

2554

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

POWER QUALITY EVENT DETECTION AND CLASSIFICATION USING 2D-WAVELET
SUBSPACES

Mr. Kitipat Norkum

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

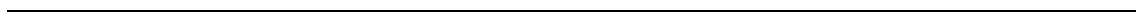
Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

·
·



.....
(.)

.....
(. .)

.....
(.)

.....
(.)

.....
(.)

.....
(.)

กิตติพัฒน์ หน่อคำ : การตรวจจับและจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าด้วยปริภูมิย่อยเวฟ
 เลต 2 มิติ. (POWER QUALITY EVENT DETECTION AND CLASSIFICATION USING
 2D-WAVELET SUBSPACES)

อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. ธวัชชัย เตชัสอนันต์, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม:
 ผศ. ดร. วิทยากร อัครวิเศษ, 116 หน้า

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการตรวจจับและจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าต่างๆ
 ด้วยเวฟเลต 2 มิติแบบเลือกปริภูมิย่อย คุณลักษณะเด่นพิเศษของสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้าแต่ละ
 ประเภทสามารถนำมาวิเคราะห์การตรวจจับได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการพิจารณาลักษณะเฉพาะ
 ของค่าสัมประสิทธิ์ที่ปรากฏอยู่ในปริภูมิย่อยของเวฟเลตซึ่งแตกต่างกันไปตามประเภทของสัญญาณรบกวนนั้นๆ
 ผลของการตรวจจับที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับวิธีการตรวจจับด้วยเวฟเลต 1 มิติ และวิธีการตรวจจับด้วย
 เวฟเลต 2 มิติแบบไม่เลือกปริภูมิย่อย นอกจากนี้ในวิทยานิพนธ์ได้นำเสนอวิธีการจำแนกประเภทเหตุการณ์ทาง
 คุณภาพไฟฟ้าแบบต่างๆ โดยใช้เวฟเลตแบบ 2 มิติ ร่วมกับเทคนิคข่ายงานประสาท จากนั้นวิธีที่
 นำเสนอถูกนำมาพัฒนาโดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อทดสอบกับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่สังเคราะห์ขึ้น
 จากโปรแกรม MATLAB และเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าจริงที่ได้จากระบบไฟฟ้า ผลการทดสอบที่ได้แสดงให้
 เห็นว่าวิธีการตรวจจับที่นำเสนอเป็นวิธีการที่มีความเหมาะสมในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ
 และมีประสิทธิภาพในการจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่ดีกว่าวิธีที่ใช้การจำแนกโดยใช้เวฟเลตแบบ 1 มิติ

ภาควิชา.....	วิศวกรรมไฟฟ้า.....	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....	วิศวกรรมไฟฟ้า.....	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.....	2554.....	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5170224221 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS : POWER QUALITY / DETECTION / CLASSIFICATION / 2D-WAVELET /
NEURAL NETWORK

KITIPAT NORKUM: POWER QUALITY EVENT DETECTION AND
CLASSIFICATION USING 2D-WAVELET SUBSPACES.

ADVISOR: ASST.PROF.THAVATCHAI TAYJASANANT, Ph.D.,

CO-ADVISOR: ASST.PROF.WIDHYAKORN ASDORNWISED, Ph.D.,

116 pp.

This thesis presents methods for power quality event detection and classification using selective 2D-wavelet subspaces. Distinctive features of signals obtained from different disturbance events are extracted using unique characteristics of corresponding wavelet coefficients presented in different 2D subspaces. Comparison between the proposed method with existing methods which are based on 1D wavelet and 2D wavelet with non-selective subspaces have been carried out. In addition, the thesis proposes a method for disturbance classification using neural network. The detection and classification algorithms were developed and implemented using MATLAB program and verified using both synthesized and actual signals captured from real power systems. The results show the method based on 2D-wavelet subspaces suitable for power quality event detection and has superior performance in classification than the traditional method using 1D wavelet.

Department : ..Electrical Engineering..... Student's Signature:

Field of Study: ..Electrical Engineering..... Advisor's Signature:

Academic Year:.....2011..... Co-advisor's Signature:

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร.วิชชัย เตชะสอนันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร.วิทยากร อัครวิเศษ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม โดยได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ มาด้วยดีตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขจนสำเร็จเรียบร้อย

นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล (ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์), ผศ.ดร.เนบบุญ หุ่นเจริญ (กรรมการ) และ รศ.ดร.อานันท์วัฒน์ คุณากร (กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย) ที่ได้กรุณา ตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบพระคุณ รุ่นพี่ รุ่นน้อง เพื่อนๆ รอบตัวผู้วิจัย ทั้งภายในและภายนอกห้องปฏิบัติการ วิจัย สำหรับความช่วยเหลือ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ และกำลังใจในการวิจัยตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัวของผู้วิจัย สำหรับกำลังใจและการสนับสนุนแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 ประมวลวิทยานิพนธ์	3
บทที่ 2 คุณภาพไฟฟ้าและทฤษฎีเวฟเลต	4
2.1 คุณภาพไฟฟ้า	4
2.1.1 ความสำคัญของคุณภาพไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า	4
2.1.2 ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า	5
2.1.3 เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า.....	6
2.1.3.1 แรงดันตกชั่วขณะ	6
2.1.3.2 แรงดันเกินชั่วขณะ	7
2.1.3.3 ทรานเซียนท์แบบแกว่ง.....	8
2.1.3.4 ฮาร์มอนิก	10

2.1.3.5 แรงดันที่ยอมรับได้.....	15
2.2 เวฟเลต	16
2.2.1 การแปลงเวฟเลตแบบ 1 มิติ	17
2.2.2 การแปลงกลับเวฟเลตแบบ 1 มิติ	19
2.2.3 การแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติ	19
2.2.4 การแปลงกลับเวฟเลตแบบ 2 มิติ	22
บทที่ 3 วิธีการตรวจจับและจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้การแปลงเวฟเลต.....	23
3.1 การตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า.....	24
3.1.1 การตรวจจับโดยใช้เวฟเลตแบบ 1 มิติ.....	24
3.1.2 การตรวจจับโดยใช้เวฟเลตแบบ 2 มิติ.....	25
3.1.2.1 การตรวจจับแบบเลือกใช้ทั้ง 3 ปริภูมิย่อย	25
3.1.2.2 การตรวจจับแบบเลือกใช้ปริภูมิย่อย.....	27
3.2 การจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า.....	28
3.2.1 การแปลงเวฟเลต	29
3.2.1.1 การแปลงเวฟเลตแบบ 1 มิติ.....	29
3.2.1.2 การแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติ.....	29
3.2.2 การคัดแยกคุณลักษณะ.....	29
3.2.3 ข่ายงานประสาท	34
บทที่ 4 การสร้างกระบวนการทดลอง.....	40
4.1 การตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า.....	40
4.1.1 การสังเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้า.....	40
4.1.2 โครงสร้างกระบวนการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า.....	42

4.2 การจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า.....	43
4.2.1 การสังเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้า.....	44
4.2.2 โครงสร้างกระบวนการจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า.....	46
บทที่ 5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	48
5.1 การตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า.....	48
5.1.1 แรงดันตกชั่วขณะ.....	48
5.1.2 ทรานเซียนท์แบบแกว่ง	60
5.1.3 ฮาร์มอนิก	72
5.2 ผลการวิเคราะห์การตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า	87
5.2.1 การตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะ	87
5.2.2 การตรวจจับทรานเซียนท์แบบแกว่ง.....	87
5.2.3 การตรวจจับฮาร์มอนิก	88
5.3 การจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า.....	88
5.4 ผลการวิเคราะห์การจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า	93
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	95
6.1 สรุปผลการวิจัย	95
6.1.1 แนวทางการเลือกปริภูมิย่อยในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า	96
6.1.1.1 แรงดันตกชั่วขณะ.....	96
6.1.1.2 ทรานเซียนท์แบบแกว่ง.....	97
6.1.1.3 ฮาร์มอนิก	98
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	99
รายการอ้างอิง.....	100

ภาคผนวก.....	102
ภาคผนวก ก. การแทนสัญญาณไฟฟ้าในรูป 2 มิติ	103
ภาคผนวก ข. การตัดแยกคุณลักษณะ.....	106
ภาคผนวก ค. ข้อมูลอ้างอิงของเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าจริง	108
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	116

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ประเภทและคุณลักษณะแต่ละชนิดของปรากฏการณ์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในระบบไฟฟ้ากำลัง	12
ตารางที่ 2.2 การกระจายสัญญาณด้วยเวฟเลต 1 มิติใน 3 ระดับ.....	18
ตารางที่ 2.3 การกระจายสัญญาณด้วยเวฟเลต 2 มิติใน 3 ระดับ.....	21
ตารางที่ 3.1 ค่าขอบเขตล่างและขอบเขตบนของการตัดแยกคุณลักษณะต่างๆ ที่ได้จากการกระจายเวฟเลต 2 มิติใน 3 ระดับตามเกณฑ์ ITIC	30
ตารางที่ 3.2 ค่าขอบเขตล่างและขอบเขตบนของการตัดแยกคุณลักษณะต่างๆ ที่ได้จากการกระจายเวฟเลต 2 มิติใน 3 ระดับตามเกณฑ์ SEMI F47.....	32
ตารางที่ 4.1 ตัวแปรควบคุมสำหรับการสังเคราะห์เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า ประเภทต่างๆ เพื่อใช้ในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า	41
ตารางที่ 4.2 ช่วงความถี่สำหรับสัมประสิทธิ์ของการแปลงเวฟเลต 1 มิติ และปริมาณย่อย ของการแปลงเวฟเลต 2 มิติ.....	41
ตารางที่ 4.3 ตัวแปรควบคุมสำหรับการสังเคราะห์เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าประเภท ต่างๆ เพื่อใช้ในการจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าตามเกณฑ์ ITIC	44
ตารางที่ 4.4 ตัวแปรควบคุมสำหรับการสังเคราะห์เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าประเภท ต่างๆ เพื่อใช้ในการจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าตามเกณฑ์ SEMI F47	45
ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะและผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบ การตรวจจับระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการอื่นๆ.....	49
ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบการตรวจจับทรานเซียนท์แบบแกว่งและผลลัพธ์ในการ เปรียบเทียบการตรวจจับระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการอื่นๆ	61
ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบการตรวจจับฮาร์มอนิกและผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบ การตรวจจับระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการอื่นๆ.....	73
ตารางที่ 5.4 ประสิทธิภาพในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่ได้จากการ สังเคราะห์และเหตุการณ์จริงด้วยปริมาณย่อยเวฟเลต 2 มิติ.....	88

ตารางที่ 5.5 ประสิทธิภาพการจำแนกเหตุการณ์ไฟฟ้าสังเคราะห์ด้วยเวฟเลต แบบ 2 มิติ (เกณฑ์ของ ITIC).....	89
ตารางที่ 5.6 ประสิทธิภาพการจำแนกเหตุการณ์ไฟฟ้าสังเคราะห์ด้วยเวฟเลต แบบ 1 มิติ (เกณฑ์ของ ITIC).....	90
ตารางที่ 5.7 ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำของการจำแนกโดยรวมระหว่าง วิธีการเวฟเลตแบบ 2 มิติกับแบบ 1 มิติ (เกณฑ์ของ ITIC)	91
ตารางที่ 5.8 ประสิทธิภาพการจำแนกเหตุการณ์ไฟฟ้าสังเคราะห์ด้วยเวฟเลต แบบ 2 มิติ (เกณฑ์ของ SEMI F47).....	92
ตารางที่ 5.9 ประสิทธิภาพการจำแนกเหตุการณ์ไฟฟ้าสังเคราะห์ด้วยเวฟเลต แบบ 1 มิติ (เกณฑ์ของ SEMI F47).....	92
ตารางที่ 5.10 ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำของการจำแนกโดยรวมระหว่าง วิธีการเวฟเลตแบบ 2 มิติกับแบบ 1 มิติ (เกณฑ์ของ SEMI F47)	93

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 มุมมองต้นเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้า.....	5
ภาพที่ 2.2 แรงดันตกชั่วขณะจากการเกิดความผิดปกติของทางไฟฟ้าลงดิน.....	6
ภาพที่ 2.3 แรงดันตกชั่วขณะสังเคราะห์จากการเกิดความผิดปกติของทางไฟฟ้า.....	7
ภาพที่ 2.4 แรงดันเกินชั่วขณะจากการเกิดความผิดปกติของทางไฟฟ้าลงดิน.....	7
ภาพที่ 2.5 แรงดันเกินชั่วขณะสังเคราะห์จากการเกิดความผิดปกติของทางไฟฟ้า.....	8
ภาพที่ 2.6 ทราจเซียนท์แบบแกว่งจากการสวิตชิงคาปาซิเตอร์แบบเข้าระบบ.....	9
ภาพที่ 2.7 ทราจเซียนท์แบบแกว่งสังเคราะห์จากสวิตชิงคาปาซิเตอร์.....	9
ภาพที่ 2.8 ฮาร์มอนิกจากการใช้งานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	10
ภาพที่ 2.9 ฮาร์มอนิกสังเคราะห์.....	11
ภาพที่ 2.10 แสดงเกณฑ์มาตรฐานของ ITIC curve.....	13
ภาพที่ 2.11 แสดงเกณฑ์มาตรฐานของ SEMI F47.....	14
ภาพที่ 2.12 เปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐานของ SEMI F47 กับ ITIC curve.....	14
ภาพที่ 2.13 แรงดันที่ยอมรับได้สังเคราะห์ตามเกณฑ์ ITIC.....	15
ภาพที่ 2.14 แรงดันที่ยอมรับได้สังเคราะห์ตามเกณฑ์ SEMI F47.....	15
ภาพที่ 2.15 สเกลลิงฟังก์ชันและเวฟเลตฟังก์ชันของ Daubechies' wavelet (Db4).....	16
ภาพที่ 2.16 การกระจายสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเลตแบบ 1 มิติใน 3 ระดับ.....	18
ภาพที่ 2.17 ช่วงความถี่ของการกระจายเวฟเลต 1 มิติใน 3 ระดับ.....	18
ภาพที่ 2.18 การสร้างคืนสัญญาณด้วยการแปลงกลับเวฟเลตแบบ 1 มิติใน 3 ระดับ.....	19
ภาพที่ 2.19 การกระจายสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติใน 1 ระดับ.....	20
ภาพที่ 2.20 การกระจายสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติใน 3 ระดับ ในรูปแบบของปริภูมิย่อย.....	20
ภาพที่ 2.21 การสร้างคืนสัญญาณด้วยการแปลงกลับเวฟเลตแบบ 2 มิติใน 1 ระดับ.....	22

ภาพที่ 3.1 รูปสัญญาณไฟฟ้า และการกระจายสัญญาณของสัมประสิทธิ์ส่วนละเอียด	24
ภาพที่ 3.2 รูปสัญญาณไฟฟ้า และการสร้างคืนสัญญาณเฉพาะสัมประสิทธิ์ ส่วนละเอียดของเวฟเลต 1 มิติใน 1 ระดับ	25
ภาพที่ 3.3 การกระจายสัญญาณไฟฟ้าด้วยเวฟเลตแบบ 2 มิติ	26
ภาพที่ 3.4 รูปสัญญาณไฟฟ้าแบบ 2 มิติ และการสร้างคืนสัญญาณจากการรวม ปริภูมิย่อย <i>LH</i> , <i>HL</i> และ <i>HH</i> แบบ 2 มิติ	26
ภาพที่ 3.5 รูปสัญญาณไฟฟ้า และแปลงการสร้างคืนสัญญาณจากการรวม ปริภูมิย่อย <i>LH</i> , <i>HL</i> และ <i>HH</i> แบบ 2 มิติใน 1 ระดับให้อยู่ในรูป 1 มิติ	27
ภาพที่ 3.6 รูปสัญญาณไฟฟ้าแบบ 2 มิติ และการสร้างคืนสัญญาณจาก ปริภูมิย่อย <i>LH</i> แบบ 2 มิติ	28
ภาพที่ 3.7 รูปสัญญาณไฟฟ้า และแปลงการสร้างคืนสัญญาณจาก ปริภูมิย่อย <i>LH</i> แบบ 2 มิติใน 1 ระดับให้อยู่ในรูป 1 มิติ	28
ภาพที่ 3.8 การตัดแยกคุณลักษณะประเภทต่างๆ ของเหตุการณ์ไฟฟ้าตามเกณฑ์ ITIC	30
ภาพที่ 3.9 การตัดแยกคุณลักษณะประเภทต่างๆ ของเหตุการณ์ไฟฟ้าตามเกณฑ์ SEMI F47	33
ภาพที่ 3.10 โครงสร้างของข่ายงานประสาท	35
ภาพที่ 3.11 ข่ายงานประสาทแบบมีการสอนให้เรียนรู้	36
ภาพที่ 3.12 ข่ายงานประสาทแบบไม่มีการสอนให้เรียนรู้	36
ภาพที่ 3.13 แบบจำลองทาวคณิศาสตร์ของข่ายงานประสาท	36
ภาพที่ 3.14 ฟังก์ชันเชิงเส้น	37
ภาพที่ 3.15 ฟังก์ชันตั้งต้น	38
ภาพที่ 3.16 ฟังก์ชันเชิงเส้นบางช่วง	38
ภาพที่ 3.17 ฟังก์ชันซิกมอยด์	39
ภาพที่ 4.1 ประเภทของเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่ตรวจจับในงานวิจัย	40

ภาพที่ 4.2 โครงสร้างการทำงานของการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าและ กระบวนการเปรียบเทียบผลการตรวจจับระหว่างวิธีต่างๆ ในงานวิจัย.....	42
ภาพที่ 4.3 ประเภทของเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่จำแนกตามเกณฑ์ ITIC	43
ภาพที่ 4.4 ประเภทของเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่จำแนกตามเกณฑ์ SEMI F47	43
ภาพที่ 4.5 โครงสร้างการทำงานของกาจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าและ กระบวนการเปรียบเทียบผลการตรวจจับระหว่างวิธีต่างๆ ในงานวิจัย.....	46
ภาพที่ 5.1 ผลการทดสอบการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะสังเคราะห์ข้อมูลที่ 1	50
ภาพที่ 5.2 ผลการทดสอบการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะสังเคราะห์ข้อมูลที่ 4	53
ภาพที่ 5.3 ผลการทดสอบการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะจริงข้อมูลที่ 1	55
ภาพที่ 5.4 ผลการทดสอบการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะจริงข้อมูลที่ 2	58
ภาพที่ 5.5 ผลการทดสอบการตรวจจับทรานเซียนท์แบบแกว่งสังเคราะห์ข้อมูลที่ 6	62
ภาพที่ 5.6 ผลการทดสอบการตรวจจับทรานเซียนท์แบบแกว่งสังเคราะห์ข้อมูลที่ 8	64
ภาพที่ 5.7 ผลการทดสอบการตรวจจับทรานเซียนท์แบบแกว่งจริงข้อมูลที่ 1	67
ภาพที่ 5.8 ผลการทดสอบการตรวจจับทรานเซียนท์แบบแกว่งจริงข้อมูลที่ 3.....	70
ภาพที่ 5.9 ผลการทดสอบการตรวจจับฮาร์มอนิกสังเคราะห์ข้อมูลที่ 2.....	74
ภาพที่ 5.10 ผลการทดสอบการตรวจจับฮาร์มอนิกสังเคราะห์ข้อมูลที่ 10	77
ภาพที่ 5.11 ผลการทดสอบการตรวจจับฮาร์มอนิกจริงข้อมูลที่ 1	80
ภาพที่ 5.12 ผลการทดสอบการตรวจจับฮาร์มอนิกจริงข้อมูลที่ 5	82
ภาพที่ 5.13 ผลการทดสอบการตรวจจับฮาร์มอนิกสังเคราะห์ที่มีส่วนของ แรงดันไฟฟ้าปกติและส่วนที่มีฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 และ 5	85
ภาพที่ 5.14 สแกตเตอร์พล็อตเหตุการณ์ไฟฟ้าสังเคราะห์ตามเกณฑ์ของ ITIC	89
ภาพที่ 5.15 สแกตเตอร์พล็อตเหตุการณ์ไฟฟ้าสังเคราะห์ตามเกณฑ์ของ SEMI F47	91
ภาพที่ 6.1 การตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะด้วยปริภูมิย่อย <i>LH</i>	97

ภาพที่ 6.2 การตรวจจับทรานเซียนท์แบบแกว่งด้วยปริภูมิย่อย <i>HL</i> และ <i>HH</i>	98
ภาพที่ 6.3 การตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยปริภูมิย่อย <i>HL</i>	99

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีในด้านต่างๆ ได้พัฒนาเป็นไปอย่างรวดเร็วเพื่อใช้ในการตอบสนองการทำงานและความต้องการในด้านต่างๆ ของมนุษย์ ตัวอย่างเช่น ในด้านอุตสาหกรรมได้นำเอาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power electronics) มาเป็นส่วนพื้นฐานในเครื่องมือต่างๆ เพื่อใช้ในการควบคุมแรงดันและกระแสไฟฟ้าให้ได้ตามที่ต้องการ หรือ อุปกรณ์สื่อสารรวมถึงคอมพิวเตอร์ก็มีการนำไปควบคุมการสร้างสัญญาณสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ด้วยกันเพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการทำงานมากยิ่งขึ้น ซึ่งในชิ้นส่วนของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้งาน อาจมีทั้งส่วนที่มีความอ่อนไหว (Sensitivity) และเป็นภาระทางไฟฟ้าที่ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear load) เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ไม่มีคุณภาพจึงเป็นผลทำให้อุปกรณ์เหล่านั้นทำงานผิดพลาดได้ อีกทั้งในสถานที่สำคัญ เช่น โรงพยาบาล หรือโรงงานที่มีอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องมีการดูแลและควบคุมพิเศษ การที่ระบบไฟฟ้ามีคุณภาพไฟฟ้าที่ดีจะทำให้อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ทำงานได้ถูกต้อง จึงส่งผลให้มีความสำคัญในด้านความปลอดภัยในชีวิตอีกด้วย

เมื่อระบบไฟฟ้าเกิดสิ่งรบกวนขึ้น การตรวจจับและจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงในการตรวจสอบและวิเคราะห์ เพื่อประโยชน์ในการแก้ไขระบบไฟฟ้า หรือ ป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ไม่ให้ได้รับความเสียหายจากสิ่งรบกวนเหล่านั้น ดังนั้นเครื่องมือหรือวิธีการที่ใช้ในการตรวจสอบและจับแนกสิ่งรบกวนทางไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ ถูกต้อง แม่นยำ และรวดเร็ว จึงได้รับการพัฒนาโดยตลอดเพื่อตรวจสอบข้อมูลที่มีอยู่มากแทนมนุษย์ซึ่งไม่สามารถจะตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลได้ทั้งหมดในเวลาอันจำกัด

เครื่องมืออย่างหนึ่งที่มีความเหมาะสมในการใช้วิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าที่ไม่เป็นสภาวะคงตัว (Non-stationary) คือการแปลงทางเวฟเลต (Wavelet transform) ซึ่งสามารถวิเคราะห์สัญญาณหรือสิ่งรบกวนในรูปของการวิเคราะห์เชิงเวลา-ความถี่ (Time-frequency analysis) ได้พร้อมกัน จากนั้นการจำแนกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะใช้เครื่องมือในส่วนของการรู้จำสัญญาณ (Pattern recognition) เข้ามาช่วยในการตัดสินใจแทนมนุษย์

ดังนั้น วิทยานิพนธ์นี้จึงได้พัฒนาเครื่องมือที่จะสามารถช่วยในการวิเคราะห์และตัดสินใจข้อมูลเหตุการณ์ต่างๆ จากรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการสังเคราะห์และข้อมูลจาก

เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง เพื่อตรวจจับและจำแนกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงเวฟเลท (Wavelet transform) และเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการตรวจจับและจำแนกที่มีประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาคุณลักษณะของคุณภาพไฟฟ้าที่มีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าทางด้านผู้ใช้งาน
2. ศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีการแปลงเวฟเลทและการรู้จำสัญญาณในการตรวจจับและจำแนกประเภทของสิ่งรบกวนทางไฟฟ้า
3. พัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้วิเคราะห์สิ่งรบกวนทางไฟฟ้าด้วยเทคนิคการแปลงเวฟเลทและจำแนกประเภทด้วยข่ายงานประสาท
4. ลดการจัดการทางข้อมูลที่มีปริมาณมากด้านเวลาและบุคลากรในการจัดการตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

ศึกษาคุณลักษณะคุณภาพไฟฟ้าที่มีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งมีปริมาณการเกิดขึ้นบ่อย ได้แก่ แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage sag) ฮาร์มอนิก (Harmonic) ทรานเซียนท์ (Transient) โดยพิจารณาเฉพาะทรานเซียนท์แบบแกว่ง (Oscillatory transient) และแรงดันเกินชั่วขณะ (Voltage swell) ซึ่งเหตุการณ์ที่นำมาวิเคราะห์จะได้จากข้อมูลจริงส่วนหนึ่งและจากการสังเคราะห์สัญญาณขึ้นมาตามมาตรฐาน IEEE1159 ITIC และ SEMI F47 ใช้โปรแกรม MATLAB และพัฒนาเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์การตรวจจับและจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน

ในการทำการวิจัย มีขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการตรวจจับและจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า
2. ศึกษาเทคนิคการแปลงเวฟเลทเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เหตุการณ์ในสภาวะชั่วคราว และเหตุการณ์ในช่วงระยะเวลาสั้น
3. ทดสอบการทำงานของโปรแกรมการตรวจจับและจำแนกโดยอาศัยข้อมูลเหตุการณ์จากการสังเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB

4. วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ข้อมูลจริง
5. เปรียบเทียบผลลัพธ์ของวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการจำแนกประเภทสิ่งรบกวนทางไฟฟ้า
อื่นๆ
6. สรุปและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่ผิดปกติในระบบไฟฟ้า
2. สามารถจำแนกประเภทของสิ่งรบกวนทางไฟฟ้าโดยอ้างอิงตามมาตรฐานต่างๆ

1.6 ประมวลวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ที่นำเสนอในที่นี้ถูกจัดเรียงลำดับตามความเหมาะสมในแต่ละบท
เป็นดังนี้

บทที่ 1 จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขต รวมทั้งขั้นตอน
การดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีและนิยามที่เกี่ยวข้อง จะกล่าวถึงความสำคัญของปัญหาทางคุณภาพไฟฟ้า
เบื้องต้น และทฤษฎีของเวฟเลต

บทที่ 3 วิธีการตรวจจับและจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า จะกล่าวถึงวิธีการ
ประยุกต์ใช้งานเวฟเลตในการตรวจจับและจำแนกประเภทสิ่งรบกวนทางไฟฟ้า

บทที่ 4 การสร้างกระบวนการทดสอบ จะกล่าวถึงการเตรียมข้อมูลตามเงื่อนไขต่างๆ ที่จะ
ใช้ตรวจจับและจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า

บทที่ 5 นำเสนอผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล ซึ่งจะกล่าวถึงผลการทดลองทั้งจาก
เหตุการณ์สังเคราะห์และเหตุการณ์จริง โดยทำการเปรียบเทียบผลจากวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการ
จำแนกประเภทเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าอื่นๆ พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

บทที่ 6 นำเสนอบทสรุปที่ได้จากงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้และข้อเสนอแนะสำหรับ
การพัฒนางานวิจัยต่อเนื่องในอนาคต

บทที่ 2

คุณภาพไฟฟ้าและทฤษฎีเวฟเลต

2.1 คุณภาพไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าประกอบด้วย 2 องค์ประกอบ คือ ผู้ผลิตไฟฟ้า (Electric utilities) และผู้ใช้ไฟฟ้า (End users) ทั้ง 2 องค์ประกอบนี้มีความเกี่ยวข้องกันในด้านคุณภาพไฟฟ้าต่อกัน ซึ่งนิยามของคุณภาพไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าอาจแตกต่างกัน แต่ตามมาตรฐาน IEEE ให้ความหมายของคุณภาพไฟฟ้า เป็นปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กไฟฟ้าหลายๆ ประเภทของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าและความถี่ ณ ช่วงเวลาและตำแหน่งที่สนใจในระบบไฟฟ้า ซึ่งคุณภาพไฟฟ้าที่ดีในภาวะปกติจะไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดความเสียหาย

2.1.1 ความสำคัญของคุณภาพไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า

ปัญหาทางคุณภาพไฟฟ้า ในปัจจุบันมีจำนวนการเกิดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยเหตุผลสำคัญที่ทำให้เกิดการสนใจปัญหาเหล่านี้มี ดังนี้

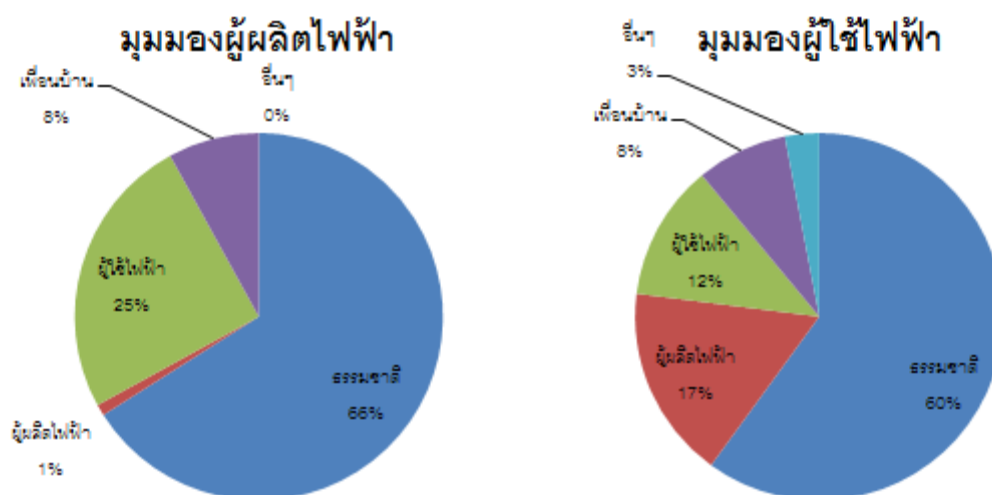
1. อุปกรณ์ไฟฟ้าในปัจจุบันมีความอ่อนไหวง่ายกว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในอดีต เนื่องจากมีการนำอุปกรณ์ที่มีอาศัยพื้นฐานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังหรือแม้กระทั่งอุปกรณ์พื้นฐานทางด้านไมโครโปรเซสเซอร์เข้ามาใช้งาน
2. การใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีเทคโนโลยีสูงขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน เช่น การใช้อุปกรณ์ Adjustable-speed motor drive (ASD) ซึ่งทำให้เกิดฮาร์มอนิกร่วมกับคาปาซิเตอร์ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าจะทำให้ความรุนแรงในการเกิดฮาร์มอนิกมากยิ่งขึ้น
3. อุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่มีการเชื่อมต่อกันเป็นเครือข่ายมากขึ้น ส่งผลให้เมื่อเกิดปัญหาทางด้านคุณภาพไฟฟ้าขึ้นก็จะกระทบกันมากขึ้นไปด้วย รวมถึงปัญหาที่เกิดจากผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าก็จะส่งผลกระทบต่อผู้ผลิตไฟฟ้าได้เช่นกัน
4. การตระหนักในด้านคุณภาพไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีมากขึ้น เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าเริ่มรู้ถึงสาเหตุและความเสียหายที่เกิดจากปัญหาทางคุณภาพไฟฟ้าจึงส่งผลให้ผู้ผลิตไฟฟ้าต้องปรับปรุงคุณภาพของการส่งจ่ายกำลังให้ดีขึ้น

2.1.2 ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า

ปัญหาของคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นสามารถแบ่งสาเหตุของการเกิดได้ 5 ประเภท ได้แก่

1. เกิดจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น ฟ้าผ่า และหมอก
2. เกิดจากสภาวะผิดปกติ (Fault) ในระบบสายส่งและระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า
3. เกิดจากการกระบวนกรสวิตซ์ของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบ
4. เกิดจากการใช้งานอุปกรณ์ที่ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าไม่เป็นเชิงเส้นในระบบ
5. เกิดจากการต่อลงดินไม่ถูกต้อง

จากสาเหตุของการเกิดปัญหาที่เกิดขึ้นกับผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าทั้ง 5 ประเภท มุมมองของการเกิดปัญหาก็จะแตกต่างกัน ตัวอย่างของการสำรวจการเกิดปัญหาทางระบบไฟฟ้าในอเมริกาของ Georgia Power Company [1] แสดงเป็นแผนภูมิวงกลมดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 (ซ้าย) มุมมองต้นเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้า
(ขวา) มุมมองต้นเหตุทำให้เกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าจากผู้ใช้ไฟฟ้า

ดังนั้น การแก้ไขปัญหาวงคุณภาพไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องได้รับความร่วมมือจากทั้งผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าจะสามารถช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นระดับหนึ่ง และเพื่อให้เข้าใจถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจึงควรจะต้องทราบถึงคุณลักษณะของเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าต่างๆ โดยนิยามของประเภทสิ่งรบกวนทางไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะศึกษาคุณลักษณะเหตุการณ์ที่มีความถี่เกิดขึ้นบ่อย ได้แก่ แรงดันตกชั่วขณะ ทรานเซียนท์แบบกว้าง ฮาร์มอนิก แรงดันเกินชั่วขณะ และ แรงดันที่ยอมรับได้

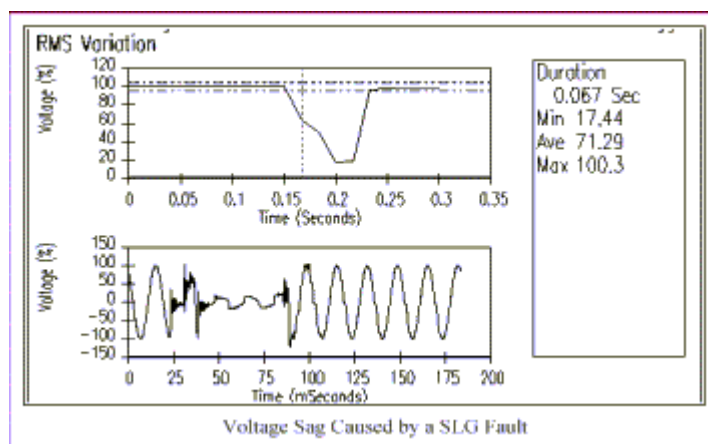
2.1.3 เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า

คุณภาพไฟฟ้าที่ดีเป็นสิ่งที่ช่วยให้การทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การผลิตไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าแม้จะควบคุมคุณภาพไฟฟ้าถึงผู้ใช้ไฟฟ้าดีเพียงใด ความผิดปกติในระบบไฟฟ้าก็ยังสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ความผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นจากผู้ใช้ไฟฟ้าเอง หรือเกิดขึ้นเองระหว่างทางจากผู้ผลิตไฟฟ้าถึงผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเหตุการณ์ที่ผิดปกติย่อมส่งผลเสียตามมาภายหลัง ดังนั้น การเรียนรู้ถึงคุณลักษณะของสิ่งรบกวนทางไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อใช้ในการป้องกันและแก้ไขได้อย่างถูกต้อง

เนื่องจากความสิ่งรบกวนทางมีอยู่มากมายหลายประเภท ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จะกล่าวถึงเฉพาะสิ่งรบกวนที่ใช้ในงานวิจัยเท่านั้น ได้แก่

2.1.3.1 แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage sag)

แรงดันตกชั่วขณะ เป็นปรากฏการณ์ที่แรงดันไฟฟ้ามีขนาดของแรงดันประสิทธิผลลดลงมาอยู่ในช่วง 0.1-0.9 เท่าของแรงดันปกติ และมีช่วงของการเกิดเหตุการณ์อยู่ระหว่าง 0.001 วินาที ถึง 1 นาที หรือเทียบเป็น 1/2 ลูกคลื่น ถึง 300 ลูกคลื่น ตามความถี่หลักมูล (50 เฮิร์ตซ์) ที่ใช้ใน ประเทศไทย สาเหตุของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ได้แก่ การเดินมอเตอร์หรือโหลดที่มีขนาดใหญ่ หรือเกิดจากความผิดปกติต่างๆ (Fault) ในระบบไฟฟ้า เป็นต้น แรงดันตกชั่วขณะแสดงได้ตามภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แรงดันตกชั่วขณะจากการเกิดความผิดปกติทางไฟฟ้าลงดิน

การสร้างสัญญาณแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดจากความผิดปกติทางไฟฟ้า สามารถสร้างด้วยสมการ (2.1) [2] และแสดงได้ดังภาพที่ 2.3

$$v(t) = [1 - \alpha(u(t - t_1) - u(t - t_2))] \sin(2\pi ft + \theta) \quad (2.1)$$

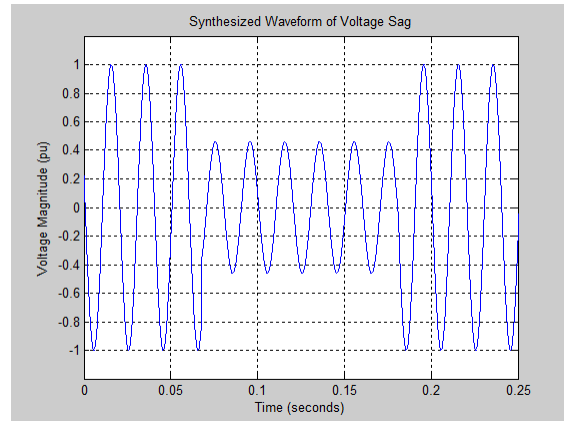
เมื่อ α คือ ระดับที่แรงดันตกชั่วขณะ

t_1 คือ เวลาที่เริ่มเกิดแรงดันตกชั่วขณะ

t_2 คือ เวลาที่สิ้นสุดแรงดันตกชั่วขณะ

θ คือ มุมทางไฟฟ้า

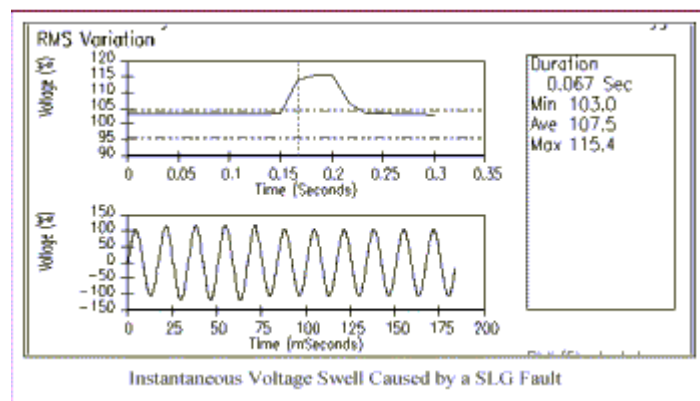
$u(t)$ คือ ฟังก์ชันขั้นบันได (Step function)



ภาพที่ 2.3 แรงดันตกชั่วขณะสังเคราะห์จากการเกิดความผิดปกติของทางไฟฟ้า

2.1.3.2 แรงดันเกินชั่วขณะ (Voltage swell)

แรงดันเกินชั่วขณะ เป็นปรากฏการณ์ที่แรงดันไฟฟ้ามีขนาดของแรงดันประสิทธิผลสูงขึ้นมาอยู่ในช่วง 1.1-1.8 เท่าของแรงดันปกติ และมีช่วงของการเกิดเหตุการณ์อยู่ระหว่าง 0.001 วินาที ถึง 1 นาที หรือเทียบเป็น 1/2 ลูกคลื่น ถึง 300 ลูกคลื่น ตามความถี่หลักมูล (50 เฮิร์ตซ์) ที่ใช้ในประเทศไทย เช่นเดียวกับกับแรงดันตกชั่วขณะ สาเหตุของการเกิดแรงดันเกินชั่วขณะ ได้แก่ เกิดจากความผิดปกติในเฟสอื่นๆส่งผลกระทบมา หรือการปลดโหลดขนาดใหญ่ออกจากระบบ แรงดันเกินชั่วขณะแสดงได้ตามภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แรงดันเกินชั่วขณะจากการเกิดความผิดปกติของทางไฟฟ้าลงดิน

การสร้างสัญญาณแรงดันเกินชั่วขณะที่เกิดจากความผิดปกติของทางไฟฟ้า สามารถสร้างด้วยสมการ (2.2) [2] และแสดงได้ดังภาพที่ 2.5

$$v(t) = [1 + \alpha(u(t-t_1) - u(t-t_2))] \sin(2\pi ft + \theta) \quad (2.2)$$

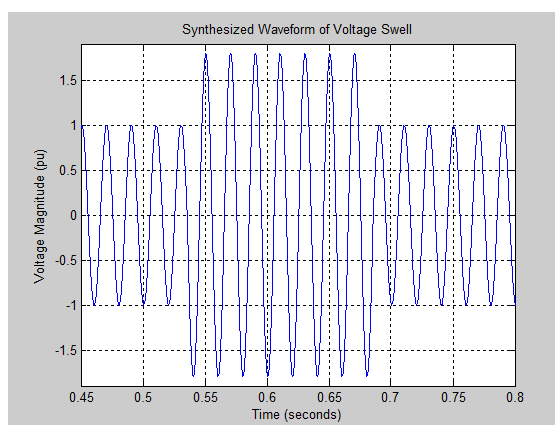
เมื่อ α คือ ระดับที่แรงดันเกินชั่วขณะ

t_1 คือ เวลาที่เริ่มเกิดแรงดันเกินชั่วขณะ

t_2 คือ เวลาที่สิ้นสุดแรงดันเกินชั่วขณะ

θ คือ มุมทางไฟฟ้า

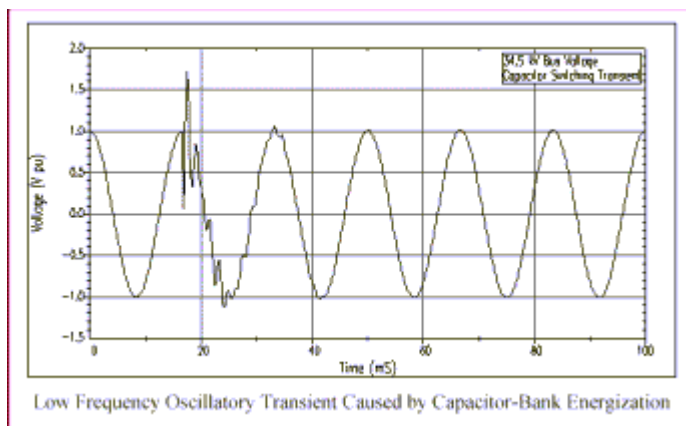
$u(t)$ คือ ฟังก์ชันขั้นบันได (Step function)



ภาพที่ 2.5 แรงดันเกินชั่วขณะสังเคราะห์จากการเกิดความผิดปกติของทางไฟฟ้า

2.1.3.3 ทรานเซียนท์แบบแกว่ง (Oscillatory transient)

ทรานเซียนท์ แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ทรานเซียนท์แบบอิมพัลส์ (Impulse transient) และทรานเซียนท์แบบแกว่ง (Oscillatory transient) ในงานวิจัยนี้ จะศึกษาเฉพาะทรานเซียนท์แบบแกว่ง ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่แรงดันหรือกระแสไฟฟ้ามีค่าสูงทันทีทันใด (Instantaneous) โดยที่ความถี่หลักมูลของระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อกลับเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) ขณะที่เกิดเหตุการณ์จะมีการเปลี่ยนแปลงชั่วคราวและลบของลูกคลื่นอย่างรวดเร็ว สาเหตุของการเกิดทรานเซียนท์แบบแกว่ง ได้แก่ การสวิตชิงของอุปกรณ์ในระบบ ทรานเซียนท์แบบแกว่งแสดงได้ตามภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ทรานเซียนท์แบบแกว่งจากการสวิตชิงคาปาซิเตอร์แบบเข้าระบบ การสร้างสัญญาณทรานเซียนท์แบบแกว่งที่เกิดจากสวิตชิงคาปาซิเตอร์ สามารถสร้างด้วยสมการ (2.3) [3] และแสดงได้ดังภาพที่ 2.7

$$v(t) = \sin(2\pi ft + \theta) + [u(t - t_1) \cdot \alpha \cdot \sin(2\pi f_{osc} t_1) \cdot e^{-\rho t_1}] \quad (2.3)$$

เมื่อ α คือ ระดับของทรานเซียนท์

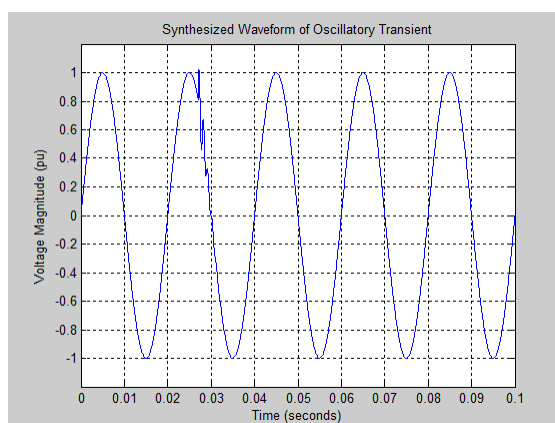
t_1 คือ เวลาที่เริ่มเกิดทรานเซียนท์

f_{osc} คือ ความถี่ของสัญญาณทรานเซียนท์

θ คือ มุมทางไฟฟ้า

ρ คือ transient settling rate (ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ เท่ากับ 640)

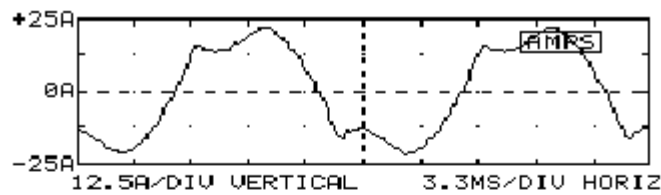
$u(t)$ คือ ฟังก์ชันขั้นบันได (Step function)



ภาพที่ 2.7 ทรานเซียนท์แบบแกว่งสังเคราะห์ที่เกิดจากสวิตชิงคาปาซิเตอร์

2.1.3.4 ฮาร์มอนิก (Harmonic)

ฮาร์มอนิกเป็นปรากฏการณ์ที่ผลรวมของส่วนประกอบของสัญญาณไฟฟ้ารูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมรวมอยู่กับสัญญาณไฟฟ้าปกติ ซึ่งเป็นการรวมกันของสัญญาณทางขนาดและความถี่ ทำให้เกิดขนาดและรูปร่างสัญญาณเปลี่ยนไปจากสัญญาณคลื่นไซน์ของระบบไฟฟ้าปกติ (50 เฮิร์ตซ์) สาเหตุของการเกิดฮาร์มอนิก ได้แก่ การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทที่ไม่เป็นเชิงเส้น เช่น คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เป็นต้น ฮาร์มอนิกแสดงได้ตามภาพที่ 2.8



Fundamental amps:			15.2 A rms		
Fundamental freq:			60.0 Hz		
HARM	PCT	PHASE	HARM	PCT	PHASE
FUND	100.0%	-124°	2nd	0.2%	136°
3rd	19.9%	-144°	4th		
5th	7.4%	62°	6th		
7th	3.2%	-39°	8th		
9th	2.4%	-171°	10th		
11th	1.8%	111°	12th		
13th	0.8%	17°	14th		
15th	0.4%	-93°	16th		
17th	0.1%	-164°	18th		
19th	0.2%	-99°	20th		
21st	0.1%	160°	22nd		
23rd	0.1%	86°	24th		
25th			26th		
27th	0.1%	161°	28th		
29th			30th		
31st			32nd	0.1%	156°

ภาพที่ 2.8 ฮาร์มอนิกจากการใช้งานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

การสร้างสัญญาณฮาร์มอนิก จะสามารถสร้างด้วยสมการ (2.4) [2] และแสดงได้ดังภาพที่

2.9

$$v(t) = \sin(2\pi f_1 t + \theta_1) + \sum \alpha_h [\sin(2\pi f_h t + \theta_h)] \quad (2.4)$$

เมื่อ h คือ ลำดับของฮาร์มอนิก

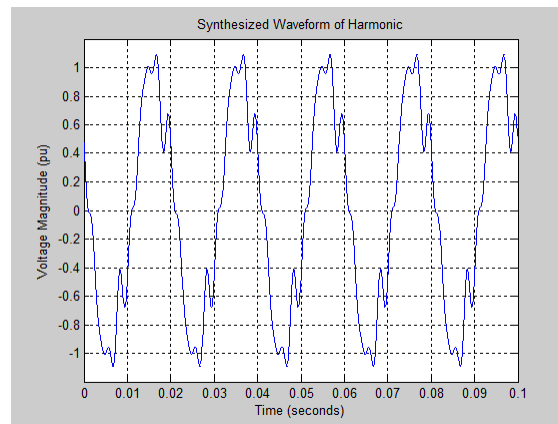
α_h คือ ขนาดของฮาร์มอนิกในลำดับนั้นๆ

f_1 คือ ความถี่หลักมูล

f_h คือ ความถี่ของฮาร์มอนิกในลำดับนั้นๆ

θ_1 คือ มุมทางไฟฟ้าของฮาร์มอนิกหลักมูล

θ_h คือ มุมทางไฟฟ้าของฮาร์มอนิกในลำดับนั้นๆ



ภาพที่ 2.9 ฮาร์มอนิกสังเคราะห์

จากประเภทของสิ่งรบกวนทางไฟฟ้าที่กล่าวมาข้างต้น สามารถนำมาแบ่งประเภท โดยแยกตามช่วงของเวลาในการเกิดเหตุการณ์ และขนาดของแอมพลิจูดของสัญญาณอ้างอิงตามมาตรฐานของ IEEE 1159 [4] ได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประเภทและคุณลักษณะแต่ละชนิดของปรากฏการณ์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง

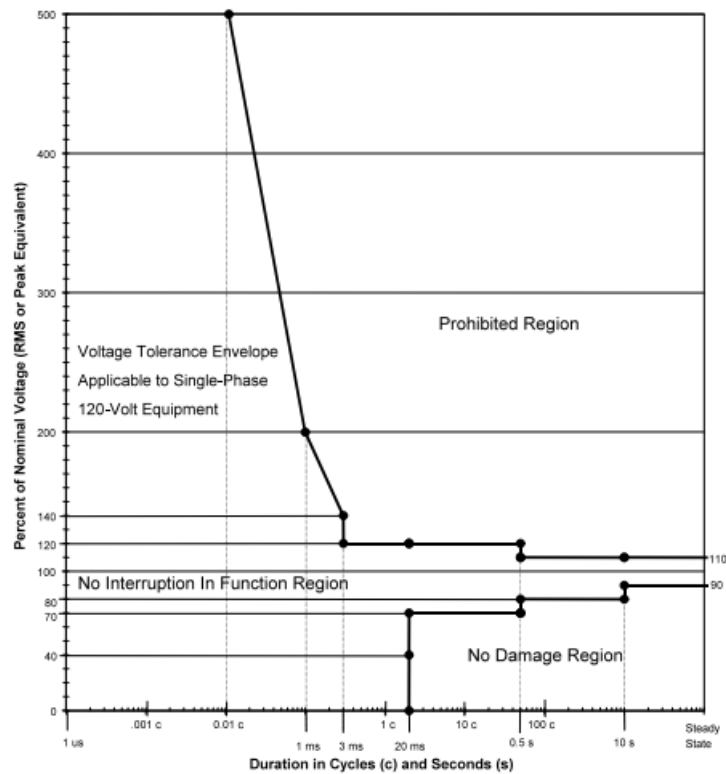
Categories	Typical spectral content	Typical duration	Typical voltage magnitude
1.0 Transient			
1.1 Oscillatory			
1.1.1 Low frequency	< 5kHz	0.3-50 ms	0-4 pu
1.1.2 Medium frequency	5-500 kHz	20 μ s	0-8 pu
1.1.1 High frequency	0.5-5 MHz	5 μ s	0-4 pu
2.0 Short duration variation			
2.1 Instantaneous			
2.1.1 Sag		0.5-30 cycles	0.1-0.9 pu
2.1.2 Swell		0.5-30 cycles	1.1-1.8 pu
2.2 Momentary			
2.1.1 Sag		30 cycles-3 s	0.1-0.9 pu
2.1.2 Swell		30 cycles-3 s	1.1-1.4 pu
2.3 Temporary			
2.1.1 Sag		3 s-1 min	0.1-0.9 pu
2.1.2 Swell		3 s-1 min	1.1-1.2 pu
3.0 Waveform distortion			
3.1 Harmonics	0-100th H	Steady	0-20 %

