

การตรวจจับและวิเคราะห์ฮาร์มอนิกโดยใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ต

สุริยา แก้วอาษา^{1*} และ กิตติ อัดถกิจมงคล²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการในการตรวจจับและวิเคราะห์ฮาร์มอนิกโดยใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ตและใช้การวิเคราะห์หลายระดับความละเอียดเพื่อสกัดคุณลักษณะเด่นของสัญญาณฮาร์มอนิกซึ่งอยู่ในรูปค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การแปลงสัญญาณในส่วนรายละเอียดที่ระดับความละเอียดต่างๆ การทดสอบใช้มัลติเวฟเล็ต 3 ชนิด คือ มัลติเวฟเล็ตแบบ DGHM Chui-Lian และ SA4 เพื่อการเปรียบเทียบ นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบกับแปลงเวฟเล็ตโดยใช้เวฟเล็ตชนิด db4 ซึ่งมีค่าอันดับการประมาณเท่ากับมัลติเวฟเล็ตทั้ง 3 ชนิด ผลการทดสอบพบว่า วิธีการแปลงมัลติเวฟเล็ตแบบ DGHM Chui-Lian และ SA4 สามารถตรวจจับและสกัดคุณลักษณะของฮาร์มอนิกในสภาวะที่มีสัญญาณรบกวนที่ระดับ SNR เท่ากับ 40 35 และ 25 dB ได้ดีกว่าการแปลงเวฟเล็ตแบบ db4

คำสำคัญ : ฮาร์มอนิก, การแปลงเวฟเล็ต, การสกัดคุณลักษณะ, การประมวลผลสัญญาณ

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสวนหลวง

² สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

* ผู้ติดต่อ, อีเมล: suriya_ka@hotmail.com รับเมื่อ 1 กันยายน 2558 ตอบรับเมื่อ 23 พฤศจิกายน 2559

Detection and Analysis of Harmonic Using Multiwavelet Transform

Suriya Kaewarsa^{1*} and Kitti Attakitmongcol²

Abstract

This paper presents a method to detect and analysis of harmonic using multiwavelet transform. The proposed method associates properties from the multiresolution analysis technique with standard deviation of the detailed coefficients to extract the discriminating features from harmonic signal at different resolution levels. In experiments, three types of multiwavelet which are DGHM, Chui-Lian and SA4 are implemented for comparisons. The results are also compared with the one using db4 wavelet which has the same approximation order. The results demonstrate the advantages of multiwavelet transform over wavelet transform in detection and feature extraction of harmonic under noisy conditions with the SNR levels of 40, 35 and 25 dB.

Keywords : Harmonic, Wavelet transform, Feature extraction, Signal processing

¹ School of Electrical Engineering, Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Sakon Nakhon Campus.

² School of Electrical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology.

* Corresponding author, E-mail: suriya_ka@hotmail.com Received 1 September 2015, Accepted 23 November 2016

1. บทนำ

ปัญหาฮาร์มอนิกเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากในระบบไฟฟ้ามีการใช้อุปกรณ์ที่มีส่วนประกอบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นจำนวนมาก เช่น อุปกรณ์ประเภทอินเวอร์เตอร์ เคา หลอมแบบอาร์ค ระบบคอมพิวเตอร์ เป็นต้น โดยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเหล่านี้เป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก หากระบบไฟฟ้ามีปริมาณฮาร์มอนิกสูงก็จะส่งผลทำให้อุปกรณ์บางชนิดในระบบเสียหายหรือมีการทำงานผิดพลาด [1] ดังนั้นการศึกษาคุณลักษณะของฮาร์มอนิกจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ เพื่อให้รู้ถึงแหล่งกำเนิดของปัญหา ซึ่งจะนำไปสู่การแก้ปัญหาที่ถูกต้องและเหมาะสม ในปัจจุบันการวิเคราะห์สัญญาณฮาร์มอนิกสามารถกระทำโดยใช้การแปลงฟูริเยร์ (Fourier Transform) [2] แต่วิธีนี้อาจส่งผลกระทบต่อความต้องการของข้อมูลซึ่งเกิดจากข้อจำกัดของคาบข้อมูล ตัวอย่าง ต่อมา Santoso และคณะ [3] ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้การแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform) และการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียด (Multiresolution Analysis) เพื่อสกัดคุณลักษณะ (Feature Extraction) ของสัญญาณที่เกิดขึ้น โดยหาค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตซึ่งอยู่ในรูปของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อเป็นอินพุตในการจำแนกปัญหาคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ระบบอัจฉริยะ เช่น เครื่องข่ายประสาทเทียม เป็นต้น แต่เนื่องจากข้อมูลอินพุตในรูปค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตของสัญญาณ เช่น แรงดันตกชั่วขณะ แรงดันเกินชั่วขณะ ฮาร์มอนิก เป็นต้น มีค่าต่างกันไม่มาก โดยเฉพาะในสภาวะที่มีสัญญาณรบกวน (Noise) อาจส่งผลทำให้การจำแนกประเภทปัญหาคุณภาพไฟฟ้ามีความผิดพลาด

