

STUDIES IN USING INDUCED MAGNETIC FIELD METHOD TO LOCATE SEEPAGE FLOW PATHS IN HYDROPOWER DAM

BUI TRONG DUY, NGUYEN HUU QUANG,

DANG QUOC TRIEU, VUONG DUC PHUNG, VIRA PRONENKO

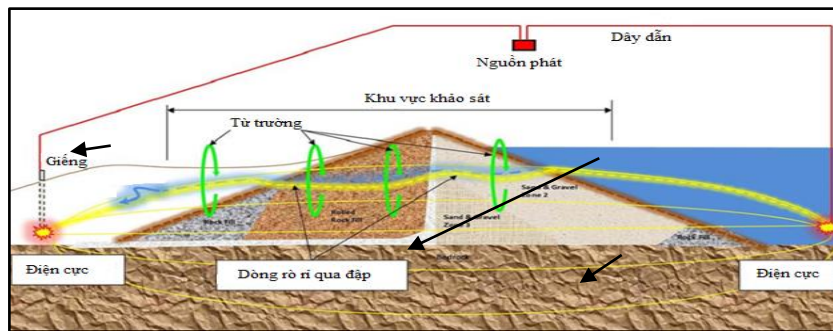
Centre for Applications of Nuclear Technique in Industry; 01, DT 723, Dalat, Lamdong

Email: duybt@canti.vn; office@canti.vn

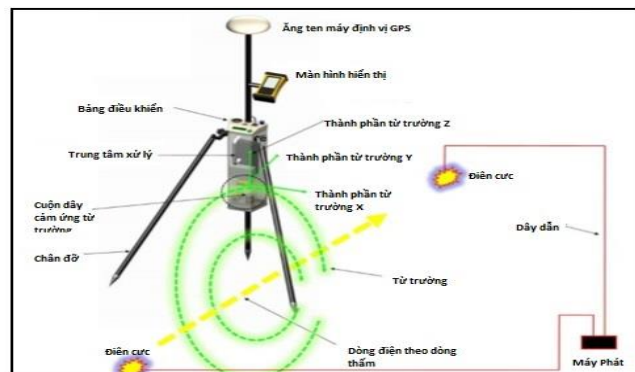
Abstract : In fact, the survey of the leakage of lake water through the dam by the tracer method only identifies the specific parameters for permeability flow such as average velocity, number of permeable channels, ... without giving information about the location of leakage current in the dam body, as well as in the dam foundation. Therefore, the handling of leakage is still difficult and ineffective because the location of leakage current cannot be determined. From 2016 to 2018, CANTI's researchs has achieved certain results that can be applied to determining leakage currents of small hydroelectric dams, because the equipment can only determine location of seepage and leakage currents at a maximum depth of 70m.

This report presents the results of the research on designing and manufacturing the sensor of magnetic field induction and electronic circuit, to improve the sensitivity of the magnetic field induction system, thereby, the measuring system can detect seepage currents and leakage currents through the hydropower dam body at a maximum depth of 150m. The further researchs will be continued to improve the method, increase the sensitivity of the survey to a depth of more than 250m for field deployment, to serve the needs of leakage current survey, contributing positively to the treatment, ensuring dam safety.

Keywords: *Inductive magnetic field method, location of leakage current.*



Picture 1. Illustration of induced magnetic field method to locate seepage flow paths in hydropower dam



Picture 2. The composition and structure of the magnetic induction system

**NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP TỪ TRƯỜNG
CẢM ỨNG ĐỂ DÒ TÌM VỊ TRÍ DÒNG THẨM, DÒNG RÒ RỈ QUA
THÂN ĐẬP THỦY ĐIỆN**

**BÙI TRỌNG DUY, NGUYỄN HỮU QUANG, ĐẶNG QUỐC TRIỆU, VUONG DUC
PHUNG, VIRA PRONENKO**

*Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp, Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam,
Số 01-Đường ĐT.723, Phường 12, Đà Lạt, Lâm Đồng.*

Email: duybt@canti.vn; office@canti.vn

Tóm tắt: Trong thực tế, việc khảo sát sự rò rỉ của nước hồ qua đập bằng phương pháp đánh dấu chủ yếu chỉ xác định được các thông số đặc trưng cho lưu lượng thấm như vận tốc trung bình, số kênh thấm,... mà không cho các thông tin về vị trí dòng rò rỉ ngầm trong thân đập cũng như trong nền đập. Việc xử lý khắc phục rò rỉ vì thế vẫn gặp nhiều khó khăn và thiếu hiệu quả do không xác định được vị trí dòng rò. Từ năm 2016 đến năm 2018, Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong Công nghiệp (CANTI) đã nghiên cứu, tiếp cận phương pháp xác định vị trí dòng thấm và dòng rò bằng phương pháp từ trường cảm ứng. Nghiên cứu của CANTI đã đạt được những kết quả nhất định có thể ứng dụng vào việc xác định dòng rò dòng thấm của những đập thủy điện nhỏ bởi hệ thiết bị chỉ có thể xác định được dòng thấm và dòng rò ở độ sâu tối đa là 70m.

Báo cáo này trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế chế tạo bộ cảm biến đo từ trường cảm ứng và mạch điện tử đi kèm nhằm nâng cao độ nhạy của hệ thiết bị đo từ trường cảm ứng, qua đó hệ thiết bị có thể phát hiện được những dòng thấm và dòng rò qua thân đập thủy điện ở độ sâu tối đa 150m.

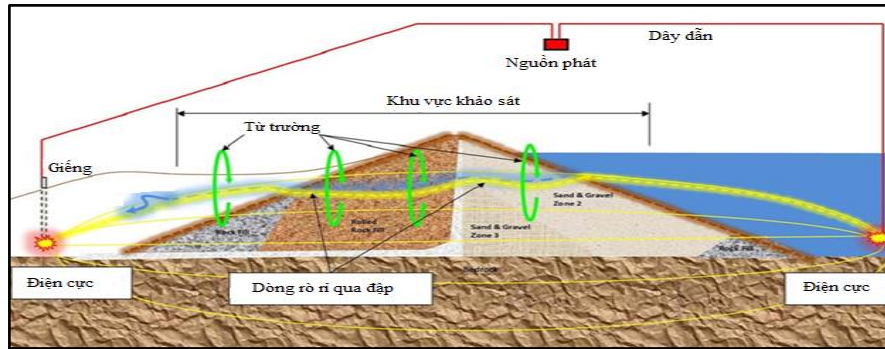
Từ khóa : Phương pháp từ trường cảm ứng, vị trí dòng rò rỉ đập.

