

Trải nghiệm đầu tiên với hình ảnh sóng âm của PD trên thiết bị cao áp

Greg C. Stone

Iris Power-Qualitrol
Mississauga, Canada
gstone@qualitrolcorp.com

Mladen Sasic

Iris Power-Qualitrol
Mississauga, Canada
msasic@qualitrolcorp.com

Christoph Wendel

Verkehrsbetriebe Zurich
Zurich, Thụy Sĩ
christoph.wendel@vzbz.ch

A. Shaikh

Kinectrics
Toronto, Canada
ashfak.shaikh@kinectrics.com

Tóm tắt

Micro siêu âm có hướng được sử dụng trong hàng thập kỷ để định vị phóng điện cục bộ bề mặt và phóng điện vàng quang trong thiết bị điện áp cao. Tuy nhiên, luôn có sự không chắc chắn nhất định về vị trí chính xác của điểm phóng điện do phản xạ và trường nhìn của máy dò. Ngoài ra, việc quét toàn bộ cuộn dây cần thời gian. Gần đây, công nghệ này đạt được bước tiến lớn với sự phát triển thương mại của “máy chụp ảnh” bằng sóng âm có thể hiển thị vị trí âm thanh của đối tượng kiểm tra. Đó là thiết bị tạo ra ảnh âm thanh của PD trên đối tượng kiểm tra, giống như cách máy ảnh UV định vị ánh sáng cực tím từ PD trên ảnh của đối tượng kiểm tra. Máy chụp ảnh bằng sóng âm tận dụng ưu thế của micro dải rộng và có khả năng hiển thị tín hiệu âm thanh theo phạm vi tần số, có thể chọn được trong phạm vi siêu âm và âm thanh. Tính hiệu quả của dụng cụ mới này được đánh giá dựa trên đối tượng kiểm tra phóng điện vàng quang, cũng như cuộn stato với PD đã biết. Dải phát hiện phóng điện bề mặt tối ưu có vẻ từ 30 đến 50 kHz. PD cường độ cao dạng lỗ khí cũng có thể được phát hiện, mặc dù ở tần số thấp hơn PD bề mặt. Vị trí chính xác của nhiều điểm phóng điện được xác định nhanh trong các đối tượng kiểm tra khác nhau.

Giới thiệu

Phát hiện phóng điện cục bộ (PD) và phóng điện vàng quang trực tiếp bằng cách sử dụng tụ điện cao áp hoặc máy biến áp tần số cao đã được sử dụng từ những năm 1940 để tìm các lỗ hỏng cách điện trong thiết bị mới và để đánh giá tình trạng cách điện của thiết bị điện áp cao đang hoạt động. Việc kiểm tra như vậy không thể phát hiện vị trí chính xác của PD trong thiết bị điện áp cao. Vị trí PD trước đây được thực hiện bằng cách sử dụng đầu dò RF âm thanh và quang [1, 2].

Đầu dò RF, đôi khi gọi là TVA hay đầu dò phóng điện vàng quang, phát hiện các tín hiệu vô tuyến mà PD phát ra và tín hiệu phóng điện vàng quang. Thiết bị có thể phát hiện cả PD bề mặt và phóng điện vàng quang, cũng như PD trong hệ thống cách điện của đối tượng kiểm tra. Việc phát hiện bằng phương pháp quang học PD bề mặt và phóng điện hoa ban đầu được thực hiện bằng mắt người bằng cách cảm nhận ánh sáng phát ra từ phóng điện. Có thể tăng độ nhạy với PD bằng cách tắt đèn (kiểm tra “cúp điện” hoặc “tắt đèn”) hoặc thực hiện kiểm tra vào ban đêm, nếu ở ngoài trời. Trong phòng tối, bộ nhân quang điện có thể được sử dụng để đạt độ nhạy cao hơn nữa. Vào những năm 1970, bộ tăng cường ảnh hoạt động trong phạm vi nhìn thấy đôi khi được sử dụng trong phòng tối và bên ngoài vào ban đêm. Vào cuối những năm 1990, một thiết bị mới được phát minh có thể tạo ảnh chụp nhanh hoặc ảnh video của PD bề mặt trong phạm vi tia cực tím [3]. Đây là tiến bộ vượt bậc vì thiết bị này cho phép chúng ta nhìn thấy tín hiệu quang PD bề mặt trong phòng được chiếu sáng hoặc ngoài trời vào ban ngày với ánh sáng bình thường của đối tượng kiểm tra. Điều này tăng đáng kể khả năng định vị PD và phóng điện vàng quang trên đối tượng kiểm tra an toàn cho người vận hành và dễ dàng tạo thư mục lưu trữ. Những máy ảnh UV như vậy ngày nay được sử dụng rộng rãi để phát hiện phóng điện vàng quang trạm biến áp và đường truyền, với những điểm cải thiện về kỹ thuật xảy ra nhanh trong những năm 2000.

