

# XÁC ĐỊNH PHƯƠNG PHÁP VÀ TIÊU CHUẨN CHẨN ĐOÁN, THỬ NGHIỆM TỐI ƯU CHO CẤP NGẦM TRUNG THỂ XLPE TRÊN LƯỚI ĐIỆN TP. HỒ CHÍ MINH

Hồ Bảo Huy<sup>1</sup>, Nguyễn Tấn Hưng<sup>1</sup>  
Nguyễn Hữu Vinh<sup>1</sup>, Nguyễn Hùng<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Tổng Công ty Điện lực TP. Hồ Chí Minh

<sup>2</sup>Trường Đại học Công nghệ TP. Hồ Chí Minh

\*Email: n.hung@hutech.edu.vn

Ngày nhận bài: 03/01/2021; Ngày chấp nhận đăng: 21/5/2021

## TÓM TẮT

Bài báo này tập trung vào các phương pháp chẩn đoán ở cấp ngầm, giúp người đọc hiểu rõ về các phương pháp thử nghiệm theo tình trạng off-line (có cắt điện) và tình trạng on-line (không cắt điện), bằng các nguồn điện áp khác nhau (VLF, DAC, DC...). Sau khi thu thập tài liệu từ các đề tài nghiên cứu của các nhà khoa học trong và ngoài nước, các tiêu chuẩn quốc tế IEC, IEEE, CIGRE liên quan, bài báo đề xuất áp dụng thay đổi quy trình kiểm tra cấp ngầm trung thể XLPE so với giai đoạn trước năm 2015 để nâng cao khả năng chẩn đoán tình trạng “sức khỏe” của cấp ngầm mà hạn chế gây nguy hại cho cáp. Trong quá trình tham gia, khảo sát thực tế hiện trường thi công, sửa chữa, nghiên cứu dữ liệu đo đạc cấp ngầm từ năm 2016-2020 tại Tổng Công ty Điện lực TP.HCM (EVNHCMC), bài báo cũng đưa ra tiêu chuẩn chẩn đoán theo từng loại phép thử để các Công ty Điện lực (PC) thống nhất cách thức xử lý cáp theo 3 cấp độ khác nhau: cho phép tiếp tục vận hành, cần sửa chữa trong vòng 6 tháng hoặc 12 tháng, cắt điện xử lý ngay. Nhờ sự thay đổi này, số vụ và phần trăm sự cố liên quan đến cấp ngầm trung thể của EVNHCMC giảm theo từng năm kể từ năm 2016, giúp nâng cao độ tin cậy cung cấp điện.

*Từ khóa:* Điện áp AC tắt dần (DAC), Hiệp hội Quốc tế về các Hệ thống điện lớn (CIGRE), Tổng công ty Điện lực TP.HCM (EVNHCMC), Công ty Thí nghiệm Điện lực TP.HCM (ETCHCMC), Tiêu chuẩn của Ủy ban Kỹ thuật Điện Quốc tế (IEC), Tiêu chuẩn của tổ chức cộng đồng khoa học kỹ thuật hàng đầu thế giới (IEEE), Phóng điện cục bộ (PD), Phép đo tổn hao điện môi (Tandelta), Phân xạ miền thời gian (TDR), Điện áp AC tần số rất thấp (VLF).

## 1. MỞ ĐẦU

Lưới điện Thành phố Hồ Chí Minh (TP.HCM) là một trong những hệ thống điện hiện đại, đa dạng và có mức độ tập trung phụ tải cao bậc nhất cả nước. Ngày nay, việc vận hành lưới điện hiệu quả với những tiêu chí nghiêm ngặt về thời gian, số lần cắt điện, tối thiểu tổn hao, v.v. đòi hỏi hệ thống cần có khả năng chẩn đoán trước các điểm yếu của các thiết bị điện để được thay thế, sửa chữa, khắc phục trước khi xảy ra sự cố. Với chiều dài cấp ngầm năm 2020 lên đến tổng cộng hơn 3000 km, cùng với các khó khăn trong việc lập kế hoạch đề đăng ký đào đường, chuẩn bị nhân công, vật liệu để sửa chữa, thay thế khi có sự cố cấp ngầm xảy ra, việc thử nghiệm, chẩn đoán cấp ngầm là một trong những nhiệm vụ trọng tâm của EVNHCMC trong giai đoạn từ năm 2016-2020 [1].

Cáp ngầm là một trong những thiết bị hết sức đặc thù trên lưới điện, có rất nhiều yếu tố cả bên trong và bên ngoài rất dễ ảnh hưởng đến khả năng vận hành của cáp. Các yếu tố nội tại bên trong cáp như là: loại cách điện, chiều dài cáp, lịch sử đưa vào sử dụng, loại bán dẫn, kim loại cấu thành lõi, v.v. Các yếu tố bên ngoài bao gồm: nhiệt độ, độ ẩm của môi trường, phần trăm tải vận hành, địa chất, kỹ thuật thi công cùng nhiều yếu tố khác. Mỗi khi có sự cố cáp ngầm xảy ra, thời gian mất điện và tái lập là rất dài (hơn 2 ngày) vì phải thực hiện rất nhiều khâu tổ chức từ đào đường, cắt cáp, tìm điểm hỏng, nối cáp, thử nghiệm lại, lấp đường và đều phải thực hiện vào ban đêm trong khung giờ từ 22h đến 5h sáng. Điều này gây áp lực rất lớn lên hệ thống điện dự phòng còn lại và có nhiều nguy cơ gây quá tải hệ thống, dẫn đến các sự cố lớn hơn nếu tiếp tục xuất hiện các sự cố nhỏ tương tự trong cùng thời điểm. Do đó, nhiệm vụ dự đoán trước các điểm yếu của cáp để lập kế hoạch xử lý là mục tiêu hàng đầu của EVNHCMC trong công tác nâng cao độ tin cậy cung cấp điện.

Từ trước năm 2015, công nghệ thử nghiệm cho cáp ngầm trung thế chỉ có 02 phương pháp duy nhất là: đo điện trở cách điện và thử nghiệm điện áp chịu đựng DC cho toàn tuyến cáp. Tuy nhiên, các phương pháp này có hạn chế rất lớn là chỉ đảm bảo thủ tục cho phép đóng điện ngay sau khi thử nghiệm mà chưa đánh giá được tình trạng “sức khỏe” của cáp, như: khi nào cáp cần được kiểm tra, thử nghiệm lại; hộp nối/ đầu cáp nào đang yếu, cần phải thay thế. Đến thời điểm hiện tại, theo thông tư 33/2015/TT-BCT ngày 27/10/2015 của Bộ Công Thương áp dụng cho cả lưới điện Việt Nam cũng công nhận nếu đoạn cáp vượt qua được phép thử DC thì đã đủ yêu cầu đóng điện [2]. Các công nghệ chẩn đoán chưa được công nhận pháp lý. Tuy nhiên, như đã xác định rõ ở trên, mục tiêu giảm thiểu sự cố cáp ngầm là mục tiêu hết sức quan trọng cho bài toán ổn định lưới điện, EVNHCMC đã giao nhiệm vụ cho Công ty Thí nghiệm Điện lực TP.HCM (ETCHCMC) triển khai áp dụng các công nghệ thử nghiệm chẩn đoán cáp ngầm hiện đại nhưng phải đảm bảo đầy đủ pháp lý thì cáp ngầm 22 kV mới được phép vận hành.

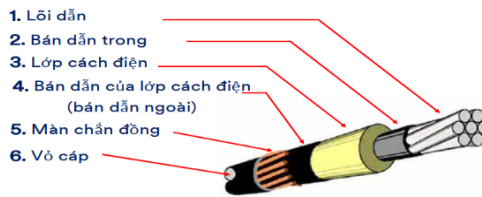
Vấn đề đặt ra ở đây là với mức độ nào thì các điểm yếu của cáp cần phải xử lý, thời điểm nào nên xử lý, khoảng thời gian an toàn để cho phép cáp tiếp tục vận hành nhưng vẫn đảm bảo lưới điện an toàn, ổn định, không để xảy ra sự cố. Theo các tiêu chuẩn quốc tế mới nhất hiện hành như IEEE 400.2-2013 [3], IEEE 400.3-2006 [4] hay IEC 60502-2:2005 [5] đều không đưa ra giá trị chẩn đoán cụ thể mà chỉ khuyến cáo các tổ chức và công ty cần có một ngân hàng dữ liệu cho các loại lỗi khác nhau và tự tạo một kho kết quả dựa theo dữ liệu đó để ngày càng cải thiện các tiêu chuẩn dựa vào đặc thù lưới điện mà mình quản lý vận hành. Những dữ liệu mới cần được so sánh với các dữ liệu đã lưu trữ để xác minh, định vị, đánh giá mức độ các loại khiếm khuyết của cáp.

