

TÍCH ĐIỆN KHÔNG GIAN TRONG VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN ỨNG DỤNG TRONG HVDC

SPACE CHARGE IN INSULATIONS FOR HVDC APPLICATIONS

Vũ Thị Thu Nga

Trường Đại học Điện lực

Tóm tắt:

Trong hệ thống truyền tải điện, với nhu cầu mở rộng mạng lưới năng lượng quy mô lớn, kỹ thuật một chiều cao áp (HVDC) đang bùng nổ hiện nay trên thế giới do có các giải pháp chuyển đổi năng lượng linh hoạt. Những phát triển này đi kèm với những thách thức trong việc đánh giá các vật liệu cách điện được sử dụng trong các hệ thống HVDC và trong việc thiết kế các lớp cách điện dựa vào phân bố điện trường. Mục đích của tác giả trong bài viết này là xem xét sự tích điện không gian trong các hệ thống cách điện DC dưới ảnh hưởng của nhiệt độ và các sản phẩm phụ sinh ra trong quá trình chế tạo vật liệu cách điện. Sự phân bố trường cũng có thể xác định từ các phép đo mật độ tích điện không gian trong lớp cách điện thông qua phương pháp đo không gian. Tích lũy điện tích không gian có thể làm tăng cường điện trường khi vật liệu không được kiểm soát tốt.

Từ khóa:

Tích điện không gian, cáp HVDC, phân bố điện trường, phương pháp PEA.

Abstract:

In the field of energy transport, with needs to strengthen large scale energy networks High Voltage DC technologies are booming at present due to the more flexible power converter solutions. These developments go with challenges in qualifying insulating materials embedded in those HVDC systems. Our purpose in this paper is to consider the space charge in DC insulation systems under influence of temperature and byproducts generated during the manufacture of insulating materials. Field distribution can be calculated base on result of space charge measurements using space techniques. The space charge build-up can induce substantial electric field strengthening when materials are not well controlled.

Key words:

Space charge, HVDC cable, field distribution, PEA method.

1. GIỚI THIỆU

Đối với mục đích truyền tải năng lượng, công nghệ truyền tải HVDC đang được

phát triển mạnh mẽ hiện nay do có các giải pháp chuyển đổi năng lượng linh hoạt với các hệ thống truyền tải ngầm xuyên biển, đường dây truyền tải rất dài, kết nối giữa các hệ thống không cùng tần số... [1]. Các vật liệu dùng để cách điện trong

Ngày nhận bài: 21/11/2017, ngày chấp nhận đăng: 8/12/2017, phản biện: TS. Đặng Việt Hùng.

các hệ thống tương ứng như đối với cáp, bộ chuyển đổi... cũng đòi hỏi đáp ứng những yêu cầu cụ thể vì việc phân phối điện trường trong trường hợp này không tuân theo các quy tắc giống như đối với hệ thống xoay chiều (AC). Thật vậy, trong trường hợp ứng suất của HVAC, sự phân bố điện trường có thể được dự đoán tương đối tốt vì nó tuân theo sự phân bố điện dung, tức là nó là hàm của hằng số điện môi của vật liệu theo biểu thức 1:

$$E_{AC}(r) = \frac{V_{ac}}{r \cdot \ln(r_i/r_o)} \quad (1)$$

Trong đó: r_i và r_o là bán kính bên trong và bên ngoài của cách điện cáp.

Khi chuyển sang trường hợp DC, sự phân bố không còn là điện dung ở trạng thái ổn định, mà chuyển sang phân bố điện trở sau khi đi qua chế độ quá độ (là thời gian mà các tích điện không gian được tích lũy [2]), nó phụ thuộc vào điện dẫn trong cách điện cáp theo biểu thức 2:

$$E(r) = E_c \frac{r_c \sigma_c}{r \sigma(r)} \quad (2)$$

Trong đó: E_c và σ_c là điện trường và điện dẫn ở vị trí bán kính r_c .

Do đó, dự đoán sự phân bố điện trường là một thách thức vì tất cả các vật liệu polyme được sử dụng trong các hệ thống cách điện đều có sự phụ thuộc đáng kể của điện dẫn vào nhiệt độ và sự phụ thuộc không tuyến tính của điện dẫn vào điện trường (từ khoảng 10 kV/mm trở lên). Bên cạnh đó, vật liệu phải chịu tác động của sự tích lũy điện tích làm thêm phần không chắc chắn về dự đoán của phân bố

điện trường. Hậu quả của các đặc tính này là sự gia tăng của điện trường, thể hiện điểm yếu của vật liệu là sự phá hủy sớm. Vấn đề thứ hai, liên quan đến việc hình thành tích điện không gian, là tác nhân ảnh hưởng đến quá trình lão hóa lâu dài của vật liệu. Để giải quyết các vấn đề khó khăn đó, các nghiên cứu về nhiều mặt khoa học đang được phát triển trên thế giới để đạt được:

- Sự phát triển của vật liệu với những hiệu suất sử dụng được cải thiện;
- Sự phát triển các mô hình vật lý cho đặc tính của vật liệu để hiểu rõ sự phát sinh, lưu giữ và di chuyển của điện tích không gian;
- Sự phát triển của các kỹ thuật, đặc biệt là các kỹ thuật đo lường phân bố điện tích, có liên quan đến cấu trúc hình học và các ứng suất nhiệt và điện;
- Đề xuất các phương pháp đánh giá vật liệu trong ứng dụng: Điều này có nghĩa là phải đo số lượng cần thiết và đưa ra các số liệu cần thiết về vật liệu được cung cấp ứng dụng để các hệ thống làm việc an toàn hơn;
- Việc đưa ra các mô hình kỹ thuật để ước lượng phân bố các ứng suất tác dụng lên cáp.

Ở đây, tác giả chủ yếu quan tâm đến các vật liệu polyme được sử dụng làm vật liệu cách điện trong cáp HVDC. Polyethylene, đặc biệt là polyethylene liên kết ngang (XLPE), nó đã được sử dụng hơn 30 năm trong cách điện cáp HVAC lên đến điện áp 500 kV với sự bền vững cao.

Trong bài báo này, tác giả trình bày một

số kết quả trong nghiên cứu về sự tích điện không gian đạt được trong cáp HVDC, đó là một trong những định hướng nghiên cứu quan trọng cho sự phát triển vật liệu nhằm cải thiện hiệu suất sử dụng vật liệu trong các ứng dụng của nó.

2. KỸ THUẬT VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ TÍCH ĐIỆN KHÔNG GIAN

Về mặt lịch sử, các kỹ thuật đo lường tích điện không gian đã được thực hiện trước khi xem xét đến quá trình truyền tải năng lượng HVDC. Một số kỹ thuật trực tiếp và không phá hủy đã được phát triển [3-5]. Kỹ thuật này thực sự đại diện cho các công cụ thiết yếu để đánh giá vật liệu trong các ứng dụng HVDC. Chúng được dựa trên ứng dụng cơ, nhiệt hoặc kích thích điện tác động đến sự cân bằng tĩnh điện trong mẫu đo, tạo ra một phản ứng thoáng qua của phân bố điện tích qua mẫu đo và đã áp dụng đo trên các mẫu cách điện phẳng có độ dày lớn hơn 100 μm , cho các ứng dụng kỹ thuật điện khác nhau, tuy nhiên vấn đề rất quan trọng là có thể xác định sự phân bố này ở các cấu trúc cáp thực tế. Để giải quyết vấn đề này, hai kỹ thuật đo là phương pháp dựa trên nhiễu loạn nhiệt: Phương pháp bước nhiệt và phương pháp nhiễu loạn xung trường: Phương pháp xung âm điện (Pulsed Electroacoustic-PEA) đã xuất hiện. Các thách thức hiện nay là phát triển các kỹ thuật này để đo ở môi trường điện áp cao, trên các loại cáp có kích thước thực, lớp cách điện dày vài cm [5].

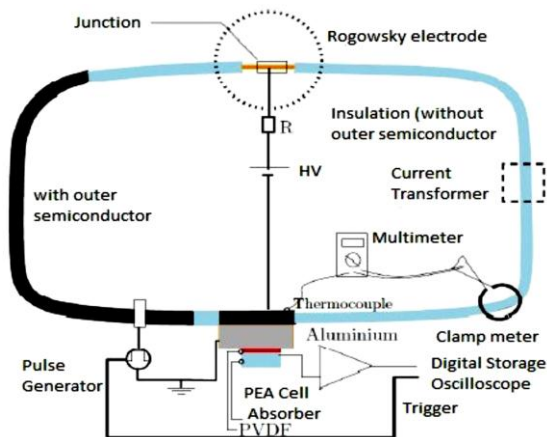
Trong bài báo, tác giả mô tả tóm tắt phương pháp PEA (phiên bản dùng đo cho cáp hình học) bởi vì phương pháp này cho phép các phép đo đặc tính động của

tích điện không gian với độ phân giải thời gian rất cao và đáp ứng rất tốt với cả các mẫu phẳng và các mẫu cáp hình học. Phương pháp PEA dùng các xung điện (độ lớn khoảng kV/mm) trong khoảng thời gian rất ngắn (nano giây) đi qua mẫu đo. Sự tương tác của lực Coulomb gây ra sự dịch chuyển cơ bản tạm thời của điện tích xung quanh vị trí cân bằng của nó. Một sóng âm thanh, biên độ tỉ lệ với số lượng điện tích, sau đó được sinh ra. Các sóng này đi qua vật liệu cách điện và có thể được phát hiện bởi một bộ chuyển đổi (piezo transducer), chuyển đổi tín hiệu âm thanh thành tín hiệu điện. Tín hiệu điện được khuếch đại trước khi được ghi lại bằng một oscilloscope số. Xử lý tín hiệu thích hợp sau đó cho phép đưa ra hình ảnh của sự phân bố điện tích không gian.

