

XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ SỰ CỐ TRÊN ĐƯỜNG DÂY TRUYỀN TẢI 220kV NHÀ BÈ – TAO ĐÀN BẰNG BIẾN ĐỔI WAVELET

Nguyễn Xuân Bình⁽¹⁾, Vũ Phan Tú⁽²⁾

(1) Công ty Cổ phần Tư vấn Xây dựng Điện 2

(2) Trường Đại học Bách khoa (VNU-HCM)

TÓM TẮT

Xác định vị trí sự cố trên đường dây truyền tải, đặc biệt là đường dây kết hợp trên không và cáp ngầm, là một vấn đề quan trọng trong vận hành hệ thống điện. Trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu việc áp dụng biến đổi wavelet cho việc xác định vị trí sự cố trên đường dây truyền tải cao áp kết hợp trên không và cáp ngầm. Các thành phần của sóng quá độ tại đầu đường dây bị sự cố được mô phỏng bằng phần mềm MATLAB Simulink. Các sóng này được phân tích thành các hệ số xấp xỉ và chi tiết bằng việc sử dụng phép biến đổi wavelet tinh kết hợp kỹ thuật khử nhiễu bậc cao, phương pháp này có ưu điểm là xác định chính xác thời gian sóng quá độ truyền từ điểm sự cố về đầu đường dây. Nhằm đánh giá khả năng áp dụng và tính hiệu quả của cách phương pháp này, chúng tôi đã áp dụng nó cho đường dây trên không kết hợp cáp ngầm [4] và đường dây thực tế 220kV Nhà Bè – Tao Đàn tại thành phố Hồ Chí Minh (Việt Nam)

Từ khóa: đường dây truyền tải, wavelet, vị trí sự cố

*

1. Giới thiệu

Hệ thống cáp ngầm là một trong những thành phần chính của một hệ thống điện hiện đại, vì nó đã thể hiện nhiều ưu điểm nổi bật so với hệ thống truyền tải điện bằng đường dây trên không như: độ tin cậy cao, an toàn, có thể được sử dụng trong trường hợp gặp khó khăn về hướng tuyến, hành lang an toàn, tạo vẻ mỹ quan cho thành phố... Tuy nhiên, các hệ thống cáp ngầm cũng còn tồn tại những khuyết điểm như: chi phí đầu tư lớn, thời gian thi công lâu, khả năng mang tải kém... Chính vì những lí do trên, việc vận hành một hệ thống cáp ngầm đảm bảo độ tin cậy cao, an

toàn và ổn định luôn là sự mong đợi và ưu tiên hàng đầu của các Công ty Điện lực và Truyền tải Điện. Việc xác định vị trí ngắn mạch trên đường dây truyền tải có thể chia làm các trường phái chính như sau:

Phương pháp tổng trở: đặt cơ sở trên việc đo tổng trở từ đầu relay đến vị trí sự cố, với giả thiết là tổng trở tỉ lệ với khoảng cách tới điểm xảy ra sự cố, cho việc xác định vị trí sự cố. Phương pháp này phụ thuộc vào việc đo tần số công nghiệp và các thành phần tác động đến tần số như điện trở ngắn mạch, tải của đường dây, thông số nguồn... Do đó, mức độ chính xác của phương pháp cũng có giới hạn –[1].

Phương pháp truyền sóng: kĩ thuật sóng truyền chính xác hơn do không phụ thuộc vào điện trở ngắn mạch, phụ tải và các thông số nguồn trước sự cố. Đến nay đã có nhiều nghiên cứu dựa trên cơ sở phương pháp truyền sóng như Zeng Xiangjun *et al.* [2], vị trí sự cố được tính bằng thời gian sóng đến các đầu đường dây, V. Šiožinyš [3] xác định vị trí sự cố dựa vào sự khác biệt thời gian giữa sóng phản xạ và khúc xạ. Biến đổi wavelet tín hiệu quá độ do sự cố tạo ra được trình bày trong [5]-[7]. Trong [8]-[9], việc sử dụng phương pháp biến đổi wavelet kết hợp mạng nơron nhân tạo (ANNs) để huấn luyện cũng đang được phát triển. Kurt J. Ferreira và Alexander E. Emanuel [10] dùng thiết bị cảm biến từ trường làm thiết bị đo lường thay thế cho việc xác định vị trí sự cố. Cùng với sự phát triển nhanh chóng của ngành công nghệ máy tính, vi xử lí... các thuật toán dựa trên những kĩ thuật tính toán hiện đại ngày càng mạnh mẽ và chính xác hơn.