Từ khóa

Vàng quang
Phóng điện cục bộ
Tạo ảnh bằng sóng âm

Tương tự, định vị siêu âm của PD và phóng điện vàng quang trước tiên được thực hiện bằng tay người và khoanh vùng giới hạn có thể thực hiện. Sau đó, micro định hướng trong phạm vi âm thanh được áp dụng để định vị điểm PD tốt hơn. Tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu PD được cải thiện với sự phát triển của micro siêu âm định hướng vào những năm 1960. PD và phóng điện vàng quang tạo đầu ra lớn hơn trong tần số siêu âm, đặc biệt là trong khu vực 35-50 kHz (Hình 1) [4]. Tuy nhiên, luôn có vấn đề với vị trí chính xác do mở rộng trường nhìn với khoảng cách, cũng như phản xạ từ bề mặt cứng, phẳng.

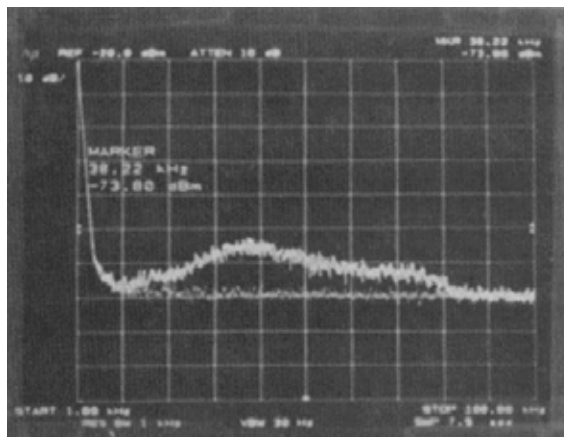
Trong năm qua, một công nghệ âm thanh mới đã xuất hiện. Đó là máy chụp ảnh bằng sóng âm có hàng chục micro nhỏ xíu được kết hợp để tạo ảnh của nguồn âm thanh, được chồng lên ảnh thật của đối tượng kiểm tra [5]. Máy ảnh ban đầu được phát triển để phát hiện rò rỉ khí nhưng cũng có thể được dùng để định vị phóng điện bề mặt. Máy chụp ảnh bằng sóng âm được đánh giá, Fluke ii910 có 64 micro hoạt động trong phạm vi 2 - 50 kHz hoặc 2 - 100 kHz. Người vận hành có thể chọn băng thông từ 5 đến 20 kHz và bất kỳ tần số trung tâm nào trong phạm vi này qua màn hình cảm ứng. Bình thường, thiết bị có thể phát hiện ảnh âm thanh từ các đối tượng cách 0,5 đến 100 m, nghĩa là bạn có thể sử dụng thiết bị an toàn để phát hiện PD và phóng điện vàng quang ở nơi có điện áp cao. Mức âm thanh được đo bằng dB và có một thang đo theo mã màu dành cho mức âm thanh. Thiết bị đặc biệt này có một chế độ mà trong đó mức âm thanh so với chu kỳ 50/60 Hz AC suy ra có thể được đo, tạo ra kiểu PRPD âm học. Cả ảnh chụp nhanh và video có thể được ghi ở các định dạng tiêu chuẩn công nghiệp.

