

HỆ THỐNG GHI DỮ LIỆU GIÁ RẺ PHÙ HỢP VỚI CÁC QUỐC GIA ĐANG PHÁT TRIỂN ĐỂ QUAN TRẮC ĐỘ DẪN ĐIỆN TRONG MỘT CỘT ĐẤT

Lê Anh Tuấn¹, Võ Minh Trí² và Guido G.C. L. Wyseure³

ABSTRACT

An electrical current system including four-electrode probes connecting with a Humusoft card and a computer has been made in Can Tho University, Vietnam for measuring electrical conductivity (EC) of the salinity solution flowing through a horizontal sand column. The system is low cost, compact and reliable for developing countries as Vietnam. The experimental results with potassium chlorite solution show that there are linear relations between the calibrated EC measured by four-electrode probes and EC measured by a benchtop EC-meter.

Keywords: *four-electrode probes, electrical conductivity, solution, linear regression*

Title: *Low cost data-logging system suitable for developing countries to monitor electrical conductivity in a soil column*

TÓM TẮT

Một hệ thống điện bao gồm các đầu dò bốn điện cực kết nối với một bản mạch Humusoft và một máy tính đã được chế tạo tại Đại học Cần Thơ, Việt Nam để đo độ dẫn điện (EC) của dung dịch muối chảy qua một cột cát nằm ngang. Hệ thống này rẻ tiền, chắc gọn và tin cậy cho các quốc gia đang phát triển như Việt Nam. Các kết quả thực nghiệm với dung dịch potassium chlorite cho thấy có những quan hệ tuyến tính giữa trị EC đã được chuẩn hóa bằng các đầu dò bốn điện cực và trị EC đo bằng một máy đo EC để bàn.

Từ khóa: *Đầu dò bốn điện cực, độ dẫn điện, dung dịch, hồi quy tuyến tính*

1 GIỚI THIỆU

Phương pháp dùng cảm biến bốn điện cực (four-electrodes sensor) để đo độ mặn trong đất đã được sử dụng từ lâu qua các nghiên cứu của McCorkle, 1931; Edlefsen and Anderson, 1941; Rhoades and Ingvalson, 1971 (Landviser website, 2005). Trong thực tế, phương pháp bốn điện cực thường kết hợp với các đầu dò dẫn nhiệt (thermal conductivity probe) để xác định độ dẫn điện EC trong đất ngoài đồng (Fritton, 1974, Nadler, 1980, 1981) và các tính chất khác của đất (Pozdnyakoy, 2002). Phương pháp bốn điện cực không chỉ được ứng dụng rộng rãi trong địa chất học và khoa học đất mà còn được áp dụng lĩnh vực khảo cổ học và tội phạm học khi tìm kiếm các dấu vết của những nơi bị cháy (William, 2003) và sự ô nhiễm môi trường như khi khảo sát sự xâm nhiễm dầu mỏ vào đất (Pozdnyakova, 1999). Thông thường, phương pháp bốn điện cực kết hợp với

¹ Bộ Môn Kỹ Thuật Môi Trường Và Tài Nguyên Nước, Khoa Công Nghệ, Đại Học Cần Thơ, Việt Nam

² Bộ Môn Kỹ Thuật Điện, Khoa Công Nghệ, Đại Học Cần Thơ, Việt Nam

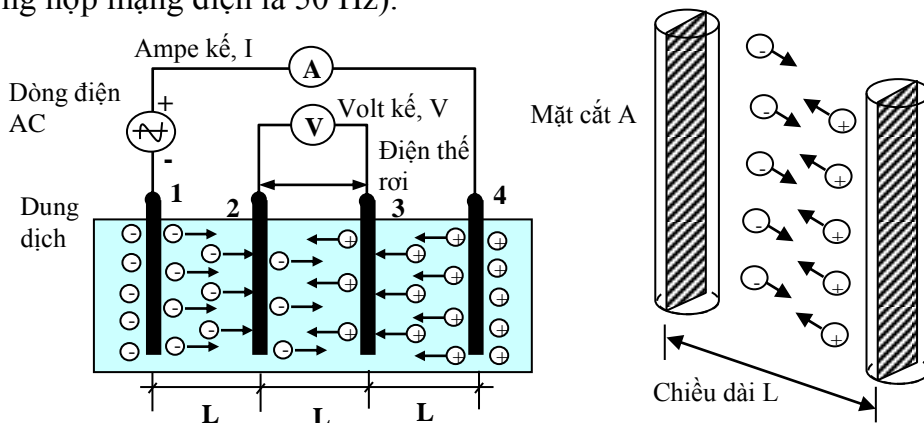
³ Phòng Thí Nghiệm Quản Lý Đất Và Nước, Khoa Kỹ Thuật Khoa Học Sinh Học, Đại Học Thiên Chúa Giáo Leuven, Vương Quốc Bỉ