Trong bài báo này, chúng tôi sẽ áp dụng phương pháp biến đổi wavelet tính kết hợp giải thuật khử nhiễu bậc cao [5] để xác định được chính xác tín hiệu sóng quá độ và thời gian truyền sóng từ vị trí sự cố đến đầu đường dây. Các sóng quá độ được mô phỏng bằng phần mềm MATLAB Simulink. Kết quả mô phỏng sử dụng phương pháp đề xuất được so sánh với kết quả trong [4] và dữ liệu thực tế của đường dây trên không kết hợp cáp ngầm 220kV Nhà Bè – Tao Đàn.

2. Phép biến đổi wavelet

2.1. Biến đổi wavelet rời rạc (Discrete wavelet transform-DWT)

Tổng quát, cho một hàm $f(t)$, biến đổi wavelet liên tục (Continuous wavelet transform – CWT) của nó được biểu diễn như sau:

$$CWT_{\tau,d}(t) = \frac{1}{\sqrt{d}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot W^* \left(\frac{t-\tau}{d} \right) dt \quad (1)$$

ở đây, d được gọi là hệ số co giãn (scale), τ là hệ số dịch chuyển (translation), $W_{d,\tau}(t)$ là hàm ‘wavelet mẹ’, và ký hiệu $*$ là liên hợp phức. Hàm wavelet mẹ được cho bởi phương trình, hệ số $\frac{1}{\sqrt{d}}$ được nhân vào để bảo toàn chuẩn L_2 .

Đối với các tín hiệu số, biến đổi wavelet rời rạc được biểu diễn như sau:

$$DWT_{m,n}(t) = \frac{1}{\sqrt{d_0^m}} \sum_n f(n) W \left(\frac{t - n\tau_0 d_0^m}{d_0^m} \right) \quad (2)$$

ở đây, hệ số co giãn và hệ số dịch chuyển tại (1) được thay thế bằng d_0^m và $n\tau_0 d_0^m$; m và n là các số nguyên.

Các hệ số wavelet (Wavelet-transform coefficients - WTC) được cho bởi một tích nội như sau:

$$WTC_{d,\tau} = \int_0^{\infty} f(t) CWT'_{d,\tau}(t) dt \quad (3)$$

Đa số các hàm được biểu diễn như sự kết hợp tuyến tính hữu hạn các phép dịch chuyển và co giãn của một hàm wavelet mẹ.

2.2. Biến đổi wavelet tĩnh (Stationary wavelet transform-SWT)

Biến đổi wavelet tĩnh SWT được mô tả tại mỗi bậc, khi bộ lọc thấp và cao được áp dụng lên dữ liệu, hai chuỗi dữ liệu mới sẽ có cùng độ dài với các chuỗi gốc ban đầu. Để dữ liệu gốc không bị làm giảm đi, bộ lọc tại mỗi bậc sẽ điền thêm zero vào các chuỗi dữ liệu. Biến đổi wavelet tĩnh được phát triển tiếp theo từ biến đổi wavelet rời rạc như sau [5].

Giả thiết một hàm $f(t)$ được chiếu tại mỗi bước n trên tập con V_n ($\dots \subset V_3 \subset V_2 \subset V_1 \subset V_0$), và nếu hàm $\varphi(t)$ là hàm wavelet thì các hệ số wavelet được tính toán bởi

$$\omega_{n,k} = \langle f(t), 2^{-n} \varphi(2^{-n}t - k) \rangle \quad (4)$$

ở đây $\omega_{n,k}$ được gọi là tín hiệu chi tiết rời rạc tại độ phân giải 2^n .

Các tích vô hướng $\langle f(t), 2^{-(n+1)} \varphi(2^{-(n+1)}t - k) \rangle$ được tính toán với

$$\omega_{n+1,k} = \sum_m g(m-2k) c_{n,m} \quad (5)$$

$$c_{n+1,k} = \sum_m h(m-2k) c_{n,m} \quad (6)$$

ở đây $g(m)$ là bộ lọc cao, $h(m)$ là bộ lọc thấp.