การแปลงมัลติเวฟเลตเป็นวิธีการที่พัฒนามาจากการแปลงเวฟเลต โดยจะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยด้านการประมวลผลภาพ (Image Processing) สำหรับการประยุกต์ใช้การแปลงมัลติเวฟเลตในงานวิจัยด้านระบบไฟฟ้ากำลังยังมีจำนวนไม่มาก โดย Kaewarsa และคณะ [4] ได้นำเสนอวิธีรู้จำปัญหาคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้การแปลงมัลติเวฟเลตแบบ DGHM และเครือข่ายประสาทเทียม ซึ่งพบว่าในสภาวะไม่มีสัญญาณรบกวนการแปลงมัลติเวฟเลต DGHM มีประสิทธิภาพในการตรวจจับฮาร์มอนิกได้ดีเช่นเดียวกับการแปลงเวฟเลต แต่ไม่ได้มีการทดสอบในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนซึ่งย่อมมีผลต่อความผิดพลาดในการตรวจจับสัญญาณ โดย Yinglin และคณะ [5] ได้ศึกษาการตรวจจับตำแหน่งการเกิดปัญหาแรงดันตกชั่วขณะโดยใช้มัลติเวฟเลตแบบ GHM และการลดทอนสัญญาณรบกวนของสัมประสิทธิ์ข้างเคียง พบว่า เมื่อมีการลดทอนสัญญาณรบกวนของสัมประสิทธิ์ข้างเคียง จะทำให้การแปลงมัลติเวฟเลตสามารถตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะได้ถูกต้องมากขึ้น โดยทั่วไปสัญญาณแต่ละชนิดมีลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งการเลือกชนิดของการแปลงมัลติเวฟเลตย่อมมีผลต่อการตรวจจับสัญญาณ โดยเฉพาะสัญญาณฮาร์มอนิกซึ่งมีลักษณะเป็นสัญญาณนิ่ง หากมีสัญญาณรบกวนย่อมทำให้การตรวจจับและสกัดคุณลักษณะของสัญญาณมีความผิดพลาด ในบทความนี้เสนอวิธีการตรวจจับฮาร์มอนิกโดยใช้การแปลงมัลติเวฟเลตแบบ DGHM Chui-Lian และ SA4 เพื่อสกัดคุณลักษณะของสัญญาณฮาร์มอนิกในสภาวะที่มีสัญญาณรบกวน โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงสัญญาณในส่วนรายละเอียดซึ่งอยู่ในรูปของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยเปรียบเทียบผลการทดลองกับวิธีการแปลงเวฟเลตแบบ db4

2. หลักการ

2.1 การวิเคราะห์สัญญาณโดยใช้การแปลงมัลติเวฟเลต

การแปลงมัลติเวฟเลต (Multiwavelet Transform) เป็นวิธีการวิเคราะห์สัญญาณที่พัฒนามาจากการแปลงเวฟเลต โดยมูลฐานของปริภูมิ $L^2(R)$ ถูกสร้างโดยการเลื่อน (Translation) และการขยาย (Dilates) ของฟังก์ชันเวฟเลตตั้งแต่ 2 ฟังก์ชัน ขึ้นไป ซึ่งเรียกว่า มัลติเวฟเลต โดยทั่วไปเวฟเลตจะมีฟังก์ชันสเกลลิง หรือ $\phi(t)$ และฟังก์ชันเวฟเลต หรือ $\psi(t)$ เพียงฟังก์ชันเดียว แต่สำหรับมัลติเวฟเลตจะมีฟังก์ชันสเกลลิง และฟังก์ชันเวฟเลตตั้งแต่ 2 ฟังก์ชัน ขึ้นไป โดยสามารถแสดงในรูปของเวกเตอร์ ดังสมการที่ (1)

$$\Phi(t) = (\phi_1(t), \phi_2(t), \dots, \phi_r(t))^T \quad (1)$$

เมื่อ r คือจำนวนของฟังก์ชันสเกลลิง ซึ่งมีค่าเป็นจำนวนเต็มที่มากกว่าหนึ่ง โดยที่ $\Phi(t)$ คือ มัลติสเกลลิงฟังก์ชัน (Multiscaling Function) นอกจากนี้ฟังก์ชันมัลติเวฟเลต (Multiwavelet Function) จะนิยามจากเซตของฟังก์ชันเวฟเลต ดังสมการที่ (2)

