

# GIẢI THUẬT NEURO-FUZZY DỰA TRÊN KỸ THUẬT WAVELETS PHÂN LOẠI CÁC QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ ĐIỆN TỬ

WAVELET-BASED NEURO-FUZZY TECHNIQUE ALGORITHM  
IN ANALYZING AND CLASSIFYING ELECTROMAGNETIC TRANSIENTS

Nguyễn Nhân Bồn, Quyền, Huy Ánh  
Khoa Điện, trường ĐH Sư Phạm Kỹ Thuật TP HCM

## ABSTRACT

*This paper presents a method for (a) recognizing the presence of any power quality disturbance in supply voltage and (b) classifying any existing deviation into a particular type. This method uses wavelet transforms, artificial neural networks and fuzzy associative memories to identify any power quality disturbances. The program can identify the presence of PQ disturbances and also classify the type of disturbance. Results of simulations are presented in this paper.*

## TÓM TẮT

*Kỹ thuật wavelets ứng dụng trong ngành viễn thông và xử lý tín hiệu từ 2 thập kỷ qua, các nghiên cứu khoa học về kỹ thuật wavelets ứng dụng trong ngành điện chỉ mới bắt đầu trong 5 năm gần đây, đặc biệt công nghệ trí khôn nhân tạo kết hợp xử lý số tín hiệu bắt đầu được quan tâm gần đây để giải quyết các bài toán chuyên ngành điện (phân loại, nhận dạng, dự báo, tự động, on-line,...). Bài báo này trình bày phương pháp (a) nhận dạng các nhiễu loạn chất lượng điện năng dưới dạng nhiễu điện áp và (b) phân loại tự động bất kỳ một dạng tín hiệu ở nhóm đặc thù. Phương pháp này sử dụng kỹ thuật khai triển wavelets, mạng neural nhân tạo neural kết hợp fuzzy logic để nhận dạng bất kỳ các nhiễu loạn chất lượng điện năng. Chương trình cụ thể nhận dạng sự hiện diện các nhiễu loạn chất lượng điện năng và đồng thời phân loại hiện tượng quá độ.*

## I. GIỚI THIỆU

Chất lượng điện năng ngày càng là mối quan tâm, vấn đề thời sự của cả phía khách hàng lẫn công ty điện lực. Vì các lý do chủ yếu như:

- 1) Ngày nay, các thiết bị điện khách hàng càng hiện đại (các thiết bị điều khiển dựa trên bộ vi xử lý, thiết bị điện tử công suất, các qui trình sản xuất điện tử, cơ khí chính xác), rất nhạy cảm các thay đổi chất lượng điện từ phía nguồn cung cấp.
- 2) Hệ thống điện ngày càng phát triển đa dạng, phức tạp, là tác nhân sinh ra các nguồn sóng hài.
- 3) Các khách hàng được thông tin nhiều hơn về chất lượng điện năng, và đòi hỏi nhiều hơn sự cải thiện chất lượng điện cung cấp.

Chất lượng điện xấu cung cấp khách hàng do nhiều nguyên nhân, do hiện tượng quá độ điện từ trong hệ thống điện đa dạng như: Xung sét, giảm điện áp, giảm biên độ, gián đoạn điện, sóng hài, chập chờn điện áp, đóng cắt tự, đóng cắt tải, ngắn mạch, dòng xung kích MBT,... có thể dẫn đến hoạt động sai, gây hư hỏng các thiết bị nhạy cảm điện như là các qui trình sản xuất do máy tính, hệ thống tự động hóa,...

## II. KỸ THUẬT WAVELETS PHÂN TÍCH NHIỀU CHẤT LƯỢNG ĐIỆN NĂNG

Đối với CWT, các hệ số co giãn  $a$  và hệ số dịch chuyển  $b$  thay đổi liên tục trong  $\mathbb{R}$ . Gọi  $f$  là một hàm theo thời gian  $t$ . Biến đổi wavelet liên tục (CWT) đối với ánh xạ  $f$  vào một hàm hàm tỷ lệ  $a$  và thời gian  $b$ , được cho bởi :

$$CWT(f)(a, b) = \langle f, \psi_{ab} \rangle = \int f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$$