I. MỞ ĐẦU

Ngày nay, an toàn đập luôn là một vấn đề cấp thiết và được quan tâm hàng đầu. Việc khảo sát sự rò rỉ của nước hồ qua đập không chỉ gói gọn vào xác định các thông số đặc trưng cho lưu lượng thấm mà còn phải xác định được vị trí dòng rò, từ đó giúp cơ quan quản lý khắc phục sự cố mất an toàn đập kịp thời.

Ứng dụng từ trường cảm ứng trong khảo sát dòng thấm qua đập là một phương pháp mới, tiết kiệm thời gian và chi phí. Phương pháp dựa trên nguyên tắc: nước thấm qua đập từ hồ chứa sẽ làm tăng độ dẫn điện của vật liệu đập. Khi một dòng điện xoay chiều được đặt vào hai bên đập, dòng điện sẽ đi qua các vùng thấm trong thân đập, bằng cách đo các thành phần của từ trường được tạo ra bởi dòng điện, vị trí cũng như độ rộng của dòng rò sẽ được xác định. Phương pháp này sử dụng dòng phát 380Hz - 433Hz nhằm tối ưu độ nhạy của cảm biến từ và hạn chế nhiễu từ các sóng hài của mạng điện dân dụng. Bên cạnh đó, việc đặt điện cực sao cho hệ thống (gồm nguồn phát, dây dẫn và dòng rò rỉ đập) tạo thành một mạch kín là một lưu ý quan trọng. Các số liệu từ trường thực nghiệm luôn được hiệu chỉnh nhằm loại bỏ sự đóng góp của dây dẫn, điện cực và từ trường Trái Đất, từ đó kết hợp với các số liệu thủy địa chất của đập, tiến hành minh giải để đưa ra kết luận chính xác về vị trí dòng rò rỉ đập.

Báo cáo này trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế chế tạo bộ cảm biến đo từ trường cảm ứng và mạch điện tử đi kèm nhằm nâng cao độ nhạy của hệ thiết bị đo từ trường cảm ứng, qua đó hệ thiết bị có thể phát hiện được những dòng thấm và dòng rò qua thân đập thủy điện ở độ sâu tối đa 150m. Các nghiên cứu tiếp theo sẽ được tiếp tục để hoàn thiện phương pháp, tăng độ nhạy khảo sát đến độ sâu trên 250m để triển khai trên thực địa, phục vụ nhu cầu khảo sát dòng rò, góp phần tích cực vào công tác xử lý, đảm bảo an toàn đập.



Hình 1. Minh họa phương pháp từ trường cảm ứng xác định dòng rò rỉ đập

II. NỘI DUNG

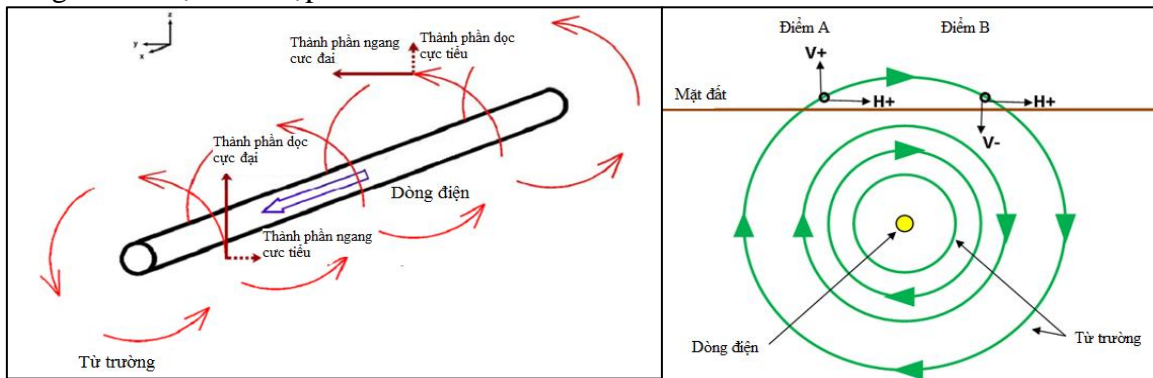
II.1. Cơ sở lý thuyết

Theo định luật Ampere, độ lớn vector cảm ứng từ tại điểm cách dây dẫn một khoảng R (m) được tạo ra bởi dây dẫn thẳng, dài vô hạn:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot R} \quad (1)$$

Với B là độ lớn vector cảm ứng từ (T), μ_0 là hằng số từ môi ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (T.m/A)), I là cường độ dòng điện (A).

Khi một dòng điện xoay chiều được đặt vào hai bên đập, dòng điện sẽ đi qua các vùng thấm trong thân đập theo con đường ứng với trở kháng nhỏ nhất. Dòng điện ưu tiên được tạo ra bởi dòng rò rỉ đập có thể được xem như một dây dẫn. Dòng điện biến thiên này sẽ được ghi nhận gián tiếp thông qua từ trường biến thiên trên mặt đập bởi cảm biến từ. Bằng cách minh giải số liệu cường độ từ trường dọc và ngang thực nghiệm, một bản đồ cơ sở biểu diễn vị trí dòng rò sẽ được thiết lập.



