

# Nghiên cứu thiết kế hệ thống giám sát không dây, từ xa hàm lượng nước trong dầu máy biến áp truyền tải

Hoàng Ngọc Nhân<sup>1\*</sup>, Khổng Minh Đăng<sup>1</sup>, Phạm Chí Công<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Viện Ứng dụng Công nghệ, Bộ Khoa học và Công nghệ, 24 Lê Thánh Tông, phường Phan Chu Trinh, quận Hoàn Kiếm, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup>Viện Nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hóa, Bộ Công Thương, 156A Quán Thánh, phường Quán Thánh, quận Ba Đình, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 15/8/2023; ngày chuyển phân biện 18/8/2023; ngày nhận phân biện 28/8/2023; ngày chấp nhận đăng 5/9/2023

## Tóm tắt:

Bài báo này trình bày giải pháp xây dựng hệ thống giám sát không dây, từ xa hàm lượng nước trong dầu máy biến áp truyền tải. Trong giải pháp này, thiết bị đo cấp trường (tại hiện trường) được thiết kế để chuẩn hóa tín hiệu, xử lý tín hiệu, chuyển đổi, hiển thị và truyền thông tín hiệu từ cảm biến đo hàm lượng nước trong dầu (nguyên lý điện dung). Thiết bị cấp trường có thể sử dụng nguồn cung cấp độc lập từ pin 4,5V hoặc có thể từ nguồn điện mặt trời nhằm tránh ảnh hưởng không mong muốn từ lưới điện phân phối tới máy biến áp. Giao thức truyền thông LoRa từ các thiết bị đo cấp trường đến bộ thu thập trung tâm được sử dụng. Thiết bị thu thập trung tâm đa kênh thu thập dữ liệu từ các thiết bị cấp trường theo chuẩn truyền thông LoRa, có thể hiển thị tại chỗ hoặc truyền dữ liệu lên đám mây (cloud). Toàn bộ dữ liệu được đọc về, hiển thị, xử lý, cảnh báo, báo cáo trên máy tính trên nền tảng web. Hệ thống đã được hoàn thiện, chạy ổn định, với sai số tương đối nhỏ hơn 1%, tại giá trị 25 ppm nước trong dầu.

Từ khóa: hàm lượng nước trong dầu, thiết bị cấp trường, truyền thông LoRa.

Chỉ số phân loại: 2.2

## Research to design a wireless and remote surveillance system for water content in transmission transformer oil

Ngoc Nhan Hoang<sup>1\*</sup>, Minh Dang Khong<sup>1</sup>, Chi Cong Pham<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Center for Technological Progress, Ministry of Science and Technology, 24 Le Thanh Tong Street, Phan Chu Trinh Ward, Hoan Kiem District, Hanoi, Vietnam

<sup>2</sup>Vietnam Research Institute of Electronics, Informatics and Automation, Ministry of Industry and Trade, 156A Quan Thanh Street, Quan Thanh Ward, Ba Dinh District, Hanoi, Vietnam

Received 15 August 2023; revised 28 August 2023; accepted 5 September 2023

## Abstract:

This article presents a solution to build a wireless and remote surveillance system for water content in transmission transformer oil. In this solution, the field measuring device is designed to standardise the signal, process the signal, convert, display and communicate the signal from the water content in the oil sensor (capacitance principle). The field measuring device can use an independent power supply from a 4.5 V battery or from a solar power source to avoid unwanted effects from the distribution grid to the transformer. The LoRa communication protocol from the field measuring devices to the multi-channel central collector (MCC) is used. The MCC collected data from the field devices according to the LoRa communication standard, which can be displayed on-site or transmitted to the cloud. All data is read, displayed, processed, warned, and reported on a computer on a web platform. The system has been completed and is running stably, with a relative error of less than 1% at a value of 25 ppm water in oil.

Keywords: field device, LoRa communication protocol, water in oil.

