

NHẬN DẠNG VÀ PHÂN LOẠI CÁC HIỆN TƯỢNG QUÁ ĐỘ TRÊN HỆ THỐNG ĐIỆN BẰNG MẠNG NƠRON KẾT HỢP VỚI PHÂN TÍCH WAVELET

Nguyễn Hữu Phúc ⁽¹⁾, Nguyễn Tấn Đồi ⁽²⁾

⁽¹⁾ Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM

⁽²⁾ Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật Tp. Hồ Chí Minh

(Bài nhận ngày 23 tháng 11 năm 2005, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 03 tháng 03 năm 2006)

TÓM TẮT: Bài báo giới thiệu phương pháp nhận dạng và phân loại các hiện tượng quá độ trên hệ thống điện bằng cách sử dụng mạng nơron kết hợp với kỹ thuật phân tích wavelet đa phân giải. Các tín hiệu quá độ được mô phỏng bằng phần mềm ATP-EMTP và Matlab, gồm các hiện tượng: sụt điện áp, tăng điện áp, họa tần, chập chờn điện áp, gián đoạn điện áp, quá độ khi đóng cắt trạm tụ bù. Áp dụng định lý Parseval vào kỹ thuật phân tích wavelet đa phân giải sẽ trích ra được các đặc trưng của từng tín hiệu quá độ. Mạng nơron xác suất được sử dụng để nhận dạng nhanh và phân loại từng tín hiệu quá độ. Phương pháp đề xuất đã phân loại một cách hiệu quả các tín hiệu trên.

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay chất lượng điện năng đang được quan tâm rất nhiều ở các nước đã và đang phát triển. Người tiêu dùng không những yêu cầu được cấp điện liên tục mà còn đòi hỏi nguồn điện “sạch”, đảm bảo chất lượng, không ảnh hưởng tới các thiết bị. Các hiện tượng quá độ xảy ra trên hệ thống điện sẽ gây ra các thay đổi về biên độ và tần số của điện áp nguồn. Các thay đổi trên điện áp nguồn cung cấp sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng điện năng, làm giảm chất lượng nguồn điện sử dụng. Nhận biết các nguyên nhân gây ra thay đổi điện áp hệ thống sẽ giúp cải thiện rất lớn vấn đề chất lượng điện năng. Đặc biệt, phân loại nhanh và chính xác các tín hiệu quá độ sẽ giúp người vận hành hệ thống có những phương pháp thích hợp nâng cao chất lượng điện năng. Đã có những bài báo [1], [2], [3] [4] trình bày cách nhận dạng các tín hiệu quá độ dựa vào phân bố các mức năng lượng của tín hiệu thông qua phân tích wavelet đa phân giải, phân loại kết hợp giữa mạng nơron và phân tích wavelet, hoặc phân loại thông qua tập luật của logic mờ và phân tích wavelet.

Như vậy, có thể sử dụng kỹ thuật biến đổi wavelet để trích các đặc trưng năng lượng của tín hiệu, sau đó kết hợp với các kỹ thuật trí tuệ nhân tạo để tạo thành bộ phân loại hiệu quả. Tuy nhiên có 2 vấn đề cần quan tâm ở đây:

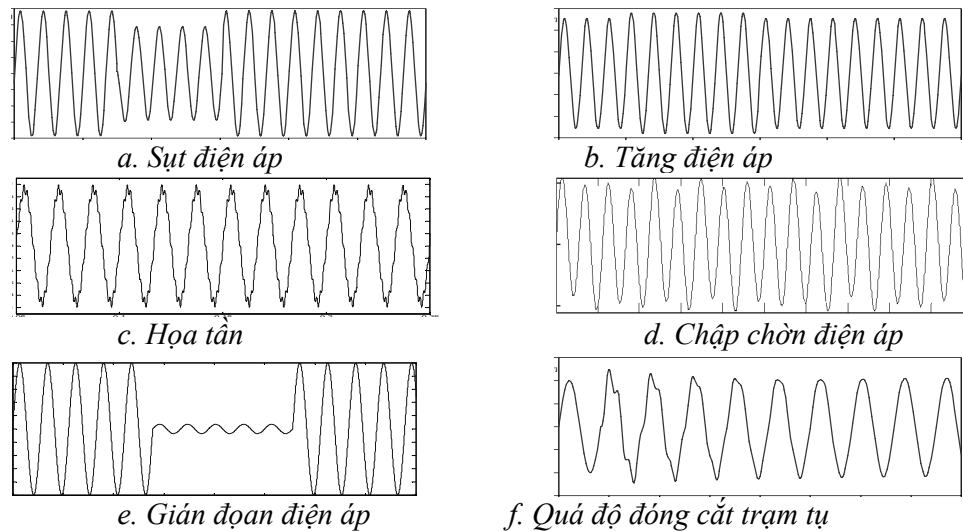
- Sử dụng các hệ số biến đổi wavelet sẽ tạo ra dữ liệu rất lớn, tốn nhiều thời gian.
- Cấp độ phân tích và các mẫu đặc trưng cần được giảm bớt để tăng hiệu quả tính toán nhưng phải đảm bảo độ chính xác khi nhận dạng.