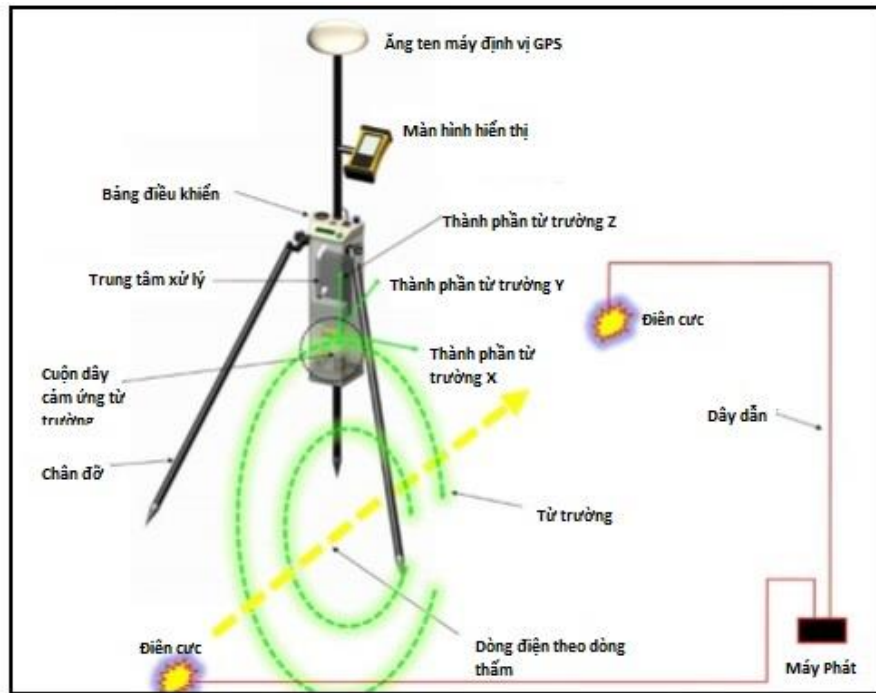
Hình 2. Minh họa từ trường tạo ra bởi dây dẫn thẳng dài vô hạn (trái) và các thành phần của từ trường (phải)

II.2. Hệ thiết bị và cảm biến đo từ trường cảm ứng

Hệ thiết bị bao gồm 2 điện cực bằng đồng có chiều dài 1m được cắm vào điểm đầu và điểm cuối của vùng cần khảo sát, điện cực được nối với máy phát xung bằng dây dẫn lõi đồng có bọc cách điện.

Máy phát xung có công suất 2000W có thể điều chỉnh được tần số phát từ vài Hz đến vài trăm Hz và tự động ổn định dòng điện phát thông qua điện cực.

Thiết bị đo từ trường cảm ứng có độ nhạy cao gồm 3 cảm biến đặt vuông góc theo các trục XYZ nhằm thu nhận từ trường, tín hiệu được khuếch đại và lọc nhiễu sau đó chuyển đổi từ tín hiệu tương tự sang tín hiệu số. Số liệu được hiển thị trên màn hình LCD và lưu lại trong thẻ nhớ SD.



Hình 3 : Thành phần và cấu trúc của hệ thiết bị đo từ trường cảm ứng



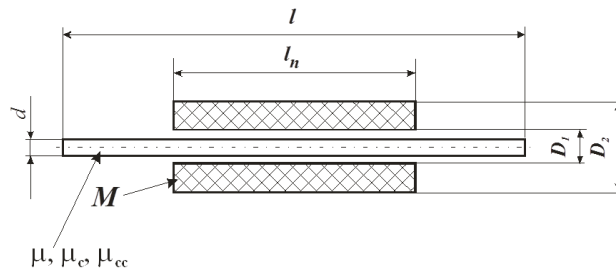
Hình 4 : Hệ thiết bị đo từ trường cảm ứng do CANTI chế tạo



Hình 5 : Máy phát dòng và điện cực đo CANTI chế tạo

II.2.1. Chế tạo cảm biến đo từ trường cảm ứng

Bộ cảm biến đo từ trường cảm ứng bao gồm 03 cảm biến được đặt theo các trục X,Y,Z theo chiều không gian. Cảm biến sử dụng lõi từ Mumetal có độ từ thẩm cao có đường kính 4mm, chiều dài là 38mm, phía bên ngoài lõi từ được cuốn lên 02 cuộn dây vật liệu đồng đường kính 0.1mm, có số vòng lần lượt là 6000 và 33 vòng. Sơ đồ của một cuộn dây được thể hiện trong hình 6:



Hình 6: Sơ đồ nguyên lý cuộn dây cảm biến

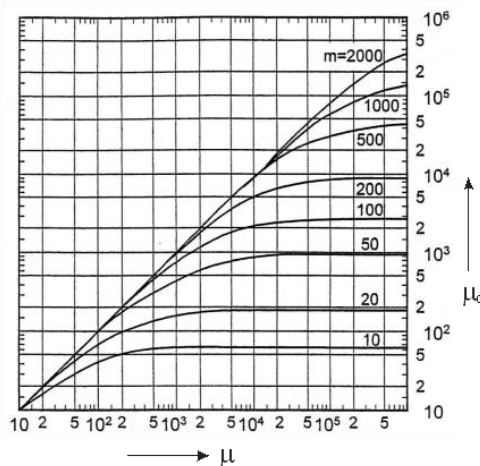
Độ thẩm từ của lõi cảm biến được tính theo công thức: $\mu_c = \frac{\mu}{1 + N(\mu - 1)}$ (2)

- Trong đó μ là độ từ thẩm của lõi cảm biến

- N là yếu tố khử từ được tính theo công thức:

$$N = 0.974 \frac{A}{l^2} \left[\ln \left(l \cdot \sqrt{\frac{\pi}{A}} \right) - 1 \right] \quad (3)$$

Khi μ tiến tới ∞ thì $\mu_c \rightarrow 1/N$



Hình 6: Mối tương quan giữa μ và μ_c

Như vậy, để cảm biến đạt được độ nhạy cao thì độ thẩm từ μ_c phải cao. Tuy nhiên khi tăng tỷ lệ của chiều dài và đường kính dẫn đến tăng độ thẩm từ của lõi μ nhưng lại ảnh hưởng đến chức năng chuyển đổi của lõi từ. Việc tăng tỷ lệ của chiều dài và đường kính quá mức khiến lõi từ tăng nhạy với từ trường của Trái Đất làm nâng nền nhiễu của cảm biến.