$$\Psi(t) = (\psi_1(t), \psi_2(t), \dots, \psi_r(t))^T \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) ถ้ากำหนดให้ $r=1$ จะเรียกว่า สเกลาร์เวฟเลต (Scalar Wavelet) หรือ เวฟเลต โดยมัลติเวฟเลตจะมีความคล้ายคลึงกับสเกลาร์เวฟเลตโดยมีสมการ Refinement ดังสมการที่ (3)

$$\Phi(t) = \sqrt{m} \sum_{k=k_0}^{k_1} h(k)\Phi(mt - k), k \in Z \quad (3)$$

เมื่อ m คือ จำนวนเต็มซึ่งเป็นตัวประกอบการขยาย (Dilation Factor) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 2 ส่วน $h(k)$ คือ สัมประสิทธิ์รีเคอร์ชัน (Recursion Coefficient) เป็นเมตริกซ์ขนาดเท่ากับ $r \times r$ และอยู่ในลักษณะเชิงตั้งฉาก (Orthogonal) โดยเมื่อ

$$\langle \phi(t), \phi(t-k) \rangle = \int \phi(t)\phi(t-k)^* dt = \delta_{0k} I \quad (4)$$

กำหนดให้ $m=2$ จะสามารถเขียนในรูปของสมการของการขยาย และสมการการเลื่อน ได้ดังสมการที่ (5) และ (6) ตามลำดับ

$$\Phi(t) = \sqrt{2} \sum_k h(k)\Phi(2t - k) \quad (5)$$

$$\Psi(t) = \sqrt{2} \sum_k g(k)\Phi(2t - k) \quad (6)$$

การแปลงมัลติเวฟเลตแบบดิสครีตมีอยู่หลายแบบ โดย Donovan และคณะ [6] ได้นำเสนอการแปลงมัลติเวฟเลตแบบ Donovan Geronimo Hardin Massopust (DGHM) ประกอบด้วยฟังก์ชันสเกลลิงและฟังก์ชันเวฟเลตเท่ากับ 2 ($r=2$) เป็นมัลติเวฟเลตที่มีคุณสมบัติเชิงตั้งฉาก สมมาตร อันดับการประมาณ และคุณสมบัติของเซตค่าจุนกระชับ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ไม่สามารถเกิดขึ้นพร้อมกันในการแปลงเวฟเลต แต่เป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญสำหรับการประมวลผลสัญญาณ โดยสมการการขยายและสมการการเลื่อนของการแปลงมัลติเวฟเลตแบบ DGHM [7] แสดงดังสมการที่ (7) และ (8) ตามลำดับ

$$\Phi(t) = \begin{pmatrix} \phi_1(t) \\ \phi_2(t) \end{pmatrix} = \sum_{k=-2}^1 h(k) \begin{pmatrix} \phi_1(2t-k) \\ \phi_2(2t-k) \end{pmatrix} \quad (7)$$

โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ $h(k)$ ดังนี้

$$h(-2) = \frac{1}{20} \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$h(-1) = \frac{1}{20} \begin{pmatrix} -3\sqrt{2} & 9 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$h(0) = \frac{1}{20} \begin{pmatrix} 10\sqrt{2} & 9 \\ 0 & 6\sqrt{2} \end{pmatrix},$$

$$h(1) = \frac{1}{20} \begin{pmatrix} -3\sqrt{2} & -1 \\ 16 & 6\sqrt{2} \end{pmatrix}$$

$$\Psi(t) = \begin{pmatrix} \psi_1(t) \\ \psi_2(t) \end{pmatrix} = \sum_{k=-2}^1 g(k) \begin{pmatrix} \phi_1(2t-k) \\ \phi_2(2t-k) \end{pmatrix} \quad (8)$$

และมีค่าสัมประสิทธิ์ $g(k)$ ดังนี้

$$g(-2) = \frac{1}{20} \begin{pmatrix} 0 & -\sqrt{2} \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$g(-1) = \frac{1}{20} \begin{pmatrix} -6 & 9\sqrt{2} \\ -3\sqrt{2} & 9 \end{pmatrix}$$

$$g(0) = \frac{1}{20} \begin{pmatrix} 0 & -9\sqrt{2} \\ -10\sqrt{2} & 9 \end{pmatrix}$$

$$g(1) = \frac{1}{20} \begin{pmatrix} 6 & \sqrt{2} \\ -3\sqrt{2} & -1 \end{pmatrix}$$