นอกจากนี้ยังมีมาตรฐานอีกมากมายที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้งานให้ตรงกับลักษณะเฉพาะ โดยคำนึงถึงการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นหลักเพื่อป้องกันการเสียหายหรือป้องกันอุปกรณ์ทำงานผิดพลาดจากสิ่งรบกวนทางไฟฟ้า ดังตัวอย่างมาตรฐานต่อไปนี้

เกณฑ์ ITIC (ITIC curve)

เกณฑ์ของ ITIC curve [5] ซึ่งเป็นการพิจารณาผลกระทบที่เกิดกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์จากสิ่งรบกวนทางไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากการรวบรวมข้อมูลของผู้ใช้อุปกรณ์เองรวมทั้ง

ผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ภายใต้องค์กร The Information Technology Industry Council หรือเรียกว่า ITIC มาตรฐานนี้แสดงได้ดังภาพที่ 2.10



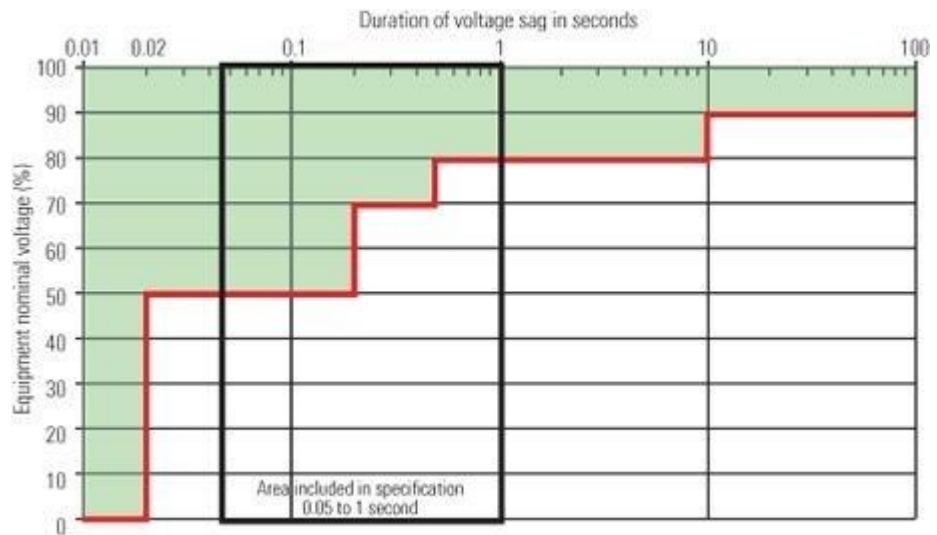
ภาพที่ 2.10 แสดงเกณฑ์มาตรฐานของ ITIC curve

จากภาพที่ 2.10 เกณฑ์ของ ITIC Curve แบ่งพื้นที่ออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

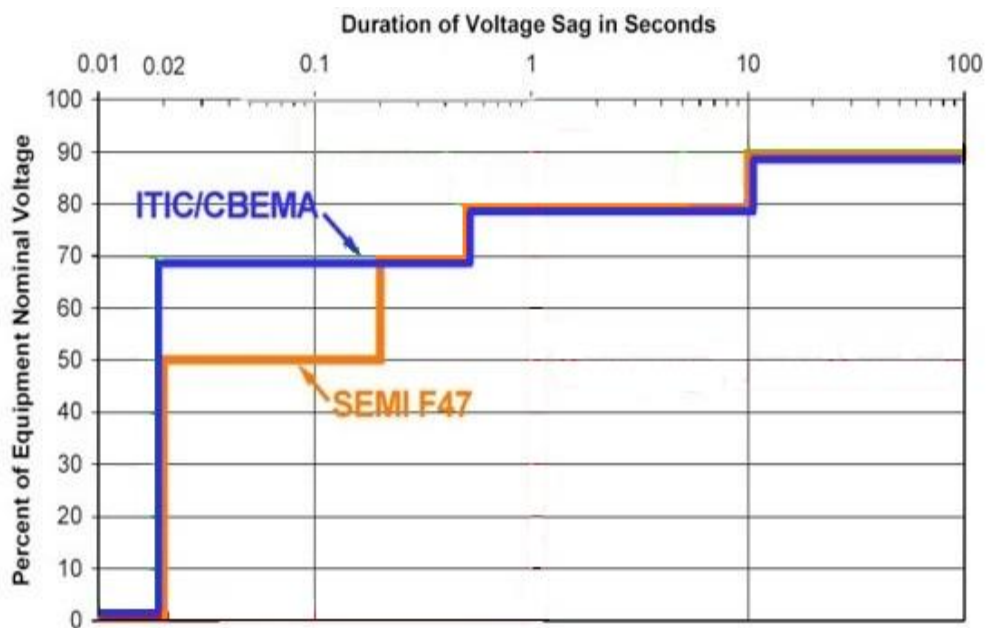
- 1) พื้นที่ที่ไม่เกิดความเสียหาย อยู่ใต้เส้นจำกัดล่างซึ่งพื้นที่ส่วนนี้อธิบายได้ว่า เมื่อเกิดเหตุการณ์ขึ้น จะมีผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ แต่ไม่ทำให้เกิดความเสียหาย ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสิ่งรบกวนประเภท แรงดันตกชั่วขณะเมื่อเทียบกับตารางที่ 2.1
- 2) พื้นที่ห้ามใช้งาน อยู่เหนือเส้นจำกัดบนเป็นพื้นที่ที่นอกจากจะมีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์แล้วยังทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์อีกด้วย พื้นที่ส่วนนี้จะประกอบ ทรานเซียนท์ และแรงดันเกินชั่วขณะส่วนใหญ่ เมื่อเทียบกับตารางที่ 2.1
- 3) พื้นที่ที่ไม่มีผลต่อการทำงานและไม่เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ อยู่ระหว่างเส้นจำกัดบนและล่างพื้นที่ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย สัญญาณไฟฟ้าปกติที่ไม่มีสิ่งรบกวนทางไฟฟ้า, แรงดันตกชั่วขณะบางส่วน และแรงดันเกินชั่วขณะบางส่วน เมื่อเทียบกับค่าในตารางที่ 2.1

เกณฑ์ SEMI F47 (SEMI F47 standard)

เกณฑ์ของ SEMI F47 [6] เกี่ยวข้องกับสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ในการกำหนดระดับของแรงดันตกชั่วขณะที่มีผลกระทบต่อสารกึ่งตัวนำ ดังแสดงได้ตามรูป 2.11 และเทียบค่าเกณฑ์ระหว่าง SEMI F47 กับ ITIC Curve ดังภาพที่ 2.12



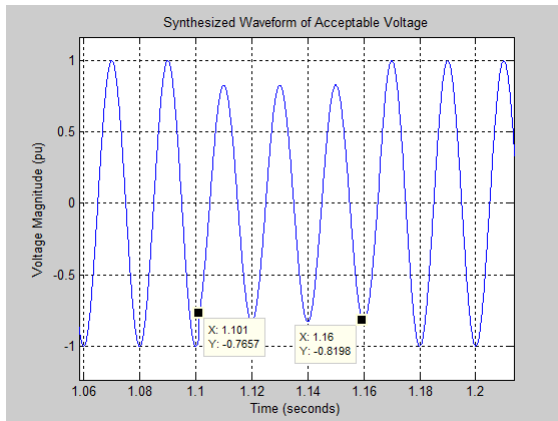
ภาพที่ 2.11 แสดงเกณฑ์มาตรฐานของ SEMI F47



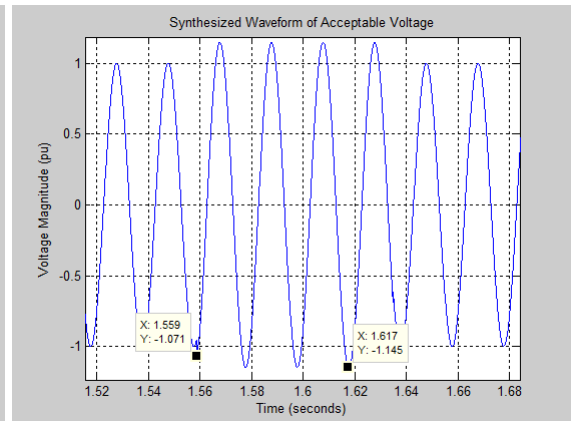
ภาพที่ 2.12 เปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐานของ SEMI F47 กับ ITIC curve

2.1.3.5 แรงดันที่ยอมรับได้ (Acceptable voltage)

จากเกณฑ์ของ ITIC และ SEMI F47 แรงดันที่ยอมรับได้จะหมายถึงระดับแรงดันที่เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดในช่วงเวลาหนึ่งที่ไม่ก่อให้เกิดผลต่อการทำงานและไม่เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ ซึ่งตามเกณฑ์ของ ITIC จะเป็นพื้นที่ในส่วนที่ 3 โดยยกเว้นส่วนที่เป็นช่วงแรงดันปกติ ซึ่งก็คือแรงดันตกชั่วขณะบางส่วน และแรงดันเกินชั่วขณะบางส่วน ดังนั้นจึงสามารถสร้างสัญญาณได้ตามสมการที่ 2.1 และ 2.2 และแสดงได้ตามภาพที่ 2.13 (ก) และ 2.13 (ข) ตามลำดับ



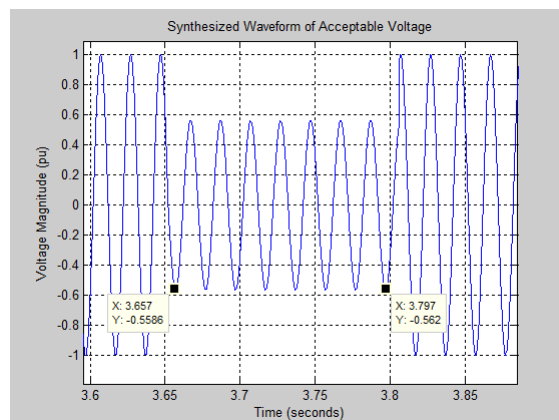
(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.13 (ก) แรงดันที่ยอมรับได้สังเคราะห์ตามเกณฑ์ ITIC ในช่วงแรงดันตกชั่วขณะ
(ข) แรงดันที่ยอมรับได้สังเคราะห์ตามเกณฑ์ ITIC ในช่วงแรงดันเกินชั่วขณะ

ส่วนแรงดันที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์ของ SEMI F47 จะเป็นพื้นที่สีเขียวบางส่วนในภาพที่ 2.11 โดยยกเว้นส่วนที่เป็นช่วงแรงดันปกติ ซึ่งก็คือแรงดันตกชั่วขณะบางส่วน สามารถสร้างสัญญาณได้ตามสมการที่ 2.1 แสดงได้ตามภาพที่ 2.14

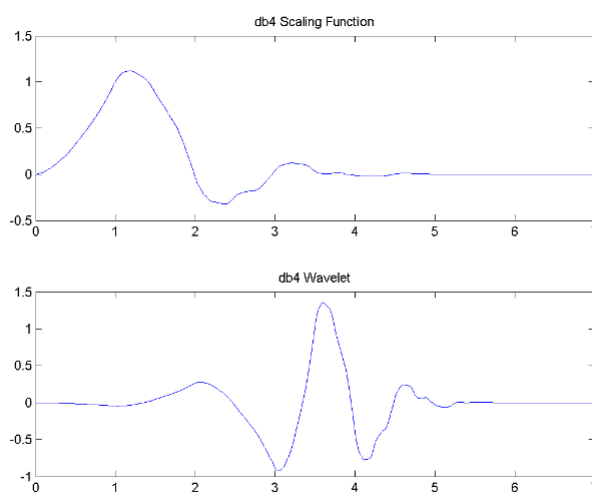


ภาพที่ 2.14 แรงดันที่ยอมรับได้สังเคราะห์ตามเกณฑ์ SEMI F47

2.2 เวฟเลต (Wavelet)

การวิเคราะห์ปัญหาทางคุณภาพไฟฟ้าจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในรูปของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า มีทั้งที่เป็นสัญญาณที่อยู่ในสถานะไม่คงตัว (Non-stationary) เช่น แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage sag) แรงดันเกินชั่วขณะ (Voltage swell) และทรานเซียนท์ (Transient) และสัญญาณที่อยู่ในสถานะคงตัว (Stationary) เช่น ฮาร์มอนิก (Harmonic) โดยเทคนิคที่มีความเหมาะสมในการวิเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้าที่อยู่ในสถานะไม่คงตัวและคงตัวนั้นในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เทคนิคการแปลงเวฟเลตแบบเต็มหน่วย (Discrete Wavelet Transform) กับการวิเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้า

การแปลงเวฟเลต เป็นรูปแบบของการวิเคราะห์สัญญาณที่สามารถกระจายสัญญาณในรูปของโดเมนเวลา-ความถี่ (Time-frequency domain) ด้วยเซตของสัญญาณที่มีลักษณะเฉพาะที่มารวมกันคล้ายๆ กับคลื่นเล็กๆ ที่เรียกว่า เวฟเลตเซต (Wavelet set) ซึ่งสัญญาณที่นำมารวมกันจะมีลักษณะเป็นสัญญาณแบบเดียวกัน โดยต้นแบบของสัญญาณในเวฟเลตเซตจะเรียกว่า เวฟเลตแม่ (Mother wavelet) มีองค์ประกอบอยู่ 2 ส่วน คือ สเกลลิงฟังก์ชัน (Scaling function) และเวฟเลตฟังก์ชัน (Wavelet function) ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 (บน) สเกลลิงฟังก์ชัน (ล่าง) เวฟเลตฟังก์ชัน ของ Daubechies' wavelet (Db4)

จากองค์ประกอบของสเกลลิงฟังก์ชันและเวฟเลตฟังก์ชันที่กล่าวมา วิธีการแปลงเวฟเลตสามารถอธิบายการกระจายสัญญาณได้ดังนี้

2.2.1 การแปลงเวฟเลตแบบ 1 มิติ (1-D Wavelet transform)

การกระจายสัญญาณทางเวฟเลตนั้น เมื่อกำหนดให้ $X(n)$ เป็นสัญญาณแบบเต็มหน่วยที่นำมาวิเคราะห์ จะสามารถกระจายออกมาเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นสัมประสิทธิ์ส่วนหยาบ (Approximation coefficient) และส่วนที่เป็นสัมประสิทธิ์ส่วนละเอียด (Detail coefficient) ซึ่งในการกระจายสัญญาณในระดับที่ 1 นั้น จะแสดงในรูปของสมการได้ดังนี้

$$A_1(n) = \sum_k h(k-2n) \cdot X(k) \quad (2.5)$$

$$D_1(n) = \sum_k g(k-2n) \cdot X(k) \quad (2.6)$$

เมื่อ $A_1(n)$ คือ สัมประสิทธิ์ส่วนหยาบในระดับที่ 1 และ $D_1(n)$ คือ สัมประสิทธิ์ส่วนละเอียดในระดับที่ 1 โดย $h(n)$ และ $g(n)$ เป็นตัวกรองเวฟเลตความถี่ต่ำและความถี่สูงตามลำดับ ซึ่งในแต่ละระดับของการกระจายสัญญาณจำนวนสุ่ม (Sample point) ของสัมประสิทธิ์ส่วนหยาบและสัมประสิทธิ์ส่วนละเอียดจะลดเหลือครึ่งหนึ่งของจำนวนสัญญาณ ส่วนการกระจายสัญญาณในระดับที่ 2 $A_1(n)$ จะแทนสัญญาณที่ใช้ในการกระจาย สามารถแสดงรูปสมการได้ดังนี้

$$A_2(n) = \sum_k h(k-2n) \cdot A_1(k) \quad (2.7)$$

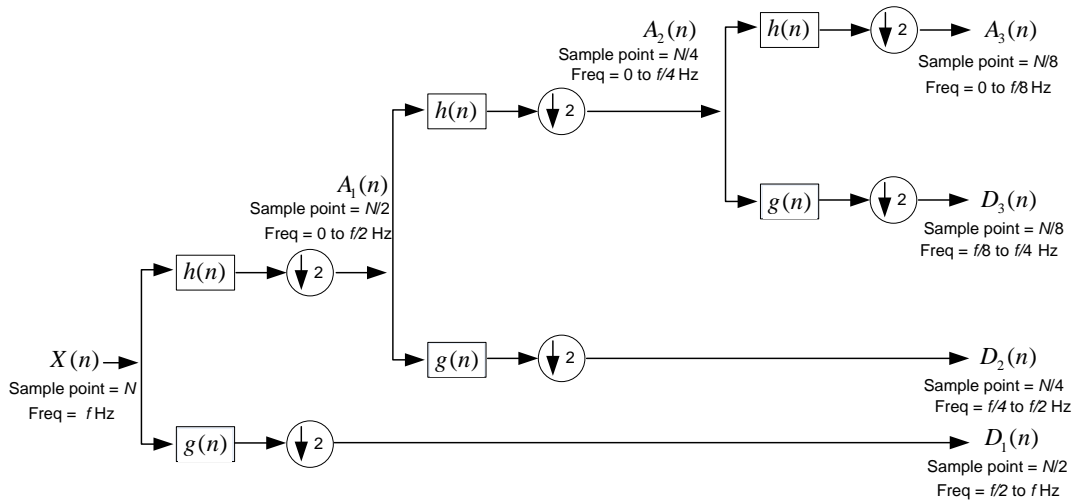
$$D_2(n) = \sum_k g(k-2n) \cdot A_1(k) \quad (2.8)$$

ในทำนองเดียวกัน เมื่อกำหนดให้ M คือระดับของการกระจายในระดับใดๆ แล้วจะสามารถแสดงการกระจายสัญญาณในรูปสมการได้ดังนี้

$$A_M(n) = \sum_k h(k-2n) \cdot A_{M-1}(k) \quad (2.9)$$

$$D_M(n) = \sum_k g(k-2n) \cdot A_{M-1}(k) \quad (2.10)$$

ตัวอย่างการกระจายสัญญาณของสัญญาณเริ่มต้นจนถึงการกระจายสัญญาณใน 3 ระดับ เมื่อกำหนดให้ N คือจำนวนสุ่มทั้งหมดของสัญญาณเริ่มต้น และ f คือช่วงความถี่ของสัญญาณเริ่มต้น จะสามารถแสดงการกระจายสัญญาณได้ดังภาพที่ 2.16

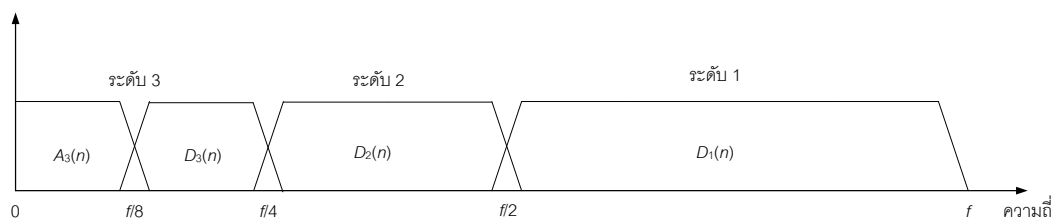


ภาพที่ 2.16 การกระจายสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเลตแบบ 1 มิติใน 3 ระดับ

จากภาพที่ 2.16 สัมประสิทธิ์ของการกระจายในแต่ละระดับจะลดลงครึ่งหนึ่งของสัญญาณที่นำมากระจาย และช่วงความถี่จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วงความถี่ที่เท่ากัน โดยช่วงความถี่ต่ำจะอยู่ที่สัมประสิทธิ์ส่วนหยาบและช่วงความถี่สูงจะอยู่ที่สัมประสิทธิ์ส่วนละเอียดตามตัวกรองเวฟเลตและแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายสัญญาณกับจำนวนสัมประสิทธิ์และช่วงความถี่ได้ตามตารางที่ 2.2 และภาพที่ 2.17

ตารางที่ 2.2 การกระจายสัญญาณด้วยเวฟเลต 1 มิติใน 3 ระดับ

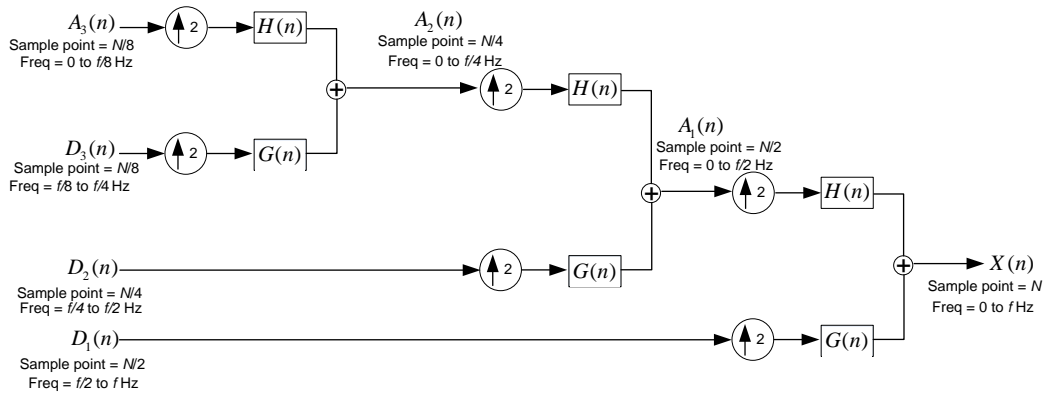
ระดับการกระจาย	สัมประสิทธิ์	จำนวนสัม	ช่วงความถี่
3	$A_3(n)$	$N/8$	$0 - f/8$
	$D_3(n)$	$N/8$	$f/8 - f/4$
2	$D_2(n)$	$N/4$	$f/4 - f/2$
1	$D_1(n)$	$N/2$	$f/2 - f$



ภาพที่ 2.17 ช่วงความถี่ของการกระจายเวฟเลต 1 มิติ ใน 3 ระดับ

2.2.2 การแปลงกลับเวฟเลตแบบ 1 มิติ (Inverse 1-D wavelet transform)

จากการแปลงเวฟเลตข้างต้น สัมประสิทธิ์ส่วนหยาบและสัมประสิทธิ์ส่วนละเอียดที่ได้จากการกระจายสัญญาณระดับใดๆของเวฟเลต สามารถสร้างคืน (Reconstruction) เป็นสัญญาณในระดัปก่อนหน้านั้นได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้การสร้างคืนสัญญาณเพื่อเทียบหาตำแหน่งที่เกิดสิ่งรบกวน ดังนั้น ตัวอย่างการแปลงกลับสัญญาณจากระดับ 3 จนถึงระดับที่ 1 สามารถแสดงได้ตามภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 การสร้างคืนสัญญาณด้วยการแปลงกลับเวฟเลตแบบ 1 มิติใน 3 ระดับ

จากภาพที่ 2.18 กำหนด $H(n)$ และ $G(n)$ เป็นตัวรวมกรองเวฟเลทความถี่ต่ำและความถี่สูงตามลำดับ ในระดับของการกระจายที่ 3 สัมประสิทธิ์ส่วนหยาบ ($A_3(n)$) และสัมประสิทธิ์ส่วนละเอียด ($D_3(n)$) จะแปลงกลับสัญญาณในระดับที่ 2 ได้สัมประสิทธิ์ส่วนหยาบ ($A_2(n)$) และเมื่อนำมารวมกับสัมประสิทธิ์ส่วนละเอียดในระดับที่ 2 จะได้สัมประสิทธิ์ส่วนหยาบในระดับที่ 1 นำมารวมกับสัมประสิทธิ์ส่วนละเอียดในระดับที่ 1 สุดท้ายก็จะได้สัญญาณเริ่มต้นกลับคืน ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการรวมการกระจายสัญญาณจะมีจำนวนส่วนของส่วนสัมประสิทธิ์หยาบเพิ่มเป็น 2 เท่าของจำนวนสัญญาณสัมประสิทธิ์หยาบและสัมประสิทธิ์ละเอียดในแต่ละระดับ ในทำนองเดียวกันช่วงความถี่ที่ได้ก็จะเป็นการรวมความถี่ของการรวมสัญญาณในระดับนั้นๆ ด้วย

2.2.3 การแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติ (2-D Wavelet transform)

การแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิตินั้น เป็นการประยุกต์การกระจายสัญญาณจากการแปลงเวฟเลตแบบ 1 มิติ โดยสัญญาณไฟฟ้าที่นำมากระจายจะอยู่ในรูป 2 มิติ ส่วนสเกลลิงฟังก์ชัน และเวฟเลตฟังก์ชันของเวฟเลตแบบ 2 มิตินั้นสามารถแสดงได้ตามสมการดังนี้

- สเกลลิงฟังก์ชัน

$$LL; \quad \varphi(x, y) = \varphi(x)\varphi(y) \quad (2.11)$$

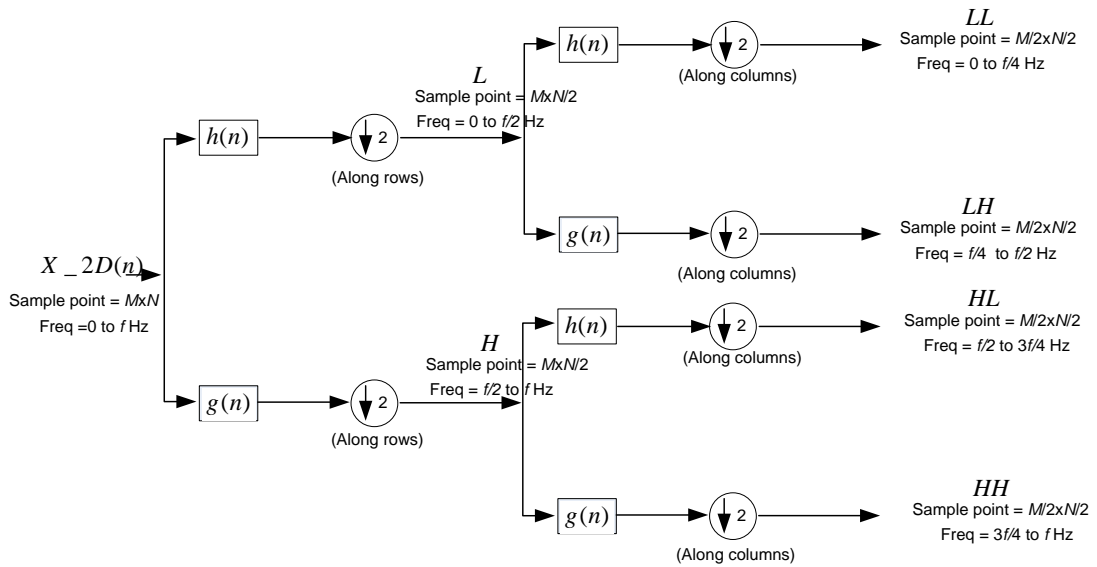
• เวฟเลตฟังก์ชัน

$$LH; \quad \psi^H(x, y) = \varphi(x)\psi(y) \quad (2.12)$$

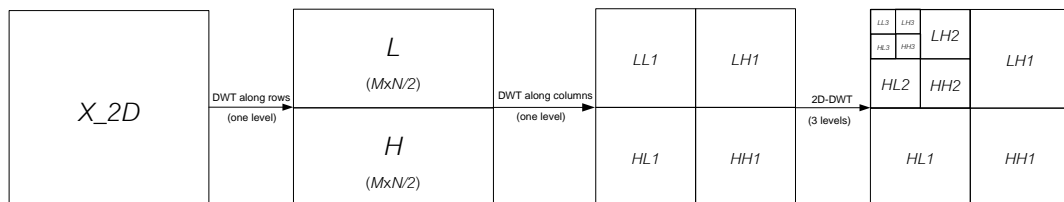
$$HL; \quad \psi^V(x, y) = \psi(x)\varphi(y) \quad (2.13)$$

$$HH; \quad \psi^D(x, y) = \psi(x)\psi(y) \quad (2.14)$$

เมื่อกำหนดให้ X_{2D} เป็นสัญญาณแบบ 2 มิติ (การเตรียมสัญญาณทางไฟฟ้าแบบ 2 มิติ นั้น สามารถดูได้จากภาคผนวก ข.) M คือจำนวนสุ่มในแถว (Row) N คือจำนวนสุ่มในสดมภ์ (Column) และ f คือช่วงความถี่ของสัญญาณเริ่มต้น การกระจายสัญญาณของการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติแสดงได้ตามภาพที่ 2.19 และภาพที่ 2.20 แสดงตัวอย่างการกระจายสัญญาณการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติใน 3 ระดับในรูปแบบของปริภูมิย่อย (Sub-band) ดังนี้



ภาพที่ 2.19 การกระจายสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติใน 1 ระดับ



ภาพที่ 2.20 การกระจายสัญญาณการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติใน 3 ระดับในรูปแบบของปริภูมิย่อย

จากภาพที่ 2.19 สัญญาณเริ่มต้นในรูปแบบ 2 มิติ จะกระจายสัญญาณไปตามแนวนอนก่อนจะได้ปริภูมิย่อย L และ H ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการกรองความถี่ต่ำ $H(n)$ และความถี่สูง $G(n)$ ตามลำดับ จากนั้นจะกระจาย L และ H ไปตามแนวสดมภ์ ก็จะได้การกระจายสัญญาณเป็นปริภูมิย่อย 4 ปริภูมิย่อยด้วยกัน คือ LL , LH , HL และ HH ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์ส่วนหยาบ (Approximation), สัมประสิทธิ์ส่วนละเอียดในแนวตั้ง (Vertical) แนวนอน (Horizontal) และแนวทแยง (Diagonal) ตามลำดับ จำนวนสัมประสิทธิ์ในปริภูมิย่อยทั้งสี่จะมีจำนวนเป็น $1/4$ เท่าของสัญญาณเริ่มต้น และในทำนองเดียวกันช่วงความถี่ก็จะถูกแบ่งเป็น 4 ช่วงเท่าๆ กัน

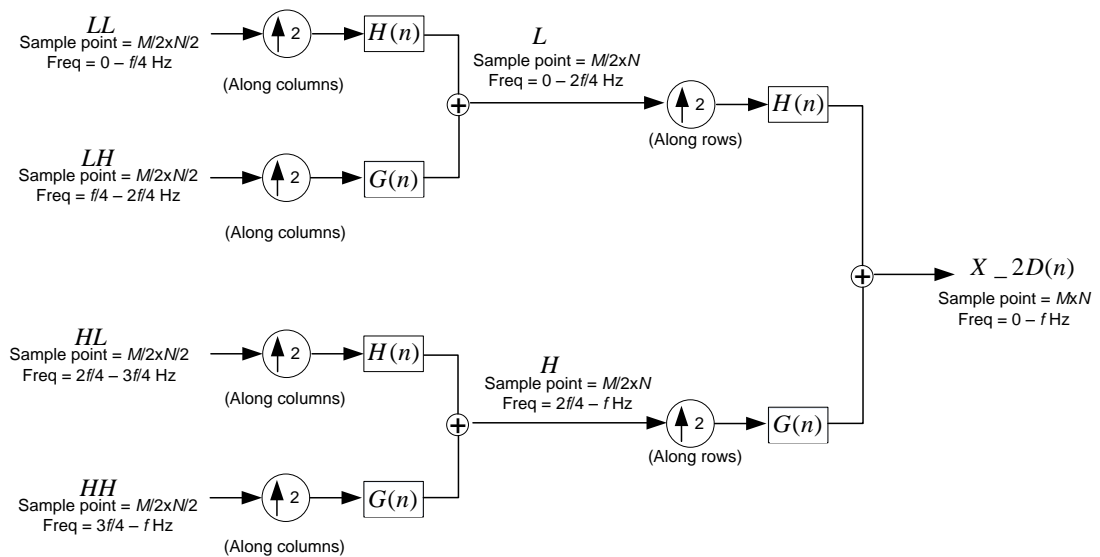
และจากภาพที่ 2.20 เมื่อกระจายสัญญาณด้วยเวฟเลตแบบ 2 มิติในระดับที่ 1 แล้วซึ่งจะได้ปริภูมิย่อย $LL1$, $LH1$, $HL1$ และ $HH1$ ตามลำดับ จะสามารถกระจายสัญญาณในระดับที่ 2 โดยใช้ $LL1$ เป็นสัญญาณในการกระจายจะได้ปริภูมิย่อย $LL2$, $LH2$, $HL2$ และ $HH2$ ตามลำดับ ในทำนองเดียวกัน ในระดับที่ 3 การกระจายสัญญาณ $LL2$ จะได้ปริภูมิย่อย $LL3$, $LH3$, $HL3$ และ $HH3$ ตามลำดับ สามารถแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายสัญญาณกับจำนวนสัมประสิทธิ์และช่วงความถี่ได้ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.3 การกระจายสัญญาณด้วยเวฟเลต 2 มิติใน 3 ระดับ

ระดับการกระจาย	สัมประสิทธิ์	จำนวนสุ่ม	ช่วงความถี่
3	$LL3$	$N/64$	$0 - f/64$
	$LH3$	$N/64$	$f/64 - 2f/64$
	$HL3$	$N/64$	$2f/64 - 3f/64$
	$HH3$	$N/64$	$3f/64 - f/16$
2	$LH2$	$N/16$	$f/16 - 2f/16$
	$HL2$	$N/16$	$2f/16 - 3f/16$
	$HH2$	$N/16$	$3f/16 - f/4$
1	$LH1$	$N/4$	$f/4 - 2f/4$
	$HL1$	$N/4$	$2f/4 - 3f/4$
	$HH1$	$N/4$	$3f/4 - f$

2.2.4 การแปลงกลับเวฟเลตแบบ 2 มิติ (Inverse 2-D wavelet transform)

ทำนองเดียวกันกับการแปลงกลับเวฟเลตแบบ 1 มิติ การแปลงกลับเวฟเลตแบบ 2 มิติจะใช้เทียบหาตำแหน่งที่เกิดสิ่งรบกวนเช่นกัน โดยการนำสัมประสิทธิ์ส่วนหายาบและสัมประสิทธิ์ส่วนละเอียดที่ได้จากการกระจายสัญญาณระดับใดๆของเวฟเลตมาสร้างคืนเป็นสัญญาณก่อนหน้านั้นได้ ดังแสดงตามภาพที่ 2.21



ภาพที่ 2.21 การสร้างคืนสัญญาณด้วยการแปลงกลับเวฟเลตแบบ 2 มิติใน 1 ระดับ

จากภาพที่ 2.21 กำหนด $H(n)$ และ $G(n)$ เป็นตัวรวมกรองเวฟเลทความถี่ต่ำและความถี่สูงตามลำดับ การแปลงกลับเวฟเลตแบบ 2 มิติใน 1 ระดับ เริ่มจากการรวมระหว่างปริภูมีย่อย LL กับ LH ซึ่งจะได้ปริภูมีย่อย L และ HL กับ HH ซึ่งจะได้ปริภูมีย่อย H จากนั้นเมื่อรวมสัญญาณด้วยการแปลงกลับระหว่าง L กับ H ก็จะได้สัญญาณเริ่มต้น ซึ่งสัญญาณเริ่มต้นจะมีจำนวนสัมประสิทธิ์เป็น 4 เท่าของปริภูมีย่อย LL , LH , HL และ HH รวมทั้งช่วงความถี่เป็นการรวมของปริภูมีย่อยทั้ง 4 ปริภูมิด้วย

ในทำนองเดียวกันเมื่อแปลงกลับเวฟเลตแบบ 2 มิติในระดับใดๆ แล้ว การรวมของปริภูมีย่อย 4 ปริภูมิในระดับนั้นๆ แล้วจะได้ปริภูมีย่อย LL ในระดับก่อนหน้า 1 ระดับ และสามารถรวมปริภูมีย่อยไปเรื่อยๆจนถึงระดับที่ 1 ก็จะได้สัญญาณเริ่มต้นแบบ 2 มิติกลับคืนมา

บทที่ 3

วิธีการตรวจจับและจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้การแปลงเวฟ

เลต

การตรวจสอบสิ่งรบกวนทางไฟฟ้าเพื่อที่จะป้องกันหรือแก้ไขความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าหรือระบบไฟฟ้าอันเกิดขึ้นจากสิ่งรบกวนทางไฟฟ้าเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาทางคุณภาพไฟฟ้า การเลือกใช้วิธีการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่ดีก็จะมีผลต่อการนำไปจำแนกประเภทของสิ่งรบกวนทางไฟฟ้าอีกด้วย

วิธีการที่ใช้ในการตรวจจับสิ่งรบกวนทางไฟฟ้า สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ดังนี้

1. ตรวจจับโดยอาศัยค่าแอมพลิจูดของสัญญาณ เช่น ค่าประสิทธิผล (Root mean square; RMS) [7-9] เปรียบเทียบกับค่าตั้งต้น (Threshold value) ของสัญญาณทางไฟฟ้า และค่าความถี่หลักมูล (Fundamental frequency) ทางไฟฟ้า จะสามารถตรวจจับสิ่งรบกวนทางไฟฟ้า ได้แก่ แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage sag), แรงดันเกินชั่วขณะ (Voltage swell), ไฟฟ้าดับ (Interruption), แรงดันไฟฟ้าเกิน (Overvoltage) และแรงดันไฟฟ้าตก (Undervoltage)
2. ตรวจจับโดยอาศัยความถี่สูง สิ่งรบกวนบางประเภทเมื่อเกิดขึ้นจะมีความถี่ที่สูงกว่าความถี่หลักมูลเกิดขึ้น ตัวอย่างวิธีการที่ใช้ในการตรวจจับ เช่น การแปลงฟูเรียร์ (Fourier transform) สามารถตรวจสอบสิ่งรบกวนทางไฟฟ้า ได้แก่ ฮาร์โมนิก (Harmonic) [10-11] แต่ข้อจำกัดคือ เหมาะสมกับสัญญาณที่อยู่ในสภาวะคงตัว และวิธีการตรวจจับโดยใช้การแปลงเวฟเลต ซึ่งสามารถตรวจจับสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใด เช่น ทรานเซียนท์ (Transient) ได้ [12-14]

จากวิธีการตรวจจับสิ่งรบกวนทางไฟฟ้าที่ได้กล่าวมา จะสามารถแยกแยะค่าที่เป็นคุณสมบัติเด่นๆ ของสัญญาณ (Feature extraction) ออกมาเพื่อที่จะจำแนกประเภทสิ่งรบกวนทางไฟฟ้าด้วยวิธีการจำแนกหลากหลาย เช่น ใช้ร่วมกับการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital signal processing; DSP) [7] หรือฟัซซีลอจิก (Fuzzy logic) รวมถึงวิธีการข่ายงานประสาท (Neural network) ประเภทต่างๆ [13-14]

ดังนั้น วิธีการที่ได้รับความนิยมและมีประสิทธิภาพในการตรวจจับสัญญาณทั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดและเปลี่ยนแปลงทางความถี่ของสิ่งรบกวนที่กล่าวมาข้างต้น คือ

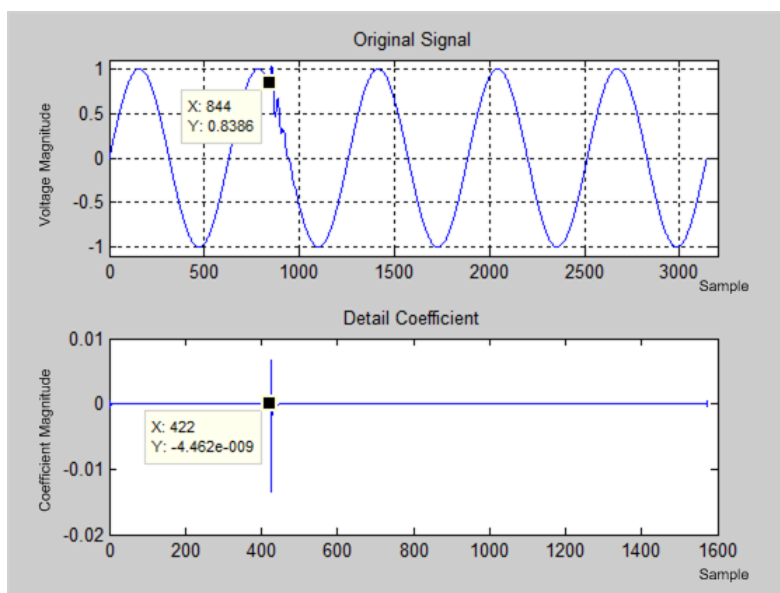
วิธีการแปลงเวฟเลต ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติ [12] ด้วยการเลือกปริมาณย่อย จากนั้นจะให้ช่างงานประสาทช่วยในการจำแนกประเภทของสิ่งรบกวนทางไฟฟ้า

3.1 การตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า

วิธีการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าจะใช้วิธีการแปลงเวฟเลตมาช่วยในการวิเคราะห์สัญญาณ โดยทั่วไปแล้วสัญญาณทางไฟฟ้าที่มีสิ่งรบกวนทางไฟฟ้าเกิดขึ้น เมื่อกระจายสัญญาณทางไฟฟ้าด้วยเวฟเลตแล้ว จะได้สัมประสิทธิ์อยู่ 2 ส่วน คือ สัมประสิทธิ์ส่วนหยาบและสัมประสิทธิ์ส่วนละเอียด โดยวิธีการแปลงเวฟเลตสามารถทำได้ ดังนี้

3.1.1 การตรวจจับโดยใช้เวฟเลตแบบ 1 มิติ

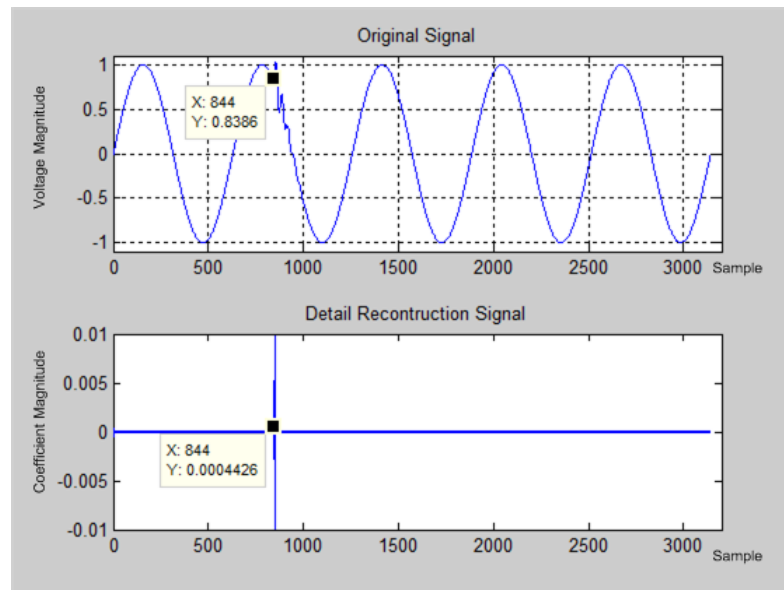
การวิเคราะห์สิ่งรบกวนทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการแปลงเวฟเลตแบบ 1 มิตินั้น เมื่อกระจายสัญญาณทางไฟฟ้าใน 1 ระดับแล้ว สัมประสิทธิ์ส่วนหยาบที่ได้จะเสมือนตัวแทนสัญญาณไฟฟ้าปกติ และสัมประสิทธิ์ส่วนละเอียดจะเสมือนตัวแทนสัญญาณรบกวน ดังแสดงตัวอย่างการกระจายสัญญาณ 1 ระดับที่ได้จากหัวข้อ 2.1.1 ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 (บน) รูปสัญญาณไฟฟ้า (ล่าง) การกระจายสัญญาณ ของสัมประสิทธิ์ส่วนละเอียด

เนื่องจากการตรวจจับสัญญาณทางไฟฟ้าโดยใช้สัมประสิทธิ์ส่วนละเอียดจากการแปลงเวฟเลต 1 มิตินั้น สเกลของสัญญาณเริ่มต้นและสัมประสิทธิ์หยาบและละเอียดของการกระจายจะลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของสัญญาณเริ่มต้น และลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของสัญญาณเริ่มต้นในการกระจายในระดับถัดไป อาจไม่สะดวกในการใช้ตรวจสอบตำแหน่งของการเกิดสิ่งรบกวนทางไฟฟ้า

เราสามารถแก้ไขโดยใช้วิธีการสร้างค่าน้ำสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเลตกลับตามหัวข้อ 2.2.2 โดยพิจารณาเฉพาะสัมประสิทธิ์ส่วนละเอียดที่เสมือนตัวแทนสิ่งรบกวนทางไฟฟ้า และกำหนดให้สัมประสิทธิ์ส่วนหยาบเป็นศูนย์ทั้งหมด จากนั้นนำสัมประสิทธิ์ส่วนหยาบและละเอียด มาแปลงกลับเวฟเลตแบบ 1 มิติ ก็จะได้สัญญาณเฉพาะส่วนสัมประสิทธิ์ละเอียดซึ่งมีขนาดสเกล เท่ากันกับสัญญาณเริ่มต้นและสามารถตรวจจับสิ่งผิดปกติได้เหมือนการใช้สัมประสิทธิ์ส่วน ละเอียด (ภาพที่ 3.1 (ล่าง)) ดังแสดงในภาพที่ 3.2

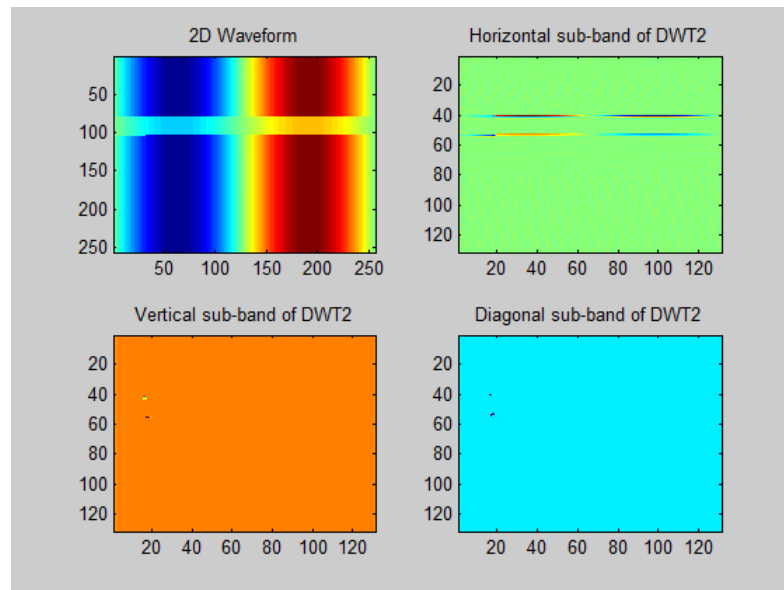


ภาพที่ 3.2 (บน) รูปสัญญาณไฟฟ้า (ล่าง) การสร้างค่าน้ำสัญญาณเฉพาะสัมประสิทธิ์ส่วนละเอียด ของเวฟเลต 1 มิติใน 1 ระดับ

3.1.2 การตรวจจับโดยใช้เวฟเลตแบบ 2 มิติ

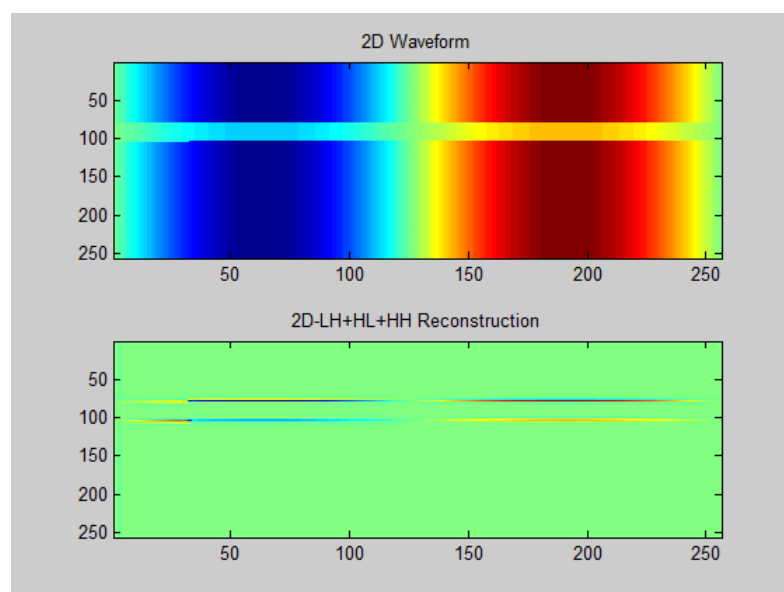
3.1.2.1 การตรวจจับแบบเลือกใช้ทั้ง 3 ปริภูมิย่อย (*LH*, *HL* และ *HH*)

เมื่อเตรียมสัญญาณไฟฟ้าอยู่ในรูป 2 มิติแล้ว (ดูได้จากภาคผนวก ก.) การกระจาย สัญญาณด้วยเวฟเลตแบบ 2 มิติจะทำได้ตามหัวข้อ 2.2.3 และในทำนองเดียวกับหัวข้อ 3.1.1 ปริภูมิย่อย *LH*, *HL* และ *HH* จะเสมือนตัวแทนสิ่งผิดปกติของสัญญาณไฟฟ้า ดังแสดงการ กระจายสัญญาณด้วยเวฟเลต 2 มิติใน 1 ระดับ ดังภาพที่ 3.3

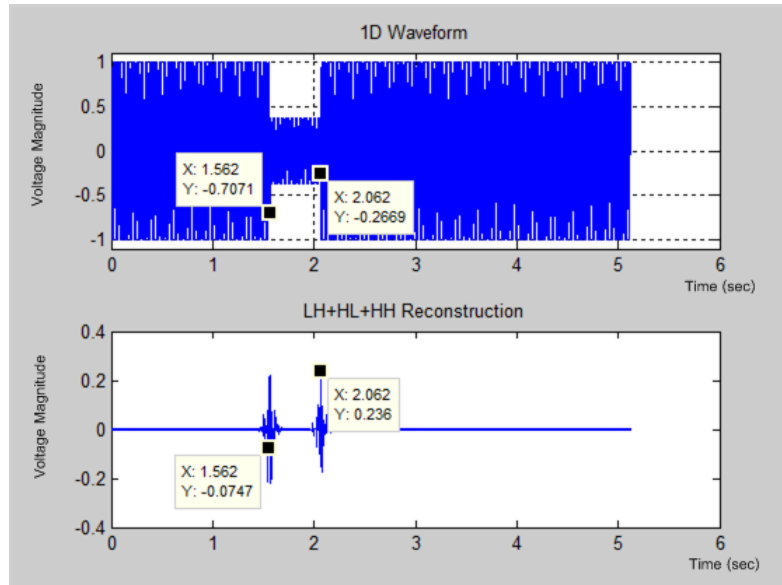


ภาพที่ 3.3 การกระจายสัญญาณไฟฟ้าด้วยเวฟเลตแบบ 2 มิติ (ซ้ายบน) รูปสัญญาณไฟฟ้าแบบ 2 มิติ (ขวาบน) การกระจายสัญญาณในรูปปริภูมิย่อย LH (ล่างซ้าย) การกระจายสัญญาณในรูปปริภูมิย่อย HL (ล่างขวา) การกระจายสัญญาณในรูปปริภูมิย่อย HH