Classification number: 2.2

\*Tác giả liên hệ: Email: hnnhan@most.gov.vn

## 1. Đặt vấn đề

Dầu trong máy biến áp có vai trò đặc biệt quan trọng trong việc làm mát cuộn dây máy biến áp, cách điện, bảo vệ lõi và cuộn dây khi được ngâm hoàn toàn trong dầu, ngăn cản tiếp xúc trực tiếp của ôxy trong khí quyển với cellulose làm giấy cách điện của cuộn dây. Để đảm bảo hoạt động bình thường của máy biến áp, các thông số của dầu cách điện phải được đảm bảo như: thông số về điện (độ bền điện môi, điện trở riêng...), thông số hóa lý (hàm lượng nước trong dầu, độ axit, sức căng bề mặt, độ nhớt, điểm chớp cháy...).

Các thông số hóa lý của dầu cách điện cũng có ảnh hưởng đến nhau và ảnh hưởng đến thông số về điện của dầu. Ví dụ hàm lượng nước trong dầu ảnh hưởng đến điện áp đánh thủng dầu, ảnh hưởng đến độ nhớt, điểm chớp cháy...

Độ ẩm trong dầu cách điện máy biến áp làm giảm độ bền điện môi của dầu, đồng thời làm tăng nguy cơ hỏng giấy cách điện. Nó có thể hình thành các bong bóng khí và đẩy nhanh quá trình lão hóa của lớp cách nhiệt cellulose. Sự gia tăng hàm lượng nước trong dầu trong môi trường điện áp cao có thể sinh ra phóng điện cục bộ. Ngay cả khi máy biến áp không bị rò rỉ, nước trong dầu vẫn hình thành như một sản phẩm phụ của quá trình lão hóa cũng như độ ẩm từ giấy cách điện hòa cùng với dầu. Theo nghiên cứu của Y. Du và cs (1999) [1] thì hàm lượng nước trong dầu tăng lên gấp đôi sẽ làm giảm hiệu suất của máy biến áp đi một nửa. Do đó, độ ẩm là một thông số quan trọng ảnh hưởng bất lợi đến hiệu suất của máy biến áp và cần giám sát liên tục. Phương pháp đo hàm lượng nước trong dầu máy biến áp sử dụng sợi quang như cảm biến cũng được nghiên cứu, tuy nhiên các giá trị đo mới trình bày ở mô hình thực nghiệm [2]. Theo nghiên cứu của S.F.A.Z. Yusoff và cs (2018) [3] có đo độ ẩm trong mẫu dầu bằng cách xử lý ảnh hưởng của lớp phủ kim loại bạch kim lên sợi quang hình chữ D. Đây là cơ sở cho việc xây dựng hệ thống đo hàm lượng nước trong dầu máy biến áp. Tuy nhiên đây mới là thử nghiệm, chưa đảm bảo được độ chính xác, dải đo cần thiết, chưa xây dựng hệ thống đo online được. Trong nghiên cứu của V.V. Kondalkar và cs (2019) [4] đề cập đến việc phát triển cảm biến độ ẩm điện dung thu nhỏ loại metal-polyimide-interdigital transducer (IDT) có độ nhạy cao để đo hàm lượng nước trong dầu máy biến áp. Cảm biến này có thể phát triển để đo độ ẩm trong dầu máy biến áp.

Hiện nay, đo độ ẩm trong dầu cách điện máy biến áp có thể sử dụng phương pháp Karl Fischer (theo chuẩn ASTM D1744), phương pháp này có độ chính xác cao, nhưng chỉ phù hợp cho đo mẫu trong phòng thí nghiệm bởi thử nghiệm có thể ảnh hưởng các chất phụ gia khác trong quá trình thử nghiệm... [6].

Để đo hàm lượng nước trong dầu trực tuyến, người ta sử dụng cảm biến kiểu điện dung như thiết bị NP330F có dải đo từ 10 ppm đến bão hòa. Hoặc thiết bị của Vaisala cũng có thể đo hàm lượng nước trong dầu từ vài ppm đến bão hòa.

Tại Việt Nam, số lượng máy biến áp cấp điện áp 110 kV trở lên có số lượng rất lớn, nhu cầu trang bị hệ thống đo hàm lượng nước trong dầu cho máy biến áp cũng như trong quá trình đại tu máy biến áp là rất lớn. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng cảm biến của Vaisala để xây dựng hệ thống giám sát hàm lượng nước trong dầu máy biến áp trực tuyến từ xa để có thể cảnh báo sự gia tăng hàm lượng nước trong dầu hoặc có thể giám sát chất lượng dầu trong quá trình lọc dầu máy biến áp.