นอกจากนี้ Chui และ Lian [8] ได้นำเสนอการแปลงมัลติเวฟเลตเชิงตั้งฉากที่มีฟังก์ชันสเกลลิงและฟังก์ชันเวฟเลตมากกว่าหนึ่งฟังก์ชัน เรียกว่า Chui-Lian multiwavelet (CL) ซึ่งมีฟังก์ชันสเกลลิงแบบสมมาตรหรือไม่สมมาตร และมีคุณสมบัติการประมาณอันดับสองในช่วง $\{0,2\}$ โดยมีสมการการขยายและสมการการเลื่อน ดังสมการที่ (9) และ (10) ตามลำดับ

$$\Phi(t) = \begin{pmatrix} \phi_1(t) \\ \phi_2(t) \end{pmatrix} = \sum_{k=0}^2 h(k) \begin{pmatrix} \phi_1(2t-k) \\ \phi_2(2t-k) \end{pmatrix} \quad (9)$$

โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ $h(k)$ ดังนี้

$$h(0) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{-\sqrt{7}}{4} & \frac{-\sqrt{7}}{4} \end{pmatrix}$$

$$h(1) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

$$h(2) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{-1}{2} \\ \frac{\sqrt{7}}{4} & \frac{-\sqrt{7}}{4} \end{pmatrix}$$

$$\Psi(t) = \begin{pmatrix} \psi_1(t) \\ \psi_2(t) \end{pmatrix} = \sum_{k=0}^2 g(k) \begin{pmatrix} \phi_1(2t-k) \\ \phi_2(2t-k) \end{pmatrix} \quad (10)$$

และมีค่าสัมประสิทธิ์ $g(k)$ ดังนี้

$$g(0) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ -1 & -1 \\ 4 & 4 \end{pmatrix}$$

$$g(1) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -\sqrt{7} \\ 2 & 2 \end{pmatrix}$$

$$g(2) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 2 & 2 \\ 1 & -1 \\ 4 & 4 \end{pmatrix}$$

งานวิจัยของ Shen และคณะ [9] ได้นำเสนอการแปลงมัลติเวฟเล็ตซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับแบบ Chui-Lian เรียกว่า Length-4 symmetric – antisymmetric orthonormal multiwavelet หรือ SA4 ซึ่งมีฟังก์ชันสเกลลิงแบบสมมาตร หรือไม่สมมาตร รวมทั้งมีคุณสมบัติการประมาณอันดับหนึ่ง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ $h(k)$ ดังนี้

$$h(0) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \frac{1}{(4+\sqrt{15})^2+1} & \frac{4+\sqrt{15}}{(4+\sqrt{15})^2+1} \\ \frac{1}{(4+\sqrt{15})^2+1} & \frac{-4-\sqrt{15}}{(4+\sqrt{15})^2+1} \end{pmatrix}$$

$$h(1) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \frac{(4+\sqrt{15})^2}{(4+\sqrt{15})^2+1} & \frac{4+\sqrt{15}}{(4+\sqrt{15})^2+1} \\ \frac{-(4+\sqrt{15})^2}{(4+\sqrt{15})^2+1} & \frac{4+\sqrt{15}}{(4+\sqrt{15})^2+1} \end{pmatrix}$$

$$h(2) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \frac{(4+\sqrt{15})^2}{(4+\sqrt{15})^2+1} & \frac{-4-\sqrt{15}}{(4+\sqrt{15})^2+1} \\ \frac{(4+\sqrt{15})^2}{(4+\sqrt{15})^2+1} & \frac{4+\sqrt{15}}{(4+\sqrt{15})^2+1} \end{pmatrix}$$

$$h(3) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \frac{1}{(4+\sqrt{15})^2+1} & \frac{-4-\sqrt{15}}{(4+\sqrt{15})^2+1} \\ \frac{-1}{(4+\sqrt{15})^2+1} & \frac{-4-\sqrt{15}}{(4+\sqrt{15})^2+1} \end{pmatrix}$$

และมีค่าสัมประสิทธิ์ $g(k)$ ดังนี้

$$g(0) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \frac{4+\sqrt{15}}{(4+\sqrt{15})^2+1} & \frac{-1}{(4+\sqrt{15})^2+1} \\ \frac{4+\sqrt{15}}{(4+\sqrt{15})^2+1} & \frac{1}{(4+\sqrt{15})^2+1} \end{pmatrix}$$

$$g(1) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \frac{-4-\sqrt{15}}{(4+\sqrt{15})^2+1} & \frac{(4+\sqrt{15})^2}{(4+\sqrt{15})^2+1} \\ \frac{4+\sqrt{15}}{(4+\sqrt{15})^2+1} & \frac{(4+\sqrt{15})^2}{(4+\sqrt{15})^2+1} \end{pmatrix}$$

$$g(2) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \frac{4+\sqrt{15}}{(4+\sqrt{15})^2+1} & \frac{1}{(4+\sqrt{15})^2+1} \\ \frac{-4-\sqrt{15}}{(4+\sqrt{15})^2+1} & \frac{1}{(4+\sqrt{15})^2+1} \end{pmatrix}$$

$$g^{(3)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \frac{-4-\sqrt{15}}{(4+\sqrt{15})^2+1} & \frac{(4+\sqrt{15})^2}{(4+\sqrt{15})^2+1} \\ \frac{-4-\sqrt{15}}{(4+\sqrt{15})^2+1} & \frac{(4+\sqrt{15})^2}{(4+\sqrt{15})^2+1} \end{pmatrix}$$