Bài báo này nghiên cứu, phân tích các phương pháp chẩn đoán tối ưu mới cho cáp ngầm trung thế trên thế giới, phân tích rõ ưu, nhược điểm so với các phương pháp thử nghiệm hiện hành. Sau đó, đề xuất quy trình thực hiện phù hợp cho cáp ngầm của TP.HCM. Các quy trình này đã được thay đổi vào khoảng năm 2016 tại EVNHCMC. Từ đó đến nay, cùng với quá trình tham gia chứng kiến quá trình thi công, đào đường, sửa chữa, lắp nối cáp thực tế ngoài hiện trường, chứng kiến và thực hành các máy móc thử nghiệm hiện đại theo hướng dẫn của các chuyên gia nước ngoài, bài báo đã truy cập dữ liệu thử nghiệm cáp ngầm trung thế của ETCHCMC từ năm 2016-2020 để đề xuất tiêu chuẩn chẩn đoán, xử lý cáp ngầm trung thế một cách đồng bộ cho TP.HCM.

## **2. CẤU TẠO VÀ ĐẶC TÍNH CỦA CÁP NGẦM TRUNG THẾ**

### **2.1. Cấu tạo của cáp ngầm trung thế [6]**

Hình 1 trình bày cấu trúc cơ bản của cáp ngầm 22 kV đang vận hành trên toàn lưới điện TP.HCM, bao gồm 6 cấu phần chính: lõi dẫn, bán dẫn trong, lớp cách điện, bán dẫn ngoài, màn chắn đồng, vỏ cáp.



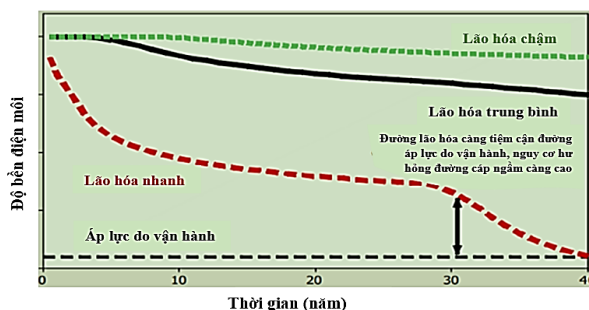
Hình 1. Cấu tạo cáp ngầm trung thế [6]

Lõi dẫn đa số sử dụng kim loại đồng do khả năng dẫn điện cao, dẻo nên có bán kính cong lớn. Lớp bán dẫn trong hoạt động như một lồng Faraday, là màn chắn bao bọc lớp không khí giữa lõi dẫn và cách điện, giúp phân bố điện trường đều trên tất cả các điểm của lõi cáp. Lớp cách điện chính của cáp ngầm 22 kV của TP.HCM gồm 2 loại chính là: XLPE (Cross-Linked Polyethylene - 95%) và EPR (Ethylene Propylene Rubber). Lớp bán dẫn ngoài và màn chắn đồng một lần nữa giúp phân bố điện trường đều bên trong cáp. Ngoài ra, màn chắn đồng có nhiệm vụ chính là tạo kết nối với dây tiếp địa, giúp ngăn chặn tối đa nhiễu điện trường và làm đường dẫn dòng sự cố khi xảy ra sự cố ngắn mạch chạm đất. Vỏ cáp thường làm từ nhựa PVC hoặc cao su, giúp bảo vệ sợi cáp từ các áp lực đè lên trong khi chôn ngầm, chống ẩm từ môi trường bên ngoài, giúp phân bố lực đều lên trên sợi cáp. Lớp giáp bọc ngoài vỏ cáp thường làm bằng nhôm.

## 2.2. Quá trình lão hóa, suy yếu và hư hỏng của hệ thống cáp ngầm [7]

Một hệ thống cáp ngầm sẽ bị hư hỏng khi áp lực điện trường cục bộ lớn hơn độ bền của lớp vật liệu điện môi. Độ tin cậy và tỷ lệ hư hỏng của toàn bộ hệ thống cáp ngầm phụ thuộc vào sự chênh lệch này. Khi lớp điện môi của cáp ngầm yếu đến một mức độ nhất định sẽ gây ra sự phóng điện. Sự phóng điện có thể xảy ra giữa 2 bề mặt điện môi, như là cách điện cáp và hộp nối cáp hoặc cũng có thể xảy ra trên bề mặt tại các đầu cáp. Quá trình hư hỏng có thể xảy ra tại điện áp làm việc bình thường (tần số 50 Hz) hoặc xảy ra dưới điều kiện quá áp thoáng qua như sét đánh, chuyển nguồn v.v.

Khi vận hành trong thời gian đủ dài, hệ thống cáp ngầm sẽ bị lão hóa. Độ bền điện môi phần lớn bị suy yếu do sự gia tăng áp lực cục bộ (cây nước, sự phân tán của các lớp bụi bẩn và các lỗ trống) đều phát triển theo thời gian. Hệ thống cáp ngầm bị ảnh hưởng nặng nề khi lão hóa xảy ra, biểu hiện 3 đặc tính chung như trong Hình 2, phụ thuộc vào nhiều nhân tố như: điện áp, áp lực nhiệt, cách bảo trì, tuổi của hệ thống điện, công nghệ chế tạo cáp và môi trường. Ngoài ra, tốc độ lão hóa thông thường thay đổi với gia tốc rất nhanh theo thời gian.

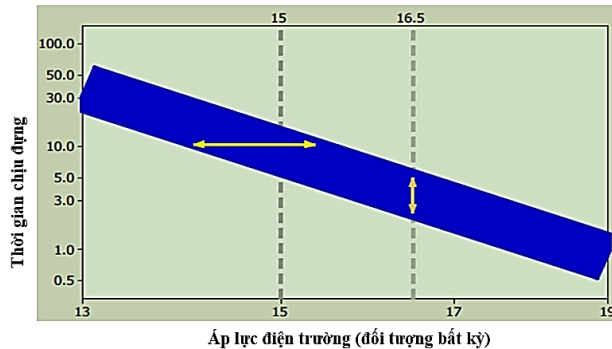


Hình 2. Đặc tính lão hóa của hệ thống cáp ngầm [7]

Hình 3 biểu diễn ảnh hưởng của áp lực điện trường tại các mức cường độ khác nhau để kiểm tra sức chịu đựng (khoảng thời gian tiến đến hư hỏng) của chất điện môi của một mẫu thử bất kỳ. Kết quả rất rõ ràng là khi áp lực điện trường tăng lên, sức chịu đựng điện môi giảm xuống. Đây không phải là một ảnh hưởng tuyến tính mà nhìn chung với 10% áp lực tăng lên (như tăng từ 15 đơn vị đến 16,5 đơn vị) sẽ làm giảm đến 60% sức chịu đựng của hệ thống. Điều này lý giải tầm quan trọng của việc làm sạch hệ thống điện môi vì các chất bẩn thường là vị trí khởi nguồn để điện trường tập trung.

Điều này cũng có thể giải thích lý do tại sao các hệ thống cáp ngầm bị lão hóa với các tốc độ khác nhau dọc theo chiều dài cáp. Trong một đoạn cáp có các chất ô nhiễm tập trung, có thể có mức độ lão hóa thấp nhưng cường độ lão hóa cao ngay tại vị trí bị bẩn do ảnh hưởng của áp lực điện trường sẽ cao hơn. Khu vực đó đồng thời chịu ảnh hưởng của cả áp lực điện trường và lão hóa cao hơn những vị trí khác.

