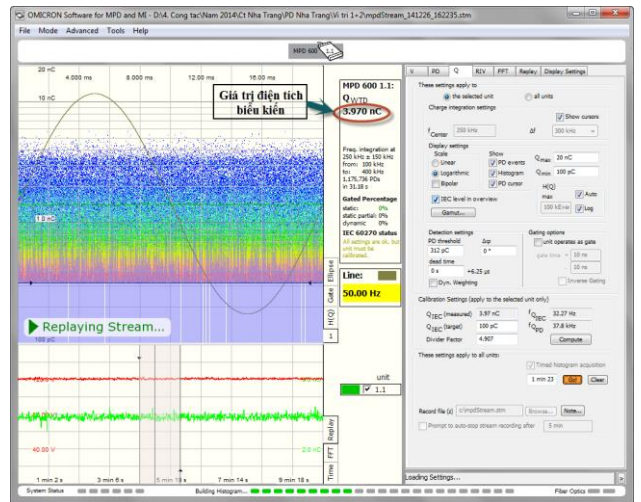
2.3. Sơ đồ đầu nối



Hình 8. Sơ đồ đo và định vị nguồn PD sử dụng thiết bị PDL 650 kết hợp MPD 600

2.4. Kết quả đo

* **Kết quả đo bằng thiết bị MPD 600** (Hình 9)

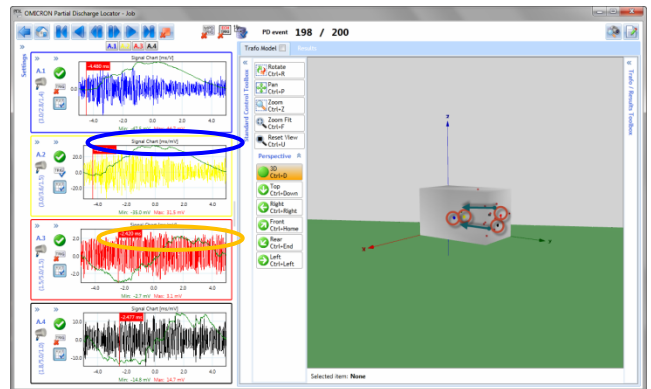


Hình 9. Tín hiệu PD đo được bằng phương pháp điện với giá trị điện tích biểu kiến

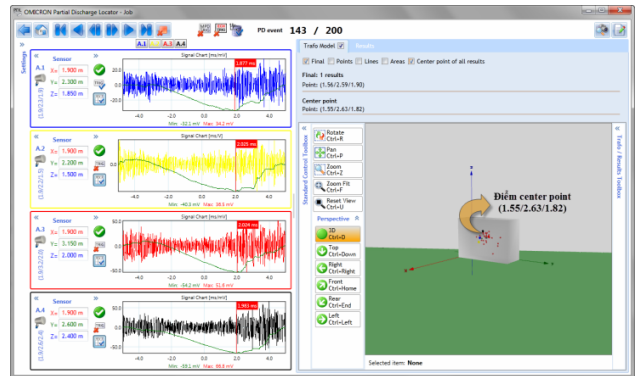
Giá trị biên độ PD chỉ mang mục đích tham khảo cho các phép đo trong tương lai.

* **Kết quả đo bằng thiết bị PDL 650**

- Vị trí 1: Ban đầu đặt ngẫu nhiên 4 cảm biến trên MBA, vị trí như Hình 10.



Hình 60. Tín hiệu PD khi chưa dịch chuyển sensor

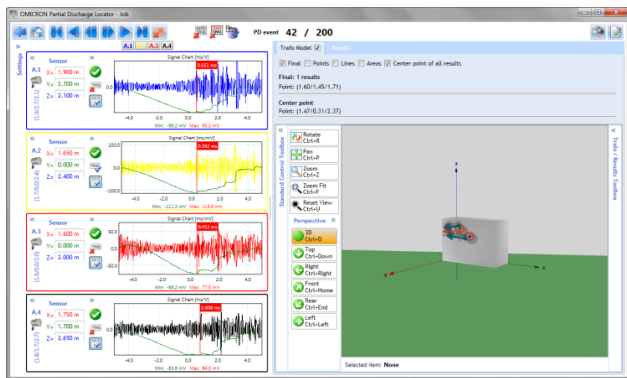


Hình 7. Kết quả vị trí phóng điện cục bộ thứ nhất (trigger bằng cảm biến xanh)

Dựa vào dạng tín hiệu PD (Hình 10), thấy 2 sensor xanh và vàng có tín hiệu dạng PD theo lý thuyết và mức năng lượng có giá trị tương đối lớn (sensor xanh ~100 mV (min -47,5 mV, max +44,7 mV); sensor vàng ~70 mV (min -35 mV, max +32,5 mV)), 2 sensor đỏ và đen tín hiệu

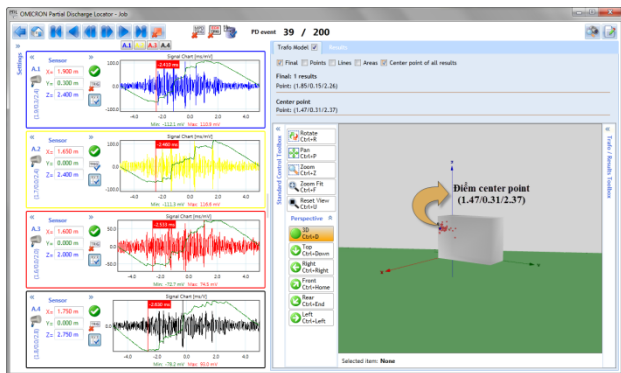
PD không rõ ràng, mức năng lượng thấp. Do đó di chuyển sensor đỏ và đen lại gần vị trí sensor xanh và vàng tìm được vị trí nguồn PD thứ nhất như Hình 11.