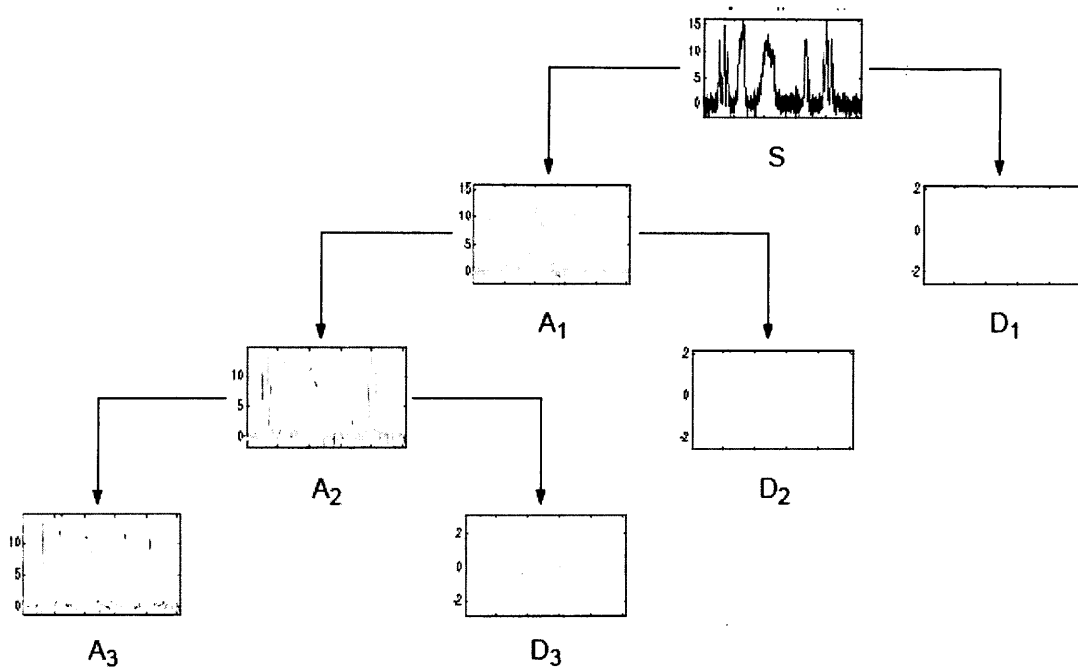
Tương tự như (1), ta cũng có biến đổi wavelet rời rạc:

$$DWT(f)(j, k) = \int f(t) \psi_{j,k}(t) dt$$

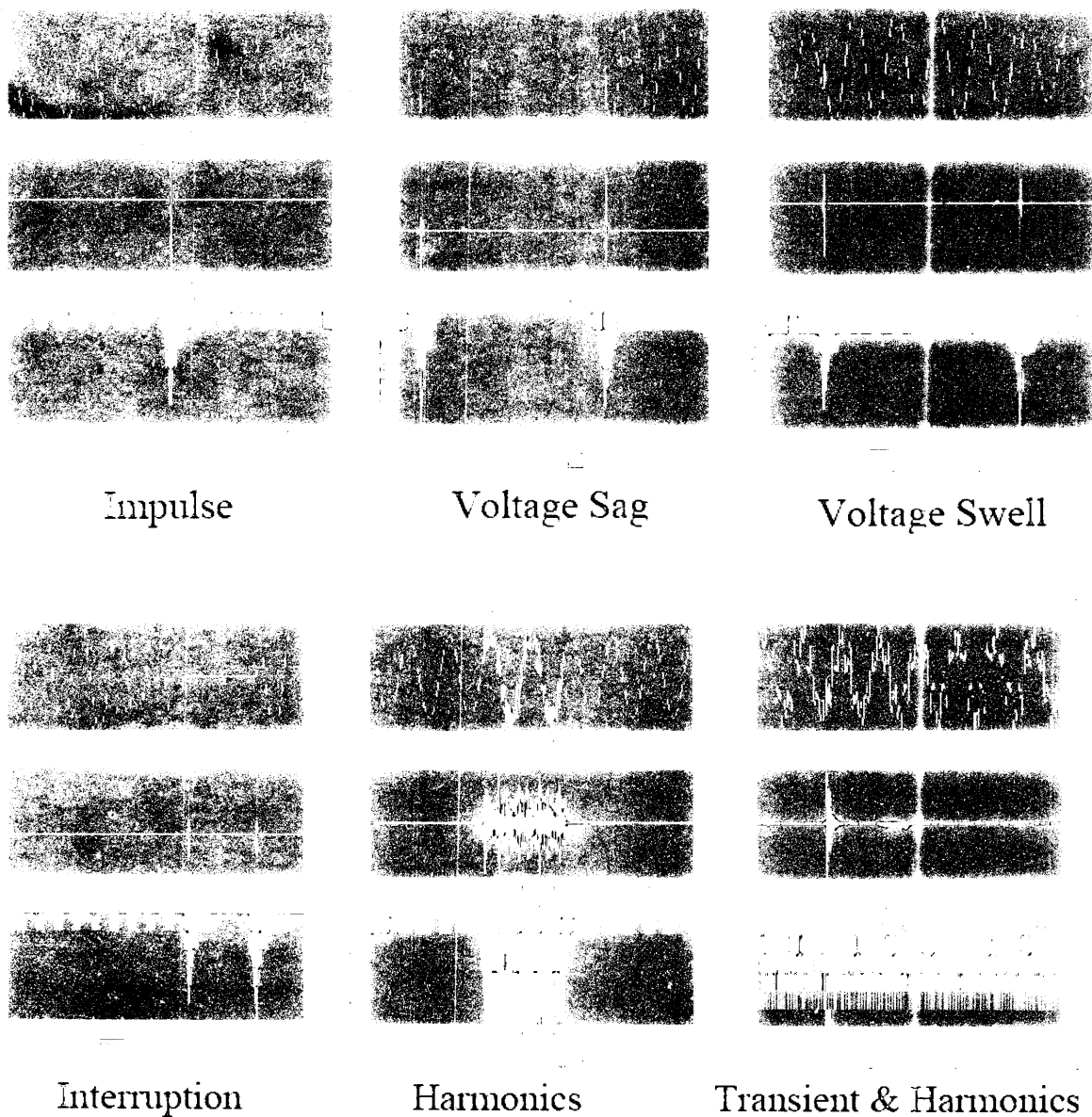
Kỹ thuật phân tích đa phân giải là một trong những đặc điểm quan trọng nhất của kỹ thuật DWT.

Phần lớn các tín hiệu thực tế, thành phần tần số thấp là thành phần thực sự quan trọng và mang nét đặc trưng của tín hiệu. Còn thành phần tần số cao được xem như là các sắc thái khác nhau của tín hiệu. Lấy giọng nói ra làm ví dụ, ta thấy khi lọc bỏ thành phần tần số cao thì giọng nói có thể khác đi nhưng ta vẫn nghe và hiểu được, nhưng khi lọc bỏ thành phần tần số thấp thì không nghe được gì cả.

Phân tích đa phân giải là có khả năng như hai bộ lọc, tạo nên hai thành phần: xấp xỉ và chi tiết của tín hiệu vào. Thành phần xấp xỉ có hệ số tỷ lệ cao, tương ứng với tần số thấp. Thành phần chi tiết có hệ số tỷ lệ thấp, tương ứng với tần số cao.