Giá trị tối đa được chấp nhận để giữ cho sự suy giảm của độ nhạy tương đối δ_s của lõi từ trong các giới hạn nhất định.

$$(\mu_c)_{\max} = \frac{\mu}{\sqrt[3]{\left(\frac{1}{\delta_s} - 1\right) \left(\frac{\pi H_{\max} \mu}{2B_s}\right)^2} - 1} \quad (4)$$

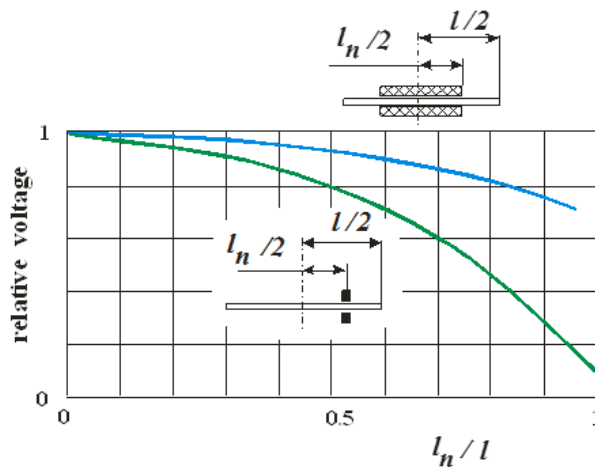
Trong đó: B_s là cảm ứng bão hòa của vật liệu lõi.

μ_c không đồng nhất dọc theo lõi và giá trị cực đại của nó, nằm ở trung tâm, đối với một thanh hình lăng trụ thường sử dụng được đưa ra bởi biểu thức:

$$\mu_{cc} = \frac{\mu}{1 + 0.974 \frac{S}{l^2} \left[\ln \left(l \cdot \sqrt{\frac{\pi}{S}} \right) - 1 \right] \cdot (\mu - 1)} \quad (5)$$

Độ thẩm từ trung bình của lõi tại các phần được tính theo phân bố cảm ứng từ dọc theo lõi là:

$$\mu_{cca} = \mu_{cc} \cdot \left(1 - 0,255 \cdot \left(\frac{l_n}{l} \right)^2 \right) \quad (6)$$



Hình 6: Đường cong điện áp và nhiễu so với chiều dài tương đối

Điện áp tương đối thu được trong một cuộn dây hình trụ so với vị trí của nó trên lõi (đường cong màu xanh lá cây), tín hiệu nhiễu so với chiều dài tương đối ln/l (đường cong màu xanh nước biển)

Độ tự cảm L của cuộn dây có lõi phụ thuộc vào độ thẩm từ của lõi μ_{cc} và điện trở của cuộn dây:

$$L = \mu_{cca} \cdot k_D \cdot k_{mr} \cdot L_0 \quad (7)$$

Trong đó L_0 là độ tự cảm của cuộn dây không có lõi, k_D là tỉ số giữa đường kính ngoài và đường kính trong của cuộn dây, k_{mr} là hệ số phụ thuộc vào điện trở của cuộn dây và lõi từ:

$$L = \mu_c \cdot \left[1 - 0,255 \cdot \left(\frac{l_n}{l} \right)^2 \right] \cdot \frac{2 \cdot \left(0,25 + 0,625 \cdot \frac{l_n}{l} \right)}{k_d + \sqrt{k_d}} L_0 \quad (8)$$

Điện trở của cuộn dây cảm biến được tính theo công thức:

$$R = \frac{\pi \cdot \rho \cdot n^2 \cdot (k_d + 1)}{l_n \cdot (k_d + 1)} \quad (9)$$

Trong đó ρ là điện trở suất của đồng, l_n là chiều dài cuộn dây trung bình, n là số vòng dây.

Trọng lượng của cuộn dây được tính theo công thức:

$$M = A \cdot l \cdot \gamma_c + \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot l_n \cdot \gamma_{Cu}}{4} \quad (10)$$

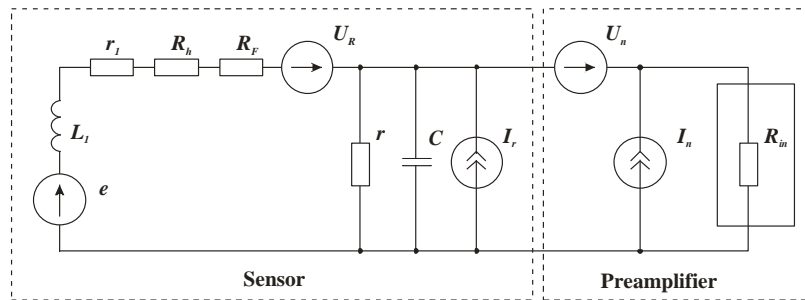
Trong đó γ_c và γ_{Cu} là mật độ của vật liệu lõi và cuộn dây

Phương pháp tối ưu hóa tín hiệu đầu ra của cảm biến: kết hợp tối ưu các tham số đầu ra S của cảm biến và các tham số đầu vào tiền khuếch đại (PA) để có được tín hiệu nhiễu đầu ra của cảm biến thấp nhất có thể W_B . Mức tín hiệu nhiễu tối thiểu có thể (theo công thức bán thực nghiệm từ Berkman-Korepanov):

$$W_B = W_0 \cdot \left(1 + \frac{A}{l^5 \cdot f^2} + \frac{B}{l^5 \cdot f^4} \right) \quad (11)$$

$W_0 \approx 10^{-28} T^2 / \text{Hz}$; l - Chiều dài cảm biến; f - Tần số tín hiệu; $A \approx 30 \text{ m}^5 \text{ Hz}^2$; $B \approx 10^{-4} \text{ m}^5 \text{ Hz}^4$.

Để đạt được sự kết hợp tối ưu qua đó ta tính toán được các thông số cần thiết của cảm biến: n , l , M , μ_c .