- Vị trí 2: Sau khi tìm được vị trí 1, tiếp tục dò sensor sang các vị trí khác (Hình 12).



Hình 8. Tin hiệu PD khi chưa dịch chuyển sensor

Tại tọa độ (1.65/0.00/2.4) (Hình 12), sensor màu vàng có tín hiệu dạng PD theo lý thuyết và mức năng lượng tương đối lớn (~200 mV (min -111,3 mV, max +115 mV)). Do đó, di chuyển các sensor khác lại gần sensor vàng tìm được vị trí PD thứ 2 như Hình 13.



Hình 13. Kết quả vị trí phóng điện cục bộ thứ hai (trigger bằng cảm biến vàng)

2.5. Kết luận

MBA 110 kV trên có 2 điểm phóng điện cục bộ ở mức độ thấp:

- Vị trí 1: Tọa độ (1.55/2.63/1.82), điểm PD nằm dưới chân sứ pha A.

- Vị trí 2: Tọa độ (1.47/0.31/2.37), điểm PD nằm dưới chân sứ pha C.

Ngoài phương pháp đo PD nói trên, trong thực tế, để có thêm cơ sở phân tích đánh giá tình trạng MBA, có thể sử dụng bổ sung các phương pháp đo kết hợp khác như: Đo

đáp ứng tần số quét (so sánh dấu vân tay) và đo hàm lượng ẩm trong cách điện rắn MBA, v.v...

3. Kết luận

Các công nghệ đo phóng điện cục bộ áp dụng vào đối tượng MBA 110 kV và cáp ngầm trung thế để đánh giá hiện trạng cách điện phục vụ công tác vận hành và bảo trì sửa chữa đã được áp dụng rộng rãi trên thế giới nhưng hiện nay mới được quan tâm, áp dụng ở Việt Nam. Từ đó có giải pháp xử lý để chủ động ngăn ngừa, giảm thiểu sự cố, giảm thời gian mất điện và tăng độ tin cậy cung cấp điện của hệ thống.

Việc nghiên cứu và ứng dụng các công nghệ đo PD nói riêng và các công nghệ chẩn đoán phóng điện nói chung bước đầu đã cho thấy hiệu quả thiết thực trong công tác dự báo, phòng ngừa sự cố, nâng cao độ tin cậy cung cấp điện. Các phương pháp đo PD truyền thống và phi truyền thống có thể được sử dụng linh hoạt cho các thiết bị điện khác nhau, phù hợp với đặc thù cấu tạo, phương thức vận hành và môi trường hoạt động của từng vật tư thiết bị (MBA, cáp ngầm, tủ điện, ...). Việc ứng dụng các công nghệ mới như đo PD đòi hỏi phải có quá trình thực tế, đúc kết kinh nghiệm, so sánh đối chiếu với tiêu chuẩn đo PD theo khuyến cáo của các nhà sản xuất để đưa ra các tiêu chuẩn nội bộ.

Với việc áp dụng và triển khai công nghệ đo PD của hãng OMICRON trong chẩn đoán PD MBA 110 kV đã giúp phát hiện được mức độ PD xảy ra bên trong MBA. Từ đó có giải pháp cô lập xử lý, theo dõi trong vận hành, tránh được nguy cơ sự cố xảy ra, lan rộng gây thiệt hại to lớn về mặt kinh tế và giảm độ tin cậy cung cấp điện (sản lượng điện không phân phối được do xảy ra sự cố, mất điện diện rộng làm ảnh hưởng đến sản xuất, kinh doanh của khách hàng, ...).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tài liệu hội thảo của hãng OMICRON do Công ty Cổ phần ENTEC Kỹ thuật năng lượng tổ chức cho cán bộ kỹ thuật của các công ty điện lực về phóng điện và PD cáp ngầm, tháng 9/2013.
- [2] IEC 60270 High-voltage test techniques - Partial discharge measurements Edition 3.1, 2015.
- [3] PD-IEC-62478 High voltage test techniques. Measurement of partial discharges by electromagnetic and acoustic methods, Edition 1.0 2016-08.
- [4] Sung In Cho, *On-Line PD (Partial Discharge) Monitoring of Power System Components*, Master Thesis, Aalto University School of Electrical Engineering in Espoo, September 2011.
- [5] IEEE Std 400.2 IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF) (less than 1 Hz) Edition 2, 2013.

(BBT nhận bài: 11/09/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 02/10/2017)