ในบทความนี้จะประยุกต์ใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ดแบบ DGHM Chui-Lian และ SA4 เพื่อตรวจจับและสกัดคุณลักษณะเด่นของสัญญาณฮาร์มอนิกส์ โดยเปรียบเทียบผลการทดลองกับการแปลงเวฟเล็ดแบบ db4

2.2 การตรวจจับและสกัดคุณลักษณะของฮาร์มอนิก

การแปลงมัลติเวฟเล็ดเป็นวิธีที่ใช้ในการสกัดคุณลักษณะของสัญญาณฮาร์มอนิก และเมื่อใช้วิธีการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียดจะทำให้สามารถสกัดคุณลักษณะเด่นของสัญญาณในแต่ละระดับได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการสกัดคุณลักษณะสัญญาณในสถานะไม่มีสัญญาณรบกวนและสถานะมีสัญญาณรบกวนที่ระดับ SNR (Signal-to-Noise Ratio) เท่ากับ 40 35 และ 25 dB โดยใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ดดิสครีต 1 มิติ แบบ DGHM, Chui-Lian และ SA4 ในการตรวจจับสัญญาณฮาร์มอนิก โดยรูปคลื่นฮาร์มอนิกที่ใช้มีจำนวนจุดตัวอย่าง (Sample Point) เท่ากับ 256 จุดต่อ 1 คาบเวลา (20 ms) ซึ่งจะได้ค่าความถี่ในการซัดตัวอย่าง (Sampling Frequency) เท่ากับ 12,800 Hz (256 points / 0.02 s) สอดคล้องกับทฤษฎี Nyquist’s sampling theory [10] ซึ่งกล่าวว่า การซัดตัวอย่างของสัญญาณต้นฉบับ โดยที่ไม่มีการสูญเสียสัญญาณที่สำคัญ ความถี่ในการซัดตัวอย่าง (f_s) ต้องมี

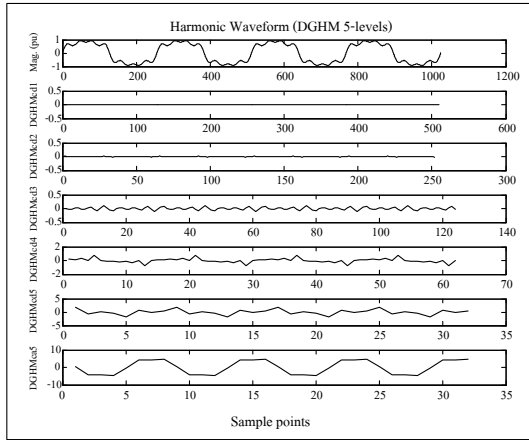
ค่ามากกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณต้นฉบับ (f_{max}) ดังในสมการที่ (11)

$$f_s > 2f_{max} \tag{11}$$

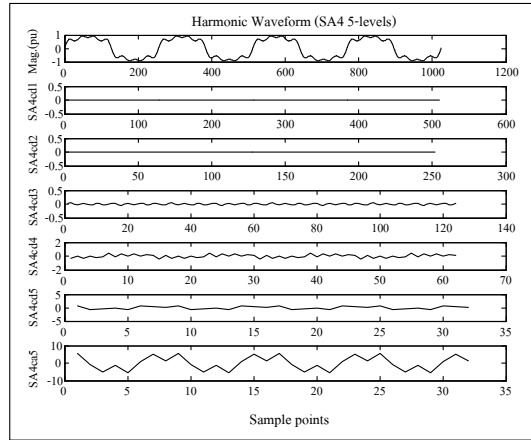
ในการสกัดคุณลักษณะเด่นของฮาร์มอนิกจะใช้การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : S.D.) ซึ่งเป็นเครื่องมือทางสถิติที่ใช้สำหรับการวัดการกระจายของข้อมูลที่นิยมใช้กันมากที่สุด สำหรับการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียดในระดับต่างๆ ของสัญญาณนั้น จะมีการกระจายของข้อมูลในแต่ละระดับต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับสัญญาณตั้งต้น ดังนั้นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจึงเป็นตัวแทนของข้อมูลในแต่ละระดับ โดยข้อมูลสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงสัญญาณเป็นข้อมูลที่ไม่มีการแจกแจงความถี่