Bài báo này trình bày bộ phân loại được kết hợp giữa kỹ thuật phân tích wavelet đa phân giải và mạng nơron xác suất. Việc áp dụng định lý Parseval sẽ làm giảm đáng kể các mẫu đặc trưng của tín hiệu. Tốc độ học rất nhanh của mạng nơron sẽ phù hợp cho việc phân loại và chẩn đoán sự cố trong thời gian thực.

Trong bài báo, 70 tín hiệu quá độ là dữ liệu huấn luyện cho mạng nơron và 21 tín hiệu khác là dữ liệu để thử nghiệm cho bộ phân loại. Các tín hiệu này được mô phỏng dựa trên phần mềm ATP – EMTP, sau đó toàn bộ các dữ liệu được chuyển qua Matlab. Các kết quả thí nghiệm bằng số cho thấy phương pháp được đề xuất phân loại một cách hiệu quả các tín hiệu quá độ.

2. CÁC TÍN HIỆU QUÁ ĐỘ TRÊN HỆ THỐNG ĐIỆN

Ngoài tín hiệu sóng sin chuẩn, bài báo giới thiệu 6 tín hiệu quá độ được nghiên cứu nhận dạng và phân loại. Các tín hiệu này có được bằng cách mô phỏng quá độ các mạch trên phần mềm ATP – EMTP. Dạng sóng thu được của các tín hiệu này như Hình 1.



Hình 1. Dạng sóng các tín hiệu quá độ

3. KỸ THUẬT WAVELET TRONG PHÂN TÍCH CÁC NHIỄU CỦA LƯỚI ĐIỆN

Kỹ thuật phân tích wavelet đa phân giải được sử dụng để trích các đặc trưng từ các dạng sóng nhận được. Ngoài ra, phân bố năng lượng của thành phần chi tiết của tín hiệu được tính bằng định lý Parseval để lấy các đặc trưng của tín hiệu.

3.1. Phân tích wavelet đa phân giải

Đặc tính chính của biến đổi wavelet rời rạc là kỹ thuật phân tích đa phân giải. Kỹ thuật này được dùng để phân tích một tín hiệu ban đầu thành nhiều tín hiệu con với các cấp phân giải (các tỉ lệ) khác nhau.

Biểu diễn toán học của phân tích wavelet đa phân giải như sau:

$$V_j = W_{j+1} \oplus V_{j+1} = W_{j+1} \oplus W_{j+2} \oplus W_{j+3} \oplus \dots \oplus W_{j+n} + V_n \quad (1)$$

- V_{j+1} là thành phần xấp xỉ của tín hiệu ở tỉ lệ $j+1$.
- W_{j+1} là thành phần chi tiết của tín hiệu ở tỉ lệ $j+1$.
- \oplus ký hiệu cho tổng của 2 tín hiệu đã phân tích.
- n là cấp phân tích.

Giả sử tín hiệu $x_j[t]$ được lấy mẫu theo các khoảng thời gian như nhau, với số lượng mẫu là $N=2^J$, J là số nguyên, thì: $x_j[t] = (v_0, v_1, \dots, v_{N-1})$.

