

# ỨNG DỤNG KỸ THUẬT WAVELET TRONG VIỆC PHÂN TÍCH VÀ NHẬN DẠNG CÁC VẤN ĐỀ CHẤT LƯỢNG ĐIỆN NĂNG

Nguyễn Hữu Phúc<sup>(1)</sup>, Trương Quốc Khánh<sup>(1)</sup>, Nguyễn Nhân Bôn<sup>(2)</sup>

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

(2) Khoa Điện, Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật Tp.HCM

(Bài nhận ngày 23 tháng 11 năm 2005, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 18 tháng 02 năm 2006)

**TÓM TẮT:** Các nhiễu loạn trên đường dây truyền tải - phân phối điện năng, như xung sét, gián đoạn điện áp, tăng điện áp, giảm điện áp, méo dạng do sóng hài, điện thế chập chờn,... gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến điện năng cung cấp cho khách hàng. Kỹ thuật khai triển wavelet rời rạc (DWT) với phân tích đa phân giải (Multi-Resolution Analysis (MRA)) được thực hiện trong bài báo để phân tích và nhận dạng các hiện tượng quá độ điện từ trong hệ thống điện được khảo sát với phần mềm ATP-EMTP thông qua các giá trị năng lượng của các mức. Các kết quả nhận được trong bài báo cho thấy việc đánh giá các hiện tượng nhiễu trong hệ thống điện dùng kỹ thuật wavelet cho phép nhận được nhiều thông tin định lượng và là cơ sở trong quá trình đánh giá chất lượng điện năng.

## 1. GIỚI THIỆU

Các hiện tượng gây nhiễu điện áp trên lưới điện rất đa dạng như: đóng cắt trạm tụ bù, sụt điện áp, tăng điện áp, mất điện, chập chờn điện áp, hỏa tần, sóng sét, sự cố ngắn mạch, dòng xung kích máy biến áp,... Chất lượng điện năng cung cấp bị ảnh hưởng rất lớn từ các hiện tượng nhiễu loạn, do đó việc phân tích, nhận dạng, cô lập các hiện tượng trên mang ý nghĩa thời sự trong quá trình hướng đến các phương pháp hoàn thiện hơn để bảo vệ lưới điện khỏi các ảnh hưởng nghiêm trọng. Trong các bài báo [1]- [4] các tác giả dùng kỹ thuật wavelet kết hợp với các thuật toán neural network hay neuro-fuzzy để rút ra các thông tin đáng quan tâm, từ đó nhận dạng, phân loại các dạng nhiễu khác nhau. Các dạng sóng chuẩn như đóng cắt tụ, sụt-tăng điện áp, mất điện, hỏa tần, chập chờn có được bằng cách tạo hàm trong Matlab và sau đó được phân tích dùng Wavelet Toolbox có được các hệ số wavelet ở các mức phân tích khác nhau. Từ đó, các giá trị năng lượng tại các mức khác nhau của tín hiệu được coi là các ngõ vào của các thuật toán nhận dạng dùng neural network hay neuro-fuzzy. Trong bài báo này, các dạng sóng nhiễu đa dạng được mô phỏng thực tế trên phần mềm giải tích quá độ chuyên dụng ATP-EMTP qua các hiện tượng trong lưới điện. Các kết quả nhận được sẽ được chuyển qua Matlab để từ đó được phân tích dùng Wavelet Toolbox, các giá trị năng lượng tại các mức khác nhau của các dạng nhiễu được tính toán và là cơ sở đầu vào của các thuật toán nhận dạng, phân biệt trong các bài báo sau này.