những phương pháp địa thống kê được ứng dụng để làm các bản đồ đất (Halvorson, 1976). Đi đôi với thực nghiệm, lý thuyết đầu dò bốn điện cực đã được phát triển và kiểm nghiệm kỹ lưỡng (Rhoades et al., 1976, 1989, 1999; Corwin and Lesch, 2005; Shmulik, 2005). Bên cạnh thực hành, một số tác giả đã cố gắng làm giảm chi phí chế tạo các đầu dò bốn điện cực (Austin, 1979; Rhoades, 1979). Tiêu chí chính của nghiên cứu này là các đầu dò bốn điện cực phải rẻ tiền, dễ chế tạo và phù hợp với việc sắp đặt thí nghiệm. Điều cần thiết là tất cả các cảm biến tự chế phải được chuẩn hóa và kiểm soát chất lượng cẩn thận.

Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam đã chế tạo và thử nghiệm cảm biến độ mặn bốn điện cực để đo độ dẫn điện của đất (EC). Bằng cách kiểm tra chất lưu vết, sự đo đạc nhằm mục đích xác định đặc tính thủy lực của sự chuyển động của nước trong mô hình thí nghiệm đất ngập nước chảy ngầm. Sử dụng cảm biến đo EC và chất lưu vết độ mặn thực tế sẽ giới hạn được thời gian và công sức liên quan đến việc thu mẫu và phân tích trong phòng thí nghiệm. Việc này cũng tránh được việc phá cấu trúc mẫu trong các nghiên cứu cột đất thí nghiệm. Năm 2002, Konukcu và các cộng sự đã đề xuất việc thử nghiệm cột đất với một cảm biến bốn điện cực. Bộ thiết bị lắp đặt lần cuối đã được Konukcu sử dụng để đo đạc và mô tả thí nghiệm. Do việc thực nghiệm đường cong xuyên tuyến (breakthrough curve - BTC) cần mất nhiều ngày nên việc xây dựng một hệ thống đo chép dữ liệu rẻ tiền rất được khích lệ và trường Đại học Cần Thơ đã chế tạo một hệ thống như thế.

2 LÝ THUYẾT

Đầu dò bốn điện cực bao gồm bốn điện cực được sắp xếp với một khoảng cách L đều như nhau như minh họa ở hình 1. Điện cực có thể được làm bằng một kim loại dẫn điện bất kỳ như thép không rỉ hoặc đồng. Độ dẫn của đất được tính bằng tỉ số giữa trị đo được của cường độ dòng điện (I) ngang qua hai điện cực bên ngoài (thanh 1 và thanh 4) và điện thế rơi (Vdrop) giữa hai điện cực bên trong (thanh 2 và thanh 3). Trong quá trình đo đạc, dung dịch đóng vai trò như một chất dẫn điện. Một khó khăn đặc thù là sự phân cực hóa điện cực nên dòng điện xoay chiều cần được sử dụng. Nadler (2004) đã đề nghị nên chọn tần số nằm trong khoảng 100 Hz đến 1000 Hz. Đồng thời, ông cũng khuyến cáo cần tránh các tần số là bội của tần số mạng điện cung cấp (thường là 50 đến 60 Hz) vì các biến dạng của dạng sóng mạng điện có thể bị biến thành một bội số của tần số này (như 100, 150, 200 Hz, trong trường hợp mạng điện là 50 Hz).



