

GIẢI PHÁP GIÁM SÁT TRỰC TUYẾN NHIỆT ĐỘ MỐI NỐI CÁP TRUNG ÁP TEMPERATURE MONITORING SOLUTION FOR MEDIUM VOLTAGE CABLE JOINT

Vũ Thị Thu Nga¹, Hoàng Mai Quyên²

¹Trường Đại học Điện lực, ²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

Ngày nhận bài: 13/05/2024, Ngày chấp nhận đăng: 29/08/2024, Phản biện: TS. Nguyễn Hữu Kiên

Tóm tắt:

Cáp điện là thành phần quan trọng trong mạng lưới truyền tải điện của hệ thống điện. Đối với cáp, độ tin cậy của các mối nối cáp là rất quan trọng bởi mối nối cáp điện là khu vực thường xuyên xảy ra các sự cố trong hệ thống cáp ngầm. Nguyên nhân gây ra lỗi mối nối cáp có thể được xác định thông qua giám sát tại chỗ các thông số điện và nhiệt. Giám sát nhiệt độ thời gian thực của mối nối cáp điện có thể phát hiện ra mối nối quá nóng để từ đó có thể đánh giá mức độ lão hóa của lớp cách điện, do vậy các sự cố tiềm ẩn về an toàn của cáp sẽ được phát hiện sớm và loại bỏ kịp thời. Trong bài báo này, hệ thống giám sát và cảnh báo nhiệt độ của mối nối cáp điện được thiết kế trên cơ sở đáp ứng nguyên tắc thiết kế và thành phần cấu trúc của mối nối cáp điện. Phương pháp giám sát nhiệt độ theo thời gian thực đã được đề xuất phát triển. Hệ thống giám sát nhiệt độ bao gồm các cảm biến nhiệt độ đặt bên ngoài vỏ mối nối cáp điện, bộ thu thập dữ liệu, truyền dữ liệu dựa trên phương pháp truyền dữ liệu từ xa và phần mềm phân tích dữ liệu. Hệ thống đo nhiệt độ có ưu điểm là độ tin cậy cao, theo thời gian thực và độ chính xác cao.

Từ khóa:

Mối nối cáp, cảm biến nhiệt độ, giám sát trực tuyến, truyền dữ liệu không dây.

Abstract:

Power cable is an important component in transmission line of the power network. For cables, the reliability of cable joints is crucial as cable joints are areas where faults frequently occur in underground cable systems. The causes of cable joint failure can be identified through in-field monitoring of their electrical and temperature parameters. Real-time temperature monitoring of electrical cable joints can detect overheating of joints so that insulation aging can be assessed, thereby potential cable safety problems are detected early and promptly removed. In this paper, the temperature monitoring and warning system of the power cable joint are designed based on the design principle and structural composition of the power cable joint. A real-time temperature monitoring method has been proposed for development. The temperature monitoring system includes temperature sensors located outside the electrical cable joint, data collection, data transmission based on remote data transmission method and data analysis software. The temperature measurement system has the advantages of high reliability, real-time and high accuracy.

Keywords:

Cable joint, temperature sensor, read-time monitoring, wireless data transmission.

1. GIỚI THIỆU

Với sự phát triển của đô thị hóa, do yêu cầu kỹ thuật của lưới điện ngày càng cao, phụ tải đầu nguồn ngày càng lớn, không gian lắp đặt sau các tủ hợp bộ giới hạn, cùng với yêu cầu về hành lang và mỹ quan đô thị nên các đường dây truyền tải điện trên không trong các thành phố dần được chuyển đổi thành cáp ngầm. Tình trạng vận hành và ổn định của cáp điện có liên quan trực tiếp đến việc vận hành an toàn, ổn định của lưới điện phân phối [1-2]. Các mối nối cáp là liên kết yếu nhất trong hệ thống cáp ngầm và sự cố xảy ra tại đó luôn chiếm tỷ lệ cao trong các sự cố của cáp. Do hệ thống cáp ngầm ngày càng tăng, số mối nối cáp ngầm tăng cao nên trong quá trình quản lý, vận hành đã phát sinh ra nhiều sự cố bởi nhiều nguyên nhân khác nhau như: lỗi kỹ thuật khi thi công đầu cáp ngầm, cách tổ chức quản lý, kiểm tra và bảo dưỡng các đầu cáp ngầm. Số liệu thống kê của các đơn vị quản lý hệ thống cáp ngầm cho thấy các sự cố xảy ra ở các mối nối cáp, đầu cuối và vùng lân cận chiếm khoảng 50%-65% sự cố trên hệ thống cáp ngầm [3].