## 2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là hàm lượng nước trong dầu cách điện gốc khoáng sử dụng trong máy biến áp cấp điện áp >110 kV.

Khi mới xuất xưởng, dầu cách điện máy biến áp có hàm lượng nước trong dầu khoảng trên 30 ppm. Theo tiêu chuẩn vận hành được ban hành trong ngành điện, thì hàm lượng nước trong dầu mới là dưới 10 ppm, còn trong quá trình vận hành dưới 25 ppm [5]. Ngày nay, các trạm điện đang hướng tới trạm không người trực, do vậy việc giám sát hàm lượng nước trong dầu máy biến áp từ xa là việc làm cấp thiết phù hợp với xu hướng chung của ngành cũng như của thế giới.

### 2.2. Phương pháp đo không dây, từ xa hàm lượng nước trong dầu

Để giám sát trực tuyến hàm lượng nước trong dầu cần phải lựa chọn cảm biến đo và phương pháp đo phù hợp. Cảm biến đo hàm lượng nước trong dầu được phân tích lựa chọn phù hợp với ứng dụng đo hàm lượng nước trong dầu máy biến áp hoạt động theo nguyên lý điện dung.

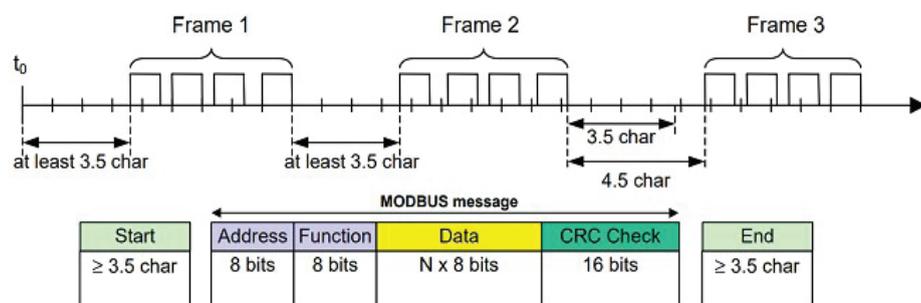


Hình 1. Cấu trúc của cảm biến đo độ ẩm HUMICAP và MMP8 của Vaisala [5].

Hình 1 là cấu trúc của cảm biến đo độ ẩm của Vaisalla theo nguyên lý điện dung, được hình thành từ một tấm polyme mỏng giữa hai điện cực. Tấm polyme hấp thụ hay giải phóng hơi nước khi độ ẩm tương đối của môi trường xung quanh tăng lên hay giảm xuống. Sự thay đổi này dẫn đến điện môi của cảm biến thay đổi. Dựa vào sự thay đổi điện môi này mà có thể biết được hàm lượng nước trong dầu.

Trong nghiên cứu này, các tác giả sử dụng cảm biến của Vaisalla model MMP8, có tích hợp sẵn bộ chuyển đổi, xử lý tín hiệu, đầu ra dạng Modbus RTU để đo hàm lượng nước trong dầu từ xa không dây.

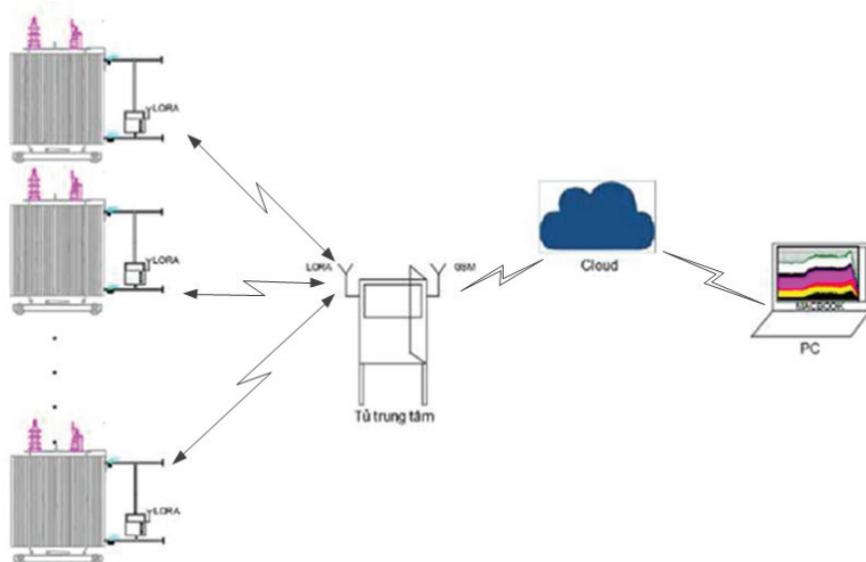
Hình 2 trình bày cấu trúc của khung dữ liệu theo chuẩn Modbus RTU, với N byte dữ liệu, 8 bit mã hàm, dữ liệu có thể là nhiều byte (tùy theo số lượng dữ liệu gửi tương ứng với các thông số cần đo), 2 byte cho kiểm tra lỗi.