## 2. MÔ PHỎNG CÁC HIỆN TƯỢNG QUÁ ĐỘ

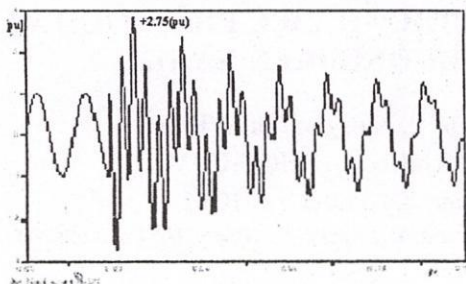
Các mô phỏng được thực hiện trên ATP-EMTP cho các hiện tượng nhiễu trên lưới điện như sau:

### 2.1. Đóng cắt trạm tụ bù

Việc mô phỏng được thực hiện ở lưới điện 110 kV(1 p.u), trạm tụ bù công suất

#### 2.1.1. Trạm tụ bù cách ly (Hình 1)



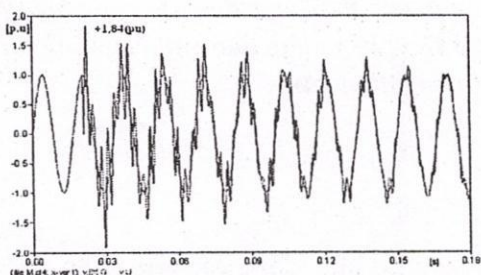


H1.Dạng sóng điện áp

Mức độ quá áp và quá dòng phụ thuộc vào thời điểm đóng cắt trạm tụ và giá trị điện áp ban đầu của tụ. Trường hợp nguy hiểm nhất xảy ra khi tại thời điểm đóng mà điện áp nguồn đạt cực đại và điện áp trên trạm tụ cực tiểu. Khi đó, điện áp có thể tăng lên đến 2,75 pu.

2.1.2. Khuếch đại điện áp (Hình 2)

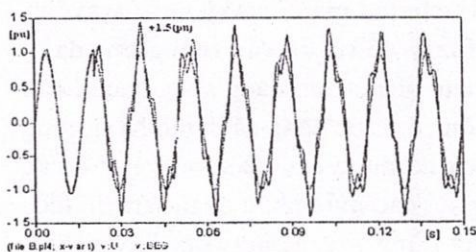
Máy biến áp 3 pha 110/22kV, 10MVA và  $X'=10\%$ , tụ điện bên sơ cấp có công suất 50MVAR, tụ điện bên thứ cấp có công suất 2MVAR.



H2.Dạng sóng điện áp

Sự khuếch đại dòng điện sẽ rất cao khi tần số cộng hưởng của hai nhánh xấp xỉ bằng nhau ( $L_1 \times C_1 = L_2 \times C_2$ ) vì mạch ở cấp điện áp thấp được bơm vào một nguồn điện áp tại tần số cộng hưởng. Khuếch đại điện áp càng lớn (đạt 1,84 pu) khi tụ điện đóng vào lớn hơn nhiều so với tụ đang hoạt động ở phía điện áp thấp.

2.1.3. Đóng trạm tụ bù làm việc song song (Hình 3)

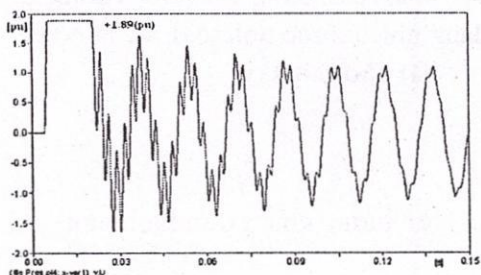


H3. Dạng sóng điện áp

Giá trị điện áp đạt 1.5pu khi đóng trạm tụ ở điện áp cao vào lưới điện, hai trạm tụ đều xảy ra quá áp và quá dòng. Tần số dao động lớn nhất được xác định:

$$\omega_{1max} = \sqrt{\frac{1}{L_1 C_1}}$$

2.1.4. Phóng điện trước (Prestrike) (Hình 4)

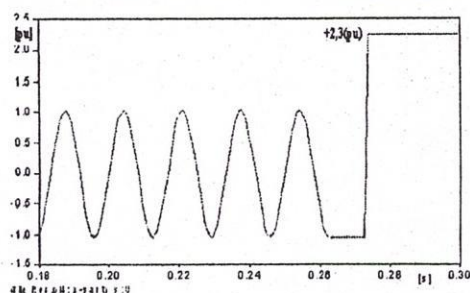


H4.Dạng sóng điện áp

Trong quá trình đóng của các tiếp điểm, điện trường giữa 2 tiếp điểm sẽ tăng rất mạnh và khi độ bền cách điện của lớp điện môi trong máy cắt không chịu nổi, dẫn đến hiện tượng phóng điện trước khi tiếp điểm thực sự đóng giàn tụ vào hệ thống. Áp đặt trên tụ có thể đến 1.89p.u.