Quá trình lão hóa cách điện của cáp, các sự cố của cáp và mối nối cáp có liên quan chặt chẽ đến nhiệt độ [4], do lớp cách điện dày hơn và có điện trở tiếp xúc nên nhiệt độ ruột dẫn của các mối nối cáp thường cao hơn nhiều so với nhiệt độ của thân cáp, do đó có thể đánh giá tình trạng của hệ thống cáp bằng cách theo dõi nhiệt độ của chúng [5-6]. Giám sát nhiệt độ mối nối cáp điện theo thời gian thực có thể phát hiện sớm sự phát nhiệt tại mối nối và có thể đánh giá mức độ lão hóa của lớp cách điện, từ đó các vấn đề không an toàn sẽ được loại bỏ kịp thời [7-11], điều này có ý nghĩa rất lớn trong việc đảm bảo độ tin cậy cung cấp điện của các tuyến cáp [12-13]. Trong những năm gần đây, hệ thống giám sát nhiệt độ cáp điện và mối nối cáp sử dụng cảm biến nhiệt độ được nghiên cứu và ứng dụng phổ biến trên thế giới [14].

Trong quá trình giám sát nhiệt độ mối nối cáp điện, truyền dữ liệu từ mối nối cáp đến các thiết bị giám sát là một yếu tố quan trọng. Các phương pháp truyền dữ liệu nhiệt độ bao gồm kiểm tra thủ công lấy dữ liệu tại chỗ, truyền bằng cáp và truyền không dây. Tuy nhiên, kiểm tra thủ công không thể giám sát theo thời gian thực và đôi khi quá trình kiểm tra cáp không thể can thiệp trực tiếp vào môi trường lắp đặt cáp phức tạp. Truyền dẫn bằng cáp đòi hỏi phải đi dây tại chỗ, một khoản đầu tư rất lớn. Trong đó, truyền không dây đã được sử dụng cho nhiều lĩnh vực khác nhau để thực hiện giám sát trực tuyến các thông số của hệ thống đã mang lại nhiều lợi ích và vượt trội [8-10].

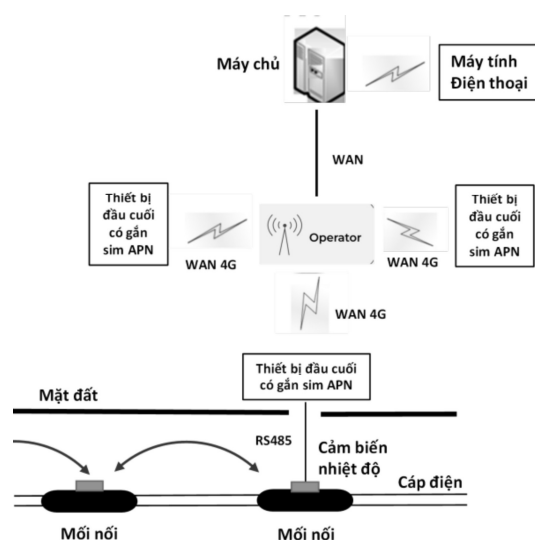
Hiện tại ở Việt Nam, quá trình giám sát trực tuyến sự làm việc của cáp ngầm còn nhiều hạn chế, chủ yếu được thực hiện ở các hệ thống cáp ngầm cao áp. Quá trình phát hiện và xử lý sự cố ở cáp ngầm trung thế chủ yếu được thực hiện bởi các thiết bị đo đặc thông số trực tiếp ngoài hiện trường, chưa phát hiện kịp thời nguy cơ phát sinh sự cố, do vậy việc xử lý sự cố còn mất nhiều thời gian làm gián đoạn cung cấp điện của hệ thống điện.