Trong tài liệu này, tính hiệu quả của máy chụp ảnh bằng sóng âm để định vị PD bề mặt và phóng điện vàng quang được đánh giá bằng cách sử dụng đối tượng kiểm tra phóng điện vàng quang -bề mặt và nhiều cuộn stato và đối tượng kiểm tra cuộn stato. Cụ thể là những điều sau được xác định:

- Tần số phát hiện tối ưu
- Ảnh hưởng của khoảng cách lên đối tượng kiểm tra
- So sánh PDIV được đo bằng máy ảnh UV và máy chụp ảnh bằng sóng âm.

Đối tượng và thiết bị kiểm tra

Đối tượng kiểm tra phóng điện vàng quang (T1) có hình học điểm-mặt phẳng. Bán kính điểm khoảng 250 μm , và khoảng cách giữa điểm và mặt phẳng đất là 25 mm. PDIV xấp xỉ bằng 6 kV rms, ac. Điều này tương tự với đối tượng kiểm tra phóng điện vàng quang được mô tả trong IEEE 1799 [6].



Hình 1. Phân hồi âm thanh của PD bề mặt so với tần số (đường mờ là nhiễu nền khi điện áp tắt). Thang đo dọc là 10 dBm/div và thang đo ngang đi từ 1 kHz đến 100 kHz. Micro B&K 4135 được dùng có phản hồi phẳng đến 100 kHz. [4].

Các đối tượng kiểm tra cuộn stato khác nhau cũng được sử dụng. T2 là cuộn 13,8 kV đã trải qua kiểm tra khả năng chịu điện áp. Lớp phủ bán dẫn rãnh PD (OCP) bị suy giảm chất lượng nghiêm trọng với số vị trí mà chất bán dẫn biến mất do PD bề mặt. Cuộn cũng bị giảm chất lượng ở lớp phủ silicon cacbua/mặt liên kết lớp phủ chất bán dẫn. Cuộn được gắn trong rãnh nối đất giả.

Đối tượng kiểm tra T3 là một tập hợp ba cuộn được định mức pha đến pha 2,4 kV và có lớp phủ chất bán dẫn đặc biệt trên một chân cuộn trong rãnh, có thể được nối đất hoặc để nổi. Ba cuộn được nối với nguồn cấp AC ba pha. Các cuộn có PD lỗ khí bên trong khu vực rãnh. Bằng cách di chuyển cuộn tương ứng với nhau, PD pha đến pha cũng có thể được tạo trong khu vực đầu cuộn.

Đối tượng kiểm tra T4 từ cuộn đã được thử nghiệm kiểm tra nhiệt, trong đó các dây dẫn bằng đồng được tách ra khỏi lớp cách điện của tiếp đất. Điều này tạo PD tách lớp bên trong. Thanh dẫn cũng có một số hư hỏng nhỏ ở lớp phủ nén. Thanh dẫn có điện áp định mức 11 kV.

Đối tượng kiểm tra T5 là cuộn stato động cơ được định mức 6 kV. Nguồn PD ở chỗ ra rãnh không được xác định trước khi kiểm tra và có thể được định vị bằng máy chụp ảnh bằng sóng âm.

PD điện được đo bằng PDTech DeltaMaxx hoạt động ở phạm vi tần số thấp (IEC 60270). Ngoài máy chụp ảnh bằng sóng âm, ảnh cực tím từ nguồn cũng được đo bằng máy ảnh OFIL DayCor Superb.