Biểu diễn toán học biến đổi wavelet rời rạc của $x_j[t]$ là:

$$x_j[t] = \sum_k x_j[t] \cdot \phi_{j,k}[t] \quad \text{với } \phi(t) \text{ là hàm tỉ lệ.} \quad (2)$$

3.2 Định lý Parseval

Nếu một tín hiệu rời rạc $x[n]$ là dòng điện chạy qua điện trở 1Ω thì năng lượng tiêu thụ của điện trở này bằng tổng bình phương các hệ số của biến đổi Fourier trong miền tần số.

Với N là chu kỳ lấy mẫu, a_k là các hệ số biến đổi Fourier:

$$\frac{1}{N} \sum_{n=\langle N \rangle} |x[n]|^2 = \sum_{k=\langle N \rangle} |a_k|^2 \quad (3)$$

Ap dụng định lý này vào biến đổi wavelet rời rạc, kết hợp các phương trình (2) và (3) sẽ nhận được:

$$\frac{1}{N} \sum_t |x[t]|^2 = \frac{1}{N_j} \sum_k |u_{j,k}|^2 + \sum_{j=1}^J \frac{1}{N_j} \sum |w_{j,k}|^2 \quad (4)$$

Như vậy, bằng phép biến đổi wavelet rời rạc, năng lượng của tín hiệu quá độ được biểu diễn theo (4).

- Số hạng thứ nhất về phải của (4) biểu diễn công suất trung bình của thành phần xấp xỉ của tín hiệu.
- Số hạng thứ hai biểu diễn công suất trung bình của thành phần chi tiết của tín hiệu. Số hạng này biểu diễn các đặc trưng trong phân bố năng lượng của thành phần chi tiết của tín hiệu. Nó được chọn để lấy ra các đặc trưng của công suất tín hiệu quá độ.

3.3. Chọn các đặc trưng của tín hiệu:

Khi xảy ra hiện tượng quá độ bất kỳ, tín hiệu công suất trên hệ thống sẽ tạo ra một trạng thái gián đoạn ở thời điểm bắt đầu và kết thúc của quá trình quá độ.

Sử dụng biến đổi wavelet rời rạc để phân tích tín hiệu này. Qua phân tích đa phân giải cấp 1 sẽ tạo ra hệ số wavelets w_1 , tìm được thời điểm bắt đầu t_s và kết thúc t_e . Thời gian xảy ra quá độ t_t được tính:

$$t_t = |t_e - t_s| \quad (5)$$

Theo (4), năng lượng tín hiệu quá độ có thể được phân chia ở nhiều cấp phân giải theo nhiều cách khác nhau tùy thuộc vào bài toán chất lượng điện năng. Do đó cần xác định hệ số w của thành phần chi tiết ở mỗi cấp phân giải để chọn ra đặc trưng của tín hiệu.

Biểu diễn toán học của quá trình này như sau:

$$P_j = \frac{1}{N_j} \sum_k |w_{j,k}|^2 = \frac{\|w_j\|^2}{N_j} \quad (6)$$

với $\|w_j\|$ là tiêu chuẩn mở rộng của hệ số w_j .

Phương trình (6) có 4 tính chất đặc biệt:

- Khi chọn hàm wavelet Daubachie “db4” để thực hiện biến đổi wavelet rời rạc sẽ tạo ra các phân bố năng lượng lớn hơn đối với các cấp phân tích 6, 7 và 8.
- Sự phân bố năng lượng không bị ảnh hưởng bởi thời gian xảy ra quá độ.
- Phân bố năng lượng không đổi dù biên độ của cùng một loại quá độ thay đổi.
- Phân bố năng lượng bậc thấp biểu diễn những thay đổi rõ rệt khi tín hiệu quá độ có chứa các thành phần tần số cao. Ngược lại, phân bố năng lượng bậc cao sẽ chỉ rõ những thay đổi của tín hiệu có chứa các thành phần tần số thấp.

Chuẩn hóa phương trình (6) thành (7): $P_j^D = \sqrt{P_j} \quad (7)$

4. NHẬN DẠNG VÀ PHÂN LOẠI CÁC HIỆN TƯỢNG QUÁ ĐỘ

Mạng nơron xác suất được sử dụng để nhận dạng và phân loại các tín hiệu dựa vào các đặc trưng được trích ra theo trình bày trong phần trên.

