

MÔ PHỎNG ĐỘ VỒNG VÀ LỰC CĂNG CỦA DÂY ACCC SỬ DỤNG PHẦN MỀM CCP SAG-TENSION SIMULATIONS OF ACCC CABLE USING CONDUCTOR COMPARISON PROGRAM SOFTWARE

Vũ Thị Thu Nga*, Phạm Thị Thanh Đàm

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 24/03/2021, Ngày chấp nhận đăng: 28/12/2021, Phản biện: TS. Trần Bách

Tóm tắt:

Hệ thống đường dây tải điện trên không là hệ thống quan trọng, truyền tải điện năng từ nguồn phát đến phụ tải. Nhu cầu về truyền tải năng lượng điện ngày càng tăng do sự gia tăng dân số, sự phát triển của công nghệ giao thông và sự mở rộng kinh tế, do đó dẫn đến quá tải cho hệ thống đường dây trên không (OHL). Vì vậy, tối ưu hóa nguồn điện hiện có bằng cách tăng công suất truyền tải cho đường dây điện là một giải pháp thiết thực để đáp ứng các vấn đề về nhu cầu năng lượng. Tuy nhiên, đường dây ACSR đang được sử dụng phổ biến có nhược điểm hệ số giãn nở nhiệt cao, dây bị giãn nở và tăng độ võng làm gia tăng điện trở khi công suất truyền tải tăng lên, gây quá nhiệt. Giải pháp để tăng khả năng truyền tải của lưới điện mà không phải xây dựng hệ thống đường dây truyền tải mới là thay thế dây ACSR bằng dây nhôm lõi composite (ACCC®). Lõi composite sợi carbon cứng hơn tới 25% so với lõi thép và có hệ số giãn nở nhiệt thấp, làm tăng lực kéo của dây dẫn và giảm đáng kể độ võng của đường dây ACCC® ở nhiệt độ cao. Điều này có nghĩa là dây dẫn ACCC® có thể mang công suất cao hơn trong khi độ võng ít hơn cáp ACSR. Trong bài báo này, tác giả thực hiện mô phỏng độ võng và lực căng của dây cáp ACCC® sử dụng phần mềm CCP (Conductor Comparison Program Software) của CTC Global và kết quả được so sánh với dây thường dùng ACSR trong cùng điều kiện làm việc.

Từ khóa:

Dây nhôm lõi composite (ACCC®), tăng công suất truyền tải, giảm độ võng, đường dây truyền tải điện trên không.

Abstract:

The overhead power line system is an important system that transmits power from the source to the load. The demand for electric energy transmission is increasing due to population growth, development of transport technology and the economic expansion, which are cause of overload of the overhead line system (OHL). Therefore, increasing the transmission capacity of the power lines is a practical solution to meet energy demand problems. However, the commonly used Aluminium Conductor Steel Reinforced (ACSR) line expands and deflects, increasing resistance as the transmission capacity increases, causing overheating because of the disadvantage of having a high coefficient of thermal expansion. To increase the transmission capacity of systems without building new transmission lines is to replace the ACSR wire by Aluminum conductor Composite core (ACCC®) wire. The carbon fiber composite core is up to 25% stiffer than the steel core, greatly reducing the deflection of the ACCC® line at high temperatures. This means that ACCC® conductors can carry higher capacity while deflection less than ACSR cables. In this paper, the authors performed sag-

tension simulations of ACCC® cables using Conductor Comparison Program Software and the results compared with conventional wires using ACSR in the same working conditions.

Keywords:

Aluminum conductor Composite core (ACCC®), high-temperature low-sag, overhead power line.