Hình 1 : Minh họa cho phân tích bậc 3



Hình 2: Kỹ thuật wavelets trong phân tích các tín hiệu quá độ

### III. GIẢI THUẬT NEURO-FUZZY DỰA TRÊN KỸ THUẬT WAVELETS ĐỂ NHẬN DẠNG VÀ PHÂN LOẠI NHIỀU ĐIỆN NĂNG

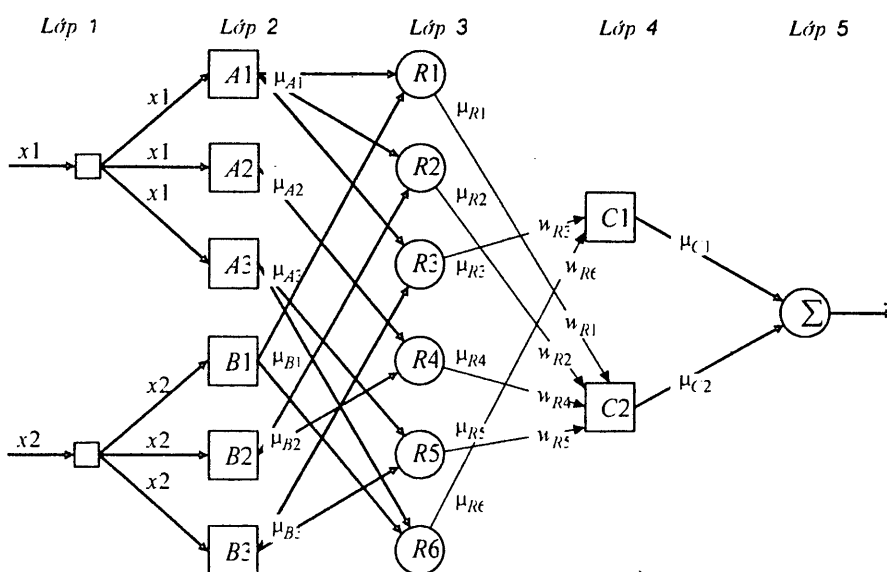
Logic mờ và mạng neural nhân tạo là công cụ hữu hiệu để xây dựng các hệ thống thông minh nhân tạo. Mạng neural có cấu trúc tính toán ở mức thấp rất tốt khi giải quyết dữ liệu thô, trong khi mạng logic mờ giải quyết bài toán suy diễn ở mức độ cao, sử dụng thông tin ngôn ngữ từ tri thức chuyên gia. Tuy nhiên, hệ thống logic mờ không có khả năng học và không thể tự điều chỉnh trong môi trường mới. Trái lại mạng neural có thể học, nhưng khó hiểu với người sử dụng.

Hệ thống tích hợp neuro-fuzzy kết hợp khả năng tính toán song song và khả năng học của mạng neural với thể hiện tri thức giống con người và khả năng giải thích của hệ thống

mờ. Kết quả là mạng neural trở nên dễ hiểu hơn và trong khi đó hệ thống fuzzy có khả năng học.

Hệ thống neuro-fuzzy là mạng neural có chức năng tương đương mô hình tương tự mờ. Mô hình này được huấn luyện để phát triển các luật mờ if-then và quyết định các hàm thành phần đối với các biến vào ra của hệ thống. Kiến thức hệ chuyên gia có thể đưa vào cấu trúc của hệ thống neuro-fuzzy, cùng một thời điểm cấu trúc được kết hợp tránh mô hình tương tự fuzzy liên quan trở ngại khối lượng tính toán lớn.

Cấu trúc hệ thống neural fuzzy tương tự mạng neural nhiều lớp. Nói chung hệ thống neuro-fuzzy có lớp xuất, lớp nhập và 3 lớp ẩn để thể hiện hàm thành viên và các luật mờ.



Hình 3: Cấu trúc 3 lớp ẩn của mạng neuro-fuzzy

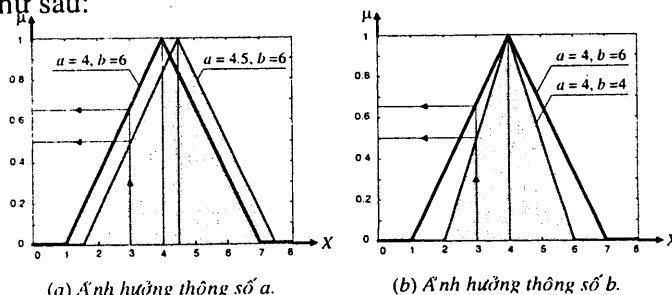
Mỗi lớp trong hệ thống neuro-fuzzy liên hệ mỗi bước đặc trưng trong hệ thống tương tác mờ

**Lớp 1:** Là lớp nhập, mỗi neuron trong lớp này truyền một tín hiệu ra ngoài đến lớp kế tiếp, biểu thức:

$$y_i^{(1)} = x_i^{(1)}$$

**Lớp 2:** là lớp mờ hóa. Các neuron trong lớp này thể hiện các tập mờ suy diễn bằng các luật mờ. Neuron mờ nhận tín hiệu và quyết định mức độ mờ phụ thuộc tập mờ neuron. Hàm kích hoạt của neuron thành viên là hàm số mô tả tập mờ neuron. Tập mờ tam giác được sử dụng, vì vậy hàm kích hoạt của neuron trong lớp 2 là các hàm thành viên tam giác. Hàm thành viên dạng tam giác có 2 thông số  $\{a, b\}$  như sau:

$$y_i^{(2)} = \begin{cases} 0, & \text{if } x_i^{(2)} \leq a - \frac{b}{2} \\ 1 - \frac{2|x_i^{(2)} - a|}{b}, & \text{if } a - \frac{b}{2} < x_i^{(2)} < a + \frac{b}{2} \\ 0, & \text{if } x_i^{(2)} \geq a + \frac{b}{2} \end{cases}$$