3. ผลการวิจัย

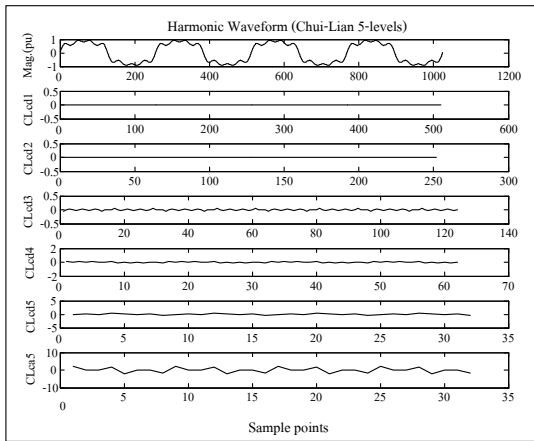
ในการทดลองจะจำลองผลการทำงานโดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งพบว่า การแปลงมัลติเวฟเล็ดแบบ DGHM, Chui-Lian, SA4 และการแปลงเวฟเล็ดแบบ db4 สามารถตรวจจับและสกัดคุณลักษณะเด่นของสัญญาณฮาร์มอนิกโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงสัญญาณซึ่งอยู่ในรูปของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อใช้วิธีการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียดเพื่อหาสัมประสิทธิ์การแปลงสัญญาณเป็น 5 ระดับ จะทำให้ได้สัมประสิทธิ์การแปลงสัญญาณในส่วนรายละเอียดในสถานะไม่มีสัญญาณรบกวน แสดงดังรูปที่ 1-4



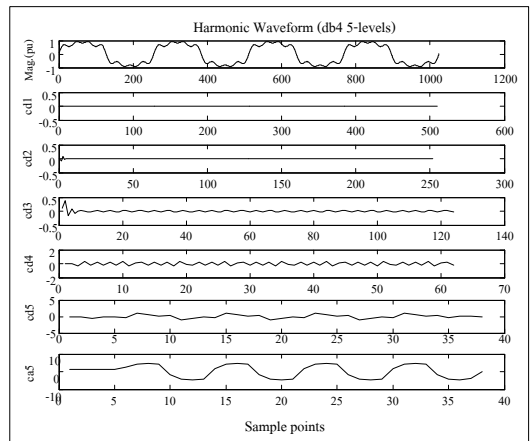
รูปที่ 1 การตรวจจับฮาร์มอนิกโดยใช้การแปลงมัลติ-เวฟเลต แบบ DGHM