4.1. Mô hình mạng nơron xác suất:

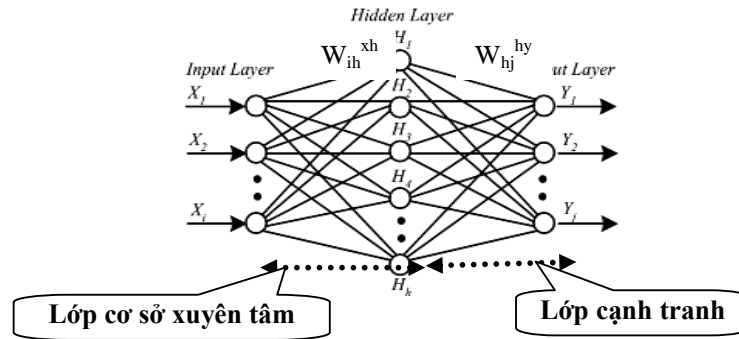
- Mô hình mạng nơron xác suất sử dụng cho bài toán phân loại gồm có 3 lớp hình thành nên lớp cơ sở xuyên tâm và lớp cạnh tranh theo Hình 2.

Với: Lớp vào có i nơron nhận các ngõ vào $X = [X_1, X_2, \dots, X_i]$.

Lớp ẩn có k nơron $H = [H_1, H_2, \dots, H_k]$.

Lớp ra có j nơron nối với ngõ ra $Y = [Y_1, Y_2, \dots, Y_j]$, mỗi Y_i đại diện cho một loại.

Trọng số kết nối giữa lớp vào và lớp ẩn là W_{ih}^{xh} , giữa lớp ẩn và lớp ra là W_{hj}^{hy} .



Hình 2. Mô hình mạng nơron xác suất

- Mạng nơron xác suất là dạng mạng học có giám sát, có tốc độ học rất nhanh phù hợp cho bài toán phân loại tín hiệu và chẩn đoán sự cố.

- Các khác biệt giữa mạng nơron xác suất và những mạng nơron khác là:

- Mạng được thực hiện bằng mô hình xác suất là bộ phân loại Bayes.
- Mạng được đảm bảo hội tụ nếu được cung cấp đủ dữ liệu huấn luyện.
- Không đòi hỏi phải có quá trình học.
- Không cần đặt trọng số ban đầu cho mạng.
- Không cần quan hệ giữa quá trình học và quá trình gọi lại.
- Không dùng sai số giữa vectơ ra và để hiệu chỉnh trọng số của mạng.

4.2. Hàm mật độ xác suất:

Trong ứng dụng để phân loại tín hiệu, các mẫu huấn luyện được sắp xếp theo các giá trị phân bố hàm mật độ xác suất của chúng.

Hàm mật độ xác suất được định nghĩa theo phương trình (8):

$$f_k(x) = N_k^{-1} \sum_{j=1}^{N_k} \exp\left(-\frac{\|X - X_{kj}\|}{2\delta^2}\right) \quad (8)$$

Khi đó, ngõ ra của vectơ H trong lớp ẩn của mạng là:

$$H_h = \exp\left(-\sum_i \left(\frac{(X_i - W_{ih}^{xh})^2}{2\delta^2}\right)\right) \quad (9)$$

Thuật toán tạo vectơ ngõ ra Y trong mạng nơron xác suất là:

$$net_j = N_j^{-1} \sum_h W_{hj}^{hy} \cdot H_h \quad \text{với } N_j = \sum_h W_{hj}^{hy} \quad (10)$$

$$\text{Nếu } net_j = \max(net_k) \text{ thì } Y_j=1, \text{ ngược lại } Y_j=0 \quad (11)$$

Với: i là số lượng lớp vào, h là số lượng lớp ẩn, y là số lớp ra, k là số mẫu huấn luyện.

N_k là số mẫu cần nhận dạng, δ là thông số san bằng, $0.1 < \delta < 1$, chọn $\delta=0.5$.