Trong bài báo này, hệ thống giám sát nhiệt độ thời gian thực cho mối nối cáp điện đã được đề xuất phát triển. Một cảm biến nhiệt độ được lắp đặt trên vỏ ngoài của khớp nối cáp nguồn để thu thập dữ liệu nhiệt độ của điểm đo, nhiệt độ bên trong mối nối cáp sẽ được tính toán dựa trên nhiệt độ thu được thực tế ngoài bề mặt của mối nối. Dữ liệu nhiệt độ được truyền bằng cách gửi tín hiệu theo phương pháp truyền không dây. Các thiết bị thu và xử lý dữ liệu không dây được lắp đặt trên mặt đất tạo thành các nút giám sát để tiếp nhận và xử lý dữ liệu nhiệt độ, sau đó được truyền về hệ thống máy chủ và thực hiện giám sát nhiệt độ trực tuyến và cảnh báo sớm các mối nối cáp, đồng thời cung cấp cơ sở hiệu quả cho việc vận hành, bảo trì và sửa

chữa hệ thống cáp ngầm trung áp, đảm bảo lưới điện vận hành an toàn.

2. THIẾT KẾ CẤU TRÚC HỆ THỐNG GIÁM SÁT

Hệ thống giám sát nhiệt độ bao gồm các cảm biến nhiệt, bộ thu thập dữ liệu, bộ truyền không dây, nguồn điện và máy tính chủ với phần mềm phân tích dữ liệu. Cấu trúc của hệ thống được thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ tổng quan của hệ thống giám sát nhiệt độ tại mỗi nối cáp

Cảm biến đo nhiệt độ có thể được lắp đặt thuận tiện trên bề mặt bên ngoài của vỏ cách điện mỗi nối cáp (cách nhau khoảng 200-250 mét) để thu thập dữ liệu nhiệt độ bên ngoài của vỏ bọc. Bộ thu thập dữ liệu thu thập dữ liệu nhiệt độ mà cảm biến nhiệt độ thu được thông qua ăng-ten thu và kết nối với thiết bị đầu cuối hiển thị cục bộ thông qua RS485. Nó cũng có thể kết nối với DTU không dây qua RS485 để truyền dữ liệu từ xa đến trung tâm giám sát.

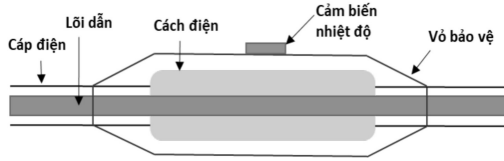
Phần mềm trung tâm có chức năng thu thập, phân tích, lưu trữ, giám sát, xử lý dữ liệu nhiệt độ được đo từ cảm biến, thực hiện hiển thị dữ liệu nhiệt độ, cảnh báo kịp thời các bất thường và thực hiện giám sát và cảnh báo chủ động về trạng thái mỗi nối cáp.

2.1. Cảm biến nhiệt độ tại mỗi nối cáp

Với sự phát triển của công nghệ đo nhiệt độ, nhiều cảm biến nhiệt độ khác nhau đã được sử dụng để giám sát nhiệt độ của cáp điện. Phương pháp sử dụng nhiệt kế điện có khả năng chịu nhiệt kém khi va đập và rung cơ học đồng thời dễ bị nhiễu điện từ. Phương pháp sử dụng thiết bị chụp ảnh hồng ngoại nhiệt để bị ảnh hưởng bởi sự phát xạ bề mặt và tác động môi trường. Dây cáp cảm biến nhiệt độ không thể xác định chính xác vị trí nhiệt độ tối đa dọc theo chiều dài của cáp, không thể hiển thị nhiệt độ theo thời gian thực và không thể phân tích xu hướng nhiệt độ. Cảm biến nhiệt độ sợi quang phân tán có thể liên tục đo sự phân bố nhiệt độ của cáp ở khoảng cách xa, không bị nhiễu điện từ, nhưng sợi dễ bị gấp và thiết bị chuyển đổi đắt tiền. Các tín hiệu nhiệt độ tương tự được thu thập bởi các cảm biến nhiệt độ truyền thống cần phải qua chuyển đổi A/D, có mạch phân cứng rất phức tạp và chi phí thiết kế tăng liên tục cùng với việc cải thiện độ chính xác của hệ thống [11,15]. Tuy nhiên, với những tiến bộ không ngừng của công nghệ bán dẫn, cảm biến nhiệt độ tín hiệu số đã được sử dụng rộng rãi, nó bao gồm các cảm biến nhiệt độ, bộ thu thập dữ liệu, bộ truyền không dây và nguồn điện.