Tuy nhiên, trong một đoạn cáp với nhiều nhánh rẽ điện trường phân bố dọc theo lớp điện môi, ảnh hưởng của áp lực lão hóa thông thường chỉ ở mức trung bình. Sự khác biệt của lão hóa tại mỗi đoạn cáp là rất khác nhau, nhưng sự cố sẽ luôn luôn xảy ra tại điểm yếu nhất của đoạn cáp và điều này cũng bị ảnh hưởng nhiều tùy vào “sự phục hồi” của hệ thống. Trong trường hợp một lỗi nhỏ tập trung, việc sửa chữa sau khi xảy ra sự cố sẽ giúp độ bền của hệ thống tăng cao. Nếu sự hư hỏng là do nhiều điểm yếu phân tán gộp lại, thì việc sửa chữa sẽ không giúp ích nhiều khi toàn bộ hệ thống còn lại chỉ mạnh hơn điểm yếu nhất và bị sự cố một chút.



Hình 3. Sự suy giảm độ bền của hệ thống dưới áp lực điện trường cao [7]

Hiện tại, toàn lưới điện phân phối của EVN đã đồng bộ về điện áp 22 kV nên cáp ngầm trung thế của EVNHCNM đang cùng vận hành ở mức này, với 95% cáp có cách điện là XLPE. Về cấu trúc, có thể phân loại làm 2 dạng chính: cáp 1 lõi 3 pha và cáp đơn pha. Đa số sự cố xảy ra ở cáp là do lớp cách điện XLPE của cáp bị suy yếu, dẫn đến ngắn mạch giữa lõi mang điện và màn chắn nối đất.

Lớp cách điện của cáp có thể bị suy yếu vì nhiều nguyên nhân. Khi vận hành trong thời gian đủ dài thì lớp cách điện hiển nhiên bị lão hóa. Tuy nhiên, cần tập trung tìm kiếm các vị trí bị điện trường tập trung, đặc biệt là các vị trí bị bẩn, thi công sai quy cách, có cách điện yếu nhất để xử lý sớm vì những điểm này sẽ gây sự cố trong thời gian ngắn.

Phần tiếp theo sẽ mô tả, nghiên cứu các phương pháp thử nghiệm, chẩn đoán cáp ngầm tân tiến hiện nay được đề cập trên các bài báo khoa học, tiêu chuẩn quốc tế để áp dụng phân tích, tìm kiếm các vị trí tiềm ẩn nguy cơ gây sự cố được đề cập ở trên.

### **3. LÝ THUYẾT VỀ CÁC PHƯƠNG PHÁP THỬ NGHIỆM, CHẨN ĐOÁN CÁP NGẦM TRUNG THỂ**

So với trước năm 2015, ngày nay phương pháp thử nghiệm cáp ngầm rất đa dạng nhờ sự phát triển vượt bậc của công nghệ hiện đại nhưng về cơ bản, phương pháp đưa điện áp cao vào mẫu thử nhằm kiểm tra khả năng chịu đựng của thiết bị hầu như là bắt buộc đối với tất cả các loại vật tư thiết bị điện, kể cả cáp ngầm.

Tuy nhiên, khác với các vật tư thiết bị khác, cáp ngầm có điện dung rất lớn nên trừ khi sử dụng điện áp lưới, việc sử dụng các máy tạo điện áp AC tại tần số 50 Hz để thử nghiệm cáp ngầm tại hiện trường yêu cầu hệ thống thử sẽ rất nặng và công kênh để đáp ứng được công suất. Do đó, việc sử dụng điện áp AC tần số 50 Hz hầu như chỉ áp dụng khi thử nghiệm xuất xưởng tại nhà máy sản xuất cáp, nơi phù hợp để đặt các hệ thống thử cao áp to lớn và phức tạp.

#### **3.1. Thử nghiệm bằng điện áp một chiều (DC)**

Trước năm 2015, EVNHCMC và hầu hết các đơn vị trực thuộc EVN đều chỉ áp dụng hạng mục thử nghiệm độ bền điện môi của cáp ngầm bằng cách sử dụng điện áp một chiều (DC). Đây là phương pháp đơn giản và phù hợp nhất với các công nghệ vào thời điểm đó, được chấp nhận trong các tiêu chuẩn quốc tế IEC, IEEE.

Điện áp DC được đưa vào giữa lõi cáp và màn chắn cáp (nổi đất) liên tục với giá trị vượt ngưỡng vận hành ( $1,5U_0 - 3U_0$ ) trong một khoảng thời gian nhất định (thông thường là 15 phút). Kết quả của phép thử nghiệm là “Đạt” hoặc “Không đạt”. Nếu không có hiện tượng phóng điện xảy ra, hoặc giá trị dòng rò không vượt quá ngưỡng của máy thử trong vòng 15 phút thì xem như “Đạt” [8].

Phương pháp này trong IEEE 400.2:2013 không được xem như là một phương pháp chẩn đoán bởi vì kết quả phép thử quá đơn giản. Thậm chí, hạng mục này còn được khuyến nghị hạn chế sử dụng vì điện áp DC gây tác động xấu đến lớp cách điện XLPE, HMWPE (High-Molecular-Weight Polyethylene) khi làm gia tăng tốc độ phát triển của các cây điện [3].

Thực tế chứng minh các khuyến cáo của những hiệp hội quốc tế là tin cậy khi rất nhiều các đoạn cáp XLPE đều thử nghiệm “Đạt” nhưng sau khi đóng điện vào thì bị hư hỏng, sự cố trong một thời gian ngắn. Điều này gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến độ tin cậy cung cấp điện của EVNHCMC vì lưới điện vẫn chưa có độ dự phòng N-1, trong khi để đào đường, sửa chữa, tái lập cáp thì cần một khoảng thời gian dài. Ngoài ra, kể cả sau khi sửa chữa, thử Đạt và được đóng điện lại thì đoạn cáp vẫn tiếp tục bị sự cố ở các hộp nối khác, đặc biệt thường xuyên xảy ra ở những đoạn cáp dài.

Những vấn đề trên gây hao tổn chi phí rất lớn nhưng lại không hiệu quả. Do đó, mục tiêu đặt ra là cần tìm giải pháp thay thế phương pháp thử nghiệm DC để không gây hại cho cáp, đồng thời phải dự đoán được khả năng hư hỏng của cáp để có thời gian chuẩn bị sẵn kế hoạch, vật tư thiết bị thay thế.

Sau khi nghiên cứu các hướng dẫn của IEC, IEEE thì phương pháp thử nghiệm cáp bằng điện áp xoay chiều (AC) tần số rất thấp và điện áp AC tần số giảm dần kết hợp với các công nghệ chẩn đoán PD, Tandelata được ETC đề xuất áp dụng cho cáp ngầm 22 kV của EVNHCMC trong giai đoạn 2016-2020.

#### **3.2. Thử nghiệm bằng điện áp xoay chiều**

##### *3.2.1. Nguồn điện áp xoay chiều tần số rất thấp (Very Low Frequency - VLF)*

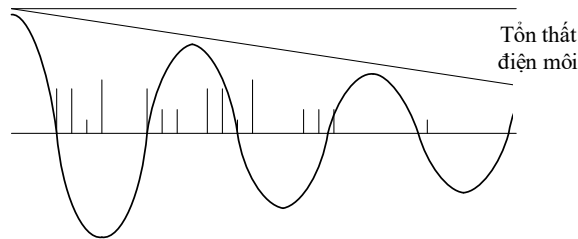
Theo tiêu chuẩn IEEE 400.2: 2013, phương pháp VLF sẽ đưa điện áp đến giá trị  $3U_0$  đối với 1 đoạn cáp mới và  $2U_0$  đối với cáp đã vận hành trong 30 phút. Tương tự như phép thử DC, cáp được xem là đạt khi không có phóng điện trong khoảng thời gian này [3].

Tuy nhiên, phương pháp thử nghiệm VLF là một công nghệ thay thế tối ưu hơn khi thỏa mãn các ưu điểm sau:

- Công suất máy nhỏ vì tần số rất thấp. Do đó, hệ thống thử nghiệm sẽ nhỏ gọn và nhẹ hơn nhiều so với cùng hệ thống thử AC tần số 50 Hz.
- Có thể kết hợp những hạng mục chẩn đoán như PD, Tandelata trong khoảng thời gian thử AC vì điện áp AC phù hợp để tính toán các thông số kỹ thuật yêu cầu.
- Giảm áp lực điện trường lên cách điện loại PE, do đó phép thử được xem như không gây hư hại cho cáp.

