

PHÂN TÍCH HAI PHƯƠNG PHÁP ĐO ĐIỆN TRỞ SUẤT ĐẤT HAI LỚP Ở DẠNG HÀM PHỨC

Hoàng Việt - Vũ Phan Tú

Trường Đại học Kỹ thuật

(Bài nhận ngày 23/03/2000)

TÓM TẮT: Thông qua hai phương pháp thông dụng để đo điện trở suất của đất là phương pháp Wenner và phương pháp đóng cọc (driven rod method). Bài báo đã phát triển một quan điểm mới về điện trở suất của đất là một hàm phức, không những bản thân nó thay đổi theo tần số ω và thời gian phục hồi phân cực τ , mà các tham số σ và ϵ cũng thay đổi theo ω có dạng $\rho(j\omega) = [\sigma(\omega) + j\omega\epsilon(\omega)]^{-1}$. Kết quả được trình bày trên các đồ thị và được ứng dụng trong một số trường hợp cụ thể.

GIỚI THIỆU

Như đã biết việc đo điện trở suất của đất được thực hiện chủ yếu theo phương pháp Wenner và phương pháp đóng cọc [6]. Từ các giá trị này có thể ứng dụng vào tính toán nhiều vấn đề trong kỹ thuật điện như điện áp bước, tiếp xúc [7]-[8], điện trở của hệ thống nối đất [9], phân tích quá độ điện từ của hệ thống nối đất [10],[11]...

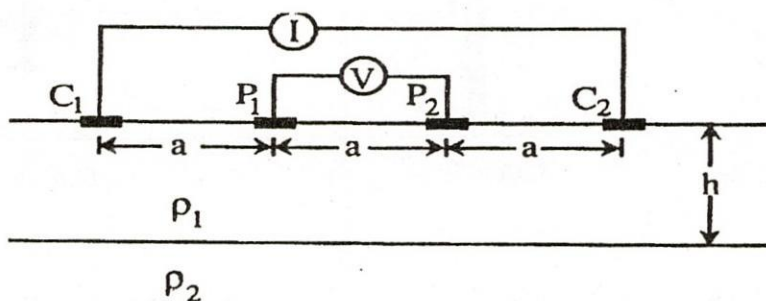
Tuy nhiên nếu coi điện trở suất đất là một giá trị thực thì vẫn chưa giải thích được các hiện tượng vật lý khác nhau trong đất khi xảy ra các quá trình quá độ hoặc hiện tượng cảm ứng điện từ trường sét ... vì các quá trình này luôn luôn phụ thuộc vào tần số. Như thế đòi hỏi điện trở suất đất cũng phải thể hiện được sự phụ thuộc vào tần số nguồn tác động. Để giải quyết vấn đề này có tác giả đã biểu diễn điện trở suất ở dạng phức $\rho(j\omega) = [\sigma + j\omega\epsilon]^{-1}$. Trong đó điện dẫn σ và hằng số điện môi ϵ là những trị thực không đổi. Điều này vẫn chưa chính xác, vì theo lý thuyết dẫn điện và phân cực thì khi tần số nguồn kích thích thay đổi sẽ làm cho các giá trị này thay đổi, nói cách khác các giá trị σ và ϵ phải phụ thuộc tần số. Do đó Pelton [3] đã đưa ra một phương trình biểu diễn điện trở suất đất là một hàm phức phụ thuộc vào tần số và thời gian phục hồi phân cực đất $\rho(j\omega) = [\sigma(\omega) + j\omega\epsilon(\omega)]^{-1}$ (phương trình (7) và (8)). Với cách biểu diễn này có thể giải thích được các quá trình dẫn điện và phân cực xảy ra trong đất và các tham số của điện trở suất đất phụ thuộc vào tần số nguồn tác động.

Trên cơ sở đó bài báo xây dựng các công thức tính điện trở suất đất hai lớp dạng phức và so sánh kết quả tính toán theo hai phương pháp trên trong mặt phẳng phức phụ thuộc vào tần số. Cuối cùng nêu lên một số ứng dụng cụ thể khi thay điện trở suất thực bằng điện trở suất phức.