การสร้างคืนสัญญาณ เพื่อหาสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นจากปริภูมิย่อยทั้งสาม (LH , HL และ HH) (ตามหัวข้อ 2.1.4) เมื่อกำหนดให้ค่าปริภูมิย่อย LL ทั้งหมดเป็นศูนย์จะได้รูปของสัญญาณ ดังภาพที่ 3.4 และเพื่อการเปรียบเทียบตำแหน่งในการเกิดกับสัญญาณเริ่มต้นในแบบ 1 มิติ นั้น ดังนั้น จึงแปลงรูปแบบสัญญาณที่ได้ปริภูมิย่อยแบบ 2 มิติ ให้เป็นสัญญาณแบบ 1 มิติ ดังภาพที่ 3.5



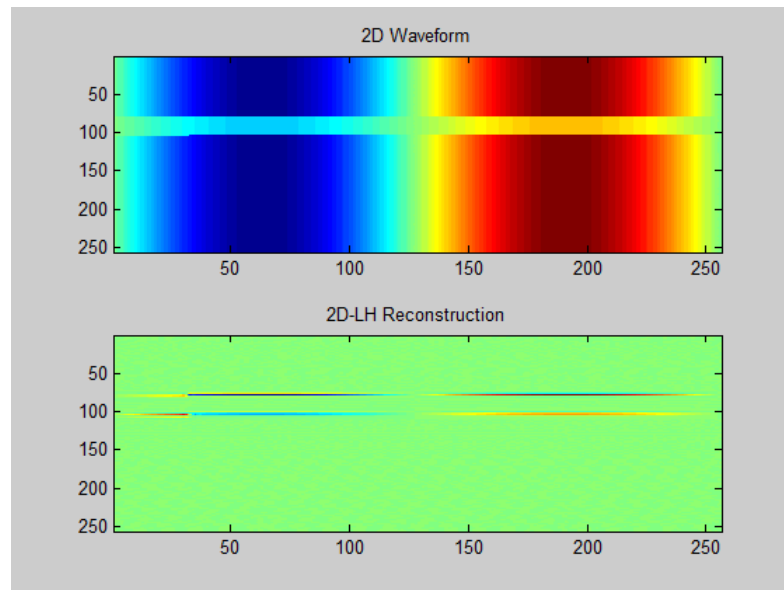
ภาพที่ 3.4 (บน) รูปสัญญาณไฟฟ้าแบบ 2 มิติ (ล่าง) การสร้างคืนสัญญาณจากการรวมปริภูมิย่อย LH , HL และ HH แบบ 2 มิติ



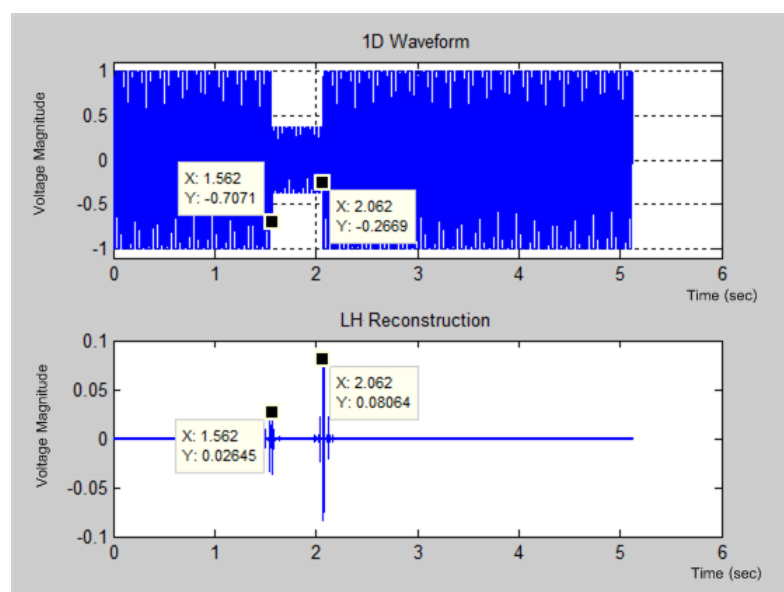
ภาพที่ 3.5 (บน) รูปสัญญาณไฟฟ้าแบบ 1 มิติ (ล่าง) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากการรวม ปริภูมิย่อย LH , HL และ HH ของเวฟเลตแบบ 2 มิติใน 1 ระดับ ให้อยู่ในรูป 1 มิติ

3.1.2.2 การตรวจจับแบบเลือกใช้ปริภูมิย่อย (LH , HL และ HH)

การเลือกปริภูมิย่อยจาก LH , HL และ HH อาศัยหลักการคือ ถ้าเลือกใช้ปริภูมิย่อย อันใดก็ตามในการแปลงกลับสัญญาณแล้ว ปริภูมิย่อยที่ไม่ได้เลือกจะกำหนดให้เป็นค่าศูนย์ ทั้งหมด ตัวอย่างเช่น เลือกใช้ปริภูมิย่อย LH ในการแปลงกลับเวฟเลตแบบ 2 มิติจะกำหนดให้ค่า ในปริภูมิย่อย LL , HL และ HH ทั้งหมดเป็นศูนย์ ดังแสดงในภาพที่ 3.6 และแปลงรูปแบบ สัญญาณที่ได้ปริภูมิย่อยแบบ 2 มิติ ให้เป็นสัญญาณแบบ 1 มิติ ดังภาพที่ 3.7 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.6 (บน) รูปสัญญาณไฟฟ้าแบบ 2 มิติ (ล่าง) การสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย LH แบบ 2 มิติ



ภาพที่ 3.7 (บน) รูปสัญญาณไฟฟ้าแบบ 1 มิติ (ล่าง) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย LH ของเวฟเลตแบบ 2 มิติใน 1 ระดับ ให้อยู่ในรูป 1 มิติ

3.2 การจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า

การกระจายสัญญาณไฟฟ้าโดยการใช้การแปลงเวฟเลต เป็นกระบวนการสกัดเอาคุณลักษณะทางเวลาและความถี่ออกมา (Feature extraction) ซึ่งในแต่ละประเภทของสิ่งรบกวนก็จะแตกต่างกันไปด้วย ในการการจำแนกสิ่งรบกวนทางไฟฟ้าจำเป็นต้องอาศัยวิธีการหลายๆ

อย่างเข้ามาประกอบเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการรู้จำแบบของสัญญาณ (Pattern recognition) ดังต่อไปนี้

3.2.1 การแปลงเวฟเลต

การจำแนกประเภทของสิ่งรบกวนทางไฟฟ้าโดยใช้เวฟเลตแบบ การกระจายในระดับที่ 1 อาจไม่เพียงพอที่จะบ่งบอกสิ่งรบกวนในแต่ละประเภทได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงต้องมีการกระจายในระดับที่สูงขึ้นไป สำหรับการแปลงเวฟเลตในการวิจัยนี้จะใช้ระดับของการกระจายดังนี้

3.2.1.1 การแปลงเวฟเลตแบบ 1 มิติ

จะใช้ระดับของการกระจายเวฟเลตแบบ 1 มิติใน 13 ระดับ ซึ่งจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจาย $D_1, D_2, D_3, \dots, D_{13}$ และ A_{13} ตามลำดับ รวมสัมประสิทธิ์ทั้งหมด 14 กลุ่ม

3.2.1.2 การแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติ

จะใช้ระดับของการกระจายเวฟเลตแบบ 2 มิติใน 3 ระดับ ซึ่งจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายในปริภูมิย่อย $LH1, HL1, HH1, LH2, HL2, HH2, LH3, HL3, HH3$ และ $LL3$ ตามลำดับ รวมทั้งหมด 10 ปริภูมิย่อย

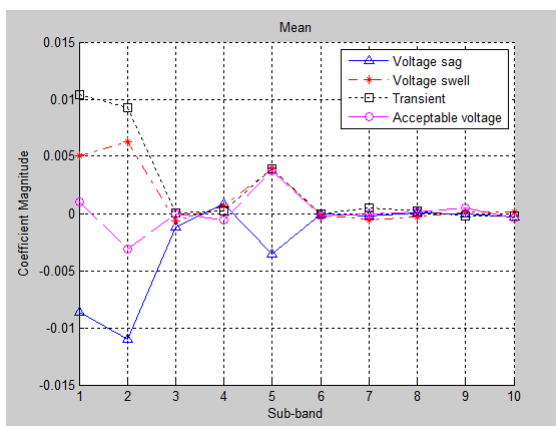
3.2.2 การคัดแยกคุณลักษณะ (Feature extraction)

เป็นการทำงานเพื่อหาลักษณะเด่นจากสกัดลักษณะของสิ่งรบกวนประเภทต่างๆในสัญญาณไฟฟ้าจากการแปลงทางเวฟเลต ซึ่งจะเป็นการหาจำนวนลักษณะที่น้อยลงแต่มีความเหมาะสม เพื่อให้การจำแนกประเภทของสิ่งรบกวนทางไฟฟ้ามีความซับซ้อนของการคำนวณน้อยลง แต่ให้ผลของการจำแนกประเภทได้ผลดีที่สุด ตัวอย่างของวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะดูได้จากภาคผนวก ข.

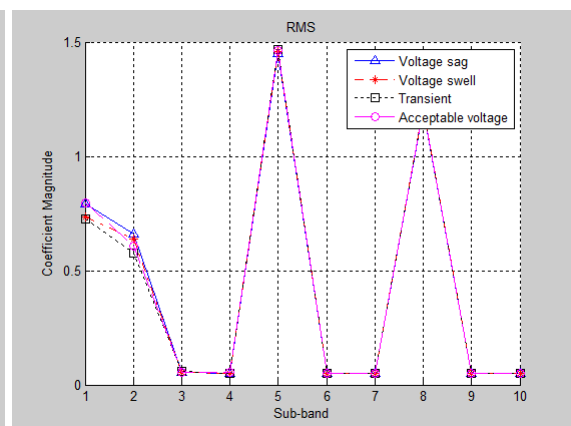
ขอบเขตล่างและขอบเขตบนของการคัดแยกคุณลักษณะจากปริภูมิย่อยของการกระจายเวฟเลตแบบ 2 มิติใน 3 ระดับ ที่บอกลักษณะพิเศษของเหตุการณ์ไฟฟ้าในแต่ละประเภทตามเกณฑ์ ITIC แสดงในตารางที่ 3.1 โดยภาพที่ 3.8 แสดงตัวอย่างของการคัดแยกคุณลักษณะแต่ละประเภท

ตารางที่ 3.1 ค่าขอบเขตล่างและขอบเขตบนของการคัดแยกคุณลักษณะต่างๆ ที่ได้จากการกระจายเวฟเลต 2 มิติใน 3 ระดับตามเกณฑ์ ITIC

	Voltage Sag	Voltage Swell	Oscillatory Transient	Acceptable Voltage
Mean	$-0.015 < y < 0.015$	$-0.015 < y < 0.015$	$-0.015 < y < 0.015$	$-0.015 < y < 0.015$
RMS	$0.04 < y < 1.5$	$0.04 < y < 1.5$	$0.04 < y < 1.5$	$0.04 < y < 1.5$
Variance	$0.01 < y < 2.2$	$0.01 < y < 2.2$	$0.01 < y < 2.2$	$0.01 < y < 2.2$
Skewness	$-1.1 < y < 1.0$	$-1.1 < y < 1.1$	$-1.1 < y < 11.0$	$-0.9 < y < 1.0$
Kurtosis	$1.5 < y < 37.0$	$1.5 < y < 37.5$	$1.5 < y < 38.0$	$1.5 < y < 37.5$
Entropy	$2.7 < y < 4.0$	$2.7 < y < 4.0$	$2.7 < y < 4.0$	$2.7 < y < 4.0$
Crest Factor	$1.5 < y < 9.5$	$1.6 < y < 10.0$	$1.5 < y < 24.5$	$1.5 < y < 10.0$
Form Factor	$-0.04 < y < 0.04$	$-0.04 < y < 0.04$	$-0.05 < y < 0.05$	$-0.04 < y < 0.05$



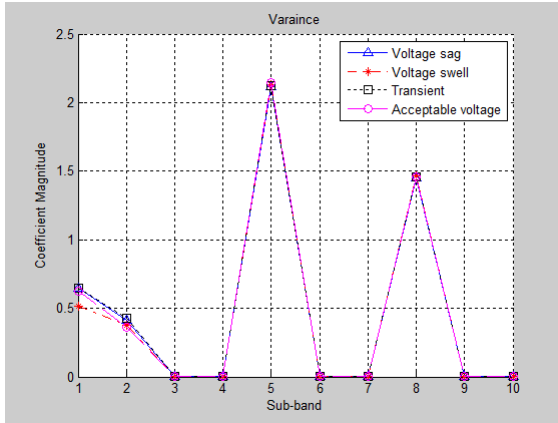
(ก)



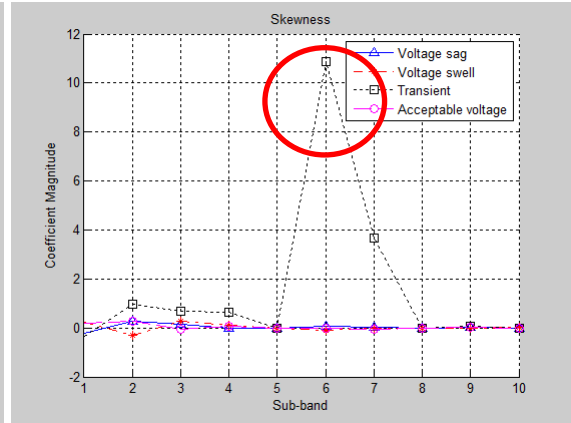
(ข)

ภาพที่ 3.8 การคัดแยกคุณลักษณะประเภทต่างๆ ของเหตุการณ์ไฟฟ้าตามเกณฑ์ ITIC (ก) Mean

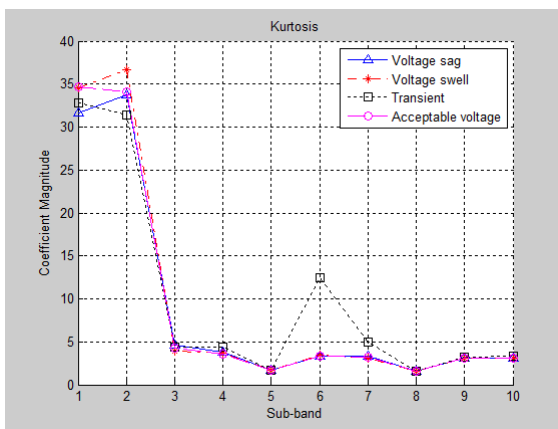
(ข) RMS



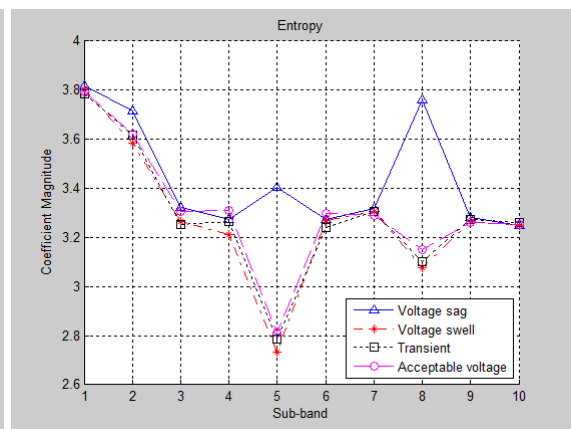
(ค)



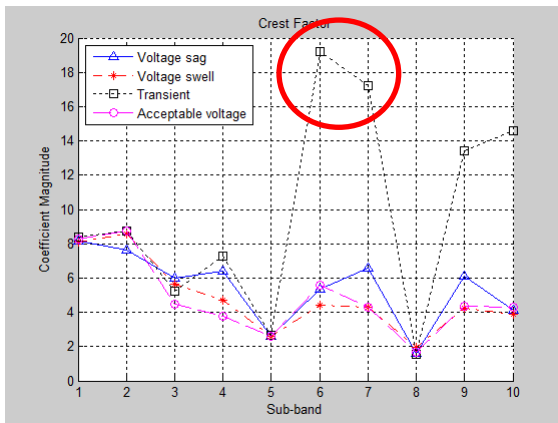
(ง)



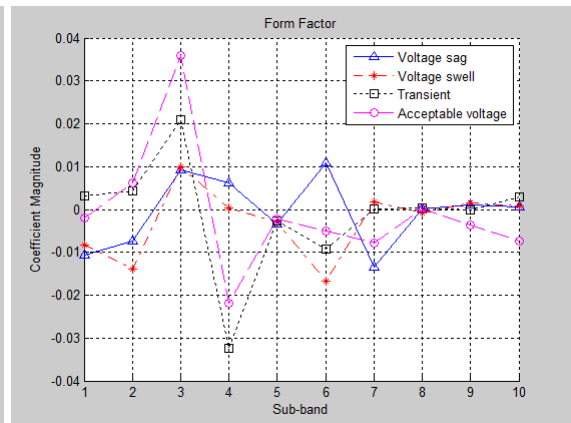
(จ)



(ฉ)



(ช)



(ฌ)

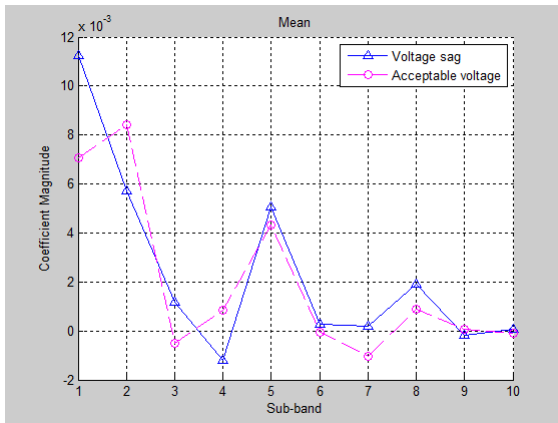
ภาพที่ 3.8 (ต่อ) การคัดแยกคุณลักษณะประเภทต่างๆ ของเหตุการณ์ไฟฟ้าตามเกณฑ์ ITIC
 (ค) Variance (ง) Skewness (จ) Kurtosis (ฉ) Entropy (ช) Crest Factor (ฌ) Form Factor

เมื่อกำหนดให้ค่าในแนวแกน 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 หมายถึงปริมาณย่อย LL3, LH3, HL3, HH3, LH2, HL2, HH2, LH1, HL1 และ HH1 ตามลำดับ จากภาพที่ 3.8 จะเห็นว่าการตัดแยกคุณลักษณะในภาพย่อยเกือบทั้งหมดมีลักษณะคล้ายคลึงกันจนไม่สามารถแยกประเภทของเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าออกมาได้ แต่ก็มีตัวตัดแยกคุณลักษณะบางตัวที่สามารถแยกประเภทของเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าบางชนิดได้ เช่น ค่าความเบ้ และค่าแครสต์แฟคเตอร์ ในภาพย่อย (ง) และ (ข) ตามลำดับ ที่สามารถแยกเหตุการณ์ทรานเซียนท์แบบแกว่งออกมาได้ง่ายที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์มากกว่าเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าประเภทอื่นๆ ที่ค่าแวนอนเท่ากับ 6 ซึ่งก็คือปริมาณย่อย HL2 จากคุณสมบัติการตัดแยกคุณลักษณะค่าความเบ้และค่าแครสต์แฟคเตอร์ นี้จะทำให้เราแยกเหตุการณ์ทรานเซียนท์แบบแกว่งออกมาได้ง่ายที่สุด

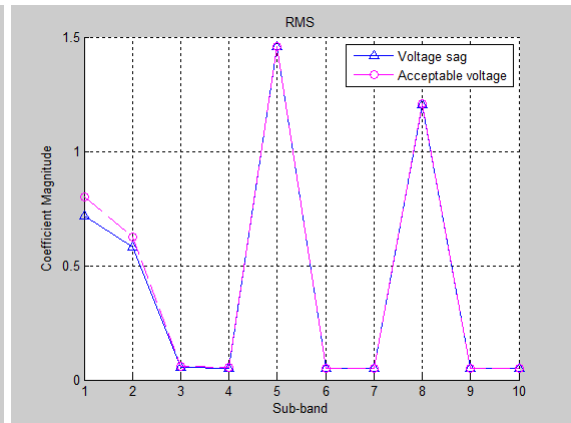
ทำนองเดียวกัน ขอบเขตล่างและขอบเขตบนของการตัดแยกคุณลักษณะจากปริมาณย่อยของการกระจายเวฟเลตแบบ 2 มิติใน 3 ระดับ ที่บอกลักษณะพิเศษของเหตุการณ์ไฟฟ้าในแต่ละประเภทตามเกณฑ์ SEMI F47 แสดงในตารางที่ 3.2 โดยภาพที่ 3.9 แสดงตัวอย่างของการตัดแยกคุณลักษณะแต่ละประเภท

ตารางที่ 3.2 ค่าขอบเขตล่างและขอบเขตบนของการตัดแยกคุณลักษณะต่างๆ ที่ได้จากการกระจายเวฟเลต 2 มิติใน 3 ระดับตามเกณฑ์ SEMI F47

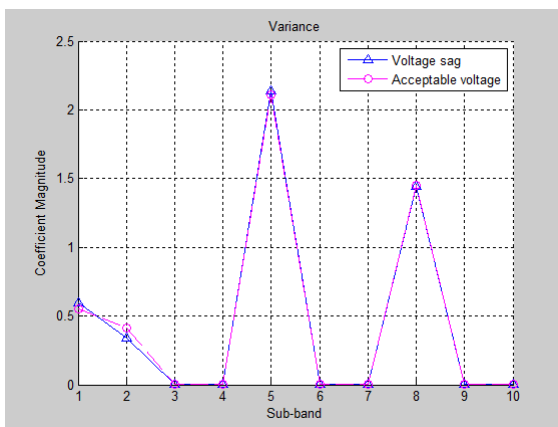
	Voltage Sag	Acceptable Voltage
Mean	$-0.015 < y < 0.015$	$-0.015 < y < 0.015$
RMS	$0.04 < y < 1.5$	$0.04 < y < 1.5$
Variance	$0.01 < y < 2.2$	$0.01 < y < 2.2$
Skewness	$-1.1 < y < 1.1$	$-1.1 < y < 1.0$
Kurtosis	$1.5 < y < 37.0$	$1.5 < y < 37.5$
Entropy	$2.7 < y < 4.0$	$2.7 < y < 4.0$
Crest Factor	$1.5 < y < 9.5$	$1.5 < y < 9.5$
Form Factor	$-0.06 < y < 0.05$	$-0.05 < y < 0.05$



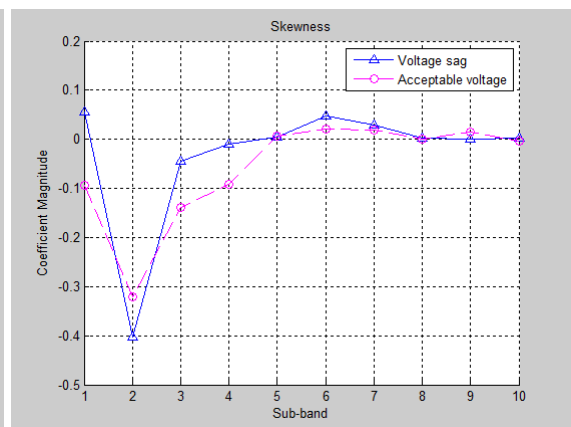
(ก)



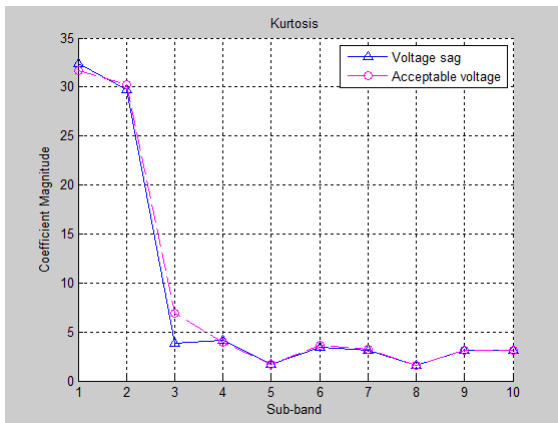
(ข)



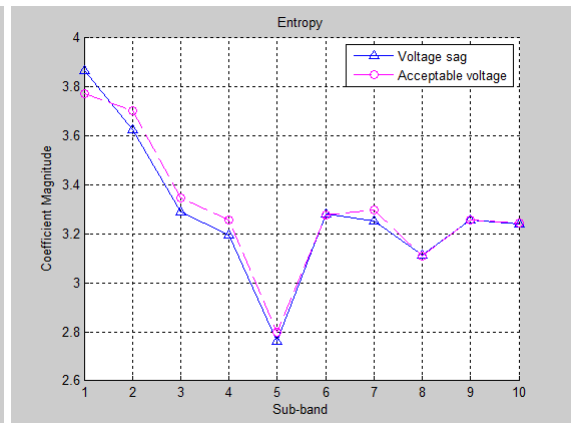
(ค)



(ง)

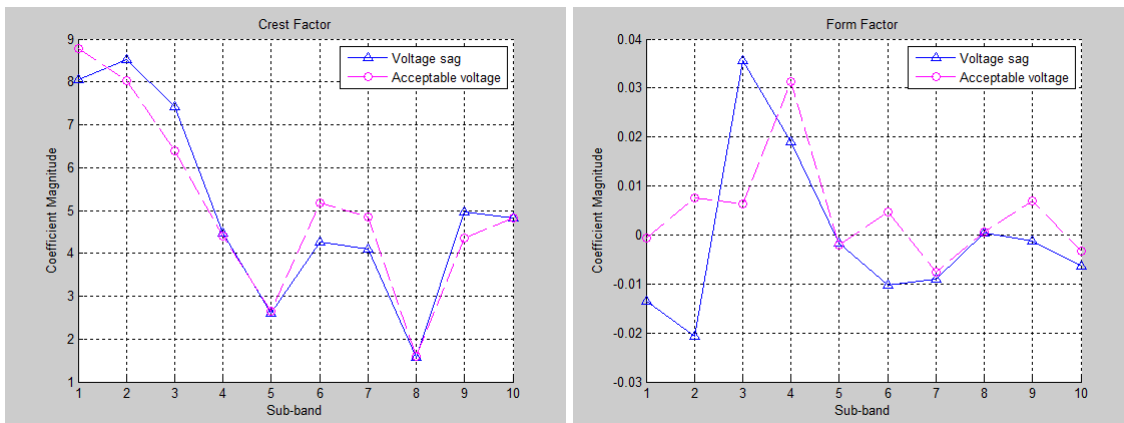


(จ)



(ฉ)

ภาพที่ 3.9 การตัดแยกคุณลักษณะประเภทต่างๆ ของเหตุการณ์ไฟฟ้าตามเกณฑ์ SEMI F47 (ก) Mean (ข) RMS (ค) Variance (ง) Skewness (จ) Kurtosis (ฉ) Entropy



(ข)

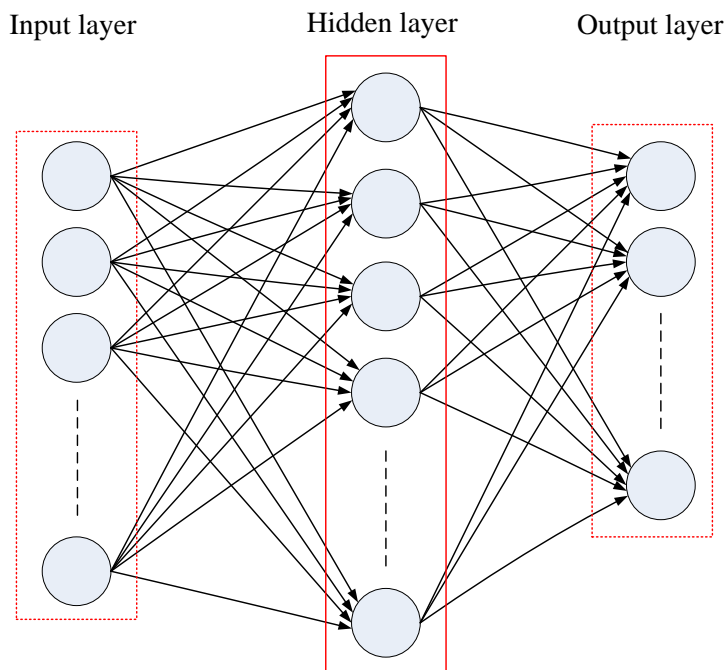
(ข)

ภาพที่ 3.9 (ต่อ) การตัดแยกคุณลักษณะประเภทต่างๆ ของเหตุการณ์ไฟฟ้าตามเกณฑ์ SEMI F47
(ข) Crest Factor (ข) Form Factor

เมื่อกำหนดให้ค่าในแนวนอน 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 หมายถึงปริมาณย่อย LL3, LH3, HL3, HH3, LH2, HL2, HH2, LH1, HL1 และ HH1 ตามลำดับ จากภาพที่ 3.9 จะเห็นว่าการตัดแยกคุณลักษณะในภาพย่อยทั้งหมดมีลักษณะคล้ายคลึงกันจนไม่สามารถแยกประเภทของเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าออกมาได้ อย่างไรก็ตามการตัดแยกคุณลักษณะที่ได้นั้นก็ยังสามารถลดจำนวนข้อมูลที่จะใช้เป็นอินพุตสำหรับกระบวนการรู้จำสัญญาณต่อไป

3.2.3 ข่ายงานประสาท (Neural network)

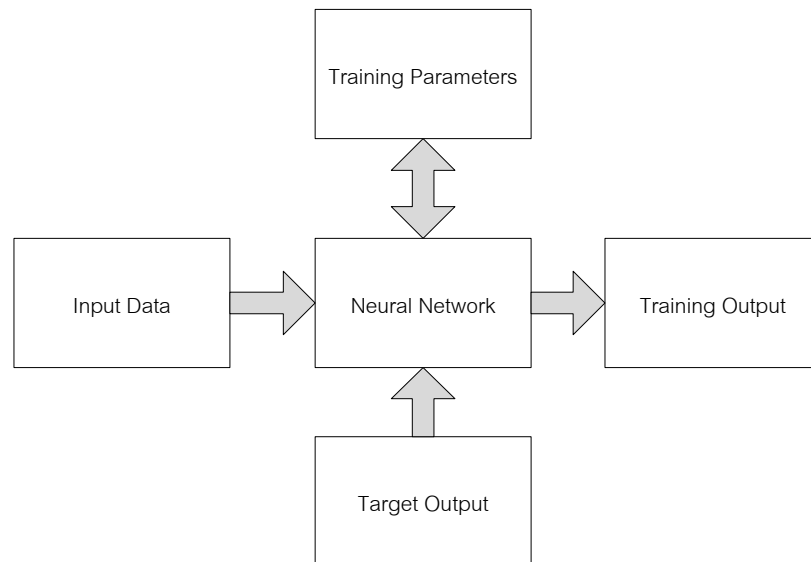
ข่ายงานประสาท คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประมวลผลข้อมูล เป็นการเลียนแบบการทำงานของเซลล์ประสาทในสมองมนุษย์โดยทำงานเชื่อมโยงกันเป็นจุด (Node) ซึ่งเซลล์ในประสาทมีอยู่มากมาย แต่เซลล์ที่มีลักษณะชนิดเดียวกันจะถูกจัดไว้ในกลุ่มเดียวกัน เรียกว่าข่ายงาน (Network) โครงสร้างของข่ายงานประสาทประกอบได้ 3 ส่วนแสดงได้ตามภาพที่ 3.10



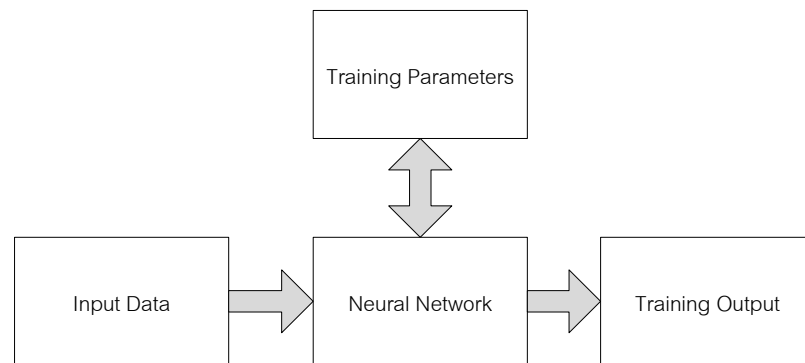
ภาพที่ 3.10 โครงสร้างของข่ายงานประสาท

- 1) ชั้นนำเข้า (Input layer) เป็นชั้นที่รองรับข้อมูลเข้าสู่ข่ายงานประสาทโดยข้อมูลที่นำเข้ามาจะถูกจำแนกคุณลักษณะก่อนส่งเข้าสู่การทำงานในขั้นถัดไป
- 2) ชั้นซ่อน (Hidden layer) เป็นชั้นที่เพิ่มประสิทธิภาพในการจัดกลุ่มข้อมูล โดยเป็นการใช้น้ำหนักของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้า ว่าข้อมูลนำเข้าใดมีความสัมพันธ์กับข้อมูลนำเข้าอื่นระดับใด เพื่อเชื่อมโยงความสัมพันธ์ไปหาข้อสรุป เป็นกระบวนการลองผิดลองถูกในการหาความสัมพันธ์แต่ละรูปแบบและเก็บไว้เป็นแบบแผนเพื่อการเรียนรู้ของข่ายงาน
- 3) ชั้นนำออก (Output layer) เป็นชั้นที่แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากข้อมูลที่นำเข้ามาผ่านกระบวนการเรียนรู้จากระดับความสัมพันธ์ในชั้นก่อนหน้า

การสร้างการเรียนรู้ให้กับข่ายงานประสาทเพื่อให้สามารถตัดสินใจได้ด้วยตัวเองแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือการเรียนรู้แบบมีการสอน (Supervised learning) และการเรียนรู้แบบไม่มีการสอน (Unsupervised learning) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข่ายงานประสาทแบบมีการสอนให้เรียนรู้โดยข้อดีของข่ายงานประสาทประเภทนี้คือเราสามารถสอนให้ระบบเรียนรู้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาน้ำหนักระดับความสัมพันธ์ให้มีมากขึ้น โดยเรียนรู้จากคำตอบที่มีอยู่แล้วเพื่อให้ระบบปรับตัวเองก็จะทำให้ได้คำตอบที่ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ต่างจากการเรียนรู้แบบไม่มีการสอนที่ข่ายงานประสาทจะต้องเรียนรู้ด้วยตัวเองความแม่นยำอาจน้อยกว่า โดยข่ายงานแบบที่มีการเรียนรู้แบบมีการสอน และไม่มีการสอนแสดงได้ตามภาพที่ 3.11 และ 3.12 ตามลำดับ

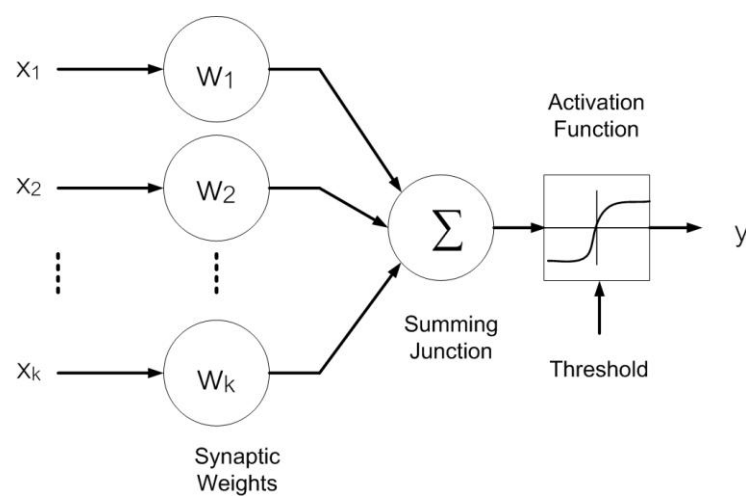


ภาพที่ 3.11 ข่ายงานประสาทแบบมีการสอนให้เรียนรู้



ภาพที่ 3.12 ข่ายงานประสาทแบบไม่มีการสอนให้เรียนรู้

นอกจากนี้โครงสร้างของข่ายงานประสาทที่แสดงในภาพที่ 3.10 ข้างต้น สามารถแสดงในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของข่ายงานประสาท

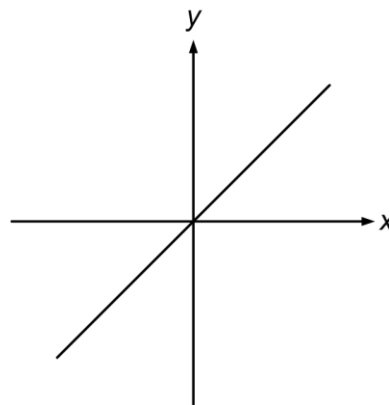
จากภาพที่ 3.13 อินพุตแต่ละตัวของเวกเตอร์อินพุต (x_1, x_2, \dots, x_k) จะถูกนำมาคูณกับน้ำหนักของแต่ละจุดของนิวรอน (w_1, w_2, \dots, w_k) ตามลำดับ และนำผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละจุดของนิวรอนมารวมกัน จากนั้นจะปรับค่าตามการใช้ฟังก์ชันที่ใช้กระตุ้น (Activation function) เพื่อนำไปเทียบกับค่าตั้งต้น (Threshold) ที่กำหนดไว้ ถ้าผลรวมมีค่ามากกว่าค่าตั้งต้นแล้ว นิวรอนจะส่งค่าเอาต์พุตออกมา โดยตัวอย่างของฟังก์ชันที่ใช้กระตุ้น ได้แก่

(i) ฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear function)

ฟังก์ชันเชิงเส้นสามารถเขียนในรูปได้ตามสมการที่ 3.1 และแสดงได้ดังภาพที่ 3.14 ตามลำดับ

$$y = \alpha x \quad (3.1)$$

เมื่อ α คือค่าความชัน



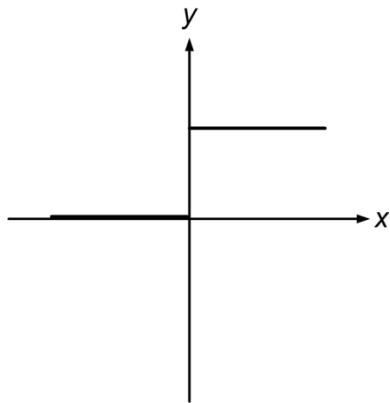
ภาพที่ 3.14 ฟังก์ชันเชิงเส้น

(ii) ฟังก์ชันตั้งต้น (Threshold function)

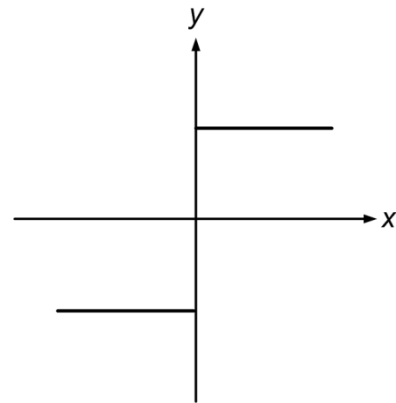
ฟังก์ชันตั้งต้นมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบไบนารี และไบโพลาร์ สามารถแสดงได้ตามสมการที่ 3.2 และ 3.3 โดยแสดงได้ตามภาพที่ 3.15 (ก) และ 3.15 (ข) ตามลำดับ

$$y = \begin{cases} 0 & \text{if } x < 0 \\ 1 & \text{if } x \geq 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

$$y = \begin{cases} -1 & \text{if } x < 0 \\ 1 & \text{if } x \geq 0 \end{cases} \quad (3.3)$$



(ก)



(ข)

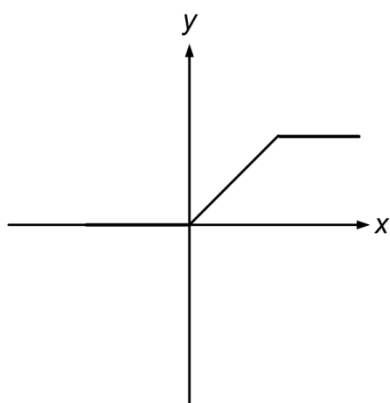
ภาพที่ 3.15 (ก) ฟังก์ชันตั้งต้นแบบไบนารี (ข) ฟังก์ชันตั้งต้นแบบไบโพลาร์

(iii) ฟังก์ชันเชิงเส้นเป็นช่วง (Piecewise linear function)

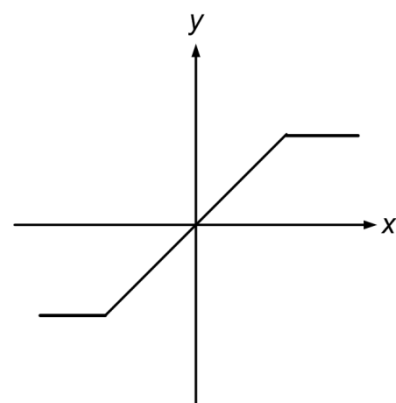
ฟังก์ชันเชิงเส้นเป็นช่วงสามารถเขียนในรูปสมการได้ตามสมการที่ 3.4 และ 3.5 โดยแสดงได้ดังภาพที่ 3.16 (ก) และ 3.16 (ข) ตามลำดับ

$$y = \begin{cases} 0 & \text{if } x < 0 \\ x & \text{if } 0 \leq x \leq 1 \\ 1 & \text{if } x \geq 1 \end{cases} \quad (3.4)$$

$$y = \begin{cases} -1 & \text{if } x < -1 \\ x & \text{if } -1 \leq x \leq 1 \\ 1 & \text{if } x \geq 1 \end{cases} \quad (3.5)$$



(ก)



(ข)

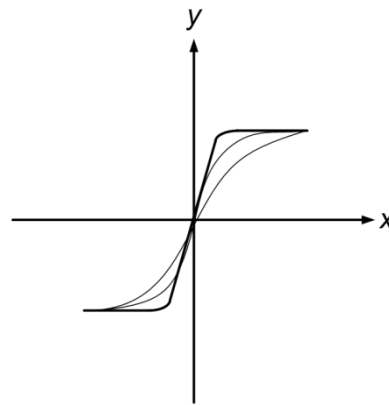
ภาพที่ 3.16 (ก) ฟังก์ชันเชิงเส้นบางช่วงแบบไบนารี (ข) ฟังก์ชันเชิงเส้นบางช่วงแบบไบโพลาร์

(iv) ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoidal function)

ฟังก์ชันซิกมอยด์มีลักษณะคล้ายรูปตัว S ซึ่งในงานวิจัยนี้หน่วยงานประสาทจะใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบซิกมอยด์ ซึ่งสามารถแสดงได้ตามสมการที่ 3.6 โดยภาพที่ 3.17 แสดงรูปภาพที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตาม α

$$y = \frac{1}{1 + e^{-\alpha x}} \quad 0 \leq y \leq 1 \quad (3.6)$$

เมื่อ α คือ ค่าแปรผันตามลักษณะรูปร่างตัว S



ภาพที่ 3.17 ฟังก์ชันซิกมอยด์

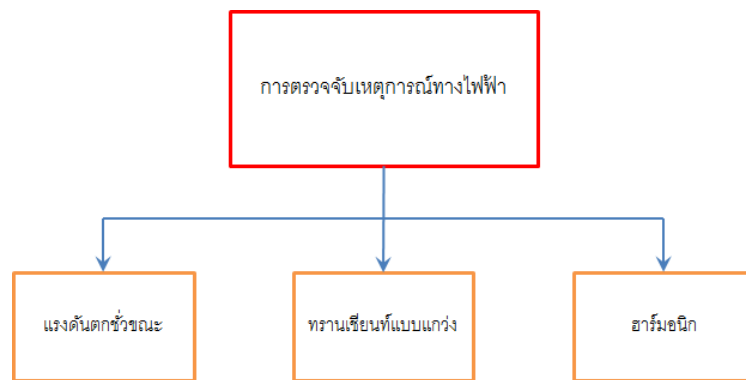
บทที่ 4

การสร้างกระบวนการทดลอง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการสร้างสัญญาณทางไฟฟ้าและกระบวนการในการทดลองสำหรับการตรวจจับและจำแนกสัญญาณไฟฟ้าโดยการใช้อุปกรณ์แปลงเวฟเลตในงานวิจัย โดยจะเลือกใช้เวฟเลตแม่เป็น Daubechie's 4 ("Db4") ซึ่งมีความเหมาะสมกับลักษณะของสัญญาณทางไฟฟ้าที่นำเสนอในงานวิจัย [15] เนื่องจากให้ผลการทดสอบในตรวจสอบตำแหน่งได้ดีกว่าเวฟเลตแม่อื่นๆ

4.1 การตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้จะทำการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า 3 ประเภทที่มีความถี่ในการเกิดบ่อยครั้ง แสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ประเภทของเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่ตรวจจับในงานวิจัย

4.1.1 การสังเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้า

การสังเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้ จะอ้างอิงการสร้างสัญญาณตามหัวข้อ 2.1.3 (ตามมาตรฐานของ IEEE 1159) โดยสร้างสัญญาณไฟฟ้าภายใต้โปรแกรม MATLAB และกำหนดตัวแปรสำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า 3 ประเภท ดังนี้

ค่าตัวแปรหลักในการสร้างสัญญาณไฟฟ้าที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง คือ เวลาของสัญญาณไฟฟ้า (t) 15 วินาที ที่ความถี่หลักมูล (f) 50 เฮิร์ตซ์ และมีจำนวนสุ่ม (N_s) 256 ค่า/ลูกคลื่น ส่วนตัวแปรที่เปลี่ยนค่าสำหรับเหตุการณ์ในแต่ละประเภทจะแสดงได้ตาม ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรควบคุมสำหรับการสังเคราะห์เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าประเภทต่างๆ เพื่อใช้ตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า

ลำดับ ที่	เหตุการณ์ทาง คุณภาพไฟฟ้า	ตัวแปรควบคุม				
		สมการ	θ	α	$t_2 - t_1$	อื่นๆ
1	แรงดันตก ชั่วขณะ	(2.1)	$0 \leq \theta \leq 2\pi$	$0.1 \leq \alpha \leq 0.9$	$0.01 \leq t_2 - t_1 < 0.6$	
					$0.6 \leq t_2 - t_1 < 3$	
					$3 < t_2 - t_1 < 15$	
2	ทรานเซียนท์ แบบแกว่ง	(2.3)	$0 \leq \theta \leq 2\pi$	$0.05 \leq \alpha \leq 4$		$200 \leq f_{osc} < 5000$
3	ฮาร์มอนิก	(2.4)	$0 \leq \theta \leq 2\pi$	$0 \leq \alpha_h \leq 0.2$		
			$0 \leq \theta_h \leq 2\pi$	$0.05 \leq \sum(\alpha_h)^2 \leq 0.04$		

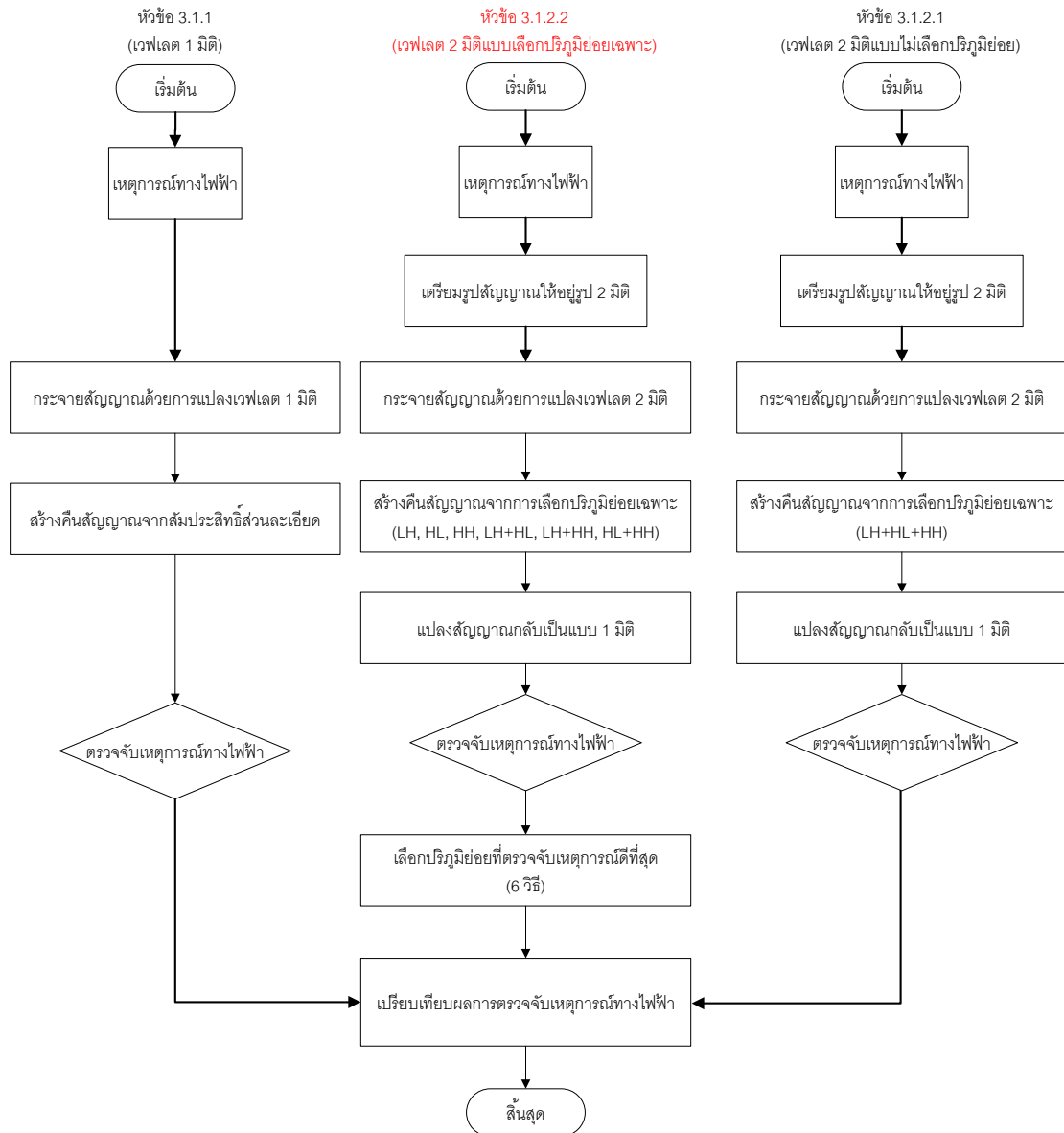
ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดในตารางที่ 4.1 จะสังเคราะห์เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าแต่ละประเภท 10 เหตุการณ์/ 1 ประเภท เพื่อใช้ในการตรวจจับสัญญาณโดยใช้เวฟเลตตามในงานวิจัย และจาก จำนวนสุ่ม 256 ค่า/ลูกคลื่น จะมีความถี่ในการสุ่มอยู่ที่ 12800 เฮิร์ตซ์ ซึ่งช่วงความถี่ของสัญญาณจะเท่ากับ 6400 เฮิร์ตซ์ ดังนั้นความสัมพันธ์ของช่วงความถี่จากการแปลงเวฟเลต 1 มิติ และ 2 มิติใน 1 ระดับจะแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ช่วงความถี่สำหรับสัมพันธ์ของการแปลงเวฟเลต 1 มิติ และปริภูมิย่อยของการแปลงเวฟเลต 2 มิติ