Hình 7: Sơ đồ tương đương của cảm biến và mạch

Tổng mật độ nhiễu trong các giá trị của từ trường W_B đo được (sử dụng độ nhạy cuộn dây $G = U_0 / H$) là:

$$W_B = \frac{W}{G^2 \cdot k_U^2} = \frac{1}{G^2} \cdot \left[W_r + \frac{W_{U_{amp}}}{k_U^2} + (W_{I_{amp}} + W_{I_{r0}}) \cdot Z^2 \right] \quad (12)$$

Trong đó:

$$W_r = 4kT(R + R_h + R_f) \quad (13)$$

$$k_U = \frac{Z_C}{Z_C + Z_L} \quad (14)$$

$$Z = \frac{Z_C \cdot Z_L}{Z_C + Z_L} \quad (15)$$

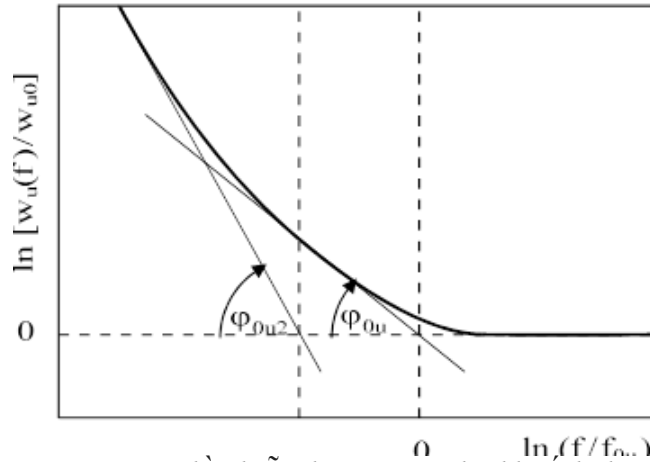
$$Z_C = \frac{R_0 / j\omega C}{R_0 + 1 / j\omega C} \quad (16)$$

$$Z_L = R + R_h + R_f + j\omega L \quad (17)$$

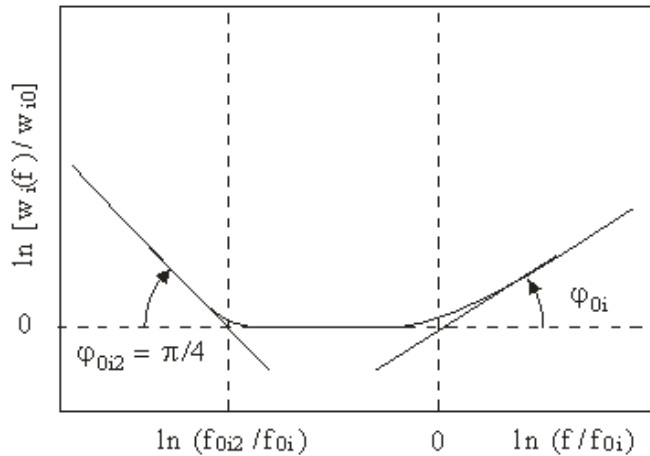
Phổ tần số của nhiễu PA được đặc trưng bởi bộ 8 tham số nhiễu mở rộng: mật độ điện áp nhiễu tối thiểu W_{u0} ; tần số góc và góc độ cao ở tần số thấp f_{u1} , ω_u ; tần số góc của độ

cao bổ sung ở tần số cực thấp f_{u2} ; mật độ dòng nhiễu tối thiểu W_{i0} ; tần số góc và góc độ cao của nhiễu hiện tại ở tần số cao f_{i1} , ω_i ; tần số góc ở tần số thấp f_{i2} . Sau đó, điện áp và mật độ nhiễu hiện tại phụ thuộc vào tần số có thể được tính bằng các phương trình:

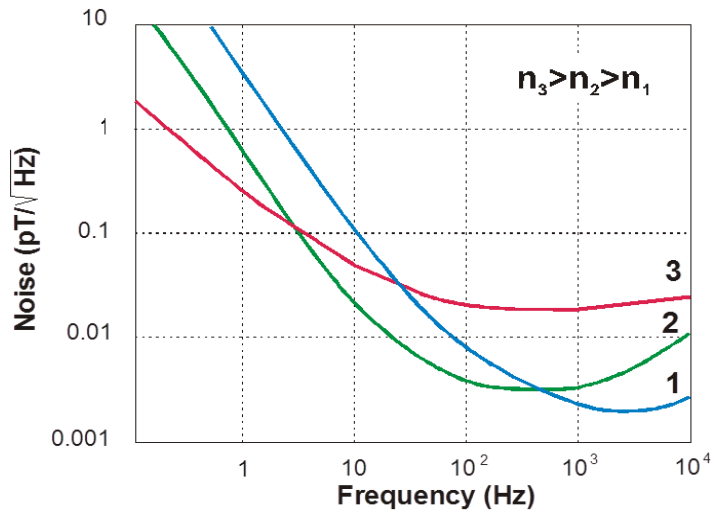
$$W_u = W_{u0} \left[1 + \left(\frac{f_{u1}}{f} \right)^{\alpha u} + \left(\frac{f_{u2}}{f} \right)^2 \right] \quad (18) \quad W_i = W_{i0} \left[1 + \left(\frac{f_{i1}}{f} \right)^{\alpha i} + \left(\frac{f}{f_{i2}} \right)^2 \right] \quad (19)$$



Hình 8: Sơ đồ nhiễu điện áp của bộ khuếch đại



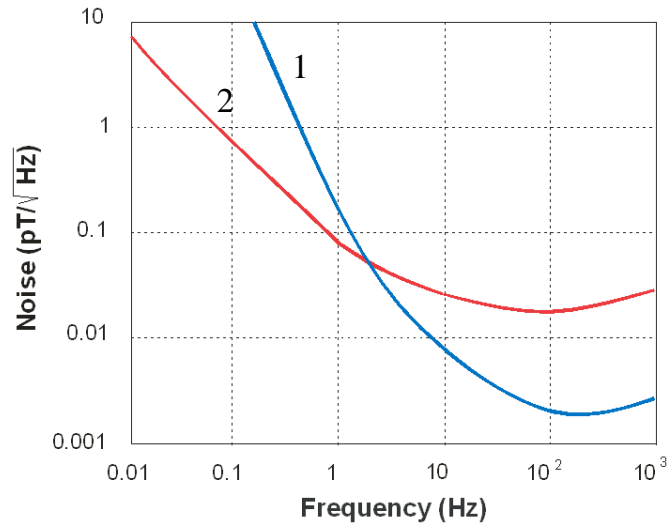
Hình 9: Sơ đồ dòng nhiễu của bộ khuếch đại