1/- CÁC PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN:

a/- Điện trở suất đất hai lớp theo phương pháp Wenner:

Phương pháp đo điện trở suất Wenner [6] được thực hiện theo sơ đồ như hình 1:



Hình 1: Sơ đồ đo điện trở suất đất theo phương pháp Wenner.

Một nguồn dòng I đi vào đất qua hai điện cực C_1 và C_2 sẽ tạo nên trong đất một điện trường. Gần mặt đất mật độ dòng điện lớn và càng xuống sâu càng giảm, đến một độ sâu nào đó thì nó sẽ bằng không. Vì đất là một vật dẫn hữu hạn nên sẽ gây sụt áp trong đất. Đặt hai điện cực áp P_1 và P_2 giữa hai điện cực dòng thì sẽ đo được hiệu điện thế giữa hai đường đẳng thế đi qua P_1 và P_2 .

Điện trở suất của đất theo phương pháp Wenner được xác định như sau:

$$\frac{V}{I} = \frac{\rho_w}{2\pi a} \quad (1)$$

Theo [1] chúng ta có:

$$\rho_w = \rho_1 \left[1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \Gamma^n \left(\frac{1}{\sqrt{A}} - \frac{1}{\sqrt{B}} \right) \right] \quad (2)$$

Với $A = 1 + (2nh/a)^2$ và $B = A + 3$

+ a là khoảng cách giữa các điện cực [m].

+ h là độ sâu của lớp đất bên trên [m].

+ ρ_1 là điện trở suất của lớp đất bên trên [Ωm].

+ ρ_2 là điện trở suất của lớp đất bên dưới [Ωm].

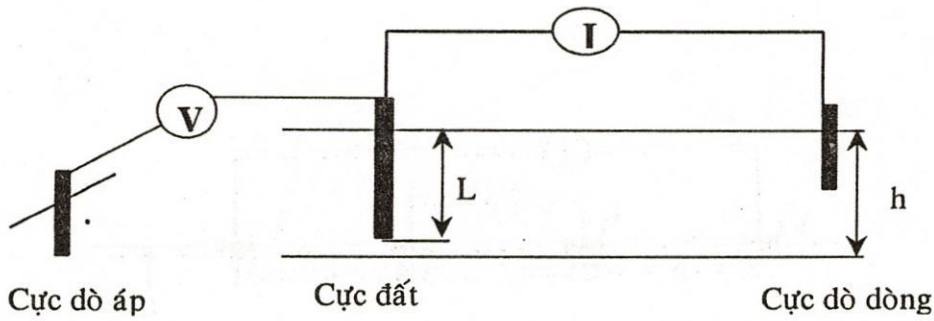
Hệ số phản xạ thực

$$\Gamma = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (3)$$

Hệ số Γ này thay đổi trong phạm vi từ $-0,9$ đến $+0,9$

b/- Phương pháp đóng cọc khi điện trở suất đất là thực:

Phương pháp này được thực hiện theo sơ đồ hình vẽ 2 - [4]:



Hình 2: Sơ đồ đo điện trở suất đất theo phương pháp đóng cọc

Phương pháp này về mặt nguyên lý tương tự như phương pháp Wenner. Người ta sử dụng một cọc đo (được gọi là cực đất) có chiều dài chôn trong đất là L , bán kính cọc là r_c . Một cọc thứ hai gọi là cực dò dòng, cọc thứ ba gọi là cực dò áp được đặt cách xa các cực khác là để giảm tối thiểu tác động nhiễu. Một nguồn dòng I được nối giữa cực đất và cực dò dòng sẽ tạo nên một dòng điện chạy trong đất. Tương tự như trên chúng ta sẽ đo được điện áp trên cực đất.