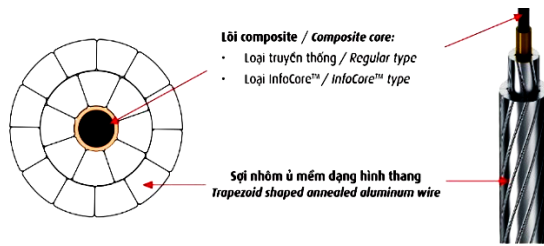
1. GIỚI THIỆU CHUNG

Việc mở rộng lưới điện truyền tải sẽ là nhu cầu cấp thiết của hệ thống điện hiện nay do tác động đáng kể của sự phát triển phụ tải, của các nguồn năng lượng tái tạo kết nối vào hệ thống [1]. Xây dựng các dự án đường dây mới trong vận hành lưới điện là cần thiết, tuy nhiên, khó khăn trong việc giải phóng mặt bằng và mức đầu tư vốn vào việc xây dựng các đường truyền mới làm giảm cơ hội đạt được kết quả mong muốn. Do đó, có thể sử dụng tối đa cơ sở hạ tầng lưới điện truyền tải hiện có với việc mở rộng tối đa công nghệ mới vào hệ thống đường dây hiện có với mức đầu tư kinh tế ít hơn và đảm bảo kỹ thuật cao.

Nâng cấp đường dây truyền tải hiện có là chủ đề quan trọng, đã được thảo luận nghiên cứu rộng rãi trong những thập kỷ gần đây, các giải pháp khác nhau đã được đưa ra áp dụng để thực hiện mục tiêu này như: xây dựng lại đường dây trên không có điện áp cao hơn, thay thế dây dẫn hiện có bằng dây dẫn khác có tiết diện lớn hơn, nhẹ hơn, lắp đặt thiết bị bù, sử dụng các thiết bị điều khiển mạng điện... nhằm tăng dòng phụ tải cho phép trên đường dây truyền tải [2].

Trong nghiên cứu này, tác giả xem xét giải pháp của việc thay thế dây dẫn thiết

kế lõi thông thường bằng dây dẫn có thiết kế lõi composite (ACCC®) hay còn gọi dây dẫn HTLS (High temperature Low-sag). Dây dẫn ACCC® bao gồm lõi hỗn hợp sợi thủy tinh và cacbon lai sử dụng ma trận nhựa epoxy nhiệt độ cao để liên kết hàng trăm nghìn sợi riêng lẻ thành một bộ phận chịu lực chịu tải thống nhất. Lõi sợi carbon trung tâm được bao quanh bởi sợi thủy tinh cao cấp để cải thiện tính linh hoạt và độ dẻo dai đồng thời ngăn chặn sự ăn mòn điện giữa sợi carbon và sợi nhôm (hình 1). Lõi composite thể hiện độ bền cao, cao nhất trong ngành, và có hệ số giãn nở nhiệt thấp nhất giúp giảm độ võng của dây dẫn trong điều kiện tải cao/nhiệt độ cao [3]. Dây dẫn ACCC® ra đời là giải pháp đặc biệt hiệu quả cả về kỹ thuật và kinh tế trong các dự án cải tạo lưới điện và thay mới đường dây trong các đường dây có chiều dài ngắn (phụ thuộc vào điện áp và tiết diện dây khi giới hạn nhiệt thấp hơn giới hạn điện áp). Nhờ có hệ số giãn nở nhiệt rất thấp, dây ACCC® đã đạt được mục tiêu giảm đáng kể độ võng nhiệt so với các dây dẫn có sẵn trên thị trường khác. Nhiệt độ làm việc giảm trong điều kiện tải cao phản ánh mức giảm đáng kể tổn thất đường dây có thể làm giảm yêu cầu phát điện, giảm tiêu thụ nhiên liệu (và lượng khí thải liên quan), nâng công suất truyền tải và giảm thời gian thu hồi vốn [4].



Hình 1. Cấu trúc của dây dẫn ACCC

Đánh giá so sánh giữa 2 loại dây dẫn ACSR và ACCC[®] cùng điều kiện làm việc trên đường dây trên không dựa vào kết quả mô phỏng độ võng và lực căng dây sử dụng phần mềm CCP được phân tích trình bày trong các phần tiếp theo của bài báo.

2. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN VÀ MÔ PHỎNG ĐỘ VÕNG, LỰC CĂNG CỦA DÂY DẪN

Độ võng của dây dẫn bị ảnh hưởng bởi một số hiện tượng như thay đổi về nhiệt độ, thay đổi về tải và độ rão trong thời gian dài. Khoảng cách mà dây dẫn sẽ bị võng phụ thuộc vào chiều dài của khoảng dây dẫn, trọng lượng của dây dẫn, sức căng ban đầu và đặc tính vật liệu của nó. Mỗi dây dẫn sẽ có một đơn vị trọng lượng, tiết diện lõi, tiết diện dẫn, và các đường cong ứng suất cho cả lõi và dây dẫn với một hệ số giãn dài nhiệt.