รูปที่ 3 การตรวจจับฮาร์มอนิกโดยใช้การแปลงมัลติ-เวฟเลต แบบ SA4

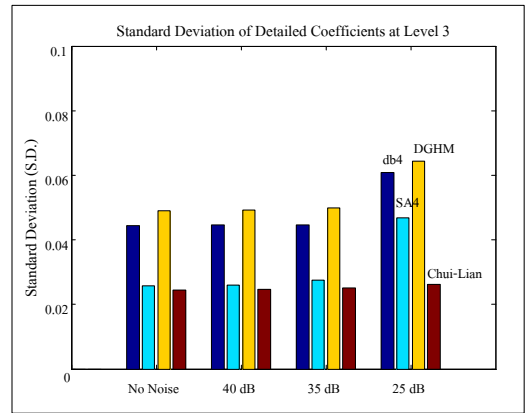


รูปที่ 2 การตรวจจับฮาร์มอนิกโดยใช้การแปลงมัลติ-เวฟเลต แบบ Chui-Lian

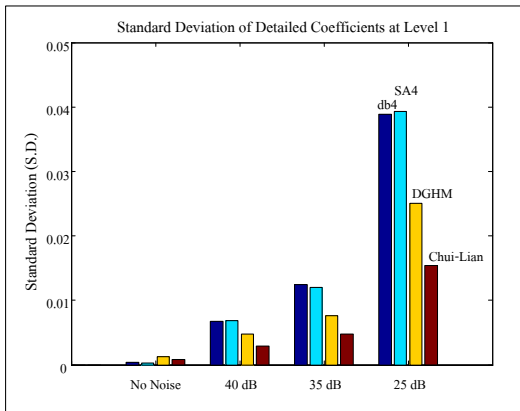


รูปที่ 4 การตรวจจับฮาร์มอนิกโดยใช้การแปลงเวฟเลต แบบ db4

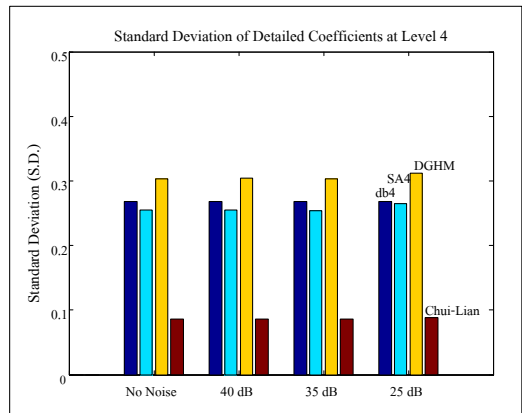
จากรูปที่ 1-4 พบว่า การแปลงมัลติเวฟเล็ดแบบ DGHM Chui-Lian SA4 การแปลงเวฟเล็ดแบบ db4 และการใช้วิธีการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียดจะสามารถตรวจจับสัญญาณฮาร์โมนิกได้ดีที่ระดับ 3, 4 และ 5 สำหรับผลการตรวจจับและสกัดคุณลักษณะสัญญาณฮาร์โมนิกในสถานะมีสัญญาณรบกวนที่ระดับ SNR เท่ากับ 40, 35 และ 25 dB จะได้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การแปลงสัญญาณแต่ละระดับความละเอียดดังแสดงในรูปที่ 5-9



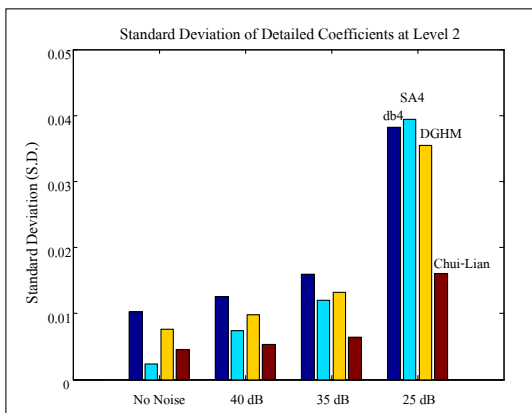
รูปที่ 7 กราฟค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การแปลงสัญญาณที่ระดับ 3



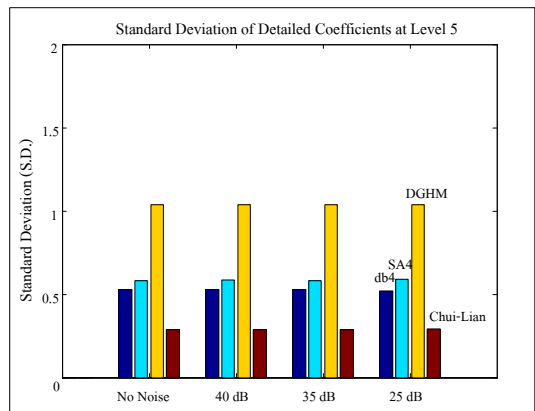
รูปที่ 5 กราฟค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การแปลงสัญญาณที่ระดับ 1



รูปที่ 8 กราฟค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การแปลงสัญญาณที่ระดับ 4



รูปที่ 6 กราฟค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การแปลงสัญญาณที่ระดับ 2



รูปที่ 9 กราฟค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การแปลงสัญญาณที่ระดับ 5

จากรูปที่ 5 – 9 พบว่า เมื่อมีสัญญาณรบกวนจะทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การแปลงสัญญาณมีการกระจายมากขึ้น โดยการแปลงมัลติเวฟเล็ดแบบ SA4 และการแปลงเวฟเล็ดแบบ db4 จะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเปลี่ยนแปลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะไม่มีสัญญาณรบกวน

ส่วนการแปลงมัลติเวฟเล็ดแบบ Chui-Lian มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดที่ระดับ 3-5 รองลงมาได้แก่แบบ DGHM ซึ่งแสดงว่าสามารถสกัดคุณลักษณะของสัญญาณในสภาวะมีสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าการแปลงเวฟเล็ดแบบ db4

4. อภิปรายผล

ผลการศึกษาวิจัย พบว่า การแปลงมัลติเวฟเล็ดสามารถตรวจจับและวิเคราะห์ฮาร์มอนิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในสภาวะที่มีสัญญาณรบกวน ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการสกัดคุณลักษณะเด่นของสัญญาณฮาร์มอนิกโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงสัญญาณในรูปค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานฐานในสภาวะไม่มีสัญญาณรบกวนและมีสัญญาณรบกวนจะเป็นข้อมูลที่ใช้ในการจำแนกชนิดของสัญญาณคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม เป็นต้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการตรวจจับและวิเคราะห์ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้การแปลงเวฟเล็ดซึ่งได้มีการนำเสนอในงานวิจัย [11–15] พบว่า ในสภาวะที่มีสัญญาณรบกวนการแปลงมัลติเวฟเล็ดแบบ Chui-Lian และ DGHM จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การแปลงสัญญาณน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการแปลงเวฟเล็ดแบบ db4 ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่น่าไปใช้ในการจำแนกสัญญาณฮาร์มอนิกในสภาวะที่มีสัญญาณ

