

ĐỀ XUẤT CẤU HÌNH HỆ THỐNG GIÁM SÁT TỰ ĐỘNG ĐƯỜNG DÂY CÁP NGẦM TRUNG THỂ

PROPOSAL FOR AUTOMATIC MONITORING SYSTEM CONFIGURATION OF MEDIUM-VOLTAGE UNDERGROUND CABLE LINES

Trần Đức Hải¹, Trịnh Trọng Chương², Hoàng Mai Quyên^{2,*},
Nguyễn Vũ Gia Bảo³, Vũ Thị Thu Nga⁴

DOI: <http://doi.org/10.57001/huic5804.2024.238>

TÓM TẮT

Sự cố xảy ra trên đường dây cáp ngầm trung thể (MV) có thể dẫn đến những hậu quả nghiêm trọng, bao gồm sự gián đoạn cung cấp điện, đe dọa đến an toàn cộng đồng và gây ra thiệt hại kinh tế lớn. Việc xác định và theo dõi các lỗi phát sinh sớm là rất cần thiết. Tuy nhiên, các giải pháp giám sát cáp ngầm tự động trong nước xuất hiện với số lượng ít, đơn giản và chủ yếu tập trung vào giám sát vận hành của cáp cao áp. Do vậy, nghiên cứu này đề xuất cấu hình hệ thống giám sát tự động đường dây cáp ngầm MV. Mấu chốt của hệ thống là một bộ thiết bị bao gồm các cảm biến và nút thu thập, xử lý tín hiệu đặt tại các điểm yếu của đường cáp và mối nối cáp. Các bộ thiết bị thực hiện đo đặc giá trị nhiệt độ, độ ẩm, dòng điện và sự phát xạ âm thanh gây ra bởi phóng điện cục bộ (PD). Dữ liệu thu thập được gửi tới máy chủ thông qua hệ thống mạng không dây LoRaWAN. Trong bài báo này, thuật toán thu thập và xử lý dữ liệu cùng thuật toán cảnh báo linh hoạt sự cố cho cáp ngầm theo mùa trong năm và điều kiện thời tiết được xây dựng, giúp hoàn thiện hoạt động của cấu hình giám sát tự động đường dây cáp ngầm MV được đề xuất.

Từ khóa: Cáp ngầm trung thể; mối nối cáp; giám sát tự động; phóng điện cục bộ; sự cố cáp ngầm.

ABSTRACT

Faults occur on medium-voltage (MV) underground cable lines can have serious consequences, including power supply interruptions, threats to community safety, and significant economic losses. Identifying and monitoring emerging faults early is crucial. The availability of automatic underground cable monitoring solutions domestically is limited, simple, and mainly focus on high-voltage cable. Therefore, this study proposes configuring an automatic monitoring system for MV underground cable lines. The key of the system is a set of devices comprising sensors, signal acquisition and processing nodes placed at vulnerable points along the cable route and cable joints. These devices measure temperature, humidity, current, and acoustic emissions caused by partial discharge (PD). The collected data is transmitted to a server through a LoRaWAN wireless network system. In this paper, algorithms for data acquisition and processing, as well as flexible fault alert algorithms tailored to seasonal variations and weather conditions are developed to enhance the performance of the proposed automatic monitoring configuration for MV underground cable lines.

Keywords: Medium-voltage underground cable; cable joint; automated monitoring; partial discharge; underground cable incident.

¹Học viên KTĐ-K13, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

³Sinh viên K64-ET-LUH, Trường Điện - Điện tử, Đại học Bách khoa Hà Nội

⁴Khoa Kỹ thuật điện, Trường Đại học Điện Lực

*Email: quyenhm@hauai.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/4/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/5/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/7/2024

CHỮ VIẾT TẮT

MV	Medium Voltage (Trung thế)
PD	Partial Discharge (Phóng điện cục bộ)
DC	Direct Current (Dòng điện một chiều)
DSO	Distribution System Operator (Nhà điều hành hệ thống phân phối)
DTS	Distributed Temperature Sensing (Cảm biến nhiệt độ phân tán)
RC	Rogowski Coil (Cuộn dây Rogowski)
DAC	Damped AC
ADC	Analog to Digital Converter
SPI	Serial Peripheral Interface

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Với sự phát triển của xã hội và nhu cầu sử dụng điện năng ngày càng cao, hệ thống truyền tải điện, phân phối điện ngày càng phức tạp. Để giảm độ nhạy của mạng lưới điện trước những ảnh hưởng của môi trường, cáp ngầm được sử dụng ngày càng nhiều. Chúng không bị ảnh hưởng bởi điều kiện thời tiết, mưa lớn, bão, băng tuyết cũng như ô nhiễm. Nhu cầu năng lượng điện ngày càng đòi hỏi chất lượng và ổn định, vì vậy, sự cố trong hệ thống cáp ngầm phải được phát hiện, định vị và sửa chữa nhanh chóng.

Nguyên nhân gây ra các hỏng hóc tại cáp và mối nối cáp xuất phát chủ yếu từ các yếu tố ứng suất: PD, nhiệt độ, dòng tải cao, lão hóa vật liệu cách điện. PD gây ra tác động và lão hóa trong vật liệu cách điện của cáp, dẫn đến làm giảm tuổi thọ của cáp [1, 2]. Trong [3, 4], nhiệt độ được coi là nguyên nhân chính gây ra hỏng mối nối cáp. Trong [5], dòng tải cao và chu kỳ dòng điện tác động tàn phá đến khớp nối. Theo [6, 7], kết quả của các cơ chế lão hóa là thuộc tính của vật liệu bị suy giảm và độ cách điện giảm ở mức cục bộ, dần dần lan rộng qua lớp cách điện giữa các phần dẫn điện.