Tần số phát hiện

Cả đối tượng kiểm tra T1 và T2 được sử dụng để tìm tần số tốt nhất nhằm phát hiện PD giữa nhiều âm thanh. Đối với T1, khoảng cách giữa đối tượng kiểm tra và máy ảnh là từ 1 đến 8 m. Đối tượng kiểm tra T2 là 2 đến 4 m. Hình 2 hiển thị máy ảnh được sử dụng với đối tượng kiểm tra cuộn T2. Trong tất cả các trường hợp, đối tượng kiểm tra được vận hành ở điện áp ổn định trong 5 phút trước khi tạo ảnh, để đảm bảo nguồn PD/phóng điện hoa ổn định. Tần số trung tâm từ 10 kHz đến 90 kHz trong bước 10 kHz với băng thông ± 5 kHz được chọn.

Hình 3 hiển thị ảnh âm học được ghi cách đối tượng kiểm tra điểm-mặt phẳng 2 m và 8 m, ở mức điện áp 10 kV rms, trên PDIV. Chu kỳ màu cầu vồng nằm ở tâm của phóng điện hoa. Ảnh cho thấy mức âm thanh cao nhất ở dB ở góc trên bên phải ảnh. Mức âm thanh tối đa là 24 dB ở 2 m và 12 dB ở 8 m đối với cùng điện áp được áp dụng được đo từ 35-45 kHz. Máy chụp ảnh bằng sóng âm có một tính năng tự động định vị nguồn âm thanh trong phạm vi tần số đã chọn và xác định khoảng cách từ nguồn PD đến máy ảnh. Tuy nhiên, Hình 3b cho thấy thiết lập đặc biệt này, nguồn phóng điện vàng quang không được phát hiện tự động ở 8 m (nguồn được tự động định vị ở khoảng cách đến 6 m).

Bảng 1 cho thấy dải tần số so với mức âm thanh PD ở đơn vị dB ở ba khoảng cách cho đối tượng kiểm tra điểm-mặt phẳng (T1), ở 10 kV rms. Độ lớn của PD được ghi bằng máy dò PD truyền thống là 10 nC. Cột thứ hai cho thấy mức âm thanh được ghi khi điểm-mặt phẳng không được cấp năng lượng và do đó không có phóng điện vàng quang. “Mức nhiễu” này phụ thuộc vào môi trường nhiễu và không phụ thuộc vào khoảng cách từ đối tượng kiểm tra. Trên 75 kHz, mức âm thanh tương tự dù điện áp bật hay tắt. Trong phạm vi 5-15 kHz, ảnh âm học có nhiều “đốm màu” lớn trên ảnh, có lẽ là do nhiễu nền, và do đó không thể xác định



Hình 2.
Ảnh máy chụp ảnh bằng sóng âm đang được sử dụng để phát hiện PD trên cuộn T2.



(3a)



(3b)

Hình 3.
Hình ảnh sóng âm của phóng điện vàng quang được ghi ở 2 m (a) và 8 m (b) từ đối tượng kiểm tra T1 ở 35-45 kHz

Tần số trung tâm* (kHz)	Mức nhiễu** (dB)	Khoảng cách từ đối tượng kiểm tra (m)					
		2 m		4 m		8 m	
		dB	Thực	dB	Thực	dB	Thực
90	40	40	0	40	0	40	0
80	39	40	1	40	1	40	1
70	33	37	4	34	1	34	1
60	27	35	8	27	0	27	0
50	20	32	12	24	4	20	0
40	10	30	10	20	10	12	2
30	9	26	17	19	10	12	3
20	7	25	18	18	11	11	4
10	3-11	20	-	15	-	7	-

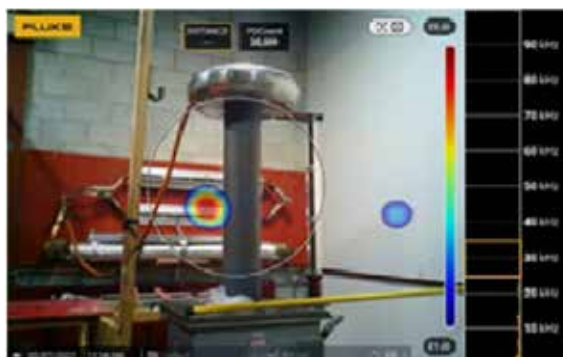
*Băng thông ± 5 kHz

**Khi không áp dụng điện áp

Bảng 1. Mức âm thanh máy chụp ảnh bằng sóng âm so với tần số và khoảng cách cho đối tượng kiểm tra