Cảm biến nhiệt độ đặt tại mỗi nối cáp là thiết bị quan trọng trong quá trình giám sát sự làm việc của mỗi nối cáp. Cảm biến nhiệt độ được chọn là cảm biến nhiệt độ không dây cho mỗi nối cáp có kích thước nhỏ, mức tiêu thụ năng lượng thấp, độ chính xác và độ phân giải đo cao và thời gian chuyển đổi ngắn. Phạm vi đo nhiệt độ của trong dải từ - 50°C ~ 125°C và độ chính xác đo nhiệt độ là từ $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ~ $\pm 1^{\circ}\text{C}$, có thể dùng trong môi trường ngập nước. Các cảm biến nhiệt độ đã chọn được gắn bên ngoài vỏ của mỗi nối trong hệ thống điện phân phối, gửi dữ liệu nhiệt độ đến thiết bị thu thập

dữ liệu. Cấu trúc mỗi nối được gắn cảm biến nhiệt độ được thể hiện trong Hình 2.



Hình 2. Mỗi nối cáp có gắn cảm biến nhiệt độ

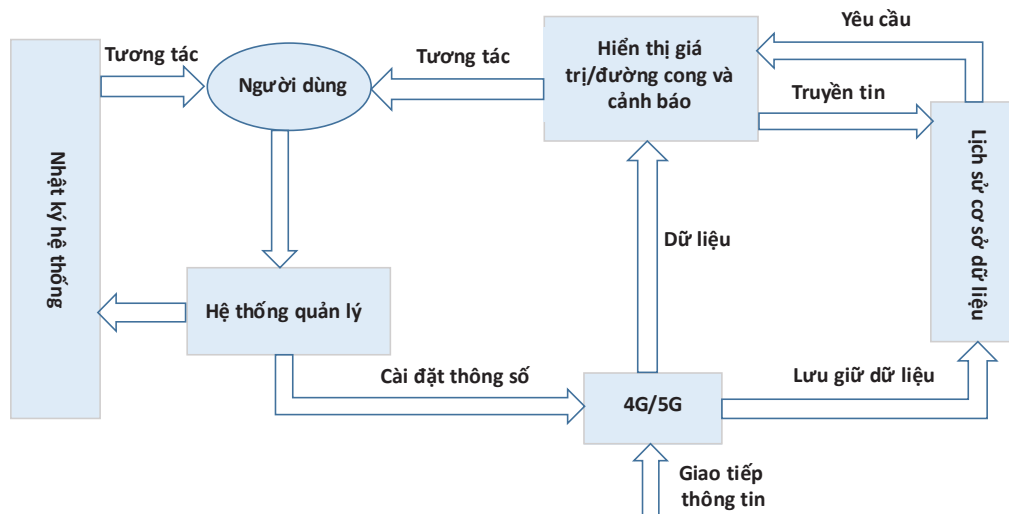
Bộ thu thập dữ liệu nhiệt độ từ cảm biến nhiệt độ thông qua ăng-ten thu và kết nối với thiết bị đầu cuối hiển thị cục bộ thông qua RS485 hoặc internet để nhân viên vận hành và bảo trì có thể kiểm tra trạng thái của mỗi nối cáp. Nó cũng có thể kết nối với DTU không dây qua RS485 để truyền dữ liệu từ xa đến trung tâm giám sát.

2.2. Thiết bị đầu cuối có gắn sim APN

Tín hiệu nhiệt độ đo được từ cảm biến nhiệt độ đặt ở mỗi nối cáp được thu thập tại thiết bị đầu cuối hiển thị cục bộ thông qua RS485 hoặc qua mạng không dây. Tại đây, dữ liệu được chuyển đổi và lưu

giữ trong Sim data APN đã được gán tại thiết bị chuyển đổi. Dữ liệu truyền bằng Sim APN sử dụng phương pháp truyền không dây tới hệ thống trạm chủ để xử lý thông tin.