Điện trở cực đất:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{\rho_D}{2\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{r_c} \quad (4)$$

Điện trở suất của đất theo phương pháp đóng cọc được xác định như sau [2]:

i/- Trường hợp $L > h$

$$\rho_D = \frac{L \cdot \rho_1 \cdot \rho_2}{\rho_2 h + \rho_1 (L - h)} \cdot \left[1 + \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \Gamma^n \cdot \ln \left(\frac{2nh + L}{(2n - 2)h + L} \right)}{\ln \frac{4L}{d} - 1} \right] \quad (5)$$

L : chiều dài cọc [m].

d : đường kính cọc [m].

ii/- Trường hợp $L < h$:

$$\rho_D = \rho_1 \cdot \left[1 + \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Gamma^n}{2} \cdot \ln \left(\frac{nh + L}{nh - L} \right)}{\ln \frac{4L}{d} - 1} \right] \quad (6)$$

c/- Điện trở suất của đất hai lớp phụ thuộc tần số:

Theo [3] điện trở suất của từng lớp đất được tính như sau:

$$\rho_i(j\omega) = [\sigma_i(\omega) + j\omega \cdot \epsilon_i(\omega)]^{-1} \quad (7)$$

$$\rho_i(j\omega) = \rho_i(0) \cdot \left[1 - m_i \left(1 - \frac{1}{1 + (j\omega\tau_i)^{\zeta_i}} \right) \right] \quad (8)$$

+ $\rho_i(0)$ và $\rho_i(\infty)$ là những trị số giới hạn của điện trở suất của lớp đất thứ i tương ứng với tần số bằng 0 và ∞ , [Ωm].

+ τ_i là hằng số thời gian phục hồi phân cực của lớp đất thứ i [s].

+ ζ_i là chỉ số phương sai \Rightarrow nó bằng 1 với chất lỏng cực tính tinh khiết, với môi trường đất thì nó nằm trong khoảng từ 0,1 đến 0,6.

+ Hệ số m_i :

$$m_i = \frac{\rho_i(0) - \rho_i(\infty)}{\rho_i(0)} \quad (9)$$

Thay thế phương trình (8) vào (2) chúng ta có công thức Wenner ở dạng phức:

$$\rho_w(j\omega) = \rho_i(j\omega) \cdot \left(1 + 2y \sum_{n=1}^{\infty} [\Gamma(j\omega)]^n \cdot \mathfrak{R}(y, n) \right) \quad (10)$$

Ở đây : $y = \frac{a}{h}$ (11)

$$\mathfrak{R}(y, n) = \frac{1}{n} \left[\frac{1}{[1 + (y^2 / 4n^2)]^{1/2}} - \frac{1}{[1 + (y^2 / n^2)]^{1/2}} \right] \quad (12)$$

Hệ số phản xạ bây giờ có dạng phức như sau:

$$\Gamma(j\omega) = \frac{\rho_2(j\omega) - \rho_1(j\omega)}{\rho_2(j\omega) + \rho_1(j\omega)} \quad (13)$$

d/- Phương pháp đóng cọc khi điện trở suất đất là phức:

Tương tự như trên khi thay pt(8) vào (5) và (6) chúng ta có:

i/- Trường hợp $L > h$:

$$\rho_b(j\omega) = \frac{L \cdot \rho_1(j\omega) \cdot \rho_2(j\omega)}{\rho_2(j\omega) \cdot h + \rho_1(j\omega) \cdot (L - h)} \cdot \left[1 + \frac{\sum_{n=1}^{\infty} [\Gamma(j\omega)]^n \cdot \ln \left(\frac{2nh + L}{(2n - 2)h + L} \right)}{\ln \frac{4L}{d} - 1} \right] \quad (14)$$

ii/- Trường hợp $L < h$:

$$\rho_b(j\omega) = \rho_1(j\omega) \cdot \left[1 + \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \frac{[\Gamma(j\omega)]^n}{2} \cdot \ln \left(\frac{nh + L}{nh - L} \right)}{\ln \frac{4L}{d} - 1} \right] \quad (15)$$