Khi một dây dẫn trải qua quá trình giãn dài do nhiệt, chiều dài của dây tăng lên trong khi khoảng cột vẫn giữ nguyên. Điều này dẫn đến giảm lực căng dây dẫn. Vì vậy, để tìm độ võng của dây dẫn ở nhiệt độ cao, chúng ta phải xét cả sự giãn nở vì nhiệt và biến dạng khi căng [5].

Có nhiều phương pháp tính toán độ căng võng đang được sử dụng trên khắp thế

giới. Mỗi phương pháp đều có ưu điểm riêng và cho kết quả chấp nhận được dựa trên kinh nghiệm của nhà thiết kế đường dây hệ thống điện. Trong hầu hết mọi trường hợp, các tính toán được thực hiện bằng phương pháp số nhưng khác nhau về độ giãn dài của dây dẫn để đáp ứng với những thay đổi về lực căng dây, nhiệt độ và thời gian. Có thể nhóm các phương pháp tiếp cận khác nhau thành một trong ba mô hình độ giãn dài dây dẫn: (1) Độ giãn dài tuyến tính (Linear Elongation - LE); (2) Độ giãn dài dẻo đơn giản hoá (Simplified Plastic Elongation-SPE); hoặc (3) Độ giãn dài dẻo thử nghiệm (Experimental Plastic Elongation-EPE). Trong đó, mô hình EPE có tính đến tất cả các thành phần của độ giãn dài, tạm thời và vĩnh viễn bằng cách sử dụng dữ liệu độ đàn hồi và độ giãn dài được thu thập từ các thử nghiệm ứng suất và độ rão. Mô hình EPE là cơ sở tính toán cho hầu hết tất cả các công việc được thực hiện ở Bắc Mỹ, bao gồm các công cụ như phương pháp đồ họa Varney và các chương trình phần mềm phổ biến: PLS-CADD[™] và SAG10 [6].

Tuy nhiên, phương pháp tính toán, mô phỏng độ võng, nhiệt, công suất, tổn thất đường truyền cũng như các khía cạnh kinh tế ở các điều kiện khác nhau để so sánh giữa dây dẫn ACCC[®] với các loại dây ACSR đang được sử dụng có thể thực hiện dễ dàng qua phần mềm CCP (Conductor Comparison Program Software) đã được CTC Global xây dựng và phát triển (hình 2). Người dùng chỉ cần chọn loại và kích thước dây dẫn từ menu và nhập các giá trị, giả thiết thích hợp

được đánh dấu trong phần mềm. Chương trình có đầy đủ chức năng và sử dụng các công thức tiêu chuẩn của ngành (như IEEE 738-2006).

Đầu ra có thể dễ dàng so sánh với Sag10®, PLS CADD™ và các chương trình tương tự khác. CCP sử dụng trực tuyến trên trang web của CTC Global sẽ giúp dễ dàng cập nhật các tệp dây mới và dữ liệu khác, đồng thời thêm các cải tiến khi chúng được thực hiện. Tất cả dữ liệu cần thiết cho tính toán được nhập trên một trang. Dây dẫn ACCC® cần so sánh được chọn tự động dựa trên dây dẫn cơ bản đã chọn. Một số trường được nhập tự động dựa trên các mục nhập trước đó hoặc tùy chọn người dùng đã lưu. Người dùng có thể chỉnh sửa hầu hết dữ liệu đầu vào, bao gồm cả dữ liệu mặc định và được chọn tự động. Người dùng đã đăng ký có thể lưu nhiều dự án, gọi lại, sửa đổi chúng và lưu chúng dưới dạng dự án mới hoặc ghi đè lên các dự án hiện có. Kết quả so sánh CCP được hiển thị trên một trang riêng biệt. Đầu vào thường xuyên thay đổi được sử dụng để phân tích độ nhạy được cung

cấp thuận tiện trên cùng một trang đó để giảm thiểu việc chuyển đổi giữa các trang. Người dùng đã đăng ký có thể xuất báo cáo chia nhỏ các phần của đầu ra thành tệp PDF và Excel. Hơn nữa, với nhiều ngôn ngữ sử dụng khác nhau, phần mềm giúp người sử dụng dễ dàng tiếp cận và ứng dụng vào các dự án thiết kế hệ thống đường dây truyền tải trên không [7].