การแปลงเวฟเลต	สัมพันธ์/ปริภูมิย่อย	ช่วงความถี่ (Hz)
1 มิติ	A_1	0 - 3200
	D_1	3200 - 6400
2 มิติ	LL	0 - 1600
	LH	1600 - 3200
	HL	3200 - 4800
	HH	4800 - 6400

4.1.2 โครงสร้างกระบวนการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้จะตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าด้วยวิธีการตามหัวข้อ 3.1.2.2 เปรียบเทียบกับวิธีการในหัวข้อ 3.1.1 และ 3.1.2.1 โดยกระบวนการตรวจจับ แสดงได้ตามภาพที่ 4.2



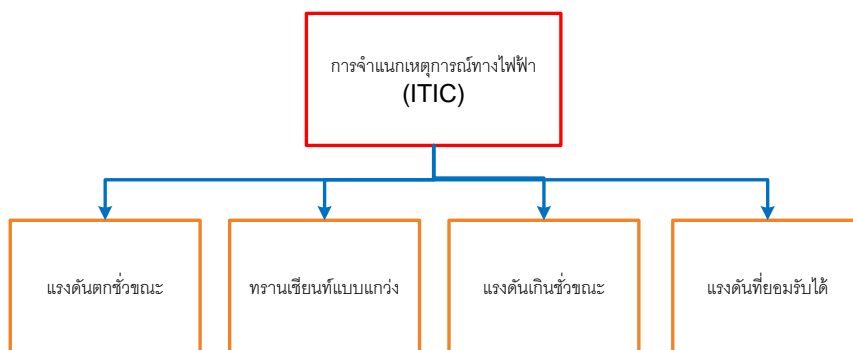
ภาพที่ 4.2 โครงสร้างการทำงานของกรตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าและกระบวนการเปรียบเทียบผลการตรวจจับระหว่างวิธีการต่างๆ ในงานวิจัย

จากภาพที่ 4.2 แสดงกระบวนการตรวจจับเหตุการณ์ไฟฟ้าที่น่าเสนอในงานวิจัยตามหัวข้อ 3.1.2.2 ซึ่งอยู่ในส่วนกลางของภาพ เริ่มต้นจากการนำเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่ได้จากการสังเคราะห์รวมทั้งเหตุการณ์ที่ได้จากการบันทึกข้อมูลจริงมาเปลี่ยนรูปสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นแบบ 2 มิติ (ภาคผนวก ก.) แล้วนำสัญญาณที่เปลี่ยนรูปแล้วมากระจายสัญญาณด้วยการแปลง

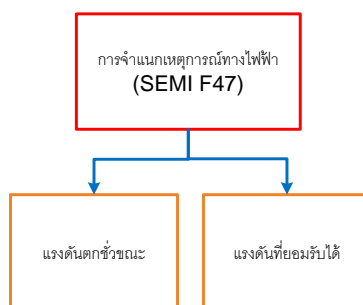
เวฟเลตแบบ 2 มิติใน 1 ระดับ จะได้ปริภูมีย่อย $LL1$, $LH1$, $HL1$ และ $HH1$ ตามลำดับ ตรวจสอบ การสร้างคืนสัญญาณด้วยการแปลงกลับเวฟเลตแบบ 2 มิติ ตามวิธีการในหัวข้อ 3.1.2.2 จะได้ การสร้างคืนสัญญาณจากการเลือกปริภูมีย่อยทั้งหมด 6 วิธี จากการเลือกใช้ 1 ปริภูมีย่อยจำนวน 3 วิธี ($LH1$, $HL1$ และ $HH1$) และจากการเลือกใช้ 2 ปริภูมีย่อยอีก 3 วิธี ($LH1$ กับ $HL1$, $LH1$ กับ $HH1$ และ $HL1$ กับ $HH1$) จากนั้นเลือกการตรวจจับเหตุการณ์ที่ดีที่สุดจากการสร้างคืนสัญญาณ 6 วิธีที่ได้กล่าวมาโดยพิจารณาจากตำแหน่งของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นการตรวจจับ และความชัดเจน ของสัญญาณสร้างคืน ผลที่ได้จึงนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการตรวจจับในหัวข้อที่ 3.1.1 (ด้าน ข้ามมือของภาพ) และ 3.1.2.1 (ด้านขวามือของภาพ) เป็นอันสิ้นสุดกระบวนการตรวจจับ เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าในงานวิจัย

4.2 การจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้จะจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าตามเกณฑ์ของ ITIC และ SEMI F47 โดยประเภทของเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่จะจำแนกตามเกณฑ์ ITIC และ SEMI F47 แสดง ในภาพที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.3 ประเภทของเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่จำแนกตามเกณฑ์ ITIC



ภาพที่ 4.4 ประเภทของเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่จำแนกตามเกณฑ์ SEMI F47

4.2.1 การสังเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้า

การสังเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อใช้ในการจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า จะอ้างอิงการสร้างสัญญาณจากหัวข้อที่ 2.1.3 (ตามเกณฑ์ของ ITIC และ SEMI F47) โดยสร้างสัญญาณไฟฟ้าภายใต้โปรแกรม MATLAB และกำหนดตัวแปรสำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า ดังนี้

ค่าตัวแปรหลักในการสร้างสัญญาณไฟฟ้าที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง คือ เวลาของสัญญาณไฟฟ้า 15 วินาที ที่ความถี่หลักมูล 50 เฮิร์ตซ์ และมีจำนวนสุ่ม 256 ค่า/ลูกคลื่น ส่วนตัวแปรที่มีการเปลี่ยนค่าสำหรับเหตุการณ์ในแต่ละประเภทตามเกณฑ์ ITIC และ SEMI F47 จะแสดงได้ตามตารางที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ตัวแปรควบคุมสำหรับการสังเคราะห์เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าประเภทต่างๆ เพื่อใช้ในการจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าตามเกณฑ์ ITIC

ลำดับที่	เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า	ตัวแปรควบคุม				
		สมการ	θ	α	$t_2 - t_1$	อื่นๆ
1	แรงดันตกชั่วขณะ	(2.1)	$0 \leq \theta \leq 2\pi$	$0.3 < \alpha \leq 0.9$	$0.02 \leq t_2 - t_1 < 15$	
				$0.2 < \alpha \leq 0.3$	$0.5 \leq t_2 - t_1 < 15$	
				$0.1 \leq \alpha \leq 0.2$	$10 \leq t_2 - t_1 < 15$	
2	แรงดันเกินชั่วขณะ	(2.2)	$0 \leq \theta \leq 2\pi$	$0.06 < \alpha < 0.2$	$0.5 \leq t_2 - t_1 < 15$	
				$0.2 \leq \alpha \leq 0.4$	$0 < t_2 - t_1 < 15$	
3	ทรานเซียนท์แบบแกว่ง	(2.3)	$0 \leq \theta \leq 2\pi$	$0.4 \leq \alpha < 2$		$200 \leq t_{osc} < 5000$
4	แรงดันที่ยอมรับได้	(2.1)	$0 \leq \theta \leq 2\pi$	$0.2 < \alpha \leq 0.3$	$0.02 < t_2 - t_1 < 0.5$	
				$0.1 \leq \alpha \leq 0.2$	$0.02 < t_2 - t_1 < 10$	
		(2.2)		$0 < \alpha \leq 0.06$	$0 < t_2 - t_1 < 15$	
				$0.06 < \alpha < 0.2$	$0 < t_2 - t_1 < 0.5$	

ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดในตารางที่ 4.3 จะสังเคราะห์เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าแรงดันตกชั่วขณะ แรงดันเกินชั่วขณะ ทรานเซียนท์แบบแกว่ง และแรงดันที่ยอมรับได้ เป็นจำนวน 5 เท่าของ [16] เพื่อให้มีจำนวนเหตุการณ์มากพอที่จะใช้ในกระบวนการของข่ายงานประสาท โดยใช้ปริมาณเหตุการณ์จำนวน 375, 100, 175 และ 855 เหตุการณ์ ตามลำดับ รวมเหตุการณ์ทั้งหมด 1505 เหตุการณ์

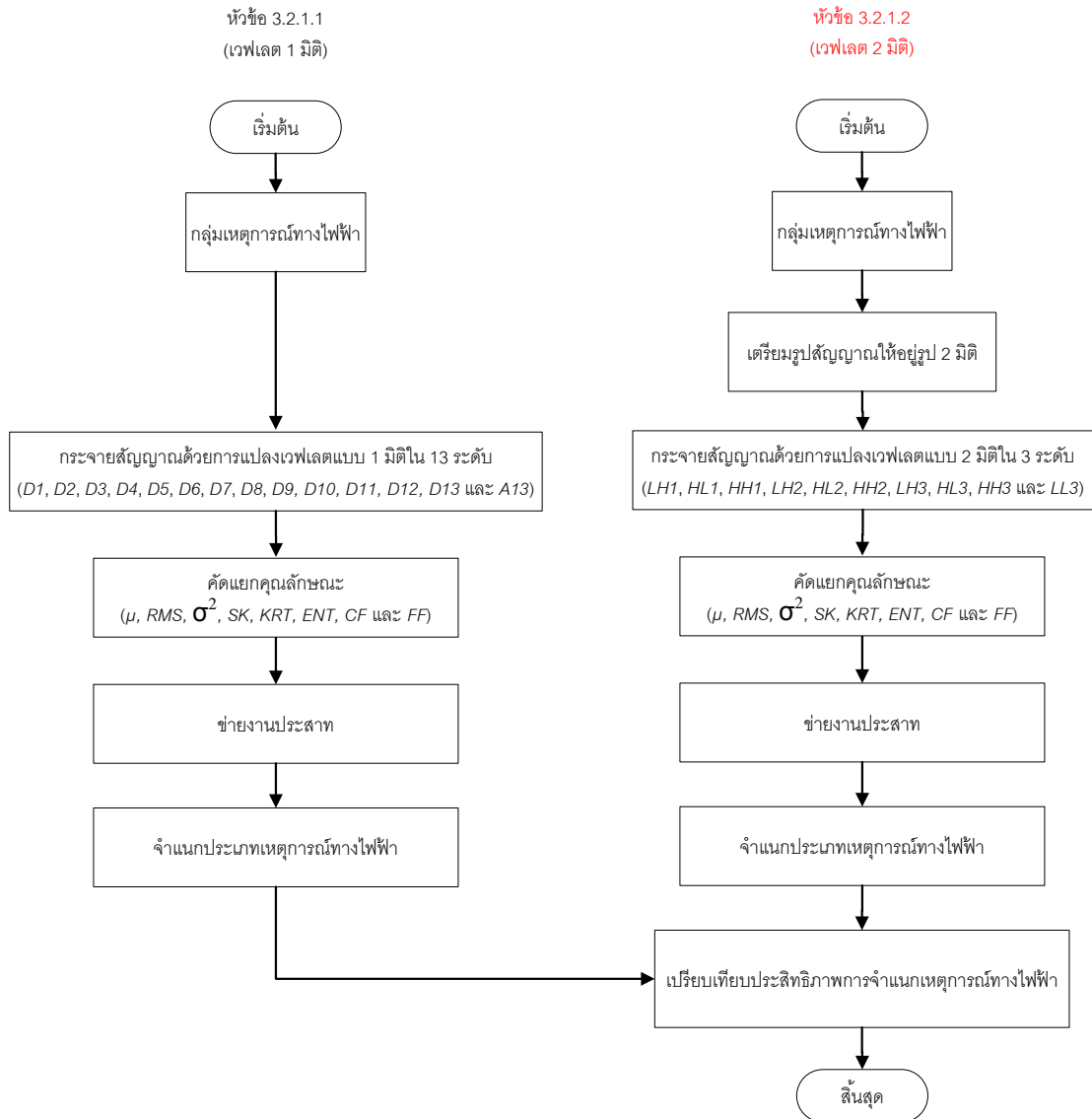
ตารางที่ 4.4 ตัวแปรควบคุมสำหรับการสังเคราะห์เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าประเภทต่างๆ เพื่อใช้ในการจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าตามเกณฑ์ SEMI F47

ลำดับที่	เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า	ตัวแปรควบคุม				
		สมการ	θ	α	$t_2 - t_1$	อื่นๆ
1	แรงดันตกชั่วขณะ	(2.1)	$0 \leq \theta \leq 2\pi$	$0.5 < \alpha \leq 0.9$	$0.02 \leq t_2 - t_1 < 15$	
				$0.3 < \alpha \leq 0.5$	$0.2 \leq t_2 - t_1 < 15$	
				$0.2 < \alpha \leq 0.3$	$0.5 \leq t_2 - t_1 < 15$	
				$0.1 \leq \alpha \leq 0.2$	$10 \leq t_2 - t_1 < 15$	
2	แรงดันที่ยอมรับได้	(2.1)	$0 \leq \theta \leq 2\pi$	$0.3 < \alpha \leq 0.5$	$0.02 < t_2 - t_1 < 0.2$	
				$0.2 < \alpha \leq 0.3$	$0.02 < t_2 - t_1 < 0.5$	
				$0.1 \leq \alpha \leq 0.2$	$0.02 < t_2 - t_1 < 10$	

ในทำนองเดียวกัน ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดในตารางที่ 4.4 จะสังเคราะห์เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าแรงดันตกชั่วขณะ และแรงดันที่ยอมรับได้ เป็นจำนวน 5 เท่าของ [16] โดยใช้ปริมาณเหตุการณ์จำนวน 300 และ 615 เหตุการณ์ ตามลำดับ รวมเหตุการณ์ทั้งหมด 915 เหตุการณ์

4.2.2 โครงสร้างกระบวนการจำแนกเหตุการณ์ทางไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้จะจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าด้วยวิธีการตามหัวข้อ 3.2.1.2 (ด้านขวาของภาพ) เปรียบเทียบกับวิธีการในหัวข้อ 3.2.1.1 (ด้านซ้ายของภาพ) โดยกระบวนการจำแนกประเภทของเหตุการณ์ แสดงได้ตามภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 โครงสร้างการทำงานของกรจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าและกระบวนการเปรียบเทียบผลการจำแนกระหว่างวิธีการต่างๆ ในงานวิจัย

จากภาพที่ 4.5 แสดงกระบวนการจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าเริ่มต้นจากการนำเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่ได้จากการสังเคราะห์หรือรวมทั้งเหตุการณ์ที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริงมาเปลี่ยนรูปสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นแบบ 2 มิติ (ภาคผนวก ก.) แล้วนำสัญญาณที่เปลี่ยนรูปแล้วมากระจายสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติใน 3 ระดับ ตามวิธีการในหัวข้อ 3.2.1.2 จะได้ปริภูมีย่อย LH1, HL1, HH1, LH2, HL2, HH2, LH3, HL3, HH3 และ LL3 ตามลำดับ รวมทั้งหมด

10 ปริภูมิย่อย จากนั้นนำปริภูมิย่อยทั้งหมดคัดแยกคุณลักษณะเพื่อหาคุณสมบัติเด่นที่ใช้ในการจำแนกตามภาคผนวก ข. (μ , RMS , σ^2 , SK , KRT , ENT , CF และ FF) ทั้งหมด 8 คุณลักษณะ ซึ่งจะเป็นการลดจำนวนสัมประสิทธิ์ที่อยู่ในปริภูมิย่อยนั้นๆ ให้เหลือเพียงคุณลักษณะจำนวน 8 ค่าต่อ 1 ปริภูมิย่อย ในการวิจัยนี้จะใช้ข่ายงานประสาทที่มีชั้นซ่อน 10 ชั้น และแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด สำหรับสอนข่ายงานประสาท 1 ชุด มีจำนวนเหตุการณ์ 65% ของสัญญาณสังเคราะห์ทั้งหมด และอีกชุดจะใช้สำหรับทดสอบจำนวน 35% ของสัญญาณสังเคราะห์ทั้งหมด โดยการจำแนกเหตุการณ์ตามเกณฑ์ ITIC มีจำนวนเหตุการณ์ทั้งหมด 1505 เหตุการณ์จะแบ่งข้อมูลสำหรับใช้สอน 978 เหตุการณ์ และข้อมูลสำหรับใช้ทดสอบ 527 เหตุการณ์ จากนั้นจะนำสัญญาณจริงจำนวน 13 เหตุการณ์ซึ่งประกอบไปด้วยเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะ 6 เหตุการณ์ แรงดันที่ยอมรับได้ 3 เหตุการณ์ และทรานเซียนท์แบบกว้าง 4 เหตุการณ์มาร่วมทดสอบ ส่วนการจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าตามเกณฑ์ SEMI F47 มีจำนวนเหตุการณ์ทั้งหมด 915 เหตุการณ์จะแบ่งข้อมูลสำหรับใช้สอน 595 เหตุการณ์ และข้อมูลสำหรับใช้ทดสอบ 320 เหตุการณ์ ซึ่งในการทดสอบจากสัญญาณจริง 13 เหตุการณ์ตามเกณฑ์ ITIC จะนำเอาสัญญาณจริงจำนวน 9 เหตุการณ์ประกอบไปด้วยเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะ 1 เหตุการณ์ และแรงดันที่ยอมรับได้ 8 มาจำแนกตามเกณฑ์ SEMI F47 ซึ่งประสิทธิภาพในการจำแนกที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการจำแนกในหัวข้อ 3.2.1.1 เป็นอันสิ้นสุดกระบวนการจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าในงานวิจัย

บทที่ 5

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

วิธีการการตรวจจับและจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่ได้นำเสนอในบทที่ผ่านมา จะทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการต่างๆ ในหัวข้อต่อไปนี้

5.1 การตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า

วิธีการตรวจสอบเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าในงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาปริมาณย่อยที่มีนัยสำคัญสำหรับใช้ตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าประเภทต่างๆ และเปรียบเทียบผลลัพธ์การตรวจจับกับวิธีการในหัวข้อที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยแยกผลการทดสอบเป็นตารางตามประเภทของเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่นำมาทดสอบ ดังนี้

5.1.1 แรงดันตกชั่วขณะ

ผลการทดสอบการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะโดยวิธีต่างๆที่กล่าวในงานวิจัยนี้ แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าและผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบการตรวจจับระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการอื่นๆ

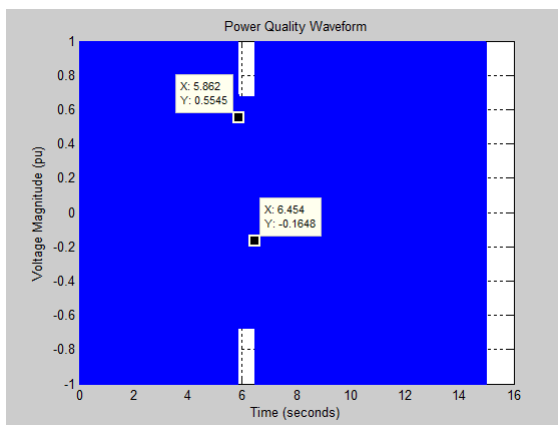
	ข้อมูล ที่	ขนาด แรงดันตก ชั่วขณะ (pu)	เวลาใน การเกิด (วินาที)	วิธีการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า			ผลการ เปรียบเทียบ การตรวจจับ
				เวฟเลต 1 มิติ (1)	เวฟเลต 2 มิติ แบบไม่เลือก ปริภูมิย่อย (2)	เวฟเลต 2 มิติ แบบเลือก ปริภูมิย่อย (3)	
สัญญาณไฟฟ้าสังเคราะห์	1	0.68	0.59	ได้	ได้	LH	(1) > (3) = (2)
	2	0.24	0.08	ได้	ได้	LH	(1) > (3) = (2)
	3	0.59	0.29	ได้	ได้	LH	(1) > (3) = (2)
	4	0.90	0.35	ได้	ได้	LH	(1) > (3) > (2)
	5	0.75	1.49	ได้	ได้	LH	(1) > (3) = (2)
	6	0.14	0.66	ได้	ได้	LH	(1) > (3) = (2)
	7	0.18	2.64	ได้	ได้	LH	(1) > (3) = (2)
	8	0.86	14.45	ได้	ได้	LH	(1) > (3) = (2)
	9	0.35	5.29	ได้	ได้	LH	(1) > (3) = (2)
	10	0.54	11.41	ได้	ได้	LH	(1) > (3) = (2)
สัญญาณไฟฟ้าจริง	1	0.78	0.07	ได้	ได้	HL+HH	(1) > (3) > (2)
	2	0.79	0.05	ได้	ได้	LH	(3) = (2) > (1)
	3	0.45	0.04	ได้	ได้	LH	(3) = (2) > (1)
	4	0.70	0.08	ได้	ไม่ได้	HL+HH	(1) = (3)
	5	0.67	0.06	ได้	ได้	LH	(1) > (3) = (2)
	6	0.60	0.10	ได้	ได้	LH	(1) > (3) = (2)
	7	0.62	0.08	ได้	ได้	LH	(3) = (2) > (1)
	8	0.65	0.06	ได้	ได้	LH	(1) > (3) = (2)
	9	0.75	0.08	ได้	ได้	LH	(1) > (3) = (2)

โดยสัญลักษณ์ ">" ที่ใช้เปรียบเทียบการตรวจจับหมายถึงตรวจจับเหตุการณ์ได้ผลชัดเจนหรือบอกตำแหน่งได้แม่นยำกว่า ส่วนสัญลักษณ์ "=" หมายถึงตรวจจับเหตุการณ์ได้ผลชัดเจนหรือ

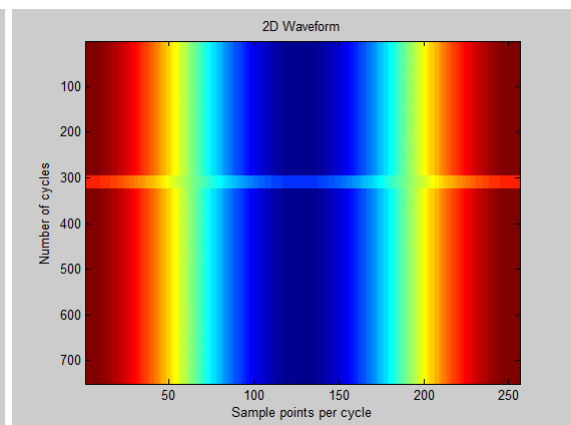
บอกตำแหน่งได้ดีเท่ากัน ตัวอย่างเช่น $(1) > (3) = (2)$ หมายความว่า วิธีการตรวจจับด้วยเวฟเลต 1 มิติ (1) ตรวจจับได้ดีกว่าวิธีเวฟเลต 2 มิติแบบเลือกปริภูมิย่อย (3) ซึ่ง วิธี (3) ตรวจจับได้ดีเท่ากับวิธีเวฟเลต 2 มิติแบบไม่เลือกปริภูมิย่อย (2) เป็นต้น

จากผลการทดสอบตามตารางที่ 5.1 จะแสดงตัวอย่างผลการทดสอบข้อมูลสัญญาณทางไฟฟ้าบางส่วน ดังนี้

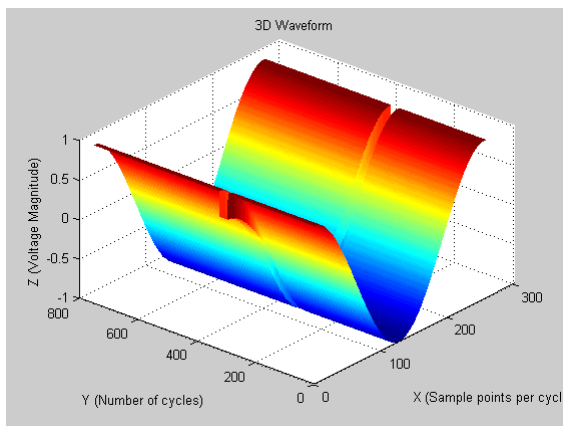
ตัวอย่างที่ 1 : แรงดันตกชั่วขณะสั้งเคราะห์ข้อมูลที่ 1 (ขนาดแรงดันตกชั่วขณะที่ 0.68 pu และช่วงเวลาการเกิด 0.59 วินาที)



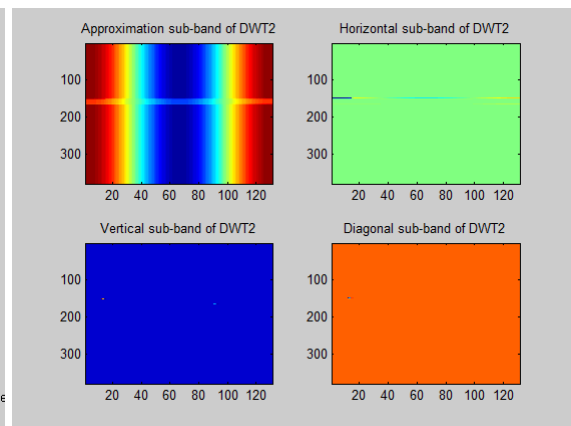
(ก)



(ข)

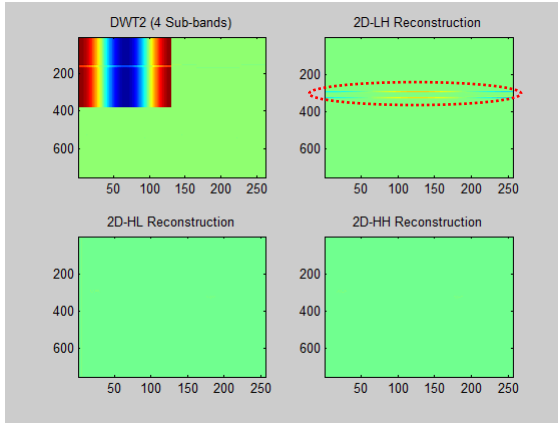


(ค)

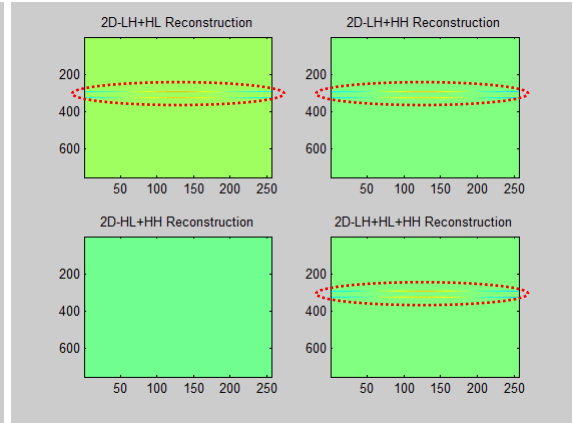


(ง)

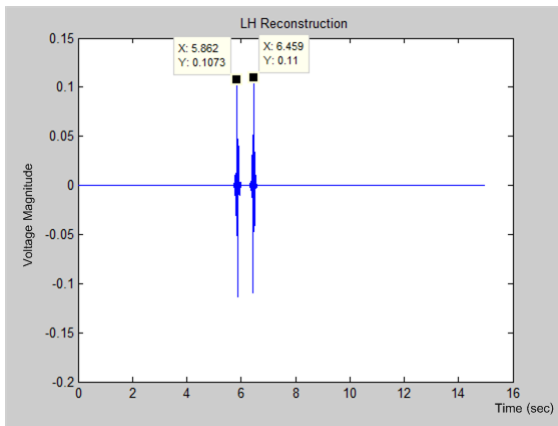
รูป 5.1 (ก) สัญญาณไฟฟ้า 1 มิติ (ข) สัญญาณไฟฟ้า 2 มิติ (ค) แสดงสัญญาณไฟฟ้าแบบ 3 มิติ (ง) ปริภูมิย่อยการแปลงเวฟเลต 2 มิติ



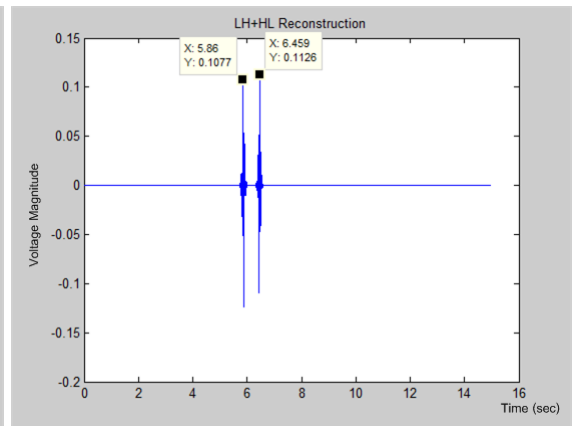
(จ)



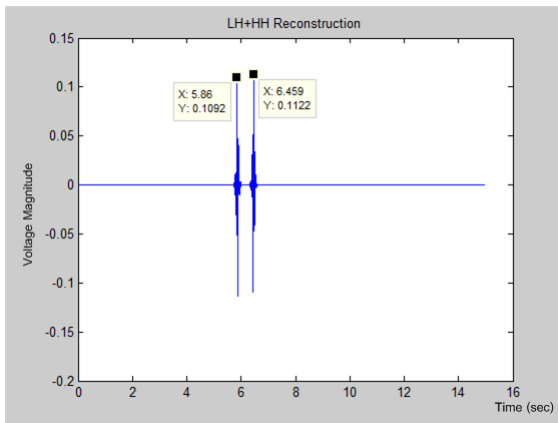
(ข)



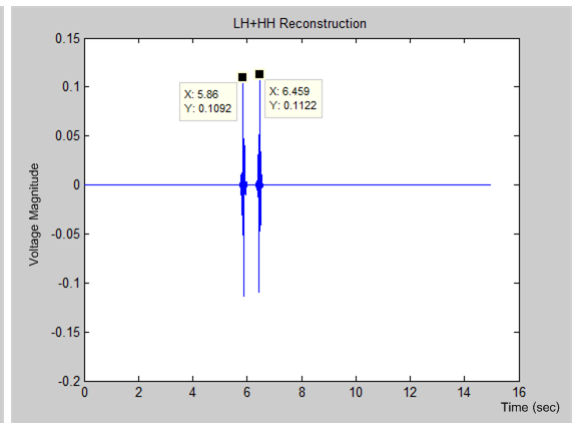
(ค)



(ค)

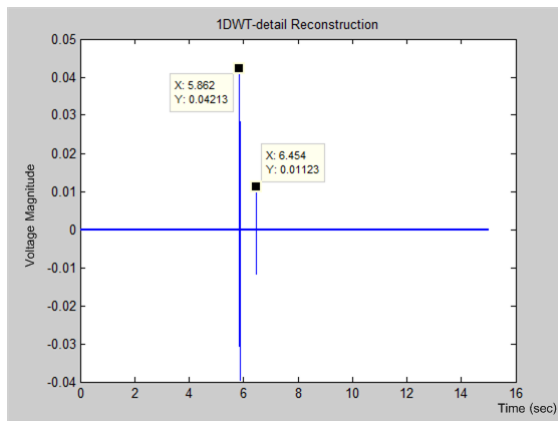


(ง)



(ง)

ภาพที่ 5.1 (ต่อ) (จ) และ (ข) การสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย (ค) (ค) และ(ง) แปลงการ
สร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อยเป็น 1 มิติ (ง) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย 3
ปริภูมิเป็น 1 มิติ

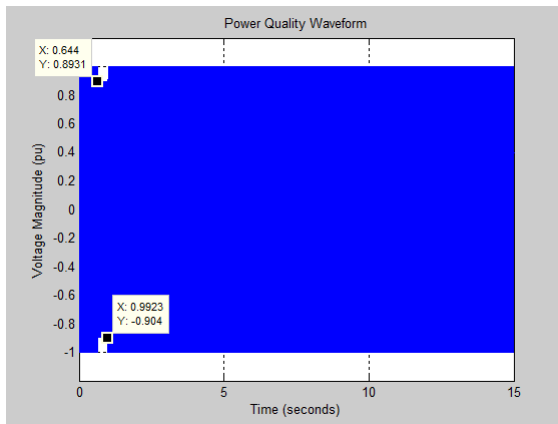


(ฎ)

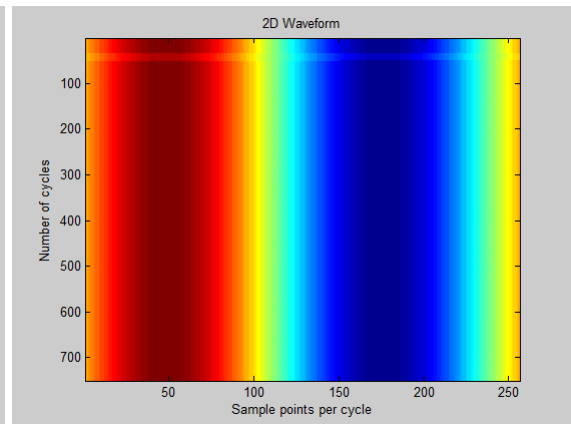
ภาพที่ 5.1 (ต่อ) (ฎ) การสร้างคืนสัญญาณของส่วนหายจากการแปลงเวฟเลต 1 มิติ

จากภาพที่ 5.1 รูป (ก) (ข) และ (ค) แสดงรูปเหตุการณ์ไฟฟ้าตกชั่วขณะในแบบ 1 มิติ 2 มิติ และ 3 มิติ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติ นั้นสามารถตรวจจับความผิดปกติได้ในปริมาณน้อย *LH* ตามภาพที่ 5.1 (ง) จึงสันนิษฐานได้ว่าปริมาณน้อย *LH* น่าจะมีนัยสำคัญในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า เมื่อให้ปริมาณน้อย *LH* เป็นปริมาณหลักในการสร้างคืนสัญญาณในรูป 2 มิติ ร่วมกับปริมาณน้อยอื่นๆ จะสามารถตรวจจับได้แสดงภายในเส้นประรูปวงรีตามรูปย่อยในภาพที่ 5.1 (จ) และ (ฉ) ซึ่งเมื่อพิจารณาตามวิธีที่นำเสนอในงานวิจัย (3) ตามภาพที่ 5.1 (ซ) (ซ) และ (ฅ) จะเห็นว่าการใช้ปริมาณน้อย *LH* ในภาพที่ 5.1 (ซ) สร้างคืนสัญญาณเพื่อตรวจสอบสิ่งผิดปกติก็เพียงพอแล้ว จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับวิธี (2) ในภาพที่ 5.1 (ญ) และ วิธี (1) ในภาพที่ 5.1 (ฎ) จะได้ผลการเปรียบเทียบการตรวจจับว่า วิธี (3) ให้ผลการตรวจจับที่น้อยกว่าวิธี (1) เล็กน้อย เนื่องจากมีขอบของการตรวจจับสัญญาณหนากว่า แต่วิธี (3) ให้ผลการตรวจจับดีเท่ากับกับวิธี (2) ดังผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.1

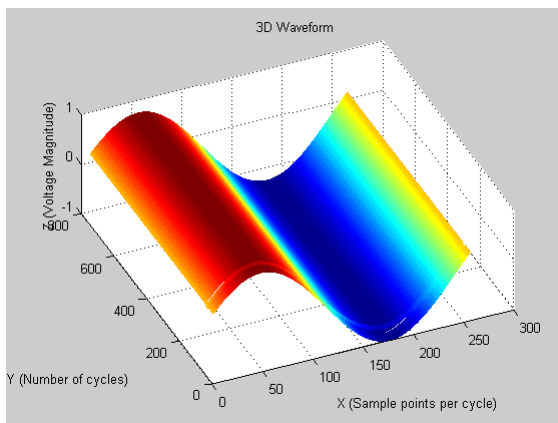
ตัวอย่างที่ 2 :แรงดันตกชั่วขณะสังเคราะห์ข้อมูลที่ 4 (ขนาดแรงดันตกชั่วขณะที่ 0.9 pu และช่วงเวลาการเกิด 0.35 วินาที)



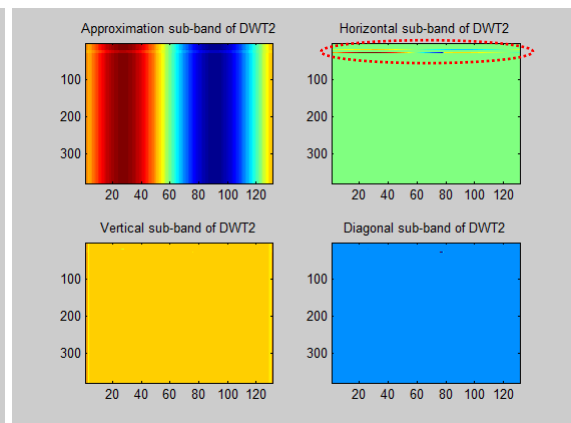
(ก)



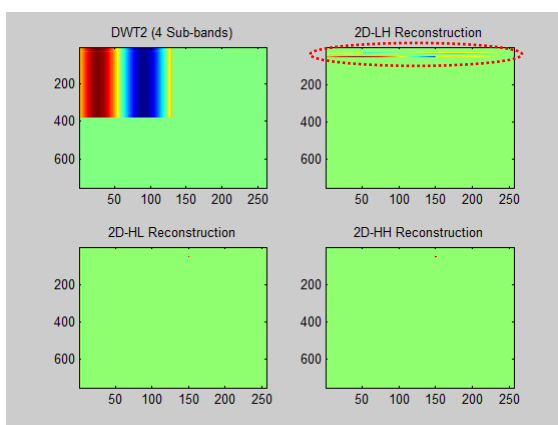
(ข)



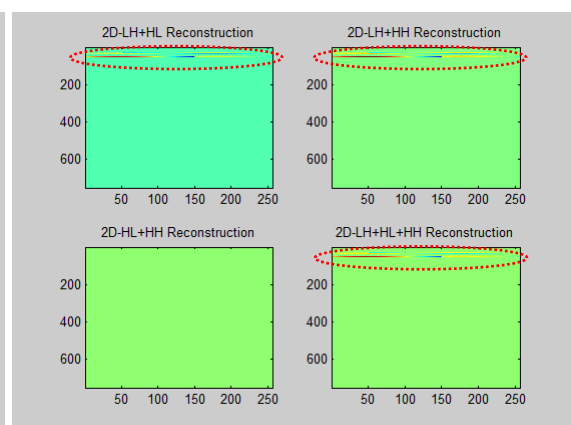
(ค)



(ง)

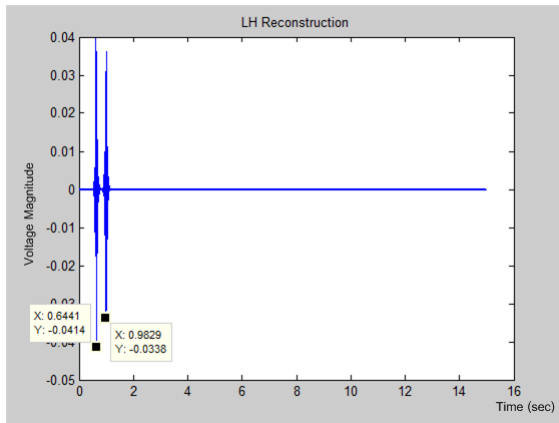


(จ)

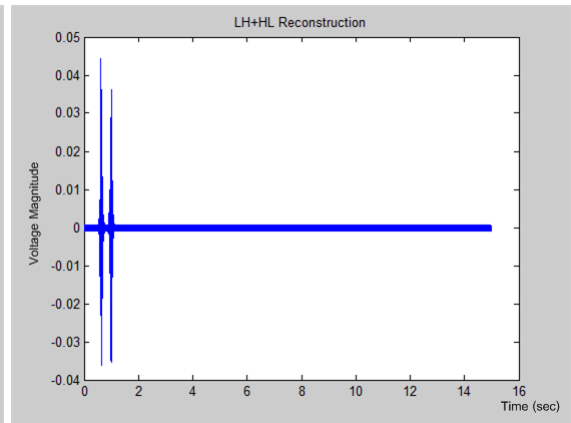


(ฉ)

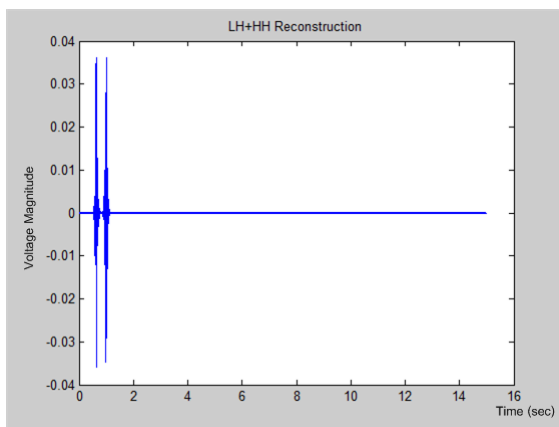
ภาพที่ 5.2 (ก) สัญญาณไฟฟ้า 1 มิติ (ข) สัญญาณไฟฟ้า 2 มิติ (ค) แสดงสัญญาณไฟฟ้าแบบ 3 มิติ (ง) ปริภูมิย่อยการแปลงเวฟเลต 2 มิติ (จ) และ (ฉ) การสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย



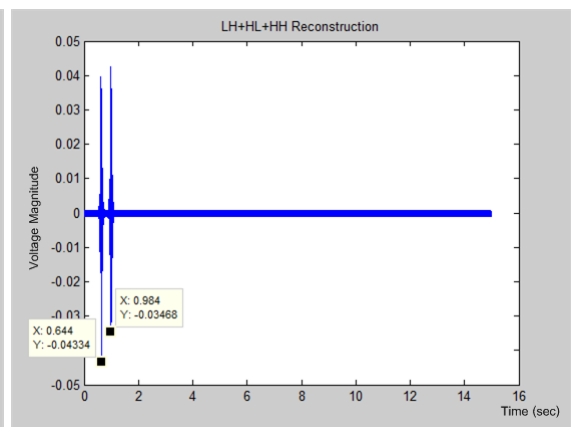
(จ)



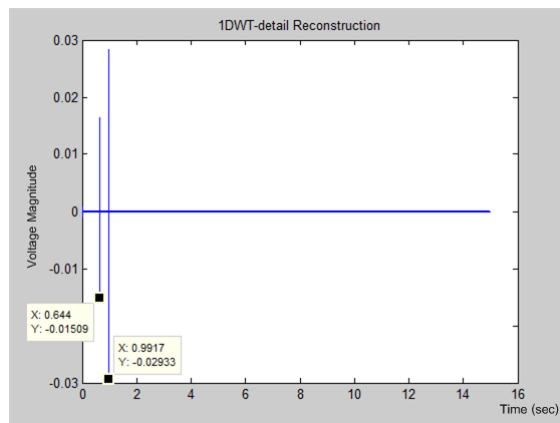
(ข)



(ค)



(ง)

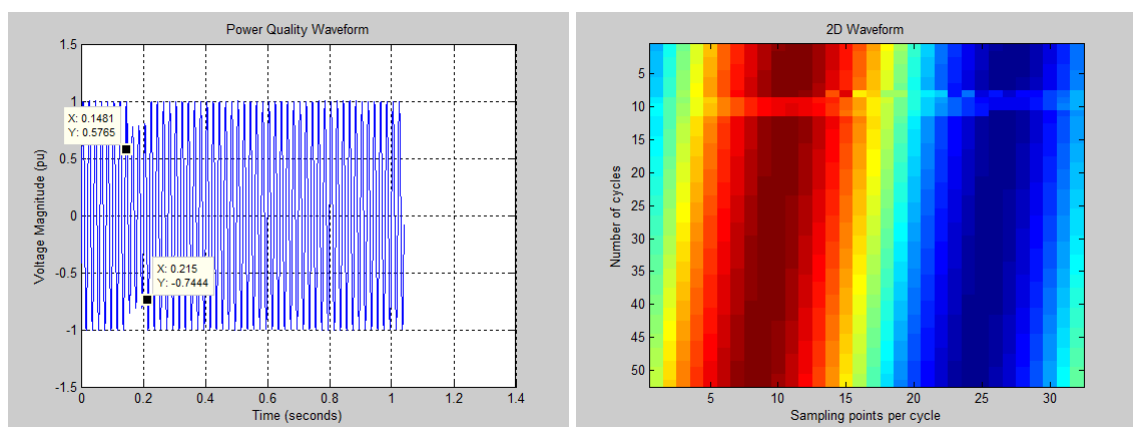


(จ)

ภาพที่ 5.2 (ต่อ) (ข) (ค) และ(ง) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อยเป็น 1 มิติ (ง) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย 3 ปริภูมิเป็น 1 มิติ (จ) การสร้างคืนสัญญาณของส่วนหยาบจากการแปลงเวฟเลต 1 มิติ

จากภาพที่ 5.2 รูป (ก) (ข) และ (ค) แสดงรูปเหตุการณ์ไฟฟ้าตกชั่วขณะในแบบ 1 มิติ 2 มิติ และ 3 มิติ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิตินั้นสามารถตรวจจับความผิดปกติได้ในปริมาณย่อย LH ตามภาพที่ 5.2 (ง) จึงสันนิษฐานได้ว่าปริมาณย่อย LH น่าจะมีนัยสำคัญในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า เมื่อให้ปริมาณย่อย LH เป็นปริมาณหลักในการสร้างคืนสัญญาณในรูป 2 มิติร่วมกับปริมาณย่อยอื่นๆ จะสามารถตรวจจับได้แสดงภายในเส้นประรูปวงรีตามรูปย่อยในภาพที่ 5.2 (จ) และ (ฉ) ซึ่งเมื่อพิจารณาตามวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัย (3) ตามภาพที่ 5.2 (ซ) (ฌ) และ (ฉ) จะเห็นว่าการใช้ปริมาณย่อย LH สร้างคืนสัญญาณเพื่อตรวจสอบสิ่งผิดปกติก็เพียงพอแล้ว เมื่อนำการสร้างคืนสัญญาณจากปริมาณย่อย LH มาแปลงเป็นรูป 1 มิติ จะแสดงได้ตามภาพที่ 5.2 (ซ) จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับวิธี (2) ในภาพที่ 5.2 (ญ) และ วิธี (1) ในภาพที่ 5.2 (ฎ) จะได้ผลการเปรียบเทียบการตรวจจับว่า วิธี (3) ให้ผลการตรวจจับที่ดียิ่งกว่าวิธี (1) เนื่องจากมีขอบของการตรวจจับสัญญาณหนากว่า แต่วิธี (3) ให้ผลการตรวจจับดีกว่าวิธี (2) เนื่องจากมีสัญญาณรบกวน (Noise) น้อยกว่า ดังผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.1

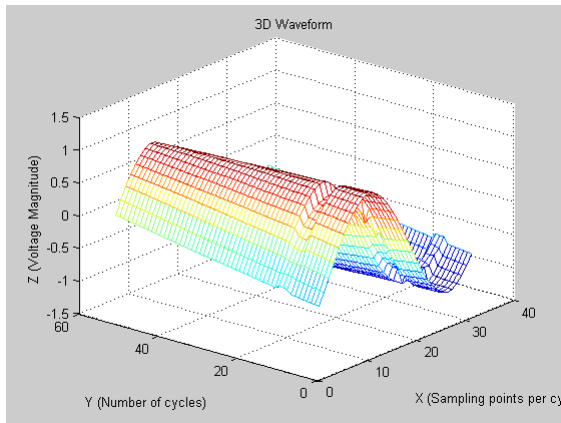
ตัวอย่างที่ 3 : แรงแดันตกชั่วขณะจริงข้อมูลที่ 1 (ขนาดแรงแดันตกชั่วขณะที่ 0.78 pu และช่วงเวลาการเกิด 0.07 วินาที)



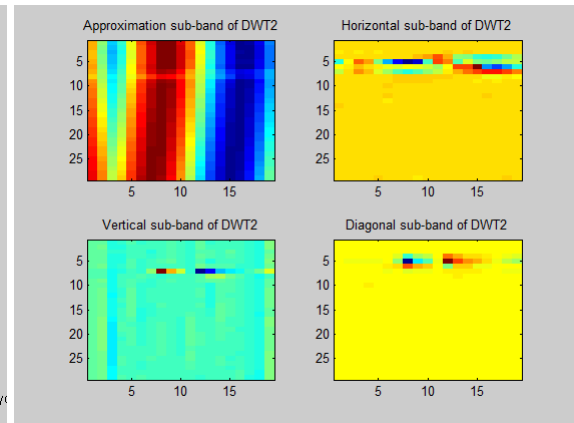
(ก)

(ข)

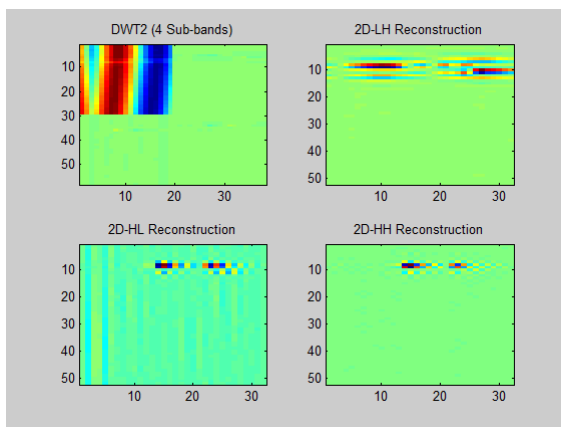
ภาพที่ 5.3 (ก) สัญญาณไฟฟ้า 1 มิติ (ข) สัญญาณไฟฟ้า 2 มิติ



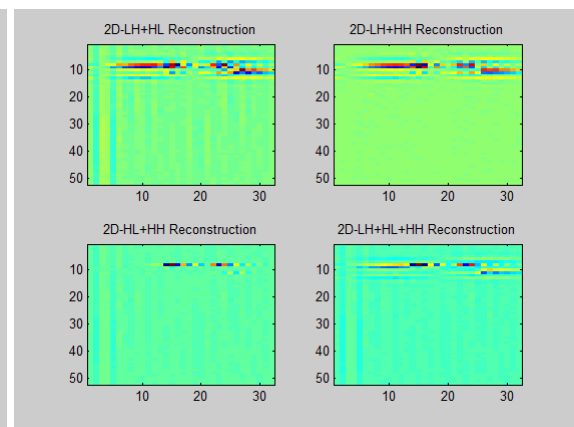
(ค)



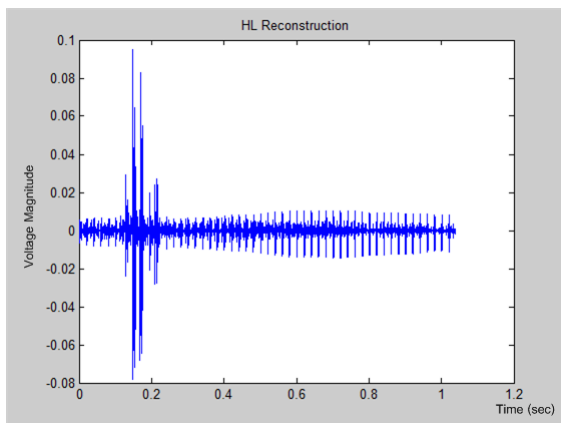
(ง)



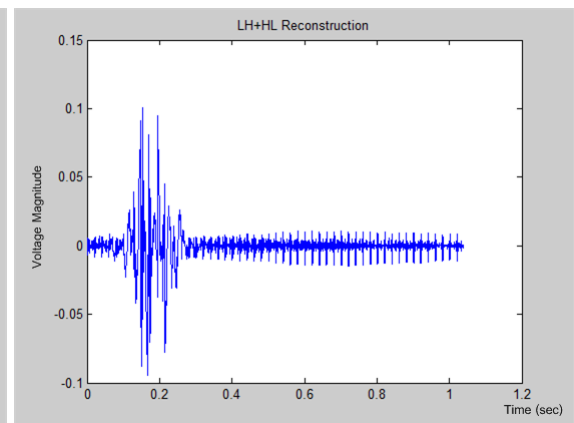
(จ)



(ฉ)