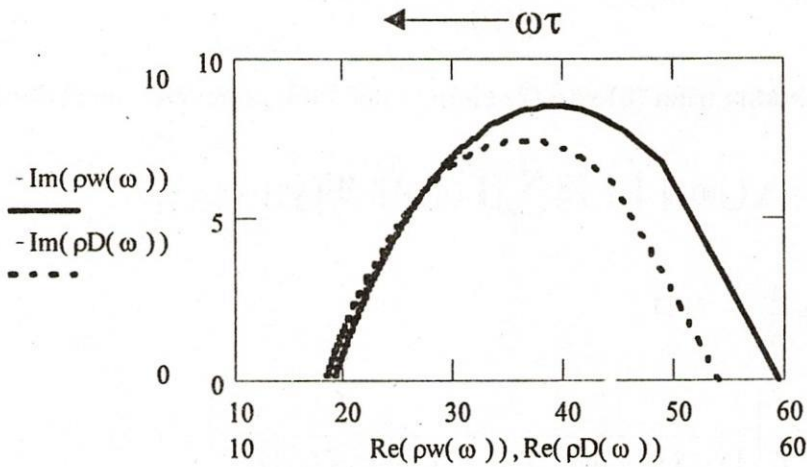
2/- KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Ví dụ: Cho $m_2 = [\rho_2(0) - \rho_2(\infty)] / \rho_2(0) = 0,8$. Chỉ số phương sai ζ_2 cho vùng đất bên dưới là 0,5 . $a = L = 10$ m và $h = 1,1$ m. Cho $\rho_1(j\omega) = \rho_1(0)$

Chúng ta có tỉ số điện trở suất DC của cả hai vùng là: $C = \frac{\rho_2(0)}{\rho_1(0)} = 0,1; 10$

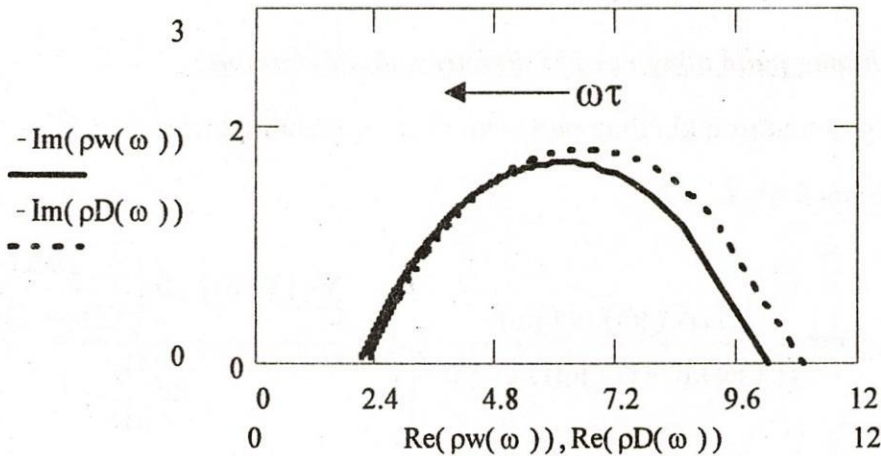
Với những giả thiết ở trên chúng ta sẽ vẽ được giá trị phức $\rho_w(j\omega)$ và $\rho_D(j\omega)$ trong mặt phẳng phức. Thông số $\omega\tau$ thay đổi từ $0 \rightarrow \infty$ ứng với mỗi giá trị của C.

Với $C = 10$:



Hình 3: Sự thay đổi của $\rho_w(\omega)$ và $\rho_D(\omega)$ khi $\rho_1(0) = 10\Omega m$ và $\rho_2(0) = 100\Omega m$

Với $C = 0.1$:



Hình 4: Sự thay đổi của $\rho_w(\omega)$ và $\rho_D(\omega)$ khi $\rho_1(0) = 100\Omega m$ và $\rho_2(0) = 10\Omega m$

Trong hai hình 3 và 4 chúng ta thấy điện trở suất bây giờ không phải là trị số thực nữa mà là một hàm phức thay đổi theo tần số. Ở tần số thấp các giá trị $\rho_w(j\omega)$ và $\rho_D(j\omega)$ chênh lệch nhau vào khoảng vài ba đơn vị, khi tần số tăng thì chúng gần bằng

nhau. Điều này khẳng định lại lần nữa tính tương đương của hai phương pháp và chúng thông thường được sử dụng để đo điện trở suất của đất.

3/ỨNG DỤNG

Khi thay đổi điện trở suất đất từ giá trị thực qua giá trị phức chúng ta sẽ thấy có rất nhiều vấn đề xảy ra đối với các thông số vật lý được trình bày như sau:

i/- Độ sâu p (độ sâu thâm nhập): Theo phương pháp dòng phản hồi (return current) [4], người ta đã đưa ra giả thiết coi dòng phản hồi tập trung trên một mặt phẳng tưởng tượng nằm song song và cách mặt đất một độ sâu phức có giá trị được tính như sau:

$$p(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{j\omega \cdot \mu_0 \cdot \rho^{-1}}} \quad (16)$$

Như thế khi chúng ta phát triển công thức (16) theo quan điểm mới về điện trở suất phức thì phương trình trên có dạng:

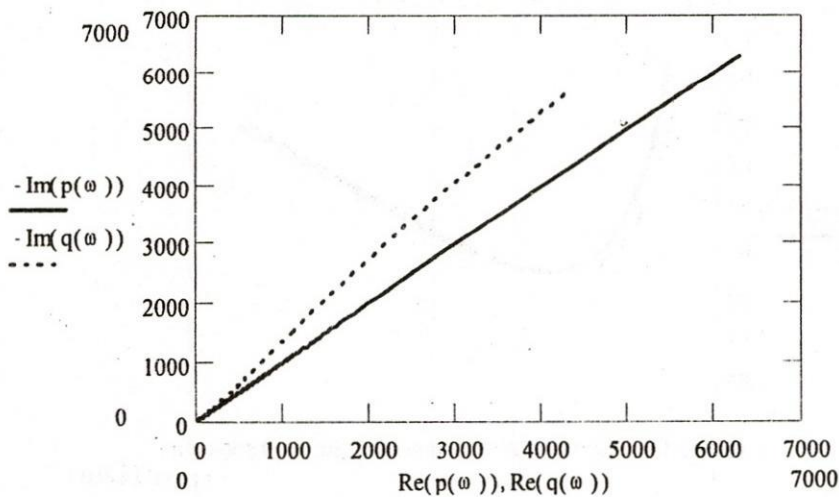
Với đất một lớp: thay thế (8) vào (16)

$$p(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{j\omega \cdot \mu_0 \cdot (\rho(j\omega))^{-1}}} \quad (17)$$

* Với đất hai lớp: chúng ta lần lượt thay điện trở suất biểu kiến từ (10), (14) và (15) vào (16)

$$p(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{j\omega \cdot \mu_0 \cdot (\rho_{w,D}(j\omega))^{-1}}} \quad (18)$$

Đặt hàm $p(\omega) = p(j\omega)$ theo pt(16) $q(\omega) = p(j\omega)$ theo pt(17)



Hình 5: Biểu diễn giá trị độ sâu phức theo pt(16) và (17)

Khi $f = 1\text{Hz}$ thì $p(2.\pi) = 2516 - j 2516$

$q(2.\pi) = 1366 - j 1877$

Khi $f = 50\text{ Hz}$ thì $p(100.\pi) = 355,88 - j 355,88$

$q(100.\pi) = 160,82 - j 182,56$

Khi $f \rightarrow \infty$ thì $p(\omega)$ và $q(\omega)$ tiến tới 0.

Từ ví dụ trên chúng ta nhận thấy khi tần số càng nhỏ thì giá trị của pt(16) và (17) khác nhau nhiều (có thể tới 10^3) và khi tần số càng lớn thì các giá trị của (16) và (17) gần bằng nhau và tiến tới 0.

ii/- Bán kính phóng điện trong đất:

Theo [5] bán kính của vùng ion hóa phóng điện trong đất do sét đánh vào mặt đất sẽ bằng:

$$r_0 = \sqrt{\frac{10^3}{2\pi \cdot e_0} \left(16\rho + \frac{2 \cdot 10^6}{\rho} \right)} \quad (19)$$

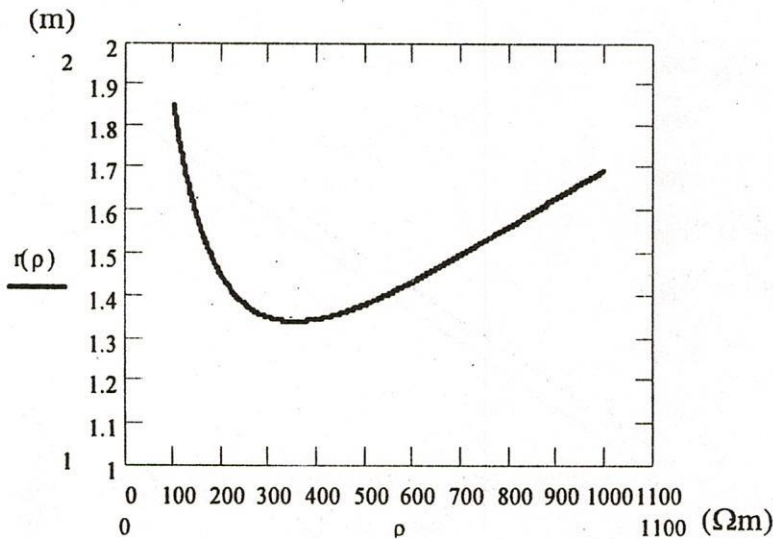
+ e_0 là gradient điện áp phóng điện ở trong đất.

Như vậy theo [5] bán kính vùng ion hóa trong đất (r_0) có giá trị không phụ thuộc tần số. Nhưng theo quan điểm điện trở suất phức, phụ thuộc tần số thì r_0 cũng có dạng hàm phức và thay đổi theo tần số nguồn.

Khi xem điện trở suất đất là hàm phức, theo tần số chúng ta có phương trình như sau:

$$r_0(j\omega) = \sqrt{\frac{10^3}{2\pi \cdot e_0} \left(16\rho \cdot (j\omega) + \frac{2 \cdot 10^6}{\rho \cdot (j\omega)} \right)} \quad (20)$$

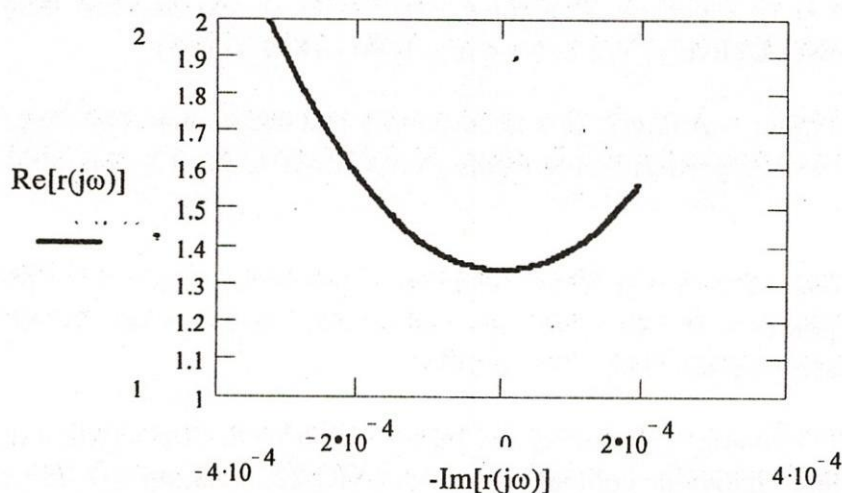
Trong đó ρ^* có thể được thay bằng ρ_P (pt(8) – Pelton), ρ_W (pt(10) – Wenner) hoặc ρ_D (pt(13) và (14) – phương pháp đóng cọc).



Hình 6: Đồ thị biểu diễn sự thay đổi của bán kính vùng ion hóa trong đất.