Sim APN thường dành riêng cho một đơn vị, một APN riêng khi hòa mạng được gán IP riêng theo dải của cho đơn vị đó, và không thể truy cập Internet, chỉ có thể truy cập vào một số server riêng cùng lớp mạng tạo thành mạng WAN (Wide Area Network) duy nhất truyền dữ liệu về trung tâm dữ liệu qua mạng 4G/5G. Do vậy, sử dụng sim APN có tính bảo mật cao, vị trí các mối nối được xác định cụ thể theo thông số được cài đặt trên sim, tốc độ truy cập đến hệ thống trung tâm luôn được đảm bảo, tránh được các vấn đề khó khăn kiểm soát QoS khi truyền dữ liệu qua mạng Internet, làm cho việc xác định lỗi khi xảy ra đối với thuê bao trong quá trình vận hành đơn giản hơn. Ngoài ra, sim APN chịu được các tác động của môi trường tốt (nhiệt độ, độ ẩm, ...) và chu kỳ đọc ghi cao (500.000 chu kỳ) nên có thể sử dụng ở phù hợp ở nhiều môi trường



Hình 3. Sơ đồ chức năng phần mềm giám sát

khác nhau của hệ thống cáp ngầm. Ngoài ra, mạng WAN cho phép lưu trữ và chia sẻ thông tin dễ dàng giữa các điểm khác nhau của đơn vị giúp tăng cường hiệu suất làm việc.

3. THIẾT KẾ PHẦN MỀM CỦA HỆ THỐNG GIÁM SÁT

3.1. Thiết kế phần mềm giám sát

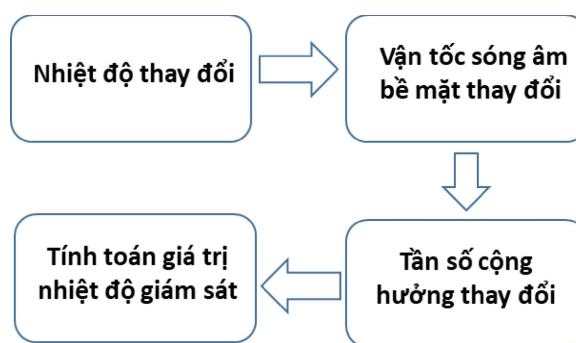
Phần mềm giám sát hiển thị dữ liệu nhiệt độ mỗi nối cáp đã được thu thập bởi từng cảm biến nhiệt độ và theo dõi những thay đổi của dữ liệu nhiệt độ trong thời gian thực, truy vấn lịch sử dữ liệu, quản lý quyền người dùng, cài đặt tham số truyền thông và các chức năng tương tác giữa người và máy tính khác. Sơ đồ chức năng phần mềm giám sát thiết kế được thể hiện trong Hình 3, các chức năng của hệ thống phần mềm giám sát cụ thể như sau:

- Dữ liệu nhiệt độ cần được hiển thị theo bảng giá trị/đường cong dữ liệu thời gian thực. Dữ liệu nhiệt độ cần chỉ rõ điểm đo nhiệt độ, thuận tiện cho nhân viên theo dõi trực quan.
- Khi thông báo cảnh báo nhiệt độ được tạo, máy chủ giám sát có thể phản hồi ngay lập tức trên giao diện và nhắc nhở nhân viên vận hành.
- Với chức năng lưu trữ hoàn chỉnh dữ liệu nhiệt độ, người dùng có thể truy vấn linh hoạt lịch sử dữ liệu lưu trữ và xem chúng dưới dạng đường cong hoặc bảng dữ liệu.
- Các chức năng khác như cài đặt các tham số.