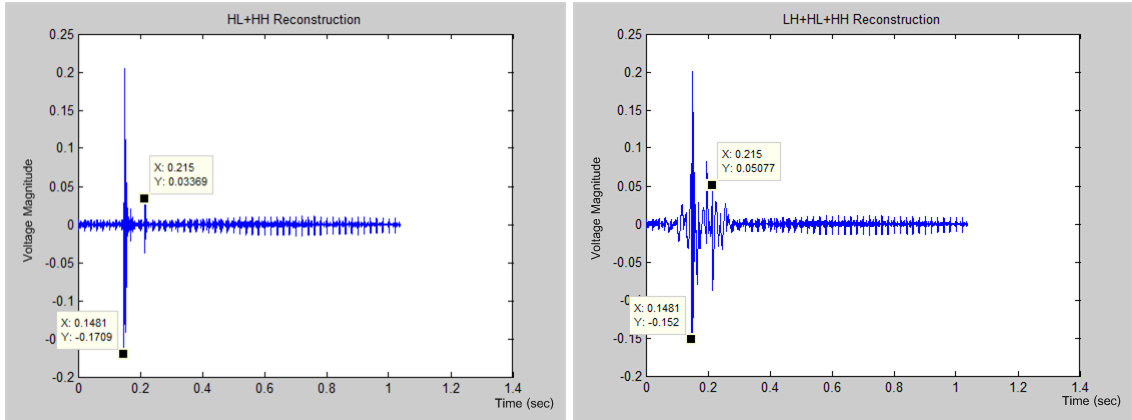


(ช)



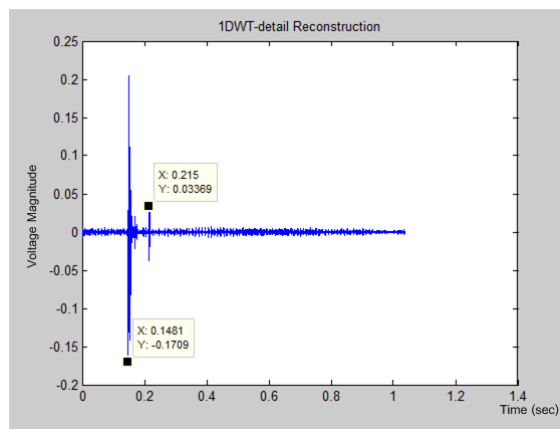
(ซ)

ภาพที่ 5.3 (ต่อ) (ค) แสดงสัญญาณไฟฟ้าแบบ 3 มิติ (ง) ปริภูมิย่อยการแปลงเวฟเลต 2 มิติ (จ) และ (ฉ) การสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย (ช) และ(ซ) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อยเป็น 1 มิติ



(ณ)

(ญ)



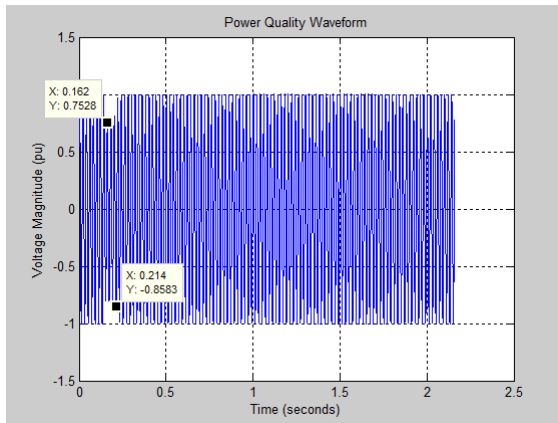
(ฎ)

ภาพที่ 5.3 (ต่อ) (ณ) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อยเป็น 1 มิติ (ญ) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย 3 ปริภูมิเป็น 1 มิติ (ฎ) การสร้างคืนสัญญาณของส่วนหยาบจากการแปลงเวฟเลต 1 มิติ

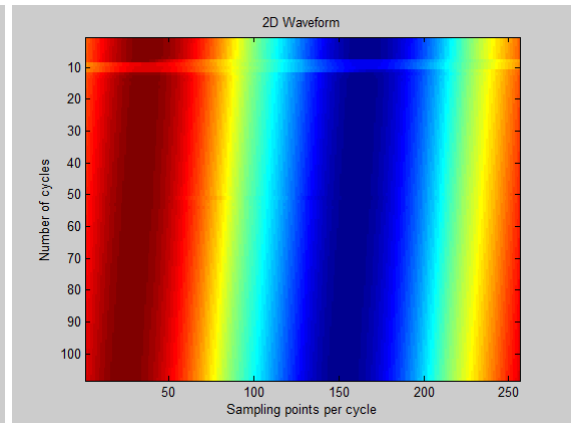
จากภาพที่ 5.3 รูป (ก) (ข) และ (ค) แสดงรูปเหตุการณ์ไฟฟ้าตกชั่วขณะในแบบ 1 มิติ, 2 มิติ และ 3 มิติ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิตินั้นสามารถตรวจจับความผิดปกติได้ในปริภูมิย่อย *HL* ตามภาพที่ 5.3 (ง) จึงสันนิษฐานได้ว่าปริภูมิย่อย *HL* น่าจะมีความสำคัญในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า เมื่อให้ปริภูมิย่อย *HL* เป็นปริภูมิหลักในการสร้างคืนสัญญาณในรูป 2 มิติร่วมกับปริภูมิย่อยอื่นๆ จะสามารถตรวจจับได้แสดงภายในเส้นประรูปวงรีตามรูปย่อยในภาพที่ 5.3 (จ) และ (ฉ) ซึ่งเมื่อพิจารณาตามวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัย (3) ตามภาพที่ 5.3 (ซ) (ช) และ (ณ) จะเห็นว่าการใช้ปริภูมิย่อย *HL* ร่วมกับ *HH* สร้างคืนสัญญาณสามารถตรวจสอบสิ่งผิดปกติได้ดีที่สุด เมื่อนำการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย *HL* ร่วมกับ *HH* มาแปลงเป็นรูป 1 มิติ จะแสดงได้ตามภาพที่ 5.3 (ญ) จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับวิธี (2) ในภาพที่ 5.3 (ญ) และ วิธี (1) ในภาพที่ 5.3 (ฎ) จะได้ผลการเปรียบเทียบการตรวจจับว่า วิธี (3)

ให้ผลการตรวจจับที่ต่ำกว่าวิธี (1) เล็กน้อย เนื่องจากเกิดสัญญาณกวนขึ้น และวิธี (3) ให้ผลการตรวจจับดีกว่าวิธี (2) ดังผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.1

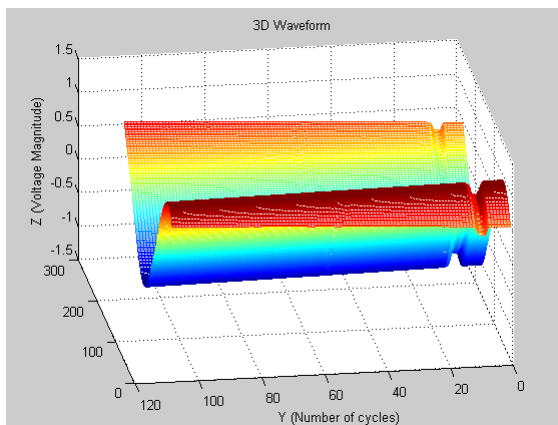
ตัวอย่างที่ 4 : แรงแดันตกชั่วขณะจริงข้อมูลที่ 2 (ขนาดแรงแดันตกชั่วขณะที่ 0.79 pu และช่วงเวลากการเกิด 0.05 วินาที)



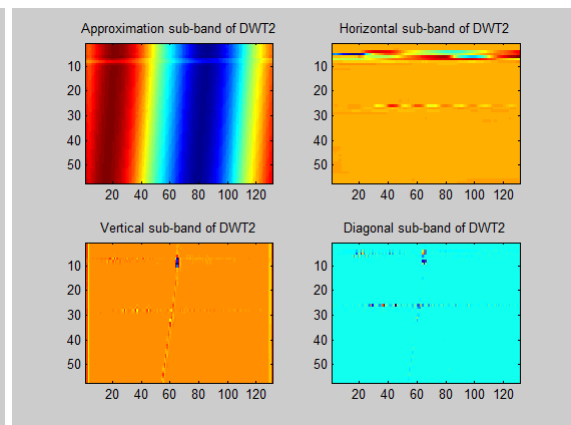
(ก)



(ข)

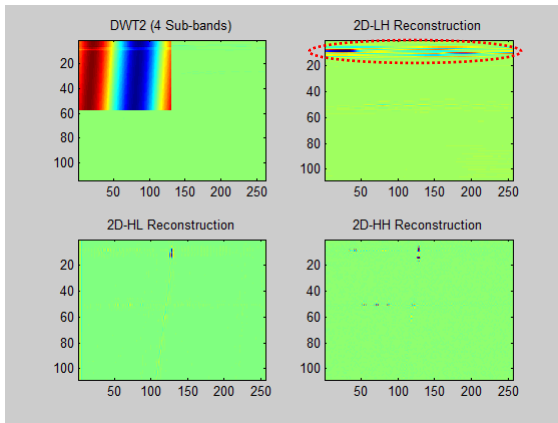


(ค)

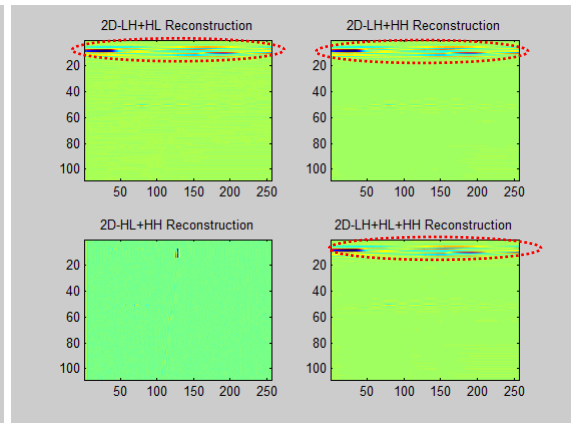


(ง)

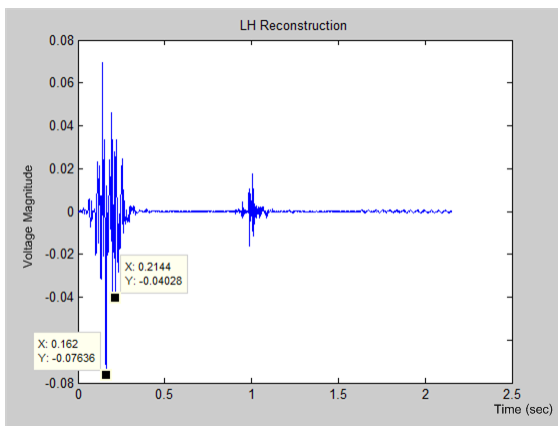
ภาพที่ 5.4 (ก) สัญญาณไฟฟ้า 1 มิติ (ข) สัญญาณไฟฟ้า 2 มิติ (ค) แสดงสัญญาณไฟฟ้าแบบ 3 มิติ (ง) ปริภูมิย่อยการแปลงเวฟเลต 2 มิติ



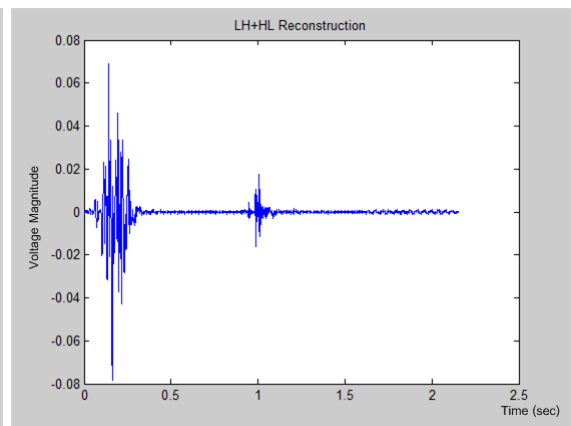
(จ)



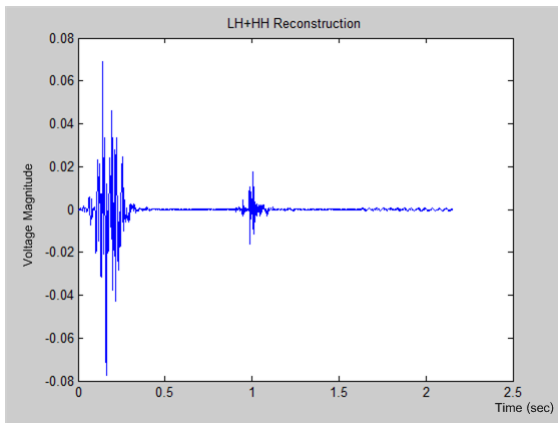
(ข)



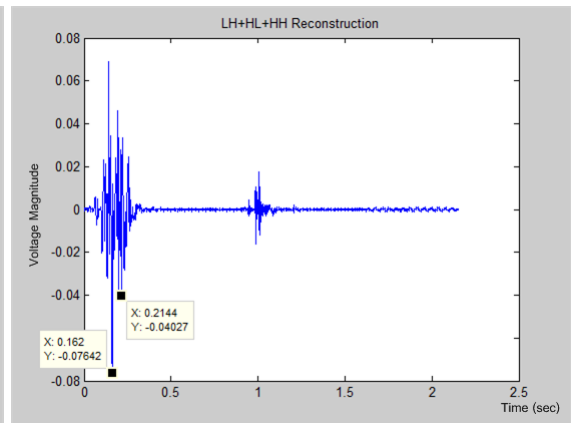
(ค)



(ค)

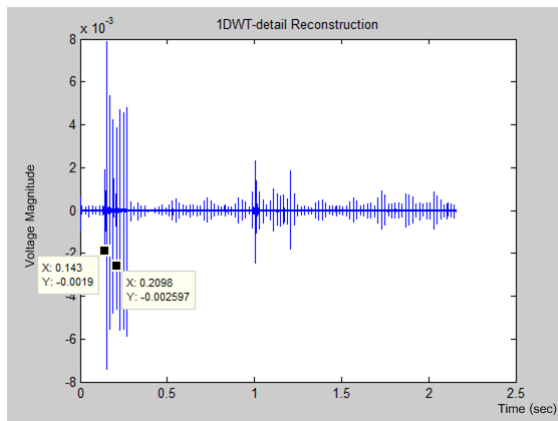


(ง)



(จ)

ภาพที่ 5.4 (ต่อ) (จ) และ (ข) การสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย (ค) (ค) และ(ง) แสดงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อยเป็น 1 มิติ (จ) แสดงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย 3 ปริภูมิเป็น 1 มิติ



(ฎ)

ภาพที่ 5.4 (ต่อ) (ฎ) การสร้างคืนสัญญาณของส่วนหายจากการแปลงเวฟเลต 1 มิติ

จากภาพที่ 5.4 รูป (ก) (ข) และ (ค) แสดงรูปเหตุการณ์ไฟฟ้าตกชั่วขณะในแบบ 1 มิติ 2 มิติ และ 3 มิติ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติ นั้นสามารถตรวจจับความผิดปกติได้ในปริมาณย่อย LH ตามภาพที่ 5.4 (ง) จึงสันนิษฐานได้ว่าปริมาณย่อย LH น่าจะมีนัยสำคัญในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า เมื่อให้ปริมาณย่อย LH เป็นปริมาณหลักในการสร้างคืนสัญญาณในรูป 2 มิติ ร่วมกับปริมาณย่อยอื่นๆ จะสามารถตรวจจับได้แสดงภายในเส้นประรูปวงรีตามรูปย่อยในภาพที่ 5.4 (จ) และ (ฉ) ซึ่งเมื่อพิจารณาตามวิธี (3) ตามภาพที่ 5.4 (ซ) (ช) และ (ฌ) จะเห็นว่าการใช้ปริมาณย่อย LH สร้างคืนสัญญาณเพื่อตรวจสอบสิ่งผิดปกติก็เพียงพอแล้ว เมื่อนำการสร้างคืนสัญญาณจากปริมาณย่อย LH มาแปลงเป็นรูป 1 มิติ จะแสดงได้ตามภาพที่ 5.4 (ข) จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับวิธี (2) ในภาพที่ 5.4 (ญ) และ วิธี (1) ในภาพที่ 5.4 (ฎ) จะได้ผลการเปรียบเทียบการตรวจจับว่า วิธี (3) ให้ผลการตรวจจับดีเท่ากับวิธี (2) แต่วิธี (3) ให้ผลการตรวจจับดีกว่าวิธี (1) เนื่องจากมีสัญญาณรบกวน (Noise) น้อยกว่า ดังผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.1

5.1.2 ทรานเซียนท์แบบกว้าง

ผลการทดสอบการตรวจจับทรานเซียนท์แบบกว้างโดยวิธีต่างๆที่กล่าวในงานวิจัยนี้ แสดงดังตารางที่ 5.2

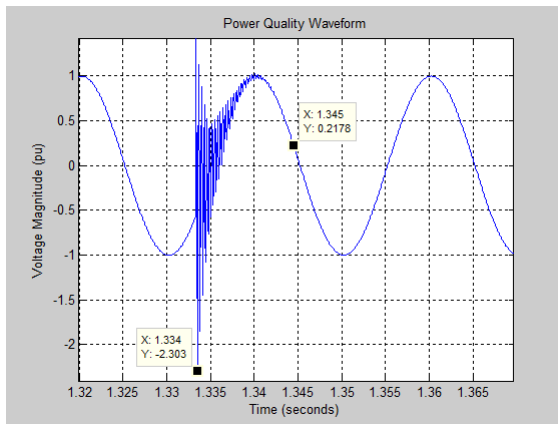
ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบการตรวจจำทรานเซียนท์แบบแกว่งและผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบการตรวจจำระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการอื่น ๆ

	ข้อมูล ที่	ขนาดของ แรงดันไฟฟ้า (pu)	เวลาใน การเกิด (วินาที)	วิธีการตรวจจำเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า			ผลการ เปรียบเทียบ การตรวจจำ
				เวฟเลต 1 มิติ (1)	เวฟเลต 2 มิติ แบบไม่เลือก ปริภูมิย่อย (2)	เวฟเลต 2 มิติ แบบเลือก ปริภูมิย่อย (3)	
สัญญาณไฟฟ้าสังเคราะห์	1	3.14	0.010	ได้	ได้	HL+HH	(1) = (3) > (2)
	2	0.07	0.002	ได้	ได้	HL+HH	(1) > (3) > (2)
	3	3.61	0.009	ได้	ได้	HL+HH	(1) = (3) > (2)
	4	0.79	0.001	ได้	ได้	HL+HH	(1) = (3) > (2)
	5	2.44	0.017	ได้	ได้	HL+HH	(1) = (3) > (2)
	6	2.09	0.011	ได้	ได้	HL+HH	(1) = (3) > (2)
	7	2.83	0.010	ได้	ได้	HL+HH	(1) = (3) > (2)
	8	1.41	0.011	ได้	ได้	HL+HH	(1) = (3) > (2)
	9	2.02	0.011	ได้	ได้	HL+HH	(1) = (3) > (2)
	10	3.06	0.011	ได้	ได้	HL+HH	(1) = (3) > (2)
สัญญาณไฟฟ้าจริง	1	0.33	0.006	ได้	ได้	HL+HH	(1) = (3) > (2)
	2	0.04	0.002	ได้	ไม่ได้	HL+HH	(1) = (3)
	3	0.06	0.005	ไม่ได้	ได้	LH	(3) = (2)
	4	0.02	0.003	ได้	ได้	HL+HH	(1) = (3) > (2)

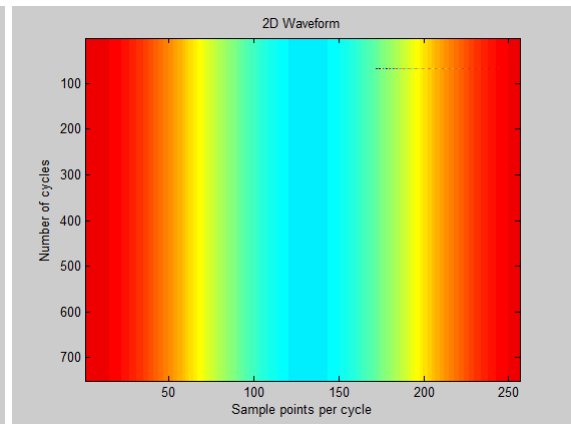
โดยสัญลักษณ์ ">" ที่ใช้เปรียบเทียบการตรวจจำหมายถึงตรวจจำเหตุการณ์ได้ผลชัดเจนหรือบอกตำแหน่งได้แม่นยำกว่า ส่วนสัญลักษณ์ "=" หมายถึงตรวจจำเหตุการณ์ได้ผลชัดเจนหรือบอกตำแหน่งได้ดีเท่ากัน ตัวอย่างเช่น (1) = (3) > (2) หมายความว่า วิธีการตรวจจำด้วยเวฟเลต 1 มิติ (1) ตรวจจำได้ดีเท่ากับวิธีเวฟเลต 2 มิติแบบเลือกปริภูมิย่อย (3) ซึ่ง วิธี (3) ตรวจจำได้ดีกว่าวิธีเวฟเลต 2 มิติแบบไม่เลือกปริภูมิย่อย (2) เป็นต้น

จากผลการทดสอบตามตารางที่ 5.2 จะแสดงตัวอย่างผลการทดสอบข้อมูลสัญญาณทางไฟฟ้าบางส่วน ดังนี้

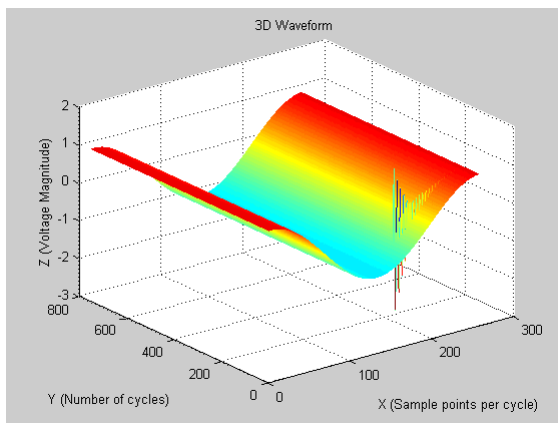
ตัวอย่างที่ 1 : ทราบเขียนท์แบบแกว่งสังเคราะห์ข้อมูลที 6 (ขนาดทราบเขียนท์ที 2.09 pu และ ช่วงเวลาการเกิด 0.011 วินาที)



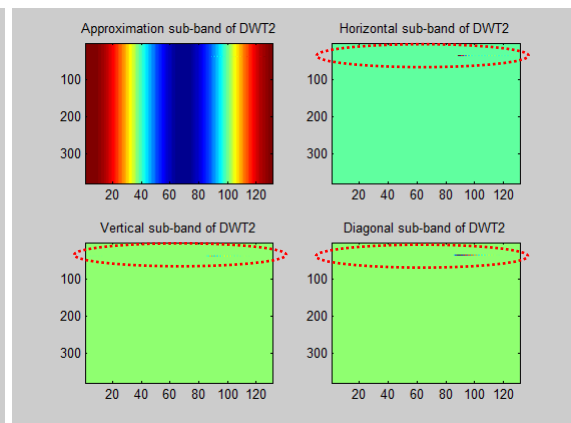
(ก)



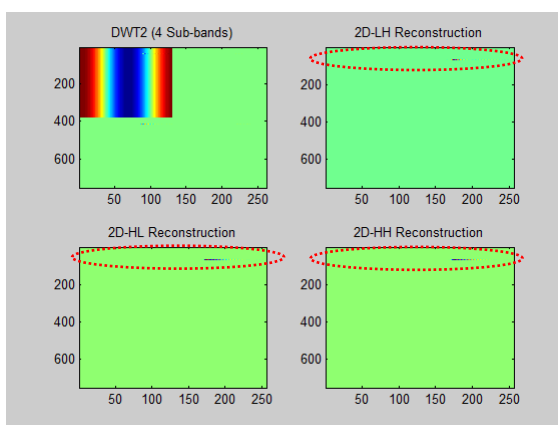
(ข)



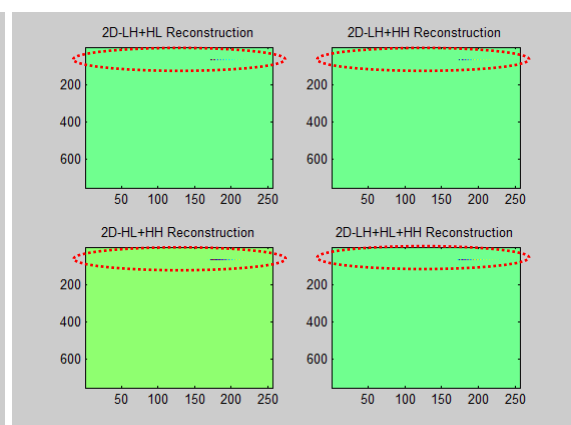
(ค)



(ง)

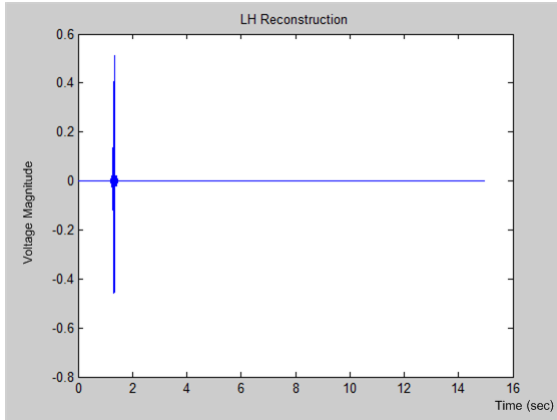


(จ)

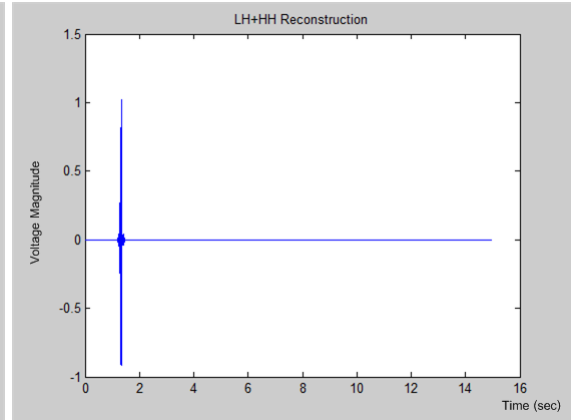


(ฉ)

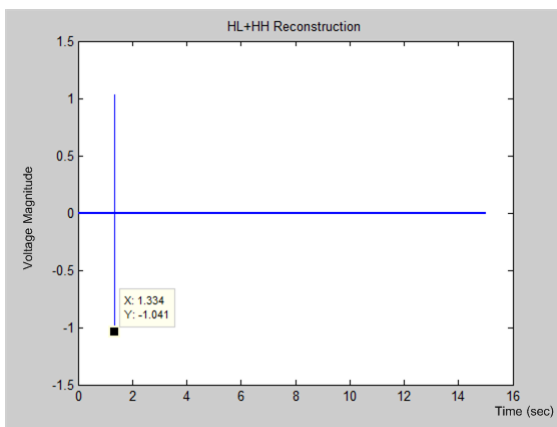
ภาพที่ 5.5 (ก) สัญญาณไฟฟ้า 1 มิติ (ข) สัญญาณไฟฟ้า 2 มิติ (ค) ปริภูมิย่อยการแปลงเวฟเลต 2 มิติ (ง) แสดงสัญญาณไฟฟ้าแบบ 3 มิติ (จ) และ (ฉ) การสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย



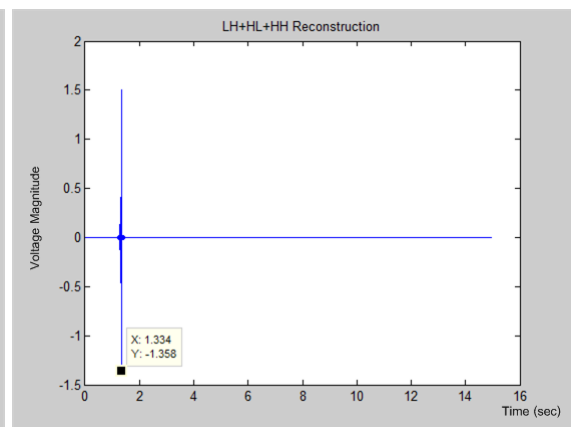
(จ)



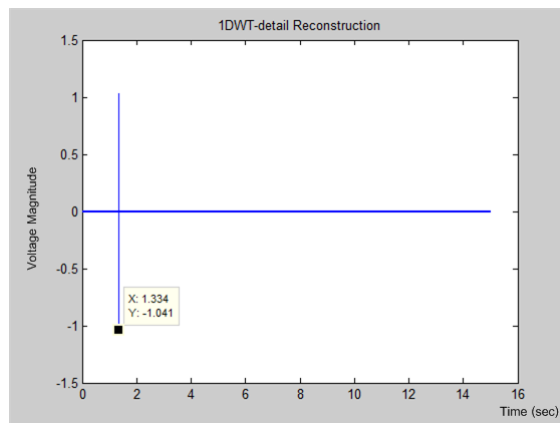
(ฉ)



(ค)



(ง)

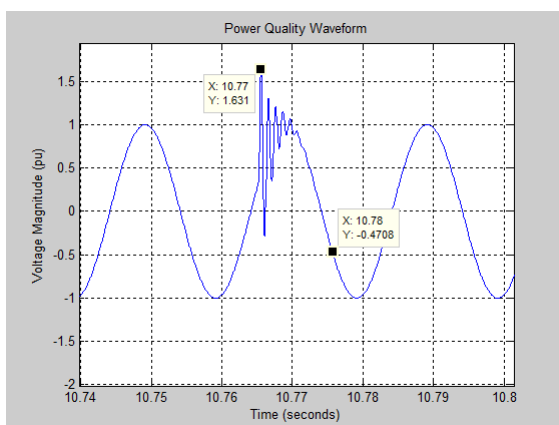


(จ)

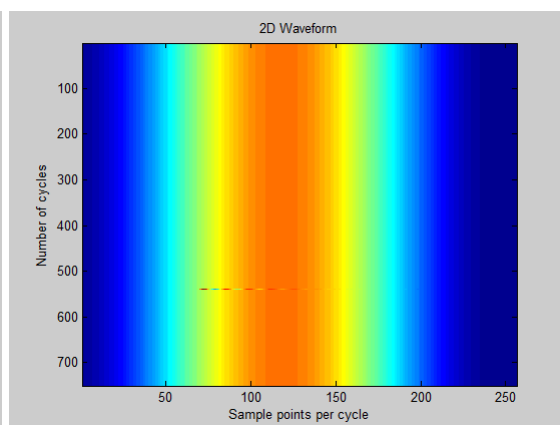
ภาพที่ 5.5 (ต่อ) (ช) (ข) และ (ค) แปลงการสั่นคั่นสัญญาณจากปริภูมิย่อยเป็น 1 มิติ (ง) แปลงการสั่นคั่นสัญญาณจากปริภูมิย่อย 3 ปริภูมิเป็น 1 มิติ (จ) การสั่นคั่นสัญญาณของส่วนหยาบจากการแปลงเวฟเลต 1 มิติ

จากภาพที่ 5.5 รูป (ก) (ข) และ (ค) แสดงรูปเหตุการณ์ทรานเซียนท์แบบแกว่งในแบบ 1 มิติ, 2 มิติ และ 3 มิติ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิตินั้นสามารถตรวจจับความผิดปกติได้ในปริมาณย่อย LH , HL และ HH ตามภาพที่ 5.1 (ง) จึงสันนิษฐานได้ว่าปริมาณย่อย LH , HL และ HH ทั้งหมดน่าจะมีความสำคัญในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า เมื่อสร้างคี่นสัญญาณในรูปแบบ 2 มิติร่วมกับปริมาณย่อย LH , HL และ HH จะสามารถตรวจจับได้แสดงภายในเส้นประรูปวงรีตามรูปย่อยในภาพที่ 5.5 (จ) และ (ฉ) ซึ่งเมื่อพิจารณาตามวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัย (3) ตามภาพที่ 5.5 (ซ) (ฌ) และ (ฉ) จะเห็นว่าการใช้ปริมาณย่อย $HL+HH$ ในภาพที่ 5.5 (ฉ) สร้างคี่นสัญญาณเพื่อตรวจสอบสิ่งผิดปกติได้ดีที่สุด จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับวิธี (2) ในภาพที่ 5.5 (ญ) และ วิธี (1) ในภาพที่ 5.5 (ฎ) จะได้ผลการเปรียบเทียบการตรวจจับว่า วิธี (3) ให้ผลการตรวจจับดีเท่ากับวิธี (1) แต่วิธี (3) ให้ผลการตรวจจับดีกว่าวิธี (2) ดังผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.2

ตัวอย่างที่ 2 : ทรานเซียนท์แบบแกว่งสังเคราะห์ข้อมูลที 8 (ขนาดทรานเซียนท์ที่ 1.41 pu และ ช่วงเวลาการเกิด 0.011 วินาที)

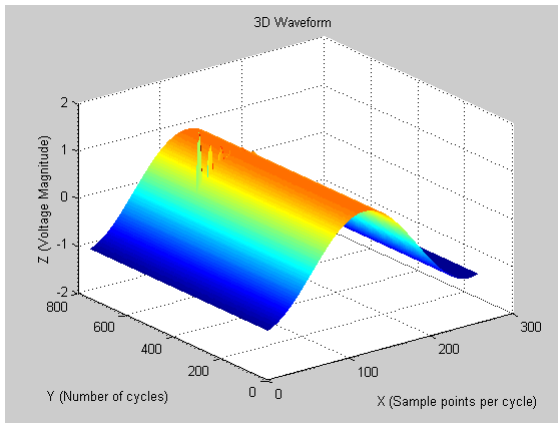


(ก)

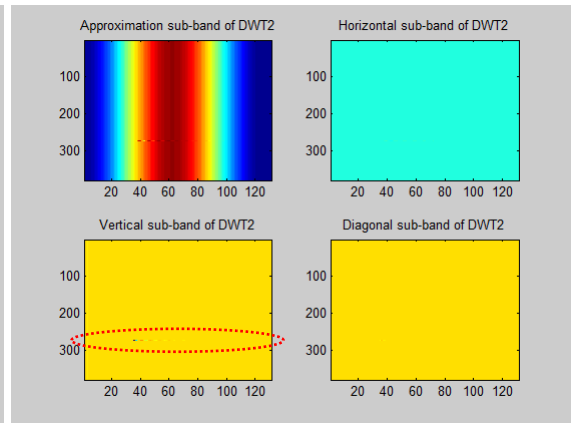


(ข)

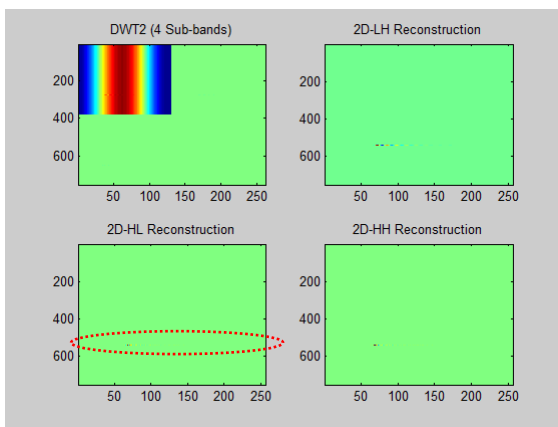
ภาพที่ 5.6 (ก) สัญญาณไฟฟ้า 1 มิติ (ข) สัญญาณไฟฟ้า 2 มิติ



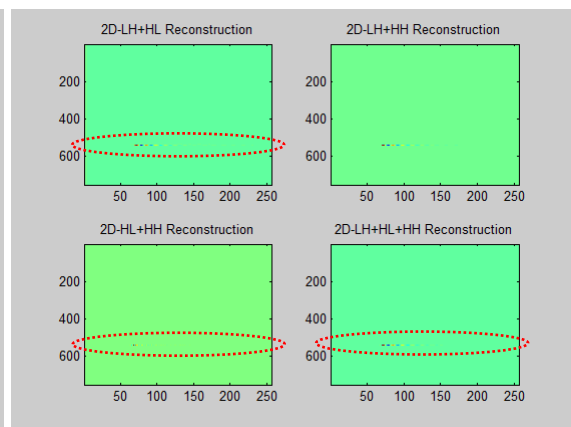
(ค)



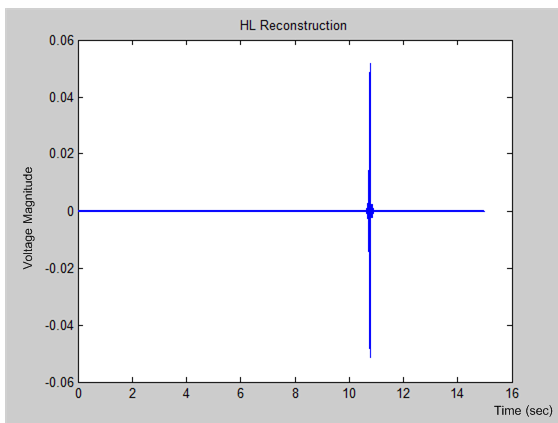
(ง)



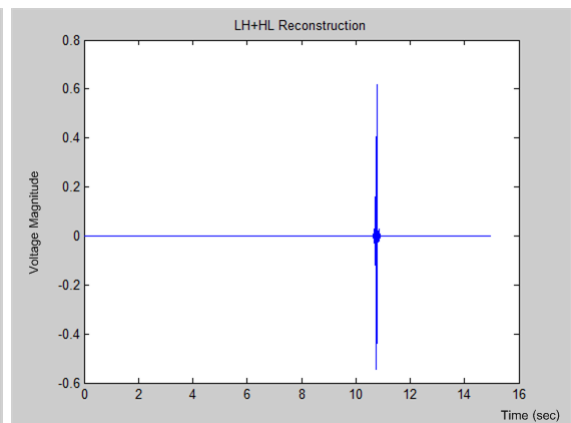
(จ)



(ฉ)

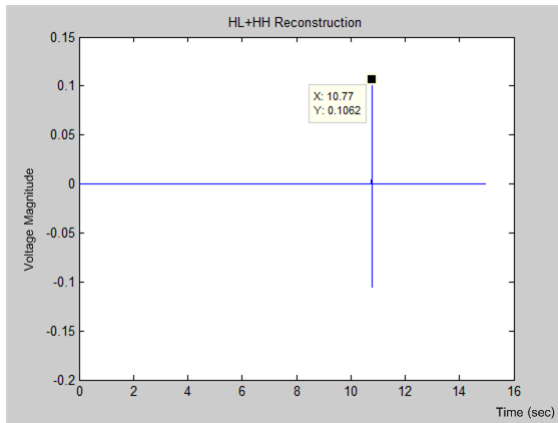


(ช)

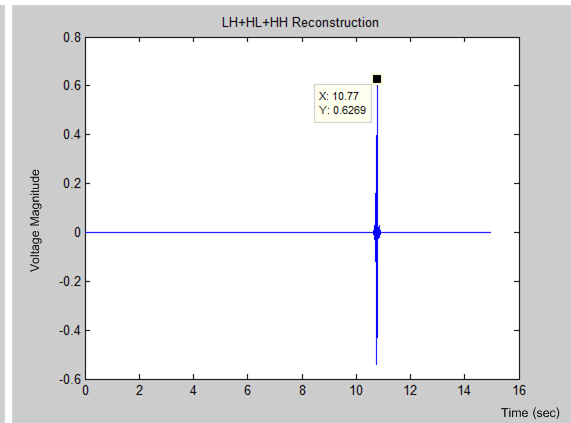


(ฌ)

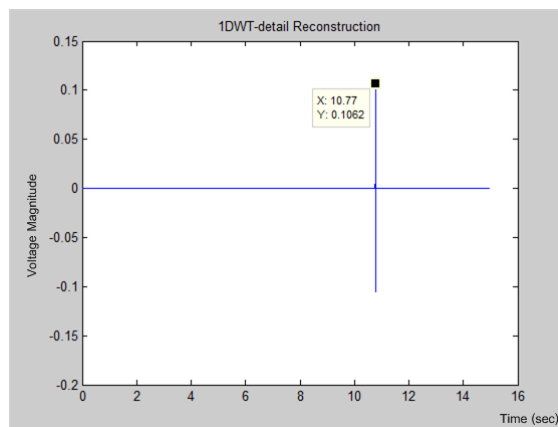
ภาพที่ 5.6 (ต่อ) (ค) แสดงสัญญาณไฟฟ้าแบบ 3 มิติ (ง) ปริภูมิย่อยการแปลงเวฟเลต 2 มิติ (จ) และ (ฉ) การสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย(ช) และ (ฌ) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อยเป็น 1 มิติ



(ก)



(ข)



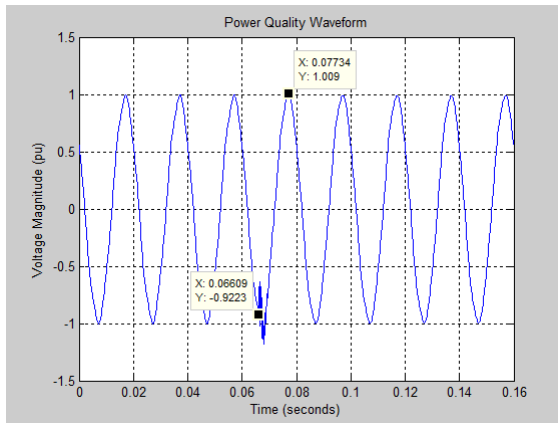
(ค)

ภาพที่ 5.6 (ต่อ) (ก) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อยเป็น 1 มิติ (ข) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย 3 ปริภูมิเป็น 1 มิติ (ค) การสร้างคืนสัญญาณของส่วนย่อยจากการแปลงเวฟเลต 1 มิติ

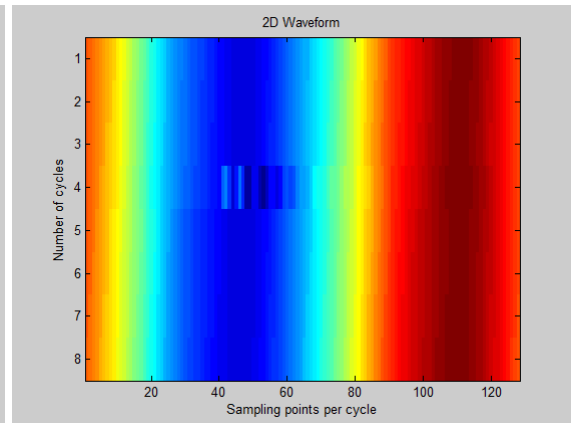
จากภาพที่ 5.6 รูป (ก) (ข) และ (ค) แสดงรูปเหตุการณ์ทรานเซียนท์แบบแกว่งในแบบ 1 มิติ, 2 มิติ และ 3 มิติ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิตินั้นสามารถตรวจจับความผิดปกติได้ในปริภูมิย่อย *HL* ตามภาพที่ 5.6 (ง) จึงสันนิษฐานได้ว่าปริภูมิย่อย *HL* น่าจะมีความสำคัญในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า เมื่อให้ปริภูมิย่อย *HL* เป็นปริภูมิหลักในการสร้างคืนสัญญาณในรูป 2 มิติร่วมกับปริภูมิย่อยอื่นๆ จะสามารถตรวจจับได้แสดงภายในเส้นประรูปวงรีตามรูปย่อยในภาพที่ 5.6 (จ) และ (ฉ) ซึ่งเมื่อพิจารณาตามวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัย (3) ตามภาพที่ 5.6 (ซ) (ฅ) และ (ณ) จะเห็นว่าการใช้ปริภูมิย่อย *HL+HH* ในภาพที่ 5.6 (ณ) สร้างคืนสัญญาณเพื่อตรวจสอบสิ่งผิดปกติได้ดีที่สุด จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับวิธี (2) ในภาพที่ 5.6 (ญ) และ วิธี (1) ในภาพที่ 5.6 (ฎ) จะได้ผลการเปรียบเทียบการตรวจจับว่า วิธี (3) ให้ผลการตรวจจับดี

เท่ากับวิธี (1) 1 แต่วิธี (3) ให้ผลการตรวจจับดีกว่าวิธี (2) ดังผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.2

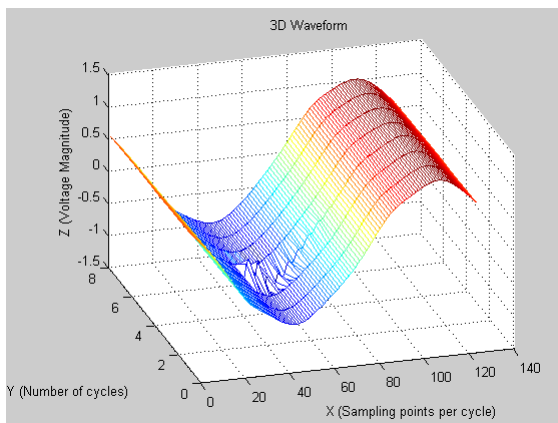
ตัวอย่างที่ 3 : ทรานเซียนท์แบบแกว่งจริงข้อมูลที่ 1 (ขนาดทรานเซียนท์ที่ 0.2 pu และช่วงเวลาการเกิด 0.011 วินาที)



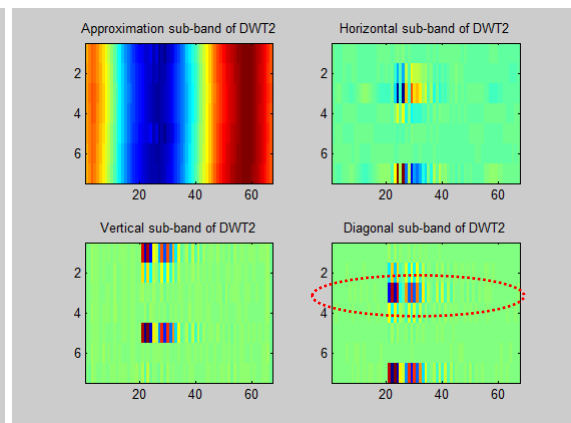
(ก)



(ข)

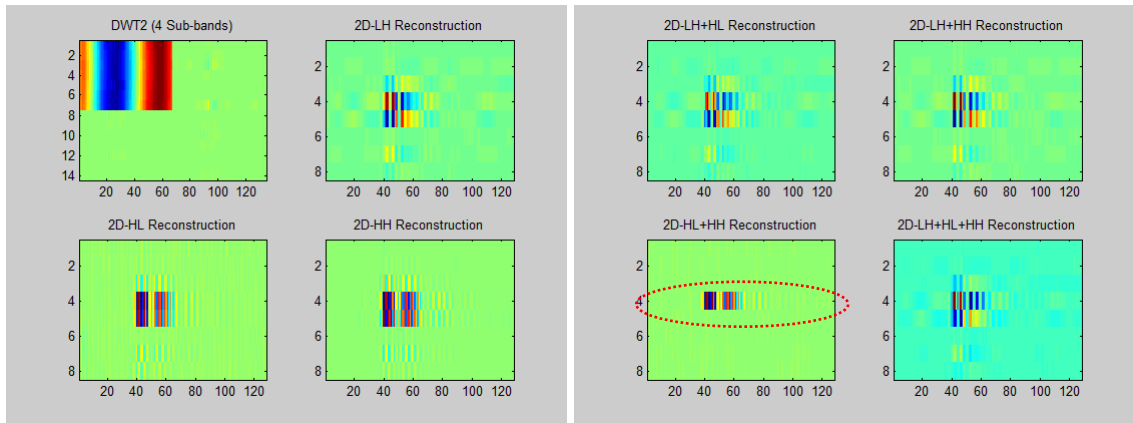


(ค)



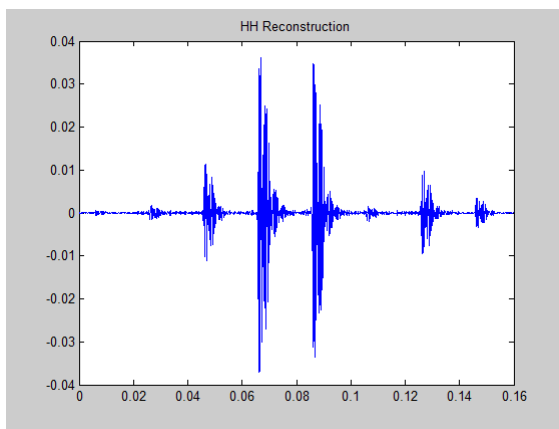
(ง)

ภาพที่ 5.7 (ก) สัญญาณไฟฟ้า 1 มิติ (ข) สัญญาณไฟฟ้า 2 มิติ (ค) แสดงสัญญาณไฟฟ้าแบบ 3 มิติ (ง) ปริภูมิย่อยการแปลงเวฟเลต 2 มิติ

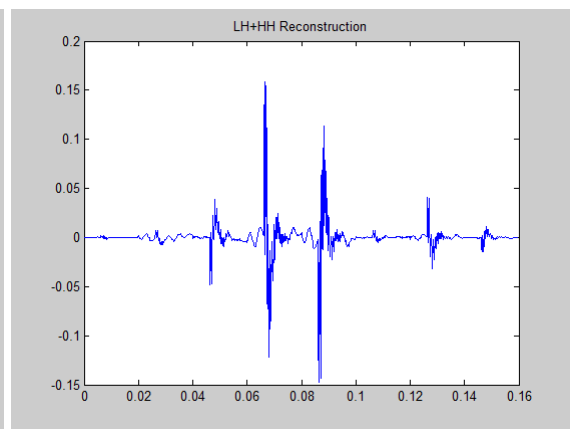


(จ)

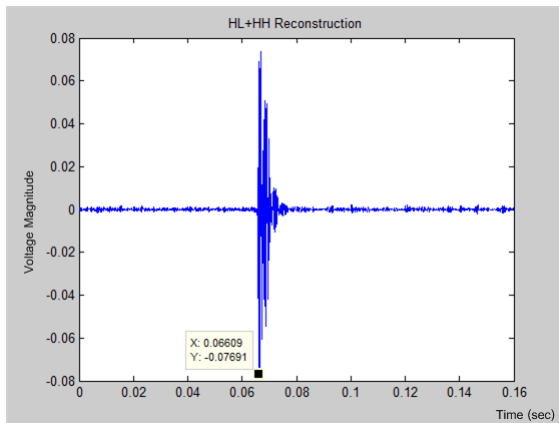
(ข)



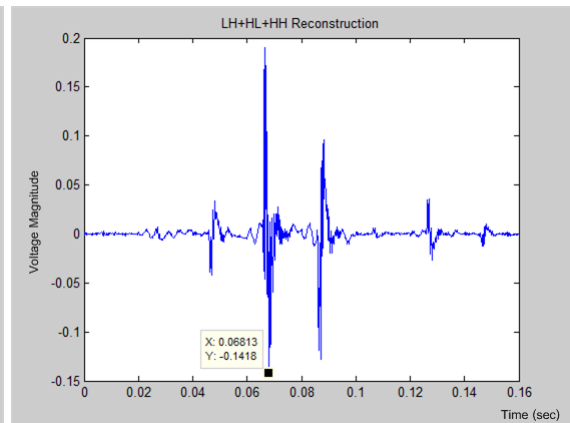
(ค)



(ง)

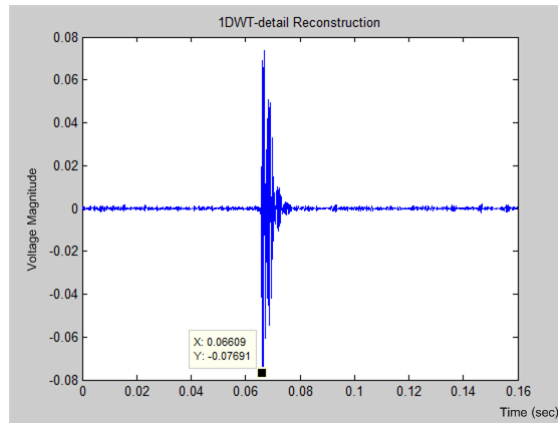


(ฉ)