X là vectơ vào, $\|X - X_{kj}\|$ là khoảng cách O-clit giữa vectơ X và vectơ X_{kj} ,

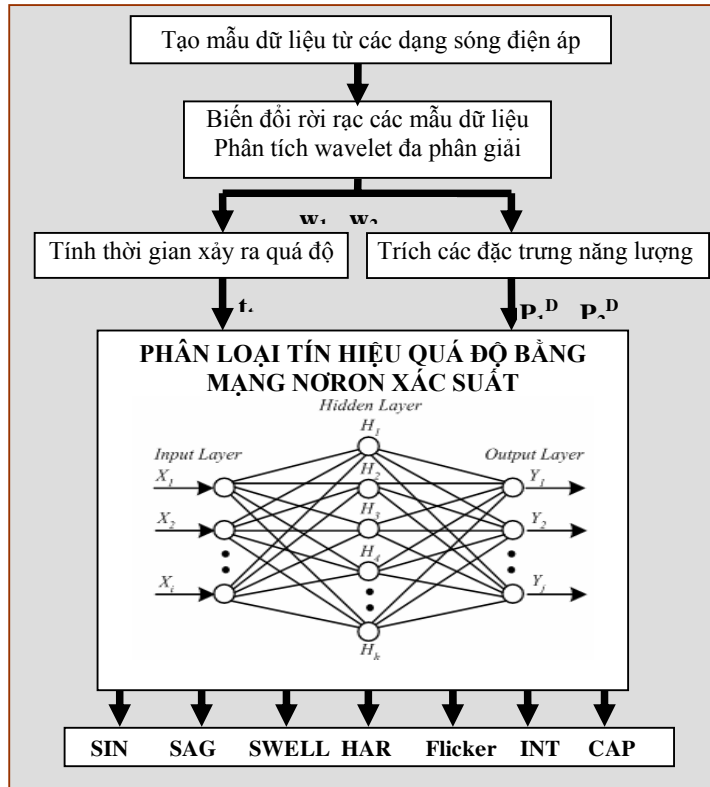
$$\|X - X_{kj}\| = \sum (X_i - X_{kj})^2 \quad (12)$$

W_{ih}^{xh} là trọng số kết nối giữa lớp X và H, W_{hj}^{hy} là trọng số kết nối giữa lớp H và Y.

4.3. Phân loại tự động bằng mạng nơron

Bài báo trình bày phân tích wavelet 13 cấp đối với từng tín hiệu quá độ dạng rời rạc để có được các hệ số $w_1 \dots w_{13}$ của thành phần chi tiết.

Bình phương các hệ số wavelet của phân tích cấp 1 sẽ thu được thời gian xảy ra quá độ. Sử dụng các phương trình (6) và (7) để có được phân bố năng lượng $P_1^D \dots P_{13}^D$ của 13 cấp phân tích. Các đặc trưng này được sử dụng làm dữ liệu cho mạng nơron. Các giá trị t_t và P_i^D được sử dụng làm các mẫu của tập huấn luyện của mạng. Ngõ ra của mạng sẽ cho biết loại tín hiệu quá độ tương ứng với các mẫu vào. Thủ tục thực hiện được trình bày trong Hình 3.



Hình 3. Mô hình bộ phân loại bằng mạng nơron xác suất

5.KẾT QUẢ

5.1.Kết quả nhận dạng các đặc trưng năng lượng

Các tín hiệu quá độ và sóng sin chuẩn được mô phỏng trên nền ATP-EMTP. Hàm wavelet db4 được chọn để thực hiện biến đổi wavelet rời rạc. Kết quả thu được như sau:

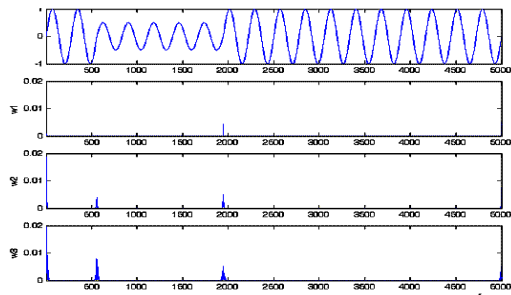
- Trên Hình 4a là dạng sóng và các hệ số thành phần chi tiết của phân tích 3 cấp của sóng Sụt điện áp, Hình 4b là phân bố 13 mức năng lượng sóng sụt điện áp.
- Tương tự, các Hình 5 đến Hình 9 biểu diễn cho các tín hiệu: tăng điện áp, hạ tần, chập chờn điện áp, gián đoạn điện áp, quá độ đóng cắt trạm tụ bù.