Hình 6 và 7 biểu diễn bán kính vùng ion hóa trong đất ở miền trị số thực và miền phức. Chúng ta nhận thấy phần thực của pt(20) so với giá trị tính từ pt(19) khác nhau từ vài centi mét đến vài mét tùy theo tần số nguồn. Khi tần số bằng không thì phần ảo

pt(20) triệt tiêu và phần thực đúng bằng giá trị theo pt(19), khi tần số nguồn tăng thì độ sai lệch này tăng.



Hình 7 - Bán kính vùng ion hóa trong đất ở dạng phức theo tần số (Ở đây ρ_p là hàm biến phức theo pt(8) và ρ_0 thay đổi từ 100 – 1000Ωm, tần số $\omega = 2,3 \cdot 10^6$ rad/s).

4/- KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng được các phương trình tính điện trở suất theo phương pháp Wenner và phương pháp đóng cọc về dạng hàm phức phụ thuộc theo tần số và thời gian phục hồi phân cực đất. Từ đó cho thấy sự thay đổi của các giá trị điện trở suất này trong mặt phẳng phức và dẫn đến nhiều ứng dụng cụ thể trong kỹ thuật điện như: độ sâu phức (vì nó có ảnh hưởng tới biên độ điện từ trường cảm ứng tĩnh điện của các đường dây siêu cao áp - cực cao áp) và bán kính vùng ion hóa trong đất.

ANALYSIS OF TWO RESISTIVITY MEASUREMENT METHODS OF TWO-LAYER EARTH AS A COMPLEX FUNCTION

Hoang Viet - Vu Phan Tu

ABSTRACT: Via two common earth resistivity measurement methods, i.e. the Wenner method and the driven rod method. This paper develops a new thesis on earth resistivity as a complex function which not only varies itself with the frequency ω and the relaxation time constant τ , but also has its parameters σ and ϵ varying with ω in the shape $\rho(j\omega) = [\sigma(\omega) + j\omega \cdot \epsilon(\omega)]^{-1}$. Results of the analysis are presented on diagrams and may be applied in a number of specific cases.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] - J.L.Delalano – A comparison among eight different techniques to achieve an optimum estimation of electrical grounding parameters in two-layered earth. IEEE Transaction on power Delivery, Vol.8, No.4, pp. 1890 – 1899. (1993)
- [2] - C.J. Blatiner – Analysis of soil resistivity test methods in two-layer earth – IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-104, No.12, pp. 3603 – 3608. (1985).
- [3] – J.A.Kong – Progress in Electromagnetics Research – Elsevier (1988). [4] – A.P Sakis Meliopoulos – Power system grounding and transients (an introduction) – New York and Base: Marsel Dkker, Inc., (1988).
- [5] - His-Tien-Chang – Protection of buried cable from direct lightning strike – IEEE Trans on electromagnetic compatibility, Vol.EMC-22, No.3, pp 157-160. (1980).
- [6]-Rolf Muller–VEM Handbuch Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Berührungsspannung in Niederspannungsanlagen – (1970). (Tiếng Đức).
- [7]-Jiri George Sverak – Progress in Step and Touch Voltage Equation of ANSI/IEEE Std 80 – Historical Perspective - IEEE Trans on Power Delivery, Vol.13, No.3, pp 762 - 767.(1998).
- [8]– J.M. Nahman – Maximum Step Voltages of Combined Grid - Multiple Rods Ground Electrodes – IEEE Trans Power Delivery Vol.13, No.3, pp. 757 – 767. (1998).
- [9]– Farid P.Dawalibi – Efficient Ground Grid Designs in Layered Soils – IEEE Trans on power Delivery, Vol.13, No.3, pp. 745 – 756. (July 1998).
- [10]– Leonid D. Grcev and Markus Heimbach – Frequency Dependent and Transient Characteristics of Substation Grounding Systems – IEEE Trans on Power Delivery – Vol.12, No.1, pp. 172 – 178. (1997).
- [11]–Markus Heimbach and Leonid D.Grcev – Grounding System Analysis in Transients Programs Applying Electromagnetic Field Approach – IEEE Trans on Power Delivery – Vol.12, No.1, pp. 186 – 192. (1997).