

Chế tạo và đánh giá thiết bị thăm dò điện trở suất đa cực dùng các module DAQ công nghiệp cho ứng dụng thăm dò môi trường đất

Trần Vĩnh Thắng^{1*}, Đỗ Anh Chung², Đỗ Trung Kiên¹, Nguyễn Đức Vinh¹

¹Khoa Vật lý, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

²Viện Phòng trừ môi và Bảo vệ công trình, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Ngày nhận bài 17/11/2016, ngày chuyển phản biện 22/11/2016, ngày nhận phản biện 26/12/2016, ngày chấp nhận đăng 25/1/2017

Thiết bị thăm dò điện trở suất đa cực đã được nghiên cứu và triển khai chế tạo thử nghiệm với mục đích ứng dụng phương pháp thăm dò không phá hủy này trong lĩnh vực quan trắc môi trường đất đá. Thiết bị sử dụng module DAQ công nghiệp giá thành thấp nhưng có độ bền và khả năng hoạt động tốt trong các môi trường thực địa khắc nghiệt. Kết hợp với các phương pháp xử lý số liệu, phần mềm thu thập và điều khiển linh hoạt cho phép thiết bị hoạt động tự động và mặc dù với nguồn phát dòng thấp nhưng vẫn đảm bảo độ tin cậy của số liệu thu được. Kết quả thử nghiệm cho thấy, hướng phát triển này là khả thi và hoàn toàn có khả năng triển khai ứng dụng rộng rãi trong thăm dò hay quan trắc hình ảnh phân bố điện trở suất 2D của môi trường đất đá, phục vụ nghiên cứu quá trình xâm nhập mặn, trượt lở, ô nhiễm môi trường đất, hay thay đổi độ ẩm đất ứng dụng trong nông nghiệp.

Từ khóa: DAQ công nghiệp, đa cực, địa điện, điện trở suất, thu thập số liệu.

Chỉ số phân loại: 2.2

Development and assessment of an industrial DAQ based multielectrode geoelectrical resistivity instrument for exploring the soil environment

Summary

Multielectrode geoelectrical resistivity instrument have been researched and developed for nondestructive soil environmental surveying or monitoring applications. With a low cost, industrial DAQ modules, and a data processing method in the flexible control software, the instrument can work automatically and give a more reliable results despite the low input current. Field experiments showed that this approach was feasible to be applied in many fields such as 2D resistivity image exploration and monitoring of the soil environment, salinity intrusion or landslide investigation, contaminated environments, and soil moisture monitoring in agriculture.

Keywords: data acquisition, geoelectrical, industrial DAQ, multielectrode, resistivity.

Classification number: 2.2

Giới thiệu

Trên cơ sở các tham số vật lý như điện trở suất của môi trường đất đá phụ thuộc vào thành phần hóa học, phân bố, cấu trúc, độ ngậm nước của môi trường đó mà phương pháp thăm dò địa điện trở suất dùng dòng điện một chiều (gọi tắt là thăm dò điện trở) đã ra đời [1, 2]. Phương pháp này được áp dụng rộng rãi trên thế giới trong nhiều lĩnh vực như khảo sát môi trường, tìm kiếm tài nguyên (nước, khoáng sản), trong nông nghiệp, địa chất, phát hiện tai biến ngầm... [3-6]. Các nghiên cứu gần đây hướng tới phát triển các hệ thống quan trắc tự động điều khiển bằng máy tính dùng để phát hiện những hiện tượng quá độ như sự thấm nước, trượt lở đất và sự trao đổi chất hay ô nhiễm môi trường theo thời gian [7-9].

Về cơ bản, thiết bị dùng trong thăm dò điện trở bao gồm một nguồn phát và một máy thu. Nguồn phát cung cấp dòng điện một chiều hoặc xoay chiều có tần số cực thấp (dưới vài Hz) đặt vào các điện cực dòng, công suất của nguồn phát tùy thuộc vào phương pháp, cấu hình cực và độ sâu cần khảo sát. Bộ thu có thể là một von kế đơn giản hay phức tạp như một hệ đo có ghép nối với máy tính nhằm nâng cao hiệu quả của phép đo với khả năng lưu trữ và xử lý tín hiệu số. Các

*Tác giả liên hệ: Email: tranvinhthang@hus.edu.vn

điện cực thường dùng là kim loại dễ tiện cho việc chế tạo, khoảng cách giữa các điện cực đủ xa để các điện cực được coi là các điện cực điểm. Các điện cực thường được bố trí theo cấu hình cụ thể để tiện cho việc tính toán. Điện trở suất biểu kiến được tính theo công thức:

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I}$$

Trong đó, k là hệ số cấu hình cực; ΔV là hiệu điện thế giữa hai điện cực thu (V); I là cường độ dòng điện phát (A).

Để xác định được giá trị thực của điện trở suất cũng như sự phân bố của nó trong lòng đất, điện trở suất biểu kiến là một trong những tham số đầu vào cơ bản của việc giải bài toán ngược.

Trong thực tế, nếu với một hệ đo đơn giản, công việc thực địa sẽ trở nên mất nhiều thời gian, công sức tiến hành cho một tuyến khảo sát, độ tin cậy của kết quả đo không đảm bảo. Các hệ đa cực được phát triển dựa vào việc sử dụng các bộ chuyển mạch giữa các điện cực để khảo sát theo các cấu hình thiết lập sẵn. Tại một thời điểm đo, chỉ có 4 điện cực được sử dụng, phép đo tiếp theo được dịch chuyển tới các điện cực khác tuần tự tùy theo mục đích đo để thuận tiện cho các tính toán (phần mềm) giải bài toán ngược cho các khảo sát đo sâu 1D, hoặc 2-4D. Các hệ đa kênh phát triển dựa trên việc mở rộng thêm hơn một kênh đo hiệu điện thế tại cùng một thời điểm, điều này cho phép tăng tốc độ khảo sát lên nhiều lần tùy theo phương pháp đo.

Ngoài ra, do điều kiện thực địa không lý tưởng, có rất nhiều nguyên nhân ảnh hưởng đến độ tin cậy của số liệu đo được. Điển hình như điều kiện địa hình không đồng nhất; dải phân bố điện trở suất của đất đá, sự phân cực của các lớp đất đá, phân cực của điện cực hay nhiễu điện trường tự nhiên do hoạt động của mặt trời và trái đất; nhiễu nhân tạo do con người tạo nên (hệ thống điện lưới, mạng viễn thông, phương tiện giao thông...) [10].

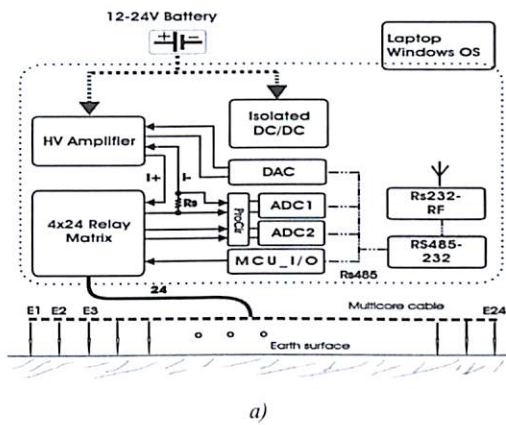
Nguồn năng lượng cần thiết cho hoạt động quan trắc dài ngày hay thăm dò sâu cần phải đủ cho thiết bị hoạt động... cũng là những vấn đề cần được quan tâm. Những thiết bị thương mại có mặt trên thị trường hiện nay như SAC ABEM của Thụy Điển, SuperSting của Mỹ, SYSCAL của Pháp... có phương pháp đo đặc và xử lý số liệu mà người dùng không tùy biến được. Mục đích sử dụng chủ yếu là khảo sát thăm dò (ứng dụng), khó tùy biến cho các mục đích nghiên cứu phương pháp hay quan trắc theo thời gian. Hơn nữa, các thiết bị này có giá cao

nên không phổ biến tại các nước đang phát triển.

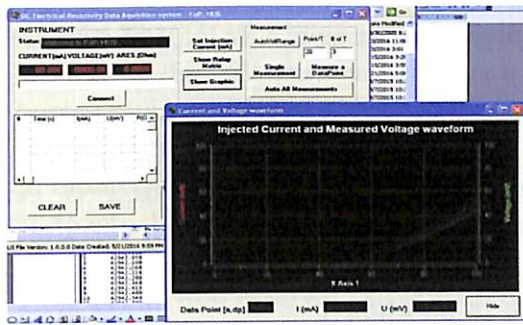
Vì những lý do nêu trên, việc chủ động triển khai chế tạo các thiết bị thăm dò hay quan trắc môi trường đất ở điều kiện trong nước với chi phí thấp là nhu cầu cần thiết. Trong nghiên cứu này, để đảm bảo sự hoạt động ổn định trong khoảng thời gian dài, với điều kiện môi trường khắc nghiệt bởi khí hậu nhiệt đới nóng ẩm như Việt Nam, các thiết bị chế tạo cần tuân theo các tiêu chuẩn công nghiệp [11]. Với sự trợ giúp của máy tính và phần mềm điều khiển tự phát triển, sau khi cấu hình cực được thiết lập, tín hiệu phát được điều khiển với dạng xung OFF, +ON, OFF, -ON và ghi nhận toàn bộ dạng sóng phát, thu. Phương pháp này có nhiều ưu điểm, thuận lợi cho việc xử lý số liệu sau này như: ước lượng các giá trị điện trường tự nhiên - SP, độ phân cực - IP và điện trở suất... Số liệu sau xử lý được lưu trữ với cấu trúc file đọc được bằng các phần mềm vẽ ảnh phân bố điện trở suất thông dụng như RES2DINV, EarthImage [12].

Triển khai xây dựng thiết bị đo địa điện trở đa cực

Thiết bị đo điện trở đa cực được xây dựng dựa trên nguyên lý của phép đo 4 điện cực cơ bản kết hợp với bộ chuyển mạch 4x24 dùng rơ-le điện từ. Hệ thiết bị ở đây được cải tiến so với phiên bản trước để phù hợp mục đích sử dụng [13]. Thiết bị (hình 1a) bao gồm 4 khối chính: (1) nguồn tiêm (phát) dòng, (2) bộ chuyển mạch, (3) khối thu thập số liệu dòng và thế, (4) máy tính công nghiệp PC104 với phần mềm điều khiển và thu thập số liệu tự động. Nguồn tiêm dòng sử dụng mạch "step-up" đơn giản với điện áp điều chỉnh được từ 12 đến 200 V ở dòng phát 0,1 A qua module DAQ 4024 [11]. Mạch tạo xung ON-OFF và đảo chiều qua 3 role được điều khiển qua lối ra số của module đo dòng ADAM4012. Khoảng thời gian nhỏ nhất cho mỗi xung cho relay cỡ vài chục ms. Hai module DAQ ADAM4012 có bộ lọc thông thấp 10 Hz ở lối vào với trở kháng đến 20 M Ω , độ phân dải 16 bit (~10 μ V) hoạt động độc lập cho việc đo dòng (qua trở shunt 0,82 \pm 0,2% Ω , 15 ppm/ $^{\circ}$ C) và hiệu điện thế với dải đo chọn được bằng phần mềm từ \pm 150 mV đến \pm 10 V phù hợp với yêu cầu phép đo [14]. Ưu điểm chính của các module DAQ công nghiệp là: khả năng hoạt động ổn định trong điều kiện thực địa khắc nghiệt như dải nhiệt độ rộng, độ ẩm cao và nền nhiễu môi trường lớn.



a)



b)

Hình 1: sơ đồ khối thiết bị (a) và hình ảnh giao diện phần mềm (b)

Việc kết nối đa cực được xây dựng qua bộ chuyển mạch tự chế tạo tại phòng thí nghiệm gồm 3 mạch ma trận role 4x8 (cho 24 điện cực) được điều khiển qua vi điều khiển PIC18F2585 với firmware điều khiển hoạt động theo chỉ dẫn từ máy tính. Các khối trên được kết nối với nhau và với máy tính qua mạng RS485 để có thể điều khiển thiết bị từ xa ở khoảng cách đến 1,2 km. Nguồn nuôi dài rộng 9-18 V được cung cấp từ ắc quy hoặc điện lưới qua adapter được phân tán đến các module qua bộ chuyển đổi DC/DC cách ly điện. Việc bảo vệ và chống nhiễu của hệ thiết bị thông qua các mạch TVS (Transient Voltage Suppression) và cách ly điện - quang giữa các phần tử để đảm bảo sự hoạt động ổn định ở điều kiện thực địa. Cable viễn thông 28 sợi, điện áp max 300 V, rẻ tiền, dễ thay thế được dùng để kết nối ma trận chuyển mạch với các điện cực.

Phần mềm (hình 1b) đóng vai trò điều khiển mọi hoạt động của hệ thống được viết bằng ngôn ngữ Microsoft Visual C, chạy trên hệ điều hành Windows. Các chức năng chính của phần mềm bao gồm: chọn cấu hình cực, các chế độ phát dòng (OFF, ON+, OFF, ON-), đặt mức phát dòng I và thế U, số lần đo và thu thập toàn bộ dạng sóng U-I theo thời gian. Thuật toán xử lý số liệu hợp lý, bảo đảm độ tin cậy của kết quả đo điện trở khi tỷ số tín hiệu trên tạp S/N thấp. Kết quả được lưu trữ theo cấu trúc file phù

hợp với các phần mềm phân tích số liệu như RES2DIND, EarthImager [12] được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực địa điện ứng dụng ở Việt Nam. Hệ thiết bị đã được khảo sát và đánh giá độ tin cậy của số liệu thu được thông qua một mạng giả lập gồm các điện trở chuẩn hóa cho độ thăng giáng cực đại nhỏ hơn 1,5% toàn thang [13].

Kết quả thực địa và thảo luận

Thí nghiệm ngoài thực địa được thực hiện tại vườn hoa Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội (khu vực Thượng Đình). Số điện cực là 20, được bố trí đều nhau theo cấu hình Wenner Alpha, khoảng cách giữa các điện cực $a = 2$ m (hình 2).

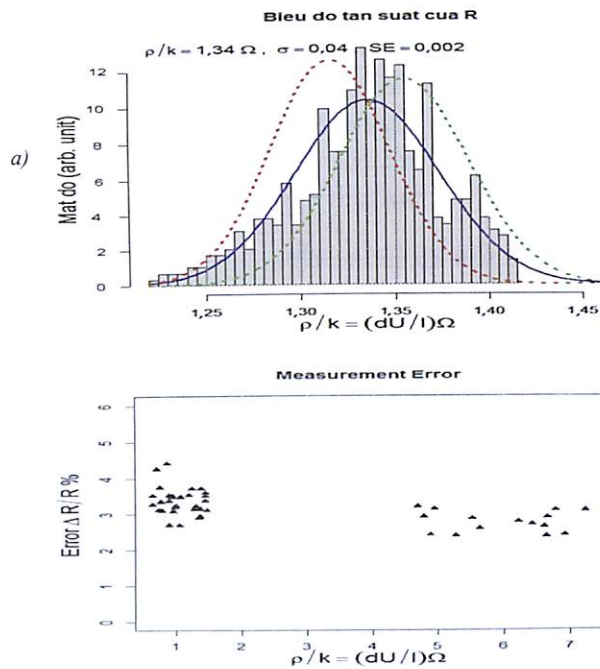


Hình 2: minh họa thiết bị thực địa tại hiện trường khảo sát

Do lõi vào của module đo dòng và thế dùng ADAM4012 có bộ lọc tần thấp có tần số cắt khoảng 10 Hz, nên tín hiệu dòng, điện áp đo được bao gồm tín hiệu có ích chỉ phụ thuộc vào dòng phát I_{AB} và điện áp do nguồn nhiễu tần số thấp (<10 Hz) từ môi trường như điện trường tự nhiên (thế SP - Self Potential), thế đo hiện tượng phóng nạp điện “charge up” bởi tính phân cực của các điện cực [14].

$$\text{Điện trở suất biểu kiến } \rho = k \frac{U_{MNi}(t_n)}{I_{AB}(t_n)} \text{ có thể ước}$$

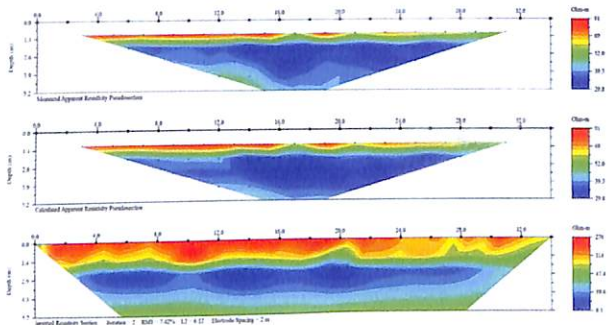
lượng được qua một chương trình con xử lý số liệu theo phương pháp hồi quy đa thức bậc 3-5 và loại bỏ thành phần biến thiên theo thời gian t_n . Phương pháp này đơn giản hơn phương pháp giải hệ phương trình tuyến tính với các biến là hệ số của phương trình [15].



Hình 3: minh họa kết quả của một điểm đo (a) và sai số ước lượng được của các điểm đo khác nhau (b)

Kết quả thu được của $\rho/k = U/I$ minh họa trên hình 3a với điểm đo điển hình (điểm 4.2, $a = 2 \text{ m}$, $k = 2 \cdot \pi \cdot a = 12,566$) cho sai số khá nhỏ. Sai số tỷ đối của các điểm đo nhỏ hơn 5% như hình 3b hoàn toàn phù hợp với tiêu chuẩn ASTM G57 (dưới 5%) của Mỹ và Việt Nam (dưới 10%) [16].

Hình 4 là ảnh 2D biểu diễn phân bố của điện trở suất tại sân Trường Đại học Khoa học Tự nhiên qua phần mềm EarthImager. Kết quả cho thấy, sự phân bố của các lớp đất đá khá phù hợp với địa chất tại khu vực này. Lớp trên bề mặt có điện trở suất cao tương ứng với nền đất khô do nắng nóng kéo dài.



Hình 4: hình ảnh 2D biểu diễn sự phân bố điện trở suất của đất đá khu vực sân Trường Đại học Khoa học Tự nhiên

Với thiết bị này, công suất tiêu thụ tối đa chỉ dưới 35 W khi công suất cực đại (chỉ tiêu tốn trong thời gian đo rất ngắn tùy vào lượng số liệu cần thu thập) và dưới 10 W ở chế độ xử lý số liệu cho phép nguồn ắc quy có thể hoạt động trong thời gian dài và phù hợp với nguồn nuôi trực tiếp bằng pin mặt trời kết hợp siêu tụ điện.

Kết luận

Nghiên cứu triển khai chế tạo thiết bị thăm dò điện trở suất của đất đá dùng các module DAQ công nghiệp cho thấy thiết bị được phát triển theo hướng này có chi phí thấp, khả năng hoạt động thực địa tốt, có thể triển khai phổ biến cho nhiều ứng dụng như thăm dò hoặc quan trắc môi trường đất đá để đánh giá mức độ ô nhiễm, xâm nhập mặn hay cung cấp số liệu cho hệ thống tưới tiêu tự động ứng dụng trong nông nghiệp. Kết quả thí nghiệm ngoài thực địa minh chứng cho kết luận trên với sai số phù hợp với tiêu chuẩn ASTM G97 của Mỹ, với điều kiện thử nghiệm. Các ảnh hưởng từ điều kiện thực của các điểm đo như điện trở tiếp xúc giữa điện cực và bề mặt quá lớn, ngưỡng phát dòng bảo đảm tỷ số tín hiệu trên tạp S/N đủ lớn... sẽ được xem xét và loại trừ trong nghiên cứu tiếp theo.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Hà Nội trong khuôn khổ đề tài mã số QG.16.02. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

Tài liệu tham khảo

- [1] D.L. Corwin, S.M. Lesch (2005), "Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture", *Computers and Electronics in Agriculture*, **46**, pp.11-43.
- [2] Shmulik P. Friedman (2005), "Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review", *Computers and Electronics in Agriculture*, **46**, pp.45-70.
- [3] J.E. Chambers, O. Kuras, P.L. Meldrum, R.D. Ogilvy, J. Hollands (2006), "Electrical resistivity tomography applied to geologic, hydrogeologic, and engineering investigations at a former waste-disposal site", *Geophysics*, **71**, B231.
- [4] Y. Jung, H. Ha and Y. Lee (2000), "Application of Electrical Resistivity Imaging Techniques to Civil and Environmental Problems", *Use of Geophysical Methods in Construction*, pp.52-64.
- [5] M.H. Loke, J.E. Chambers, D.F. Rucker, O. Kuras and P.B. Wilkinson (2013), "Recent developments in the direct-current geoelectrical imaging method", *Journal of Applied Geophysics*, **95**, pp.135-156.
- [6] A. Samouëlian, I. Cousin, A. Tabbagh, A. Bruand, G. Richard (2005), "Electrical resistivity survey in soil science: a review", *Soil and Tillage Research*, **83**, pp.173-193.
- [7] R.D. Ogilvy, P.L. Meldrum, O. Kuras, P.B. Wilkinson, J.E. Chambers, M. Sen, Pulido-Bosch, A. Gisbert, J. Jorreto, S. Frances and P. Tsourlos (2009), "Automated monitoring of coastal aquifers with electrical resistivity tomography", *Near Surface Geophysics*, **7**, pp.367-375.
- [8] O. Kuras, J.D. Pritchard, P.L. Meldrum, J.E. Chambers, P.B. Wilkinson, R.D. Ogilvy and G.P. Wealhall (2009), "Monitoring hydraulic processes with automated time-lapse electrical resistivity tomography (ALERT)", *Comptes Rendus Geoscience*, **341**, pp.868-885.
- [9] Paul Wilkinson, Jonathan Chambers, Oliver Kuras, Philip Meldrum and David Gunn (2011), "Long-term time-lapse geoelectrical monitoring", *First Break*, **29**, pp.77-84.
- [10] J.M. Reynolds (1997), *An introduction to Applied and Environmental Geophysics*, Wiley Publisher.
- [11] Advantech (2000), *ADAM4000 DAQ user's guide*.
- [12] EarthImager software (2012), <https://www.agiusa.com/> last accessed Apr. 2016.
- [13] Trần Vinh Thắng, Đỗ Trung Kiên, Nguyễn Đức Vinh (2016), "Phát triển hệ thu thập dữ liệu điện trở suất đa cực dùng điện một chiều cho thăm dò địa điện", *Kỷ yếu Hội nghị Những tiên bộ trong vật lý kỹ thuật và ứng dụng IV*, CAEP 2015, pp.432-437.
- [14] T. Dahlin (2000), "Short note on electrode charge-up effects in DC resistivity data acquisition using multi-electrode arrays", *Geophysical Prospecting*, **48**, pp.181-187.
- [15] M. Blome (2009), "Efficient measurement and data inversion strategies for large scale geoelectric surveys", *PhD Dissertation ETH*.
- [16] ASTM G57, (2006), *American Society for Testing and Materials*, Pennsylvania, USA.