Hình 1. Minh họa lý thuyết chuyển vận ion qua đầu dò bốn điện cực trong dung dịch

Dẫn suất khối σ (the bulk) - tính bằng deciSiemens/mét (dS/m) - của các phần tử đất được xác định bằng cách nghịch đảo giá trị của điện trở suất (E):

$$\sigma_a = \frac{1}{E} \quad (1)$$

Trị số E của một vật liệu được định nghĩa như sau:

$$E = \frac{A}{L} \cdot \frac{V_{drop}}{I} = K \cdot \frac{V_{drop}}{I} = K \cdot R \quad (2)$$

trong đó K là hệ số hình dạng (m), L là khoảng cách giữa các điện cực (m) và A là diện tích mặt cắt ngang hữu dụng của các điện cực (m²). Vdrop được đo bằng một volt kế (V). I là cường độ dòng điện và có thể đo bằng ampe kế (A). R là điện trở của dung dịch, R có thể tính theo định luật Ohm (V = R.I). Đối với các điện cực tự chế, hệ số hình dạng K thường được xác định bằng sự định chuẩn (calibration) hơn là dựa vào một công thức lý thuyết.

Trị số σ của một loại đất có khe rỗng thể hiện cả sự phân bố các ion trong dung dịch đất lẫn khả năng trao đổi cation của các phần tử đất (Nadler, 1980). Rhoades và các cộng sự (1976) đã mô tả quan hệ này bằng một công thức kinh nghiệm đơn giản:

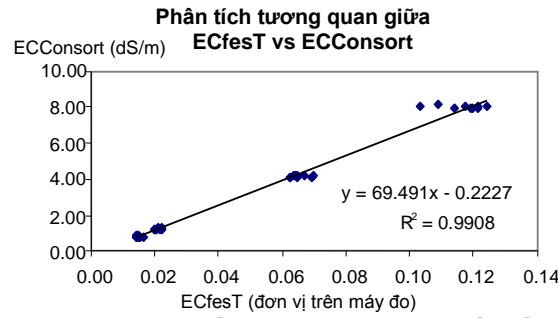
$$\sigma = \sigma_w \cdot \theta \cdot T + \sigma_s \quad (3)$$

trong đó σ_w là độ dẫn điện của dung dịch đất, θ là lượng nước theo thể tích, T là hệ số chuyển vận, $T = a\theta + b$ với a và b là các hệ số kinh nghiệm, σ_s là độ dẫn trên bề mặt trong pha rắn. Để có thêm chi tiết có thể tham khảo tài liệu của Friedman (2005).

3 MÔ TẢ MẠCH ĐIỆN VÀ CÁC THÍ NGHIỆM KHỞI ĐẦU

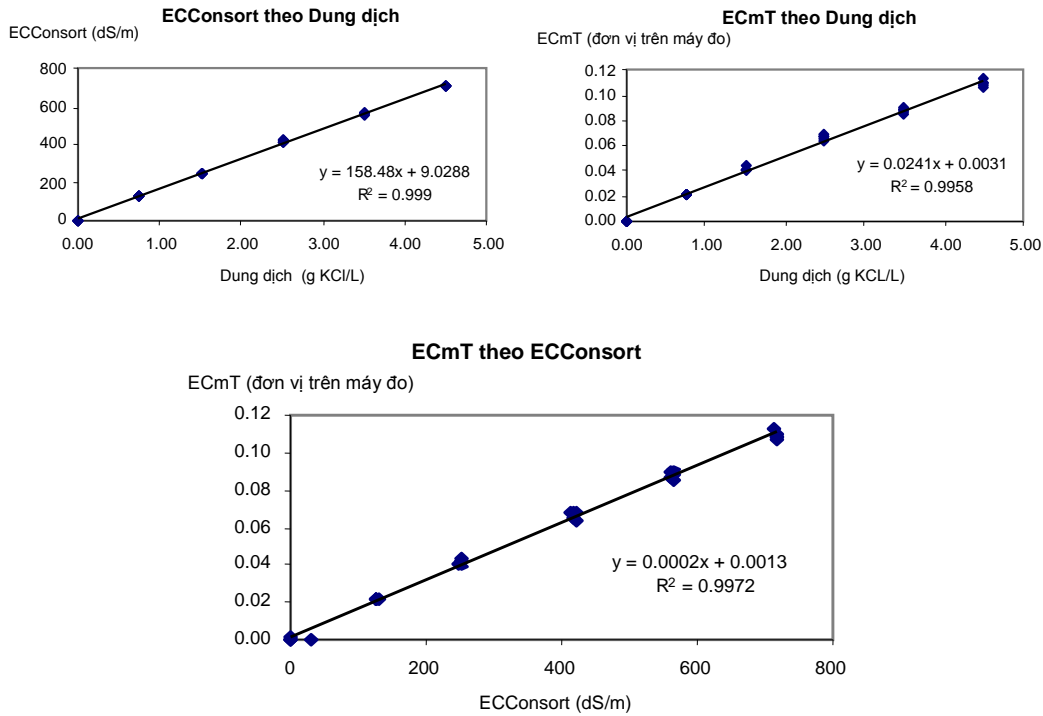
Những thí nghiệm khởi đầu đã được thực hiện bằng cách dùng một máy đo EC (Consort EC-meter C105) để định chuẩn số đo các giá trị σ trên máy đo tự tạo dùng cảm biến bốn điện cực đơn giản. Thí nghiệm đo giá trị σ được tiến hành với 3 lần lặp lại trên mọi tổ hợp của từ hai giá trị tần số (Hz) của mạch điện và ba giá trị của nồng độ dung dịch muối potassium chloride (KCl g/L). Kết quả đo đặc cho điện trở của hệ thống là 10.17 Ohm.