2.1.5 Phóng điện trở lại (Restrike) (Hình 5) Hiện tượng phóng điện trở lại là quá trình cắt của các tiếp điểm, độ chênh lệch điện áp giữa áp trên tụ (giữ giá trị áp trước khi cắt) và áp trên hệ thống có thể lên đến 2 p.u. Điện trường giữa 2 tiếp điểm sẽ tăng rất mạnh và khi độ bền cách điện của lớp điện môi trong

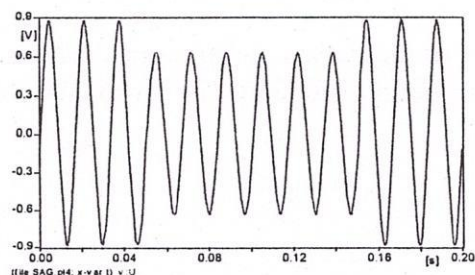




H5. Dạng sóng điện áp

máy cắt không chịu đựng nổi, dẫn đến phóng điện trở lại. Hiện tượng có thể dẫn đến phóng điện lần 2, thậm chí lần 3... và áp trên tụ sẽ tăng dần. Điện áp trên tụ có thể lên đến  $3p.u$  trong lần đầu phóng điện trở lại và lên đến  $6.4p.u$  trong lần phóng điện thứ hai.

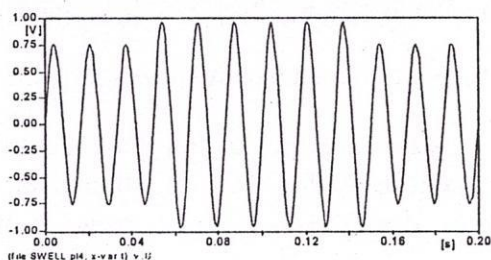
## 2.2. Sóng sụt điện thế (Voltage Sag) (Hình 6)



H6. Dạng sóng điện áp

Sụt điện áp là hiện tượng giá trị điện áp hiệu dụng trong khoảng  $0.1$  đến  $0.9 p.u$ , tần số quá độ bằng tần số hệ thống xảy ra trong khoảng thời gian từ  $0.5$  chu kỳ đến  $1$  phút. Nguyên nhân do ngắn mạch 1 pha, tăng tải đột ngột, khởi động động cơ...

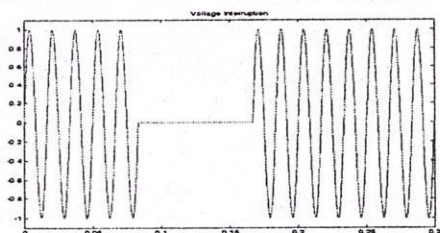
## 2.3. Sóng tăng điện thế (Voltage Swell) (Hình 7)



H7. Dạng sóng điện áp

Do sự cố một pha chạm đất của trạm chuyển tiếp hay trạm trung gian có trung tính cách ly với đất, sự giảm tải đột ngột (điện áp cực đại bằng  $1.73p.u$ ). Giá trị điện áp hiệu dụng tải trong khoảng  $1.1$  đến  $1.8 p.u$ , tần số quá độ bằng tần số hệ thống xảy ra trong khoảng thời gian từ  $0.5$  chu kỳ đến  $1$  phút.