3. MÔ PHÒNG ĐỘ VĨNG, LỰC CĂNG CỦA DÂY DẪN

3.1. Mô phỏng độ võng - lực căng của dây ACCC

Giả thiết tính toán mô phỏng cho 1 đoạn đường dây truyền tải 220 kV với điều kiện làm việc cụ thể, có các thông số cơ bản như:

Số lượng mạch: 2; số pha/mạch: 3

Số sợi dây/pha: 1

Chiều dài đoạn đường dây: 15,57 km

Hệ số mang tải: 70%

Dòng công suất yêu cầu: 800 A

Khoảng cột đại biểu: 400 m

Hình 2. Giao diện nhập thông số đầu vào của phần mềm CCP

Đường dây được chuyển đổi sử dụng dây dẫn loại ACCC421, mô phỏng độ võng và lực căng được thực hiện bởi phần mềm CCP, kết quả được xuất ra từ phần mềm dưới các điều kiện nhiệt độ khác nhau như trong hình 3.

Thông tin dây dẫn		Dây dẫn cơ sở	
Kiểu	ACCC®		
Kích cỡ	421 mm ² BRUSSELS		
Độ võng và lực căng khởi tạo (15 °C)			
Khoảng cột đại biểu (m)	400.0		
% RTS	20.0		
Độ võng ở nhiệt độ khởi tạo lấy độ võng(m)	9.19		
Tổng số Căng thẳng ban đầu tại cấu trúc ở nhiệt độ võng mặc (kN)	27.1		
Tổng trọng lượng dây/pha (kg/km)	1,264.7		
Độ võng/ Lực căng tại nhiệt độ căng dây			
Độ võng tại dòng điện vận hành định mức			
Nhiệt độ (°C)	36		
Độ võng (m)	10.16		
Lực căng (kN)	24.6		
Độ võng ở nhiệt độ vận hành định mức			
Nhiệt độ (°C)	180		
Độ võng (m)	12.27		
Lực căng (kN)	20.4		
Độ võng tại nhiệt độ lớn nhất			
Nhiệt độ (°C)	200		
Độ võng (m)	12.32		
Lực căng (kN)	20.3		
Nhiệt độ ở độ võng cho phép lớn nhất (14 m)			
Nhiệt độ lớn nhất (°C)	200		
Độ võng (m)	12.32		
Lực căng (kN)	20.3		
Dòng điện (A)	3,607		
Độ võng/ Lực căng ở điều kiện băng giá hoặc chế độ lạnh			
Nhiệt độ (°C) = -20			
Wind Pressure (Pa): = 0			
Độ dày lớp băng (mm) = 0			
Độ võng (m)	8.59		
Lực căng (kN)	29.0		
% RTS	21.4		
Tối đa Căng thẳng cho phép (kN):	0		
Tối đa Căng thẳng (% RTS)	60.00		
Độ võng ở nhiệt độ chuyển tiếp/Lực căng			
Nhiệt độ chuyển tiếp (°C)	80		
Độ võng (m)	12.04		
Lực căng (kN)	20.8		

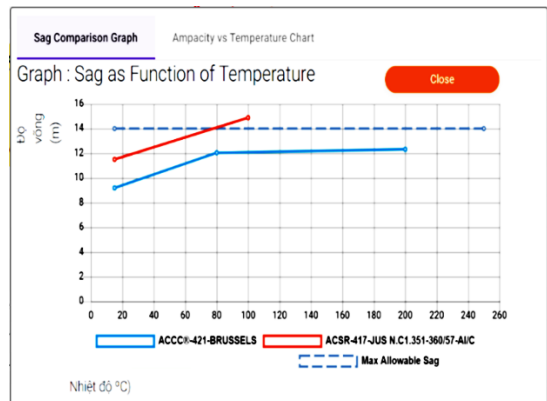
Hình 3. Kết quả về độ võng của đường dây ACCC421 sử dụng phần mềm CCP

Kết quả độ võng và lực căng của dây được tính và thể hiện chi tiết ở nhiệt độ khởi tạo, tại dòng điện vận hành định mức, nhiệt độ vận hành định mức, nhiệt độ lớn nhất và nhiệt độ ở độ võng cho phép lớn nhất.

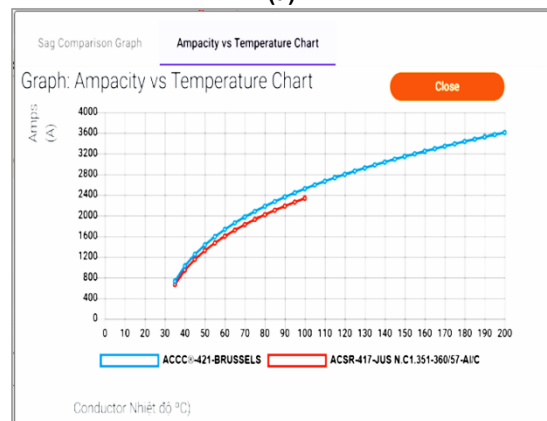
3.2. So sánh dây dẫn ACCC với ACSR

Để so sánh với dây ACCC421, ta sử dụng loại dây ACSR417 có trong ngân hàng dây ACSR của phần mềm CCP bởi có thông số về tiết diện gần như nhau. Từ đó, ta có thể so sánh được độ võng và lực căng cũng như các thông số khác về đặc điểm điện từ, hiệu quả truyền tải điện năng và tính kinh tế của 2 loại dây.

Hình 4 thể hiện độ võng và cường độ dòng điện có thể làm việc theo nhiệt độ của hai loại dây dẫn: ACCC421 và ACSR417 ở điều kiện làm việc như nhau, được tính toán từ phần mềm CCP.



(a)



(b)

Hình 4. So sánh độ võng (a) và khả năng mang dòng điện (b) theo nhiệt độ của dây ACCC421 và ACSR417

Từ hình 4a ta có thể so sánh độ võng của dây dẫn theo nhiệt độ của dây ACCC421 và ACSR417. Độ võng của dây ACSR tăng rất nhanh khi nhiệt độ tăng từ 18 đến 100°C và vượt quá độ võng cho phép ở nhiệt độ 78°C, trong khi đó, dây ACCC cho phép làm việc ở dưới độ võng lớn nhất tới nhiệt độ 200°C. Độ võng của dây ACCC tăng nhanh theo nhiệt độ từ 18 đến 80°C và tăng không đáng kể ở nhiệt độ cao.

Hình 4b thể hiện cả hai loại dây đều được làm việc ở nhiệt độ làm việc tối đa và khả năng mang dòng điện lớn nhất. Nhiệt độ làm việc cực đại của ACSR là 100°C và dòng tối đa là 2400 A, trong khi nhiệt độ hoạt động tối đa của dây dẫn ACCC là 200°C và khả năng mang dòng cực đại là 3600 A. Như vậy, khả năng mang dòng và nhiệt độ làm việc của ACCC cao hơn so với dây dẫn ACSR trong cùng điều kiện làm việc và kích thước tương đương.

Ngoài 2 thông số trên, chương trình CCP còn cho ra nhiều kết quả khác so sánh giữa 2 dây ACCC và ACSR như lực kéo đứt, lực căng dây ở một số nhiệt độ khác nhau và một số giá trị về phân tích kinh tế (hình 5).

Dây ACCC có lõi composite, có trọng lượng nhẹ hơn loại ACSR, cho phép tăng hàm lượng nhôm (sử dụng các sợi hình thang nhỏ gọn) mà không bị tăng về trọng lượng dây dẫn (trọng lượng tương ứng của ACCC421 và ACSR 417 là 1,264.7 kg/km và 1,455.3 kg/km), cho phép cấp mang nhiều dòng điện hơn trong khi tổn thất điện năng thấp hơn. Do vậy, ngoài

việc giảm đáng kể sự sụt giảm nhiệt, độ võng và tổn thất đường dây, dây dẫn ACCC còn có lực căng dây tương đương hoặc vượt trội hơn so với dây ACSR ở một số nhiệt độ vận hành định mức, điều kiện băng giá và nhiệt độ chuyển tiếp (hình 5).