(ช)

ภาพที่ 5.7 (ต่อ) (จ) และ (ข) การสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย (ค) (ง) และ (ฉ) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อยเป็น 1 มิติ (ช) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย 3 ปริภูมิเป็น 1 มิติ

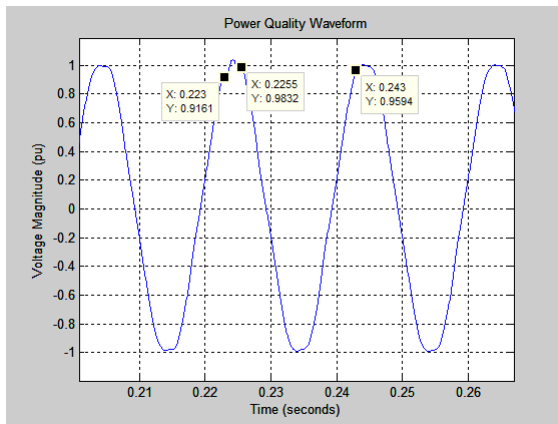


(ฎ)

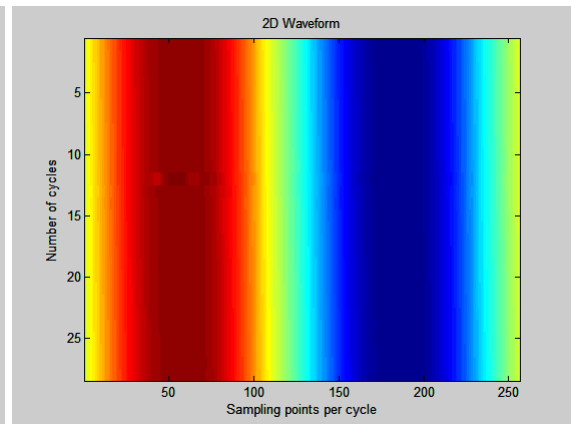
ภาพที่ 5.7 (ต่อ) (ฎ) การสร้างคืนสัญญาณของส่วนหายจากการแปลงเวฟเลต 1 มิติ

จากภาพที่ 5.7 รูป (ก) (ข) และ (ค) แสดงรูปเหตุการณ์ทรานเซียนท์แบบแกว่งในแบบ 1 มิติ 2 มิติ และ 3 มิติ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติ นั้นสามารถตรวจจับความผิดปกติได้ในปริภูมิย่อย HL ตามภาพที่ 5.7 (ง) จึงสันนิษฐานได้ว่าปริภูมิย่อย HH น่าจะมีนัยสำคัญในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า เมื่อให้ปริภูมิย่อย HH เป็นปริภูมิหลักในการสร้างคืนสัญญาณในรูป 2 มิติ ร่วมกับปริภูมิย่อยอื่นๆ จะสามารถตรวจจับได้แสดงภายในเส้นประรูปวงรีตามรูปย่อยในภาพที่ 5.7 (ด) ซึ่งเมื่อพิจารณาตามวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัย (3) ตามภาพที่ 5.7 (ข) (ค) และ (ง) จะเห็นว่าการใช้ปริภูมิย่อย $HL+HH$ ในภาพที่ 5.7 (ง) สร้างคืนสัญญาณเพื่อตรวจสอบสิ่งผิดปกติได้ดีที่สุด จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับวิธี (2) ในภาพที่ 5.7 (ญ) และ วิธี (1) ในภาพที่ 5.7 (ฎ) จะได้ผลการเปรียบเทียบการตรวจจับว่า วิธี (3) ให้ผลการตรวจจับดีเท่ากับวิธี (1) แต่วิธี (3) ให้ผลการตรวจจับดีกว่าวิธี (2) ดังผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.2

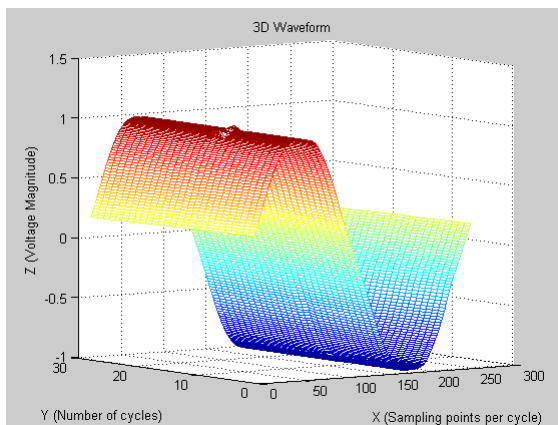
ตัวอย่างที่ 4 : ทราจเขียนท์แบบแกว่งจริงข้อมูลที 2 (ขนาดทราจเขียนท์ที 0.04 pu และช่วงเวลาการเกิด 0.002 วินาที)



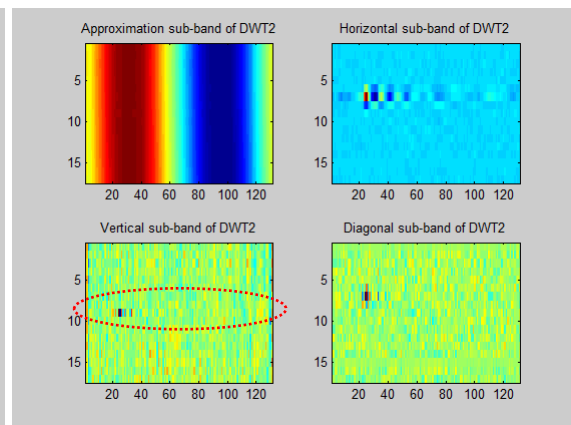
(ก)



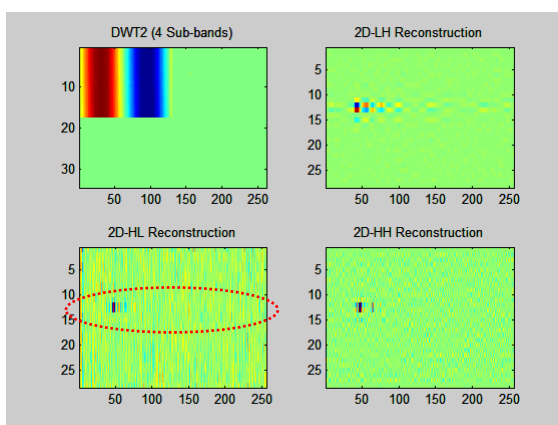
(ข)



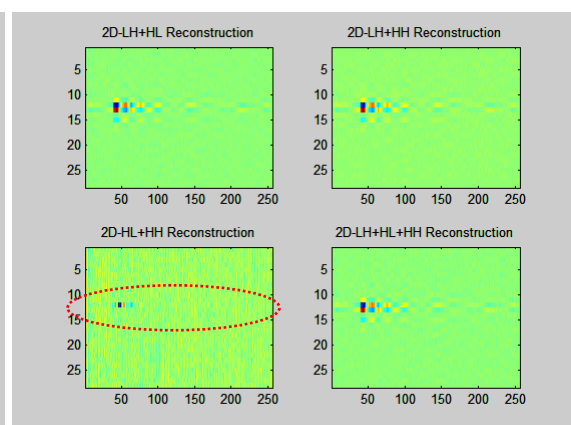
(ค)



(ง)

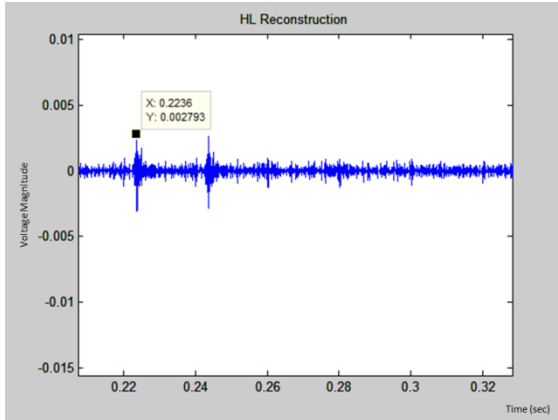


(จ)

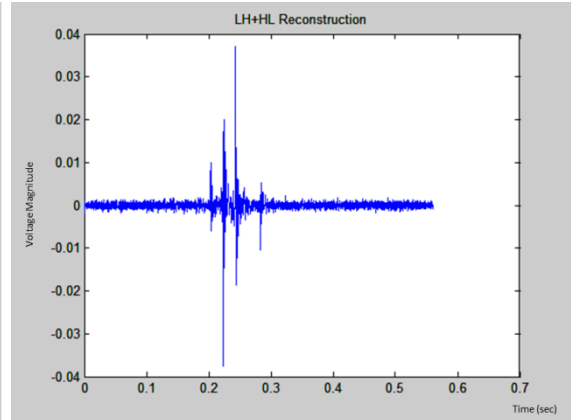


(ฉ)

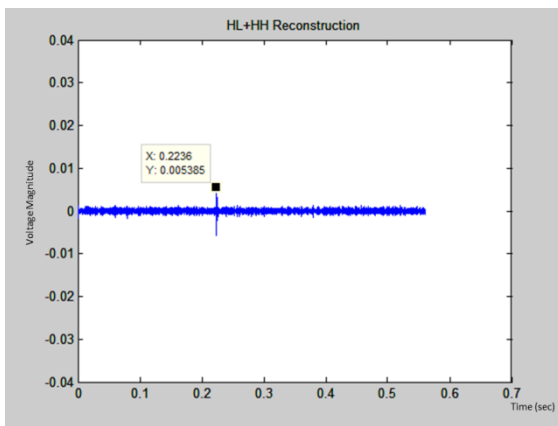
ภาพที่ 5.8 (ก) สัญญาณไฟฟ้า 1 มิติ (ข) สัญญาณไฟฟ้า 2 มิติ (ค) แสดงสัญญาณไฟฟ้าแบบ 3 มิติ (ง) ปริภูมิย่อยการแปลงเวฟเลต 2 มิติ (จ) และ (ฉ) การสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย



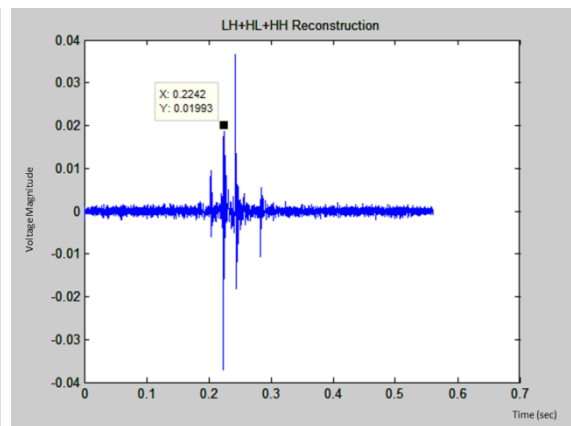
(จ)



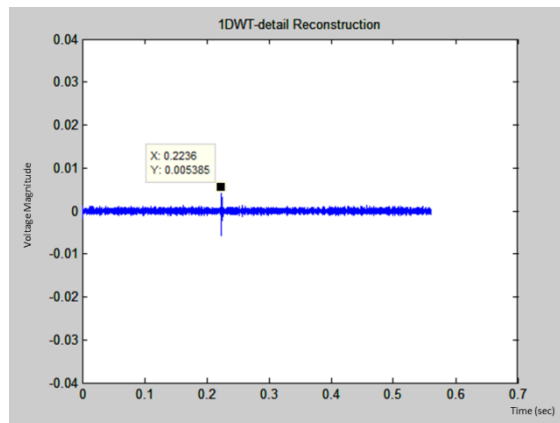
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพที่ 5.8 (ต่อ) (ข) (ค) และ (ค) แสดงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อยเป็น 1 มิติ (ง) แสดงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย 3 ปริภูมิเป็น 1 มิติ (จ) การสร้างคืนสัญญาณของส่วนหยาบจากการแปลงเวฟเลต 1 มิติ

จากภาพที่ 5.8 รูป (ก), (ข) และ (ค) แสดงรูปเหตุการณ์ทรานเซียนท์แบบแกว่งในแบบ 1 มิติ 2 มิติ และ 3 มิติ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิตินั้นสามารถตรวจจับความผิดปกติได้ในปริภูมิย่อย HL ตามภาพที่ 5.8 (ง) จึงสันนิษฐานได้ว่าปริภูมิย่อย HL น่าจะมีนัยสำคัญในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า เมื่อให้ปริภูมิย่อย HL เป็นปริภูมิหลักในการสร้างคืนสัญญาณในรูป 2 มิติร่วมกับปริภูมิย่อยอื่นๆ จะสามารถตรวจจับได้แสดงภายในเส้นประรูปวงรีตามรูปย่อยในภาพที่ 5.8 (จ) และ (ฉ) ซึ่งเมื่อพิจารณาตามวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัย (3) ตามภาพที่ 5.8 (ซ) (ฅ) และ (ฉ) จะเห็นว่าการใช้ปริภูมิย่อย $HL+HH$ ในภาพที่ 5.8 (ฉ) สร้างคืนสัญญาณเพื่อตรวจสอบสิ่งผิดปกติได้ดีที่สุด จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับวิธี (2) ในภาพที่ 5.8 (ญ) และ วิธี (1) ในภาพที่ 5.8 (ฎ) จะได้ผลการเปรียบเทียบการตรวจจับว่า วิธี (3) ให้ผลการตรวจจับดีเท่ากับวิธี (1) ซึ่งวิธี (2) ไม่สามารถตรวจจับได้ ดังผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.2

5.1.3 ฮาร์มอนิก

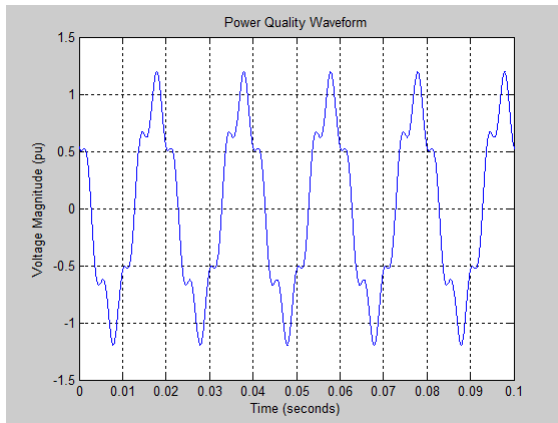
ผลการทดสอบการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะโดยวิธีต่างๆที่กล่าวในงานวิจัยนี้ แสดงดังตารางที่ 5.3 โดยองค์ประกอบฮาร์มอนิกของสัญญาณไฟฟ้าจริงได้มาจากการหาค่าสเปคทรัลของฮาร์มอนิก

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบการตรวจจับฮาร์มอนิกและผลลัพท์ในการเปรียบเทียบการตรวจจับระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการอื่นๆ

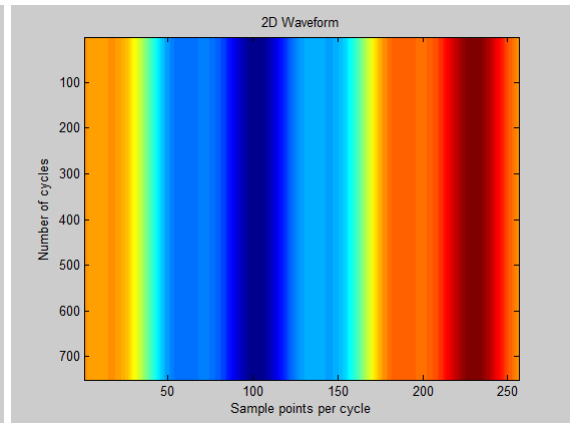
ข้อมูล ที่	องค์ประกอบฮาร์มอนิก	วิธีการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า			ผลการ เปรียบเทียบ การตรวจจับ	
		เวฟเลต 1 มิติ (1)	เวฟเลต 2 มิติ แบบไม่เลือก ปริภูมิย่อย (2)	เวฟเลต 2 มิติ แบบเลือก ปริภูมิย่อย (3)		
สัญญาณไฟฟ้าสังเคราะห์	1	3rd	ไม่ได้	ไม่ได้	HL	(3)
	2	5th	ไม่ได้	ไม่ได้	HL	(3)
	3	7th	ไม่ได้	ไม่ได้	HL	(3)
	4	9th	ไม่ได้	ไม่ได้	HL	(3)
	5	3rd, 5 th	ไม่ได้	ไม่ได้	HL	(3)
	6	3rd, 9th	ไม่ได้	ไม่ได้	HL	(3)
	7	5th, 7th	ไม่ได้	ไม่ได้	HL	(3)
	8	3rd, 7th, 9th	ไม่ได้	ไม่ได้	HL	(3)
	9	5th, 7th, 9th	ไม่ได้	ไม่ได้	HL	(3)
	10	3rd, 5th, 7th, 9th	ไม่ได้	ไม่ได้	HL	(3)
สัญญาณไฟฟ้าจริง	1	3rd, 5th, 7th, 9th, 11th, 13th, 15th, 17th, 19th, 21st, 23rd	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	-
	2	3rd, 5th, 7th, 9th, 11th, 13th, 15th, 17th, 19th, 21st	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	-
	3	3rd, 5th, 7th, 9th, 11th, 13th, 15th, 17th, 19th	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	-
	4	3rd, 5th, 7th, 9th, 11th, 13th, 15th, 17th	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	-
	5	3rd, 5th, 7th, 9th, 11th	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	-

จากผลการทดสอบตามตารางที่ 5.2 จะแสดงตัวอย่างผลการทดสอบข้อมูลสัญญาณทางไฟฟ้าบางส่วน ดังนี้

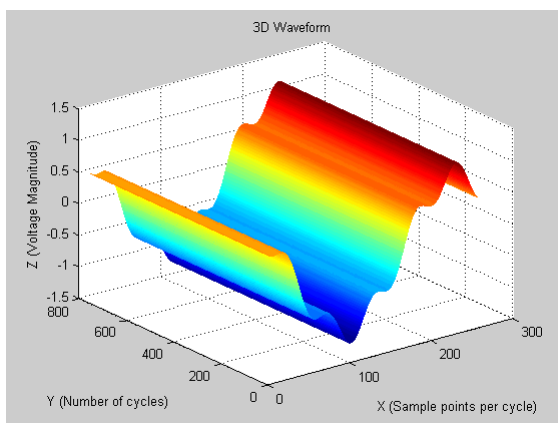
ตัวอย่างที่ 1 : ฮาร์มอนิกสังเคราะห์ข้อมูลที่ 2 (องค์ประกอบฮาร์มอนิกลำดับที่ 5)



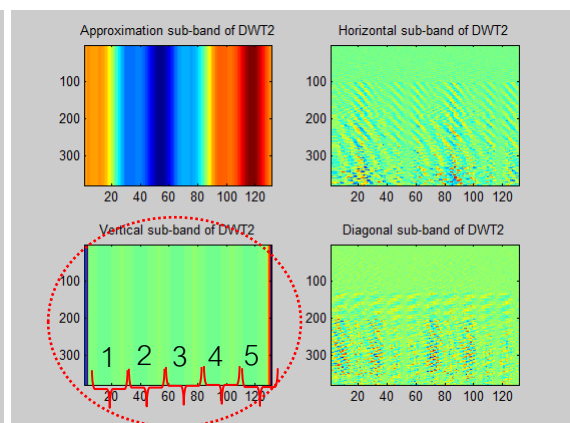
(ก)



(ข)

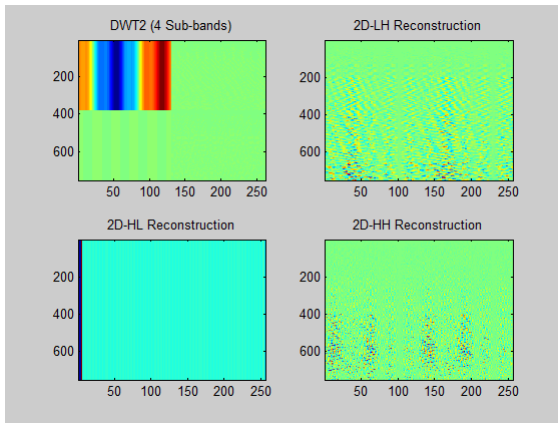


(ค)

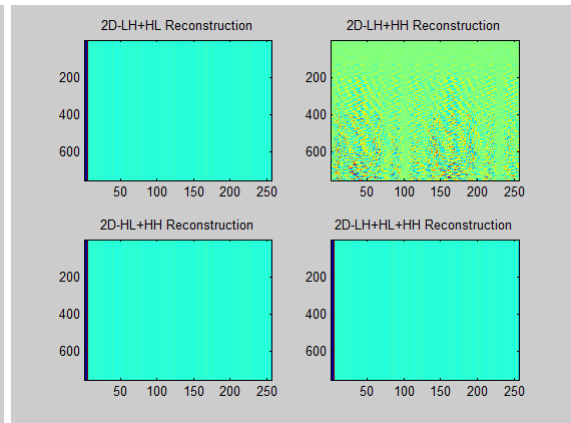


(ง)

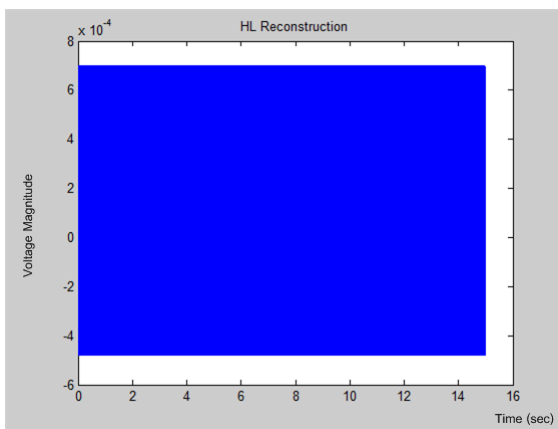
ภาพที่ 5.9 (ก) สัญญาณไฟฟ้า 1 มิติ (ข) สัญญาณไฟฟ้า 2 มิติ (ค) แสดงสัญญาณไฟฟ้าแบบ 3 มิติ (ง) ปริภูมิย่อยการแปลงเวฟเลต 2



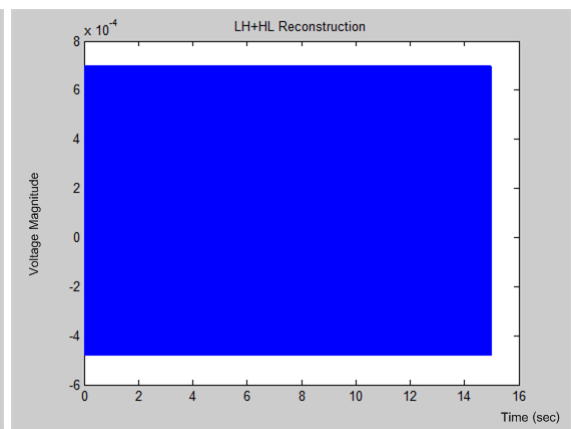
(จ)



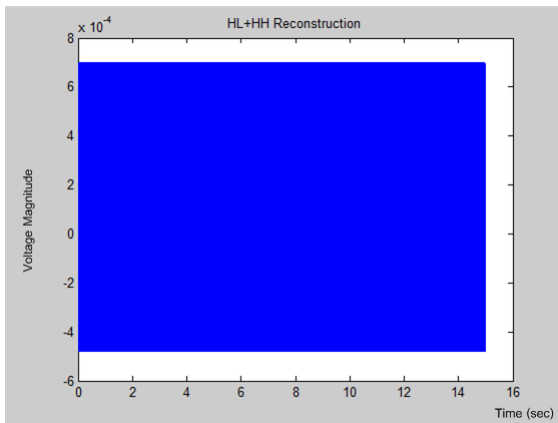
(ข)



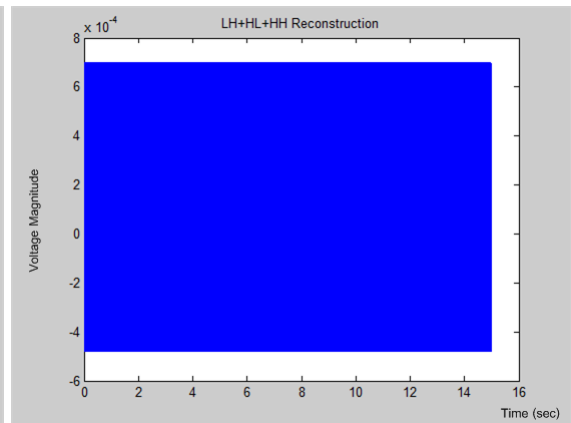
(ค)



(ค)

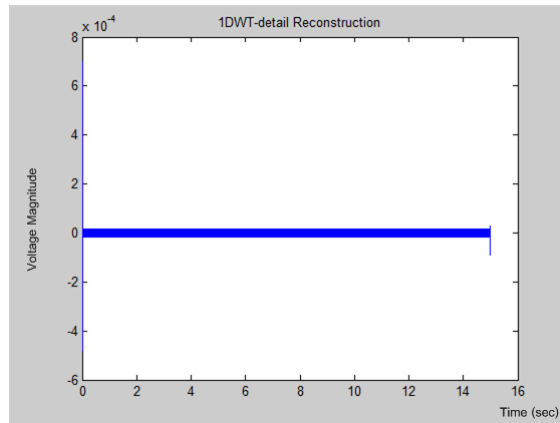


(ง)

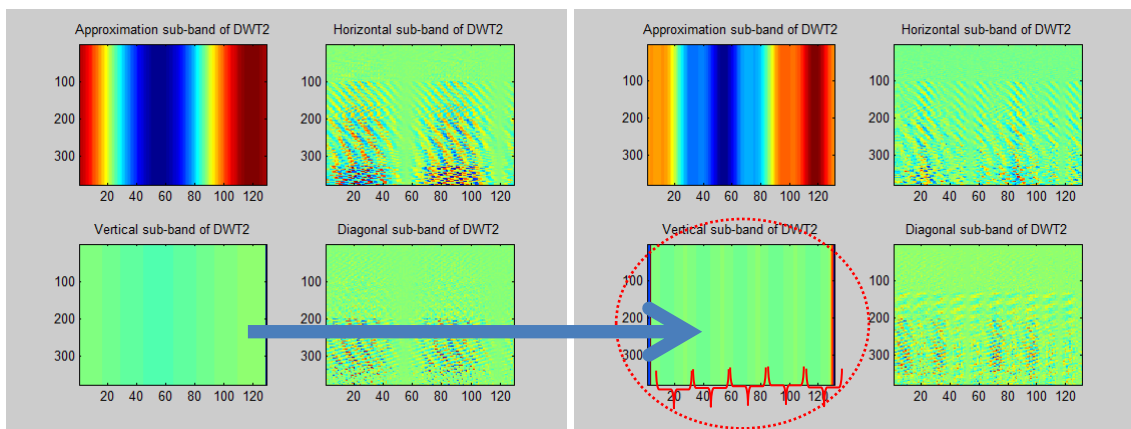


(ง)

ภาพที่ 5.9 (ต่อ) มิติ (จ) และ (ข) การสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย(ช) (ค) และ (ง) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อยเป็น 1 มิติ (ค) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย 3 ปริภูมิเป็น 1 มิติ



(ฎ)



สัญญาณปกติที่มีเฉพาะความถี่หลักมูล

สัญญาณที่มีฮาร์มอนิก

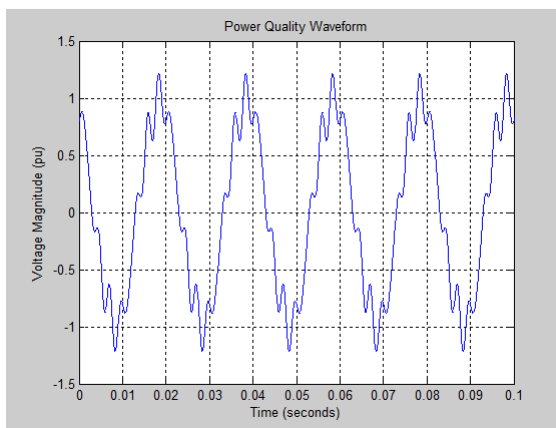
(ฏ)

ภาพที่ 5.9 (ต่อ) (ฎ) การสร้างคืนสัญญาณของส่วนหายจากการแปลงเวฟเลต 1 มิติ (ฎ) การแปลงเวฟเลต 2 มิติเฉพาะส่วนสัญญาณที่เป็นความถี่หลักมูล (ฎ) การตรวจจับฮาร์มอนิกที่ปริภูมิย่อย HL เมื่อเทียบกับสัญญาณปกติ

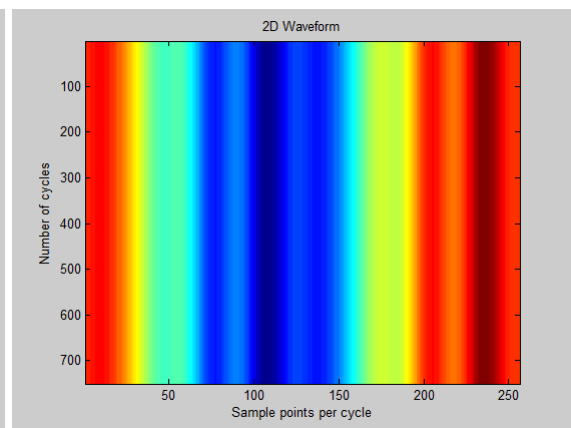
จากภาพที่ 5.9 รูป (ก) (ข) และ (ค) แสดงรูปเหตุการณ์ฮาร์มอนิกในแบบ 1 มิติ 2 มิติ และ 3 มิติ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิตินั้นสามารถตรวจจับความผิดปกติได้ในปริภูมิย่อย HL เป็นลักษณะของคลื่นไซน์ที่มีจำนวนลูกคลื่น 5 ลูก (1 ลูกคลื่นมีแถบสีเข้ม 1 แถบ และแถบสีอ่อน 1 แถบ) ตามภาพที่ 5.9 (ง) เมื่อเทียบกับปริภูมิย่อย HL ของการแปลงสัญญาณเฉพาะส่วนที่เป็นความถี่หลักมูลในภาพที่ 5.9 (ฎ) จึงสันนิษฐานได้ว่าปริภูมิย่อย HL น่าจะมีนัยสำคัญในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า เมื่อให้ปริภูมิย่อย HL เป็นปริภูมิหลักในการสร้างคืนสัญญาณในรูป 2 มิติร่วมกับปริภูมิย่อยอื่นๆ ไม่สามารถตรวจจับได้ตามรูปย่อยในภาพที่ 5.9 (จ) และ (ฉ) ซึ่งเมื่อพิจารณาตามวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัย (3) ตามภาพที่ 5.9 (ข) (ช) และ

(ฉ) จะเห็นว่าการใช้ปริภูมิย่อย HL ในภาพที่ 5.9 (ข) จากการแปลงเวฟเลต 2 มิติตรวจสอบสิ่งผิดปกติไม่ได้ แต่สามารถตรวจสอบสิ่งผิดปกติได้โดยไม่ต้องสร้างคีนสัญญาณ โดยนำภาพที่ 5.9 (ค) มาเปรียบเทียบกับสัญญาณไฟฟ้าปกติที่มีแต่ความถี่หลักมูลแสดงในภาพที่ 5.9 (ง) จะเห็นการความแตกต่างของปริภูมิย่อย HL ตามที่ลูกศรชี้สังเกตเห็นส่วนประกอบฮาร์มอนิกได้ง่ายสุด จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับวิธี (2) ในภาพที่ 5.9 (ญ) และ วิธี (1) ในภาพที่ 5.9 (ฎ) จะได้ผลการเปรียบเทียบการตรวจจับว่า วิธี (3) เท่านั้นที่ตรวจจับสิ่งผิดปกติได้ ดังผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.3

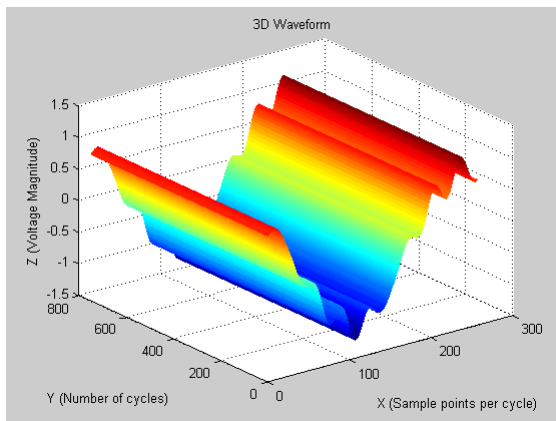
ตัวอย่างที่ 2 :ฮาร์มอนิกสังเคราะห์ข้อมูลที่มี 10 (องค์ประกอบฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, 5, 7 และ 9)



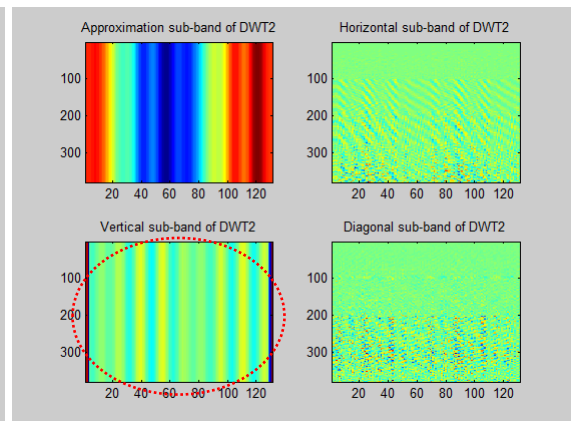
(ก)



(ข)

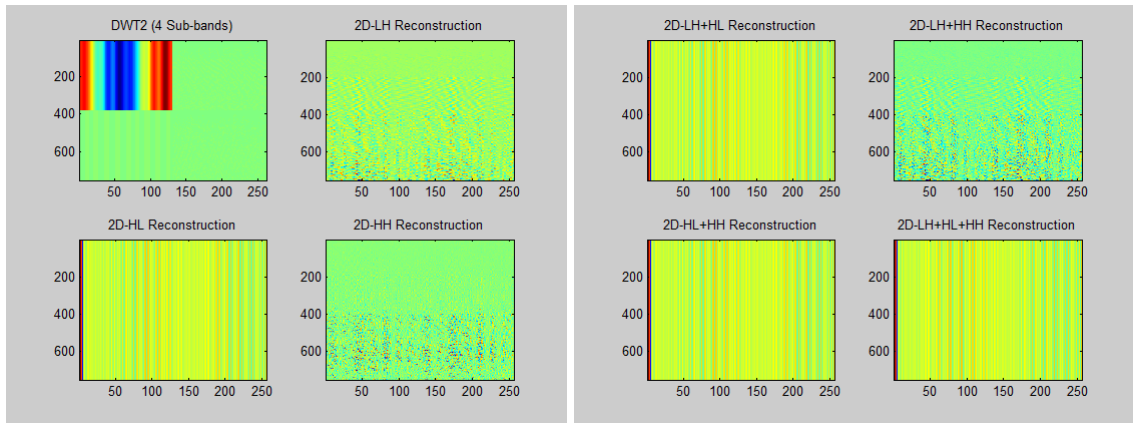


(ค)



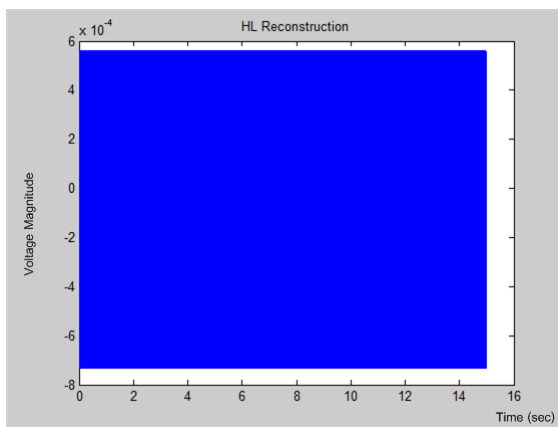
(ง)

ภาพที่ 5.10 (ก) สัญญาณไฟฟ้า 1 มิติ (ข) สัญญาณไฟฟ้า 2 มิติ (ค) แสดงสัญญาณไฟฟ้าแบบ 3 มิติ (ง) ปริภูมิย่อยการแปลงเวฟเลต 2 มิติ

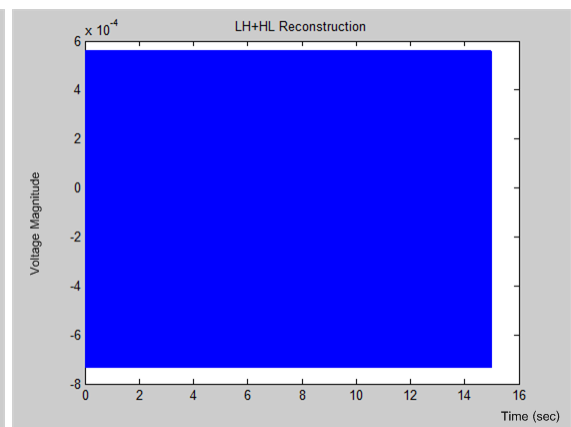


(จ)

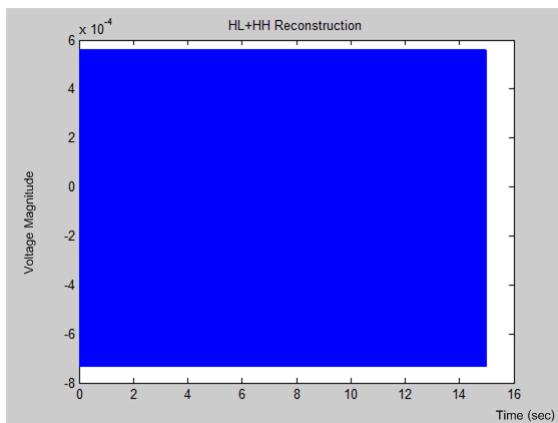
(ข)



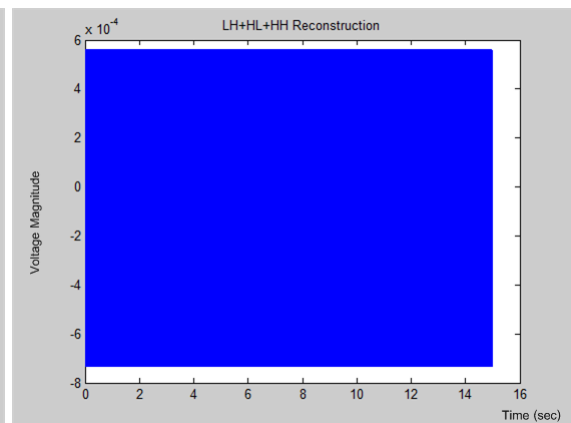
(ค)



(ด)

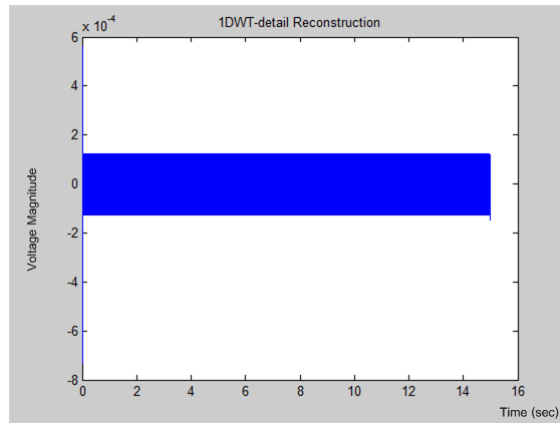


(ฉ)

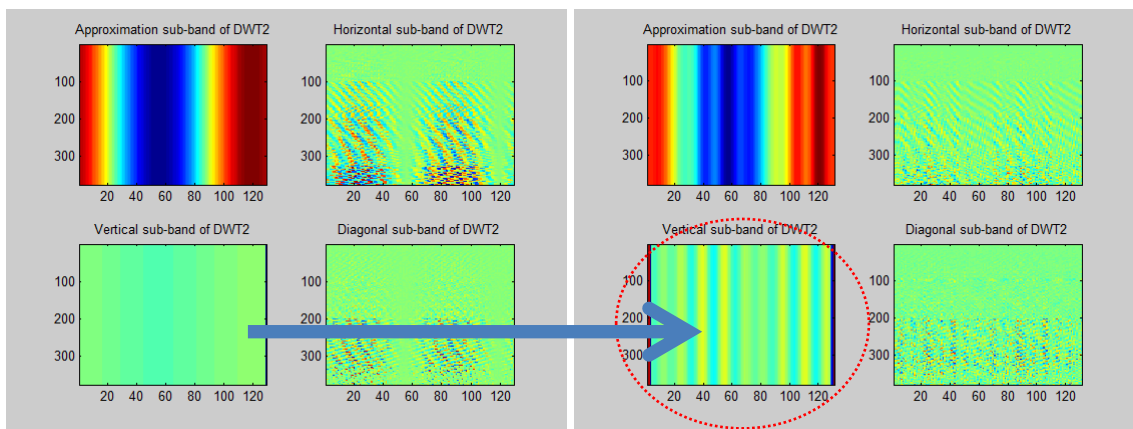


(ง)

ภาพที่ 5.10 (ต่อ) (จ) และ (ข) การสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย(ช) (ค) และ (ฉ) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อยเป็น 1 มิติ (ง) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย 3 ปริภูมิเป็น 1 มิติ



(ก)



สัญญาณปกติที่มีเฉพาะความถี่หลักมูล

สัญญาณที่มีฮาร์มอนิก

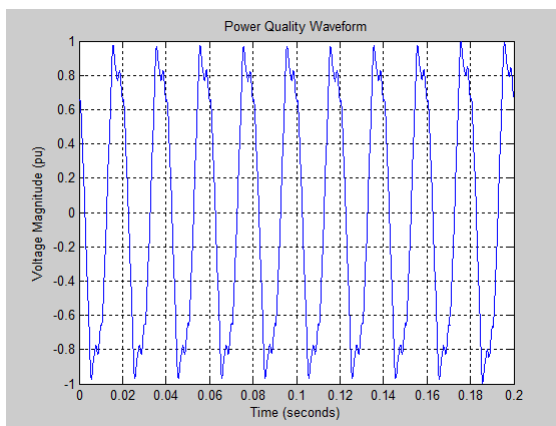
(ข)

ภาพที่ 5.10 (ต่อ) (ก) การสร้างคืนสัญญาณของส่วนหายจากการแปลงเวฟเลต 1 มิติ (ง) การตรวจจับฮาร์มอนิกที่ปริภูมิย่อย HL เมื่อเทียบกับสัญญาณปกติ

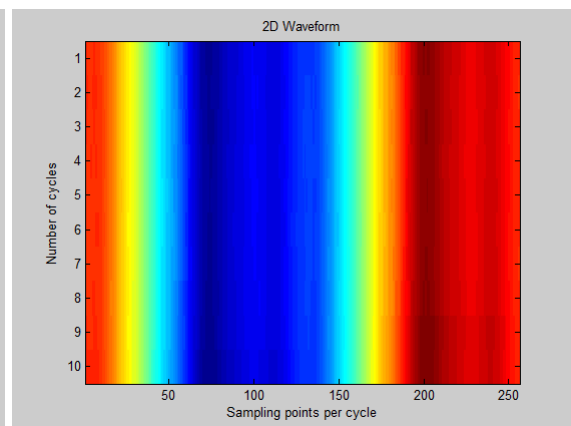
จากภาพที่ 5.10 รูป (ก) (ข) และ (ค) แสดงรูปเหตุการณ์ฮาร์มอนิกในแบบ 1 มิติ 2 มิติ และ 3 มิติ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิตินั้นสามารถตรวจจับความผิดปกติได้ในปริภูมิย่อย HL เป็นลักษณะของคลื่นไซน์ที่มีจำนวนลูกคลื่น 9 ลูก (1 ลูกคลื่นมีแถบสีเข้ม 1 แถบและแถบสีอ่อน 1 แถบ) ลูกตามภาพที่ 5.10 (ง) จึงสันนิษฐานได้ว่าปริภูมิย่อย HL น่าจะมีนัยสำคัญในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า เมื่อให้ปริภูมิย่อย HL เป็นปริภูมิหลักในการสร้างคืนสัญญาณในรูป 2 มิติร่วมกับปริภูมิย่อยอื่นๆ ไม่สามารถตรวจจับได้ตามรูปย่อยในภาพที่ 5.10 (จ) และ (ฉ) ซึ่งเมื่อพิจารณาตามวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัย (3) ตามภาพที่ 5.10 (ข) (ค) และ (ฅ) จะเห็นว่าการใช้ปริภูมิย่อย HL ในภาพที่ 5.10 (ข) จากการแปลงเวฟเลต 2 มิติตรวจสอบสิ่งผิดปกติไม่ได้ แต่สามารถตรวจสอบสิ่งผิดปกติได้โดยไม่ต้องสร้างคืนสัญญาณ ตามภาพที่

5.10 (ค) มาเปรียบเทียบกับสัญญาณไฟฟ้าปกติที่มีแต่ความถี่หลักมูลแสดงในภาพที่ 5.10 (ฎ) จะเห็นการความแตกต่างของปริมาณย่อย HL ตามที่ลูกศรชี้สังเกตเห็นส่วนประกอบฮาร์มอนิกได้ง่ายสุด จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับวิธี (2) ในภาพที่ 5.10 (ญ) และ วิธี (1) ในภาพที่ 5.10 (ฎ) จะได้ผลการเปรียบเทียบการตรวจจับว่า วิธี (3) เท่านั้นที่ตรวจจับสิ่งผิดปกติได้ โดยมีข้อสังเกตคือผลการตรวจจับจะแสดงเป็นลูกคลื่นไซน์ที่มีจำนวนลูกคลื่นตามองค์ประกอบฮาร์มอนิกที่สูงที่สุด ดังผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.3

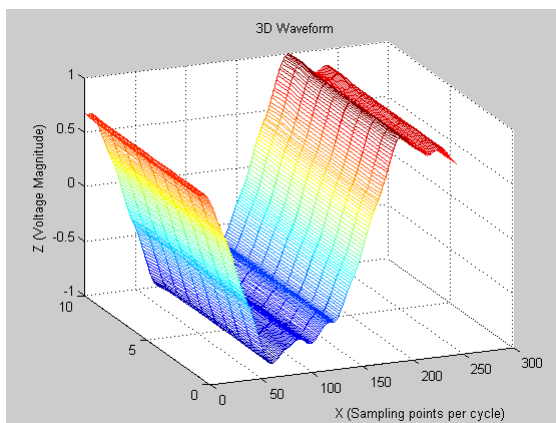
ตัวอย่างที่ 3 :ฮาร์มอนิกจริงข้อมูลที่ 1 (องค์ประกอบฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21 และ 23)



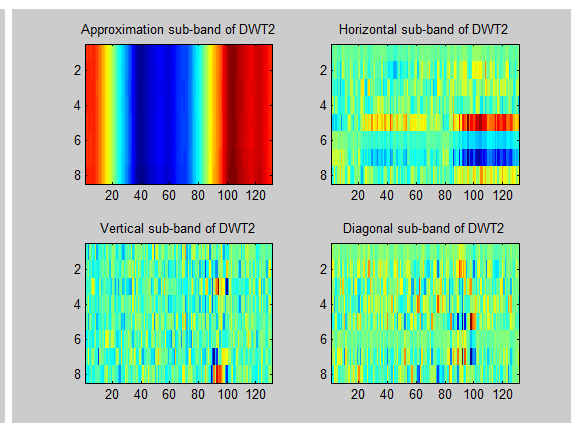
(ก)



(ข)

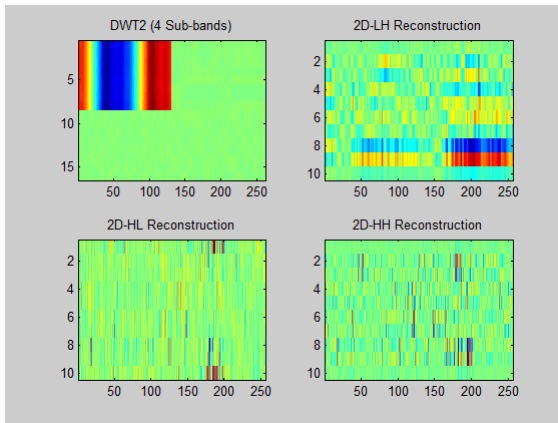


(ค)

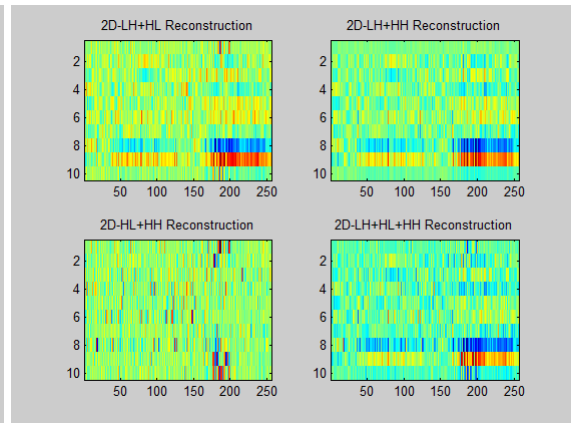


(ง)

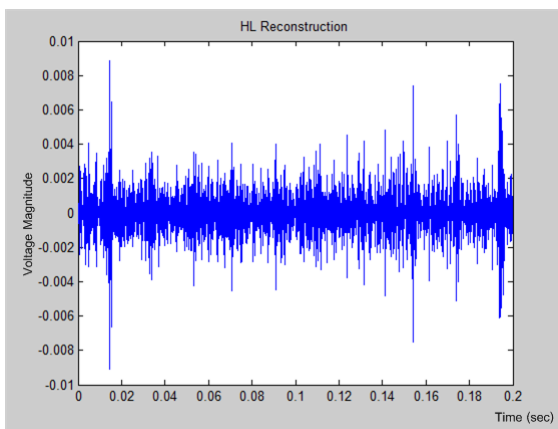
ภาพที่ 5.11 (ก) สัญญาณไฟฟ้า 1 มิติ (ข) สัญญาณไฟฟ้า 2 มิติ (ค) แสดงสัญญาณไฟฟ้าแบบ 3 มิติ (ง) ปริภูมิย่อยการแปลงเวฟเลต 2 มิติ



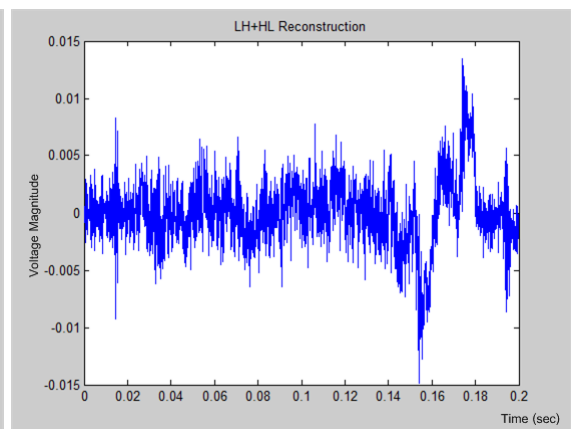
(จ)



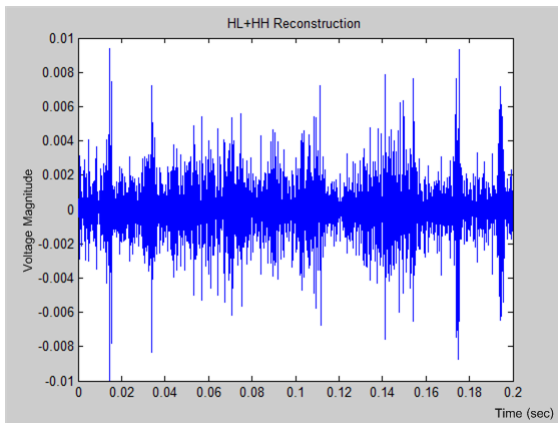
(ง)