Hình 4: Hàm thành viên tam giác kích hoạt

**Lớp 3:** là lớp luật mờ. Mỗi neuron trong lớp này tương ứng một luật mờ. Luật neuron mờ nhận các tín hiệu từ các neuron mờ hóa mà thể hiện các tập mờ trong luật mờ. Ví dụ neuron R1, tương ứng luật 1, nhận đầu vào từ neuron A1 và B1. Trong hệ thống neuron-fuzzy, phép trực giao thực thi bằng toán hạng hệ quả. Vì vậy đầu ra của neuron i trong lớp 3 như sau:

$$y_i^{(3)} = x_{1i}^{(3)} \times x_{2i}^{(3)} \times \dots \times x_{ki}^{(3)} \quad y_{R1}^{(3)} = \mu_{A1} \times \mu_{B1} = \mu_{R1}$$

**Lớp 4:** là lớp thành viên xuất. Các neuron trong lớp này thể hiện các tập mờ sử dụng theo thứ tự của các luật mờ. Mỗi neuron thành viên lớp xuất kết hợp tất cả các nút vào bằng phép toán mờ liên hợp. Phép toán này thực hiện bởi phép toán xác suất OR như sau:

$$y_i^{(4)} = x_{1i}^{(4)} \oplus x_{2i}^{(4)} \oplus \dots \oplus x_{ki}^{(4)} \quad y_{C1}^{(4)} = \mu_{R3} \oplus \mu_{R6} = \mu_{C1}$$

Giá trị  $\mu_{C1}$  thể hiện sự kết hợp mức độ mờ của luật mờ neuron R3 và R6.

**Lớp 5:** là lớp defuzzification. Mỗi neuron trong lớp này thể hiện ngõ ra đơn của hệ thống neuro-fuzzy. Neuron lấy các tập mờ lớp xuất liên hợp bằng kết hợp chúng và liên kết trong tập mờ đơn. Hệ thống neuro-fuzzy ứng dụng phương pháp defuzzification tiêu chuẩn, bao gồm kỹ thuật mờ trọng tâm.

Phép toán tổng hệ quả tính toán lớp xuất như trung bình trọng số của trọng lượng các hàm thành viên lớp xuất. Ví dụ, trung bình trọng lượng của tập mờ C1 và C2 được tính như sau:

$$y = \frac{\mu_{C1} \times a_{C1} \times b_{C1} + \mu_{C2} \times a_{C2} \times b_{C2}}{\mu_{C1} \times b_{C1} + \mu_{C2} \times b_{C2}}$$

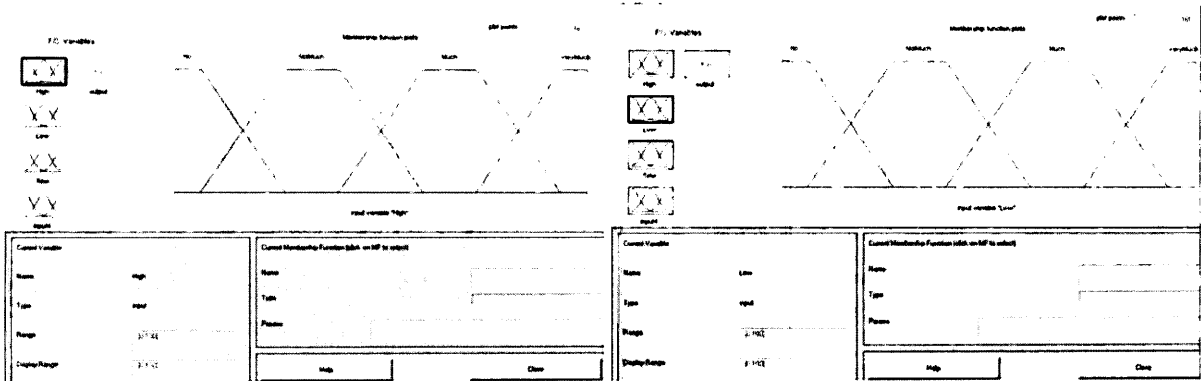
Hệ thống neuro-fuzzy là mạng neural đa lớp, vì vậy có thể ứng dụng các giải thuật học tiêu chuẩn phát triển các mạng neuron, bao gồm giải thuật học lan truyền ngược. Khi huấn luyện ngõ vào-ngõ ra thể hiện trong hệ thống, giải thuật lan truyền ngược tính toán ngõ ra của hệ thống và so sánh nó với ngõ ra mong muốn. Lỗi được hồi tiếp qua mạng neural từ lớp xuất đến lớp nhập. Để quyết định chỉnh sửa cần thiết, giải thuật lan truyền ngược làm rõ sự khác nhau các hàm kích hoạt của các neuron.

