

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VÀ THỬ NGHIỆM HỆ THỐNG BẢO VỆ ĐƯỜNG ỐNG KIM LOẠI TRONG ĐẤT BẰNG PHƯƠNG PHÁP BẢO VỆ CATHODIC TỐT SỬ DỤNG DÒNG ĐIỆN NGOÀI KẾT HỢP CÔNG NGHỆ IOT

RESEARCH ON MANUFACTURING AND TESTING OF METAL PIPELINE PROTECTION SYSTEM UNDER GROUND USING IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION COMBINED WITH IOT TECHNOLOGY

Vũ Văn Mừng*, Mai Thế Trọng, Trương Văn Đạo

Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email: mungvv.mtb@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu chế tạo và thử nghiệm hệ thống bảo vệ cathodic cho đường ống kim loại trong đất, sử dụng dòng điện ngoài kết hợp công nghệ IoT. Hệ thống bao gồm một bộ điều khiển trung tâm, một bộ cấp dòng điện bảo vệ, và các cảm biến IoT để giám sát liên tục tình trạng đường ống. Kết quả thử nghiệm chứng minh rằng hệ thống này tăng khả năng chống ăn mòn, giảm chi phí bảo trì, và cung cấp các dữ liệu thực tế để tối ưu hóa quản lý.

Từ khóa: Bảo vệ cathodic; Ăn mòn; Đường ống kim loại; Công nghệ IoT; Môi trường đất.

ABSTRACT

The article presents the research results on the development and testing of a cathodic protection system for underground metal pipelines, utilizing an external current in combination with IoT technology. The system consists of a central controller, a protective current supply unit, and IoT sensors for continuous pipeline condition monitoring. Experimental results demonstrate that this system enhances corrosion resistance, reduces maintenance costs, and provides real-time data for optimized management.

Keywords: Cathodic protection; Corrosion; Metal pipeline; IoT technology; Soil environment.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống đường ống kim loại chôn ngầm đóng vai trò quan trọng trong việc vận chuyển và phân phối các loại chất lỏng và khí như nước, dầu, và khí tự nhiên. Tuy nhiên, trong môi trường đất, các đường ống này thường phải đối mặt với hiện tượng ăn mòn điện hóa, gây suy giảm độ bền và giảm tuổi thọ của hệ thống [1]. Vấn đề ăn mòn không chỉ làm tăng chi phí sửa chữa, bảo trì mà còn có thể dẫn đến các hậu quả nghiêm trọng về môi trường và an toàn [2].

Phương pháp bảo vệ ca tốt (cathodic protection) bằng dòng điện ngoài (impressed current cathodic protection – ICCP) là một giải pháp phổ biến và hiệu quả để kiểm soát sự ăn mòn của đường ống kim loại trong đất [3-5]. Tuy nhiên, việc vận hành và theo dõi hệ thống ICCP thường gặp khó khăn trong điều kiện thực tế, đặc biệt đối với các đường ống dài và phức tạp [6]. Sự phát triển của công nghệ Internet vạn vật (IoT) mang lại cơ hội lớn trong việc giám sát và điều khiển hệ thống bảo vệ ăn mòn một cách hiệu quả, chính xác và liên tục [7, 8].

Với mục tiêu tăng cường hiệu quả bảo vệ đường ống kim loại và nâng cao khả năng giám sát hệ thống từ xa, nghiên cứu này tập trung vào việc thiết kế, chế tạo và thử nghiệm một hệ thống bảo vệ ca tốt sử dụng dòng điện ngoài kết hợp công nghệ IoT. Hệ thống được kỳ vọng không chỉ cải thiện khả năng bảo vệ ăn mòn mà còn tối ưu hóa chi phí vận hành và bảo trì, góp phần giải quyết một trong những thách thức lớn của ngành công nghiệp hiện nay.