Hình 10: Tín hiệu nhiễu của cảm biến khi thay đổi số vòng dây của cảm biến

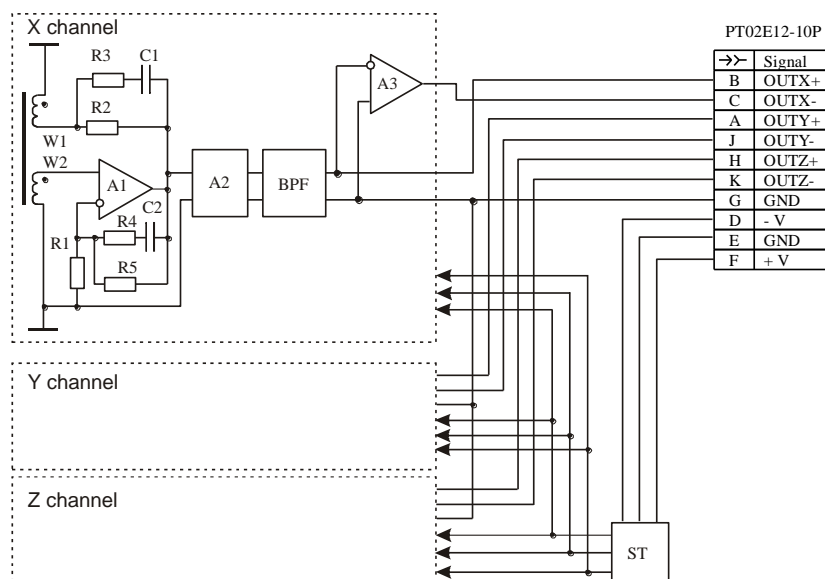
Hội nghị Khoa học và Công nghệ hạt nhân toàn quốc lần thứ XIII

Dựa vào đồ thị Hình 10 ta nhận thấy, với dải tần số thấp dưới 50Hz thì khi số vòng dây của cảm biến ít, tín hiệu nhiễu càng cao, với tần số cao trên 50Hz thì tín hiệu nhiễu cao ở cảm biến có số vòng dây nhiều. Thiết bị đo từ trường cảm ứng của đề tài này làm việc tại tần số trên dưới 400Hz nên ta chọn cảm biến sao cho số vòng dây phù hợp và không quá cao.

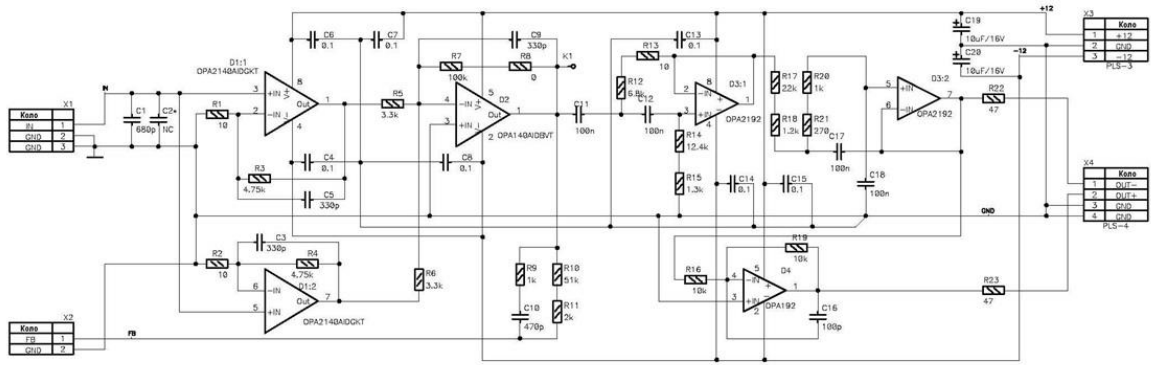


Hình 11: Tín hiệu nhiễu của cảm biến khi thay đổi bộ tiền khuếch đại

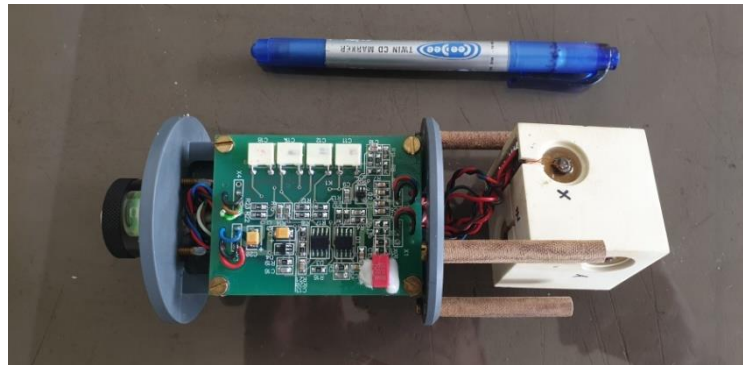
Trong đồ thị hình 11, đường cong số 1 màu xanh thể hiện tín hiệu nhiễu của cảm biến khi cảm biến được kết nối với bộ tiền khuếch đại có trở kháng đầu vào cao; đường cong số 2 màu đỏ thể hiện tín hiệu nhiễu của cảm biến khi cảm biến được kết nối với bộ tiền khuếch đại có trở kháng đầu vào thấp. Như vậy với tần số làm việc của thiết bị là 400Hz thì sử dụng bộ tiền khuếch đại có trở kháng đầu vào cao để giảm nhiễu.