Hiện tại, trong và ngoài nước đã và đang nghiên cứu ứng dụng nhiều phương pháp giám sát cáp ngầm tại chỗ hoặc ngoài hiện trường bằng các thử nghiệm trực tuyến hoặc ngoại tuyến, như phương pháp giám sát dòng rò, giám sát nhiệt độ, phương pháp điện áp AC tắt dần (DAC), phương pháp điện áp một chiều (DC), phương pháp điện áp xung, phương pháp giám sát PD [8]... để phát hiện sớm các hiện tượng bất thường của cáp ngầm, chủ động trong công tác sửa chữa, bảo trì và thay thế cáp ngầm, làm tăng độ tin cậy của hệ thống.

1.1. Thế giới

Với sự phát triển của công nghệ, rất nhiều phương pháp giám sát và phát hiện sự cố cáp ngầm đã được nghiên cứu ứng dụng trên thế giới.

Sử dụng robot tự động để giám sát hệ thống cáp ngầm cũng đã được một số nước châu Âu sớm nghiên cứu và ứng dụng [9]. Robot phát hiện lỗi bao gồm bộ phận tạo tín hiệu và bộ phận robot. Cáp ngắn mạch được kiểm tra tính liên tục bằng cách truyền tín hiệu tần số thấp 3kHz. Một bộ tạo tín hiệu có thể được sử dụng để tạo ra tín hiệu này. Tín hiệu AC truyền qua dây tạo ra một từ trường xung quanh nó. Từ trường này được robot cảm nhận bằng mạch điện cảm. Tín hiệu AC được robot cảm nhận sau đó được khuếch đại bằng mạch LM386. Tín hiệu khuếch đại này sau đó được chỉnh lưu và chuyển đổi thành DC. Mức DC được cung cấp cho đầu vào tương tự của vi điều khiển. Bộ vi điều khiển chuyển đổi đầu vào tương tự này thành tín hiệu số. Dựa trên chương trình được lập trình trong bộ vi điều khiển, chuyển động của robot được điều khiển. Khi robot đạt đến điểm gián đoạn, từ trường sẽ bằng không. Trong trường hợp đó, tín hiệu đầu vào tại cổng đầu vào analog sẽ thấp đáng kể. Khi cường độ tín hiệu đầu vào nhỏ hơn 10 (đọc nhị phân), PIC - Dòng vi điều khiển của công ty Microchip Technology được lập trình để hiển thị, phát hiện đoạn mạch và hiển thị trên màn hình LCD [10].

Trong số các hiện tượng hư hỏng, hiện tượng quan trọng nhất là hoạt động PD. PD có thể được coi là dấu hiệu báo trước cho hư hỏng cách điện. Phép đo PD là một công cụ chẩn đoán quan trọng, đặc biệt phổ biến đối với cáp trung thế và cao thế, nơi cường độ ứng suất điện cục bộ có thể đạt đến giá trị đánh thủng. Giám sát cáp ngầm được thực hiện thông qua các phép đo PD trực tuyến dựa vào dòng điện của cách điện cáp điện khi có khuyết tật [11]. Sự giải phóng năng lượng này tương đương với hiện tượng PD, giải phóng các xung tần số cao truyền dọc theo chiều dài của dây cáp điện. Các xung tần số cao có thể được phát hiện bằng cách sử dụng máy biến dòng cao tần. Giám sát dòng điện vỏ bọc được triển khai bởi công ty AP sensing [12]. Giải pháp bao gồm các máy biến dòng thông thường, bộ chuyển đổi tín hiệu điện - quang, sau đó được xử lý. Stedin - Nhà điều hành hệ thống phân phối (DSO) ở Hà Lan, đang áp dụng Smart Cable Guard [13]. Một hệ thống có hai cảm biến PD cảm ứng được đặt trong mạng cáp, sóng điện từ từ các xung PD truyền dọc theo cáp theo hai hướng, cách xa điểm khiếm khuyết X. Mỗi cảm biến trong số hai cảm biến sẽ phát hiện xung PD truyền qua.

Trong số các phương pháp giám sát trực tuyến khác nhau, giám sát nhiệt độ là phương pháp trực tiếp nhất để phản ánh tình trạng của cáp. Cảm biến nhiệt độ phân tán (DTS) qua sợi quang được sử dụng phổ biến bởi có ưu điểm là chống nhiễu điện từ và nhiều cơ học cũng như đo liên tục trong không gian, phù hợp để theo dõi nhiệt độ của cáp đường dài. DTS kết hợp với mô hình phần tử hữu hạn (FEM - Finite Element Model) đã được nghiên cứu ứng dụng bởi Kai Chen để giám sát trực tuyến cáp trong RPTL (Railway Power Transmission Lines) tại Trung Quốc, qua đó tính toán đặc tính phân bố của trường nhiệt độ của cáp bị sự cố [14].

Trên thế giới đã xuất hiện nhiều giải pháp để có thể giám sát, chẩn đoán tình trạng cáp ngầm MV. Tuy nhiên, các giải pháp thường tập trung thu thập vào một yếu tố hoặc một ứng suất cụ thể, vì vậy, sẽ gặp nhiều hạn chế trong việc giám sát, chẩn đoán tình trạng cáp.

1.2. Trong nước

Để nâng cao khả năng giám sát các tuyến cáp ngầm cao và trung áp trong các chế độ vận hành, các đơn vị quản lý đã sử dụng nhiều phương pháp khác nhau nhằm phán đoán trước các nguy cơ dẫn đến sự cố trên đường dây cáp ngầm.