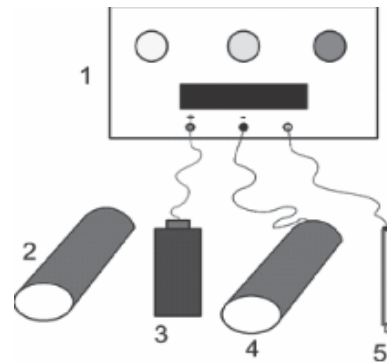
2. PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

Để đánh giá hiệu quả của hệ thống bảo vệ ca tốt sử dụng dòng điện ngoài kết hợp công

nghệ IoT, các bước thiết kế, chế tạo, và thí nghiệm được thực hiện như sau:

2.1. Thiết kế và chế tạo hệ thống bảo vệ ca tốt

Hệ thống được thiết kế bao gồm các thành phần chính:



Hình 1. Mô hình thí nghiệm:

1 – Bộ điều khiển; 2 – Ống kim loại không được bảo vệ; 3 – A nốt; 4 – Ống kim loại được bảo vệ; 5 – Điện cực tham chiếu

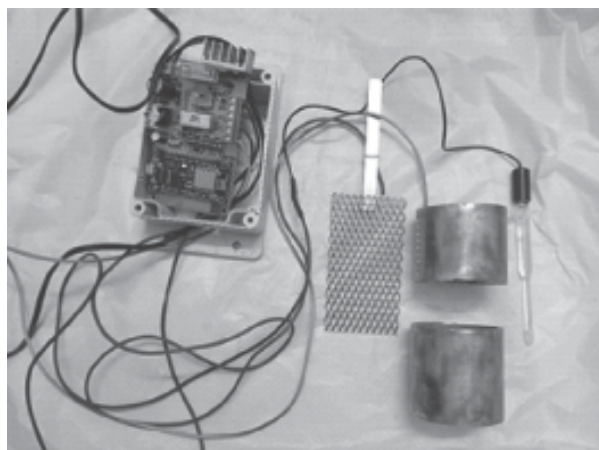
Bộ điều khiển: Bộ điều khiển được thiết kế để có thể điều chỉnh điện áp bảo vệ, hoạt động cả ở chế độ tự động và bằng tay. Các thông số được hiển thị và điều khiển từ xa thông qua kết nối IoT. A nốt được làm bằng kim Titan phủ platinum. Điện cực tham chiếu sử dụng trong hệ thống là Cu/CuSO₄. Mẫu ống kim loại sử dụng trong thí nghiệm là ống thép các bon có các thành phần được trình bày trong Bảng 1. Để đánh giá khả năng bảo vệ ống kim loại khỏi ăn mòn, hệ thống sử dụng 02 mẫu ống, trong đó 01 mẫu được bảo vệ và 01 mẫu không được bảo vệ.

Bảng 1. Thành phần chính của mẫu ống kim loại

Thành phần	C	Mn	Si	Cr	Fe
Giá trị	0,2 %	0,3 %	0,1 %	0,3 %	99,6%



Sau khi thiết kế, chúng tôi đã tiến hành chế tạo hệ thống bảo vệ đường ống kim loại sử dụng dòng điện ngoài kết hợp giám sát thông qua IoT. Hình ảnh hệ thống sau khi chế tạo được trình bày trên Hình 2.



Hình 2. Hình ảnh hệ thống sau khi được chế tạo

2.2. Lắp đặt và thực hiện thí nghiệm

Để đánh giá khả năng hoạt động của hệ thống, bài báo đã tiến hành thí nghiệm trong điều kiện thực tế. Trước và sau khi tiến hành thí nghiệm, các mẫu ống kim loại được vệ sinh bằng axit clohydric (tỉ lệ 1:3), rửa bằng nước cất và sấy khô ở 90°C, sau đó cân trên cân phân tích AW-220 (Shimadzu) với độ chính xác $\pm 0,0001$ g.

Các thông số của môi trường đất tại nơi đặt thí nghiệm như sau:

- Nhiệt độ: 28-35°C;
- Độ ẩm: 80-85%;
- Độ pH: 6,0.

Voltage Monitoring System

THE SYSTEM IS IN: AUTO MODE

Anode voltage:

800 mV

Probe voltage:

800 mV

Anode current:

0 mV

Mode: Auto

MAN

Setting Anode Voltage (Manual mode): 3500 mV

3500

SET VOL

Setting Probe Voltage (Auto mode): 800 mV

800

SET VOL

Hình 3. Giao diện thu thập dữ liệu từ hệ thống giám sát thông qua IoT

*Các bước thí nghiệm chính bao gồm:

- Đo đặc ban đầu: Xác định thể ăn mòn của đường ống trước khi bật hệ thống bảo vệ.

- Vận hành hệ thống bảo vệ: Cung cấp nguồn dòng điện ngoài và giám sát điện thế bảo vệ, dòng điện qua điện cực.