3.2. Thiết kế chương trình cảnh báo giám sát nhiệt độ

Dữ liệu nhiệt độ được cảm biến thu thập là dữ liệu nhiệt độ của bề mặt bên ngoài của mỗi nối cáp. Trong bài báo này, phương pháp đường dẫn nhiệt được sử dụng để tính nhiệt độ thực tế bên trong mỗi nối cáp bằng cách sử dụng nhiệt độ bề mặt. Nhiệt độ bề mặt bên ngoài T_n của vỏ mỗi

nối được đo bằng cảm biến sẽ được chuyển đổi để thu được nhiệt độ thực tế bên trong mỗi nối cáp là T_t . Với phương pháp sóng âm bề mặt [11], khi nhiệt độ của cảm biến thay đổi thì tần số cộng hưởng của cảm biến cũng xảy ra, đồng thời tín hiệu ECHO của cảm biến cũng thay đổi tương ứng. Bằng cách phân tích tần số và biên độ của tín hiệu thu được, thông số nhiệt độ giám sát được tính toán. Sơ đồ nguyên lý xác định giá trị nhiệt độ của cảm biến nhiệt độ sóng âm bề mặt được thể hiện trong Hình 4.



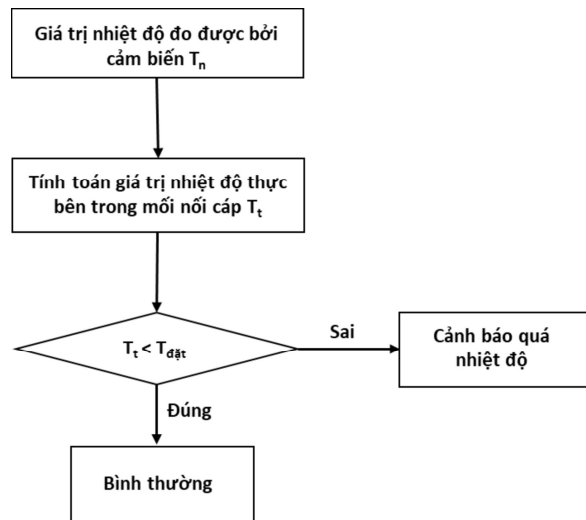
Hình 4. Sơ đồ nguyên lý xác định giá trị nhiệt độ

Sau khi xác định được giá trị nhiệt độ bên trong mỗi nối cáp T_t , so sánh T_t với ngưỡng đặt $T_{đặt}$. Khi $T_t < T_{đặt}$ thì mỗi nối cáp bình thường, khi $T_t > T_{đặt}$ thì nhiệt độ của mỗi nối cáp là bất thường và cảnh báo sẽ được đưa ra ngay lập tức để thực hiện giám sát và cảnh báo theo thời gian thực về nhiệt độ của mỗi nối cáp. Logic chương trình cảnh báo giám sát nhiệt độ được thể hiện trong Hình 5.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, nhiệt độ thay đổi tại mỗi nối cáp trong quá trình vận hành cáp được xác định dựa trên công nghệ cảm biến sóng âm bề mặt qua cảm biến nhiệt độ đặt tại vỏ mỗi nối đã được giám sát để phát hiện và cảnh báo các lỗi của các mối

nổi cấp trong hệ thống điện phân phối. Phương pháp đường dẫn nhiệt được áp dụng để tính toán nhiệt độ bên trong thông qua nhiệt độ bề mặt bên ngoài của cảm biến nhiệt độ, từ đó nâng cao độ chính xác của kết quả giám sát. Giá trị nhiệt độ đo được tại các thiết bị đầu cuối có gắn sim APN riêng được gán địa chỉ IP tĩnh tạo thành mạng WAN duy nhất truyền về trung tâm dữ liệu qua mạng 4G/5G. Tại hệ thống giám sát, nhiệt độ được phân tích và so sánh với các giá trị đặt để đưa ra cảnh báo về tình trạng vận hành của mỗi nổi cấp. Thực hiện giám sát trực tuyến từ xa và cảnh báo sớm về trạng thái mỗi nổi cấp, cải thiện đáng kể mức độ thông minh cũng như hiệu quả vận hành và bảo trì của hệ thống cấp ngầm của hệ thống điện phân phối, có ý nghĩa quan trọng trong việc đảm bảo hoạt động an toàn và đáng tin cậy của hệ thống điện.