được nguồn phóng điện hoa. Cột “Thực” trong Bảng 1 hiển thị khác biệt giữa mức âm thanh với điện áp bật và tắt. Nhìn chung, vì phạm vi tần số phát hiện giảm, mức âm thanh thực cao hơn được đo – tuy nhiên, ghi nhận được nhiều “đốm màu” hơn không được liên kết với phóng điện vàng quang. Như phát hiện trong [4], có vẻ các tần số từ 30-50 kHz là tần số tối ưu để phát hiện phóng điện vàng quang. Khi khoảng cách tăng, mức âm thanh thô và thực giảm. Điều này được dự đoán sẽ xảy ra vì nhìn chung, tần số cao bị suy giảm mạnh hơn tần số thấp. Ngoài ra, đối với một khoảng cách cố định, khi tần số giảm, khu vực của ảnh âm học tăng lên, có lẽ là do chiều dài bước sóng dài hơn ở tần số thấp hơn.

Bảng 2 cho thấy mức âm thanh PD so với tần số đối với cuộn dây stato (T2) ở 2 m và 4 m giữa máy chụp ảnh bằng sóng âm và cuộn. Cuộn có các lớp phủ bán dẫn bị hư hỏng nghiêm trọng, và PD hiện rõ tại các vị trí khiếm khuyết này khi được cung cấp năng lượng đến 8 kV rms, dây đến đất. Một lần nữa, tần số tốt nhất để phát hiện PD có vẻ trong phạm vi 30-50 kHz. Phạm vi tần số trên tạo ra ít tín hiệu siêu âm trên mức nhiễu trong khi ở tần số thấp hơn, nhiễu xung quanh chần nguồn PD. Hình 4a cho thấy một ảnh âm học của cuộn với PD bề mặt. Cũng trong ảnh này là phản hồi lên tường từ nguồn PD cuộn gốc. Phản hồi này biến mất khi điện áp được hạ, giống như điều nguồn PD đã làm. Trước đây, những phản hồi như vậy gây ra nhiều vấn đề với việc sử dụng micrô siêu âm định hướng. Hình 4b hiển thị ảnh UV của cùng nguồn.



(4a)



(4b)

Hình 4. PD xảy ra do hư hỏng nghiêm trọng của chất bán dẫn trên cuộn dây hoạt động ở 8 kV rms, trong một khe mô phỏng cách máy ảnh 4 m. (a) hiển thị ảnh âm học ở 25-35 kHz. Vòng tròn hình cầu vòng là nguồn PD thực. Lưu ý rằng phản xạ xanh dương (mức âm thanh thấp) từ tường. (b) hiển thị ảnh được ghi từ máy ảnh UV, ở đó điểm màu trắng nhỏ cho biết phóng điện.

Tần số trung tâm (kHz)	Mức nhiễu (dB)	Khoảng cách từ đối tượng kiểm tra (m)			
		2 m		4 m	
		dB	Thực	dB	Thực
90	40	43	3	41	1
80	39	42	3	40	1
70	33	41	8	34	1
60	27	39	12	32	5
50	22	37	15	30	16
40	11	32	21	27	16
30	7	29	22	25	18
20	7	27	20	24	14
10	-	26	-	26	-

Bảng 2. Mức âm thanh PD so với tần số và khoảng cách cho đối tượng kiểm tra cuộn T2

So sánh máy chụp ảnh bằng sóng âm và UV khi đo PDIV

Đối tượng kiểm tra PD cuộn T2 và phóng điện vàng quang T1 được dùng để so sánh điện áp khởi động PD (PDIV) và điện áp tắt PD (PDEV) sử dụng cả máy chụp ảnh bằng sóng âm và máy ảnh siêu âm (UV) cũng như máy dò PD truyền thống. Máy chụp ảnh bằng sóng âm được đặt để đo PDEV và PDIV trong dải 35-45 kHz vì đây đã chứng minh là phạm vi tối ưu trong các kiểm tra trước đó. Trong hầu hết các trường hợp, điện áp khởi động và tắt cách nhau khoảng 100 V. Đối với cuộn, không có khác biệt nào giữa điện áp khởi động và điện áp tắt ở khoảng cách 2,5 m và 4 m (Bảng 3).