- Theo dõi dữ liệu: Dữ liệu được thu thập từ bộ điều khiển IoT và lưu trữ trên máy chủ để phân tích. Các thông số thu được bao gồm: Điện áp giữa a nốt và kim loại được bảo vệ, điện thế bảo vệ và dòng điện giữa a nốt và mẫu ống kim loại (xem Hình 3).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả đánh giá khả năng hoạt động của hệ thống sau thời gian tiến hành thí nghiệm 180 ngày được trình bày ở Bảng 2. Dựa vào sự thay đổi khối lượng, chiều dày tổn thất do ăn mòn h và tốc độ ăn mòn V_{cor} được tính toán theo công các công thức (1) và (2).

$$h = \frac{\Delta m_{\text{cor}}}{S\rho} \quad (1)$$

$$V_{\text{cor}} = \frac{h}{\Delta t} \quad (2)$$

Trong đó: S – Diện tích bề mặt được bảo vệ của mẫu ống, cm²; h – Chiều dày tổn thất do ăn mòn, cm; ρ – Mật độ kim loại (đối với thép ρ = 7,8 g/cm³); Δt – Thời gian tiến hành thí nghiệm, năm.

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm

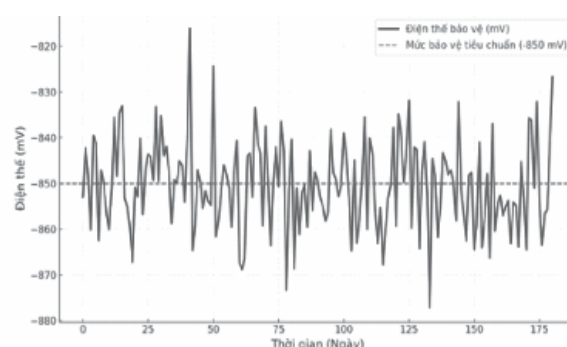
Loại mẫu	Khối lượng mẫu trước khi tiến hành thí nghiệm (g)	Khối lượng mẫu sau khi tiến hành thí nghiệm (g)	Tốc độ ăn mòn (mm/năm)
Được bảo vệ	216,8224	214,3584	0,046
Không được bảo vệ	256,6515	246,7700	0,12

Nhìn vào Bảng 2, ta thấy rằng mẫu ống kim loại được bảo vệ có tốc độ ăn mòn thấp hơn nhiều so với mẫu ống không được bảo vệ. Cụ thể, tốc độ ăn mòn của mẫu ống kim loại được bảo vệ là 0,046 mm/năm, trong khi đó tốc độ ăn mòn của mẫu ống kim loại không được bảo vệ là 0,12 mm/năm. Điều này chứng tỏ hệ thống có khả năng tạo ra dòng bảo vệ tốt trong quá trình tiến hành thí nghiệm.

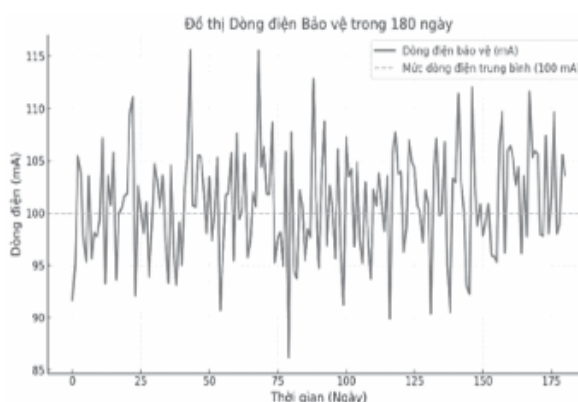
Để giá khả năng giám sát và điều khiển điện thế bảo vệ, chúng tôi đã tiến hành cài đặt điện thế bảo vệ ở cả chế độ tự động và bằng tay, sau đó sử dụng đồng hồ đo điện áp để so sánh giá trị đặt và giá trị thực tế mà hệ thống xuất ra. Kết quả của các lần kiểm tra cho thấy

sai số giữa giá trị đặt và giá trị mà hệ thống xuất ra không quá 5%.

Ngoài khả năng chỉ báo các thông số theo thời gian thực thông qua IoT, hệ thống có thu thập dữ liệu và lưu vào bộ nhớ. Kết quả giám sát về điện thế và dòng điện bảo vệ được trình bày trên Hình 4 và Hình 5.