Hình 2. Cấu trúc của khung dữ liệu theo chuẩn Modbus RTU.

Thường một trạm biến áp 100 kV trở lên (220 hoặc 500 kV) thì số lượng máy biến áp trung bình là 4 máy. Khoảng cách từ máy biến áp đến phòng điều khiển trung tâm lớn nhất là 300 đến 400 m. Do vậy, sử dụng phương thức truyền thông Lora trong trạm biến áp là hoàn toàn phù hợp với mức năng lượng thấp và phân tán.

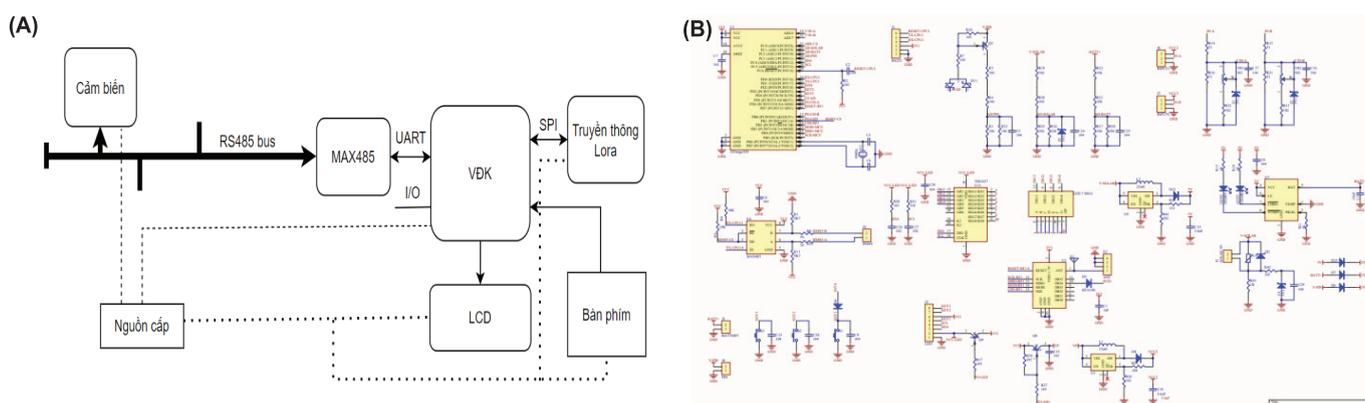
Hình 3 trình bày sơ đồ cấu trúc của hệ thống giám sát hàm lượng nước trong dầu từ xa.