Hệ thống DTS được PC Đà Nẵng ứng dụng vào giám sát tuyến cáp ngầm nối từ trạm biến áp 110kV An Đồn đến trạm biến áp 110kV Cảng Tiên Sa với tổng chiều dài hơn 5km [15]. DTS là hệ thống quang điện tử, sử dụng sợi quang cảm biến để giám sát dòng điện và nhiệt độ cáp ngầm, đặc biệt là khả năng kết nối với hệ thống SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) để kịp thời cảnh báo và xử lý các hiện tượng bất thường xảy ra trong quá trình vận hành của một tuyến cáp ngầm. Hệ thống giám sát có ý nghĩa rất quan trọng, góp phần hỗ trợ trong việc phát hiện các nguy cơ dẫn đến sự cố cáp ngầm, giúp công tác quản lý vận hành lưới điện 110kV của đơn vị ngày càng hiệu quả và tin cậy hơn. Hệ thống DTS cũng được một số đơn vị quản lý lưới điện cao áp sử dụng như: Công ty truyền tải điện 4 đã lắp đặt trên 4 tuyến cáp ngầm thuộc hai đường dây mạch kép Tân Uyên - Thủ Đức và Tân Uyên - Long Bình [16].

Ngoài ra, công ty truyền tải điện 4 đã nghiên cứu thành công và ứng dụng công nghệ giám sát từ xa phóng điện cục bộ và nhiệt độ cho tủ hợp bộ tại trạm biến áp 220kV Thủ Đức. Tín hiệu sóng âm di chuyển trên bề mặt của tinh thể để lấy thông tin nhiệt độ. Các giá trị nhiệt độ và PD đo được đã được biên dịch và lưu trong bộ nhớ của bộ xử lý trung tâm, được giám sát trực tiếp thông qua HMI (Human Machine Interface), SCADA và

máy tính qua các chuẩn Modbus, Ethernet,... Người vận hành cập nhật các dữ liệu được hiển thị để theo dõi, đánh giá và đưa ra các phương án vận hành cho phù hợp hiện trạng của thiết bị [17].

Các giải pháp giám sát cáp ngầm tự động trong nước xuất hiện với số lượng ít và chủ yếu tập trung vào giám sát vận hành của cáp cao áp, chưa ứng dụng chẩn đoán trước sự cố của cáp và mối nối cho cáp ngầm MV. Mặt khác, việc nghiên cứu để cập đến giám sát tình trạng cáp và mối nối cáp chưa được chú trọng.

2. ĐỀ XUẤT CẤU HÌNH HỆ THỐNG GIÁM SÁT CÁP NGẦM TỰ ĐỘNG

Cấu trúc chung của hệ thống đề xuất được trình bày trên hình 1. Bộ phận thu thập thông tin trực tiếp từ đường dây và mối nối cáp là các cảm biến đo dòng điện, nhiệt độ, độ ẩm và phát xạ âm thanh từ hoạt động PD. Các cảm biến này được kết nối đến "Nút" thu thập, xử lý tín hiệu. Qua nút này, tín hiệu được thu thập, xử lý và truyền đến máy chủ thông qua một giao thức không dây. Máy chủ là đơn vị trung tâm của hệ thống, thực hiện các chức năng thu thập, xử lý dữ liệu và cảnh báo sự cố.

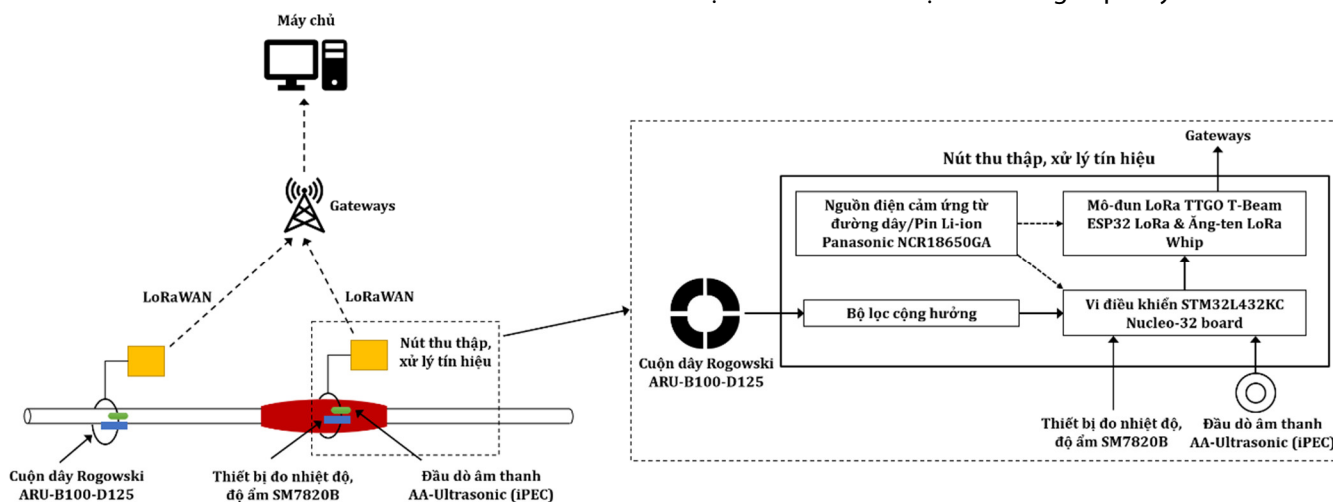
2.1. Các cảm biến

- Cảm biến đo dòng điện: một cuộn dây RC đặt bao quanh dây dẫn, đo cả dòng điện xoay chiều và dòng điện xung tốc độ cao, dựa trên định luật Ampe và Faraday [18], được xem như một giải pháp đo dòng điện hiệu quả. Khả năng đo nhiều tần số và biên độ tín hiệu giúp RC trở thành cảm biến thuận lợi để đánh giá hoạt động cũng như lỗi của hệ thống. Ngoài ra, RC có chi phí thấp, độ tuyến tính tốt và đo cách ly không xâm nhập. Trong đề xuất, sử dụng cuộn RC ARU-B100-D125 của LEM (Thụy Sĩ) để đo dòng điện [19]. Đường kính ngoài tối đa của cáp cần đo dòng điện là 125mm, cảm biến có độ chính xác 1% và tín hiệu đầu ra là 100mV/kA.