### 3.2.2. Nguồn điện áp xoay chiều tần số giảm dần (damped AC - DAC)

Nguyên lý của mạch tạo cao áp DAC chính là mạch RLC. Các máy tạo nguồn DAC sử dụng công nghệ cộng hưởng và xung, tạo ra nguồn thử nghiệm cao áp AC có biên độ tắt dần với tần số nằm trong khoảng từ 20-300 Hz tùy theo điện dung của đoạn cáp ngầm được thử.



Hình 4. Dạng sóng nguồn áp DAC [9]

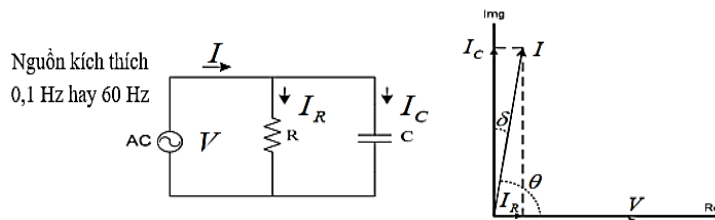
### 3.3. Chẩn đoán tổn hao điện môi (Tandelata) cáp ngầm

Tandelata là phép thử xác định mức độ tổn hao công suất thực sự trong một vật liệu cách điện. Phép thử tập trung vào việc so sánh giá trị đo được với giá trị tham khảo của cùng 1 loại vật liệu cách điện.

Nguồn điện áp AC đưa vào cáp và sau khi đo đạc sự khác nhau giữa đồ thị điện áp và dòng điện cung cấp giá trị Tandelata. Góc pha này được sử dụng để phân giải tổng dòng điện ( $I$ ) thành thành phần nạp ( $I_C$ ) và thành phần tổn hao ( $I_R$ ). Tandelata là tỷ số cùng dòng điện tổn hao so với dòng điện nạp:

$$DF = \frac{I_R}{I_C} = \frac{\sqrt{I^2 - I_C^2}}{I_C} \quad (1)$$

Góc Tandelata xuất hiện trong biểu đồ pha được thể hiện trong Hình 5:



Hình 5. Sơ đồ tương đương của tổn hao điện môi [10]

Giá trị Tandelta giúp người quản lý vận hành nắm được tình trạng “sức khỏe” chung của toàn bộ tuyến cáp. Ngoài ra, các giá trị đo Tandelta tại các mức điện áp khác nhau ( $0,5U_0$ ;  $1,0U_0$ ;  $1,5U_0$ ;  $2,0U_0$ ) còn bao gồm các thông số như [3]:

- MTD: Giá trị Tandelta trung bình – tại điện áp thử.
- $\Delta$ TD: Sự thay đổi Tandelta theo sự thay đổi điện áp.
- SDTD (Standard Deviation of Tandelta): Độ lệch chuẩn của Tandelta thể hiện sự ổn định của Tandelta tại điện áp thử.

Những giá trị này cho phép dự đoán các loại lỗi khác nhau. Giá trị MTD cao là dấu hiệu có sự xuất hiện của cây nước. Nếu giá trị  $\Delta$ TD cao (sự tăng lên TD theo sự tăng lên điện áp), có thể là dấu hiệu của PD hoặc cây nước lớn. Một giá trị  $\Delta$ TD âm (giảm TD theo sự tăng điện áp), là chỉ báo cho hiệu ứng hóa hơi, ví dụ như thoát nước tại đầu cáp.

SDTD cũng là một chỉ báo hữu ích giúp người vận hành phát hiện được nhiều thông tin. SDTD thấp chứng tỏ cáp đang trong tình trạng tốt. Một sự tăng lên SDTD thể hiện sự xuất hiện của PD. Giá trị SDTD quá cao chứng tỏ hộp nối cáp đã bị nước xâm nhập [11].

### 3.4. Công nghệ phân tích tín hiệu phản xạ theo miền thời gian (Time Domain Reflection - TDR) [12]

Đối với cáp ngầm, công nghệ phản xạ miền thời gian (Time Domain Reflection - TDR) là giải pháp cơ bản để định vị tín hiệu dọc theo tuyến cáp, giải pháp này được sử dụng khi chẩn đoán PD hoặc dùng để phát hiện các điểm sự cố chính xác dọc theo chiều dài đoạn cáp ngầm.

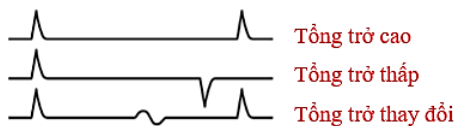
TDR biểu diễn hình thức sóng của điện áp quay lại khi một tín hiệu bước nhanh truyền dẫn xuống một đường dẫn. Sóng kết quả là sự kết hợp của sóng đưa vào và phản xạ lại được tạo ra khi nguồn gây ra thay đổi trở kháng. Công thức tính TDR được thể hiện như sau:

$$p = \frac{V_{Reflected}}{V_{Incident}} = \frac{(Z_L - Z_0)}{(Z_L + Z_0)} \quad (2)$$

Trong đó:  $Z_L$  trở kháng tải, còn  $Z_0$  là trở kháng của vật truyền dẫn.

Vì vậy, nếu tải khớp với vật truyền dẫn thì  $p = 0 \Rightarrow$  không có phản xạ lại.

Nếu  $Z_L = 0$  thì  $p = -1$  thể hiện một mạch ngắn mạch, có nghĩa là sóng đến bằng sóng phản xạ nhưng ngược dấu.



Hình 6. Các dạng biểu đồ TDR cơ bản trong cáp ngầm [11]

Tóm lại, công nghệ TDR giúp xác định:

- Tổng chiều dài đoạn cáp.
- Vị trí của các điểm sự cố trên thân cáp có điện trở thấp.
- Vị trí của điểm đứt cáp.
- Những vị trí hộp nối dọc theo thân cáp.

### 3.5. Công nghệ chẩn đoán phóng điện cục bộ (Partial Discharge - PD)

Theo tiêu chuẩn IEC 60270, PD là hiện tượng đánh thủng điện môi cục bộ của một phần nhỏ trong hệ thống cách điện rắn hoặc lỏng dưới tác động của điện áp cao, chỉ nổi bật một phần giữa các điện cực.

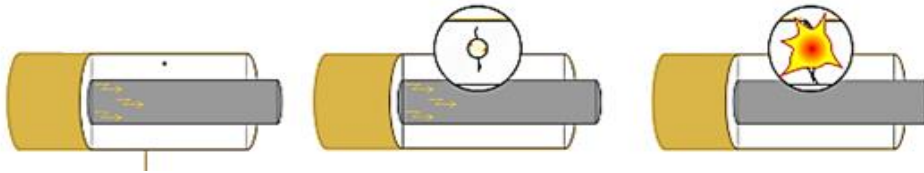
PD thường đi kèm với sự phát xạ của âm thanh, ánh sáng, nhiệt và phản ứng hóa học. Có 3 loại chính: phóng điện bề mặt, phóng điện bên trong, phóng điện vàng quang.

PD thường xuất hiện ở những khoảng trống, những vết nứt bên trong điện môi rắn, tại bề mặt ranh giới giữa điện môi và vật dẫn điện trong điện môi rắn và lỏng, hoặc những bọt khí nằm trong điện môi lỏng. PD cũng có thể xuất hiện dọc theo ranh giới giữa những vật liệu cách điện khác nhau.

Thông thường thời gian PD xảy ra thậm chí nhỏ hơn  $1 \mu s$  nên chúng ta rất khó nhận biết được những hư hại nhỏ, gây xói mòn bên trong thiết bị. Quá trình suy thoái của vật liệu cách điện sẽ diễn ra từ từ cho đến khi lớp cách điện không thể chịu đựng được, dẫn đến phóng điện bề mặt.