รบกวนให้มีความถูกต้องมากขึ้น และนำไปสู่การแก้ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การแปลงมัลติเวฟเล็ดเป็นวิธีการที่สามารถตรวจจับและสกัดคุณลักษณะเด่นของฮาร์มอนิกโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงสัญญาณซึ่งอยู่ในรูปค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในสภาวะที่มีสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าการแปลงเวฟเล็ดแบบ db4 ซึ่งเมื่อมีสัญญาณรบกวนจะทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การแปลงสัญญาณมีการกระจายมากขึ้น โดยการแปลงเวฟเล็ดแบบ db4 จะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะไม่มีสัญญาณรบกวน ส่วนการแปลงมัลติเวฟเล็ดแบบ Chui-Lian จะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดรองลงมาคือแบบ DGHM ซึ่งหมายความว่า เมื่อข้อมูลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยถูกนำไปเป็นอินพุตของระบบอัจฉริยะ เช่น เครือข่ายประสาทเทียม เป็นต้น ก็จะส่งผลทำให้ความคิดพลาดในการจำแนกสัญญาณฮาร์มอนิกในสภาวะที่มีสัญญาณรบกวนมีค่าลดลง ดังนั้นการแปลงมัลติเวฟเล็ดจึงเป็นวิธีการที่สามารถประยุกต์ใช้ในการจำแนกปัญหาฮาร์มอนิกได้ดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Jaipradidtham, “Analysis of Electric Arc Furnace Effects for Power Quality of System and Increasing Energy Efficiency to Reduce Heat Loss in the Energy Balance Condition of Steelmaking Process”, The Journal of Industrial Technology 11, 2015, pp. 62-77. (in Thai)

- [2] S. Santoso, W.M. Grady, E.J. Powers, J. Lamoree and S.C. Bhatt, “Characterization of Distribution Power Quality Events with Fourier and Wavelet Transforms”, IEEE Transactions on Power Delivery 15, 2000, pp. 247-254.
- [3] S. Santoso, E.J. Powers, W.M. Grady and P. Hofmann, “Power Quality Assessment via Wavelet Transform Analysis”, IEEE Transactions on Power Delivery 11, 1996, pp. 924-930.
- [4] S. Kaewarsa, K. Attakitmongcol and T. Kulwarawanichpong, “Recognition of Power Quality Events by Using Multiwavelet-Based Neural Networks”, International Journal of Electrical Power and Energy Systems 30, 2008, pp. 254-260.
- [5] Q. Yinglin, T. Lijun and W. Chunbao, “Power Quality Disturbances Detection and Location Based on Multiwavelet and Neighboring Coefficient De-noising”, in Proc. 4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies , 2011, pp. 424-427.
- [6] G.C. Donovan, J.S. Geromino, D.P. Hardin and P.R. Massopust, “Construction of Orthogonal Wavelets Using Fraction Interpolation Functions”, SIAM Journal on Mathematical Analysis 27, 1996, pp. 1158-1192.
- [7] K. Attakitmongcol, D.P. Hardin and D.M. Wilkes, “Multiwavelet Prefilters-Part II: Optimal Orthogonal Prefilters”, IEEE Transactions on Image Processing 10, 2001, pp. 1476-1487.
- [8] C.K. Chui and J.A. Lian, “A Study of Orthonormal Multiwavelets”, Applied Numerical Mathematics 20, 1996, pp. 273-298.
- [9] L. Shen, H.H. Tan and J.Y. Tham, “Symmetric - Antisymmetric Orthonormal Multiwavelets and Related Scalar Wavelet”, Applied and Computational Harmonic Analysis 8, 2000, pp. 258-279.
- [10] S. K. Mitra, “*Digital Signal Processing: A Computer-Based Approach* (2nd ed.)”, McGraw-Hill Book Company, 2002.
- [11] A.M. Gaouda, M.M.A. Salama, M.R. Sultan and A.Y. Chikhani, “Power Quality Detection and Classification Using Wavelet-Multiresolution Signal Decomposition”, IEEE Transactions on Power Delivery 14, 1999, pp. 1469-1476.
- [12] O. Poisson, P. Rioual and M. Meunier, “Detection and Measurement of Power Quality Disturbances Using Wavelet Transform”, IEEE Transactions on Power Delivery 15, 2000, pp. 1039-1044.
- [13] H. Zhang, P. Lui and O.P. Malik, “Detection and Classification of Power Quality Disturbances in Noisy Conditions”, IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution 150, 2003, pp. 567-572.

- [14] M. Uyar, S. Yildirim and M.T. Gencoglu, “An effective Wavelet-Based Feature Extraction Method for Classification of Power Quality Disturbance Signals”, *Electric Power System Research* 78, 2008, pp. 1747-1755.
- [15] M.A.S. Masoum, S. Jamali and N. Ghaffarzadeh, “Detection and Classification of Power Quality Disturbances Using Discrete Wavelet Transform and Wavelet Network”, *IET Science, Measurement & Technology* 4, 2010, pp. 193-205.