Theo khuyến cáo từ cẩm nang của Cosort, trị σ_{calbr} của dung dịch kiểm chuẩn (0.745 g/L KCl) là 1.278 dS/m ở 20°C, hệ số hiệu chỉnh nhiệt độ là 0.019. Như hình 2, kết quả thể hiện một tương quan tuyến tính tốt giữa trị EC của cảm biến bốn điện cực theo nhiệt độ (ECfesT) và trị EC đo bằng máy đo Consort (ECConsort).



Hình 2: Kết quả từ 3 lần lặp lại trong khối ngẫu nhiên với 2 yếu tố

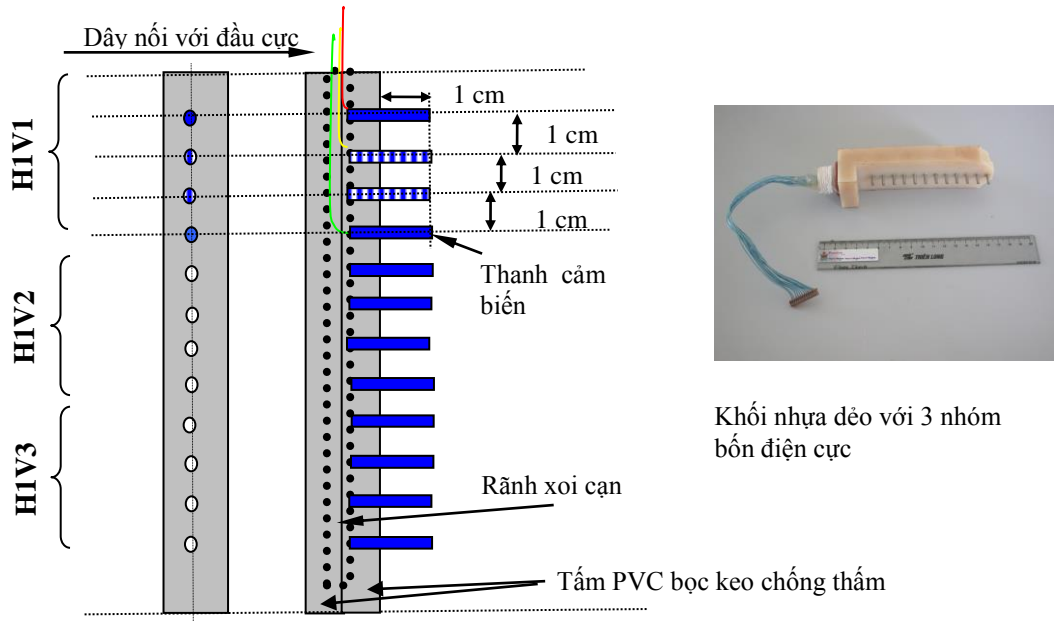
Một thí nghiệm tỉ mỉ hơn đã được tiến hành với 5 lần lặp lại với 6 nghiệm thức (Dung dịch: 0.00; 0.745 (để định chuẩn máy đo EC); 1.50; 2.50; 3.50 and 4.50 g KCl/L), tần số được giữ cố định ở 330 Hz. Trị EC đo được trong thí nghiệm này được ký hiệu là ECmT. Các kết quả này cũng thể hiện một hồi quy tuyến tính tốt như hình 3.