Trên các hình a, trục hoành biểu diễn các điểm lấy mẫu (tốc độ lấy mẫu là 256 điểm/giây), trục tung biểu diễn biên độ của tín hiệu.

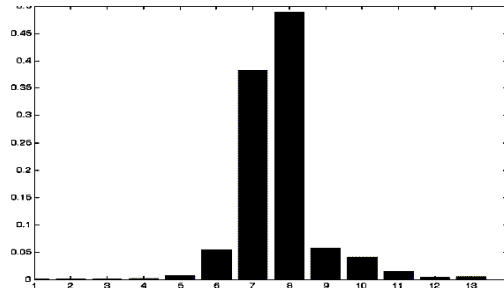
Trên các hình b, trục hoành biểu diễn các mức năng lượng, trục tung biểu diễn biên độ của tín hiệu.

Từ các đồ thị trên có thể rút ra 3 đặc tính của các đồ thị phân bố năng lượng các tín hiệu quá độ. Các đặc tính này làm cơ sở cho việc nhận dạng.

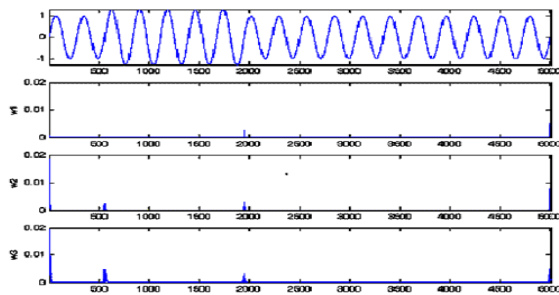
- Khi xảy ra sụt điện áp, tăng điện áp hoặc gián đoạn điện áp thì các thành phần P_6^D , P_7^D và P_8^D sẽ thay đổi lớn.
- Khi xảy ra quá độ tần số thấp như chập chờn điện áp thì các thành phần P_9^D , P_{10}^D và P_{11}^D sẽ thay đổi rõ rệt.
- Khi xảy ra các quá độ tần số cao như hạ tần, đóng cắt trạm tụ thì các thành phần P_3^D , P_4^D và P_5^D sẽ thay đổi rõ rệt.



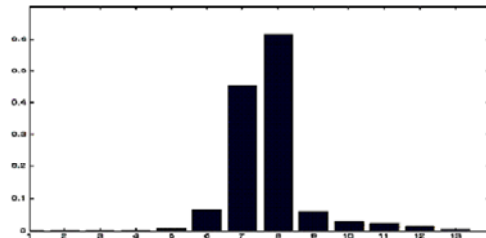
Hình 4a. Dạng sóng sụt điện áp và các hệ số wavelet



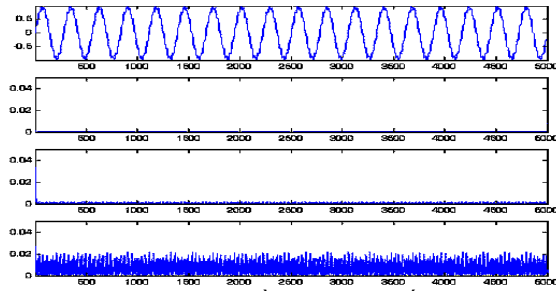
Hình 4b. Phân bố 13 mức năng lượng



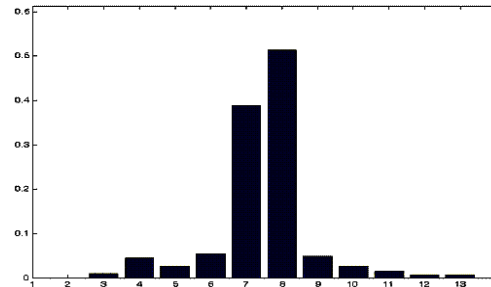
Hình 5a. Dạng sóng tăng điện áp và các hệ số wavelet