Kiểm tra PD truyền thống trên T1 cho thấy PRPD có các kiểu khác nhau đối với PD dương (trong nửa chu kỳ âm) và mũi nhọn, PD âm cao (chu kỳ AC dương) cho phóng điện vàng quang. PD âm xấp xỉ 10 nC trong khi PD dương khoảng 2 nC. Gần điện áp khởi động, phóng điện vàng quang mũi nhọn âm gián đoạn trong khi phóng điện vàng quang dương ổn định hơn.

Một ưu điểm của máy ảnh UV là thiết bị có thể phóng to vị trí phóng điện, dù máy chụp ảnh bằng sóng âm có trường nhìn cố định (Hình 4a so với 4b).

Ảnh chụp nhanh của các đối tượng kiểm tra khác nhau

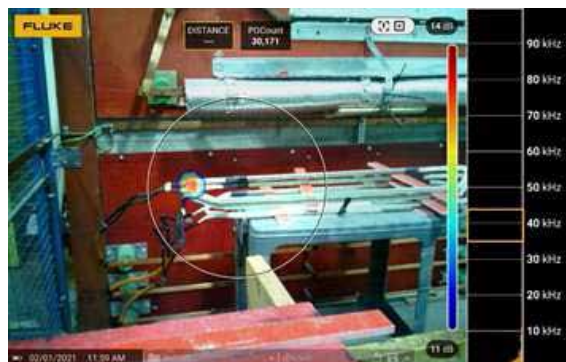
Máy chụp ảnh bằng sóng âm có khả năng ghi cả ảnh chụp nhanh hoạt động PD, cũng như quay video đến 5 phút, hữu ích khi thực hiện khảo sát và đo PDIV/PDEV. Các ví dụ ảnh video có thể xem tại [7]. Phần này hiển thị các ví dụ ảnh chụp nhanh của ảnh âm học từ các đối tượng kiểm tra khác nhau.

Hình 5 hiển thị pha đến PD pha từ đối tượng kiểm tra T3 giữ cuộn A và C trong đầu cuộn, khi điện áp pha đến pha là 6,9 kV hoặc 4,1 kV dây đến đất. Vị trí cuộn pha A được điều chỉnh sao cho pha A và C gần như chạm vào gần dây dẫn kết nối. Các phân rãnh của cuộn được bỏ nổi đất, ngăn PD pha đến đất.

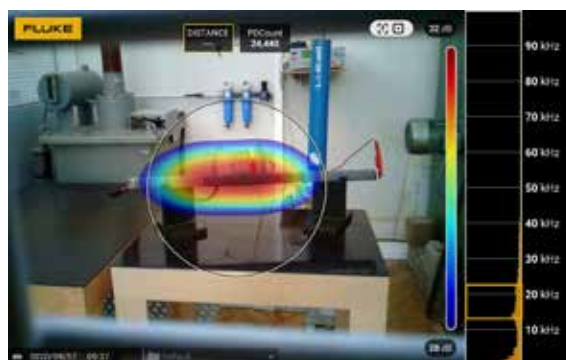
T4 là thanh stato có tách lớp giữa dây dẫn đồng và tường nối đất. Khi máy chụp ảnh bằng sóng âm được đặt thành phạm vi 13-23 kHz, âm thanh được quan sát thấy dọc toàn bộ thanh ở nơi có ứng suất điện (Hình 6a). Sử dụng khả năng của máy ảnh để tải xuống mức âm thanh so với thời gian, mức âm thanh so với rãnh góc pha AC được tạo (Hình 6b). Điều này cho thấy phản ứng phân giải theo pha PD điển hình mà không có ưu thế phân cực, đề xuất rằng máy ảnh nhạy cảm với PD phân tách, mặc dù ở tần số thấp hơn (sẽ dễ bị nhiễu hơn) và mức âm thanh thấp hơn.

