

PHÂN TÍCH CHẤT LƯỢNG ĐIỆN NĂNG SỬ DỤNG WAVELET VÀ S-TRANSFORM

Truong Quang Dang Khoa, Bùi Quang Bảo*

Trường Đại học Bách Khoa Tp. Hồ Chí Minh
Sinh viên cao học Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật Tp. Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, chất lượng điện năng rất được chú ý vì nó liên quan đến các thiết bị điện tử công suất và tải phi tuyến trong hệ thống điện tử công suất, bảo vệ thiết bị nhạy cảm và phân loại chính xác các loại nguồn gây mất ổn định.

Để giám sát chất lượng điện năng, người ta sử dụng phép biến đổi Fourier độc lập trong thời gian ngắn (STFT).

STFT không theo kịp tác động của thời gian liên quan đến giới hạn chiều rộng cửa sổ cố định (**limitations of a fixed window width**).

Một phương pháp phân tích chất lượng điện năng mới sử dụng để hỗ trợ biến đổi wavelet (WT) là biến đổi S (ST) và phân tích một số vấn đề về chất lượng điện năng sử dụng WT và ST..

1. GIỚI THIỆU:

Công suất phát tăng nhưng chất lượng điện năng lại có xu hướng giảm theo qui mô số nhà máy điện và số khách hàng tăng lên.

Chất lượng điện năng sử dụng để đánh giá sự khác nhau về điện áp, dòng điện, tần số với dạng sóng sine ổn định tại tần số bình thường. Do đó, chất lượng điện năng liên quan đến mất ổn định của hệ thống điện do sử dụng các thiết bị điện nhạy cảm (cảm ứng). Vì vậy phải phân loại chính xác mất ổn định để đảm bảo chất lượng điện năng ta không sử dụng STFT vì STFT không thành công khi phân tích các tín hiệu quá độ đối với cả hai thành phần tần số cao tần số thấp. Mặt khác, ST sử dụng sử dụng của sổ ngắn ở tần số cao và sử dụng cửa sổ dài tại tần số thấp. Vì thế tính chất của WT cung cấp một cách tự động sự phát hiện, định vị và phân loại các dạng sóng nhiễu gây ảnh hưởng đến chất lượng điện năng.

Mặc dù wavelet multi-resolution analysis (MRA) kết hợp với một số mạng neural lớn ảnh

hưởng đến chất lượng điện năng, nhiều trong miền thời gian. Vì thế sags, swell...thì không dễ dàng được phân loại. Thêm vào đó, một số thành phần tần số nhiễu quan trọng thì không được chính xác khi sử dụng biến đổi wavelet (WT).

Vì thế, trong tập tài liệu này sẽ đưa ra một biến đổi mới là biến đổi S (S-Transform). ST chia ra làm nhiều vùng thời gian của cửa sổ **Gaussian** giá trị thực với sự mã hóa, vì thế của sổ dịch chuyển mà không cần phải mã hóa. Không những thế có thể so sánh các kết quả đạt được với WT để tăng thêm giá trị cho ST và chứng minh rằng ST thì tốt hơn STFT và WT

2. PHÂN TÍCH TÍN HIỆU QUA CÁC QUÁ TRÌNH TIẾN HÓA TỪ FOURIER ĐẾN WAVELETS

2.1 Biến đổi Fourier và chuỗi Fourier

Chuỗi Fourier của một hàm $f(x)$ xác định trong khoảng $(-1, 1)$ cho bởi:

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n \exp\left(\frac{in\pi x}{l}\right) \quad (3.1)$$

Trong đó, các hệ số khai triển Fourier là:

$$c_n = \frac{1}{2l} \int_{-l}^l f(t) \exp\left(-\frac{in\pi t}{l}\right) dt$$

Để nhận được một cách biểu diễn cho những hàm số không tuần hoàn xác định với mọi x , cho $l \rightarrow \infty$, từ đó dẫn đến công thức về lý thuyết tích phân Fourier.

$$f(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega x} d\omega \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega t} f(t) dt$$

Về mặt toán học, đây là cách biểu diễn liên tục của khai triển Fourier. Công thức này xác định một lượng vô hạn các thành phần hài với tần số $\left(\frac{\omega}{2\pi}\right)$ và biên độ.

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$

Trong đó, chuỗi khai triển Fourier ban đầu là một phương pháp biểu diễn một hàm số thành tổng những thành phần hài, phương pháp quan trọng nhất để giải các bài toán vi phân từng phần

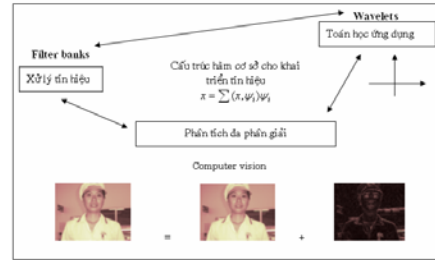
Hạn chế của phép biến đổi Fourier:

Phép biến đổi Fourier gần như không tương thích vào khảo sát những vấn đề thực tế bởi hai nguyên nhân:

- Phép biến đổi Fourier của một tín hiệu không thể hiện bất kỳ một thông tin cục bộ nào vì vậy nó không thể phản ánh được sự thay đổi dạng sóng trong miền thời gian.
- Phép biến đổi Fourier chỉ cho khảo sát trong một trong hai miền là thời gian và tần số mà không thể cùng lúc trong hai miền.

Do đó trong bài toán thực tế rất cần thiết cho việc xác định một phép biến đổi duy nhất của miền thời gian và miền tần số mà có thể sử dụng để mô tả mật độ năng lượng trong cả miền thời gian và tần số.

2.2 Biến đổi Wavelet



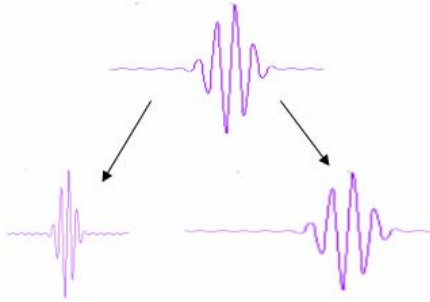
Hình 1 Các lĩnh vực nghiên cứu độc lập về cùng một vấn đề

Những thành phần tần số cao thường có thời gian tồn tại ngắn hơn những thành phần tần số thấp. Morlet đã đưa ra ý tưởng đối chiếu các phiên bản, được dịch đi hoặc co giãn từ một hàm Wavelet mẹ $\psi(t)$, được gọi là các wavelet với sóng tín hiệu nguyên mẫu để nhận được các thành phần tần số và thời gian trong tín hiệu nguyên bản. Như đã giới thiệu ở chương hai, với một hàm wavelet mẹ $\psi(t)$, các phiên bản được tạo thành bằng cách thêm vào các hệ số tỷ lệ a (scale – đo mức độ co giãn) và hệ số dịch chuyển b (shift – xác định vị trí thời gian tương ứng) như sau:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

$$a \in R^*; b \in R$$

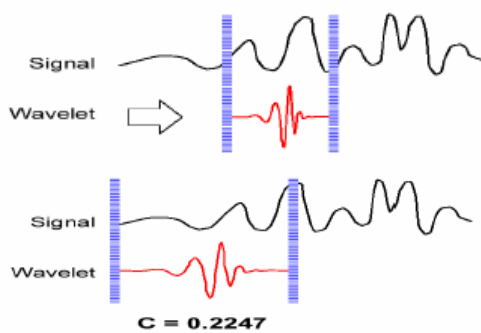
Nếu $a < 1$ thì (1) là phiên bản nén của hàm wavelet mẹ tương ứng với thành phần tần số cao. Nếu $a > 1$ thì (1) có độ rộng thời gian lớn hơn và tương ứng với thành phần tần số thấp hơn. Do đó, các wavelet sẽ có độ rộng thời gian thích ứng với tần số của chúng. Đây là lý do chính của sự thành công với wavelet Morlet trong xử lý tín hiệu và trong phân tích tín hiệu theo thời gian và tần số. Để ý rằng, độ phân giải của các wavelet tại các tỷ lệ khác nhau thay đổi trong miền thời gian và tần số tuân theo nguyên tắc bất định của Heisenberg. Ở hệ số tỷ lệ a lớn thì độ phân giải là thô trong miền thời gian nhưng lại là tinh trong miền tần số; khi hệ số a giảm thì độ phân giải trong miền thời gian trở nên mịn hơn trong khi đối với tần số lại trở nên thô hơn.



Hình 2 Các phiên bản co giãn từ wavelet mẹ

Morlet đã phát triển đầu tiên một cách thức mới phân tích tín hiệu thời gian - tần số sử dụng cái mà ông gọi là những sóng con có hình dạng cố định để đối chiếu với việc phân tích các hàm trong STFT không có hình dạng cố định. Những sóng con đó, về sau gọi là wavelet. Biến đổi Wavelet thuận được hình thành trên cơ sở đó:

$$CWT_f(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) f(t) dt \quad (2)$$

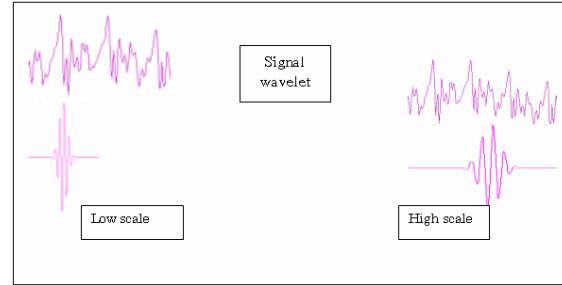


Hình 3 Biến đổi wavelet thuận liên tục (CWT) thực hiện trên hàm $f(t)$

Minh họa trên hình 3, biến đổi Wavelet thuận liên tục (CWT) của hàm $f(t)$ sẽ trả về một độ lớn các hệ số $C_{a_i, b_j} = CWT_f(a_i, b_j)$ đo mức độ tương quan giữa wavelet với tín hiệu $f(t)$ trong những khoảng thời gian khảo sát hữu hạn, được tính trên toàn trục thời gian (thông qua tích phân), với a là hệ số tỉ lệ (co giãn) của wavelet mẹ, và b là hệ số chuyển dịch của wavelet ở vị trí hiện tại so với vị trí ban đầu.

Nếu hệ số tỉ lệ (co giãn) a càng nhỏ, wavelet bị hẹp lại và giá trị tần số tương ứng của nó càng cao. Và ngược lại, hệ số tỉ lệ (co giãn) a càng lớn, wavelet bị trải rộng ra và giá trị tần số tương ứng của nó càng thấp. Khi đó, hệ số $C_{a_i, b_j} = CWT_f(a_i, b_j)$ sẽ phản ánh giá trị tần số

tương ứng với khoảng thời gian khảo sát của tín hiệu nguyên bản.



Hình 4 Các phiên bản co giãn từ wavelet mẹ sẽ có tần số khác nhau

3. BIẾN ĐỔI S (S-TRANSFORM)

Sử dụng biến đổi wavelet liên tục (CWT) hỗ trợ pha của wavelet mẹ (mother wavelet)

Hàm $h(t)$ xác định CWT $W(\tau, d)$ như sau:

$$W(\tau, d) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t) w(t - \tau, d) dt \quad (1)$$

$W(t, d)$ là 1 bản sao (scaled replica) của wavelet mẹ cơ bản; và ở vị trí nhô lên xác định độ rộng wavelet. Biến đổi S [7,8,9] được xác định bằng cách nhân CWT với hệ số pha:

$$S(\tau, f) = e^{i2\pi f t} W(\tau, d) \quad (2)$$

Wavelet mẹ được xác định như sau:

$$W(t, f) = \frac{f}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2 f^2}{2}} e^{-\pi i t} \quad (3)$$

Phương trình (2) hệ số giãn d thì ngược với tần số f . Như vậy, dạng cuối cùng của biến đổi S liên tục là:

$$S(t, f) = \frac{f}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} h(t) e^{-\frac{(t-\tau)^2 f^2}{2}} e^{-i2\pi f t} dt \quad (4)$$

Chiều rộng của cửa sổ Gaussian là:

$$\sigma(f) = T = \frac{1}{|f|} \quad (5)$$

Từ biến đổi S (ST) thể hiện phổ cục bộ (địa phương), phổ Fourier hay phổ thời

gian trung bình xác định qua phổ vị trí trung bình qua biến đổi S ngược.

$$h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\int_{-\infty}^{+\infty} S(\tau, f) d\tau \right) e^{i2\pi ft} df \quad (6)$$

Biến đổi S rời rạc (DST) là $h[kT], k=0,1,\dots,N-1$ trong một thời gian gián đoạn tương ứng $h(t)$ với khoảng thời gian mẫu của T. Biến đổi Fourier rời rạc của $h[kT]$ là:

$$H\left[\frac{n}{NT}\right] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} h[kT] e^{-\frac{2\pi nk}{N}} \quad (7)$$

Với $n=0,1,2,\dots,N-1$. Trong trường hợp rời rạc biến đổi S [7,8,9] có vector xác định bởi chuỗi thời gian $h[kT]$ thành bộ vector khoảng cách không trực giao và các thành phần ST thì phụ thuộc lẫn nhau. Mỗi vector cơ bản chia thành N vector vị trí với N Cửa sổ Gaussian dịch chuyển (N shifted Gaussian windows)

Vì thế DST cho bởi phương trình sau:

$$S\left[jT, \frac{n}{NT}\right] = \sum_{m=0}^{N-1} H\left[\frac{m+n}{NT}\right] G(m, n) e^{\frac{i2\pi mj}{N}} \quad (8)$$

Với $\begin{cases} f \text{ chuyển thành } n/NT. \\ \tau \text{ chuyển thành } jT. \end{cases}$

$$G(m, n) = e^{-\frac{2\pi^2 m^2 n^2}{n^2}} \quad (9)$$

$$\text{và } \alpha = \frac{1}{b} \begin{cases} n = 1, 2, 3, \dots, N-1 \\ j = m = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1 \\ N : \text{tongsomau} \end{cases}$$

Giá trị b thay đổi trong khoảng 0,333 để 5 sẽ cho các kết quả khác nhau

- Tần số thấp \rightarrow giá trị cao của b được chọn.

- Tần số cao \rightarrow chọn b có giá trị thấp.

Cho $n = 0$, ST có dạng như sau:

$$S[jT, 0] = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} h\left[\frac{m}{NT}\right] \quad (10)$$

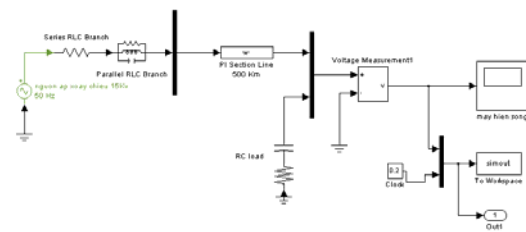
Phương trình (10) thể hiện kết quả thời gian của độ lớn trung bình ma trận S trong phổ Fourier.

4. SO SÁNH KẾT QUẢ PHÂN TÍCH CHẤT LƯỢNG ĐIỆN NĂNG SỬ DỤNG BIẾN ĐỔI WAVELET VÀ BIẾN ĐỔI S

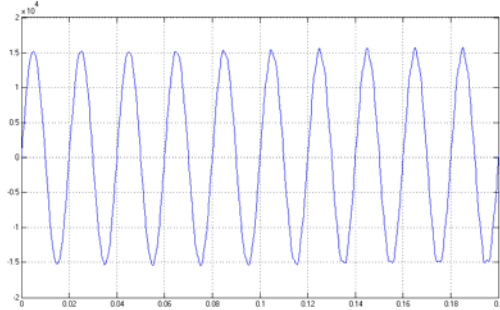
Bao gồm : võng điện áp (sags voltages), trỗi điện áp (swell voltage), harmonic (sóng hài) và gián đoạn tạm thời.

Sử dụng nguồn vị trí thời gian – tần số của biến đổi S và kết quả so sánh với biến đổi wavelet Daubenchies 4 (Db4) khi wavelet mẹ thực hiện cấp độ đầu phân biệt và phân tích dựa trên máy tính tạo ra các dạng sóng sử dụng mã chương trình Matlab.

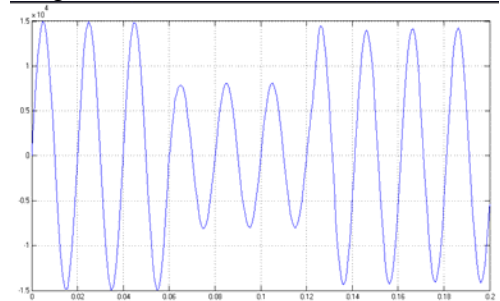
- Sử dụng trình simulink trong matlab tạo mạch mô phỏng với các dạng sóng yêu cầu là sine, sag, swell, harmonic và interruption.



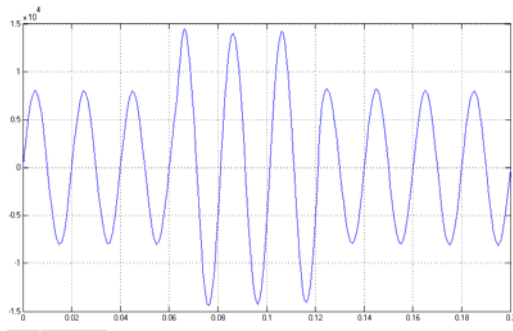
◆ Sine



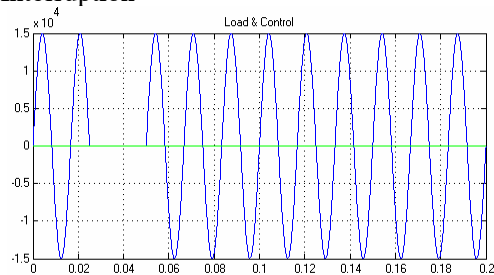
◆ Sag



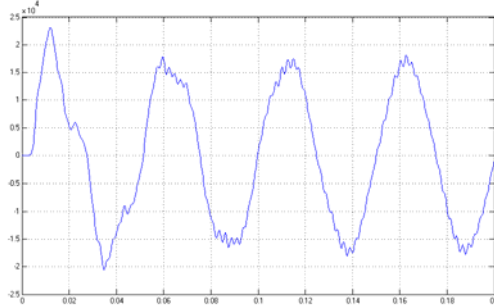
◆ Swell



◆ Interruption

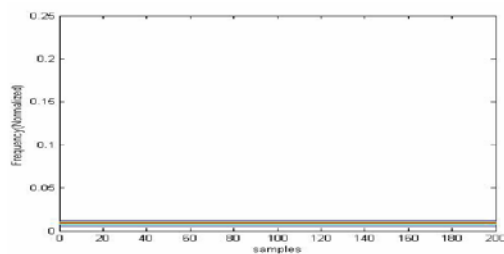


◆ Harmonic

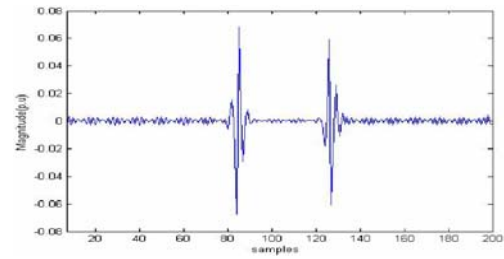


- Phân tích dạng sóng dùng wavelet DB4. Kết quả phân tích các dạng sóng có dạng như sau:

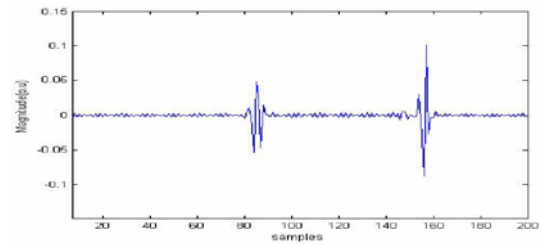
◆ sine



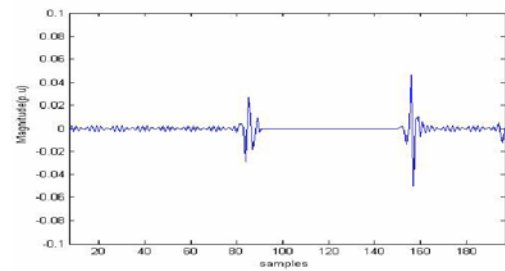
◆ sag



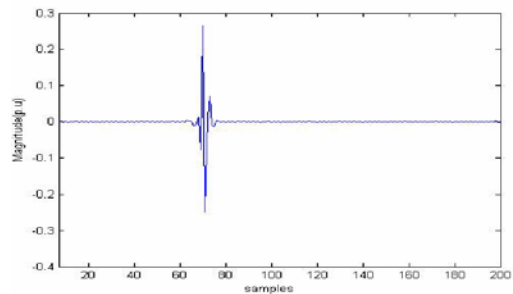
◆ swell



◆ interruption

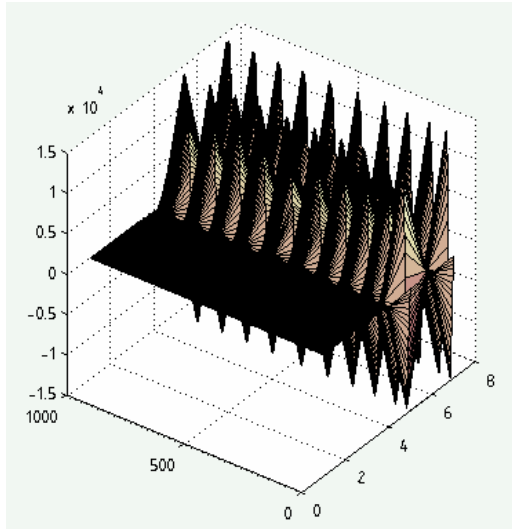


◆ harmonic



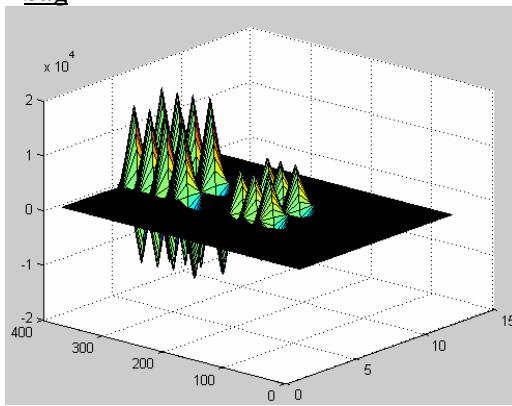
- Nhận xét: Sử dụng biến đổi Wavelet không phân biệt được hai tín hiệu sag và swell cũng như khó phân biệt trường hợp gián đoạn tạm thời (xem hình phân tích bằng Wavelet Db4)
- Mã nguồn m file biến đổi S (tham khảo phần phụ lục)
- So sánh kết quả biến đổi wavelet và biến đổi S.

Sine



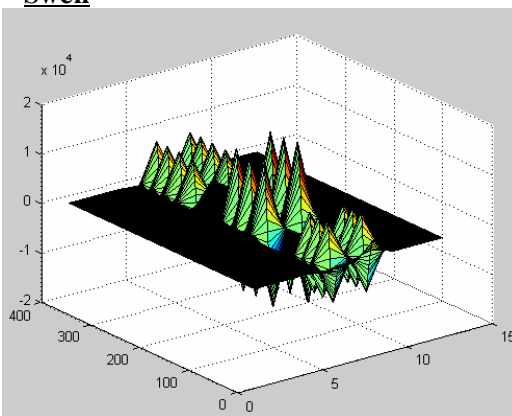
Dạng sóng được phân tích thể hiện bằng hình vẽ 3D theo trục biên độ, thời gian và tần số.

Sag



Phân tích bằng S-Transform cho biết chính xác biên độ, tần số và thời gian xảy ra hiện tượng sụt áp trên lưới.

Swell

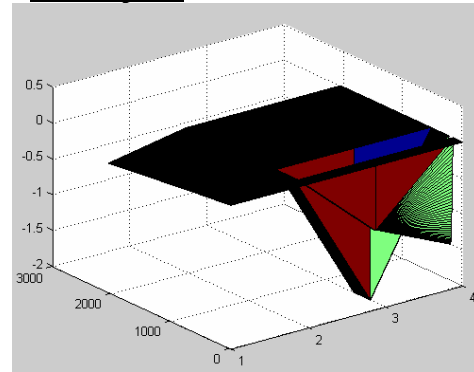


Quan sát sag và swell đối với biến đổi S sẽ phân biệt rõ ràng hai loại hiện tượng này,

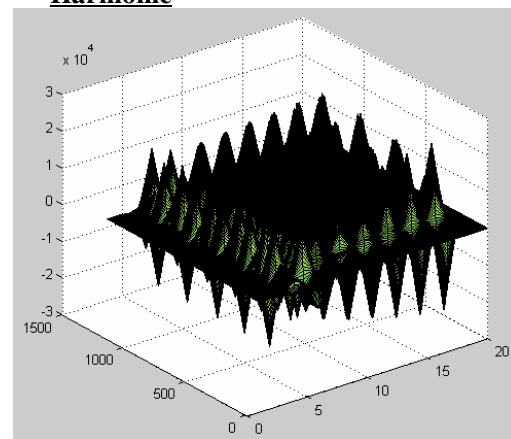
không gây nhầm lẫn cũng như khó phân biệt khi sử dụng biến đổi wavelet.

Hệ số giống nhau giữa sag và swell là 15 giống như Wavelet transform nhưng sẽ dựa vào biên độ 3D phân loại hai loại nhiễu.

Interruption



Harmonic



5. KẾT LUẬN

Thiếu chất lượng điện năng thì sự gián đoạn của các thiết bị cảm biến công nghiệp gây ảnh hưởng đến chi phí và là các tác nhân gây mất ổn định phải được phát hiện, phân loại nguồn gốc để đo lường đúng để đảm bảo chất lượng điện năng.

DWT và ST dường như là một công cụ cực mạnh để phát hiện, định vị và phân loại các tác nhân gây mất ổn định của hệ thống điện.

So với biến đổi Fourier STFT và WT.

Sử dụng cơ sở luật đơn giản hay mạng neural với các chức năng mở rộng từ

đường biến đổi S có thể dễ dàng được quan sát bởi ST.

ST cũng được áp dụng cho các loại mất ổn định khác như sụt áp, sóng hài với võng điện áp hay vọt lố điện áp

REFERENCES

1. JACK KURZWEIL, An introduce to Digital Communications, John Wiley and Sons, Inc.
2. A. BRUCE CARLSON, Communication Systems, 3rd-ed., McGraw-Hill, Inc., 1986, ISBN 0 – 07 – 009960 – X
3. BERNARD, SKLAR, Digital Communications Fundamentals & Applications, Prentice Hall, Inc.
4. TRI T. HA, Digital Satellite Communications, 2nd-ed., McGraw-Hill, Inc., 1990, ISBN 0 – 07 – 100752 – 0
5. C. SIGNEY BURUS, RAMESH A. GOPINATH & HAITAO GUO, Introduction to Wavelets & Wavelets Wransforms, A Primer, Prentice Hall, Inc., 1998, ISBN 0 – 13 – 489600 – 9
6. “High voltage Engineering Theory & Practic” M. Abdel-Salam, Marcel Dekker Inc., New york, 2000
7. “High voltage Engineering”, M.S. Naidu, V. Kamaraju, Tata McGraw-Hill, 2004
8. “Quá điện áp trong hệ thống điện” , Nguyễn Hoàng Việt, ĐHBK Tp.HCM, 2001
9. Tập bài giảng chuyên đề về Wavelets và ứng dụng” Lê Tiến Thường, ĐHBK Tp.HCM, 4/2003
10. “Document of short Course in HCMUT: wavelets in Signal and Image Processing”, Minh N. Do, University of Illiois at Urbana-Champaign, USA, 2004
11. “Wavelets and Subband Coding”, Martin vetterli, Prentice hall Inc., New Jersey, 1995
12. “Wavelets and Subband Coding”, Martin vetterli, Prentice hall Inc., New Jersey, 1995
13. “ Lý thuyết và bài tập xử lý tín hiệu số”, Tống văn On, NXB Lao Động-Xã Hội, 11/2002
14. “The student Edition of Matlab-user’s guide”, The MathWorks Inc., Prentice hall, 1995
15. “ Detection and Measurement of Power quality-Thesis”, Scott Grimsley, the school of Engineering, James Cook University, Ustralia, 10/2001.
16. N.K. BOSE, P. LIANG, Neural Networks Fundamentals, Graphs, Algorithms & Applications, McGraw-Hill, Inc., 1996, ISBN 0 – 07 – 006618 – 3
17. Math Works, Inc., Neural Networks Toolbox, User’s Guide, 1992-1997
18. FREDRID M. HAM, IVICA KOSTANIC, Principles of Neurocomputing of Science Engineering, McGraw-Hill, Inc.,
19. SAMUEL, D. STEARNS, RUTH A. DAVID, Signal Processing Algorithms in MATLAB, Prentice Hall, Inc., 1996, ISBN 0 – 13 – 045154 – 1
20. MICHEL MISITI, YVES MISITI, GEORGES OPPENHEIM, JEAN-MICHEL POGGI, Wavelet Toolbox User’s Guide, The Math Works, Inc., 1997
21. THEODERE S. RAPPAPORT, Wireless Communication, Prentice Hall, Inc., 1996, ISBN 0 – 13 – 375536 – 3
22. DSP – TMS320C6xxx, Math Works, Inc.
23. Chien-Hsing Lee, Yaw-Juen Wang, Wen-Liang Huang, “ A literature survey of Wavelet in Power Engineering Applications ”, Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(A) Vol. 24, No. 4, 2000, pp 249-258.
24. 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 .

25. Gu, Y.H.; Bollen, M.H.J; “Time-frequency and time-scale domain analysis of voltage disturbance ” , IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 15, No. 4, Oct. 1999, pp1279-1284.
26. 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.
27. Các bài báo và tạp chí IEEE.