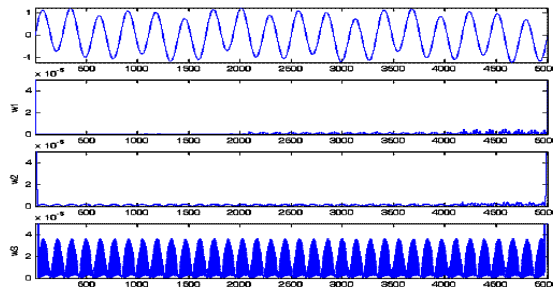
Hình 5b. Phân bố 13 mức năng lượng



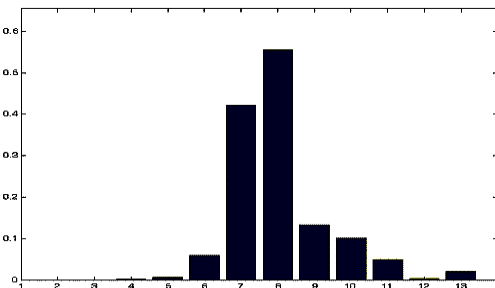
Hình 6a. Dạng sóng họa tần và các hệ số wavelet



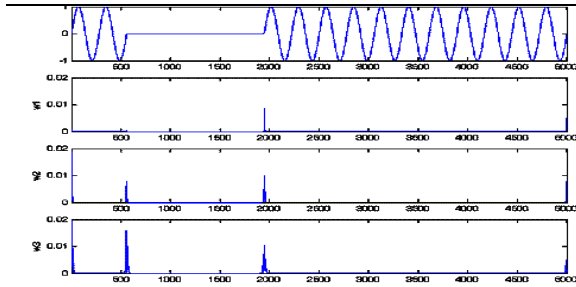
Hình 6b. Phân bố 13 mức năng lượng



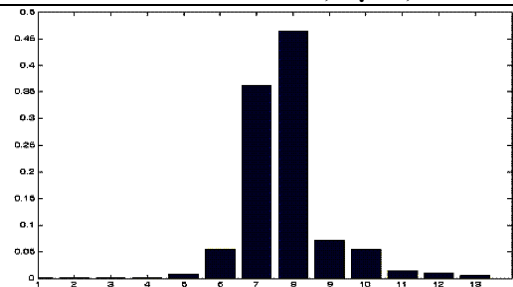
Hình 7a. Dạng sóng chập chờn điện áp và các hệ số wavelet



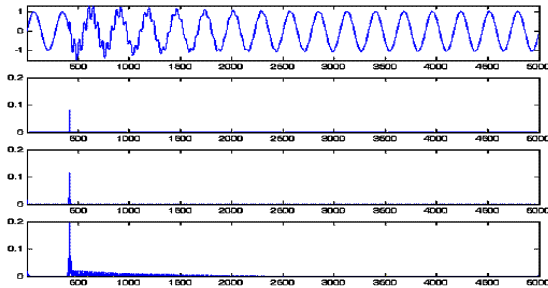
Hình 7b. Phân bố 13 mức năng lượng



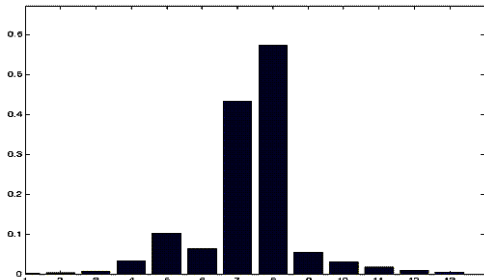
Hình 8a Dạng sóng gián đoạn điện áp và các hệ số



Hình 8b. Phân bố 13 mức năng lượng

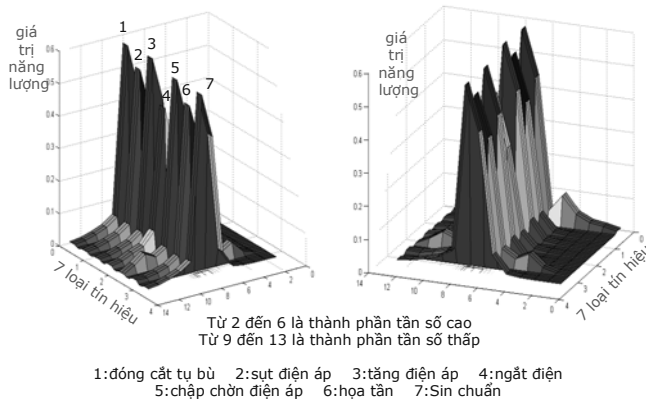


Hình 9a. Dạng sóng đóng cắt trạm tụ và các hệ số wavelet



Hình 9b. Phân bố 13 mức năng lượng

Phân bố năng lượng này có thể được biểu diễn trên đồ thị 3D như Hình 10.