## 2.4. Gián đoạn điện áp (Interruptions) (Hình 8)

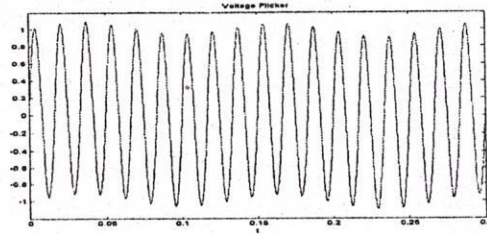


H8. Dạng sóng điện áp

Do sự cố của hệ thống, hư hỏng thiết bị dẫn đến gián đoạn điện. Giá trị điện áp của nguồn cung cấp hay dòng điện tải nhỏ hơn  $0.1p.u$ , tần số quá độ bằng tần số hệ thống xảy ra trong khoảng thời gian từ  $1$  chu kỳ đến  $1$  phút.

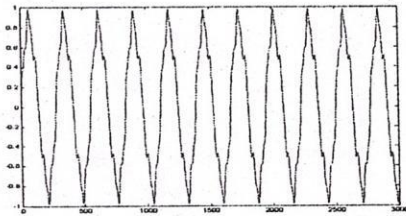
## 2.5. Chập chờn điện áp (Voltage Flicker) (Hình 9)

Chập chờn điện áp là sự thay đổi có tính hệ thống của đường bao điện áp hay là tập hợp của nhiều sự thay đổi ngẫu nhiên về điện áp (phụ tải lò hồ quang, máy hàn...). Theo ANSI C84.1 thì giới hạn biên độ của chập chờn điện áp trong khoảng  $0.9$  đến  $1.1 p.u$  với tần số thấp ( $<25Hz$ ).



H9. Dạng sóng điện áp

2.6. Hoà tần (Harmonics) (Hình 10)



Hoà tần là sự méo dạng của sóng sin chuẩn, có các thành phần tần số thường là bội số của tần số cơ bản.

H10. Dạng sóng điện áp

3. ỨNG DỤNG KỸ THUẬT WAVELET ĐỂ PHÂN TÍCH CÁC NHIỆU ĐIỆN ÁP

3.1. Hàm wavelet

Cho  $\psi$  là một hàm wavelet, là một hàm có chuẩn  $L^2$  và thỏa mãn điều kiện tương thích:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \text{ a được gọi là hệ số co giãn, b là hệ số dịch chuyển, } a \in R^+; b \in R.$$

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

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

3.2. Khai triển wavelet rời rạc (DWT) và kỹ thuật phân tích đa giải (MRA):

DWT là biến đổi tuyến tính tác động trên vector  $2^n$  chiều vào một vector trong không gian tương tự. DWT là một biến đổi trực giao và được dịch chuyển và mở rộng bởi những giá trị rời rạc. Thông thường sử dụng hệ số theo lũy thừa của 2. Một định nghĩa tổng quát của wavelet rời rạc:

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{-\frac{j}{2}} \psi(2^{-j}t - k), \quad j, k \in Z$$

Biến đổi wavelet rời rạc: 
$$DWT(f)(j,k) = \int f(t) \psi_{j,k}(t) dt$$

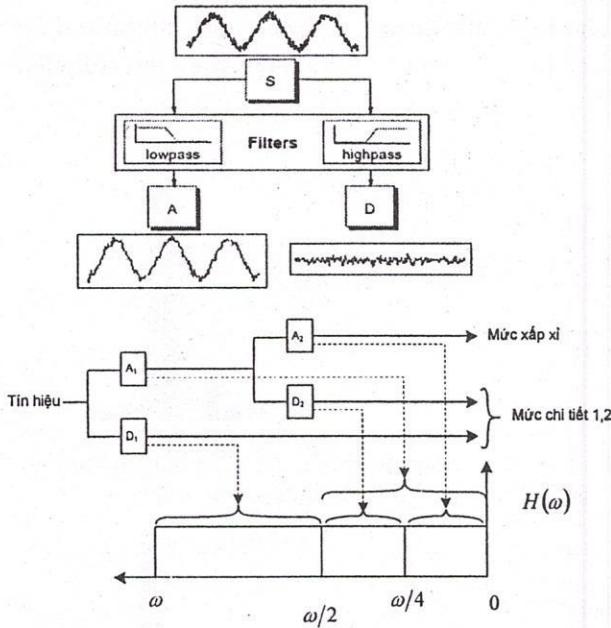
Với điều kiện trực giao chuẩn, có biến đổi ngược: 
$$f(t) = \frac{1}{C} \sum_{j,k \in Z} DWT(f)(j,k) \psi_{j,k}(t)$$