Phương pháp này có lợi thế là khả năng ghi lại các ứng lực cả khi nó bật hoặc tắt với thời gian phân giải rất cao và có thể đo được khi có điện áp bên ngoài là DC hoặc AC. Do đó nó hoàn toàn phù hợp với nghiên cứu tích điện và dịch chuyển điện tích trong cách điện của cáp điện cao áp.

Một hệ thống lắp đặt thực nghiệm đo tích điện không gian cho cáp được thể hiện trong hình 1 [7]. Cáp được gắn với bộ cảm ứng PEA bằng một khung lắp đặt cung cấp khả năng điều chỉnh kẹp cáp, do đó đảm bảo tiếp xúc âm tốt giữa chất bán dẫn bên ngoài và điện cực nhôm của bộ phận đo lường. Các xung điện áp đến từ máy phát điện 5kV/30ns/10kHz được bơm vào vùng đo thông qua chất bán dẫn bên ngoài của cáp. Chất bán dẫn bên ngoài được bóc bỏ trên một chiều dài khoảng 5 cm giữa điểm đo và vùng đặt

xung, bằng cách này, cáp được dùng như một tụ điện tách biệt. Để đảm bảo rằng điện áp xung tại điểm đo là tối đa, chiều dài của lớp bán dẫn bên ngoài ở điểm đặt xung được giữ lớn so với tại điểm đo. Một máy phát điện áp cao cung cấp điện áp DC vào lõi dây dẫn qua điện cực Rogovsky. Loại điện cực này được sử dụng để tránh bất kỳ sự tăng cường của điện trường và có thể làm tăng diện tích kết nối giữa cáp và máy phát điện áp.

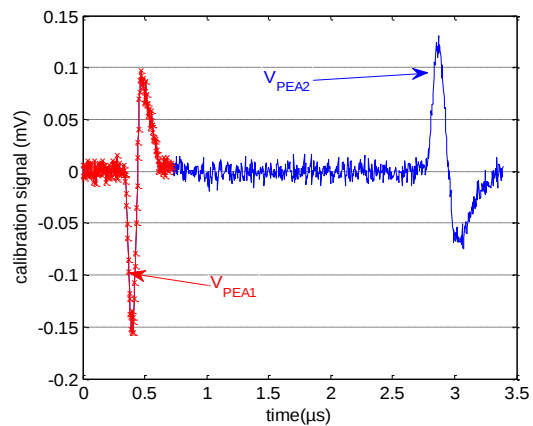


Hình 1. Sơ đồ thực nghiệm đo tích điện không gian cho cáp hình trụ

Đối với các phép đo có tính đến sự chênh lệch nhiệt độ trong cách điện cáp, dây cáp được làm nóng bởi một dòng điện xoay chiều trong lõi cáp bằng một máy biến dòng. Bằng cách này, nhiệt độ sẽ xuất hiện trong lớp cách nhiệt vì lớp bề mặt ngoài của cáp tiếp xúc với không khí xung quanh. Nhiệt độ tại bề mặt của cáp được đo bằng cặp nhiệt kế và dòng điện trong cáp được đo bằng cách sử dụng một kẹp đo dòng điện. Từ đó có thể tính toán sự chênh lệch nhiệt độ trong cách điện cáp.

Các phép đo được thực hiện theo hai bước: Bước hiệu chỉnh bằng cách đặt một

trường DC nhỏ vào mẫu và xem xét phản ứng của hệ thống là các điện tích được tạo ra trên các điện cực, sau đó tính toán sự suy giảm và phân tán của sóng âm trong vật liệu. Các tín hiệu âm thanh được ghi lại trong các điều kiện cụ thể được xử lý để cung cấp phân bố điện tích không gian như hình 2 [7, 8].



Hình 2. Đo tín hiệu thô để hiệu chỉnh (ở 20 kV trên cáp cách điện dày 4,5 mm) [7]

Phương pháp PEA đã được áp dụng và các kết quả được trình bày trong phần tiếp theo cho mini cáp.

3. THÁCH THỨC VỀ VẬT LIỆU CHO CÁP HVDC

Polyethylene liên kết ngang (XLPE) được hình thành bằng cách sử dụng chất khử peroxit trong phản ứng hóa học dẫn tới sự hình thành các sản phụ phẩm, tức là các hóa chất như acetophenone, cumyl-alcohol hoặc alpha-methyl-styrene trong vật liệu. Các sản phẩm này tạo thuận lợi cho việc hình thành các điện tích không gian trong cách điện, chúng có thể hoạt động như các phân tử có khả năng ổn định các điện tích (hình thành các mức năng lượng sâu trong vùng trống [10] của dải

năng lượng, hoặc tạo thành các hạt ion di chuyển vào lớp cách điện [8]).

Để thấy rõ sự ảnh hưởng của sản phẩm phụ trong quá trình chế tạo vật liệu XLPE dưới các tác động của nhiệt độ khác nhau, tác giả đã thực hiện một số phép đo điện tích không gian sử dụng phương pháp PEA cho mẫu mini cáp.

3.1. Mẫu thực nghiệm

Các thực nghiệm đo điện tích không gian được thực hiện trên 2 mẫu mini cáp đồng trục, sử dụng cách điện XLPE, có quá trình xử lý sản phẩm phụ khác nhau. Các mẫu cáp được đo có cùng kích thước hình học: có độ dài 3 m, bán kính lõi dẫn là 0,7 mm, độ dày của lớp bán dẫn bên trong và bên ngoài tương ứng là 0,7 và 0,15 mm. Bán kính lớp cách điện bên trong (r_i) và bên ngoài (r_o) lần lượt là 1,4 mm và 2,9 mm (lớp cách điện có độ dày là 1,5 mm). Mẫu 1: cáp đã được khử sản phẩm phụ bằng nhờ quá trình xử lý nhiệt (cáp được đặt trong nhiệt độ 60°C trong nhiều ngày). Mẫu 2: cáp được đặt trong môi trường nhiệt độ phòng nhiều ngày nhưng không được qua quá trình xử lý nhiệt.

3.2. Điều kiện thực nghiệm

Các phép đo trên 2 mẫu cáp được thực hiện dưới 2 điều kiện nhiệt độ khác nhau với mức điện áp đặt là -30 kV (được đặt vào lõi dẫn của mini cáp) để đạt được tương ứng điện trường $E_i \sim 30$ kV/mm ở lớp bán dẫn bên trong và ~ 14 kV/mm ở lớp bán dẫn bên ngoài.

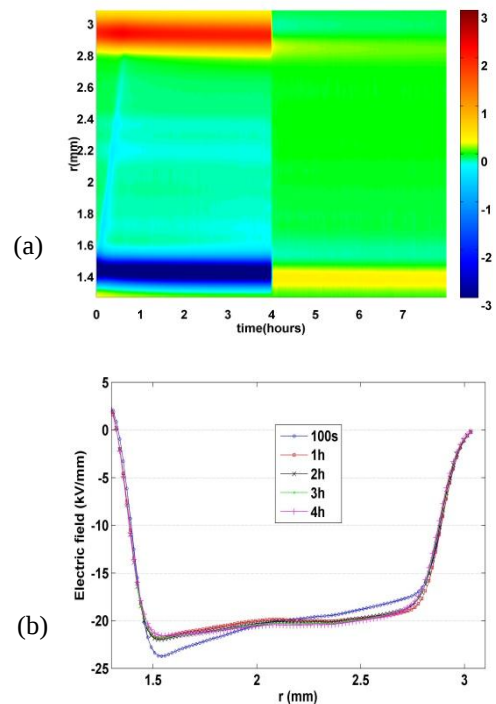
Về điều kiện nhiệt độ, các phép đo được thực hiện ở nhiệt độ phòng ($\sim 22^\circ\text{C}$) và

dưới chênh lệch nhiệt độ là 10°C (nhiệt độ khoảng 60°C ở lớp ngoài cáp và trong lõi cáp là 70°C).

3.3. Kết quả thực nghiệm

3.3.1. Ở nhiệt độ phòng ($\sim 22^\circ\text{C}$)

Mật độ tích điện và phân bố điện trường đối với cáp được xử lý khử các sản phẩm phụ được thể hiện trong hình 3 (thang màu đại diện cho mật độ điện tích C/m^3).



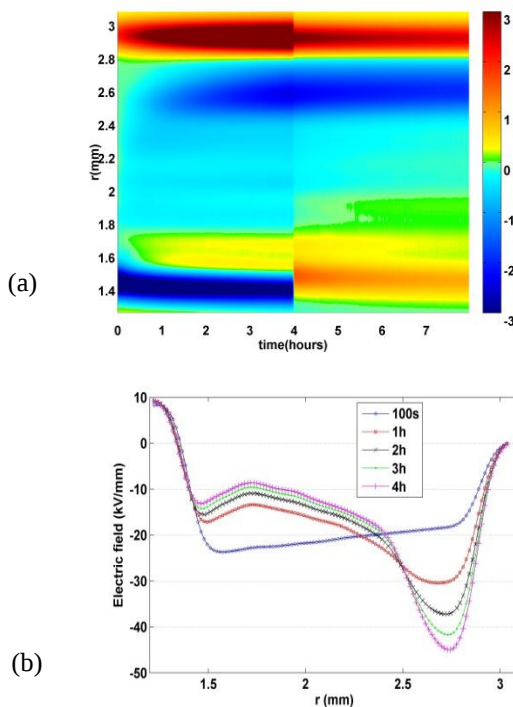
Hình 3. Mật độ tích điện không gian ở mẫu cáp đã xử lý sản phẩm phụ (3a) và phân bố điện trường trong cách điện cáp (3b) ở nhiệt độ phòng và dưới -30 kV

Một dải dài và mỏng điện tích âm, xuất hiện từ cực âm ngay sau khi đặt điện áp và xu hướng xuyên qua cách điện tới điện cực dương. Thời gian di chuyển của dải điện tích âm này từ cực âm đến cực dương khoảng là 38 phút. Hơn nữa, ta cũng quan sát thấy điện tích âm tích lũy

trong lớp cách điện của cáp với mật độ không lớn.

Điện trường giảm và tăng cường tương ứng ở lớp bán dẫn bên trong và bên ngoài do hiện tượng tích điện âm trong lớp cách điện. Tuy nhiên, giá trị điện trường cực đại luôn luôn tồn tại ở lớp bán dẫn bên trong sau 4h đặt điện áp và được ước tính khoảng -22 kV/mm .

Hình 4 thể hiện mật độ điện tích và phân bố điện trường trong cáp được xử lý các chất sản phẩm phụ kém.



Hình 4. Mật độ tích điện không gian ở mẫu cáp xử lý kém sản phẩm phụ (4a) và phân bố điện trường trong cách điện cáp (4b) ở nhiệt độ phòng và dưới -30 kV

Trong hình 4a, ta quan sát rõ ràng sự tích điện dương và âm được hình thành tương ứng ở điện cực bên trong và bên ngoài của lớp cách điện và mật độ tăng với thời gian đặt điện áp. Các điện tích âm có mật

độ cao hơn nhiều so với các điện tích dương. Khi không còn đặt điện áp sau 4h, điện tích âm mất đi khá chậm do vậy ta vẫn quan sát thấy mật độ lớn điện tích âm ở điện cực bên ngoài lớp cách điện. Đặc biệt, ta không quan sát thấy dải điện tích âm xuất hiện trong mẫu cáp này.

Phân bố điện trường tăng nhanh ở lớp bán dẫn bên ngoài. Điện trường đã xảy ra hiện tượng đảo ngược do sự tồn tại heterocharge điện tích âm. Giá trị điện trường lớn nhất sau 4h đặt điện vào khoảng -45 kV .

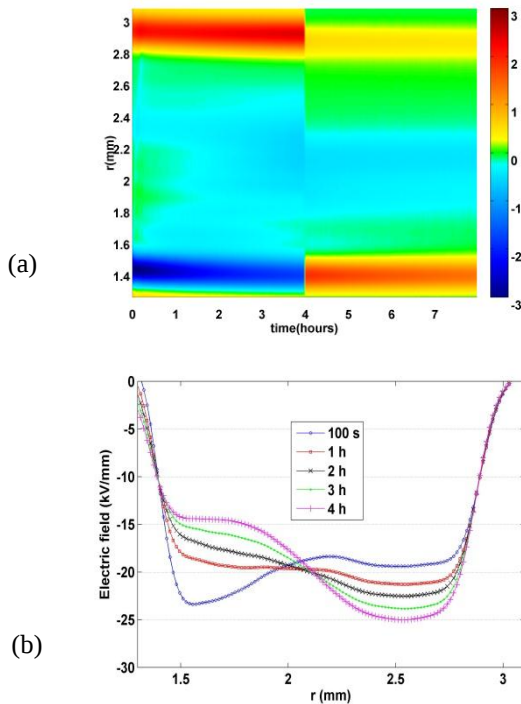
3.3.2. Dưới chênh lệch nhiệt độ là 10°C

Đối với mini cáp đã xử lý các sản phẩm phụ, điện tích âm xuất hiện ở điện cực bên trong và chiếm toàn bộ không gian của cách điện trong khoảng thời gian đặt điện áp (hình 5a). Ta không quan sát thấy điện tích dương trong trường hợp này. Mật độ điện tích tối đa của điện tích âm vào khoảng $0,5 \text{ C/m}^3$.

Điện trường bị méo bởi hiện ứng của tích điện không gian trong cách điện (hình 5b). Nó giảm và tăng tương ứng ở lớp bán dẫn trong và ngoài (điện trường cực đại đạt khoảng -25 kV/mm sau 4h đặt điện áp). Ta cũng quan sát thấy dải điện tích âm xuất hiện giống như trong trường hợp đo ở nhiệt độ phòng tuy nhiên tốc độ di chuyển trong trường hợp này lớn hơn rất nhiều. Thời gian di chuyển từ cực âm đến cực dương của dải điện tích này là 12 phút.

Hình 6 mô tả mật độ điện tích và phân bố điện trường cho trường hợp cáp xử lý kém các chất sản phẩm phụ. Điện tích dương và âm xuất hiện tương ứng ở 2 điện cực âm và dương. Vì mật độ điện tích âm rất

lớn nên điện trường cực đại xuất hiện ở điện cực ngoài và đạt khoảng -35 kV/mm sau 4h đặt điện áp. Mặc dù nhiệt độ đo tương đối cao, nhưng quan sát thấy rằng các điện tích, đặc biệt là điện tích âm, bị mất đi rất chậm ở giai đoạn khử cực (điện áp bằng 0 V).



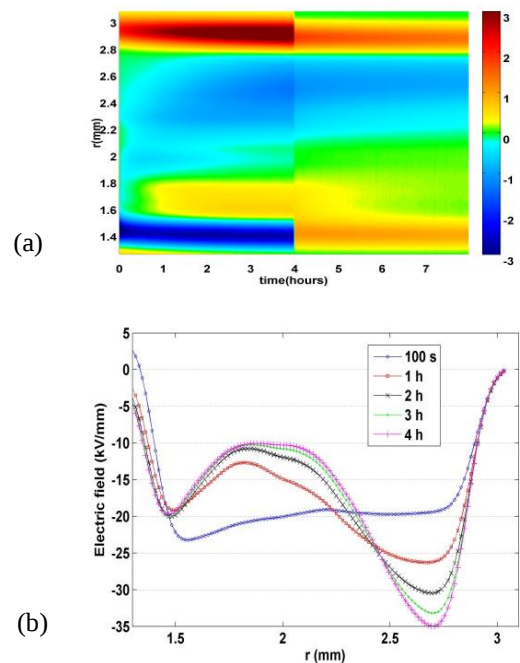
Hình 5. Mật độ tích điện không gian ở mẫu cáp đã xử lý sản phẩm phụ (4a) và phân bố điện trường trong cách điện cáp (4b) ở sự chênh lệch nhiệt độ 10°C và dưới -30 kV

3.4. Trao đổi

3.4.1. Hiệu ứng của nhiệt độ

Kết quả thực nghiệm cho thấy, ở hai nhiệt độ khác nhau (nhiệt độ thường và dưới sự chênh lệch nhiệt độ 10°C), đối với cáp khử sản phẩm phụ tốt (hình 3 và hình 5), dưới ảnh hưởng của chênh lệch nhiệt độ trong cách điện cáp, mật độ của tích điện âm trong cách điện cáp lớn hơn khá nhiều so với trường hợp phép đo được thực hiện trong nhiệt độ thường. Hơn nữa, ta nhận

thấy ở nhiệt độ thường, điện trường phân điện trường gần giống dạng của trường điện dung trong trường hợp điện áp đặt AC (biểu thức 1), điện trường ở lớp bán dẫn bên trong lớn hơn so với bên ngoài) và sau 4h đặt điện áp sự phân bố lại của điện trường không thay đổi nhiều so với thời điểm ban đầu đặt điện áp. Dưới chênh lệch nhiệt độ, điện trường biến động nhiều do sự thay đổi của điện dẫn phụ thuộc vào nhiệt độ (biểu thức 2), kết quả là có sự nghịch đảo sau 4h đặt điện áp (trường cực đại đạt được ở lớp bán dẫn bên ngoài). Như vậy, sự phân bố điện trường thay đổi khá lớn dưới tác động của chênh lệch nhiệt độ trong cáp, tương đồng với một số kết quả nghiên cứu trước về sự biến dạng điện trường theo nhiệt độ [8].



Hình 6. Mật độ tích điện không gian ở mẫu cáp xử lý kém sản phẩm phụ (6a) và phân bố điện trường trong cách điện cáp (6b) ở sự chênh lệch nhiệt độ 10°C và dưới -30 kV

Ngoài ra, ta còn nhận thấy tốc độ di

chuyển của dải điện tích âm di chuyển từ cực âm đến cực dương cũng phụ thuộc vào nhiệt độ của cáp (bảng 1). Tốc độ di chuyển này được xác định theo biểu thức 3:

$$\mu \cong \frac{r_o - r_i}{E_{tb} \cdot t_t} \quad (3)$$

Trong đó: r_e và r_i là bán kính ngoài và trong của lớp cách điện, t_t là thời gian di chuyển và E_{tb} là điện trường trung bình ở bán kính trong và ngoài lớp cách điện.

Bảng 1. Tốc độ di chuyển của dải điện tích âm

Điện áp đặt	30kV	
Điều kiện nhiệt độ	Nhiệt độ thường (22°C)	Chênh lệch nhiệt độ 10°C
Thời gian di chuyển của dải điện tích âm	38 phút	12 phút
Tốc độ di chuyển của dải điện tích âm (m ² /V/s)	3,3.10 ⁻¹⁴	1,04.10 ⁻¹³

3.4.2. Hiệu ứng của sản phẩm phụ

Ở nhiệt độ thường và dưới chênh lệch nhiệt độ, chỉ có điện tích âm xuất hiện với mật độ nhỏ trong cách điện cáp đã khử các sản phẩm phụ. Tuy nhiên, ở cáp khử sản phẩm phụ kém hiện tượng heterocharge xảy ra ở cả hai trường hợp nhiệt độ khác nhau trong cáp với mật độ điện tích và sự biến dạng điện trường khá nghiêm trọng. Như vậy, sản phẩm phụ trong cách điện cáp XLPE có khả năng làm tăng tính dẫn điện của chất cách điện và do đó dẫn đến sự tích điện không gian xảy ra rất nhanh và thiết lập chế độ ổn định tĩnh trong cách điện cáp.

Ở nhiệt độ thường, mật độ điện tích âm xuất hiện trong cáp đã xử lý các sản phẩm phụ rất nhỏ và sự thay đổi điện trường không đáng kể. Trái lại, ở cùng điều kiện, trong cáp chưa được khử các sản phẩm phụ sự tích điện không gian âm đã làm đảo chiều điện trường với giá trị cực đại lên tới xấp xỉ -45 kV/mm (hình 4b).

Quá trình xử lý nhiệt để khử khí (nung nóng tới 60°C trong nhiều ngày) áp dụng cho các loại cáp trong thí nghiệm này không thể được áp dụng trực tiếp trên dây cáp kích thước đầy đủ. Các nghiên cứu hiện nay được định hướng để xử lý cáp với việc giữ các khía cạnh có lợi của kết nối ngang trên các đặc tính cơ nhiệt trong dây cáp. Có thể đề cập đến ở đây ít nhất ba chiến lược phát triển:

Thứ nhất, sự phát triển của quá trình liên kết ngang làm giảm đáng kể lượng phụ phẩm. Đây là chiến lược được phát triển trong thế hệ mới của vật liệu đang được thương mại hoá sử dụng cho cáp HVDC [11], với việc vẫn sử dụng liên kết ngang peroxit. Hoặc một cách đổi mới khác là sử dụng đồng tác nhân trong phản ứng hóa học của liên kết ngang, khi đó hầu như không có phụ phẩm [12]. Kết quả rất hứa hẹn về đặc tính điện tích không gian đã thu được trong các vật liệu này, cách tiếp cận này đã đạt được trên vật liệu không liên kết (polyethylene mật độ thấp) [13].

Chiến lược thứ hai là việc sử dụng các polyme nanocomposite [14]. Nó đã được chứng tỏ trong một vài trường hợp rằng sự kết hợp của các hạt nano làm giảm đáng kể sự tích tụ điện tích không gian trong các polyme [15]. Ví dụ, các chất trộn nano của silica (SiO₂) và oxit magiê

(MgO) [17] được kết hợp với LDPE đã được chứng minh có hiệu quả trong việc ngăn chặn điện tích không gian.

Cuối cùng, có một số nghiên cứu sử dụng cách điện bằng polypropylene với các tính chất điện môi nổi bật của nó và độ bền cơ nhiệt cao hơn cách điện polyethylene. Thế hệ mới của dây cáp ngầm tắm gần đây đã được đề xuất dùng PPLP [19] như là một loại giấy cách điện, nó bao gồm các màng PP và giấy kraft thông thường.

5. KẾT LUẬN

Tích điện không gian trong vật liệu cách điện sử dụng cho cáp HVDC là một vấn đề quan trọng, nó tác động lớn đến sự phân bố điện trường trong cách điện của cáp. Nghiên cứu của tác giả đã cho thấy

sự ảnh hưởng lớn bởi rất nhiều các yếu tố như nhiệt độ, điện áp cũng như các sản phẩm phụ sinh ra trong quá trình chế tạo vật liệu đến quá trình tích lũy điện tích không gian, nó là tác nhân gây nên sự méo điện trường trong cách điện của cáp và có thể dẫn đến hiện tượng đảo chiều điện trường. Do vậy, các nghiên cứu về vật liệu sử dụng trong cáp HVDC vẫn đang ngày càng phát triển trên thế giới để có được sự tích lũy điện tích không gian nhỏ nhất trong vật liệu dưới các điều kiện làm việc khác nhau điện áp và nhiệt độ. Hơn nữa, các phương pháp nghiên cứu mô phỏng để dự đoán sự tích lũy điện tích không gian và phân bố điện trường trong cáp cũng ngày được quan tâm để có được một công cụ dự báo chính xác

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] G. Mazzanti, M. Marzino, *Extruded Cables for High-Voltage Direct-Current Transmission*, Wiley-IEEE Press, New Jersey, 2013.
- [2] D. Fabiani, G.C. Montanari, C. Laurent, G. Teyssedre, P.H.F. Morshuis, R. Bodega, L.A. Dissado, *HVDC cable design and space charge accumulation. Part 3: Effect of temperature gradient*, IEEE Electr. Insul. Mag., vol. 24_2, pp. 5-14, 2008.
- [3] S. Holé, T. Ditchi, J. Lewiner, *Non-destructive methods for space charge distribution measurements: what are the differences ?*, IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 10, pp. 670-677, 2003.
- [4] K. Fukunaga, *Progress and Prospects in PEA Space Charge Measurement Techniques*, IEEE Electr. Insul. Mag., vol. 24_3, pp. 26-37, 2008.
- [5] P. Nottingher, S. Holé, L. Berquez, G. Teyssedre, *An Insight into Space Charge Measurements*, International J. Plasma Environmental Science & Technology, Vol11, No1, pp. 26-37, 2017.
- [6] T. Maeno, H. Kushiba, T. Takada, C. M. Cooke, *Pulsed Electro-acoustic Method for the Measurement of Volume Charge in e-beam Irradiated PMMA*, Proc. IEEE-CEIDP, pp. 389-397, 1985.
- [7] B. Vissouvanadin, T.T.N. Vu, L. Berquez, S. Le Roy, G. Teyssède, C. Laurent, *Deconvolution techniques for space charge recovery using pulsed electroacoustic method in coaxial geometry*, IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 21, 821-828, 2014.

- [8] N. Hozumi, T. Takeda, H. Suzuki and T. Okamoto, *Space Charge Behavior in XLPE Cable Insulation under 0.2-1.2 MV/cm dc Fields*, IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 5, pp. 82-90, 1998.
- [9] T.T.N. Vu, G. Teyssedre, B. Vissouvanadin, S. Le Roy, C. Laurent, *Correlating Conductivity and Space Charge Measurements in Multi-dielectrics under Various Electrical and Thermal Stresses*, IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 22, pp. 117-127, 2015.
- [10] M. Meunier, N. Quirke, A. Aslanides, *Molecular modeling of electron traps in polymer insulators: chemical defects and impurities*, J. Chem. Phys, Vol. 115, pp. 2876-2881, 2001.
- [11] T. Hjertberg, V. Englund, P.O. Hagstrand, W. Loyens, U. Nilsson, A. Smedberg, *Materials for HVDC cables*, Revue Electricité Electronique, N°4, pp. XI-XV, 2014.
- [12] J.C. Gard, I. Denizet, M. Mammeri, *Development of a XLPE insulating with low peroxide by-products*, Proc. 9th Int'l Conf. Insulated Power Cables (Jicable), pp. 1-5, 2015.
- [13] T.T.N. Vu, G. Teyssedre, S. Le Roy, C. Laurent, *Space Charge Criteria in the Assessment of Insulation Materials for HVDC*, IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 24, No. 3, pp. 1405-1415, 2017.
- [14] T.A. Tùng, M. Fréchette, É. David, *Nanodielectrics: concept, properties, application and perspective*, Proc. International conference on science and technology, pp.25-31, 2016.
- [15] T. Tanaka, T. Imai, *Advances in nanodielectric materials over the past 50 years*, IEEE Electr. Insul. Mag., vol. 29_1, pp. 10-23, 2013.
- [16] X.Y. Huang, P.K. Jiang, Yi Yin, *Nanoparticle surface modification induced space charge suppression in linear low density polyethylene*, Appl. Phys. Lett., vol. 95, p. 242905, 2009.
- [17] Y. Murakami, M. Nemoto, S. Okuzumi, S. Masuda, M. Nagao, N. Hozumi, Y. Sekiguchi, Y. Murata, *DC Conduction and Electrical Breakdown of MgO/LDPE Nanocomposite*, IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 15, pp. 33-39, 2008.
- [18] J.K. Nelson *Nanodielectrics – the first decade and beyond*, Proc. Intern'l Symp. Electrical Insulating Materials (ISEIM), (Niigata City, Japan), pp. 1-11, 2014.
- [19] G. Chen, M. Hao, Z.Q. Xu, A. Vaughan, J.Z. Cao, H.T. Wang, *Review of high voltage direct current cables*, CSEE J. Power Energy Systems, vol. 1, pp. 9-21, 2015.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả **Vũ Thị Thu Nga** sinh năm 1981, tốt nghiệp kỹ sư hệ thống điện năm 2004 và thạc sỹ kỹ thuật điện năm 2007 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội; bảo vệ thành công luận án tiến sĩ kỹ thuật điện tại Đại học Toulouse, Pháp vào tháng 7 năm 2014 về nghiên cứu tích điện không gian và các hiện tượng liên quan trong cách điện polymer cho cáp HVDC. Từ 2004 đến nay tác giả là giảng viên Trường Đại học Điện lực.