Hình 10. Biểu diễn 3D phân bố năng lượng của 7 tín hiệu

1: đóng cắt trạm tụ 2: sụt điện áp 3: tăng điện áp 4: gián đoạn điện áp
 5: chập chờn điện áp 6: họa tần 7: sin chuẩn

5.2. Kết quả thí nghiệm và phân loại:

Mô hình mạng nơron xác suất được thực hiện trong Toolbox Neural Networks của Matlab. Chương trình được viết ở dạng tập tin *.m. Vì khoảng thời gian xảy ra của các tín hiệu có sự tương đồng nên có thể bỏ qua thông số về thời gian. Dữ liệu đầu vào của mạng được chọn là 13 mức năng lượng của các tín hiệu. Ngõ ra của mạng được chọn theo thứ tự từ 1 đến 7 tương ứng với các tín hiệu sin chuẩn, sụt điện áp, tăng điện áp, họa tần, chập chờn điện áp, gián đoạn điện áp, đóng cắt trạm tụ bù. Kết quả cho thấy với 70 mẫu huấn luyện, 21 mẫu thử nghiệm có 19 mẫu được nhận dạng chính xác (độ chính xác >91%), 2 mẫu được nhận dạng không thật chính xác rơi vào các trường hợp sụt điện áp và tăng điện áp với mức biên độ thay đổi quá thấp, thời gian học 2,5 s, thời gian thử nghiệm 0.02 s.

6. KẾT LUẬN

Bài báo nêu lên một phương pháp để nhận dạng các tín hiệu quá độ dựa vào bộ phân loại bằng mạng nơron xác suất kết hợp với kỹ thuật phân tích wavelet đa phân giải. Phương pháp đề xuất đã giảm đáng kể các mẫu đặc trưng của tín hiệu nhưng vẫn giữ được tính chất riêng của nó. Các tín hiệu quá độ được mô phỏng trong phần mềm ATP-EMTP mang tính thực tế cao làm cho phương pháp đề xuất có ý nghĩa thực tế hơn. Ngoài ra, sự liên kết giữa ATP-EMTP và Matlab cũng đã được thực hiện. Kết quả thử nghiệm cho thấy bộ phân loại này có thể nhận dạng tương đối tốt các tín hiệu quá độ, và thuật toán đề nghị có thể là cơ sở ban đầu cho các kỹ thuật nhận dạng theo thời gian thực đối với các sự cố xảy ra trong hệ thống điện.

IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION OF POWER QUALITY DISTURBANCES USING WAVELET-BASED NEURAL NETWORK

Nguyen Huu Phuc⁽¹⁾, Nguyen Tan Doi⁽²⁾

⁽¹⁾ University of Technology – VNU- HCM, ⁽²⁾ HCMC University of Technical Education

ABSTRACT: *The paper presents a method of identification and classification of power system disturbances by neural network based on the multi-resolution analysis wavelet technique. Various transient phenomena of voltage sag, voltage swell, harmonics, flicker, interruption, capacitor bank switching transients were simulated by transient calculation software ATP-EMTP, then exported to Matlab for further analysis by wavelet technique. Application of Parseval's theorem of energy calculation at various decomposition level will extract interesting features from signals in analysis. Probabilistic neural network technique was then used to recognize and classify automatically transient signals obtained from numerical experiment. Results obtained from numerical experiments shows the merit, as well as the feasibility of the proposed approach.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. T.X Zhu and S.K Tso, *Wavelet-Based Fuzzy Reasoning Approach to Power Quality Disturbances Recognition*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.19, No.4, 2004.
- [2]. Zue-Lee Gaing, *Wavelet-Based Neural Network for Power Disturbances Recognition and Classification*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.19, No.4, 2004.
- [3]. S. Santoso, *Power Quality Disturbance Waveform Recognition Using Wavelet – Based Neural Classifier – Part 1, Part 2*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.15, 2000.
- [4]. Rosa M de Castro Fernandez, Horacio Nelson Diaz Rojas, *An Overview of Wavelet Transforms Applications in Power Systems*, IEEE Transactions on Power Delivery, pp. 24 - 28 June 2002.