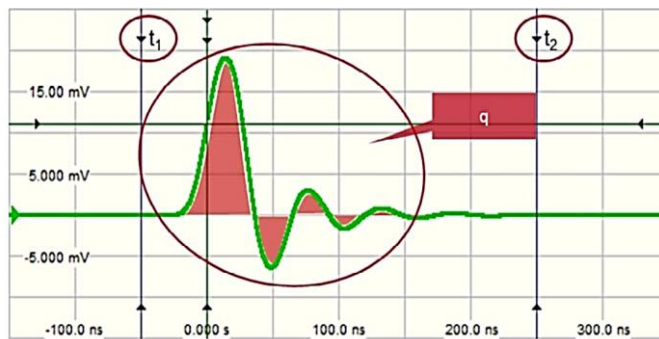
Những ảnh hưởng của hiện tượng PD trong thiết bị điện áp cao là rất nghiêm trọng, có thể dẫn đến phá hủy hoàn toàn hệ thống cách điện hay thiết bị điện.

Đối với cấp lực cách điện giấy, sự phóng điện lặp đi lặp lại sẽ làm thay đổi tính chất hóa học của những lớp giấy dẫn đến độ bền cách điện suy giảm và đến một lúc nào đó hình thành những cây dẫn điện cục bộ. Chính vì điều này sẽ xuất hiện quá trình đốt nóng cục bộ vật liệu cách điện và gây ra nổ cấp.



Hình 7. Sự phát triển của PD bên trong cách điện cáp [11]

Đại lượng đặc trưng cho độ lớn của PD được đặc trưng bằng mức điện tích  $Q$  với đơn vị [Coulomb].



Hình 8. Biểu đồ mô tả đồ thị xung PD [8]

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} i(t)dt = \frac{1}{R} \int_{t_1}^{t_2} v(t)dt \quad (3)$$

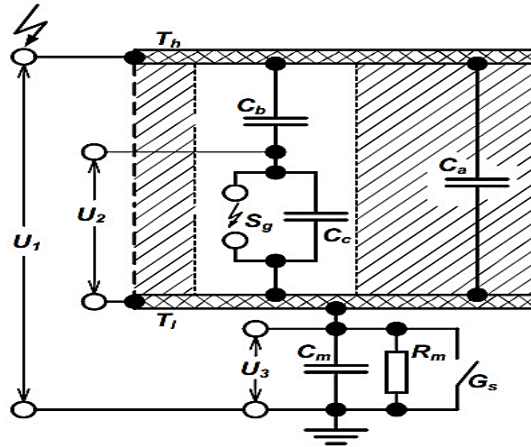
Độ lớn PD chính là độ lớn phần diện tích của hàm dòng điện  $i(t)$  trong khoảng thời gian  $\{t_1, t_2\}$ . Hiện tại, trên thế giới, các phương pháp chẩn đoán PD được phân chia thành 2 loại chính là: Phương pháp truyền thống và phi truyền thống.

### 3.5.1. Phương pháp truyền thống

Đo PD truyền thống là phương pháp đo PD theo tiêu chuẩn IEC 60270, tức là đo điện tích biểu kiến cảm ứng trong mạch đo. Điện tích biểu kiến  $q$  của xung PD là điện tích nếu đưa vào trong một thời gian ngắn giữa các điểm nối của thiết bị được thí nghiệm trong một



mạch đo cụ thể, sẽ cho cùng một giá trị đọc trên thiết bị đo như xung dòng điện PD của bản thân nó. Đơn vị đo thường là pC (pico Coulomb). Do không thể đo PD trực tiếp, phương pháp này sử dụng các mạch đo tương đương. Mặc dù điện tích  $q$  được đo bởi tổng trở đo khó có giá trị chính xác tuyệt đối với phóng điện thực bên trong đối tượng thử, sự tăng tuyến tính của  $q$  đồng nghĩa với việc PD xảy ra với biên độ cao hơn, từ đó đánh giá được mức độ nguy hiểm của hiện tượng PD. Tiêu chuẩn IEC 60270 cũng đề cập tới xác định mạch đo, các đại lượng đo, quy trình hiệu chuẩn. Phương pháp này đã được sử dụng rộng rãi tại hiện trường và trong phòng thí nghiệm. Sơ đồ đơn giản tương đương được thể hiện trên hình sau:



Hình 9. Sơ đồ PD đơn giản và cơ chế đo [13]

Trong đó:

$C_a$ : Điện dung tương trung của thiết bị được thử,

$C_b$ : Điện dung rò của nguồn PD,

$C_c$ : Điện dung trong của nguồn PD,

$C_m$  &  $R_m$ : Tụ đo & điện trở đo,

$G_s$ : Dao nối đất,

$S_g$ : Khe hở phóng điện,

$T_h$  &  $T_1$ : Đầu cực cao áp và hạ áp của mẫu thử,

$U_1$ : Điện áp thử,

$U_2$ : Điện áp rơi trên nguồn PD,

$U_3$ : Điện áp rơi trên  $R_m$ .

Điện tích biểu kiến có thể được đo bằng cách nối tổng trở đo với thiết bị được thử theo IEC 60270. Dẫn giải toán học được thể hiện dưới đây để tính toán  $q_c$  (điện tích gây ra bởi PD do điện dung bên trong  $C_c$ ). Trước hết, điện áp quá độ chạy qua thiết bị đo được tính:

$$U_3 = U_1 \times \frac{C_a}{(C_a + C_m)} \quad (4)$$

Đơn giản hóa công thức với lưu ý rằng  $C_m \gg C_a$ , ta có:

$$U_3 \times C_m = U_1 \times C_a = q_a \quad (5)$$

Do  $C_b \ll C_a$ , công thức tính có thể biểu diễn như sau:

$$q_a = U_1 \times C_a = U_2 \times C_b \quad (6)$$

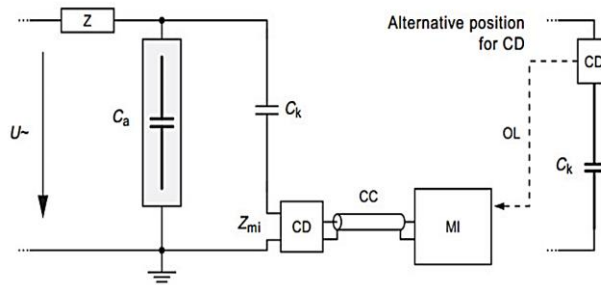
Nhân cả 2 vế với  $C_a/C_a$ , ta có:

$$q_a = \frac{U_2 \times C_a \times C_b}{C_a} = q_c \times \frac{C_b}{C_a} \quad (7)$$

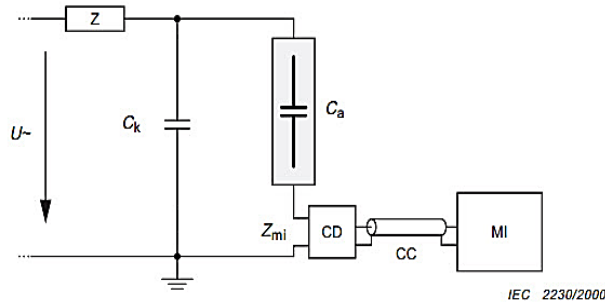
Từ công thức thu được có thể thấy rằng, phóng điện xảy ra tại  $C_c$  sẽ gây ra một điện áp rơi  $U_1$  chạy qua  $C_b$  tới  $C_a$  theo tỷ lệ  $C_b/C_a$ . Do đó, điện tích đo được chỉ là một phần nhỏ với điện tích thực ( $q_c$ ) tại điểm phóng điện do  $C_b/C_a \ll 1$ .

Cũng lưu ý rằng, điện tích đo được  $q_a$  tỷ lệ gián tiếp với điện dung của thiết bị được thử. Do đó, với một giá trị cho trước của điện tích thực  $q_c$ , biên độ của điện tích biểu kiến đo được sẽ giảm nếu điện dung của thiết bị được thử  $C_a$  tăng. Điều đó nghĩa là, điện tích biểu kiến không đo trực tiếp cường độ PD và do đó không phải là chỉ tiêu duy nhất biểu hiện tình trạng cách điện của thiết bị cao áp.

Có 2 sơ đồ đo cơ bản theo IEC 60270 phụ thuộc vào cách nối tổng trở đo:



Hình 10. Sơ đồ đo Coupling device (CD) mắc nối tiếp với coupling capacitor [8]



Hình 11. Sơ đồ đo CD mắc nối tiếp với máy thử [8]

Trong đó:  $U\sim$  là nguồn cao áp,  $Z_{mi}$  là tổng trở đo, CC là cáp nối, OL là cáp quang,  $C_a$  là thiết bị được thử,  $C_k$  là điện dung ghép nối, CD là thiết bị ghép nối, MI là thiết bị đo, Z là thiết bị lọc cao áp.

Sơ đồ hình trên giúp làm tăng độ nhạy của tín hiệu PD được phát hiện do mắc nối tiếp với tiếp địa của thiết bị được thử nhưng làm tăng nguy cơ phá hỏng tổng trở đo do dòng điện lớn chạy qua nó. Ngoài ra, sơ đồ này cần phải tách tiếp địa của thiết bị được thử - điều chỉ làm được trong một số trường hợp đặc biệt trong thực tế. Do đó Hình 10 thường được sử dụng rộng rãi hơn.

Trước khi thực hiện đo PD theo phương pháp truyền thống, cần thực hiện việc hiệu chuẩn thiết bị thử nghiệm khi đã kết nối vào hệ thống cần thử. Ý tưởng cơ bản để hiệu chuẩn một hệ thống đo PD là đưa vào một xung cho trước có thể đo được bởi thiết bị ghép nối CD, từ đó rút ra một tỷ lệ của hệ thống đo để xác định biên độ PD thực và cuối cùng tính toán hệ số hiệu chuẩn (k) là tỷ số giữa điện tích biểu kiến đo được ( $Q_a$ ) và giá trị đọc của thiết bị đo

PD ( $R_0$ ). Quan hệ của điện dung nối tiếp của  $C_0$ , thiết bị được thử  $C_a$  và  $C_k$  được biểu diễn theo IEC 60270 như sau:

$$C_0 < 0.1(C_a + C_k). \quad (8)$$

Thiết bị hiệu chuẩn sẽ đưa vào 1 xung cho trước ( $Q_0 = C_0 \times U_0$ ) với một vài chu kỳ thời gian được nối gần vào CD. Điều này cũng đảm bảo đầu nối của cả hệ thống. Công thức sau đây giải thích đơn giản cách tính hệ số hiệu chuẩn:

$$Q_a = Q_0 \times k/R_0 \quad (9)$$

### 3.5.2. Phương pháp phi truyền thống [8, 14]

Hiện nay, phương pháp đo PD phi truyền thống (thực hiện theo tiêu chuẩn IEC 62478) đang được phát triển mạnh mẽ vì đa số được thực hiện không cần cắt điện.

Phương pháp này chủ yếu phát hiện các biểu hiện của PD thông qua sự biến đổi của âm thanh, của nhiệt độ, phản ứng hóa học và sóng điện từ bằng cách sử dụng rất nhiều các loại cảm biến khác nhau.

Với đặc thù hiện trường là nơi bị ảnh hưởng mạnh bởi nhiễu tín hiệu (thường nằm ở dải tần số thấp), phương pháp đo sóng điện từ và sóng âm được sử dụng đặc biệt hiệu quả trong thực tế do các cảm biến có khả năng đo ở dải tần cao hơn mức nhiễu.

Các phương pháp này do có đặc tính đo tốt hơn nhờ có hệ số nhiễu tín hiệu nên thích hợp sử dụng để đo tại hiện trường đang mang điện, nơi bị ảnh hưởng mạnh bởi nhiễu đến tín hiệu đo. Hai phương pháp đo sóng điện từ và sóng âm được sử dụng rộng rãi vì chúng rất dễ sử dụng và có thể áp dụng cho bất kỳ thiết bị nào.

Vì phần lớn nhiều khi đo PD on-line tại hiện trường nằm ở dải tần số thấp nên việc đo ở dải tần cao hơn bằng cách sử dụng các cảm biến HF/VHF/UHF cho kết quả tốt hơn về hệ số nhiễu tín hiệu. Do đó, phương pháp đo PD phi truyền thống được sử dụng rộng rãi hơn. Nhược điểm chính của phương pháp phi truyền thống là phương pháp đo phụ thuộc vào từng thiết bị được thử khác nhau, hệ thống đo được PD tất cả các thiết bị điện cao áp sẽ cần nhiều dạng cảm biến và các công cụ phần mềm phức tạp hỗ trợ phân tích đánh giá so với phương pháp truyền thống. Ngoài ra, khi đo PD on-line, vấn đề hiệu chuẩn đánh giá biên độ của đại lượng PD có thể không thực hiện được nên việc đánh giá và đưa ra quyết định xử lý còn phụ thuộc nhiều vào kinh nghiệm, năng lực của các nhà sản xuất thiết bị.

Đối với mỗi loại mẫu thử khác nhau, cần sử dụng các loại cảm biến khác nhau phù hợp với đặc tính của từng thiết bị. Để thử nghiệm PD on-line cho cáp ngầm, một số dạng cảm biến thường được sử dụng là:

- *Cảm biến dạng tụ ghép (High Voltage Coupling Capacitor – HVCC):*

HVCC thường là một thiết bị gồm 4 kênh có khả năng chuyển đổi dòng điện đầu vào thành tín hiệu điện áp đầu ra. Các tín hiệu này được truyền đến dụng cụ đo bằng hệ thống truyền dẫn. HVCC bao gồm một tụ ghép và tổng trở đo. Để áp dụng HVCC trong phương pháp thử nghiệm PD on-line thì đòi hỏi cảm biến phải được lắp đặt ngay từ ban đầu.

- *Biến dòng cao tần (High Frequency Current Transformers – HFCT) [15]:*

Khi đo PD on-line cho các thiết bị cao áp, cảm biến HFCT được kẹp vào các dây tiếp địa của thiết bị. Lúc này, HFCT được mô hình hóa như hệ thống có đầu vào là dòng xung của PD và đầu ra là điện áp cảm ứng được đo qua trở kháng đầu vào của thiết bị đo (thường là 50  $\Omega$ ).

## **4. ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ THỬ NGHIỆM, CHẨN ĐOÁN MỚI CHO CẤP NGẦM TRÊN LƯỚI ĐIỆN TP.HCM**

### **4.1. Các thiết bị sử dụng tại ETCHCMC để thử nghiệm, chẩn đoán cáp ngầm**

#### *4.1.1. Hệ thống chẩn đoán cáp ngầm trung thế BAUR – Viola [11]*

- Điện áp thử tối đa: 60 kV rms.
- Dạng điện áp: VLF, 0,1 Hz
- Khả năng thử nghiệm: VLF, Tandelta, PD off-line



#### *4.1.2. Khối nguồn VLF High Voltage [16]*

- Khả năng phát áp VLF: 65 kV rms
- Hãng: High Voltage – USA



#### *4.1.3. Hệ thống xe cáp BAUR [11]*

- Khả năng thử nghiệm: VLF, chẩn đoán sự cố: Pin-pointing, TDR, Impulse,...



#### *4.1.4. Hệ thống DAC Megger TDS [9]*

- Khả năng thử nghiệm: DAC 60 kV rms, PD off-line



#### 4.1.5. Hệ thống chẩn đoán PD on-line Acoustic

- Hệ thống Ultra TEV Plus (Hãng EA Singapore): Hệ thống bao gồm nhiều loại cảm biến TEV, Acoustic, HFCT, Parabolic,...[17]



#### 4.1.6. Hệ thống chẩn đoán PD on-line dạng xung điện từ và TDR

- Bộ chẩn đoán PD on-line thiết bị nhất thứ hãng OMICRON-MPD600 [18]



- Bộ chẩn đoán PD on-line cho cáp ngầm HVPD Longshot [19]



## 4.2. Kết quả thu thập khi ứng dụng công nghệ mới

ETCHCMC đã thực hiện thử nghiệm, đo đạc được tổng cộng gần 10000 đoạn cáp ngầm trung thế từ năm 2016 đến năm 2020, tức là trung bình khoảng gần 2000 đoạn cáp mỗi năm. Số lượng cáp phát hiện điểm yếu, có PD khoảng gần 1000 đoạn, chiếm khoảng 10% tổng số

lượng cáp đã thử nghiệm. Qua đó, đã góp phần hỗ trợ EVNHCMC giảm thiểu sự cố liên quan đến cáp ngầm rất nhiều trong các năm qua.

ETCHCMC vừa triển khai đo đạc PD on-line từ cuối năm 2018. Tổng số lượng cáp đã đo là 2411 đoạn năm 2019, trong đó, phát hiện số lượng cáp cần xử lý PD ngay là 319 đoạn, chiếm tỷ lệ 13,2%, cáp có PD cần theo dõi là 476 đoạn, chiếm tỷ lệ 19,7 %:

Bảng 1. Số liệu đo PD Online cáp ngầm trung thế tại TP.HCM trong năm 2019 [20]

Điện lực	Xử lý ngay	Theo dõi	Không có PD	Tổng
Sài Gòn	31	93	257	381
Gia Định	46	83	230	359
Apđ	19	19	124	162
Gò Vấp	11	4	15	30
Phú Thọ	23	28	149	200
Hóc Môn	9	5	32	46
Thủ Thiêm	17	45	80	142
Chợ Lớn	33	62	245	340
Thủ Đức	8	20	73	101
Tân Phú	24	37	104	165
Bình Chánh	40	35	147	222
Củ Chi	27	11	44	82
Tân Bình	8	13	43	64
Tân Thuận	5	2	18	25
Bình Phú	18	19	55	92

#### 4.3. Một số dạng sự cố thực tế thường gặp

Một cách lý tưởng, sau khi phát hiện những vị trí bị PD, cáp cần được xử lý ngay dù mức độ là nghiêm trọng hay chưa. Đồng thời, cần nghiên cứu từng mẫu thử để phân tích, tìm hiểu cốt lõi nguyên nhân gây ra vấn đề. Sau khi phân tích được các lỗi xảy ra ở cáp ngầm, có thể thống kê dữ liệu nằm trong khoảng nào để có được một tiêu chuẩn chính xác.

Tuy nhiên, trong thực tế, việc làm này là bất khả thi vì tốn kém nhiều chi phí, thời gian. Tại những khu vực quan trọng như: bệnh viện, khu công nghiệp, khu vực trung tâm,...việc tái lập điện sớm để giảm tải cho các tuyến dây còn lại là rất quan trọng. Thêm vào đó, việc lần dấu theo khoảng cách chiều dài cáp chính xác cũng là một vấn đề khó khi cáp đi len lỏi dưới lòng đất. Do đó, EVNHCMC chỉ tập trung xử lý thay thế các đoạn cáp nằm ở ngưỡng nguy hiểm, sau đó tái lập điện nhanh để nâng cao độ tin cậy cung cấp điện.

Việc mô xẻ, phân tích sâu nguyên nhân gây ra điểm yếu cách điện cáp chỉ thực hiện được tại những vị trí ít quan trọng, mật độ tải thấp và cần kéo dài thời gian nhiều ngày. Dưới đây là các hình ảnh tiêu biểu về những lỗi cách điện trên những đoạn cáp có mức độ PD cao.



Hình 12. Cắt phạm vào lớp cách điện và bán dẫn khi thi công chuẩn bị đầu cáp [20]



Hình 13. Không đảm bảo khoảng cách pha đất khi lắp đặt đầu cáp trong tủ hợp bộ Sai quy cách thi công cách điện [20].

## 5. QUY TRÌNH THỬ NGHIỆM CÁP NGẦM VÀ TIÊU CHUẨN KIẾN NGHỊ ÁP DỤNG TẠI TP.HCM

Các thiết bị máy móc được ETCHCMC trang bị lần lượt qua từng năm do giới hạn về vốn được phân cấp. Các tiêu chuẩn chẩn đoán hầu như chưa có bất kỳ tài liệu nào đề cập đến và do là lần đầu sử dụng, EVNHCMC chấp nhận các khuyến cáo, giới hạn từ tài liệu hướng dẫn của các nhà sản xuất thiết bị. Các tiêu chuẩn sẽ được điều chỉnh dần dần trong quá trình làm việc thực tế nhưng nhìn chung cũng không cách biệt quá lớn so với giới hạn ban đầu. Tuy nhiên, với các tiêu chuẩn được đề cập cụ thể trong các tiêu chuẩn quốc tế, quy định của Bộ Công thương và EVN thì bắt buộc phải áp dụng theo nhằm đảm bảo việc đáp ứng tính pháp lý.

Bằng cách nghiên cứu, sàng lọc, tóm tắt với mức độ ưu tiên theo thứ tự sau: quy định nhà nước, tiêu chuẩn quốc tế, tài liệu kỹ thuật của nhà sản xuất, kinh nghiệm của bản thân trong quá trình công tác tại ETCHCMC, phần này sẽ liệt kê khoảng thời gian, mức điện áp thử nghiệm và các ngưỡng giá trị chẩn đoán tối ưu nhất trong công tác chẩn đoán cáp ngầm.

Sử dụng nguồn điện áp VLF và DAC thay thế cho điện áp DC, căn cứ theo tiêu chuẩn IEC 60502-2, IEEE 400.2. Phương pháp này cũng phù hợp theo Thông tư 33 của Bộ Công thương, do đó đảm bảo đáp ứng về mặt pháp lý. Điện áp thử nghiệm là  $3U_0$  đối với cáp mới và  $2U_0$  đối với cáp đã vận hành trong thời gian là 15 phút.

Trong thời gian thử nghiệm AC, cần kết hợp đo PD off-line và Tandelto song song trên cáp ngầm nhằm chẩn đoán được độ bền điện môi của cả đoạn cáp và xác định vị trí các điểm yếu có nguy cơ bị sự cố của cáp. Bảng tiêu chuẩn kiến nghị áp dụng dưới đây được đúc kết từ khuyến cáo của các NSX thiết bị, các tài liệu nước ngoài và không ngừng được điều chỉnh bởi kinh nghiệm thực tế của tác giả cùng công ty ETCHCMC [3].

Bảng 2. Bảng đánh giá giá trị SDTD, DTD [3]

Độ lệch tiêu chuẩn (SDTD) ( $10^{-3}$ )	Biểu thị	Yêu cầu TN	Đánh giá	Ghi chú
< 0,1	Cáp vẫn còn tốt	- TD - PD	- Chưa cần hành động cụ thể - Cáp tốt	- Sử dụng tiêu chuẩn PD bình thường
0,1 – 0,5	- Có cây nước và PD. - Hoặc chỉ có PD. - Có nước trong hộp nối	- TD - Có lẽ không thấy được giá trị PD	- Chỉ có TD thể hiện ảnh hưởng. - Kết quả PD suy giảm nhiều vì nước	- Nhiều cây nước nhưng vẫn chưa cần xử lý tức thời. - Nếu hộp nối có PD, cần thay thế ngay hộp nối. - Nếu đầu cáp có PD, hệ số PD nhân 2.
> 0,5	Có rất nhiều nước trong hộp nối	- TD - PD thì rất khó phát hiện trong hộp nối có nước	- Cần thay ngay hộp nối có nước. - Kết quả PD suy giảm nhiều vì nước	- Các hộp nối có nước có thể thể hiện TDR (cần kinh nghiệm của chuyên gia đo khuyến cáo, chỉ ra vị trí có nước). - Nếu hộp nối có PD, cần thay thế ngay hộp nối. - Nếu đầu cáp có PD, cần thay thế ngay đầu cáp.

Bảng 3. Bảng đánh giá giá trị Tandelata [11]

XLPE	Điện áp thử ( $n*U_0$ )	SDTD		DTD		TanDelta	Khuyến cáo
Cáp mới/ cáp sau lắp đặt	$U_1 = 2 U_0$ $U_2 = 1,5 U_0$ $U_3 = U_0$	<0,1	và	<0,8	và	<1,0	Cáp tốt
		>0,1	hoặc	>0,8	hoặc	>1,0	Cáp cần theo dõi
Cáp cũ	$U_1 = 1,5 U_0$ $U_2 = U_0$ $U_3 = 0,5U_0$	<0,1	và	<5	và	<4	Cáp tốt
		0,1-0,5	hoặc	5-80	hoặc	4-50	Cần theo dõi
		>0,5	hoặc	>80	hoặc	>50	Cần xử lý ngay

Bảng 4. Bảng đánh giá kết quả đo PD off-line cáp [4]

STT	Mức điện áp (kV)	Vị trí phát hiện	Giá trị (pC)	Kết luận
1	$U \leq U_0$	Lớp cách điện	300	Nếu mức PD lớn hơn các giá trị tiêu chuẩn thì phải tiến hành sửa chữa hoặc thay thế ngay. Nếu mức PD nhỏ hơn các giá trị tiêu chuẩn thì tiến hành thí nghiệm PD lại sau 06 tháng.
		Đầu cáp	1000	
		Hộp nối	500	
2	$U_0 \leq U \leq 1,3U_0$	Lớp cách điện	300	Ghi nhớ vị trí PD, sau 09 tháng tiến hành kiểm tra lại nhằm đánh giá mức độ phát triển của PD.
		Đầu cáp	1000	
		Hộp nối	500	
3	$1,3U_0 \leq U \leq 1,7U_0$	Lớp cách điện	300	Ghi nhớ vị trí PD, sau 12 tháng tiến hành kiểm tra lại nhằm đánh giá mức độ phát triển của PD.
		Đầu cáp	1000	



Bảng 5. Bảng đánh giá kết quả đo PD on-line cáp [19]

Cáp ngầm XLPE (thân cáp)	
Giá trị	Đánh giá
0 – 250 pC	Phóng điện còn trong giới hạn cho phép
250 – 350 pC	Có phát hiện PD, cần giám sát thêm
350 – 500 pC	Có phát hiện PD, cần có kế hoạch xử lý
> 500 pC	Sửa chữa, thay thế vị trí có PD
Cáp ngầm XLPE (phụ kiện cáp – Hộp nối, đầu cáp)	
0 – 500 pC	Phóng điện còn trong giới hạn cho phép
500 – 2500 pC	Có phát hiện PD, cần giám sát thêm
> 2500 pC	Sửa chữa, thay thế vị trí có PD

## 6. KẾT LUẬN

Công nghệ thử nghiệm, chẩn đoán cáp ngầm theo quy trình đề xuất đã thể hiện được tính hiệu quả và tầm quan trọng đối với EVNHCMC trong thời gian qua, giúp nâng cao độ tin cậy cung cấp điện, giảm sâu SAIDI, SAIFI của các đơn vị điện lực.

Trước đây, chưa có nghiên cứu nào đưa ra tiêu chuẩn, quy định cụ thể cho từng hạng mục chẩn đoán Tandelta, PD. Tùy theo điều kiện lưới điện cụ thể: môi trường, kết cấu lưới, cấu tạo cáp ngầm, v.v. mà đơn vị phải nghiên cứu, tập hợp dữ liệu để đặt ra tiêu chuẩn cho lưới điện của mình. Nghiên cứu này đã tập hợp kinh nghiệm của nhiều kỹ sư, chuyên gia của ETCHCMC để hiệu chỉnh, phát triển qua từng năm, từ đó đưa ra bảng tiêu chuẩn chi tiết phù hợp cho hệ thống cáp ngầm đang vận hành trên lưới điện TP.HCM.

Nhờ có kế hoạch trước, việc xử lý cáp ngầm không cần phải đào đường vào giờ cao điểm giao thông, hạn chế tắc đường, kẹt xe. Các đơn vị Điện lực quản lý vận hành có thời gian chuẩn bị vật tư thiết bị thay thế cho cáp ngầm, chủ động đăng ký cắt điện có kế hoạch và hạn chế các sự cố không mong muốn, giảm mất điện và gây ảnh hưởng lên kinh tế sản xuất.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tổng Công ty Điện lực TP.HCM - Báo cáo chuyên đề kỹ thuật của EVNHCMC - TP.Hồ Chí Minh (2016, 2017, 2018, 2019).
2. Bộ Công Thương - Thông tư số 33/2015/TT-BCT quy định về kiểm định an toàn kỹ thuật các thiết bị, dụng cụ điện, Hà Nội (2015).
3. IEEE - Guide for field testing of shielded power cable systems using very low frequency (VLF) (less than 1 Hz), in IEEE Std 400.2:2013 (2013) 1-60.
4. IEEE - Guide for partial discharge testing of shielded power cable systems in a field environment, in IEEE Std 400.3: 2006 (2006) 1-44.
5. IEC - Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 6kV up to 30kV, IEC 60502-2: 2015, 3rd Edn, 2015.
6. Tổng Công ty Điện lực TP.HCM - Quy định tiêu chuẩn cơ sở vật tư thiết bị sử dụng cho lưới điện ngầm 0.4 đến 22kV, TP.HCM (2012).

7. NEETRAC - Diagnostic testing of underground cable systems, NEETRAC (2010).
8. IEC - High-voltage test techniques - Partial discharge measurements, International Standard IEC 60270 Third edition, 2000-12.
9. Megger - Megger TDSNT User Manual – Megger Company (2016).
10. Gulski E., Cichecki P., Wester F., Smit J.J., Bodega R., Hermans T.J.W.H, Seitz P.P., Quak B., Vries F.D. - On-site testing and PD diagnosis of high voltage power cables - IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation **15** (6) (2008) 1691-1700.
11. Baur - Baur-Viola User Manual, Baur Company, Austria (2016).
12. Tektronix - TDR Impedance measurements: A foundation for signal Integrity, Tektronic Application Note (2008).
13. L.W.van Veen - Comparison of measurement methods for partial discharge measurement in power cables, Delft University of Technology (2014).
14. IEC - High voltage test techniques – Measurement of partial discharges by electromagnetic and acoustic methods, International Standard IEC 62478:2016 First edition (2016).
15. Fernando Álvarez, Fernando Garnacho, Javier Ortego and Miguel Ángel Sánchez-Urán - Application of HFCT and UHF sensors in on-line partial discharge measurements for insulation diagnosis of high voltage equipment, Sensors **15** (4) (2015) 7360-7387.
16. HVI - HVI VLF Source User Manual, HVI Company, USA (2015).
17. EA Company - UltraTEVPlus 2 User Manual, EA Company, Singapore (2016).
18. Omicron - MPD-600 User Manual, Omicron, Austria (2019).
19. HVPD - HVPD Longshot User Manual, HVPD Insight Company (2017).
20. Công ty Thí nghiệm điện lực TP.HCM - Dữ liệu thử nghiệm, chẩn đoán cáp ngầm từ 2016-2019, TP.HCM (2016-2019).

## **ABSTRACT**

### DETERMINING OPTIMAL METHODS AND STANDARD OF DIAGNOSING, TESTING FOR MEDIUM VOLTAGE UNDERGROUND CABLE IN HO CHI MINH CITY POWER GRID

Ho Bao Huy<sup>1</sup>, Nguyen Tan Hung<sup>1</sup>, Nguyen Huu Vinh<sup>1</sup>, Nguyen Hung<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>*Ho Chi Minh City Power Corporation*

<sup>2</sup>*Ho Chi Minh City University of Technology*

\*Email: *n.hung@hutech.edu.vn*

This paper proposes the diagnosing and testing methods for medium voltage underground cables. There are two main classifications depending on the cut-down power source status: Off-line (Cut-off Power source) and On-line (Testing without cutting off electricity). After researching and collecting knowledges from international standards such as: IEC, IEEE, CIGRE, as well as reference papers, this paper suggests replacing the testing procedure of underground cable XLPE in Ho Chi Minh City for upgrading test results without harming the tested objects. This paper also combined data collected from installing,

repairing, testing cables on-site of EVNHCMC from 2016-2019. Then, the authors recommend diagnosing and testing standard for underground cable that operating in EVNHCMC. This helps the power companies unify 3 main levels to handle cables: re-operation allowance, weakening point replacement in 6/12 month periods; immediate repair. Based on this change of testing procedures and testing standards, the numbers and percentages of cables' faults have been decreased steadily year by year, which helps improve the reliability of electricity supply, since 2016 in EVNHCMC.

*Keywords:* Damped-AC Source (DAC), CIGRE, Ho Chi Minh City Power Corporation (EVNHCMC), Ho Chi Minh City Electrical Testing Company (ETCHCMC), IEC Standard 60270, IEC Standard 62478, IEEE Standard 400, Partial Discharge Test (PD), Tandelata Test, Time-Domain Reflection (TDR), Very-Low Frequency Source (VLF).