Thông tin dây dẫn	Dây dẫn cơ sở	So sánh Dây dẫn #1
Kiểu	ACCC®	ACSR
Kích cỡ	421 mm ² BRUSSELS	417 mm ² JUS N.C1.351- 360/57-AIC
Tiết diện phần nhôm (mm ²)	421.4	417.5
Đường kính (mm)	25.146	26.600
Lực kéo đứt (kN)	135.7	125.0
Trọng lượng (kg/km)	1,264.7	1,455.3
Độ võng/ Lực căng tại nhiệt độ căng dây		
Độ võng tại dòng điện vận hành định		
Nhiệt độ (°C)	36	37
Độ võng (m)	10.16	12.44
Lực căng (kN)	24.6	23.2
Độ võng ở nhiệt độ vận hành định mức		
Nhiệt độ (°C)	180	75
Độ võng (m)	12.27	13.94
Lực căng (kN)	20.4	20.7
Độ võng tại nhiệt độ lớn nhất		
Nhiệt độ (°C)	200	100
Độ võng (m)	12.32	14.88
Lực căng (kN)	20.3	19.4
Nhiệt độ ở độ võng cho phép lớn nhất (14 m)		
Nhiệt độ lớn nhất (°C)	200	77
Độ võng (m)	12.32	14.01
Lực căng (kN)	20.3	20.6
Dòng điện (A)	3,607	1,962
Độ võng/ Lực căng ở điều kiện băng giá hoặc chế độ lạnh		
Nhiệt độ (°C) = -20		
Wind Pressure (Pa): = 0		
Độ dày lớp băng (mm) = 0		
Độ võng (m)	8.59	9.93
Lực căng (kN)	29.0	28.9
% RTS	21.4	23.1
Tối đa Căng thẳng cho phép (kN):	0	0
Tối đa Căng thẳng (% RTS)	60.00	60.00
Độ võng ở nhiệt độ chuyển tiếp/ Lực căng		
Nhiệt độ chuyển tiếp (°C)	80	N/A
Độ võng (m)	12.04	N/A
Lực căng (kN)	20.8	N/A
Phân tích kinh tế		
Tổn thất đường dây (15.57 km, 800 A) (dựa trên giá trị dòng điện vận hành định mức được nhập)		
Nhiệt độ ổn định (°C) tại dòng tải định	36	37
Điện trở ở dòng điện định (ohm/km)	0.07161	0.08654
Tổn thất đường dây trong năm đầu tiên (MWh)	5,185	6,266

Hình 5: Một số kết quả chính so sánh 2 dây ACCC® và ACSR

Độ bền kéo đứt cũng là một ưu điểm khác của ACCC so với ACSR (lực kéo đứt của ACCC và ACSR được tính toán tương

ứng là 135,7 kN và 125 kN). Điều này cho phép các khoảng cột dài hơn và yêu cầu ít cấu trúc hỗ trợ hơn hoặc ngắn hơn; giảm sức căng cho các kết cấu hiện có trong các dự án cải tạo, không bị ăn mòn do kim loại liên kết với lõi thép; khả năng chịu tải trọng băng cao do lõi composite có độ bền và độ đàn hồi cao; và cải thiện khả năng chống quá tải theo chu kỳ - phục vụ cho việc cải thiện hiệu suất và tuổi thọ của dây dẫn.

HTLS là một lựa chọn để khôi phục lại các đường truyền hiện có và giải quyết nhu cầu điện năng bởi nó có trọng lượng ít hơn, độ võng ít hơn và lực kéo đứt cao hơn ngay cả ở cùng đường kính với ACSR. Hơn nữa, dây dẫn HTLS có khả năng mang dòng điện cao hơn dây dẫn thông thường. Hiệu suất của dây dẫn ACCC lõi composite gần đây đã được nghiên cứu trong [8]. Độ võng của dây dẫn ACCC thấp hơn nhiều so với ACSR khi chúng vượt quá nhiệt độ knee-point tương ứng là 90°C và 70°C, do các đặc tính cơ học của ACCC, có độ bền kéo lõi thấp hơn ACSR ở đường kính xấp xỉ nhau.