Hệ thống logic mờ bao gồm các ngõ vào sử dụng các biến ngôn ngữ và các hàm thành thể hiện chân trị của hầu hết hệ thống logic mờ, không có tiến trình thiết kế hệ thống có hệ thống nào để đạt được tiến trình tối ưu, vì các hàm thành viên và các luật mờ được thiết kế bởi quyết định chủ quan dựa trên tri thức và kinh nghiệm của con người. Tuy nhiên, hệ thống tự thích nghi neuro-fuzzy (ANFIS) là một hệ thống hợp thành có khả năng tự mô tả hàm thành viên của mình để đạt kết quả biết trước. Vì mạng Anfis có lớp ẩn tương đương tự thích nghi trong hệ thống hợp thành mờ, hệ thống này thực thi luật học lai và giám sát ra quyết định phức tạp hay hay phân loại nhiều chất lượng điện. Dạng các hàm thành viên dựa vào tập tính chất các dữ liệu đầu vào, dựa trên các kết quả phân tích ban đầu thông qua vài dữ liệu huấn luyện.

Hệ thống hợp thành mờ với 4 ngõ vào, hai ngõ ra được thiết kế để phân loại 11 nhiễu chất lượng điện. 4 thông số ngõ vào gồm: thành phần tần số cao (high), thành phần tần số thấp (low), thời gian xảy ra nhiễu (time), biên độ nhiễu (max), 22 luật cho đầu ra. Tất cả hàm thành viên ngõ ra hình chuông (gaussmf). Hệ thống là loại sugeno, kết hợp mạng neural lan truyền ngược và phương pháp bình phương tối thiểu để tinh chỉnh ngõ vào và ngõ ra của các hàm thành viên

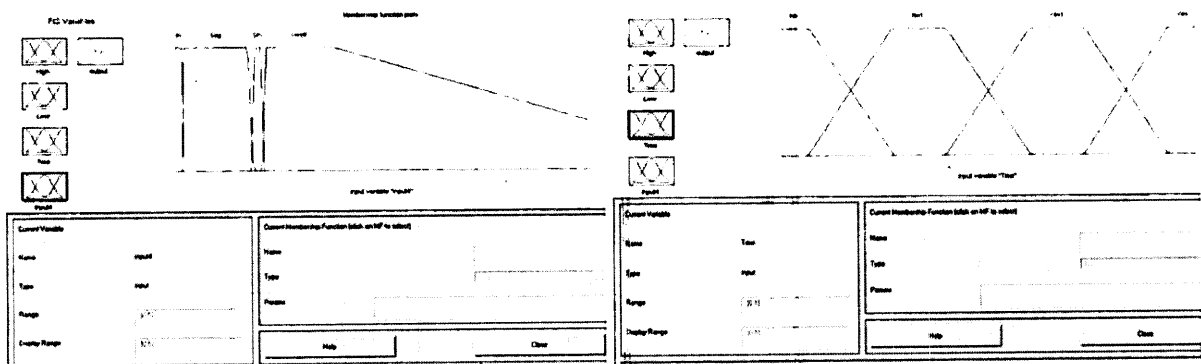
#### IV. CÁC KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ NHẬN XÉT

Hệ thống mô phỏng phân loại nhiễu chất lượng điện năng gồm 4 ngõ vào: Thành phần tần số cao (high), thành phần tần số thấp (low), thời gian xảy ra nhiễu (time), biên độ nhiễu (max), sử dụng hàm thành viên dạng bậc thang (trimf) (hình 5, 6, 7, 8). 241 mẫu được đưa vào mạng huấn luyện, sử dụng hàm gaussmf. Kết quả cho thấy sự chính xác cao so với các mô hình phân loại trước đây như mạng neuron xác suất (PNN), mạng fuzzy (FIS).



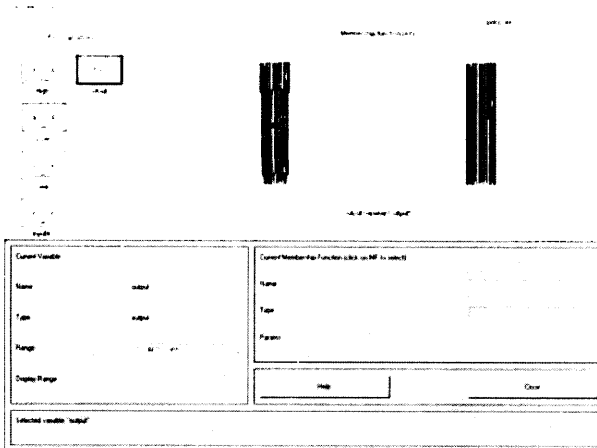
**Hình 5: hàm thành viên High**  
(No, Not much, Much, Very Much)

**Hình 6: hàm thành viên Low**  
(No, Not much, Much, Very Much)

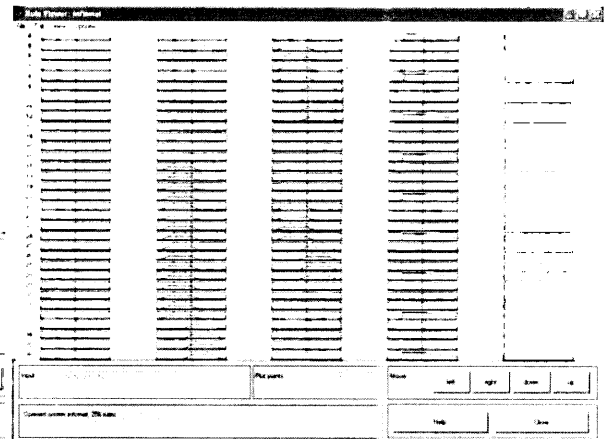


**Hình 7: hàm thành viên Max**  
(Int, Sag Sin, Swell)

**Hình 8: hàm thành viên Time**  
(No, Not much, Much, Very Much)



**Hình 9: Ngõ ra của mạng neuro-fuzzy sau khi luyện mạng**



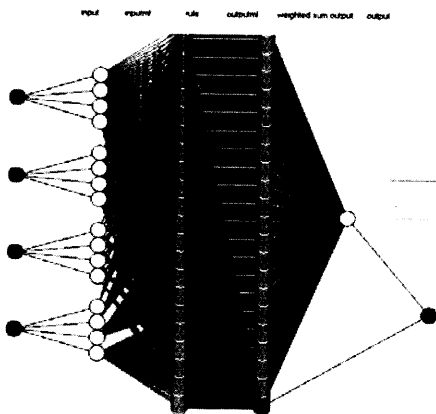
**Hình 10: Tập luật của mạng sau khi luyện -256 luật**

Mạng ANFIS trên gồm 6 lớp :

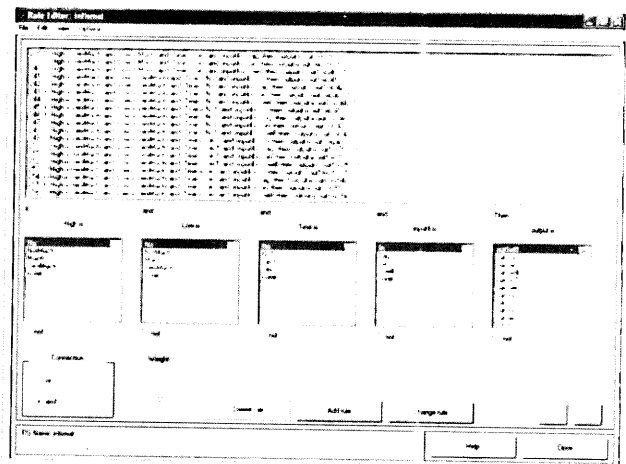
**Lớp thứ 1 :** Gồm bốn nút đầu vào (mỗi nút là một Neuron-FIS trong mạng). FIS thành phần tần số cao, FIS thành phần tần số thấp, FIS thời gian, FIS biên độ max nhiều PQ.