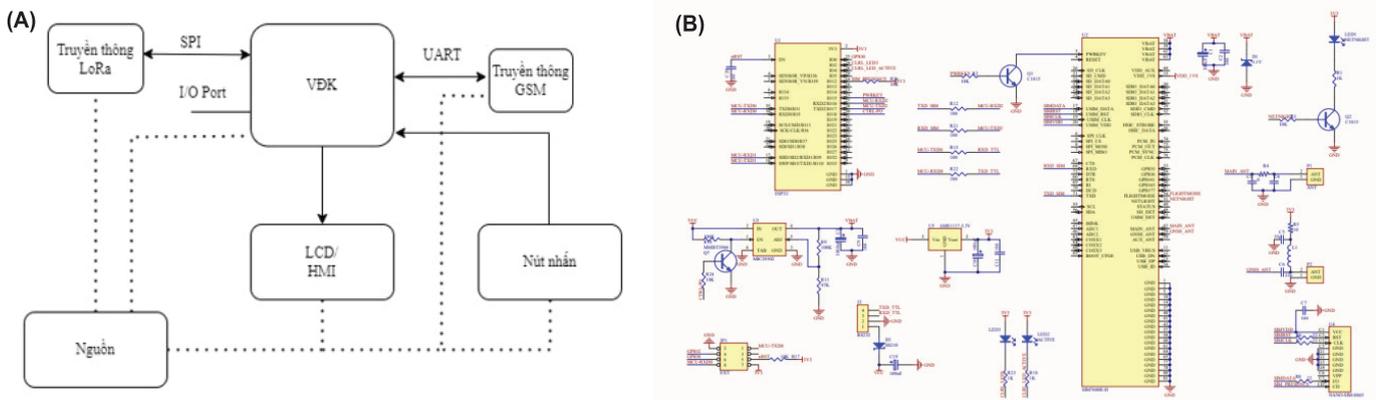
Hình 3. Sơ đồ cấu trúc của hệ thống giám sát hàm lượng nước trong dầu từ xa.

Các thông tin về hàm lượng nước trong dầu được đo lường và truyền LoRa về tủ trung tâm đặt trong phòng điều khiển trung tâm. Tủ trung tâm xử lý dữ liệu, hiển thị dữ liệu, cảnh báo hoặc chuẩn hóa dưới dạng Modbus RTU, hoặc truyền GSM lên Cloud. Dữ liệu về hàm lượng nước có thể đọc về hiển thị trên máy tính PC trên nền tảng web.

Hình 4 trình bày sơ đồ khối và sơ đồ nguyên lý của thiết bị đo hàm lượng nước cấp trường. Cảm biến đo hàm lượng nước trong dầu được



Hình 4. Sơ đồ khối (A) và sơ đồ nguyên lý (B) của thiết bị đo hàm lượng nước tại hiện trường.



Hình 5. Sơ đồ khối (A) và sơ đồ nguyên lý (B) của thiết bị thu thập trung tâm.

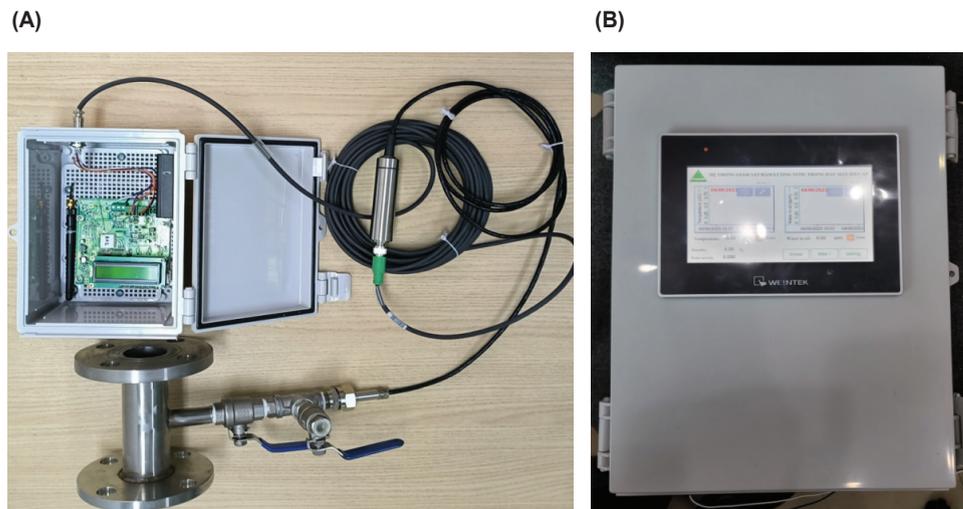
chuẩn hóa tín hiệu dưới dạng Modbus RTU, được nối với bộ vi điều khiển 8 bit ATmega238P để xử lý dữ liệu, đọc, hiển thị và truyền thông dưới dạng giao thức LoRa. Năng lượng cung cấp cho thiết bị cấp trường sử dụng bằng nguồn pin Li-ion 3x1,5 VDC. Thiết bị đo cấp trường được thiết kế ở chế độ tiết kiệm năng lượng và có thể giám sát được mức năng lượng của nguồn cung cấp, từ đó biết được khi nào phải thay pin mới. Trong thiết kế thời gian dự kiến hoạt động của một lần thay pin là 6 tháng.