Phân tích đa phân giải (Multi Resolution Analysis) có khả năng như hai bộ lọc (Hình 11), tạo nên hai thành phần xấp xỉ và thành phần chi tiết của tín hiệu vào. Thành phần xấp xỉ có hệ số tỷ lệ cao, tương ứng với tần số thấp trong khi thành phần chi tiết có hệ số tỷ lệ thấp, tương ứng với tần số cao. Với  $n = 2$ , A2 là thành phần xấp xỉ bậc 2, D1 và D2 là thành phần chi tiết bậc 1 và bậc 2 tương ứng.



Định lý Parseval được áp dụng trong phân tích DWT:

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x[k]D)^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |u_j[k]|^2 + \sum_{j=1}^J \left( \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |w_j[k]|^2 \right)$$



Hình 11. Bộ lọc với các xấp xỉ và chi tiết

Đẳng thức trên có thể xem là sự bảo toàn năng lượng của tín hiệu vào. Giá trị đầu tiên của vế phải là năng lượng trung bình của tín hiệu xấp xỉ bậc J. Giá trị thứ hai của vế phải là tổng năng lượng trung bình của tất cả thành phần chi tiết. Biểu thức tính năng lượng của mỗi thành phần chi tiết :

$$P_j = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |w_j[k]|^2 = \frac{\|w_j\|^2}{N}$$

Năng lượng được chuẩn hóa :

$$P_j^D = (P_j)^2$$

Mỗi thành phần chi tiết mang một mức năng lượng riêng, mức năng lượng này tương đương với biên độ khác nhau của sóng hài trong một tín hiệu cần phân tích .

### 3.3. Thời gian quá trình quá độ điện từ:

Nhìn chung, khi hiện tượng quá độ xảy ra, biên độ tín hiệu thay đổi và thời gian gián đoạn tại điểm bắt đầu và điểm cuối trong quá trình quá độ. Thực thi kỹ thuật khai triển wavelet rời rạc để phân tích tín hiệu méo dạng tại mức phân tách 3 sẽ cung cấp hệ số  $w_3$  tại điểm bắt đầu và điểm kết thúc của tín hiệu. Vì vậy, để dàng tính toán tại điểm bắt đầu và điểm kết thúc của quá trình quá độ từ sự thay đổi hệ số wavelet  $w_3$  và tính toán thời gian quá độ

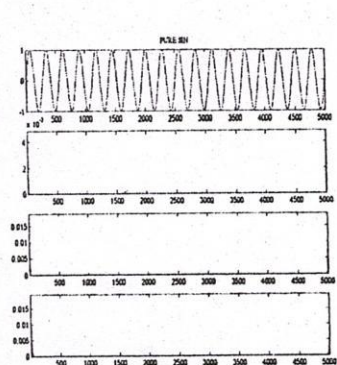
$t_T$ : 
$$t_T = |t_E - t_S|$$

3.4. Thực nghiệm và kết quả: sau đây là các kết quả thí nghiệm bằng số áp dụng kỹ thuật DWT với hàm wavelet Daubanchie “db4” và tính toán giá trị phân bố năng lượng

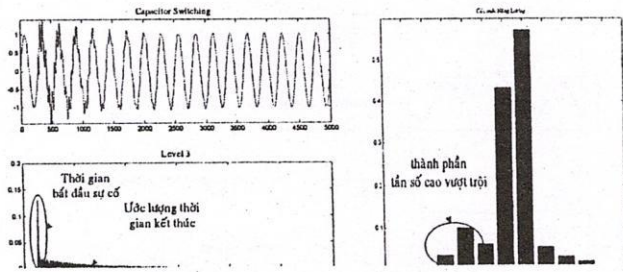
theo các mức cho các dạng nhiễu khác nhau được mô phỏng ở trên và chuyển sang Wavelet Toolbox trong Matlab (Hình 12 đến Hình 22).

### 3.5.Nhận xét

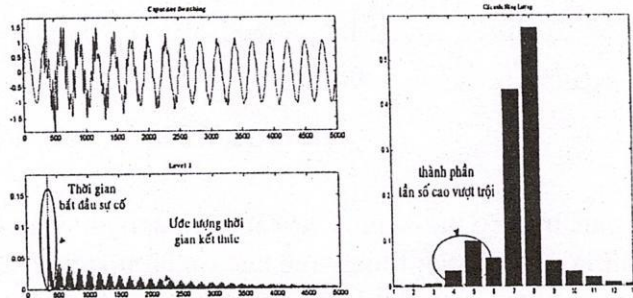
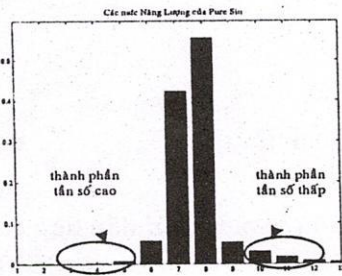
Có thể dựa vào giản đồ phân bố mức năng lượng, khoảng thời gian quá độ và biên độ quá độ trong quá trình quá độ để có thể nhận dạng được một hiện tượng bất kỳ trong 7 hiện tượng vừa nêu trên (xem sóng sin chuẩn như một hiện tượng và các quá trình phóng điện trước, phóng điện trở lại là hai hiện tượng đặc biệt của đóng cắt tụ bù). Nhận xét rằng hai



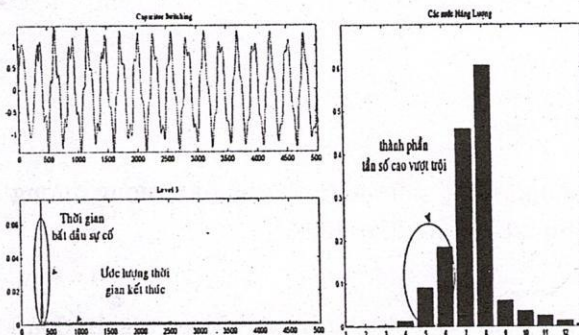
H 12. Phân tích các mức chi tiết và phân bố năng lượng của sóng sin chuẩn



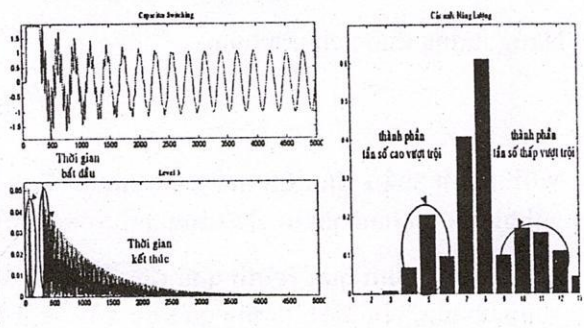
H 13. Phân tích các mức chi tiết và phân bố năng lượng của sóng điện áp khi đóng trạm tụ cách ly



H 14. Phân tích các mức chi tiết và phân bố năng lượng của sóng điện áp khi đóng trạm tụ với hiện tượng khuếch đại điện áp

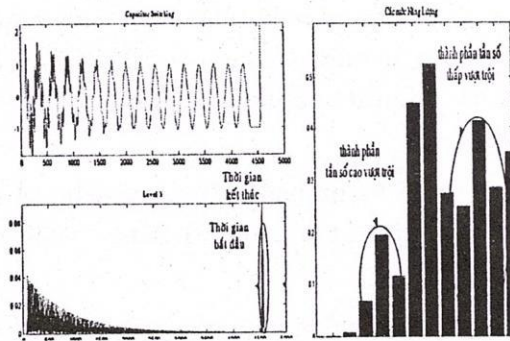


H 15. Phân tích các mức chi tiết và phân bố năng lượng của sóng điện áp khi đóng trạm tụ sóng song

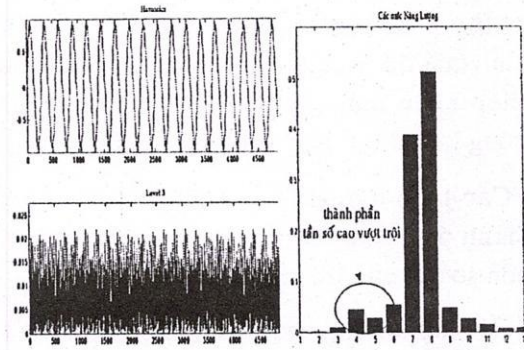


H16. Phân tích các mức chi tiết và phân bố năng lượng của sóng điện áp khi có hiện tượng phóng điện trước

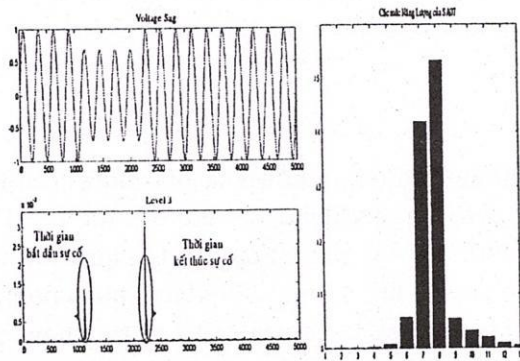




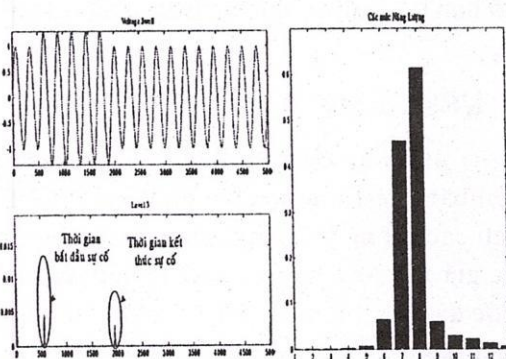
H 17. Phân tích các mức chi tiết và phân bố năng lượng của sóng điện áp khi có hiện tượng phóng điện trở lại



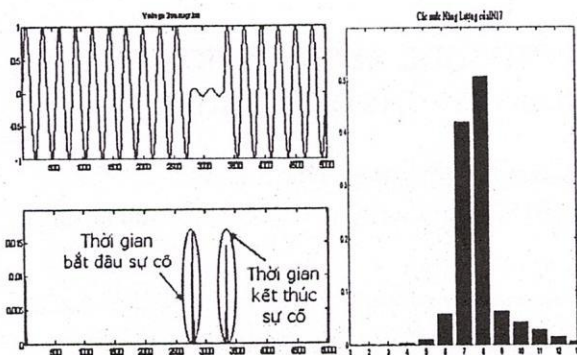
H 18. Phân tích các mức chi tiết và phân bố năng lượng của sóng điện áp khi có hiện tượng sóng hài



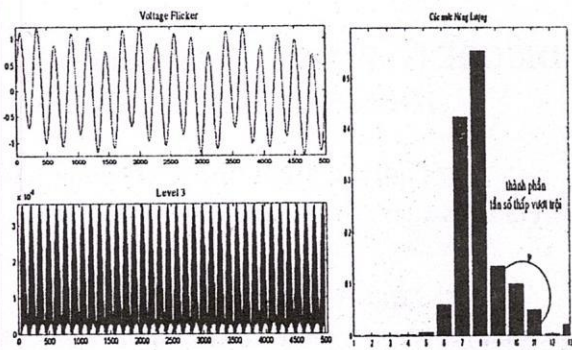
H 19. Phân tích các mức chi tiết và phân bố năng lượng của sóng sụt điện áp



H 20. Phân tích các mức chi tiết và phân bố năng lượng của sóng tăng điện áp



H 21. Phân tích các mức chi tiết và phân bố năng lượng của sóng điện áp khi mất điện



mức năng lượng 7 và 8 tương đương với thành phần tần số cơ bản (50Hz), các mức năng lượng từ 1 đến 6 đại diện cho thành phần tần số cao của tín hiệu vào và các mức năng lượng từ 9 đến 13 đại diện cho thành phần tần số thấp. Đối với tín hiệu sin chuẩn chỉ có thành phần năng lượng 7 và 8 là vượt trội, các thành phần tần số cao và thành phần tần số thấp khác đều không đáng kể. Từ quá trình phân tích mẫu, chỉ cần dựa vào nhiều bậc 3



trong 13 bậc của phân tích DWT có thể nhận biết được thời gian bắt đầu và kết thúc quá trình quá độ. Các phân tích dựa vào các mức năng lượng sẽ được sử dụng như là chuẩn cho phép nhận dạng, đánh giá một cách định lượng các hiện tượng nhiễu khác nhau xảy ra trong lưới điện. Ngoài ra, có thêm các nhận xét sau:

- Các hiện tượng đóng cắt tụ bù và sóng họa tần, ngoài thành phần tần số cơ bản, sẽ có thành phần tần số cao tương đương với các thành phần năng lượng mức 1 đến 6 vượt trội hơn so với của tín hiệu Sin chuẩn.
- Các hiện tượng chập chờn điện áp và mất điện (biên độ áp bằng không), ngoài thành phần tần số cơ bản, sẽ có thành phần tần số thấp tương đương với các thành phần năng lượng mức 9 đến 13 vượt trội hơn so với của tín hiệu Sin chuẩn.
- Các hiện tượng sụt điện áp, tăng điện áp và mất điện (biên độ áp lớn hơn 0.0 pu nhưng nhỏ hơn 0.1 p.u) sẽ có các mức năng lượng tương tự với tín hiệu Sin chuẩn.

#### IV. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày việc mô phỏng các hiện tượng nhiễu khá phổ biến trên lưới điện bằng phần mềm chuyên dụng ATP-EMTP, và dùng kỹ thuật wavelet rời rạc DWT để trích các thông tin cần thiết. Các thông tin có được từ việc phân tích các kết quả dựa trên các giá trị năng lượng của các mức khác nhau ứng với những tín hiệu khác nhau cho phép bước đầu có thể phân biệt các loại nhiễu khác nhau, và sẽ là các đầu vào để tiến hành quá trình nhận dạng, phân loại trong các bài báo kế tiếp dùng các thuật toán mạng neuron hoặc kỹ thuật logic mờ, hoặc kỹ thuật neuro-fuzzy. Các kết quả nhận được trong bài báo cho thấy kỹ thuật wavelet thực sự là một phương tiện hữu hiệu trong việc đánh giá các quá trình chất lượng điện năng trên lưới điện.

### DISCRETE WAVELET TRANSFORM TECHNIQUE APPLICATION IN IDENTIFICATION OF POWER QUALITY DISTURBANCES

Nguyen Huu Phuc<sup>(1)</sup>, Truong Quoc Khanh<sup>(1)</sup>, Nguyen Nhan Bon<sup>(2)</sup>

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

**ABSTRACT:** Poor power quality may cause many problems for affected loads, such as malfunctions, instabilities, short equipment lifetime, and so on. Poor quality electric power is normally caused by power-line disturbances, such as lightning impulses, interruption, voltage swell, voltage sag, harmonic distortion, flicker, resulting in failures of end-user equipment. In order to improve power quality, the sources and causes of such disturbances should be identified and localized before appropriate mitigating actions can be taken. In the paper the Discrete Wavelet Transform (DWT) Technique with Multiresolution Analysis (MRA) is used to classify various power disturbance types simulated with the help of Alternative Transient Program- ElectroMagnetic Transient Program (ATP-EMTP). The analysis conducted and results obtained show the merit of method in use and prospective application of wavelet technique to power disturbances assessment.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO



- [1]. 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.
- [2]. Santoso S., 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.
- [3]. Zve-Lee Gaing, *Wavelet-Based Neural Network for Power Disturbance Recognition and Classification*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 19, No. 4, Oct. 2004, pp1560-1567.
- [4]. 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 .
- [5]. ATP-EMTP Software 2002-2003