**Lớp thứ 2 :** Là các hàm đặc trưng của các FIS. Các hàm đặc trưng có dạng hình thang. Mỗi FIS vào có 4 hàm đặc trưng.

**Lớp thứ 3 :** Mỗi Neuron trong lớp này dựa vào 256 luật mờ để thực hiện các luật điều khiển. Các luật mờ dựa vào các Neuron thực hiện qui luật IF . . . THEN để đưa ra các tín hiệu cho lớp kế tiếp hoạt động.



**Hình 11: Cấu trúc mạng sau khi luyện mạng**



**Hình 11: 256 luật của mạng neuro-fuzzy**

Lớp thứ 4 :

Mỗi Neuron trong lớp này sẽ tính toán các trọng số liên kết từ lớp thứ 3 để cho ra một lớp Neuron tiêu chuẩn nhất.

Lớp thứ 5 :

Mỗi Neuron trong lớp này tính toán các trọng số liên kết của các Neuron ở lớp trước và cho ra một Neuron tín hiệu tiêu chuẩn.

Lớp thứ 6 :

Trong lớp này chỉ có duy nhất một Neuron. Sau khi tính toán nó sẽ cộng tất cả các tín hiệu nhập vào để đưa ra một tín hiệu tiêu chuẩn nhất chấp nhận được để đưa ra phân loại nhiều.

Số TT	Loại nhiễu chất lượng điện	Mẫu huấn luyện	Mẫu thử	Kết quả
1	Capacitor switching	150/150	148/150	98.67%
2	Voltage Sag	21/21	20/21	95.24%
3	Voltage Swell	20/20	20/20	100%
4	Interruption	20/20	20/20	100%
5	Flickers	10/10	10/10	100%
6	Harmonics	10/10	9/10	90%
7	Pure Sine	11/11	10/10	100%
		241/241	238/241	98.75%

**Bảng 1: Kết quả phân loại nhiễu chất lượng điện năng**

Bảng kết quả phương pháp đề nghị có độ chính xác cao (98.75%), cải thiện độ tin cậy phân loại, thời gian phân loại nhanh (1.2s) tính bằng giây. Chỉ có vài trường hợp nhận dạng sai (3 trường hợp)

## V. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày phương pháp phân loại nhiễu chất lượng điện năng sử dụng mạng neuro-fuzzy tự thích nghi kết hợp kỹ thuật phân tích wavelets. Kỹ thuật phân tích wavelets phân tích tín hiệu nhiễu trong miền thời gian và tần số, đưa ra các tính chất quan trọng các nhiễu (mức năng lượng, thời gian, biên độ, thành phần tần số cao, thấp). Phương pháp phân loại neuro-fuzzy dựa trên 4 tính chất của nhiễu đưa ra kết quả mong muốn. Hướng nghiên cứu tiếp theo là so sánh và tổng hợp các phương pháp phân loại và cải tiến để phân loại nhanh hơn, chính xác. Tuy nhiên, các nhiễu trong thời gian thực phức tạp, và chu kỳ lấy mẫu không đủ lớn, vì vậy đòi hỏi các nghiên cứu chuyên sâu và ứng dụng phân cứng và phần mềm phân tích hiện tượng quá độ điện từ trong thời gian thực.

### Tài liệu tham khảo:

- [1] Phuc N.H., Bon N.N., Khanh T.Q. “Mô phỏng các nhiễu trong lưới điện và ứng dụng kỹ thuật wavelets trong phân tích và nhận dạng”, Tạp chí Phát triển Khoa học Công nghệ số 30-31/2006 Đại học Quốc gia TPHCM.

- [2] Santoso, S; Powers, E.J.; Grady, W.M.; Hofman, P. "Power quality assessment via wavelet transform analysis" , IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 11, No. 2, Apr. 1996, pp. 924-390.
- [3] David C. Robertson, Ocavia I. Camps, Jeffrey S. Mayer, William B. Gish " Wavelets and electromagnetic power system transients " IEEE Transactions on Power Delivery Vol. 11, No. 2, April 1996, pp. 1050-1055.
- [4] Santoso, S; Powers, E.J.; Grady, W.M.; "Power quality disturbance data compression using Wavelet transform methods", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 12, No. 3, Jan. 1997, pp. 1250-1256.
- [5] T. Zheng, E.B. Makram, Adly A. Girgis, "Power system transient and harmonics studies using wavelet transform" , IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 14, Oct. 1999, pp1461-1468 .
- [6] Reznik, L; Negnevitsky, M; "A Neuro-Fuzzy method of Power disturbances recognition and reduction" at <http://www.utas.edu.au>