Khoảng cách đến đối tượng kiểm tra (m)	Truyền thống		Máy ảnh UV		Máy chụp ảnh bằng sóng âm	
	PDIV	PDEV	PDIV	PDEV	PDIV	PDEV
T1 ở 2 m	6,2	6,2	6,3	6,2	6,2	6,2
T2 ở 2,5 m	-	-	3,5	3,2	3,5	3,2
T2 ở 4 m	-	-	3,5	3,5	3,5	3,5

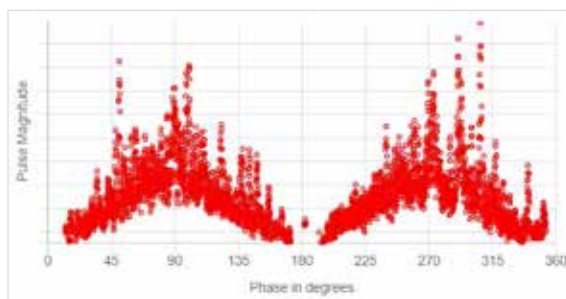
Bảng 3. So sánh PDIV và PDEV (kV) cho các máy dò khác nhau



Hình 5. PD từ pha sang PD pha khác trong đầu cuộn nơi cuộn pha A và C gần như chạm vào. Pha B nằm ở dưới cùng chồng 3 co



(6a)

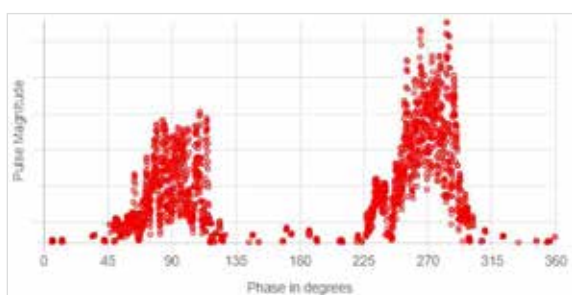


(6b)

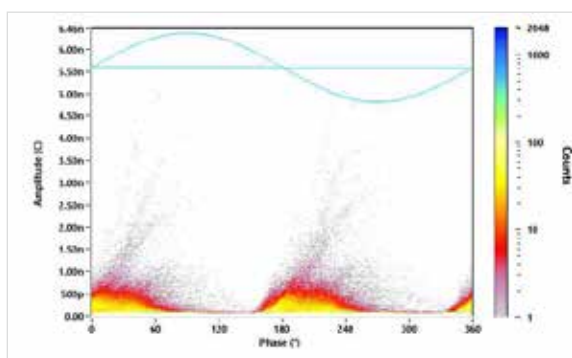
Hình 6. PD tách lớp bên trong có thể có (a) từ một thanh đã trải qua chày kỳ nhiệt. Lưu ý rằng phạm vi tần số được sử dụng trong (a) cũng như mức âm thanh thấp hơn nhiều. (b) hiển thị biểu đồ “PRPD” được tạo bằng máy chụp ảnh bằng sóng âm giả định chu kỳ 50 Hz AC



(7a)



(7b)



(7c)

Hình 7. Phép đo PD truyền thống và máy chụp ảnh bằng sóng âm của PD từ kiểm tra PD ngoại tuyến trên một pha. PD ở lõi ra rãnh của một cuộn được hiển thị rõ ràng trong (a), trong khi (b) hiển thị PRPD âm học với ưu thế dương. Góc pha thực tế có thể không chính xác trong (b). (c) là PRPD kiểm tra PD ngoại tuyến truyền thống.