Như vậy, khi có các thông số làm việc cụ thể của một tuyến đường dây, phần mềm CCP dễ dàng tính toán được lực căng và độ võng của dây dẫn, thông số điện từ và phân tích kinh tế ở điều kiện làm việc thực tế. Từ đó, giúp người thiết kế, vận

hành đường dây tiếp cận dễ dàng, nhanh chóng với các thông số vận hành của đường dây và đưa ra các giải pháp phù hợp để tăng năng suất làm việc của hệ thống điện.

4. KẾT LUẬN

Sử dụng các ứng dụng mô phỏng tính toán sử dụng trong thiết kế đường dây truyền tải điện của phần mềm CCP, nhóm tác giả đã thực hiện tính toán độ võng, lực kéo đứt, đặc tính điện từ và phân tích kinh tế của dây dẫn ACCC cho một đường dây cụ thể, đồng thời so sánh với dây dẫn ACSR đang được sử dụng phổ biến trên thực tế. Với một số đặc tính điện và cơ học quan trọng như khả năng mang dòng, trọng lượng, khả năng chống ăn mòn, tốc độ rão, hệ số giãn nở nhiệt, tự giảm chấn, phạm vi nhiệt độ hoạt động, khả năng ngắn mạch và ổn định nhiệt, khi thay thế dây dẫn ACSR hiện có bằng ACCC sẽ mang lại những lợi ích sau:

- Tăng khả năng mang công suất;
- Giảm tổn thất điện năng trong quá trình truyền tải;
- Giảm mức độ phát điện làm giảm phát thải khí nhà kính;

Cấu trúc ít hơn và ngắn hơn để hỗ trợ cáp ACCC, và điều này có thể làm giảm chi phí và tác động môi trường của các dự án truyền tải điện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D.M. Larruskain, I. Zamora, O. Abarrategui, A. Iraolagoitia, M.D. and Gutiérrez, E. Lorono, and F. Bodega, "Power transmission capacity upgrade of overhead lines," Int. Conf. Renew. Energy Power Qual., p. 2006.

- [2] M. Ntuli, R. Xezile, N. Mbuli, L. Motsoeneng, JHC Pretorius, "Increasing the Capacity of Transmission Lines via Current Uprating: An Updated Review of Benefits, Considerations and Developments," Australas. Univ. Power Eng. Conf., 2016, doi: 10.1109/AUPEC.2016.7749338.
- [3] CTC GLOBAL, Engineering Transmission Lines with High Capacity Low Sag ACCC® Conductors. 2011.
- [4] S. Berjozkina, A. Sauhats, E.Vanzovich, "Evaluation of the Profitability of High Temperature Low Sag Conductors," Power Electr. Eng., vol. 31, pp. 18–24, 2013.
- [5] Motlis, Y., et al., "Limitations of the ruling span method for overhead line conductors at high operating temperatures," IEEE Trans. Power Deliv., vol. 14, no. 2, 1999.
- [6] "Sag-tension calculation methods for overhead lines", 2016.
- [7] "Finding the right solution is easy with Free CCPTM Software." <https://www.ctcglobal.com/ccp-software/>.
- [8] K. Qiao, A. Zhu, B. Wang, C. Di, J. Yu, and B. Zhu, "Characteristics of heat resistant aluminum alloy composite core conductor used in overhead power transmission line," Materials, vol. 13, no. 4, p. 1592, 2020.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Vũ Thị Thu Nga tốt nghiệp đại học ngành hệ thống điện năm 2004, nhận bằng Thạc sĩ ngành kỹ thuật điện năm 2007 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội; nhận bằng Tiến sĩ ngành kỹ thuật điện tại Đại học Toulouse - Pháp năm 2014. Hiện nay tác giả là giảng viên Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: tích điện không gian, HVDC, vật liệu cách điện, kỹ thuật điện cao áp, rơle và tự động hóa trạm.



Tác giả Phạm Thị Thanh Đàm tốt nghiệp đại học ngành hệ thống điện năm 2007, nhận bằng Thạc sĩ ngành kỹ thuật điện năm 2011 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Hiện nay tác giả là giảng viên Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: vật liệu cách điện, kỹ thuật điện cao áp.