Hình 4. Điện thế bảo vệ



Hình 5. Dòng điện bảo vệ

Nhìn vào đồ thị điện thế và dòng điện bảo vệ ở Hình 5 và Hình 6, ta thấy rằng điện thế và dòng điện bảo vệ luôn dao động ở mức -850 mV và 100 mA. Các giá trị này được nằm trong giới hạn cho phép nên luôn duy trì khả năng bảo vệ cho mẫu ống kim loại. Dữ liệu thu về vào bộ nhớ một cách đầy đủ trong suốt quá trình thí nghiệm. Điều này chứng tỏ rằng hệ thống giám sát thông qua IoT làm việc ổn định và tin cậy.

4. KẾT LUẬN

Qua quá trình thí nghiệm kéo dài 180 ngày, hệ thống bảo vệ ca tốt đã chứng minh được hiệu quả cao trong việc bảo vệ mẫu ống kim loại khỏi ăn mòn. Kết quả thí nghiệm cho thấy mẫu ống được bảo vệ có tốc độ ăn mòn thấp đáng kể, chỉ đạt 0,046 mm/năm, so với 0,12 mm/năm ở mẫu không được bảo vệ. Điều này khẳng định khả năng của hệ thống trong việc tạo ra dòng bảo vệ ổn định và hiệu quả trong suốt thời gian thí nghiệm.

Ngoài ra, kết quả giám sát và kiểm tra cho thấy sai số giữa giá trị điện thế đặt và giá trị thực tế không vượt quá 5%, đảm bảo độ chính xác cao trong quá trình vận hành. Hệ thống đã duy trì ổn định các thông số điện thế và dòng điện bảo vệ ở mức -850 mV và 100 mA, nằm trong giới hạn tiêu chuẩn.

Khả năng giám sát thông qua IoT của hệ thống được đánh giá là đáng tin cậy, với dữ liệu được thu thập và lưu trữ đầy đủ trong suốt quá trình thí nghiệm. Điều này không chỉ giúp theo dõi trạng thái của hệ thống theo thời gian thực mà còn hỗ trợ việc phân tích và đánh giá dữ liệu một cách hiệu quả.

Những kết quả đạt được từ nghiên cứu này đã chứng minh tiềm năng ứng dụng của hệ thống bảo vệ ca tốt và giám sát IoT trong việc bảo vệ các công trình kim loại dưới lòng đất hoặc trong môi trường khắc nghiệt. Hệ thống có thể được cải tiến và áp dụng rộng rãi nhằm tăng cường độ bền và tuổi thọ của các công trình trong thực tế.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT24-25.29.

Ngày nhận bài: **17/02/2025**

Ngày phản biện: **10/3/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Quy Tran Nguyen, Hung Nguyen Thanh, and Thai Nguyen Thanh, “*Quản lý tính toán ven của các đường ống dẫn khí*”. Petrovietnam Journal, 2019, 8: p. 50-57.
- [2]. Trịnh Xuân Sên, “*Ăn mòn và bảo vệ kim loại*”. NXB. Đại học Quốc gia Hà Nội, 2006.
- [3]. Nguyễn Ngọc Phong, et al., “*Hiệu suất của bảo vệ catot bằng dòng điện ngoài cho công trình kim loại ngầm trong môi trường đất*”. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 2020, 62(3).
- [4]. Branko N Popov and Swaminatha P Kumaraguru, “*Cathodic protection of pipelines*”. In Handbook of Environmental Degradation of Materials, 2005, Elsevier. p. 503-521.
- [5]. ES; Ikpeseni Ameh, SC, “*Pipelines cathodic protection design methodologies for impressed current and sacrificial anode systems*”. Nigerian Journal of Technology, 2017, 36(4): p. 1072-1077.
- [6]. U. Angst, et al., “*Cathodic protection of soil buried steel pipelines – a critical discussion of protection criteria and threshold values*”. Materials and Corrosion, 2016, 67(11): p. 1135-1142.
- [7]. Công Đạt Vương, Thế Sơn Trần, “*Công nghệ Internet of Things*”, 2023.
- [8]. Trần Thị Thu Hương, “*Công nghệ IoT tại Việt Nam từ góc nhìn bản đồ công nghệ*”. Tạp chí Thông tin và Truyền thông, số tháng 5/2022.