Hình 5. Logic chương trình cảnh báo giám sát nhiệt độ

XÁC NHẬN

Công trình nghiên cứu này đã được Trường Đại học Điện lực tài trợ thông qua đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường năm 2023, mã số đề tài ĐTKHCN.01/2023.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. The National Development and Reform Commission, "Guiding Opinions on Accelerating the Construction and Renovation of Distribution Networks"; National Development and Reform Commission: Beijing, China, 2015.
- [2]. National Energy Administration, "Notice on the Action Plan for Construction and Renovation of Distribution Networks (2015–2020)"; National Energy Administration: Beijing, China, 2015.
- [3]. L. Zhang, L. Sun and W. Lu, "A Temperature Monitoring System of Power Cable Joints Based on the Combining of CAN Wired Transmission and ZigBee Wireless Network" 2010 2nd International Conference on Information Engineering and Computer Science, pp. 1-4, 2010.
- [4]. Gao, Z. "Research on Online Current Carrying Capacity Prediction System for Power Cables", Harbin Institute of Technology: Harbin, China, 2005.
- [5]. LUO Jun-hua, QIU Yu-chang, and YANG Li-ming, "Operation fault analysis of CLPE power cable above 10 kV" High Voltage Engineering, vol. 29, pp. 14–16, 2003.
- [6]. XU Yuan-zhe, WANG Le-tian, LIU Dong-xue, LI Bo, "Design of temperature measurement system for cable junction based on FBG", High Voltage Engineering, vol. 35, pp. 2977-2982, 2009.
- [7]. C. Wenzhi, H. Xiaohui, G. Zhendong and L. Chengrong, "The design of temperature monitoring system for power cable joint," IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, pp. 671-676, 2012.

- [8]. W. Wang and L. Wang, "A temperature remote monitoring system of cable joint," 2nd International Conference on Signal Processing Systems, Dalian, China, pp. V1-690-V1-694, 2010.
- [9]. Cui, Z., Zhang, X., Fang, S., Song, A., Wang, Z., Yang, M. "Research on Temperature Monitoring and Warning System for Power Cable Joints" Proceedings of the 11th International Conference on Computer Engineering and Networks, Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 808, Springer, 2022.
- [10]. Shuo Wang, Yingying Xuan, Peng Wu, Shuai Zhang, Bo Yuan and Yuan Hu "Wireless Infrared Temperature Measuring System Design for Cable in Comprehensive Pipe Corridor", International Conference on Power System and Energy Internet (PoSEI), 2021.
- [11]. SUN Xiao-gang, LI Yun-hong, "Review of the development of temperature measurement technology with infrared thermal imager", Laser & Infrared, vol. 2, pp. 101-104, 2008.
- [12]. Liu, G.; Lei, C.; Liu, Y. "Analysis on transient error of simplified thermal circuit model for calculating conductor temperature by cable surface temperature", Power Syst. Technol., Vol. 35, 212–217, 2011
- [13]. Yang, L.; Li, Z.; Hao, Y.; Fu, M. "Calculation of current-carrying capacity of HVDC cable joint under constraints of operating temperature and temperature difference of insulating layer", Autom. Electr. Power Syst., 40, 129–134, 2016
- [14]. Shuning Shang et al, Research on Operation Management Technology of Cable Joints of Ring Network Cabinet Based on Temperature Sensors, J. Phys.: Conf. Ser. 2237 012012, 2022
- [15]. Jintae Cho, Jae-Han Kim, Hak-Ju Lee, Ju-Yong Kim, Il-Keun Song and Joon-Ho Choi "Development and Improvement of an Intelligent Cable Monitoring System for Underground Distribution Networks Using Distributed Temperature Sensing", Energies, vol. 7, pp.1076-1094, 2014.

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 Đại học Bách khoa Hà Nội; nhận bằng Tiến sĩ ngành kỹ thuật điện năm 2014 tại Đại học Toulouse III (Paul Sabatier) – Pháp. Năm 2023 tác giả được công nhận chức danh Phó giáo sư nhà nước. 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 trong hệ thống điện.



Tác giả Hoàng Mai Quyền nhận bằng Tiến sĩ ngành Kỹ thuật điện tại Đại học Toulouse III (Paul Sabatier) năm 2014. Hiện nay, tác giả là giảng viên Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội.

Lĩnh vực nghiên cứu: vật liệu cách điện rắn, vật lý ứng dụng, công nghệ nano, năng lượng và sự phát triển bền vững.