Thiết bị đo hàm lượng nước tại hiện trường sẽ được kết nối với thiết bị thu thập trung tâm (hình 5) thông qua truyền thông LoRa. Bộ vi điều khiển trung tâm ATSAM3X8E được sử dụng để thu thập dữ liệu từ các thiết bị đo cấp trường thông qua truyền thông LoRa EPS32 và truyền dữ liệu lên cloud qua GSM SIM7600E-H. Thiết bị thu thập trung tâm có thể thu thập dữ liệu từ nhiều thiết bị cấp trường (trong nghiên cứu này được thực hiện với 4 thiết bị cấp trường), có thể hiển thị tại chỗ, có thể cấu hình hóa và truyền thông dữ liệu lên cloud.

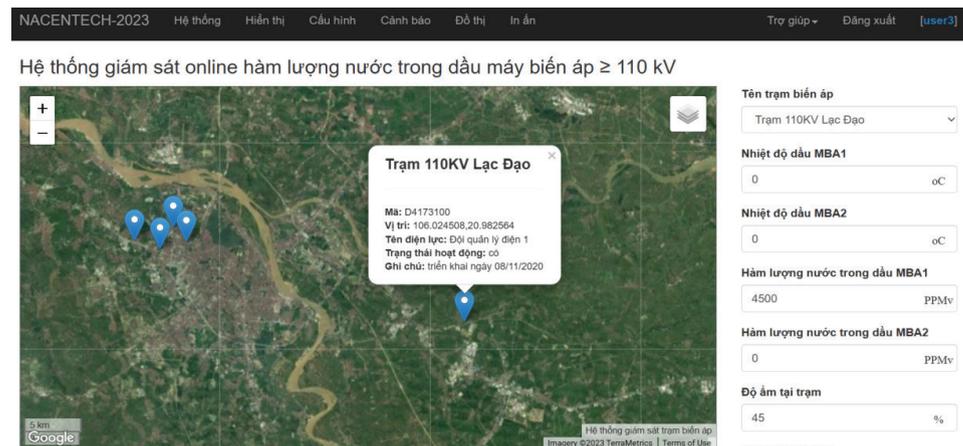
### 3. Kết quả và bàn luận

Trên cơ sở nghiên cứu thiết kế, thiết bị đo hàm lượng nước trong dầu tại hiện trường và tủ thu thập trung tâm được nhóm nghiên cứu thiết kế và hoàn thiện ở hình 6 và 7. Hệ thống đã được thử nghiệm trong phòng thí nghiệm một cách ổn định trước khi đưa vào chạy thực tế.

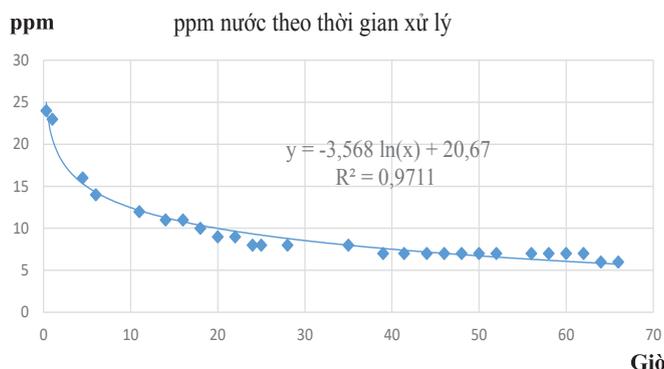
Hệ thống đã được thử nghiệm để giám sát hàm lượng nước trong dầu máy biến áp 63 MVA trong quá trình lọc dầu chân không máy biến áp 220 kV thực hiện bằng máy lọc dầu MAS4000 (của Hãng ARRAS-MAXEI, CH Pháp), tại đơn vị trong ngành điện (khối lượng dầu cần lọc khoảng 30.000 lít dầu).



Hình 6. Thiết bị giám sát hàm lượng nước cấp trường (A), thiết bị thu thập từ xa đa kênh (B).