Phương trình (5) và (6) chính là thuật toán đa phân giải trong biến đổi wavelet rời rạc truyền thống. Trong phép biến đổi này, giải thuật giảm mẫu được sử dụng để thực hiện phép biến đổi. Nghĩa là hai mẫu thì giữ lại một trong quá trình biến đổi. Do đó, toàn bộ chiều dài của hàm $f(t)$ sẽ giảm còn một nửa sau phép biến đổi. Do vậy, trong biến đổi tinh cần phải sử dụng kỹ thuật tăng số mẫu, nghĩa là khoảng cách giữa các mẫu tăng lên gấp đôi sau mỗi bước. Tỷ lệ $c_{n+1,k}$ được cho bởi [5]

$$c_{n+1,k} = \sum_l h(l) c_{n,k+2^n l} \quad (7)$$

và hệ số của hàm wavelet rời rạc là

$$\omega_{n+1,k} = \sum_l g(l) c_{n,k+2^n l} \quad (8)$$

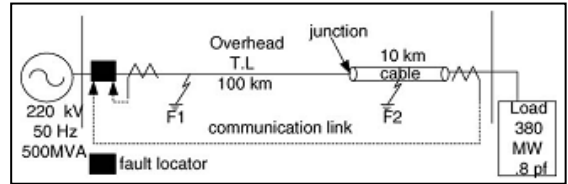
ở đây l là chiều dài hữu hạn.

3. Kết quả tính toán

3.1. Khảo sát đoạn cáp ngầm trong [4]

Trong phần này, chúng tôi kiểm chứng khả năng ứng dụng và tính hiệu quả của phương pháp biến đổi wavelet kết hợp khử nhiễu bậc cao cho một mô hình đường dây kết hợp trên không và cáp ngầm như trên hình 1 [4]. Ở đây chúng tôi chỉ khảo sát phần sự cố xảy ra tại một số vị trí trên đoạn cáp ngầm. Các kết quả tính toán được

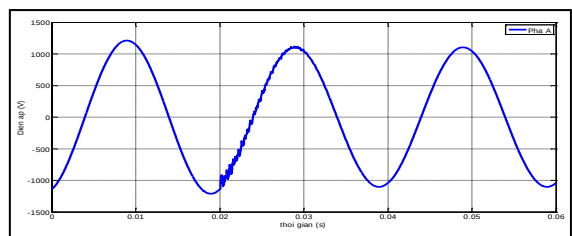
so sánh với kết quả thu được bằng việc giải phương trình sóng được giới thiệu trong [4].



Hình 1: Mô hình đường dây hỗn hợp trên không và cáp ngầm.

Giả thiết rằng sự cố pha A chạm đất, tại vị trí $x = 8\text{km}$ tính từ đầu nhận. Để xác định vị trí sự cố bằng biến đổi wavelet và khử nhiễu bậc cao. Chúng tôi tách tín hiệu điện áp pha A tại đầu phát như trên hình 2.

Tín hiệu quá độ bao giờ cũng có rất nhiều tín hiệu bất thường. Tuy nhiên, đối với bài toán xác định vị trí ngắn mạch chỉ có thông tin quá độ tại một tần số nhất định là có ý nghĩa, do đó, chúng ta xem những tín hiệu không cần thiết này là nhiễu. Với thuật toán mới để lọc nhiễu này, tín hiệu phản hồi từ vị trí ngắn mạch sẽ được xác định. Giải thuật này dựa trên những hệ số tương quan có được do phép biến đổi Wavelet với nhiều cấp phân giải.



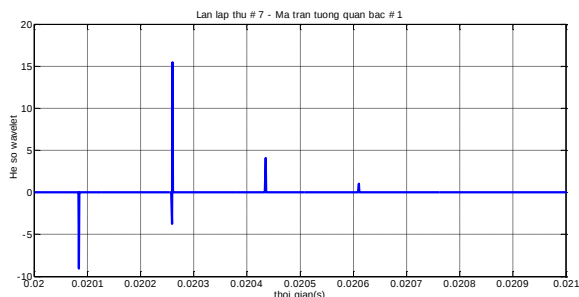
Hình 2: Sóng điện áp pha A tại đầu nhận khi sự cố xảy ra tại $x = 8\text{km}$ tính từ đầu nhận.

Trong xử lý phân tích wavelet, sóng điện áp quá độ pha A như trên hình 4. sẽ được phân tích thành hai nhóm chính là nhóm các hệ số xấp xỉ và nhóm các hệ số chi tiết. Chúng ta sử dụng các hệ số xấp xỉ cho việc nhận biết việc xảy ra ngắn mạch, và sử dụng các hệ số chi tiết để xác định vị trí điểm ngắn mạch với giải thuật sau đây:

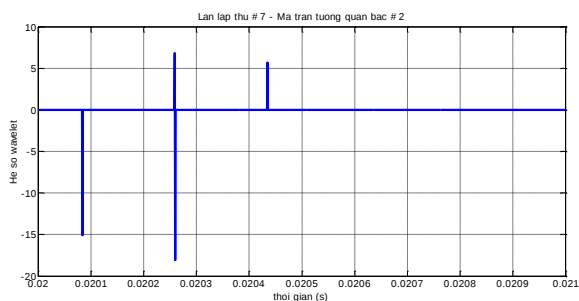
- Khi phát hiện ra có hiện tượng ngắn mạch, thành phần sóng điện áp pha bị sự cố sẽ được tách ra (hình 2.) và thực hiện biến đổi wavelet tĩnh sử dụng hàm sóng *Daubechies*, bậc biến đổi bậc 4 (db4). Theo thuật toán biến đổi wavelet tĩnh kết hợp với lọc nhiễu bậc cao [5], trên pha A, chúng ta có các hệ số xấp xỉ A_1, A_2, A_3, A_4 và hệ số chi tiết D_1, D_2, D_3, D_4 .

- Thành lập ma trận tương quan Correlation từ các ma trận hệ số chi tiết D_1, D_2, D_3, D_4 . Kết quả tạo thành ma trận Correlation mới lần 3. Với $P_{D1} = \Sigma D_1^2$, $P_{Corr1} = \Sigma Corr_1^2$, n là giá trị bậc lặp. Ban đầu cho $n=1$, nếu sau khi tính toán ma trận tương quan, kết quả chưa đủ để xác định vị trí ngắn mạch, giá trị n tăng thêm 1.

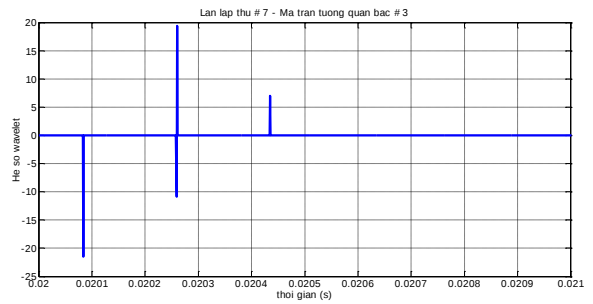
Trong ví dụ này [4], để đủ tín hiệu xác định thời gian sóng phản xạ, cần tăng giá trị tham số n . Với $n=7$, chúng ta được các ma trận tương quan như hình 3 đến hình 6.



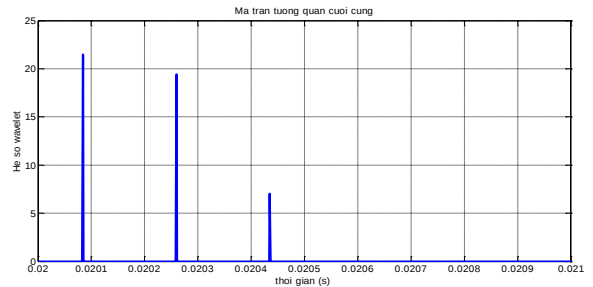
Hình 3: Xử lý lọc nhiễu với ma trận tương quan bậc 1.



Hình 4: Xử lý lọc nhiễu với ma trận tương quan bậc 2.



Hình 5: Xử lý lọc nhiễu với ma trận tương quan bậc 3.



Hình 6: Xử lý lọc nhiễu với ma trận tương quan sau cùng.

Hình 6 cho thấy kết quả tín hiệu cuối cùng sau khi đã qua các giai đoạn khử nhiễu bậc cao. Từ đó chúng ta có thể xác định được hai thời điểm xuất hiện xung đầu tiên và xung phản hồi lại lần thứ hai là t_{p1} và t_{p2} , tương ứng (trong hình trên $t_{p1}=0.020080s$ và $t_{p2}=0.020260$). Như vậy, vị trí xảy ra sự cố trên đường dây được tính bằng công thức sau:

$$x_{tinhtoan} = l - \frac{v(t_{p2} - t_{p1})}{2} \quad (9)$$

Trong đó, l là chiều dài đường dây, v là vận tốc truyền sóng.

Sai số giữa giá trị tính toán và giá trị thực tế được tính bằng công thức như sau:

$$Saiso\% = \frac{|x_{tinhtoan} - x_{thucte}|}{l} \times 100 \quad (10)$$

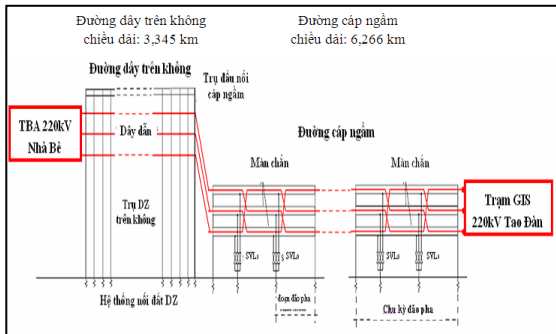
Việc lấy thông tin từ một đầu cuối và xử lý dễ dàng và chính xác hơn, tránh được những sai số do thiết bị và sự đồng bộ thông tin từ hai đầu như trong phương pháp phương trình Telegrapher.

Bảng 1: So sánh kết quả tính toán và dữ liệu trong [4]

TT	Vị trí ngắn mạch tính từ đầu nhận (km)	Vị trí ngắn mạch tính toán (km)	Sai số (%)	Sai số bài báo [4] (%)
1	8	7.9792	0.208	0.192
2	5.8	5.7906	0.094	1.038
3	4	4.0124	0.124	1.120
4	2.5	2.5077	0.077	1.643
5	0.9	0.9119	0.119	1.325
6	0.5	0.4560	0.440	0.301

Kết quả thu được cho thấy phương pháp áp dụng trong bài báo này có sai số rất thấp. Đặc biệt, khi sự cố xảy ra ở khoảng giữa tuyến cáp ngầm thì phương pháp đạt độ chính xác cao hơn so với [4]. Khi sự cố xảy ra ở 2 đoạn phía đầu cáp ngầm thì sai số thu được cao hơn mức trung bình do lúc này sóng phản xạ rất nhanh nên phương pháp Wavelet xử lý không đạt độ chính xác bằng khi sự cố ở khoảng giữa tuyến cáp.

3.2. Khảo sát đường dây thực tế 220kV Nhà Bè - Tao Đàn



Hình 7: Sơ đồ đường dây 220kV
Nhà Bè – Tao Đàn.

Đường dây 220kV Nhà Bè – Tao Đàn
truyền tải công suất từ trạm biến áp 500kV

Nhà Bè về trạm biến áp 220kV Tào Đàn, bao gồm đoạn đường dây trên không nối tiếp đoạn cáp ngầm, có cấu trúc như hình 7.

Kết quả tính toán mô phỏng sự cố đường dây trên không kết hợp cáp ngầm 220kV Nhà Bè – Tao Đàn bằng phương pháp Wavelet có lọc nhiễu bậc cao đường trình bày trong bảng 2.

**Bảng 2: Kết quả tính toán trên đường dây 220kV
Nhà Bè – Tao Đàn**

STT	Vị trí gần mạch tới đầu nhận (km)	Vị trí gần mạch tính toán (km)	Sai số (%)
1	1.000	0.9575	0.4422
2	2.000	2.0062	0.0645
3	2.700	2.6901	0.1030
4	4.000	4.0124	0.1290
5	5.000	4.9699	0.3132
6	5.700	5.6994	0.0062
7	7.266	7.254	0.1249
8	7.766	7.8433	0.8043
9	8.766	8.7271	0.4047

4. Kết luận

Việc áp dụng biến đổi wavelet với lọc nhiễu bậc cao để xác định chính xác vị trí sự cố trên đường dây truyền tải kết hợp trên không và cáp ngầm áp dụng cho đường dây giả định trong [4] và đường dây 200kV thực tế Nhà Bè – Tao Đàn cho thấy phương pháp đề nghị có độ chính xác rất cao khi so sánh với các phương pháp truyền sóng truyền thống. Đây là kết quả rất mong muốn, có ý nghĩa để áp dụng vào thực tế giúp cho việc nâng cao công tác quản lý vận hành hệ thống đường dây truyền tải.

✻

FAULT LOCATION IN THE 220kV NHA BE - TAO DAN TRANSMISSION LINE USING WAVELET TRANSFORM

Nguyen Xuan Binh⁽¹⁾, Vu Phan Tu⁽²⁾

(1) Powe Engineering Consulting Joint Stock Company I

(2) *University Of Technology (VNU-HCM)*

ABSTRACT

Fault location identification of high-voltage transmission line, especially an over-head line combined with an underground power cable, is an important issue in power system operation. In this paper, we study the application of wavelet transform to locate the fault position of combined high-voltage transmission line with underground power cable. The components of the transient wave at one terminal of the faulted line are simulated by MATLAB Simulink. These components will be analyzed into approximation and detail coefficients by using stationary wavelet transformation combined with high-degree noise reduction technique. This approach gives the exact time of transient wave for traveling from fault position to the terminals of the lines. To evaluate the applicability and effectiveness of this new approach, we have applied this method for a transmission line that combined with overhead line and underground cable in reference and the actual transmission line 220kV Nha Be - Tao Dan in Vietnam .

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Heng-xu Ha, Bao-hui Zhang, and Zhi-lai Lv, “A Novel Principle of Single-Ended Fault Location Technique for EHV Transmission Lines,” *Transactions on Power Delivery*, vol. 18, no. 4, pp.1147-1151, October 2003.
- [2] Zeng Xiangjun; Li, K.K.; Liu Zhengyi; Yin Xianggen, “Fault Location Using Traveling Wave for Power Networks”, *IEEE Transactions On Power Delivery*, Vol. 4, Oct. 2004.
- [3] V. ĭożinys, “Transmission Line Fault Distance Measurement based on Time Difference between Travelling Wave Reflection and Refraction”, *Electronics and Electrical Engineering*, No. 2(98), 2010.
- [4] El Sayed Tag El Din, Mohamed Mamdouh Abdel Aziz, Doaa khalil Ibrahim, Mahmoud Gilany, “Fault Location Scheme for Combined Overhead Line With Underground Power Cable”, *Electric Power Systems Research* 76 (2006).
- [5] C.K. Jung, J.B. Lee, X.H. Wang, Y.H. Song, “Wavelet Based Noise Cancellation Technique for Fault Location on Underground Power Cables,” *Electric Power Systems Research* 77, pp.1349-1362, 2007.
- [6] M.da Silva, D.V. Coury, M. Oleskovicz, E .C. Segatto, “Combined solution for fault location in three terminal lines based on wavelet transforms,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, Vol. 4, Iss. 1, pp. 94–103, 2010.
- [7] Zhengyou He, Ling Fu, Sheng Lin, and Zhiqian Bo, “Fault Detection and Classification in EHV Transmission Line Based on Wavelet Singular Entropy,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 25, no. 4, pp.2156-2163, October 2010.
- [8] Jamal Moshtagh R. K. Aggarwal, “A New Approach to Ungrounded Fault Location in A Three-Phase Underground Distribution System Using Combined Neural Networks & Wavelet Analysis”, *IEEE CCECE/CCGEI*, Ottawa, May 2006.
- [9] C.K. Jung , K.H. Kim, J.B. Lee and Bernd Kluckl, “Wavelet and Neuro-Fuzzy Based Fault Location for Combined Transmission Systems”, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, Vol.29, January 2007.
- [10] Kurt J. Ferreira, and Alexander E. Emanuel, “A Noninvasive Technique for Fault Detection and Location”, *IEEE Transactions On Power Delivery*, Vol. 25, No. 4, October 2010.
- [11] Mahmoud Gilany, Doaa khalil Ibrahim, and El Sayed Tag Eldin, “Travelling-Wave-Based Fault-Location Scheme for Multiend-Aged Underground Cable System”, *IEEE Transactions On Power Delivery*, Vol. 22, No. 1, January 2007.