- Cảm biến nhiệt độ, độ ẩm: trong nghiên cứu này để xuất giải pháp dùng thiết bị tích hợp cả hai loại cảm biến nhiệt độ và độ ẩm, nhằm đơn giản hóa quá trình lắp đặt và sử dụng. Thiết bị được sử dụng là SM7820B (SONBEST, Shanghai) [20]. SM7820B sử dụng giao thức MODBUS-RTU bus RS485 tiêu chuẩn, dễ dàng kết nối với bộ vi điều khiển. Hơn nữa, thiết bị hoàn toàn có thể tồn tại trong môi trường khắc nghiệt.

- Cảm biến phát xạ âm thanh từ PD: là một đầu dò âm thanh siêu âm. Sự phát xạ âm thanh với dải tần số phát xạ từ 20kHz đến 1MHz tạo ra khi PD được hình thành và vật liệu xung quanh nó bị bay hơi, gây ra sự giải phóng nhanh chóng năng lượng cơ học, dẫn tới sự truyền dưới dạng

của một trường áp suất. Khi sóng áp suất được phát hiện trong hoạt động PD, cảm biến âm thanh sẽ tạo ra các xung điện có tần số và biên độ thích hợp [21]. Đầu dò âm thanh siêu âm AA của iPEC (Vương quốc Anh) được đề xuất sử dụng. Phạm vi đo lường từ -6dBμV đến +70dBμV với sai số đo lường ±1dBμV. Cảm biến cực kỳ nhạy và có thể phát hiện hoạt động dưới 10pC.



Hình 1. Cấu hình đề xuất của hệ thống giám sát cáp ngầm MV

2.2. Nút thu thập, xử lý tín hiệu

Nút thu thập, xử lý tín hiệu là bộ phận trung gian giữa các cảm biến và máy chủ, giúp DSO giám sát các thông số của mối nối và đường dây cáp ngầm. Để đáp ứng việc bảo trì và mở rộng trong tương lai, nút này được khuyến nghị đặt trong các hố ga cùng với mối nối cáp và một vài điểm yếu trên đường cáp ngầm. Một nút thu thập, xử lý tín hiệu sẽ kết nối trực tiếp với các cảm biến để thu thập tín hiệu và kết nối không dây với máy chủ để truyền dữ liệu. Một nút thu thập, xử lý tín hiệu bao gồm các linh kiện được thể hiện trên hình 1.

- Bộ lọc cộng hưởng: gồm điện trở, tụ điện và cuộn cảm, được ghép nối với nhau. Tín hiệu điện áp phản ứng với dòng điện trong dây dẫn được xử lý để đo và phân tích dòng điện. Nhờ việc thiết kế để tạo ra một tần số cộng hưởng tại tần số mong muốn của dòng điện cần đo, bộ lọc cộng hưởng được sử dụng cùng với RC để tăng độ nhạy và giảm nhiễu trong quá trình đo.

- Hệ thống vi điều khiển: quản lý toàn bộ chức năng được mô tả của nút: quản lý giao tiếp, thực hiện đo dòng điện, độ ẩm, nhiệt độ và sự phát xạ âm thanh liên tục. Bộ vi điều khiển STM32L432KC Nucleo-32 board được đề xuất sử dụng. Vi điều khiển này có thể kết nối với tất cả các thiết bị ngoại vi cần thiết, và với một chế độ tiêu thụ điện năng thấp. Tín hiệu đo dòng điện và âm thanh được kết nối vào cổng ADC của vi điều khiển. Trong khi, giá trị

tham số nhiệt độ, độ ẩm kết nối vào cổng SPI của bộ vi điều khiển, để cung cấp tín hiệu số cho đầu vào.

- Mô-đun LoRa: truyền dữ liệu từ nút thu thập, xử lý tín hiệu tới máy chủ. LoRaWAN được lựa chọn nhờ: hiệu quả sử dụng năng lượng cao, vùng phủ sóng rộng và khả năng gửi dữ liệu xuyên qua chướng ngại vật [22]; không bị kiểm soát bởi một nhà cung cấp duy nhất và có thể

được nhiều công ty, tổ chức sử dụng [23]; chủ yếu sử dụng với các cảm biến, việc trao đổi thông tin với máy chủ ở tốc độ truyền thấp và khoảng thời gian truyền tương đối dài [24]. Cấu hình sử dụng mô-đun TTGO T-Beam ESP32 LoRa kết hợp với anten Anten LoRa Whip cho cả phía phát và phía nhận tín hiệu. Ăng-ten LoRa Whip thường có kích thước nhỏ gọn và dễ lắp đặt, được thiết kế để cung cấp hiệu suất tốt trong môi trường không gian hẹp và giúp tăng cường phạm vi truyền dữ liệu xa.

- Nguồn cấp: Nút thu thập, xử lý tín hiệu phải có nguồn cung cấp đủ năng lượng để hoạt động. Mỗi nút được kết nối với một máy biến áp nguồn, cho phép khai thác năng lượng thông qua khớp nối cảm ứng và một mạch cầu chỉnh lưu. Tuy nhiên, máy biến áp chỉ có thể thu năng lượng khi có dòng điện chạy qua đường dây điện, vì vậy trong thời gian mất điện khi xảy ra sự cố, nút sẽ không có nguồn cung cấp năng lượng bổ sung. Để giải quyết vấn đề này, nút được trang bị 2 pin Li-ion Panasonic NCR18650GA mắc song song, dung lượng tổng khoảng 6800 mAh, pin có thể được sạc lại khi có đủ năng lượng hoặc xả khi cần.