Hình 3: Kết quả từ 5 lần lặp lại trong khối ngẫu nhiên với 6 nghiệm thức

Để đo thử BTC của một cột đất, một bộ thí nghiệm gồm 9 cảm biến đã được thiết kế tại ĐHCT. Chất lưu vết được dùng trong thí nghiệm là nước muối. 9 cảm biến được lắp trên 3 khối, mỗi khối gồm 3 cảm biến. Tên các cảm biến được đặt theo vị trí như sau: Khối H1 gồm các cảm biến H1V1, H1V2, H1V3; khối H2 gồm các cảm biến H2V1, H2V2, H2V3; khối H3 gồm các cảm biến H3V1, H3V2 và H3V3. Mỗi cảm biến gồm 1 nhóm 4 thanh điện cực. Điện cực là 1 thanh thép không rỉ có đường kính ngoài 5 mm được gắn thẳng góc với một thanh chất dẻo cứng hình vuông và ló ra khỏi khối nhựa 1 cm. Khoảng cách giữa các thanh điện cực là 1 cm.

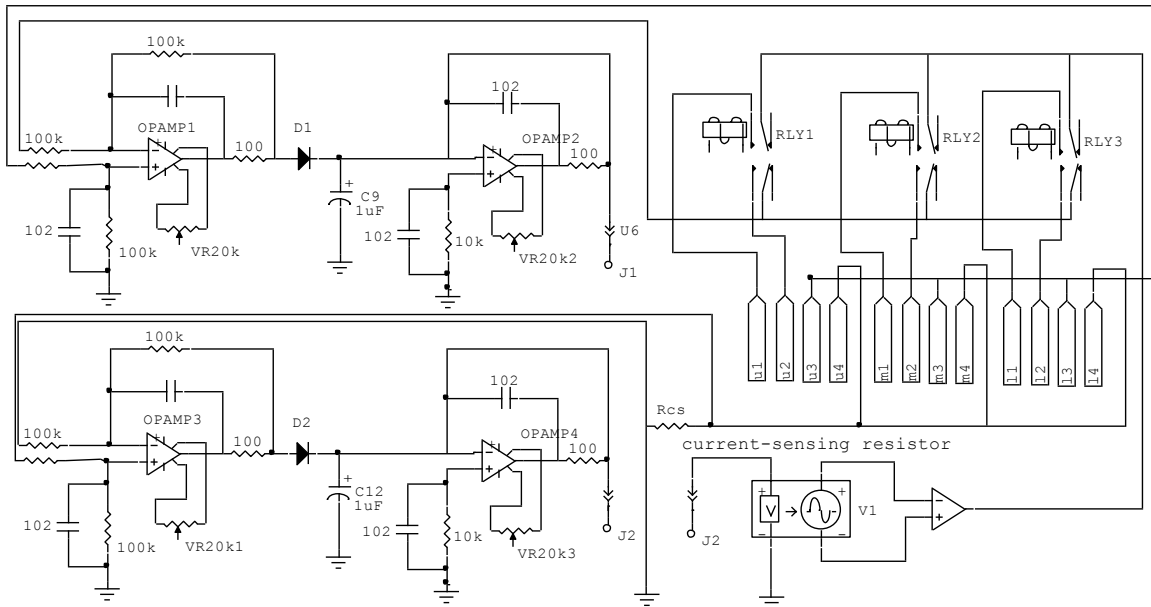
Điều quan trọng là trong từng khoảng thời gian liên tiếp bằng nhau ta chỉ bố trí cho duy nhất một cảm biến hoạt động. Tất cả các cảm biến khác phải bị ngắt để tránh chúng gây nhiễu cho cảm biến đang làm việc. Do vậy phải có một hệ thống giải đa hợp để vận hành các cảm biến.



Hình 4: Khối chất dẻo với 3 nhóm bốn điện cực được thiết kế (trái) và chế tạo (phải)

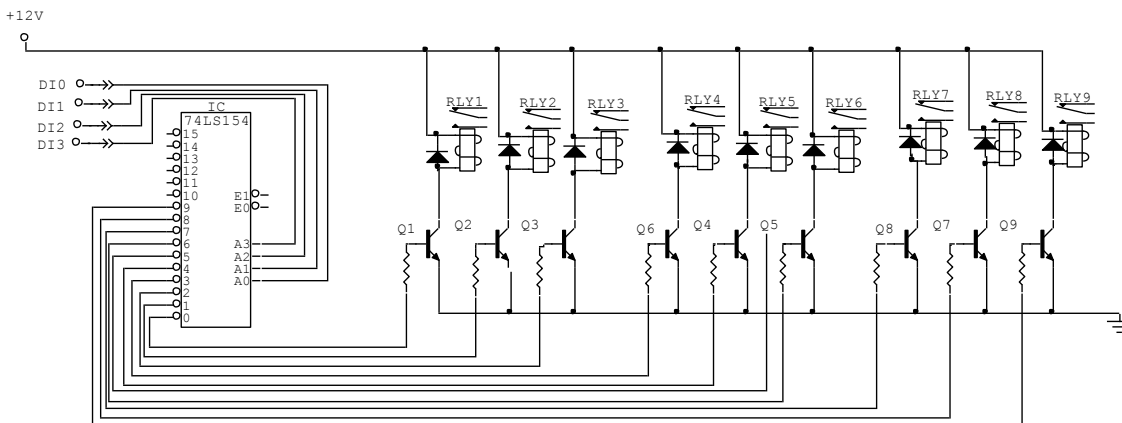
Mỗi lần đo cảm biến, có 3 giá trị cần được xác định gồm trị dòng điện đi qua điện cực 1 và 4, hiệu thế giữa điện cực 2 và 3 và nhiệt độ. Dòng điện đi qua điện cực 1 và 4 được đo bằng việc đọc điện thế rơi qua điện trở R_{cs} đã biết giá trị. Vì hầu hết các mạch điện thu dữ liệu đều chỉ phải ghi lại giá trị của dòng điện một chiều nên các tín hiệu xoay chiều đo được cần được khuếch đại và chỉnh lưu thành điện một chiều (Hình 5). Vì vi điện thế đo được phụ thuộc vào nhiệt độ nên một cặp nhiệt điện loại K đã được sử dụng để theo dõi nhiệt độ. Vi điện thế này được khuếch đại và ghi vào máy tính cá nhân.

Để thu và trữ số liệu, một hệ thống đo đã được thiết kế bằng cách dùng một máy tính cá nhân với một bảng mạch ghi dữ liệu bên trong. Ngôn ngữ máy tính MATLAB SIMULINK đã được dùng để phát triển một giao diện đồ họa. Bản mạch HUMUSOFT AD512 của Hãng Humuosoftware (2005) cũng được sử dụng cho hệ thống đo. Bản mạch được làm với 8 kênh vào dạng analog, 2 kênh ra dạng analog với độ phân giải 12 bit và lên được 100 Ks mỗi giây rất phù hợp cho một tiến trình chậm như thí nghiệm. Có 8 đầu ra dạng digital và 8 đầu vào dạng digital rất hữu dụng cho việc kiểm soát logic.



Hình 5: Mạch tạo tín hiệu thích hợp cho việc đo trị V_{drop} và V

Trong từng khoảng thời gian xác định, hệ thống thu các dữ liệu ở mỗi cảm biến và đưa chúng về lưu ở đĩa cứng. Dữ liệu cho mỗi lần gồm đo là hiệu thế giữa điện cực thứ hai và thứ ba của nhóm 4 điện cực, hiệu thế rơi qua điện trở đã biết R_{cs} và nhiệt độ. Để mỗi cảm biến luân phiên làm việc trong từng khoảng thời gian xác định, một bộ giải đa hợp (demultiplexer) đã được thiết kế để đưa nguồn điện quét tuần hoàn qua hệ thống cảm biến. Bộ giải đa hợp cho các cảm biến bốn điện cực được mô tả ở hình 6.



Hình 6: Mạch điện kiểm soát sự chuyển đảo của bộ đa hợp

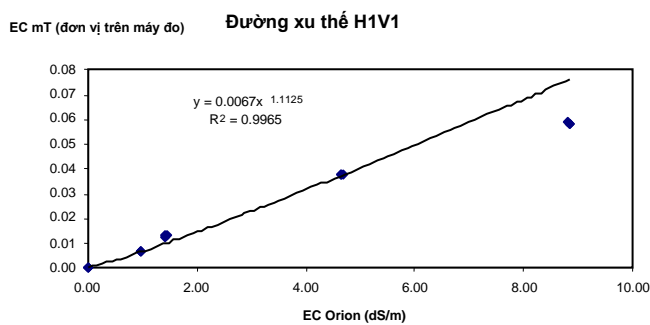
Lập tỉ số giữa cường độ dòng điện (I) đo được ở các điện cực phía ngoài và hiệu điện thế V_{drop} giữa hai điện cực bên trong. Tỉ số I/V_{drop} tỉ lệ nghịch với điện trở của môi trường, tức tỉ lệ thuận với độ dẫn điện của dung dịch. Cường độ dòng điện (I) qua hai điện cực phía ngoài được nhận từ công thức $I = V/R_{cs}$, với R_{cs} là điện trở chèn vào mạch điện và V là hiệu thế giữa hai đầu điện trở này. Các hiệu điện thế V và V_{drop} được đo bằng cách dùng một volt kế kỹ thuật số. Hệ số hình dạng K trong quan hệ giữa tỉ số V/V_{drop} và dẫn suất khối EC phụ thuộc vào hình dạng và cấu trúc của cảm biến, được kiểm chỉnh bằng cách đo trị EC đã biết với nhiều dung dịch khác nhau tại một nhiệt độ tham chiếu ($\sigma = \frac{1}{E} = \frac{1}{KR_{cs}} \cdot \frac{V}{V_{drop}}$). Điều này đã

được thực hiện với tất cả 9 cảm biến với dung dịch muối potassium chloride trong khoảng từ 0 đến 5 g KCl/L.

4 THỬ NGHIỆM VÀ KẾT QUẢ

Thiết kế khối ngẫu nhiên (Randomized Block Design - RBD) cho 3 lần lặp lại của 5 nồng độ khác nhau để thiết lập phương trình chuẩn hóa. Giữ hệ thống hoạt động ở một tần số không đổi là 220 Hz, chuẩn bị năm nồng độ muối dung dịch potassium chloride gồm 0.00; 0.50; 0.745; 2.50 and 5.00 g KCl/L. Để đo trị σ , sử dụng máy đo độ dẫn điện ORION kiểu 105.

Các dung dịch KCl với nồng độ khác nhau được luân phiên đo bằng máy đo Orion và máy đo bốn điện cực. Thiết lập các đường xu thế (trend lines), phương trình hồi quy và giá trị tương quan theo phương pháp bình phương cực tiểu giữa dữ liệu EC đo bằng máy đo tự tạo có hiệu chỉnh nhiệt độ (ECmT) và EC đo bằng máy Orion (ECorion). Kết quả đo và tính toán từ cảm biến H1V1 được thể hiện ở hình 7.



Hình 7: Đường quan hệ giữa ECmT và ECorion ở cảm biến 4 điện cực H1V1

Chi phí cho bảng mạch ghi dữ liệu Humusoft xấp xỉ khoảng 400 EURO. Vật liệu làm các cảm biến và các bộ phận điện - điện tử chừng 200 EURO. Việc gia công thực hiện ở trường Đại học Cần Thơ. Hệ thống tận dụng một máy tính cũ loại PC 386 để vận hành.

5. KẾT LUẬN - KIẾN NGHỊ

Hệ thống làm việc tốt, sai số dưới 5%, chi phí rất rẻ so thiết bị nhập ngoại (mỗi cảm biến bốn điện cực ở Châu Âu có giá xấp xỉ 2.000 EURO), dễ lắp đặt, sửa chữa, phù hợp các nước đang phát triển. Hệ thống có thể dùng để thực hiện các khảo sát độ dẫn điện trong đất bằng các mô hình vật lý và thực địa. Các cảm ứng bốn điện cực này có thể cải tiến kích thước và hiệu chỉnh theo yêu cầu nghiên cứu.

CẢM TẠ

Tác giả cảm ơn dự án VLIR-CTU đã tài trợ kinh phí cho nghiên cứu này và rất cảm kích sự giúp đỡ, khích lệ của nhiều cán bộ Khoa Công nghệ, ĐHTC trong thời gian thí nghiệm của chúng tôi. Xin trân trọng cảm ơn Thầy Lương Văn Sơn (Khoa Công nghệ Thông tin) đã giúp chúng tôi hoàn chỉnh bài viết này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Austin, R.S. and Rhoades, J.D., 1979. A compact, low-cost circuit for reading four-electrode salinity sensors. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, **43**, 808-810.
- Corwin, D.L. and Lesch S.M., 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, **46**, 11-43.
- Friedman, S.P., 2005. Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, **46**, 45-70.
- Fritton, D.D., Busscher, W.J. and Alpert, J.E., 1974. An inexpensive but durable thermal conductivity probe for field use. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **38**, 854-855.
- Halvorson, A.D. and Rhoades, J.D., 1976. Field mapping soil conductivity to delineate dryland saline seeps with four-electrode technique. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, **40**, 571-575.
- Humusoft. 2005. *Data Acquisition Products* [on line], Available from: <http://www.humusoft.com/datacq/index.htm>. [Access April 25 2005]
- Konukcu, F., Gowing, J.W. and Rose, D.A., 2002. Simple sensors to achieve fine spatial resolution in continuous measurements of soil moisture and salinity. *Hydrology and Earth System Sciences*, **6(6)**, 1043-1051.
- Landviser, Inc., 2005. *Brief theory of the four-electrode method* [on line], Available from: <http://www.landviser.com/PDF/theory.pdf> [Access April 25 2005]
- Landviser Inc., 2005. *Four-electrode probe for detection of burial places of criminal origin*. [on line], Available from: <http://www.landviser.com/gorensic.htm> [Access April 25 2005]
- Landviser Inc., 2005. *Electrical geophysical methods to evaluate soil pollution from gas and oil mining*. [on line], Available from: <http://www.landviser.com/oil.mining.html> [Access April 25 2005]
- Pozdnyakov, A. and Pozdnyakova, L., 2002. Electrical fields and soil properties. In: *17th World Congress of Soil Science*, 14-21 August 2002, Thailand, paper no. 1558.
- Nadler, A. and Frenkel, H., 1980. Determination of soil solution electrical conductivity from bulk soil electrical conductivity measurements by the four-electrode method. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, **44**, 1216-1221.
- Nadler, A., 1981. Field application of the four-electrode technique for determining soil solution conductivity. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, **45**, 30-34.
- Rhoades, J.D., Raats, P.A.C. and Prather, R.J., 1976. Effects of liquid-phase electrical conductivity, water content, and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, **40**, 651-655.
- Rhoades, J.D., Manteghi, N.A., Shouse, P.J. and Alves, W.A., 1989. Soil electrical conductivity and soil salinity: new formulations and calibrations. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, **53**, 433-439.
- Rhoades, J.D., 1979. Inexpensive four-electrode probe for monitoring soil salinity. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, **43**, 817-818.
- Rhoades, J.D., Chanduvi, F. and Lesch, S., 1999. *Soil salinity assessment. Methods and interpretation of electrical conductivity measurements*. FAO Irrigation and Drainage paper 57, Roma.
- Shmilik P.F., 2005. Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, **46**, 45-47.
- William J.J., 2003. Geophysical detection of graves - Basic background and case histories from historic cemeteries. *Council for West Virginia Archaeology Spring Workshop*, Charleston, West Virginia, June 7, 2003.