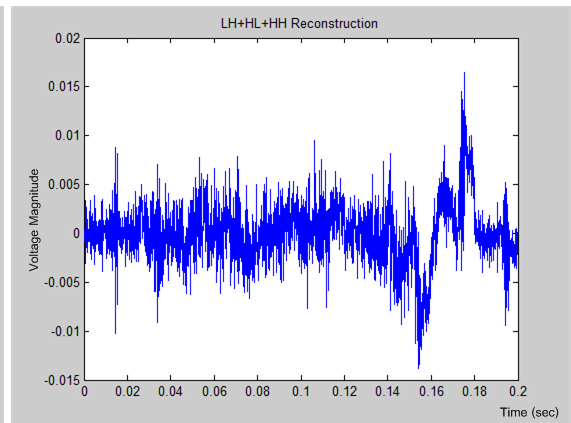
(ฉ)



(ช)

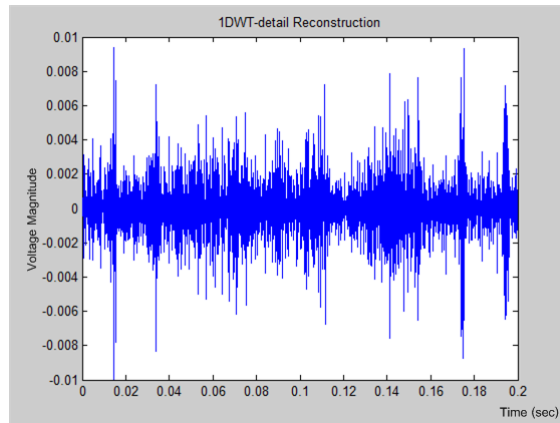


(ฅ)



(ฌ)

ภาพที่ 5.11 (ต่อ) (จ) และ (ง) การสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย (ช) (ฅ) และ (ฌ) แสดงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อยเป็น 1 มิติ (ญ) แสดงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย 3 มิติ

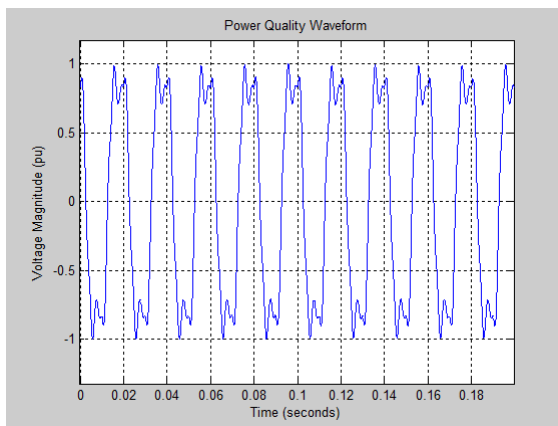


(ง)

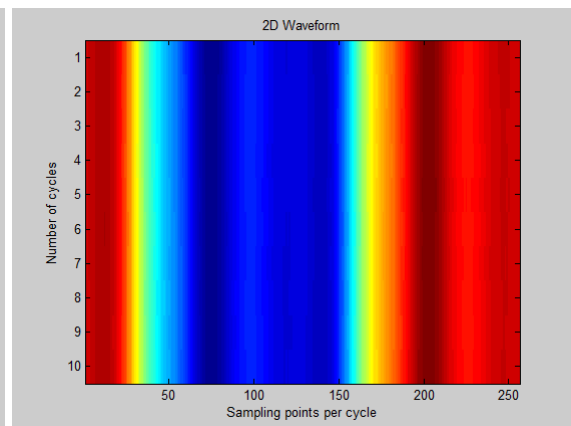
ภาพที่ 5.11 (ต่อ) (ง) การสร้างคืนสัญญาณของส่วนหยาบจากการแปลงเวฟเลต 1 มิติ

จากภาพที่ 5.11 รูป (ก) (ข) และ (ค) แสดงรูปเหตุการณ์ฮาร์มอนิกในแบบ 1 มิติ 2 มิติ และ 3 มิติ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติ นั้นไม่สามารถตรวจจับความผิดปกติได้ ตามภาพที่ 5.11 (ง) ทำให้การตรวจจับวิธี (3) ไม่สามารถทำได้ และเมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการตรวจจับตามวิธี (2) ในภาพที่ 5.11 (ญ) และ วิธี (1) ในภาพที่ 5.11 (ฎ) ก็ไม่สามารถตรวจจับสิ่งผิดปกติได้เช่นกัน ดังผลการแสดงในตารางที่ 5.3

ตัวอย่างที่ 4 :ฮาร์มอนิกจริงข้อมูลที่ 5 (องค์ประกอบฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, 5, 7, 9, 11)

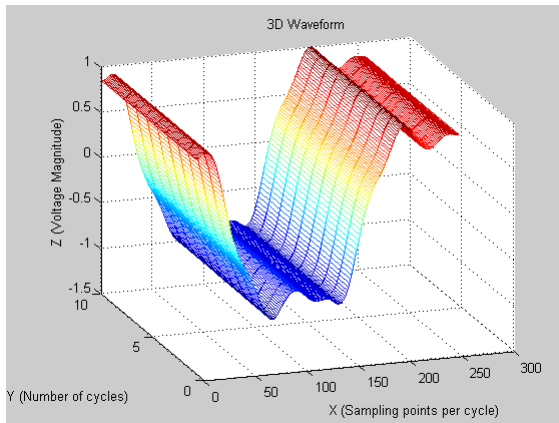


(ก)

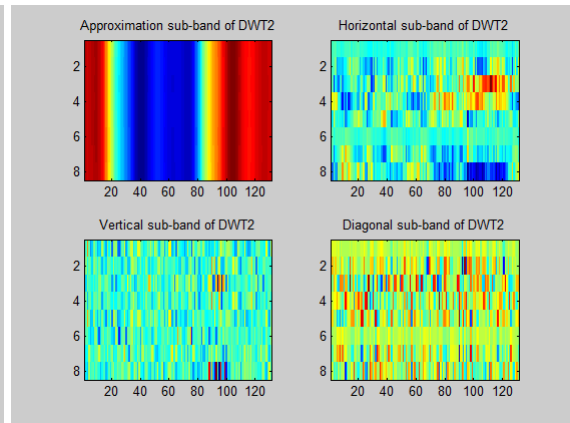


(ข)

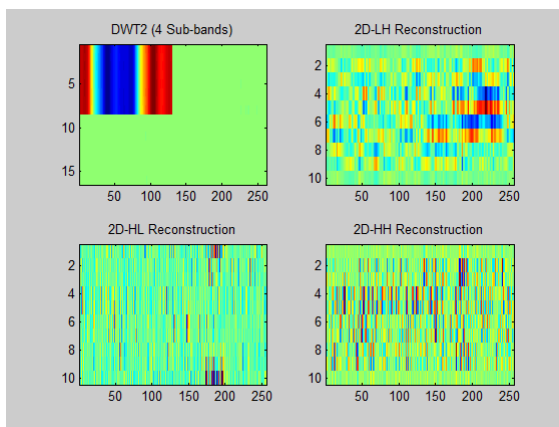
ภาพที่ 5.12 (ก) สัญญาณไฟฟ้า 1 มิติ (ข) สัญญาณไฟฟ้า 2 มิติ



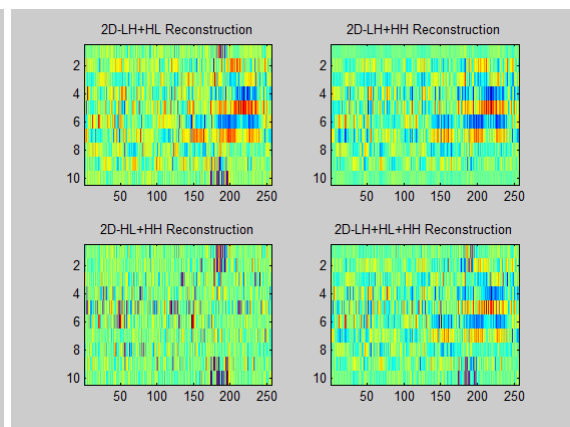
(ค)



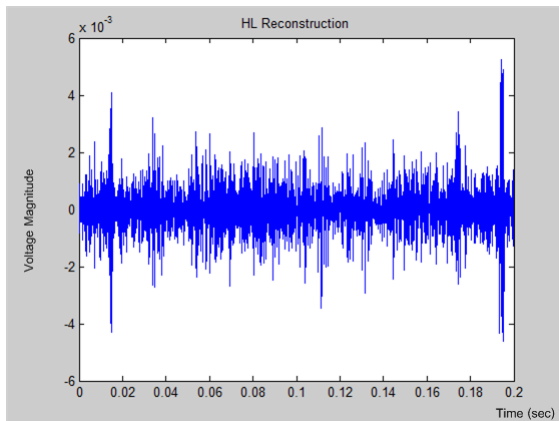
(ง)



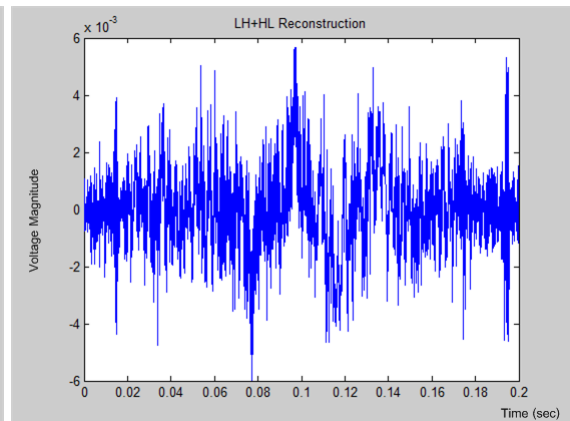
(จ)



(ฉ)

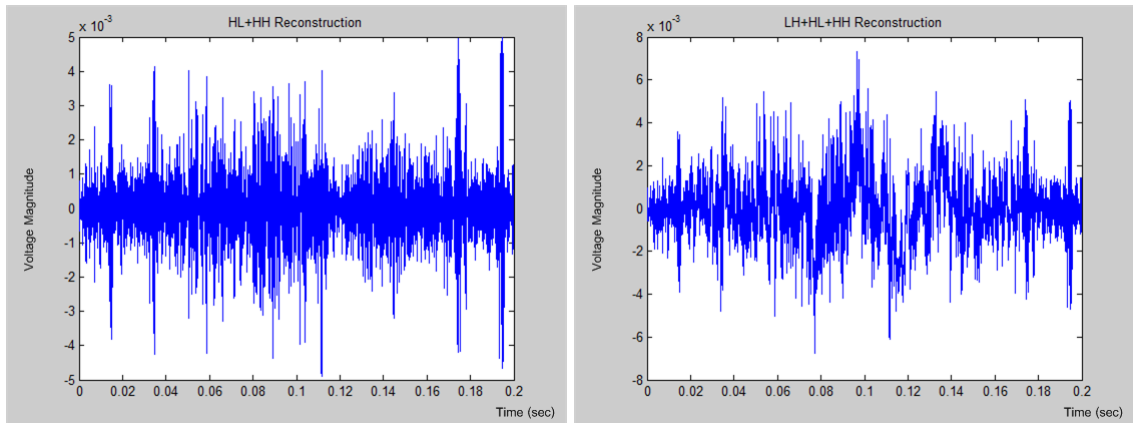


(ช)



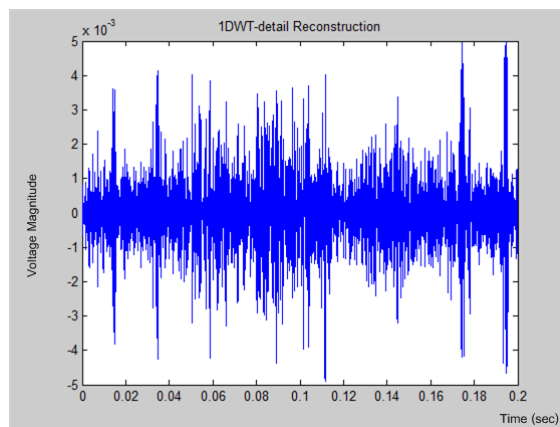
(ฐ)

ภาพที่ 5.12 (ต่อ) (ค) แสดงสัญญาณไฟฟ้าแบบ 3 มิติ (ง) ปริภูมิย่อยการแปลงเวฟเลต 2 มิติ (จ) และ (ฉ) การสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย (ช) และ (ฐ) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อยเป็น 1 มิติ



(ณ)

(ญ)

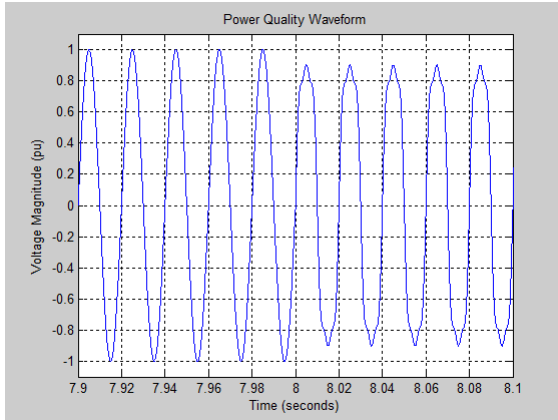


(ฎ)

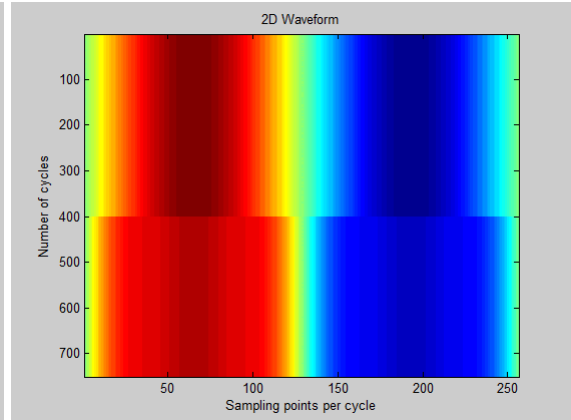
ภาพที่ 5.12 (ต่อ) (ณ) แปลงการส้รางคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อยเป็น 1 มิติ (ญ) แปลงการส้รางคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย 3 ปริภูมิเป็น 1 มิติ (ฎ) การส้รางคืนสัญญาณของส่วนหยาบจากการแปลงเวฟเลต 1 มิติ

จากภาพที่ 5.12 รูป (ก) (ข) และ (ค) แสดงรูปเหตุการณ์ฮาร์มอนิกในแบบ 1 มิติ 2 มิติ และ 3 มิติ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิตินั้นไม่สามารถตรวจจับความผิดปกติได้ ตามภาพที่ 5.12 (ง) ทำให้การตรวจจับวิธี (3) ไม่สามารถทำได้ และเมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการตรวจจับตามวิธีการในหัวข้อ (2) ในภาพที่ 5.12 (ญ) และ วิธี (1) ในภาพที่ 5.12 (ฎ) ก็ไม่สามารถตรวจจับสิ่งผิดปกติได้เช่นกัน ดังผลการแสดงในตารางที่ 5.3

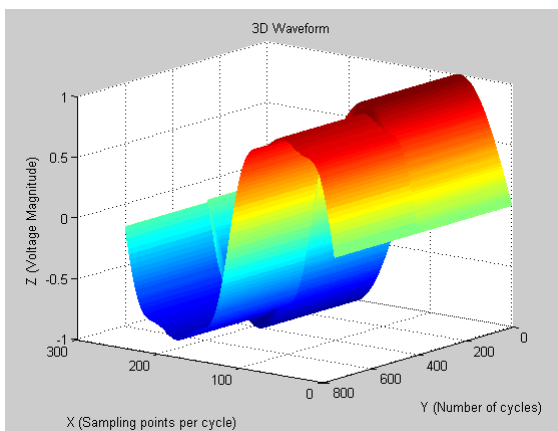
นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองสังเคราะห์เหตุการณ์ฮาร์มอนิกขึ้นมาอีก 1 เหตุการณ์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นช่วงที่แรงดันไฟฟ้าเป็นปกติไม่มีฮาร์มอนิกเลยจนถึงวินาทีที่ 8 ได้เกิดมีฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 และ 5 เกิดขึ้น (ขนาดของแรงดันฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 และ 5 มีค่า 0.17 และ 0.07 ตามลำดับ) โดยมีข้อจำกัดในการสังเคราะห์คือเฟสเริ่มต้นของแรงดันฮาร์มอนิกลำดับที่ 1, 3 และ 5 ตรงกัน โดยแสดงการตรวจจับของเหตุการณ์ฮาร์มอนิกสังเคราะห์นี้ ได้ตามภาพที่ 5.13 ดังนี้



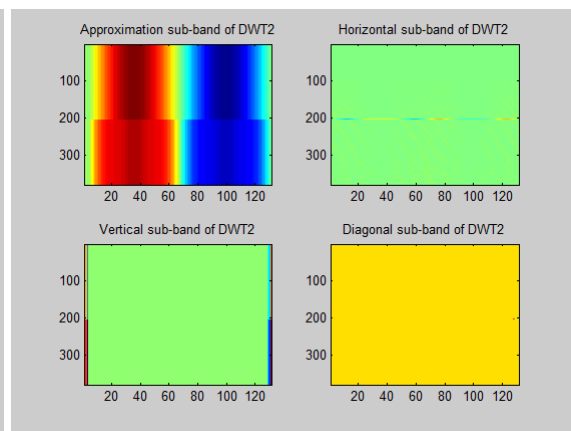
(ก)



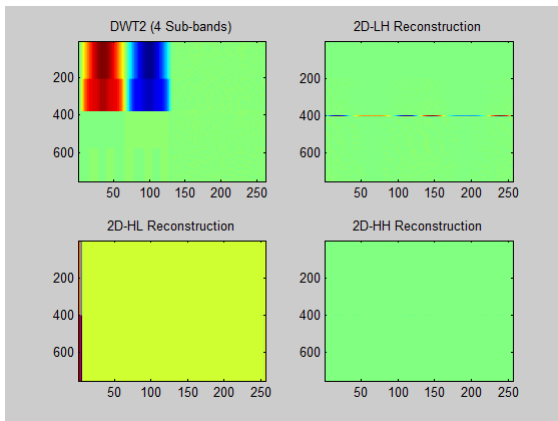
(ข)



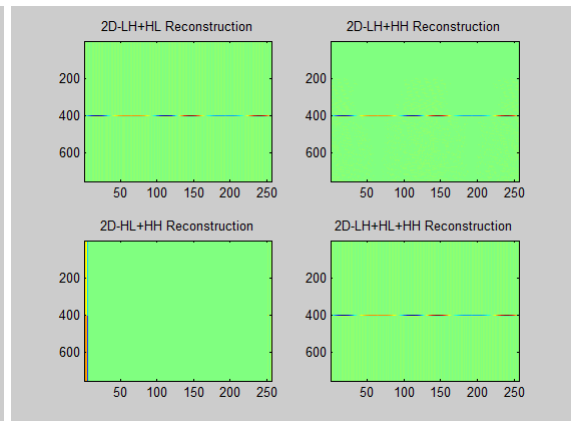
(ค)



(ง)

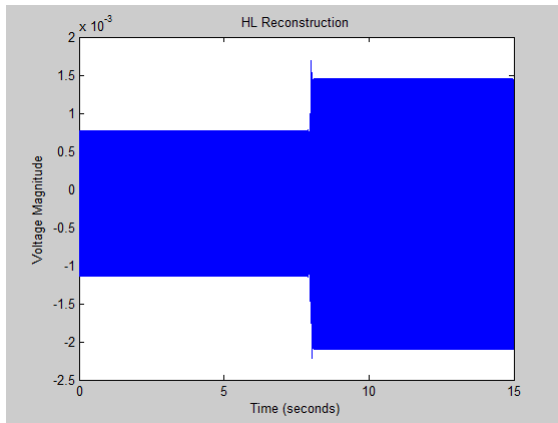


(จ)

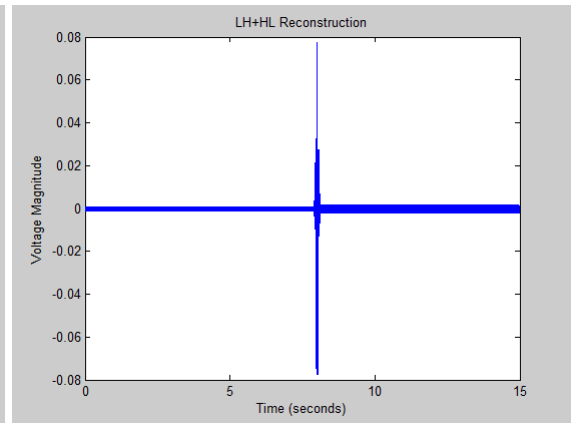


(ฉ)

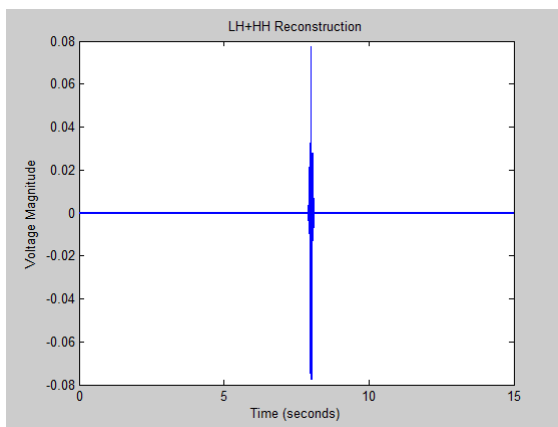
ภาพที่ 5.13 (ก) สัญญาณไฟฟ้า 1 มิติ (ข) สัญญาณไฟฟ้า 2 มิติ (ค) แสดงสัญญาณไฟฟ้าแบบ 3 มิติ (ง) ปริภูมิย่อยการแปลงเวฟเลต 2 มิติ (จ) และ (ฉ) การสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย



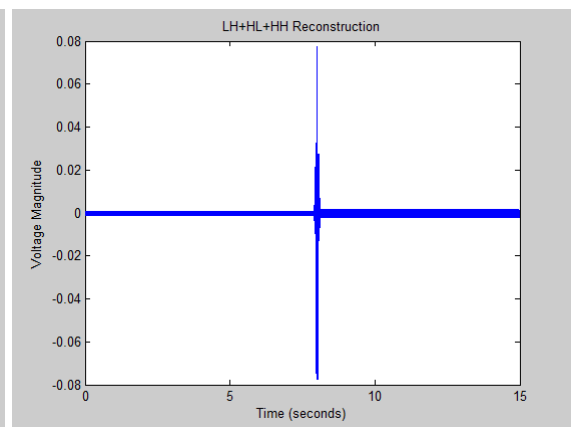
(จ)



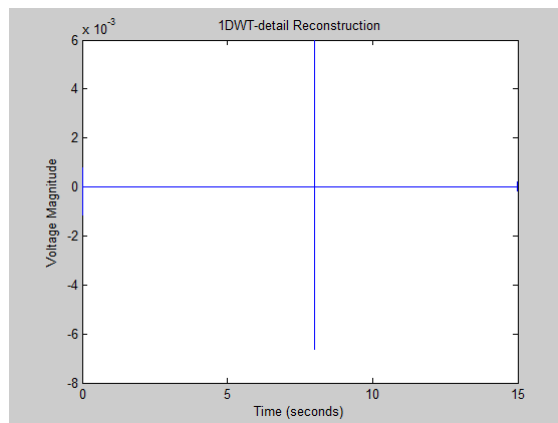
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพที่ 5.13 (ต่อ) (ข) และ (ค) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อยเป็น 1 มิติ (ค) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อยเป็น 1 มิติ (ง) แปลงการสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย 3 ปริภูมิเป็น 1 มิติ (จ) การสร้างคืนสัญญาณของส่วนหายจากการแปลงเวฟเลต 1 มิติ

จากภาพที่ 5.13 รูป (ก) (ข) และ (ค) แสดงรูปเหตุการณ์ฮาร์มอนิกในแบบ 1 มิติ 2 มิติ และ 3 มิติ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิตินั้นไม่สามารถตรวจจับความผิดปกติได้ ตามภาพที่ 5.13 (ง) ทำให้การตรวจจับวิธี (3) ไม่สามารถทำได้ และเมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการตรวจจับตามวิธีการในหัวข้อ (2) ในภาพที่ 5.13 (ญ) และ วิธี (1) ในภาพที่ 5.13 (ฎ) ก็ไม่สามารถตรวจจับสิ่งผิดปกติได้เช่นกัน

5.2 ผลการวิเคราะห์การตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า

จากผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่ได้นำเสนอให้หัวข้อ 5.1 แสดงผลได้ตามตารางที่ 5.1, 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ ให้ผลลัพธ์ ดังนี้

5.2.1 การตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะ

วิธีการตรวจจับด้วยปริภูมิย่อยเวฟเลต 2 มิติ (3) สามารถตรวจจับเหตุการณ์ที่เป็นสัญญาณสังเคราะห์ได้ 100% โดยปริภูมิย่อยที่มีนัยสำคัญในการตรวจจับคือ *LH* ซึ่งวิธีการตรวจจับด้วยเวฟเลต 1 มิติ (1) และเวฟเลต 2 มิติแบบไม่เลือกปริภูมิย่อย (2) ก็สามารถตรวจจับได้หมดเช่นกัน แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบความชัดเจนในการการตรวจจับ ณ ตำแหน่งที่เกิดสิ่งผิดปกติ วิธี (3) ให้ผลการตรวจจับโดยรวมดีกว่าวิธี (1) แต่ตรวจจับดีเท่ากับวิธี (2) และเมื่อทดสอบตรวจจับกับสัญญาณจริงปรากฏว่าวิธี (3) สามารถตรวจจับเหตุการณ์ได้หมด แต่เมื่อดูที่ปริภูมิย่อย *LH* จะตรวจจับเหตุการณ์ได้ถึง 78% และเมื่อเปรียบเทียบการตรวจจับวิธี (1) และ (2) จะได้ว่าวิธี (3) ให้ผลการตรวจจับดีที่สุดในช่วงตัวอย่าง และไม่มีที่ตรวจจับได้แย่งที่สุด:ซึ่งอาจเป็นผลมาจากมีสัญญาณกวน (Noise) ในบางเหตุการณ์จึงทำให้ผลในการตรวจจับแตกต่างจากเหตุการณ์ส่วนใหญ่

5.2.2 การตรวจจับทรานเซียนท์แบบกว้าง

วิธีการตรวจจับด้วยปริภูมิย่อยเวฟเลต 2 มิติ (3) สามารถตรวจจับเหตุการณ์ที่เป็นสัญญาณสังเคราะห์ได้ 100% โดยปริภูมิย่อยที่มีนัยสำคัญในการตรวจจับคือ *HL+HH* ซึ่งวิธีการตรวจจับด้วยเวฟเลต 1 มิติ (1) และเวฟเลต 2 มิติแบบไม่เลือกปริภูมิย่อย (2) ก็สามารถตรวจจับได้หมดเช่นกัน แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบความชัดเจนในการการตรวจจับ ณ ตำแหน่งที่เกิดสิ่งผิดปกติ วิธี (3) ตรวจจับดีเท่ากับวิธี (1) แต่ตรวจจับดีกว่าวิธี (2) และเมื่อทดสอบตรวจจับกับสัญญาณจริงปรากฏว่าวิธี (3) สามารถตรวจจับเหตุการณ์ได้หมด แต่เมื่อดูที่ปริภูมิย่อย *HL+HH* จะตรวจจับเหตุการณ์ได้ถึง 75% ซึ่งมีข้อมูลจริงในบางเหตุการณ์ที่วิธี (1) และ (2) ตรวจจับไม่ได้ ซึ่งถือว่าวิธีการที่นำเสนอมีความเหมาะสมในการตรวจจับข้อมูลจริงที่นำมาทดสอบ

5.2.3 การตรวจจับฮาร์มอนิก

วิธีการตรวจจับด้วยปริภูมิย่อยเวฟเลต 2 มิติ (3) สามารถตรวจจับเหตุการณ์ที่เป็นสัญญาณสังเคราะห์ได้ 100% โดยปริภูมิย่อยที่มีนัยสำคัญในการตรวจจับคือ HL ซึ่งการตรวจจับวิธี (1) และ (2) ไม่สามารถตรวจจับได้ และมีข้อสังเกตจากการตรวจจับโดยปริภูมิย่อย HL คือ ใช้การแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติโดยตรง ไม่ต้องสร้างคืนสัญญาณก็สามารถตรวจสอบฮาร์มอนิกส์ได้ โดยจะแสดงเป็นแถบของลูกคลื่นไซน์ที่จำนวนเท่ากับลูกคลื่นฮาร์มอนิกลำดับสูงที่สุดในสัญญาณ และเมื่อทดสอบตรวจจับกับสัญญาณจริงปรากฏว่าวิธีการทั้งสาม ไม่สามารถตรวจจับฮาร์มอนิกส์ได้เลย ซึ่งถือว่าเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้งานจริง

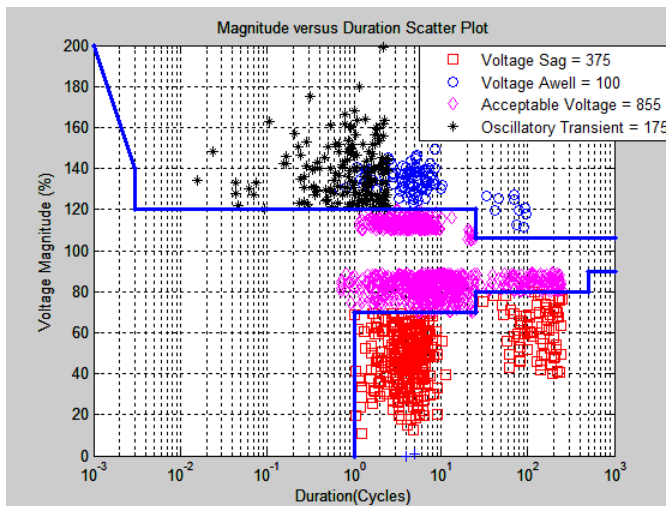
จากการวิเคราะห์การตรวจจับเหตุการณ์ทั้ง 3 ประเภทที่ได้ทดสอบทั้งสัญญาณที่สังเคราะห์และเหตุการณ์จริง (หัวข้อ 5.2.1, 5.2.2 และ 5.2.3) สามารถแสดงเป็นตารางเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ประสิทธิภาพในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่ได้จากการสังเคราะห์และเหตุการณ์จริงด้วยปริภูมิย่อยเวฟเลต 2 มิติ

เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า	จำนวนเหตุการณ์	ปริภูมิย่อยที่มีนัยสำคัญ	ประสิทธิภาพในการตรวจจับ (%)	ความผิดพลาดในการตรวจจับ (%)
แรงดันตกชั่วขณะ	19	LH	89.47	10.53
ทรานเซียนท์	14	HL+HH	92.86	7.14
ฮาร์มอนิก	15	HL	66.67	33.33

5.3 การจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า

การจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าในงานวิจัยนี้จะเป็นการทดสอบตามวิธีการและกระบวนการตามที่ได้กล่าวมาในบทที่ผ่านมาพร้อมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกประเภทของเหตุการณ์ตามวิธีที่ได้เสนอในงานวิจัยกับวิธีการอื่น โดยสัญญาณไฟฟ้าสังเคราะห์ 4 ประเภท ประกอบด้วยแรงดันตกชั่วขณะ, แรงดันเกินชั่วขณะ, แรงดันที่ยอมรับได้ และ ทรานเซียนท์แบบแกว่ง ตามเกณฑ์ของ ITIC แสดงในรูปแบบสแกตเตอร์พล็อต (Scatter plot) ได้ตามภาพที่ 5.14



ภาพที่ 5.14 สแกตเตอร์พล็อตเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าสังเคราะห์ (แรงดันตกชั่วขณะ แรงดันเกินชั่วขณะ แรงดันที่ยอมรับได้ และทรานเซียนท์) ตามเกณฑ์ของ ITIC

กำหนดให้ S1, S2, S3 และ S4 แทนเหตุการณ์ของแรงดันตกชั่วขณะ แรงดันเกินชั่วขณะ แรงดันที่ยอมรับได้ และทรานเซียนท์แบบกว้าง และมีจำนวนเหตุการณ์ 375, 100, 855 และ 175 เหตุการณ์ ตามลำดับ ผลการทดสอบการจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าด้วยเวฟเลตแบบ 2 มิติในงานวิจัย (หัวข้อ 3.2.1.2) แสดงผลได้ตามตารางที่ 5.5 และจำแนกด้วยเวฟเลตแบบ 1 มิติ (หัวข้อ 3.2.1.1) แสดงผลได้ตามตารางที่ 5.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.5 ประสิทธิภาพการจำแนกเหตุการณ์ไฟฟ้าสังเคราะห์ด้วยเวฟเลตแบบ 2 มิติ (เกณฑ์ของ ITIC)

เหตุการณ์ทาง คุณภาพไฟฟ้า	ผลการจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า				ประสิทธิภาพ (%)
	S1	S2	S3	S4	
S1	79	0	44	0	64.23
S2	0	26	6	1	78.79
S3	24	1	286	0	91.96
S4	1	6	13	40	66.67
ความแม่นยำของการจำแนกโดยรวม (%)				81.78/81.94	

หมายเหตุ ผลความแม่นยำของการจำแนกโดยรวมค่าที่สอง เป็นผลจากการสังเคราะห์เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าแล้วหาค่าความแม่นยำของการจำแนกโดยรวม จากนั้นทำการสังเคราะห์เหตุการณ์และหาผลความแม่นยำของการจำแนกโดยรวมใหม่อีก 4 ครั้งรวมทั้งหมดเป็น 5 ครั้งแล้วนำค่าความแม่นยำของการจำแนกโดยรวมมาหาค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 5.6 ประสิทธิภาพการจำแนกเหตุการณ์ไฟฟ้าสังเคราะห์ด้วยเวฟเลตแบบ 1 มิติ (เกณฑ์ของ ITIC)

เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า	ผลการจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า				ประสิทธิภาพ (%)
	S1	S2	S3	S4	
S1	85	0	67	0	55.92
S2	4	0	26	0	0
S3	7	0	282	0	97.58
S4	2	0	2	52	92.86
ความแม่นยำของการจำแนกโดยรวม (%)				79.51/77.72	

หมายเหตุ ผลความแม่นยำของการจำแนกโดยรวมค่าที่สอง เป็นผลจากการสังเคราะห์เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าแล้วหาค่าความแม่นยำของการจำแนกโดยรวม จากนั้นทำการสังเคราะห์เหตุการณ์และหาผลความแม่นยำของการจำแนกโดยรวมใหม่อีก 4 ครั้งรวมทั้งหมดเป็น 5 ครั้งแล้วนำค่าความแม่นยำของการจำแนกโดยรวมมาหาค่าเฉลี่ย

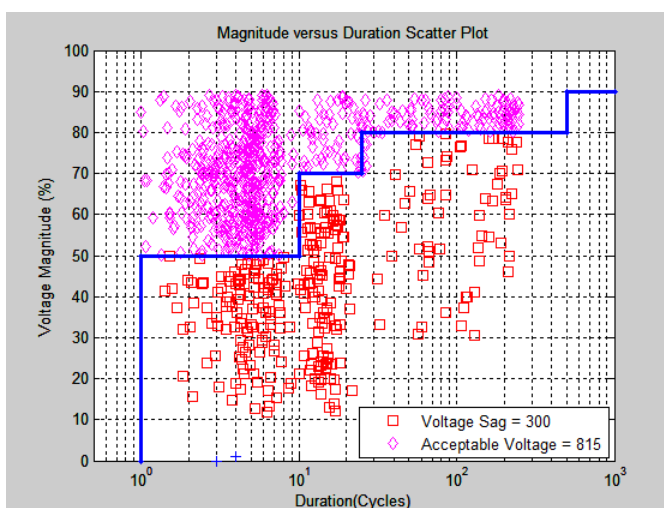
เมื่อนำเหตุการณ์จริงจำนวน 13 เหตุการณ์เข้ามาพร้อมกับข้อมูลสังเคราะห์ที่ใช้ทดสอบ จะได้ผลเปรียบเทียบความแม่นยำโดยรวมของการจำแนกด้วยเวฟเลตแบบ 2 มิติ และ 1 มิติ แสดงผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำของการจำแนกโดยรวมระหว่างวิธีการเวฟเลตแบบ 2 มิติกับแบบ 1 มิติ (เกณฑ์ของ ITIC)

วิธีการจำแนก	ความแม่นยำของการจำแนกโดยรวม (%)
เวฟเลตแบบ 2 มิติ	80.74/80.89
เวฟเลตแบบ 1 มิติ	77.96/76.63

หมายเหตุ ผลความแม่นยำของการจำแนกโดยรวมค่าที่สอง เป็นผลจากการเฉลี่ยค่าจาก 5 ครั้ง เช่นเดียวกับกับตารางที่ 5.5 และ 5.6

สำหรับการจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าของสัญญาณไฟฟ้าสังเคราะห์ 2 ประเภท ประกอบด้วยแรงดันตกชั่วขณะ และแรงดันที่ยอมรับได้ ตามเกณฑ์ของ SEMI F47 แสดงในรูปแบบสแกตเตอร์พล็อต (Scatter plot) ได้ตามภาพที่ 5.15



ภาพที่ 5.15 สแกตเตอร์พล็อตเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าสังเคราะห์ (แรงดันตกชั่วขณะ และแรงดันที่ยอมรับได้) ตามเกณฑ์ของ SEMI F47

กำหนด S1 และ S2 แทนเหตุการณ์ของแรงดันตกชั่วขณะ และแรงดันที่ยอมรับได้ และมีจำนวนเหตุการณ์ 300 และ 815 เหตุการณ์ตามลำดับ ผลการทดสอบการจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าด้วยเวฟเลตแบบ 2 มิติในงานวิจัย (หัวข้อ 3.2.1.2) แสดงผลได้ตามตารางที่ 5.8 และจำแนกด้วยเวฟเลตแบบ 1 มิติ (หัวข้อ 3.2.1.1) แสดงผลได้ตามตารางที่ 5.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.8 ประสิทธิภาพการจำแนกเหตุการณ์ไฟฟ้าสังเคราะห์ด้วยเวฟเลตแบบ 2 มิติ (เกณฑ์ของ SEMI F47)

เหตุการณ์ทาง คุณภาพไฟฟ้า	ผลการจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพ ไฟฟ้า		ประสิทธิภาพ (%)
	S1	S2	
S1	51	44	53.68
S2	14	211	93.78
ความแม่นยำของการจำแนกโดยรวม (%)			81.88/80.69

หมายเหตุ ผลความแม่นยำของการจำแนกโดยรวมค่าที่สอง เป็นผลจากการสังเคราะห์เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าแล้วหาค่าความแม่นยำของการจำแนกโดยรวม จากนั้นทำการสังเคราะห์เหตุการณ์และหาผลความแม่นยำของการจำแนกโดยรวมใหม่อีก 4 ครั้งรวมทั้งหมดเป็น 5 ครั้งแล้วนำค่าความแม่นยำของการจำแนกโดยรวมมาหาค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 5.9 ประสิทธิภาพการจำแนกเหตุการณ์ไฟฟ้าสังเคราะห์ด้วยเวฟเลตแบบ 1 มิติ (เกณฑ์ของ SEMI F47)

เหตุการณ์ทาง คุณภาพไฟฟ้า	ผลการจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพ ไฟฟ้า		ประสิทธิภาพ (%)
	S1	S2	
S1	62	50	55.36
S2	7	201	96.63
ความแม่นยำของการจำแนกโดยรวม (%)			82.19/83.38

หมายเหตุ ผลความแม่นยำของการจำแนกโดยรวมค่าที่สอง เป็นผลจากการสังเคราะห์เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าแล้วหาค่าความแม่นยำของการจำแนกโดยรวม จากนั้นทำการสังเคราะห์

เหตุการณ์และหาผลความแม่นยำของการจำแนกโดยรวมใหม่อีก 4 ครั้งรวมทั้งหมดเป็น 5 ครั้งแล้ว นำค่าความแม่นยำของการจำแนกโดยรวมมาหาค่าเฉลี่ย

เมื่อนำเหตุการณ์จริงเข้ามาพร้อมกับข้อมูลสังเคราะห์ที่ใช้ทดสอบ จะได้ผลเปรียบเทียบความแม่นยำโดยรวมของการจำแนกด้วยเวฟเลตแบบ 2 มิติ และ 1 มิติ แสดงผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำของการจำแนกโดยรวมระหว่างวิธีการเวฟเลตแบบ 2 มิติกับแบบ 1 มิติ (เกณฑ์ของ SEMI F47)

วิธีการจำแนก	ความแม่นยำของการจำแนกโดยรวม (%)
เวฟเลตแบบ 2 มิติ	79.94/79.27
เวฟเลตแบบ 1 มิติ	80.24/81.40

หมายเหตุ ผลความแม่นยำของการจำแนกโดยรวมค่าที่สอง เป็นผลจากการเฉลี่ยค่าจาก 5 ครั้ง เช่นเดียวกันกับตารางที่ 5.8 และ 5.9

5.4 ผลการวิเคราะห์การจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า

จากผลในการจำแนกประเภทของเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าตามเกณฑ์ของ ITIC ด้วยการใชเวฟเลตแบบ 2 มิติในตารางที่ 5.5 มีความแม่นยำในการจำแนกโดยรวม 81.78% เมื่อดูการจำแนกเหตุการณ์ในแต่ละเหตุการณ์นั้นประสิทธิภาพของการจำแนกใกล้เคียงกับความแม่นยำของการจำแนกโดยรวมยกเว้นแรงดันที่ยอมรับได้ที่สูงกว่าค่าแม่นยำโดยรวมค่อนข้างมาก แต่วิธีการใช้เวฟเลตแบบ 1 มิติในตารางที่ 5.6 ให้ผลความแม่นยำในการจำแนกโดยรวมอยู่ที่ 79.51% ซึ่งค่าประสิทธิภาพของการการจำแนกเหตุการณ์ในแต่ละเหตุการณ์มีค่าแตกต่างจากความแม่นยำโดยรวมมากกว่าวิธีจำแนกด้วยเวฟเลตแบบ 2 มิติ โดยการจำแนกในเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะมีค่าประสิทธิภาพต่ำ และแรงดันเกินชั่วขณะไม่สามารถจำแนกได้เลยและเมื่อนำเหตุการณ์ไฟฟ้าจริง 13 ตัวอย่างที่ใช้ในหัวข้อ 5.1 อันประกอบไปด้วยเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะ 6 เหตุการณ์ แรงดันที่ยอมรับได้ 3 เหตุการณ์ และทรานเซียนท์แบบกว้าง 4 เหตุการณ์ มาทดสอบรวมไปกับข้อมูลที่ใช้ทดสอบเดิม เปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกระหว่างเวฟเลต 2 มิติและ 1 มิติ ได้ตามตารางที่ 5.7 ได้ผลความแม่นยำโดยรวม 80.74% และ 77.96% ตามลำดับ ลดลงจากเดิมเล็กน้อย เนื่องจากทั้งสองวิธีจำแนกเหตุการณ์จริงได้บางเหตุการณ์ และจากตารางที่ 5.4 5.5 และ 5.6 จะเห็นได้ว่าการจำแนกด้วยวิธีการใช้เวฟเลตแบบ 2 มิติ (หัวข้อ 3.2.1.2) มีความแม่นยำใน

การจำแนกโดยรวมสูงกว่าวิธีการใช้เวฟเลตแบบ 1 มิติ (หัวข้อ 3.2.1.1) และมีความเหมาะสมในการใช้จำแนกแรงดันเกินชั่วขณะ

ส่วนผลการจำแนกประเภทของเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าตามเกณฑ์ของ SEMI F47 จะเห็นว่าผลการจำแนกด้วยเวฟเลตแบบ 2 มิติในตารางที่ 5.8 มีความแม่นยำในการจำแนกโดยรวม 81.88% ส่วนวิธีเวฟเลตแบบ 1 มิติได้ผลตามตารางที่ 5.9 มีความแม่นยำในการจำแนกโดยรวม 82.19% โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกในแต่ละเหตุการณ์วิธีเวฟเลตแบบ 2 มิติมีค่าน้อยกว่าวิธีเวฟเลตแบบ 1 มิติและเมื่อนำเหตุการณ์ไฟฟ้าจริง 9 เหตุการณ์จาก 13 เหตุการณ์เดิมที่ใช้จำแนกตามเกณฑ์ ITIC โดยยกเว้นสัญญาณที่เป็นทรานเซียนท์ สามารถแยกประเภทของเหตุการณ์ได้เป็น แรงดันตกชั่วขณะ 1 เหตุการณ์ และแรงดันที่ยอมรับได้ 8 เหตุการณ์ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกระหว่างเวฟเลต 2 มิติและ 1 มิติ ได้ตามตารางที่ 5.10 ได้ผล ความแม่นยำโดยรวม 79.94% และ 80.24% ตามลำดับ ลดลงจากเดิมเล็กน้อย เนื่องจากทั้งสองวิธีจำแนกเหตุการณ์จริงได้บางเหตุการณ์ และจากตารางที่ 5.8 5.9 และ 5.10 จะเห็นได้ว่าการจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าตามเกณฑ์ SEMI F47 ด้วยวิธีการใช้เวฟเลตแบบ 2 มิติ (หัวข้อ 3.2.1.2) มีความแม่นยำในการจำแนกโดยรวมต่ำกว่าวิธีการใช้เวฟเลตแบบ 1 มิติ (หัวข้อ 3.2.1.1) ซึ่งอาจเป็นเพราะการจำแนกใช้เวฟเลตแบบ 1 มิติมีความเหมาะสมกับการจำแนกเหตุการณ์แรงดันที่ยอมรับได้มากกว่าการจำแนกใช้เวฟเลตแบบ 2 มิติ ดังจะเห็นได้จากการจำแนกตามเกณฑ์ ITIC และ SEMI F47 ส่วนเหตุการณ์ที่เป็นแรงดันตกชั่วขณะวิธีการใช้เวฟเลตแบบ 2 มิติ และ 1 มิติสามารถจำแนกได้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษากระบวนการตรวจจับและจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า โดยการใช้การแปลงเวฟเลขแบบเต็มหน่วยแบบ 2 มิติ ด้วยการเลือกปริภูมีย่อยในการตรวจจับ เหตุการณ์ที่ผิดปกติเปรียบเทียบกับวิธีการตรวจจับแบบใช้การแปลงเวฟเลขแบบ 2 มิติไม่เลือก ปริภูมีย่อยและวิธีการตรวจจับแบบใช้การแปลงเวฟเลขแบบ 1 มิติ โดยทั้ง 3 วิธีจะอาศัยเทคนิค การสร้างคั่นสัญญาณ(การแปลงกลับเวฟเลข) ผลการทดสอบการตรวจจับตามวิธีการที่นำเสนอ จะเห็นว่าการเลือกปริภูมีย่อยของเวฟเลขแบบ 2 มิติที่เหมาะสมจะมีส่วนสำคัญในการตรวจจับ เหตุการณ์ไฟฟ้าแต่ละประเภท

ส่วนการจำแนกประเภทเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าจะเป็นการประยุกต์ใช้เวฟเลขแบบ 2 มิติเปรียบเทียบกับวิธีการใช้เวฟเลขแบบ 1 มิติ โดยเป็นการแปลงเวฟเลข 2 มิติใน 3 ระดับเพื่อให้ ครอบคลุมคุณสมบัติของเหตุการณ์ไฟฟ้าแต่ละประเภทร่วมกับช่างงานประสาทในการจำแนก เหตุการณ์ โดยก่อนที่ให้นำมาผ่านกระบวนการช่างงานประสาทจำเป็นต้องลดปริมาณสัมประสิทธิ์ ข้อมูลที่ได้จากการกระจายสัญญาณด้วยเวฟเลข เพื่อลดเวลาในการทำงานของช่างงานประสาท ด้วย โดยการลดจำนวนแต่ยังให้คุณสมบัติเดิมครบถ้วนจึงจำเป็นต้องมีการใช้กระบวนการสกัด คุณลักษณะ

ในการทดสอบกระบวนการต่าง ๆ นั้น เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบมีปริมาณน้อย จึงจำเป็นต้องสังเคราะห์สัญญาณขึ้นมาเพื่อใช้ทดสอบ ซึ่งการสังเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MATLAB ตามเกณฑ์มาตรฐานทางไฟฟ้าต่างๆ เช่น ITIC Curve หรือ SEMI F47 ร่วมกับ เหตุการณ์จริงอีกจำนวนหนึ่ง ซึ่งผลการทดสอบการจำแนกที่ได้จะเห็นได้ว่าวิธีการที่ใช้ในการวิจัย ให้ประสิทธิภาพการจำแนกตามเกณฑ์ ITIC สูงกว่า ซึ่งจุดเด่นจากการจำแนกเหตุการณ์ทาง คุณภาพไฟฟ้าด้วยเวฟเลข 2 มิติคือสามารถจำแนกเหตุการณ์แรงดันเกินชั่วขณะได้ดีกว่าการ จำแนกด้วยเวฟเลข 1 มิติ แต่ข้อด้อยของวิธีการจำแนกเหตุการณ์ด้วยเวฟเลข 2 มิติของแรงดันที่ ยอมรับได้ ทราจเซียนท์แบบแกว่งถึงแม้จะมีประสิทธิภาพสูงแต่การจำแนกเหตุการณ์ทั้งสามที่ได้ กล่าวมาด้วยวิธีเวฟเลข 1 มิติมีประสิทธิภาพที่สูงมากจนเกือบจะจำแนกได้เกือบทั้งหมด ส่วนการ จำแนกตามเกณฑ์ SEMI F47 ก็จะเป็นการชี้ให้เห็นว่าวิธีการจำแนกโดยใช้เวฟเลขแบบ 2 มิติที่มี ข้อจำกัดในการจำแนกแรงดันที่ยอมรับได้น้อยกว่าการใช้เวฟเลขแบบ 1 มิติตามเกณฑ์ ITIC จึงทำ

ให้ผลความแม่นยำของการจำแนกโดยรวมมีค่าต่ำกว่า ดังนั้นการจำแนกเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าตามเกณฑ์ SEMI F47 การใช้เวฟเลตแบบ 2 มิติอาจไม่เหมาะสมเมื่อเทียบกับการใช้เวฟเลตแบบ 1 มิติ

6.1.1 แนวทางการเลือกปริภูมิย่อยในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้า