2.3. Máy chủ

Máy chủ nhận dữ liệu từ nút thu thập, xử lý tín hiệu. Hoạt động của cấu hình đề xuất được tổ chức thành hai quá trình chính, do chương trình trong máy chủ điều khiển. Quá trình đầu tiên được thiết kế để giám sát và thu thập dữ liệu theo thời gian thực, trong khi quá trình thứ

hai được dùng để chuẩn bị và phân tích dữ liệu để đưa ra các cảnh báo cho đường dây cáp ngầm. Việc giám sát thời gian thực được thực hiện bằng các lệnh đo các thông số hoạt động tại cáp và mối nối cáp ngầm MV. Trong khi đó, việc xử lý và phân tích dữ liệu được thực hiện bởi một thuật toán, có vai trò đối chiếu các dữ liệu thu thập được với biên độ cho phép của chúng, từ đó đưa ra các cảnh báo cần thiết. Trong phần 3 và 4 của bài báo này, chúng tôi trình bày hoạt động và thuật toán của hai chương trình trong máy chủ.

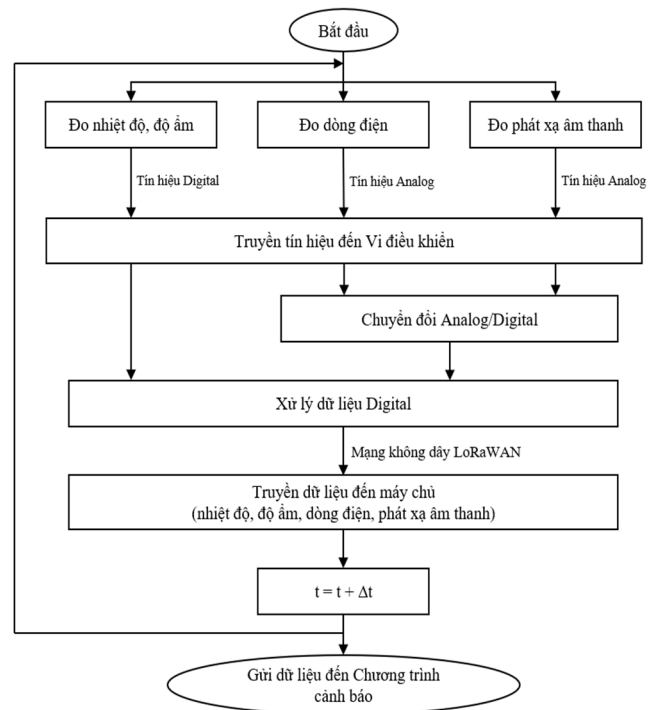
3. HOẠT ĐỘNG THU THẬP VÀ XỬ LÝ DỮ LIỆU

Hình 2 trình bày hoạt động thu thập và xử lý dữ liệu nhằm phục vụ giám sát và cảnh báo sự cố cho cáp ngầm MV. Bước khởi đầu, hệ thống thực hiện các phép đo nhiệt độ, độ ẩm, dòng điện và phát xạ âm thanh tại vị trí cáp hoặc mối nối cáp đặt hệ thống giám sát. Chu kỳ đo là Δt . Tín hiệu nhiệt độ và độ ẩm thu được từ thiết bị SM7820B sẽ là tín hiệu digital, trong khi tín hiệu dòng điện nhận được nhờ cuộn RC ARU-B100-D125 và phát xạ âm thanh từ đầu dò âm thanh siêu âm AA là tín hiệu analog. Những tín hiệu analog và digital này truyền đến vi điều khiển. Khác với tín hiệu digital, tín hiệu analog truyền đến cổng ADC của vi điều khiển, cần thêm quá trình chuyển đổi thành dạng tín hiệu digital. Quá trình chuyển đổi tín hiệu sẽ có ba bước chính: lấy mẫu, số hóa và mã hóa [25]. Trong bước lấy mẫu, thực đo và ghi lại tín hiệu tại các thời điểm nhất định. Tần số lấy mẫu và độ phân giải của ADC quyết định độ chính xác của tín hiệu digital cuối cùng. Tiếp theo, trong quá trình số hóa, giá trị của mỗi mẫu được làm tròn hoặc gán gần nhất với một số nguyên cụ thể. Cuối cùng, tín hiệu được mã hóa thành các bit, giữ nguyên thông tin về biên độ và biến thiên của tín hiệu analog gốc. Kết quả là một tín hiệu digital mà vi điều khiển có thể xử lý, truyền tải và lưu trữ. Khi các tín hiệu đã được đồng bộ về dạng digital, vi điều khiển tiến hành quá trình xử lý dữ liệu gồm: Tín hiệu dòng điện, phát xạ âm thanh đã được chuyển đổi sang dạng digital; và tín hiệu digital nhiệt độ, độ ẩm. Trong quá trình xử lý dữ liệu digital, thực hiện hai giai đoạn chính là tiền xử lý và phân tích. Tiền xử lý tập trung vào làm sạch và chuẩn hóa dữ liệu để loại bỏ nhiễu và đảm bảo tính nhất quán. Phân tích dữ liệu sử dụng các thuật toán thống kê và máy học để khám phá cấu trúc và mối quan hệ trong dữ liệu. Cuối cùng, thông tin được trích xuất và tổng hợp.

Sau quá trình xử lý dữ liệu digital, vi điều khiển truyền thông dữ liệu đến máy chủ thông qua mạng không dây LoRaWAN nhờ vào mô-đun được mô tả trong mục 2.2.

Một thông số quan trọng cần được xác định trong thuật toán của cấu hình hệ thống giám sát để xuất, đó là

chu kỳ thu thập dữ liệu Δt . Khoảng thời gian giữa các phép đo cần được tính toán một cách chính xác và khoa học. Thời gian thực hiện phép đo có thể có ảnh hưởng lớn đến tần số lấy mẫu trong việc thu thập dữ liệu. Khi thời gian giữa các phép đo kéo dài, cần phải điều chỉnh tần số lấy mẫu để đảm bảo không bỏ lỡ các biến động quan trọng. Nếu thời gian giữa các phép đo quá lớn so với tần số lấy mẫu, sẽ có nguy cơ bị mất thông tin quan trọng trong dữ liệu. Trong trường hợp này, việc giảm tần số lấy mẫu là cần thiết để đảm bảo dữ liệu thu thập đủ chi tiết và chính xác. Ngược lại, nếu thời gian giữa các phép đo ngắn hơn so với tần số lấy mẫu, có thể gây lãng phí tài nguyên. Do đó, cần nhắc kỹ lưỡng giữa thời gian thực hiện phép đo và tần số lấy mẫu là quan trọng để đảm bảo hiệu quả và chính xác trong việc thu thập dữ liệu.



Hình 2. Hoạt động thu thập và xử lý dữ liệu. Δt - thời gian giữa 2 lần thực hiện phép đo

4. XÂY DỰNG THUẬT TOÁN CẢNH BÁO SỰ CỐ CHO CÁP NGẦM

Thuật toán cảnh báo sự cố cho cáp ngầm MV được mô tả trong hình 3, đóng vai trò then chốt trong cấu hình để xuất, giúp khai thác hiệu quả các thiết bị được lựa chọn trong phần cứng của cấu hình. Việc xử lý dữ liệu dựa trên phân tích biên độ giá trị tham số ứng suất vừa được đo từ điểm “nóng” cáp và mối nối cáp, bao gồm giá trị nhiệt độ, độ ẩm, dòng điện và phát xạ âm thanh. Các giá trị đo này đã được biên dịch từ các dữ liệu gửi lên từ nút thu thập, xử lý tín hiệu. Để phát hiện dấu hiệu bất thường của cáp

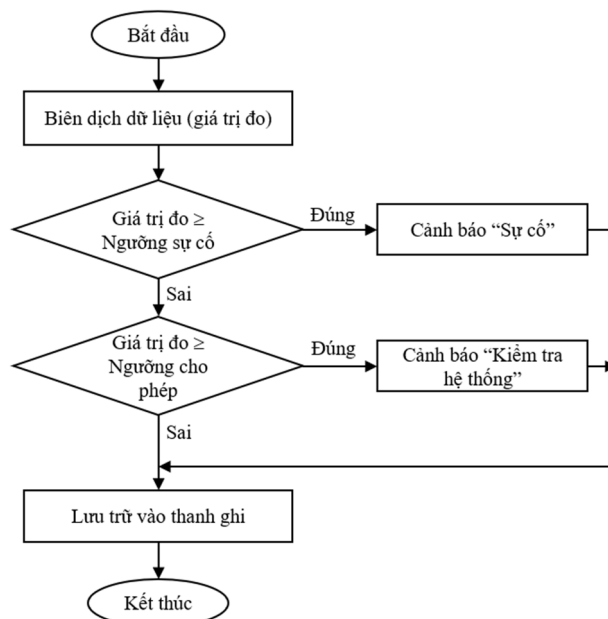
hoặc mỗi nối cáp, biên độ giá trị đo của các ứng suất được so sánh với giá trị ngưỡng cho phép và ngưỡng sự cố:

- Nếu biên độ giá trị của ứng suất lớn hơn giá trị "Ngưỡng sự cố" và xuất hiện thay đổi không tương quan với sự thay đổi của cáp và mối nối cáp, thì cảnh báo "Sự cố" sẽ được kích hoạt. Từ đó, các biện pháp khẩn cấp có thể được thực hiện để giảm thiểu hậu quả của sự cố và bảo vệ an toàn cho hệ thống.

- Khi biên độ giá trị của ứng suất chỉ dừng ở mức lớn hơn giá trị "Ngưỡng cho phép", thì cảnh báo "Kiểm tra hệ thống" sẽ được kích hoạt. Tuy có mức độ thấp hơn cảnh báo sự cố, cảnh báo kiểm tra vẫn mang lại nhiều giá trị. Cảnh báo kiểm tra được kích hoạt khi các cảm biến đo lường phát hiện ra các dấu hiệu, biểu hiện không bình thường, đảm bảo việc kiểm tra và đánh giá sớm trạng thái của đường dây. Điều này cung cấp cơ hội để kiểm tra và đánh giá trạng thái của đường dây cáp ngầm, từ đó phòng tránh sự cố và bảo vệ hệ thống. Hơn nữa, các thông số được ghi lại có tương quan với sự thay đổi tương đối nhằm tương quan với các yếu tố khác nhau, và với sự suy giảm cách điện của cáp và mối nối cáp.

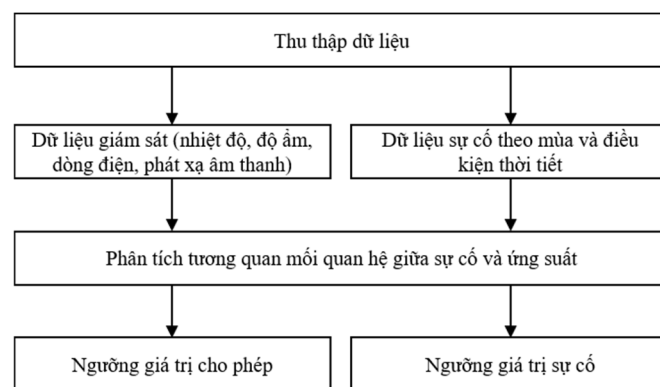
Sự kết hợp giữa cảnh báo kiểm tra và cảnh báo sự cố giúp duy trì hoạt động an toàn và liên tục của hệ thống đường dây cáp ngầm, từ đó giảm thiểu nguy cơ tai nạn và thiệt hại. Đồng thời, cung cấp cơ hội cho DSO tiến hành các biện pháp dự phòng và cải thiện tính ổn định của hệ thống trong tương lai. Các dữ liệu thu thập được ở trạng thái bình thường và bất thường của cáp ngầm MV đều được lưu trữ vào thanh ghi kỹ thuật số. Các bản ghi này là nơi chứa thông tin cần thiết về quá trình thu thập dữ liệu, giúp có thể hiểu rõ hơn về sự phát triển của dữ liệu theo thời gian. Bằng cách ghi chép thông tin, có thể dễ dàng theo dõi và phân tích các biến động quan trọng trong dữ liệu. Dữ liệu từ những sự kiện "Sự cố" hoặc "Kiểm tra hệ thống" sử dụng để DSO xem xét và đánh giá tình trạng đường dây cáp ngầm. Khi xuất hiện nhiều điểm nút thu thập, xử lý tín hiệu gửi đến cảnh báo trong cùng khoảng thời gian ngắn, đồng nghĩa với việc đường dây cáp ngầm đã xuống cấp, cần được sửa chữa, bảo dưỡng toàn diện. Với những sự kiện chỉ thực hiện phép đo, dữ liệu cũng sẽ được ghi lại nhằm mục đích thu thập để tạo lập biểu đồ thời gian, qua đó phân tích xu hướng, hiệu ứng vụ mùa, tính chu kỳ và phân tích biến động của các ứng suất. Để có thể xây dựng tương quan xu hướng, dữ liệu thu thập cần phải tích lũy trong một khoảng thời gian dài. Quá trình tích lũy này cần lặp lại với nhiều chu kỳ tuần hoàn, nhằm xây dựng biểu đồ thời gian chính xác nhất liên quan đến các tham số ứng suất. Cuối cùng, việc duy trì

các bản ghi quan trọng cũng đảm bảo rằng thông tin sẽ luôn sẵn sàng và dễ dàng truy cập khi cần thiết, giúp tăng cường hiệu suất và hiệu quả trong quản lý dữ liệu.



Hình 3. Thuật toán cảnh báo sự cố cáp ngầm

Trong thuật toán giám sát và cảnh báo sự cố cho cáp ngầm này, "Ngưỡng sự cố" và "Ngưỡng cho phép" đóng vai trò quan trọng hàng đầu. Việc xác định đúng các giá trị của các ngưỡng này giúp cho việc chẩn đoán và cảnh báo trở nên đáng tin cậy và giá trị. Hai ngưỡng giá trị này phụ thuộc theo mùa trong năm và điều kiện thời tiết, do đó việc đánh giá và cập nhật giá trị của chúng được thực hiện theo chu kỳ 1 năm. Trình tự thực hiện xác định "Ngưỡng sự cố" và "Ngưỡng cho phép" được mô tả trên hình 4.



Hình 4. Trình tự thực hiện để xác định ngưỡng ứng suất

Ban đầu, dữ liệu giám sát được ghi lại trong thanh ghi của hệ thống sẽ được biểu diễn trên biểu đồ thời gian, qua đó thể hiện xu hướng và sự biến động của dữ liệu qua các khoảng thời gian trong năm. Đối với dữ liệu sự cố theo mùa và điều kiện thời tiết, sẽ cần thu thập từ nguồn cơ sở

dữ liệu của các cơ quan quản lý điện lực của đường dây cáp ngầm MV. Bước kế tiếp, đối chiếu, so sánh giá trị của các ứng suất với sự cố theo mùa và điều kiện thời tiết. Từ đó, thực hiện phân tích tương quan mối quan hệ giữa các ứng suất và sự cố theo thời tiết để xác định “Ngưỡng sự cố” của các ứng suất. Phương pháp tiếp cận là sự kết hợp giữa phân tích thực tế và xây dựng mô hình dự đoán. Việc xác định ngưỡng cho phép của cáp ngầm MV từ dữ liệu thu thập, cũng sẽ tiến hành phân tích dữ liệu cẩn thận và chi tiết. Bằng cách nắm vững thông tin thực tế về hiệu suất của cáp trong các điều kiện khác nhau, xác định được phạm vi hoạt động an toàn và ổn định của cáp. Từ dữ liệu cơ sở này, đặt ra ngưỡng cho phép và giới hạn tối đa mà cáp có thể chịu đựng mà không gây ra sự cố. Điều này đảm bảo rằng quá trình vận hành và quản lý cáp được tiếp cận một cách khoa học và đáng tin cậy.

5. KẾT LUẬN

Kết quả của nghiên cứu là một đề xuất về cấu hình giám sát tự động đường dây và mối nối cáp ngầm trung thế. Đây là một giải pháp kỹ thuật toàn diện giúp giám sát các thông số có liên quan trực tiếp đến các nguyên nhân chính gây ra sự cố của đường dây cáp ngầm. Trong đề xuất, chúng tôi lựa chọn cuộn dây RC, thiết bị đo độ ẩm, nhiệt độ, đầu dò âm thanh phát xạ từ PD, vi điều khiển và mô-đun LoRa trong phần cứng của giải pháp, làm nhiệm vụ thu thập, xử lý và truyền dữ liệu. Một thuật toán cảnh báo sự cố và nguy cơ tiềm ẩn của đường dây cáp ngầm được phát triển dựa trên các dữ liệu giám sát và dữ liệu ghi nhận sự cố của đơn vị quản lý cáp điện. Điểm cốt lõi tạo nên tính hiệu quả của thuật toán này là việc xác định được các ngưỡng ứng suất theo điều kiện môi trường, tương ứng với tần suất xảy ra sự cố của đường dây cáp ngầm trung thế. Tuy nhiên, để triển khai và thử nghiệm giải pháp này trong thực tế cần phải thực hiện các công việc, trong đó điển hình như việc xác định chính xác ngưỡng cho phép và ngưỡng sự cố thay đổi theo điều kiện thời tiết, xác định chính xác chu kỳ lấy mẫu, xác định vị trí đặt và số lượng tối thiểu các nút thu thập, xử lý tín hiệu trên đường dây cáp ngầm MV.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Fruth B., “Partial discharge mechanisms in solid insulation systems,” *In Proceedings of the 4th International Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics*, Sestri Levante, Italy, 22-25 June 1992; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 1992.
- [2]. D. M. Hopkins, D. E. Ragaller, “Partial Discharge in Power Cables,” *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 1, 5, 810-820, 1994.

- [3]. R. A. Jongen, P. H. F. Morshuis, J. J. Smit, A. L. J. Janssen, “Influence of ambient temperature on the failure behavior of cable joints,” in *2007 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, 2007.
- [4]. Raffaella Di Sante, Abbas Ghaderi, Alessandro Mingotti, Lorenzo Peretto, Roberto Tinarelli, “Effects of Thermal Cycles on Interfacial Pressure in MV Cable Joints,” *Sensors*, 20(1), 169, 2019. <https://doi.org/10.3390/s20010169>.
- [5]. Fred Steennis, Piet Soepboer, Jan Mosterd, Peter Buys, Piet Oosterlee, Leon Bokma, Ralf Meier, “The effect of high current loads on joints in MV cable systems,” in *21st International Conference on Electricity Distribution*, Frankfurt, 6-9 June 2011, Paper 0884.
- [6]. Densley J., “Ageing mechanisms and diagnostics for power cables - An overview,” *IEEE Electr. Insul. Mag.*, 17, 14-22, 2001.
- [7]. Zhou C., Yi H., Dong X., “Review of Recent Research Towards Power Cable Life Cycle Management,” *High Volt.*, 2, 179-187, 2017.
- [8]. Ammar Anwar Khan, Nazar Malik, Abdulrehman Al-Arainy, Saad Alghuwainem, “A Review of Condition Monitoring of Underground Power Cables,” in *2012 IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis*, A-23, pp.909-912, 2012.
- [9]. Bing Jiang, Alanson P. Sample, Ryan M. Wistort, Alexander V. Mamishev, “Autonomous Robotic Monitoring of Underground Cable Systems,” *IEEE Xplore*, 2005. DOI: 10.1109/ICAR.2005.1507481.
- [10]. Jery Althaf, Muhammad Imthiaz, Rejith Raj, “Underground Cable Fault Detection using Robot,” *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 3, 2, 145-151, 2013.
- [11]. C. W. Eastham, K. J. Vander Eyken, “Practical Application of On-line Partial Discharge Monitoring for the Improvement of Long-Term Power Network Reliability,” *CIGRE-576, CIGRE Canada Conference & Exhibition*, 2023.
- [12]. *Fiber-based Current Monitoring*, 2023. AP sensing. Switzerland.
- [13]. Fred Steennis, Peter Buys, Ravish P. Y. Mehairjan, Peter C. J. M. van der Wielen, “Smart Cable Guard for PD-online monitoring of MV underground power cables in Stedin’s network,” DOI:10.13140/2.1.2144.1285.
- [14]. Kai Chen, Yi Yue, Yuejin Tang, “Research on Temperature Monitoring Method of Cable on 10 kV Railway Power Transmission Lines Based on Distributed Temperature Sensor,” *Energies*, 14, 3705, 2-15, 2021.
- [15]. Hoang Viet, Duy Tan, *DTS system - solution to support 110kV underground cable monitoring*. Viet Nam Power Corporation, Central Power Corporation, 2022. <https://cpc.vn/vi-vn/Tin-tuc-su-kien/Tin-tuc-chi-tiet/articleId/51005>.
- [16]. Xuan Phu, *Tan Uyen 500kV station applies digital transformation in operation management*. Digital transformation - Science and Technology, Power Transmission Company N04, 2021.
- [17]. Nguyen Tan Dat, Vo Sy Danh, PTC4 successfully researched and applied online partial discharge and temperature monitoring technology. National Power Transmission Corporation, Vietna, 2022. <http://ptc4.npt.evn.vn/d6/vi-VN/news/PTC4-nghien-cuu-ung-dung-thanh-cong-cong-nghe-giam-sat-phong-dien-cuc-bo-va-nhiệt-do-truc-tuyen-6-1291-1547>.

[18]. M. Marracci, B. Tellini, C. Zappacosta, G. Robles, "Critical parameters for mutual inductance between Rogowski coil and primary conductor," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 60, 2, 625-632, 2011.

[19]. *Datasheet ARU series*, 2022, LEM.

[20]. *SM7820B RS485 temperature and humidity sensor*, User Manual, SONBEST.

[21]. Qian S., Chen H., Xu Y., Su L., "High sensitivity detection of partial discharge acoustic emission within power transformer by sagnac fiber optic sensor," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, 25, 2313-2320, 2018.

[22]. Vicky Bonilla, Brandon Campoverde, Sang Guun Yoo, "A Systematic Literature Review of LoRaWAN: Sensors and Applications," *Sensors*, 23(20), 8440, 2023. <https://doi.org/10.3390/s23208440>.

[23]. Lalle Y., Fourati L.C., Fourati M., Barraca J. P., "A Comparative Study of LoRaWAN, SigFox, and NB-IoT for Smart Water Grid," in *Proceedings of the 2019 Global Information Infrastructure and Networking Symposium*, Paris, France, 1-6, 2019.

[24]. Panagi G., Katzis K., "Towards 3-Lead Electrocardiogram Monitoring over LoRa: A Conceptual Design," in *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Communications Workshops*, Dublin, Ireland, 71-5, 2020.

[25]. Nasser Kehtarnavaz, *Digital Signal Processing System Design - Chapter 3 - Analog-to-Digital Signal Conversion*. Elsevier, 57-91, 2008.

AUTHORS INFORMATION

**Tran Duc Hai¹, Trinh Trong Chuong², Hoang Mai Quyen²,
Nguyen Vu Gia Bao³, Vu Thi Thu Nga⁴**

¹KTD-K13 Master Student, Hanoi University of Industry, Vietnam

²Faculty of Electrical Engineering, Hanoi University of Industry, Vietnam

³K64-ET-LUH Student, School of Electrical and Electronic Engineering, Hanoi University of Science and Technology, Vietnam

⁴Faculty of Electrical Engineering, Electric Power University, Vietnam