Hình 12: Sơ đồ nguyên lý của cảm biến đo từ trường cảm ứng



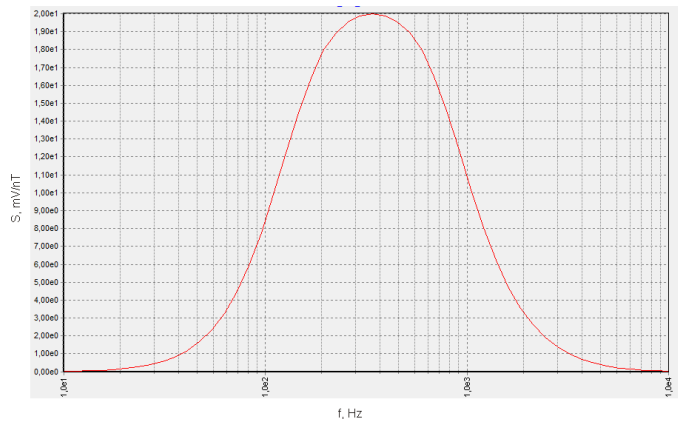
Hình 13: Sơ đồ nguyên lý bộ khuếch đại và bộ lọc tần số



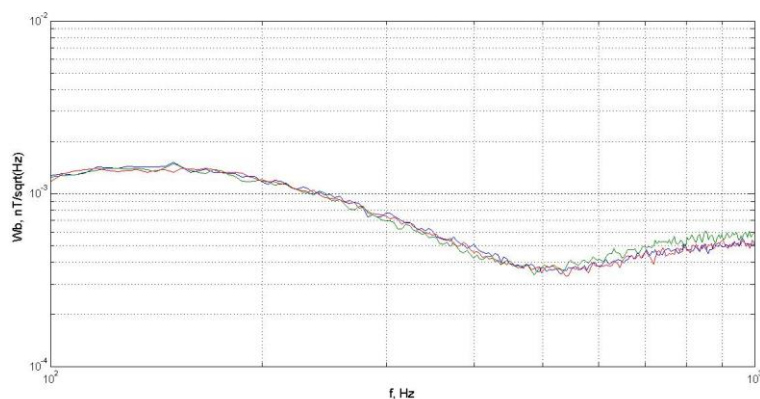
Hình 14: Mạch điện tử và cuộn dây cảm biến



Hình 15: Hình dáng bên ngoài của cảm biến đo từ trường cảm ứng



Hình 16: Tín hiệu thu được của cảm biến theo dải tần



Hình 17: Tín hiệu nhiễu của cảm biến

Các thông số của cảm biến từ trường mà CANTI chế tạo:

Dải tần số đầy đủ của tín hiệu thu được ở mức 3 dB	150 - 800 Hz
Hệ số biến đổi vi sai ở đầu ra	40 mV/nT
Hệ số biến đổi lỗi	< 1 dB
Độ nhiễu tại tần số làm việc 433 Hz	$\leq 0.4 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$
Độ dài cho phép của cáp kết nối từ sensor tới máy đo	$\leq 200 \text{ m}$
Điện áp nguồn (giới hạn điện áp được khuyến nghị)	$\pm (10 \dots 12) \text{ V}$
Điện áp đầu ra tối đa	$\pm 9 \text{ V}$
Dòng tiêu thụ (danh nghĩa)	$\pm 21 \text{ mA}$
Phạm vi nhiệt độ hoạt động	$20 \dots + 50^\circ \text{ C}$
Kích thước bên ngoài	$l = 148 \text{ mm}$ $d = 78 \text{ mm}$
Thiết kế	Chắc chắn và không thấm nước
Trọng lượng	$\sim 400 \text{ g}$

II.3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM TẠI HIỆN TRƯỜNG

Tiến hành thử nghiệm dò tìm dòng rò rỉ qua thân đập tại đập phụ số 2 Hồ thủy điện Hàm Thuận, sau thực nghiệm nhóm nghiên cứu đã tiến hành báo cáo với Công ty Cổ phần Thủy điện Đa Nhim - Hàm Thuận - Đa Mi.

II.3.1. Mô tả thực nghiệm tại hiện trường

Tại đập phụ số 2 Hồ thủy điện Hàm Thuận có xuất hiện điểm thấm rò phía hạ lưu với lưu lượng là 0.2l/phút, với diện tích mặt bằng toàn bộ thân đập vào khoảng 5-7km² nên nhóm nghiên cứu tiến hành đo trước 1 đường theo chiều dọc thân đập với khoảng cách 2m một điểm đo để xác định vị trí cần khảo sát sau đó tiến hành khảo sát đo trong vùng đã xác định.

Một đầu của điện cực được đặt tại hồ chứa phía thượng nguồn và đầu điện cực còn lại được cắm phía hạ nguồn nơi chân đập, hệ thống dây dẫn điện từ điện cực về máy phát sử dụng 1000m dây dẫn lõi đồng có tiết diện 2,5mm được bọc cách điện chịu được điện áp 1000V.

Máy phát phát ra nguồn điện có tần số phát 380Hz, dòng điện phát 0.2A và hiệu điện thế phát là 500V.

Hội nghị Khoa học và Công nghệ hạt nhân toàn quốc lần thứ XIII

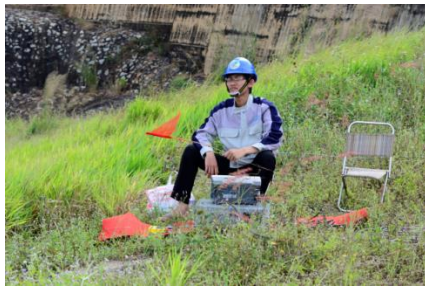
Trên mặt đập khu vực cần khảo sát, tiến hành chia ô lưới theo khoảng cách 2m x 2m, tại các điểm giao là điểm đo.



Điện cực đặt tại hồ



Điện cực đặt phía chân đập



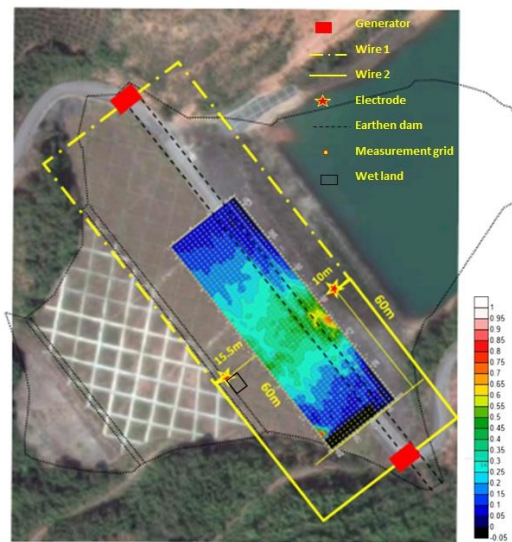
Máy phát đặt tại hiện trường



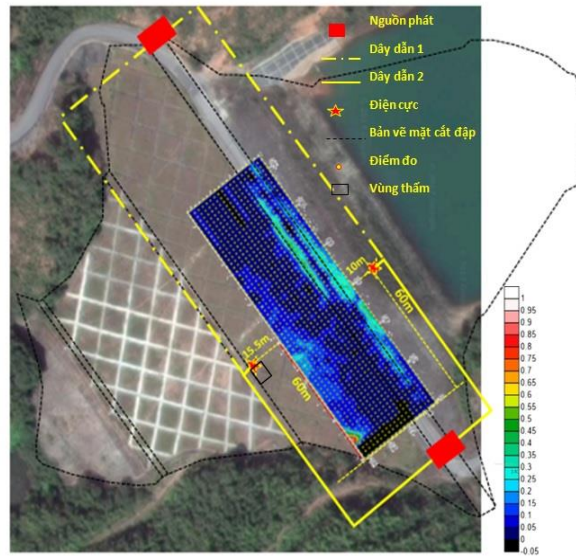
Đo từ trường cảm ứng tại đập

Hình 18: Tiến hành thí nghiệm tại đập phụ số 2 hồ Hàm Thuận

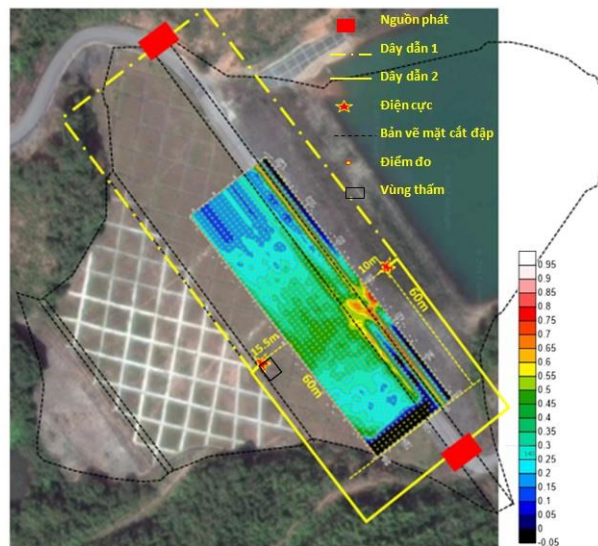
II.3.2. Kết quả thực nghiệm tại hiện trường và thảo luận



Hình 19: Bản đồ từ trường thành phần Bx (Cuộn dây song song với thân đập)



Hình 20: Bản đồ từ trường thành phần B_y (cuộn dây vuông góc với thân đập)



Hình 21: Bản đồ từ trường thành phần B_z (cuộn dây thẳng đứng so với đập)

Dựa vào thành phần B_x và B_y để xác định hướng của dòng thấm và rò rỉ qua thân đập, thành phần B_z nhằm xác định độ sâu của dòng rò thấm.

Bản đồ từ trường thành phần B_x trong hình 19 xác định được một dòng rò thấm từ hồ chứa về thân đập, điểm rò thấm chính cách điện cực 10m về phía máy phát, màu sắc độ thấm theo thang đo màu của bản đồ từ màu đen thể hiện độ thấm ít đến màu trắng thể hiện độ thấm cao.

Do dòng thấm vuông góc với thân đập nên trong bản đồ từ trường thành phần B_y ở hình 20, từ trường dòng thấm thu nhận được rất thấp.

Hình 21 thể hiện bản đồ từ trường thành phần B_z , dựa vào thành phần B_z ta xác định được độ sâu của dòng thấm. Tuy nhiên hiện do thân đập có độ dốc chứ không phải là mặt phẳng như trong các thí nghiệm trên mô hình tại phòng thí nghiệm, vì thế cần phải có thêm thời gian để sử dụng các phương pháp tính toán và chiếu ngược mới xác định được độ sâu của dòng thấm.

Trong bản đồ từ trường của 2 thành phần B_y và B_z có thể hiện được 2 đường từ trường cao phía đường đi trên thân đập, đây là 2 dây lan can sắt của con đường. Theo nhận định của

nhóm nghiên cứu, do dây lan can làm bằng sắt cho nên nó thu nhận và tập trung các đường sức từ trường do dòng thẳm phía dưới thân đập phát ra sau đó phát ngược lại.

III. KẾT LUẬN

Qua những nghiên cứu thiết kế chế tạo CANTI đã chế tạo ra bộ cảm biến có kích thước nhỏ gọn, có độ nhạy cao qua đó chế tạo hệ thiết bị đo từ trường cảm ứng có thể phát hiện được vị trí dòng thẳm và dòng rò ở độ sâu trên 150m. Các nghiên cứu tiếp theo sẽ được tiếp tục nghiên cứu để nâng cao độ nhạy của thiết bị, hoàn thiện phương pháp và chế tạo thiết bị có khả năng đáp ứng tốt hơn nhằm ứng dụng phương pháp này phục vụ cho công tác quản lý, cảnh báo và khắc phục kịp thời sự cố mất an toàn đập.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Willowstick Technologies LLC (2007), AquaTrack Technology Explained, White Paper, USA
- [2] Willowstick Technologies LLC (2011), Willowstick Geophysical Investigation of Recycle Tailings Pond Dam Pogo Mine, Alaska, USA
- [3] Willowstick Technologies LLC (2012), Willowstick Geophysical Investigation of Highgate Pond #2, USA
- [4] Filter Design in Thirty Seconds, Application Report SLOA093 – December 2001
- [5] The Bubba Oscillator: An Op Amp Sine Wave Generator By Hunter Scott