Hình 7. Các thông số về hàm lượng nước trong dầu máy biến áp được hiển thị từ xa trên máy tính.



Hình 8. Hàm lượng nước trong dầu máy biến áp theo thời gian xử lý dầu.

Máy lọc dầu được nối với máy biến áp, hệ thống giám sát hàm lượng nước trong dầu được nối với đầu ra của máy lọc dầu. Máy biến áp được gia nhiệt trong quá trình lọc dầu với nhiệt độ 70°C. Hàm lượng nước trong dầu được giám sát trực tuyến với giá trị đo hiển thị theo thời gian thể hiện ở hình 8.

Ở thời điểm ban đầu, hàm lượng nước trong dầu là 25 ppm, giá trị thí nghiệm của phòng thí nghiệm VILAS17025 là 24,8 ppm tương ứng với giá trị được thí nghiệm. Sai số tương đối lớn nhất khoảng 1% nguyên nhân sai số này đến từ thời gian thử nghiệm và phương pháp lấy mẫu theo chuẩn VILAS17025.

Khi lọc dầu ở công suất 4.000 lít/giờ, gia nhiệt ở 70°C, sau 20 giờ lọc thì hàm lượng nước trong dầu xuống còn 10 ppm. Để đảm bảo hàm lượng nước trong dầu đáp ứng quy trình vận hành, sau 70 giờ lọc, hàm lượng nước trong dầu còn 6 ppm (giá trị đo bởi phòng thí nghiệm là 6 ppm). Điều này chứng tỏ hệ thống đã vận hành một cách chính xác, đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật trong ngành điện.

Theo mô hình thực nghiệm trong hình 8 thì thời gian để chắc chắn đảm bảo hàm lượng nước trong dầu dưới 10 ppm là khoảng 30 giờ lọc với lưu lượng 4.000 lít/giờ, tương ứng

với 5 chu kỳ lọc. Điều này hoàn toàn tương thích với tư vấn của Hãng máy lọc dầu của ARRAS-MAXEI của Cộng hòa Pháp.

#### 4. Kết luận

Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu đã trình bày phương pháp đo hàm lượng nước trong dầu tại hiện trường và từ xa với độ chính xác cao. Sai số tương đối nhỏ hơn 1% (chủ yếu đến từ thời gian lấy mẫu). Giải pháp này cho phép giám sát hàm lượng nước trong dầu máy biến áp online giúp cho người vận hành biết được tình trạng của máy biến áp nhằm đảm bảo vận hành an toàn máy biến áp. Bên cạnh đó, phương pháp này giúp tính toán chính xác thời gian cần thiết để dùng máy lọc dầu cho máy biến áp trong quá trình bảo dưỡng máy biến áp.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Y. Du, M. Zahn, B.C. Lesieurt, et al. (1999) “Moisture equilibrium in transformer paper-oil systems”, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, **15**(1), pp.11-20.
- [2] S. Laskar, S. Bordoloi (2013), “Monitoring of moisture in transformer oil using optical fiber as sensor”, *Journal of Photonics*, **2013**, DOI: 10.1155/2013/528478.
- [3] S.F.A.Z. Yusoff, M.H. Mezher, I.S. Amiri, et al. (2018), “Detection of moisture content in transformer oil using platinum coated on D-shaped optical fiber”, *Optical Fiber Technology*, **45**, pp.115-121, DOI: 10.1016/j.yofte.2018.07.011.
- [4] V.V. Kondalkar, G. Ryu, Y. Lee, et al. (2019), “Development of highly sensitive and stable humidity sensor for real-time monitoring of dissolved moisture in transformer-insulating oil”, *Sensors and Actuators*, **286**(1), pp.377-385, DOI: 10.1016/j.snb.2019.01.162.
- [5] Vaisala (2020), *HUMICAP Humidity Sensor Datasheet*, Ref. B210781EN-D ©Vaisala 2020, <https://docs.vaisala.com/v/u/B211795EN-E/en-US>, accessed 10 July 2023.
- [6] Northern Power Corporation (2016), *Unified Technical Standards for Equipment Selection in The Northern Power Corporation*, EVNNPC. KT/QD.01 (in Vietnamese).