Tham khảo

- [1] IEEE 1434:2014, "Guide for the Measurement of Partial Discharges in AC Electric Machinery"
- [2] G.C. Stone et al, "Electrical Insulation for Rotating Machines", 2nd edition, Wiley-IEEE Press, 2014.
- [3] K.W. Forsyth, "Electro-optical, non-contact measurement of electrical discharges", US Patent 6476396B1, Tháng 11 năm 2002.
- [4] R. Van Haeren et al, "Preventing failure in outdoor distribution class metalclad switchgear", IEEE Trans PAS, Tháng 10 năm 1985, pp 2701-2712.
- [5] C.P. Suurmeijer et al, "Handheld Acoustic Imager", US Patent D907,097, Tháng 1 năm 2021.
- [6] IEEE 1799:2012, IEEE Recommended Practice for Quality Control Testing of External Discharges on Stator Coils, Bars, and Windings.
- [7] <https://irispower.com/learning-centre/acoustic-camera-video-files/>

Hình 7a hiển thị ảnh âm học ở 35-45 kHz của cuộn stato 6 kV (T5) với một pha được cấp năng lượng đến 3kV. PD bề mặt xuất hiện ở lõi ra rãnh của một cuộn. Điều này được xác minh bằng kiểm tra bằng mắt trên rãnh.

Kết luận

Máy chụp ảnh PD bằng sóng âm có vẻ là một dụng cụ rất hữu ích để cải thiện khả năng định vị PD bề mặt ở khoảng cách an toàn từ đối tượng kiểm tra được cấp năng lượng. Máy ảnh rõ ràng có đủ độ phân giải không gian để xác định điểm PD thực tế trên thiết bị điện áp cao thực thể nhất. Khả năng ghi độ lớn của PD (giả định là tương quan với mức âm thanh) so với chu kỳ AC mang lại sự tự tin rằng thiết bị thực sự phát hiện PD và hoa. Điện áp khởi động và điện áp tắt của PD đối với máy dò PD thông thường, máy chụp ảnh bằng sóng âm và máy ảnh UV, dường như giống nhau đối với phóng điện hoa và PD bề mặt. Ưu thế lớn của máy chụp ảnh bằng sóng âm so với micro siêu âm cũ là nó dễ dàng phân biệt các điểm PD thực tế với phản xạ. Đối với PD và phóng điện hoa bề mặt, tín hiệu tốt nhất theo tỷ lệ nhiễu có vẻ trong phạm vi 30-50 kHz. Tuy nhiên, không giống với máy ảnh UV, có một số bằng chứng cho thấy có thể phát hiện được PD khoảng trống bên trong đáng kể, mặc dù với cường độ thấp hơn.

Lời cảm ơn

Các tác giả muốn cảm ơn Fluke Corporation vì đã cho chúng tôi mượn máy chụp ảnh bằng sóng âm ii910. Chúng tôi cũng muốn cảm ơn Ông Christoph Herold của Viện Von Roll ở Thụy Sĩ vì sự giúp đỡ của ông.

Fluke. *Giữ cho thế giới của bạn. không ngừng vận động.*

Fluke Corporation

P.O. Box 9090
Everett, WA USA 98206
Web: www.fluke.com

Representative office of Fluke South East Asia Pte Ltd

C/O Danaher Vietnam
Green Power Tower, 11th Floor Unit 2
35 Ton Duc Thang Street, District 1
Ho Chi Minh City
Vietnam
Tel: +84-8-2220-5371 (ext 103)
Email: info.asean@fluke.com
www.fluke.com/vn

For more information call:

In the U.S.A. (800) 443-5853
In Europe/M-East/Africa
+31 (0)40 267 5100
In Canada (905) 890-7600
From other countries +1 (425) 446-5500

©2021 Fluke Corporation. Specifications subject to change without notice. 04/2021 210349-vi

Modification of this document is not permitted without written permission from Fluke Corporation.