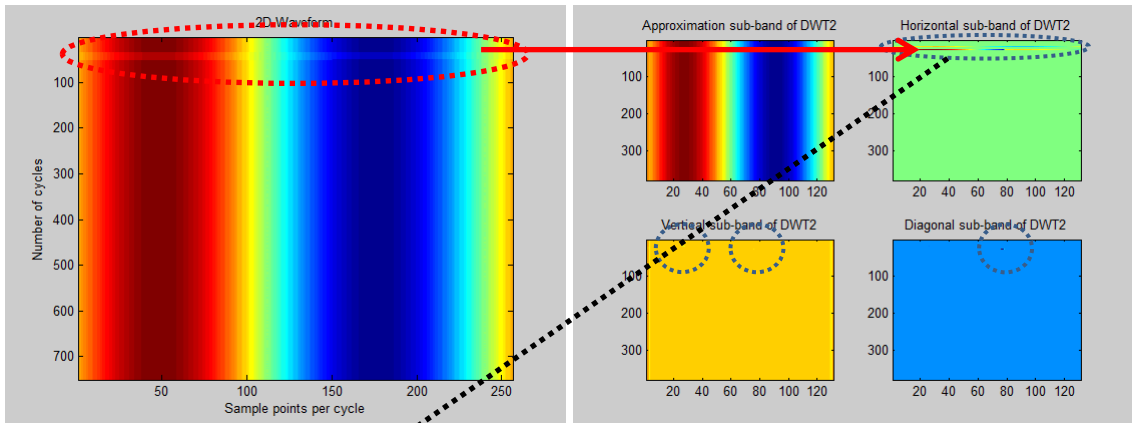
ในการเลือกปริภูมิย่อยเพื่อตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้านั้นจะคำนึงถึงการเลือกปริภูมิย่อยที่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างจากปริภูมิย่อยอื่นๆ ได้มากที่สุดเมื่อมองจากค่าสัมประสิทธิ์ในปริภูมิย่อยนั้นๆ การสังเกตรายละเอียดในแนวตั้งและแนวนอนมีคุณสมบัติ ดังนี้

- 1) รายละเอียดในแนวนอน (Horizontal detail) จะมีคุณสมบัติอยู่ในปริภูมิย่อย LH และ HH จะตรวจจับการเปลี่ยนแปลงไปตามแนวแกน Y สามารถใช้เปรียบเทียบสัญญาณลูกคลื่นก่อนหน้าและตามหลังของลูกคลื่นที่เราสนใจ จึงสังเกตความผิดปกติทางด้านขนาดของสัญญาณและทางด้านเฟสได้ดี
- 2) รายละเอียดในแนวตั้ง (Vertical detail) จะมีคุณสมบัติอยู่ในปริภูมิย่อย HL และ HH จะตรวจจับการเปลี่ยนแปลงไปตามแนวแกน X ซึ่งจะให้ผลการสังเกตทางด้านความถี่ที่เกิดขึ้นของลูกคลื่นสัญญาณได้ดี

จากคุณสมบัติดังกล่าว สามารถนำไปเลือกปริภูมิย่อยของเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่ได้ทดสอบ ดังนี้

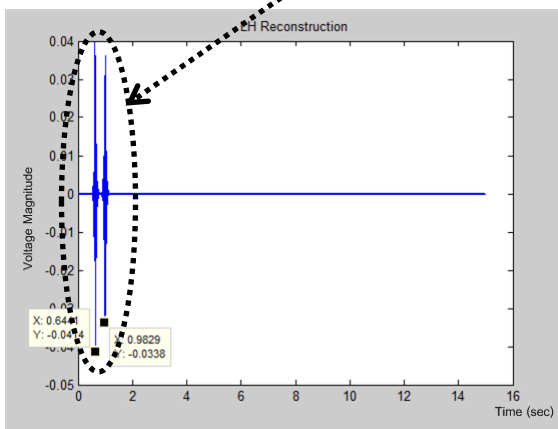
6.1.1.1 แรงดันตกชั่วขณะ

การเลือกใช้ปริภูมิย่อย LH มีความเหมาะสมในการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะ ดังแสดงในภาพที่ 6.1 เนื่องจากแรงดันตกชั่วขณะมีลักษณะของการเกิดเหตุการณ์โดยความถี่ของระบบไฟฟ้าไม่เปลี่ยนแปลง แต่มีขนาดแรงดันลดลงในเวลาที่ยาวกว่าทรานเซียนท์ ซึ่งเวลาในการเกิดจะอยู่ในช่วง 0.5 ลูกคลื่นจนไปถึง 1 นาที การสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้าที่แปลงเวฟเลต 2 มิติในแนวนอน ซึ่งก็คือคุณสมบัติของปริภูมิย่อย LH ในภาพที่ 6.1 (ข) รูปบนขวา ที่ให้รายละเอียดในแนวนอน จึงยาวจนสามารถเห็นได้ง่ายที่สุดเมื่อเทียบกับการสังเกตในแนวแกนตั้งในปริภูมิย่อย HL ซึ่งจะเห็นการเปลี่ยนแปลงเป็น 2 จุดแต่จะต้องใช้เวลาในการหานานมากกว่าในภาพที่ 6.1 (ข) รูปล่างซ้าย และปริภูมิย่อย HH ซึ่งเห็นเพียง 1 จุดไม่สามารถเห็นจุดที่แรงดันเริ่มตกในภาพที่ 6.1 (ข) รูปล่างขวา ซึ่งใช้ LH ตรวจจับเพียงปริภูมิเดียวก็เพียงพอ ดังภาพที่ 6.1 (ค) เมื่อเทียบกับภาพที่ 6.1 (ง)

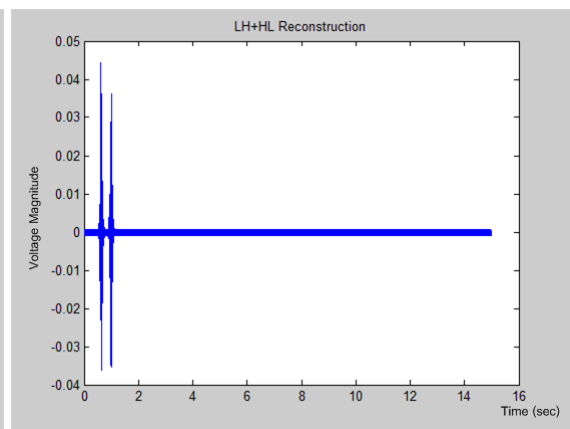


(ก)

(ข)



(ค)

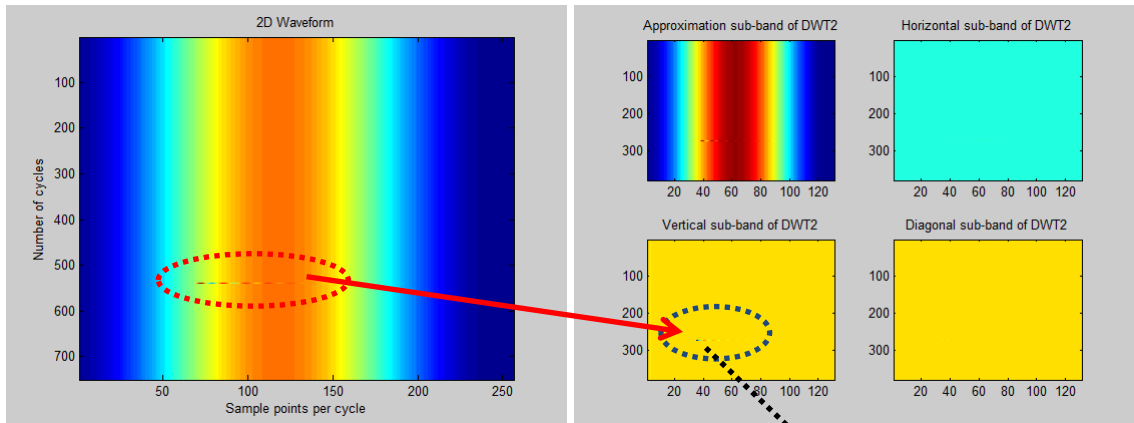


(ง)

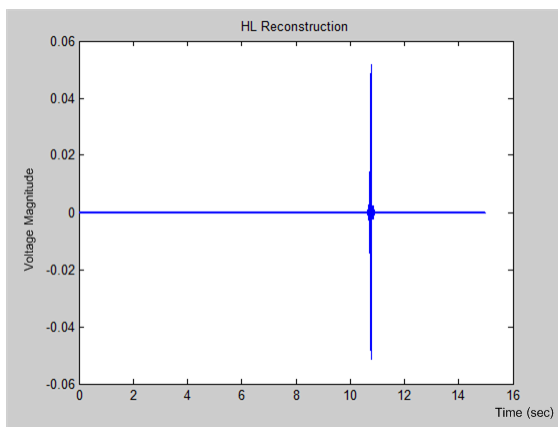
ภาพที่ 6.1 การตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะด้วยปริภูมิย่อย LH (ก) แรงดันตกชั่วขณะในแบบ 2 มิติ (ข) การกระจายสัญญาณด้วยเวฟเลต 2 มิติ (ค) การสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย LH (ง) การสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย $LH+HL$

6.1.1.2 ทรานเซียนท์แบบแกว่ง

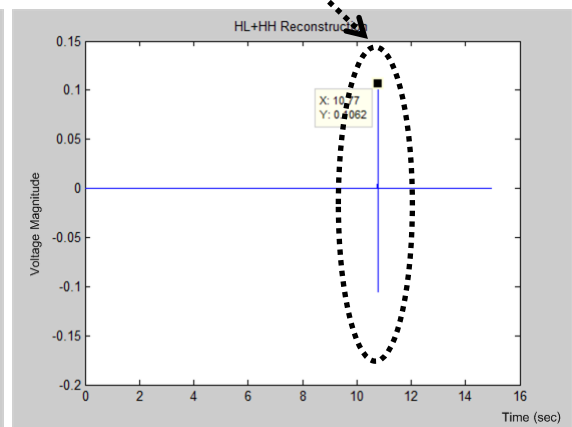
การเลือกใช้ปริภูมิย่อย HL ร่วมกับ HH มีความเหมาะสมในการตรวจจับทรานเซียนท์แบบแกว่ง ดังแสดงในภาพที่ 6.2 เนื่องจากมีลักษณะของการเกิดเหตุการณ์ที่เร็วมาก 5 μs จนถึง 50 ms ซึ่งขนาดของแรงดันที่อาจสูงถึง 8 เท่าของแรงดันไฟฟ้าปกติ สามารถสังเกตได้ง่ายเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจากรายละเอียดในแนวดิ่ง ดังภาพที่ 6.2 (ข) รูปถ่ายข้างล่าง รวมทั้งมีความถี่ของการแกว่งที่สูงเกิดขึ้นด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเลือกปริภูมิย่อยที่มีช่วงความถี่สูงๆ เช่น HL และ HH การเลือกใช้ปริภูมิย่อยเพียงปริภูมิใดปริภูมิหนึ่งอาจไม่เพียงพอ ตัวอย่างเช่นใช้แต่ปริภูมิ HL อย่างเดียวดังภาพที่ 6.2 (ค) ซึ่งจากการเลือกใช้การตรวจจับจากการรวมปริภูมิย่อย HL และ HH ในภาพที่ 6.2 (ง) ให้ความชัดเจน ณ ตำแหน่งที่เกิดเหตุการณ์มากที่สุด



(ก)



(ค)

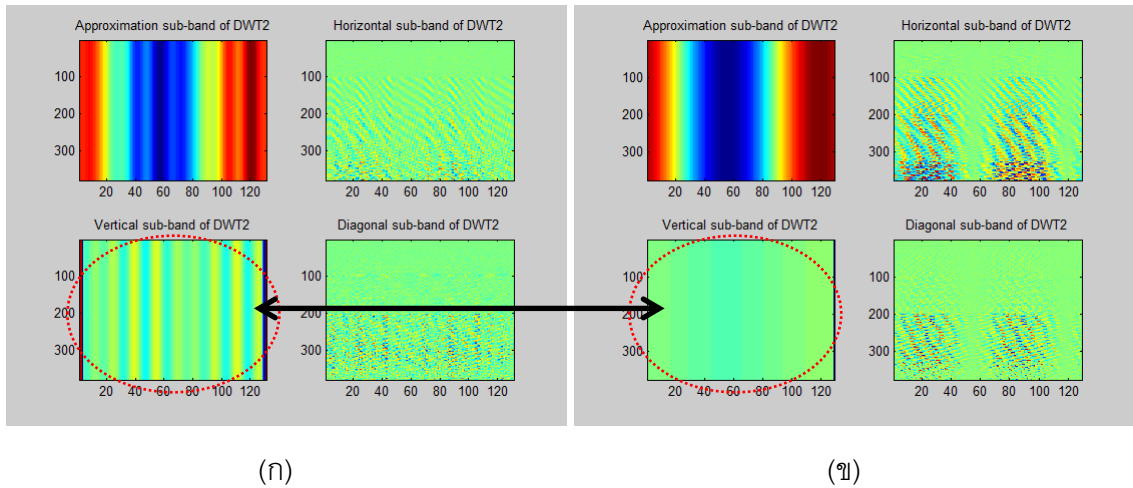


(ง)

ภาพที่ 6.2 การตรวจจับทรานเซียนท์แบบแกว่งด้วยการรวมปริภูมิย่อย *HL* และ *HH* (ก) ทรานเซียนท์แบบแกว่งในแบบ 2 มิติ (ข) การกระจายสัญญาณด้วยเวฟเลต 2 มิติ (ค) การสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย *HL* (ง) การสร้างคืนสัญญาณจากปริภูมิย่อย *HL + HH*

6.1.1.3 ฮาร์มอนิก

การเลือกใช้ปริภูมิย่อย *HL* มีความเหมาะสมในการตรวจจับฮาร์มอนิก ดังแสดงในภาพที่ 6.3 เนื่องจากฮาร์มอนิกถือว่าเป็นเหตุการณ์ที่อยู่ในสภาวะคงตัวดังนั้นการยากที่จะสังเกตจากรายละเอียดในแนวนอน แต่ในปริภูมิย่อย *HL* ในภาพที่ 6.3 (ก) รูปปล่างซ้าย นั้นเป็นการสังเกตรายละเอียดในแนวตั้งซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงลูกคลื่นไปตามแนวแกน X จึงทำให้เห็นเป็นแถบลูกคลื่น 18 แถบย่อย (2 แถบย่อยเท่ากับ 1 ลูกคลื่น) เกิดขึ้นเท่ากับแถบลูกคลื่นของลำดับฮาร์มอนิกที่สูงที่สุด ซึ่งถ้าเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่ไม่มีฮาร์มอนิกมีแถบเพียง 2 แถบเท่านั้นในปริภูมิย่อย *HL* ดังภาพที่ 6.3 (ข) รูปปล่างซ้าย



ภาพที่ 6.3 การตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยปริภูมิย่อย HL (ก) การกระจายสัญญาณที่มีฮาร์มอนิกด้วยเวฟเลต 2 มิติ (ข) การกระจายสัญญาณที่ไม่มีฮาร์มอนิกด้วยเวฟเลต 2 มิติ

6.2 ข้อเสนอแนะ

วิธีการที่นำเสนอนี้ยังสามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้ จึงได้เสนอแนวทางในการพัฒนาดังต่อไปนี้

1. ในการตรวจจับสัญญาณไฟฟ้าถ้ามีจำนวนจริงสำหรับการตรวจจับมากขึ้นก็จะสามารถให้ประสิทธิภาพการตรวจจับได้ใกล้เคียงกับการใช้งานในระบบไฟฟ้าจริงมากขึ้น
2. เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในเรื่องของสัญญาณจริง ซึ่งถ้ามีจำนวนข้อมูลสัญญาณจริงมากขึ้นเพื่อใช้ในขั้นตอนการสอนในหน่วยงานประสาทดด้วย ก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการจำแนกเพิ่มขึ้น
3. การเลือกใช้ตัวสกัดที่เหมาะสม จะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพการตรวจจับดีขึ้น หรืออาจทำให้กระบวนการทางข่ายงานประสาทดใช้เวลาอันน้อยลง ดังนั้นหากปรับปรุงหาตัวสกัดที่เหมาะสมเข้าไปเพิ่ม ก็จะทำให้จำแนกเหตุการณ์มีประสิทธิภาพดีขึ้น

รายการอ้างอิง

- [1] Dugan, R. C., McGranaghan, M. F., and Beaty, H. W. Electrical Power Systems Quality, Second Edition. New York : McGraw-Hill, 1996.
- [2] Talaat, N., Ibrahim, W. R., and Kusic, G. L. New Technique for Categorization of Power Quality Disturbances. Proc. PQ Conf. on Power Quality and Supply Reliability (August 2008) : 11-16.
- [3] Tan, R. H. G., and Ramachandaramurthy, V. K. Numerical Framework of Power Quality Events. European Journal of Scientific Research 43, 1, (2010) : 30-47.
- [4] IEEE Recommended Practice for Monitoring in Electrical Power Quality. IEEE Std. 1159 (June 1995).
- [5] Information Technology Industry Council (ITI). ITIC Curve [Online]. 1996. Available from : <http://www.itic.org> [2011, October 10]
- [6] Semiconductor Equipment and Materials International (SEMI). SEMI F47 Curve [Online]. 2006. Available from : <http://www.semi.org> [2011, October 15]
- [7] Radil, T., Ramos, P. M., and Janeiro, F. M. PQ Monitoring System for Real-Time Detection and Classification of Disturbance in Single-Phase Power System. IEEE Trans. on Instrument and Measurement 57, 8, (August 2008) : 1725-1733.
- [8] Styvatakis, E., Gu, I. Y. H., and Bollen, M. H. J. Voltage Dip Detection and Power System Transients. IEEE Trans. on Power Engineering Society Summer Meeting 2001 1, (July 2001) : 683-688.
- [9] Wang, Z. Q. Comparative on Power Quality Disturbance Magnitude Characterization. Proc. International Conference on Power System Technology 2002, PowerCon 2002 1, (October 2002) : 106-111.
- [10] Zeytinoglu, M., and Wong, K. M. Detection of Harmonic Sets. IEEE Tran on Signal Processing 43, No. 11, (November 1995) : 2618-2630.
- [11] Limin, X., Weisheng, X., and Youling, Y. A Fast Harmonic Detection Method Based on Recursive DFT. Proc. 8th Int. Con. on Electronic Measurement and Instrument 2007, ICEMI '07 3, (July 2007) : 972-976.

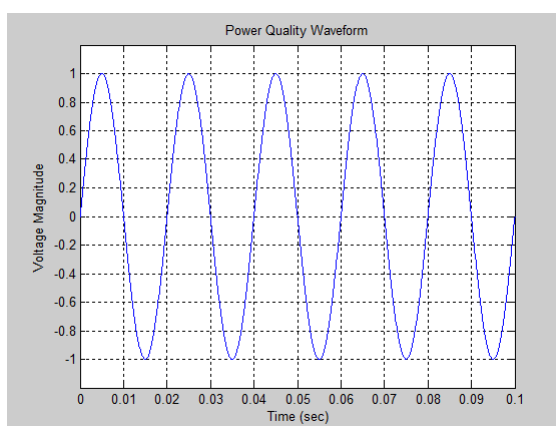
- [12] Ece, D. G., and Gererek, O. N. Power Quality Event Detection Using Joint 2-D-Wavelet subspaces. IEEE Trans. on Instrument and Measurement 53, 4, (August 2004) : 1040-1046.
- [13] Gaing, Z. L.. Wavelet-Based Neural Network for Power Disturbance Recognition and Classification. IEEE Trans. on Power Delivery 19, 4, (October 2004) : 1560-1568.
- [14] Kim, H., Lee, J., Choi, J., and Chung, G. B. Power Disturbance Classifier Using Wavelet-Based Neural Network. Proc. 37th IEEE Conf. on Power Electronics Specialists, PESC '06 (June 2006) : 1-6.
- [15] Santoso, S., Powers, E. J., and Grady, W. M. Power Quality Assessment via Wavelet Transform Analysis. IEEE Trans. on Power Delivery 11, 2, (April 1996) : 924-930.
- [16] Sabin, D. D. An Assessment of Distribution System Power Quality, Volume 2; Statistical Summary report. EPRI Report TR-106294-V2 California : Palo Alto,1996.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การแทนสัญญาณไฟฟ้าในรูป 2 มิติ

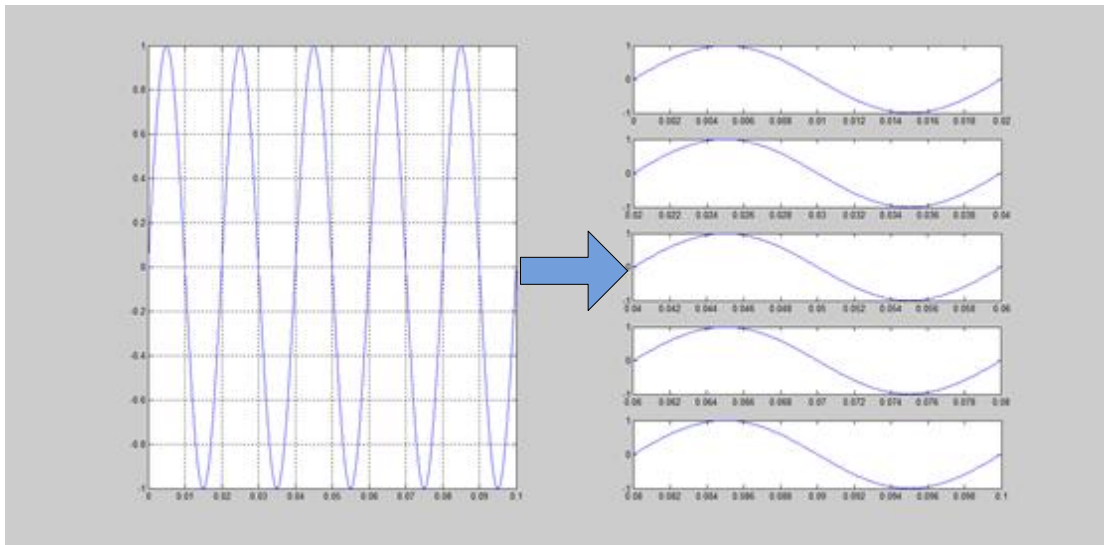
โดยทั่วไปสัญญาณไฟฟ้าจะอยู่ในรูป 1 มิติ ซึ่งเป็นการเทียบค่าสัญญาณไฟฟ้าระหว่างขนาดกับความถี่ ดังภาพที่ ก.1



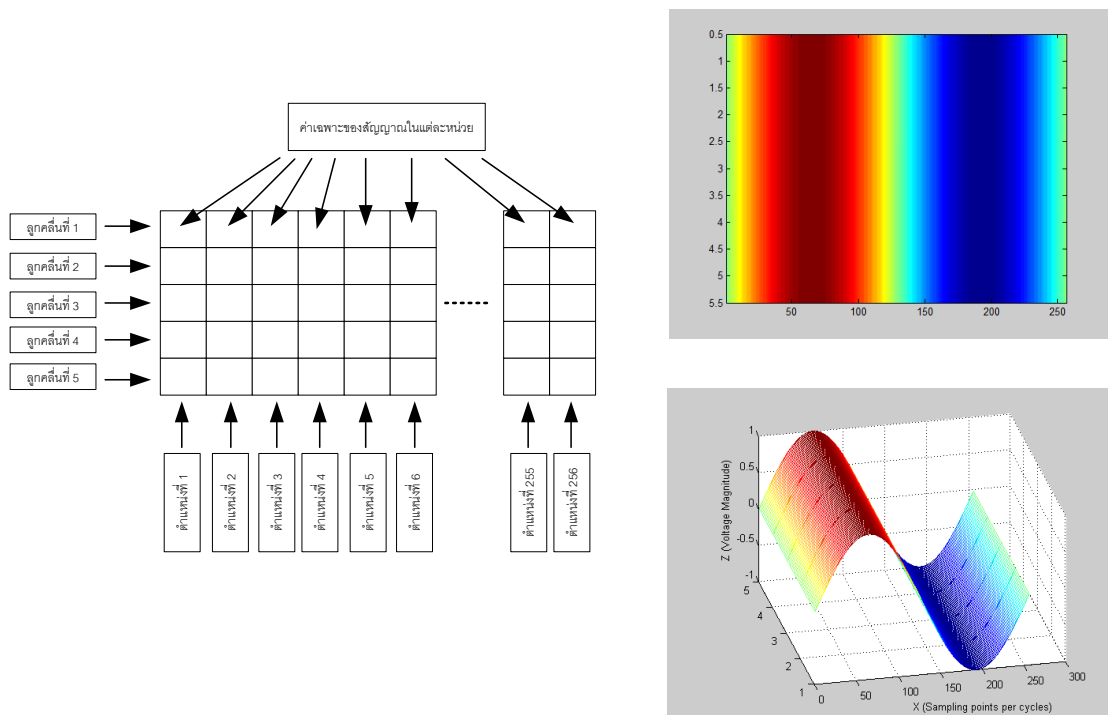
ภาพที่ ก.1 สัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบ 1 มิติ

ในการใช้การแปลงเวฟเลตนั้น ภาพที่ ก.1 จึงมีความเหมาะสมกับการใช้งานกับการแปลงเวฟเลตแบบ 1 มิติเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้กับการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติ จึงต้องมีการเตรียมสัญญาณไฟฟ้าให้อยู่ในรูปแบบ 2 มิติ เมื่อเทียบกับภาพที่ ก.2 ขั้นตอนมีดังนี้

- 1) นำสัญญาณไฟฟ้าทั่วไปที่เป็นแบบ 1 มิติอยู่แล้ว มาตัดขนาดสัญญาณให้เหลือส่วนละ 1 ลูกคลื่น สัญญาณไฟฟ้าจะแบ่งได้เป็น 5 ลูกคลื่น (กำหนดให้แต่ละลูกคลื่นมีค่าอยู่ในลูกคลื่น 256 ค่า)
- 2) นำลูกคลื่นที่ตัดมาซ้อนกันตามแนวตั้งลงมา โดยเริ่มจากคลื่นลูกแรก, คลื่นลูกที่ 2 จนกระทั่งถึงลูกคลื่นที่ 5 ตามลำดับ ดังแสดงได้ดังภาพที่ ก.2



ภาพที่ ก.2 การสร้างสัญญาณไฟฟ้า 2 มิติ จากสัญญาณแบบ 1 มิติ



ภาพที่ ก.3 (ซ้าย) อธิบายสัญญาณไฟฟ้าแบบ 2 มิติแบบเมตริกซ์ (ขาวบน) สัญญาณไฟฟ้าแสดงในรูป 2 มิติ (ขวาล่าง) สัญญาณไฟฟ้าแสดงในรูป 3 มิติ

จากภาพที่ ก.2 เมื่อกระบวนการตัดสัญญาณแล้วนำมาซ้อนกันเสร็จสิ้น จะได้รูปตามภาพที่ ก.3 ซึ่งภาพ (ซ้าย) เป็นการอธิบายสัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบของเมตริกซ์ เมื่อให้ M คือจำนวนแถวของเมตริกซ์ และ N คือจำนวนสดมภ์ของเมตริกซ์ จะได้ว่า M มีค่าเท่ากับ 256 และ N มีค่าเท่ากับ 5 โดยค่าที่อยู่ในเมตริกซ์จะบอกถึงค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่ตำแหน่งแถวและสดมภ์นั้นๆ ส่วนภาพ (ซ้ายบน) และ (ซ้ายล่าง) เป็นการแสดงสัญญาณในรูปของกราฟ 2 มิติ และ 3 มิติ ตามลำดับ ซึ่งสัญญาณไฟฟ้าแบบ 2 มิติ จะนำไปประยุกต์ใช้กับการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติในงานวิจัยนี้

ภาคผนวก ข.

การคัดแยกคุณลักษณะ

การแยกคุณลักษณะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการหาความพิเศษของข้อมูลที่ต้องการ ซึ่งการเลือกใช้คุณลักษณะที่ถูกต้องเหมาะสม จะทำให้กระบวนการในการถัดไปซึ่งในงานวิจัยนี้ก็คือข่ายงานประสาท สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วรวมถึงมีประสิทธิภาพในการจำแนกที่ดีขึ้นด้วย

ในงานวิจัยนี้เมื่อกำหนดให้ i คือค่าปริภูมิย่อยจากการกระจายเวฟเลตแบบ 2 มิติใน 3 ระดับ จะได้ปริภูมิย่อย 10 ปริภูมิ ให้จำนวน 1-10 แทนปริภูมิย่อย $LL3, LH3, HL3, HH3, LH2, HL2, HH2, LH1, HL1$ และ $HH1$ ตามลำดับ จึงได้เลือกวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean; μ), ค่าประสิทธิผล (RMS), ค่าแปรปรวน (Variance; σ^2), ค่าความเบ้ (Skewness; SK), ค่าความโด่ง (Kurtosis; KRT), เอนโทรปี (Entropy; ENT), Crest factor (CF) และ Form factor (FF) ตามสมการข้างล่าง ตามลำดับ ดังนี้

$$\mu_i = \frac{1}{m \times n} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n d_{ijk} \quad (ข.1)$$

$$RMS_i = \sqrt{\frac{1}{m \times n} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n d_{ijk}^2} \quad (ข.2)$$

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{m \times n} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n (d_{ijk} - \mu_i)^2 \quad (ข.3)$$

$$SK_i = \frac{E(d_{ijk} - \mu_i)^3}{\sigma_i^3} \quad (ข.4)$$

$$KRT_i = \frac{E(d_{ijk} - \mu_i)^4}{\sigma_i^4} \quad (ข.5)$$

$$ENT_i = -\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n (d_{ijk}^2 \log_2(d_{ijk}^2)) \quad (ข.6)$$

$$CF_i = \frac{Max(d_{ijk})}{RMS_i} \quad (ข.7)$$

$$FF_i = \frac{\mu_i}{RMS_i} \quad (ข.8)$$

เมื่อกำหนดให้ d คือ สัมประสิทธิ์ของการกระจายเวฟเลต j คือจำนวนของสัมประสิทธิ์ของปริภูมิย่อยในแถว มีค่า 1,2,3 ถึง m และ k คือจำนวนของสัมประสิทธิ์ของปริภูมิย่อยในสดมภ์ มีค่า 1,2,3 ถึง n ส่วนของ $E(d_{ijk}-\mu_i)^x$ ในสมการของค่าความเบ้และความความโด่ง คือค่าที่คาดหวังของปริมาณสามารถเรียกได้ว่าเป็นเหตุการณ์ลำดับที่ x^{th} ของค่าเฉลี่ย

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลอ้างอิงของเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าจริง

เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าจริงที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 18 เหตุการณ์ เรียงลำดับการอ้างอิงเหตุการณ์ตามเหตุการณ์จริงที่ใช้ในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าจากตารางที่ 5.1, 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ แสดงที่มาของข้อมูลได้ตามตารางที่ ค.1 ซึ่งสามารถแสดงเป็นรูปภาพได้ตามภาพที่ ค.1 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลอ้างอิงของแรงดันตกชั่วขณะจริงที่ใช้ในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าในงานวิจัย

เหตุการณ์	วัน-เดือน-ปี	เวลา	DFR Substation	ขนาดแรงดันไฟฟ้า (kV)	ตำแหน่ง/รายละเอียด	ชนิดความผิดปกติ	เฟส	ขนาดแรงดันตกชั่วขณะ (pu)	ระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะ (s)	ความยาวของสัญญาณ (หน่วย)	
แรงดันตกชั่วขณะ	1	-	-	แคนาดา	63	ต้นไม้แตะสายส่ง 63 kV	SLG	A	0.78	0.07	1728
	2	12 Jan 09	0:00 น.	ท่าตะโก	230	สายส่ง 230 kV ท่าตะโก - ชัยภูมิ วงจรที่ 2	SLG	A	0.79	0.05	28416
	3	21 Feb 09	5:21 น.	ท่าตะโก	230	สายส่ง 230 kV ท่าตะโก - ชัยภูมิ วงจรที่ 2	SLG	A	0.45	0.04	28544
	4	28 Feb 09	11:13 น.	น้ำพอง 1	115	สายส่ง 115 kV น้ำพอง 1 - อุดรธานี วงจรที่ 2	L-L	C	0.70	0.08	4608
	5	11 Mar 09	13:29 น.	ท่าตะโก	230	สายส่ง 230 kV นครสวรรค์ - ท่าตะโก วงจรที่ 2	L-L	A	0.67	0.06	28416

หมายเหตุ ชนิดของความผิดปกติ “SLG” หมายถึง Single Line to Ground Fault และ “L-L” หมายถึง Line to Line Fault

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) ข้อมูลอ้างอิงของแรงดันตกชั่วขณะจริงที่ใช้ในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าในงานวิจัย

เหตุการณ์	วัน-เดือน-ปี	เวลา	DFR Substation	ขนาดแรงดันไฟฟ้า (kV)	ตำแหน่ง/รายละเอียด	ชนิดความผิดปกติ	เฟส	ขนาดแรงดันตกชั่วขณะ (pu)	ระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะ (s)	ความยาวของสัญญาณ (หน่วย)
แรงดันตกชั่วขณะ	6	11 Mar 09	13:29 น.	ท่าตะโก	สายส่ง 230 kV นครสวรรค์ - ท่าตะโก วงจรที่ 1	L-L	C	0.60	0.10	28416
	7	11 Mar 09	13:29 น.	ท่าตะโก	สายส่ง 230 kV นครสวรรค์ - ท่าตะโก วงจรที่ 1	L-L	C	0.62	0.08	28416
	8	24 Mar 09	18:17 น.	ท่าตะโก	สายส่ง 230 kV ท่าตะโก - อ่างทอง วงจรที่ 1	L-L	C	0.65	0.06	28416
	9	10 Apr 09	16:18 น.	ท่าตะโก	สายส่ง 230 kV ท่าตะโก - อ่างทอง วงจรที่ 2	L-L	C	0.75	0.08	28288

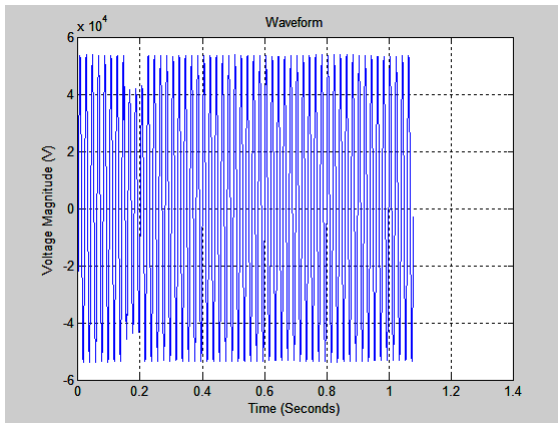
หมายเหตุ ชนิดของความผิดปกติ “SLG” หมายถึง Single Line to Ground Fault และ “L-L” หมายถึง Line to Line Fault

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) ข้อมูลอ้างอิงของทรานเซียนท์แบบแกว่งจริงที่ใช้ในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าในงานวิจัย

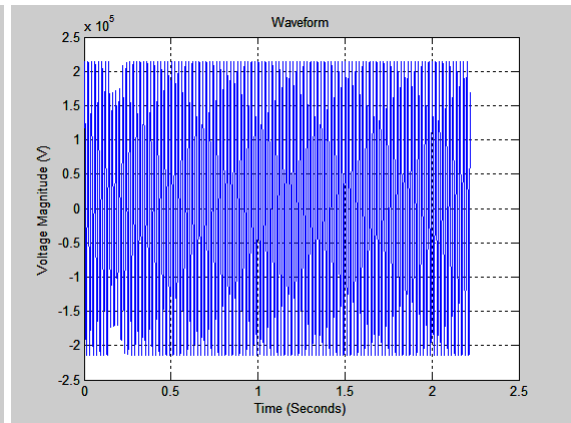
เหตุการณ์	ขนาดแรงดันไฟฟ้า (kV)	สถานที่	ตำแหน่ง/รายละเอียด	เฟส	ขนาดทรานเซียนท์ (pu)	ระยะเวลาที่เกิดทรานเซียนท์ (s)	ความยาวของสัญญาณ (หน่วย)
ทรานเซียนท์แบบแกว่ง	1	แคนาดา	คาปาซิเตอร์สวิทชิง ที่แรงดัน 63 kV	Vc	0.33	0.006	1152
	2	แคนาดา	Switching C_{in} ของ Banff Substation ที่แรงดัน 69 kV	Ic	0.04	0.002	7680
	3	แคนาดา	Switching C_{in} ของ GTP58 ที่แรงดัน 25 kV	Va	0.06	0.005	7680
	4	แคนาดา	Switching C_{out} ของ GTP58 ที่แรงดัน 25 kV	Va	0.02	0.003	7680

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) ข้อมูลอ้างอิงของฮาร์มอนิกจริงที่ใช้ในการตรวจจับเหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าในงานวิจัย

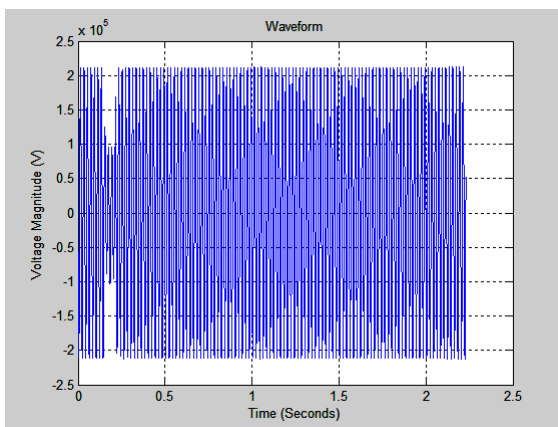
เหตุการณ์	ขนาดแรงดันไฟฟ้า(V)	สถานที่	ตำแหน่ง/รายละเอียด	เฟส	THD (%)	ความยาวของสัญญาณ (หน่วย)	
ฮาร์มอนิก	1	220	จามจุรีสแควร์	ตู้ MDB ชั้น 4	la	15.28	2560
	2	220	จามจุรีสแควร์	ตู้ MDB ชั้น 13	la	40.99	2560
	3	220	จามจุรีสแควร์	ตู้ MDB ชั้น 13	la	41.89	2560
	4	220	จามจุรีสแควร์	ตู้ MDB ชั้น 4	la	19.05	2560
	5	220	จามจุรีสแควร์	ตู้ MDB ชั้น 4	la	27.20	2560



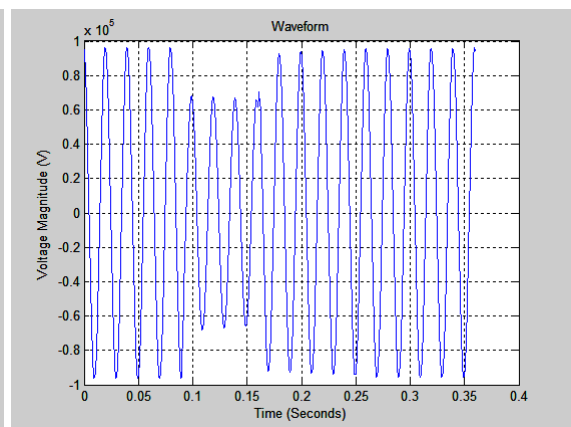
(ค.1) แรงดันตกชั่วขณะ เหตุการณ์จริงที่ 1



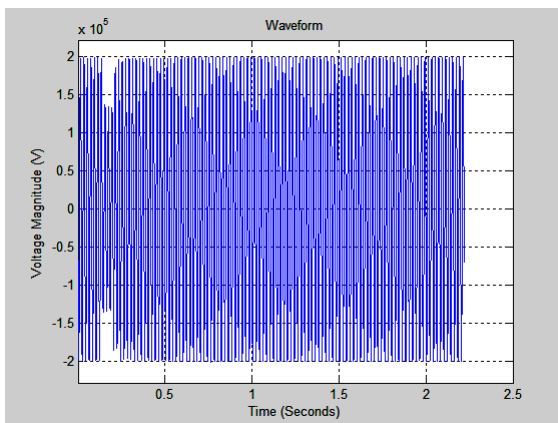
(ค.2) แรงดันตกชั่วขณะ เหตุการณ์จริงที่ 2



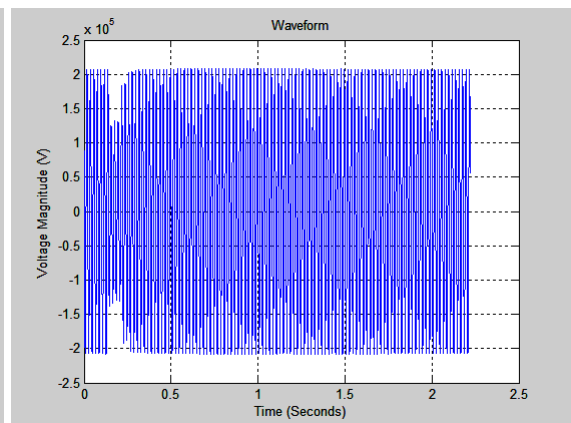
(ค.3) แรงดันตกชั่วขณะ เหตุการณ์จริงที่ 3



(ค.4) แรงดันตกชั่วขณะ เหตุการณ์จริงที่ 4

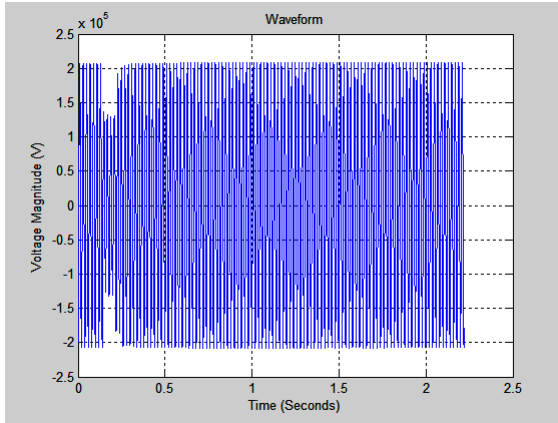


(ค.5) แรงดันตกชั่วขณะ เหตุการณ์จริงที่ 5

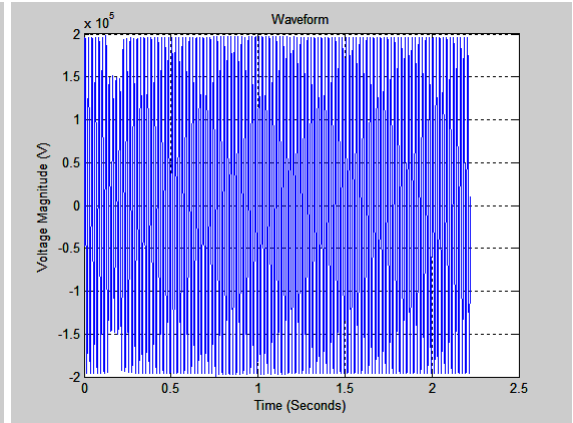


(ค.6) แรงดันตกชั่วขณะ เหตุการณ์จริงที่ 6

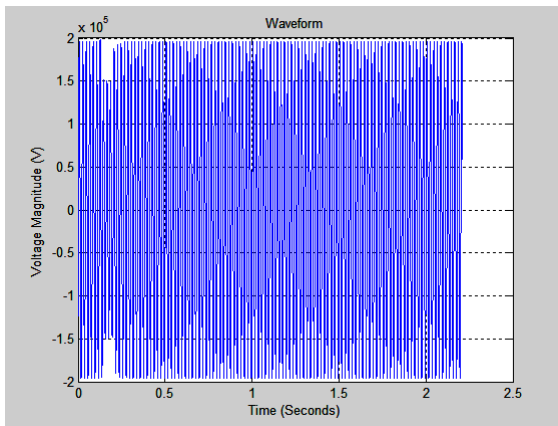
ภาพที่ ค.1 เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าจริงอ้างอิงตามลำดับเหตุการณ์ในตารางที่ ค.1



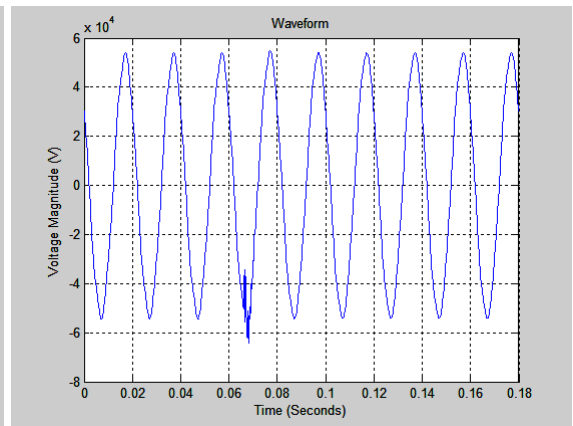
(ค.7) แรงดันตกชั่วขณะ เหตุการณ์จริงที่ 7



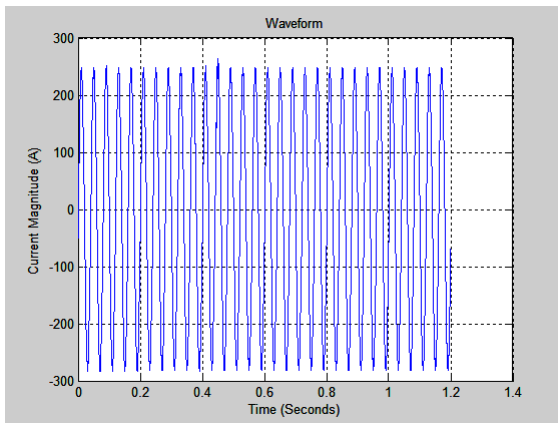
(ค.8) แรงดันตกชั่วขณะ เหตุการณ์จริงที่ 8



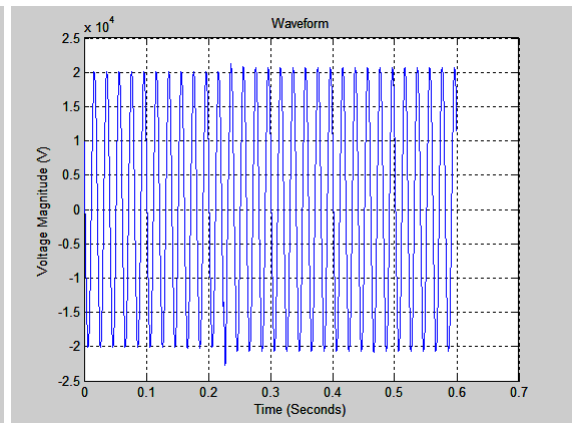
(ค.9) แรงดันตกชั่วขณะ เหตุการณ์จริงที่ 9



(ค.10) ทรานเซียนแบบแกว่ง เหตุการณ์จริงที่ 1

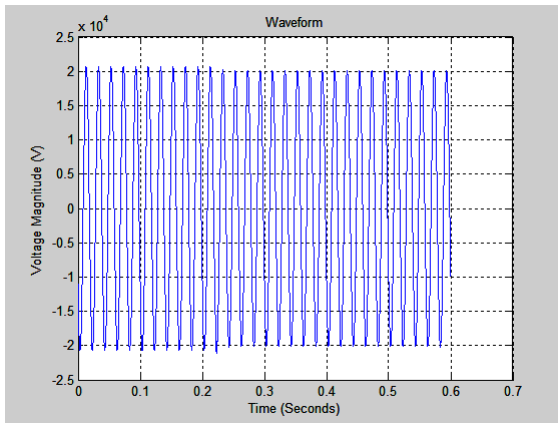


(ค.11) ทรานเซียนแบบแกว่ง เหตุการณ์จริงที่ 2

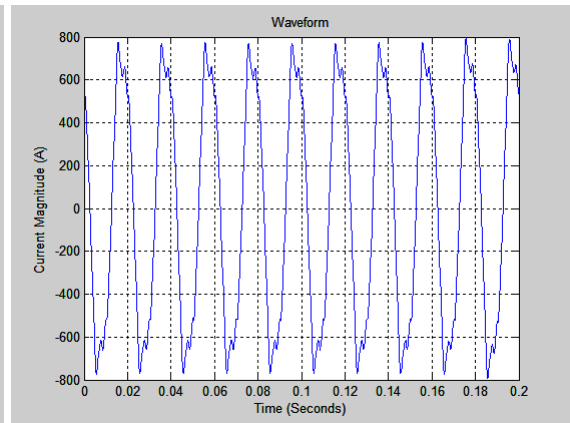


(ค.12) ทรานเซียนแบบแกว่ง เหตุการณ์จริงที่ 3

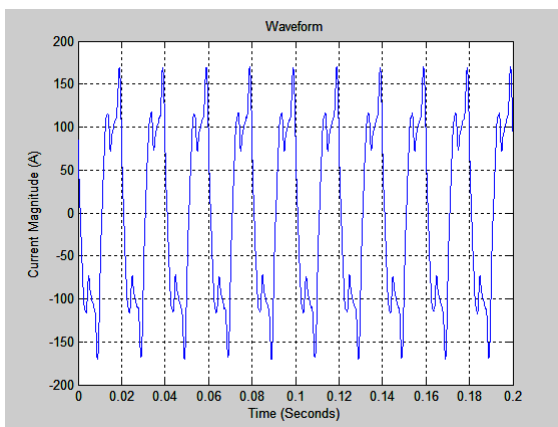
ภาพที่ ค.1 (ต่อ) เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าจริงอ้างอิงตามลำดับเหตุการณ์ในตารางที่



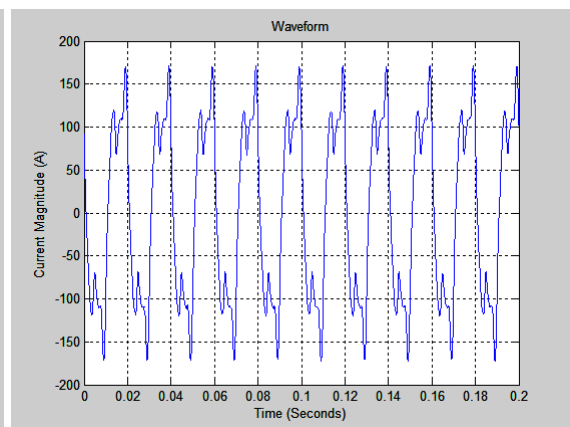
(ค.13) ทรานเซียนแบบแกว่ง เหตุการณ์จริงที่ 4



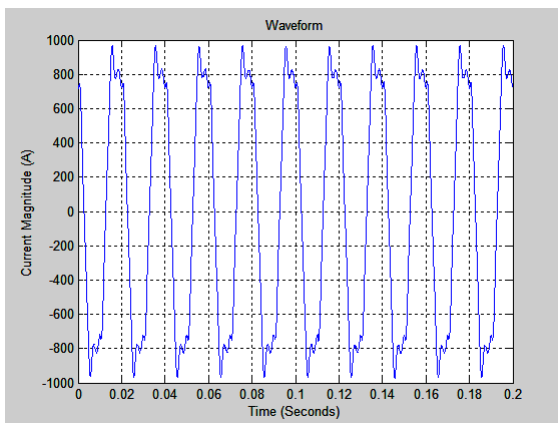
(ค.14) ฮาร์มอนิก เหตุการณ์จริงที่ 1



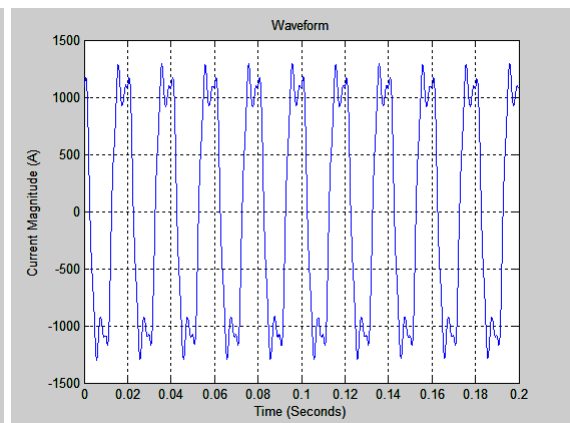
(ค.15) ฮาร์มอนิก เหตุการณ์จริงที่ 2



(ค.16) ฮาร์มอนิก เหตุการณ์จริงที่ 3



(ค.17) ฮาร์มอนิก เหตุการณ์จริงที่ 4



(ค.18) ฮาร์มอนิก เหตุการณ์จริงที่ 5

ภาพที่ ค.1 (ต่อ) เหตุการณ์ทางคุณภาพไฟฟ้าจริงอ้างอิงตามลำดับเหตุการณ์ในตารางที่

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกิติพัฒน์ หน่อคำ เกิดวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดลำปาง ศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2541 และสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2545 ต่อจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551 และสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งวิศวกรระบบไฟฟ้าอาวุโส บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด