

การวัดค่าฮาร์โมนิกส์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม
ในระบบไฟฟ้ากำลัง

THE HARMONICS MEASUREMENT BY USING NEURAL NETWORKS
IN POWER SYSTEMS



กิตติ อัจฉริยะภากร

KITTI ACHARIYAPAGON

๘๘

๗ ๖ ๗ ๓ ๗

๘๖๖/

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 82871

วัน,เดือน,ปี... 25...๐๘... 2551

b.	119 ๕๔2๔3
i.	

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

KMITL-2008-EN-M-020-163

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2008

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายภายใต้เงื่อนไขการใช้งาน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวัดค่าฮาร์โมนิกส์โดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในระบบไฟฟ้ากำลัง
The Harmonics Measurement by Using Neural Networks in Power Systems

นักศึกษา นายกิตติ อัจฉริยะภากร

รหัสประจำตัว 46060313

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.มณฑล ถิลาจินดาไกรฤกษ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ดร.สมชาติ จิริวิภากร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ	
รศ.ดร.สมชาติ	จิริวิภากร	สมชาติ	จิริวิภากร
ผศ.ดร.กীরติ	ชยะกุลศิริ	กীরติ	ชยะกุลศิริ
ผศ.ดร.อนุวัฒน์	จากวนิชเลิศ	อนุวัฒน์	จากวนิชเลิศ
รศ.มณฑล	ถิลาจินดาไกรฤกษ์	มณฑล	ถิลาจินดาไกรฤกษ์

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 7 พฤษภาคม 2551 เวลา 09.00-11.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 4 ชั้น 5 อาคาร A

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว
(รศ.ดร.รวิวรรณ ชินะตระกูลด)

ณ บัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....๒๐.....เดือน.....พฤษภาคม.....พ.ศ.....๒๕๕๑.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวัดค่าฮาร์โมนิกส์โดยการใส่โครงข่ายประสาทเทียม
ในระบบไฟฟ้ากำลัง

นักศึกษา

นายกิตติ อัจฉริยะภากร

รหัสนักศึกษา

46060313

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ.

2551

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.มณฑล สีลาจินดาไกรฤกษ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ดร.สมชาติ จิรวิภากร

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอวิธีการหาแอมพลิจูดฮาร์โมนิกส์ที่ลำดับต่าง ๆ โดยวิธีการประยุกต์ใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมเทียบกับวิธีการหาแอมพลิจูดฮาร์โมนิกส์ของสัญญาณทางไฟฟ้าด้วยวิธีการของฟูเรียทรานส์ฟอร์มซึ่งเป็นวิธีการแบบทั่วไป โดยวิธีการแปลงทางฟูเรียร์นั้นต้องใช้สัญญาณ 1 ลูกคลื่นสำหรับหาค่าขนาดฮาร์โมนิกส์และวิธีการดังกล่าวยังมีข้อจำกัดในเรื่องของอัตราการสุ่มที่ต้องมากกว่าอย่างน้อย 2 เท่าของความถี่สูงสุดของข้อมูลและเวลาในการสุ่มซึ่งต้องสอดคล้องกันกับเวลาของสัญญาณข้อมูล แต่วิธีการใหม่ที่ใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมจะใช้สัญญาณเพียงครั้งคาบเพื่อหาค่าของแอมพลิจูดฮาร์โมนิกส์ซึ่งทำให้การหาฮาร์โมนิกส์แบบใส่โครงข่ายประสาทเทียมมีความเร็วในการประมวลผลมากกว่าวิธีการแบบดั้งเดิมและลดความผิดพลาดทั้งในเรื่องของอัตราการสุ่มที่น้อยกว่า 2 เท่าของความถี่สูงสุดและเวลาในการสุ่มที่ไม่ตรงกับคาบของสัญญาณข้อมูล โดยในการทดลองนี้ได้ทำการบันทึกและจำลองสัญญาณฮาร์โมนิกส์รูปแบบต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ในการฝึกสอนและทดสอบชุดโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อที่จะหาโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุดและนำโครงสร้างดังกล่าวมาทดสอบหาค่าสัญญาณฮาร์โมนิกส์ของสัญญาณไฟฟ้าต่าง ๆ และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการหาแอมพลิจูดฮาร์โมนิกส์ด้วยวิธีการของฟูเรียทรานส์ฟอร์ม จากผลที่ได้เราสามารถสรุปได้ว่าการหาฮาร์โมนิกส์ด้วยวิธีการใหม่นี้มีความถูกต้องแม่นยำสูงและสามารถนำไปใช้สำหรับวัดค่าฮาร์โมนิกส์ของสัญญาณทางไฟฟ้าได้

Thesis Title	The Harmonics Measurement by Using Neural Networks in Power Systems
Student	Mr.Kitti Achariyapagon
Student ID.	46060313
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Monthon Leelachindakaileak
Thesis Coordinate Advisor	Assoc.Prof.Dr.Somchat Jiriwibhakorn

ABSTRACT

This paper presents a new method for harmonics measurement by using neural networks and comparing with harmonics measurement by conventional fourier transformation method. The fourier transformation method uses 1 cycle signal for harmonics measurement at each order and has limited of this theory about sampling rate that need over than 2 times of maximum data frequency and must synchronous with data signal but new method that using neural networks use only half cycle for calculating the component of harmonics and can reduce error from under sampling rate and unsynchronous sampling with data signal ,that means the new method is faster and more efficiency than conventional method. This paper records harmonics signal and simulates its at any order for training and testing artificial neural networks to find the best structure of neural networks. The obtained results from neural networks are compared with the results of fourier transformation method. It can be concluded that this new method is high precision and available to be used for harmonic detection.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ผู้ควบคุม วิทยานิพนธ์ รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ และ รศ.ดร.สมชาติ จิรวิภากร ที่ได้ให้ความรู้ , คำแนะนำ และคำปรึกษาต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอบพระคุณ คุณจตุพร ธรรมเจริญ ผู้มีส่วนสำคัญต่องานวิจัยนี้ในเรื่องของการจัดหา แหล่งข้อมูลเพื่อนำมาประกอบอ้างอิงอีกทั้งยังช่วยผลักดันให้เกิดกำลังใจและความมุ่งมั่นที่จะทำ บทความนี้ให้สำเร็จ

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่สาวและน้องชายของข้าพเจ้า ที่ได้ช่วย เป็นกำลังใจให้กับข้าพเจ้าในการศึกษาตลอดมา



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายของปัญหาและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	4
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	6
2.1 การวิเคราะห์รูปคลื่นด้วยฟูรีเยร์.....	6
2.1.1 อนุกรมฟูรีเยร์.....	6
2.1.2 ลักษณะลูกคลื่นที่มีลักษณะสมมาตร.....	8
2.1.3 จำนวนเชิงซ้อนของอนุกรมฟูรีเยร์.....	12
2.1.4 ฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์ม.....	13
2.1.5 การแปลงสัญญาณฟูรีเยร์ของสัญญาณแบบสุ่ม.....	16
2.1.6 ฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มของสัญญาณไม่ต่อเนื่อง.....	17
2.1.7 ความถี่ Nyquist และปรากฏการณ์ Aliasing.....	19
2.1.8 การแปลงสัญญาณฟูรีเยร์แบบรวดเร็ว.....	21
2.2 แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์.....	23
2.2.1 เครื่องแปลงผันแบบสถิตย.....	24
2.2.2 คอนเวอร์เตอร์เครื่องแปลงผันแบบกำลังต่ำ.....	25
2.2.2.1 วงจรเรกติไฟเออร์ 1 เฟสแบบบริดจ์ที่สมมติให้ $L_s = 0$	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.2.2 วงจรเรกติไฟเออร์ 1 เฟสแบบบริดจ์ที่มีตัวเก็บประจุด้านออก	29
2.2.2.3 วงจรเรกติไฟเออร์ 1 เฟสแบบบริดจ์ที่มีตัวเก็บประจุ และอินดักแตนซ์ด้าน DC	30
2.2.2.4 วงจรเรกติไฟเออร์ 1 เฟสแบบบริดจ์ที่มีอินดักแตนซ์ด้าน AC	32
2.2.3 คอนเวอร์เตอร์กำลังปานกลาง	33
2.3 การแก้ปัญหาฮาร์โมนิกส์	41
บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม	42
3.1 ทฤษฎีและประวัติความเป็นมาของ โครงสร้างประสาทเทียม	42
3.2 นิวรอนในสมองของมนุษย์	44
3.3 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม	45
3.3.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว	46
3.3.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น	46
3.3.3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแลตทิซ	47
3.4 การตั้งค่าถ่วงน้ำหนักในโครงข่ายประสาทเทียม	48
3.5 กระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม	48
3.5.1 การเรียนรู้แบบ Supervised	49
3.5.2 การเรียนรู้แบบ Unsupervised	49
3.6 ฟังก์ชันการถ่ายโอน	49
3.7 ตัวแปรสำคัญของโครงข่ายประสาทเทียม	51
3.8 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ	51
3.8.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับที่มีชั้นซ่อน 1 ชั้น	52
3.8.2 ขั้นตอนการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม	52
3.8.2.1 การแพร่ค่าไปข้างหน้า	53
3.8.2.2 การแพร่ค่าย้อนกลับของผลผิดพลาด	54
3.8.2.3 ขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและไบอัส	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 วิธีการทดลอง.....	58
4.1 ลักษณะของโหลดและการเก็บข้อมูลฮาร์โมนิกส์ของวงจรทดลอง.....	58
4.2 การเก็บข้อมูลของฮาร์โมนิกส์ในโหลดต่างๆ สำหรับฝึกสอนและ ทดสอบชุดโครงข่ายประสาทเทียม.....	69
4.3 การสร้างชุดโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับหาค่าสัญญาณของฮาร์โมนิกส์.....	94
4.3.1 จำนวนโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม.....	95
4.3.2 ฟังก์ชันการถ่ายโอน.....	95
4.3.3 ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม.....	95
4.3.4 การปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส.....	96
4.3.5 จำนวนรอบที่ใช้ในการฝึก.....	96
4.3.6 ขั้นตอนการฝึกสอน.....	96
4.4 การทดสอบชุดโครงข่ายประสาทเทียมในกรณีการเกิด Under Sampling.....	99
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	101
5.1 ผลการทดลองที่ตู้โหลด 33MDB4.....	101
5.1.1 ผลการทดลองหาฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมในชุดโครงข่าย ของตู้โหลด 33MDB4.....	101
5.1.2 ผลการทดลองหาจำนวนชุดฝึกสอนที่เหมาะสมในชุดโครงข่าย ของตู้โหลด 33MDB4.....	104
5.2 ผลการทดลองที่ตู้โหลด 33MDB3.....	105
5.2.1 ผลการทดลองหาฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมในชุดโครงข่าย ของตู้โหลด 33MDB3.....	105
5.2.2 ผลการทดลองหาจำนวนชุดฝึกสอนที่เหมาะสมในชุดโครงข่าย ของตู้โหลด 33MDB3.....	107
5.3 ผลการทดลองที่ตู้โหลด 33MDB2.....	108
5.3.1 ผลการทดลองหาฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมในชุดโครงข่าย ของตู้โหลด 33MDB2.....	108
5.3.2 ผลการทดลองหาจำนวนชุดฝึกสอนที่เหมาะสมในชุดโครงข่าย.....	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ของตู้โหลด 33MDB2.....	111
5.4 ผลการทดลองที่ตู้โหลด 32MDB1.....	112
5.4.1 ผลการทดลองหาฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมในชุดโครงข่าย	
ของตู้โหลด 32MDB1.....	112
5.4.2 ผลการทดลองหาจำนวนชุดฝึกสอนที่เหมาะสมในชุดโครงข่าย	
ของตู้โหลด 32MDB1.....	115
5.5 การทดลองชุด โครงข่ายประสาทเทียมในกรณีเกิดการ Under sampling	
หรือ Aliasing.....	116
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	117
เอกสารอ้างอิง.....	119
ภาคผนวก.....	121
ภาคผนวก ก. ข้อมูลสัญญาณที่ทำการเก็บมาจากโหลดทดลอง.....	122
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	198
ประวัติผู้เขียน.....	207

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ชนิดฟังก์ชันการถ่ายโอน.....	50
4.1 ข้อมูลที่ Sampling ได้จากโหนดที่ตู้ 33MDB4.....	70
4.2 ค่าของกระแสฮาร์โมนิกส์แต่ละลำดับที่ใช้ทดลอง Under Sampling.....	100
5.1 ค่าความผิดพลาดและจำนวนโหนดที่ดีที่สุดในแต่ละฟังก์ชันถ่ายโอนสำหรับ ตู้โหนด 33MDB4.....	102
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชุดฝึกสอนและค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของตู้ 33MDB4.....	104
5.3 ค่าความผิดพลาดและจำนวนโหนดที่ดีที่สุดในแต่ละฟังก์ชันถ่ายโอนสำหรับ ตู้โหนด 33MDB3.....	105
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชุดฝึกสอนและค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของตู้ 33MDB3.....	107
5.5 ค่าความผิดพลาดและจำนวนโหนดที่ดีที่สุดในแต่ละฟังก์ชันถ่ายโอนสำหรับ ตู้โหนด 33MDB2.....	108
5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชุดฝึกสอนและค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของตู้ 33MDB2.....	112
5.7 ค่าความผิดพลาดและจำนวนโหนดที่ดีที่สุดในแต่ละฟังก์ชันถ่ายโอนสำหรับ ตู้โหนด 32MDB1.....	113
5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชุดฝึกสอนและค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของตู้ 32MDB1.....	115
5.9 ผลผิดของวิธีการหาฮาร์โมนิกส์ด้วยวิธีการฟูเรียร์และโครงข่ายประสาทเทียมกรณี Under sampling.....	116

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แรงดันที่มีคุณภาพในอุดมคติ	1
1.2 แรงดันที่ผิดเพี้ยนไปเนื่องมาจากโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น	2
2.1 ฟังก์ชันรูปคลื่นสี่เหลี่ยม	11
2.2 ฟังก์ชันรูปสี่เหลี่ยม	15
2.3 ฟังก์ชัน sinc	15
2.4 สัญญาณแบบสุ่ม	16
2.5 สเปกตรัมความถี่ของสัญญาณแบบสุ่ม	17
2.6 ความสัมพันธ์ของฟังก์ชันสัญญาณแบบสุ่มทางคาบเวลาและคาบความถี่	17
2.7 ความสัมพันธ์ของการหมุนของเวกเตอร์บวกและเวกเตอร์ลบ	20
2.8 ผลกระทบของ aliasing	20
2.9 กระแสที่ผิดเพี้ยนอันเนื่องมาจากคุณสมบัติที่ไม่เป็นเชิงเส้น	23
2.10 การแปลงผันทางไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ	24
2.11 วงจรเรกติไฟเออร์แบบบริดจ์ 1 เฟส	25
2.12 วงจรเรกติไฟเออร์แบบบริดจ์ 1 เฟสที่โหลดเป็นความต้านทานและโหลดกระแสคงที่	26
2.13 รูปคลื่นแรงดันและกระแสด้านแหล่งจ่ายและด้านโหลดที่เป็นความต้านทาน	26
2.14 แรงดันและกระแสของโหลดชนิดที่เป็นกระแสคงที่	27
2.15 รูปคลื่นกระแสด้านขาเข้า	28
2.16 สเปกตรัมของกระแสถึงลำดับที่ 7 ของสมการที่ 2.56	28
2.17 การต่อตัวเก็บประจุเข้ากับวงจรเพื่อลดการกระเพื่อมของถูกคลื่นด้าน DC	29
2.18 รูปคลื่นแรงดันด้านเข้าแรงดันด้านออกและกระแสด้านเข้า	29
2.19 สเปกตรัมของกระแสด้านเข้า	30
2.20 การต่อตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำด้านออก	30
2.21 รูปคลื่นกระแสขณะ i_{Ld} อยู่ที่ Boundary	31
2.22 รูปคลื่นกระแสเมื่อ i_{Ld} มีความต่อเนื่องสูง	31
2.23 กระแสด้านเข้าของวงจรเมื่อพิจารณาถึงอินดักแตนซ์ขาเข้า	32
2.24 กระแสและสเปกตรัมของกระแสจากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล	33
2.25 วงจรเรกติไฟเออร์ 3 เฟส 6 พัลส์	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26 รูปคลื่นแรงดันด้านออกแรงดันด้านเข้าและกระแสด้านเข้าของเฟส a และสเปกตรัมกระแส.....	34
2.27 วงจรเรกติไฟเออร์ 3 เฟส 6 พัลส์ที่ต่อวงจรกรองด้าน DC.....	34
2.28 กระแสเฟส a เทียบกับแรงดันและสเปกตรัมเมื่อ i_{ld} อยู่ที่ยอบ (Boundary).....	35
2.29 กระแสเฟส a เมื่อเทียบกับแรงดัน และสเปกตรัมเมื่อ i_{ld} มีค่าเกือบคงที่.....	35
2.30 ผลกระทบของ L_d ที่มีต่อค่าตัวประกอบกำลัง.....	36
2.31 วงจรเรกติไฟเออร์ 3 เฟส 6 พัลส์เมื่อพิจารณาอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย.....	37
2.32 รูปคลื่นของกระแสเฟส a เมื่อเทียบกับแรงดันและสเปกตรัมของกระแส เมื่อมีมุมต่างเฟสเท่ากับ 60° องศา.....	38
2.33 ผลกระทบของอิมพีแดนซ์แหล่งจ่ายที่มีต่อตัวประกอบกำลังและแรงดันด้านออก.....	38
2.34 สเปกตรัมกระแสและแรงดันที่วัดจากเรกติไฟเออร์กำลังปานกลางแบบครึ่งคลื่นสามเฟส.....	39
2.35 สเปกตรัมกระแสและแรงดันที่วัดจากเรกติไฟเออร์กำลังปานกลางแบบเต็มคลื่นสามเฟส.....	40
2.36 รูปคลื่นแรงดันที่วัดจากเรกติไฟเออร์กำลังปานกลางแบบเต็มคลื่นสามเฟส.....	40
2.37 การปรับรูปคลื่นกระแสแบบต่างๆ.....	41
3.1 ลักษณะของ Neurons ในสมองมนุษย์.....	44
3.2 รูปแบบการทำงานของชุดโครงข่ายประสาทเทียม.....	45
3.3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว.....	46
3.4 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น.....	47
3.5 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแลตทิซ.....	48
3.6 โครงข่ายประสาทเทียมที่มีชั้นซ่อน 1 ชั้น.....	52
4.1 Single Line Diagram ตู้โหลดที่ 33MDB4 ที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	60
4.2 Single Line Diagram ตู้โหลดที่ 33MDB3 ที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	61
4.3 Single Line Diagram ตู้โหลดที่ 33MDB2 ที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	62
4.4 Single Line Diagram ตู้โหลดที่ 33DB21 ที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	63
4.5 Single Line Diagram ตู้โหลดที่ 33DB22 ที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	64
4.6 Single Line Diagram ตู้โหลดที่ 32MDB1 ที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	65
4.7 แสดงสเปกตรัมที่ขอพเวอร์บันทึกได้จากโหลด 33MDB4.....	67
4.8 สัญญาณฮาร์โมนิกส์ที่เครื่องวัดได้จากโหลด 33MDB4.....	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

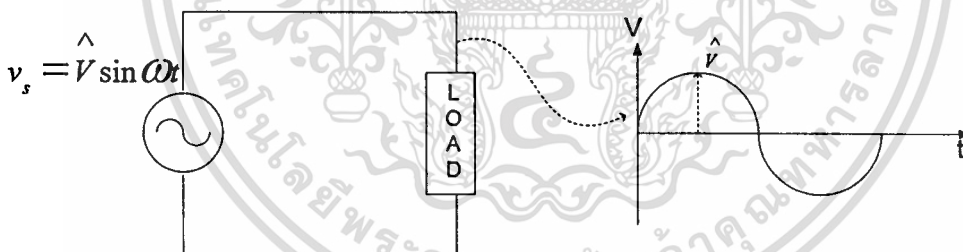
รูปที่	หน้า
4.9 แสดง Flow Chart ขั้นตอนการเก็บข้อมูลกระแสฮาร์โมนิกส์ของโหลดทดลอง.....	68
4.10 การต่อเครื่องบันทึกฮาร์โมนิกส์กับตู้โหลดที่ 33MDB4.....	68
4.11 แบบจำลองชุดโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในวิทยานิพนธ์.....	95
4.12 ขั้นตอนการหาค่าผิดพลาดที่น้อยที่สุดของการคำนวณซ้ำในแต่ละโครงสร้าง.....	97
4.13 ขั้นตอนการคำนวณค่าของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ.....	98
4.14 ขั้นตอนการหาจำนวนโหนดที่ดีที่สุดในชั้นซ่อน.....	99
5.1 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 2 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB4.....	102
5.2 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB4.....	103
5.3 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB4.....	103
5.4 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 7 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB4.....	103
5.5 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 11 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB4.....	104
5.6 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 2 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB3.....	106
5.7 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB3.....	106
5.8 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB3.....	106
5.9 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 7 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB3.....	107
5.10 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 7 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB3.....	107
5.11 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 2 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB2.....	109
5.12 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB2.....	110
5.13 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB2.....	110
5.14 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 7 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB2.....	111
5.15 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 11 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB2.....	111
5.16 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 2 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 32MDB1.....	113
5.17 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 32MDB1.....	114
5.18 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 32MDB1.....	114
5.19 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 7 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 32MDB1.....	114
5.20 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 11 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 32MDB1.....	115

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญที่มนุษย์ใช้ในการดำรงชีวิตเพื่อประโยชน์ด้านต่าง ๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นเรื่องการค้า การติดต่อสื่อสาร หรือการอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่ได้มาจากทรัพยากรธรรมชาติต่าง ๆ อาทิเช่น พลังงานจากถ่านหิน พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานจากคลื่นทะเล พลังงานจากความแตกต่างของระดับน้ำทะเลหรือแม้กระทั่งพลังงานที่ได้มาจากลม โดยทั่วไปการเปลี่ยนพลังงานจากธรรมชาติมาเป็นพลังงานไฟฟ้าเราจะใช้วิธีการของการหมุนของเครื่องต้นกำลังที่ใช้ในการกำเนิดไฟฟ้าเช่น การหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อสร้างกระแสและแรงดันที่มีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal waveform) ที่ความถี่ 50 Hz สำหรับประเทศไทย โดยความถี่นี้เราจะเรียกว่าความถี่ฐานหรือความถี่มูลฐาน (Fundamental frequency) ส่วนขนาดของแรงดันจะขึ้นอยู่กับ การส่งจ่ายและการใช้งาน ระบบไฟฟ้าในอุดมคติจะต้องส่งจ่ายไฟฟ้าที่มีคุณภาพ (Power Quality) ให้กับผู้ใช้งานหรือกล่าวคือแรงดัน ณ จุดต่อร่วมหรือจุดใช้งานต้องมีแรงดันที่คงที่เป็นรูปคลื่นไซน์ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แรงดันที่มีคุณภาพในอุดมคติ

แต่ในทางปฏิบัติแรงดันที่ถูกนำไปใช้งานจะมีรูปร่างที่ผิดเพี้ยนไปไม่มากนักขึ้นอยู่กับชนิดของโหลดที่ผู้ใช้งานนำไปใช้โดยปัญหาของการเกิดการผิดเพี้ยนไปของแรงดันเป็นปัญหาที่ต้องแก้ไขและควบคุมให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรืออยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ปัจจุบันปัญหาดังกล่าวเริ่มเกิดมากขึ้นและกลายมาเป็นปัญหาสำคัญสืบเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของโหลดที่มีลักษณะไม่เชิงเส้น (Nonlinear load) ทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมหรือแม้กระทั่งบ้านเรือนที่อยู่อาศัย โดยโหลดในระบบไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทดังนี้คือ

- โหลดที่เป็นเชิงเส้น คือ โหลดที่มีค่าอิมพีแดนซ์คงที่ตลอดคลื่นแรงดันที่ส่งจ่าย

ให้กับโหลด ณ สภาวะคงที่ (Steady state)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น คือ โหลดที่มีค่าอิมพีแดนซ์ไม่คงที่ตลอดคลื่นแรงดันที่ส่งจ่ายให้กับโหลดชนิดนั้น

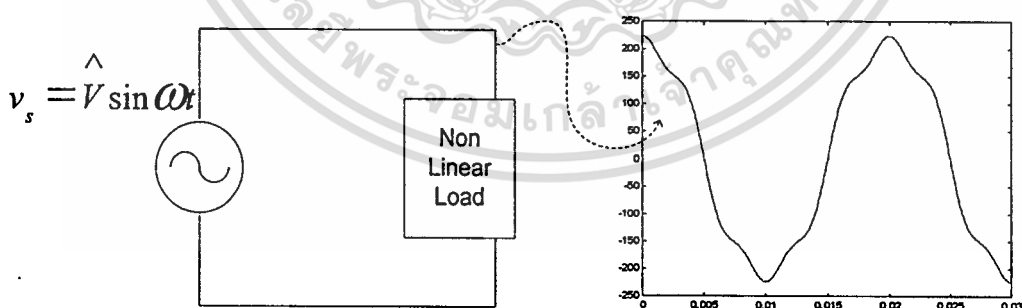
โหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นจะเป็นตัวทำให้เกิดแหล่งกำเนิดสัญญาณฮาร์โมนิกส์ (Harmonic source) ในระบบไฟฟ้าและสร้างปัญหามากมายต่อคุณภาพไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นค่าตัวประกอบกำลังที่ต่ำลง [1] รูปคลื่นแรงดันผิดเพี้ยน อายุของอุปกรณ์ไฟฟ้าสั้นลงเป็นต้น เราสามารถแบ่งโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก ๆ คือ

1. อุปกรณ์หรือโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่มีกำลังน้อย ๆ จำนวนมากต่ออยู่ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ได้แก่ อุปกรณ์จำพวกหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นกระแสตรงเฟสเดียวเช่นทีวี คอมพิวเตอร์ โดยปกติอุปกรณ์จำพวกนี้ถ้าอยู่ตัวเดียวก็จะไม่ส่งผลกระทบมากนักแต่หากมีจำนวนที่มากก็จะส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าได้

2. โหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน (เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา) ในแต่ละลูกคลื่นสัญญาณแรงดันที่ส่งจ่ายให้โหลดซึ่งโหลดจำพวกนี้ ได้แก่ เตาหอลมเหล็กแบบเหนี่ยวนำที่มีกำลังสูง

3. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเช่น ตัวแปลงกระแสสลับเป็นกระแสตรงที่มีขนาดสูง ๆ และอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้า

โหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นเหล่านี้จะสร้างความผิดเพี้ยนไปของคลื่นกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับโหลดและสามารถส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้าและการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งผลกระทบนี้อาจก่อให้เกิดความสูญเสีย ความเสียหาย หรือลดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ดังกล่าวได้โดยระดับความรุนแรงจะขึ้นอยู่กับปริมาณของความผิดเพี้ยนไปของคลื่นกระแสและแรงดัน



รูปที่ 1.2 แรงดันที่ผิดเพี้ยนไปเนื่องมาจากโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น

ในการวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนของกระแสและแรงดันจะถูกแสดงออกมาในเทอมของฮาร์โมนิกส์ที่มีสเปกตรัมทางความถี่ในย่านต่าง ๆ ด้วยทฤษฎีการแปลงทางฟูริเยร์ (Fourier transform) เพื่อเปลี่ยนสัญญาณทางคาบเวลามาเป็นคาบทางความถี่โดยการแปลงทางฟูริเยร์สามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนที่สำคัญได้แก่ การแปลงสัญญาณฟูริเยร์ของสัญญาณที่เป็นรายคาบ : Fourier series

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการแปลงสัญญาณฟูรีเยร์ของสัญญาณที่ไม่เป็นรายคาบ : Fourier transform ในทางปฏิบัติการวัดค่าแรงดันหรือกระแสฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าเราจะใช้อุปกรณ์วัดดิจิตอลมัลติมิเตอร์ในการวัดและวิเคราะห์ (Power analyzer) โดยความสามารถของอุปกรณ์ดังกล่าวก็มียากหลายรูปแบบสำหรับวัดค่าฮาร์โมนิกส์ในสัญญาณทางไฟฟ้าโดยอุปกรณ์ดังกล่าวก็จะใช้หลักการของ Fast Fourier Transform : FFT ในการเปลี่ยนสัญญาณทางอนาล็อกให้ออกมาในรูปของดิจิตอลเพื่อใช้ในการประมวลผลค่าสเปกตรัมของฮาร์โมนิกส์ต่อไป

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) แบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Back – Propagation) มาใช้ในการหาส่วนประกอบของฮาร์โมนิกส์ในสัญญาณไฟฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในการวัดด้วยวิธีการทางฟูรีเยร์โดยขั้นตอนในการสร้างชุดโครงข่ายขึ้นมาเราจะเริ่มจากการนำสัญญาณทางไฟฟ้าที่มีฮาร์โมนิกส์จากโหลดต่าง ๆ มาทำการสุ่ม (Sampling) จำนวน N ค่าเพื่อมาเป็นชุดข้อมูลอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งในกระบวนการฝึกสอนและทดสอบชุดโครงข่ายดังกล่าวจะได้กล่าวโดยละเอียดอีกครั้งต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายของปัญหาและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการวิธีในการวิเคราะห์และการหาฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลัง

1.2.2 เพื่อศึกษาและออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ในการหาค่าฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยจะทำการวิเคราะห์จากค่าของข้อมูลที่ได้จากการสุ่มสัญญาณไฟฟ้าที่มีฮาร์โมนิกส์ทางคาบเวลา

1.2.3 เพื่อศึกษาผลที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมว่ามีความถูกต้องและรวดเร็วกว่าวิธีการดั้งเดิมหรือวิธีการทางฟูรีเยร์มากน้อยเพียงใด

1.2.4 นำผลที่ได้จากการใช้โครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการวิเคราะห์ตลอดทั้งสามกรณีที่นำไปประยุกต์ใช้และเป็นแนวทางในการนำไปปรับปรุงอุปกรณ์ประเภทตัวกรองฮาร์โมนิกส์ให้มีประสิทธิภาพและมีความถูกต้องดีขึ้น

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากขีดจำกัดของวิธีการหาฮาร์โมนิกส์ด้วยวิธีการทางฟูรีเยร์ซึ่งจะต้องใช้วิธีการสุ่มสัญญาณเต็มหนึ่งคาบสัญญาณเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาฮาร์โมนิกส์อีกทั้งความถูกต้องของข้อมูลยังขึ้นอยู่กับอัตราที่ใช้ในการสุ่มสัญญาณและคาบที่ใช้ในการสุ่มต้องมีความสอดคล้องกันกับคาบของชุดข้อมูลจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าฮาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมนิคส์ในสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหาค่าฮาร์โมนิคส์เนื่องจากชุดโครงข่ายประสาทยามีความสามารถในการเรียนรู้และจดจำข้อมูลที่เรานำมาฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทยามีได้ซึ่งข้อมูลที่เราใช้ในการฝึกสอนหรือข้อมูลที่ได้จากการสุ่มสัญญาณข้อมูลไม่จำเป็นที่จะต้องสุ่มครบทั้งหนึ่งคาบเพื่อนำมาใช้หาฮาร์โมนิคส์จึงทำให้การคำนวณมีความรวดเร็วกว่าวิธีการแบบดั้งเดิมเพราะเราจะใช้สัญญาณเพียงครั้งถูกลื่อนมาเป็นชุดอินพุตของโครงข่าย อีกทั้งชุดโครงข่ายประสาทยังตอบสนองน้อยต่อความผิดพลาดอันเนื่องมาจากอัตราในการสุ่มสัญญาณที่มีค่าน้อย (Under Sampling) เพราะชุดโครงข่ายประสาทยามีสามารถเรียนรู้และประมาณการคำตอบได้ในกรณีพบสัญญาณที่ไม่เคยเห็นหรือเคยฝึกสอนมาก่อนได้ทั้งนี้ความถูกต้องของชุดโครงข่ายประสาทยามีสามารถเพิ่มได้ด้วยการเพิ่มชุดฝึกสอนหรือจำนวนรอบในการคำนวณเพื่อใช้สำหรับปรับโครงสร้างภายในให้มีความเหมาะสมกับชุดของข้อมูล

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 ทำการศึกษาข้อมูลสัญญาณฮาร์โมนิคส์ในระบบไฟฟ้ากำลังที่โรงงานผลิตเบตเตอร์แห่งหนึ่งโดยตรวจสอบวัดระดับฮาร์โมนิคส์ที่ตู้ Substation ต่าง ๆ จำนวนทั้งหมด 4 ตู้สถานีเพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมโหลดและปริมาณฮาร์โมนิคส์ของโหลดในแต่ละ Substation โดยผลการตรวจวัดที่ได้จะใช้สำหรับเป็นข้อมูลในการฝึกสอนและนำมาทดสอบชุดโครงข่ายประสาทยามีที่สร้างขึ้นว่ามีการตอบสนองต่อโหลดที่แตกต่างกันอย่างไร

1.4.2 ศึกษาการหาค่าฮาร์โมนิคส์ในสัญญาณไฟฟ้าด้วยวิธีการของฟูริเยร์ทรานส์ฟอร์มรวมทั้ง ความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นของข้อมูลจากกรณีอัตราการสุ่มน้อยเกินไปหรือการเกิดปรากฏการณ์ Aliasing

1.4.3 สร้างและทดสอบโครงข่ายประสาทยามีแบบแพร่ค่าย้อนกลับที่สามารถวัดขนาดของฮาร์โมนิคส์ในสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้มาจากอุปกรณ์ดิจิทัลมัลติมิเตอร์

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1.5.1 ศึกษาวิธีการหาค่าฮาร์โมนิคส์ด้วยวิธีการทางฟูริเยร์

1.5.2 ศึกษาวิธีการและหลักการทำงานของโครงข่ายประสาทยามี

1.5.3 ทำการเก็บข้อมูลสัญญาณฮาร์โมนิคส์ด้วยอุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่ตู้ Substation ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ กันจากโรงงานผลิตเบตเตอร์แห่งหนึ่ง

1.5.4 นำข้อมูลของสัญญาณฮาร์โมนิคส์ที่ทำกร สุ่มเก็บมาได้ (Sampling Signal) โดยใช้เครื่องวัดฮาร์โมนิคส์จำนวนครึ่งคาบ (เครื่องวัดฮาร์โมนิคส์ที่นำมาใช้มีอัตราการสุ่มสัญญาณที่ 128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าต่อหนึ่งคาบหรืออัตราการสุ่ม 6.4 kHz) เพื่อนำมาเป็นชุดอินพุตให้โครงข่ายประสาทเทียมทำการเรียนรู้และหาความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลกับผลของฮาร์โมนิกส์ที่ได้

1.5.5 ทำการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับที่มีชั้นซ่อน 1 ชั้น โดยทำการปรับเปลี่ยนจำนวนโหนดในชั้นซ่อนและฟังก์ชันการถ่ายโอน จากนั้นพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละโครงสร้างโดยพิจารณาถึงจำนวนโหนดในชั้นซ่อนและฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบใดที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) ของชุดทดสอบต่ำที่สุด

1.5.6 นำโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับที่เหมาะสมมาทดสอบหาความผิดพลาดกรณีที่อัตราการสุ่มสัญญาณมีค่าน้อยกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณข้อมูล (Nyquist frequency) และนำมาเปรียบเทียบความผิดพลาดดังกล่าวกับความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากวิธีการทางฟูริเยร์

1.5.7 ทดลองประสิทธิภาพของชุดโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้กับโหลดชนิดอื่นเพิ่มเติม โดยการเก็บข้อมูลอีก 3 Substation ที่มีโหลดแตกต่างกัน ณ ช่วงเวลาต่างๆ กันจากนั้นจะนำข้อมูลดังกล่าวมาทดสอบกับชุดโครงข่ายประสาทเทียมและนำข้อมูลเข้าพุตที่ได้จากชุดโครงข่ายมาทำการเปรียบเทียบค่าฮาร์โมนิกส์ที่อุปกรณ์ดิจิทัลมิเตอร์ที่วัดได้เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าเข้าพุตที่ได้พร้อมทั้งเปรียบเทียบเวลาที่ชุดโครงข่ายใช้ในการประมวลผลแต่ละข้อมูล

1.5.8 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) ของชุดทดสอบ ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมทั้งหมดในแต่ละ substation กับค่าที่ได้จากดิจิทัลมัลติมิเตอร์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถนำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลังได้

1.6.2 สามารถใช้เป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ตัวกรองฮาร์โมนิกส์แบบแอคทีฟ (Active Harmonic Filter) ให้มีความไวในการประมวลผลมากขึ้นเป็นต้น

1.6.3 สามารถใช้โครงข่ายประสาทเทียมเป็นอีกวิธีการหนึ่งในการหาค่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลัง นอกจากการใช้วิธีการวิเคราะห์ทางฟูริเยร์

บทที่ 2

ฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลัง

ปัจจุบันปัญหาของฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าเริ่มมีมากขึ้นและส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าจึงนับว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการศึกษาและการปรับปรุงให้ระบบไฟฟ้ามีคุณภาพมากขึ้นเนื่องจากเครื่องจักรและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งใช้งานทั่วไปใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยและมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าและความถี่ซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงนี้จะส่งผลให้อุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบทำงานผิดพลาด เครื่องจักรเกิดการโอเวอร์โหลด [2] การทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ผิดพลาด ส่งผลกระทบให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตของภาคธุรกิจอุตสาหกรรม [3] จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจวัดและหาวิธีแก้ไขปรับปรุงให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

2.1 การวิเคราะห์รูปคลื่นด้วยฟูริเยร์

การวิเคราะห์ด้วยฟูริเยร์เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปคลื่นสัญญาณทางเวลาไปเป็นส่วนประกอบอนุกรมกันทางความถี่หรือความถี่ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ นั่นเอง การวิเคราะห์ทางฟูริเยร์แบ่งออกเป็นอนุกรมฟูริเยร์ (Fourier series) และการแปลงฟูริเยร์ (Fourier transform)

2.1.1 อนุกรมฟูริเยร์

อนุกรมฟูริเยร์เป็นการแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณที่มีลักษณะการเกิดขึ้นแบบซ้ำๆ หรือสัญญาณรายคาบ (Periodic waveform) ออกมาเป็นผลบวกของส่วนประกอบกระแสตรง (Dc component) และส่วนประกอบของเทอมที่เป็นจำนวนคี่และคู่เทอมที่เป็นส่วนประกอบของรูปคลื่นฟังก์ชันไซน์และโคไซน์ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นความถี่มูลฐาน (Fundamental frequency) และส่วนที่เป็นจำนวนเต็มเท่ากับความถี่มูลฐาน (Harmonic Frequency) ดังสมการที่ 2.1

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(\frac{2\pi n t}{T}) + b_n \sin(\frac{2\pi n t}{T})) \quad (2.1)$$

- เมื่อ a_0 คือค่าเฉลี่ยของสัญญาณ (Average value) หรือส่วนประกอบของค่าที่เป็นกระแสตรง
 a_n คือส่วนประกอบของเทอมในรูปของฟังก์ชันโคไซน์
 b_n คือส่วนประกอบของเทอมในรูปของฟังก์ชันไซน์
 n คือจำนวนเต็มเท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.1 เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ของส่วนประกอบของ a_n และ b_n อยู่ในรูปของเวกเตอร์ได้ดังสมการที่ 2.2

$$A_n \angle \phi_n = a_n + jb_n \quad (2.2)$$

จากที่สมการ 2.2 เราสามารถหาขนาดและมุมของเวกเตอร์ A_n ได้ดังนี้

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (2.3)$$

$$\phi_n = \tan^{-1} \left(\frac{b_n}{a_n} \right) \quad (2.4)$$

จากสมการที่ 2.1 ซึ่งเป็นรูปแบบสมการมาตรฐานของอนุกรมฟูริเยร์นั้นเราสามารถหาขนาดของสัมประสิทธิ์ a_0 ได้โดยการอินทิเกรตทั้งสองข้างของสมการจาก $-\frac{T}{2}$ ถึง $\frac{T}{2}$ จะได้

$$\int_{-T/2}^{T/2} x(t) dt = \int_{-T/2}^{T/2} \left[a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[(a_n \cos(\frac{2\pi nt}{T}) + b_n \sin(\frac{2\pi nt}{T})) \right] \right] dt \quad (2.5)$$

$$\int_{-T/2}^{T/2} x(t) dt = a_0 \int_{-T/2}^{T/2} dt + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \int_{-T/2}^{T/2} \cos(\frac{2\pi nt}{T}) dt + b_n \int_{-T/2}^{T/2} \sin(\frac{2\pi nt}{T}) dt \right] \quad (2.6)$$

ผลจากการอินทิเกรตสมการที่ 2.6 เราจะได้

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) dt \quad (2.7)$$

จากสมการที่ 2.7 เราจะได้ว่าส่วนประกอบของ a_0 ก็คือส่วนของพื้นที่ใต้เส้นกราฟของฟังก์ชัน x นั้นเอง ส่วนการหาส่วนประกอบฟังก์ชัน a_n เราจะทำการคูณสมการที่ 2.1 ด้วย $\cos(\frac{2\pi mt}{T})$ โดย m เป็นจำนวนเต็มบวกใด ๆ และอินทิเกรตระหว่าง $-T/2$ ถึง $T/2$ จะได้

$$\begin{aligned}
 \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \cos\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) dt &= \int_{-T/2}^{T/2} \left[a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[(a_n \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi nt}{T}\right)) \right] \right] \cos\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) dt \\
 &= a_0 \int_{-T/2}^{T/2} \cos\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) dt + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \int_{-T/2}^{T/2} \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) \cos\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) dt + b_n \int_{-T/2}^{T/2} \sin\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) \cos\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) dt \right] \quad (2.8)
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ 2.8 เทอมแรกทางขวามือจะได้ค่าเท่ากับศูนย์ขณะที่เทอมที่สองจะมีค่าเท่ากับ $a_n T/2$ ดังนั้นเราจะได้อัตราส่วนประกอบสัมประสิทธิ์ a_n เท่ากับ

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt \quad \text{สำหรับ } n=1 \longrightarrow \infty \quad (2.9)$$

การหาส่วนประกอบสัมประสิทธิ์ b_n สามารถหาได้ดังวิธีการข้างต้นแต่คูณสมการด้วย $\sin \frac{2\pi mt}{T}$ จะได้

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \sin\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt \quad \text{สำหรับ } n=1 \longrightarrow \infty \quad (2.10)$$

2.1.2 ลักษณะลูกคลื่นที่มีลักษณะสมมาตร (Symmetrical waveform)

การหาอนุกรมฟูริเยร์ในสมการ 2.7, 2.9 และ 2.10 ข้างต้น ถ้าหากเราพิจารณารูปคลื่นของสัญญาณที่มีลักษณะต่อเนื่องในรูปแบบของฟังก์ชันสมมาตรจะสามารถทำให้การวิเคราะห์รูปคลื่นมีความสะดวกและทำได้ง่ายขึ้น โดยอาศัยคุณสมบัติตรีโกณมิติที่มีอยู่ในสมการนั่นเอง รูปแบบสมมาตรของรูปคลื่นมีอยู่ 3 ลักษณะที่สำคัญคือ การสมมาตรเชิงคี่ (Odd-function symmetry) การสมมาตรเชิงคู่ (Even-function Symmetry) และการสมมาตรเชิงครึ่งคลื่น (Half-wave symmetry) [4]

จากสมการที่ 2.7, 2.9 และ 2.10 ซึ่งเป็นสมการทั่วไปของอนุกรมฟูริเยร์นั้นเราสามารถแยกออกเป็นสองส่วนประกอบที่สำคัญได้ดังนี้

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} x(t) \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt + \frac{2}{T} \int_{-T/2}^0 x(t) \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt \quad (2.11)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} x(t) \sin\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt + \frac{2}{T} \int_{-T/2}^0 x(t) \sin\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt \quad (2.12)$$

แทนค่า t ด้วย $-t$ ในส่วนที่สองของการอินทิเกรตในสมการที่ 2.11 ด้วยลิมิต $(-T/2, 0)$ จะได้

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{2}{T} \int_0^{T/2} x(t) \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt + \frac{2}{T} \int_{-T/2}^0 x(-t) \cos\left(\frac{-2\pi nt}{T}\right) d(-t) \\ &= \frac{2}{T} \int_0^{T/2} [x(t) + x(-t)] \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt \end{aligned} \quad (2.13)$$

ในทำนองเดียวกัน

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} [x(t) - x(-t)] \sin\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt \quad (2.14)$$

รูปคลื่นที่มีการสมมาตรเชิงคี่ (*Odd-function symmetry*) จะมีคุณสมบัติของฟังก์ชันคือ $X(t) = -X(-t)$ ซึ่งจะทำให้ค่าของส่วนประกอบ a_n มีค่าเท่ากับศูนย์ทุกส่วนประกอบ n ขณะที่ b_n จะมีค่าเท่ากับ

$$b_n = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} x(t) \sin\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt \quad (2.15)$$

จากสมการที่ 2.15 เราจะเห็นว่ารูปคลื่นที่มีลักษณะสมมาตรเชิงคี่จะมีลักษณะส่วนประกอบเฉพาะในส่วนของรูปคลื่นไซน์เท่านั้น

รูปคลื่นที่มีการสมมาตรเชิงคู่ (*Even-function symmetry*) เป็นรูปคลื่นที่มีคุณสมบัติ $X(t) = X(-t)$ รูปคลื่นที่มีการสมมาตรลักษณะนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยอนุกรมฟูริเยร์จะทำให้สัมประสิทธิ์ในเทอมของ $b_n = 0$ จะมีเฉพาะส่วนประกอบของฟังก์ชัน a_n หรือฟังก์ชันโคไซน์เท่านั้นดังสมการ

$$a_n = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} x(t) \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt \quad (2.16)$$

รูปคลื่นที่มีลักษณะสมมาตรแบบครึ่งคลื่น (*Half-wave symmetry*) เป็นรูปคลื่นที่มีคุณสมบัติ $X(t) = -X(t + T/2)$ นั่นคือลักษณะของรูปคลื่นที่มีความสมมาตรแบบครึ่งคลื่นจะมีลักษณะของรูปคลื่นที่เหมือนกันในแต่ละครึ่งคลื่นที่อยู่ติดกัน โดยการเท่ากันนี้จะไม่คำนึงถึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องหมายของสัญญาณ (Sign) ซึ่งรูปคลื่นในแบบนี้จะมีลักษณะที่ไม่ขึ้นกับจุดเลือกของการกำหนดเวลา $t=0$ เหมือนกับลักษณะของลูกคลื่นที่เป็นฟังก์ชันสมมาตรเชิงคู่หรือเชิงคี่ข้างต้น ดังนั้น จากคุณสมบัติดังกล่าวเมื่อทำการวิเคราะห์รูปคลื่นให้อยู่ในรูปของอนุกรมฟูริเยร์ ฟังก์ชันที่ได้ของรูปคลื่นจึงประกอบไปด้วยเทอมของฟังก์ชันตรีโกณมิติเฉพาะที่ความถี่ที่เป็นจำนวนคี่เท่านั้น หรืออาจกล่าวได้ว่าประกอบไปด้วยเฉพาะฮาร์โมนิกส์ที่เป็นลำดับคี่เท่านั้น ซึ่งสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ได้ดังนี้ จากสมการที่ 2.11 เมื่อกำหนดให้ตัวแปรใหม่มีค่าเป็น $\tau = t + T/2$ แทนค่าเฉพาะเทอมที่สองของการอินทิเกรตในสมการดังกล่าวข้างต้นจะได้ผลลัพธ์ของการอินทิเกรตเป็น

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{2}{T} \int_0^{T/2} x(t) \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) dt + \frac{2}{T} \int_{-T/2+T/2}^{0+T/2} x(t+T/2) \cos\left(\frac{2\pi n(t+T/2)}{T}\right) dt \\ &= \frac{2}{T} \int_0^{T/2} x(t) \left[\cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) - \cos\left(\frac{2\pi n t}{T} + n\pi\right) \right] dt \end{aligned} \quad (2.17)$$

เมื่อ $\omega = \frac{2\pi}{T}$ จะได้

$$a_n = \frac{2}{T} (1 - \cos n\pi) \int_0^{T/2} x(t) \cos(n\omega t) dt \quad (2.18)$$

จากสมการที่ 2.18 จะเห็นว่าสัมประสิทธิ์ a_n จะมีค่าเป็น 0 เมื่อ n มีค่าเป็นจำนวนคู่ ดังนั้น ส่วนประกอบที่อยู่ในรูปของโคไซน์จะมีค่าเท่ากับ $a_n = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} x(t) \cos(n\omega t) dt$ เมื่อ n เป็นคี่ และ $a_n = 0$ เมื่อ n เป็นคู่ การหาส่วนประกอบสัมประสิทธิ์ของ b_n เราจะใช้วิธีการเดียวกันคือแทนค่า $\tau = t + T/2$ เข้าไปในสมการที่ 2.12 ในเทอมที่สองจะได้ว่า

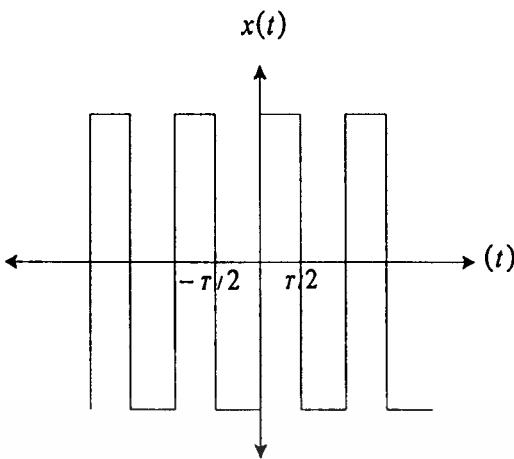
$$b_n = \frac{2}{T} (1 - \cos n\pi) \int_0^{T/2} x(t) \sin(n\omega t) dt \quad (2.19)$$

จากสมการที่ 2.19 เราจะเห็นได้ว่าเมื่อ n มีค่าเป็นคู่จะทำให้สัมประสิทธิ์ $b_n = 0$ และมีค่า $b_n = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} x(t) \sin(n\omega t) dt$ เมื่อ n มีค่าเป็นคี่ กรณีฟังก์ชันรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave function) ดัง

รูปที่ 2.1 จะมีความสัมพันธ์ดังนี้คือ $x(t) = -x(t + T/2)$ จากสมการที่ 2.17 ถ้า n เป็นจำนวนเต็มคี่ ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ของฟังก์ชันโคไซน์ $\cos\left(\frac{2\pi n t}{T} + n\pi\right) = -\cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ฟังก์ชันรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave function)

และได้สมการของสัมประสิทธิ์ a_n ดังนี้คือ

$$a_n = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} x(t) \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) dt \tag{2.20}$$

อย่างไรก็ตามกรณีที่ n เป็นจำนวนเต็มคู่จะได้ความสัมพันธ์ของฟังก์ชันโคไซน์ว่า $\cos\left(\frac{2\pi n t}{T} + n\pi\right) = \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right)$ และจะทำให้สัมประสิทธิ์ a_n มีค่าเป็นศูนย์ ทำนองเดียวกันสัมประสิทธิ์ b_n จะมีค่า

$$b_n = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} x(t) \sin\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) dt \tag{2.21}$$

เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มคี่ และ $b_n=0$ เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มคู่ ดังนั้นรูปคลื่นซึ่งมีลักษณะสมมาตรแบบครึ่งลูกคลื่นจะประกอบไปด้วยลำดับของฮาร์โมนิกส์จำนวนเต็มคี่เท่านั้น

จากรูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 2.1 ซึ่งมีลักษณะเป็นฟังก์ชันสมมาตรเชิงคี่และสมมาตรแบบครึ่งคลื่นด้วยจะทำให้สามารถหาสัมประสิทธิ์ b_n ในเงื่อนไขนี้ได้ดังนี้คือ

$$b_n = \frac{8}{T} \int_0^{T/4} x(t) \sin\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) dt \tag{2.22}$$

2.1.3 จำนวนเชิงซ้อนของอนุกรมฟูรีเยร์ (Complex Form of the Fourier Series)

ในส่วนของอนุกรมฟูรีเยร์นั้นเราสามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปของจำนวนเชิงซ้อนได้อีกรูปแบบหนึ่งซึ่งมีความสำคัญต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์การวัดค่าฮาร์โมนิกส์

กำหนดให้เวกเตอร์หนึ่งหน่วย $(A/2)e^{j\phi}(X(f_n))$ ซึ่งมีขนาด $(A/2)$ และมุมเฟส ϕ ซึ่งมีความสัมพันธ์คือ

$$\phi = 2\pi ft + \theta \quad (2.23)$$

โดย ϕ มีมุมเริ่มต้นที่ $t=0$

และกำหนดเวกเตอร์หนึ่งหน่วยตัวที่สองมีค่า $(A/2)e^{j\phi}(X(-f_n))$ ซึ่งมีเฟสตรงข้ามกับเวกเตอร์ตัวแรก ผลรวมของเวกเตอร์ตัวแรกและเวกเตอร์ตัวที่สองจะมีค่าเท่ากับ

$$\frac{A}{2}e^{j\phi} + \frac{A}{2}e^{-j\phi} = A\cos\phi \quad (2.24)$$

ดังนั้น ส่วนประกอบของแต่ละฮาร์โมนิกส์สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ขนาดครึ่งหน่วยที่มีการหมุนในทิศทางตรงข้ามกันบวกกันเช่น

$$X(f_n) = X^*(-f_n) \quad (2.25)$$

ซึ่ง $X^*(-f_n)$ เป็นคอนจูเกตของ $X(-f_n)$

ความสัมพันธ์ของฟังก์ชันไซน์และฟังก์ชันโคไซน์สามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปของเวกเตอร์ครึ่งหน่วยดังนี้คือ

$$\cos(n\omega t) = \frac{e^{jn\omega t} + e^{-jn\omega t}}{2} \quad (2.26)$$

และ

$$\sin(n\omega t) = \frac{e^{jn\omega t} - e^{-jn\omega t}}{2j} \quad (2.27)$$

ดังนั้นจากสมการที่ 2.1 เราสามารถเขียนรูปคลื่น $x(t)$ ในรูปของฟังก์ชันเชิงซ้อนได้ ดังนี้คือ

$$X(t) = \sum c_n e^{jn\omega t} \quad (2.28)$$

โดย $c_n = \frac{1}{2(a_n - jb_n)}$, $c_{-n} = c_n$ และ $c_0 = a_0$ ค่าในเทอมของ c_n ในรูปของการอินทิเกรตของจำนวนเชิงซ้อน

$$c_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x(\omega t) e^{-jn\omega t} d(\omega t) \quad (2.29)$$

และ

$$c_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x(\omega t) d(\omega t) \quad (2.30)$$

2.1.4 ฟूरियร์ทรานสฟอร์ม (Fourier Transform)

ฟूरियร์ทรานสฟอร์มเป็นการขยายขอบเขตของการอินทิเกรตจากคาบไปเป็นอินฟินิตี $\omega \rightarrow 0$ ซึ่งสัมประสิทธิ์ของ ฟूरियร์ c_n ในสมการที่ 2.29 จะกลายมาเป็นสัญญาณแบบต่อเนื่อง

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (2.31)$$

ดังนั้นฟังก์ชัน $x(t)$ จะกลายมาเป็นสัญญาณแบบต่อเนื่องในเทอมของ $X(f)$ ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์คือ

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) e^{j2\pi ft} df \quad (2.32)$$

โดย $X(f)$ คือความหนาแน่นของสเปกตรัมของ $x(t)$ ซึ่งเราสามารถเขียน $X(f)$ ในรูปแบบทั่วไปคือ

$$X(f) = \text{Re } X(f) + j \text{Im } X(f) \quad (2.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\text{Re } X(f)$ หาได้จาก

$$\begin{aligned}\text{Re } X(f) &= \frac{1}{2}[X(f) + jX(-f)] \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cos(2\pi ft) dt\end{aligned}\quad (2.34)$$

ทำนองเดียวกัน $\text{Im } X(f)$ หาได้จาก

$$\begin{aligned}\text{Im } X(f) &= \frac{1}{2}j[X(f) - jX(-f)] \\ &= -\int_{-\infty}^{\infty} x(t) \sin(2\pi ft) dt\end{aligned}\quad (2.35)$$

ขนาดของสเปกตรัมของสัญญาณทางความถี่หาได้จาก

$$|X(f)| = [\text{Re } X(f)^2 + \text{Im } X(f)^2]^{1/2} \quad (2.36)$$

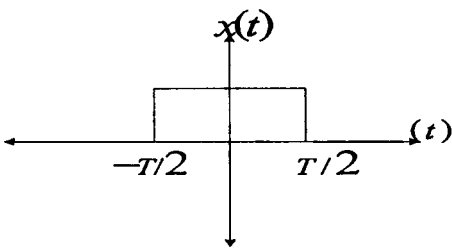
และมีขนาดของเฟสของสเปกตรัมคือ

$$\phi(f) = \tan^{-1} \left[\frac{\text{Im } X(f)}{\text{Re } X(f)} \right] \quad (2.37)$$

จากสมการที่ 2.33 ถึงสมการที่ 2.37 การแปลงย้อนกลับของฟูรีเยร์ทรานฟอร์มสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของส่วนประกอบของขนาดและมุมเฟสได้ดังนี้คือ

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} |X(f)| \cos[2\pi ft - \phi(f)] df \quad (2.38)$$

ตัวอย่างเช่นกรณีของฟังก์ชันรูปสี่เหลี่ยม $x(t) = K$ for $|t| \leq T/2$ และ $x(t) = 0$ for $|t| > T/2$ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ฟังก์ชันรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular function)

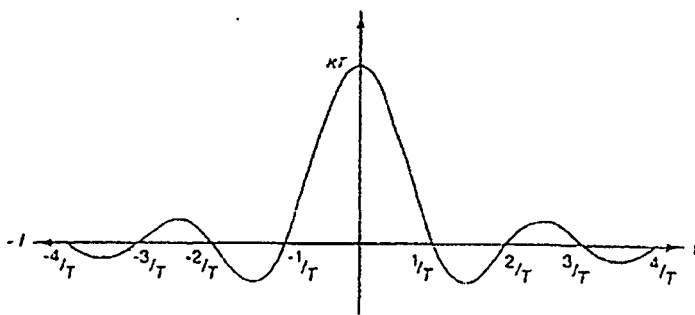
จากฟังก์ชันดังกล่าวข้างต้นสามารถหาฟูริเยร์ทรานฟอร์มได้ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} X(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \\ &= \int_{-T/2}^{T/2} Ke^{-j2\pi ft} dt \\ &= \frac{-K}{\pi f} \cdot \frac{1}{2j} [e^{-j\pi ft} - e^{j\pi ft}] \\ &= \frac{e^{j\phi} - e^{-j\phi}}{2j} \end{aligned}$$

จากความสัมพันธ์ของ $\text{Sin}(\phi) = \frac{e^{j\phi} - e^{-j\phi}}{2j}$ เราจะได้ว่า

$$\begin{aligned} X(f) &= \frac{K}{\pi f} \sin(\pi ft) \\ &= KT \left[\frac{\sin(\pi ft)}{\pi ft} \right] \end{aligned} \tag{2.39}$$

จากสมการที่ 2.39 เราจะเห็นได้ว่าค่าในวงเล็บก็คือฟังก์ชัน sinc นั่นเองซึ่งสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันทางความถี่ได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ฟังก์ชัน sinc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 การแปลงสัญญาณฟูรีเยร์ของสัญญาณแบบสุ่ม (Sampling time function)

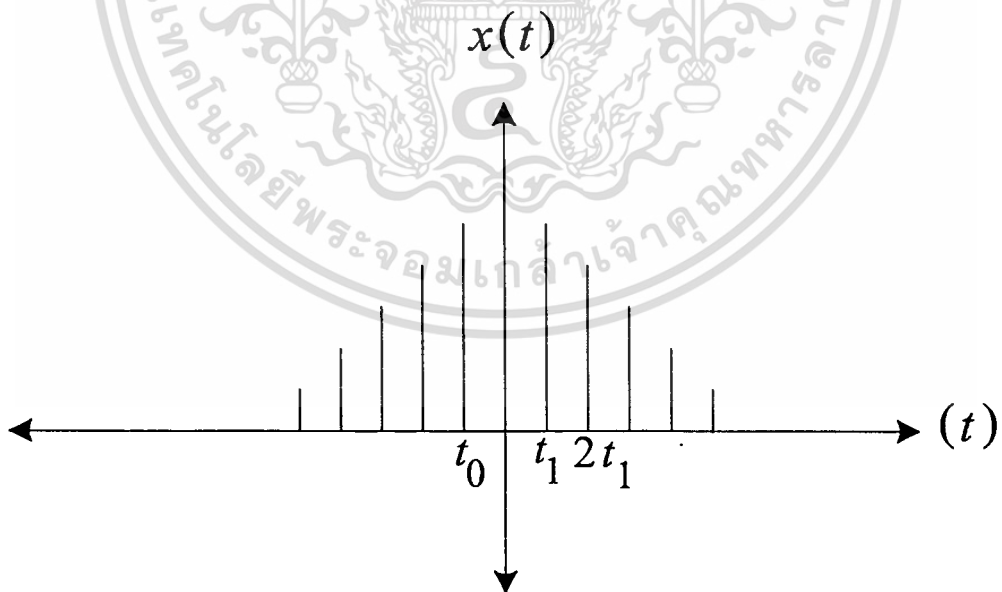
จากความก้าวหน้าของระบบการประมวลผลดิจิทัล รูปคลื่นฟังก์ชันส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสัญญาณแบบสุ่มซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 โดยความถี่ในการสุ่มสัญญาณอยู่ที่ $f_s = \frac{1}{t_1}$ ซึ่งในกรณีนี้จะมีผลการแปลงฟูรีเยร์ทรานสฟอร์มของสัญญาณเป็นสมการการรวมกันของสัญญาณที่ได้ในแต่ละสัญญาณที่สุ่มคูณด้วย $e^{-j2\pi f n t_1}$

$$X(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n t_1) e^{-j2\pi f n t_1} \quad (2.40)$$

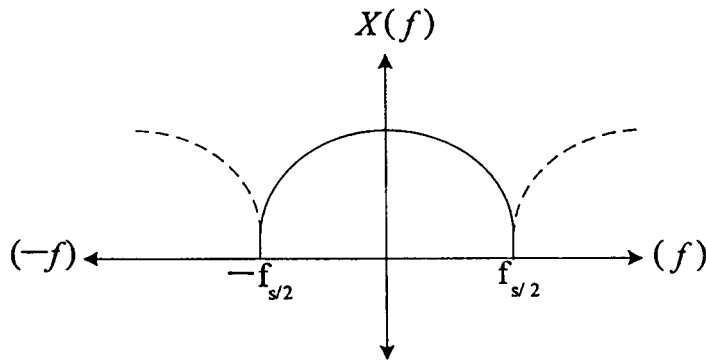
และมีผลการแปลงฟูรีเยร์ย้อนกลับคือ

$$X(t) = \frac{1}{f_s} \int_{-f_s/2}^{f_s/2} X(f) e^{j2\pi f n t_1} df \quad (2.41)$$

จากสัญญาณแบบสุ่มที่ได้มีสเปกตรัมความถี่ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งเป็นสัญญาณที่มีลักษณะของสัญญาณรบกวน



รูปที่ 2.4 สัญญาณแบบสุ่ม



รูปที่ 2.5 สเปกตรัมความถี่ของสัญญาณแบบสุ่ม

2.1.6 ฟิวรีเยร์ทรานสฟอร์มของสัญญาณไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier transforms :DFT)

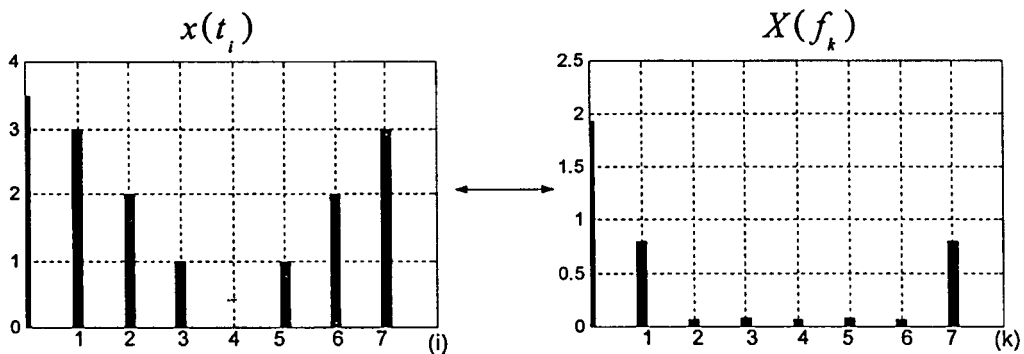
ในกรณีสัญญาณทางความถี่เป็นสัญญาณลักษณะฟังก์ชันแบบสุ่มที่มีลักษณะเดียวกันกับสัญญาณทางเวลา เราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณทางเวลาและทางความถี่คือ

$$X(f_k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(t_n) e^{-j2\pi f_k t_n} \quad (2.42)$$

และมีผลการแปลงสัญญาณคือ

$$x(t_n) = \sum_{k=-0}^{N-1} X(f_k) e^{-j2\pi f_k t_n} \quad (2.43)$$

สมมติให้สัญญาณทางความถี่และสัญญาณทางเวลาที่เป็นสัญญาณแบบสุ่มมีลักษณะเป็นสัญญาณรายคาบ (Periodic signal) เราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณทางคาบเวลาและสัญญาณทางคาบความถี่ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งมีจำนวนในการสุ่ม N ค่าในหนึ่งคาบ



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของฟังก์ชันสัญญาณแบบสุ่มทางคาบเวลาและคาบความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่าย หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ $W = e^{-j2\pi/N}$ แทนค่า w ในสมการที่ 2.42 จะได้

$$X(f_k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(t_n) W^{kn} \quad (2.44)$$

จากสมการที่ 2.44 เราสามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปของเมตริกได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} X(f_0) \\ X(f_1) \\ \vdots \\ X(f_k) \\ \vdots \\ X(f_{N-1}) \end{bmatrix} = \frac{1}{N} \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 \\ 1 & W & \dots & W^k & \dots & W^{N-k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & W^k & \dots & W^{kn} & \dots & W^{k(N-1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & W^{N-1} & \dots & W^{(N-1)k} & \dots & W^{(N-1)^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t_0) \\ x(t_1) \\ \vdots \\ x(t_k) \\ \vdots \\ x(t_{N-1}) \end{bmatrix} \quad (2.45)$$

จากสมการที่ 2.45 เราสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังนี้

$$[X(f_k)] = \frac{1}{N} [W^{kn}] [x(t_n)] \quad (2.46)$$

ในสมการนี้ $[x(f_k)]$ จะเป็นเวกเตอร์ที่ถูกแสดงด้วย N ส่วนของฟังก์ชันในสัญญาณรายความถี่ ขณะที่ $[x(t_n)]$ เป็นเวกเตอร์ที่ถูกแสดงด้วย N ส่วนของฟังก์ชันในสัญญาณคาบเวลา การคำนวณส่วนประกอบของ N ส่วนประกอบในสัญญาณทางความถี่และ N ส่วนประกอบในสัญญาณทางเวลาเราจะเห็นได้ว่าเราต้องทำการคูณกันถึง N^2 ของจำนวนเชิงซ้อนเพื่อที่จะให้ได้คำตอบดังสมการข้างต้น

แต่ละส่วนประกอบในเมตริก $[W^{kn}]$ สามารถแสดงเป็นเวกเตอร์ขนาด 1 หน่วยมีทิศทางการหมุนตามเข็มนาฬิกา $2\pi/N$ ($n = 0, 1, 2, 3, \dots, (N-1)$) ยกตัวอย่างเช่น $N=8$ จะได้

$$W = e^{-j2\pi/8} = \cos \frac{\pi}{4} - j \sin \frac{\pi}{4} \quad (2.47)$$

จะเห็นได้ว่าเวกเตอร์หนึ่งหน่วยนี้จะมีการหมุนผ่านที่ $\pm 0^\circ$, $\pm 45^\circ$, $\pm 90^\circ$ และ $\pm 135^\circ$ ตามลำดับสำหรับกรณีของ $[W^{kn}]$ เมื่อ $kn > 8$ เวกเตอร์จะมีการหมุนวนกลับมาที่ตำแหน่งดังกล่าว ทำให้เราจะได้ค่าสัมบูรณ์ของเวกเตอร์ $[W^{kn}]$ อยู่ 4 รูปแบบสำหรับการสุ่มสัญญาณที่ 8 ค่าต่อหนึ่ง

รอบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

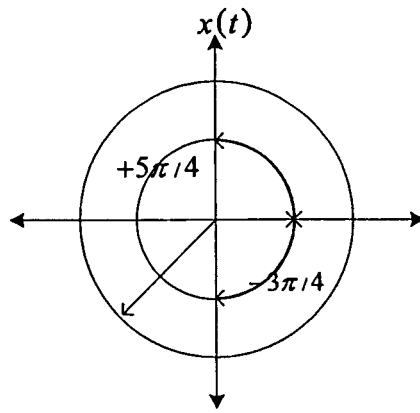
$$\begin{bmatrix}
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 1 & w & -j & w^3 & -1 & -w & j & -w^3 \\
 1 & -j & -1 & j & 1 & -j & -1 & j \\
 1 & w^3 & j & w & -1 & -w^3 & -j & -w \\
 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\
 1 & -w & -j & -w^3 & -1 & w & j & w^3 \\
 1 & j & -1 & -j & 1 & j & -1 & -j \\
 1 & -w^3 & j & -w & -1 & w^3 & -j & w
 \end{bmatrix} \quad (2.48)$$

จากเมตริกข้างต้นเราจะเห็นได้ว่าส่วนประกอบของ DC ของสเปกตรัมความถี่ $x(f_0)$ หาได้จากการบวกกันของทุกค่าที่ได้จากการสุ่มสัญญาณทางคาบเวลาหารด้วยจำนวนของการสุ่มหรือก็คือค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่สุ่มได้นั่นเอง

2.1.7 ความถี่ Nyquist และ ปรากฏการณ์ Aliasing

ปรากฏการณ์ Aliasing เป็นปรากฏการณ์ที่มักเกิดขึ้นกับอุปกรณ์วัดฮาร์โมนิกส์ที่มีอัตราการสุ่ม (Sampling) ต่ำเกินไปหรืออุปกรณ์ที่นำมาวัดสัญญาณฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าไม่มีอุปกรณ์ตัวกรองทางความถี่ด้านสูงทำให้ข้อมูลที่วัดได้มีความผิดพลาดเกิดขึ้น [5] แต่ถ้าหากสัญญาณที่เรานำมาทำการวัดมีข้อมูลทางด้านความถี่สูงเราก็อาจจะไม่สามารถวัดสัญญาณช่วงนั้นได้หากอุปกรณ์วัดกรองความถี่ย่านนั้นออกดังนั้นเราจึงควรที่จะศึกษาถึงลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อใช้ในการพิจารณาอุปกรณ์วัดให้เหมาะสมกับการใช้งาน

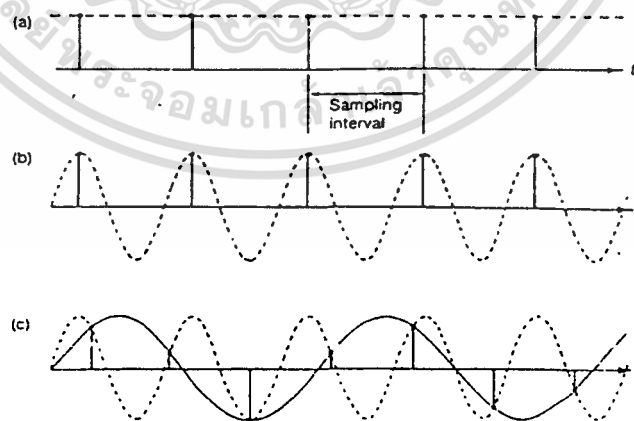
จากสมการที่ 2.45 สำหรับการหาฟูริเยร์ DFT และเมตริก $[w^k]$ เราจะเห็นได้ว่าแถวที่ $N/2$ ถึง N จะเป็นการหมุนของเวกเตอร์ตรงข้ามของเวกเตอร์ 1 ถึง $N/2$ หรือมีค่าเป็นลบ ของเวกเตอร์ 1 ถึง $N/2$ โดยส่วนประกอบทางความถี่ที่มีค่าสูงกว่า $k=N/2$ สามารถพิจารณาได้จากความถี่ติดลบซึ่งเกิดจากเวกเตอร์หนึ่งหน่วยจะมีการหมุนเกินครึ่งรอบ π นั่นเองตัวอย่างเช่นการสุ่มสัญญาณทางคาบเวลาที่ 8 ค่าต่อหนึ่งรอบ ส่วนประกอบในแถวที่ 3 จะมีการหมุนผ่าน $-\pi/2$ โดยส่วนประกอบในแถวที่ 7 จะมีค่าเหมือนกับค่าการหมุนที่ผ่าน $-3\pi/2$ หรือเป็นค่าติดลบของการหมุนที่ผ่าน $-\pi/2$ ซึ่งเราจะได้การหมุนของเวกเตอร์บวกคือ $2\pi(N/2+p)/N$ radians สำหรับ $p = 1, 2, 3, \dots, (N/2 - 1)$ เมื่อ N มีค่าเป็นคู่ทำนองเดียวกันการหมุนของเวกเตอร์ลบ จะมีสมการการหมุนคือ $-2\pi(N/2-p)/N$ radians ดังนั้น $-x(k)$ จะมีความสัมพันธ์กับ $x(N-k)$ สำหรับ $k=1$ ถึง $N/2$ แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของการหมุนของเวกเตอร์บวกและเวกเตอร์ลบ

เนื่องจากการหมุนของเวกเตอร์ลักษณะนี้ทำให้เราเห็นได้ว่าเราต้องใช้ความถี่ในการสุ่มสัญญาณทางคาบเวลาอย่างน้อยสองเท่าของของความถี่สูงสุดของสัญญาณข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องในทางความถี่ โดยความถี่ที่ครึ่งหนึ่งของอัตราการสุ่มสัญญาณทางคาบเวลาเราจะเรียกว่าความถี่นี้ว่า Nyquist frequency

จากการแสดงถึงความสัมพันธ์ของความถี่ข้างต้นเราจะเห็นได้ว่าหากเราทำการสุ่มสัญญาณทางคาบเวลาที่มีอัตราการสุ่มสัญญาณน้อยกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุดข้อมูลจะทำให้ข้อมูลทางด้านความถี่สูงจะถูกแสดงปนกับข้อมูลทางความถี่ต่ำซึ่งความผิดพลาดอันเนื่องมาจากความถี่ที่สูงกว่า Nyquist frequency ที่ถูกแสดงปนกับข้อมูลความถี่ต่ำเราเรียกว่าการเกิด Aliasing ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ผลกระทบของ aliasing : (a) $x(t)=k$; (b) $x(t)= X(t) = k \cos 2\pi f t$ and (c) รูปคลื่นการสุ่มสัญญาณกรณีที่มีอัตราการสุ่มมากกว่าและน้อยกว่า Nyquist frequency

การป้องกันการเกิด Aliasing สามารถกระทำได้โดยการใส่ตัวกรองความถี่ Band Pass Filter ที่สัญญาณอิทธิพลทางคาบเวลาแต่หากเราทำการกรองสัญญาณข้อมูลที่ความถี่ก็จะทำให้สูญเสียข้อมูลทางด้านความถี่สูงได้เช่นเดียวกัน

2.1.8 การแปลงฟูริเยร์แบบรวดเร็ว (Fast Fourier Transform :FFT)

จากการแปลงสัญญาณด้วยวิธีของ DFT ดังกล่าวข้างต้นเราจะเห็นได้ว่าหากเราทำการสุ่มสัญญาณทางคาบเวลา N ครั้งในหนึ่งลูกคลื่นเราจะต้องทำการคูณกันของจำนวนเชิงซ้อนถึง N^2 ครั้งเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ การลดจำนวนการคูณกันของสมการดังกล่าวสามารถทำได้โดยใช้วิธีการของ FFT ซึ่งสามารถลดจำนวนการคูณกันลงถึง $\frac{N}{2} \log_2 N$ ครั้ง เช่นกรณีที่เราทำการสุ่มสัญญาณจำนวน 10 ค่าในหนึ่งลูกคลื่นจะทำให้เราลดเวลาในการคำนวณลงได้ถึง 200 เท่า [6] ด้วยวิธีการจัดเมตริก $[W^{kn}]$ ใหม่ให้เหลือ $\log_2 N$ เมตริกซึ่งประกอบไปด้วยเมตริกที่ในแต่ละแถวจะมีเพียง 2 จำนวนที่มีค่าไม่เป็นศูนย์ดังนั้นการคูณกันของเมตริกจะเหลือเพียงการคูณกัน N ค่าในเมตริกจากความสัมพันธ์ของเมตริก $[W^{kn}]$ ซึ่ง $[W^{N/2}] = -[W^0]$ และ $[W^{(N+2)/2}] = [W^1]$ etc.

จากเพคเตอร์เมตริกที่ได้เราจะทำการจัดแถวในเมตริกใหม่ โดยถ้ากำหนดให้แต่ละแถวของเมตริกถูกแทนด้วยเลขฐานสองการจัดการกับเมตริกก็คือการสลับบิตในเลขฐานสองนั่นเองเช่น กรณีที่เราทำการสุ่มสัญญาณจำนวน 8 ค่าในหนึ่งลูกคลื่น แถวที่ 5 จะแสดงด้วย 100 (แถว 1 คือ 000) และสลับบิตได้เป็น 001 หรือก็คือแถวสองนั่นเอง ดังนั้นแถว 2 และแถว 5 จะถูกสลับกันและทำนองเดียวกันแถว 4 กับแถว 7 ที่ถูกแทนด้วย 011 และ 110 ก็จะถูกสลับกันส่วนแถว 1, 3, 6 และ 8 จะมีการสลับบิตเหมือนเดิมทำให้แถวดังกล่าวไม่ถูกการสลับหรือให้คงไว้เช่นเดิม ซึ่งเราจะได้ความสัมพันธ์ของเมตริก $[W^{kn}]$ ใหม่คือ

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -j & -1 & j & 1 & -j & -1 & j \\ 1 & j & -1 & -j & 1 & j & -1 & -j \\ 1 & w & -j & w^3 & -1 & -w & j & -w^3 \\ 1 & -w & -j & -w^3 & -1 & w & j & w^3 \\ 1 & w^3 & j & w & -1 & -w^3 & -j & -w \\ 1 & -w^3 & j & -w & -1 & w^3 & -j & -w \end{bmatrix} \quad (2.49)$$

จากเมตริกที่ได้เราสามารถแยกเมตริกออกได้เป็นสามส่วนคือ ($\log_2 8 = 3$)

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & & & & & & \\ & 1 & -1 & & & & & \\ & & 1 & -j & & & & \\ & & 1 & j & & & & \\ & & & 1 & w & & & \\ & & & 1 & -w & & & \\ & & & & 1 & w^3 & & \\ & & & & 1 & -w^3 & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & & 1 & & & & & \\ & 1 & & & 1 & & & \\ & 1 & & -1 & & & & \\ & 1 & & & -1 & & & \\ & & 1 & & & 1 & -j & \\ & & & 1 & & 1 & & -j \\ & & & 1 & & j & & \\ & & & & 1 & & j & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & & & & & & & \\ & 1 & & & & & & \\ & & 1 & & & & & \\ & & & 1 & & & & \\ & & & & 1 & & & \\ & & & & & 1 & & \\ & & & & & & 1 & \\ & & & & & & & 1 \end{bmatrix} \quad (2.50)$$

การสลับของเมตริก $[W^{kn}]$ ข้างต้นผลลัพธ์ในส่วนของการสเปกตรัมทางความถี่จะต้องทำการสลับค่ากลับคืนด้วย กำหนดให้ $N = 2^m$ เราสามารถแทนค่า n และ k ด้วย m บิตในเลขฐานสองเช่น

$$n = n_{m-1}2^{m-1} + n_{m-2}2^{m-2} + \dots + 4n_2 + 2n_1 + n_0 \quad (2.51)$$

$$k = k_{m-1}2^{m-1} + k_{m-2}2^{m-2} + \dots + 4k_2 + 2k_1 + k_0 \quad (2.52)$$

โดย $n_i = 0,1$ และ $k_i = 0,1$ ตัวอย่างเช่น $N=8$ จะได้ $n = 4n_2 + 2n_1 + n_0$ และ $k = 4k_2 + 2k_1 + k_0$ ซึ่ง n_2, n_1, n_0 และ k_2, k_1, k_0 เป็นจำนวนเลขฐานสองจากสมการที่ 2.44 เราสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$X(k_2, k_1, k_0) = \sum_{n_2=0}^1 \sum_{n_1=0}^1 \sum_{n_0=0}^1 \frac{1}{N} (n_2, n_1, n_0) W \quad (2.53)$$

จากการกำหนด n และ k จะทำให้เราสามารถคำนวณสมการที่ 2.44 ออกเป็นสามส่วน

ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_1(k_0, n_1, n_0) = \sum_{n=0}^1 \frac{1}{N} (n_2, n_1, n_0) W^{4k_0 n_2} \quad (2.54)$$

$$A_2(k_0, n_1, n_0) = \sum_{n=0}^1 A_1(n_2, n_1, n_0) W^{2(k_0+2k_1)n_1} \quad (2.55)$$

$$A_3(k_0, n_1, n_0) = \sum_{n=0}^1 A_2(n_2, n_1, n_0) W^{(k_0+2k_1+4k_2)n_0} \quad (2.56)$$

จากสมการที่ 2.56 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ A_3 ประกอบไปด้วยสัมประสิทธิ์ $X(k)$ แต่อยู่ในรูปของการสลับบิต

ลำดับของ A_3 ในเลขฐานสอง ด้วยรูปแบบของ k_0, k_1, k_2

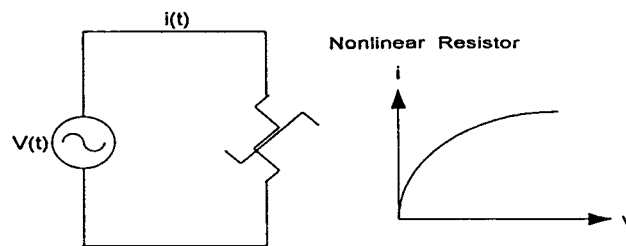
และลำดับของ $X(k)$ ในเลขฐานสอง ด้วยรูปแบบของ k_2, k_1, k_0

ดังนั้น

$$\begin{aligned} A_3(3) &= A_3(011) = X(110) = X(6) \\ A_3(4) &= A_3(100) = X(100) = X(1) \\ A_3(5) &= A_3(101) = X(101) = X(5) \end{aligned} \quad (2.57)$$

2.2 แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์

ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันหรือกระแสที่มีในระบบไฟฟ้าเกิดจากโหลดที่มีลักษณะไม่เชิงเส้น (Nonlinear Load) ที่ต่ออยู่กับระบบไฟฟ้าหรือที่เราเรียกว่ามีฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้านั้นเอง โดยคุณสมบัติของโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นเหล่านี้จะส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไม่ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่ไหลในโหลด [7] หลักการของโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นและเกิดการผิดเพี้ยนขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยสมมติให้จ่ายแรงดันรูปคลื่นไซน์ให้กับความต้านทานที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นอย่างง่าย

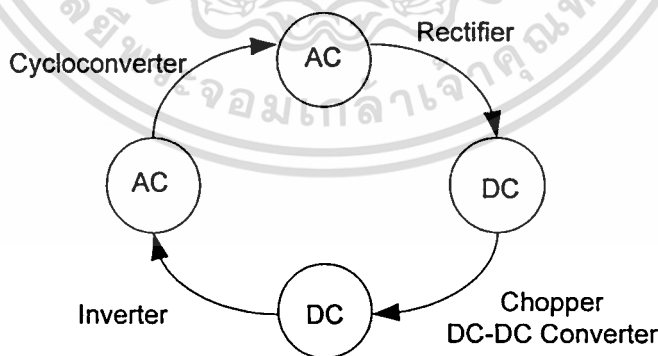


รูปที่ 2.9 กระแสที่ผิดเพี้ยนอันเนื่องมาจากคุณสมบัติที่ไม่เป็นเชิงเส้น

โหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่ค่ออยู่ในระบบไฟฟ้าซึ่งเป็นแหล่งสร้างฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า มีอยู่หลายชนิด โดยฮาร์โมนิกส์ที่มีขนาดน้อย ๆ อาจเกิดมาจากระบบไฟฟ้าเองก็ได้ ส่วนฮาร์โมนิกส์ที่มีกำลังค่อนข้างใหญ่และทำให้เกิดความผิดเพี้ยนสูงอาจเกิดมาจากเครื่องใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้านเรือนหรือโรงงานอุตสาหกรรม โดยแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ที่ค่อนข้างใหญ่และรุนแรงได้แก่ เครื่องแปลงผันกำลังแบบสถิต (Static power converter) เช่น อุปกรณ์ควบคุมเฟส (Phase control and high power) วงจรเรกติไฟเออร์ที่ไม่มีการควบคุมและมีการใช้ตัวเก็บประจุเพื่อทำให้แรงดันด้านขาออกมีความเรียบ ซึ่งใช้ในเครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องเปลี่ยนความถี่ คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในสำนักงาน บ้านเรือน และ บัลลาสต์แบบอิเล็กทรอนิกส์ แม้ว่าโหลดเหล่านี้แต่ละตัวจะสร้างฮาร์โมนิกส์ไม่สูงแต่หากมีจำนวนหน่วยที่มากก็จะทำให้ปริมาณฮาร์โมนิกส์รวมในระบบค่อนข้างสูง ซึ่งในการวิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์จำเป็นต้องมีข้อมูลเกี่ยวข้องหลายอย่าง เช่น รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า ณ จุดที่ต่อกับวงจรแปลงผัน รูปแบบของวงจรแปลงผัน ชนิดของการควบคุมการทำงานของวงจร อิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC system impedance) พารามิเตอร์ทางด้านไฟฟ้า กระแสตรงในระบบ (DC circuit parameter) เป็นต้น ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์มีความยุ่งยาก โหลดที่มีลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นชนิดอื่นที่ไม่ใช่โหลดจำพวกแปรงฟันที่สำคัญอื่น ๆ และมีผลกระทบสูงในระบบไฟฟ้าได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้า วงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ เครื่องจักรกลไฟฟ้า เต้าหลอม โลหะแบบเหนียวนำ เป็นต้น

2.2.1 เครื่องแปลงผันแบบสถิตย

เครื่องแปลงผันแบบสถิตย (Converter) เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนกระแสระหว่างกระแสสลับและกระแสตรง โดยมีความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การแปลงผันทางไฟฟ้ารูปแบบต่าง ๆ

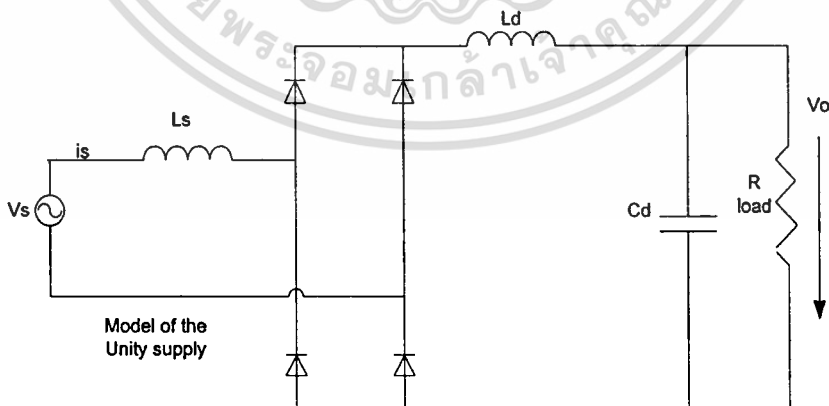
แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะมาจากอุปกรณ์ที่อยู่ในรูปของการแปลงผันพลังงานในรูปของ AC-DC หรืออุปกรณ์พวก Rectifier ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งการใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าค่อนข้างสูงอัน

เนื่องมาจากการต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าสายประธานโดยตรงอีกทั้งยังมีกำลังไฟฟ้าสูงซึ่งเราสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มคือ

1. คอนเวอร์เตอร์กำลังต่ำ (Small power converter) เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้กับระบบกำลังไฟฟ้าเฟสเดียวเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งอาจเป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านในสำนักงานเช่น คอมพิวเตอร์หรือโน้ตบุค เครื่องพิมพ์ โทรศัพท์ เครื่องสำรองไฟฟ้า เครื่องถ่ายเอกสาร เป็นต้น
2. คอนเวอร์เตอร์ที่มีกำลังปานกลาง (Medium power converter) เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่มีอุปกรณ์อยู่ในช่วง 10 kW – 100 kW ซึ่งมีใช้ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบต่าง ๆ เป็นต้น
3. คอนเวอร์เตอร์กำลังสูง (High power converter) เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมหนักเช่น อุตสาหกรรมหลอมเหล็ก การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงสูง (HVDC) เป็นต้น

2.2.2 คอนเวอร์เตอร์เครื่องแปลงผันแบบกำลังต่ำ (Small power converter)

โหลดคอนเวอร์เตอร์ส่วนมากจะเป็นโหลดแบบหนึ่งเฟส โดยอุปกรณ์ลักษณะนี้จะมีแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่มีการควบคุม (Uncontrolled rectifier) ทั้งที่เป็นแบบ RCD (Resistors, Capacitors, Diodes) ธรรมดาหรือแบบที่เป็นวงจรแหล่งจ่ายแรงดันแบบสวิตชิงเพื่อควบคุมแรงดันแบบ DC อยู่ด้วยเสมอ เครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้เช่นพวกเครื่องรับโทรศัพท์ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยอุปกรณ์เหล่านี้ถ้ามีการใช้งานตามลำพังเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้จะไม่กำเนิดฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ามากนัก แต่ถ้าหากมีการใช้งานอุปกรณ์เหล่านี้พร้อมกันหลายๆ เครื่องอาจส่งผลให้ฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าสูงขึ้นมากซึ่งจะสร้างปัญหาให้กับระบบไฟฟ้าตามมา วงจรพื้นฐานของอุปกรณ์เหล่านี้ดังแสดงในรูปที่ 2.11



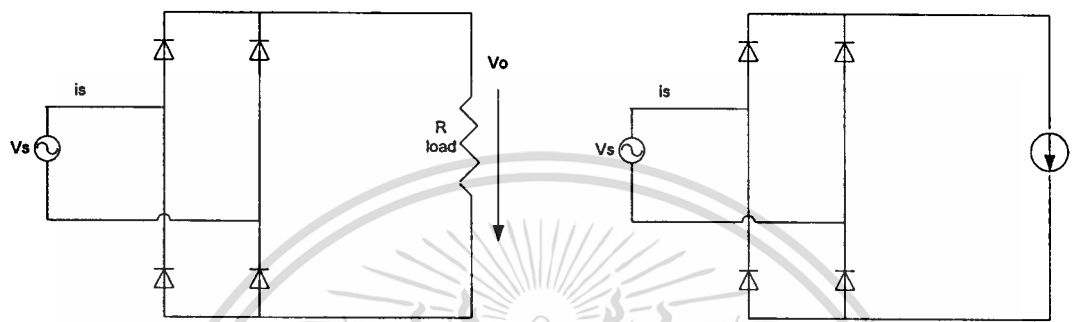
รูปที่ 2.11 วงจรเรกติไฟเออร์แบบบริดจ์ 1 เฟส

จากรูปที่ 2.13 แหล่งจ่ายแรงดัน AC จะมีอิมพีแดนซ์ภายในอยู่ในที่นี้แสดงด้วย L_s ส่วนด้านออกแรงดัน DC สามารถทำให้เรียบได้โดยการต่อตัวเก็บประจุที่มีค่าสูง แต่จะมีผลตามมาก็จะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้กระแสด้านเข้าผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ ดังนั้นเพื่อการปรับปรุงรูปคลื่นให้ใกล้เคียงไซน์ จะสามารถทำได้โดยการเพิ่มค่า L_s ทางด้าน AC หรือเพิ่มค่า L_d ทางด้าน DC

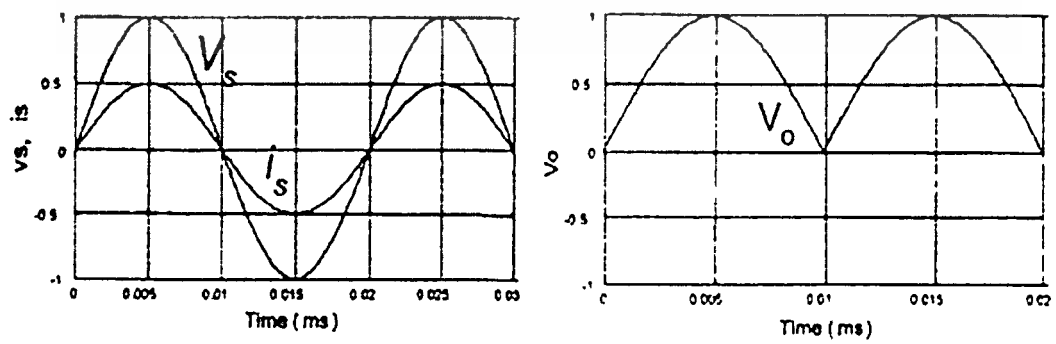
2.2.2.1 วงจรเรกติไฟเออร์ 1 เฟสแบบบริดจ์ที่สมมติให้ $L_s = 0$

กรณีที่ค่า $L_s = 0$ และทางด้านโหลดที่เป็นโหลดชนิดความต้านทานที่มีแหล่งจ่าย กระแสคงที่ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 วงจรเรกติไฟเออร์แบบบริดจ์ 1 เฟสที่โหลดเป็นความต้านทานและโหลดกระแสคงที่

ในทางปฏิบัติกรณีที่โหลดเป็นความต้านทานที่ต่อตรงจากวงจรไดโอดเรกติไฟเออร์ จะไม่ได้ใช้ แต่จะเป็นรูปแบบในอุดมคติที่ต้องการเนื่องจากกระแสด้านเข้าจะมีเฟสตรงกับแรงดัน ด้านเข้าซึ่งจะทำให้ตัวประกอบกำลังของวงจรเป็นหนึ่ง (Unity power-factor) และกรณีที่โหลดเป็น กระแสคงที่ซึ่งเปรียบได้กับมีค่าความเหนี่ยวนำสูงต่ออนุกรมอยู่กับโหลดทางด้าน DC หรือต่ออยู่ เป็นวงจรกรองแรงดันด้าน DC สำหรับวงจรเรกติไฟเออร์ซึ่งจะทำให้รูปคลื่นของกระแสด้านเข้า ของวงจรมีค่าเท่ากับกระแสตรงด้าน DC เพียงแต่มีการกลับเฟสตามจังหวะการทำงานของไดโอด ในวงจรเรกติไฟเออร์ดังนั้นจะทำให้รูปคลื่นของกระแสด้านเข้าเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมและรูปคลื่น ของแรงดันและกระแสที่จุดต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.13

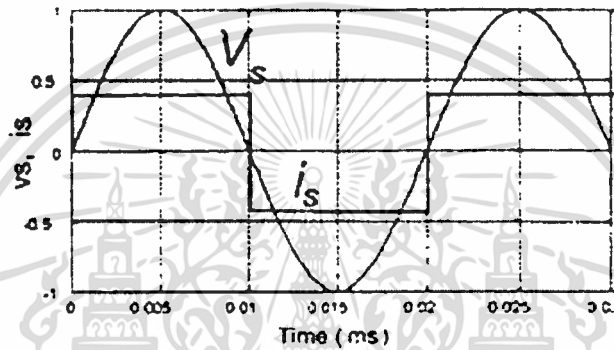


รูปที่ 2.13 รูปคลื่นแรงดันและกระแสด้านแหล่งจ่ายและด้านโหลดที่เป็นความต้านทาน

จากวงจรรูปที่ 2.13 แรงดันที่เวลาใด ๆ แรงดัน DC ด้านออกของวงจรเรกติไฟเออร์คือ

$$v_d = |v_s| \quad (2.58)$$

จะเห็นว่าแรงดันด้านออกจะเป็นพัลส์ที่เปลี่ยนแปลงตามรูปคลื่นไซน์ (Pulsating DC) และมีค่าเฉลี่ยดังสมการที่ 2.60 ถ้าโหลดเป็นความต้านทานกระแสก็จะเป็นรูปคลื่นไซน์เช่นกัน ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งเป็นกระแสที่ไม่ผิดเพี้ยนและจะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังของวงจรเท่ากับ 1 แต่ถ้าโหลดเป็นกระแสที่กระแสด้าน AC ด้านเข้าจะแสดงได้ดังรูปที่ 2.14



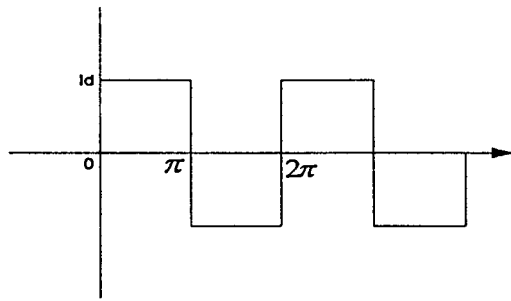
รูปที่ 2.14 แรงดันและกระแสของโหลดชนิดที่เป็นกระแสตรง

$$i_s = \begin{cases} +i_d & \text{if } v_s > 0 \\ -i_d & \text{if } v_s < 0 \end{cases} \quad (2.59)$$

การเปลี่ยนแปลงระหว่างสถานะทั้งสองค่าในสมการที่ 2.59 จะเป็นไปอย่างทันทีทันใด เนื่องจากกำหนดให้ $L_s=0$ ค่าเฉลี่ยแรงดัน DC ด้านออกของวงจรในอุดมคติเมื่อ $L_s = 0$ เราจะหา V_{d0} ได้คือ

$$\begin{aligned} V_{d0} &= \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} \sqrt{2}V_s \sin \omega t .dt \\ &= \frac{2}{\omega T} \sqrt{2}V_s \cos \omega t \Big|_0^{T/2} \\ &= \frac{2\sqrt{2}V_s}{\pi} = 0.9V_s = 0.636\hat{V}_s \end{aligned} \quad (2.60)$$

ในกรณีที่ $i_d(t) = I_d$ ซึ่งเป็นค่าคงที่กระแสด้านเข้าจะมีรูปคลื่นเป็นรูปสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 2.15

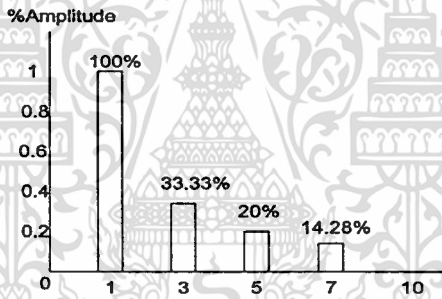


รูปที่ 2.15 รูปคลื่นกระแสด้านขาเข้า

ซึ่งจากการใช้อนุกรมฟูริเยร์ในการวิเคราะห์รูปคลื่นจะได้เทอมต่าง ๆ ในสมการที่ 2.61 และสามารถแสดงเป็นสเปกตรัมได้ดังรูปที่ 2.16 เมื่อกำหนดให้ค่ายอดของกระแสที่ความถี่ฐานมีค่าเป็น 100%

$$i_s(t) = \frac{4}{\pi} I_d \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots \right)$$

(2.61)



รูปที่ 2.16 สเปกตรัมของกระแสถึงลำดับที่ 7 ของสมการที่ 2.61

ค่า rms ของกระแสที่ความถี่ฐานมีค่า

$$I_{s1} = \frac{4}{\pi\sqrt{2}} I_d$$

(2.62)

ค่ากระแส rms รวมมีค่า Is=Id ความผิดเพี้ยนของกระแสโดยรวม (THDi) จะหาได้จาก

$$THD_i = \frac{\sqrt{I_s^2 - I_{s1}^2}}{I_{s1}}$$

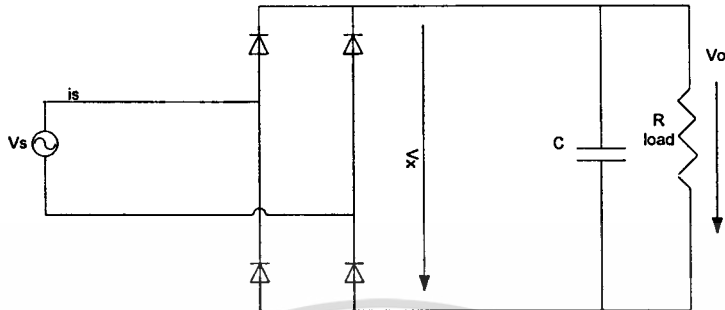
(2.63)

$$\% THD_i = 48.43\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

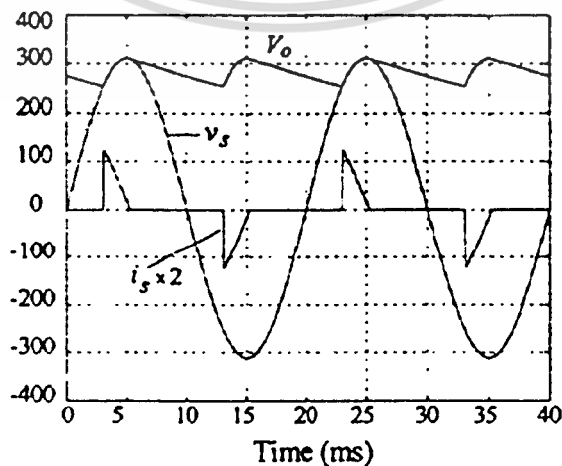
2.2.2.2 วงจรเรกติไฟเออร์ 1 เฟสแบบบริดจ์ที่มีตัวเก็บประจุด้านออก

กรณีที่เรากำลังต้องการให้แรงดันด้านออกมีความเรียบของลูกคลื่นมากขึ้นหรือมีการกระเพื่อมของลูกคลื่นน้อยเราสามารถต่อตัวเก็บประจุที่ด้านแรงดัน DC ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การต่อตัวเก็บประจุเข้ากับวงจรเพื่อลดการกระเพื่อมของลูกคลื่นด้าน DC

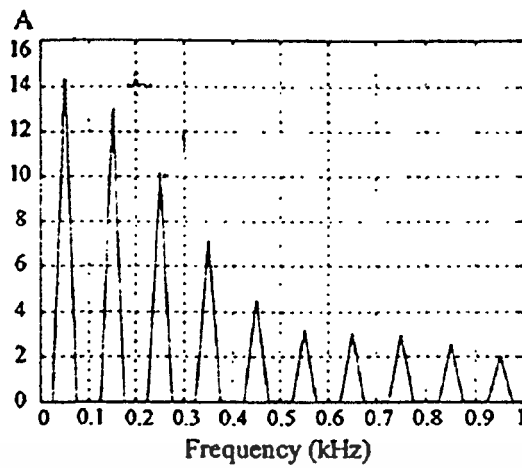
การต่อตัวเก็บประจุด้าน DC ทำให้แรงดันด้านออกมีการกระเพื่อมต่ำแต่จะมีผลต่อกระแสด้านเข้าดังรูปที่ 2.18 ซึ่งจากวงจรดังรูปที่ 2.17 เราจะเห็นว่ากระแสด้านเข้าจะไหลก็ต่อเมื่อแรงดัน V_s มีค่าสูงกว่า V_o ดังนั้นกระแสจะไหลในช่วงเวลาแคบ ๆ ระหว่างจุดที่เริ่มต้น $= V_o$ จนถึงค่าสูงสุดของแรงดันด้านเข้าเท่านั้น กระแสด้านเข้านี้เป็นกระแสที่มีลักษณะเป็นพัลส์ที่มีค่ายอดสูงกว่าค่า rms มากและมีกระแสฮาร์โมนิกส์อื่นๆ ปะปนมาสูงมากดังแสดงด้วยสเปกตรัมของกระแสดังรูปที่ 2.19 ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 จะมีค่าสูงถึงประมาณ 90% ของกระแสที่ความถี่มูลฐานและนอกจากนั้นกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5, 7, 9 ก็มีค่าที่สูงเช่นกัน และถ้าหากแรงดันด้านออกมีการกระเพื่อมน้อยลงก็จะทำให้ค่ายอดของกระแสด้านเข้ามีค่าสูงขึ้น นอกจากนั้นแรงดันด้านออกจะมีค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงโดยขึ้นอยู่กับขนาดของตัวเก็บประจุหรือขนาดของแรงดันกระเพื่อมที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.18 รูปคลื่นแรงดันด้านเข้าแรงดันด้านออกและกระแสด้านเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

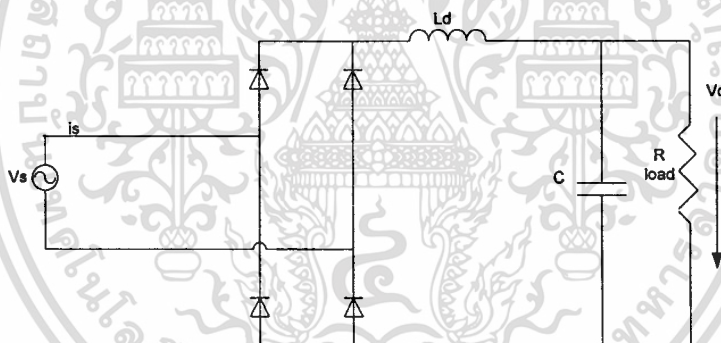
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 สเปกตรัมของกระแสด้านเข้า

2.2.2.3 วงจรเรกติไฟเออร์ 1 เฟสแบบบริดจ์ที่มีตัวเก็บประจุและอินดักแตนซ์ด้าน DC

การต่อตัวเหนี่ยวนำ L_d ด้านแรงดัน DC ขาออกจะช่วยให้กระแสที่ไหลด้านเข้าดีขึ้น หรือมีการกระเพื่อมน้อยลงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 การต่อตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำด้านออก

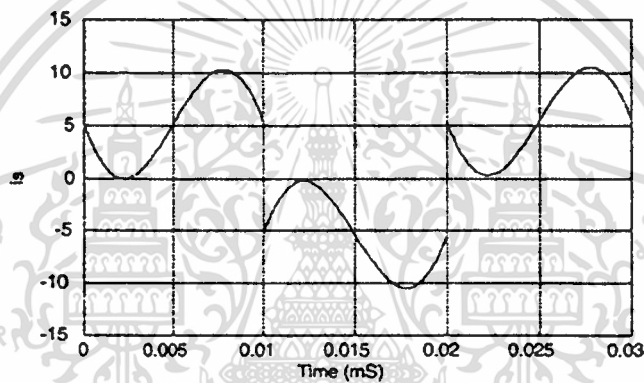
จากการต่อตัวเหนี่ยวนำเข้าไปในวงจรกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะขึ้นอยู่กับค่าของตัวเหนี่ยวนำซึ่งกระแสอาจเป็น

- กระแสไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous) คือกระแสจะมีค่าตกลงมาที่ 0 อยู่ช่วงระยะหนึ่งในครึ่งรอบไซเคิล
- กระแสต่อเนื่อง (Continuous) คือกระแสที่มีค่ามากกว่า 0 ที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำตลอดคาบของแรงดันขาเข้า
- กระแสที่อยู่ระหว่างกระแสต่อเนื่องและกระแสที่ไม่ต่อเนื่อง (Boundary) คือกระแสที่ตกลงเป็น 0 และกลับขึ้นไปใหม่ในทันที

รูปคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในช่วง Boundary ดังแสดงในรูปที่ 2.21 ซึ่งเราจะเห็นได้ว่ารูปคลื่นมีลักษณะคล้ายไซน์มากขึ้น โดยค่าความเหนี่ยวนำที่ทำให้กระแสอยู่ที่ขอบจะมีค่าดังสมการที่ 2.64

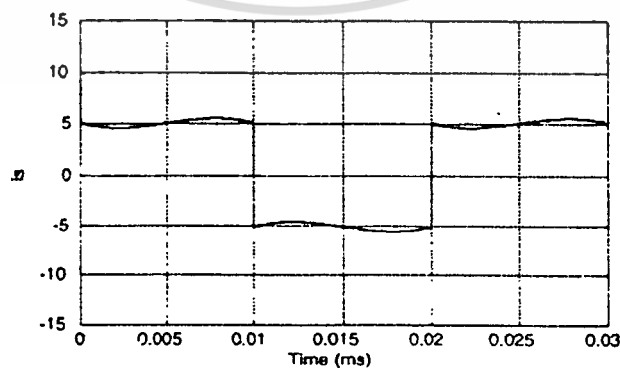
$$L_d(\text{Boundary}) = 0.297 \times \frac{V_s}{\omega I_0} \quad (2.64)$$

เมื่อ I_0 คือค่าเฉลี่ยกระแสด้านออกส่วนค่าเฉลี่ยแรงดันด้านออกเป็นดังสมการที่ 2.60 และถ้าค่า L_d มีค่าสูงขึ้นจนเป็นอนันต์จะทำให้ตัวเหนี่ยวนำเปรียบเสมือนแหล่งจ่ายกระแสคงที่ซึ่งจะทำให้กระแสด้านเข้ามีลักษณะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม



รูปที่ 2.21 รูปคลื่นกระแสขณะ i_{Ld} อยู่ที่ Boundary

ในทางปฏิบัติค่า L_d ที่มีค่าสูงมากกว่าค่าที่เราคำนวณได้ประมาณ 10 เท่าก็จะสามารถทำให้กระแสด้านเข้ามีรูปคลื่นใกล้เคียงกับรูปคลื่นสี่เหลี่ยมแล้วดังแสดงในรูปที่ 2.22

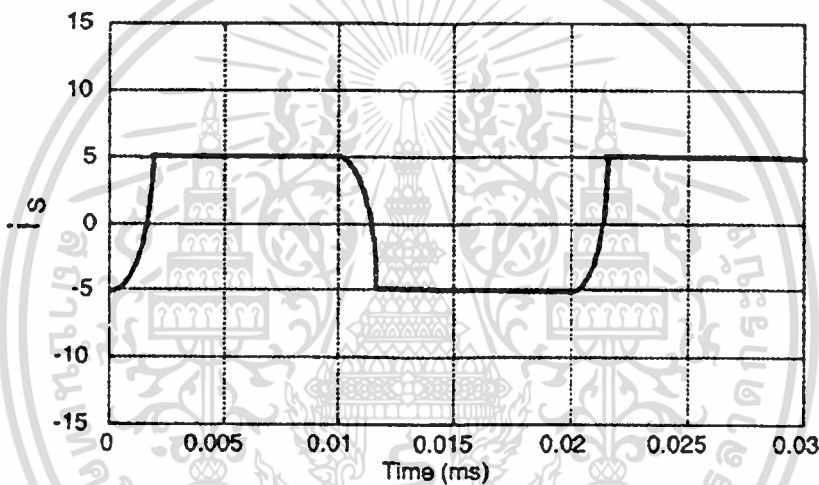


รูปที่ 2.22 รูปคลื่นกระแสเมื่อ i_{Ld} มีความต่อเนื่องสูง

2.2.2.4 วงจรเรกติไฟเออร์ 1 เฟสแบบบริดจ์ที่มีอินดักแตนซ์ด้าน AC

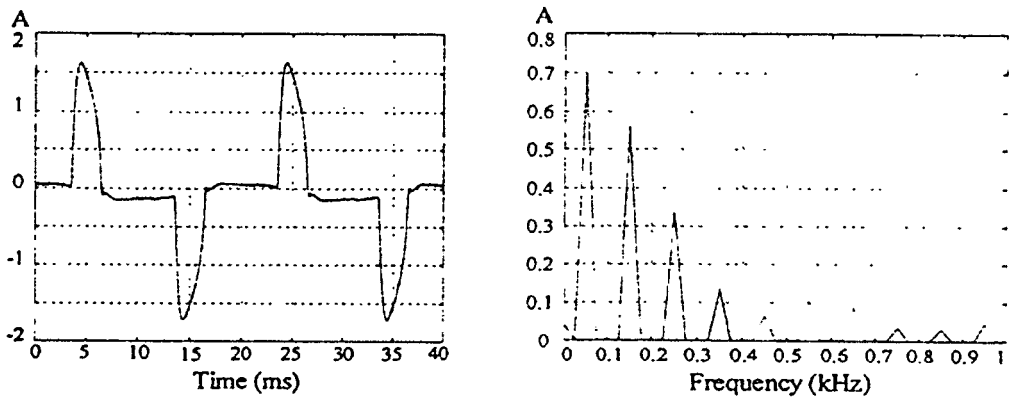
จากวงจรที่ 2.13 เมื่อเราสมมติให้กระแสด้านขาออกมีค่าคงที่และพิจารณาถึงผลกระทบของอิมพีแดนซ์แหล่งจ่าย L_s กระแสด้านเข้าจะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากรูปคลื่นสี่เหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 2.23 จากรูปคลื่นจะสังเกตเห็นได้ว่ารูปคลื่นมีกระแสฮาร์โมนิกส์ลดลงหรือมีความใกล้เคียงรูปไซน์มากขึ้น แต่จะมีมุมเฟสของแรงดันและกระแสมากขึ้น ผลคือทำให้ตัวประกอบกำลังลดลง แรงดันด้านออกจะมีค่าต่ำกว่าเดิมที่เท่ากับ $0.636V_s$ เนื่องจากมีแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำซึ่งค่าของแรงดัน DC ด้านออกจะหาได้จาก

$$V_{d0} = 0.9V_s - \frac{2\omega L_s I_d}{\pi} \quad (2.65)$$



รูปที่ 2.23 กระแสด้านเข้าของวงจรเมื่อพิจารณาถึงอินดักแตนซ์ขาเข้า

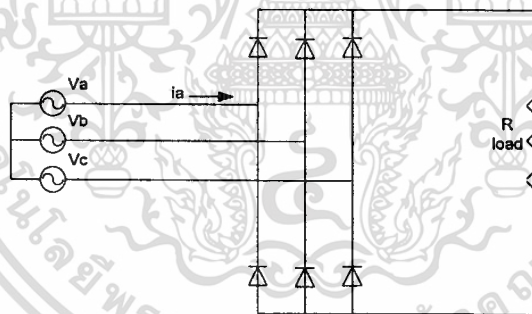
จากรูปที่ 2.24 เป็นรูปคลื่นที่วัดค่าฮาร์โมนิกส์มาจากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลแบบตั้งโต๊ะที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป จากรูปคลื่นเรกติไฟเออร์แบบเฟสเดียวที่ประกอบไปด้วยตัวเก็บประจุด้านขาออกและมีอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายเล็กน้อยจากการวิเคราะห์ได้ค่ากระแสที่ความถี่มูลฐานมีค่าเท่ากับ 0.495 A ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.7 แอมพลิจูดของกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ 3, 5, 7 และ 9 มีค่าประมาณเท่ากับ 80%, 48%, 19% และ 9.6% ของกระแสที่มูลฐานตามลำดับ



รูปที่ 2.24 กระแสและสเปกตรัมของกระแสจากเครื่องคอมพิวเตอรส์ส่วนบุคคล

2.2.3 คอนเวอร์เตอร์กำลังปานกลาง (Medium power converter)

ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้กำลังสูง ๆ ส่วนมากจะใช้ไฟฟ้า 3 เฟสมากกว่าระบบไฟฟ้า 1 เฟส เนื่องจากสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงและมีความคงที่มากกว่าวงจรคอนเวอร์เตอร์กำลังปานกลางในย่าน 10 kW ถึง 100 kW เช่นวงจรเรกติไฟเออร์ 3 เฟส 6 พัลส์เป็นวงจรที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางเนื่องจากการกระเพื่อมของแรงดัน DC ด้านขาออกต่ำโดยเรกติไฟเออร์ลักษณะนี้มีรูปวงจรพื้นฐานดังแสดงในรูปที่ 2.25

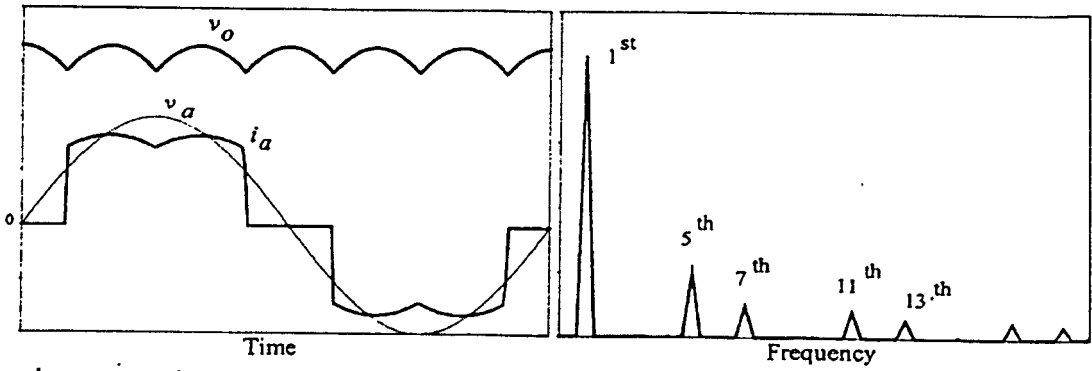


รูปที่ 2.25 วงจรเรกติไฟเออร์ 3 เฟส 6 พัลส์

จากรูปที่ 2.25 กำหนดให้แรงดัน 3 เฟส V_a, V_b, V_c เป็นแรงดันที่สมมาตรและไม่ผิดเฟส และต่ออยู่แบบ Star-Connected ที่ไม่มีสายนิวทรัลโดยมีค่าแรงดัน rms ระหว่างสายเท่ากับ $V_{LL} = \sqrt{3}V_{Phase}$ แรงดัน DC มีรูปคลื่นแรงดันด้านออก V_O ดังแสดงในรูปที่ 2.26 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นแรงดันที่มี 6 พัลส์ คือมีการกระเพื่อมที่ความถี่ 300 Hz ค่าเฉลี่ยของแรงดัน DC ด้านออกมีค่าเท่ากับ

$$V_O = \frac{3\sqrt{3}\hat{V}}{\pi} \quad \text{หรือ} \quad = \frac{3\hat{V}_{LL}}{\pi} \quad (2.66)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

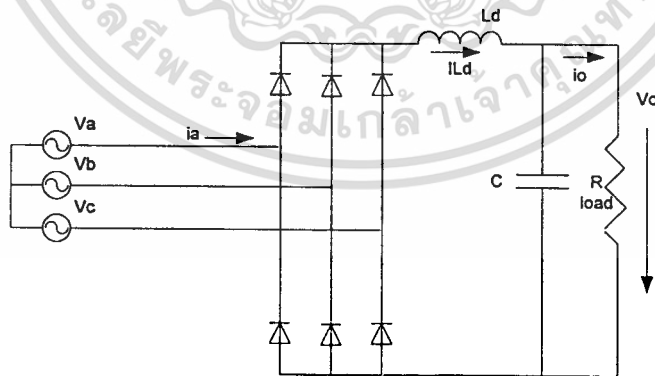


รูปที่ 2.26 รูปคลื่นแรงดันด้านออกแรงดันด้านเข้าและกระแสด้านเข้าของเฟส a และสเปกตรัมกระแส

ค่าแรงดันกระเพื่อมจากยอดถึงยอด (Peak to Peak ripple voltage) ของแรงดันด้านออกมีค่าเท่ากับ

$$V_{r(PP)} = \hat{V}_{LL} \left(1 - \cos \frac{\pi}{6} \right) \quad (2.67)$$

หรือ 14 % ของแรงดันเฉลี่ยด้านออก กระแสด้านเข้าของเฟส a เมื่อเทียบกับแรงดันเฟส a แสดงดังรูปที่ 2.26 จะเห็นได้ว่ารูปคลื่นของกระแสใกล้เคียงกับ Quasi-square แต่ส่วนยอดคลื่นจะเปลี่ยนแปลงตามฟังก์ชันไซน์เนื่องจากโหลดเป็นความต้านทานรูปคลื่นกระแสนี้จะประกอบไปด้วยฮาร์โมนิกส์ 5, 7, 11, 13, ... หรือฮาร์โมนิกส์ที่ $n = 6k \pm 1$ เมื่อ n มีค่าเป็นคี่ที่เริ่มจาก 1

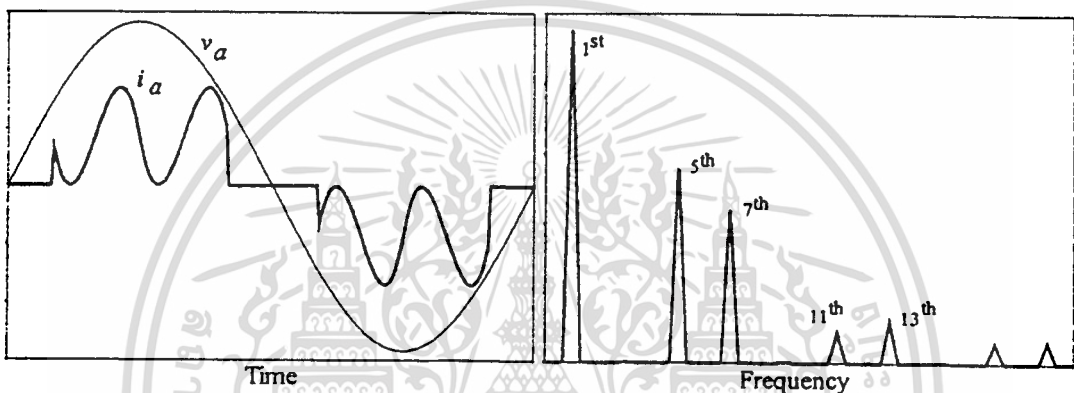


รูปที่ 2.27 วงจรเรกติไฟเออร์ 3 เฟส 6 พัลส์ที่ต่อวงจรกรองด้าน DC

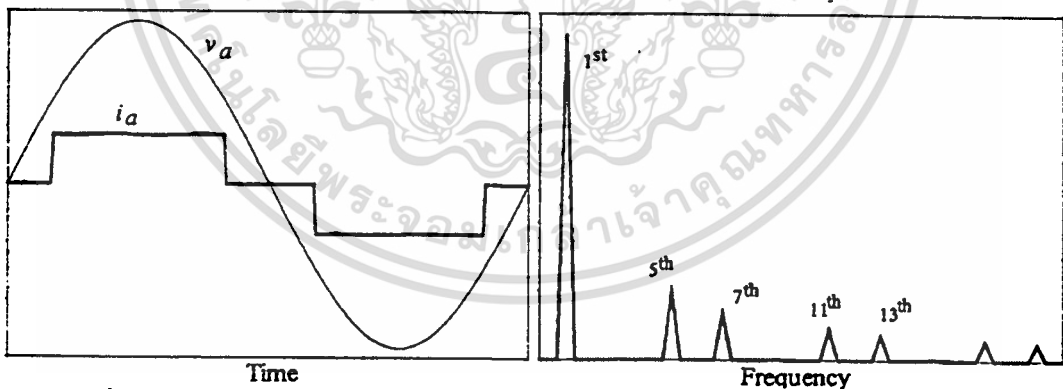
จากรูปที่ 2.27 จะเป็นการปรับแรงดันด้าน DC ให้มีความเรียบขึ้นโดยการต่อตัวเก็บประจุ ในกรณีนี้สมมติให้ไม่มีอิมพีแดนซ์ที่แหล่งจ่าย ในกรณีที่ค่าความเหนี่ยวนำ L_d มีค่าต่ำและกระแส i_{Ld} เป็นกระแสที่ไม่ต่อเนื่องแล้วกระแสด้านเข้าจะเป็นพัลส์ที่มีค่าสูงเช่นเดียวกับของวงจรแบบ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟสคือมีค่ายอดของกระแสสูงมากเมื่อเทียบกับกระแส rms โดยรวมของกระแสผลคือทำให้ค่าความผิดเพี้ยนของกระแส โดยรวมสูงและค่าตัวประกอบกำลังของวงจรต่ำ และถ้าเราสมมติว่าแรงดันด้านออกมีค่าคงที่เนื่องจากค่าตัวเก็บประจุ C_d มีค่าสูงจะทำให้รูปคลื่นกระแสด้านเข้าจะมีผลอย่างมากจากค่าความเหนี่ยวนำ L_d เมื่อ i_{ld} เป็นกระแสที่ไม่ต่อเนื่องจะทำให้กระแสด้านเข้าจะเป็นพัลส์ที่มี 2 ยอดคลื่นและมีค่ายอดสูงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อเราเพิ่มค่าของ L_d การกระเพื่อมของกระแสจะมีค่าน้อยลงเช่น ถ้ากระแสของ i_{ld} เป็นค่ากระแสที่อยู่ที่ยอระหว่างกระแสต่อเนื่องและกระแสไม่ต่อเนื่อง กระแสด้านเข้าของเฟส a จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.28 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีกระแสฮาร์โมนิกส์รวมอยู่ด้วยที่ปริมาณสูงแต่สิ่งที่ดีคือแรงดันด้าน DC มีการกระเพื่อมที่ต่ำกว่า



รูปที่ 2.28 กระแสเฟส a เทียบกับแรงดันและสเปกตรัมเมื่อ i_{ld} อยู่ที่ยอ (Boundary)



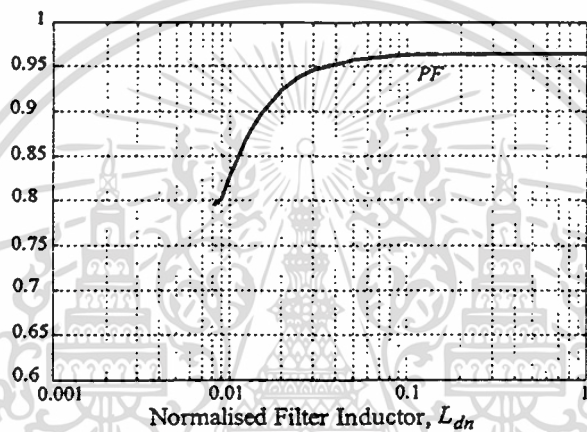
รูปที่ 2.29 กระแสเฟส a เมื่อเทียบกับแรงดัน และสเปกตรัมเมื่อ i_{ld} มีค่าเกือบคงที่

ค่า L_d ที่ทำให้กระแสกระเพื่อมอยู่ที่ยอระหว่างกระแสต่อเนื่องและกระแสไม่ต่อเนื่อง (Boundary) สามารถหาได้จากสมการ

$$L_{d(\min)} = \frac{0.013V_{LL}}{\omega_0 I_0} \quad (2.68)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราทำการเพิ่มค่า L_d ให้มีค่าสูงขึ้นจนทำให้กระแสที่ไหลมีประมาณคงที่จะทำให้ กระแสด้านเข้ามีรูปคลื่นดังรูปที่ 2.29 ก็คือรูปคลื่นใกล้เคียงรูป Quasi-square และถ้าหากเราเพิ่มค่า L_d ให้มีค่าสูงขึ้นเข้าสู่ค่าอนันต์จะทำให้รูปคลื่นที่ได้เป็น Quasi-square ซึ่งในทางปฏิบัติไม่มีทาง เป็นไปได้ ดังนั้นควรต้องหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เหมาะสมเพื่อมาใช้ในการควบคุมรูปคลื่นของกระแส ขาเข้ากระแสด้านเข้าที่ดีที่สุดของวงจรดังรูปที่ 2.28 คือกระแส quasi-square ซึ่งมีค่ายอดของกระแส ที่ฮาร์โมนิกส์แต่ละลำดับ เท่ากับ $\frac{2\sqrt{3}}{\pi} \frac{I_o}{n}$ เมื่อ n เป็นลำดับฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้น ($n=6k \pm 1$) ซึ่งจะ เห็นได้ว่ากระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5, 7, 9, 11 และ 13 มีค่าเท่ากับ 20%, 14.29%, 9.09% และ 7.29% ของกระแสที่ความถี่มูลฐานตามลำดับ และค่าตัวประกอบกำลังสูงสุดอยู่ที่ 0.96



รูปที่ 2.30 ผลกระทบของ L_d ที่มีต่อค่าตัวประกอบกำลัง

จากรูปที่ 2.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังกับการเปลี่ยนแปลงของ ค่าตัวเหนี่ยวนำ L_d ที่แสดงเป็นค่า Normalize คือเป็นค่าจริงเมื่อเทียบกับค่าเปรียบเทียบ ดังนี้ ค่า Normalized ของตัวเหนี่ยวนำ (L_{dn}) ซึ่งกำหนดเป็น

$$L_{dn} = \frac{L_d}{L_{base}} \quad (2.69)$$

เมื่อ L_{dn} เป็นค่า normalised ของตัวเหนี่ยวนำ

L_d เป็นค่าจริงของตัวเหนี่ยวนำ

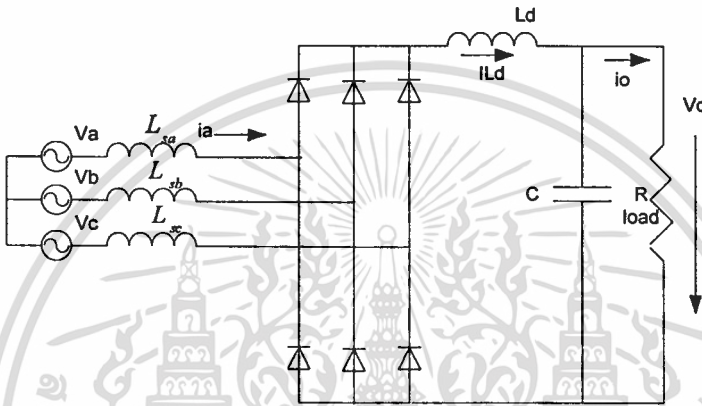
L_{base} เป็นค่าความเหนี่ยวนำเปรียบเทียบ, $L_{base} = \frac{V^2 \cdot T_s}{P_o}$

V เป็นค่าแรงดัน rms ของแรงดันเฟส

T_s เป็นคาบเวลาของความถี่ไฟฟ้าแหล่งจ่าย

P_o เป็นกำลังด้านออก

จากรูปที่ 2.30 จะเห็นว่ากราฟกระแสจะเริ่มขึ้นที่กระแสเริ่มไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_d ซึ่งกระแสที่เริ่มไหลจากที่ขอบของกระแสต่อเนื่องและกระแสไม่ต่อเนื่องโดยค่า $L_{d(\min)} = 0.00838 L_{base}$ โดยค่าตัวประกอบกำลังอยู่ที่ 0.80 และถ้าหากเราเพิ่มค่าความเหนี่ยวนำมากขึ้นจนกระทั่ง L_{dn} มีค่าเท่ากับ 0.1 จะทำให้กระแส i_{ld} เริ่มมีค่าคงที่ดังรูปที่ 2.21 และทำให้ค่าตัวประกอบกำลังดีขึ้นถึง 0.9 และจากรูปที่ 2.22 จะเห็นได้ว่าหากเราเพิ่มค่า L_d ให้สูงกว่า 0.1 ตัวประกอบกำลังก็จะไม่มีค่าไม่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดดังนั้นเราจึงสามารถประมาณค่าตัวเหนี่ยวนำที่เหมาะสมได้



รูปที่ 2.31 วงจรเรกติไฟเออร์ 3 เฟส 6 พัลส์เมื่อพิจารณาอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย

ในทางปฏิบัติสายส่ง หม้อแปลง เคเบิล และอื่น ๆ จะมีอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายเกิดขึ้น ดังนั้นความสมบูรณ์ของวงจรในรูปที่ 2.27 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.31 โดยอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายนี้ส่งผลอย่างมากต่อตัวประกอบกำลัง ขนาดแรงดันขาออก รูปคลื่นกระแสด้านเข้า

เมื่อสมมุติให้กระแส i_{ld} มีค่าคงที่และอิมพีแดนซ์ด้านเข้ามีค่าต่ำกระแสด้านเข้าก็จะมีลักษณะเป็นรูปคลื่น Quasi-square เช่นเดิมแต่ถ้าอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายมีค่าสูงขึ้นจะทำให้มีแรงดันตกที่ตัวเหนี่ยวนำ และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะของไดโอด ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของกระแสจะช้าลงและเกิดมุมล่าช้าของกระแสขึ้นซึ่งเรียกว่า Overlap angle, u เพื่อใช้ในการเปลี่ยนแปลงระหว่างไดโอดคู่หนึ่งไปเป็นอีกคู่หนึ่งค่า Overlap angle แสดงได้ดังสมการ

$$u = \cos^{-1} \left(1 - \frac{2I_0 X_{LS}}{\hat{V}_{LL}} \right) \quad (2.70)$$

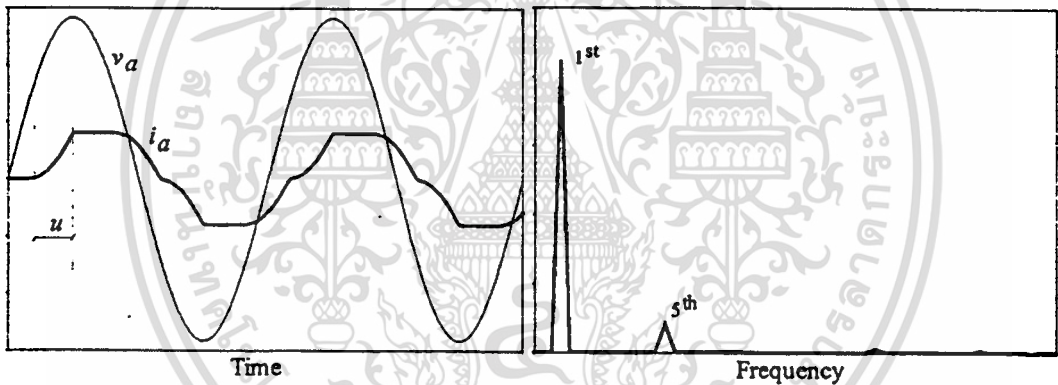
ถ้าหากเราพิจารณาเฉพาะในช่วงมุม Overlap angle $u \leq \frac{\pi}{3}$ ค่าแรงดันเฉลี่ย DC ด้านออกจะมีค่า

$$V_0 = \frac{3\hat{V}_{LL}}{\pi} \left(1 - \frac{I_0 X_{LS}}{\hat{V}_{LL}} \right) \quad (2.71)$$

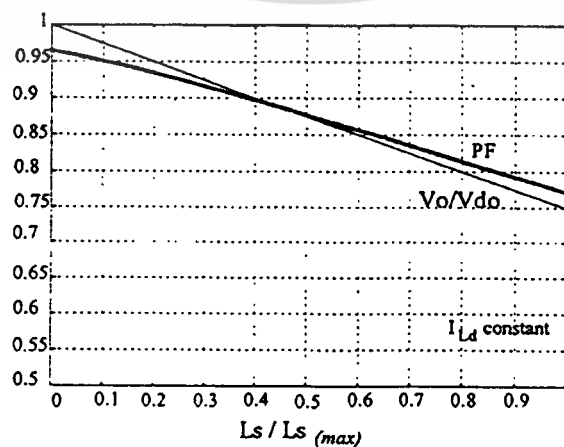
ค่าความเหนี่ยวนำสูงสุดของอิมพีแดนซ์แหล่งจ่ายที่ทำให้มุม Overlap อยู่ในย่านนี้มีค่า

$$L_{S(max)} = \frac{\hat{V}_{LL}}{4\omega_0 I_0} \quad (2.72)$$

รูปคลื่นของกระแสด้านเข้าของวงจรจะมีรูปคลื่นคล้ายไซน์มากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.32 แต่มีการเลื่อนของเฟสของกระแสล่าช้าออกไปเนื่องจากมุม Overlap และเมื่อกระแสมีรูปคลื่นใกล้เคียงไซน์ก็จะส่งผลให้ฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าลดลงแต่เนื่องจากมีมุมต่างเฟสมากขึ้นจะส่งผลให้ตัวประกอบกำลังลดลงและขณะเดียวกันแรงดัน DC ด้านออกก็จะมีค่าลดลงด้วยดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.32 รูปคลื่นของกระแสเฟส a เมื่อเทียบกับแรงดันและสเปกตรัมของกระแสเมื่อมีมุมต่างเฟสเท่ากับ 60° องศา

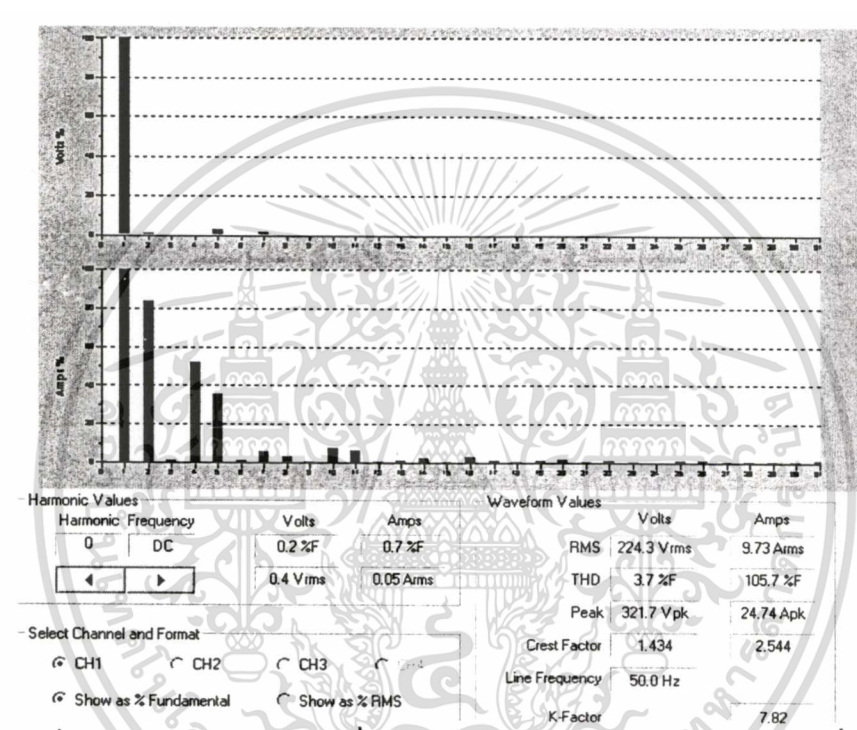


รูปที่ 2.33 ผลกระทบของอิมพีแดนซ์แหล่งจ่ายที่มีต่อตัวประกอบกำลังและแรงดันด้านออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

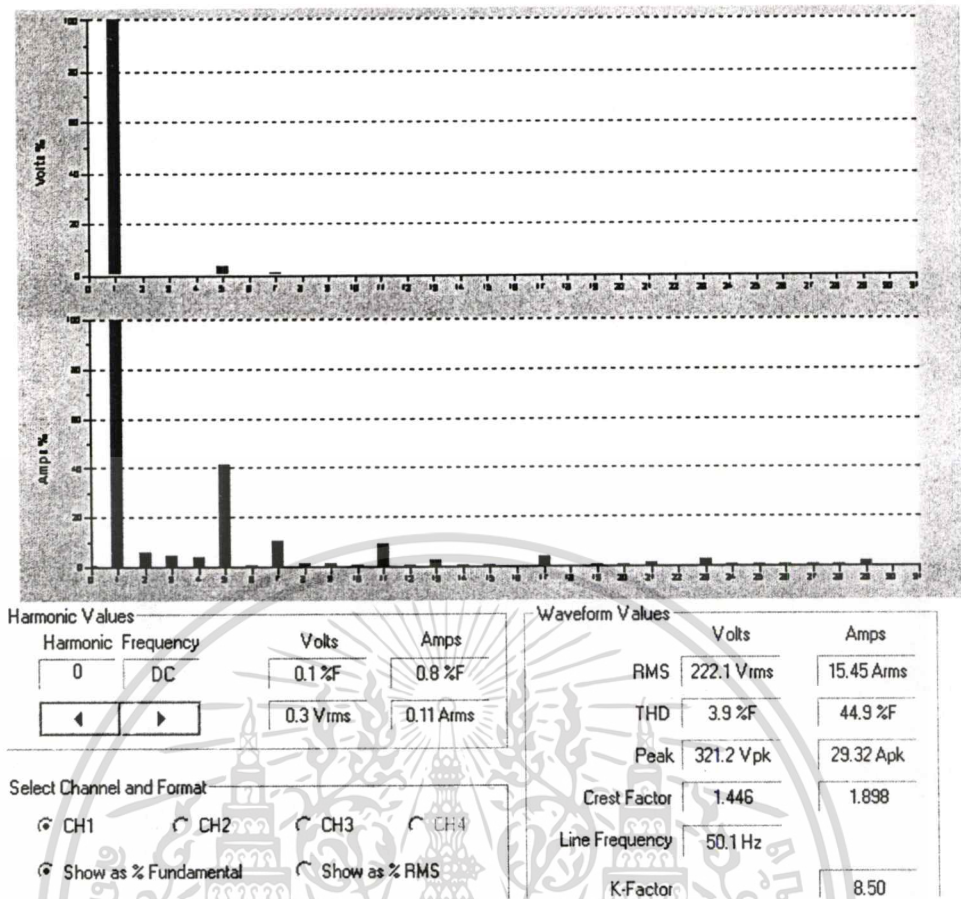
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.33 จะเห็นได้ว่าค่าตัวประกอบกำลังและแรงดันด้านออกเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์แหล่งจ่ายในช่วงมุม Overlap ไม่เกิน 60 องศาจะเห็นได้ว่า L_s มีค่าเป็น 0 กระแสด้านเข้าจะเป็น Quasi-square ค่าตัวประกอบกำลังประมาณ 0.96 และค่า V_{d0} จะมีค่าดังสมการที่ 2.71 แต่เมื่อค่า L_s สูงขึ้นจนทำให้ Overlap angle เท่ากับ 60 องศา ค่าแรงดัน DC ด้านออกจะเหลือเพียง 75% ของแรงดัน V_{d0} ในขณะที่ตัวประกอบแรงดันเหลือเพียง 0.77 สำหรับตัวอย่างขนาดของสเปกตรัมของฮาร์โมนิกส์ที่เรารู้ได้จากเครื่องเรคคิไฟเอร์ชนิด Half Wave แบบสามเฟสแสดงดังรูปที่ 2.34

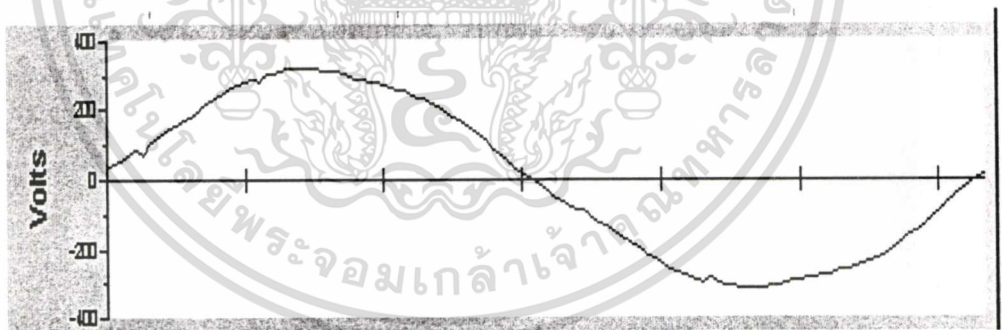


รูปที่ 2.34 สเปกตรัมกระแสและแรงดันที่วัดจากเรคคิไฟเอร์กำลังปานกลางแบบครึ่งคลื่นสามเฟส

จากรูปที่ 2.34 เราจะเห็นได้ว่าเรคคิไฟเอร์แบบสามเฟสครึ่งคลื่นจะสร้างสัญญาณฮาร์โมนิกส์ในย่านความถี่ที่ $H^{th} = 3k \pm 1$ โดยที่ k เป็นจำนวนเต็มหนึ่งขึ้นไปส่วนสเปกตรัมของเรคคิไฟเอร์แบบเต็มคลื่นสามเฟสที่เรารู้ได้จะมีสเปกตรัมดังแสดงในรูปที่ 2.35 และมีรูปคลื่นของแรงดันดังแสดงในรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.35 สเปกตรัมกระแสและแรงดันที่วัดจากเรกติไฟเออร์กำลังปานกลางแบบเต็มคลื่นสามเฟส



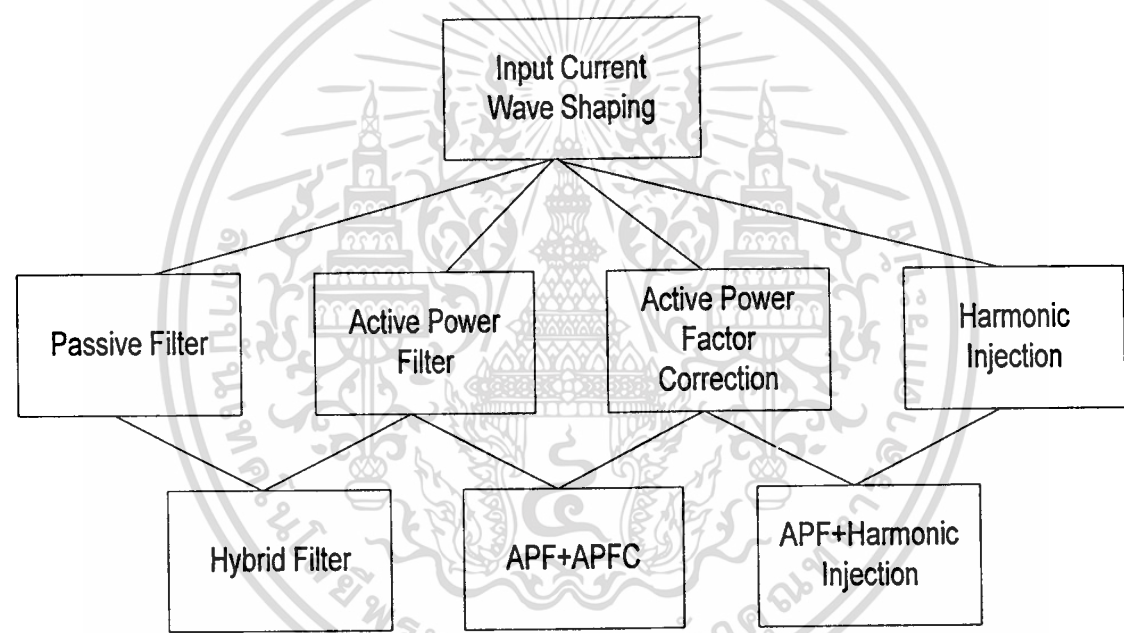
รูปที่ 2.36 รูปคลื่นแรงดันที่วัดจากเรกติไฟเออร์กำลังปานกลางแบบเต็มคลื่นสามเฟส

จากรูปที่ 2.35 เราจะเห็นได้ว่าผลจากการวัดค่าขนาดฮาร์โมนิกส์ของกระแสที่ไหลเข้าเครื่องชาร์จเรกติไฟเออร์แบบสามเฟสเต็มคลื่นนั้นจะมีฮาร์โมนิกส์ที่ลำดับที่ 5, 7, 11 และ 13 ก่อนข้างสูงหรือมีฮาร์โมนิกส์ในย่าน $H^{th} = 6k \pm 1$ โดยที่ k เป็นจำนวนเต็มตั้งแต่หนึ่งขึ้นไปซึ่งโหนดที่เรานำมาทดลองส่วนใหญ่ก็จะเป็นแบบเรกติไฟเออร์ทั้งขนาดปานกลาง และ ขนาดสูง ค่อยรวมอยู่ในบัสเดียวกันจึงทำให้ขนาดของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นจากเรกติไฟเออร์ทั้งแบบ 1 เฟสหรือ 3 เฟสชนิดแบบเต็มลูกคลื่นและแบบครึ่งลูกคลื่นจะมีฮาร์โมนิกส์ในย่าน 2, 3, 5, 7 และ 11 ก่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การแก้ปัญหาฮาร์โมนิกส์

การแก้ปัญหาฮาร์โมนิกส์มีมากมายหลายวิธีในการกำจัดหรือลดกระแสฮาร์โมนิกส์เช่น การใช้วิธีการแปลงคู่ลำดับการหมุนของแกน DQ [8] การใช้ตัวกรองความถี่แบบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.37 หรือ แม้กระทั่งการใช้ D-Tune Capacitor ซึ่งการเลือกใช้แต่ละอุปกรณ์ขึ้นอยู่กับว่าจะดำเนินการที่ใด เช่นที่ระบบไฟฟ้ากำลัง หรือที่โหลดไฟฟ้าแต่ละตัว โดยในที่สุดแล้วก็คือการทำให้กระแสไฟฟ้าเป็นรูปคลื่นไซน์ที่ไม่ผิดเพี้ยนโดยวิธีการปรับรูปคลื่นเพื่อลดความผิดเพี้ยนของกระแส มีมากมายแต่วิธีการที่ค่อนข้างจะแพร่หลายเช่น Passive Filter, Active Filter, Active Power Factor Correction และ Harmonic Injection โดยวิธีการที่ค่อนข้างมีประสิทธิภาพมากที่สุดวิธีการหนึ่งก็คือ Active Filter [9] แต่ราคาก็ค่อนข้างสูงเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.37 การปรับรูปคลื่นกระแสแบบต่าง ๆ

ปัจจุบันตัวกรองแบบอิเล็กทรอนิกส์ มีวิธีการมากมาย [10] ในการวัดค่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลังไม่ว่าจะเป็นการใช้วิธีการฟูริเยร์, วิธีการของโครงข่ายประสาทเทียม [11] , วิธีการของการเปลี่ยนทิศทางของกระแสใน AC/DC/AC คอนเวอร์เตอร์ [12] โดยในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะทำการศึกษาวิจัยในเรื่องของการนำโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับมาทำการทดลองกับโหลดจริงในโรงงานผลิตแบตเตอรี่ซึ่งโหลดส่วนใหญ่ในโรงงานประกอบไปด้วย Rectifiers สำหรับใช้ในกระบวนการผลิตแบตเตอรี่ทำให้มีฮาร์โมนิกส์ค่อนข้างสูงในโรงงาน

บทที่ 3

ทฤษฎีพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม

ปัจจุบันทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียมได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในหลากหลายสาขาไม่ว่าจะเป็นทางด้านไฟฟ้า, เครื่องกล, เคมี, คอมพิวเตอร์ และอื่น ๆ อีกมากมายโดยในส่วนของที่เกี่ยวข้องกับสาขาไฟฟ้าที่สำคัญและนับว่าเป็นประโยชน์อย่างมากเช่น การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมวิเคราะห์หาโหลดโฟลว์ (Load flow), การวิเคราะห์หาค่าตำแหน่งฟอลต์ในระบบไฟฟ้าแรงสูง [13], การพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้า (Load forecasting) การพยากรณ์โวลเตจฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า [14] และปัญหาการจ่ายโหลดอย่างมีประสิทธิภาพ (Economics load dispatch) เป็นต้น ในบทนี้จะอธิบายถึงที่มาและหลักการของชุดโครงข่ายประสาทเทียมรวมทั้งสถาปัตยกรรมของชุดโครงข่ายประสาทเทียมที่จะนำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้

3.1 ทฤษฎีและประวัติความเป็นมาของโครงข่ายประสาทเทียม

การนำระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural network) ครั้งแรกเกิดขึ้นเมื่อ ปี ค.ศ. 1940 เมื่อ McCulloch และ Petts ได้นำเสนอรูปแบบของการคำนวณโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม ต่อมาในปี ค.ศ. 1950 Rosinblatt's ได้พัฒนาชุดโครงข่ายประสาทเทียมแบบ 2 ชั้นขึ้นมาใช้ในการคำนวณและประมวลผลโดยการแยกแยะความแตกต่างจะใช้วิธีการปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงกันอยู่ แม้ว่าในช่วงนั้นชุดโครงข่ายจะสามารถแยกความแตกต่างของรูปแบบได้ แต่ขีดจำกัดของจำนวนชั้นซึ่งในตอนนั้นมีเพียงชั้นของชุดอินพุตและชั้นของชุดเอาต์พุตเท่านั้นทำให้ชุดโครงข่ายไม่สามารถที่จะแก้ปัญหของ XOR (Exclusive or) ได้ แต่ในเวลาต่อมาไม่นานโครงข่ายประสาทเทียมก็ได้ถูกพัฒนาปรับปรุงจนสามารถนำมาใช้ในการคำนวณได้ดียิ่งขึ้น

ในปี ค.ศ. 1957 ได้มีการพัฒนาให้โครงข่ายมีความซับซ้อนมากขึ้นโดย Frank Rosenblatt ที่เรียกว่า Perceptron ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งที่มีส่วนสำคัญมากโดยโครงสร้างของโครงข่ายชนิดนี้ประกอบด้วยชั้นอินพุตที่เชื่อมโยงผ่านด้วยค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งเป็นตัวเชื่อมโยงกับนิวรอนของชั้นเอาต์พุต ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนักบนทางผ่านเหล่านี้จะถูกปรับเปลี่ยนค่าตามกฎการเรียนรู้ Perceptron โดยมีลักษณะปรับเปลี่ยนค่าซ้ำๆ กันหลายๆ รอบ ทำให้โครงสร้างของโครงข่ายมีประสิทธิภาพดีขึ้น อีกทั้งกฎการเรียนรู้ Perceptron สามารถแสดงให้เห็นว่าค่าถ่วงน้ำหนักที่ถูกต้อง

ในปี ค.ศ. 1959 Bernard Widrow และนักศึกษาของเขา Marcian Hoff ได้ทำการวิจัยและปรับปรุงกฎการเรียนรู้ของ Perceptron โดยปรับค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงที่โหนดเมื่อผลตอบสนองของโหนดไม่ถูกต้องด้วยกฎ Delta ซึ่งเป็นกระบวนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อลดความแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างโครงข่ายอินพุตถึงโหนดเอาต์พุตที่ต้องการ สิ่งเหล่านี้จะสรุปในรูปของค่าผิดพลาดยกกำลังสองเฉลี่ยที่น้อยที่สุด (Smallest Mean Square Error : SMSE) และนำสิ่งต่างๆ เหล่านี้ไปใช้สร้างแบบจำลอง MADALINE (Multiple Adaptive Linear Element) ซึ่งพัฒนามาจาก Adaline และถือได้ว่าเป็นการนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้งานในทางปฏิบัติเป็นครั้งแรก โดยนำมาใช้ในการลดการก้องของเสียงในสายโทรศัพท์

ในปี ค.ศ. 1969 ความนิยมของโครงข่ายประสาทเทียมเริ่มลดลงเนื่องจากขีดจำกัดของชุดโครงข่ายที่ไม่สามารถแก้ปัญหามากมาย ปัญหาที่มีความน่าสนใจได้ ทำให้นักวิจัยส่วนใหญ่หันไปให้ความสนใจกับปัญญาประดิษฐ์ (AI) แทนแต่ยังมีนักวิจัยบางกลุ่มที่ยังคงทำการวิจัยปรับปรุงโครงข่ายประสาทเทียมต่อไป

ในปี ค.ศ. 1968 John Anderson ได้มีการประยุกต์ใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมในการวินิจฉัยทางการแพทย์โดยได้พัฒนาแบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมขึ้นมาใหม่และใช้ชื่อว่า Brain-State-in-a-Box (BSB) ซึ่งถือได้ว่าเป็นการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในทางการแพทย์เป็นครั้งแรก

ในปี ค.ศ. 1972 ได้มีการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในทางวิศวกรรมโดย Teuvo Kohonen วิศวกรไฟฟ้าชาวฟินแลนด์ของมหาวิทยาลัย Helsinki ได้พัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมด้วยการปรับค่าถ่วงน้ำหนักแบบเมตริกซ์ โดยมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีของ Hebb และในปีเดียวกันเขาก็ได้เสนอทฤษฎีการเรียนรู้แบบใหม่ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Self-Organizing map โดยการจัดรวมนิวรอนเป็นกลุ่มๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เสียงพูด

ในช่วงปี ค.ศ. 1985-1990 Gail Carpenter และ Stephen Grossberg ได้วิจัยและเสนอทฤษฎี Adaptive Resonance สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบดิจิทัล (ART1) และข้อมูลอินพุตแบบต่อเนื่อง (ART2) และต่อมาในปี ค.ศ. 1985 David Parker ได้นำเสนอทฤษฎีการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Back-propagation) ทฤษฎีการเรียนรู้ชนิดนี้ใช้วิธีการปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักด้วยวิธีการนำค่าผลต่างของสัญญาณเอาต์พุตที่คำนวณได้และสัญญาณเอาต์พุตของตัวอย่างมาใช้ในการค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละรอบ

ปัจจุบันโครงข่ายประสาทเทียมได้มีการประยุกต์และค้นคว้าเพิ่มเติม ตลอดทั้งการวิจัยต่อมาในภายหลังและได้มีการนำไปใช้ในศาสตร์ด้านต่างๆ อย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นวิทยาศาสตร์ การเงินการธนาคาร คณิตศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ จึงกล่าวได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมเป็นศาสตร์แขนงหนึ่งที่มีความน่าสนใจอย่างมาก สำหรับในส่วนของการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการวัดฮาร์โมนิกส์เริ่มปรากฏตั้งแต่ปี 1994 โดย Mitsui H [9] และทีมงานได้ทำการจำลองสัญญาณฮาร์โมนิกส์และทำการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมให้สามารถวัดขนาดฮาร์โมนิกส์จากสัญญาณที่สร้างขึ้น โดยในสมัยนั้นโครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้นจะให้ค่าขนาดของฮาร์โมนิกส์ 1 ลำดับต่อหนึ่งโครงข่ายเท่านั้นทำให้เสียเวลาค่อนข้างมากหากต้องการฮาร์

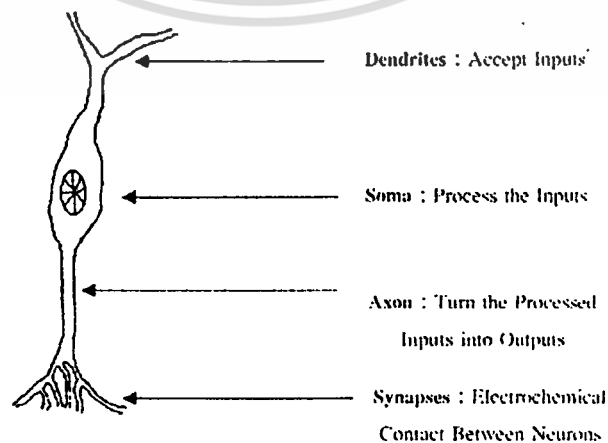
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมนิคส์หลายลำดับในเวลาเดียวกัน จากนั้นในปี 1998 ทาง H.Shaibon และทีมงานได้ทำการปรับปรุงชุดโครงข่ายประสาทเทียมให้ทำการวัดค่าฮาร์โมนิคส์ในส่วน of Real part และ Imaginary part ของฮาร์โมนิคส์ที่ทำการจำลองขึ้น โดยมีโครงข่ายประสาทเทียมสองชุดคือชุดสำหรับหาค่า Real part ของฮาร์โมนิคส์และอีกชุดสำหรับหาค่า Imaginary part ของฮาร์โมนิคส์ที่ทำการจำลอง และปัจจุบันเราได้ทำการวิจัยเพิ่มในส่วนของการนำสัญญาณฮาร์โมนิคส์จริงที่ทำการวัดได้มาจากเครื่องวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า (Power Quality Analyser) ที่มีอัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling rate) อยู่ที่ 128 ค่าต่อหนึ่งลูกคลื่นจากนั้นเราจะนำในส่วน of สัญญาณที่ทำการสุ่มมาได้ พร้อมกับขนาดของสเปกตรัมที่เครื่องทำการคำนวณได้มาทำการฝึกสอนและทำการทดสอบสำหรับสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นกล่าวคือ โครงข่ายประสาทเทียมที่เราทำการทดลองสร้างขึ้นจะสามารถให้ค่าฮาร์โมนิคส์ได้ถึง 5 ลำดับที่เราสนใจในเวลาเดียวกันหรือเอาท์พุททั้ง 5 ลำดับอยู่ในโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมเดียวกันนั่นเองและในส่วน of ตอนท้ายเราจะทำการทดลองเพิ่มเติมในส่วน of ความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียมในกรณีการลดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากอัตราการสุ่มน้อยเกินไป (Under Sampling) สิ่งเป็นสิ่งสำคัญที่มีผลต่อผลผิดพลาดของวิธีการวัดแบบทั่วไปหรือวิธีการของ ฟูริเยร์

3.2 นิวรอน (Neurons) ในสมองมนุษย์

ในสมองของมนุษย์ประกอบไปด้วยนิวรอน (Neurons) ซึ่งเป็นกลุ่มของเซลล์ประสาทมากมายที่ทำหน้าที่ในการคิด การประมวลผล การจดจำ และบันทึกไว้ในสมองของมนุษย์ ในแต่ละนิวรอนจะมีการเชื่อมโยงกันกับนิวรอนอื่นๆ มากมาย พลังสมองของมนุษย์เกิดจากนิวรอนจำนวนมากที่มีการเชื่อมโยงกันอย่างซับซ้อน นิวรอนของมนุษย์ตามหลักประสาทวิทยา (Neuroscience) จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนที่สำคัญดังรูปที่ 3.1 โดยแต่ละส่วนมีการทำงานดังนี้

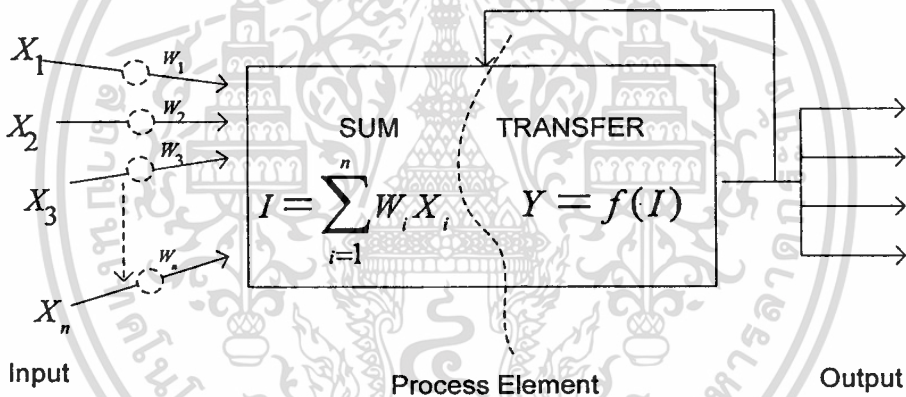


รูปที่ 3.1 ลักษณะของ Neurons ในสมองมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Dendrites คือ ส่วนที่ทำหน้าที่รับข้อมูล (Accept Inputs)
- Soma คือ ส่วนที่ประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น (Process Inputs)
- Axon คือ ส่วนที่แปลงข้อมูลที่ได้ประมวลผลเบื้องต้นเป็นผลลัพธ์ที่ต้องการ
(Turn the Processed Inputs into Outputs)
- Synapses คือ เส้นประสาทที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อเพื่อการสื่อสารกับ Neurons อื่นในระบบ
สมอง (Electrochemical contact between neurons)

จากที่กล่าวมานี้ข้างต้นเป็นระบบการทำงานพื้นฐานของนิวรอนในสมองมนุษย์ ซึ่งนิวรอนในระบบโครงข่ายประสาทเทียมก็จะเป็นการทำงานที่มีลักษณะเลียนแบบการทำงานของนิวรอนในสมองของมนุษย์นั่นเอง นิวรอนในระบบโครงข่ายประสาทเทียมมีโครงสร้างการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 รูปแบบการทำงานของชุดโครงข่ายประสาทเทียม

จากรูปที่ 3.2 ถ้ากำหนดให้ข้อมูลที่ป้อนเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม คือ $X_1, X_2, \dots, X_n$ ข้อมูลแต่ละตัวจะถูกคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) $W_1, W_2, \dots, W_n$ ตามลำดับ จากนั้นข้อมูลแต่ละตัวก็จะถูกรวมเข้าด้วยกันซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า Summation ก่อนที่จะแปลงข้อมูล (Transfer) เป็นผลลัพธ์แล้วส่งให้นิวรอนตัวอื่นนำไปประมวลผลในลักษณะเดียวกันเพื่อสร้างผลลัพธ์ขั้นสุดท้าย

3.3 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม (Architectures of Neural Networks)

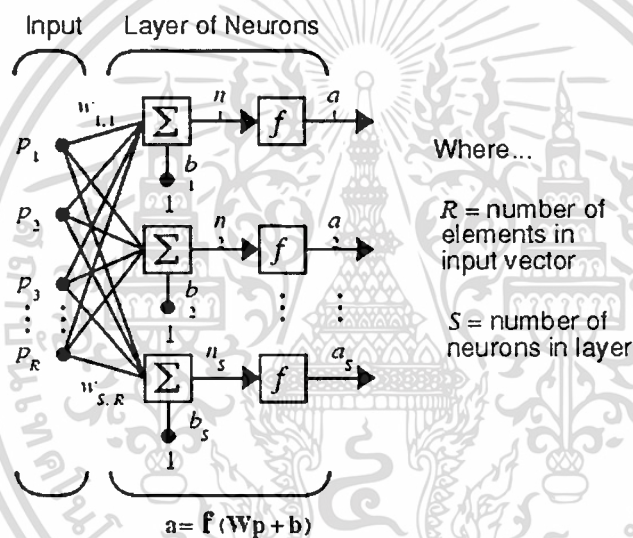
โครงข่ายประสาทเทียมนั้นสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้ 3 แบบ คือ โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single Layer Neural Network), โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Multi Layer Neural Network) และโครงข่ายประสาทเทียมแบบแลตทิซ (Lattice Neural Network) ซึ่งแต่ละชนิดก็มีคุณลักษณะเด่นที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาและการประยุกต์ใช้

3.3.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single Layer Neural Networks)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวจะมีลักษณะการเชื่อมต่อดังรูปที่ 3.3 ซึ่งจะประกอบไปด้วยชั้นอินพุต (Input Layer) และชั้นเอาต์พุต (Output Layer) ในส่วนของชั้นแรกซึ่งเป็นชั้นอินพุตนั้นจะไม่มีมีการประมวลผลหรือคำนวณใด ๆ เป็นเพียงชั้นที่นำข้อมูลอินพุตเข้ามาประมวลผลเท่านั้นเราจึงไม่นับอินพุตชั้นนี้แต่จะเริ่มนับชั้นในชั้นถัดไป โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวนี้อาจมีความสามารถในการคำนวณที่ค่อนข้างน้อย แต่เวลาที่ใช้ในการคำนวณนั้นจะเร็ว รูปโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวแสดงดังรูปที่ 3.3

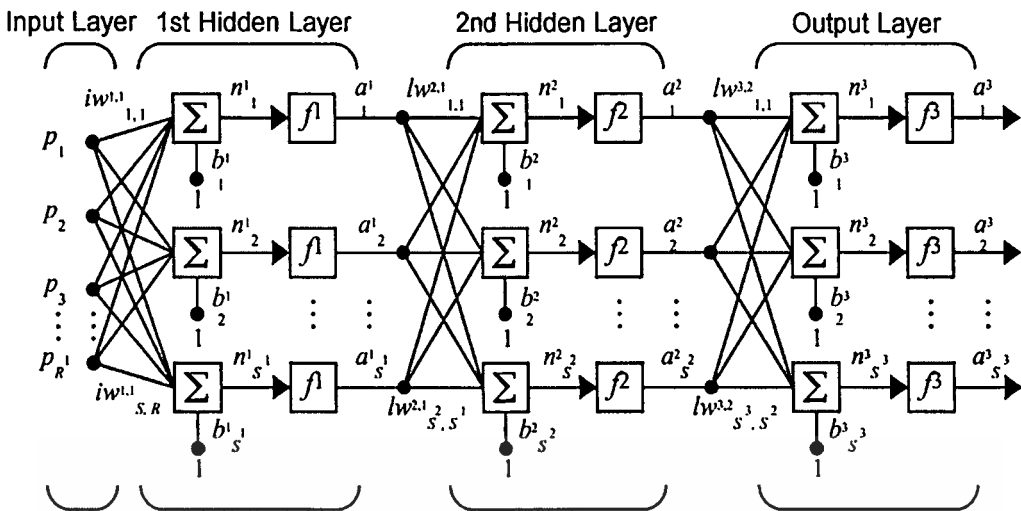


รูปที่ 3.3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว

3.3.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi Layer Neural Networks)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นนี้จะมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.4 ซึ่งประกอบไปด้วยชั้นของอินพุต, ชั้นซ่อน (Hidden Layer), และชั้นเอาต์พุต (Output Layer) โดยในชั้นซ่อนนี้สามารถมีได้ตั้งแต่ 1 ชั้นขึ้นไป ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหาที่นำมาให้โครงข่ายประสาทเทียมทำการวิเคราะห์ แต่โดยทั่วไปแล้วก็มักจะมีชั้นซ่อนไม่เกิน 2 ชั้น เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการคำนวณ เพราะถ้าจำนวนชั้นซ่อนมาก เวลาที่ใช้ในการคำนวณก็จะมากตามไปด้วย ในส่วนของจำนวนนิวรอนในแต่ละชั้นจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะการประยุกต์ใช้งาน โดยสามารถกระทำได้สองวิธีคือการกำหนดนิวรอนให้มาก ๆ ไว้ก่อนและใช้วิธีการลดจำนวนลงจนได้จำนวนน้อยที่สุดที่โครงข่ายสามารถเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือ วิธีการค่อย ๆ เพิ่มจำนวนนิวรอนจนกระทั่งสามารถเรียนรู้ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

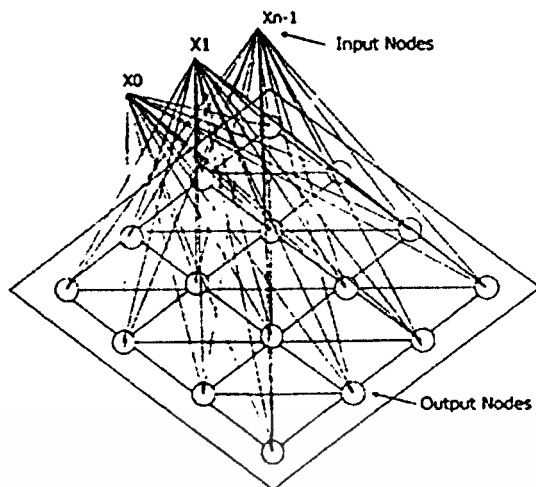


รูปที่ 3.4 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นนี้จะมีสามารถในการคำนวณที่มากกว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวและเพิ่มขีดจำกัดในการแก้ไขปัญหของโครงข่ายแบบชั้นเดียว แต่ว่าเวลาในการคำนวณนั้นก็ใช้เวลามากกว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว จากรูปที่ 3.4 ข้อมูลที่ได้จากชั้นหนึ่งจะมาจากเอาต์พุตของชั้นก่อนหน้าและชั้นสุดท้ายที่เป็นชั้นเอาต์พุตจะถูกนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการ (Target Output) และนำค่าผิดพลาดที่ได้ไปใช้ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมต่อไปเพื่อให้มีความถูกต้องมากขึ้น

3.3.3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแลตทิซ (Lattice Neural Network)

โครงสร้างแบบแลตทิซดังแสดงดังรูปที่ 3.5 โครงสร้างแบบนี้อาจจะประกอบด้วยอาร์เรย์ (Array) ของนิวรอนเพียงมิติเดียว (One Dimension) หรือหลายมิติก็ได้ แต่ละนิวรอนจะรับข้อมูลมาจากโหนดในชั้นอินพุตมิติในโครงสร้างแบบแลตทิซ คือการจัดเรียงนิวรอนในแนวนอนหรือแนวตั้งอย่างใดอย่างหนึ่งแบบแถวเดียว กรณี 2 มิติในโครงสร้างแลตทิซจะเป็นการเรียงตัวของนิวรอนในแนวนอนและแนวตั้ง ตัวอย่างของโครงข่ายประสาทเทียมลักษณะนี้เช่น โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Self Organizing Maps ซึ่งมีโหนดคอมแพ็คติฟที่ฟางเรียงกันในระนาบสองมิติ การเชื่อมโยงภายในระหว่างนิวรอนในชั้นคอมแพ็คติฟจะมีการเชื่อมกันอย่างทั่วถึง เมื่อโหนดคอมแพ็คติฟที่รับข้อมูลอินพุตจากชั้นอินพุตแล้วจะนำข้อมูลไปประมวลผลหาโหนดที่เป็นตัวแทนอินพุต โดยเลือกโหนดที่ค่าอินพุตและค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมกับโหนดนั้นแตกต่างกันน้อยที่สุดและเรียกโหนดนี้ว่าโหนดชนะ (Winner node) แล้วปรับค่าถ่วงน้ำหนักให้โหนดชนะและโหนดข้างเคียงที่อยู่รอบขอบเขตพื้นที่ข้างเคียงที่กำหนดเท่านั้น



รูปที่ 3.5 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแลตทิซ

3.4 การตั้งค่าง่วงน้ำหนักในโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมที่เราสร้างขึ้นเริ่มต้นจะไม่มีคุณลักษณะใดเลยเนื่องจากยังไม่มี การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัสที่เหมาะสมให้กับชุดโครงข่าย เราจึงต้องมีการฝึกสอนให้โครงข่ายที่เราสร้างขึ้นนั้นมีคุณลักษณะดังที่เราต้องการ ในกระบวนการฝึกสอนของโครงข่ายเราจะทำการปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมจดจำรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตที่รับเข้ามาได้ โดยขั้นตอนการกำหนดค่าเริ่มต้นอาจได้มาจากการสุ่มค่าใด ๆ ขึ้นมาก่อนแล้วจึงทำการปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักไปตามอัลกอริทึมสมมุติฐานหลายๆ รอบจนได้เอาต์พุตที่มีความถูกต้องแม่นยำที่เราต้องการบนเงื่อนไขความผิดพลาดที่เรายอมรับได้ จำนวนการฝึกสอนชุดโครงข่ายยิ่งมากก็ยิ่งทำให้ความถูกต้องแม่นยำของโครงข่ายเพิ่มขึ้นมากแต่เวลาที่ใช้ในการประมวลผลก็จะมากขึ้นเช่นกัน

3.5 กระบวนการเรียนรู้ (Learning) ของโครงข่ายประสาทเทียม

การเรียนรู้ในโครงข่ายประสาทเทียมเป็นกระบวนการปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักภายในโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมตามลักษณะของปัญหาที่นำมาฝึกสอน (Training) โดยค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมจะเป็นค่าถ่วงน้ำหนักที่ทำให้เอาต์พุตมีความถูกต้องที่เราต้องการ กระบวนการเรียนรู้ของชุดโครงข่ายสามารถแบ่งตามลักษณะการเรียนรู้ได้สองประเภทใหญ่ๆ คือ การเรียนรู้แบบควบคุม (Supervised Learning) และ การเรียนรู้แบบอิสระ (Unsupervised Learning) ทั้งนี้ความถูกต้องแม่นยำของโครงข่ายมีหลายเหตุปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นจำนวนข้อมูลที่นำมาฝึกสอน

จำนวนรอบในการฝึกสอน จำนวนโหนด และลักษณะ โครงสร้าง ทั้งนี้แต่ละ โครงสร้างที่เหมาะสมกับปัญหาสามารถหาได้จากการทดลอง

3.5.1 การเรียนรู้แบบ Supervised (Supervised Learning)

การเรียนรู้รูปแบบนี้จะเป็นการฝึกสอนชุดโครงข่ายประสาทเทียมด้วยชุดอินพุตและเอาต์พุตที่รู้ค่าหรือที่เรียกว่า ชุดฝึกสอน (Training Pattern) ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกฝึกสอนจากข้อมูลในชุดฝึกสอนเพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสม โดยนำเอาต์พุตที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมไปเปรียบเทียบกับเอาต์พุตของชุดฝึกสอน จากนั้นค่าผิดพลาดที่ได้จากความแตกต่างของเอาต์พุตจากโครงข่ายประสาทเทียมและเอาต์พุตจากชุดฝึกสอนก็จะถูกป้อนกลับไปใหม่เพื่อให้คำนวณหาค่าถ่วงน้ำหนักใหม่ และให้ค่าความผิดพลาดระหว่างเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมกับเอาต์พุตของชุดฝึกสอนมีค่าน้อยที่สุดจากนั้นก็ทำการทดสอบความถูกต้องของโครงข่ายโดยป้อนเฉพาะชุดอินพุต (Testing Set) และจากนั้นจะนำเอาต์พุตที่ได้จากชุดโครงข่ายประสาทเทียมมาเปรียบเทียบกับค่าที่ถูกต้องจากนั้นก็ให้นำผลต่างมาพิจารณาว่าโครงข่ายสามารถเรียนรู้และให้ค่าเอาต์พุตที่ถูกต้องหรือไม่

3.5.2 การเรียนรู้แบบ Unsupervised (Unsupervised Learning)

การเรียนรู้แบบ Unsupervised เป็นการเรียนรู้ด้วยตัวของชุดโครงข่ายเองซึ่งต่างจากการเรียนรู้แบบแรกซึ่งต้องการข้อมูลหรือผู้ชี้้นำให้ชุดโครงข่ายเรียนรู้และหาความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต แต่การสอนแบบนี้จะเป็นการสอนที่มีลักษณะไม่ใช้ค่าเป้าหมาย โดยชุดโครงข่ายจะสามารถเรียนรู้และปรับค่าคุณลักษณะต่างๆ ในโครงข่ายด้วยตัวของนิเวรอนเองโดยที่ไม่ต้องอาศัยชุดฝึกสอนมาทำการชี้แนะ อัลกอริทึมปรับสอนจะเปลี่ยนแปลงค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อสร้างเอาต์พุตที่มีความถูกต้อง ถ้าเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยโครงข่ายประสาทเทียมก็ยังสามารถบอกได้ว่าคือเอาต์พุตตัวเดิม การฝึกสอนวิธีนี้จะไม่สามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ ดังนั้นจึงนิยมใช้โครงข่ายลักษณะนี้กับงานที่ง่ายๆ ประเภทการเปรียบเทียบเอกลักษณ์รูปแบบที่สัมพันธ์กันระหว่างชุดอินพุตและชุดเอาต์พุต ที่ถูกกำหนดโดยโครงข่ายประสาทเทียม

3.6 ฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer Function)

ฟังก์ชันการถ่ายโอนคือ ฟังก์ชันที่คำนวณค่าเอาต์พุตของนิเวรอน ซึ่งฟังก์ชันการถ่ายโอนนี้ก็มีหลายชนิดด้วยกัน โดยเราสามารถแบ่งฟังก์ชันถ่ายโอนพื้นฐานได้เป็น 3 ชนิดด้วยกันคือ

1. ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเชรชโฮลด์ (Threshold function หรือ Hard limit function หรือ Step function)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

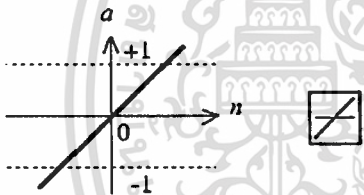
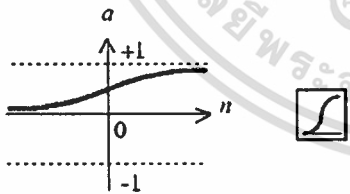
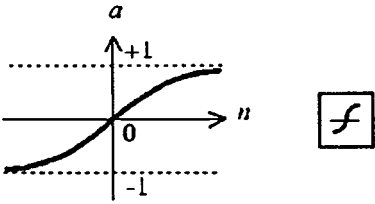
- 2. ฟังก์ชันเชิงเส้นอิ่มตัว (Saturating Linear Function หรือ Piecewise-Linear function)
- 3. ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function)

โดยทั่วไปฟังก์ชันกระตุ้นจะจำกัดช่วงเอาต์พุตอยู่ตั้งแต่ 0-1 ซึ่งในงานบางกรณีอาจมีความจำเป็นต้องใช้ฟังก์ชันที่ได้ค่าออกมานอกเหนือช่วงดังกล่าวเช่นต้องการเอาต์พุตอยู่ในช่วงตั้งแต่ -1 ถึง 1 สำหรับการเลือกใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมกับปัญหาไม่มีการกำหนดตายตัวแต่อาจจะพิจารณาได้จากองค์ประกอบดังต่อไปนี้

- 1. ความเป็นเชิงเส้นหรือไม่เชิงเส้น
- 2. ลักษณะหรือช่วงของข้อมูลอินพุต
- 3. ขอบเขตและลักษณะของเอาต์พุตที่ต้องการ

ฟังก์ชันถ่ายโอนมีหลากหลายรูปแบบแต่ในที่นี้จะขอเสนอเฉพาะฟังก์ชันการถ่ายโอนที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เท่านั้น ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ชนิดฟังก์ชันการถ่ายโอน

ชนิดฟังก์ชันการถ่ายโอน	สมการฟังก์ชันการถ่ายโอน
 $a = \text{purelin}(n)$ Linear Transfer Function	$a(n) = n$
 $a = \text{logsig}(n)$ Log-Sigmoid Transfer Function	$a(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}}$
 $a = \text{tansig}(n)$ Tan-Sigmoid Transfer Function	$a(n) = \frac{1 - e^{(-n)}}{1 + e^{(-n)}}$

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Back-Propagation Networks) บนโปรแกรม Matlab [16] มาใช้ในการหาค่าขนาดของสัญญาณฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยสัญญาณฮาร์โมนิกส์ที่นำมาทดลองได้มาจากการเก็บค่าสัญญาณทางไฟฟ้าของโรงงานผลิตแบตเตอรี่แห่งหนึ่งซึ่งโหลดส่วนใหญ่มาจากอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานทางด้านกระแสสลับมาเป็นกระแสตรง (Power Converter) สำหรับใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ในโรงงานก่อนส่งมอบให้ลูกค้า

3.7 ตัวแปรสำคัญของโครงข่ายประสาทเทียม (Parameter of NNs)

ก่อนจะกล่าวถึงโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับมีพารามิเตอร์บางตัวที่ต้องทำความเข้าใจดังนี้ ในโครงข่ายประสาทเทียม ข้อมูลหรือตัวอย่าง (Sample) จะถูกแยกย่อยเข้าไปในชุดฝึกสอน (Training set), ชุดตรวจสอบ (Validation set), และชุดทดสอบ (Testing set) โดย

ชุดฝึกสอน (Training set) คือ ชุดของตัวอย่างเพื่อใช้เรียนรู้หาความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต

ชุดตรวจสอบ (Validation set) คือ ชุดของตัวอย่างใช้ปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัสในโครงข่าย

ชุดทดสอบ (Testing set) คือชุดของตัวอย่างใช้ประเมินพารามิเตอร์ของโครงข่ายที่ผ่านการเรียนรู้ว่าสามารถแยกประเภทหรือหาความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตได้อย่างถูกต้องหรือไม่

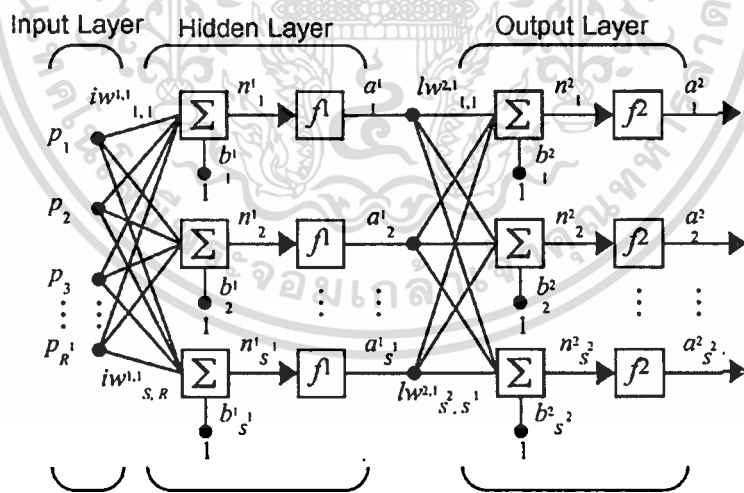
3.8 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Back - Propagation Neural Networks)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับจะเป็นโครงข่ายที่เป็นลักษณะหลายชั้นโดยจะมีนิวรอนเซลล์เรียงกันอยู่มากกว่าสองชั้นขึ้นไป (Multi Layer Neural Networks) ซึ่งประกอบไปด้วยชั้นอินพุต (Input Layer), ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และชั้นเอาต์พุต (Output Layer) [17] โดยจำนวนของชั้นซ่อนขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหาและลักษณะของปัญหา ฟังก์ชันการถ่ายโอนที่ใช้ในโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับนี้จะมีฟังก์ชันถ่ายโอนหลายแบบที่สำคัญแต่สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบ Linear Transfer Function, Log – Sigmoid Transfer Function และ Tan – Sigmoid Transfer Function ทั้งในส่วน of ชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุต ในการหาฟังก์ชันถ่ายโอนที่ดีที่สุดที่ทำให้ชุดโครงข่ายมีความผิดพลาดน้อยที่สุดจะทำการทดลองโดยการสลับฟังก์ชันถ่ายโอนในแต่ละชั้นเพื่อพิจารณาหาชั้นที่ให้ค่าเอาต์พุตที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับที่มีชั้นซ่อน 1 ชั้น

โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับที่มีชั้นซ่อนหนึ่งชั้น (เป็นรูปแบบโครงข่ายที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้) แสดงดังรูปที่ 3.6 โดยชั้นอินพุต (Input Layer) จะประกอบไปด้วยอินพุต R ชุด โดยอินพุตหนึ่งชุดจะต่ออยู่กับโหนดหนึ่งนิวรอน ส่วนจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน (Hidden Layer) จะประกอบไปด้วยนิวรอนจำนวน $S1$ ชุด และในส่วนของชั้นเอาต์พุต (Output Layer) จะประกอบไปด้วยนิวรอนทั้งหมด P ชุดหรือ P โหนดในแต่ละโหนดจะหมายถึงเอาต์พุตหนึ่งตัว ลักษณะของโครงข่ายจะเป็นโครงข่ายแบบป้อนไปข้างหน้า การเชื่อมโยงในแต่ละชั้นจะมีลักษณะการต่อแบบเชื่อมโยงถึงกันหมด นั่นคือ ทุก ๆ นิวรอนในชั้นอินพุตจะส่งสัญญาณไปยังทุกๆ นิวรอนในชั้นซ่อนชั้นแรกด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก $w1$ (Input Weight: $iw1,1$) จากนั้นก็จะรวมกับค่าไบอัส (Bias: $b1$) แล้วจึงนำค่าที่ได้ไปผ่านฟังก์ชันถ่ายโอนเพื่อแปลงข้อมูลให้เป็นผลลัพธ์ ซึ่งเวกเตอร์ $a1$ จะเป็นผลลัพธ์ของชั้นซ่อนและจะถูกใช้เป็นชุดข้อมูลอินพุตให้กับชั้นเอาต์พุต โดยเวกเตอร์ $a1$ ก็จะถูกละเชื่อมโยกับค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างชั้นซ่อนกับชั้นของเอาต์พุต $w2$ (Layer Weight : $lw2,1$) และนำค่าที่ถ่วงน้ำหนักเสร็จแล้วไปรวมกับค่าของไบอัส (Bias : $b2$) จากนั้นจึงนำค่าดังกล่าวไปผ่านฟังก์ชันถ่ายโอนเพื่อคำนวณหาผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมต่อไป ซึ่งจะได้เวกเตอร์ $a2$ ออกมาโดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ชั้นของอินพุตก็คือค่าขนาดของสัญญาณที่สุ่มได้ (Sampling Signal) และชั้นเอาต์พุตจะแทนค่าขนาดของฮาร์โมนิกส์แต่ละลำดับที่เราสนใจ



รูปที่ 3.6 โครงข่ายประสาทเทียมที่มีชั้นซ่อน 1 ชั้น

3.8.2 ขั้นตอนการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

ขั้นตอนการฝึกสอนชุดโครงข่ายประสาทเทียมแบ่งเป็นสามขั้นตอนได้แก่ การป้อนอินพุตไปข้างหน้า, แพร่ค่าย้อนกลับของค่าผิดพลาดที่เกี่ยวข้อง และการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก ในส่วนของกระบวนการคำนวณแบบป้อนไปข้างหน้าจะเริ่มจากการรวมค่าอินพุตแต่ละอินพุตในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิเวรอนแล้วส่งผลให้ชั้นซ่อนชั้นที่หนึ่งจากนั้นแต่ละนิเวรอนในชั้นซ่อนจะคำนวณด้วยฟังก์ชันกระตุ้นในชั้นนั้นแล้วจึงส่งไปยังชั้นต่อไปหรือชั้นสุดท้ายจากนั้นแต่ละนิเวรอนในชั้นเอาต์พุตจะทำการคำนวณด้วยฟังก์ชันกระตุ้นในชั้นเอาต์พุตเพื่อหาคำตอบซึ่งกระบวนการนี้จะมีลักษณะแบบกระตุ้นไปข้างหน้า (Forward-propagation)

ขั้นถัดไปจะเป็นกระบวนการที่มีลักษณะการคำนวณแบบย้อนกลับ (Backward-propagation) กระบวนการนี้จะเป็นกระบวนการเปรียบเทียบค่าเอาต์พุตที่ได้เทียบกับค่าเป้าหมายเพื่อหาค่าผิดพลาดจากนั้นจะนำผลต่างที่ได้ส่งกลับมายังชั้นซ่อนก่อนหน้านี้ในแต่ละโหนดจะได้รับค่าผิดพลาดเป็นบางส่วนเท่านั้นขึ้นอยู่กับนิเวรอนเซลล์นั้นๆ ภายในชั้นซ่อนที่ 2 กระบวนการส่งค่าผิดพลาดกลับนั้นจะทำซ้ำๆ กับชั้นถัดลงมาอีกจนกระทั่งทุกโหนดในโครงข่ายได้ส่วนแบ่งค่าความผิดพลาดนั้น

ขั้นตอนสุดท้ายจะนำค่าความผิดพลาดที่ได้มาทำการคำนวณในการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งปริมาณความผิดพลาดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับว่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้มีค่ามากหรือค่าน้อยถ้าหากค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้มากกว่าค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้กระบวนการจะกลับไปทำซ้ำกับคอนแรกจนได้ผลผิคน้อยกว่าที่เรากำหนดไว้ โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้คือ

3.8.2.1 การแพร่ค่าไปข้างหน้า (Forward-propagation)

เมื่อข้อมูลของชั้นอินพุต ($P_R, R=1, \dots, R$) ถูกป้อนเข้าทางชั้นของอินพุต (Input Layer) สัญญาณจะถูกส่งมาและเชื่อมโยงด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก ($iw_{S^1, R}^{1,1} = S^1 = 1, \dots, S^1$) จะทำการคำนวณสัญญาณอินพุตของนิเวรอนเซลล์ในชั้นซ่อนที่ 1 ที่ได้จากสมการ

$$net_{S^1} = b_{S^1}^1 + \sum_{R=1}^R iw_{S^1, R}^{1,1} P_R \quad (3.1)$$

จากนั้นค่าที่ได้จะถูกนำมาผ่านฟังก์ชันกระตุ้นก่อนส่งค่าไปให้ขั้นถัดไป

$$a^1 = f(net_{S^1}) \quad (3.2)$$

เมื่อได้สัญญาณเอาต์พุต a^1 ในชั้นซ่อนที่หนึ่งเอาต์พุตที่ได้จะถูกส่งไปยังขั้นถัดไปด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก ($lw_{S^2, S^1}^{2,1} a^1 = S^2 = 1, \dots, S^2$) และคำนวณค่าของอินพุตในนิเวรอนเซลล์ชั้นที่สองได้จาก

$$net_{S^2} = b_{S^2}^2 + \sum_{S^1=1}^{S^1} lw_{S^2, S^1}^{2,1} a^1 \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 3.3 ที่ได้จะถูกนำมาเข้าฟังก์ชันกระตุ้นเพื่อคำนวณหา (a^2) ในชั้นซ่อนถัดไป

$$a^2 = f(\text{net}_{S^2}) \quad (3.4)$$

เมื่อคำนวณสัญญาณ a^2 ได้สัญญาณจะถูกส่งไปยังชั้นเอาต์พุตและจะถูกเชื่อมโยงด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก ($lw_{S^3, S^2}^{3,2} = S^3 = 1, \dots, S^3$) และจะได้ค่าในนิวรอนของชั้นเอาต์พุตจากสมการที่ 3.5

$$\text{net}_{S^3} = b_{S^3} + \sum_{S^2=1}^{S^2} lw_{S^3, S^2}^{3,2} a^2 \quad (3.5)$$

จากนั้นเราจะได้ค่าของเอาต์พุตโดยนำค่าในสมการที่ 3.5 ไปเข้าฟังก์ชันถ่ายโอน

$$a^3 = f(\text{net}_{S^3}) \quad (3.6)$$

3.8.2.2 การแพร่ค่าย้อนกลับของผลผิดพลาด (Back-propagation-of error)

นิวรอนแต่ละนิวรอนในชั้นเอาต์พุตค่าผลต่างของค่าเป้าหมายและค่าที่คำนวณได้คือ ($t^3 - a^3$) ค่าผิดพลาดที่ได้จะถูกส่งกลับไปให้ชั้นก่อนหน้าด้วยสมการ

$$\delta^3 = (t^3 - a^3) f'(\text{net}_{S^3}) \quad (3.7)$$

ค่าที่ได้ในสมการที่ 3.7 จะถูกนำมาหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เกี่ยวข้อง (เพื่อปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนัก $lw_{S^3, S^2}^{3,2}$) โดยที่กำหนดให้ α คืออัตราการเรียนรู้ (Learning-rate)

$$\Delta lw_{S^3, S^2}^{3,2} = \alpha \delta^3 a^2 \quad (3.8)$$

ค่าไบแอส (Bias) ที่เกี่ยวข้องสำหรับปรับปรุง

$$\Delta b_{S^3}^3 = \alpha \delta^3 \quad (3.9)$$

และส่งค่า δ^3 ไปยังชั้นซ่อนก่อนหน้าหรือชั้นที่สองจากนั้นจะหาค่าผิดพลาดของชั้นที่สองได้จาก

$$\delta^2 = \sum_{S^3=1}^{S^3} \delta^3 lw_{S^3, S^2}^{3,2} (t^3 - a^3) f'(net_{S^2}) \quad (3.10)$$

จากค่าที่ได้เราจะนำมาปรับค่าถ่วงน้ำหนักด้วยสมการที่ 3.11

$$\Delta lw_{S^2, S^1}^{2,1} = \alpha \delta^2 a^1 \quad (3.11)$$

ค่าที่ได้ในสมการ 3.11 จะนำมาคำนวณหาค่าไบอัส (bias) ดังสมการที่ 3.12

$$\Delta b_{S^2}^2 = \alpha \delta^2 \quad (3.12)$$

และส่งค่าไปชั้นซ่อนก่อนหน้าต่อไปโดยในนิเวรอนแต่ละเซลล์ชั้นที่1 ค่าผิดพลาดของชั้นซ่อนที่1 หาได้จากสมการ

$$\delta^1 = \sum_{S^2=1}^{S^2} \delta^2 lw_{S^2, S^1}^{2,1} f'(net_{S^1}) \quad (3.13)$$

จากค่าที่ได้ใน 3.13 จะถูกนำมาหาค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้

$$\Delta lw_{S^1, R}^{1,1} = \alpha \delta^1 P_R \quad (3.14)$$

คำนวณค่าไบอัสได้

$$\Delta b_{S^1}^1 = \alpha \delta^1 \quad (3.15)$$

3.8.2.3 ขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและไบอัส

ขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักจะมีลักษณะการปรับทีละชั้นแบบป้อนไปข้างหน้าทีละชั้นและแบบย้อนกลับทีละชั้น โดยจะวนลูปแบบนี้จะได้ค่าความผิดพลาดมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับที่เราสามารถยอมรับได้โดยค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดกำลังสอง (Mean-square error, MSE) ระหว่างค่าที่แท้จริง (t_i^3) และค่าที่คำนวณได้ (a_i^3) ดังสมการที่ 3.16

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i^3 - a_i^3)^2 \quad (3.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย N = จำนวนชุดของข้อมูลฝึกสอน

อัลกอริทึมสำหรับการปรับค่าถ่วงน้ำหนักใน Matlab นั้นมีหลากหลายวิธี เช่น Lavenberg-Marquardt Algorithm, Resilient Back Propagation, Conjugate Gradient เป็นต้น โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้ขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสด้วยวิธีการของ Lavenberg-Marquardt Algorithm เนื่องจากเป็นขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและไบแอสที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด [18] โดยมีขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักดังเช่นสมการที่ 3.17

$$x_{(new)} = x_{(old)} + \Delta x = x_{(old)} - [J^T \cdot J + \mu I]^{-1} \cdot J^T \cdot e \quad (3.17)$$

$$g = 2J^T \cdot e \quad (3.18)$$

โดยที่

x คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก (w) และค่าไบแอส (b)

J คือ จาโคเบียนเมตริกซ์

(Jacobian matrix) ของอนุพันธ์ของค่าผิดพลาด (แต่ละค่า)

ต่อค่า x (แต่ละค่า)

J^T คือ Transpose matrix ของ J

g คือ Gradient Factor

e คือ เมตริกซ์ของค่าผิดพลาด (Error) ระหว่างคำตอบ (Target, $t3$) กับ

ค่าที่โครงข่าย

ประสาทเทียมคำนวณได้ (Answer, $a3$)

I คือ Identity matrix

μ คือ Mu factor หรือ Learning factor

$$\text{จาโคเบียนเมตริกซ์ของ } (w) \quad J(w) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,1}} & \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,2}} & \dots & \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,s2}} \\ \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,1}} & \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,2}} & \dots & \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,s2}} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial e_{s3}}{\partial w_{s3,1}} & \frac{\partial e_{s3}}{\partial w_{s3,2}} & \dots & \frac{\partial e_{s3}}{\partial w_{s3,s2}} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาโคเบียนเมตริกซ์ของค่า (b)

$$J(b) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial b_1} \\ \frac{\partial e_2}{\partial b_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial e_{s3}}{\partial b_{s3}} \end{bmatrix}$$

(3.20)

เมตริกซ์ของค่าผิดพลาด

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_{s3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1^3 - a_1^3 \\ t_2^3 - a_2^3 \\ \vdots \\ t_{s3}^3 - a_{s3}^3 \end{bmatrix}$$

(3.21)

อินพุตและเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับนั้นจะมีจำนวนนิวรอนในชั้นอินพุตและชั้นเอาต์พุตคงที่ ซึ่งเท่ากับจำนวนอินพุตและเอาต์พุตของปัญหานั้นเอง ส่วนจำนวนโหนดหรือจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมและไม่มีความจำเป็นที่จำเป็นต้องสำเร็จ [19] ดังนั้นในการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมจึงต้องมีการปรับเปลี่ยนจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนเพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสมเพื่อให้ค่าผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่เราสามารถยอมรับได้อย่างไรก็ตามจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่มากก็ไม่ได้สรุปว่าชุดโครงข่ายจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าชุดโครงข่ายที่มีโหนดในชั้นซ่อนน้อยกว่าแต่เราสามารถหาได้จากการทดลองหาค่าจำนวนโหนดที่ดีที่สุดที่ทำให้ชุดโครงข่ายมีความถูกต้องตามที่เรต้องการและใช้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุดทั้งนี้เราอาจใช้วิธีเพิ่มโหนดทีละโหนดหรือใช้วิธีลดโหนดลงทีละโหนดก็ได้

บทที่ 4

วิธีการทดลอง

การเก็บข้อมูลของสัญญาณฮาร์โมนิกส์ต่างๆ ที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ได้มาจากโรงงานแห่งหนึ่งที่มีปัญหาทางด้านผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าก่อนข้างสูงโดยโรงงานแห่งนี้ เป็นโรงงานผลิตแบตเตอรี่และโหลดส่วนใหญ่ในโรงงานจะเป็นโหลดพวกคอนเวอร์เตอร์กำลังสูง (High Power Converter) และกำลังปานกลาง สำหรับใช้ในกระบวนการผลิตแบตเตอรี่เป็นส่วนใหญ่ลักษณะของปัญหาที่เป็นอยู่คือ การไม่สามารถติดตั้งคาปาซิเตอร์เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้าได้เนื่องมาจากการเกิดการระเบิดของชุดคาปาซิเตอร์ (Capacitor bank) เพราะผลกระทบมาจากปัญหาของฮาร์โมนิกส์โดยเกิดการเรโซแนนซ์กับระบบไฟฟ้าทำให้โรงงานต้องเสียค่าปรับในส่วนของการเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power factor) เป็นประจำทุกเดือน

4.1 ลักษณะของโหลดและการเก็บข้อมูลฮาร์โมนิกส์ของวงจรทดลอง

โรงงานแห่งนี้ติดตั้งหม้อแปลงทั้งหมด 9 ลูกขนาด 1600 kVA จำนวน 8 ลูกและ 500 kVA อีก 1 ลูก รวมติดตั้ง 13,300 kVA ซึ่งรับไฟฟ้ามาจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ระดับแรงดัน 22 kV ดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.6 แสดง Single Line Diagram ของโหลดที่มีปัญหาและนำมาทำการศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลของฮาร์โมนิกส์ของระบบทดลองโดยจะใช้เครื่องบันทึกรูปคลื่นฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Wave Form Recorder) ด้วยอุปกรณ์ Power Recorder ยี่ห้อ Elite_Pro [20] โดยมี สเป็คของเครื่องมือวัดดังนี้

ELITEpro™ Technical Specifications

3 Voltage Channels 0-600 Volts AC or 0-800 Volts DC, Higher AC voltages can be measured with a Potential (voltage) Transformer

4 Current Channels 0-333 mV AC or 0-600 mV DC, Corresponding to 0-6,000+ Amps depending on current transformer selected

Current Transformers Uses voltage output CTs (0-333mVAC) for maximum safety.

Compatible with DENT Instruments **DATapro™** and Energy Logger CTs

Measurement Type True RMS using high-speed digital signal processing (DSP)

Line Frequency 60, 50, or 400 Hz and DC

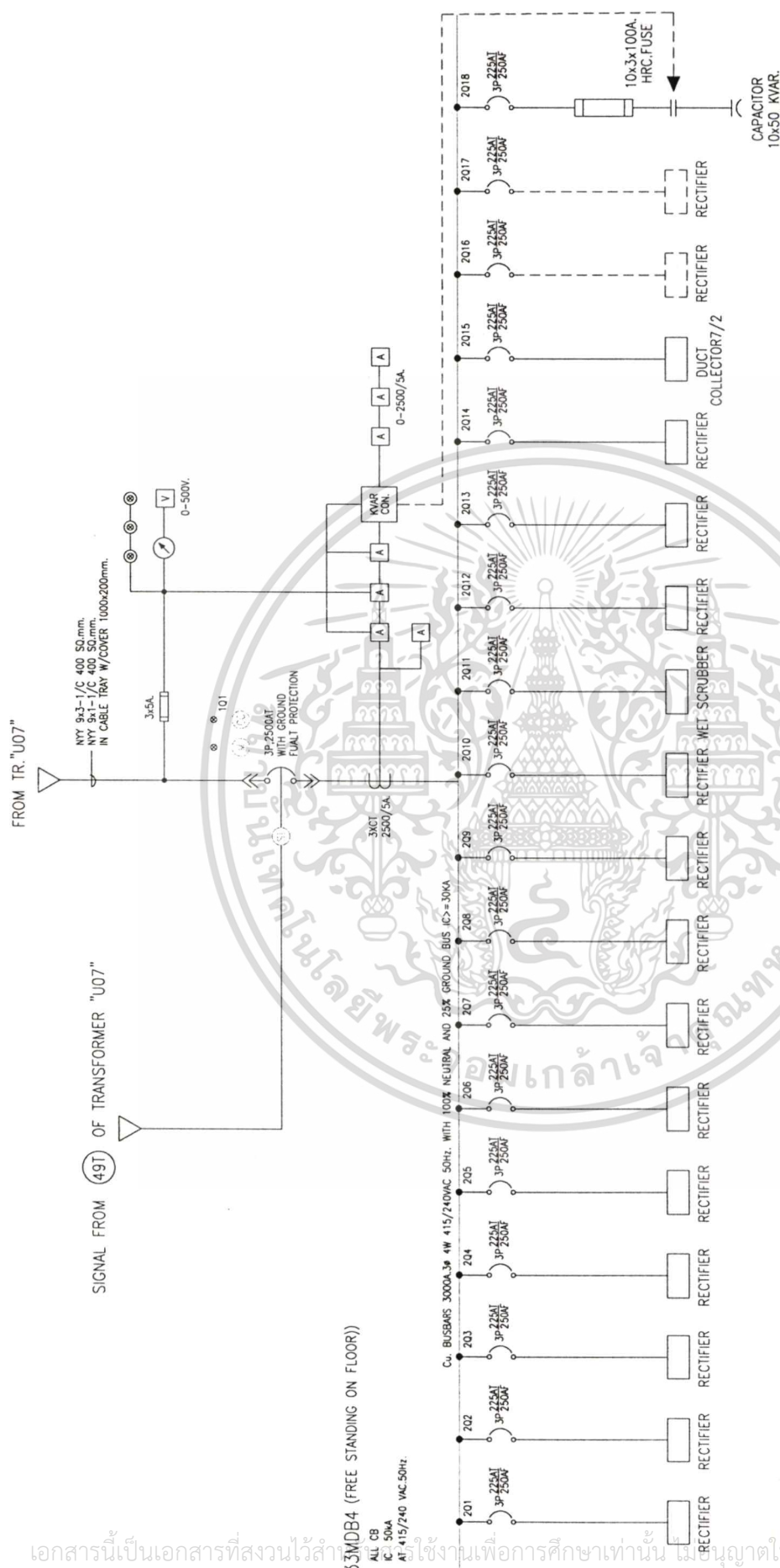
Harmonic Sensitivity 1st through 50th

Waveform Sampling 128 times per cycle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

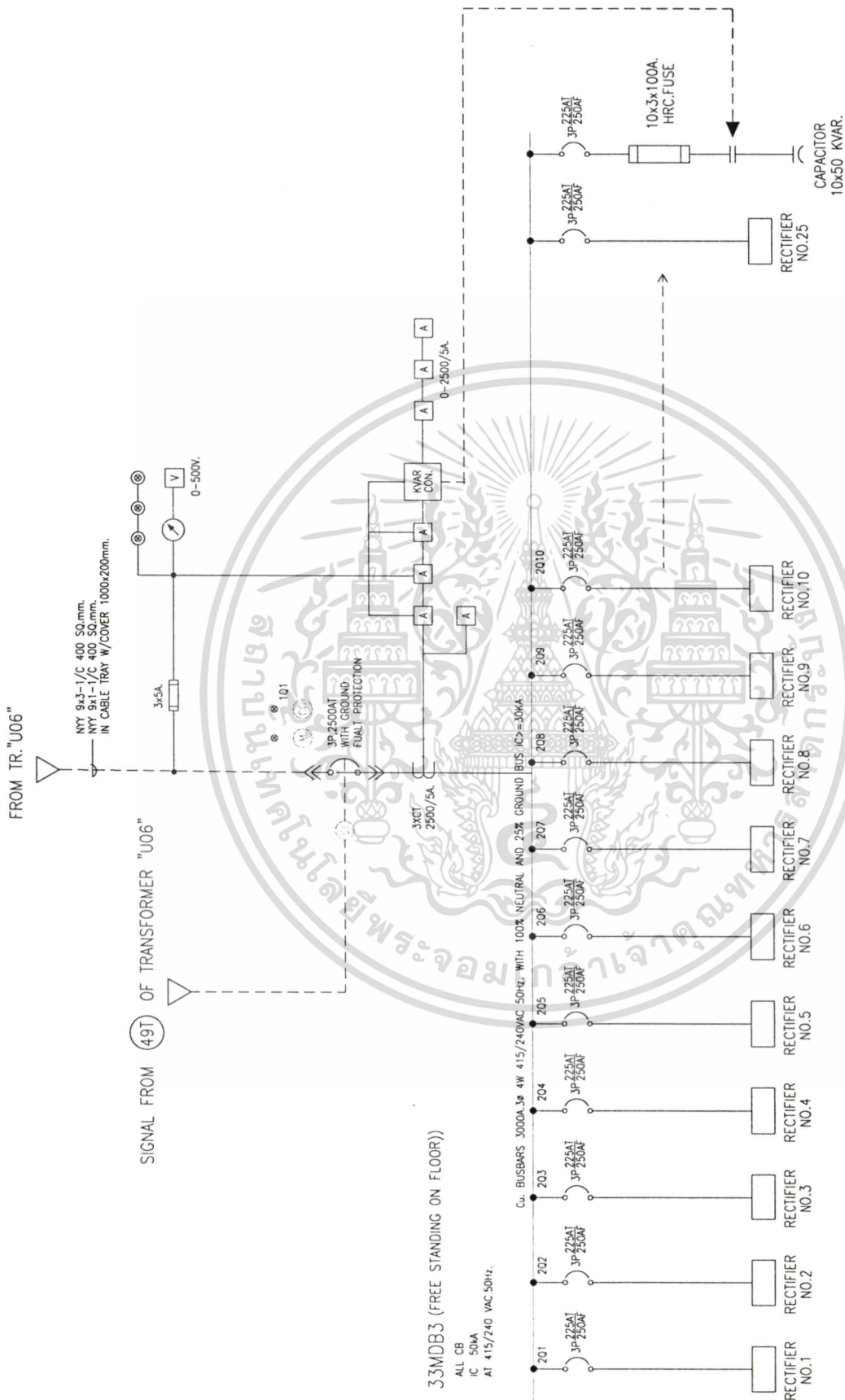
Measurements	Volts, Amps, kW, kVAR, kVA, Harmonics and Power Factor
	Maximum, Minimum, Average, (All Parameters) also kWh, kVARh, kVAh, Ah
Harmonics	DC and Fundamental through 50 th (odd and even), Total Harmonic Distortion, Crest Factor, for both Current and Voltage.
Waveform Capture	Voltage, Current, Power
Accuracy	Better Than 1% (<0.5% typical) for V, A, kW, kVAR, kVA, PF exclusive of sensor error
Resolution	12 bit A/D plus sign (1 part in 4,096): 0.01 Amp, 0.1 Volt, 1 watt, 1 VAR, 1 VA, 0.01 Power Factor
Memory	128 kBytes standard (~25,000 readings), or 512 kB (~100,000 readings)
Memory Types	Ring (continuous, write newest over oldest), or Linear (stop when full)
Recording Intervals	3, 15, 30 seconds, 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30 minutes and 1, 12, 24 hours
Indicators	2 LEDs: Green to signal when logging, Red to signal low battery
Communication Direct	RS-232 to PC via 9 pin null modem cable
Communication Rate	1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 28800, 57600 baud
Modem	Internal 1200, 2400, 4800, 9600, 14400 baud, auto-answer, auto-dial
ELOG Software	Programs Logger, Displays Current Metered values, Retrieves Data
Data Formats	ASCII and Binary
Power	Internal Lithium Battery; For external power use a Listed (US/Canada) or Certified (non-US) power supply rated 9 VDC minimum 150 mA and marked 'Class 2,' 'Limited Power Source,' or 'LPS'
Battery Life	~3 years, LED indicator of low battery charge
Analog Sampling Rate	3 seconds on external DC power, 1 minute when on ClockCrystal controlled internal Real Time Clock, 20 ppm min/month)
Operating Temperature	-7 to 60 °C (20 to 140 °F)
Humidity	5% to 95% non-condensing
Enclosure	Indoor: High Impact ABS Plastic, UL 94-V0 flame rating Outdoor: Weather tight enclosure, Polycarbonate UL 94-V2 flame rating
Weight	0.4 kg (11 ounces) without modem
Dimension	8 x 15 x 6 cm (3.2" x 5.9" x 2.4") Indoor Enclosure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



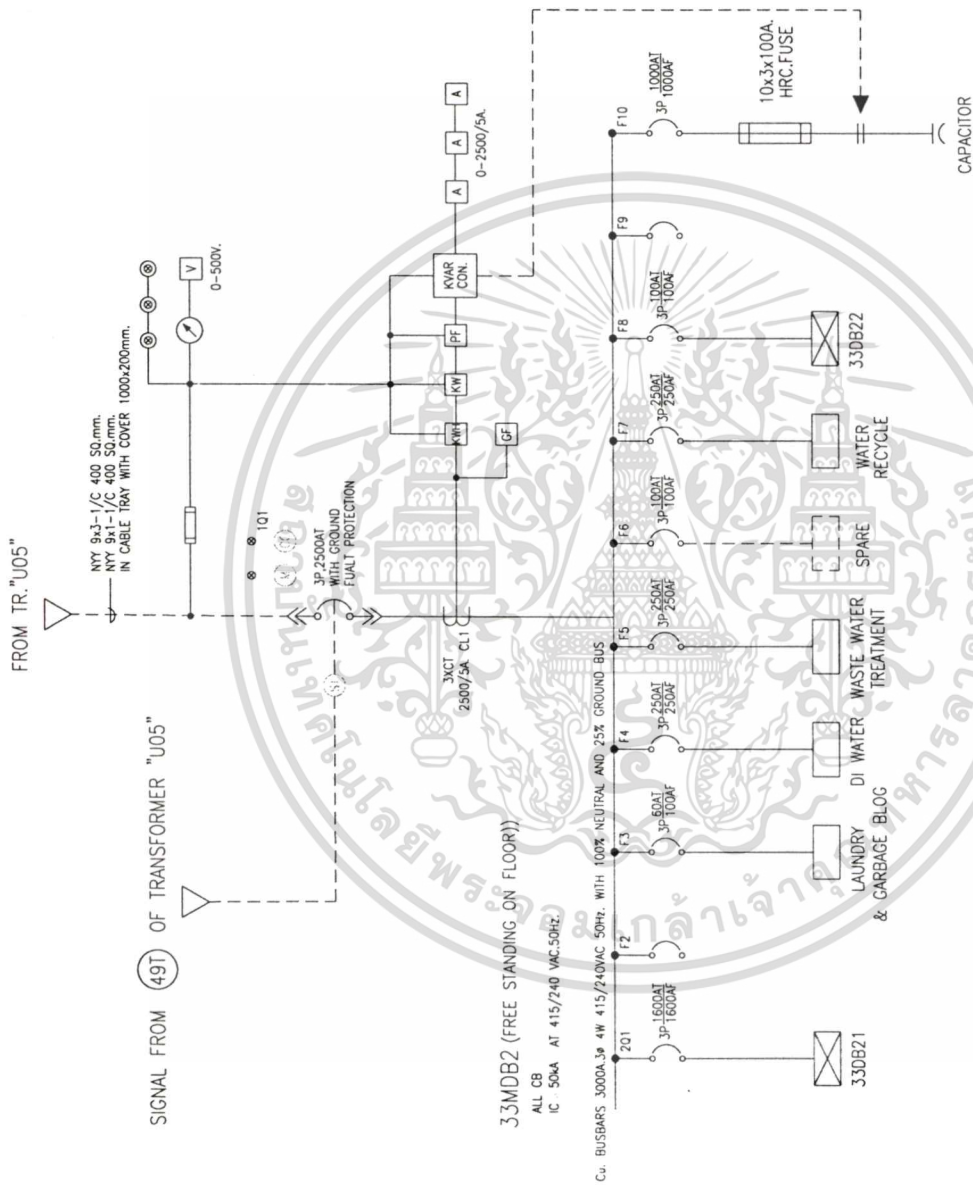
รูปที่ 4.1 Single Line Diagram ตู้โหลดที่ 33MDB4 ที่นำมาใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

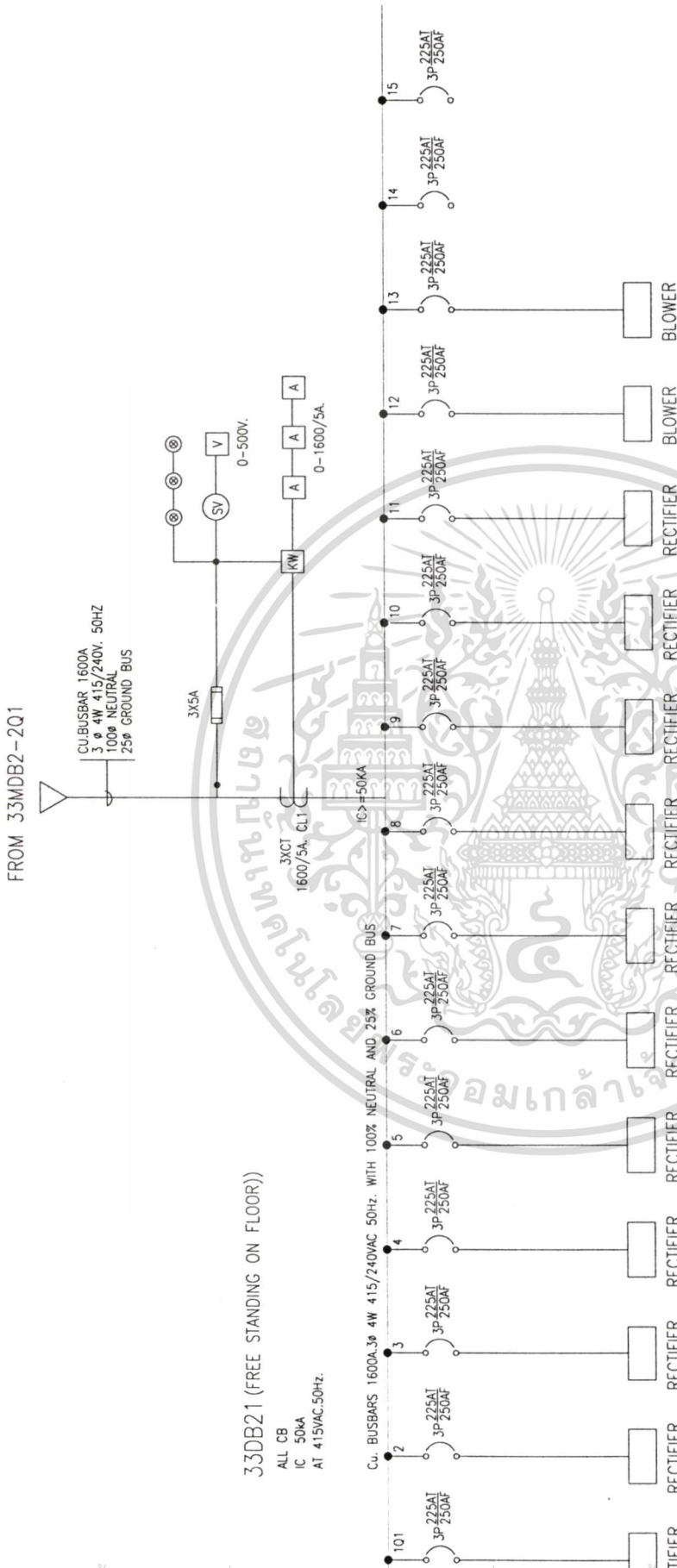


รูปที่ 4.2 Single Line Diagram ตู้โหลดที่ 33MDB3 ที่นำมาใช้ในการทดลอง

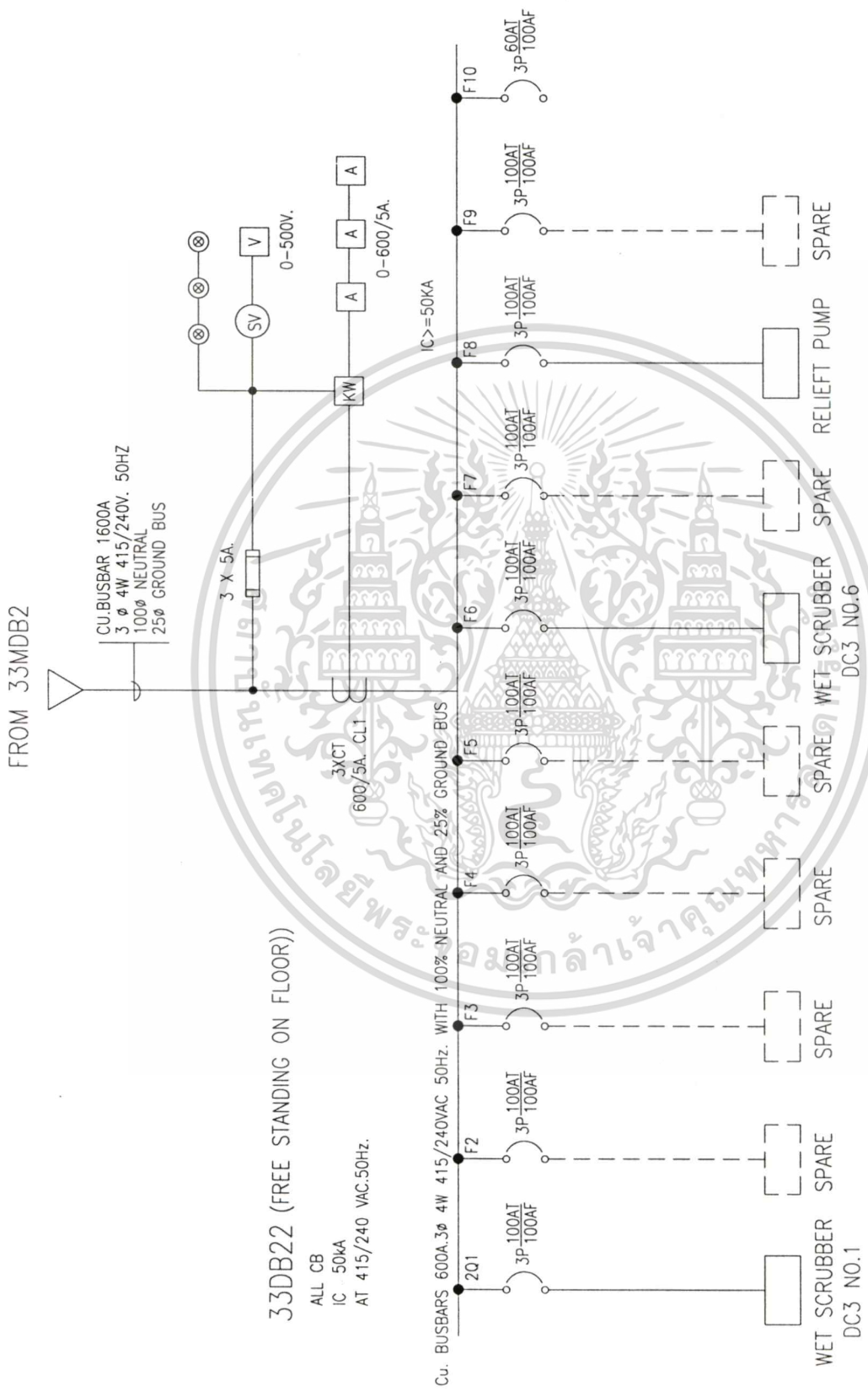
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 Single Line Diagram ผู้โหลดที่ 33MDB2 ที่นำมาใช้ในการทดลอง

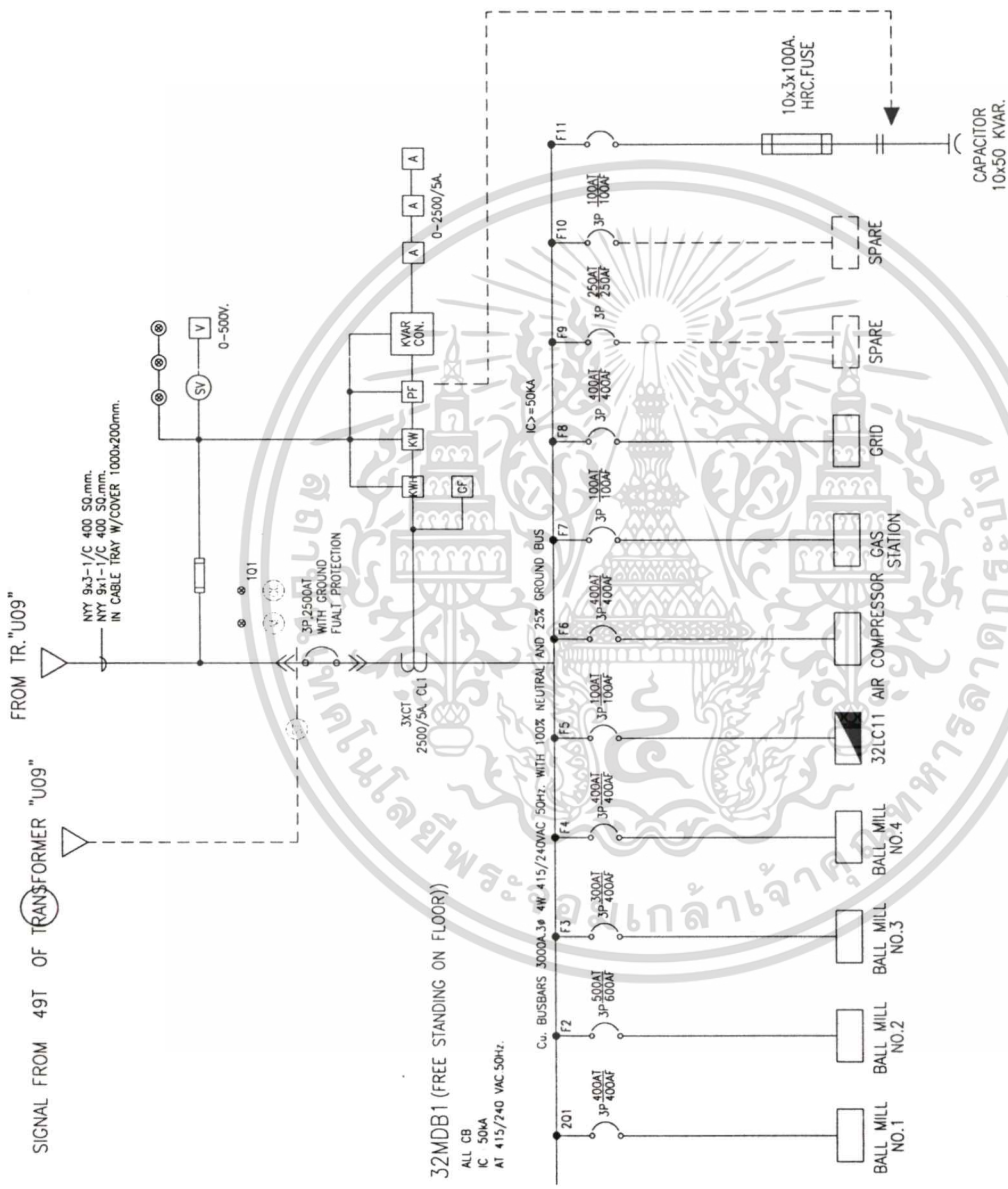


รูปที่ 4.4 Single Line Diagram ตู้โหลดที่ 33DB21 ที่นำมาใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.5 Single Line Diagram ตู้โหลดที่ 33DB22 ที่นำมาใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 Single Line Diagram ตู้โหลดที่ 32MDB1 ที่นำมาใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขั้นตอนการเก็บข้อมูลเราจะนำเครื่องมือวัดไปทำการติดตั้งที่ตู้จ่ายไฟหลัก (Main Distribution Board) ในตู้เมนไฟฟ้าต่าง ๆ และทำการบันทึกค่ารูปคลื่นฮาร์โมนิกส์โดยอุปกรณ์ที่เรา นำมาวัดจะใช้ Software ในการประมวลผลค่าฮาร์โมนิกส์บนคอมพิวเตอร์โดย Software ที่ใช้ ร่วมกันกับอุปกรณ์บันทึกฮาร์โมนิกส์มีชื่อว่า DataPro_Software และมีสเปคคอมพิวเตอร์ขั้นต่ำของ คอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้ได้คือ

Minimum System Requirements

For The ELITEpro™

Computer: IBM PC or equivalent

Operating System: Windows 95, 98, 2000, XP, NT 4.0 or higher

CPU: Pentium Class 100 MHz or higher recommended

RAM: 16MB minimum (32MB recommended)

Hard Drive: 5MB minimum available

Graphics: SVGA or higher resolution (800x600) required for Harmonic Analysis

Communications Port: One Serial Port or one USB Port (with adapter)

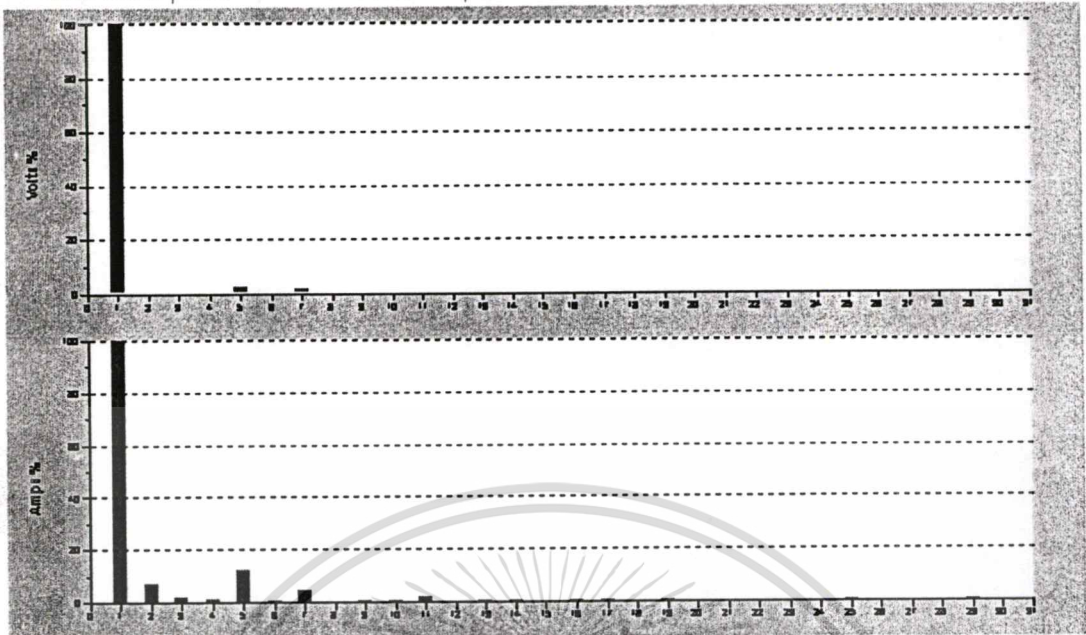
CD Drive: One CD or DVD drive required for software installation.

ลักษณะการทำงานในซอฟต์แวร์ DataPro จะนำค่าที่อุปกรณ์บันทึกฮาร์โมนิกส์ที่สุ่ม สัญญาณ (Sampling Signal) ทั้ง 128 ค่าในหนึ่งลูกคลื่นมาทำการคำนวณหาฮาร์โมนิกส์ด้วย หลักการของ FFT: Fast Fourier Transform และแสดงผลเป็นสเปกตรัมลำดับที่ 1-50 ดังรูปที่ 4.7 แสดงตัวอย่างของสเปกตรัมที่บันทึกได้จากตู้ Sub ที่ 33MDB4

Serial Number: E494D

Description: SIAM-FURUKAWA

Date/Time: 06/08/07 16:27:40



Harmonic Values

Harmonic Frequency

Volts

Amps

3

150 Hz

0.4 %F

1.7 %F

◀

▶

1.0 Vrms

15.54 Arms

Select Channel and Format

☐ CH1☒ CH2☐ CH3☐ CH4☒ Show as % Fundamental☐ Show as % RMS

Waveform Values

Volts

Amps

RMS

225.0 Vrms

902.70 Arms

THD

3.8 %F

15.1 %F

Peak

322.1 Vpk

1560.13 Apk

Crest Factor

1.432

1.728

Line Frequency

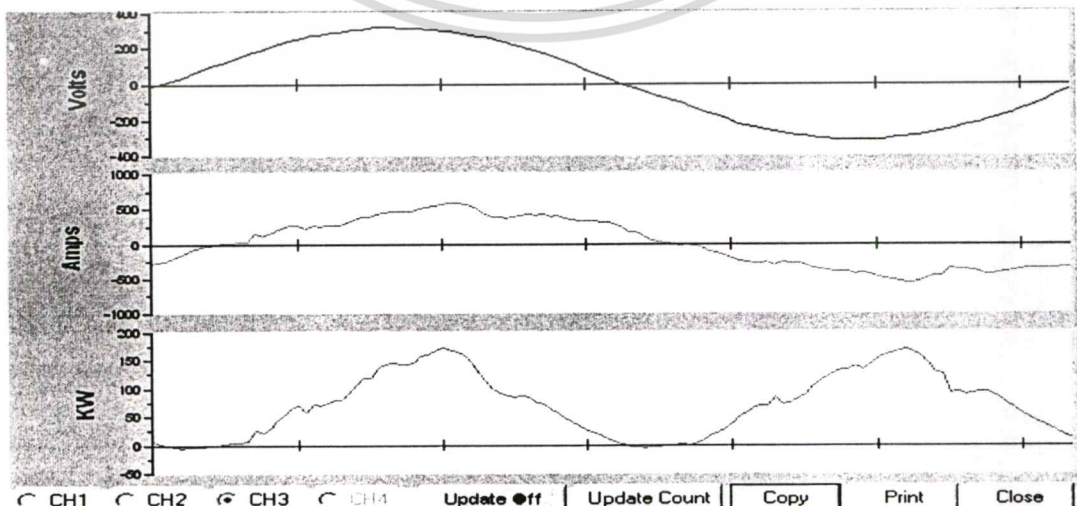
50.2 Hz

K-Factor

1.62

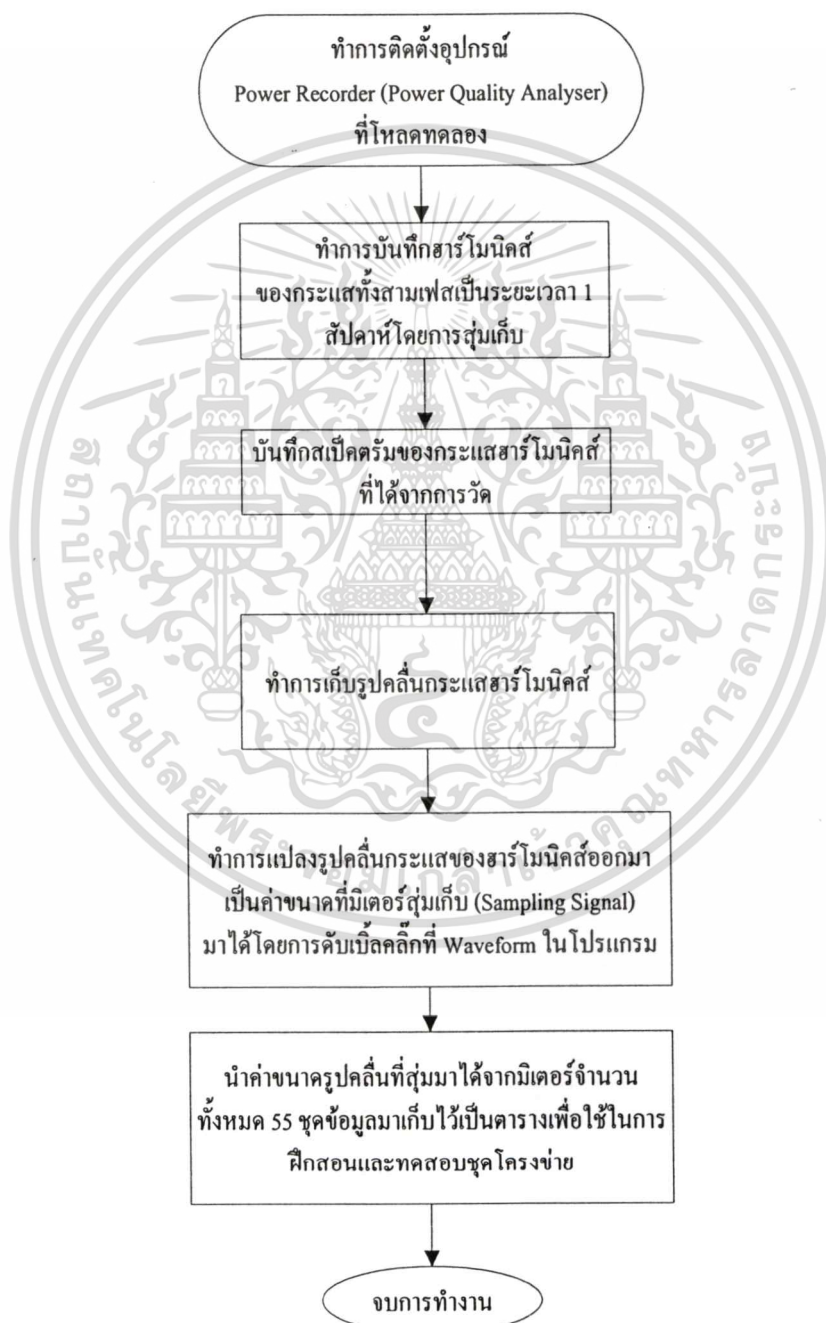
รูปที่ 4.7 แสดงสเปกตรัมที่ซอฟต์แวร์บันทึกได้จากโหลด 33MDB4

ฟังก์ชันการแสดงผลในตัวซอฟต์แวร์เราสามารถเลือกที่จะดูได้ทั้งในส่วนของสเปกตรัมหรือให้โปรแกรมแสดงผลออกมาเป็นรูปคลื่นสัญญาณดังรูปที่ 4.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.8 สัญญาณฮาร์โมนิกส์ที่เครื่องวัดได้จากโหลด 33MDB4 ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการแสดงผลเป็นรูปคลื่นโปรแกรมสามารถแสดงรูปคลื่นได้พร้อมกันสามชนิด โดยในส่วนที่เราจะใช้คือรูปสัญญาณฮาร์โมนิกส์ของกระแสในแต่ละเฟสซึ่งในส่วนของขนาดของรูปคลื่นฮาร์โมนิกส์เราสามารถดูค่าได้โดยดับเบิลคลิกที่รูปคลื่นในหน้าจอโปรแกรมซึ่งเราจะได้ค่าขนาดทั้ง 128 ค่าที่เครื่องส่งมาได้จากสัญญาณฮาร์โมนิกส์ในหนึ่งคาบสัญญาณ (Sampling Signal) โดยเราสามารถเก็บไฟล์นี้ได้หลายชนิดแต่ในส่วนนี้เราจะเก็บออกมาเป็นไฟล์ตาราง Excel ซึ่งสามารถเปิดได้ด้วยโปรแกรมทั่วไปโดยขั้นตอนการเก็บข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.9

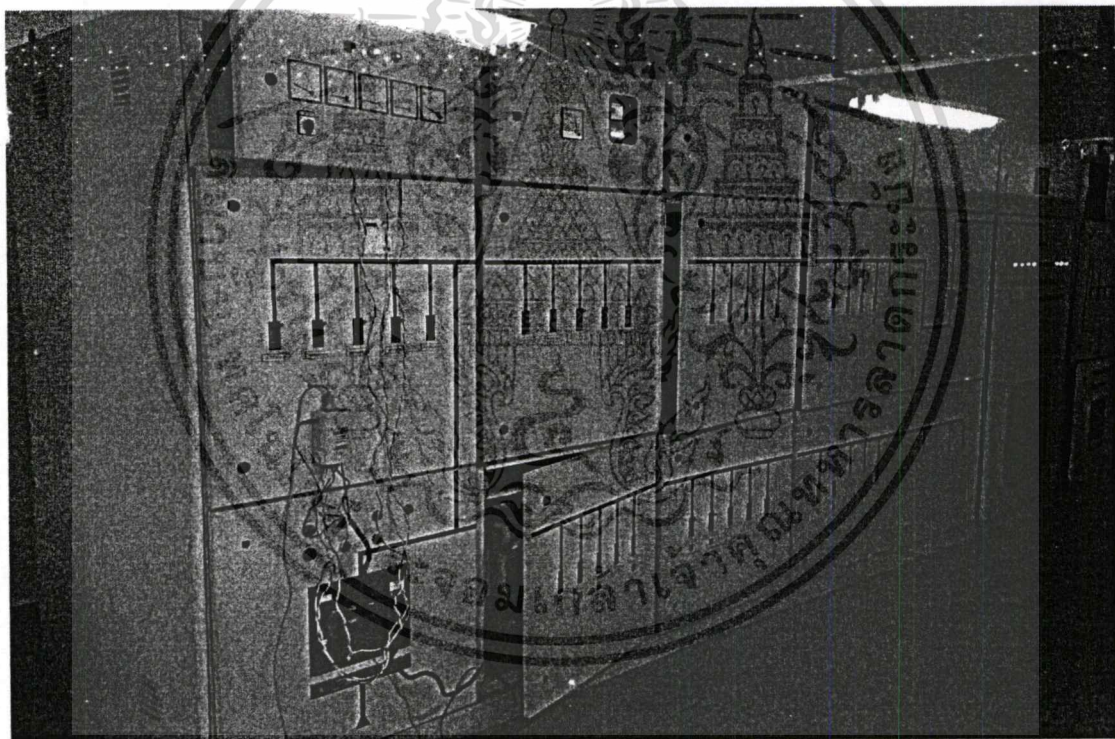


รูปที่ 4.9 แสดง Flow Chart ขั้นตอนการเก็บข้อมูลกระแสฮาร์โมนิกส์ของโหลดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การเก็บข้อมูลฮาร์โมนิกส์ในโหลดต่าง ๆ สำหรับฝึกสอนและทดสอบชุดโครงข่ายประสาทเทียม

ในส่วนของการเก็บข้อมูลเราจะนำเครื่องบันทึกฮาร์โมนิกส์ไปต่อที่ตู้โหลดต่าง ๆ เพื่อทำการบันทึกขนาดของฮาร์โมนิกส์และขนาดของสัญญาณฮาร์โมนิกส์ของกระแสทั้งสามเฟสดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งเป็นการต่อเครื่องบันทึกฮาร์โมนิกส์กระแสของตู้โหลดที่ 33MDB4 ในส่วนของการบันทึกเราจะทำการบันทึกค่าฮาร์โมนิกส์ทั้งสามเฟสจำนวน 50 ชุดข้อมูล โดยนำค่าที่เครื่อง Sampling ได้ 64 ค่า ซึ่งก็คือครึ่งหนึ่งของค่า Sampling ที่ได้มาจากเครื่องวัดเพื่อนำมาใช้ในการฝึกสอนและทดสอบชุดโครงข่ายประสาทเทียมโดยช่วงเวลาของการเก็บข้อมูลเราจะทำการสุ่มเก็บข้อมูล ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ กัน เพื่อให้เกิดความแตกต่างของข้อมูลและเพื่อศึกษาถึงขนาดของฮาร์โมนิกส์ในโหลดดังกล่าวซึ่งค่าที่เก็บได้แสดงดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.10 การต่อเครื่องบันทึกฮาร์โมนิกส์กับตู้โหลดที่ 33MDB4

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลที่ Sampling ได้จาก โหลดที่ตู้ 33MDB4

ค่า	ข้อมูลที																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sampling																		
1	108.2	113.2	114.9	110.0	13.0	21.8	115.0	115.2	111.1	113.5	113.8	112.6	112.4	109.7	114.0	113.3	114.7	109.7
2	219.1	225.1	226.4	220.7	133.7	142.6	224.9	225.4	128.9	223.1	223.7	222.7	222.1	219.1	223.4	222.7	224.9	219.6
3	309.1	315.3	316.5	310.6	245.7	254.4	314.4	315.0	238.7	312.6	313.2	312.3	311.6	308.5	312.8	312.1	314.6	309.2
4	361.5	367.4	368.8	363.1	336.0	344.6	367.3	367.8	328.1	365.5	366.1	365.0	364.5	361.5	365.8	365.1	367.3	362.0
5	361.7	366.8	368.4	363.6	388.0	396.8	368.6	368.8	381.1	367.0	367.4	366.1	365.9	363.2	367.6	366.8	368.2	363.2
6	356.3	360.2	362.2	358.6	387.3	396.2	364.7	364.6	382.5	363.5	363.5	362.0	362.2	360.0	364.3	363.5	363.8	359.2
7	346.7	349.2	351.7	349.6	380.5	389.3	356.7	356.1	378.5	355.8	355.4	353.6	354.2	352.7	356.9	356.0	355.2	351.1
8	337.7	338.9	341.9	341.2	369.2	377.4	348.8	348.0	369.8	348.4	347.7	345.7	346.5	345.7	349.7	348.5	346.9	343.4
9	337.9	338.1	341.4	342.1	358.5	365.3	349.5	348.7	360.5	349.6	348.6	346.5	347.3	347.1	350.8	349.4	347.2	344.4
10	332.5	332.1	335.6	337.4	357.1	361.5	343.8	343.2	358.8	344.3	343.3	341.2	341.7	342.1	345.3	343.6	341.4	339.2
11	351.4	350.8	354.3	356.8	350.2	351.6	361.7	361.5	349.9	362.6	361.4	359.7	359.6	360.5	363.0	361.1	359.3	357.8
12	381.7	381.3	384.7	387.5	367.7	365.4	390.6	391.1	364.3	391.8	390.6	389.3	388.6	389.8	391.7	389.6	388.4	387.6
13	417.4	417.2	420.6	423.4	396.7	390.7	424.8	426.0	389.8	426.1	425.0	424.1	422.9	424.3	425.4	423.3	422.7	422.7
14	455.7	455.6	459.1	461.6	430.6	421.7	461.8	463.8	421.3	463.1	461.9	461.7	460.0	461.4	462.0	460.0	459.9	460.6
15	494.5	494.3	498.0	500.1	466.8	456.0	499.9	502.5	456.8	501.0	499.7	500.0	498.2	499.5	499.6	498.0	497.9	499.3
16	551.8	551.5	555.5	556.9	503.0	491.8	557.1	560.3	494.7	557.8	556.4	557.3	555.5	556.7	556.4	555.3	554.8	557.1
17	616.1	615.5	619.8	620.6	557.4	547.2	621.8	625.3	553.0	622.0	620.4	621.7	620.3	621.3	620.7	620.2	619.2	622.1
18	675.5	674.6	679.3	679.4	618.6	610.6	681.9	685.5	619.6	681.5	679.7	681.4	680.4	681.2	680.4	680.7	678.8	682.4

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูล																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sampling																		
19	744.3	743.2	748.2	747.5	675.1	670.1	751.4	754.8	681.9	750.2	748.4	750.3	749.7	750.3	749.2	750.3	747.8	751.8
20	863.4	862.5	867.4	866.1	741.4	739.6	870.8	873.9	752.9	868.8	867.1	869.3	868.9	869.4	867.9	869.7	866.9	871.0
21	945.8	945.3	949.9	947.9	858.7	859.7	952.9	955.5	872.7	950.0	948.6	950.9	950.6	951.1	949.1	951.5	948.7	952.8
22	1033.8	1034.1	1038.1	1035.6	940.0	943.0	1040.2	1042.2	953.7	1036.5	1035.6	1037.8	1037.5	1037.9	1035.4	1038.3	1035.9	1039.7
23	1114.5	1115.6	1118.9	1116.0	1027.8	1032.0	1119.7	1120.9	1038.4	1115.2	1114.9	1117.1	1116.5	1117.0	1113.9	1117.1	1115.4	1118.8
24	1186.3	1188.2	1190.5	1187.6	1108.8	1113.4	1190.1	1190.4	1114.2	1184.9	1185.3	1187.3	1186.4	1187.1	1183.5	1186.9	1186.0	1188.8
25	1254.3	1256.6	1258.0	1255.3	1181.0	1185.6	1256.8	1256.1	1180.3	1251.1	1252.1	1253.8	1252.7	1253.7	1249.6	1253.2	1252.8	1255.0
26	1309.2	1311.7	1312.1	1309.9	1249.3	1253.8	1310.7	1308.8	1242.9	1304.8	1306.3	1307.5	1306.5	1307.8	1303.4	1306.9	1306.9	1308.5
27	1327.1	1329.2	1328.8	1327.4	1304.1	1308.7	1327.9	1324.9	1293.5	1322.0	1323.9	1324.6	1323.9	1325.4	1320.9	1324.4	1324.3	1325.5
28	1327.6	1328.9	1327.7	1327.3	1321.1	1326.3	1327.9	1323.8	1308.8	1322.4	1324.4	1324.5	1324.4	1326.2	1321.7	1325.1	1324.6	1325.5
29	1321.2	1321.5	1319.6	1320.1	1320.0	1326.0	1320.9	1316.1	1308.3	1316.1	1318.0	1317.7	1318.2	1320.2	1315.9	1319.2	1318.2	1318.8
30	1308.4	1307.5	1304.8	1306.3	1311.3	1318.2	1307.0	1301.7	1302.4	1303.1	1305.0	1304.3	1305.4	1307.4	1303.5	1306.5	1305.0	1305.6
31	1295.7	1293.7	1290.2	1292.3	1295.6	1303.0	1292.4	1287.0	1290.5	1289.6	1291.4	1290.6	1292.2	1294.0	1290.5	1293.1	1291.5	1292.0
32	1284.4	1281.6	1277.2	1279.7	1279.7	1286.9	1278.2	1273.2	1278.6	1276.8	1278.4	1277.7	1279.6	1281.1	1277.9	1280.0	1278.8	1279.4
33	1275.4	1272.3	1266.7	1269.2	1265.2	1271.2	1265.3	1261.1	1267.2	1265.5	1267.0	1266.6	1268.5	1269.5	1266.6	1268.1	1267.7	1268.5
34	1272.6	1269.4	1262.6	1264.8	1253.2	1256.9	1257.7	1254.8	1257.1	1259.6	1261.1	1261.1	1262.7	1263.1	1260.6	1261.4	1262.3	1263.2
35	1270.6	1267.6	1259.5	1261.4	1247.6	1248.0	1250.7	1249.2	1252.0	1254.4	1255.8	1256.4	1257.6	1257.2	1255.0	1255.0	1257.6	1258.5
36	1272.4	1269.5	1260.3	1261.7	1243.2	1239.9	1247.6	1247.5	1247.4	1252.9	1254.4	1255.4	1256.2	1255.2	1253.3	1252.5	1256.7	1257.7

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูล																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sampling																		
37	1271.7	1268.8	1258.6	1259.7	1242.7	1235.8	1242.8	1243.9	1246.7	1249.7	1251.0	1252.5	1253.0	1251.3	1249.9	1248.4	1253.8	1254.9
38	1239.5	1236.4	1225.4	1226.4	1240.0	1230.0	1207.6	1209.6	1244.4	1215.9	1217.1	1218.8	1219.2	1217.1	1216.0	1213.9	1220.1	1221.3
39	1203.2	1199.6	1188.2	1189.4	1206.1	1193.9	1169.8	1172.3	1212.1	1179.2	1180.2	1182.0	1182.6	1180.1	1179.6	1177.0	1183.3	1184.5
40	1165.6	1161.2	1149.6	1151.4	1168.5	1155.3	1131.9	1134.6	1177.4	1142.3	1143.0	1144.5	1145.6	1142.9	1143.0	1140.0	1146.0	1147.1
41	1127.4	1122.0	1110.6	1113.0	1130.0	1116.9	1094.6	1096.9	1142.5	1105.5	1105.9	1107.1	1108.6	1106.1	1106.7	1103.5	1108.7	1109.6
42	1107.1	1101.0	1089.7	1093.0	1091.6	1079.4	1076.0	1077.6	1107.6	1087.1	1087.4	1088.0	1090.1	1087.7	1088.8	1085.4	1089.8	1090.4
43	1075.6	1069.1	1058.2	1062.1	1072.2	1061.2	1046.6	1047.4	1090.4	1057.6	1057.8	1057.9	1060.3	1058.2	1059.7	1056.2	1059.9	1060.0
44	1037.0	1030.6	1020.0	1024.5	1042.7	1032.9	1010.2	1010.1	1061.0	1020.7	1021.1	1020.5	1023.0	1021.4	1023.0	1019.4	1022.7	1022.2
45	1011.1	1005.4	995.0	999.8	1007.2	998.5	986.5	983.5	1023.2	996.2	996.8	995.7	998.1	996.8	998.4	994.9	998.1	996.9
46	987.6	982.8	972.9	977.5	985.6	977.4	965.0	963.2	996.7	973.6	974.6	973.1	975.1	974.1	975.6	972.2	975.6	973.7
47	994.6	991.2	981.8	986.0	966.9	959.3	974.2	971.8	971.7	981.5	982.9	981.1	982.7	981.9	983.3	980.1	983.7	981.1
48	1022.9	1020.9	1012.2	1015.7	979.4	972.2	1005.0	1002.1	977.2	1010.9	1012.6	1010.6	1011.7	1011.1	1012.3	1009.4	1013.3	1010.0
49	1038.5	1037.8	1030.1	1032.7	1013.0	1006.9	1023.6	1020.4	1004.8	1027.9	1029.9	1027.8	1028.5	1028.0	1029.1	1026.7	1030.5	1026.8
50	1058.1	1058.4	1051.9	1053.6	1033.6	1029.3	1046.8	1043.4	1021.5	1049.5	1051.5	1049.4	1050.0	1049.4	1050.5	1048.7	1052.1	1048.1
51	1062.8	1063.8	1058.9	1059.5	1057.4	1055.8	1055.7	1052.3	1044.2	1056.9	1058.7	1056.7	1057.3	1056.7	1057.8	1056.8	1059.3	1055.3
53	1063.1	1064.6	1061.5	1061.0	1065.7	1067.5	1060.6	1057.3	1054.2	1060.2	1061.7	1060.0	1060.7	1060.0	1061.3	1061.0	1062.3	1058.6
53	1040.5	1042.3	1041.0	1039.5	1068.9	1074.5	1042.5	1039.6	1061.3	1040.8	1041.9	1040.4	1041.3	1040.5	1041.9	1042.4	1042.4	1039.1
54	1000.9	1003.0	1003.7	1001.2	1048.7	1057.9	1007.2	1004.9	1046.0	1004.3	1004.9	1003.7	1004.8	1003.8	1005.4	1006.5	1005.4	1002.7

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที่																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sampling	954.7	957.2	959.6	956.2	1011.3	1023.4	964.5	963.0	1013.2	960.7	960.8	960.1	961.0	959.9	961.5	963.1	961.3	959.1
55	907.5	910.5	914.6	910.4	967.2	980.9	920.2	919.6	972.3	915.5	915.3	915.0	915.6	914.5	916.0	917.9	915.7	914.1
56	859.4	863.1	868.6	863.8	922.3	936.2	874.2	874.6	928.4	868.9	868.3	868.6	868.5	867.5	868.8	870.9	868.6	867.7
57	793.0	797.3	804.1	798.9	876.7	889.3	809.3	810.8	881.4	803.6	802.8	803.5	802.7	801.9	802.8	804.9	802.9	802.5
58	683.2	688.1	696.0	690.9	812.9	822.9	701.0	703.4	814.4	695.0	694.1	695.1	693.5	693.0	693.6	695.5	693.7	693.9
59	572.7	577.8	586.8	582.2	705.7	712.6	592.1	595.2	703.2	586.0	584.8	586.1	583.7	583.8	584.1	585.7	584.0	584.7
60	470.2	475.1	485.2	481.4	597.4	601.1	491.7	495.1	591.2	485.6	484.1	485.3	482.5	483.2	483.3	484.6	482.6	483.9
61	370.8	374.9	386.2	383.6	496.7	497.6	394.7	398.2	488.0	388.7	386.8	387.9	385.0	386.4	386.3	387.4	384.6	386.4
62	233.9	237.0	249.4	248.1	398.4	397.3	260.6	264.0	389.0	254.8	252.4	253.3	250.5	252.6	252.4	253.4	249.4	251.8
63	107.1	109.1	122.5	122.5	262.1	259.9	136.8	139.9	253.7	131.1	128.3	128.8	126.3	129.1	129.0	129.8	124.6	127.4
64	-21.1	-20.2	-6.0	-4.8	135.5	132.9	11.0	13.9	129.4	5.5	2.3	2.5	0.3	3.7	3.7	4.4	-2.0	1.1
65	-139.1	-139.0	-124.2	-122.3	7.2	4.7	-105.3	-102.7	3.7	-110.7	-114.2	-114.2	-116.1	-112.4	-112.3	-111.6	-118.9	-115.5
66	-220.3	-220.4	-205.5	-203.3	-111.0	-113.3	-185.9	-183.4	-112.4	-191.3	-194.8	-194.9	-196.7	-192.9	-192.8	-192.1	-199.7	-196.2
67	-264.2	-264.1	-249.4	-247.4	-192.3	-194.4	-230.4	-227.8	-192.9	-235.8	-239.3	-239.3	-241.2	-237.5	-237.4	-236.8	-244.0	-240.6
68	-283.6	-282.7	-268.5	-267.3	-236.1	-238.4	-251.5	-248.6	-237.5	-257.0	-260.2	-260.0	-262.2	-258.8	-258.8	-258.1	-264.5	-261.3
69	-292.9	-290.9	-277.5	-277.5	-255.3	-257.8	-263.3	-260.1	-258.8	-268.9	-271.7	-271.2	-273.7	-270.9	-271.0	-270.2	-275.4	-272.6
70	-302.6	-299.5	-287.1	-288.4	-264.5	-267.1	-275.9	-272.5	-270.6	-281.7	-284.1	-283.2	-286.0	-283.9	-284.0	-283.1	-287.0	-284.7
71	-315.4	-311.2	-299.9	-302.6	-274.4	-276.6	-291.4	-287.9	-282.8	-297.4	-299.3	-298.2	-301.1	-299.7	-299.8	-298.7	-301.5	-299.7
72																		

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูล																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sampling																		
73	-321.2	-316.3	-306.2	-310.0	-287.7	-288.8	-299.7	-296.3	-297.2	-305.8	-307.3	-306.1	-308.9	-308.2	-308.1	-306.7	-308.8	-307.5
74	-321.3	-316.3	-307.2	-311.9	-294.7	-293.8	-301.9	-298.9	-303.4	-308.0	-309.2	-308.0	-310.3	-310.3	-310.0	-308.3	-310.1	-309.4
75	-338.8	-333.9	-326.0	-331.1	-296.7	-293.0	-321.0	-318.6	-302.9	-327.0	-327.9	-326.9	-328.5	-329.0	-328.4	-326.5	-328.3	-328.1
76	-369.8	-365.5	-358.7	-363.8	-316.3	-309.4	-353.4	-352.0	-318.8	-359.2	-359.9	-359.2	-360.1	-360.9	-359.9	-357.9	-359.9	-360.3
77	-405.9	-402.2	-396.7	-401.5	-349.9	-339.8	-391.2	-390.7	-348.4	-396.5	-397.0	-396.7	-396.8	-397.8	-396.6	-394.5	-396.7	-397.7
78	-446.6	-443.6	-439.5	-443.7	-388.6	-376.1	-434.0	-434.5	-383.9	-438.6	-438.9	-439.1	-438.6	-439.7	-438.2	-436.2	-438.5	-440.0
79	-514.9	-512.5	-510.0	-513.4	-431.8	-417.9	-505.1	-506.6	-425.8	-509.0	-508.8	-509.6	-508.6	-509.7	-508.1	-506.5	-508.3	-510.5
80	-564.8	-562.7	-562.0	-564.5	-502.4	-488.7	-558.5	-560.8	-497.4	-561.4	-560.8	-562.0	-560.9	-561.9	-560.4	-559.2	-560.3	-563.1
81	-669.3	-667.5	-668.8	-670.3	-554.4	-542.4	-667.3	-670.2	-552.5	-669.0	-667.9	-669.4	-668.4	-669.3	-667.9	-667.4	-667.3	-670.7
82	-743.3	-741.8	-745.0	-745.4	-661.1	-651.9	-745.9	-749.1	-663.8	-746.2	-744.7	-746.5	-745.7	-746.4	-745.2	-745.5	-744.1	-747.9
83	-805.6	-804.6	-809.5	-808.9	-737.5	-731.9	-812.7	-816.1	-745.2	-811.6	-809.7	-811.7	-811.1	-811.7	-810.6	-811.6	-809.2	-813.1
84	-892.6	-892.3	-898.8	-897.1	-802.7	-800.9	-903.9	-907.3	-814.2	-901.2	-899.2	-901.2	-900.6	-901.2	-900.1	-901.9	-898.6	-902.5
85	-967.4	-968.1	-975.9	-973.2	-893.2	-894.8	-982.3	-985.5	-906.4	-978.0	-976.0	-978.1	-977.4	-977.9	-976.9	-979.2	-975.4	-979.2
86	-1045.1	-1047.1	-1055.8	-1052.3	-972.3	-976.6	-1063.1	-1065.9	-984.4	-1057.2	-1055.4	-1057.4	-1056.3	-1057.0	-1055.8	-1058.6	-1054.8	-1058.0
87	-1119.5	-1122.9	-1132.3	-1128.1	-1055.0	-1061.1	-1139.9	-1142.3	-1063.2	-1132.6	-1131.2	-1133.0	-1131.4	-1132.2	-1130.8	-1134.0	-1130.4	-1133.0
88	-1193.5	-1198.3	-1208.2	-1203.6	-1134.7	-1141.8	-1216.1	-1217.9	-1136.9	-1207.5	-1206.5	-1208.0	-1206.0	-1207.0	-1205.5	-1208.9	-1205.5	-1207.4
89	-1240.3	-1246.1	-1256.4	-1251.7	-1214.2	-1221.8	-1265.0	-1265.9	-1209.4	-1255.3	-1254.7	-1255.7	-1253.3	-1254.7	-1253.0	-1256.5	-1253.4	-1254.5
90	-1285.0	-1291.3	-1302.0	-1297.5	-1265.9	-1274.0	-1311.8	-1311.8	-1254.7	-1301.2	-1300.9	-1301.4	-1298.9	-1300.6	-1299.0	-1302.5	-1299.2	-1299.7

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

คำ	ข้อมูลที																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sampling																		
91	-1308.1	-1314.5	-1325.5	-1321.5	-1314.7	-1323.5	-1337.1	-1336.2	-1298.8	-1326.1	-1325.8	-1325.8	-1323.4	-1325.4	-1324.0	-1327.5	-1323.8	-1323.7
92	-1324.7	-1330.8	-1342.1	-1338.8	-1341.0	-1350.7	-1355.8	-1354.2	-1322.6	-1344.7	-1344.4	-1343.8	-1341.7	-1344.1	-1343.0	-1346.4	-1342.0	-1341.4
93	-1336.4	-1341.7	-1353.2	-1350.7	-1359.6	-1370.6	-1369.1	-1366.8	-1341.4	-1358.2	-1357.8	-1356.6	-1355.1	-1357.6	-1357.0	-1360.2	-1355.0	-1354.1
94	-1343.3	-1347.7	-1359.3	-1357.5	-1372.1	-1384.3	-1377.0	-1374.3	-1356.1	-1366.6	-1365.9	-1364.4	-1363.3	-1366.0	-1365.9	-1368.9	-1362.9	-1361.8
95	-1343.0	-1346.7	-1358.0	-1356.8	-1378.9	-1392.0	-1376.5	-1373.9	-1366.4	-1367.0	-1366.0	-1364.3	-1363.7	-1366.1	-1366.6	-1369.2	-1362.9	-1361.7
96	-1336.8	-1339.9	-1350.9	-1349.9	-1377.8	-1390.9	-1368.7	-1366.7	-1368.9	-1360.4	-1359.2	-1357.5	-1357.1	-1359.2	-1360.3	-1362.4	-1356.2	-1355.1
97	-1339.6	-1342.4	-1352.6	-1351.5	-1370.2	-1382.4	-1368.4	-1367.3	-1364.2	-1361.6	-1360.2	-1358.7	-1358.2	-1359.9	-1361.4	-1362.9	-1357.5	-1356.4
98	-1336.6	-1339.4	-1348.7	-1347.3	-1371.2	-1381.2	-1361.3	-1361.5	-1366.8	-1356.0	-1354.6	-1353.5	-1352.7	-1353.8	-1355.7	-1356.4	-1352.3	-1351.3
99	-1341.1	-1344.1	-1352.2	-1350.4	-1366.2	-1373.2	-1361.0	-1362.5	-1362.3	-1357.4	-1355.9	-1355.4	-1354.2	-1354.5	-1356.7	-1356.7	-1354.1	-1353.2
100	-1344.5	-1347.7	-1354.5	-1352.2	-1368.6	-1371.8	-1359.3	-1362.3	-1364.3	-1357.4	-1355.9	-1355.9	-1354.3	-1354.0	-1356.5	-1355.7	-1354.7	-1353.9
101	-1331.5	-1334.6	-1340.2	-1337.7	-1369.5	-1369.0	-1341.6	-1345.8	-1365.0	-1341.4	-1339.9	-1340.3	-1338.4	-1337.4	-1340.3	-1338.8	-1339.2	-1338.4
102	-1307.5	-1310.2	-1314.7	-1312.2	-1353.7	-1350.0	-1313.7	-1318.7	-1349.8	-1315.0	-1313.4	-1314.1	-1312.2	-1310.7	-1313.9	-1311.8	-1313.1	-1312.4
103	-1270.2	-1272.1	-1275.6	-1273.5	-1326.6	-1320.7	-1273.5	-1278.9	-1324.6	-1276.2	-1274.5	-1275.3	-1273.6	-1271.8	-1275.4	-1272.7	-1274.4	-1273.8
104	-1231.5	-1232.4	-1235.1	-1233.6	-1286.1	-1278.9	-1232.9	-1238.2	-1287.2	-1236.8	-1234.9	-1235.6	-1234.5	-1232.4	-1236.4	-1233.4	-1234.9	-1234.3
105	-1210.5	-1210.2	-1212.2	-1211.6	-1244.3	-1236.9	-1210.8	-1215.7	-1249.3	-1215.7	-1213.7	-1214.0	-1213.5	-1211.5	-1215.8	-1212.5	-1213.6	-1212.9
106	-1184.6	-1183.3	-1184.5	-1184.9	-1220.4	-1213.5	-1184.3	-1188.4	-1229.3	-1189.8	-1187.8	-1187.7	-1187.8	-1186.0	-1190.5	-1187.1	-1187.6	-1186.7
107	-1152.3	-1150.2	-1150.6	-1152.0	-1192.2	-1186.2	-1151.5	-1154.5	-1203.9	-1157.3	-1155.5	-1154.8	-1155.5	-1153.9	-1158.5	-1155.0	-1155.1	-1153.9
108	-1117.7	-1115.1	-1114.7	-1116.9	-1158.2	-1153.1	-1116.1	-1118.0	-1170.6	-1122.0	-1120.5	-1119.3	-1120.3	-1119.0	-1123.4	-1119.9	-1119.9	-1118.3

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูล																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sampling																		
109	-1084.5	-1082.1	-1080.8	-1083.4	-1122.7	-1118.1	-1081.9	-1082.7	-1133.3	-1087.6	-1086.6	-1085.0	-1086.0	-1085.1	-1089.1	-1085.6	-1086.0	-1083.7
110	-1081.4	-1079.6	-1077.2	-1080.1	-1089.4	-1084.9	-1077.6	-1077.3	-1095.9	-1082.8	-1082.4	-1080.4	-1081.3	-1080.6	-1084.2	-1080.8	-1081.8	-1079.0
111	-1097.9	-1096.8	-1093.5	-1096.3	-1086.7	-1082.1	-1092.7	-1091.5	-1087.4	-1097.2	-1097.5	-1095.3	-1095.9	-1095.4	-1098.5	-1095.3	-1097.0	-1093.6
112	-1108.4	-1108.2	-1104.1	-1106.6	-1103.6	-1099.0	-1102.0	-1100.1	-1098.2	-1105.8	-1106.7	-1104.4	-1104.8	-1104.4	-1106.8	-1104.0	-1106.4	-1102.5
113	-1099.8	-1100.3	-1095.7	-1097.6	-1114.4	-1110.2	-1092.6	-1090.0	-1103.8	-1095.6	-1096.9	-1094.7	-1094.9	-1094.5	-1096.4	-1094.1	-1096.9	-1092.8
114	-1086.4	-1087.3	-1082.4	-1083.7	-1105.6	-1102.6	-1079.0	-1076.0	-1091.9	-1081.0	-1082.7	-1080.6	-1080.9	-1080.4	-1081.9	-1080.1	-1083.0	-1078.8
115	-1063.3	-1064.3	-1059.4	-1060.0	-1091.2	-1090.2	-1056.2	-1052.8	-1077.1	-1057.4	-1059.2	-1057.2	-1057.8	-1057.2	-1058.3	-1057.3	-1059.8	-1055.8
116	-1047.7	-1048.6	-1043.9	-1043.8	-1066.2	-1068.0	-1041.3	-1037.7	-1054.7	-1041.6	-1043.4	-1041.7	-1042.8	-1042.0	-1042.8	-1042.5	-1044.3	-1040.8
117	-1014.3	-1014.9	-1010.5	-1009.7	-1048.1	-1053.1	-1008.5	-1005.1	-1041.3	-1008.3	-1009.9	-1008.6	-1010.0	-1009.0	-1009.6	-1010.1	-1011.1	-1008.2
118	-966.7	-967.1	-963.0	-961.6	-1011.7	-1019.7	-961.4	-958.3	-1010.7	-960.7	-962.1	-961.3	-963.0	-961.8	-962.1	-963.2	-963.7	-961.4
119	-913.1	-913.2	-909.5	-907.5	-961.2	-971.3	-907.7	-905.0	-965.5	-906.6	-907.9	-907.5	-909.4	-908.0	-908.0	-909.6	-909.7	-908.2
120	-856.8	-856.9	-853.4	-850.9	-904.6	-915.8	-850.7	-848.6	-912.9	-849.4	-850.5	-850.8	-852.5	-851.0	-850.5	-852.4	-852.6	-851.9
121	-800.0	-800.3	-796.9	-794.1	-845.7	-856.5	-792.7	-791.4	-855.7	-791.4	-792.5	-793.3	-794.6	-793.2	-792.1	-794.2	-794.7	-794.8
122	-737.0	-737.4	-734.0	-731.2	-786.8	-795.8	-728.1	-727.6	-796.2	-727.0	-728.1	-729.4	-730.1	-728.9	-727.0	-729.1	-730.3	-731.1
123	-633.5	-634.0	-630.6	-628.1	-722.1	-728.0	-623.1	-623.3	-728.9	-622.3	-623.4	-625.2	-625.2	-624.3	-621.8	-623.7	-625.5	-627.0
124	-506.8	-507.2	-503.8	-502.0	-617.1	-619.4	-495.5	-496.1	-620.6	-495.0	-496.1	-498.1	-497.6	-497.2	-494.1	-495.7	-497.9	-500.1
125	-395.5	-395.3	-392.0	-391.3	-489.1	-487.8	-383.9	-384.7	-489.4	-383.8	-384.8	-386.9	-386.1	-386.3	-382.6	-384.0	-386.2	-389.0
126	-237.4	-236.2	-233.2	-233.8	-376.3	-371.9	-226.2	-227.0	-374.6	-226.6	-227.3	-229.3	-228.6	-229.4	-225.4	-226.5	-228.2	-231.7

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

คำ	ข้อมูลปี																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sampling																		
127	-129.3	-126.8	-124.2	-126.4	-216.6	-209.8	-119.3	-119.8	-214.6	-120.1	-120.5	-122.3	-121.7	-123.2	-119.0	-120.0	-120.7	-124.8
128	-11.1	-7.3	-5.2	-8.8	-106.8	-98.5	-2.7	-2.9	-106.2	-4.0	-4.0	-5.5	-5.3	-7.4	-3.1	-4.0	-3.6	-8.2

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Sampling																		
1	113.0	113.7	89.3	22.6	1.5	112.3	1.5	4.8	19.5	17.6	6.3	20.4	20.8	16.3	22.8	20.5	20.6	20.6
2	222.4	222.9	178.7	141.9	118.4	221.4	119.4	122.8	140.9	138.3	116.0	141.8	142.6	137.7	144.1	141.2	141.8	141.9
3	311.7	312.2	236.0	252.6	227.7	310.7	229.3	232.8	253.1	250.0	228.4	254.0	255.0	249.8	256.1	252.8	253.8	253.9
4	364.7	365.3	302.4	342.4	317.1	363.8	318.9	322.5	343.4	340.2	335.0	344.3	345.4	340.1	346.4	342.9	344.1	344.2
5	366.6	367.3	371.1	395.0	370.1	365.9	371.7	375.2	395.5	392.4	423.4	396.4	397.3	392.2	398.5	395.2	396.2	396.3
6	363.5	364.4	437.6	395.5	372.0	363.1	372.9	376.4	394.5	391.9	477.4	395.4	396.1	391.3	397.7	394.7	395.4	395.4
7	356.3	357.4	501.7	390.0	369.0	356.4	368.9	372.2	387.0	385.0	482.0	387.8	388.3	383.8	390.2	387.9	388.0	388.0
8	349.4	350.4	543.0	379.6	361.8	350.1	360.8	363.8	374.3	373.0	483.4	375.0	375.1	371.0	377.4	375.9	375.4	375.3
9	350.8	351.6	588.8	368.6	355.0	352.4	352.9	355.8	361.2	360.4	482.2	361.7	361.4	357.8	363.9	363.3	362.2	361.9
10	345.6	345.9	627.7	365.3	356.5	348.3	353.7	356.4	356.5	355.8	482.2	356.7	356.1	352.9	358.3	358.6	357.0	356.5
11	363.7	363.4	657.5	355.2	351.6	367.8	348.4	350.8	345.7	344.9	490.7	345.6	344.7	341.8	346.4	347.5	345.6	344.7
12	392.7	391.7	680.4	368.5	370.1	398.4	366.9	369.0	359.3	358.1	491.4	358.8	357.7	355.1	358.4	360.3	358.4	357.1
13	426.6	425.2	698.7	393.4	399.8	434.2	396.8	398.6	384.9	383.3	512.9	384.2	382.9	380.6	382.7	385.1	383.2	381.5
14	463.3	461.5	733.1	424.3	434.7	472.9	432.2	433.6	417.0	415.0	541.2	416.2	414.9	412.8	413.6	416.3	414.8	412.7
15	500.9	499.1	772.0	459.5	472.8	512.6	470.6	471.6	453.3	451.2	569.0	452.6	451.2	449.7	449.3	452.0	450.9	448.6
16	557.6	556.0	801.8	497.0	512.0	571.3	510.2	510.8	491.8	490.0	593.2	491.6	490.1	489.1	487.8	490.3	489.6	487.3
17	621.6	620.6	833.9	554.9	570.3	637.2	568.9	568.9	550.5	549.4	611.6	550.9	549.3	549.1	547.1	549.1	548.9	546.7
18	681.0	680.6	907.2	621.2	636.0	697.9	634.8	634.3	617.4	617.2	642.8	618.5	616.9	617.4	615.0	616.5	616.8	614.8

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ค่า Sampling	ข้อมูลที																											
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36										
37	1249.5	1248.1	1308.1	1229.9	1233.0	1231.5	1235.5	1231.5	1237.6	1237.4	1138.2	1236.5	1237.9	1240.3	1236.5	1235.9	1237.5	1237.1										
38	1215.6	1214.0	1241.7	1226.0	1229.5	1197.3	1232.6	1228.1	1234.1	1233.2	1162.7	1233.2	1234.6	1236.8	1232.6	1231.6	1233.9	1232.6										
39	1179.1	1177.5	1175.3	1192.0	1195.8	1160.3	1199.0	1194.0	1199.9	1198.5	1185.2	1199.3	1200.7	1202.6	1198.2	1197.1	1199.9	1197.8										
40	1142.5	1141.0	1124.9	1155.7	1159.3	1123.0	1162.3	1157.0	1162.6	1161.1	1175.9	1162.3	1163.6	1165.2	1161.2	1159.9	1162.9	1160.3										
41	1106.2	1105.0	1058.4	1119.4	1122.5	1085.8	1125.0	1119.5	1124.7	1123.4	1161.7	1124.6	1125.7	1127.3	1123.8	1122.5	1125.4	1122.5										
42	1088.3	1087.5	978.2	1083.5	1085.8	1066.8	1087.6	1082.1	1086.8	1085.8	1144.5	1086.8	1087.8	1089.2	1086.5	1085.3	1087.9	1084.8										
43	1059.2	1058.6	904.9	1065.9	1067.3	1036.6	1068.3	1062.9	1067.2	1066.6	1124.7	1067.1	1067.9	1069.3	1067.4	1066.5	1068.6	1065.6										
44	1022.6	1022.1	831.6	1036.9	1037.3	998.8	1037.6	1032.7	1036.5	1036.2	1120.4	1036.2	1037.0	1038.1	1037.0	1036.5	1038.0	1035.2										
45	998.1	997.6	792.7	1000.1	999.7	973.4	999.5	995.2	998.9	998.5	1101.9	998.1	998.8	999.6	999.3	999.2	1000.0	997.6										
46	975.4	974.8	785.8	975.6	974.3	950.1	973.9	970.4	974.2	973.4	1073.1	972.8	973.7	973.9	974.3	974.5	974.7	972.7										
47	983.1	982.3	783.5	953.2	951.0	957.8	950.7	948.0	952.3	951.0	1053.5	950.3	951.3	951.0	951.8	952.4	952.1	950.5										
48	1012.2	1011.2	806.4	962.0	958.6	987.5	958.5	956.8	962.0	960.1	1032.5	959.4	960.6	959.7	960.9	961.6	960.9	959.9										
49	1028.9	1028.0	836.2	993.2	988.3	1005.7	988.5	987.7	994.3	991.9	1038.4	991.2	992.6	991.2	992.7	993.5	992.5	992.1										
50	1050.3	1049.7	879.7	1013.4	1006.7	1029.5	1007.2	1007.2	1015.4	1012.8	1062.1	1012.3	1013.8	1011.9	1013.8	1014.5	1013.4	1013.5										
51	1057.4	1057.3	911.8	1039.6	1030.6	1039.9	1031.3	1032.0	1042.0	1039.6	1070.1	1039.1	1040.7	1038.6	1041.0	1041.3	1040.2	1040.8										
53	1060.7	1061.2	930.1	1052.8	1041.4	1047.2	1042.1	1043.3	1055.2	1053.3	1079.8	1052.8	1054.3	1052.3	1055.1	1054.9	1053.9	1055.0										
53	1041.1	1042.3	937.0	1062.8	1049.1	1032.3	1049.7	1051.2	1064.7	1063.6	1073.8	1063.2	1064.5	1062.6	1065.9	1065.2	1064.3	1065.8										
54	1004.4	1006.1	932.4	1050.2	1034.6	1000.6	1035.0	1036.8	1051.4	1051.2	1063.6	1050.8	1051.9	1050.3	1054.0	1052.6	1052.0	1053.8										

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

คำ	ข้อมูลที่																																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36																
Sampling																																		
55	960.5	962.5	914.1	1020.0	1003.2	961.9	1003.6	1005.5	1020.5	1021.1	1032.2	1020.8	1021.6	1020.3	1024.1	1022.2	1022.0	1023.9																
56	915.0	917.0	866.0	981.4	964.7	921.5	965.0	967.0	981.4	982.6	986.8	982.7	983.1	982.0	985.8	983.5	983.6	985.4																
57	868.0	869.7	767.5	939.8	924.3	879.4	924.7	926.8	939.6	940.9	938.9	941.5	941.6	940.6	944.0	941.5	941.9	943.6																
58	802.3	803.5	666.7	895.0	882.0	818.3	882.5	884.8	894.8	895.8	894.9	897.0	896.9	895.8	898.6	896.2	896.9	898.3																
59	693.5	694.0	577.3	829.8	820.4	713.6	821.0	823.5	829.7	830.3	855.0	832.0	831.7	830.4	832.5	830.4	831.2	832.2																
60	584.3	584.3	497.1	720.1	715.2	608.0	715.7	718.4	719.8	719.8	801.5	722.1	721.4	720.0	721.2	719.7	720.5	721.0																
61	483.9	483.4	384.9	609.1	609.1	510.7	609.4	612.2	608.1	607.6	708.9	610.2	609.1	607.6	608.1	607.4	608.0	608.0																
62	387.3	386.6	284.1	506.3	511.2	416.7	510.9	513.9	503.9	503.1	618.5	505.8	504.3	502.8	502.8	502.9	503.2	502.7																
63	253.8	253.1	176.4	407.3	416.7	285.3	415.5	418.6	402.7	402.1	537.6	404.4	402.5	401.1	400.8	401.9	401.6	400.8																
64	130.6	130.0	66.4	271.5	284.9	163.7	282.5	285.7	264.4	264.1	459.8	266.0	263.6	262.3	262.0	264.0	263.1	262.0																
65	5.4	5.1	-25.2	146.5	163.1	39.7	159.5	162.7	136.7	137.0	343.0	138.3	135.4	134.4	134.2	137.0	135.4	134.2																
66	-110.5	-110.6	-100.8	20.1	39.0	-75.5	34.3	37.5	7.8	8.7	233.5	9.4	6.1	5.4	5.5	8.9	6.7	5.5																
67	-190.9	-191.0	-171.8	-96.5	-76.3	-155.7	-81.6	-78.4	-110.5	-109.1	118.4	-108.8	-112.4	-112.9	-112.7	-108.8	-111.4	-112.7																
68	-235.6	-235.8	-247.4	-177.2	-156.5	-200.6	-162.1	-158.9	-191.7	-190.2	8.6	-190.1	-193.7	-194.2	-193.9	-189.9	-192.6	-193.9																
69	-257.1	-257.4	-329.9	-221.7	-201.4	-222.8	-206.8	-203.6	-235.6	-234.2	-69.8	-233.9	-237.5	-238.0	-237.8	-233.9	-236.5	-237.8																
70	-269.5	-270.0	-412.4	-242.4	-223.5	-236.3	-228.1	-225.0	-254.7	-253.8	-116.5	-253.1	-256.3	-257.0	-257.0	-253.6	-255.7	-257.0																
71	-282.7	-283.4	-476.5	-253.5	-236.9	-251.2	-240.5	-237.3	-263.4	-263.1	-144.1	-261.8	-264.7	-265.6	-265.8	-263.0	-264.6	-265.8																
72	-298.8	-299.5	-517.8	-265.0	-251.5	-269.4	-254.0	-250.8	-272.1	-272.4	-166.6	-270.5	-272.9	-274.2	-274.5	-272.5	-273.4	-274.4																

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที่																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Sampling																		
73	-307.5	-308.0	-556.7	-278.9	-269.4	-280.7	-270.7	-267.6	-283.4	-284.1	-193.5	-281.7	-283.6	-285.1	-285.3	-284.3	-284.6	-285.3
74	-309.7	-309.8	-591.1	-285.1	-280.2	-286.0	-280.5	-277.5	-287.5	-288.3	-226.3	-285.6	-287.1	-288.6	-288.6	-288.5	-288.2	-288.7
75	-328.5	-328.0	-616.3	-285.0	-285.0	-308.4	-284.7	-281.9	-286.0	-286.5	-253.8	-283.9	-285.0	-286.5	-285.9	-286.7	-286.0	-286.1
76	-360.4	-359.3	-636.9	-301.9	-306.8	-344.5	-306.2	-303.6	-302.2	-302.2	-275.6	-299.9	-300.6	-302.0	-300.8	-302.3	-301.4	-301.0
77	-397.3	-395.6	-680.4	-332.9	-342.3	-385.9	-341.7	-339.2	-333.0	-332.5	-313.1	-330.7	-331.1	-332.4	-330.3	-332.4	-331.5	-330.6
78	-439.1	-437.1	-703.3	-370.4	-383.4	-432.6	-382.9	-380.5	-370.5	-369.5	-361.2	-368.3	-368.4	-369.5	-366.7	-369.1	-368.4	-367.1
79	-509.1	-507.1	-778.9	-414.3	-429.9	-507.8	-429.5	-427.3	-414.5	-413.2	-410.4	-412.7	-412.5	-413.6	-410.1	-412.6	-412.2	-410.5
80	-561.3	-559.6	-820.2	-488.2	-505.0	-565.1	-504.7	-502.6	-488.2	-487.1	-459.3	-487.0	-486.5	-487.7	-483.8	-486.2	-486.1	-484.2
81	-668.7	-667.5	-843.1	-545.8	-562.5	-677.5	-562.2	-560.3	-545.3	-544.6	-530.7	-544.9	-544.1	-545.5	-541.6	-543.5	-543.8	-541.8
82	-745.8	-745.2	-882.0	-659.6	-675.2	-759.3	-674.8	-673.0	-658.4	-658.6	-578.9	-659.0	-657.9	-659.5	-655.8	-657.2	-657.8	-656.0
83	-811.0	-811.1	-900.3	-743.6	-757.4	-828.5	-756.7	-755.2	-741.7	-742.8	-677.6	-743.2	-742.0	-743.8	-740.5	-741.3	-742.1	-740.6
84	-900.4	-901.0	-916.4	-815.6	-827.0	-921.2	-826.3	-825.1	-813.2	-815.1	-742.8	-815.6	-814.1	-816.1	-813.3	-813.5	-814.5	-813.4
85	-977.0	-977.9	-930.1	-911.1	-920.0	-1000.2	-919.3	-918.7	-908.6	-911.1	-794.6	-911.5	-910.0	-912.0	-909.7	-909.4	-910.5	-909.8
86	-1055.9	-1056.8	-953.0	-992.5	-999.2	-1080.6	-998.7	-998.7	-990.5	-993.1	-870.8	-993.7	-992.1	-994.0	-992.1	-991.4	-992.5	-992.4
87	-1130.9	-1131.8	-966.8	-1074.9	-1079.7	-1156.3	-1079.5	-1080.3	-1073.7	-1076.2	-935.8	-1076.8	-1075.4	-1076.9	-1075.3	-1074.5	-1075.5	-1075.9
88	-1205.7	-1206.3	-1003.4	-1152.1	-1155.5	-1231.0	-1155.6	-1157.3	-1152.1	-1154.0	-1006.0	-1154.7	-1153.5	-1154.4	-1153.2	-1152.5	-1153.2	-1154.2
89	-1253.3	-1253.8	-1047.0	-1227.9	-1230.1	-1278.1	-1230.4	-1233.1	-1228.8	-1230.1	-1075.7	-1230.8	-1229.8	-1230.1	-1229.3	-1228.7	-1229.0	-1230.6
90	-1299.4	-1299.8	-1111.1	-1275.8	-1277.1	-1323.1	-1277.5	-1281.1	-1277.2	-1278.0	-1148.6	-1278.7	-1277.8	-1277.5	-1277.2	-1276.9	-1276.7	-1278.7

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูล																																		
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36																	
Sampling																																			
91	-1324.5	-1325.0	-1191.3	-1321.8	-1322.2	-1347.1	-1322.4	-1326.8	-1323.1	-1323.5	-1197.9	-1323.9	-1323.1	-1322.3	-1322.6	-1322.8	-1321.9	-1324.4																	
92	-1343.5	-1344.3	-1278.3	-1346.8	-1346.4	-1365.0	-1346.1	-1351.0	-1347.1	-1347.5	-1248.8	-1347.5	-1346.7	-1345.6	-1346.6	-1347.2	-1345.7	-1348.5																	
93	-1357.5	-1358.7	-1358.5	-1365.9	-1364.5	-1377.9	-1363.5	-1368.9	-1364.6	-1365.2	-1281.7	-1364.7	-1363.9	-1362.5	-1364.4	-1365.3	-1363.2	-1366.2																	
94	-1366.4	-1367.8	-1422.7	-1380.2	-1377.9	-1385.9	-1376.1	-1381.6	-1376.9	-1377.9	-1311.4	-1376.9	-1375.9	-1374.5	-1377.2	-1378.4	-1375.8	-1378.9																	
95	-1367.1	-1368.7	-1477.7	-1389.4	-1386.4	-1385.9	-1383.8	-1389.4	-1384.2	-1385.5	-1339.0	-1384.3	-1383.2	-1381.6	-1385.1	-1386.4	-1383.5	-1386.4																	
96	-1360.7	-1362.3	-1505.2	-1390.5	-1386.9	-1379.0	-1383.9	-1389.2	-1383.6	-1385.2	-1364.4	-1384.0	-1382.7	-1381.0	-1385.1	-1386.4	-1383.3	-1386.0																	
97	-1361.8	-1363.1	-1518.9	-1384.3	-1380.5	-1379.7	-1377.3	-1382.3	-1376.4	-1377.8	-1384.6	-1377.0	-1375.6	-1373.8	-1378.1	-1379.2	-1376.4	-1378.5																	
98	-1356.0	-1356.9	-1514.3	-1385.3	-1381.7	-1373.6	-1378.6	-1383.2	-1377.2	-1378.1	-1400.4	-1378.0	-1376.6	-1374.5	-1378.7	-1379.6	-1377.3	-1378.6																	
99	-1357.1	-1357.3	-1482.2	-1379.0	-1376.0	-1374.2	-1373.4	-1377.4	-1371.4	-1371.5	-1426.1	-1372.5	-1371.1	-1368.6	-1372.5	-1373.1	-1371.5	-1371.9																	
100	-1356.9	-1356.4	-1434.1	-1379.3	-1377.0	-1373.3	-1375.1	-1378.5	-1372.6	-1371.7	-1446.3	-1373.8	-1372.5	-1369.7	-1373.0	-1373.2	-1372.4	-1371.8																	
101	-1340.7	-1339.7	-1372.3	-1378.1	-1376.4	-1356.3	-1375.3	-1378.0	-1372.3	-1370.4	-1473.5	-1373.7	-1372.5	-1369.3	-1372.0	-1371.9	-1372.0	-1370.4																	
102	-1314.3	-1313.0	-1310.4	-1360.7	-1359.7	-1328.6	-1359.1	-1361.2	-1355.6	-1353.0	-1498.3	-1357.2	-1356.1	-1352.7	-1354.9	-1354.4	-1355.2	-1352.7																	
103	-1275.6	-1274.3	-1266.9	-1333.1	-1332.4	-1288.4	-1332.1	-1333.5	-1328.1	-1325.0	-1504.7	-1329.9	-1328.9	-1325.3	-1327.3	-1326.6	-1327.9	-1324.6																	
104	-1236.6	-1235.5	-1216.5	-1293.2	-1292.5	-1247.2	-1292.1	-1293.0	-1287.7	-1284.5	-1497.3	-1289.7	-1288.6	-1285.0	-1287.0	-1286.2	-1287.7	-1284.0																	
105	-1215.9	-1215.1	-1154.6	-1252.7	-1251.6	-1223.9	-1250.9	-1251.3	-1246.1	-1243.2	-1473.3	-1248.2	-1247.1	-1243.6	-1245.9	-1245.0	-1246.6	-1242.5																	
106	-1190.6	-1190.1	-1083.6	-1230.2	-1228.6	-1195.6	-1227.2	-1227.3	-1222.2	-1219.8	-1444.0	-1224.3	-1223.2	-1219.9	-1222.6	-1221.9	-1223.2	-1219.1																	
107	-1158.6	-1158.3	-1008.0	-1202.5	-1200.3	-1160.1	-1198.4	-1198.3	-1193.4	-1191.5	-1428.1	-1195.3	-1194.1	-1191.1	-1194.2	-1193.7	-1194.6	-1190.7																	
108	-1123.5	-1123.3	-959.9	-1167.6	-1164.8	-1121.5	-1162.4	-1162.2	-1157.8	-1156.2	-1402.7	-1159.2	-1158.2	-1155.3	-1158.9	-1158.7	-1159.1	-1155.4																	

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Sampling																		
109	-1089.3	-1089.0	-934.7	-1129.3	-1125.9	-1083.5	-1123.3	-1123.3	-1119.5	-1117.9	-1365.9	-1120.3	-1119.4	-1116.5	-1120.4	-1120.6	-1120.4	-1117.2
110	-1084.4	-1083.9	-914.1	-1091.4	-1087.6	-1075.2	-1085.1	-1085.3	-1082.5	-1080.8	-1321.8	-1082.5	-1082.0	-1079.1	-1083.1	-1083.6	-1082.9	-1080.2
111	-1098.6	-1097.9	-891.2	-1083.1	-1078.7	-1086.3	-1076.6	-1077.1	-1075.9	-1073.7	-1274.1	-1075.0	-1074.8	-1071.8	-1075.7	-1076.5	-1075.5	-1073.4
112	-1107.0	-1106.1	-884.3	-1094.5	-1089.3	-1092.2	-1087.8	-1088.6	-1089.4	-1086.8	-1251.2	-1087.7	-1087.9	-1084.8	-1088.5	-1089.5	-1088.2	-1086.7
113	-1096.5	-1095.6	-888.9	-1100.8	-1094.6	-1079.9	-1093.8	-1094.9	-1098.0	-1095.1	-1243.0	-1095.7	-1096.4	-1093.3	-1096.7	-1097.7	-1096.2	-1095.4
114	-1081.8	-1081.2	-918.7	-1089.6	-1082.0	-1064.3	-1081.8	-1083.0	-1089.0	-1086.0	-1224.5	-1086.3	-1087.3	-1084.4	-1087.6	-1088.3	-1086.9	-1086.8
115	-1057.9	-1057.8	-941.6	-1075.4	-1066.0	-1040.4	-1066.4	-1067.6	-1076.6	-1074.0	-1183.0	-1073.9	-1075.2	-1072.6	-1075.6	-1075.9	-1074.7	-1075.2
116	-1042.1	-1042.6	-953.0	-1053.3	-1041.9	-1025.3	-1042.6	-1043.8	-1055.7	-1053.8	-1134.2	-1053.3	-1054.8	-1052.8	-1055.6	-1055.4	-1054.4	-1055.5
117	-1008.7	-1009.8	-953.0	-1039.9	-1026.6	-993.1	-1027.6	-1028.5	-1043.2	-1042.2	-1074.3	-1041.4	-1042.9	-1041.6	-1044.3	-1043.4	-1042.8	-1044.4
118	-961.0	-962.5	-939.3	-1009.1	-994.4	-947.2	-995.6	-996.0	-1012.9	-1013.1	-1022.2	-1011.8	-1013.4	-1012.9	-1015.3	-1013.8	-1013.6	-1015.6
119	-906.7	-908.5	-911.8	-963.6	-948.2	-894.9	-949.6	-949.6	-968.0	-969.1	-954.3	-967.7	-969.2	-969.5	-971.5	-969.4	-969.6	-971.8
120	-849.2	-851.0	-866.0	-910.6	-895.6	-839.5	-897.3	-896.8	-915.8	-917.5	-875.8	-916.0	-917.5	-918.5	-919.8	-917.3	-918.0	-920.3
121	-790.8	-792.3	-772.0	-853.0	-839.7	-783.3	-841.8	-840.8	-859.2	-861.3	-795.9	-859.8	-861.2	-862.8	-863.2	-860.5	-861.6	-863.9
122	-726.0	-727.0	-652.9	-793.1	-782.7	-720.3	-785.3	-783.9	-800.5	-802.5	-719.2	-801.3	-802.6	-804.6	-803.8	-801.1	-802.7	-804.7
123	-621.1	-621.4	-552.1	-725.4	-719.0	-617.0	-722.0	-720.2	-733.8	-735.5	-648.5	-734.5	-735.8	-738.1	-736.1	-733.6	-735.5	-737.2
124	-493.7	-493.4	-410.1	-616.3	-614.7	-491.0	-617.9	-615.8	-625.6	-626.8	-577.5	-626.0	-627.2	-629.8	-626.4	-624.5	-626.5	-627.8
125	-382.6	-381.8	-323.0	-484.2	-487.7	-381.0	-490.9	-488.5	-493.6	-494.4	-471.9	-493.7	-494.6	-497.5	-493.0	-491.8	-493.7	-494.6
126	-225.7	-224.7	-226.8	-368.1	-376.9	-224.9	-379.7	-377.1	-376.9	-377.6	-347.9	-376.7	-377.3	-380.5	-375.1	-374.8	-376.4	-376.9

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

คำ	ข้อมูลปี																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Sampling																		
127	-119.6	-118.6	-123.7	-206.5	-220.1	-119.5	-222.1	-219.3	-213.9	-214.7	-242.7	-213.3	-213.6	-217.2	-211.2	-211.8	-212.9	-213.2
128	-3.9	-3.0	-16.0	-96.3	-114.1	-4.3	-115.2	-112.1	-101.7	-103.0	-92.8	-100.9	-100.9	-104.9	-98.5	-100.1	-100.6	-100.7

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																		
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
Sampling																			
1	21.7	24.4	20.4	19.2	228.7	5.6	6.6	5.1	7.4	10.0	9.2	10.9	10.0	10.1	5.0	6.0	5.5	8.6	7.4
2	142.8	145.5	140.9	139.8	926.0	122.5	124.1	121.8	124.3	127.1	126.8	128.2	127.5	127.1	121.6	122.7	122.2	125.2	124.6
3	254.7	257.5	252.4	251.4	1604.8	231.7	233.8	230.8	233.4	236.3	236.5	237.6	237.1	236.3	230.5	231.8	231.3	234.1	234.0
4	345.0	347.7	342.4	341.5	2188.2	321.0	323.2	320.1	322.7	325.6	326.0	326.9	326.6	325.6	319.7	321.1	320.6	323.3	323.3
5	397.1	399.9	394.7	393.8	2606.0	374.1	376.1	373.2	375.8	378.7	378.9	379.9	379.5	378.7	372.9	374.2	373.7	376.5	376.4
6	396.4	399.1	394.5	393.4	2803.2	376.1	377.7	375.4	377.9	380.6	380.4	381.8	381.1	380.7	375.1	376.3	375.8	378.7	378.2
7	389.1	391.8	387.9	386.7	2748.4	373.0	374.0	372.6	374.9	377.4	376.6	378.4	377.4	377.6	372.4	373.4	372.9	376.0	374.8
8	376.6	379.1	376.1	374.7	2441.8	365.7	366.0	365.4	367.5	369.8	368.4	370.4	369.3	369.9	365.5	366.3	365.7	369.0	367.0
9	363.4	365.6	363.6	362.1	1972.2	358.3	357.9	358.1	360.0	361.8	359.9	361.9	360.8	361.8	358.5	358.9	358.1	361.6	359.0
10	358.2	360.0	359.0	357.4	1402.0	358.9	357.9	358.5	360.3	361.5	359.3	361.0	360.2	361.2	359.3	359.5	358.3	362.0	358.9
11	346.6	347.9	347.8	346.3	803.8	352.6	351.3	351.9	353.6	354.2	352.0	352.9	352.7	353.4	353.1	353.1	351.4	355.1	351.8
12	359.0	359.7	360.3	359.0	248.7	369.4	367.9	368.4	369.9	369.8	367.9	367.8	368.3	368.5	369.9	369.7	367.5	371.2	367.9
13	383.3	383.5	384.7	383.8	-230.2	397.2	395.7	396.0	397.3	396.5	395.0	393.7	395.0	394.5	397.6	397.2	394.6	398.1	394.9
14	414.1	414.0	415.6	415.1	-575.9	430.4	429.0	429.1	430.1	428.7	427.9	425.5	427.4	426.1	430.8	430.2	427.4	430.3	427.5
15	449.4	449.2	450.9	451.0	-794.3	466.9	465.7	465.8	466.5	464.5	464.4	461.1	463.5	461.4	467.3	466.6	463.8	466.1	463.5
16	487.3	487.3	488.9	489.7	-900.9	505.0	503.9	504.4	504.7	502.3	502.9	499.1	501.5	498.9	505.6	504.6	502.2	503.7	501.4
17	545.8	546.2	547.6	549.0	-915.8	562.9	561.8	563.0	562.9	560.1	561.3	557.5	559.5	556.7	563.7	562.6	560.8	561.2	559.3
18	612.9	613.8	615.0	617.0	-859.4	628.5	627.6	629.7	629.0	626.2	627.9	624.3	625.8	622.9	629.7	628.5	627.5	626.9	625.3

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																			
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
Sampling	676.0	677.5	678.3	680.8	-726.7	689.6	688.8	691.8	690.5	687.9	689.9	686.9	687.6	684.9	691.1	689.9	688.3	686.9	686.9	
19	748.6	750.5	750.9	753.6	-534.8	759.6	759.1	762.7	760.9	758.5	760.8	758.6	758.6	756.0	761.4	760.2	761.1	758.6	757.6	
20	870.8	872.8	872.9	875.7	-295.0	879.0	878.7	882.6	880.4	878.4	881.0	879.4	878.9	876.6	881.0	879.9	881.5	878.2	877.7	
21	954.8	956.7	956.5	959.1	8.4	960.1	960.3	963.9	961.4	959.9	962.7	961.7	960.9	958.8	962.1	961.3	963.3	959.6	959.7	
22	1043.1	1044.4	1044.1	1046.3	413.2	1045.5	1046.3	1049.1	1046.5	1045.5	1048.5	1047.9	1047.1	1045.2	1047.5	1047.0	1049.2	1045.1	1045.9	
23	1122.6	1123.0	1122.8	1124.2	819.3	1122.5	1123.8	1125.5	1122.8	1122.4	1125.6	1125.2	1124.7	1122.9	1124.2	1124.2	1126.2	1122.2	1123.7	
24	1192.0	1191.5	1191.4	1192.1	1244.5	1190.0	1191.8	1192.2	1189.6	1189.8	1192.9	1192.8	1192.6	1191.2	1191.4	1191.8	1193.6	1189.8	1191.9	
25	1257.2	1255.6	1255.8	1255.6	1641.5	1253.8	1256.0	1255.2	1252.7	1253.4	1256.3	1256.6	1256.7	1255.7	1254.9	1255.8	1257.2	1253.7	1256.4	
26	1309.1	1306.7	1307.3	1306.2	1970.4	1305.2	1307.5	1305.8	1303.5	1304.7	1307.2	1308.1	1308.2	1307.9	1306.1	1307.3	1308.5	1305.4	1308.4	
27	1324.4	1321.3	1322.3	1320.4	2202.6	1320.5	1322.7	1320.6	1318.4	1320.1	1321.8	1323.5	1323.5	1324.1	1321.3	1322.7	1323.7	1321.1	1324.1	
28	1322.6	1319.1	1320.5	1318.1	2307.6	1319.2	1321.1	1319.0	1316.9	1318.9	1319.8	1322.4	1322.1	1323.6	1319.9	1321.4	1322.5	1320.2	1323.2	
29	1314.2	1310.4	1312.3	1309.5	2258.7	1311.4	1312.9	1311.1	1309.1	1311.4	1311.4	1314.8	1314.0	1316.5	1312.1	1313.6	1314.8	1312.8	1315.5	
30	1299.1	1295.4	1297.6	1294.6	2093.4	1297.0	1297.9	1296.7	1294.8	1297.1	1296.4	1300.4	1299.2	1302.5	1297.7	1299.0	1300.4	1298.6	1301.0	
31	1283.6	1280.0	1282.4	1279.7	1856.8	1281.8	1282.3	1281.6	1279.8	1281.9	1280.7	1284.9	1283.4	1287.2	1282.3	1283.5	1285.1	1283.3	1285.6	
32	1268.7	1265.4	1267.8	1265.6	1593.6	1266.9	1267.0	1266.7	1265.1	1266.8	1265.2	1269.3	1267.6	1271.5	1267.1	1267.9	1269.6	1267.8	1270.0	
33	1255.3	1252.3	1254.5	1253.0	1353.7	1252.9	1252.8	1252.6	1251.2	1252.4	1250.8	1254.1	1252.7	1256.3	1252.6	1253.2	1254.9	1253.0	1255.3	
34	1247.3	1244.6	1246.5	1246.0	1170.7	1244.0	1243.8	1243.4	1242.3	1242.8	1241.6	1243.7	1242.7	1245.6	1243.1	1243.3	1244.9	1242.8	1245.4	
35	1240.0	1237.6	1239.1	1239.6	1059.6	1235.6	1235.4	1234.6	1233.9	1233.5	1232.8	1233.5	1233.1	1235.2	1234.0	1233.8	1235.2	1233.0	1235.9	

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																							
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55					
Sampling	1236.7	1234.5	1235.7	1237.2	1017.4	1231.1	1230.9	1229.8	1229.5	1228.4	1228.0	1227.3	1227.5	1228.7	1228.8	1228.3	1229.5	1227.1	1230.4					
37	1231.8	1230.0	1230.8	1233.2	1014.0	1225.4	1225.1	1223.8	1223.9	1222.0	1222.0	1220.1	1220.8	1221.3	1222.5	1221.6	1222.7	1220.2	1223.7					
38	1196.6	1195.1	1195.7	1198.9	1016.6	1189.8	1189.3	1188.2	1188.5	1186.1	1186.2	1183.5	1184.3	1184.4	1186.6	1185.4	1186.3	1183.9	1187.3					
39	1158.8	1157.8	1158.3	1161.9	984.0	1152.2	1151.4	1150.6	1151.2	1148.4	1148.3	1145.3	1146.1	1146.2	1148.8	1147.3	1148.3	1145.9	1149.2					
40	1121.0	1120.3	1120.8	1124.6	861.9	1115.1	1113.8	1113.7	1114.4	1111.5	1110.9	1108.1	1108.6	1109.0	1111.7	1110.0	1111.1	1108.9	1111.7					
41	1083.5	1083.2	1083.8	1087.5	670.9	1078.8	1077.0	1077.5	1078.4	1075.5	1074.2	1072.0	1072.1	1073.1	1075.4	1073.7	1074.8	1073.1	1075.3					
42	1064.7	1064.5	1065.3	1068.6	427.6	1061.2	1059.0	1059.9	1061.0	1058.4	1056.3	1054.8	1054.5	1056.2	1058.0	1056.2	1057.3	1056.2	1057.8					
43	1035.0	1034.6	1035.7	1038.3	164.9	1032.6	1030.1	1031.1	1032.3	1030.1	1027.3	1026.6	1026.0	1028.5	1029.5	1027.9	1028.8	1028.3	1029.4					
44	998.2	997.5	998.8	1000.6	-55.6	996.4	993.9	994.6	996.0	994.3	990.9	990.9	990.3	993.2	993.5	992.1	992.7	992.9	993.7					
45	974.2	973.0	974.5	975.3	-219.0	972.6	970.2	970.1	971.8	970.7	967.0	967.5	967.0	970.3	969.7	968.7	968.8	969.8	970.4					
46	953.0	951.1	952.7	952.5	-287.1	950.8	948.8	947.6	949.6	949.1	945.3	946.0	945.8	949.3	947.9	947.3	946.8	948.6	949.2					
47	963.2	960.8	962.2	961.1	-222.4	959.8	958.4	956.1	958.2	958.4	954.6	955.5	955.7	959.1	956.9	956.8	955.8	958.1	958.9					
48	995.9	993.1	994.3	992.5	-38.6	990.9	990.0	986.7	988.9	989.7	986.2	987.3	987.8	991.0	988.0	988.3	987.0	989.7	990.7					
49	1017.5	1014.7	1015.5	1013.1	271.2	1010.5	1010.2	1006.3	1008.5	1009.9	1006.8	1008.1	1008.7	1011.7	1007.8	1008.6	1007.1	1010.0	1011.1					
50	1044.7	1042.2	1042.4	1039.7	663.2	1035.6	1035.9	1031.8	1033.9	1035.8	1033.1	1034.8	1035.2	1038.0	1033.3	1034.3	1033.0	1035.9	1036.9					
51	1058.5	1056.6	1056.2	1053.4	1064.9	1047.4	1048.0	1044.3	1046.1	1048.5	1046.2	1048.5	1048.5	1051.0	1045.6	1046.8	1045.9	1048.5	1049.5					
52	1068.6	1067.5	1066.5	1063.9	1458.0	1055.9	1056.7	1053.8	1055.3	1058.0	1056.1	1059.0	1058.3	1060.7	1054.7	1056.0	1055.7	1057.7	1058.5					
53	1055.6	1055.6	1053.9	1051.7	1798.7	1041.7	1042.7	1040.9	1041.9	1044.8	1043.5	1046.8	1045.4	1047.5	1041.2	1042.5	1042.8	1044.3	1044.8					
54																								

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																			
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
Sampling																				
55	1024.7	1025.7	1023.4	1021.7	2083.9	1010.2	1011.4	1010.6	1011.2	1014.1	1013.3	1016.8	1015.0	1016.6	1010.3	1011.5	1012.5	1013.3	1013.6	
56	985.3	987.2	984.4	983.2	2291.5	971.0	972.3	972.4	972.6	975.3	975.3	978.6	976.5	977.4	971.7	972.8	974.1	974.4	974.3	
57	942.7	945.2	942.0	941.5	2428.5	929.4	930.9	931.5	931.4	933.7	934.5	937.2	935.2	935.2	930.5	931.4	932.9	932.7	932.5	
58	896.7	899.6	896.3	896.2	2505.0	885.4	887.1	887.9	887.5	889.4	891.0	892.7	891.2	890.1	886.8	887.6	888.9	888.4	888.0	
59	830.2	833.1	830.0	830.3	2521.0	822.0	823.7	824.5	824.0	825.3	827.7	828.1	827.3	825.1	823.6	824.2	825.0	824.5	823.9	
60	718.9	721.7	718.8	719.4	2462.9	714.8	716.5	717.1	716.6	717.2	720.2	719.3	719.4	716.2	716.5	717.0	717.2	716.7	715.9	
61	605.9	608.5	606.2	606.9	2294.7	606.9	608.5	609.0	608.4	608.4	611.8	609.8	610.6	606.6	608.9	609.1	608.6	608.4	607.1	
62	500.8	503.1	501.5	502.3	1973.5	507.6	508.8	509.6	508.9	508.2	511.7	508.9	510.3	505.8	509.8	509.9	508.8	508.8	506.9	
63	399.0	401.2	400.5	401.1	1532.2	412.0	412.8	414.0	413.2	412.1	415.4	412.1	413.9	409.2	414.7	414.5	412.9	413.3	410.7	
64	260.5	262.5	262.7	263.2	986.2	279.6	279.7	281.8	280.8	279.3	282.1	278.8	280.6	276.1	282.8	282.4	280.4	281.2	277.7	
65	132.9	134.9	135.9	136.2	357.4	157.6	156.9	159.9	158.8	157.0	159.3	156.2	157.9	153.7	161.2	160.6	158.4	159.6	155.1	
66	4.2	6.4	8.0	8.1	-347.2	33.4	32.1	36.0	34.8	32.7	34.5	31.7	33.2	29.5	37.4	36.6	34.3	35.8	30.6	
67	-113.8	-111.6	-109.6	-109.6	-1017.5	-81.8	-83.5	-79.0	-80.3	-82.5	-81.1	-83.6	-82.4	-85.7	-77.5	-78.4	-80.7	-79.1	-84.8	
68	-195.0	-192.8	-190.6	-190.7	-1597.7	-162.1	-163.9	-159.2	-160.5	-162.7	-161.5	-163.8	-162.7	-165.9	-157.6	-158.6	-160.9	-159.2	-165.1	
69	-238.9	-236.8	-234.7	-234.7	-2015.1	-207.0	-208.6	-204.1	-205.4	-207.6	-206.2	-208.7	-207.5	-210.8	-202.6	-203.5	-205.8	-204.2	-209.9	
70	-258.2	-256.1	-254.5	-254.4	-2201.1	-229.1	-230.3	-226.5	-227.7	-229.7	-228.0	-230.7	-229.3	-233.0	-225.1	-225.9	-228.1	-226.7	-231.9	
71	-267.2	-265.1	-264.1	-263.9	-2140.2	-242.5	-243.1	-240.1	-241.2	-243.0	-240.8	-243.8	-242.2	-246.3	-238.8	-239.5	-241.7	-240.5	-244.9	
72	-276.0	-274.0	-273.8	-273.3	-1860.2	-256.9	-256.8	-254.7	-255.7	-257.2	-254.4	-257.7	-255.9	-260.4	-253.7	-254.1	-256.1	-255.3	-258.8	

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที่																			
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
Sampling																				
73	-287.1	-285.0	-285.7	-285.0	-1417.6	-274.1	-273.4	-272.1	-272.9	-274.0	-270.8	-274.0	-272.3	-276.9	-271.4	-271.6	-273.2	-272.8	-275.5	
74	-290.6	-288.3	-289.9	-289.1	-883.7	-283.8	-282.6	-281.8	-282.5	-283.2	-279.7	-282.5	-281.1	-285.6	-281.6	-281.5	-282.6	-282.6	-284.5	
75	-288.2	-285.6	-287.9	-287.2	-328.7	-287.2	-285.6	-285.0	-285.6	-285.7	-282.3	-284.3	-283.5	-287.5	-285.2	-284.9	-285.4	-285.7	-287.0	
76	-303.1	-300.3	-303.1	-302.5	194.8	-307.2	-305.4	-304.9	-305.4	-304.8	-301.8	-302.6	-302.6	-305.8	-305.5	-305.0	-304.8	-305.3	-306.1	
77	-332.5	-329.6	-332.8	-332.5	638.1	-340.7	-339.0	-338.3	-338.7	-337.5	-335.1	-334.7	-335.5	-337.6	-339.2	-338.5	-337.7	-338.3	-338.9	
78	-368.6	-365.8	-369.1	-369.1	951.5	-379.9	-378.3	-377.5	-377.8	-375.9	-374.3	-372.7	-374.2	-375.2	-378.5	-377.7	-376.5	-376.9	-377.3	
79	-411.4	-408.9	-412.1	-412.7	1131.9	-424.7	-423.3	-422.7	-422.8	-420.4	-419.6	-417.0	-419.0	-418.9	-423.7	-422.7	-421.3	-421.4	-421.7	
80	-484.3	-482.4	-485.3	-486.4	1197.6	-498.6	-497.4	-497.3	-497.1	-494.3	-494.4	-491.1	-493.2	-492.2	-498.0	-496.9	-495.5	-495.3	-495.3	
81	-541.0	-540.0	-542.4	-544.0	1166.9	-555.5	-554.4	-555.1	-554.6	-551.6	-552.4	-548.9	-550.7	-549.1	-555.4	-554.2	-553.2	-552.4	-552.2	
82	-654.2	-654.2	-655.9	-658.1	1035.4	-668.1	-667.1	-668.9	-667.9	-665.0	-666.3	-663.0	-664.4	-662.3	-668.6	-667.3	-667.0	-665.5	-665.0	
83	-737.9	-738.9	-740.0	-742.5	862.7	-750.6	-749.8	-752.6	-751.2	-748.4	-750.3	-747.5	-748.1	-745.8	-751.8	-750.5	-750.8	-748.7	-747.9	
84	-810.0	-811.9	-812.3	-815.0	581.7	-821.0	-820.4	-824.1	-822.3	-819.9	-822.2	-819.9	-820.0	-817.4	-822.8	-821.6	-822.5	-819.9	-819.0	
85	-905.9	-908.5	-908.2	-910.9	277.5	-915.0	-914.8	-918.9	-916.8	-914.8	-917.6	-915.8	-915.4	-912.7	-917.3	-916.3	-917.6	-914.8	-913.7	
86	-988.4	-991.2	-990.5	-992.8	-69.7	-995.4	-995.7	-999.6	-997.4	-996.0	-999.1	-997.8	-997.2	-994.2	-998.1	-997.4	-998.8	-995.9	-994.9	
87	-1072.2	-1074.9	-1073.7	-1075.6	-492.6	-1077.2	-1078.0	-1081.3	-1079.1	-1078.3	-1081.8	-1080.7	-1080.2	-1077.0	-1080.0	-1079.7	-1081.0	-1078.3	-1077.4	
88	-1150.9	-1153.3	-1151.9	-1153.0	-941.0	-1154.3	-1155.7	-1158.0	-1155.9	-1155.7	-1159.5	-1158.6	-1158.4	-1155.0	-1157.2	-1157.3	-1158.3	-1156.0	-1155.2	
89	-1228.1	-1230.0	-1228.4	-1228.6	-1404.8	-1230.3	-1232.3	-1233.5	-1231.5	-1232.0	-1235.8	-1235.1	-1235.3	-1231.8	-1233.2	-1233.8	-1234.3	-1232.5	-1231.9	
90	-1277.2	-1278.4	-1276.9	-1276.1	-1842.9	-1278.9	-1281.2	-1281.3	-1279.6	-1280.7	-1284.5	-1284.0	-1284.5	-1281.2	-1281.7	-1282.8	-1282.7	-1281.7	-1281.1	

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																			
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
Sampling																				
91	-1323.8	-1324.5	-1323.1	-1321.4	-2219.7	-1325.5	-1328.1	-1327.4	-1325.9	-1327.6	-1331.0	-1331.0	-1331.7	-1328.7	-1328.4	-1329.8	-1329.3	-1329.0	-1328.2	
92	-1348.7	-1349.1	-1347.9	-1345.3	-2473.9	-1351.1	-1353.6	-1352.6	-1351.3	-1353.6	-1356.4	-1357.0	-1357.6	-1355.2	-1354.2	-1355.8	-1354.9	-1355.4	-1354.3	
93	-1367.1	-1367.3	-1366.5	-1363.2	-2609.0	-1370.6	-1372.8	-1371.9	-1370.8	-1373.5	-1375.5	-1377.0	-1377.3	-1375.6	-1373.8	-1375.6	-1374.5	-1375.6	-1374.0	
94	-1380.2	-1380.5	-1379.9	-1376.2	-2602.7	-1384.9	-1386.7	-1386.2	-1385.3	-1388.2	-1389.5	-1391.7	-1391.6	-1390.6	-1388.3	-1390.0	-1388.9	-1390.6	-1388.4	
95	-1387.9	-1388.6	-1388.1	-1384.3	-2487.4	-1393.8	-1395.1	-1395.2	-1394.5	-1397.4	-1398.0	-1400.8	-1400.3	-1399.9	-1397.2	-1398.9	-1397.8	-1400.0	-1397.2	
96	-1387.4	-1388.5	-1388.0	-1384.4	-2298.8	-1394.0	-1394.8	-1395.6	-1395.0	-1397.8	-1397.9	-1400.9	-1400.1	-1400.0	-1397.4	-1398.9	-1397.9	-1400.3	-1397.1	
97	-1379.7	-1381.2	-1380.6	-1377.4	-2081.3	-1386.5	-1387.0	-1388.2	-1387.8	-1390.2	-1390.2	-1392.8	-1392.0	-1391.9	-1389.7	-1390.9	-1390.0	-1392.4	-1389.0	
98	-1379.5	-1381.3	-1380.5	-1378.1	-1875.3	-1385.9	-1386.2	-1387.4	-1387.4	-1389.3	-1389.3	-1391.2	-1390.5	-1390.0	-1388.7	-1389.6	-1388.6	-1391.0	-1387.6	
99	-1372.2	-1374.4	-1373.3	-1371.8	-1714.4	-1377.8	-1378.1	-1379.2	-1379.4	-1380.6	-1380.9	-1381.6	-1381.4	-1380.2	-1380.1	-1380.6	-1379.4	-1381.8	-1378.6	
100	-1371.7	-1374.2	-1372.6	-1372.1	-1627.3	-1376.2	-1376.4	-1377.2	-1377.8	-1378.2	-1379.0	-1378.3	-1378.6	-1376.6	-1377.8	-1378.0	-1376.6	-1378.8	-1375.8	
101	-1369.7	-1372.4	-1370.6	-1371.1	-1592.3	-1373.0	-1373.2	-1373.7	-1374.7	-1374.3	-1375.5	-1373.4	-1374.4	-1371.4	-1373.9	-1373.8	-1372.2	-1374.2	-1371.6	
102	-1351.6	-1354.6	-1352.4	-1353.9	-1597.8	-1354.0	-1354.1	-1354.4	-1355.7	-1354.6	-1356.1	-1352.8	-1354.2	-1350.6	-1354.3	-1353.8	-1352.0	-1353.9	-1351.6	
103	-1323.1	-1326.4	-1324.1	-1326.3	-1599.6	-1324.9	-1324.8	-1325.2	-1326.8	-1325.1	-1326.6	-1322.6	-1324.2	-1320.3	-1324.7	-1323.9	-1322.2	-1324.0	-1321.8	
104	-1282.3	-1285.8	-1283.5	-1286.1	-1547.3	-1284.0	-1283.5	-1284.2	-1286.0	-1283.9	-1285.2	-1280.9	-1282.4	-1278.6	-1283.5	-1282.4	-1280.8	-1282.5	-1280.3	
105	-1240.8	-1244.5	-1242.3	-1245.2	-1421.1	-1242.9	-1241.9	-1243.1	-1245.1	-1242.8	-1243.5	-1239.5	-1240.7	-1237.4	-1242.2	-1240.9	-1239.5	-1241.3	-1238.8	
106	-1217.6	-1221.3	-1219.4	-1222.2	-1212.1	-1220.3	-1218.8	-1220.6	-1222.6	-1220.3	-1220.3	-1216.9	-1217.7	-1215.2	-1219.6	-1218.1	-1216.9	-1218.9	-1216.2	
107	-1189.6	-1193.1	-1191.7	-1194.1	-946.2	-1193.0	-1191.1	-1193.2	-1195.3	-1193.3	-1192.4	-1189.8	-1190.1	-1188.6	-1192.3	-1190.8	-1189.7	-1192.0	-1189.0	
108	-1155.0	-1158.1	-1157.1	-1159.0	-674.9	-1158.9	-1156.7	-1158.8	-1161.0	-1159.3	-1157.6	-1155.9	-1155.9	-1155.3	-1158.1	-1156.7	-1155.7	-1158.3	-1155.3	

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูล																			
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
Sampling																				
109	-1117.7	-1120.1	-1119.5	-1120.6	-418.8	-1121.6	-1119.3	-1121.0	-1123.3	-1122.1	-1119.6	-1118.8	-1118.6	-1118.9	-1120.7	-1119.5	-1118.3	-1121.4	-1118.4	
110	-1081.6	-1083.1	-1083.0	-1083.2	-220.7	-1085.0	-1082.8	-1083.6	-1086.0	-1085.3	-1082.4	-1082.1	-1082.1	-1083.0	-1083.8	-1083.0	-1081.5	-1085.0	-1082.4	
111	-1075.7	-1076.2	-1076.3	-1075.6	-119.3	-1077.7	-1075.9	-1075.5	-1078.1	-1078.0	-1074.8	-1074.9	-1075.1	-1076.6	-1076.3	-1075.9	-1074.1	-1078.0	-1075.8	
112	-1089.8	-1089.3	-1089.6	-1088.1	-136.2	-1089.9	-1088.6	-1086.9	-1089.5	-1090.0	-1086.8	-1087.2	-1087.7	-1089.5	-1088.2	-1088.2	-1086.2	-1090.2	-1088.7	
113	-1099.1	-1097.8	-1098.1	-1096.0	-297.3	-1096.7	-1096.0	-1093.1	-1095.8	-1096.8	-1093.7	-1094.4	-1095.1	-1097.1	-1094.8	-1095.2	-1093.1	-1097.1	-1096.3	
114	-1090.7	-1088.9	-1089.0	-1086.5	-570.9	-1085.5	-1085.3	-1081.6	-1084.1	-1085.7	-1082.8	-1083.9	-1084.7	-1086.8	-1083.4	-1084.2	-1082.2	-1086.0	-1085.9	
115	-1079.1	-1077.0	-1076.9	-1074.2	-897.7	-1070.9	-1071.1	-1067.2	-1069.4	-1071.4	-1068.8	-1070.4	-1071.0	-1073.3	-1068.9	-1069.9	-1068.4	-1071.6	-1072.1	
116	-1059.0	-1057.1	-1056.7	-1053.9	-1226.3	-1047.9	-1048.5	-1044.8	-1046.6	-1049.0	-1046.7	-1049.0	-1049.0	-1051.5	-1046.1	-1047.3	-1046.4	-1049.0	-1050.0	
117	-1047.1	-1045.6	-1044.9	-1042.4	-1536.7	-1033.6	-1034.4	-1031.3	-1032.6	-1035.3	-1033.3	-1036.3	-1035.5	-1038.3	-1032.1	-1033.3	-1033.3	-1034.9	-1036.3	
118	-1017.4	-1016.5	-1015.3	-1013.3	-1799.2	-1001.8	-1002.7	-1000.6	-1001.3	-1004.1	-1002.5	-1006.0	-1004.6	-1007.5	-1000.7	-1001.9	-1002.8	-1003.4	-1005.0	
119	-972.8	-972.3	-970.9	-969.5	-2018.2	-955.7	-956.7	-955.5	-955.7	-958.4	-957.2	-961.1	-959.0	-961.8	-954.9	-956.0	-957.7	-957.3	-959.2	
120	-920.3	-920.3	-918.6	-917.9	-2165.1	-902.5	-903.7	-903.2	-902.8	-905.3	-904.7	-908.5	-906.1	-908.7	-902.0	-902.9	-905.3	-903.9	-906.1	
121	-863.1	-863.3	-861.5	-861.4	-2245.3	-845.6	-846.8	-846.7	-846.0	-848.0	-848.0	-851.4	-849.0	-851.0	-845.1	-845.9	-848.7	-846.4	-848.9	
122	-803.4	-803.4	-801.9	-802.4	-2267.0	-787.1	-788.5	-788.4	-787.3	-788.8	-789.6	-792.0	-790.1	-791.3	-786.7	-787.3	-790.1	-787.1	-790.0	
123	-735.4	-735.2	-734.0	-735.0	-2228.2	-721.5	-723.0	-722.8	-721.5	-722.3	-723.7	-725.0	-723.7	-724.2	-721.1	-721.5	-724.1	-720.7	-723.8	
124	-625.9	-625.2	-624.5	-625.8	-2118.3	-615.4	-616.9	-616.4	-614.9	-615.0	-616.9	-617.1	-616.5	-616.3	-614.9	-615.1	-617.3	-613.6	-617.0	
125	-492.7	-491.4	-491.5	-493.0	-1913.1	-486.8	-488.1	-487.4	-485.8	-485.1	-487.4	-486.4	-486.7	-485.9	-486.3	-486.2	-487.9	-484.2	-487.5	
126	-375.2	-373.4	-374.4	-376.0	-1560.7	-374.5	-375.5	-374.9	-373.1	-371.9	-374.1	-372.4	-373.2	-372.2	-374.1	-373.9	-375.1	-371.4	-374.5	

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

คำ	ข้อมูล														
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
Sampling															
127	-211.7	-209.4	-211.5	-212.9	-1069.5	-216.8	-217.1	-217.0	-215.1	-213.3	-215.2	-213.2	-214.2	-213.3	-216.6
128	-99.4	-96.9	-99.9	-101.2	-484.7	-110.2	-109.9	-110.5	-108.4	-106.1	-107.6	-105.6	-106.6	-106.0	-110.4



4.3 การสร้างชุดโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับหาค่าสัญญาณฮาร์โมนิกส์

ในปัจจุบันการหาค่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้านับได้ว่าเป็นมีความสำคัญต่อการรู้ถึงปัญหาและผลกระทบของปัญหาจากฮาร์โมนิกส์ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในโรงงานและมีหลายโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความจำเป็นต้องป้องกันและแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดวิธีการหนึ่งคือการใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกส์แบบแอ็กทีฟซึ่งใช้หลักการตรวจจับค่าของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นว่ามีขนาดเท่าใดและทำการสร้างสัญญาณฮาร์โมนิกส์เข้าไปหักล้างในระบบซึ่งวิธีการที่นิยมใช้กัน ในตัวกรองชนิดนี้จะใช้วิธีการแปลงฟูริเยร์แบบรวดเร็ว หรือ Fast Fourier Transform แต่วิธีการนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่คือจะต้องใช้ข้อมูลที่สุ่มมาได้จากสัญญาณฮาร์โมนิกส์เต็มคาบสัญญาณเพื่อนำมาใช้ในการประมวลผลหาค่าฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ จึงทำให้อุปกรณ์ตัวกรองฮาร์โมนิกส์มีความล่าช้าต่อการประมวลผลและการสร้างสัญญาณฮาร์โมนิกส์เข้าไปหักล้าง วิธีการนี้สามารถปรับปรุงให้มีความรวดเร็วขึ้นได้ด้วยการสร้างชุดโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Back Propagation Neural Network) เข้ามาใช้ในการหาค่าฮาร์โมนิกส์ 5 ลำดับที่เราสนใจโดยชุดข้อมูลอินพุตจะมีทั้งหมด 64 ค่าหรือครึ่งหนึ่งของค่า Sampling ที่ได้มาจากสัญญาณฮาร์โมนิกส์ที่เครื่องวัดเก็บมาได้

โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้มีอยู่ในตัวโปรแกรม MATLAB/Neural Network Toolbox [18] โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 4.11 แสดงแบบจำลองของชุดโครงข่ายประสาทเทียมที่นำมาใช้โดยค่าของเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถหาค่าได้จากสมการที่ 4.1 โดยเอาต์พุตของชุดโครงข่ายจะมีทั้งหมด 5 เอาต์พุตแทนค่าฮาร์โมนิกส์ทั้งหมด 5 ลำดับได้แก่ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 2, 3, 5, 7 และ 11 เนื่องจากฮาร์โมนิกส์ดังกล่าวมีค่าค่อนข้างสูงสำหรับโหลดที่เราวัดได้จากมิเตอร์

$$o/p_{ANN} = f^2(LW^{2,1} * f^1(IW^{1,1} * p + b^1) + b^2) \quad (4.1)$$

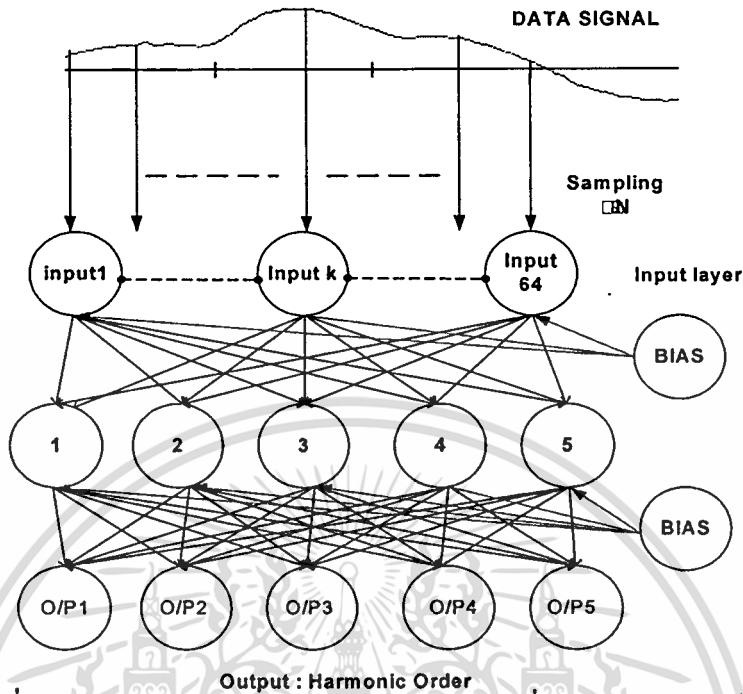
โดยที่ $IW^{1,1}$ คือค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมระหว่างชั้นข้อมูลอินพุตกับชั้นซ่อนที่ 1

$IW^{2,1}$ คือค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมระหว่างชั้นซ่อนที่ 1 กับชั้นเอาต์พุต

b^1, b^2 คือค่าไบแอสในชั้นซ่อนที่ 1 และ ชั้นเอาต์พุต

f^1, f^2 คือค่าฟังก์ชันกระตุ้นในชั้นซ่อนที่ 1 และชั้นเอาต์พุต

$P = [P_1, P_2, \dots, P_R]$ คือเวกเตอร์อินพุตของชุดโครงข่าย



รูปที่ 4.11 แบบจำลองชุดโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

4.3.1 จำนวนโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการทดลองเราจะทำการทดลองหาจำนวนโหนดที่เหมาะสมกับลักษณะปัญหาแบบนี้โดยการทดลองเพิ่มโหนดในชั้นซ่อนจาก 1 โหนดไปจนถึง 5 โหนดและหาจำนวนโหนดที่ดีที่สุดที่ทำให้ชุดโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าผิดพลาดต่ำสุด

4.3.2 ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function)

ในส่วนฟังก์ชันถ่ายโอนหรือฟังก์ชันกระตุ้น เราจะทำการทดลองสลับฟังก์ชันถ่ายโอนทั้งในส่วนของชั้นซ่อนและในส่วนของชั้นเอาต์พุต โดยฟังก์ชันถ่ายโอนที่เรานำมาสลับได้แก่ Linear, Logsig และ Tansig โดยเราจะหาฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ชุดโครงข่ายมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด

4.3.3 ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม

การหาประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมหลังจากการเรียนรู้ สามารถวัดออกมาได้เป็นเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentages Error: MAPE) ดังสมการ 4.2

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\text{Real Result}_i - \text{Obtained result}_i}{\text{Real Result}_i} \right| \times 100\% \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 การปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส

ในขั้นตอนการปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักโดยใช้ Neural Network Toolbox มีอยู่หลากหลายวิธีแต่ที่มีระบุอยู่ใน Neural Network Toolbox User's Guide นั้น Levenberg-Marquardt algorithm [18] มีประสิทธิภาพและความรวดเร็วสูงที่สุดในขณะที่ทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมแต่ละรอบเราจะกำหนดให้มีการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสเป็นจำนวน 700 ครั้ง (Epoch) และในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละ Epoch จะทำการคำนวณหาค่าผิดพลาดของคำตอบของข้อมูลฝึกสอนแต่ละชุด

4.3.5 จำนวนรอบที่ใช้ในการฝึกสอน

ในส่วนของการกำหนดจำนวนรอบในการฝึกสอนเนื่องจากค่าเริ่มต้นของตัวถ่วงน้ำหนักและไบแอสได้มาจากการสุ่มค่าเริ่มต้นเพราะฉะนั้นการกำหนดจำนวนรอบยิ่งมากก็จะทำให้เกิดค่าเริ่มต้นที่หลากหลายและอาจจะส่งผลต่อการศึกษารียนรู้ต่างกันเราจึงต้องมีการกำหนดจำนวนรอบให้เหมาะสมโดยในการกำหนดจำนวนในการทดลองนี้เราจะทำการกำหนดให้ชุดโครงข่ายทำการศึกษาซ้ำในแต่ละโครงสร้างจำนวน 5 รอบต่อโครงสร้างและทำการเปรียบเทียบผลของการฝึกสอนที่ได้ (MAPE) ว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างไรและจะเลือกค่าที่มีความผิดพลาดต่ำที่สุดเป็นตัวใช้งาน

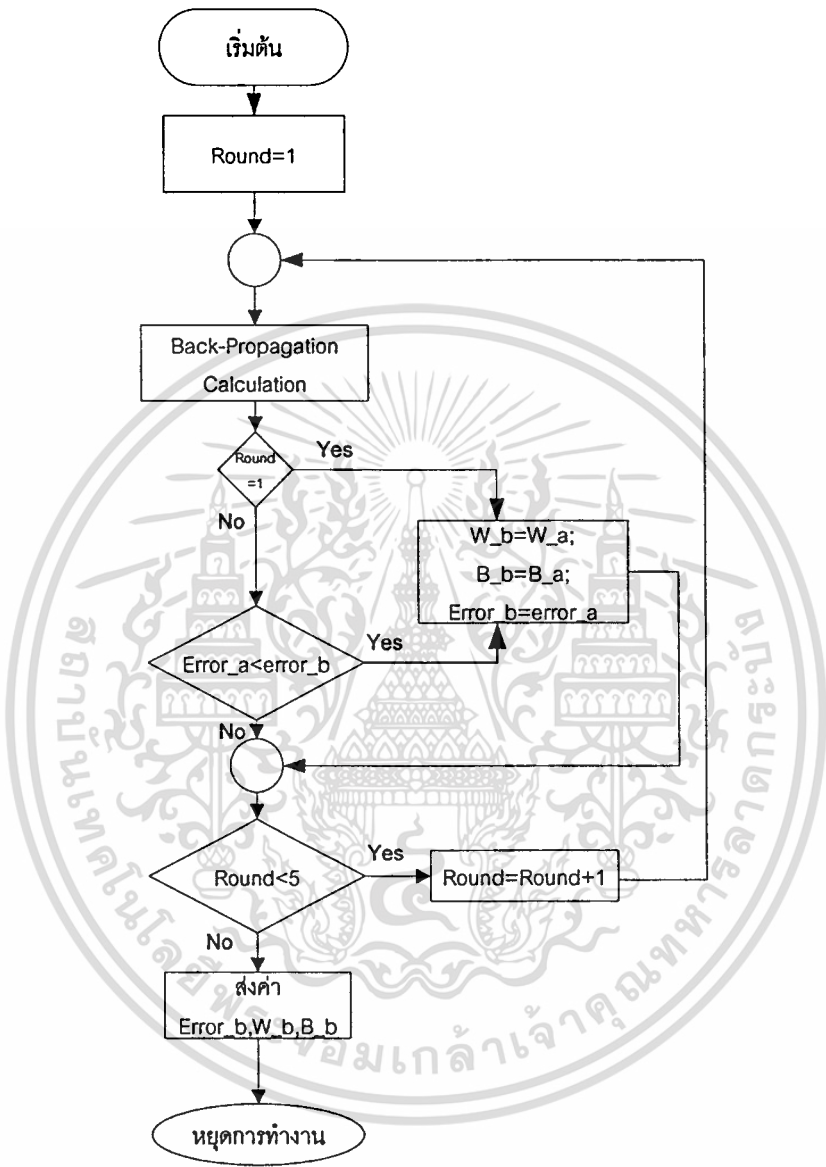
4.3.6 ขั้นตอนการฝึกสอน

การฝึกสอนเราจะนำข้อมูลที่เก็บมาได้จากโหนดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางข้างต้นมาใช้โดยเราจะนำข้อมูล 64 ค่าแรกที่ทำกร Sampling มาได้หรือข้อมูลที่อยู่ในเฉพาะชีกบวกล้วนเองโดยข้อมูลของชุดอินพุตในแต่ละ Sub เราจะใช้ข้อมูลทั้งหมด 50 ชุดข้อมูล แบ่งเป็นฝึกสอน 90% และทดสอบอีก 10% (ฝึกสอน 45 ค่าทดสอบอีก 5 ค่า) เมื่อเราได้เงื่อนไขดังกล่าวข้างต้นเรียบร้อยแล้วเราก็จะเริ่มทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ค่าย้อนกลับโดยมีขั้นตอนดังรูปที่ 4.12 และ 4.13 โดยรูปที่ 4.13 เป็นขั้นตอนการคำนวณค่าย้อนกลับ (Back-Propagation calculation) ซึ่งเป็นขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักค่าไบแอสและหาค่าผิดพลาดของคำตอบของข้อมูลทดสอบเป็นจำนวน 700 epoch และเลือกค่าชุดถ่วงน้ำหนักที่มีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดเก็บไว้เพื่อเปรียบเทียบกับรอบการฝึกสอนอื่นๆ ในขั้นตอน Best round selection ดังรูปที่ 4.14 และจากนั้นเราจะทำการหาค่าเฉลี่ยของ MAPE ในแต่ละเข้าที่พหุมาทำการเก็บไว้แล้วจึงทำซ้ำในแต่ละขั้นตอนจำนวน 5 รอบเพื่อเลือกค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสที่ทำให้ชุดโครงข่ายมีความผิดพลาดน้อยที่สุดของทุกรอบการฝึกสอนเก็บไว้เพื่อเปรียบเทียบกับกรฝึกสอนในโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบอื่นต่อไป (Best structure select) ขั้นตอนการหาโครงสร้างแบบอื่นจะทำการเพิ่มจำนวนโหนดในชั้นซ่อนจากหนึ่งโหนดไปจนถึงห้าโหนดตามลำดับแล้วจึงจะทำการเลือกเอาค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

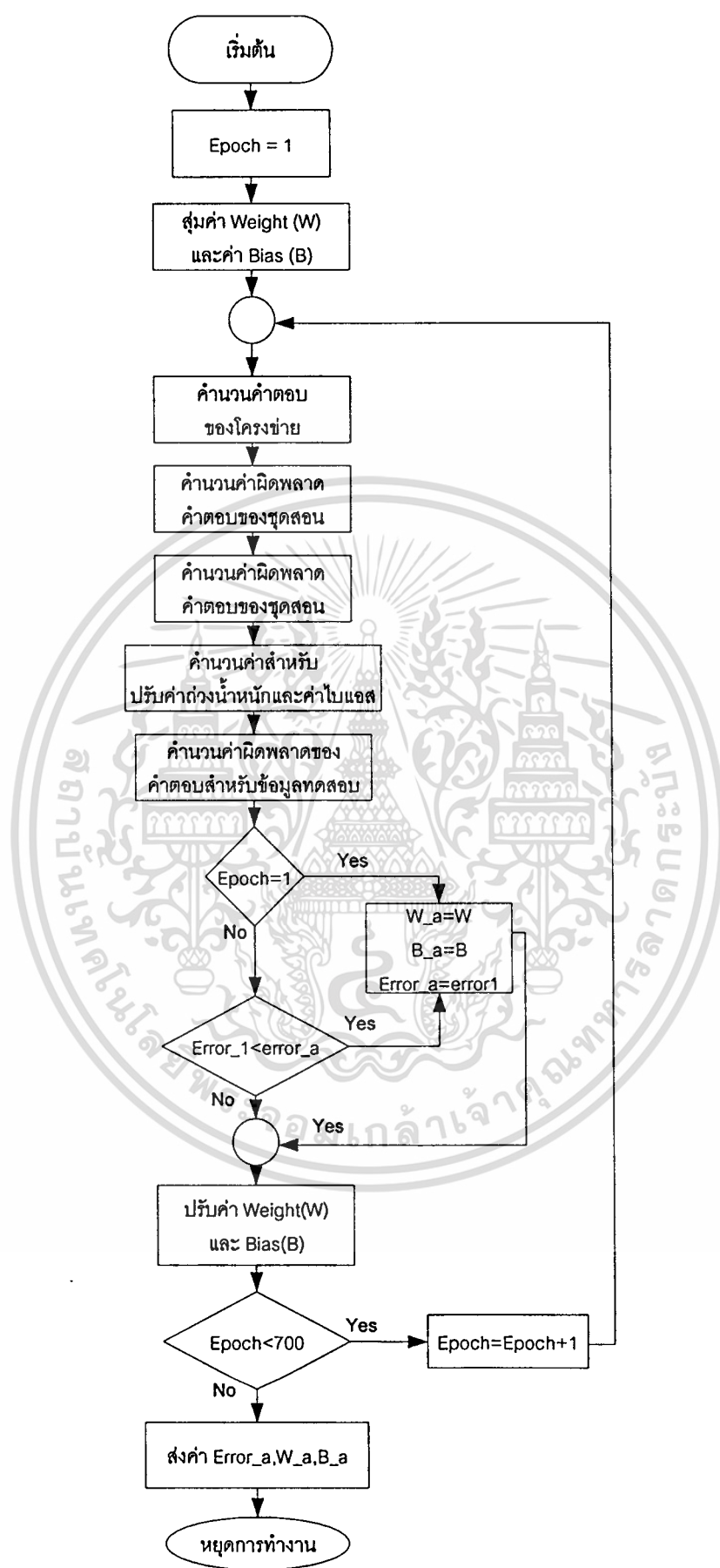
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้ายที่ทำให้คำตอบของข้อมูลทดสอบมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดของทุกรอบการฝึกสอนและทุกโครงสร้างสำหรับการฝึกสอนในแต่ละเงื่อนไขเก็บไว้เพื่อใช้งาน



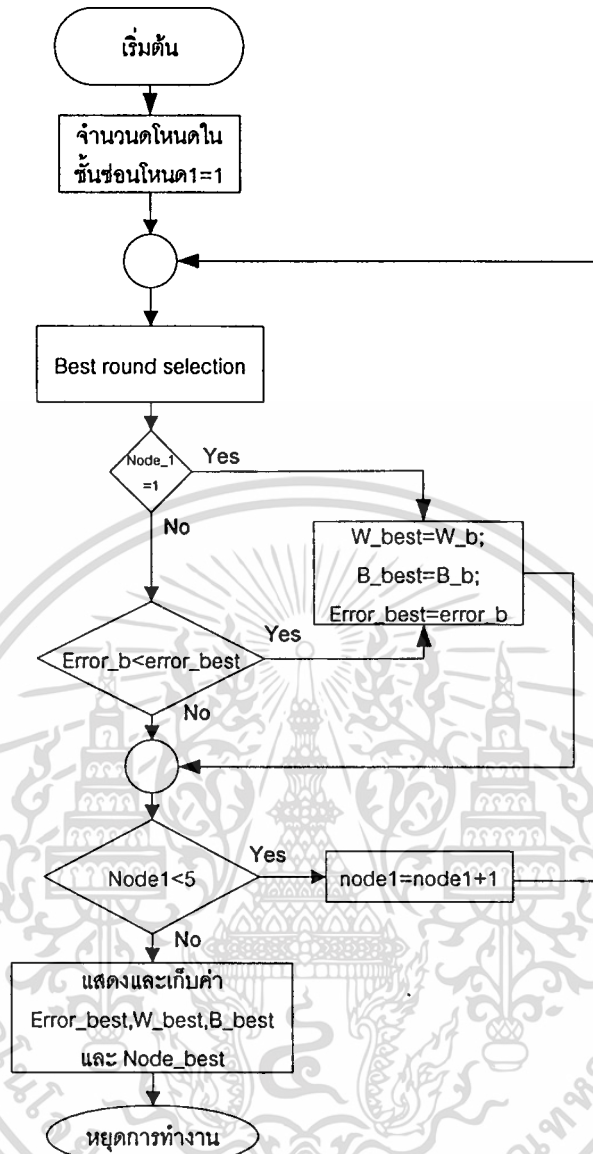
รูปที่ 4.12 ขั้นตอนการหาค่าผิดพลาดที่น้อยที่สุดของการคำนวณซ้ำในแต่ละโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ขั้นตอนการคำนวณค่าของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ขั้นตอนการหาจำนวนโหนดที่ดีที่สุดที่ซ่อน

4.4 การทดสอบชุดโครงข่ายประสาทเทียมในกรณีการเกิด Under Sampling

ความผิดพลาดประการหนึ่งของการวัดฮาร์โมนิกส์ด้วยวิธีการของฟูริเยร์ทรานส์ฟอร์มคือการเกิดปรากฏการณ์ Aliasing ซึ่งเกิดจากอัตราการสุ่มของสัญญาณมีค่าน้อยกว่าความถี่ Nyquist หรืออัตราการสุ่มสัญญาณที่มีค่าน้อยกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุดของข้อมูลจากปรากฏการณ์นี้จะทำให้ผลการคำนวณที่ได้จากวิธีการของฟูริเยร์มีความผิดพลาดเกิดขึ้น โดยความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสัญญาณข้อมูลที่นำมาใช้ว่ามีข้อมูลของสัญญาณความถี่สูงกว่าความถี่ Nyquist มากหรือน้อยเท่าใด จากความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้กับวิธีการของฟูริเยร์เราจะนำมาทดลองกับชุดโครงข่ายประสาทเทียมที่เราสร้างขึ้นว่าตอบสนองต่อความผิดพลาดอัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องมาจากอัตราการสุ่มที่น้อยเกินไปอย่างไร และเนื่องจากในการวัดจริงเราไม่สามารถสร้างโหนดที่มีฮาร์โมนิกส์ในย่านที่เราต้องการได้เราจึงจะทำการจำลองสัญญาณฮาร์โมนิกส์ขึ้น (Simulation Signal) ด้วยสมการที่ 4.3

$$\begin{aligned} X(t) = & I_1 \sin(2\pi ft) + I_2 \sin(4\pi ft) + I_3 \sin(6\pi ft) + I_5 \sin(10\pi ft) \\ & + I_7 \sin(14\pi ft) + I_{11} \sin(22\pi ft) + I_n \sin(2n\pi ft) \end{aligned}$$

(4.3)

ในส่วนของการเตรียมข้อมูลก่อนการทดสอบเราจะทำการสร้างสัญญาณตามสมการข้างต้นแต่จะกำหนดให้ไม่มีส่วนของกระแส I_n เพื่อนำมาสร้างสัญญาณฮาร์โมนิกส์สำหรับฝึกสอนและสุ่มสัญญาณที่ 90 ค่าต่อคาบจากสัญญาณที่สร้างขึ้นมา (การสุ่มที่ 90 ค่าต่อคาบวิธีการของฟูริเยร์สามารถให้ค่าที่ถูกต้องไม่เกินฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 45) จากนั้นเราจะนำค่า 45 ค่าแรกที่สุ่มได้หรือครึ่งคาบมาเข้าชุดอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้เป็นอินพุตในการฝึกสอน ในส่วนของ การทดสอบเราจะสร้างสัญญาณที่มีส่วนประกอบของ I_n ขนาดต่าง ๆ (ซึ่งมีความถี่มากกว่าความถี่ Nyquist) ในที่นี้เราจะกำหนดให้ $n=79$ เพื่อทดสอบผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นกับฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 11 เมื่อมีสัญญาณฮาร์โมนิกส์ในย่านนี้ปนเข้ามาโดยขนาดของกระแสฮาร์โมนิกส์แต่ละลำดับที่นำมาทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าของกระแสฮาร์โมนิกส์แต่ละลำดับที่ใช้ทดลอง Under Sampling

กระแส ฮาร์โมนิกส์ที่	ขนาดของกระแสฮาร์โมนิกส์ (Amp)				
	ข้อมูล ทดสอบที่ 1	ข้อมูล ทดสอบที่ 2	ข้อมูล ทดสอบที่ 3	ข้อมูล ทดสอบที่ 4	ข้อมูล ทดสอบที่ 5
I2	10	15	20	25	30
I3	8	10	12	14	16
I5	7	8	9	10	11
I7	5	5.5	6	6.5	7
I11	4	4	4	4	4
In(n=79)	0.5	1	1.5	2	2.5

บทที่ 5

ผลการทดลอง

บทนี้เป็นการนำเสนอผลการทดลองที่ได้จากการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาคำนวณค่าของระดับฮาร์โมนิกส์ในโรงงานผลิตแบตเตอรี่โดยในกระบวนการทดลองเราจะทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมกับข้อมูลไฟฟ้าที่จ่ายโหลดไฟฟ้าในโรงงานจำนวนทั้งหมดสี่ตู้ประกอบไปด้วยตู้เมนที่ 33MDB4, 33MDB3, 33MDB2 และ 32MDB1 เพื่อดูประสิทธิภาพการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมว่าขึ้นอยู่กับชนิดของโหลดที่เปลี่ยนไปหรือไม่ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 โดยสเปคคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ในการทดลองเป็น Notebook ยี่ห้อ Acer รุ่น Travelmate 3212NWXMI หน่วยประมวลผลกลาง Intel Pentium M Processor 740 1.73GHz, FSB 533MHz, L2 cache 2MB หน่วยความจำแรม 512MB DDR2 HDD 60GB

5.1 ผลการทดลองที่ตู้โหลด 33MDB4

5.1.1 ผลการทดลองหาฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมในชุดโครงข่ายของตู้โหลด 33MDB4

ในการทดลองเริ่มต้นเราจะทำการทดลองโหลดชุดแรกที่หม้อแปลงหมายเลข 7 ของโรงงานหรือตู้เมนไฟฟ้าที่ 33MDB4 โดยโหลดที่ตู้นี้ประกอบไปด้วยเครื่องแปลงกระแสสลับเป็นกระแสตรง (AC Rectifier) ขนาด 300ADC 300V สำหรับอัดประจุไฟฟ้าให้แผ่นเซลล์แบตเตอรี่จำนวน 15 เครื่องและโหลดมอเตอร์พัดลมดูดอีก 2 ตัวขนาด 75 kW สำหรับพัดลมดูดอากาศ (Duct Collector) และพัดลมดูดไอน้ำ (Wet Scrubber) ดังแสดงในรูปที่ 4.1

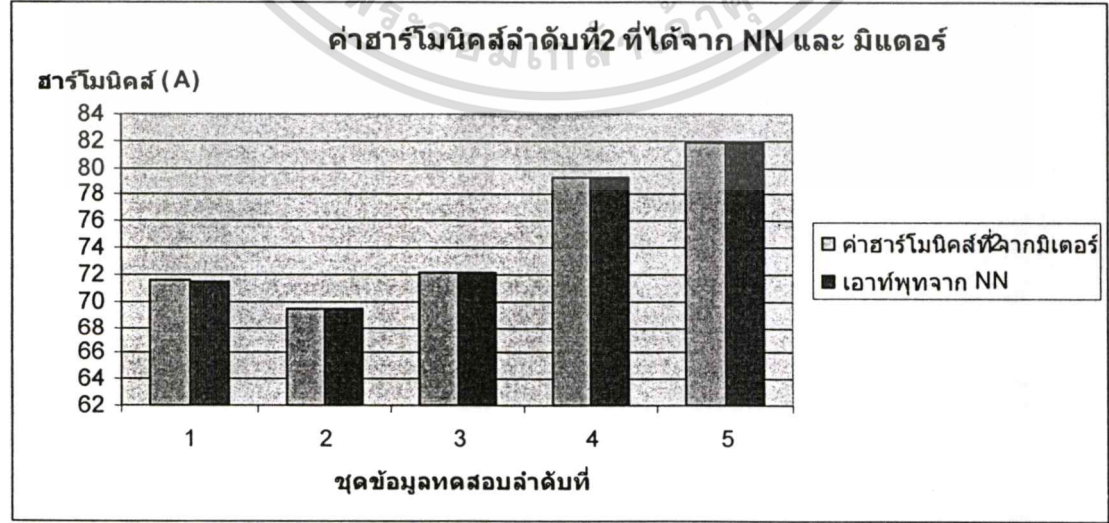
การทดลองในส่วนของการหาฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมเราจะทำการทดลองเปลี่ยนฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างฟังก์ชัน Purelin, Logsig, และ Tansig ทั้งในชั้นซ่อนและชั้นของเอาต์พุตสลับกันไปเพื่อทำการทดสอบว่าฟังก์ชันถ่ายโอนลักษณะใดให้ความผิดพลาดน้อยที่สุดและโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบใดเหมาะสมต่อชุดโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งในส่วนของการทดลองหาฟังก์ชันถ่ายโอนเราจะทำการทดลองโดยการเพิ่มโหนดในชั้นซ่อนจาก 1 โหนด จนถึง 5 โหนดในแต่ละชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอนแล้วทำการคำนวณหาว่าจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่าใดที่ทำให้ชุดโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดพร้อมทั้งแสดงผลผิดพลาดต่ำสุด ผลผิดพลาดเฉลี่ย และผลผิดพลาดมากที่สุดที่เกิดขึ้นเพื่อใช้ประกอบในการพิจารณาเลือกโครงสร้างของชุดโครงข่าย การกำหนดตัวแปรเริ่มต้นอื่นเพื่อให้เหมือนกันในทุกเงื่อนไขเราจะกำหนดตัวแปรของจำนวนชุดฝึกสอนต่อผลผิดพลาดโดยกำหนดจำนวนชุดทดสอบเริ่มต้นไว้ที่ 45

ชุดข้อมูลสำหรับฝึกสอน และ 5 ชุดข้อมูลสำหรับทดสอบและกำหนดจำนวนรอบในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักที่ 700 รอบจากผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าความผิดพลาดและจำนวนโหนดที่ดีที่สุดในแต่ละฟังก์ชันถ่ายโอนสำหรับตู้โหลด 33MDB4

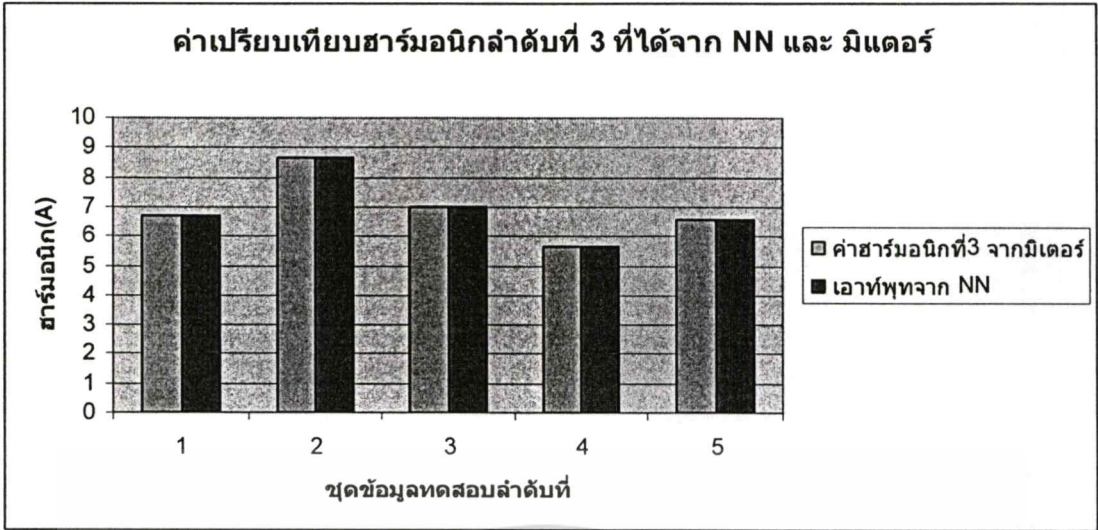
Transfer Function (TF) ที่ใช้ใน		จำนวน ที่ดีที่สุด	ค่า absolute percentage error ชุดทดสอบ		
Hidden Layer	Output Layer		min(%)	mean(%)	max(%)
<i>pureline</i>	<i>purelin</i>	5	0.001	0.0949	0.6642
logsig	purelin	5	0.003	0.2335	1.6336
tansig	purelin	5	0.009	0.2141	1.2871
purelin	logsig	5	0.488	57.2826	273.82
logsig	logsig	5	2.865	57.2182	274.34
tansig	logsig	5	0.4877	57.2874	273.81
purelin	tansig	5	0.097	3.7152	10.960
logsig	tansig	5	0.050	3.1514	13.8186
tansig	tansig	5	0.175	3.3207	12.2768

จากผลการทดลองที่ได้เราจะเห็นได้ว่าฟังก์ชันถ่ายโอนที่ให้ค่าผิดพลาดน้อยที่สุดของชุดโครงข่ายประสาทเทียมได้แก่ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Purelin ในชั้นซ่อนและฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Purlin ในชั้นเอาต์พุตโดยค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0949% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมากและมีจำนวนโหนดในชั้นที่ดีที่สุดอยู่ที่ 5 โหนดโดยความผิดพลาดของแต่ละเอาต์พุตทั้ง 5 ชุดทดสอบแสดงดังรูปที่ 5.1 ถึง 5.5

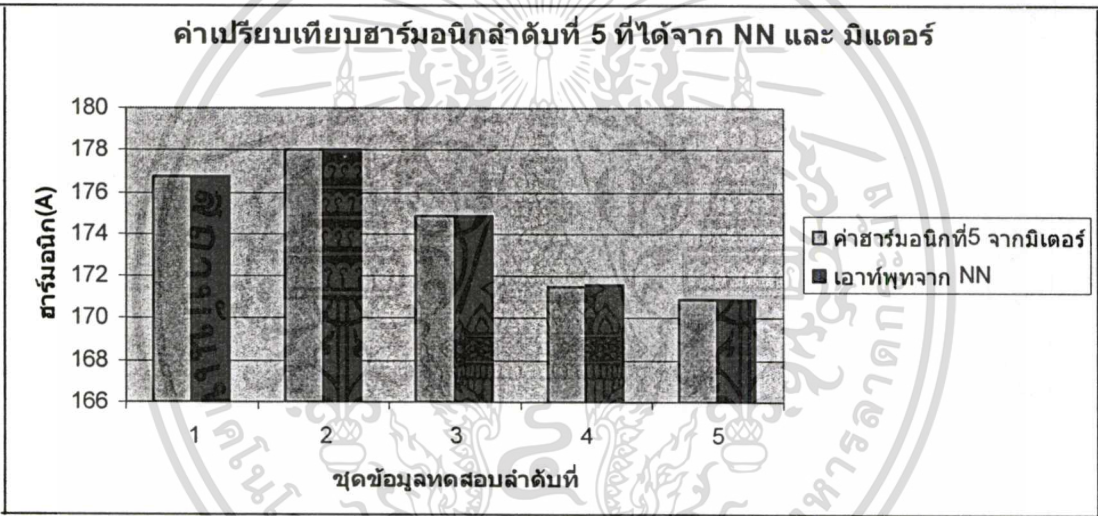


รูปที่ 5.1 ค่าสารโมนิคส์ที่ 2 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB4

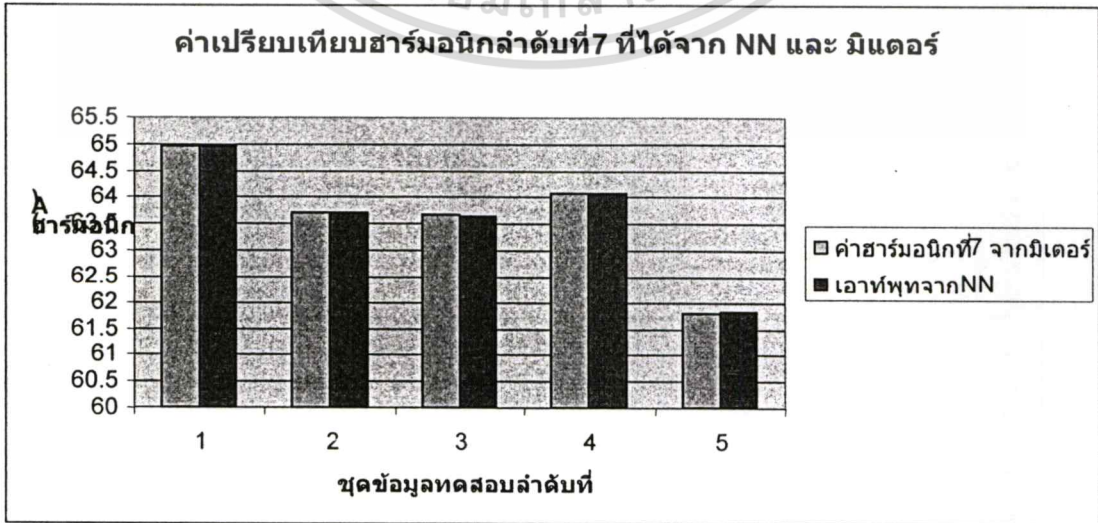
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 ค่าชาร์มอนิกที่ 3 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของผู้โหลด 33MDB4

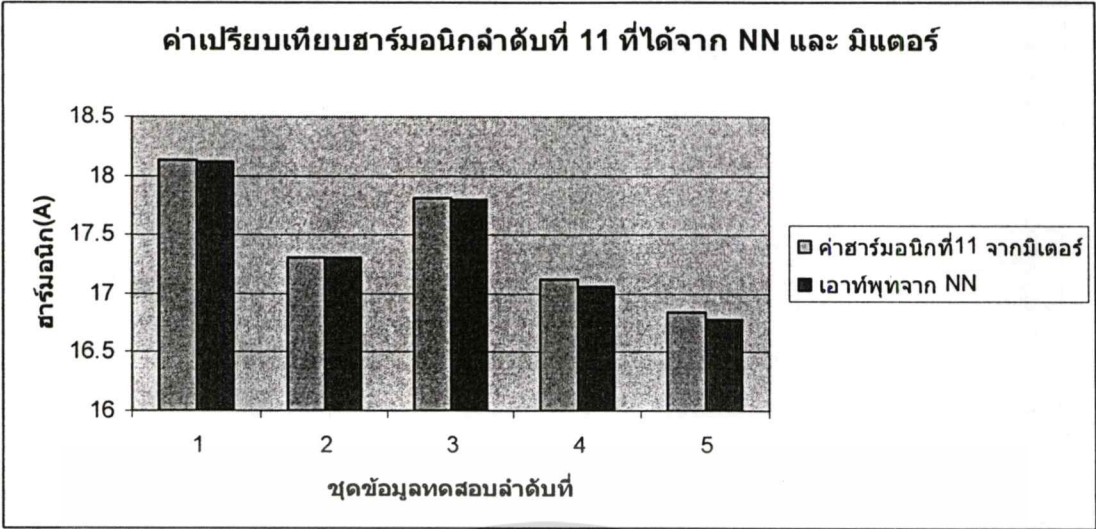


รูปที่ 5.3 ค่าชาร์มอนิกที่ 5 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของผู้โหลด 33MDB4



รูปที่ 5.4 ค่าชาร์มอนิกที่ 7 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของผู้โหลด 33MDB4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 11 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB4

5.1.2 ผลการทดลองหาจำนวนชุดฝึกสอนที่เหมาะสมในชุดโครงข่ายของตู้โหลด 33MDB4

จากผลการทดลองที่ได้เราจึงค้นเรานำชุด โครงข่ายประสาทเทียมที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด Purelin ในชั้นซ่อนกับชั้นเอาต์พุตและมีจำนวนโหนดในชั้นซ่อน 5 โหนดมาทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชุดฝึกสอนกับค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ต่ำสุด, สูงสุด และค่าเฉลี่ยความผิดพลาดทั้งหมดของชุดทดสอบพร้อมทั้งแสดงเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนและเวลาที่ NN ใช้ในการทดสอบโดยผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชุดฝึกสอนและค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของตู้ 33MDB4

จำนวนชุดฝึกสอน	เวลาที่ใช้ในการฝึกสอน(min)	เวลาที่ใช้ในการทดสอบ(msec)	ค่า %absolute percentage error		
			Min(%)	Mean(%)	Max(%)
35	5.97	<1.0	0.003	0.5762	7.9257
40	3.40	<1.0	0.0028	0.46586	6.4136
45	20.66	<1.0	0.001	0.0949	0.6642
50	25.64	<1.0	0.001	0.0922	0.6214

จากผลการทดลองที่ได้เราจะเห็นได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถให้ค่าความผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (<1%) ที่จำนวนชุดฝึกสอนตั้งแต่ 45 ชุดฝึกสอนขึ้นไปโดยเวลาที่ใช้ในการคำนวณค่าเอาต์พุตจากชุดอินพุตที่ป้อนเข้ามีค่าน้อยกว่า 1msec หรือน้อยกว่าครึ่งคาบของสัญญาณปกติที่ 50 Hz จากผลการทดลองที่ได้เราจะเห็นได้ว่ายิ่งจำนวนชุดฝึกสอนยิ่งมากยิ่งขึ้นทำให้เวลาในการฝึกสอนชุดโครงข่ายมากขึ้นตามไปด้วยโดยที่ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ไม่ได้ลดลงมากนักเมื่อจำนวนชุดฝึกสอนมากกว่า 45 ชุดข้อมูล จากผลการทดลองที่ได้เราจะทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มเติมถึงการเปลี่ยนแปลงของโหลดว่ามีผลต่อการเรียนรู้หรือให้คำตอบของชุด โครงข่ายประสาทเทียมหรือไม่โดยเราจะทำการทดลองกับโหลดชนิดอื่นในหัวข้อต่อไป

5.2 ผลการทดลองที่ตู้โหลด 33MDB3

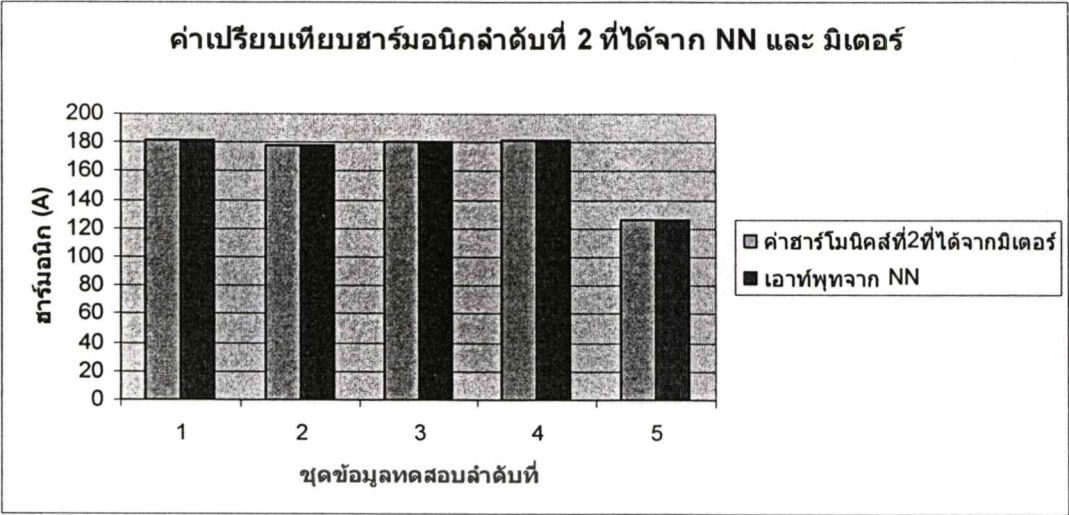
5.2.1 ผลการทดลองหาฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมในชุดโครงข่ายของตู้โหลด 33MDB3

ในการทดลองที่สองเราจะทำการเก็บข้อมูลฮาร์โมนิกส์ของตู้โหลด 33MDB3 (หม้อแปลงหมายเลข 6 ขนาด 1600KVA) เป็นระยะเวลาหนึ่งสัปดาห์โดยข้อมูลของค่าสัญญาณที่เราสุ่มเก็บมาได้ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่1ในส่วนการทดลองเริ่มต้นเราจะกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบเหมือนกับการทดลองในหัวข้อแรกคือการกำหนดชุดฝึกสอนที่ 45 ชุดและกำหนดจำนวนชุดทดสอบที่ 5 ชุดข้อมูลเพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมสำหรับโหลดที่สอง (33MDB3) ว่าฟังก์ชันถ่ายโอนที่ให้ผลผิคน้อยที่สุดเป็นชนิดใดและมีจำนวนโหนดที่ดีที่สุดในชั้นซ่อนเท่าใดจากการทดลองผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 5.3

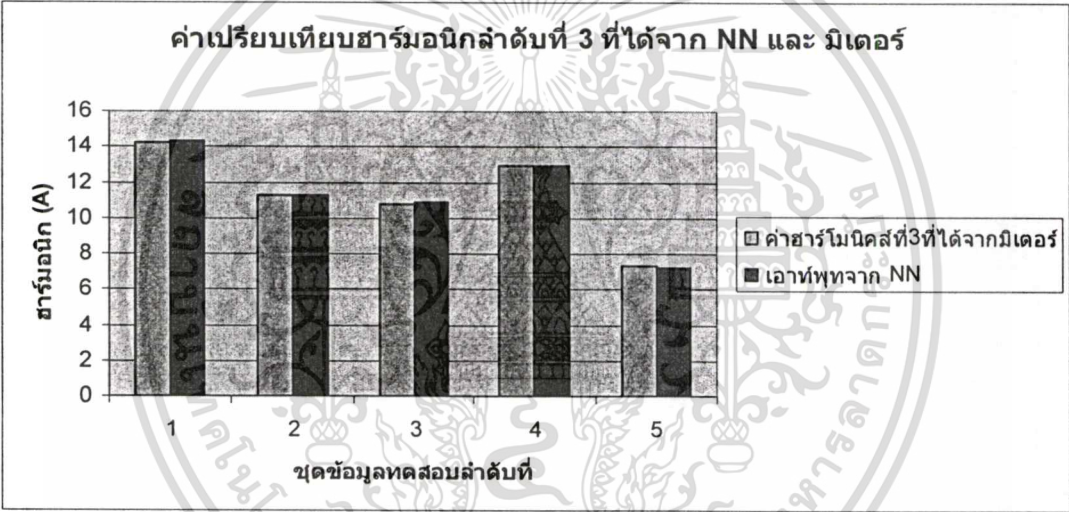
ตารางที่ 5.3 ค่าความผิดพลาดและจำนวน โหนดที่ดีที่สุดในแต่ละฟังก์ชันถ่ายโอนสำหรับตู้โหลด 33MDB3

Transfer Function (TF) ที่ใช้ใน		จำนวน ที่ดีที่สุด	ค่า absolute percentage error ชุดทดสอบ		
Hidden Layer	Output Layer		min(%)	mean(%)	max(%)
<i>pureline</i>	<i>purelin</i>	5	0.001	0.08944	0.5065
logsig	purelin	5	0.001	0.110	0.510
tansig	purelin	5	0.0001	0.147	0.7696
purelin	logsig	5	1.0654	32.5947	93.7075
logsig	logsig	4	0.9308	33.123	93.71
tansig	logsig	5	0.931	33.1227	93.7075
purelin	tansig	5	0.0025	0.6491	3.64.2
logsig	tansig	5	0.0026	0.53	2.4721
tansig	tansig	5	0.0348	0.668	3.7372

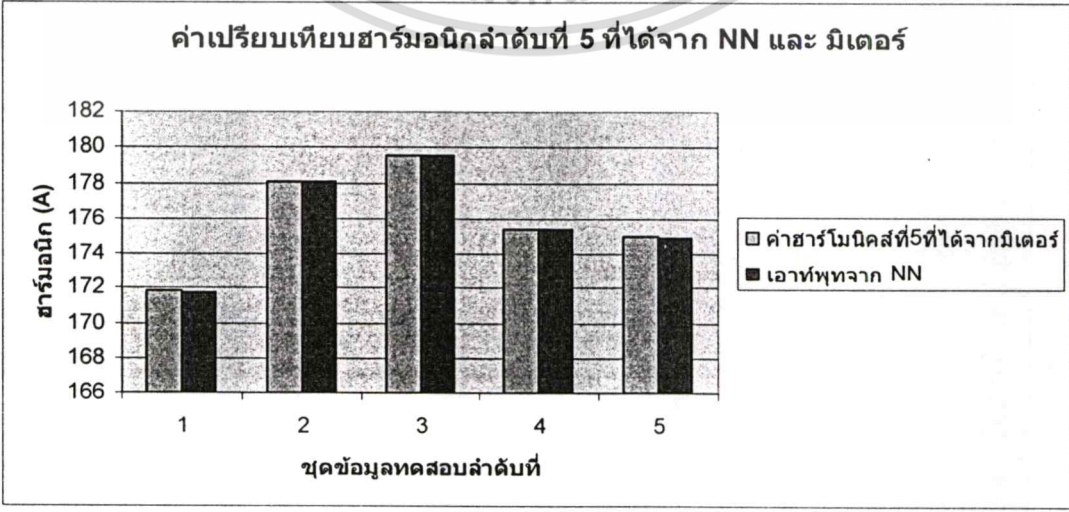
จากตารางที่ 5.3 เราจะเห็นได้ผลว่าฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อนแบบ Purelin และฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Purelin ในชั้นเอาต์พุตให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยน้อยที่สุดและมีค่าเพียง 0.089% และมีค่าความผิดพลาดสูงสุดที่เกิดขึ้นเพียง 0.5065%โดยค่าฮาร์โมนิกส์ที่ได้จากชุดโครงข่ายและมีเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 5.6 ถึง 5.10 ซึ่งมีผลคล้ายการทดลองที่ได้จะมีลักษณะทำนองเดียวกับโหลดชนิดแรก



รูปที่ 5.6 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 2 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB3

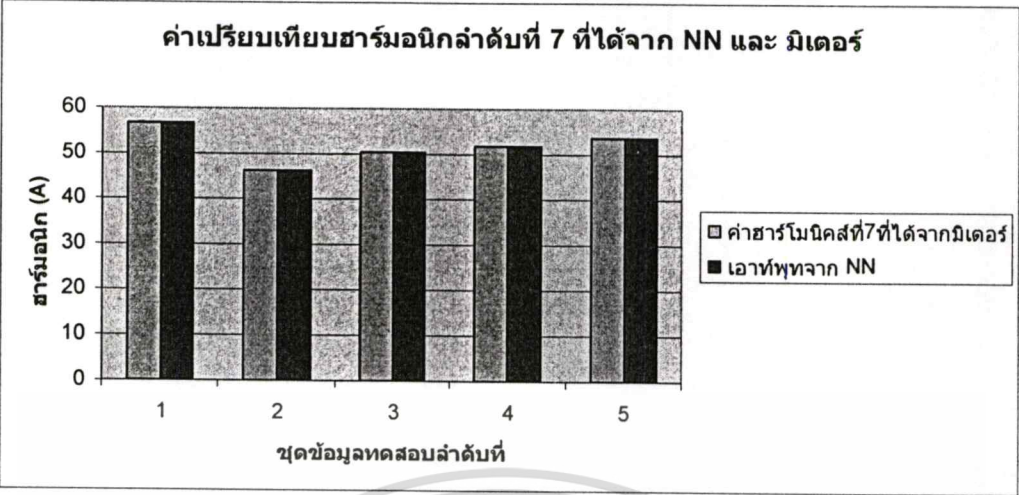


รูปที่ 5.7 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB3

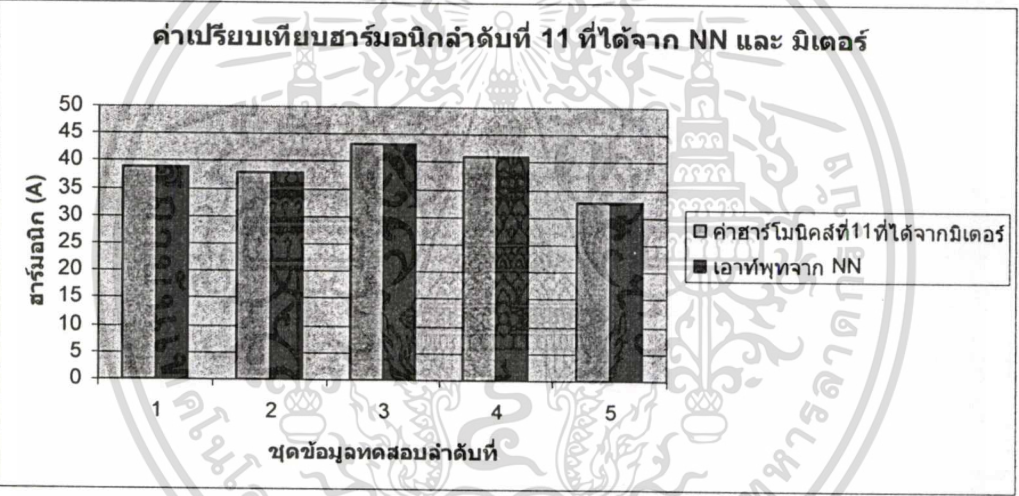


รูปที่ 5.8 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการฝ่าฝืนกฎหมายและจะมีความผิดตามกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 7 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB3



รูปที่ 5.10 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 11 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB3

5.2.2 ผลการทดลองหาจำนวนชุดฝึกสอนที่เหมาะสมในชุดโครงข่ายของตู้โหลด 33MDB3

จากผลการทดลองที่ได้เราข้างต้นเราจะมาหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชุดฝึกสอนกับค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์โดยผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชุดฝึกสอนและค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของตู้โหลด 33MDB3

จำนวนชุดฝึกสอน	เวลาที่ใช้ในการฝึกสอน(min)	เวลาที่ใช้ในการทดสอบ(msec)	ค่า %absolute percentage error		
			Min(%)	Mean(%)	Max(%)
35	8.67	<1.0	0.0021	0.1471	1.0898
40	8.66	<1.0	0.0021	0.1270	0.9599

ตารางที่ 5.4 (ต่อ)

จำนวนชุดฝึกสอน	เวลาที่ใช้ในการฝึกสอน(min)	เวลาที่ใช้ในการทดสอบ(msec)	ค่า %absolute percentage error		
			Min(%)	Mean(%)	Max(%)
45	9.64	<1.0	0.001	0.08944	0.5065
50	11.33	<1.0	0.001	0.0523	0.4821

จากตารางที่ 5.4 เราจะได้ว่าจำนวนชุดฝึกสอนที่เหมาะสมกับโหนดชนิดนี้อยู่ที่ 45 ชุด ข้อมูลโดยเวลาที่ใช้ในการสอนจะใกล้เคียงกับการทดลองในชุดแรกโดยที่ผลผิดพลาดของชุดฝึกสอนที่ 45 ชุดข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกับจำนวนฝึกสอน 50 ชุดข้อมูล จากผลการทดลองในโหนดชุดที่สอง โครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ก็ยังคงให้ค่าคำตอบที่มีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่สูงอยู่ แต่การทดลองในส่วนนี้จะเป็นการทดลองในกรณีที่ไม่ได้ต่อตัวปรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเนื่องจากตัวคาปาซิเตอร์แบงค์ของตู้โหนดนี้ชำรุดอยู่ซึ่งถ้าหากมีการต่อตัวปรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้กับตู้โหนดชนิดนี้จะทำให้ฮาร์โมนิกส์โดยรวมสูงขึ้นมาก

5.3 ผลการทดลองที่ตู้โหนด 33MDB2

5.3.1 ผลการทดลองหาฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมในชุดโครงข่ายของตู้โหนด 33MDB2

ในการทดลองที่สามเราจะทำการเก็บข้อมูลฮาร์โมนิกส์ของหม้อแปลงหมายเลข 5 ซึ่งเป็นอีกโหนดหนึ่งที่มีปัญหาเรื่องคาปาซิเตอร์แบงค์เกิดการรีโซแนนซ์กับระบบไฟฟ้าของตู้โหนด 33MDB2 ในส่วนของการเก็บข้อมูล (Sampling Signal) เราจะนำมิเตอร์ไปต่อเพื่อวัดสัญญาณฮาร์โมนิกส์เป็นระยะเวลาหนึ่งสัปดาห์เพื่อให้ได้ข้อมูลที่หลากหลายและครอบคลุมการทำงานของโหนดในแต่ละช่วงเวลาโดยข้อมูลของค่าสัญญาณที่เราสุ่มเก็บมาได้ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 2 จากนั้นเราจะทำการทดลองหาฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมสำหรับ โหนดที่สามในเงื่อนไขเดียวกันกับการทดลองสองส่วนแรกว่าฟังก์ชันถ่ายโอนที่ให้ผลผิวน้อยที่สุดเป็นชนิดใดและมีจำนวนโหนดที่ดีที่สุดในชั้นซ่อนจะมีขนาดเท่าใดโดยผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ค่าความผิดพลาดและจำนวนโหนดที่ดีที่สุดในแต่ละฟังก์ชันถ่ายโอนสำหรับตู้โหนด 33MDB2

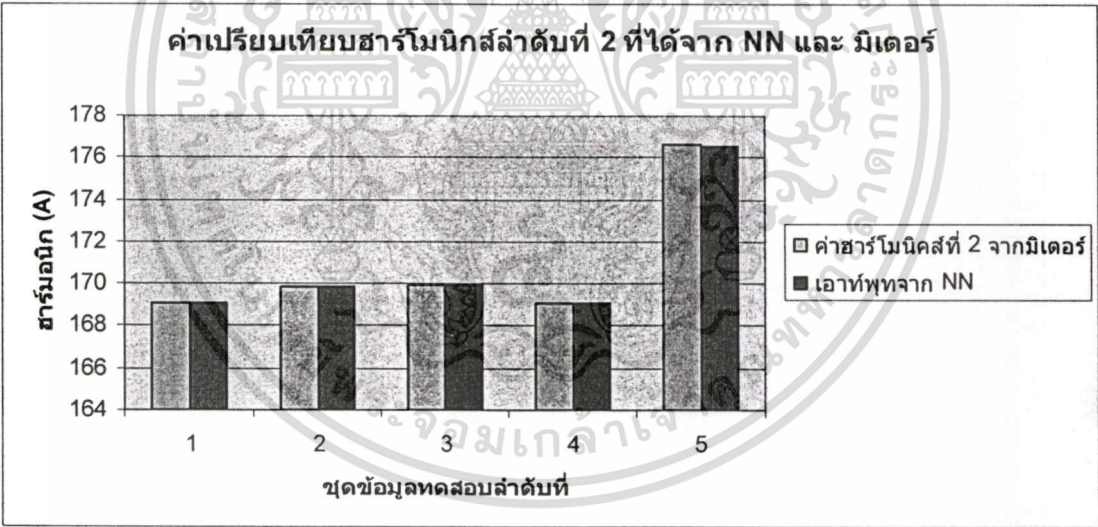
Transfer Function (TF) ที่ใช้ใน		จำนวนที่ติดตั้ง	ค่า absolute percentage error ชุดทดสอบ		
Hidden Layer	Output Layer		min(%)	mean(%)	max(%)
<i>pureline</i>	<i>purelin</i>	5	0.002	0.1863	0.8153
logsig	purelin	5	0.0555	0.6045	2.0596
tansig	purelin	5	0.0485	0.83926	2.1610

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

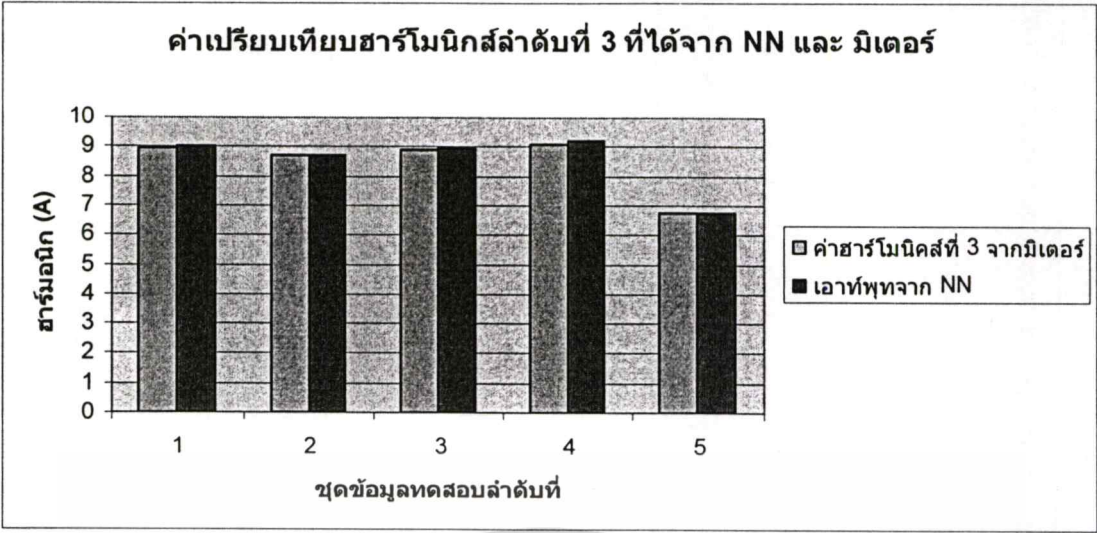
ตารางที่ 5.5 (ต่อ)

Transfer Function (TF) ที่ใช้ใน		จำนวน ที่ดีที่สุด	ค่า absolute percentage error ชุดทดสอบ		
Hidden Layer	Output Layer		min(%)	mean(%)	max(%)
purelin	logsig	5	0.2074	12.98604	29.2394
logsig	logsig	4	0.2012	12.79878	29.24
tansig	logsig	5	1.4499	13.23462	29.239
purelin	tansig	5	0.0651	3.86096	11.988
logsig	tansig	5	0.06403	8.35022	33.7707
tansig	tansig	5	0.3632	6.83964	15.563

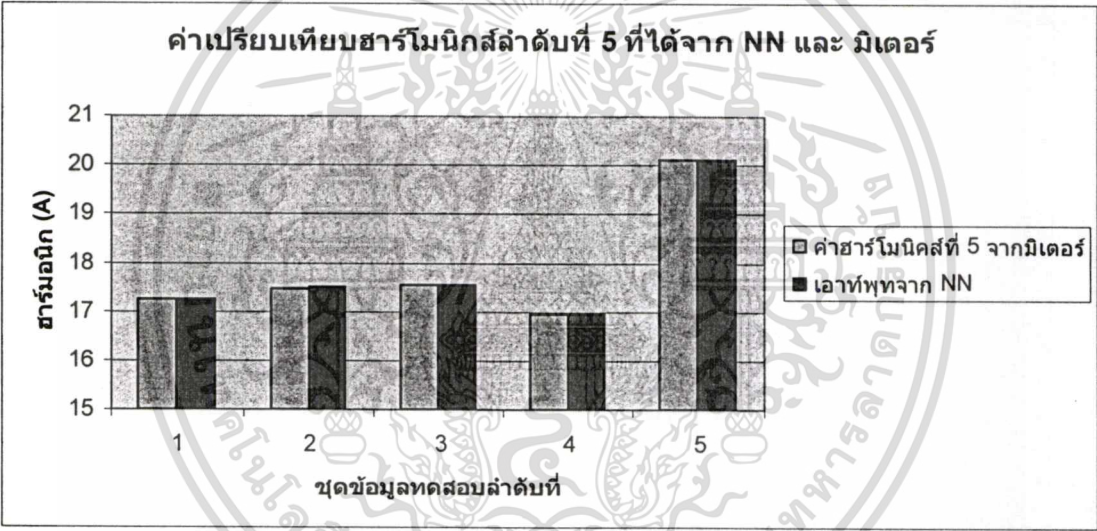
จากตารางที่ 5.5 เราจะได้ว่าฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมเป็นฟังก์ชันชนิด Purelin ทั้งในส่วนของชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุตโดยโหนดที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 5 โหนดในชั้นซ่อน โดยค่าฮาร์โมนิกส์ที่ได้จากชุดโครงข่ายและมิเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 5.11 ถึง 5.15 ซึ่งมีผลคล้ายการทดลองของโพลด์แรก



รูปที่ 5.11 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 2 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของผู้โหลด 33MDB2

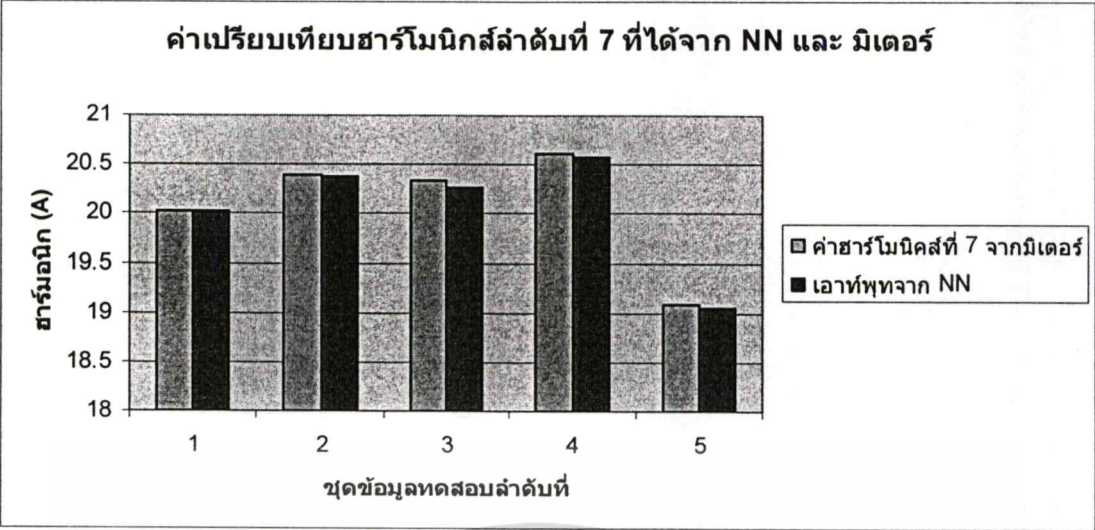


รูปที่ 5.12 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB2

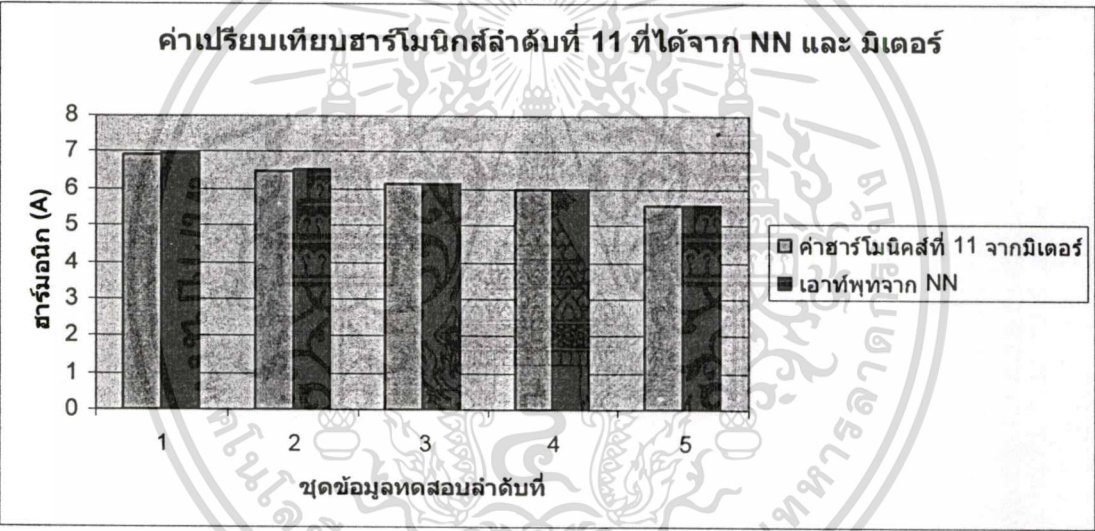


รูปที่ 5.13 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 ค่าฮารโมนิกส์ที่ 7 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB2



รูปที่ 5.15 ค่าฮารโมนิกส์ที่ 11 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 33MDB2

5.3.2 ผลการทดลองหาจำนวนชุดฝึกสอนที่เหมาะสมในชุดโครงข่ายของตู้โหลด 33MDB2

จากผลการทดลองที่ได้ข้างต้นเราจะนำโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้มาทำการทดลองดูความสัมพันธ์ของจำนวนข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนกับเวลาและความผิดพลาดของชุดโครงข่ายประสาทเทียม โดยผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชุดฝึกสอนและค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของตู้โหลด 33MDB2

จำนวนชุดฝึกสอน	เวลาที่ใช้ในการฝึกสอน(min)	เวลาที่ใช้ในการทดสอบ(msec)	ค่า %absolute percentage error		
			Min(%)	Mean(%)	Max(%)
35	3.4855	<1.0	0.2079	4.8989	7.2189
40	3.928	<1.0	0.1761	2.383	4.3496
45	5.78	<1.0	0.021	0.18632	0.8153
50	15.97	<1.0	0.015	0.14950	0.4256

จากผลการทดลองที่ได้เราจะเห็นได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถให้ค่าความผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (<1%) ที่จำนวนชุดฝึกสอนตั้งแต่ 45 ชุดฝึกสอนขึ้นไปโดยเวลาที่ใช้ในการคำนวณค่าเอาต์พุตจากชุดอินพุตที่ป้อนเข้ามีค่าน้อยกว่า 1msec หรือน้อยกว่าครึ่งคาบของสัญญาณปกติที่ 50 Hz และจากผลการทดลองที่ได้ในหัวข้อ 5.1 ถึง 5.3 เราจะเห็นได้ว่าโหลดทั้งสามส่วนที่มีปัญหาด้านฮาร์โมนิกส์ค่อนข้างสูงที่เรานำมาทดลองนั้นชุดโครงข่ายประสาทเทียมสามารถให้ค่าเอาต์พุตที่มีถูกต้องค่อนข้างสูง ในส่วนของการทดลองต่อไปเราจะนำชุดโครงข่ายไปทดลองกับโหลดที่มีปัญหาทางด้านฮาร์โมนิกส์ค่อนข้างน้อยเพื่อดูว่าชุดโครงข่ายจะมีผลต่อความผิดพลาดหรือไม่โดยโหลดที่เราจะนำมาทดลองจะเป็นโหลดของหม้อแปลงหมายเลข 9 ของตู้โหลด 32MDB1 ซึ่งโหลดส่วนใหญ่เป็นเพียงมอเตอร์ขนาดใหญ่ที่ใช้สำหรับในกระบวนการผลิตดังแสดงในรูป Single Line Diagram ที่ 4.6

5.4 ผลการทดลองที่ตู้โหลด 32MDB1

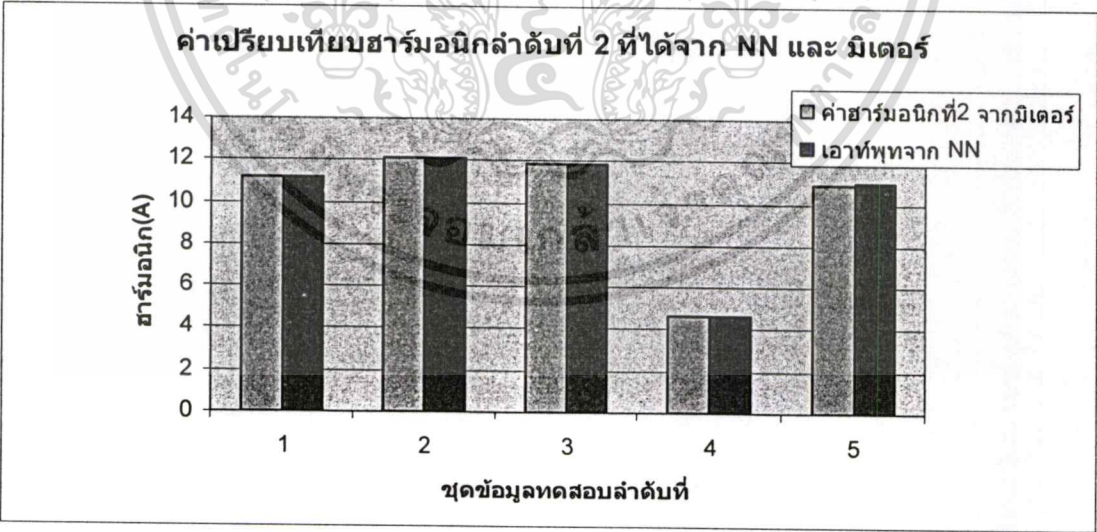
5.4.1 ผลการทดลองหาฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมในชุดโครงข่ายของตู้โหลด 32MDB1

ในการทดลองหาฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมเราจะใช้เงื่อนไขเริ่มต้นเดียวกันกับโหลดก่อนหน้านี้และทำการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลาหนึ่งสัปดาห์เช่นเดียวกันดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 3 สำหรับการทดลองในโหลดนี้จะมีการต่อตัวปรับค่าตัวประกอบกำลังเข้าไปในระบบด้วยเนื่องจากโหลดชุดนี้มีปัญหาด้านผลกระทบอันเนื่องมาจากการเกิดรีโซแนนซ์ค่อนข้างน้อยโดยคาปาซิเตอร์แบงค์ที่ต่ออยู่ในระบบมีขนาด 50KVAR จำนวน 10 ตัวและเป็นการเปิดปิดจำนวนคาปาซิเตอร์ตามค่าของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในระบบหรือควบคุมไม่ให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำกว่า 0.85 ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 5.7

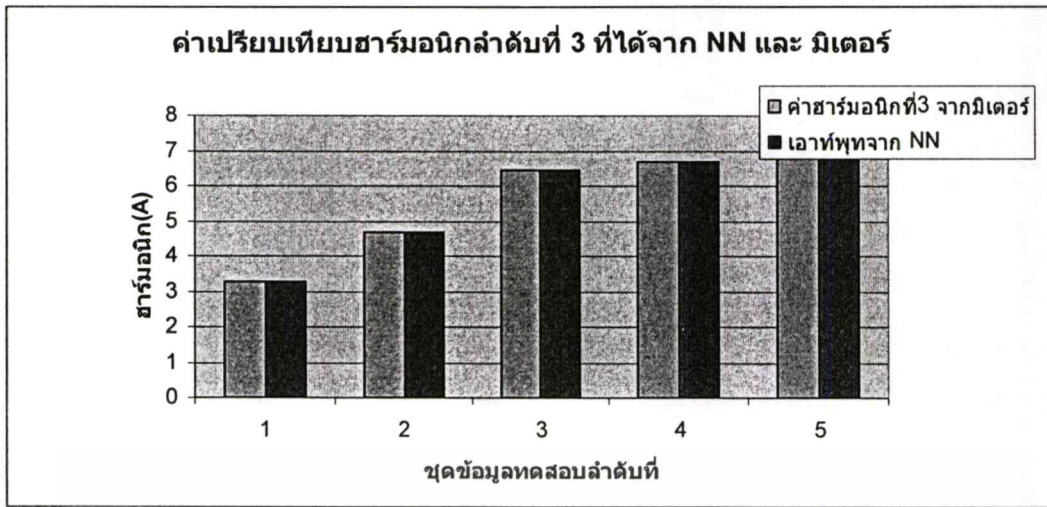
ตารางที่ 5.7 ค่าความผิดพลาดและจำนวนโหนดที่ดีที่สุดในแต่ละฟังก์ชันถ่ายโอนสำหรับตู้โหลด 32MDB1

Transfer Function (TF) ที่ใช้ใน		จำนวน ที่ดีที่สุด	ค่า absolute percentage error ชุดทดสอบ		
Hidden Layer	Output Layer		min(%)	mean(%)	max(%)
<i>pureline</i>	<i>purelin</i>	5	0.0006	0.1247	0.7206
logsig	purelin	5	0.0111	0.2118	1.2863
tansig	purelin	5	0.0367	0.4487	2.112
purelin	logsig	5	0.0233	28.889	134.23
logsig	logsig	5	0.2411	31.095	134.23
tansig	logsig	5	0.0959	30.796	134.227
purelin	tansig	5	0.023	4.9467	33.8
logsig	tansig	5	0.0024	4.8053	33.753
tansig	tansig	5	0.0244	4.5669	33.7526

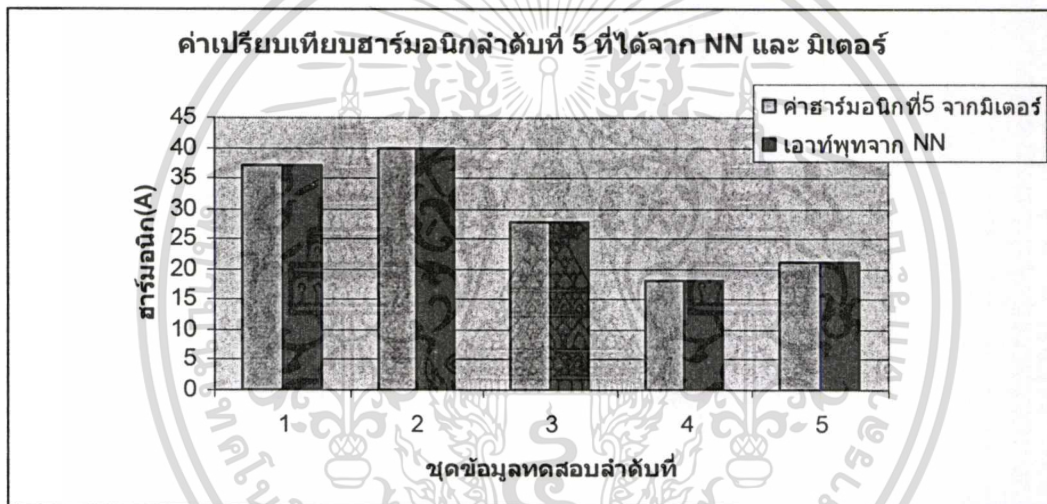
จากตารางที่ 5.7 เราจะได้ว่าฟังก์ชันถ่ายโอนที่ให้ค่าผิดพลาดน้อยที่สุดของชุดโครงข่ายประสาทเทียมได้แก่ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Purelin ในชั้นซ่อนและฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Purlin ในชั้นเอาต์พุต โดยค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 0.1247% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมาก โดยความผิดพลาดของแต่ละเอาต์พุตทั้ง 5 ชุดทดสอบแสดงดังรูปที่ 5.16 ถึง 5.20



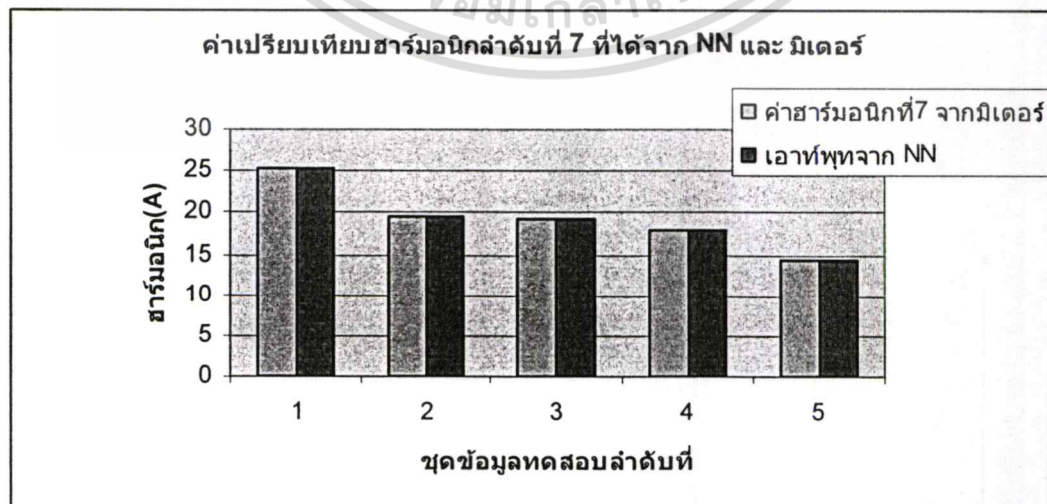
รูปที่ 5.16 ค่าฮาร์โมนิกที่ 2 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 32MDB1



รูปที่ 5.17 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 32MDB1



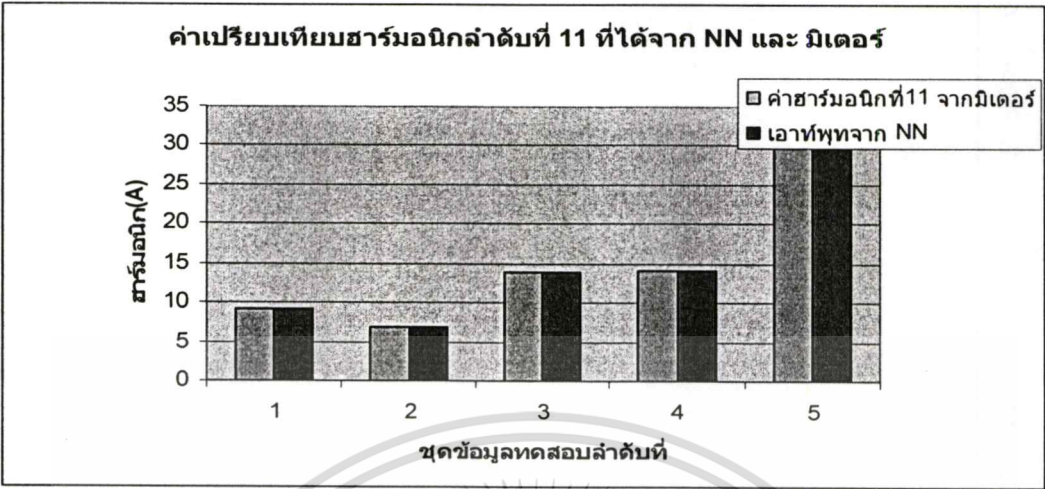
รูปที่ 5.18 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 5 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 32MDB1



รูปที่ 5.19 ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 7 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของตู้โหลด 32MDB1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอกการดำเนินการ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.20 ค่าฮาร์โมนิกลำดับที่ 11 ที่ได้จากชุด NN และที่ได้จากมิเตอร์ของผู้โหลด 32MDB1

5.4.2 ผลการทดลองหาจำนวนชุดฝึกสอนที่เหมาะสมในชุดโครงข่ายของผู้โหลด 32MDB1

จากผลการทดลองที่ได้เราข้างต้นเราจะมาหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชุดฝึกสอนกับค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ของชุดโครงข่าย โดยผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชุดฝึกสอนและค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของผู้ 32MDB1

จำนวนชุดฝึกสอน	เวลาที่ใช้ในการฝึกสอน(min)	เวลาที่ใช้ในการทดสอบ(sec)	ค่า %absolute percentage error		
			Min(%)	Mean(%)	Max(%)
35	5.97	<1.0	0.003	0.5762	7.9257
40	3.40	<1.0	0.0028	0.46586	6.4136
45	18.22	<1.0	0.0006	0.1247	0.7206
50	21.15	<1.0	0.0006	0.0896	0.6816

จากผลการทดลองที่ได้เราจะเห็นได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถให้ค่าความผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (<1%) ที่จำนวนชุดฝึกสอนตั้งแต่ 45 ชุดฝึกสอนขึ้นไปโดยเวลาที่ใช้ในการคำนวณค่าเอาต์พุตจากชุดอินพุตที่ป้อนเข้ามีค่าน้อยกว่า 1msec จากซึ่งจากการทดลองชี้ให้เห็นว่าชุดโครงข่ายประสาทเทียมสามารถให้ค่าที่ถูกต้องสูงแม้จะมีการเปลี่ยนชนิดของโหลดก็ตามจากการทดลองทั้งสี่ผู้โหลดในส่วนต่อไปเราจะทำการทดลองข้อดีของชุดโครงข่ายประสาทเทียมอีกอย่างหนึ่งก็คือการลดความผิดพลาดในการให้ค่าฮาร์โมนิกอันดับอื่นเนื่องมาจากผลกระทบของปรากฏการณ์ Aliasing หรือปรากฏการณ์ที่เกิดเนื่องมาจากการเลือกอัตราการสุ่มสัญญาณไม่เหมาะสมกับชุดข้อมูลฮาร์โมนิกที่เราทำการสนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ผลการทดลองชุดโครงข่ายประสาทเทียมในกรณีเกิดการ Under Sampling หรือ Aliasing

การทดลองหาความผิดพลาดของชุดโครงข่ายประสาทเทียมในกรณีเกิดการ Aliasing เราจะทำการสร้างสัญญาณสำหรับฝึกสอนจำนวน 45 ค่าจากนั้นจะสร้างสัญญาณทดสอบที่ค่าส่วนประกอบของฮาร์โมนิกส์ขนาดต่าง ๆ ตามตารางที่ 4.2 โดยผลการทดสอบที่ได้แสดงดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 ผลสรุปของวิธีการหาฮาร์โมนิกส์ด้วยวิธีการฟูริเยร์และโครงข่ายประสาทเทียมกรณี Under Sampling

		12	13	15	17	111
ข้อมูลทดสอบ ที่ 1 (In=1A)	Actual Amp	10	8	7	5	4
	FFT	10	8	7	5	3
	NN	10	8.1	7	5.07	3.9
ข้อมูลทดสอบ ที่ 2 (In=1.5A)	Actual Amp	15	10	8	5.5	4
	FFT	15	10	8	5.5	2.5
	NN	15	10.1	8	5.50	3.5
ข้อมูลทดสอบ ที่ 3 (In=2A)	Actual Amp	20	12	9	6	4
	FFT	20	12	9	6	2
	NN	20	12.04	9	6.01	3.2
ข้อมูลทดสอบ ที่ 4 (In=2.5A)	Actual Amp	25	14	10	6.5	4
	FFT	25	14	10	6.5	1.5
	NN	25	14.1	10	6.51	3.1
ข้อมูลทดสอบ ที่ 5 (In=3A)	Actual Amp	30	16	11	7	4
	FFT	30	16	11	7	1
	NN	30	16.1	11	7.01	2.8

จากผลการทดลองที่ได้เราจะเห็นว่าผลพลอยได้อีกอย่างหนึ่งของการนำวิธีการหาฮาร์โมนิกส์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมคือการตอบสนองต่อผลผิดในกรณีอัตราส่วนที่น้อยเกินไปมีค่าค่อนข้างน้อยถ้าเทียบกับวิธีการของฟูริเยร์กล่าวคือหากเป็นการวัดโดยทั่วไปถ้าหากเครื่องมือวัดไม่มีตัวกรองความถี่สูงก็จะทำให้ย่านความถี่สูงเกิดการรบกวนกับย่านความถี่ต่ำทุกย่านที่สอดคล้องกันทำให้ผลผิดจากการวัดดังกล่าวมีค่าสูงขึ้น

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอถึงวิธีการหาค่าฮาร์โมนิกส์ในสัญญาณไฟฟ้าโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม โดยนำรูปคลื่นสัญญาณฮาร์โมนิกส์ที่ทำการตรวจวัดได้จากหม้อแปลงไฟฟ้าของโรงงานผลิตแบตเตอรี่มาทำการสุ่มสัญญาณ (Sampling signal) จำนวน 128 ค่าในหนึ่งคาบ จากนั้นนำสัญญาณที่สุ่มได้ครึ่งคาบแรกมาใช้สำหรับเป็นชุดอินพุตของชุดโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อให้ค่าเอาต์พุตที่เป็นขนาดของฮาร์โมนิกส์ในแต่ละลำดับที่เราสนใจ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Back Propagation Neural Networks) ที่มีชั้นซ่อนหนึ่งชั้นมาใช้ในการฝึกสอนและทดสอบชุดโครงข่ายซึ่งโรงงานแห่งนี้จะมีหม้อแปลงทั้งหมด 9 ลูก ขนาด 1600 kVA จำนวน 8 ลูก และ 500 kVA อีกจำนวนหนึ่งลูก โดยแบ่งเป็นสถานีย่อยทั้งหมด 4 สถานีจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดในส่วนต่าง ๆ ของโรงงาน

จากผลการทดลองที่ได้นั้นสามารถสรุปได้ว่าการคำนวณค่าขนาดของฮาร์โมนิกส์ที่ได้จากชุดโครงข่ายประสาทเทียมมีความถูกต้องและแม่นยำสูงโดยความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ไม่เกิน 1% ใช้เวลาในการฝึกสอนประมาณ 15 นาที และ เวลาในการทดสอบข้อมูล 5 ชุดใช้เวลาไม่ถึง 1 msec หรือไม่เกินครึ่งคาบของสัญญาณที่มีความถี่ 50 Hz ซึ่งเป็นเวลาที่เร็วมาก อีกทั้งจากการนำชุดโครงข่ายประสาทเทียมไปทำการทดสอบทั้ง 4 ตู้สถานีจ่ายไฟฟ้าชี้ให้เห็นว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้และให้คำตอบที่ถูกต้องถึงแม้ชนิดของโหลดจะเปลี่ยนไปก็ตาม นอกจากนี้ชุดโครงข่ายประสาทเทียมยังมีผลพลอยได้อีกอย่างหนึ่งคือการตอบสนองของผลผิดของชุดโครงข่ายประสาทเทียมต่อกรณีการเกิด Under Sampling มีค่าค่อนข้างน้อยถ้าเทียบกับความผิดพลาดที่เกิดขึ้นวิธีการของฟูริเยร์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับหาค่าขนาดของฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ที่เราสนใจจากรูปคลื่นสัญญาณซึ่งการใช้โครงข่ายประสาทเทียมเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการหาค่าขนาดฮาร์โมนิกส์ นอกเหนือจากวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไป ซึ่งก็คือ วิธีการแปลงทางฟูริเยร์ (Fourier Transform) ซึ่งการใช้วิธีการของโครงข่ายประสาทเทียมก็มีทั้งข้อดีข้อเสียคือเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแบบทั่วไปหรือวิธีการแปลงทางฟูริเยร์ก็คือ

ข้อดี

- ถ้ามีการนำชุดโครงข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ตัวกรองฮาร์โมนิกส์จะทำให้ตัวกรองมีความรวดเร็วในการประมวลผลที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้นเนื่องจากวิธีทางฟูริเยร์จะต้องใช้สัญญาณเต็มหนึ่งลูกคลื่นสำหรับเป็นข้อมูลเพื่อที่จะหาส่วนประกอบของฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ อีกทั้งยังต้องใช้เวลาในการประมวลผลอีกอย่างน้อยหนึ่งลูกคลื่น เพื่อที่จะ

ได้คำตอบแต่วิธีการของชุดโครงข่ายประสาทเทียมจะใช้สัญญาณเพียงครึ่งคาบเพื่อเป็นชุดอินพุต และใช้เวลาในการประมวลผลอีกครั้งลูกคลื่น

- มีการตอบสนองต่อผลผลิตน้อยเมื่อเกิดการ Under Sampling เมื่อเทียบกับวิธีของฟูรีเยร์
- ใช้เวลาในการฝึกสอนแต่ละลักษณะโหนดค่อนข้างน้อย

ข้อเสีย

- ลักษณะของโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมจะมีโครงสร้างไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดของโหนดกล่าวคือหากเรานำชุดโครงข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการฝึกสอนและเรียนรู้จากลักษณะของโหนดชนิดหนึ่งและนำโครงข่ายที่ได้ไปทดสอบกับลักษณะโหนดแบบอื่น จะทำให้เกิดความผิดพลาดสูงอันเนื่องมาจากคุณลักษณะของโหนดชนิดอื่นจะมีส่วนของฮาร์โมนิกส์ในย่านอื่นที่เราสนใจแตกต่างกันค่อนข้างมาก

- ไม่สามารถระบุถึงจำนวนโหนดในชั้นซ่อนและฟังก์ชันถ่ายโอนที่ใช้ว่าต้องใช้จำนวนเท่าใดถึงจะให้ผลที่ดีที่สุด ซึ่งต้องใช้วิธีการทดลองหลาย ๆ รูปแบบ

- ต้องมีการเตรียมข้อมูลเป็นเวลานานเพื่อให้มีข้อมูลที่จะนำมาฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมให้มีความถูกต้องสูง

- ความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียมจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของข้อมูลที่นำมาให้โครงข่ายประสาทเทียมทำการเรียนรู้

การใช้โครงข่ายประสาทเทียมมาทำการหาขนาดของฮาร์โมนิกส์มุ่งเน้นให้เกิดประโยชน์เรื่องของการนำโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้ในการประมาณการขนาดของฮาร์โมนิกส์เพื่อนำค่านี้ไปใช้เป็นแนวทางในการนำโครงข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ เช่น ตัวกรองฮาร์โมนิกส์ที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณของฮาร์โมนิกส์ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ

สิ่งที่ควรได้รับการพัฒนาและปรับปรุงต่อไปคือ

- ทำการปรับปรุงให้ชุดโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าเอาต์พุตออกมาทั้งขนาดและเฟสอยู่ในชุดโครงข่ายเดียวกัน

- ทดลองทำการรวมกลุ่มโหนดที่แตกต่างกันหรืออาจจะทำการจำลองสัญญาณเข้ามาเพิ่มเพื่อนำเข้ามาเป็นชุดฝึกสอนชุดโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อให้ชุดโครงข่ายประสาทเทียมทำการเรียนรู้เพื่อที่จะทำให้ชุดโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้สามารถให้ค่าคำตอบที่ถูกต้องมากขึ้นในกรณีโหนดมีการเปลี่ยนแปลง

- ทดลองหาอุปกรณ์ที่สามารถกำหนดอัตราการสุ่มได้เพื่อพิจารณาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราการสุ่มสัญญาณว่าอัตราการสุ่มสัญญาณมีความสัมพันธ์ต่อค่าฮาร์โมนิกส์ที่ได้จากชุดโครงข่ายประสาทเทียมเป็นอย่างไรเพื่อหาจุดที่เหมาะสมต่อเอาต์พุตฮาร์โมนิกส์ที่เราสนใจ

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Tristan and Kneschke, "Distortion and Power Factor of Nonlinear Loads" **IEEE International Conference.** vol. 1, 13-15 April. 1999. p.47-54.
- [2] Wagner, et al., "Effects of Harmonics on Equipment" **IEEE Trans. on Power Delivery.** vol. 8, no. 2, Apr. 1993.
- [3] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต3. รายงานผลการตรวจวัดและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า. ลพบุรี : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จังหวัดลพบุรี. 2550.
- [4] Jos Arrillaga, Bruce C Smith, Neville R Watson and Alan R Wood. **Power System Harmonic Analysis.** New York: John Wiley and Sons.
- [5] A Report by Schneider Electric. "Power Logic Solution" **Schneider Electric Newsletter.,** vol. 33, January - March. 2007.
- [6] John G Proakis, Dimitris G and Manolakis. **Digital Signal Processing.** Prentice Hall, Inc. 1996
- [7] วิบูลย์ ชื่นแขก. **Power System Harmonics.** กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2549. เอกสารอัดสำเนา.
- [8] Li Ma, J.Zhou, Z. Lu and Z. Quian., "An Improved Harmonic Detecting Approach for Active Power Filter" **Power Electronic and Motion Control Conference,** vol. 3, 15-18 August. 2000. p.1420-1424
- [9] Pecharanin N., Sone, M., Mitsui H, "An Application of Neural Network for Harmonic Detection in Activefilter", **WCCI-ICNN'94** ,Vol.6,No. 684, 1994 ,P.3756.
- [10] B. Singh, K. Al-Haddad and A. Chandra. Sasaki, "A Review of Active Filters for Power Quality Improvement" **IEEE Trans. on Power System.** vol. 46, no. 5, Apr. 1999.
- [11] N. Pecharanin, H. Mitsui and M. Sone, "Harmonic Detection by Using Neural Network" **IEEE International Conference.** vol. 2, 27 November-1 December. 1995. p.923-926
- [12] Rosario Carbone, et al., "A New Approach for the Computation of Harmonics and Interharmonics Produced by Line-Commutated AC/DC/AC Converter" **IEEE Transections on Power Delivery.** vol. 20, No.3, July. 2005. p.2227-2233.

- [13] พุฒิจร บุญมี. “การหาตำแหน่งฟอลต์ในสถานีไฟฟ้าแรงสูงโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547.
- [14] H. Mori, K. Itou, H. Uematsu and S. Tsuzuki., “An Artificial Neural-Net Based Method for Predicting Power System Voltage Harmonics” **IEEE Trans. On Power Delivery**. vol. 7, no. 1, January. 1992
- [15] วราวุธ วุฒินิชย์. “เอกสารประกอบการสอน Artificial Neural Networks.” กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2546. เอกสารอัดสำเนา.
- [16] วรรัตน์ ภัทรอมรกุล และ รศ.ดร.มนัส สังวนศิลป์. คู่มือการใช้ Matlab ฉบับสมบูรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ Info press, เมษายน 2543
- [17] Lin, H.C. “Intelligent Neural Network Base Dynamic Power System Harmonic Analysis” **PowerCon 2004.**, Vol.1, 21-24 Nov.2004. p 244-248 .
- [18] Demuth, H. and Beale, M. **Neural Network Toolbox User’s Guide**. The Math Works, Inc. March. 2001.
- [19] จตุพร ธรรมเจริญ. “การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวของระบบ กฟน. โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2550.
- [20] Dent Instruments. 2004. **Elite Pro & Data Pro User Manual**. USA : Dent Instrument .Co.,Ltd.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

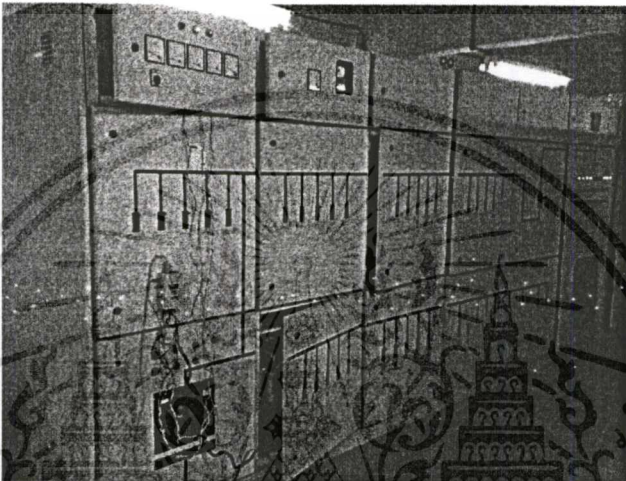


ภาคผนวก ก
ข้อมูลของสัญญาณที่ทำการเก็บมาจากโหลดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

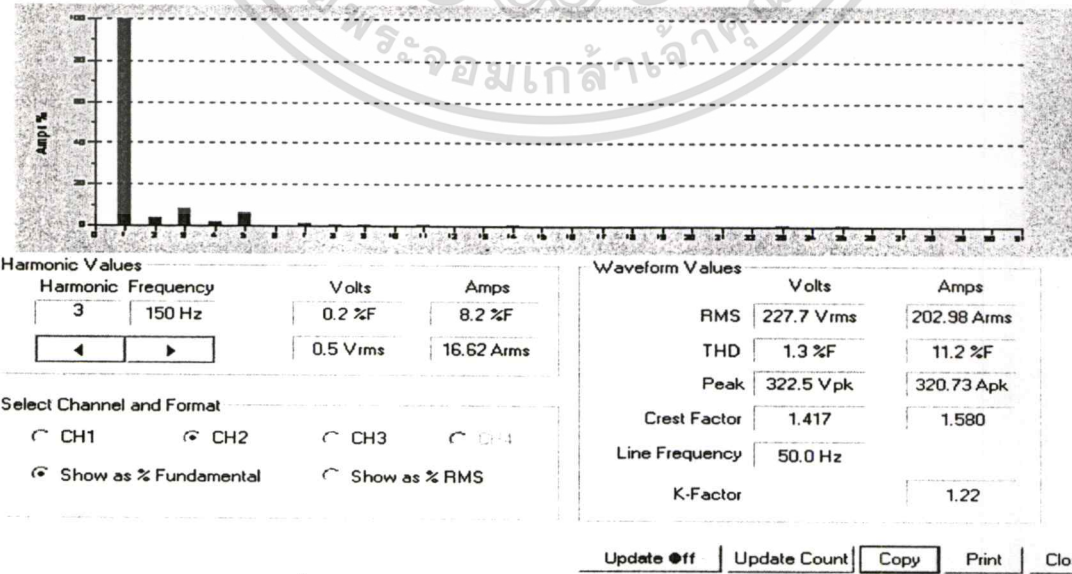
ข้อมูลสัญญาณฮาร์โมนิกส์ที่เก็บมาจากโหลดทดลอง

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้ข้อมูลที่ทำกรสุ่มสัญญาณฮาร์โมนิกส์ของกระแส (Sampling Waveform) มาจากตู้โหลดทดลองเบอร์ 33MDB4, 33MDB3, 33MDB2 และ 32MDB1 ของบริษัท สยามฟรุททอ จำกัด โดยในกระบวนการเก็บสัญญาณเราจะทำการติดตั้งมิเตอร์ที่ตำแหน่งหลัง ACB ที่ตู้ Sub Station ดังรูปภาคผนวกที่ 1



รูปภาคผนวกที่ 1 แสดงการติดตั้งมิเตอร์เก็บข้อมูลจากโหลดทดลอง

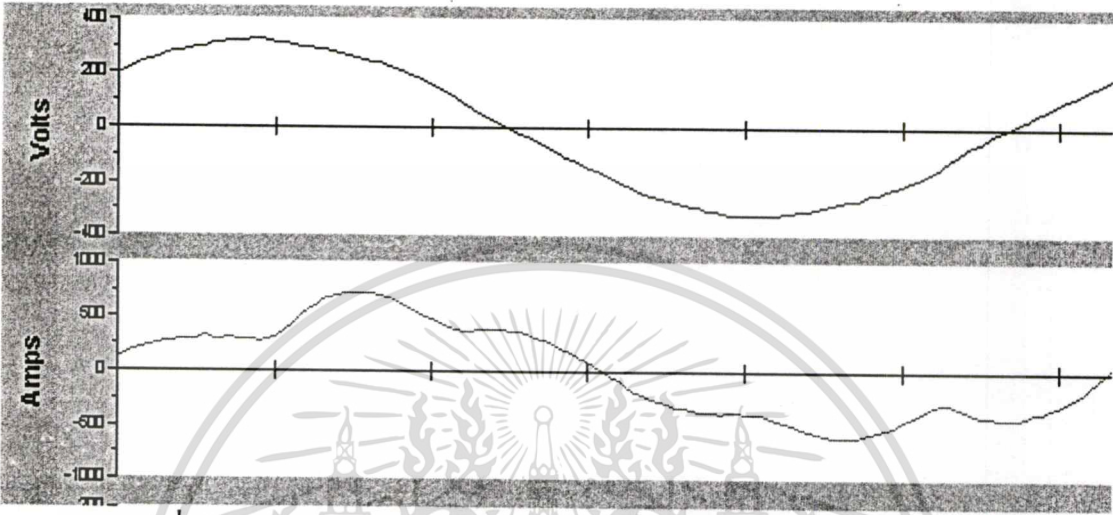
หลังจากติดตั้งมิเตอร์เสร็จเราจะทำการเปิดโปรแกรม ELOG ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้กับ Power Recorder และทำการวัดขนาดและแสดงผลของสเปกตรัมที่วัดได้ดังตัวอย่างในรูปภาคผนวกที่ 2



รูปภาคผนวกที่ 2 แสดงสเปกตรัมกระแสที่มิเตอร์วัดมาได้จากโหลดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสเป็คตรัมดังรูปภาคผนวกที่ 2 เราจะสามารถดูค่าขนาดของฮาร์โมนิกส์แต่ละลำดับได้โดยดับเบิ้ลคลิกที่กราฟแท่งแล้วตัวโปรแกรมจะแสดงค่าออกมาหรือใช้ลูกศรเลื่อนซ้ายหรือขวาเลือกดูขนาดของฮาร์โมนิกส์ที่เราสนใจจากนั้นเราจะทำการเก็บรูปคลื่นของกระแสฮาร์โมนิกส์ดังตัวอย่างในรูปภาคผนวกที่ 3



รูปภาคผนวกที่ 3 แสดงรูปสัญญาณกระแสฮาร์โมนิกส์ที่มีเตอร์แสดงผลที่วัดมาได้จากการทดลอง

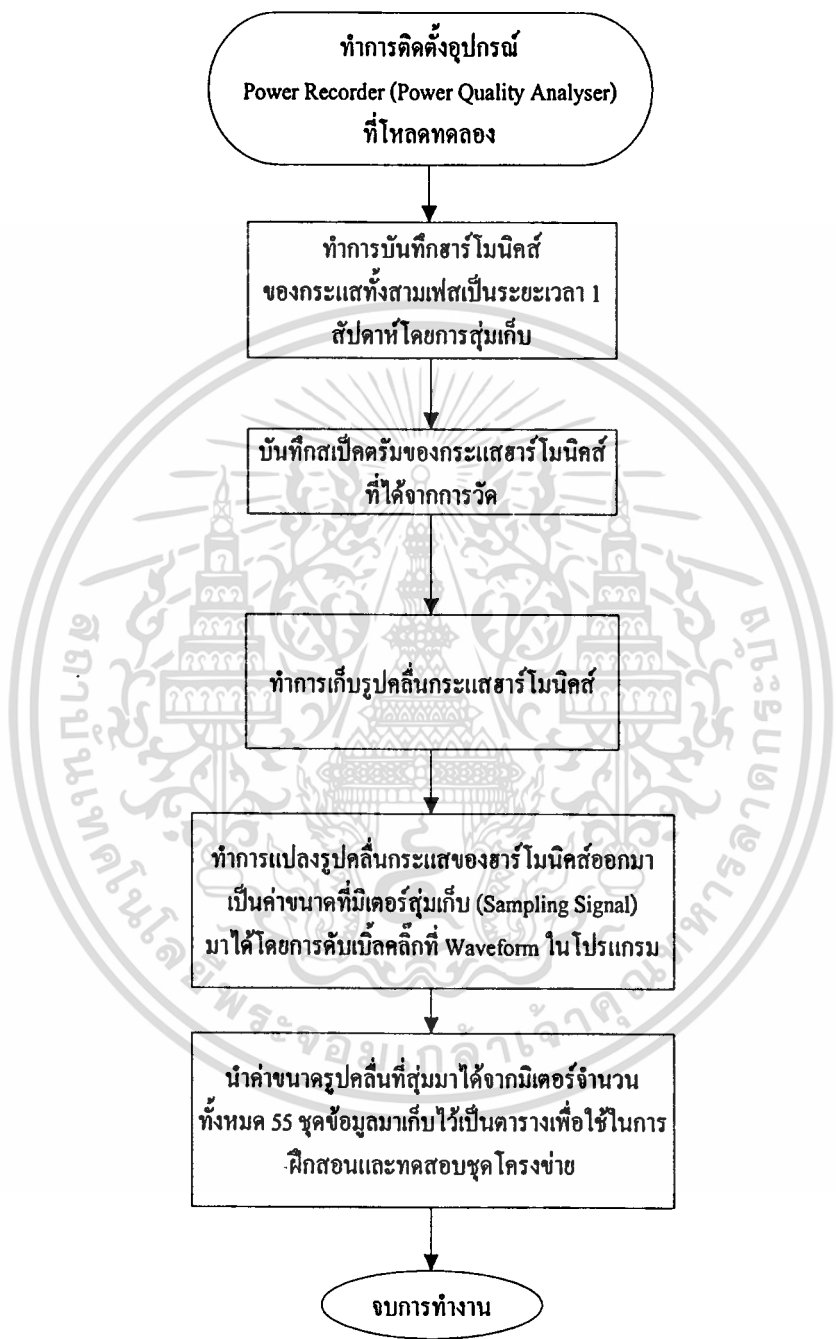
ค่าที่	Amp
0	89.3466
1	183.275
2	258.876
3	311.568
4	378.005
5	435.278
6	492.552
7	538.371
8	579.608
9	613.972
:	:
127	-11.4547

รูปภาคผนวกที่ 4 แสดงรูปตัวอย่างของขนาดกระแสที่โปรแกรมแสดงผลจากการดับเบิ้ลคลิกกราฟ

จากรูปภาคผนวกที่ 3 เราทำการดับเบิ้ลคลิกที่รูปคลื่นกระแสก็จะได้ขนาดของค่าที่มีเตอร์สุ่มมาได้ทั้ง 128 ในหนึ่งคาบดังแสดงในรูปภาคผนวกที่ 4 ซึ่งเราจะนำค่านี้ไปเป็นชุดอินพุตให้กับชุดโครงข่ายประสาทเทียม โดยในตารางภาคผนวกนี้จะแสดงขนาดของกระแสฮาร์โมนิกส์ที่มีเตอร์ทำการสุ่มเก็บมาได้ทั้ง 55 ชุดข้อมูลต่อหนึ่งโหลทดลองซึ่งในส่วนของตารางจะแสดงค่าขนาดกระแสทั้ง 128 ค่าที่มีเตอร์สุ่มเก็บมาได้ในหนึ่งลูกคลื่นดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 1 สำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลดทดลองเบอร์ 33MDB3, ตารางภาคผนวกที่ 2 สำหรับตู้โหลดเบอร์ 33MDB2 และ ตารางภาคผนวกที่ 3 สำหรับตู้โหลดเบอร์ 33MDB1 โดยในกระบวนการวัดค่าสัญญาณกระแสฮาร์โมนิกส์ของโหลดทั้งสามแสดงดังรูปภาคผนวกที่ 5



รูปภาคผนวกที่ 5 แสดง Flow Chart ขั้นตอนการเก็บข้อมูลสัญญาณฮาร์โมนิกส์

ตารางภาคผนวกที่ 1 ข้อมูลที่ Sampling ได้จากโหนดที่ตู้ 33MDB3

ค่า	ข้อมูลที่																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sampling																		
1	59.2	64.2	66.5	64.9	64.9	69.7	54.8	49.8	55.8	58.5	55.0	56.9	60.9	70.0	59.5	59.6	72.2	52.2
2	164.2	173.2	180.8	180.0	175.8	181.7	159.5	153.4	162.2	167.4	161.2	165.4	164.2	181.4	165.8	163.1	184.1	156.1
3	261.6	273.4	284.9	284.7	277.4	284.0	256.9	250.0	260.7	267.8	259.7	265.5	260.5	283.3	264.4	259.4	286.4	252.9
4	348.0	360.7	373.7	373.8	365.3	372.1	343.4	336.1	347.5	355.2	346.5	352.9	346.5	371.4	351.2	345.4	374.5	339.1
5	409.3	421.1	432.6	432.4	425.1	431.7	404.6	397.7	408.4	415.5	407.4	413.2	408.2	431.0	412.1	407.1	434.1	400.6
6	440.3	449.3	456.9	456.1	451.9	457.8	435.6	429.5	438.3	443.5	437.3	441.5	440.3	457.5	441.9	439.1	460.2	432.2
7	432.9	438.0	440.3	438.7	438.6	443.5	428.6	423.6	429.6	432.3	428.8	430.7	434.7	443.8	433.3	433.3	445.9	426.0
8	423.7	424.6	421.4	419.3	423.0	426.4	420.3	416.3	419.2	419.4	418.9	418.2	427.5	427.8	423.4	425.8	429.2	418.7
9	409.0	406.3	399.0	396.9	402.8	404.6	407.6	404.0	404.2	402.4	404.7	401.7	415.2	407.3	409.3	412.9	407.9	406.7
10	405.1	400.0	390.8	389.4	395.1	395.2	406.6	402.7	401.0	398.2	402.5	397.8	413.3	399.7	407.5	410.2	399.3	406.1
11	418.2	412.3	403.7	403.9	406.8	405.2	423.4	418.5	415.8	413.2	418.6	413.2	428.0	411.6	424.1	424.0	410.2	423.0
12	443.7	438.5	432.6	434.9	433.3	430.0	452.7	446.6	443.8	442.4	447.8	442.7	454.5	438.3	453.9	449.5	436.0	452.2
13	484.5	481.0	478.8	483.3	476.5	472.1	496.7	489.4	487.4	487.5	492.1	488.2	495.4	481.7	498.7	489.5	478.7	496.1
14	531.0	529.6	530.8	537.3	526.2	520.9	545.2	537.1	536.3	537.6	541.0	538.9	541.0	531.2	548.0	534.8	527.7	544.6
15	577.0	577.4	580.4	588.3	575.1	569.5	591.2	583.4	583.8	585.5	587.5	587.6	585.1	579.4	594.6	579.1	575.9	591.0
16	623.7	625.2	627.8	636.0	623.7	618.2	635.8	629.5	630.8	631.6	632.5	634.7	629.2	626.8	639.3	623.9	623.5	636.4
17	670.0	671.5	671.3	679.0	670.5	665.7	677.9	674.3	676.1	674.8	675.0	679.0	672.2	672.0	681.1	668.2	669.3	679.8
18	722.2	722.9	718.4	724.7	722.2	718.4	724.8	724.5	726.3	722.1	722.1	727.5	720.9	721.7	727.0	718.6	720.0	728.1

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูล																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sampling	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
19	796.5	796.0	786.7	791.2	795.5	792.9	793.2	796.6	798.1	790.8	790.8	797.1	791.6	793.0	794.3	791.3	792.3	797.9
20	855.4	853.7	840.8	843.4	853.7	852.3	846.9	853.5	854.7	844.8	844.9	851.8	847.4	849.4	847.0	848.9	849.9	852.7
21	914.1	911.8	897.4	898.6	912.4	912.3	901.8	910.8	911.6	900.5	900.6	907.6	903.6	907.0	901.2	906.7	908.6	908.2
22	1001.5	999.4	986.5	986.9	1001.2	1002.1	987.6	997.6	998.4	987.6	987.4	994.1	989.5	995.3	986.7	993.7	997.9	993.7
23	1077.1	1075.9	1067.2	1067.6	1079.2	1080.8	1063.7	1073.5	1074.3	1065.5	1064.9	1070.9	1064.5	1073.5	1062.9	1069.4	1076.8	1068.9
24	1151.5	1151.6	1149.1	1149.8	1156.5	1158.6	1140.4	1149.0	1149.9	1144.1	1143.1	1147.9	1139.3	1151.6	1140.1	1144.3	1155.4	1144.3
25	1216.4	1217.6	1221.9	1223.2	1224.0	1226.2	1208.9	1215.6	1216.2	1214.0	1212.9	1216.0	1205.5	1220.1	1208.9	1210.4	1224.2	1211.0
26	1267.0	1268.6	1278.8	1280.5	1276.0	1278.1	1263.4	1268.2	1268.1	1269.1	1268.4	1269.2	1258.0	1273.2	1263.5	1262.7	1277.4	1263.8
27	1306.4	1307.3	1321.1	1322.6	1314.8	1316.7	1306.2	1309.6	1308.0	1311.3	1311.7	1309.7	1299.7	1313.0	1305.8	1304.1	1317.1	1305.3
28	1333.9	1332.9	1347.5	1348.1	1339.7	1341.3	1336.0	1338.8	1335.1	1339.4	1341.4	1336.3	1329.7	1338.4	1334.6	1333.9	1342.4	1334.2
29	1342.0	1338.1	1350.8	1349.9	1343.6	1344.9	1345.1	1348.1	1342.0	1345.8	1350.0	1341.7	1340.0	1342.4	1342.1	1344.2	1346.0	1343.0
30	1328.0	1321.0	1329.7	1326.9	1324.7	1325.6	1330.9	1334.8	1326.2	1328.8	1334.9	1324.1	1327.8	1323.1	1326.2	1332.1	1326.3	1328.9
31	1295.9	1286.2	1290.1	1285.5	1287.9	1288.7	1297.7	1302.8	1292.3	1293.2	1300.8	1288.3	1296.8	1285.7	1291.4	1301.3	1288.5	1296.2
32	1270.0	1258.9	1258.8	1252.7	1259.1	1259.6	1270.6	1276.6	1265.2	1264.7	1272.8	1259.9	1271.4	1256.1	1263.0	1276.0	1258.2	1269.5
33	1254.3	1243.5	1241.1	1234.2	1242.7	1243.0	1253.8	1260.2	1249.3	1248.3	1255.6	1243.7	1255.5	1239.0	1245.8	1259.9	1240.4	1253.0
34	1243.6	1235.1	1232.6	1225.8	1234.0	1234.2	1242.5	1248.7	1239.5	1239.0	1244.3	1234.9	1244.0	1229.8	1234.8	1248.2	1230.3	1241.9
35	1238.3	1233.6	1233.2	1227.2	1232.9	1232.9	1237.2	1242.5	1236.1	1237.2	1239.3	1233.4	1237.6	1228.3	1230.5	1241.1	1227.9	1236.5
36	1227.7	1227.7	1230.5	1225.8	1227.8	1227.6	1226.8	1230.8	1228.0	1231.1	1229.5	1227.9	1225.5	1223.0	1221.7	1228.3	1221.5	1225.9

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ค่า Sampling	ข้อมูลที																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
37	1218.1	1222.8	1228.8	1225.4	1223.6	1223.3	1217.5	1220.1	1220.8	1225.9	1220.6	1223.3	1214.5	1218.6	1213.8	1216.6	1216.2	1216.3
38	1199.9	1208.5	1216.4	1213.9	1209.6	1209.1	1199.3	1200.9	1204.5	1211.1	1202.6	1209	1195.2	1204.4	1196.8	1196.6	1201.1	1198
39	1188.7	1199.5	1207.3	1205.1	1200.4	1199.8	1187.6	1188.7	1194.2	1201.2	1190.7	1199.6	1183.3	1194.9	1185.7	1184.3	1190.8	1186.5
40	1144.4	1155.6	1160.9	1158.2	1155.4	1154.7	1142.3	1143.6	1149.7	1155.9	1144.8	1154.8	1139	1149.6	1140.2	1139.6	1144.8	1141.6
41	1084.5	1094.3	1095.3	1091.5	1092.5	1091.6	1081.2	1083.1	1088.6	1093.1	1082.7	1092.4	1079.8	1086.3	1078.4	1080.2	1081.1	1081
42	1049.9	1057	1053	1047.8	1053.4	1052.2	1045.6	1048.3	1052.2	1054.7	1045.9	1054.1	1046.5	1047	1041.7	1046.9	1041.3	1046
43	1028.2	1032.1	1023.8	1017.4	1026.7	1025.2	1023.8	1026.9	1028.7	1029.6	1022.9	1028.7	1026.9	1020.5	1018.7	1027	1014.7	1024.4
44	1007.3	1008.4	997.7	990.4	1001.6	999.8	1004	1006.8	1006.5	1006.6	1002.3	1005.2	1008.5	996.1	998.1	1008.3	990.1	1004.5
45	1001	1000.2	989.9	982.4	992.7	990.6	1000.2	1001.8	999.8	1000.4	998	998	1004.9	988.5	994	1004.1	982.5	999.9
46	994.7	993.1	986.1	979.1	985.8	983.6	997.4	997	994	996.4	995.3	992.7	1001.3	983.3	991.5	999.8	977.5	995.9
47	1000	998.8	997.1	991.3	992.4	990.1	1006.6	1003.7	1000.4	1005.5	1005.1	1000.5	1008.8	991.7	1001.7	1006.5	986.3	1003.6
48	1006.6	1006.5	1011.2	1006.8	1001.6	999.5	1017	1011.5	1008.4	1016.6	1016.4	1010.3	1017.1	1002.9	1013.4	1014.2	998	1012.4
49	1037.1	1038.3	1048.6	1045.5	1035	1033.3	1050	1042.5	1040	1050.7	1050.4	1043.4	1048.5	1037.9	1047.8	1045.2	1033.8	1044.2
50	1075.2	1077.3	1091.4	1089.1	1075.5	1074.6	1088.8	1080.3	1078.5	1090.4	1090	1082.7	1086.4	1079.6	1087.7	1083.3	1076.4	1082.3
51	1100.2	1102.5	1117.4	1115.3	1101.8	1102	1112.3	1104.1	1102.7	1114.4	1114	1106.7	1110.3	1106.3	1111.9	1107.7	1104.4	1105.8
53	1113.6	1115.3	1128.2	1125.6	1115.4	1116.8	1122.2	1115.5	1114.4	1124.2	1124.1	1117.3	1121.7	1119.6	1122.1	1120.1	1119.1	1116.3
53	1101.2	1101.8	1110.4	1107	1102.2	1104.9	1104.7	1100.6	1099.6	1106.3	1106.6	1100.6	1106.6	1105.7	1104.6	1106.3	1106.6	1100.2
54	1087.3	1086.6	1090	1085.6	1087.3	1091.1	1085.1	1083.8	1083.1	1086.1	1086.8	1081.9	1089.5	1089.6	1084.9	1090.7	1091.9	1082.1

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที่																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sampling																		
55	1057.5	1056.0	1054.5	1049.7	1057.0	1061.9	1050.1	1051.5	1051.3	1050.8	1051.5	1048.4	1056.6	1058.3	1050.0	1059.0	1061.8	1048.8
56	1014.4	1013.0	1008.2	1003.6	1014.4	1020.0	1003.0	1006.3	1007.1	1004.0	1004.3	1003.3	1010.6	1014.9	1003.4	1013.8	1019.3	1003.1
57	965.6	965.2	959.5	956.1	967.5	973.2	952.3	956.3	958.5	954.0	953.5	954.9	959.6	967.7	953.7	963.0	972.6	953.4
58	911.2	912.5	908.2	906.9	915.9	921.3	897.9	901.6	905.5	900.8	899.2	903.0	903.6	916.2	900.8	906.7	921.3	899.6
59	858.5	862.0	860.6	862.1	866.4	871.0	847.4	849.7	855.3	851.3	848.7	854.6	850.4	867.3	852.0	852.7	872.2	849.2
60	784.5	789.7	791.6	796.0	794.9	798.3	776.7	777.2	784.0	781.0	777.9	785.3	776.8	796.6	782.9	777.8	801.0	778.6
61	684.4	690.3	694.5	701.7	695.7	697.6	680.6	679.3	686.4	684.2	681.3	689.2	678.0	698.3	687.9	677.7	702.0	682.5
62	567.4	572.5	577.0	586.2	577.3	577.5	567.3	564.6	571.1	568.7	567.1	574.4	562.9	580.7	575.0	561.3	583.5	569.4
63	458.1	460.8	463.1	473.7	464.3	462.7	461.0	457.7	462.4	458.8	459.4	465.2	455.9	468.2	468.5	453.2	470.2	463.7
64	290.4	289.5	287.4	298.3	291.0	287.8	295.3	292.1	294.3	288.5	291.9	295.6	290.6	295.1	301.8	287.1	296.3	298.8
65	177.8	172.7	165.0	175.7	172.0	167.4	183.8	181.2	180.6	172.0	178.6	179.8	180.3	176.0	189.0	176.2	176.6	188.2
66	60.1	51.0	37.9	48.0	48.3	42.7	66.4	64.7	61.5	50.2	59.6	58.5	64.3	52.1	70.2	59.9	52.2	71.7
67	-51.4	-63.2	-80.3	-70.7	-67.2	-73.6	-45.0	-46.0	-51.0	-64.2	-52.9	-55.6	-45.9	-63.6	-42.1	-50.4	-63.8	-39.0
68	-150.7	-163.5	-182.1	-172.7	-168.1	-174.7	-144.3	-145.1	-150.7	-164.7	-152.7	-155.9	-144.9	-164.6	-141.9	-149.4	-164.9	-138.2
69	-219.3	-231.1	-248.3	-238.6	-235.2	-241.6	-212.9	-213.9	-218.9	-232.2	-220.9	-223.5	-213.9	-231.6	-210.1	-218.4	-231.8	-207.0
70	-240.4	-249.5	-262.6	-252.5	-252.1	-257.8	-234.0	-235.8	-238.9	-250.3	-240.9	-242.0	-236.1	-248.3	-230.2	-240.5	-248.2	-228.8
71	-244.9	-250.1	-257.7	-247.0	-250.7	-255.3	-238.9	-241.5	-242.1	-250.7	-244.2	-243.0	-242.5	-246.7	-233.8	-246.6	-246.1	-234.5
72	-250.9	-251.8	-253.9	-243.0	-250.3	-253.5	-246.0	-249.2	-247.0	-252.8	-249.4	-245.7	-250.7	-246.2	-239.5	-254.2	-245.0	-242.5

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ค่า Sampling	ข้อมูลที่																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
73	-247.8	-245.2	-242.8	-232.3	-241.7	-243.3	-244.9	-248.3	-243.5	-247.1	-246.6	-240.8	-250.1	-237.8	-237.5	-252.8	-235.8	-242.3
74	-258.6	-253.6	-249.1	-239.8	-248.7	-248.6	-258.7	-261.4	-255.0	-257.3	-259.0	-251.6	-263.2	-245.3	-251.0	-264.8	-242.5	-256.6
75	-273.5	-267.6	-263.4	-256.2	-262.2	-260.3	-277.3	-278.6	-271.5	-273.7	-276.6	-268.7	-279.9	-259.6	-270.0	-280.2	-255.9	-275.4
76	-303.7	-298.6	-296.6	-292.2	-293.3	-289.9	-311.5	-311.0	-304.2	-307.2	-310.3	-303.0	-311.4	-291.6	-305.4	-310.4	-287.2	-309.6
77	-345.2	-341.7	-343.1	-341.6	-337.3	-332.7	-356.3	-354.0	-348.4	-352.4	-355.0	-349.1	-353.3	-336.4	-351.8	-351.0	-331.5	-354.5
78	-397.4	-396.0	-400.3	-401.6	-392.6	-387.3	-410.6	-407.0	-403.0	-407.8	-409.3	-405.5	-404.9	-392.4	-407.7	-401.9	-387.3	-408.9
79	-456.3	-456.8	-462.4	-465.8	-454.4	-448.7	-469.7	-465.6	-463.4	-468.0	-468.4	-467.1	-462.4	-454.3	-468.2	-459.0	-449.3	-468.6
80	-509.2	-510.7	-515.4	-520.0	-509.2	-503.7	-520.6	-517.4	-516.6	-519.7	-519.4	-520.4	-513.0	-508.7	-520.2	-509.9	-504.3	-520.5
81	-564.1	-565.6	-567.1	-571.9	-564.6	-559.7	-571.5	-570.2	-570.4	-570.8	-570.1	-573.2	-565.0	-563.3	-571.6	-562.6	-559.8	-572.8
82	-650.0	-650.7	-647.3	-651.7	-650.0	-646.2	-652.2	-653.5	-654.2	-651.2	-650.5	-655.4	-647.8	-647.7	-652.4	-646.6	-645.4	-655.2
83	-734.9	-734.4	-725.7	-729.2	-733.9	-731.3	-731.4	-735.6	-736.6	-729.8	-729.5	-735.6	-729.6	-730.5	-731.6	-729.8	-729.5	-736.0
84	-815.6	-813.9	-801.0	-803.6	-813.8	-812.5	-807.1	-813.7	-814.8	-805.0	-805.1	-812.0	-807.6	-809.6	-807.2	-809.1	-810.1	-812.9
85	-934.5	-932.2	-917.3	-919.4	-932.9	-932.7	-922.4	-930.6	-932.0	-920.3	-920.7	-928.0	-924.4	-928.4	-922.8	-927.0	-930.3	-928.9
86	-1026.7	-1024.6	-1010.5	-1012.8	-1026.4	-1027.3	-1013.1	-1021.6	-1023.5	-1011.5	-1011.9	-1019.2	-1015.5	-1022.4	-1014.2	-1018.6	-1025.5	-1019.6
87	-1122.4	-1121.2	-1110.9	-1114.0	-1124.5	-1126.2	-1109.5	-1117.0	-1119.5	-1108.8	-1109.1	-1116.1	-1111.0	-1121.6	-1111.7	-1114.3	-1125.7	-1115.3
88	-1225.3	-1225.4	-1220.7	-1225.1	-1230.3	-1232.4	-1214.9	-1220.4	-1223.5	-1215.3	-1215.5	-1221.6	-1214.7	-1229.0	-1218.5	-1217.6	-1233.9	-1219.4
89	-1313.2	-1314.5	-1316.1	-1321.9	-1320.8	-1323.1	-1306.6	-1309.5	-1312.8	-1307.7	-1308.1	-1312.7	-1304.4	-1321.5	-1311.5	-1306.7	-1326.9	-1309.6
90	-1386.0	-1387.6	-1394.6	-1401.6	-1394.9	-1397.1	-1383.3	-1383.7	-1386.7	-1384.3	-1385.4	-1388.0	-1379.4	-1397.4	-1389.2	-1380.9	-1403.2	-1384.8

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

คำ	ข้อมูลที																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sampling																		
91	-1446.4	-1447.3	-1457.6	-1465.1	-1454.8	-1456.9	-1447.3	-1445.7	-1447.7	-1447.1	-1449.5	-1449.5	-1442.6	-1459.0	-1453.5	-1443.4	-1465.0	-1447.6
92	-1498.5	-1497.4	-1508.1	-1515.4	-1504.2	-1506.0	-1501.8	-1499.0	-1499.3	-1499.2	-1503.6	-1500.7	-1497.4	-1509.7	-1507.7	-1497.6	-1515.7	-1501.4
93	-1523.1	-1519.2	-1527.5	-1533.9	-1524.6	-1526.1	-1527.5	-1524.4	-1522.6	-1521.7	-1528.4	-1522.6	-1524.4	-1530.8	-1532.6	-1524.3	-1536.7	-1526.9
94	-1533.6	-1526.5	-1530.5	-1535.7	-1530.2	-1531.3	-1537.9	-1535.2	-1531.3	-1528.8	-1537.6	-1529.4	-1537.0	-1536.5	-1541.8	-1536.6	-1542.2	-1537.5
95	-1524.6	-1514.9	-1513.9	-1517.6	-1516.6	-1517.6	-1528.0	-1526.1	-1520.6	-1516.0	-1526.5	-1516.7	-1529.4	-1522.8	-1530.8	-1528.9	-1528.1	-1528.1
96	-1520.7	-1509.5	-1504.2	-1506.9	-1509.7	-1510.4	-1522.8	-1521.5	-1515.4	-1509.2	-1520.3	-1510.3	-1526.1	-1515.5	-1524.9	-1525.5	-1520.3	-1523.5
97	-1514.1	-1503.3	-1495.5	-1497.8	-1502.5	-1503.1	-1515.3	-1514.2	-1508.6	-1501.7	-1512.1	-1503.2	-1519.6	-1508.0	-1517.2	-1518.6	-1512.1	-1516.4
98	-1509.1	-1500.5	-1492.5	-1495.1	-1499.4	-1499.8	-1509.7	-1508.1	-1504.5	-1497.9	-1506.3	-1500.0	-1513.8	-1504.6	-1512.2	-1512.4	-1507.9	-1510.9
99	-1503.6	-1498.8	-1492.8	-1496.3	-1498.1	-1498.3	-1504.1	-1501.5	-1500.8	-1495.7	-1501.0	-1498.4	-1507.2	-1503.0	-1507.8	-1505.1	-1505.4	-1505.3
100	-1502.9	-1502.9	-1500.1	-1504.8	-1502.9	-1503.0	-1503.8	-1499.8	-1502.6	-1499.5	-1501.1	-1502.7	-1505.1	-1507.6	-1508.9	-1502.3	-1509.1	-1504.7
101	-1499.7	-1504.4	-1504.8	-1510.8	-1505.1	-1505.1	-1500.9	-1495.6	-1501.9	-1500.9	-1498.8	-1504.6	-1500.5	-1509.7	-1507.5	-1496.9	-1510.1	-1501.6
102	-1484.5	-1493.0	-1495.5	-1502.3	-1494.1	-1493.9	-1485.6	-1479.4	-1488.6	-1489.1	-1483.8	-1493.2	-1484.1	-1498.3	-1493.3	-1479.9	-1497.8	-1486.2
103	-1454.6	-1465.4	-1467.8	-1474.6	-1466.1	-1465.8	-1455.1	-1448.6	-1459.6	-1460.6	-1453.3	-1465.2	-1453.4	-1469.8	-1463.1	-1448.9	-1468.5	-1455.8
104	-1406.6	-1417.7	-1417.8	-1423.9	-1417.5	-1417.0	-1406.0	-1400.0	-1411.3	-1411.8	-1403.7	-1416.7	-1405.2	-1420.5	-1413.5	-1400.6	-1418.3	-1407.1
105	-1364.9	-1374.6	-1370.6	-1375.2	-1372.8	-1372.1	-1363.0	-1358.0	-1368.4	-1367.5	-1359.9	-1372.5	-1364.0	-1375.0	-1369.4	-1359.4	-1372.3	-1364.6
106	-1308.6	-1315.7	-1307.0	-1309.7	-1312.0	-1311.0	-1305.8	-1301.8	-1310.4	-1307.9	-1301.7	-1312.6	-1308.9	-1313.6	-1310.4	-1304.5	-1310.3	-1307.7
107	-1266.9	-1270.7	-1258.1	-1258.9	-1265.3	-1264.0	-1263.8	-1260.7	-1266.9	-1263.0	-1258.9	-1267.1	-1268.9	-1266.5	-1266.7	-1264.7	-1262.8	-1265.9
108	-1222.9	-1224.0	-1209.3	-1208.7	-1217.1	-1215.5	-1220.9	-1218.0	-1221.7	-1217.5	-1215.4	-1220.5	-1227.2	-1218.4	-1222.2	-1223.0	-1214.5	-1222.6

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sampling																		
109	-1186.2	-1185.3	-1171.4	-1169.9	-1177.8	-1175.9	-1186.4	-1182.9	-1184.5	-1181.3	-1180.9	-1182.9	-1192.8	-1179.6	-1186.7	-1188.4	-1175.5	-1187.3
110	-1146.7	-1145.0	-1134.9	-1133.2	-1137.7	-1135.6	-1150.3	-1145.4	-1145.6	-1144.6	-1145.3	-1144.4	-1155.6	-1140.5	-1150.2	-1151.0	-1136.3	-1149.8
111	-1129.8	-1128.6	-1124.3	-1123.0	-1122.2	-1120.0	-1137.3	-1130.6	-1130.0	-1132.2	-1133.3	-1130.2	-1140.8	-1126.1	-1137.3	-1135.8	-1122.0	-1135.2
112	-1125.7	-1125.6	-1128.1	-1127.3	-1120.6	-1118.6	-1136.7	-1128.2	-1127.3	-1133.1	-1134.1	-1129.2	-1137.9	-1125.6	-1137.1	-1132.8	-1121.8	-1132.9
113	-1145.3	-1146.5	-1155.2	-1154.9	-1143.2	-1141.6	-1158.7	-1148.9	-1148.1	-1156.9	-1157.6	-1151.5	-1157.9	-1148.9	-1159.5	-1153.1	-1145.6	-1153.5
114	-1154.3	-1156.4	-1169.3	-1168.9	-1154.6	-1153.7	-1168.2	-1158.2	-1157.4	-1168.2	-1168.4	-1161.7	-1166.4	-1160.5	-1169.1	-1162.1	-1157.9	-1162.1
115	-1138.9	-1141.2	-1155.5	-1154.4	-1140.5	-1140.7	-1151.1	-1142.2	-1141.3	-1152.4	-1152.4	-1145.4	-1149.4	-1145.9	-1151.8	-1146.3	-1144.3	-1144.8
116	-1098.5	-1100.2	-1113.1	-1110.5	-1100.3	-1101.6	-1107.0	-1100.4	-1099.2	-1109.1	-1109.0	-1102.1	-1106.5	-1104.5	-1106.9	-1105.0	-1104.0	-1101.2
117	-1032.7	-1033.2	-1042.4	-1038.0	-1033.7	-1036.3	-1036.0	-1032.6	-1031.1	-1038.4	-1038.4	-1032.1	-1037.6	-1036.2	-1034.9	-1037.9	-1036.9	-1031.3
118	-979.6	-978.9	-983.4	-977.2	-979.6	-983.4	-977.1	-977.4	-975.5	-979.8	-979.8	-974.4	-981.0	-980.1	-974.9	-983.3	-981.9	-973.8
119	-927.5	-926.0	-926.1	-918.5	-927.0	-931.8	-919.5	-923.2	-921.4	-922.7	-922.5	-918.4	-925.3	-925.5	-916.4	-929.3	-928.2	-917.7
120	-865.0	-863.6	-861.0	-852.8	-865.1	-870.5	-853.0	-859.3	-857.9	-857.1	-856.2	-854.0	-859.6	-861.9	-849.4	-864.9	-865.2	-852.4
121	-804.6	-804.2	-801.2	-793.3	-806.6	-812.1	-790.5	-798.2	-797.8	-796.1	-794.1	-794.0	-796.5	-802.2	-787.0	-802.6	-805.8	-790.7
122	-734.9	-736.3	-735.1	-728.6	-739.7	-745.0	-720.7	-728.8	-729.6	-728.3	-724.9	-727.0	-724.9	-734.7	-717.9	-731.1	-738.2	-721.4
123	-672.7	-676.2	-678.4	-673.8	-680.6	-685.1	-660.4	-667.8	-669.8	-669.7	-665.1	-669.0	-661.8	-675.4	-658.4	-667.6	-678.5	-661.1
124	-576.4	-581.6	-587.5	-585.2	-586.8	-590.1	-567.4	-573.5	-576.3	-577.7	-572.3	-577.4	-565.6	-581.8	-566.2	-570.6	-584.1	-567.9
125	-473.6	-479.4	-488.0	-487.8	-484.9	-486.5	-468.4	-473.2	-476.0	-478.5	-473.1	-478.5	-463.7	-480.1	-467.6	-467.8	-481.5	-468.8
126	-327.5	-332.6	-341.8	-343.1	-337.5	-337.4	-326.0	-329.9	-331.6	-334.4	-330.0	-334.8	-319.3	-332.9	-325.1	-322.4	-333.3	-326.5

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูล																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sampling																		
127	-199.6	-202.3	-209.6	-211.7	-205.8	-204.0	-201.0	-204.6	-204.4	-206.2	-203.9	-207.0	-193.5	-201.3	-199.3	-195.8	-200.7	-201.9
128	-80.9	-80.1	-83.2	-85.4	-81.6	-78.2	-84.3	-88.4	-85.4	-85.3	-85.7	-86.4	-77.1	-76.9	-81.2	-78.8	-75.4	-86.0



ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ค่า Sampling	ข้อมูลที																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
1	62.5	58.5	33.6	31.4	43.1	58.8	40.3	37.3	45.8	48.0	51.1	45.4	38.6	51.7	36.2	32.8	30.6	40.4
2	173.5	162.4	134.7	153.5	169.4	160.6	165.0	131.4	157.8	153.0	165.9	169.9	138.0	152.3	158.3	154.3	158.1	150.0
3	275.2	259.1	229.3	263.7	282.9	255.4	277.1	220.8	260.5	250.4	270.3	281.8	231.4	246.3	268.6	264.2	272.4	251.0
4	363.2	345.3	314.7	354.8	375.3	340.9	368.9	304.2	348.9	336.8	359.3	373.6	316.4	331.4	359.7	355.2	365.1	338.7
5	422.9	406.8	377.0	411.4	430.6	403.1	424.8	368.5	408.2	398.1	418.0	429.6	379.2	394.0	416.3	411.9	420.1	398.7
6	449.5	438.5	410.8	429.6	445.5	436.6	441.0	407.5	433.8	429.1	441.9	445.9	414.1	428.3	434.4	430.4	434.2	426.1
7	436.2	432.3	407.3	405.2	416.9	432.6	414.1	411.0	419.5	421.7	424.9	419.1	412.3	425.4	410.0	406.5	404.4	414.1
8	421.1	424.5	402.3	379.9	387.7	426.3	386.2	412.7	404.1	412.6	405.7	391.3	409.2	420.2	384.7	381.8	373.8	400.7
9	402.1	411.6	391.3	355.2	360.8	413.1	359.6	405.9	386.1	398.3	383.3	364.5	399.8	407.9	360.1	357.6	345.5	383.7
10	396.5	409.3	389.9	350.5	356.5	408.5	354.1	404.9	383.1	394.7	375.5	358.6	399.5	403.7	355.6	353.4	340.1	380.2
11	411.0	423.9	404.1	372.9	381.8	418.8	377.2	415.6	401.6	408.3	389.3	380.7	414.0	413.8	378.2	376.2	364.9	396.8
12	440.4	450.7	429.8	416.0	429.4	440.0	421.7	434.3	435.8	434.3	419.6	423.8	438.9	434.4	421.2	419.2	412.8	428.2
13	486.3	492.1	470.2	478.1	496.2	476.0	485.7	466.5	486.2	475.5	467.4	485.7	477.7	469.6	483.0	481.0	480.9	476.0
14	537.7	538.7	516.9	544.3	565.6	518.6	553.5	505.5	540.8	522.4	521.1	551.0	521.7	511.6	548.5	546.7	552.6	529.1
15	586.7	584.1	564.1	603.5	625.0	562.7	613.2	547.8	591.0	568.6	572.5	607.8	565.7	555.6	606.4	605.0	615.4	579.7
16	633.8	629.6	613.6	653.7	671.7	610.3	662.5	596.5	636.6	615.4	621.3	654.1	611.7	603.7	654.9	654.1	666.2	628.2
17	677.6	674.2	664.2	693.4	704.3	660.0	699.8	650.6	676.7	661.7	666.2	688.7	658.8	654.8	692.6	692.7	703.6	673.3
18	725.2	724.4	721.8	731.4	732.8	717.7	734.4	714.9	719.2	714.2	714.6	721.1	713.4	714.3	728.5	729.8	737.0	722.2

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ค่า Sampling	ข้อมูลที																											
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36										
37	1219.2	1214.0	1237.9	1257.8	1250.3	1222.2	1254.0	1226.6	1234.9	1227.7	1240.3	1244.5	1226.9	1225.2	1251.6	1253.0	1259.5	1239.4										
38	1204.6	1195.1	1218.2	1252.0	1247.0	1202.9	1251.1	1200.2	1219.1	1206.5	1226.0	1234.9	1201.7	1203.3	1244.1	1245.3	1257.1	1223.9										
39	1194.3	1183.5	1206.7	1244.2	1239.6	1192.2	1245.0	1185.6	1206.7	1192.6	1214.7	1223.1	1185.8	1190.7	1234.8	1235.9	1250.1	1212.9										
40	1148.0	1139.0	1163.1	1193.1	1186.7	1150.3	1194.2	1143.4	1157.3	1145.9	1166.0	1168.1	1139.7	1147.7	1182.6	1183.8	1196.8	1165.7										
41	1083.6	1079.3	1104.8	1117.9	1108.1	1094.1	1118.1	1090.2	1089.4	1084.1	1098.0	1089.6	1080.6	1091.1	1106.7	1108.2	1116.9	1100.6										
42	1043.2	1045.2	1071.9	1063.6	1050.0	1063.6	1062.1	1064.5	1045.9	1048.2	1053.5	1033.3	1048.8	1060.8	1052.4	1054.0	1056.7	1059.6										
43	1016.2	1024.4	1051.3	1023.1	1006.9	1045.1	1020.0	1051.0	1017.0	1026.0	1022.6	992.8	1030.9	1042.9	1012.6	1014.2	1010.8	1031.9										
44	991.9	1004.8	1030.0	989.3	973.0	1025.5	985.2	1034.8	992.7	1005.4	995.4	961.4	1013.7	1023.8	980.3	981.7	973.4	1006.8										
45	985.1	1000.0	1021.4	979.3	966.2	1017.9	975.3	1027.8	988.2	1000.1	987.2	956.4	1009.9	1016.5	972.4	973.2	962.7	999.1										
46	981.4	995.2	1010.9	979.0	972.2	1007.7	976.4	1015.2	988.7	993.3	983.6	963.3	1004.6	1006.2	974.7	974.7	965.0	994.3										
47	991.7	1001.7	1010.4	997.9	999.4	1007.2	997.6	1009.7	1004.3	1002.3	995.4	990.8	1009.3	1005.4	996.5	995.4	988.8	1003.2										
48	1004.6	1009.4	1010.8	1021.3	1031.6	1007.5	1023.7	1003.8	1022.4	1010.8	1010.4	1023.1	1014.3	1005.2	1022.7	1020.6	1018.4	1014.5										
49	1040.9	1040.6	1035.4	1066.5	1084.0	1032.4	1071.1	1023.1	1062.4	1042.7	1048.9	1076.1	1042.7	1029.9	1070.1	1067.2	1069.1	1048.8										
50	1082.9	1078.7	1068.8	1112.2	1134.0	1067.0	1118.2	1054.0	1105.6	1081.8	1092.2	1127.7	1079.0	1064.5	1117.6	1114.2	1118.5	1088.6										
51	1109.0	1103.2	1091.0	1135.1	1156.9	1091.2	1141.0	1077.4	1129.8	1106.9	1118.5	1153.8	1102.8	1089.2	1141.3	1137.8	1142.1	1112.2										
53	1120.7	1115.6	1103.6	1136.5	1154.5	1106.7	1141.2	1095.0	1136.4	1119.8	1128.9	1155.8	1115.9	1105.6	1142.8	1139.5	1141.4	1121.2										
53	1104.4	1101.9	1091.8	1104.9	1116.1	1098.4	1107.4	1091.0	1112.7	1106.1	1110.2	1122.4	1103.6	1098.4	1110.7	1108.0	1105.6	1102.2										
54	1085.8	1086.4	1079.2	1069.5	1072.5	1089.3	1069.4	1087.0	1085.6	1090.4	1088.6	1083.6	1089.5	1090.4	1074.1	1072.2	1065.2	1080.7										

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

คำ	ข้อมูลที																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Sampling																		
55	1052.2	1055.2	1050.6	1021.4	1016.9	1063.8	1019.2	1065.6	1043.7	1058.5	1052.0	1031.6	1058.8	1065.6	1024.7	1023.6	1013.1	1044.4
56	1007.3	1011.0	1007.8	967.6	958.2	1023.0	964.4	1026.6	992.2	1013.1	1004.5	974.5	1013.4	1025.0	969.7	969.2	957.6	997.0
57	959.6	961.6	958.0	918.3	907.5	973.9	915.6	976.3	940.1	962.2	955.0	923.1	960.9	975.5	919.5	919.5	909.6	947.0
58	908.8	907.1	901.0	873.3	864.6	916.5	872.4	914.9	887.8	905.8	903.2	877.3	901.5	916.9	874.0	874.0	868.7	894.2
59	861.6	855.0	845.1	836.9	833.1	859.0	838.7	851.7	841.3	851.5	855.2	841.4	843.8	857.8	837.5	837.5	838.4	845.5
60	793.3	782.1	767.6	781.0	783.6	779.2	785.8	766.2	775.2	776.1	785.9	786.7	765.2	776.4	782.0	781.7	788.9	776.0
61	697.6	683.7	664.7	695.5	704.1	674.0	702.8	656.8	682.1	674.9	688.5	702.6	662.3	669.8	697.1	696.6	708.7	679.6
62	582.4	568.6	546.3	585.3	598.1	553.4	594.0	535.0	569.1	556.9	570.3	593.1	544.7	548.4	587.5	587.0	601.3	564.2
63	471.9	461.3	437.3	473.1	487.3	442.8	481.8	426.7	459.5	446.7	455.6	480.6	437.3	437.6	475.9	475.5	488.6	453.6
64	300.1	295.5	271.4	293.4	306.4	276.1	300.8	265.2	287.4	278.2	278.7	299.6	273.5	271.1	296.7	296.6	305.7	282.1
65	181.9	184.6	161.6	163.3	173.2	166.0	168.6	162.2	167.8	164.9	155.1	167.7	165.8	161.8	166.9	167.3	170.5	164.2
66	58.4	68.2	46.8	27.5	33.6	51.2	30.6	54.4	42.5	46.6	26.8	29.9	52.9	47.9	31.2	32.0	29.4	41.0
67	-57.3	-42.4	-62.5	-97.4	-94.2	-57.8	-96.0	-49.5	-74.6	-65.2	-92.1	-96.5	-55.1	-60.5	-93.6	-92.4	-99.5	-74.4
68	-158.2	-141.5	-161.1	-201.7	-199.6	-156.3	-200.9	-146.1	-176.0	-164.7	-194.1	-201.4	-153.2	-158.7	-197.8	-196.6	-205.2	-175.2
69	-225.3	-210.4	-230.5	-265.4	-262.2	-225.8	-264.0	-217.5	-242.5	-233.2	-260.0	-264.5	-223.1	-228.5	-261.5	-260.4	-267.4	-242.4
70	-242.1	-232.3	-253.7	-273.0	-266.9	-249.2	-269.9	-246.0	-257.9	-253.9	-273.6	-270.6	-247.6	-252.6	-269.3	-268.4	-271.1	-259.5
71	-240.8	-238.1	-261.1	-259.5	-249.6	-256.8	-254.1	-260.5	-254.9	-257.8	-267.6	-255.1	-256.9	-261.0	-255.9	-255.5	-252.2	-258.5
72	-241.2	-245.8	-269.9	-247.9	-234.9	-265.2	-240.5	-276.1	-253.9	-263.1	-262.6	-241.7	-267.8	-270.2	-244.6	-244.7	-235.6	-259.2

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

คำ	ข้อมูล																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Sampling																		
73	-234.1	-244.7	-268.6	-232.9	-218.7	-263.1	-224.2	-279.3	-246.5	-259.2	-250.4	-225.4	-268.7	-268.4	-230.1	-230.5	-217.4	-252.3
74	-243.6	-257.5	-279.7	-240.7	-228.0	-272.6	-232.0	-291.0	-257.0	-269.1	-255.7	-233.0	-281.3	-277.7	-238.5	-239.0	-224.8	-261.9
75	-260.3	-274.2	-293.2	-262.4	-253.8	-283.9	-255.1	-301.1	-275.8	-283.0	-269.4	-255.3	-295.6	-288.1	-260.8	-261.3	-249.2	-278.3
76	-295.0	-306.1	-320.6	-307.2	-304.7	-309.0	-302.4	-322.1	-313.1	-312.1	-302.3	-301.5	-323.0	-311.8	-306.3	-306.5	-299.3	-312.2
77	-342.1	-348.7	-358.6	-366.8	-370.6	-344.7	-365.0	-352.0	-362.4	-352.2	-348.5	-362.3	-360.0	-345.9	-366.2	-366.2	-365.3	-358.2
78	-399.8	-401.5	-407.5	-435.3	-444.0	-392.0	-436.2	-393.6	-420.8	-402.8	-405.4	-431.3	-407.0	-391.7	-434.6	-434.5	-439.8	-414.3
79	-462.4	-460.4	-464.0	-503.6	-514.5	-448.0	-506.3	-445.6	-481.8	-459.7	-466.9	-498.9	-461.1	-446.5	-502.4	-502.5	-512.3	-475.0
80	-516.4	-512.7	-515.8	-556.1	-565.5	-500.6	-559.2	-497.0	-531.5	-510.5	-519.1	-549.2	-510.3	-498.6	-554.0	-554.4	-566.1	-526.7
81	-569.4	-566.4	-571.0	-600.3	-604.7	-557.8	-602.4	-556.0	-577.9	-563.1	-569.6	-590.0	-562.8	-556.0	-596.9	-598.0	-608.5	-577.2
82	-651.5	-650.9	-658.1	-667.8	-664.8	-648.0	-667.9	-650.3	-651.7	-646.9	-648.7	-653.7	-647.8	-646.9	-663.2	-665.1	-672.1	-656.6
83	-731.7	-734.3	-744.4	-731.2	-720.0	-737.8	-728.8	-745.1	-723.4	-730.0	-725.9	-713.8	-732.6	-737.8	-725.5	-728.2	-730.5	-734.0
84	-808.5	-813.6	-825.7	-792.7	-774.7	-822.5	-788.1	-834.2	-792.8	-809.4	-800.3	-773.5	-813.3	-823.7	-786.4	-789.7	-787.9	-808.0
85	-925.7	-931.5	-943.7	-899.6	-877.8	-943.5	-893.7	-957.3	-904.9	-927.8	-916.2	-880.9	-931.9	-945.5	-893.4	-896.9	-892.6	-922.5
86	-1019.0	-1023.2	-1033.1	-989.7	-967.9	-1034.9	-983.7	-1048.0	-996.3	-1020.2	-1009.7	-974.2	-1023.0	-1037.4	-984.3	-987.8	-983.5	-1013.3
87	-1118.6	-1118.9	-1124.1	-1093.0	-1075.5	-1127.1	-1088.4	-1136.4	-1097.1	-1116.8	-1110.6	-1083.4	-1116.8	-1129.6	-1089.3	-1092.3	-1090.4	-1110.7
88	-1227.2	-1222.4	-1221.1	-1210.5	-1200.3	-1224.4	-1208.2	-1228.0	-1209.5	-1221.1	-1221.4	-1208.8	-1217.6	-1226.6	-1209.2	-1211.3	-1213.5	-1217.4
89	-1321.5	-1311.5	-1302.8	-1315.3	-1313.8	-1306.0	-1315.6	-1303.5	-1308.9	-1310.9	-1317.8	-1322.4	-1303.9	-1307.8	-1316.7	-1317.8	-1324.4	-1310.0
90	-1399.3	-1385.6	-1369.8	-1401.7	-1408.6	-1373.0	-1404.3	-1365.5	-1392.0	-1385.4	-1397.1	-1417.4	-1376.1	-1374.5	-1406.0	-1406.0	-1415.7	-1386.4

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Sampling	-1462.4	-1447.5	-1426.1	-1468.2	-1481.3	-1429.6	-1472.2	-1419.6	-1459.3	-1447.4	-1460.3	-1491.1	-1437.6	-1431.0	-1475.1	-1474.3	-1484.7	-1448.4
91	-1513.9	-1501.0	-1475.8	-1516.5	-1532.8	-1480.3	-1520.6	-1471.0	-1513.1	-1500.4	-1510.4	-1544.4	-1492.2	-1482.0	-1525.5	-1524.2	-1532.4	-1499.0
92	-1535.1	-1526.9	-1500.0	-1528.2	-1544.4	-1506.2	-1531.3	-1500.3	-1534.3	-1525.3	-1528.7	-1558.5	-1520.4	-1508.4	-1538.7	-1537.1	-1540.6	-1519.5
93	-1540.3	-1538.3	-1511.6	-1519.9	-1533.5	-1519.9	-1521.4	-1519.0	-1537.6	-1535.3	-1530.0	-1550.2	-1534.7	-1522.7	-1531.1	-1529.5	-1526.8	-1523.9
94	-1525.6	-1529.9	-1504.3	-1491.3	-1501.1	-1515.1	-1491.1	-1519.0	-1519.8	-1525.1	-1511.2	-1519.6	-1528.6	-1518.0	-1502.4	-1501.0	-1492.3	-1508.5
95	-1517.2	-1526.1	-1502.0	-1472.0	-1478.4	-1514.8	-1470.9	-1521.7	-1507.8	-1519.2	-1499.2	-1497.0	-1525.4	-1517.5	-1482.5	-1481.3	-1468.4	-1499.4
96	-1508.6	-1519.4	-1496.2	-1458.7	-1463.3	-1510.7	-1457.9	-1517.2	-1496.2	-1510.3	-1488.2	-1479.8	-1517.0	-1512.2	-1468.1	-1466.9	-1452.8	-1490.0
97	-1504.4	-1513.8	-1490.7	-1456.9	-1462.0	-1506.1	-1457.8	-1508.8	-1489.9	-1502.4	-1483.0	-1474.1	-1507.3	-1505.7	-1464.9	-1463.7	-1451.9	-1485.0
98	-1502.4	-1507.6	-1483.7	-1463.8	-1471.3	-1499.4	-1467.6	-1495.0	-1486.7	-1494.0	-1481.3	-1477.1	-1494.8	-1496.4	-1470.0	-1468.6	-1462.2	-1482.3
99	-1506.8	-1506.1	-1481.1	-1480.8	-1492.1	-1496.5	-1488.2	-1483.3	-1490.7	-1490.3	-1486.8	-1490.4	-1485.9	-1490.6	-1485.2	-1483.6	-1484.2	-1486.0
100	-1508.5	-1502.1	-1476.1	-1495.5	-1510.4	-1491.2	-1506.5	-1469.3	-1492.2	-1484.3	-1490.0	-1501.3	-1474.6	-1482.4	-1498.0	-1496.2	-1503.8	-1487.3
101	-1496.7	-1486.1	-1460.1	-1493.3	-1510.4	-1475.0	-1507.0	-1446.4	-1479.7	-1466.5	-1479.1	-1494.9	-1452.9	-1463.8	-1494.0	-1492.0	-1505.0	-1475.3
102	-1467.6	-1455.6	-1430.8	-1467.8	-1484.8	-1445.9	-1482.8	-1414.0	-1449.2	-1434.4	-1449.8	-1465.0	-1419.1	-1433.1	-1466.8	-1464.9	-1480.1	-1446.3
103	-1417.2	-1407.1	-1384.9	-1414.4	-1428.8	-1400.7	-1429.2	-1369.4	-1396.9	-1384.8	-1398.4	-1407.1	-1370.4	-1387.1	-1412.0	-1410.3	-1424.3	-1396.6
104	-1370.7	-1365.3	-1346.7	-1359.3	-1369.4	-1363.2	-1372.5	-1336.0	-1348.2	-1342.3	-1350.0	-1347.9	-1330.9	-1349.8	-1355.9	-1354.4	-1364.2	-1351.1
105	-1308.4	-1309.3	-1294.4	-1285.6	-1290.7	-1311.7	-1296.4	-1290.6	-1284.3	-1286.0	-1285.5	-1271.2	-1279.2	-1299.1	-1281.7	-1280.6	-1284.3	-1290.1
106	-1260.8	-1268.1	-1256.2	-1227.6	-1228.8	-1273.9	-1236.0	-1259.3	-1236.7	-1245.2	-1236.4	-1212.1	-1243.2	-1262.5	-1223.9	-1223.0	-1220.4	-1244.3
107	-1213.0	-1225.0	-1214.8	-1173.7	-1173.4	-1232.2	-1180.1	-1222.7	-1191.1	-1203.2	-1188.3	-1159.3	-1205.2	-1222.0	-1170.9	-1170.0	-1162.5	-1198.4
108																		

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูล																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Sampling																		
109	-1175.1	-1189.2	-1178.8	-1136.4	-1137.6	-1195.0	-1141.9	-1188.1	-1157.8	-1169.3	-1151.9	-1125.6	-1173.4	-1186.0	-1135.0	-1133.8	-1124.1	-1162.7
110	-1137.6	-1150.7	-1138.6	-1106.4	-1112.1	-1152.6	-1112.1	-1145.4	-1127.1	-1133.3	-1117.7	-1101.3	-1137.6	-1144.5	-1107.0	-1105.2	-1096.1	-1127.4
111	-1125.2	-1134.7	-1119.7	-1106.9	-1119.0	-1131.1	-1113.6	-1121.1	-1122.7	-1120.3	-1110.1	-1108.8	-1123.1	-1123.7	-1109.6	-1107.1	-1101.0	-1117.1
112	-1126.6	-1131.0	-1113.1	-1123.5	-1142.4	-1121.7	-1131.5	-1107.9	-1132.1	-1120.2	-1117.2	-1132.6	-1120.3	-1114.9	-1128.2	-1124.9	-1123.1	-1120.6
113	-1151.4	-1150.6	-1130.9	-1161.8	-1186.0	-1136.9	-1170.8	-1119.9	-1163.6	-1143.6	-1147.7	-1177.0	-1141.0	-1130.9	-1168.1	-1164.2	-1166.4	-1147.2
114	-1163.5	-1159.1	-1139.4	-1182.7	-1208.8	-1143.6	-1191.6	-1125.4	-1180.0	-1155.9	-1165.1	-1201.9	-1151.4	-1138.8	-1189.8	-1185.7	-1190.2	-1161.1
115	-1148.5	-1142.5	-1125.4	-1169.4	-1193.5	-1128.7	-1176.9	-1112.2	-1166.0	-1143.1	-1154.0	-1190.1	-1138.2	-1125.5	-1176.5	-1172.6	-1177.1	-1147.6
116	-1105.5	-1100.5	-1088.4	-1121.3	-1139.4	-1091.5	-1126.0	-1079.9	-1121.2	-1104.7	-1113.7	-1140.6	-1100.7	-1090.4	-1127.7	-1124.4	-1126.2	-1106.1
117	-1035.1	-1032.7	-1027.5	-1040.7	-1049.7	-1031.1	-1041.7	-1026.3	-1046.6	-1040.1	-1044.8	-1056.3	-1038.4	-1032.2	-1045.6	-1043.2	-1040.7	-1036.9
118	-976.6	-977.5	-980.0	-970.5	-969.1	-984.1	-967.5	-987.0	-982.7	-987.6	-987.2	-980.8	-988.5	-987.5	-973.4	-972.1	-964.9	-979.7
119	-919.9	-923.3	-933.3	-904.1	-893.2	-937.4	-897.6	-946.9	-920.8	-935.7	-931.2	-908.8	-938.6	-942.7	-904.9	-904.7	-893.9	-924.2
120	-854.9	-859.1	-875.1	-835.1	-817.0	-878.5	-826.2	-892.2	-852.1	-873.3	-867.4	-834.6	-877.0	-885.0	-833.8	-834.6	-822.5	-860.6
121	-794.9	-797.5	-817.5	-778.1	-756.6	-818.9	-768.4	-833.8	-790.7	-813.0	-809.2	-773.9	-815.9	-826.0	-775.2	-776.7	-766.3	-801.9
122	-728.2	-727.2	-749.0	-721.6	-700.3	-747.3	-712.4	-760.5	-725.1	-743.5	-744.8	-715.0	-744.2	-754.3	-717.4	-719.2	-713.3	-736.8
123	-670.8	-665.1	-686.9	-679.1	-661.0	-681.2	-671.4	-690.7	-670.9	-681.6	-689.8	-671.4	-679.5	-687.6	-674.1	-676.1	-676.3	-681.1
124	-579.7	-569.4	-590.3	-604.1	-590.7	-580.1	-598.4	-585.8	-584.3	-585.8	-600.5	-596.3	-581.2	-585.7	-598.9	-600.9	-607.3	-591.9
125	-480.7	-467.8	-487.6	-518.8	-509.9	-472.9	-514.6	-476.2	-490.1	-483.5	-502.4	-511.0	-477.7	-477.9	-513.5	-515.6	-526.8	-494.9
126	-336.0	-323.3	-342.7	-382.1	-376.1	-324.0	-378.5	-327.6	-349.5	-337.9	-357.1	-374.0	-333.1	-328.9	-377.0	-379.2	-392.5	-352.4

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูล																		
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
Sampling																			
127	-206.5	-197.0	-217.3	-253.5	-247.8	-195.5	-249.1	-202.7	-222.5	-210.4	-225.4	-244.1	-208.8	-200.7	-248.5	-251.0	-263.1	-224.9	
128	-83.5	-80.1	-102.3	-124.7	-116.9	-78.4	-118.4	-92.0	-100.5	-92.0	-99.0	-113.3	-95.5	-84.4	-119.9	-122.8	-130.8	-104.0	



ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูล																		
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
Sampling																			
1	36.1	39.2	117.9	112.0	114.5	112.0	121.5	115.8	121.2	110.8	114.0	115.5	118.8	115.1	108.6	110.8	117.3	110.7	116.0
2	157.5	164.7	233.6	227.5	225.2	221.0	233.1	226.0	236.6	227.2	225.4	229.1	229.3	226.6	224.4	225.7	227.5	218.5	226.7
3	267.1	277.3	338.8	332.5	326.5	321.3	335.1	326.9	341.5	332.9	327.6	332.6	330.5	328.5	329.5	330.3	328.6	317.8	328.1
4	357.9	369.4	428.0	421.6	414.4	408.8	423.1	414.6	430.6	422.3	415.7	421.3	418.2	416.5	418.6	419.3	416.2	404.9	415.9
5	414.8	425.0	486.5	480.2	474.3	469.0	482.8	474.6	489.2	480.6	475.3	480.4	478.2	476.2	477.2	478.0	476.3	465.5	475.8
6	433.6	440.7	509.7	503.6	501.2	497.1	509.2	502.1	512.7	503.3	501.5	505.1	505.3	502.6	500.4	501.8	503.6	494.5	502.7
7	409.9	412.9	491.7	485.8	488.2	485.7	495.3	489.6	495.0	484.6	487.7	489.2	492.5	488.9	482.4	484.6	491.0	484.5	489.8
8	384.7	384.1	471.5	465.8	472.8	472.5	478.7	474.4	474.9	463.8	472.1	471.2	477.2	472.6	461.9	465.5	476.0	472.4	474.5
9	359.3	356.6	448.3	442.5	452.5	454.8	457.1	453.8	451.4	440.2	452.7	449.4	457.0	451.4	438.0	443.6	455.9	455.2	454.6
10	352.7	350.4	439.8	433.9	444.3	449.3	447.5	444.6	442.2	431.8	446.6	441.5	448.6	442.5	428.5	436.4	447.7	449.4	447.0
11	372.4	372.8	453.0	446.6	454.7	462.2	456.8	453.5	454.2	445.4	460.3	454.1	458.8	452.5	440.4	450.7	457.9	461.2	458.1
12	412.0	416.9	482.1	475.2	478.9	488.4	480.0	475.8	481.9	475.5	488.4	481.8	482.6	476.5	468.3	480.8	481.7	485.6	483.0
13	470.9	480.5	527.8	520.4	518.9	529.6	519.3	513.9	526.3	522.4	531.9	525.6	522.1	516.4	513.2	527.1	521.2	524.7	523.4
14	534.7	547.9	578.0	570.1	564.1	575.0	564.2	557.7	575.6	573.8	579.4	574.0	566.9	561.7	563.3	577.3	566.0	568.3	568.8
15	593.0	607.2	623.7	615.9	607.4	617.3	607.6	600.3	621.1	620.6	622.9	618.6	609.9	605.1	610.2	622.7	609.1	609.4	611.6
16	644.2	656.1	664.9	657.5	649.3	657.2	649.9	642.8	662.8	662.6	662.6	659.7	651.6	647.2	653.6	663.1	651.1	649.1	652.5
17	686.5	693.0	700.1	693.6	688.6	693.5	689.9	683.7	699.4	698.4	697.6	696.0	690.8	686.7	692.2	697.3	690.8	686.4	690.3
18	728.5	727.4	737.3	732.0	732.3	733.8	734.4	729.8	738.4	735.9	735.4	735.0	734.4	730.5	733.5	733.3	734.9	728.4	732.2

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูล																			
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
Sampling	789.8	780.8	794.9	791.0	797.5	795.3	800.2	797.6	797.9	793.8	794.1	794.8	799.3	795.9	795.5	790.0	800.3	792.2	795.5	
19	837.8	822.1	838.5	836.1	847.7	842.4	850.9	850.5	843.1	837.9	838.5	840.3	849.0	846.5	843.3	833.1	850.5	841.5	844.1	
20	891.3	872.0	885.7	884.7	899.2	891.4	902.4	904.0	891.1	885.8	885.7	888.8	899.7	898.4	893.9	880.4	901.4	892.5	894.3	
21	981.7	962.6	967.1	967.3	981.5	972.3	984.3	987.4	972.4	968.3	966.1	970.4	980.8	981.4	977.6	962.5	982.5	974.6	976.0	
22	1068.1	1053.0	1041.9	1043.1	1053.9	1044.5	1056.0	1060.1	1046.2	1044.7	1039.1	1044.5	1051.8	1054.7	1053.7	1038.8	1053.3	1047.4	1048.5	
23	1158.7	1150.6	1119.5	1121.5	1126.7	1118.2	1127.5	1132.3	1122.0	1123.9	1114.3	1120.7	1122.8	1128.4	1131.6	1118.5	1124.0	1121.1	1121.9	
24	1241.1	1241.2	1189.1	1191.8	1190.5	1183.8	1189.8	1195.2	1189.4	1195.2	1181.8	1188.8	1185.0	1193.2	1200.7	1190.6	1185.8	1186.6	1186.8	
25	1305.9	1313.6	1243.2	1246.6	1239.7	1235.1	1237.1	1243.3	1241.3	1250.7	1234.7	1241.7	1232.5	1243.0	1254.1	1247.4	1232.9	1238.0	1237.1	
26	1352.3	1365.5	1282.5	1286.8	1276.3	1274.1	1271.9	1279.2	1278.7	1291.0	1274.4	1280.6	1267.8	1280.0	1292.7	1289.4	1267.9	1277.5	1274.7	
27	1378.0	1393.5	1305.2	1310.5	1299.3	1299.4	1293.3	1302.1	1300.2	1314.2	1299.1	1304.0	1290.0	1303.1	1315.1	1314.5	1289.9	1303.9	1298.5	
28	1376.2	1390.5	1304.1	1310.6	1301.5	1303.2	1294.0	1304.6	1298.6	1313.0	1301.3	1304.6	1291.8	1305.1	1314.2	1315.2	1291.7	1309.5	1301.1	
29	1347.3	1357.7	1278.3	1286.0	1280.9	1283.7	1272.4	1284.6	1273.0	1286.8	1279.6	1281.0	1271.4	1284.0	1288.9	1290.6	1271.4	1291.8	1280.5	
30	1299.5	1304.5	1234.1	1243.1	1242.5	1245.6	1233.4	1246.9	1229.4	1241.9	1239.4	1239.1	1233.5	1245.0	1245.5	1247.0	1233.8	1255.3	1241.9	
31	1261.9	1261.7	1198.9	1208.8	1211.8	1214.7	1202.6	1216.5	1194.9	1206.0	1207.0	1205.5	1203.7	1213.8	1211.0	1211.5	1204.3	1225.1	1210.9	
32	1242.1	1237.8	1178.5	1189.0	1193.7	1195.7	1184.8	1198.1	1175.1	1185.2	1187.9	1185.9	1186.7	1195.2	1191.1	1190.3	1187.5	1206.0	1192.4	
33	1236.3	1229.9	1168.8	1179.6	1183.3	1184.0	1175.1	1186.7	1165.9	1175.4	1177.5	1175.7	1177.5	1184.4	1181.5	1179.2	1178.5	1193.0	1181.8	
34	1243.7	1237.1	1169.6	1180.4	1180.7	1179.8	1173.6	1182.5	1166.8	1176.2	1176.0	1174.9	1176.3	1181.6	1181.9	1178.2	1177.3	1186.5	1179.0	
35	1250.2	1244.5	1168.2	1178.7	1174.4	1171.9	1168.5	1174.2	1165.4	1175.0	1171.3	1171.4	1171.4	1175.2	1179.9	1174.8	1172.4	1175.7	1172.6	
36																				

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูล																							
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55					
Sampling																								
37	1257.5	1252.8	1168.3	1178.5	1169.6	1165.4	1164.9	1167.4	1165.6	1175.2	1168.1	1169.4	1167.9	1170.2	1179.3	1172.9	1169.0	1166.4	1167.7					
38	1251.4	1246.6	1157.9	1167.7	1155.6	1150.0	1152.2	1151.8	1155.5	1164.6	1155.3	1157.3	1155.4	1156.0	1168.2	1160.5	1156.5	1148.6	1153.6					
39	1244.0	1237.3	1150.5	1160.1	1147.3	1140.5	1144.8	1142.4	1148.7	1156.8	1147.1	1149.3	1148.5	1147.3	1160.4	1151.4	1149.6	1137.5	1145.1					
40	1194.1	1183.8	1105.5	1115.1	1104.1	1096.6	1102.4	1099.0	1104.5	1110.9	1103.1	1104.8	1106.6	1103.5	1115.1	1105.1	1107.9	1093.2	1101.7					
41	1120.7	1105.6	1041.3	1050.9	1043.9	1036.3	1042.6	1039.1	1041.2	1045.4	1041.5	1041.9	1047.5	1042.7	1050.6	1040.1	1049.0	1033.4	1041.3					
42	1068.1	1048.2	1000.6	1010.4	1008.4	1001.4	1007.1	1004.3	1001.4	1003.5	1004.5	1003.2	1012.9	1006.6	1009.5	999.3	1014.5	999.7	1005.7					
43	1028.8	1005.7	974.0	983.8	986.3	980.7	984.6	982.9	975.3	975.6	981.6	978.5	991.3	983.9	982.1	973.1	992.9	980.4	983.9					
44	995.1	971.6	951.9	961.4	966.6	962.9	964.2	963.5	953.0	952.5	962.4	957.5	971.5	963.8	958.5	951.9	973.1	963.8	964.8					
45	983.7	963.3	949.4	958.5	963.6	962.5	960.4	960.3	949.7	949.5	961.5	955.4	968.1	960.8	954.1	950.9	969.4	963.9	962.8					
46	980.9	966.8	952.4	960.7	962.9	964.6	958.8	958.9	951.3	952.4	964.3	957.5	966.6	960.4	954.5	955.5	967.4	966.0	963.5					
47	996.5	991.0	971.1	978.3	975.6	979.9	970.7	970.7	968.2	971.4	981.3	974.5	978.2	973.7	970.5	975.8	978.4	980.8	977.6					
48	1016.6	1020.4	993.0	999.1	990.6	997.2	985.3	984.8	988.4	993.8	1000.6	994.2	992.1	989.4	989.9	999.1	991.7	997.2	994.0					
49	1059.2	1070.9	1037.7	1042.7	1029.4	1037.3	1023.9	1023.0	1031.8	1038.9	1042.4	1037.0	1029.7	1029.0	1032.7	1044.7	1028.8	1036.6	1033.7					
50	1103.8	1120.7	1086.4	1090.4	1074.5	1082.7	1069.3	1068.4	1080.0	1087.8	1088.6	1084.4	1074.0	1074.8	1080.5	1093.6	1072.6	1081.8	1079.2					
51	1127.4	1145.6	1116.9	1119.9	1104.6	1111.9	1100.3	1099.8	1110.9	1118.1	1117.5	1114.4	1103.6	1105.5	1111.0	1123.5	1102.1	1111.6	1109.2					
52	1131.3	1147.0	1130.5	1132.9	1121.3	1126.7	1118.2	1118.6	1126.0	1131.2	1130.6	1128.7	1120.0	1122.6	1125.8	1135.9	1118.6	1127.5	1125.0					
53	1103.5	1113.7	1114.5	1116.3	1110.7	1113.4	1109.2	1110.6	1112.0	1114.2	1114.7	1114.0	1109.5	1112.2	1111.6	1118.1	1108.3	1115.7	1113.1					
54	1072.3	1075.5	1095.5	1096.7	1098.0	1097.5	1098.3	1100.6	1095.4	1094.2	1096.1	1096.5	1097.1	1099.5	1094.7	1096.8	1096.2	1101.4	1098.8					

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูล																						
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55				
Sampling																							
55	1027.9	1024.8	1062.0	1062.4	1069.9	1066.4	1072.0	1074.9	1064.2	1059.8	1062.7	1064.3	1069.4	1071.4	1063.1	1061.0	1068.9	1071.3	1069.2				
56	976.7	969.2	1018.8	1018.2	1029.7	1023.7	1033.6	1036.3	1022.9	1015.9	1018.7	1021.5	1029.7	1031.2	1021.2	1015.6	1029.4	1028.9	1027.9				
57	928.4	919.6	975.1	972.9	985.5	977.9	990.9	992.8	980.2	971.8	973.0	977.1	985.9	987.0	977.6	969.9	985.7	982.2	983.0				
58	882.4	875.5	930.3	926.5	937.2	929.1	943.7	944.0	935.8	927.0	925.5	930.8	937.8	938.8	932.0	923.7	937.6	931.6	934.6				
59	843.6	841.2	890.7	884.9	891.7	884.2	898.9	897.1	895.7	887.5	882.7	888.9	892.4	893.3	890.5	883.1	892.1	884.2	889.5				
60	784.3	787.5	830.3	822.4	824.6	818.7	832.0	828.1	834.4	827.3	819.6	826.1	825.3	826.0	827.6	822.3	824.8	816.1	823.2				
61	695.4	703.8	741.7	731.8	730.3	726.7	737.4	731.9	744.7	738.7	729.5	735.6	730.9	731.3	736.2	733.7	730.3	721.8	729.7				
62	582.3	594.1	631.7	620.2	616.8	616.1	623.5	616.9	633.8	628.4	619.7	624.6	617.6	617.4	623.5	624.1	616.8	609.5	617.2				
63	468.2	480.9	523.9	511.1	508.6	510.8	514.5	507.8	525.6	520.0	514.0	517.1	509.6	508.4	513.5	517.0	508.8	503.6	509.8				
64	287.7	298.8	352.6	338.9	339.7	344.7	344.8	338.6	354.2	347.8	346.2	347.0	341.0	338.6	340.5	346.4	340.3	337.8	341.4				
65	157.8	165.6	233.0	218.8	224.5	231.8	228.8	223.6	234.9	227.1	231.0	229.3	226.0	222.4	219.9	227.5	225.6	225.8	226.4				
66	22.6	26.6	107.4	92.9	103.6	112.7	107.3	103.2	109.8	100.5	109.5	105.7	105.5	100.7	93.7	102.4	105.3	107.8	105.7				
67	-101.6	-100.6	-10.0	-24.7	-10.2	0.0	-6.9	-10.1	-7.3	-17.6	-5.1	-10.3	-8.1	-13.6	-24.0	-14.7	-8.2	-4.1	-8.1				
68	-205.7	-205.7	-111.6	-126.3	-110.5	-99.9	-107.4	-110.2	-108.7	-119.5	-105.6	-111.3	-108.3	-114.1	-125.7	-116.2	-108.3	-103.6	-108.4				
69	-269.6	-268.5	-178.0	-192.6	-178.2	-167.9	-174.9	-178.1	-175.2	-185.6	-173.0	-178.2	-176.1	-181.6	-192.0	-182.6	-176.1	-172.0	-176.1				
70	-277.9	-273.9	-193.1	-207.6	-196.9	-187.7	-193.2	-197.2	-190.7	-199.9	-191.0	-194.8	-195.0	-199.7	-206.8	-198.1	-195.2	-192.7	-194.8				
71	-265.0	-257.2	-189.8	-204.0	-198.3	-190.9	-194.0	-199.1	-187.8	-195.6	-191.8	-193.4	-196.7	-200.3	-202.9	-195.3	-197.1	-197.0	-196.3				
72	-253.6	-242.5	-188.7	-202.4	-201.6	-196.6	-196.5	-202.7	-187.1	-193.5	-195.1	-194.3	-200.3	-202.7	-200.8	-194.9	-201.0	-203.5	-199.9				

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูล																			
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
Sampling																				
73	-237.8	-225.1	-182.1	-194.9	-197.3	-195.1	-191.4	-198.2	-180.4	-185.9	-192.0	-188.9	-196.4	-197.6	-192.4	-189.0	-197.1	-202.3	-196.2	
74	-243.7	-231.9	-194.4	-205.9	-209.2	-210.0	-202.6	-209.1	-192.2	-197.6	-206.3	-201.4	-208.5	-208.7	-202.5	-201.9	-209.2	-216.5	-208.8	
75	-262.5	-254.1	-216.2	-226.1	-227.6	-231.2	-220.5	-226.0	-213.2	-219.2	-228.4	-222.3	-227.0	-226.6	-221.7	-224.2	-227.6	-236.1	-228.2	
76	-303.9	-300.7	-257.9	-265.8	-263.6	-269.5	-256.2	-260.1	-253.9	-260.9	-268.6	-262.1	-262.9	-262.2	-260.6	-265.9	-263.4	-272.1	-265.1	
77	-360.1	-362.5	-313.0	-318.9	-312.0	-319.5	-304.8	-306.6	-308.0	-316.2	-321.0	-314.8	-311.3	-310.4	-313.2	-320.6	-311.6	-319.5	-314.2	
78	-426.2	-433.0	-378.2	-382.1	-371.3	-379.4	-364.8	-364.6	-372.8	-381.5	-383.1	-377.8	-370.7	-369.8	-376.6	-384.9	-370.9	-376.9	-373.9	
79	-493.6	-502.4	-446.9	-449.0	-436.4	-444.0	-431.0	-429.2	-441.7	-450.2	-449.0	-444.8	-436.1	-434.9	-444.4	-452.1	-436.2	-439.7	-438.9	
80	-546.9	-554.4	-504.8	-505.5	-494.0	-500.0	-490.1	-487.3	-500.7	-507.7	-505.0	-502.1	-494.0	-492.5	-502.5	-508.1	-494.3	-494.8	-495.8	
81	-593.7	-596.8	-559.6	-559.2	-551.8	-555.2	-549.6	-546.7	-557.4	-561.8	-558.9	-557.3	-552.2	-550.2	-558.5	-560.6	-552.7	-550.3	-552.4	
82	-665.0	-661.8	-641.9	-640.6	-639.4	-639.8	-639.1	-636.7	-641.9	-643.1	-641.2	-640.8	-640.2	-637.8	-642.6	-640.5	-641.1	-635.9	-638.5	
83	-732.7	-722.5	-721.7	-719.8	-725.4	-722.8	-727.0	-725.6	-724.1	-721.9	-721.4	-722.1	-726.6	-724.0	-724.6	-718.1	-727.8	-720.4	-723.1	
84	-797.9	-782.3	-798.7	-796.3	-807.9	-802.5	-811.0	-810.7	-803.3	-798.1	-798.6	-800.5	-809.2	-806.6	-803.4	-793.3	-810.6	-801.7	-804.2	
85	-907.3	-889.1	-917.8	-914.8	-930.1	-922.8	-934.4	-934.9	-923.8	-916.6	-917.2	-920.3	-931.1	-929.2	-923.7	-911.2	-932.6	-923.1	-925.5	
86	-998.1	-981.2	-1015.5	-1011.6	-1027.4	-1019.2	-1032.6	-1033.5	-1021.9	-1014.1	-1013.3	-1017.5	-1027.9	-1027.1	-1021.5	-1008.3	-1029.3	-1020.1	-1022.7	
87	-1100.3	-1088.6	-1121.8	-1116.8	-1130.1	-1122.2	-1135.6	-1136.5	-1127.7	-1120.6	-1117.1	-1122.5	-1129.8	-1130.5	-1126.8	-1114.8	-1130.7	-1122.9	-1125.8	
88	-1215.3	-1211.5	-1238.9	-1232.8	-1241.2	-1234.7	-1246.6	-1247.1	-1243.5	-1238.1	-1231.3	-1237.6	-1239.8	-1242.4	-1242.0	-1232.8	-1240.2	-1234.7	-1237.9	
89	-1316.7	-1322.2	-1342.1	-1334.9	-1337.6	-1333.3	-1342.5	-1342.5	-1345.0	-1341.8	-1331.9	-1338.7	-1335.0	-1339.5	-1342.7	-1337.4	-1334.8	-1332.4	-1335.6	
90	-1399.8	-1413.9	-1428.3	-1420.0	-1417.8	-1416.1	-1421.9	-1421.8	-1429.4	-1428.3	-1416.4	-1423.2	-1414.1	-1420.3	-1426.2	-1425.2	-1413.3	-1414.7	-1417.3	

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที่																		
Sampling	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
91	-1463.8	-1484.2	-1498.1	-1489.0	-1483.9	-1485.0	-1487.1	-1487.2	-1497.8	-1498.0	-1486.0	-1492.1	-1479.4	-1486.7	-1493.4	-1496.6	-1478.1	-1483.6	-1484.7
92	-1510.8	-1534.3	-1554.0	-1544.4	-1539.3	-1542.9	-1541.6	-1542.4	-1552.9	-1553.4	-1543.4	-1548.3	-1534.3	-1542.0	-1547.3	-1553.9	-1532.8	-1542.1	-1541.0
93	-1522.5	-1545.6	-1577.3	-1567.5	-1565.0	-1570.6	-1566.7	-1568.4	-1576.0	-1575.7	-1569.7	-1572.8	-1560.0	-1567.4	-1569.2	-1578.2	-1558.4	-1570.9	-1567.4
94	-1515.4	-1535.3	-1582.9	-1573.1	-1575.1	-1582.1	-1576.4	-1579.2	-1582.1	-1580.0	-1579.0	-1580.3	-1570.6	-1577.0	-1574.0	-1584.2	-1569.0	-1583.8	-1577.8
95	-1488.5	-1503.6	-1567.9	-1558.3	-1565.2	-1572.8	-1566.6	-1570.1	-1568.0	-1563.8	-1567.7	-1567.2	-1561.6	-1566.5	-1558.6	-1569.1	-1560.1	-1575.7	-1567.9
96	-1471.0	-1481.3	-1559.6	-1550.0	-1561.0	-1568.5	-1562.7	-1566.2	-1560.6	-1554.2	-1562.0	-1560.3	-1558.5	-1561.6	-1550.0	-1560.0	-1557.2	-1571.9	-1563.4
97	-1458.9	-1465.5	-1552.3	-1542.7	-1555.6	-1562.4	-1558.0	-1560.5	-1554.2	-1546.1	-1555.7	-1553.6	-1554.4	-1555.6	-1542.5	-1551.5	-1553.2	-1565.3	-1557.8
98	-1457.6	-1462.4	-1551.1	-1541.3	-1553.3	-1559.0	-1556.8	-1557.2	-1553.5	-1544.3	-1553.7	-1551.7	-1553.6	-1553.0	-1540.8	-1548.5	-1552.5	-1560.4	-1555.3
99	-1464.1	-1468.8	-1553.3	-1543.2	-1552.0	-1556.2	-1556.7	-1554.3	-1556.0	-1546.4	-1553.5	-1552.3	-1553.7	-1551.4	-1542.3	-1548.8	-1552.7	-1555.2	-1553.9
100	-1480.4	-1486.1	-1562.4	-1551.9	-1556.2	-1558.7	-1562.1	-1556.4	-1565.2	-1555.6	-1559.3	-1559.2	-1559.2	-1555.4	-1550.7	-1555.8	-1558.2	-1554.9	-1558.0
101	-1494.3	-1500.9	-1568.5	-1557.7	-1557.3	-1558.2	-1564.4	-1555.5	-1571.2	-1561.9	-1562.1	-1563.1	-1561.7	-1556.4	-1556.1	-1559.9	-1560.7	-1551.5	-1559.0
102	-1491.8	-1498.2	-1559.3	-1548.5	-1544.8	-1544.1	-1553.0	-1541.4	-1562.2	-1552.7	-1550.6	-1552.4	-1550.6	-1543.7	-1546.6	-1548.9	-1549.6	-1535.1	-1546.3
103	-1466.8	-1471.0	-1530.4	-1519.8	-1515.2	-1513.2	-1524.0	-1510.7	-1533.7	-1523.6	-1521.0	-1523.0	-1522.2	-1513.7	-1517.8	-1518.6	-1521.4	-1502.9	-1516.4
104	-1414.6	-1414.9	-1477.7	-1467.8	-1464.7	-1461.9	-1473.9	-1460.0	-1481.7	-1470.5	-1469.5	-1471.0	-1472.8	-1462.7	-1465.6	-1465.1	-1472.3	-1451.4	-1465.6
105	-1361.3	-1356.2	-1426.6	-1417.7	-1418.3	-1415.1	-1427.4	-1413.9	-1431.4	-1418.8	-1421.3	-1421.6	-1427.3	-1415.7	-1415.2	-1413.8	-1427.0	-1405.5	-1418.8
106	-1289.4	-1279.0	-1358.4	-1350.6	-1355.8	-1353.0	-1364.3	-1352.0	-1363.7	-1349.9	-1357.0	-1355.6	-1365.3	-1352.6	-1347.8	-1346.0	-1365.3	-1344.9	-1356.1
107	-1232.6	-1218.3	-1304.7	-1298.2	-1307.4	-1305.6	-1314.8	-1304.3	-1310.2	-1295.8	-1307.5	-1304.2	-1317.0	-1303.8	-1294.7	-1293.6	-1317.1	-1299.4	-1307.8
108	-1178.8	-1163.4	-1251.6	-1246.3	-1257.5	-1257.5	-1263.6	-1254.8	-1256.6	-1242.7	-1257.8	-1252.8	-1266.8	-1253.7	-1241.7	-1242.4	-1266.9	-1252.9	-1258.3

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลปี																			
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
Sampling																				
109	-1140.3	-1127.0	-1210.1	-1205.8	-1216.3	-1218.4	-1220.7	-1213.3	-1213.8	-1201.6	-1218.2	-1211.9	-1224.7	-1212.6	-1199.9	-1203.2	-1224.7	-1215.0	-1217.9	
110	-1107.8	-1100.1	-1170.5	-1167.1	-1174.0	-1178.5	-1176.6	-1170.4	-1172.4	-1163.0	-1178.9	-1172.0	-1181.2	-1170.7	-1159.6	-1166.3	-1180.8	-1175.7	-1176.6	
111	-1105.1	-1105.0	-1157.1	-1154.4	-1155.7	-1162.4	-1156.4	-1151.0	-1156.8	-1151.0	-1164.4	-1157.4	-1161.2	-1153.0	-1145.5	-1155.6	-1160.4	-1159.6	-1159.4	
112	-1118.4	-1126.6	-1157.6	-1155.7	-1150.5	-1159.0	-1149.7	-1144.8	-1155.1	-1153.2	-1162.8	-1156.4	-1154.3	-1148.7	-1145.6	-1158.7	-1153.1	-1156.0	-1155.2	
113	-1154.3	-1169.4	-1180.5	-1179.3	-1168.5	-1177.9	-1166.4	-1162.3	-1176.2	-1177.8	-1183.3	-1177.9	-1170.7	-1167.7	-1168.7	-1183.6	-1169.1	-1175.0	-1173.9	
114	-1174.1	-1193.3	-1188.7	-1188.6	-1174.4	-1183.5	-1171.5	-1168.4	-1183.4	-1187.5	-1189.7	-1185.4	-1175.0	-1174.4	-1178.2	-1193.3	-1173.3	-1181.2	-1179.8	
115	-1161.6	-1181.0	-1167.2	-1168.2	-1153.8	-1161.6	-1150.6	-1149.0	-1161.8	-1167.1	-1167.2	-1164.2	-1153.3	-1154.5	-1159.1	-1172.6	-1151.6	-1160.5	-1158.6	
116	-1116.1	-1131.8	-1115.4	-1117.8	-1106.2	-1111.5	-1103.1	-1103.4	-1110.8	-1116.0	-1115.4	-1113.6	-1104.9	-1107.4	-1110.6	-1120.8	-1103.4	-1112.4	-1109.9	
117	-1039.4	-1048.4	-1034.3	-1038.2	-1031.7	-1033.9	-1029.0	-1031.6	-1031.3	-1035.4	-1035.1	-1034.4	-1029.9	-1033.3	-1033.7	-1039.2	-1028.9	-1037.0	-1033.7	
118	-973.4	-974.4	-964.6	-969.9	-969.5	-968.1	-967.5	-972.1	-963.5	-966.0	-966.5	-966.9	-967.5	-971.3	-968.4	-968.5	-967.0	-973.5	-969.7	
119	-911.0	-904.5	-897.4	-903.9	-908.9	-903.9	-907.6	-913.8	-898.0	-899.1	-899.9	-901.5	-906.7	-910.8	-905.3	-900.2	-906.7	-911.1	-907.2	
120	-844.6	-832.7	-823.9	-831.3	-839.5	-831.6	-838.8	-846.0	-825.9	-826.2	-826.1	-829.0	-837.2	-841.6	-835.2	-825.7	-837.6	-839.7	-836.3	
121	-788.6	-774.4	-757.9	-765.7	-774.3	-764.3	-774.1	-781.3	-760.5	-761.0	-758.8	-763.0	-771.8	-776.5	-771.5	-758.9	-772.5	-772.2	-770.1	
122	-731.2	-718.0	-688.0	-695.8	-701.8	-690.9	-701.7	-708.2	-690.4	-692.2	-686.5	-691.9	-699.0	-704.2	-702.6	-688.6	-699.9	-697.6	-697.2	
123	-686.3	-676.7	-629.3	-636.8	-638.3	-627.5	-637.9	-643.3	-630.8	-634.7	-625.3	-631.5	-635.0	-640.7	-644.0	-630.1	-636.0	-632.4	-633.7	
124	-608.1	-603.2	-538.0	-544.9	-541.2	-531.7	-540.1	-544.3	-538.2	-544.6	-531.7	-538.3	-537.5	-543.6	-551.8	-539.3	-538.4	-534.5	-537.1	
125	-519.4	-518.9	-438.7	-445.2	-437.0	-429.5	-435.0	-438.2	-437.6	-446.3	-431.4	-437.6	-432.9	-439.2	-451.4	-441.0	-433.9	-430.5	-433.6	
126	-379.9	-382.2	-292.7	-298.7	-288.3	-283.3	-285.1	-287.9	-290.4	-300.8	-286.0	-291.0	-284.0	-290.1	-304.1	-296.2	-284.9	-283.2	-285.6	

ตารางภาคผนวกที่ 2 ข้อมูลที่ Sampling ได้จากโหนดที่ตู้ 33MDB2

ค่า Sampling	ข้อมูลที																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	25.6	23.0	23.2	22.4	21.4	20.8	20.8	65.0	0.0	50.6	22.5	22.4	22.4	20.2	17.5	18.1	19.8	17.3
2	96.9	93.7	93.6	92.9	92.2	91.0	91.5	136.0	67.9	122.7	93.2	93.1	92.8	90.4	88.2	88.5	90.3	87.2
3	170.1	166.7	166.4	165.7	165.2	163.6	164.4	214.7	139.0	196.4	166.1	166.0	165.5	163.0	161.1	161.2	163.1	159.6
4	249.6	245.9	245.6	244.9	244.5	242.7	243.7	280.7	217.6	276.0	245.4	245.3	244.7	242.2	240.4	240.4	242.3	238.7
5	314.8	311.3	311.0	310.3	309.8	308.2	309.0	324.3	283.6	341.1	310.7	310.6	310.1	307.6	305.7	305.8	307.7	304.2
6	356.2	353.1	353.0	352.3	351.5	350.3	350.8	356.2	327.3	382.0	352.5	352.5	352.2	349.7	347.5	347.8	349.7	346.6
7	384.7	382.1	382.2	381.5	380.5	379.9	379.8	395.0	359.1	409.7	381.5	381.5	381.5	379.2	376.5	377.2	378.9	376.4
8	419.6	417.5	418.0	417.2	415.9	415.9	415.3	435.4	397.8	443.4	417.0	417.0	417.3	415.2	412.0	413.1	414.7	412.8
9	455.8	454.3	455.1	454.2	452.8	453.1	452.2	478.3	437.8	478.2	453.7	453.9	454.4	452.6	448.9	450.4	451.9	450.5
10	495.0	493.8	494.9	493.8	492.6	492.9	491.8	523.7	480.2	515.5	493.2	493.5	494.0	492.6	488.5	490.4	491.8	491.0
11	537.0	536.1	537.4	536.0	535.3	535.3	534.2	569.3	524.9	555.6	535.5	535.9	536.4	535.2	531.0	533.2	534.5	534.1
12	579.9	579.1	580.4	578.9	578.8	578.2	577.4	617.7	569.6	596.2	578.5	579.1	579.3	578.5	574.4	576.8	578.0	577.7
13	626.2	625.4	626.8	625.0	625.7	624.3	623.9	670.2	617.3	640.1	624.8	625.5	625.4	625.0	621.2	623.6	624.7	624.6
14	676.6	675.9	677.2	675.4	676.7	674.7	674.8	713.3	669.0	688.3	675.4	676.1	675.8	675.6	672.3	674.7	675.6	675.5
15	717.8	717.2	718.4	716.6	718.3	716.0	716.4	745.6	711.6	727.1	716.7	717.5	717.0	717.0	714.4	716.5	717.2	717.1
16	747.9	747.5	748.7	747.0	748.8	746.6	747.3	780.9	743.7	755.0	747.2	748.0	747.4	747.7	745.7	747.5	747.9	747.9
17	780.8	780.8	781.9	780.5	782.0	780.4	781.2	846.4	779.0	785.9	780.6	781.4	780.9	781.2	780.1	781.5	781.5	781.6
18	843.9	844.4	845.3	844.2	845.3	844.5	845.3	884.4	844.7	847.1	844.3	845.0	844.7	845.1	844.7	845.6	845.2	845.6

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

คำ Sampling	ข้อมูล																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
19	879.6	880.5	881.3	880.6	881.1	881.1	882.0	911.5	883.0	880.8	880.5	881.1	881.1	881.4	881.7	882.2	881.5	882.1
20	905.0	906.2	906.8	906.5	906.5	907.2	908.1	924.4	910.4	904.3	906.3	906.8	906.9	907.3	908.1	908.3	907.2	908.0
21	916.7	918.1	918.5	918.5	918.2	919.3	920.3	973.6	923.5	914.1	918.4	918.6	918.8	919.2	920.5	920.4	919.1	920.1
22	965.5	966.8	966.9	967.2	966.8	967.8	969.1	1004.7	972.8	960.8	967.1	967.2	967.3	967.8	969.5	969.2	967.8	968.9
23	996.7	997.8	997.6	998.1	997.9	998.4	1000.1	1038.8	1003.7	990.0	998.2	998.1	997.9	998.5	1000.4	1000.1	998.7	999.8
24	1031.3	1032.0	1031.5	1032.1	1032.3	1031.9	1034.2	1065.2	1037.5	1022.5	1032.4	1032.2	1031.6	1032.4	1034.3	1034.1	1032.8	1033.9
25	1058.2	1058.5	1057.8	1058.4	1059.0	1057.7	1060.5	1092.7	1063.5	1047.3	1058.9	1058.6	1057.6	1058.5	1060.4	1060.3	1059.2	1060.3
26	1085.8	1085.8	1084.8	1085.4	1086.4	1084.3	1087.4	1120.8	1090.7	1072.8	1086.1	1085.7	1084.3	1085.5	1087.1	1087.2	1086.4	1087.6
27	1113.3	1113.1	1112.0	1112.7	1113.9	1111.3	1114.4	1130.2	1118.7	1098.5	1113.5	1112.9	1111.4	1112.7	1114.0	1114.4	1113.7	1115.1
28	1121.2	1121.1	1119.9	1120.7	1121.8	1119.2	1122.1	1131.2	1128.0	1104.6	1121.4	1120.8	1119.3	1120.7	1121.7	1122.2	1121.6	1123.3
29	1120.1	1120.2	1119.1	1120.0	1120.7	1118.7	1121.0	1126.2	1129.3	1101.9	1120.6	1119.8	1118.5	1120.1	1120.7	1121.4	1120.8	1122.8
30	1112.4	1112.9	1111.8	1112.9	1113.2	1112.0	1113.5	1120.0	1124.6	1092.8	1113.3	1112.5	1111.5	1113.1	1113.6	1114.2	1113.6	1115.9
31	1103.5	1104.5	1103.5	1104.8	1104.5	1104.3	1105.0	1115.2	1118.8	1082.7	1104.9	1104.0	1103.5	1105.1	1105.6	1106.0	1105.4	1107.9
32	1096.2	1097.6	1096.7	1098.2	1097.5	1098.3	1098.2	1116.9	1114.4	1074.4	1098.1	1097.2	1097.2	1098.7	1099.5	1099.5	1098.7	1101.3
33	1096.1	1097.9	1097.0	1098.6	1097.7	1099.3	1098.6	1118.1	1116.4	1073.5	1098.4	1097.6	1097.8	1099.4	1100.7	1100.1	1099.2	1101.7
34	1096.3	1098.3	1097.3	1099.1	1098.2	1100.3	1099.1	1116.5	1117.8	1072.9	1098.8	1098.1	1098.6	1100.0	1102.2	1100.9	1099.9	1102.0
35	1094.5	1096.5	1095.4	1097.3	1096.7	1098.9	1097.5	1118.5	1116.3	1070.5	1097.1	1096.4	1097.1	1098.4	1101.6	1099.5	1098.4	1100.0
36	1096.8	1098.7	1097.6	1099.4	1099.2	1101.5	1099.9	1123.2	1118.3	1072.5	1099.4	1098.8	1099.5	1100.8	1105.0	1102.1	1100.9	1101.8

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sampling																		
37	1101.9	1103.8	1102.5	1104.4	1104.6	1106.8	1105.1	1129.6	1122.9	1077.4	1104.5	1104.0	1104.7	1105.9	1111.2	1107.5	1106.2	1106.5
38	1108.7	1110.5	1109.2	1111.1	1111.5	1113.9	1112.0	1122.1	1129.4	1084.3	1111.3	1110.9	1111.7	1112.8	1119.0	1114.6	1113.1	1112.9
39	1101.2	1103.2	1101.8	1103.8	1104.2	1107.0	1104.7	1103.3	1122.1	1077.3	1103.9	1103.6	1104.6	1105.6	1112.4	1107.4	1105.9	1105.2
40	1082.1	1084.2	1083.0	1085.0	1085.3	1088.7	1085.8	1088.3	1103.7	1058.9	1085.0	1084.8	1086.1	1087.0	1094.0	1088.7	1087.1	1086.2
41	1066.5	1068.9	1067.8	1069.9	1069.7	1073.9	1070.4	1084.4	1089.1	1044.3	1069.7	1069.5	1071.2	1071.9	1078.9	1073.4	1071.8	1071.0
42	1061.9	1064.7	1063.8	1065.8	1065.2	1070.2	1066.0	1072.3	1085.6	1041.1	1065.4	1065.2	1067.3	1067.9	1074.4	1069.0	1067.5	1066.8
43	1049.8	1052.7	1052.0	1054.0	1052.9	1058.5	1053.7	1061.2	1073.9	1030.4	1053.4	1053.2	1055.6	1056.0	1061.9	1056.8	1055.4	1054.9
44	1039.4	1042.3	1041.8	1043.7	1042.3	1048.0	1043.0	1039.3	1063.1	1021.6	1042.9	1042.7	1045.2	1045.6	1050.6	1046.0	1044.8	1044.5
45	1019.2	1021.9	1021.5	1023.2	1021.8	1027.2	1022.1	1014.4	1041.2	1003.2	1022.4	1022.2	1024.6	1024.9	1028.9	1024.9	1024.1	1023.9
46	997.1	999.3	999.0	1000.4	999.2	1003.8	999.0	979.2	1016.2	983.1	999.7	999.5	1001.6	1001.9	1004.9	1001.6	1001.1	1001.0
47	965.6	967.2	966.9	968.0	967.2	970.6	966.4	952.6	980.7	953.7	967.4	967.2	968.9	969.2	971.3	968.6	968.5	968.3
48	943.4	944.3	943.8	944.7	944.4	946.4	942.9	959.9	953.8	933.6	944.3	944.1	945.2	945.5	946.7	944.8	945.1	944.7
49	955.3	955.4	954.9	955.5	955.6	956.4	953.7	953.6	960.8	947.9	955.4	955.1	955.7	955.8	956.4	955.1	955.7	955.1
50	953.3	952.7	952.1	952.5	952.9	952.7	950.8	945.0	954.4	948.4	952.6	952.3	952.5	952.5	952.5	951.6	952.6	951.8
51	948.4	947.5	946.8	947.1	947.4	946.8	945.5	936.6	945.8	946.3	947.3	946.9	946.9	946.7	946.2	945.8	946.8	946.0
53	943.1	941.9	941.3	941.6	941.6	940.9	940.0	922.5	937.7	943.8	941.8	941.3	941.2	940.8	940.0	939.8	940.9	940.1
53	931.5	930.2	929.7	930.0	929.5	929.0	928.5	906.2	923.9	935.0	930.1	929.6	929.5	928.9	927.8	927.8	928.8	928.0
54	917.2	916.0	915.5	915.8	914.8	914.8	914.6	876.9	908.0	923.5	915.8	915.3	915.3	914.5	913.2	913.4	914.3	913.5

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ค่า Sampling	ข้อมูลที																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
55	889.6	888.5	888.2	888.5	887.0	887.4	887.4	844.8	879.0	898.7	888.4	887.9	888.0	886.9	885.6	885.9	886.6	885.9
56	859.2	858.1	857.8	858.1	856.4	856.9	857.4	816.4	847.0	870.7	858.0	857.6	857.6	856.4	855.1	855.5	856.0	855.3
57	832.5	831.3	831.1	831.2	829.7	829.8	830.9	793.5	818.3	846.1	831.1	830.8	830.7	829.4	828.1	828.7	829.2	828.4
58	811.3	809.8	809.8	809.5	808.5	807.9	809.6	763.1	794.9	826.6	809.6	809.5	809.1	807.8	806.4	807.2	807.7	806.8
59	782.3	780.6	780.7	780.1	779.7	778.2	780.6	711.5	763.9	799.2	780.3	780.4	779.6	778.4	776.9	778.1	778.5	777.5
60	731.7	729.7	730.0	728.9	729.2	726.7	729.8	640.9	711.5	749.7	729.4	729.6	728.4	727.4	725.5	727.2	727.8	726.7
61	661.3	659.1	659.7	658.1	659.1	655.7	659.2	570.7	640.1	680.3	658.7	659.2	657.7	656.8	654.5	656.7	657.4	656.4
62	590.3	588.2	589.1	587.1	588.6	584.5	588.3	474.8	569.2	610.2	587.7	588.4	586.7	586.0	583.1	586.0	586.6	585.9
63	492.8	490.8	492.1	489.7	491.4	487.2	490.9	422.4	472.8	513.3	490.2	491.1	489.4	488.9	485.2	488.8	489.5	489.2
64	438.1	436.5	438.2	435.5	437.2	433.0	436.5	365.8	420.1	459.1	435.8	436.8	435.3	434.9	430.4	434.6	435.3	435.6
65	379.0	377.8	379.9	377.0	378.5	374.8	377.8	289.4	363.3	400.5	377.1	378.2	376.9	376.7	371.3	376.2	376.9	377.6
66	300.2	299.5	301.9	298.9	300.0	296.8	299.4	208.7	286.9	322.1	298.7	299.9	298.9	298.7	292.7	298.0	298.7	299.9
67	217.9	217.5	220.1	217.0	217.9	215.1	217.4	126.2	206.2	240.0	216.7	218.0	217.1	217.0	210.5	216.1	216.7	218.3
68	134.9	134.5	137.2	134.1	134.9	132.3	134.5	59.9	123.7	157.0	133.7	135.0	134.2	134.1	127.5	133.2	133.8	135.6
69	69.2	68.7	71.3	68.3	69.2	66.4	68.7	5.8	57.4	91.2	67.9	69.2	68.4	68.2	61.8	67.4	68.0	69.6
70	16.7	15.9	18.3	15.3	16.5	13.3	15.9	-46.5	3.3	38.5	15.2	16.4	15.3	15.2	9.1	14.5	15.1	16.4
71	-33.3	-34.5	-32.4	-35.3	-33.8	-37.5	-34.5	-113.4	-49.0	-11.8	-35.2	-34.1	-35.4	-35.6	-41.0	-36.1	-35.4	-34.7
72	-97.7	-99.3	-97.6	-100.3	-98.6	-102.8	-99.3	-182.4	-115.7	-76.7	-100.0	-99.0	-100.5	-100.9	-105.4	-101.2	-100.5	-100.2

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

คำ Sampling	ข้อมูลที																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
73	-164.4	-166.4	-165.1	-167.5	-165.8	-170.1	-166.3	-247.5	-184.4	-144.0	-167.0	-166.1	-167.8	-168.3	-172.0	-168.5	-167.7	-168.1
74	-227.9	-230.1	-229.2	-231.2	-229.7	-233.7	-230.0	-299.2	-249.0	-208.1	-230.6	-229.9	-231.5	-232.3	-235.2	-232.3	-231.6	-232.4
75	-278.8	-281.0	-280.4	-282.0	-280.9	-284.4	-280.9	-367.0	-300.0	-259.8	-281.4	-280.9	-282.4	-283.3	-285.6	-283.3	-282.7	-283.7
76	-346.8	-348.9	-348.5	-349.6	-349.3	-351.8	-348.8	-439.7	-367.0	-328.8	-349.2	-348.9	-350.1	-351.1	-353.0	-351.3	-350.8	-351.8
77	-420.5	-422.3	-422.1	-422.8	-423.2	-424.7	-422.3	-511.3	-439.0	-403.6	-422.5	-422.4	-423.2	-424.4	-426.0	-424.8	-424.3	-425.3
78	-493.5	-495.0	-495.0	-495.2	-496.3	-496.8	-495.1	-579.4	-509.8	-478.1	-495.1	-495.3	-495.7	-497.0	-498.3	-497.5	-497.1	-498.0
79	-563.3	-564.6	-564.7	-564.6	-566.1	-566.0	-564.9	-637.8	-577.5	-549.7	-564.7	-565.0	-565.1	-566.4	-567.7	-567.1	-566.7	-567.5
80	-623.4	-624.6	-624.8	-624.6	-626.2	-625.8	-625.3	-720.6	-635.7	-612.0	-624.7	-625.1	-625.1	-626.3	-627.6	-627.2	-626.6	-627.3
81	-707.9	-709.1	-709.4	-709.1	-710.5	-710.2	-710.1	-779.1	-718.6	-698.9	-709.2	-709.6	-709.6	-710.7	-712.0	-711.7	-711.0	-711.7
82	-768.2	-769.4	-769.8	-769.5	-770.5	-770.5	-770.8	-844.5	-777.3	-761.8	-769.5	-770.0	-770.0	-770.9	-772.1	-771.9	-771.1	-771.8
83	-835.5	-836.8	-837.3	-837.0	-837.5	-838.0	-838.5	-933.3	-843.1	-832.0	-836.9	-837.4	-837.5	-838.1	-839.2	-839.2	-838.2	-839.0
84	-926.8	-928.0	-928.6	-928.3	-928.3	-929.1	-929.9	-989.0	-932.2	-926.1	-928.1	-928.6	-928.7	-929.1	-929.9	-930.1	-929.0	-929.8
85	-985.5	-986.5	-987.1	-986.8	-986.6	-987.2	-988.5	-1036.5	-988.2	-987.7	-986.7	-987.0	-987.1	-987.2	-987.8	-988.2	-987.1	-987.9
86	-1036.9	-1037.4	-1038.0	-1037.6	-1037.3	-1037.4	-1039.3	-1087.7	-1035.8	-1041.7	-1037.5	-1037.8	-1037.6	-1037.6	-1037.6	-1038.5	-1037.6	-1038.3
87	-1092.3	-1092.3	-1092.8	-1092.2	-1092.1	-1091.3	-1093.9	-1138.1	-1086.8	-1099.8	-1092.3	-1092.6	-1091.9	-1091.8	-1091.2	-1092.6	-1091.9	-1092.5
88	-1147.3	-1146.5	-1146.9	-1146.1	-1146.4	-1144.3	-1147.8	-1183.6	-1136.9	-1157.1	-1146.4	-1146.6	-1145.5	-1145.3	-1144.0	-1145.9	-1145.6	-1146.0
89	-1197.2	-1195.6	-1196.0	-1194.8	-1195.6	-1192.2	-1196.5	-1223.6	-1182.2	-1209.2	-1195.4	-1195.6	-1194.0	-1193.7	-1191.6	-1194.2	-1194.3	-1194.5
90	-1240.9	-1238.7	-1239.0	-1237.6	-1238.8	-1234.2	-1239.0	-1268.8	-1221.9	-1255.0	-1238.4	-1238.6	-1236.4	-1236.1	-1233.1	-1236.4	-1236.9	-1237.1

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ค่า Sampling	ข้อมูลปี																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
91	-1289.0	-1286.3	-1286.7	-1285.0	-1286.4	-1281.0	-1286.1	-1301.9	-1267.0	-1304.9	-1285.8	-1286.0	-1283.6	-1283.2	-1279.2	-1283.2	-1284.1	-1284.3
92	-1323.8	-1320.8	-1321.3	-1319.4	-1320.8	-1315.1	-1320.1	-1330.8	-1300.1	-1341.5	-1320.2	-1320.4	-1317.9	-1317.5	-1312.5	-1317.1	-1318.3	-1318.6
93	-1353.3	-1350.4	-1351.1	-1349.1	-1350.2	-1344.6	-1349.3	-1364.4	-1329.2	-1372.7	-1349.7	-1349.9	-1347.5	-1347.1	-1341.2	-1346.3	-1347.7	-1348.2
94	-1386.8	-1384.1	-1385.0	-1382.9	-1383.6	-1378.6	-1382.8	-1400.7	-1363.2	-1407.7	-1383.4	-1383.5	-1381.5	-1380.9	-1374.3	-1379.7	-1381.2	-1382.0
95	-1422.6	-1420.1	-1421.2	-1419.2	-1419.3	-1415.1	-1418.6	-1428.3	-1400.0	-1444.7	-1419.4	-1419.6	-1417.9	-1417.1	-1410.2	-1415.7	-1417.2	-1418.1
96	-1449.6	-1447.4	-1448.6	-1446.6	-1446.4	-1442.9	-1445.8	-1447.7	-1428.0	-1472.7	-1446.6	-1446.8	-1445.5	-1444.6	-1437.6	-1443.0	-1444.5	-1445.4
97	-1468.6	-1466.6	-1467.9	-1466.0	-1465.5	-1462.7	-1465.1	-1463.3	-1447.7	-1492.5	-1465.9	-1466.2	-1465.1	-1464.1	-1457.4	-1462.4	-1463.8	-1464.5
98	-1484.2	-1482.3	-1483.7	-1481.7	-1481.3	-1478.9	-1480.8	-1477.3	-1463.4	-1508.5	-1481.6	-1482.0	-1481.1	-1480.0	-1473.9	-1478.3	-1479.7	-1480.0
99	-1498.5	-1496.6	-1497.9	-1496.0	-1495.9	-1493.6	-1495.3	-1491.5	-1477.5	-1523.0	-1496.0	-1496.4	-1495.7	-1494.5	-1489.2	-1492.9	-1494.2	-1494.0
100	-1513.2	-1511.3	-1512.5	-1510.6	-1510.8	-1508.5	-1510.1	-1500.4	-1491.7	-1537.5	-1510.6	-1511.2	-1510.5	-1509.2	-1505.0	-1507.9	-1509.1	-1508.2
101	-1522.5	-1520.4	-1521.5	-1519.6	-1520.2	-1518.0	-1519.4	-1498.7	-1500.6	-1546.4	-1519.8	-1520.5	-1519.9	-1518.5	-1515.3	-1517.4	-1518.5	-1517.0
102	-1520.5	-1518.5	-1519.4	-1517.7	-1518.5	-1516.5	-1517.7	-1484.4	-1498.9	-1543.8	-1517.9	-1518.7	-1518.2	-1516.7	-1514.6	-1515.8	-1516.9	-1514.7
103	-1505.2	-1503.4	-1504.4	-1502.7	-1503.6	-1502.0	-1502.8	-1462.8	-1484.9	-1527.8	-1502.9	-1503.8	-1503.5	-1501.9	-1500.6	-1501.2	-1502.1	-1499.6
104	-1481.8	-1480.3	-1481.3	-1479.8	-1480.4	-1479.7	-1479.8	-1446.7	-1463.6	-1503.5	-1479.9	-1480.7	-1480.8	-1479.2	-1478.5	-1478.5	-1479.2	-1476.6
105	-1463.2	-1462.2	-1463.2	-1461.9	-1462.2	-1462.4	-1461.7	-1425.1	-1447.9	-1484.0	-1461.8	-1462.7	-1463.2	-1461.6	-1461.1	-1460.7	-1461.3	-1458.8
106	-1438.9	-1438.4	-1439.5	-1438.4	-1438.1	-1439.3	-1437.8	-1404.5	-1426.7	-1458.5	-1438.0	-1438.8	-1439.8	-1438.2	-1437.7	-1437.1	-1437.7	-1435.4
107	-1415.6	-1415.5	-1416.6	-1415.7	-1415.0	-1417.0	-1414.8	-1366.6	-1406.5	-1433.8	-1415.2	-1415.9	-1417.2	-1415.6	-1415.0	-1414.4	-1414.9	-1412.9
108	-1375.5	-1375.6	-1376.8	-1376.1	-1375.0	-1377.5	-1374.7	-1320.5	-1368.7	-1392.1	-1375.3	-1376.0	-1377.5	-1376.0	-1375.1	-1374.5	-1375.1	-1373.5

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูล																	
Sampling	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
109	-1327.9	-1328.1	-1329.2	-1328.6	-1327.4	-1329.9	-1326.9	-1267.3	-1322.6	-1342.8	-1327.8	-1328.3	-1329.9	-1328.5	-1327.2	-1326.9	-1327.6	-1326.2
110	-1274.2	-1274.2	-1275.2	-1274.5	-1273.6	-1275.7	-1272.6	-1216.2	-1269.3	-1287.1	-1273.9	-1274.3	-1275.7	-1274.5	-1272.9	-1272.7	-1273.6	-1272.4
111	-1223.2	-1222.9	-1223.7	-1223.0	-1222.4	-1223.7	-1221.0	-1186.4	-1217.9	-1234.1	-1222.5	-1222.8	-1223.9	-1222.9	-1221.0	-1221.1	-1222.2	-1221.1
112	-1193.9	-1193.2	-1193.7	-1193.1	-1192.9	-1193.3	-1191.0	-1153.1	-1187.7	-1202.7	-1192.8	-1193.0	-1193.6	-1192.8	-1190.9	-1191.1	-1192.4	-1191.3
113	-1161.1	-1160.0	-1160.2	-1159.7	-1159.9	-1159.4	-1157.7	-1091.9	-1154.1	-1167.8	-1159.6	-1159.7	-1159.9	-1159.3	-1157.4	-1157.7	-1159.1	-1158.0
114	-1100.1	-1098.8	-1098.6	-1098.3	-1098.7	-1097.7	-1096.4	-1016.8	-1092.8	-1104.7	-1098.4	-1098.3	-1098.2	-1097.8	-1096.1	-1096.3	-1097.7	-1096.7
115	-1024.6	-1023.2	-1022.8	-1022.7	-1023.1	-1022.0	-1021.0	-933.1	-1017.7	-1027.2	-1022.9	-1022.7	-1022.5	-1022.1	-1020.7	-1020.9	-1022.2	-1021.2
116	-939.6	-938.5	-937.9	-938.1	-938.1	-937.4	-936.5	-857.9	-934.2	-940.3	-938.3	-937.9	-937.7	-937.3	-936.5	-936.3	-937.4	-936.6
117	-862.6	-861.8	-861.0	-861.7	-861.1	-861.1	-860.3	-788.3	-859.3	-861.4	-861.7	-861.2	-861.2	-860.8	-860.6	-860.0	-860.8	-860.2
118	-790.8	-790.3	-789.4	-790.5	-789.4	-790.2	-789.4	-713.7	-790.0	-787.6	-790.4	-789.7	-790.0	-789.6	-790.0	-789.1	-789.5	-789.1
119	-713.8	-713.8	-712.8	-714.2	-712.6	-714.3	-713.4	-642.4	-715.7	-708.7	-714.1	-713.3	-713.7	-713.4	-714.6	-713.2	-713.2	-713.0
120	-640.1	-640.5	-639.4	-641.0	-639.2	-641.4	-640.7	-574.3	-644.4	-633.0	-640.9	-640.0	-640.6	-640.4	-642.3	-640.5	-640.1	-640.1
121	-569.8	-570.4	-569.2	-571.0	-569.3	-571.6	-571.1	-511.3	-576.0	-560.5	-570.9	-570.1	-570.6	-570.5	-573.2	-571.1	-570.4	-570.4
122	-504.9	-505.6	-504.3	-506.2	-504.9	-506.8	-506.8	-445.5	-512.5	-493.3	-506.2	-505.4	-505.8	-505.9	-509.2	-506.9	-505.9	-506.0
123	-437.1	-437.9	-436.5	-438.3	-437.6	-439.0	-439.4	-381.7	-446.0	-423.2	-438.5	-437.8	-437.9	-438.3	-442.1	-439.7	-438.6	-438.7
124	-371.1	-371.9	-370.5	-372.1	-372.1	-372.8	-373.6	-290.2	-381.4	-354.8	-372.5	-371.9	-371.7	-372.5	-376.6	-374.2	-373.0	-373.2
125	-276.8	-277.7	-276.5	-277.8	-278.5	-278.5	-279.6	-206.5	-289.0	-258.3	-278.3	-277.9	-277.5	-278.6	-282.8	-280.6	-279.3	-279.8
126	-189.9	-191.0	-189.9	-191.1	-192.2	-191.9	-193.0	-146.0	-204.6	-169.3	-191.6	-191.3	-190.8	-192.3	-196.3	-194.4	-193.0	-193.9

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sampling																		
127	-125.5	-127.1	-126.2	-127.2	-128.5	-128.2	-129.2	-54.3	-143.5	-103.1	-127.6	-127.5	-127.0	-128.8	-132.5	-131.0	-129.5	-130.8
128	-29.7	-31.8	-31.3	-32.1	-33.4	-33.4	-33.9	-2.9	-51.5	-5.9	-32.3	-32.2	-32.0	-34.0	-37.2	-36.2	-34.6	-36.5



ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ค่า Sampling	ข้อมูลที																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
1	20.8	19.4	43.3	43.8	45.5	46.5	41.1	49.9	41.6	44.9	40.1	42.5	38.6	39.4	36.5	38.4	36.8	36.4
2	91.1	89.4	115.0	115.0	117.1	117.8	112.1	121.2	112.8	116.0	111.2	113.9	109.5	110.2	106.7	108.9	107.9	107.1
3	163.7	161.8	188.5	188.2	190.7	191.0	185.1	194.3	186.0	189.2	184.4	187.3	182.6	183.2	179.1	181.6	181.1	180.0
4	242.9	240.9	268.1	267.5	270.2	270.4	264.4	273.7	265.3	268.5	263.7	266.7	261.9	262.5	258.3	260.8	260.4	259.3
5	308.3	306.4	333.1	332.8	335.3	335.6	329.7	339.0	330.6	333.8	329.0	331.9	327.2	327.8	323.8	326.2	325.7	324.6
6	350.4	348.7	374.3	374.3	376.5	377.1	371.4	380.5	372.1	375.4	370.5	373.2	368.9	369.6	366.0	368.2	367.2	366.4
7	379.8	378.5	402.4	402.8	404.5	405.5	400.2	409.0	400.7	404.0	399.2	401.6	397.7	398.5	395.6	397.4	395.8	395.4
8	415.7	414.7	436.7	437.6	438.9	440.1	435.2	443.6	435.5	438.7	434.2	436.2	432.8	433.7	431.6	433.0	430.8	430.8
9	452.8	452.1	472.3	473.5	474.4	475.8	471.4	479.0	471.4	474.4	470.6	472.0	469.0	469.9	468.7	469.6	467.0	467.4
10	492.6	492.0	510.7	511.9	512.6	513.9	510.1	516.8	509.9	512.4	509.7	510.5	507.8	508.6	508.1	508.7	505.8	506.6
11	534.9	534.4	551.8	552.8	553.6	554.5	551.2	556.7	551.0	552.9	551.5	551.7	549.2	549.8	549.8	550.2	547.4	548.3
12	577.8	577.2	593.7	594.2	595.2	595.6	592.7	597.0	592.6	593.7	593.8	593.5	591.0	591.4	591.8	592.1	589.5	590.6
13	624.0	623.3	638.7	638.7	639.9	639.7	637.3	640.2	637.3	637.7	639.2	638.5	636.0	636.1	636.8	637.0	634.9	636.0
14	674.6	673.7	687.6	687.3	688.5	687.9	685.9	687.5	686.1	685.9	688.4	687.5	685.1	685.1	686.0	686.0	684.5	685.5
15	716.1	715.1	726.9	726.4	727.5	726.6	725.1	725.5	725.5	724.8	727.8	726.9	724.8	724.8	725.8	725.8	724.6	725.5
16	747.0	746.1	754.9	754.6	755.3	754.4	753.3	752.8	753.9	753.1	755.9	755.3	753.7	753.9	754.9	754.8	753.8	754.6
17	781.0	780.3	785.3	785.7	785.7	785.1	784.4	783.2	785.1	784.4	786.5	786.3	785.5	786.0	787.1	786.7	785.8	786.5
18	845.4	844.9	845.8	846.9	846.0	846.0	845.8	844.0	846.6	846.1	847.1	847.3	847.5	848.4	849.6	849.0	847.9	848.6

ข้อมูลที

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ค่า Sampling	ข้อมูล																																
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36															
19	882.3	882.2	878.7	880.7	878.9	879.5	879.7	877.5	880.6	880.4	880.2	880.9	882.0	883.4	884.6	883.7	882.5	883.1															
20	908.7	908.9	901.4	904.0	901.5	902.6	903.2	900.7	904.3	904.1	903.1	904.2	906.1	907.9	909.0	907.9	906.7	907.2															
21	921.0	921.4	910.6	913.6	910.6	912.0	913.0	910.1	914.3	913.9	912.4	913.8	916.5	918.3	919.3	918.1	917.1	917.4															
22	969.7	970.3	957.1	959.9	956.9	958.2	959.7	956.4	961.1	960.2	959.1	960.4	963.5	965.2	966.1	964.8	964.3	964.4															
23	1000.3	1000.9	986.5	988.6	986.0	986.9	988.8	985.0	990.4	988.6	988.5	989.7	992.9	994.1	994.8	993.5	993.8	993.6															
24	1033.9	1034.5	1019.5	1020.7	1018.7	1019.0	1021.3	1017.0	1023.0	1020.2	1021.6	1022.4	1025.6	1026.1	1026.6	1025.4	1026.6	1026.1															
25	1059.7	1060.2	1045.1	1045.2	1044.0	1043.6	1046.3	1041.5	1048.1	1044.1	1047.4	1047.6	1050.6	1050.4	1050.7	1049.6	1051.7	1050.9															
26	1086.2	1086.7	1071.6	1070.6	1070.2	1069.1	1072.2	1067.0	1074.0	1069.0	1074.0	1073.6	1076.4	1075.4	1075.7	1074.6	1077.6	1076.6															
27	1112.9	1113.6	1098.2	1096.4	1096.6	1095.0	1098.6	1093.0	1100.3	1094.4	1100.9	1099.8	1102.5	1100.9	1101.3	1100.2	1103.7	1102.7															
28	1120.6	1121.5	1105.3	1103.0	1103.6	1101.8	1105.8	1100.1	1107.2	1100.9	1108.3	1106.6	1109.4	1107.3	1107.9	1106.7	1110.5	1109.5															
29	1119.7	1120.9	1103.6	1101.2	1101.7	1100.1	1104.4	1098.8	1105.4	1099.1	1106.7	1104.6	1107.6	1105.3	1106.2	1104.9	1108.5	1107.6															
30	1112.6	1114.1	1095.3	1093.2	1093.5	1092.1	1096.8	1091.3	1097.3	1091.5	1098.6	1096.2	1099.5	1097.1	1098.4	1096.9	1100.2	1099.5															
31	1104.5	1106.4	1086.1	1084.4	1084.3	1083.4	1088.2	1082.9	1088.3	1083.1	1089.3	1086.7	1090.4	1088.2	1089.7	1088.2	1090.9	1090.5															
32	1098.1	1100.2	1078.8	1077.4	1076.9	1076.4	1081.3	1076.2	1080.9	1076.6	1081.6	1079.1	1082.9	1080.9	1082.7	1081.1	1083.4	1083.2															
33	1098.7	1100.8	1078.9	1077.8	1077.0	1076.7	1081.6	1076.6	1080.7	1077.5	1081.2	1078.8	1082.6	1080.9	1082.6	1081.2	1083.2	1083.0															
34	1099.4	1101.3	1079.5	1078.5	1077.6	1077.3	1082.1	1077.0	1080.8	1078.7	1081.2	1079.0	1082.6	1081.0	1082.6	1081.4	1083.3	1083.1															
35	1097.7	1099.3	1078.4	1077.3	1076.4	1076.0	1080.5	1075.4	1078.9	1077.8	1079.1	1077.2	1080.4	1079.0	1080.2	1079.4	1081.4	1081.2															
36	1100.0	1101.2	1081.6	1080.2	1079.6	1078.8	1083.0	1077.8	1081.1	1081.0	1081.3	1079.8	1082.3	1081.2	1081.9	1081.6	1083.8	1083.4															

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Sampling	887.6	887.6	893.9	894.4	894.8	895.8	894.0	898.3	894.4	895.2	892.9	894.1	893.4	893.5	892.0	892.6	892.2	891.8
55	857.6	857.6	863.9	865.1	865.0	866.4	864.3	868.8	865.2	866.1	863.0	864.8	864.5	865.2	863.6	864.0	863.3	862.8
56	831.1	830.9	837.7	839.4	839.0	840.6	838.1	842.6	839.5	840.3	837.0	839.3	839.0	840.2	838.5	838.8	837.9	837.4
57	809.7	809.2	817.1	819.0	818.5	819.9	817.2	821.4	819.1	819.5	816.7	819.3	818.8	820.2	818.5	818.7	817.8	817.3
58	780.3	779.5	789.0	790.7	790.4	791.5	788.6	792.3	791.0	790.7	788.9	791.5	790.8	792.2	790.5	790.7	790.0	789.5
60	729.1	728.0	739.3	740.7	740.7	741.3	738.3	741.4	741.1	740.1	739.6	742.1	741.0	742.3	740.8	741.0	740.4	739.9
61	658.3	657.0	669.9	671.0	671.3	671.5	668.3	670.9	671.4	669.7	670.6	672.9	671.4	672.6	671.4	671.6	671.0	670.6
62	587.3	585.9	599.8	600.9	601.3	601.2	598.1	600.1	601.3	599.0	601.3	603.1	601.5	602.6	601.9	601.8	601.0	601.0
63	490.0	488.6	503.0	504.2	504.6	504.4	501.4	503.0	504.7	502.0	505.2	506.6	505.0	506.2	506.2	505.8	504.5	504.8
64	435.9	434.7	449.0	450.6	450.6	450.6	447.8	449.1	451.0	448.0	451.9	452.9	451.5	452.8	453.5	452.7	450.8	451.6
65	377.6	376.6	390.3	392.4	392.0	392.4	389.8	391.0	392.9	389.8	394.0	394.6	393.6	395.0	396.5	395.3	392.6	393.9
66	299.6	298.9	311.8	314.5	313.7	314.5	312.0	313.1	314.9	311.9	316.1	316.5	315.8	317.4	319.6	318.0	314.6	316.2
67	217.8	217.4	229.7	232.8	231.6	232.7	230.3	231.5	233.2	230.2	234.4	234.6	234.2	235.9	238.5	236.7	232.8	234.7
68	135.0	134.6	146.6	149.9	148.6	149.8	147.5	148.6	150.3	147.4	151.5	151.6	151.4	153.1	155.9	154.0	149.9	151.9
69	69.1	68.7	80.9	84.0	82.9	84.0	81.5	82.7	84.4	81.4	85.6	85.8	85.4	87.2	89.7	87.9	84.0	85.9
70	16.0	15.4	28.3	31.0	30.1	30.9	28.4	29.6	31.4	28.3	32.6	32.9	32.3	33.9	36.0	34.5	31.1	32.7
71	-34.7	-35.6	-22.0	-19.9	-20.2	-19.8	-22.5	-21.3	-19.4	-22.5	-18.3	-17.7	-18.7	-17.3	-15.8	-17.0	-19.7	-18.4
72	-99.9	-101.1	-86.8	-85.2	-85.2	-85.2	-88.0	-86.7	-84.8	-87.8	-83.9	-82.9	-84.3	-83.0	-82.3	-83.1	-85.0	-84.2

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลปี																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Sampling																		
73	-167.2	-168.6	-154.2	-153.0	-152.7	-152.8	-155.8	-154.2	-152.5	-155.3	-152.0	-150.6	-152.2	-151.0	-151.1	-151.5	-152.7	-152.4
74	-230.9	-232.4	-218.4	-217.4	-217.0	-217.1	-220.2	-218.2	-216.9	-219.2	-217.0	-215.2	-216.8	-215.7	-216.3	-216.4	-217.2	-217.3
75	-281.7	-283.1	-270.2	-269.1	-268.8	-268.6	-271.8	-269.2	-268.7	-270.4	-269.4	-267.2	-268.7	-267.5	-268.6	-268.5	-269.1	-269.4
76	-349.4	-350.5	-339.2	-337.8	-337.8	-337.2	-340.3	-337.1	-337.5	-338.4	-338.9	-336.4	-337.6	-336.2	-337.8	-337.5	-338.1	-338.6
77	-422.5	-423.3	-413.8	-412.1	-412.4	-411.3	-414.3	-410.5	-411.9	-412.1	-414.0	-411.3	-412.1	-410.7	-412.3	-412.1	-412.8	-413.4
78	-495.1	-495.5	-487.7	-485.8	-486.2	-484.8	-487.5	-483.3	-485.6	-485.2	-488.1	-485.5	-485.9	-484.6	-486.3	-486.0	-486.9	-487.4
79	-564.7	-564.9	-558.2	-556.4	-556.8	-555.3	-557.7	-553.2	-556.3	-555.5	-558.8	-556.5	-556.8	-555.7	-557.3	-557.0	-557.9	-558.4
80	-625.0	-625.0	-618.8	-617.5	-617.7	-616.3	-618.4	-613.8	-617.5	-616.6	-619.7	-617.8	-618.2	-617.5	-619.1	-618.7	-619.4	-619.9
81	-710.0	-709.9	-703.6	-703.2	-702.7	-701.8	-703.5	-699.3	-703.2	-702.4	-704.7	-703.5	-704.2	-704.0	-705.5	-705.0	-705.3	-705.8
82	-770.9	-770.9	-764.1	-764.7	-763.5	-763.2	-764.6	-760.8	-764.7	-764.2	-765.3	-764.9	-766.0	-766.6	-768.0	-767.3	-767.1	-767.5
83	-838.9	-839.0	-831.7	-833.4	-831.5	-831.9	-832.9	-829.7	-833.5	-833.2	-833.1	-833.5	-835.1	-836.3	-837.6	-836.7	-835.9	-836.4
84	-930.5	-930.7	-923.2	-925.9	-923.3	-924.4	-925.0	-922.5	-926.1	-925.9	-924.9	-926.0	-927.9	-929.7	-930.8	-929.7	-928.5	-929.0
85	-989.2	-989.4	-982.4	-985.6	-982.8	-984.3	-984.5	-982.7	-986.1	-985.8	-984.3	-985.9	-988.1	-990.2	-991.1	-989.9	-988.5	-988.9
86	-1039.8	-1040.0	-1034.5	-1037.8	-1035.1	-1036.7	-1036.4	-1035.2	-1038.6	-1037.8	-1036.5	-1038.5	-1040.6	-1042.7	-1043.3	-1042.1	-1040.7	-1041.0
87	-1094.1	-1094.0	-1090.9	-1093.9	-1091.6	-1093.0	-1092.4	-1091.7	-1095.1	-1093.4	-1093.1	-1095.2	-1096.9	-1098.8	-1099.1	-1098.0	-1097.0	-1097.0
88	-1147.4	-1147.1	-1147.0	-1149.3	-1147.9	-1148.7	-1147.8	-1147.5	-1151.0	-1148.2	-1149.4	-1151.4	-1152.6	-1154.1	-1154.0	-1153.0	-1152.5	-1152.3
89	-1195.6	-1195.0	-1198.3	-1199.7	-1199.2	-1199.4	-1198.2	-1198.3	-1201.8	-1197.9	-1200.9	-1202.6	-1203.1	-1204.1	-1203.7	-1202.9	-1202.9	-1202.5
90	-1237.7	-1236.9	-1243.5	-1244.1	-1244.4	-1244.1	-1242.6	-1243.2	-1246.5	-1241.6	-1246.3	-1247.6	-1247.6	-1247.9	-1247.4	-1246.7	-1247.2	-1246.7

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Sampling																		
91	-1284.5	-1283.6	-1293.1	-1293.0	-1294.1	-1293.4	-1291.7	-1292.8	-1295.7	-1290.0	-1296.1	-1297.0	-1296.5	-1296.4	-1295.8	-1295.1	-1295.8	-1295.3
92	-1318.5	-1317.7	-1329.3	-1328.9	-1330.4	-1329.7	-1327.7	-1329.5	-1331.8	-1325.7	-1332.6	-1333.2	-1332.3	-1331.9	-1331.4	-1330.7	-1331.3	-1330.9
93	-1347.9	-1347.2	-1360.2	-1360.0	-1361.5	-1361.0	-1358.9	-1361.3	-1362.8	-1356.7	-1363.8	-1364.1	-1363.1	-1362.6	-1362.4	-1361.6	-1361.8	-1361.6
94	-1381.6	-1381.2	-1395.0	-1395.2	-1396.5	-1396.4	-1394.1	-1397.3	-1397.8	-1392.1	-1398.7	-1398.9	-1397.9	-1397.5	-1397.6	-1396.7	-1396.2	-1396.3
95	-1417.9	-1417.7	-1432.0	-1432.7	-1433.8	-1434.1	-1431.6	-1435.5	-1434.9	-1430.0	-1435.6	-1435.8	-1434.9	-1434.8	-1435.1	-1434.1	-1432.9	-1433.2
96	-1445.5	-1445.3	-1460.1	-1461.3	-1462.1	-1462.9	-1460.1	-1464.6	-1463.1	-1459.1	-1463.5	-1463.9	-1463.0	-1463.1	-1463.5	-1462.5	-1460.7	-1461.3
97	-1465.0	-1464.8	-1480.4	-1481.9	-1482.4	-1483.5	-1480.4	-1485.4	-1483.1	-1480.1	-1483.2	-1483.8	-1482.7	-1483.3	-1483.6	-1482.8	-1480.5	-1481.2
98	-1480.9	-1480.5	-1497.1	-1498.8	-1499.3	-1500.4	-1497.0	-1502.2	-1499.3	-1497.4	-1499.3	-1500.2	-1498.7	-1499.5	-1499.6	-1499.1	-1496.6	-1497.3
99	-1495.3	-1494.5	-1512.6	-1514.2	-1514.8	-1515.7	-1511.9	-1517.2	-1514.0	-1513.2	-1513.9	-1515.1	-1513.2	-1514.2	-1513.9	-1513.7	-1511.3	-1511.9
100	-1510.0	-1508.8	-1528.4	-1529.8	-1530.5	-1531.2	-1527.0	-1532.2	-1528.9	-1529.0	-1528.7	-1530.2	-1527.7	-1528.8	-1528.1	-1528.4	-1526.2	-1526.6
101	-1519.2	-1517.6	-1538.5	-1539.6	-1540.5	-1540.9	-1536.4	-1541.5	-1538.0	-1539.1	-1537.8	-1539.7	-1536.5	-1537.9	-1536.7	-1537.5	-1535.5	-1535.7
102	-1517.4	-1515.5	-1537.2	-1538.2	-1539.1	-1539.4	-1534.6	-1539.7	-1535.9	-1538.1	-1535.6	-1537.8	-1534.2	-1535.7	-1534.2	-1535.4	-1533.5	-1533.6
103	-1502.6	-1500.5	-1522.4	-1523.5	-1524.3	-1524.6	-1519.7	-1524.8	-1520.6	-1523.8	-1520.1	-1522.5	-1518.7	-1520.4	-1518.7	-1520.1	-1518.2	-1518.3
104	-1479.9	-1477.8	-1499.2	-1500.5	-1501.1	-1501.6	-1496.6	-1501.8	-1497.1	-1501.3	-1496.3	-1498.9	-1495.1	-1497.0	-1495.3	-1496.9	-1494.6	-1494.8
105	-1462.2	-1460.3	-1480.6	-1482.3	-1482.4	-1483.3	-1478.5	-1483.8	-1478.4	-1483.6	-1477.4	-1480.0	-1476.3	-1478.5	-1477.0	-1478.5	-1475.8	-1476.2
106	-1438.7	-1437.2	-1455.9	-1458.1	-1457.8	-1459.1	-1454.5	-1460.0	-1453.9	-1459.8	-1452.7	-1455.1	-1451.8	-1454.2	-1452.9	-1454.3	-1451.1	-1451.8
107	-1416.0	-1414.9	-1432.2	-1434.5	-1434.0	-1435.7	-1431.3	-1437.0	-1430.3	-1436.6	-1429.0	-1431.1	-1428.2	-1430.5	-1429.6	-1430.8	-1427.3	-1428.1
108	-1376.2	-1375.3	-1391.4	-1393.7	-1393.2	-1394.9	-1390.9	-1396.6	-1389.5	-1395.8	-1388.5	-1390.1	-1387.4	-1389.4	-1388.9	-1390.0	-1386.3	-1387.3

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที่																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Sampling																		
109	-1328.3	-1327.6	-1343.1	-1344.9	-1344.7	-1346.2	-1342.7	-1348.2	-1341.0	-1346.9	-1340.4	-1341.4	-1338.7	-1340.4	-1340.0	-1341.1	-1337.6	-1338.6
110	-1273.8	-1273.3	-1288.4	-1289.4	-1289.8	-1290.9	-1287.8	-1293.0	-1285.9	-1291.0	-1285.9	-1286.4	-1283.6	-1284.5	-1284.3	-1285.3	-1282.4	-1283.3
111	-1221.8	-1221.2	-1236.3	-1236.3	-1237.4	-1237.9	-1235.2	-1240.0	-1233.3	-1237.3	-1234.0	-1233.8	-1230.9	-1231.1	-1230.7	-1231.9	-1229.7	-1230.5
112	-1191.3	-1190.7	-1205.7	-1204.5	-1206.5	-1206.2	-1203.9	-1208.2	-1202.2	-1205.0	-1203.6	-1202.8	-1199.6	-1199.1	-1198.6	-1199.8	-1198.6	-1199.1
113	-1157.5	-1156.8	-1171.3	-1169.2	-1171.8	-1170.9	-1169.0	-1172.8	-1167.4	-1169.2	-1169.3	-1168.1	-1164.9	-1163.6	-1163.0	-1164.3	-1164.0	-1164.2
114	-1095.8	-1095.2	-1108.4	-1105.6	-1108.6	-1107.3	-1105.9	-1109.1	-1104.4	-1105.3	-1106.5	-1105.1	-1102.0	-1100.3	-1099.5	-1100.8	-1101.3	-1101.2
115	-1020.3	-1019.9	-1030.6	-1027.7	-1030.7	-1029.3	-1028.3	-1031.2	-1027.0	-1027.4	-1028.9	-1027.5	-1024.8	-1023.0	-1022.0	-1023.2	-1024.2	-1023.9
116	-935.9	-935.7	-943.2	-940.6	-943.1	-942.0	-941.4	-943.9	-940.3	-940.5	-941.6	-940.5	-938.5	-936.7	-935.6	-936.7	-937.9	-937.4
117	-859.9	-860.0	-863.5	-861.5	-863.3	-862.7	-862.6	-864.8	-861.6	-861.9	-862.0	-861.3	-860.2	-858.8	-857.7	-858.5	-859.7	-859.1
118	-789.3	-789.8	-788.9	-787.8	-788.7	-788.7	-788.9	-790.7	-788.1	-788.6	-787.6	-787.4	-787.2	-786.3	-785.1	-785.7	-786.8	-786.1
119	-713.6	-714.4	-709.3	-709.0	-709.0	-709.5	-710.2	-711.5	-709.5	-710.2	-708.1	-708.4	-709.2	-708.6	-707.6	-707.9	-708.9	-708.2
120	-641.1	-642.0	-633.2	-633.4	-632.7	-633.6	-634.7	-635.2	-634.2	-635.0	-632.1	-632.8	-634.3	-634.2	-633.1	-633.3	-634.2	-633.5
121	-571.5	-572.4	-560.7	-561.2	-560.1	-561.0	-562.5	-562.0	-562.1	-562.8	-559.8	-560.6	-562.7	-562.8	-561.8	-561.8	-563.0	-562.1
122	-506.9	-507.8	-493.9	-494.3	-493.0	-493.7	-495.6	-494.0	-495.4	-495.7	-493.2	-494.1	-496.4	-496.5	-495.6	-495.5	-497.1	-496.1
123	-439.2	-440.0	-424.6	-424.6	-423.4	-423.6	-426.0	-423.1	-426.0	-425.6	-424.1	-424.8	-427.3	-427.2	-426.4	-426.3	-428.4	-427.3
124	-373.2	-373.7	-357.3	-356.8	-355.8	-355.4	-358.2	-354.0	-358.4	-357.2	-357.2	-357.5	-360.0	-359.6	-359.1	-358.9	-361.4	-360.4
125	-279.0	-279.4	-262.0	-261.0	-260.3	-259.3	-262.6	-257.1	-262.8	-260.9	-262.4	-262.2	-264.7	-264.1	-264.0	-263.6	-266.5	-265.5
126	-192.3	-192.8	-174.2	-172.9	-172.2	-170.9	-174.8	-168.1	-174.9	-172.4	-175.2	-174.4	-177.0	-176.2	-176.7	-176.1	-179.0	-178.3

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Sampling																		
127	-128.5	-129.2	-109.1	-107.9	-107.0	-105.6	-109.9	-102.3	-109.9	-106.9	-110.8	-109.4	-112.3	-111.4	-112.7	-111.7	-114.4	-113.9
128	-33.6	-34.6	-12.6	-11.7	-10.4	-9.1	-14.0	-5.7	-13.8	-10.6	-15.1	-13.1	-16.5	-15.6	-17.7	-16.3	-18.5	-18.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
โดยไม่ได้รับอนุญาตจากหอสมุดแห่งชาติ อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ค่า Sampling	ข้อมูลที																		
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
1	36.3	40.5	42.2	62.1	62.9	63.0	54.7	61.9	68.5	62.9	61.1	59.2	68.2	57.9	57.7	58.5	57.3	57.0	54.3
2	107.0	111.4	113.4	134.2	134.9	134.9	125.7	133.8	140.2	136.0	133.1	132.6	142.1	130.4	129.9	130.2	130.9	128.7	125.7
3	179.9	184.4	186.6	213.2	213.9	213.8	204.2	212.7	219.1	215.4	212.1	212.0	221.7	209.6	208.9	209.1	210.4	207.6	204.5
4	259.1	263.7	266.0	278.8	279.5	279.5	270.3	278.4	284.8	280.6	277.7	277.2	286.7	275.0	274.5	274.8	275.5	273.4	270.3
5	324.5	329.0	331.2	321.4	322.2	322.3	314.1	321.3	327.8	322.2	320.5	318.5	327.6	317.2	317.1	317.8	316.6	316.4	313.7
6	366.3	370.7	372.7	351.6	352.5	352.8	346.0	351.9	358.5	350.9	350.7	347.1	355.4	346.9	347.4	348.6	344.9	347.3	344.9
7	395.4	399.6	401.3	388.6	389.6	390.1	384.7	389.2	395.9	385.8	387.2	382.6	389.7	383.2	384.7	385.9	380.1	385.2	383.1
8	430.8	434.7	436.1	427.3	428.2	428.8	424.5	428.1	434.6	422.0	424.4	420.3	425.8	420.9	424.0	424.4	417.4	424.8	422.6
9	467.4	470.8	472.0	468.8	469.6	470.2	466.5	469.6	475.8	460.8	463.7	461.8	465.3	461.5	466.4	465.2	458.5	467.3	464.7
10	506.5	509.4	510.4	513.3	513.9	514.3	510.5	513.8	519.4	502.6	505.2	507.0	508.5	504.9	511.9	508.4	503.6	512.5	509.2
11	548.1	550.5	551.4	558.7	558.9	559.2	554.4	558.7	563.5	545.7	547.3	553.6	553.1	549.2	558.0	552.0	550.4	558.1	554.2
12	590.1	592.0	592.8	607.5	607.4	607.5	601.3	607.0	610.8	593.0	593.2	603.7	601.8	597.1	607.1	599.1	601.1	606.7	602.2
13	635.3	636.6	637.4	660.8	660.4	660.2	652.4	659.9	662.6	645.7	644.5	657.6	655.1	649.6	659.9	650.8	656.1	659.0	654.6
14	684.6	685.4	686.0	705.0	704.5	704.1	694.8	703.9	705.5	690.5	688.4	701.5	699.2	693.2	702.8	694.2	701.5	701.7	698.0
15	724.6	725.0	725.1	738.5	738.0	737.6	727.2	737.5	738.2	725.8	723.4	733.5	732.4	726.5	734.0	727.7	735.5	733.2	731.1
16	753.7	753.8	753.3	775.1	774.7	774.4	763.4	774.4	774.3	765.2	763.3	767.5	768.5	763.3	767.7	765.2	771.6	767.6	767.6
17	785.7	785.7	784.4	841.8	841.8	841.5	830.8	841.8	841.1	835.5	834.7	831.3	834.6	830.9	831.5	833.8	837.5	832.2	834.9
18	848.0	847.9	845.6	881.0	881.3	881.2	871.4	881.7	880.5	878.7	879.1	867.8	873.5	871.5	868.2	875.3	875.7	869.8	875.0

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																			
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
Sampling																				
19	882.7	882.6	879.5	909.5	910.1	910.1	901.9	910.7	909.3	911.0	912.6	894.9	902.1	902.1	895.2	906.3	903.6	897.5	904.8	
20	906.9	906.9	902.9	923.7	924.5	924.6	918.5	925.2	923.8	928.7	931.0	909.6	917.4	919.1	909.5	923.1	918.4	912.1	920.7	
21	917.2	917.2	912.6	974.3	975.1	975.3	971.6	975.8	974.4	981.9	984.3	962.9	970.0	973.1	961.9	975.9	970.6	964.3	973.1	
22	964.1	964.0	959.2	1006.8	1007.5	1007.5	1006.6	1007.9	1006.6	1016.2	1018.0	1000.2	1005.2	1009.3	997.9	1010.2	1005.9	999.6	1007.6	
23	993.3	993.0	988.2	1042.2	1042.6	1042.5	1044.7	1042.7	1041.6	1052.4	1053.3	1042.1	1043.9	1048.7	1038.3	1047.0	1044.9	1038.9	1045.1	
24	1025.6	1025.1	1020.6	1069.7	1069.8	1069.5	1075.1	1069.5	1068.6	1080.0	1079.8	1076.7	1074.6	1080.3	1071.6	1075.8	1076.1	1070.9	1074.9	
25	1050.2	1049.5	1045.5	1097.9	1097.7	1097.2	1106.5	1097.0	1096.4	1107.7	1106.8	1111.8	1105.6	1112.3	1105.7	1105.3	1107.7	1103.9	1105.5	
26	1075.8	1074.7	1071.3	1126.4	1125.9	1125.3	1138.5	1125.0	1124.8	1135.5	1134.3	1146.0	1136.0	1144.1	1139.6	1135.3	1138.6	1137.0	1136.5	
27	1101.7	1100.4	1097.5	1135.7	1135.0	1134.5	1151.4	1134.2	1134.1	1144.1	1143.4	1159.2	1146.2	1156.1	1153.3	1146.2	1149.0	1150.3	1148.3	
28	1108.5	1106.9	1104.6	1136.5	1135.8	1135.4	1155.7	1135.1	1135.2	1144.3	1144.7	1161.8	1146.7	1158.7	1157.0	1148.7	1149.7	1154.1	1151.3	
29	1106.8	1105.0	1103.0	1131.1	1130.5	1130.3	1153.1	1130.1	1130.1	1138.6	1140.3	1156.1	1140.3	1154.1	1153.0	1144.9	1143.4	1150.6	1147.7	
30	1099.0	1096.9	1095.3	1124.8	1124.3	1124.4	1148.5	1124.3	1123.9	1132.3	1135.2	1148.0	1132.4	1147.6	1146.5	1139.7	1135.6	1144.8	1142.4	
31	1090.2	1087.9	1086.7	1120.3	1119.9	1120.1	1144.1	1120.2	1119.0	1127.7	1131.5	1140.6	1126.2	1141.8	1140.5	1135.4	1129.6	1139.5	1137.8	
32	1083.2	1080.7	1079.9	1122.8	1122.4	1122.7	1145.0	1123.0	1120.7	1130.4	1134.2	1139.9	1127.3	1142.2	1140.5	1137.3	1131.2	1140.2	1139.3	
33	1083.4	1080.6	1080.3	1125.4	1125.0	1125.2	1144.3	1125.7	1121.9	1133.0	1136.0	1139.2	1128.8	1141.8	1139.9	1138.2	1133.5	1139.9	1139.8	
34	1083.9	1080.7	1081.1	1125.7	1125.1	1125.2	1139.9	1125.9	1120.2	1133.3	1134.6	1136.3	1128.4	1138.5	1136.5	1135.9	1134.1	1136.6	1137.1	
35	1082.1	1078.7	1079.9	1129.7	1128.9	1128.8	1138.4	1129.7	1122.1	1137.2	1136.5	1137.2	1132.0	1138.7	1136.6	1137.0	1138.8	1136.7	1137.6	
36	1084.6	1080.8	1082.8	1136.2	1135.2	1134.9	1139.4	1136.0	1126.6	1143.5	1140.8	1140.6	1138.1	1141.3	1139.2	1140.4	1146.0	1139.3	1140.6	

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลปี																							
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55					
Sampling																								
37	1089.9	1085.9	1088.7	1144.1	1143.0	1142.5	1142.4	1143.8	1132.9	1151.2	1146.8	1145.1	1145.3	1145.4	1143.2	1145.6	1154.0	1143.4	1145.4					
38	1097.2	1092.9	1096.5	1137.4	1136.3	1135.8	1132.0	1137.2	1125.1	1144.2	1139.1	1134.7	1137.4	1135.4	1133.1	1136.9	1146.6	1133.6	1136.2					
39	1090.5	1086.1	1090.3	1118.8	1117.7	1117.3	1111.1	1118.9	1106.1	1125.1	1120.1	1112.3	1117.2	1114.0	1111.4	1117.1	1126.4	1112.6	1115.9					
40	1072.5	1068.1	1072.6	1103.1	1102.2	1102.0	1094.9	1103.7	1090.8	1108.9	1104.7	1093.2	1099.7	1096.3	1093.7	1101.2	1108.5	1095.6	1099.6					
41	1058.2	1053.9	1058.7	1097.9	1097.2	1097.2	1090.5	1099.0	1086.4	1102.9	1100.0	1085.4	1092.6	1090.0	1087.6	1096.3	1100.9	1090.2	1094.6					
42	1055.1	1050.9	1055.8	1084.3	1083.7	1083.9	1078.6	1085.7	1073.9	1088.0	1086.6	1070.6	1077.6	1076.1	1074.5	1083.3	1085.2	1077.5	1081.7					
43	1044.2	1040.2	1045.3	1071.4	1071.0	1071.4	1068.1	1073.0	1062.3	1073.6	1073.4	1058.6	1064.3	1063.8	1063.7	1071.2	1071.1	1066.8	1070.1					
44	1034.8	1031.1	1036.3	1047.9	1047.4	1047.8	1046.9	1049.2	1040.0	1048.3	1048.5	1037.8	1041.2	1041.6	1043.5	1048.3	1047.3	1046.2	1047.9					
45	1015.3	1011.9	1017.3	1021.5	1020.9	1021.3	1022.7	1022.4	1014.7	1020.1	1020.2	1016.0	1016.5	1017.2	1021.5	1022.2	1022.0	1023.4	1022.8					
46	993.6	990.4	996.1	985.2	984.4	984.6	988.1	985.4	979.2	982.0	981.5	985.3	982.5	983.1	989.9	985.9	987.4	990.7	987.5					
47	962.1	959.3	965.3	957.7	956.7	956.8	961.9	957.2	952.6	953.3	951.8	963.6	957.9	958.1	967.0	958.5	962.1	966.5	960.9					
48	939.8	937.4	943.5	964.3	963.1	963.1	969.6	963.2	960.1	959.3	957.0	975.2	967.2	967.0	977.2	965.2	970.5	975.6	968.1					
49	951.6	949.7	955.7	957.2	956.1	956.0	963.4	955.7	954.2	952.5	949.9	971.6	962.5	962.0	972.4	958.5	964.5	970.0	961.5					
50	949.8	948.5	954.1	947.9	946.9	946.8	954.8	946.3	946.3	944.4	941.9	963.5	954.6	954.2	963.5	949.9	955.0	960.9	952.4					
51	945.5	944.9	949.8	938.6	938.0	938.0	946.2	937.4	938.8	937.1	935.5	953.2	946.0	946.0	952.9	941.8	944.5	950.6	943.3					
52	941.2	941.2	945.2	923.6	923.5	923.6	931.5	923.0	925.6	924.5	924.2	935.3	930.7	931.3	935.1	927.9	927.2	933.5	928.1					
53	930.8	931.6	934.4	906.4	906.8	907.1	914.0	906.4	910.1	909.8	910.9	914.1	912.7	913.8	914.0	911.7	907.2	913.3	910.3					
54	917.9	919.5	920.9	876.3	877.1	877.5	882.9	876.9	881.4	881.9	884.2	879.5	881.6	882.8	879.6	881.9	874.4	879.7	879.2					

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																						
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55				
Sampling																							
55	891.8	894.1	894.2	843.4	844.5	845.0	848.1	844.4	849.5	850.4	853.3	842.7	847.7	848.5	842.5	848.6	839.4	843.3	844.8				
56	862.7	865.5	864.4	814.3	815.5	816.0	816.2	815.4	820.9	821.7	824.5	810.7	817.8	817.5	809.9	818.2	809.1	810.9	813.7				
57	837.2	840.3	838.3	790.5	791.8	792.1	789.1	791.5	797.1	797.3	799.3	785.3	793.7	791.7	783.6	792.4	785.0	784.5	787.9				
58	816.8	820.2	817.4	759.2	760.3	760.4	754.3	759.7	765.5	764.2	764.9	753.5	762.0	758.1	750.7	758.4	754.0	751.1	754.4				
59	788.6	792.1	788.8	706.3	707.3	707.1	698.2	706.3	712.2	708.7	708.2	700.8	708.6	703.0	697.2	702.7	701.7	696.9	699.6				
60	738.7	742.2	738.4	634.1	634.8	634.4	623.3	633.6	639.6	633.2	631.7	628.8	635.3	628.5	624.7	627.7	629.6	624.0	625.8				
61	669.1	672.5	668.4	561.7	562.3	561.8	549.5	561.0	567.3	557.3	555.6	556.3	561.4	554.1	552.6	553.2	556.8	551.5	552.6				
62	599.1	602.4	598.0	463.3	463.8	463.3	450.5	462.5	469.2	455.4	454.2	457.0	460.6	453.7	454.3	453.3	457.0	453.3	453.9				
63	502.7	505.9	501.2	408.2	408.7	408.4	395.9	407.6	414.8	397.2	397.1	400.3	402.8	397.0	399.2	397.5	399.8	398.6	399.0				
64	449.4	452.5	447.3	349.1	349.7	349.6	337.9	348.8	356.6	335.4	337.0	339.2	340.8	336.5	339.9	338.2	338.2	339.8	340.5				
65	391.6	394.6	389.0	270.5	271.2	271.3	260.6	270.6	278.8	254.9	258.1	258.6	259.7	256.9	261.1	259.7	257.2	261.6	262.6				
66	314.0	317.0	311.0	188.3	189.2	189.4	179.4	188.8	197.3	171.6	175.9	175.0	175.8	174.1	178.8	177.8	173.4	179.7	181.0				
67	232.4	235.4	229.2	105.4	106.3	106.5	96.8	105.9	114.6	88.2	93.0	91.5	92.2	91.0	95.7	94.9	89.9	96.8	98.2				
68	149.7	152.6	146.3	39.6	40.5	40.6	30.7	40.0	48.6	22.9	27.2	26.3	27.1	25.4	30.0	29.1	24.7	31.0	32.2				
69	83.7	86.7	80.4	-13.1	-12.3	-12.3	-23.0	-13.0	-4.7	-28.6	-25.5	-25.0	-23.9	-26.7	-22.4	-23.8	-26.3	-21.9	-21.0				
70	30.4	33.4	27.4	-63.2	-62.6	-62.7	-74.4	-63.5	-55.7	-76.9	-75.3	-73.1	-71.5	-75.8	-72.4	-74.1	-74.1	-72.4	-71.8				
71	-20.7	-17.7	-23.3	-127.6	-127.1	-127.4	-139.9	-128.2	-121.0	-138.6	-138.7	-135.5	-133.0	-138.8	-136.6	-138.3	-136.0	-137.2	-136.8				
72	-86.4	-83.3	-88.5	-193.9	-193.4	-193.9	-206.7	-194.7	-188.0	-201.8	-203.1	-200.2	-196.6	-203.5	-202.9	-203.9	-200.2	-203.9	-203.3				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตด้านการค้า
แม้ว่าการนี้ทั้งต้น อีกทั้งยังมีให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																			
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
Sampling																				
73	-154.5	-151.3	-156.0	-256.5	-256.0	-256.4	-268.8	-257.3	-251.0	-261.0	-262.7	-262.0	-256.9	-264.2	-265.7	-265.0	-261.5	-266.7	-265.7	
74	-219.1	-215.9	-220.2	-306.0	-305.3	-305.7	-316.7	-306.5	-300.4	-306.9	-308.4	-311.3	-304.8	-311.6	-315.3	-312.3	-310.5	-316.1	-314.2	
75	-271.0	-267.6	-271.6	-372.2	-371.3	-371.4	-380.3	-372.2	-366.3	-369.8	-370.4	-377.7	-369.9	-375.5	-381.4	-375.8	-376.8	-381.6	-378.9	
76	-339.8	-336.4	-340.1	-443.6	-442.5	-442.4	-448.5	-443.1	-437.3	-438.6	-437.9	-449.3	-440.9	-444.7	-452.1	-444.4	-448.8	-451.7	-448.4	
77	-414.2	-410.7	-414.1	-514.2	-512.9	-512.7	-515.6	-513.3	-507.6	-507.4	-505.5	-519.4	-511.1	-513.0	-521.1	-512.4	-519.7	-520.3	-516.8	
78	-487.9	-484.5	-487.3	-581.6	-580.3	-579.9	-579.6	-580.4	-575.0	-574.1	-571.4	-585.1	-578.0	-578.3	-585.9	-577.6	-586.7	-584.9	-582.1	
79	-558.6	-555.5	-557.6	-639.2	-638.1	-637.7	-634.6	-638.2	-633.1	-632.3	-629.4	-639.9	-635.0	-634.2	-640.1	-634.0	-643.2	-639.4	-637.9	
80	-619.9	-617.1	-618.2	-721.2	-720.5	-720.0	-714.7	-720.6	-716.1	-715.7	-713.4	-718.0	-716.0	-714.8	-718.0	-715.6	-723.1	-717.9	-718.4	
81	-705.7	-703.5	-703.4	-778.9	-778.5	-778.3	-771.3	-778.9	-775.2	-775.5	-774.4	-771.3	-772.6	-771.5	-771.3	-773.7	-778.1	-772.0	-775.0	
82	-767.4	-765.9	-764.4	-843.4	-843.5	-843.4	-835.5	-844.0	-841.4	-842.5	-842.8	-831.7	-836.3	-835.7	-831.9	-839.1	-839.8	-833.5	-838.9	
83	-836.2	-835.4	-832.6	-931.3	-931.9	-931.9	-923.7	-932.5	-931.1	-932.8	-934.4	-916.7	-923.9	-923.9	-917.0	-928.1	-925.5	-919.3	-926.6	
84	-928.7	-928.7	-924.7	-986.1	-987.0	-987.2	-979.1	-987.6	-987.6	-989.6	-992.0	-970.5	-979.4	-979.7	-970.5	-984.0	-979.0	-973.1	-981.5	
85	-988.4	-989.1	-984.1	-1032.9	-1034.0	-1034.2	-1026.7	-1034.4	-1035.9	-1037.6	-1040.3	-1018.5	-1027.7	-1028.1	-1017.7	-1031.6	-1025.6	-1020.1	-1028.6	
86	-1040.3	-1041.7	-1036.0	-1083.4	-1084.5	-1084.6	-1078.1	-1084.5	-1087.5	-1088.3	-1090.6	-1072.4	-1080.4	-1080.6	-1070.4	-1082.5	-1077.1	-1072.0	-1079.5	
87	-1096.0	-1097.9	-1091.9	-1133.0	-1134.0	-1133.9	-1128.8	-1133.5	-1138.2	-1137.5	-1138.9	-1127.1	-1132.9	-1132.6	-1123.7	-1132.3	-1128.6	-1124.2	-1129.8	
88	-1150.9	-1153.3	-1147.2	-1177.7	-1178.5	-1178.2	-1174.8	-1177.5	-1183.7	-1180.9	-1181.4	-1177.6	-1180.4	-1179.7	-1172.9	-1176.9	-1175.4	-1172.2	-1175.3	
89	-1200.7	-1203.5	-1197.6	-1216.5	-1217.1	-1216.7	-1215.3	-1215.6	-1223.4	-1218.0	-1217.8	-1222.0	-1221.6	-1220.8	-1216.5	-1215.8	-1216.1	-1214.6	-1215.2	
90	-1244.5	-1247.6	-1241.9	-1260.3	-1260.8	-1260.4	-1261.3	-1258.9	-1268.2	-1259.9	-1259.6	-1270.4	-1267.0	-1266.6	-1264.7	-1259.9	-1260.8	-1261.9	-1260.3	

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูล																		
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
Sampling																			
91	-1292.8	-1296.3	-1290.8	-1291.7	-1292.1	-1291.8	-1295.0	-1290.1	-1300.8	-1289.5	-1289.8	-1304.5	-1298.9	-1299.3	-1299.4	-1291.9	-1292.0	-1296.3	-1293.0
92	-1328.3	-1332.0	-1326.8	-1318.8	-1319.4	-1319.2	-1324.5	-1317.4	-1329.2	-1315.1	-1316.5	-1332.5	-1325.5	-1327.0	-1328.6	-1319.8	-1317.9	-1325.6	-1321.4
93	-1358.9	-1362.9	-1357.8	-1350.8	-1351.5	-1351.5	-1358.3	-1349.8	-1362.4	-1345.9	-1348.8	-1363.4	-1356.1	-1358.8	-1361.1	-1352.5	-1347.9	-1358.6	-1354.2
94	-1393.7	-1397.9	-1392.9	-1385.9	-1386.8	-1387.1	-1394.1	-1385.4	-1398.3	-1380.1	-1384.3	-1395.9	-1389.4	-1392.7	-1395.3	-1387.9	-1380.5	-1393.5	-1389.4
95	-1430.9	-1435.2	-1430.4	-1412.9	-1413.9	-1414.3	-1420.5	-1412.8	-1425.5	-1406.5	-1411.5	-1419.3	-1414.4	-1417.6	-1420.2	-1414.5	-1405.3	-1419.0	-1415.7
96	-1459.1	-1463.5	-1459.0	-1432.4	-1433.5	-1434.0	-1437.8	-1432.6	-1444.6	-1425.6	-1430.7	-1435.0	-1432.3	-1434.4	-1436.7	-1432.8	-1423.2	-1436.2	-1433.6
97	-1479.3	-1483.6	-1479.5	-1448.8	-1449.9	-1450.3	-1450.5	-1449.1	-1460.0	-1441.7	-1446.0	-1447.8	-1447.6	-1447.4	-1449.6	-1447.2	-1438.9	-1449.4	-1447.5
98	-1495.7	-1499.9	-1496.3	-1464.2	-1465.2	-1465.5	-1461.0	-1464.4	-1473.8	-1456.9	-1459.6	-1459.9	-1462.3	-1459.1	-1461.2	-1460.0	-1454.5	-1461.1	-1459.8
99	-1510.5	-1514.5	-1511.7	-1480.3	-1481.1	-1481.2	-1471.6	-1480.3	-1487.9	-1472.8	-1473.5	-1472.8	-1478.0	-1471.3	-1473.4	-1473.0	-1471.2	-1473.3	-1472.4
100	-1525.4	-1529.2	-1527.2	-1491.3	-1491.9	-1491.7	-1477.0	-1491.1	-1496.7	-1483.7	-1482.3	-1480.7	-1488.5	-1478.4	-1480.4	-1481.0	-1482.8	-1480.3	-1479.9
101	-1534.8	-1538.2	-1537.0	-1491.3	-1491.8	-1491.5	-1472.4	-1491.0	-1494.9	-1483.7	-1480.8	-1477.6	-1487.9	-1474.9	-1476.8	-1478.6	-1483.2	-1476.8	-1477.0
102	-1532.9	-1536.0	-1535.6	-1478.5	-1478.9	-1478.6	-1456.3	-1478.3	-1480.6	-1470.9	-1467.1	-1461.4	-1474.0	-1459.2	-1460.8	-1464.1	-1470.1	-1461.1	-1462.0
103	-1517.9	-1520.7	-1521.0	-1457.7	-1458.1	-1457.9	-1433.9	-1457.8	-1459.0	-1450.2	-1446.5	-1437.3	-1451.8	-1436.2	-1437.5	-1442.6	-1448.4	-1438.4	-1440.1
104	-1494.7	-1497.3	-1498.1	-1441.9	-1442.4	-1442.3	-1418.2	-1442.4	-1442.8	-1434.4	-1431.5	-1418.7	-1434.3	-1419.1	-1420.2	-1427.0	-1431.1	-1421.9	-1424.3
105	-1476.5	-1478.8	-1480.0	-1420.2	-1420.8	-1420.9	-1398.2	-1421.2	-1421.2	-1412.7	-1411.0	-1395.2	-1411.0	-1397.2	-1398.3	-1406.4	-1407.9	-1400.7	-1403.6
106	-1452.3	-1454.4	-1456.0	-1399.3	-1399.9	-1400.3	-1380.0	-1400.7	-1400.5	-1391.4	-1391.1	-1374.0	-1389.0	-1377.1	-1378.7	-1387.0	-1386.0	-1381.6	-1384.4
107	-1428.9	-1430.8	-1432.7	-1361.1	-1361.7	-1362.2	-1345.3	-1362.6	-1362.6	-1352.6	-1353.4	-1337.5	-1350.6	-1340.7	-1343.4	-1350.5	-1347.7	-1346.4	-1348.5
108	-1388.2	-1389.8	-1392.2	-1314.9	-1315.4	-1315.9	-1302.8	-1316.2	-1316.5	-1305.8	-1306.9	-1295.2	-1305.2	-1297.1	-1301.6	-1306.0	-1302.7	-1304.2	-1304.8

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																			
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
Sampling																				
109	-1339.5	-1340.9	-1343.7	-1262.1	-1262.3	-1262.8	-1253.5	-1263.0	-1263.6	-1252.3	-1253.2	-1248.2	-1254.4	-1247.7	-1254.3	-1254.6	-1252.3	-1256.1	-1254.5	
110	-1284.2	-1285.2	-1288.7	-1211.7	-1211.6	-1212.0	-1206.3	-1211.9	-1212.8	-1201.4	-1201.6	-1204.7	-1206.8	-1201.1	-1209.9	-1205.6	-1205.3	-1210.5	-1206.5	
111	-1231.2	-1231.9	-1235.9	-1183.0	-1182.6	-1182.7	-1180.5	-1182.5	-1183.6	-1172.8	-1171.9	-1183.1	-1181.3	-1176.5	-1186.9	-1178.2	-1180.4	-1186.3	-1180.1	
112	-1199.6	-1200.1	-1204.6	-1150.9	-1150.3	-1150.3	-1151.2	-1149.8	-1151.2	-1141.6	-1139.8	-1157.6	-1152.5	-1148.5	-1159.9	-1147.6	-1151.9	-1158.2	-1150.2	
113	-1164.5	-1164.8	-1169.6	-1091.2	-1090.4	-1090.3	-1093.9	-1089.7	-1091.1	-1083.6	-1081.2	-1102.6	-1095.5	-1092.5	-1103.6	-1089.6	-1094.9	-1101.2	-1092.4	
114	-1101.4	-1101.5	-1106.4	-1017.6	-1016.8	-1016.7	-1022.8	-1016.0	-1017.5	-1012.6	-1010.3	-1031.7	-1023.8	-1022.2	-1031.8	-1018.2	-1022.9	-1029.2	-1020.6	
115	-1024.1	-1024.1	-1028.7	-935.2	-934.6	-934.5	-942.7	-934.0	-935.3	-933.6	-932.0	-949.8	-942.5	-942.5	-949.5	-938.3	-941.0	-947.2	-939.8	
116	-937.7	-937.8	-941.7	-861.3	-860.9	-861.0	-870.8	-860.6	-861.7	-863.6	-863.2	-874.4	-868.8	-870.7	-874.1	-867.0	-866.6	-872.5	-867.3	
117	-859.6	-859.6	-862.8	-792.9	-792.9	-793.2	-803.9	-792.9	-793.6	-799.2	-800.0	-803.4	-800.1	-803.8	-803.2	-800.9	-797.2	-802.5	-799.8	
118	-786.7	-786.8	-789.1	-719.6	-719.9	-720.3	-731.2	-720.2	-720.3	-729.5	-731.4	-727.2	-726.2	-731.3	-726.9	-729.4	-723.0	-727.1	-727.0	
119	-708.9	-709.0	-710.2	-649.5	-650.0	-650.4	-660.9	-650.5	-649.9	-662.2	-664.6	-654.6	-655.6	-661.5	-654.0	-660.3	-652.6	-654.8	-657.0	
120	-634.3	-634.2	-634.7	-582.6	-583.1	-583.5	-592.8	-583.7	-582.1	-597.1	-599.2	-586.1	-588.4	-594.4	-584.8	-593.4	-586.1	-585.9	-589.6	
121	-563.0	-562.6	-562.4	-520.7	-521.1	-521.3	-529.1	-521.7	-519.0	-535.9	-537.0	-523.9	-526.5	-532.0	-521.6	-530.7	-525.4	-522.5	-527.0	
122	-496.9	-496.1	-495.6	-455.7	-455.9	-455.8	-462.0	-456.3	-452.5	-470.3	-470.1	-459.6	-461.5	-466.2	-456.2	-464.2	-462.2	-456.6	-461.1	
123	-428.0	-426.7	-425.9	-392.3	-392.1	-391.8	-396.5	-392.3	-387.5	-405.3	-403.7	-397.4	-397.8	-401.7	-393.0	-398.9	-400.6	-392.9	-396.8	
124	-360.8	-359.0	-358.2	-300.5	-300.0	-299.5	-303.3	-300.0	-294.4	-311.2	-308.6	-306.9	-305.4	-308.9	-302.0	-305.4	-310.2	-301.4	-304.6	
125	-265.8	-263.3	-262.5	-216.0	-215.2	-214.6	-218.3	-215.2	-209.0	-224.0	-221.1	-223.1	-219.5	-223.4	-218.4	-219.6	-226.3	-217.5	-220.1	
126	-178.4	-175.4	-174.4	-154.1	-153.2	-152.6	-156.8	-153.3	-146.7	-159.4	-156.9	-161.1	-155.6	-160.4	-157.4	-157.0	-164.0	-156.5	-158.7	

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูล																
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
Sampling																	
127	-114.0	-110.5	-109.4	-60.6	-59.7	-59.2	-64.6	-60.0	-53.3	-63.4	-62.1	-66.7	-59.6	-66.1	-64.5	-63.4	-69.2
128	-18.5	-14.6	-13.2	-7.5	-6.6	-6.3	-13.1	-7.2	-0.5	-8.2	-8.4	-12.0	-3.7	-12.2	-11.7	-10.5	-14.1



ตารางภาคผนวกที่ 3 ข้อมูลที่ Sampling ได้จากโหนดที่ตู้ 32MDB1

ค่า Sampling	ข้อมูลที่																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	9.0	10.1	23.6	5.9	27.4	0.5	4.6	6.1	7.2	5.7	2.0	7.7	3.8	0.9	9.6	7.1	1.0	3.9
2	38.7	39.1	49.0	38.4	52.9	28.8	32.6	35.8	35.2	36.3	30.2	37.7	32.5	29.2	39.2	34.6	31.2	33.1
3	65.3	65.2	85.7	67.0	89.5	54.4	57.9	62.4	60.4	63.4	55.6	64.4	58.3	54.8	65.7	59.5	58.2	59.3
4	102.3	102.1	122.7	104.7	126.5	91.1	94.4	99.4	96.9	100.6	92.2	101.5	95.0	91.4	102.7	95.9	95.3	96.1
5	138.9	138.9	138.9	140.7	142.7	128.1	131.5	136.1	134.0	137.1	129.3	138.1	132.0	128.4	139.3	133.1	131.8	132.9
6	154.0	154.5	153.0	153.8	156.8	144.2	148.0	151.2	150.5	151.6	145.6	153.1	147.9	144.5	154.5	149.9	146.6	148.5
7	166.6	167.8	171.3	163.6	175.0	158.2	162.2	163.8	164.8	163.4	159.7	165.3	161.5	158.5	167.2	164.8	158.7	161.6
8	183.1	184.9	152.3	177.1	156.0	176.2	180.1	180.3	182.8	179.0	177.7	181.3	178.8	176.5	183.7	183.5	174.6	178.4
9	162.4	164.7	188.2	154.0	191.7	157.1	160.2	159.7	162.9	157.5	158.0	159.8	158.7	157.3	163.0	164.4	153.6	157.9
10	196.7	199.4	192.0	187.1	195.4	192.8	194.3	194.3	197.1	191.4	192.7	193.3	192.9	192.7	197.2	199.4	188.0	192.0
11	199.5	202.0	202.5	189.9	205.8	196.5	195.6	197.3	198.6	194.1	195.0	195.0	195.0	196.0	199.6	201.5	191.1	194.1
12	209.4	211.3	225.4	200.8	228.8	206.8	203.2	207.3	206.3	204.2	203.8	203.7	203.7	205.9	208.9	209.5	201.6	203.0
13	232.1	233.1	249.8	225.2	253.2	229.5	223.3	230.1	226.6	227.4	225.1	225.3	225.2	228.2	230.9	229.7	225.1	224.7
14	256.4	256.3	270.6	251.3	274.2	253.4	245.4	254.3	248.9	252.4	248.3	248.7	248.7	252.0	254.3	251.2	250.3	248.4
15	277.2	275.8	293.9	273.5	297.7	273.8	264.9	274.9	268.7	273.9	268.6	268.9	269.4	272.3	274.1	269.5	271.9	269.0
16	300.4	297.7	318.4	297.1	322.4	296.3	288.1	297.7	292.2	297.7	292.2	291.7	293.3	295.2	296.2	290.9	295.7	292.7
17	324.5	320.7	343.0	320.8	347.1	320.0	313.7	321.3	318.0	322.4	317.8	316.0	319.2	319.4	319.3	314.3	320.4	318.0
18	348.2	343.6	378.0	343.6	382.0	343.7	340.2	344.7	344.6	346.7	344.0	340.5	345.5	343.7	342.3	338.4	344.8	343.7

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

คำ Sampling	ข้อมูลที่																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
19	382.0	377.0	456.8	376.4	460.3	377.7	377.4	378.3	381.7	381.2	380.6	375.4	382.3	378.4	375.6	373.2	379.4	379.7
20	459.2	454.2	424.9	453.2	427.6	455.4	458.2	455.8	461.9	459.3	460.8	454.2	462.5	456.9	452.8	451.8	457.6	459.4
21	425.4	420.9	446.4	420.2	447.8	422.7	427.7	422.8	430.5	426.7	429.6	422.4	431.4	424.6	419.5	419.6	425.4	427.9
22	444.8	441.1	481.4	441.6	481.2	443.5	449.6	443.5	451.0	447.6	451.0	444.0	452.7	445.7	439.8	440.5	446.8	449.3
23	477.5	475.1	455.5	477.5	453.4	477.9	483.8	478.0	483.5	482.0	485.0	479.0	486.6	480.1	473.9	474.5	481.9	483.7
24	449.0	448.2	537.2	453.0	533.1	451.5	456.3	451.7	454.0	455.4	457.3	453.0	458.8	453.6	447.2	447.4	456.0	456.5
25	528.0	529.1	560.7	536.2	554.6	532.9	535.9	533.0	531.6	536.1	536.9	534.4	538.0	534.7	528.2	528.0	537.6	536.6
26	548.7	551.9	574.0	560.4	566.1	556.2	557.4	556.0	551.1	558.2	558.2	557.4	558.9	557.6	551.1	550.9	560.7	558.3
27	559.0	564.3	570.4	573.1	561.1	569.3	569.1	568.4	561.0	569.4	569.5	569.8	569.6	570.3	563.5	564.1	572.8	569.7
28	552.7	559.9	633.8	567.5	623.5	565.5	564.7	563.6	555.2	563.4	564.6	565.2	564.0	566.3	559.1	561.2	567.7	564.5
29	613.7	622.5	580.4	627.8	569.6	628.7	628.1	623.4	617.6	624.0	627.2	627.4	625.8	629.3	621.5	625.8	629.1	626.5
30	558.7	568.3	582.4	570.8	571.7	575.1	575.3	570.5	564.4	568.1	573.7	573.0	571.5	575.7	567.3	574.0	573.8	572.2
31	559.8	569.7	573.6	569.6	563.5	577.0	578.2	571.2	567.5	568.1	575.9	574.1	573.1	577.5	568.7	577.5	574.1	573.7
32	551.4	560.5	570.2	558.8	561.1	568.2	570.3	561.6	560.3	558.2	567.6	564.9	564.3	568.6	560.0	570.0	564.5	564.9
33	549.4	557.0	571.5	555.2	563.8	564.9	567.4	558.0	558.5	554.9	564.5	561.6	561.0	565.2	557.1	567.1	561.1	561.9
34	553.3	558.5	575.9	558.4	569.7	566.4	568.6	559.8	561.3	557.4	566.0	563.5	562.6	566.4	559.6	568.3	563.4	563.8
35	561.0	563.3	582.7	566.3	578.2	571.1	572.3	565.3	566.9	563.9	570.3	568.7	567.2	570.7	565.6	571.8	569.5	569.0
36	571.8	570.7	583.5	577.7	580.8	578.3	578.3	573.6	574.8	573.5	576.9	576.7	574.3	577.5	574.4	577.5	578.6	576.8

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

ค่า Sampling	ข้อมูลปี																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
37	576.7	572.3	582.9	583.2	581.9	579.6	578.2	576.0	576.8	577.1	577.7	578.8	575.5	578.4	577.3	577.2	581.8	578.6
38	579.8	572.5	592.0	586.3	592.6	579.4	577.1	576.8	577.6	578.9	577.2	579.3	575.3	577.9	578.6	575.9	583.1	579.0
39	591.9	582.3	578.6	597.5	580.5	588.9	586.3	586.8	588.6	589.7	586.7	589.2	585.1	587.2	589.2	585.1	593.4	589.0
40	580.8	569.7	559.3	584.3	562.2	576.0	573.7	573.9	577.4	577.0	574.1	576.3	572.4	574.1	577.0	572.6	580.3	576.4
41	562.7	551.0	524.0	563.4	527.4	557.0	555.7	554.5	560.3	557.4	555.7	557.1	553.8	555.2	558.4	555.0	560.4	557.6
42	527.7	516.3	500.1	525.4	503.6	522.1	521.8	518.8	526.9	521.0	521.2	521.6	519.0	520.2	523.4	521.8	523.9	522.4
43	503.4	493.0	495.2	498.5	498.2	498.5	499.0	494.4	504.2	495.6	497.8	497.3	495.1	496.7	499.7	500.1	498.5	498.3
44	497.5	488.8	457.6	491.1	459.9	493.9	494.6	489.2	499.3	489.2	492.9	492.0	489.7	492.1	494.9	497.0	492.2	492.8
45	458.8	452.1	478.1	452.3	479.2	456.8	456.9	451.7	460.7	450.5	454.8	454.3	451.3	454.8	457.6	460.9	453.6	454.4
46	478.0	473.6	463.7	472.9	463.7	477.7	476.5	472.7	479.0	470.4	474.2	474.8	470.6	475.5	478.5	482.1	473.7	473.9
47	462.7	460.5	456.7	460.1	455.3	463.9	460.9	459.3	461.9	456.2	458.6	461.0	455.0	461.4	464.9	468.0	459.5	458.8
48	454.8	454.8	438.9	455.3	436.5	457.3	452.5	453.5	452.1	449.7	450.4	454.6	446.9	454.6	458.6	460.7	453.0	451.1
49	436.5	438.3	412.9	440.0	409.7	439.9	434.0	437.1	432.2	433.0	432.0	437.9	428.8	437.2	441.7	442.8	436.1	433.2
50	410.3	413.5	419.8	415.8	416.3	414.2	408.0	412.3	405.3	408.1	406.1	413.0	403.3	411.6	416.3	416.8	410.9	407.7
51	417.2	421.5	427.5	423.6	424.0	421.2	416.1	420.1	412.7	416.2	414.0	421.2	411.7	419.1	423.6	424.0	418.5	415.6
53	425.1	430.1	397.2	431.1	394.1	428.9	426.1	428.5	422.4	425.0	423.5	430.1	421.8	427.4	431.5	432.5	426.6	424.9
53	395.3	400.5	388.5	399.7	386.1	398.4	398.6	398.6	395.0	395.8	395.7	400.9	394.5	397.7	401.2	403.0	396.6	396.6
54	387.5	392.5	367.3	389.8	365.9	389.5	393.0	390.3	389.9	388.4	389.7	393.3	389.2	389.8	392.4	395.2	388.3	390.1

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที่																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sampling																		
73	-157.5	-158.0	-178.1	-159.6	-174.2	-163.7	-166.7	-158.0	-163.4	-155.6	-162.2	-163.7	-158.1	-162.5	-162.7	-169.5	-160.8	-161.7
74	-168.6	-169.4	-194.4	-168.8	-191.0	-175.4	-176.8	-169.1	-173.9	-166.0	-173.1	-173.3	-168.9	-174.1	-173.4	-180.6	-171.2	-172.0
75	-185.1	-186.0	-213.0	-184.6	-210.0	-192.1	-191.2	-185.6	-188.8	-182.2	-188.5	-188.2	-184.4	-190.5	-189.2	-195.8	-187.3	-187.3
76	-204.5	-204.9	-244.2	-204.3	-241.9	-211.1	-207.4	-205.0	-205.6	-201.6	-206.1	-205.8	-202.3	-209.1	-207.7	-212.7	-206.3	-205.1
77	-237.0	-236.7	-240.3	-237.7	-238.8	-242.7	-236.5	-237.3	-235.4	-234.5	-236.6	-236.5	-233.3	-240.5	-239.2	-241.8	-238.7	-236.0
78	-234.9	-233.6	-274.3	-236.4	-273.7	-239.1	-231.0	-234.8	-230.7	-232.7	-232.5	-232.6	-229.9	-236.9	-235.7	-235.9	-236.3	-232.3
79	-270.7	-268.3	-292.6	-272.5	-293.0	-273.4	-264.5	-270.1	-265.1	-268.9	-267.0	-267.0	-265.2	-271.2	-270.1	-268.4	-271.8	-267.2
80	-290.8	-287.3	-323.7	-292.0	-325.2	-291.7	-283.4	-289.5	-284.9	-289.3	-286.6	-285.9	-285.6	-290.0	-288.6	-285.7	-291.3	-286.9
81	-323.5	-319.0	-343.6	-323.2	-345.9	-322.8	-316.4	-321.4	-318.8	-322.3	-319.8	-317.9	-319.6	-321.7	-319.8	-316.6	-323.4	-319.9
82	-344.5	-339.5	-371.6	-342.3	-374.7	-342.5	-339.0	-341.7	-342.1	-343.7	-342.3	-338.7	-342.8	-342.3	-339.6	-336.9	-343.8	-341.9
83	-373.4	-368.2	-415.9	-369.0	-419.4	-370.4	-370.1	-370.1	-373.7	-373.0	-373.1	-367.8	-374.2	-371.0	-367.6	-365.7	-372.1	-372.1
84	-418.3	-413.3	-480.2	-412.4	-483.8	-414.6	-417.4	-414.9	-421.1	-418.4	-419.9	-413.4	-421.6	-416.0	-411.9	-411.0	-416.8	-418.5
85	-482.9	-478.6	-449.1	-476.5	-452.3	-478.9	-483.9	-479.9	-487.4	-483.9	-486.1	-478.9	-488.4	-481.0	-476.4	-476.0	-481.6	-484.4
86	-451.7	-448.5	-484.1	-446.2	-486.5	-447.8	-454.0	-449.7	-456.7	-453.9	-455.9	-449.0	-458.7	-450.4	-445.7	-445.2	-451.1	-454.3
87	-486.5	-484.7	-513.1	-483.0	-514.5	-483.1	-489.0	-485.9	-490.8	-490.1	-491.0	-485.1	-494.2	-485.8	-481.3	-480.2	-486.9	-489.8
88	-515.0	-515.0	-560.4	-514.5	-560.5	-512.5	-517.3	-516.3	-517.7	-520.1	-519.4	-515.2	-522.9	-515.2	-511.2	-509.1	-516.8	-518.7
89	-561.5	-563.6	-556.3	-564.0	-555.2	-560.2	-563.3	-564.8	-562.2	-568.0	-565.5	-563.2	-569.2	-562.7	-559.2	-556.2	-564.6	-565.4
90	-556.4	-560.8	-571.6	-561.5	-569.4	-556.7	-557.9	-561.7	-555.4	-564.0	-560.2	-559.6	-563.8	-558.9	-555.9	-552.3	-560.7	-560.5

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

คำ	ข้อมูลที																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sampling																		
109	-513.4	-508.1	-487.5	-499.3	-493.6	-503.1	-503.3	-504.0	-511.4	-503.0	-502.9	-502.6	-502.8	-502.1	-508.9	-508.3	-499.6	-502.7
110	-499.6	-496.4	-457.7	-487.9	-461.8	-492.0	-490.8	-492.2	-497.2	-490.1	-490.0	-490.9	-489.3	-490.7	-497.2	-497.3	-487.6	-490.0
111	-466.9	-465.8	-469.4	-458.7	-471.5	-462.0	-459.0	-461.9	-463.3	-458.8	-458.0	-460.5	-456.9	-460.2	-466.7	-466.8	-457.3	-458.3
112	-475.9	-476.6	-454.2	-471.8	-454.4	-473.3	-468.6	-473.2	-470.8	-469.5	-467.5	-471.9	-466.1	-471.3	-477.7	-477.4	-468.8	-468.4
113	-458.2	-460.6	-435.3	-458.2	-433.8	-457.8	-451.8	-457.7	-452.1	-453.6	-450.6	-456.6	-449.0	-455.5	-461.8	-461.1	-453.8	-452.0
114	-436.9	-440.6	-424.0	-440.1	-421.3	-438.2	-432.1	-438.2	-430.7	-434.1	-430.7	-437.7	-429.0	-436.0	-441.9	-441.2	-434.9	-432.3
115	-423.4	-428.0	-422.6	-428.7	-419.0	-426.2	-421.2	-426.1	-418.4	-422.1	-419.2	-426.5	-417.5	-424.2	-429.4	-429.2	-423.4	-420.9
116	-420.2	-425.2	-408.2	-426.1	-404.3	-423.9	-421.1	-423.6	-417.4	-420.0	-418.6	-425.1	-416.8	-422.4	-426.6	-427.5	-421.7	-420.0
117	-404.3	-409.3	-388.1	-409.8	-384.0	-408.6	-408.8	-407.9	-404.6	-405.1	-405.6	-410.8	-404.0	-407.8	-410.6	-413.1	-406.9	-406.5
118	-382.9	-387.5	-362.3	-387.5	-358.3	-387.4	-390.9	-386.4	-386.5	-384.4	-387.1	-390.6	-385.6	-387.4	-388.8	-392.7	-386.3	-387.4
119	-356.3	-360.1	-347.1	-360.0	-343.3	-360.7	-367.1	-359.4	-362.7	-358.4	-362.9	-364.7	-361.6	-361.4	-361.4	-366.4	-360.3	-362.7
120	-340.6	-343.3	-335.4	-343.9	-331.8	-344.7	-352.9	-343.3	-348.8	-343.3	-348.8	-349.3	-347.7	-345.8	-344.8	-350.1	-345.3	-348.3
121	-328.8	-330.2	-299.1	-332.6	-295.7	-332.3	-341.1	-331.1	-337.3	-332.1	-337.4	-337.1	-336.6	-333.7	-331.9	-336.5	-334.1	-337.0
122	-292.5	-292.6	-271.6	-297.6	-268.2	-295.4	-303.5	-294.5	-300.0	-296.5	-300.6	-300.2	-300.2	-296.9	-294.6	-297.7	-298.6	-300.5
123	-264.9	-263.9	-240.2	-271.8	-236.8	-267.5	-273.7	-266.9	-270.4	-269.6	-271.9	-271.7	-271.8	-268.8	-266.1	-267.3	-271.9	-272.3
124	-233.3	-231.3	-208.2	-241.9	-204.8	-235.9	-239.4	-235.3	-236.4	-238.5	-238.9	-238.9	-238.9	-236.7	-233.7	-233.1	-241.1	-239.7
125	-200.7	-198.2	-161.2	-210.4	-157.6	-203.8	-204.6	-203.0	-201.7	-206.1	-205.2	-205.2	-205.2	-204.2	-200.6	-198.7	-209.1	-206.2
126	-152.6	-149.9	-107.9	-162.2	-104.3	-156.5	-155.0	-155.0	-152.2	-157.9	-156.6	-156.0	-156.4	-156.6	-152.1	-149.9	-161.3	-157.4

คำอธิบาย: ข้อมูลนี้แสดงถึงผลของการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละปี ซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น การเปลี่ยนแปลงในวิธีการเก็บข้อมูล หรือการเปลี่ยนแปลงในลักษณะของข้อมูลเอง การวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านี้สามารถช่วยในการทำความเข้าใจแนวโน้มและรูปแบบของข้อมูลได้

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

ค่า Sampling	ข้อมูลที																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
127	-97.9	-95.5	-40.0	-106.2	-36.3	-103.2	-100.0	-100.5	-97.3	-102.7	-102.2	-100.4	-101.6	-103.0	-97.3	-95.8	-106.6	-102.4
128	-28.2	-26.4	-4.6	-34.2	-0.8	-35.0	-31.1	-31.0	-28.4	-32.3	-33.6	-30.0	-32.4	-34.7	-27.5	-27.8	-36.6	-32.8



ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

ค่า Sampling	ข้อมูลที																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
1	0.0	7.0	6.8	4.9	0.8	9.0	10.1	5.9	27.4	0.5	4.6	6.1	7.2	5.7	2.0	7.7	3.8	0.9
2	29.1	35.3	35.6	33.6	30.3	38.7	39.1	38.4	52.9	28.8	32.6	35.8	35.2	36.3	30.2	37.7	32.5	29.2
3	55.1	60.9	61.4	59.5	56.8	65.3	65.2	67.0	89.5	54.4	57.9	62.4	60.4	63.4	55.6	64.4	58.3	54.8
4	91.9	97.5	98.1	96.2	93.8	102.3	102.1	104.7	126.5	91.1	94.4	99.4	96.9	100.6	92.2	101.5	95.0	91.4
5	128.8	134.6	135.0	133.1	130.5	138.9	138.9	140.7	142.7	128.1	131.5	136.1	134.0	137.1	129.3	138.1	132.0	128.4
6	144.4	150.7	150.9	149.0	145.7	154.0	154.5	153.8	156.8	144.2	148.0	151.2	150.5	151.6	145.6	153.1	147.9	144.5
7	157.7	164.7	164.5	162.5	158.4	166.6	167.8	163.6	175.0	158.2	162.2	163.8	164.8	163.4	159.7	165.3	161.5	158.5
8	174.9	182.6	181.8	180.0	175.1	183.1	184.9	177.1	156.0	176.2	180.1	180.3	182.8	179.0	177.7	181.3	178.8	176.5
9	154.7	163.2	161.5	160.1	154.8	162.4	164.7	154.0	191.7	157.1	160.2	159.7	162.9	157.5	158.0	159.8	158.7	157.3
10	189.4	198.4	195.8	195.0	189.6	196.7	199.4	187.1	195.4	192.8	194.3	194.3	197.1	191.4	192.7	193.3	192.9	192.7
11	192.2	201.2	197.7	197.9	193.0	199.5	202.0	189.9	205.8	196.5	195.6	197.3	198.6	194.1	195.0	195.0	195.0	196.0
12	201.9	210.5	206.1	207.5	203.7	209.4	211.3	200.8	228.8	206.8	203.2	207.3	206.3	204.2	203.8	203.7	203.7	205.9
13	224.5	232.1	227.1	229.7	227.3	233.1	233.1	225.2	253.2	229.5	223.3	230.1	226.6	227.4	225.1	225.3	225.2	228.2
14	248.9	255.0	249.8	253.5	252.7	256.4	256.3	251.3	274.2	253.4	245.4	254.3	248.9	252.4	248.3	248.7	248.7	252.0
15	270.2	274.3	269.4	274.1	274.7	277.2	275.8	273.5	297.7	273.8	264.9	274.9	268.7	273.9	268.6	268.9	269.4	272.3
16	294.4	296.1	291.9	297.2	299.2	300.4	297.7	297.1	322.4	296.3	288.1	297.7	292.2	297.7	292.2	291.7	293.3	295.2
17	320.1	319.2	316.2	321.8	324.6	324.5	320.7	320.8	347.1	320.0	313.7	321.3	318.0	322.4	317.8	316.0	319.2	319.4
18	345.9	342.5	341.0	346.4	349.8	348.2	343.6	343.6	382.0	343.7	340.2	344.7	344.6	346.7	344.0	340.5	345.5	343.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารส่วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แม้ว่า การผลิต การตลาด การพิมพ์ หรือการเผยแพร่เอกสารนี้ก็ตาม และต้องขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

ค่า Sampling	ข้อมูลที																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
19	382.0	376.3	376.3	381.4	385.0	382.0	377.0	376.4	460.3	377.7	377.4	378.3	381.7	381.2	380.6	375.4	382.3	378.4
20	461.5	454.0	455.4	459.9	463.5	459.2	454.2	453.2	427.6	455.4	458.2	455.8	461.9	459.3	460.8	454.2	462.5	456.9
21	429.8	421.2	423.7	427.5	430.9	425.4	420.9	420.2	447.8	422.7	427.7	422.8	430.5	426.7	429.6	422.4	431.4	424.6
22	451.0	442.0	445.1	448.1	451.4	444.8	441.1	441.6	481.2	443.5	449.6	443.5	451.0	447.6	451.0	444.0	452.7	445.7
23	485.0	476.3	479.6	481.9	484.9	477.5	475.1	477.5	453.4	477.9	483.8	478.0	483.5	482.0	485.0	479.0	486.6	480.1
24	457.6	449.9	452.9	454.5	457.1	449.0	448.2	453.0	533.1	451.5	456.3	451.7	454.0	455.4	457.3	453.0	458.8	453.6
25	537.4	531.2	533.6	534.5	536.6	528.0	529.1	536.2	554.6	532.9	535.9	533.0	531.6	536.1	536.9	534.4	538.0	534.7
26	558.8	554.5	556.2	556.2	557.5	548.7	551.9	560.4	566.1	556.2	557.4	556.0	551.1	558.2	558.2	557.4	558.9	557.6
27	569.8	567.5	568.6	567.7	568.0	559.0	564.3	571.1	561.1	569.3	569.1	568.4	561.0	569.4	569.5	569.8	569.6	570.3
28	564.3	563.9	564.4	562.5	561.6	552.7	559.9	567.5	623.5	565.5	564.7	563.6	555.2	563.4	564.6	565.2	564.0	566.3
29	626.1	627.2	627.4	624.4	622.2	613.7	622.5	627.8	569.6	628.7	628.1	625.4	617.6	624.0	627.2	627.4	625.8	629.3
30	571.7	573.7	573.9	570.0	566.7	558.7	568.3	570.8	571.7	575.1	575.3	570.5	564.4	568.1	573.7	573.0	571.5	575.7
31	573.2	575.5	575.9	571.2	567.3	559.8	569.7	569.6	563.5	577.0	578.2	571.2	567.5	568.1	575.9	574.1	573.1	577.5
32	564.5	566.3	567.1	562.1	558.2	551.4	560.5	558.8	561.1	568.2	570.3	561.6	560.3	558.2	567.6	564.9	564.3	568.6
33	561.8	562.4	563.7	558.6	555.5	549.4	557.0	555.2	563.8	564.9	567.4	558.0	558.5	554.9	564.5	561.6	561.0	565.2
34	564.3	563.0	564.9	560.2	558.6	553.3	558.5	558.4	569.7	566.4	568.6	559.8	561.3	557.4	566.0	563.5	562.6	566.4
35	570.1	566.5	569.0	565.0	565.5	561.0	563.3	566.3	578.2	571.1	572.3	565.3	566.9	563.9	570.3	568.7	567.2	570.7
36	578.6	572.5	575.5	572.4	575.3	571.8	570.7	577.7	580.8	578.3	578.3	573.6	574.8	573.5	576.9	576.7	574.3	577.5

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

คำ Sampling	ข้อมูลที่																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	581.2	572.6	576.1	574.0	579.3	576.7	572.3	583.2	581.9	579.6	578.2	576.0	576.8	577.1	577.7	578.8	575.5	578.4
38	582.2	571.5	575.4	574.1	581.4	579.8	572.5	586.3	592.6	579.4	577.1	576.8	577.6	578.9	577.2	579.3	575.3	577.9
39	592.6	580.4	584.7	583.9	592.6	591.9	582.3	597.5	580.5	588.9	586.3	586.8	588.6	589.7	586.7	589.2	585.1	587.2
40	580.2	567.1	571.8	571.2	580.5	580.8	569.7	584.3	562.2	576.0	573.7	573.9	577.4	577.0	574.1	576.3	572.4	574.1
41	561.4	548.4	553.2	552.4	561.4	562.7	551.0	563.4	527.4	557.0	555.7	554.5	560.3	557.4	555.7	557.1	553.8	555.2
42	526.1	513.9	518.6	517.4	525.5	527.7	516.3	525.4	503.6	522.1	521.8	518.8	526.9	521.0	521.2	521.6	519.0	520.2
43	501.6	491.0	495.4	493.6	500.3	503.4	493.0	498.5	498.2	498.5	499.0	494.4	504.2	495.6	497.8	497.3	495.1	496.7
44	495.6	487.3	491.1	488.6	493.7	497.5	488.8	491.1	459.9	493.9	494.6	489.2	499.3	489.2	492.9	492.0	489.7	492.1
45	456.6	451.2	453.9	450.9	454.3	458.8	452.1	452.3	479.2	456.8	456.9	451.7	460.7	450.5	454.8	454.3	451.3	454.8
46	475.6	473.1	474.7	471.2	473.1	478.0	473.6	472.9	463.7	477.7	476.5	472.7	479.0	470.4	474.2	474.8	470.6	475.5
47	459.8	460.2	460.6	456.7	457.4	462.7	460.5	460.1	455.3	463.9	460.9	459.3	461.9	456.2	458.6	461.0	455.0	461.4
48	451.5	454.5	453.8	449.8	449.4	454.8	454.8	455.3	436.5	457.3	452.5	453.5	452.1	449.7	450.4	454.6	446.9	454.6
49	433.0	438.1	436.6	432.4	431.2	436.5	438.3	440.0	409.7	439.9	434.0	437.1	432.2	433.0	432.0	437.9	428.8	437.2
50	406.8	413.4	411.4	407.2	405.1	410.3	413.5	415.8	416.3	414.2	408.0	412.3	405.3	408.1	406.1	413.0	403.3	411.6
51	414.1	421.5	419.6	415.2	412.4	417.2	421.5	423.6	424.0	421.2	416.1	420.1	412.7	416.2	414.0	421.2	411.7	419.1
53	422.8	430.3	428.9	424.4	420.8	425.1	430.1	431.1	394.1	428.9	426.1	428.5	422.4	425.0	423.5	430.1	421.8	427.4
53	394.0	400.9	400.3	395.8	391.7	395.3	400.5	399.7	386.1	398.4	398.6	398.6	395.0	395.8	395.7	400.9	394.5	397.7
54	387.2	393.0	393.3	389.1	384.5	387.5	392.5	389.8	365.9	389.5	393.0	390.3	389.9	388.4	389.7	393.3	389.2	389.8

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

ค่า Sampling	ข้อมูลที่																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
55	368.0	372.4	373.7	369.9	365.3	367.6	372.0	367.8	344.8	368.2	374.6	369.7	372.3	368.7	371.2	373.1	371.4	369.3
56	347.8	350.8	352.7	349.7	345.5	347.1	350.6	345.8	324.9	346.1	354.4	348.4	352.9	348.5	351.2	351.9	352.2	347.8
57	328.4	330.1	332.3	330.5	327.0	327.9	330.3	326.1	314.6	325.2	334.1	328.5	333.5	329.7	331.7	331.6	333.4	327.4
58	318.4	319.1	321.0	320.7	318.3	318.5	319.8	317.0	276.1	314.2	322.3	318.5	322.6	320.7	320.9	320.7	323.4	316.5
59	279.9	280.0	281.2	282.6	281.3	281.0	281.3	280.3	247.3	275.3	281.5	280.7	282.6	283.6	281.4	281.5	284.7	277.5
60	250.6	250.6	250.8	253.9	253.5	252.8	252.4	253.0	217.7	246.3	249.9	252.4	251.7	255.7	251.2	251.5	255.0	248.2
61	220.3	220.7	219.6	224.2	224.5	223.5	222.7	224.0	165.8	216.5	217.4	223.0	219.8	226.4	220.1	220.4	224.2	218.2
62	167.5	168.7	166.3	172.2	172.7	171.5	170.6	171.2	107.6	164.6	163.2	171.0	166.1	174.0	166.9	166.7	171.2	166.0
63	108.1	110.4	106.8	113.7	113.9	112.5	112.0	110.4	64.2	106.3	103.3	112.0	106.6	114.4	107.8	106.4	111.9	107.5
64	63.6	67.1	62.5	70.0	69.4	68.0	68.2	63.0	30.2	62.9	59.0	67.5	62.7	69.0	63.9	60.7	67.6	63.9
65	28.6	33.3	27.8	35.7	34.1	32.7	33.6	24.4	-12.8	28.7	24.8	32.1	28.8	32.8	29.8	24.6	33.1	29.8
66	-15.4	-9.6	-15.7	-7.7	-10.2	-11.6	-9.9	-22.9	-30.6	-14.5	-18.2	-12.3	-13.9	-12.4	-13.2	-20.3	-10.3	-13.3
67	-33.7	-27.3	-33.7	-25.6	-28.8	-30.2	-28.0	-43.8	-64.4	-32.3	-35.7	-30.9	-31.3	-31.7	-30.8	-39.2	-28.2	-31.1
68	-67.6	-61.0	-67.5	-59.5	-62.9	-64.3	-61.9	-78.6	-101.2	-66.2	-69.3	-65.0	-64.9	-66.0	-64.5	-73.4	-62.0	-64.9
69	-104.2	-97.8	-104.2	-96.2	-99.3	-100.7	-98.6	-114.3	-126.5	-102.9	-106.2	-101.5	-101.9	-102.2	-101.4	-109.7	-98.7	-101.7
70	-129.1	-123.3	-129.4	-121.4	-123.9	-125.3	-123.6	-136.6	-143.3	-128.2	-131.9	-126.0	-127.6	-126.1	-126.9	-134.0	-124.0	-127.0
71	-145.0	-140.3	-145.7	-137.9	-139.4	-140.8	-139.9	-149.1	-150.7	-144.8	-148.8	-141.4	-144.8	-140.8	-143.8	-149.0	-140.4	-143.7
72	-151.3	-147.8	-152.5	-144.9	-145.5	-146.9	-146.8	-151.9	-162.4	-152.1	-155.9	-147.4	-152.2	-145.9	-151.0	-154.2	-147.3	-151.0

สงวนลิขสิทธิ์ในเอกสารนี้โดยสำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ นครเชียงใหม่ กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

ค่า Sampling	ข้อมูลที่																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
73	-161.9	-159.6	-163.2	-156.3	-156.2	-157.5	-158.0	-159.6	-174.2	-163.7	-166.7	-158.0	-163.4	-155.6	-162.2	-163.7	-158.1	-162.5
74	-172.6	-171.4	-173.8	-167.9	-167.4	-168.6	-169.4	-168.8	-191.0	-175.4	-176.8	-169.1	-173.9	-166.0	-173.1	-173.3	-168.9	-174.1
75	-188.3	-188.0	-189.0	-184.4	-184.1	-185.1	-186.0	-184.6	-210.0	-192.1	-191.2	-185.6	-188.8	-182.2	-188.5	-188.2	-184.4	-190.5
76	-206.7	-206.7	-206.5	-203.5	-203.8	-204.5	-204.9	-204.3	-241.9	-211.1	-207.4	-205.0	-205.6	-201.6	-206.1	-205.8	-202.3	-209.1
77	-238.1	-238.0	-236.8	-235.4	-236.7	-237.0	-236.7	-237.7	-238.8	-242.7	-236.5	-237.3	-235.4	-234.5	-236.6	-236.5	-233.3	-240.5
78	-235.0	-234.3	-232.4	-232.7	-235.1	-234.9	-233.6	-236.4	-273.7	-239.1	-231.0	-234.8	-230.7	-232.7	-232.5	-232.6	-229.9	-236.9
79	-270.2	-268.5	-266.4	-268.1	-271.6	-270.7	-268.3	-272.5	-293.0	-273.4	-264.5	-270.1	-265.1	-268.9	-267.0	-267.0	-265.2	-271.2
80	-290.0	-287.0	-285.2	-288.1	-292.3	-290.8	-287.3	-292.0	-325.2	-291.7	-283.4	-289.5	-284.9	-289.3	-286.6	-285.9	-285.6	-290.0
81	-323.1	-318.6	-317.4	-321.1	-325.7	-323.5	-319.0	-323.2	-345.9	-322.8	-316.4	-321.4	-318.8	-322.3	-319.8	-317.9	-319.6	-321.7
82	-344.9	-339.1	-338.7	-342.9	-347.5	-344.5	-339.5	-342.3	-374.7	-342.5	-339.0	-341.7	-342.1	-343.7	-342.3	-338.7	-342.8	-342.3
83	-374.7	-367.9	-368.5	-372.9	-377.1	-373.4	-368.2	-369.0	-419.4	-370.4	-370.1	-370.1	-373.7	-373.0	-373.1	-367.8	-374.2	-371.0
84	-420.6	-413.2	-414.6	-419.0	-422.6	-418.3	-413.3	-412.4	-483.8	-414.6	-417.4	-414.9	-421.1	-418.4	-419.9	-413.4	-421.6	-416.0
85	-486.0	-478.6	-480.5	-484.8	-487.7	-482.9	-478.6	-476.5	-452.3	-478.9	-483.9	-479.9	-487.4	-483.9	-486.1	-478.9	-488.4	-481.0
86	-455.2	-448.6	-450.6	-454.8	-456.9	-451.7	-448.5	-446.2	-486.5	-447.8	-454.0	-449.7	-456.7	-453.9	-455.9	-449.0	-458.7	-450.4
87	-490.0	-484.9	-486.4	-490.6	-491.8	-486.5	-484.7	-483.0	-514.5	-483.1	-489.0	-485.9	-490.8	-490.1	-491.0	-485.1	-494.2	-485.8
88	-518.3	-515.3	-516.0	-520.0	-520.4	-515.0	-515.0	-514.5	-560.5	-512.5	-517.3	-516.3	-517.7	-520.1	-519.4	-515.2	-522.9	-515.2
89	-564.4	-564.0	-563.6	-567.4	-566.7	-561.5	-563.6	-564.0	-555.2	-560.2	-563.3	-564.8	-562.2	-568.0	-565.5	-563.2	-569.2	-562.7
90	-558.8	-561.3	-559.7	-563.2	-561.3	-556.4	-560.8	-561.5	-569.4	-556.7	-557.9	-561.7	-555.4	-564.0	-560.2	-559.6	-563.8	-558.9

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Sampling																		
91	-572.6	-578.1	-575.3	-578.4	-574.9	-570.5	-577.1	-577.0	-578.4	-572.5	-572.4	-577.5	-568.6	-578.7	-574.5	-575.0	-578.0	-574.4
92	-581.1	-589.3	-585.6	-588.1	-583.0	-579.2	-587.9	-585.6	-574.5	-582.8	-582.0	-587.5	-577.4	-587.5	-583.8	-584.7	-586.9	-584.6
93	-576.5	-587.0	-582.6	-584.5	-577.8	-574.7	-585.1	-579.6	-580.1	-579.6	-579.1	-583.6	-573.9	-582.4	-580.3	-580.8	-583.0	-581.4
94	-581.5	-593.7	-588.9	-590.2	-582.1	-579.9	-591.3	-582.2	-572.7	-585.5	-585.8	-588.7	-580.6	-586.6	-586.4	-586.0	-588.6	-587.3
95	-573.5	-586.6	-581.7	-582.5	-573.5	-572.2	-583.9	-571.5	-573.1	-577.9	-579.2	-580.4	-574.6	-577.5	-579.2	-577.8	-581.1	-579.7
96	-573.4	-586.5	-581.8	-582.4	-573.2	-572.8	-584.0	-569.3	-569.9	-577.7	-579.9	-579.7	-576.2	-576.7	-579.6	-577.3	-581.2	-579.5
97	-569.8	-582.1	-577.7	-578.5	-569.8	-570.5	-580.1	-565.0	-578.3	-573.5	-576.1	-575.6	-573.9	-572.8	-575.7	-573.2	-577.4	-575.3
98	-578.0	-588.7	-584.7	-586.1	-578.8	-580.4	-587.7	-573.9	-573.6	-580.8	-583.1	-583.4	-582.6	-581.3	-583.0	-580.9	-584.8	-582.3
99	-573.2	-581.8	-578.3	-580.5	-575.2	-577.8	-582.1	-571.3	-578.1	-574.9	-576.2	-578.4	-577.6	-577.3	-576.8	-575.6	-579.0	-576.0
100	-577.7	-583.8	-580.9	-584.0	-581.0	-584.6	-585.6	-578.6	-592.4	-578.1	-578.1	-582.8	-581.6	-582.9	-579.4	-579.6	-582.1	-578.8
101	-592.0	-595.6	-593.1	-597.2	-596.6	-601.1	-598.9	-593.8	-595.8	-591.0	-589.8	-596.8	-595.2	-598.2	-591.8	-593.4	-595.0	-591.4
102	-595.2	-596.5	-594.6	-599.4	-600.9	-606.2	-601.1	-601.1	-596.9	-593.1	-590.9	-599.7	-598.2	-602.1	-593.5	-596.1	-597.0	-593.1
103	-596.2	-595.6	-594.3	-599.4	-602.5	-608.6	-601.0	-602.8	-563.6	-593.1	-590.6	-600.0	-599.5	-603.1	-593.5	-596.4	-597.0	-592.8
104	-562.5	-560.7	-559.9	-565.0	-568.8	-575.7	-566.6	-568.2	-560.3	-558.9	-556.7	-565.5	-566.8	-568.8	-559.5	-562.1	-562.8	-558.4
105	-558.8	-556.5	-556.1	-560.8	-564.6	-572.2	-562.3	-562.4	-533.4	-555.0	-553.8	-560.8	-564.5	-563.9	-556.0	-557.9	-558.9	-554.5
106	-531.4	-529.4	-529.2	-533.1	-536.3	-544.4	-534.7	-532.3	-521.8	-527.9	-527.8	-532.5	-538.6	-534.9	-529.3	-530.1	-531.6	-527.4
107	-519.2	-518.1	-517.9	-520.8	-523.0	-531.5	-522.8	-517.5	-519.2	-516.6	-517.2	-519.8	-527.7	-521.2	-518.0	-517.9	-519.5	-516.0
108	-516.0	-516.4	-515.9	-517.8	-518.8	-527.6	-520.4	-512.8	-506.3	-514.8	-515.6	-516.7	-525.2	-516.9	-515.7	-515.2	-516.3	-514.0

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Sampling																		
109	-502.6	-504.8	-503.8	-504.7	-504.4	-513.4	-508.1	-499.3	-493.6	-503.1	-503.3	-504.0	-511.4	-503.0	-502.9	-502.6	-502.8	-502.1
110	-489.5	-493.8	-492.1	-492.0	-490.7	-499.6	-496.4	-487.9	-461.8	-492.0	-490.8	-492.2	-497.2	-490.1	-490.0	-490.9	-489.3	-490.7
111	-457.5	-463.7	-461.3	-460.4	-458.3	-466.9	-465.8	-458.7	-471.5	-462.0	-459.0	-461.9	-463.3	-458.8	-458.0	-460.5	-456.9	-460.2
112	-467.3	-475.0	-472.0	-470.3	-467.7	-475.9	-476.6	-471.8	-454.4	-473.3	-468.6	-473.2	-470.8	-469.5	-467.5	-471.9	-466.1	-471.3
113	-450.6	-459.3	-456.0	-453.7	-450.7	-458.2	-460.6	-458.2	-433.8	-457.8	-451.8	-457.7	-452.1	-453.6	-450.6	-456.6	-449.0	-455.5
114	-430.7	-439.7	-436.6	-433.6	-430.3	-436.9	-440.6	-440.1	-421.3	-438.2	-432.1	-438.2	-430.7	-434.1	-430.7	-437.7	-429.0	-436.0
115	-419.0	-427.6	-425.1	-421.4	-418.0	-423.4	-428.0	-428.7	-419.0	-426.2	-421.2	-426.1	-418.4	-422.1	-419.2	-426.5	-417.5	-424.2
116	-417.9	-425.3	-423.9	-419.5	-415.9	-420.2	-425.2	-426.1	-404.3	-423.9	-421.1	-423.6	-417.4	-420.0	-418.6	-425.1	-416.8	-422.4
117	-404.3	-409.9	-409.9	-404.9	-401.3	-404.3	-409.3	-409.8	-384.0	-408.6	-408.8	-407.9	-404.6	-405.1	-405.6	-410.8	-404.0	-407.8
118	-385.2	-388.6	-390.1	-384.7	-381.3	-382.9	-387.5	-387.5	-358.3	-387.4	-390.9	-386.4	-386.5	-384.4	-387.1	-390.6	-385.6	-387.4
119	-360.7	-361.6	-364.5	-359.0	-356.1	-356.3	-360.1	-360.0	-343.3	-360.7	-367.1	-359.4	-362.7	-358.4	-362.9	-364.7	-361.6	-361.4
120	-346.6	-344.9	-349.1	-343.8	-341.8	-340.6	-343.3	-343.9	-331.8	-344.7	-352.9	-343.3	-348.8	-343.3	-348.8	-349.3	-347.7	-345.8
121	-335.8	-331.7	-336.6	-332.0	-331.3	-328.8	-330.2	-332.6	-295.7	-332.3	-341.1	-331.1	-337.3	-332.1	-337.4	-337.1	-336.6	-333.7
122	-300.0	-293.9	-299.1	-295.3	-296.2	-292.5	-292.6	-297.6	-268.2	-295.4	-303.5	-294.5	-300.0	-296.5	-300.6	-300.2	-300.2	-296.9
123	-272.5	-264.9	-269.9	-267.3	-269.7	-264.9	-263.9	-271.8	-236.8	-267.5	-273.7	-266.9	-270.4	-269.6	-271.9	-271.7	-271.8	-268.8
124	-240.7	-232.1	-236.5	-235.1	-239.0	-233.3	-231.3	-241.9	-204.8	-235.9	-239.4	-235.3	-236.4	-238.5	-238.9	-238.9	-238.9	-236.7
125	-208.0	-199.0	-202.5	-202.3	-207.2	-200.7	-198.2	-210.4	-157.6	-203.8	-204.6	-203.0	-201.7	-206.1	-205.2	-205.2	-205.2	-204.2
126	-159.9	-151.0	-153.6	-154.3	-159.7	-152.6	-149.9	-162.2	-104.3	-156.5	-155.0	-155.0	-152.2	-157.9	-156.6	-156.0	-156.4	-156.6

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Sampling																		
127	-105.5	-97.0	-98.7	-100.1	-105.4	-97.9	-95.5	-106.2	-36.3	-103.2	-100.0	-100.5	-97.3	-102.7	-102.2	-100.4	-101.6	-103.0
128	-36.4	-28.6	-29.5	-31.3	-36.1	-28.2	-26.4	-34.2	-0.8	-35.0	-31.1	-31.0	-28.4	-32.3	-33.6	-30.0	-32.4	-34.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

ค่า Sampling	ข้อมูลที																		
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
1	9.6	7.1	1.0	0.0	7.0	6.8	4.9	0.8	5.9	4.5	43.1	3.2	2.1	9.2	10.6	6.4	1.1	2.9	10.9
2	39.2	34.6	31.2	29.1	35.3	35.6	33.6	30.3	39.6	41.3	79.6	45.0	40.3	54.1	53.6	50.3	43.1	45.2	50.7
3	65.7	59.5	58.2	55.1	60.9	61.4	59.5	56.8	68.9	73.0	120.3	80.3	73.0	91.7	89.9	87.3	78.7	81.0	84.6
4	102.7	95.9	95.3	91.9	97.5	98.1	96.2	93.8	106.9	111.9	153.3	120.6	112.2	132.8	130.5	128.1	119.1	121.4	124.2
5	139.3	133.1	131.8	128.8	134.6	135.0	133.1	130.5	142.6	146.7	158.4	154.0	146.6	165.4	163.6	160.9	152.4	154.7	158.2
6	154.5	149.9	146.6	144.4	150.7	150.9	149.0	145.7	154.9	156.6	157.4	160.3	155.6	169.4	168.9	165.6	158.4	160.5	166.1
7	167.2	164.8	158.7	157.7	164.7	164.5	162.5	158.4	163.6	162.2	160.4	160.8	159.8	166.9	168.2	164.0	158.8	160.5	168.6
8	183.7	183.5	174.6	174.9	182.6	181.8	180.0	175.1	175.9	171.9	129.9	165.2	167.8	168.0	171.5	166.4	163.4	164.6	174.5
9	163.0	164.4	153.6	154.7	163.2	161.5	160.1	154.8	151.7	146.5	160.8	135.5	141.0	135.8	141.2	135.4	134.6	135.2	145.4
10	197.2	199.4	188.0	189.4	198.4	195.8	195.0	189.6	184.0	179.8	167.1	166.4	173.0	165.2	172.1	166.1	167.0	166.9	175.2
11	199.6	201.5	191.1	192.2	201.2	197.7	197.9	193.0	186.3	185.2	186.3	171.9	177.7	170.5	178.2	172.5	174.4	173.7	178.0
12	208.9	209.5	201.6	201.9	210.5	206.1	207.5	203.7	197.2	200.9	221.3	189.7	192.9	189.3	196.9	192.0	194.2	193.1	191.7
13	230.9	229.7	225.1	224.5	232.1	227.1	229.7	227.3	222.0	230.8	257.4	223.2	222.8	224.3	231.3	227.4	229.3	228.2	220.7
14	254.3	251.2	250.3	248.9	255.0	249.8	253.5	252.7	248.7	261.8	286.1	258.1	254.0	260.7	266.4	263.8	265.0	264.1	251.6
15	274.1	269.5	271.9	270.2	274.3	269.4	274.1	274.7	271.5	286.8	311.1	286.6	279.2	289.7	293.9	292.6	292.7	292.7	277.1
16	296.2	290.9	295.7	294.4	296.1	291.9	297.2	299.2	295.7	310.5	330.9	312.5	303.1	315.1	317.5	317.3	316.4	317.7	301.8
17	319.3	314.3	320.4	320.1	319.2	316.2	321.8	324.6	319.8	331.6	345.8	334.2	324.3	334.9	335.7	336.4	334.6	337.4	324.1
18	342.3	338.4	344.8	345.9	342.5	341.0	346.4	349.8	343.0	349.6	369.2	351.5	342.5	349.6	348.8	350.2	347.8	352.2	343.6

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

คำ	ข้อมูลที																			
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
Sampling																				
19	375.6	373.2	379.4	382.0	376.3	376.3	381.4	385.0	375.9	376.7	438.2	377.4	370.2	372.5	370.3	372.4	369.6	375.3	372.3	
20	452.8	451.8	457.6	461.5	454.0	455.4	459.9	463.5	452.8	448.4	401.4	448.0	442.9	440.7	437.2	440.0	437.1	443.6	445.8	
21	419.5	419.6	425.4	429.8	421.2	423.7	427.5	430.9	419.8	412.1	424.6	411.8	408.2	403.0	398.4	402.1	399.3	405.7	411.4	
22	439.8	440.5	446.8	451.0	442.0	445.1	448.1	451.4	441.4	433.0	467.8	434.0	431.4	425.3	419.6	424.4	421.9	427.4	434.3	
23	473.9	474.5	481.9	485.0	476.3	479.6	481.9	484.9	477.5	471.1	454.5	474.5	472.2	467.3	460.8	466.9	464.9	468.6	474.2	
24	447.2	447.4	456.0	457.6	449.9	452.9	454.5	457.1	453.2	450.8	549.6	457.4	455.0	452.7	445.6	453.1	451.8	453.1	455.4	
25	528.2	528.0	537.6	537.4	531.2	533.6	534.5	536.6	536.4	538.7	583.8	548.2	545.9	546.3	539.1	547.7	547.7	545.9	544.4	
26	551.1	550.9	560.7	558.8	554.5	556.2	556.2	557.5	560.4	566.9	601.8	578.2	576.9	578.7	571.9	581.3	582.8	578.0	573.0	
27	563.5	564.1	572.8	569.8	567.5	568.6	567.7	568.0	572.7	581.6	595.6	592.9	593.6	594.6	588.9	598.4	601.9	594.3	587.3	
28	559.1	561.2	567.7	564.3	563.9	564.4	562.5	561.6	566.5	575.4	649.7	584.6	588.8	586.2	582.0	591.1	596.8	587.0	580.2	
29	621.5	625.8	629.1	626.1	627.2	627.4	624.4	622.2	626.1	632.6	582.9	638.0	646.4	638.2	635.7	643.9	651.7	640.3	635.8	
30	567.3	574.0	573.8	571.7	573.7	573.9	570.0	566.7	568.6	570.9	571.0	571.6	584.4	569.6	568.9	575.7	585.3	573.3	572.5	
31	568.7	577.5	574.1	573.2	575.5	575.9	571.2	567.3	567.0	564.5	551.8	560.8	577.1	556.5	557.2	562.4	573.3	561.5	564.8	
32	560.0	570.0	564.5	564.5	566.3	567.1	562.1	558.2	556.4	549.6	544.3	543.0	561.1	536.9	538.4	542.1	553.2	542.6	549.0	
33	557.1	567.1	561.1	561.8	562.4	563.7	558.6	555.5	553.6	544.0	549.0	536.6	554.2	529.9	531.5	533.9	544.2	535.3	543.3	
34	559.6	568.3	563.4	564.3	563.0	564.9	560.2	558.6	558.0	547.8	563.4	542.0	556.7	536.1	536.9	538.4	546.9	540.3	547.6	
35	565.6	571.8	569.5	570.1	566.5	569.0	565.0	565.5	567.7	558.5	584.0	556.6	566.3	552.6	552.1	553.0	558.7	554.8	559.5	
36	574.4	577.5	578.6	578.6	572.5	575.5	572.4	575.3	581.0	574.0	598.7	577.1	580.8	575.9	573.7	574.1	576.7	575.6	576.7	

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																							
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55					
Sampling																								
37	577.3	577.2	581.8	581.2	572.6	576.1	574.0	579.3	588.4	583.7	608.1	591.8	589.2	593.2	589.4	589.3	588.7	590.5	587.8					
38	578.6	575.9	583.1	582.2	571.5	575.4	574.1	581.4	593.1	589.7	620.5	601.5	593.9	605.0	599.8	599.1	595.8	600.2	595.0					
39	589.2	585.1	593.4	592.6	580.4	584.7	583.9	592.6	605.4	601.6	603.0	615.0	604.3	619.2	613.5	611.8	606.5	613.3	607.4					
40	577.0	572.6	580.3	580.2	567.1	571.8	571.2	580.5	592.7	586.7	573.1	599.0	587.6	602.7	597.2	594.2	588.0	596.6	592.1					
41	558.4	555.0	560.4	561.4	548.4	553.2	552.4	561.4	571.7	562.0	523.8	571.1	561.2	573.2	568.7	564.1	557.9	567.7	566.4					
42	523.4	521.8	523.9	526.1	513.9	518.6	517.4	525.5	533.1	519.2	486.3	523.7	516.9	523.5	520.6	514.5	509.2	519.4	521.9					
43	499.7	500.1	498.5	501.6	491.0	495.4	493.6	500.3	505.2	488.0	471.9	487.4	484.6	485.2	484.2	476.7	472.9	482.6	488.8					
44	494.9	497.0	492.2	495.6	487.3	491.1	488.6	493.7	496.7	478.0	431.5	473.1	474.1	469.7	470.8	462.3	460.3	468.7	476.9					
45	457.6	460.9	453.6	456.6	451.2	453.9	450.9	454.3	456.8	439.1	456.5	431.7	435.5	428.4	431.3	422.3	422.1	428.3	436.7					
46	478.5	482.1	473.7	475.6	473.1	474.7	471.2	473.1	476.5	462.3	452.6	454.4	459.8	452.6	456.9	448.0	449.4	452.9	459.2					
47	464.9	468.0	459.5	459.8	460.2	460.6	456.7	457.4	463.0	454.1	458.7	447.5	453.2	448.2	453.3	445.1	447.6	448.3	450.9					
48	458.6	460.7	453.0	451.5	454.5	453.8	449.8	449.4	457.7	454.7	453.3	450.5	455.7	454.3	459.7	452.5	455.8	453.7	452.1					
49	441.7	442.8	436.1	433.0	438.1	436.6	432.4	431.2	441.9	444.2	435.2	442.6	447.0	449.0	454.3	448.4	452.0	447.6	442.6					
50	416.3	416.8	410.9	406.8	413.4	411.4	407.2	405.1	417.3	422.9	443.6	423.2	427.2	431.4	436.2	431.5	435.1	429.2	422.7					
51	423.6	424.0	418.5	414.1	421.5	419.6	415.2	412.4	424.5	430.9	446.1	431.9	436.1	440.4	444.6	440.9	444.3	437.6	432.1					
52	431.5	432.5	426.6	422.8	430.3	428.9	424.4	420.8	431.5	435.9	405.7	436.3	441.4	443.6	447.1	444.3	447.2	440.7	438.5					
53	401.2	403.0	396.6	394.0	400.9	400.3	395.8	391.7	399.6	400.2	385.1	398.9	405.4	404.0	406.6	404.5	406.8	401.3	404.1					
54	392.4	395.2	388.3	387.2	393.0	393.3	389.1	384.5	389.2	385.3	354.0	382.1	389.7	384.6	386.2	384.6	386.0	382.1	390.3					

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูล																			
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
Sampling																				
55	371.2	374.4	367.7	368.0	372.4	373.7	369.9	365.3	366.9	359.2	326.9	354.8	362.5	354.8	355.2	354.4	354.6	352.4	365.1	
56	349.2	352.1	346.5	347.8	350.8	352.7	349.7	345.5	344.7	335.1	307.5	330.8	337.4	329.2	328.5	328.4	327.3	326.8	341.9	
57	328.5	330.3	326.8	328.4	330.1	332.3	330.5	327.0	325.0	316.2	303.9	313.5	317.5	311.6	309.4	310.4	307.8	308.8	323.4	
58	317.7	317.4	317.0	318.4	319.1	321.0	320.7	318.3	316.0	310.6	276.2	310.8	310.9	309.7	306.4	308.6	304.5	306.5	317.9	
59	278.8	276.2	279.3	279.9	280.0	281.2	282.6	281.3	279.4	279.4	258.7	283.1	278.8	283.6	279.4	282.8	277.5	280.0	286.1	
60	249.6	244.7	251.0	250.6	250.6	250.8	253.9	253.5	252.0	258.2	237.1	265.0	256.6	267.2	262.6	267.0	261.1	263.7	263.6	
61	219.4	212.8	221.4	220.3	220.7	219.6	224.2	224.5	222.5	234.3	187.1	242.9	231.5	246.2	242.0	247.1	241.1	243.4	237.6	
62	166.7	159.4	168.8	167.5	168.7	166.3	172.2	172.7	169.0	184.7	123.4	192.9	180.3	196.3	193.0	198.4	193.1	194.9	184.9	
63	107.3	100.5	109.2	108.1	110.4	106.8	113.7	113.9	107.0	124.4	68.1	129.9	118.1	132.0	130.4	135.5	131.7	132.9	120.9	
64	62.5	57.1	63.8	63.6	67.1	62.5	70.0	69.4	58.2	75.1	18.5	76.0	66.7	75.6	76.1	80.5	78.6	79.4	67.5	
65	27.1	23.8	27.6	28.6	33.3	27.8	35.7	34.1	18.2	32.9	-39.9	28.3	22.4	24.7	27.5	31.0	31.2	31.5	21.5	
66	-17.2	-18.6	-17.5	-15.4	-9.6	-15.7	-7.7	-10.2	-30.5	-18.5	-68.9	-28.3	-30.7	-34.9	-30.2	-27.6	-25.6	-25.5	-33.2	
67	-35.8	-35.7	-36.7	-33.7	-27.3	-33.7	-25.6	-28.8	-52.1	-42.4	-106.8	-55.9	-55.8	-64.7	-58.6	-56.7	-53.4	-53.5	-59.2	
68	-69.9	-69.2	-71.0	-67.6	-61.0	-67.5	-59.5	-62.9	-87.3	-78.4	-139.4	-93.3	-92.2	-102.9	-96.3	-94.7	-90.9	-91.1	-96.0	
69	-106.4	-106.2	-107.3	-104.2	-97.8	-104.2	-96.2	-99.3	-122.7	-113.0	-153.6	-126.5	-126.3	-135.3	-129.2	-127.3	-124.0	-124.1	-129.7	
70	-130.9	-132.3	-131.2	-129.1	-123.3	-129.4	-121.4	-123.9	-144.2	-132.2	-155.0	-142.0	-144.4	-148.6	-143.9	-141.3	-139.3	-139.2	-146.9	
71	-146.4	-149.8	-146.0	-145.0	-140.3	-145.7	-137.9	-139.4	-155.4	-140.7	-146.8	-145.2	-151.1	-148.8	-146.0	-142.6	-142.4	-142.0	-152.1	
72	-152.4	-157.8	-151.1	-151.3	-147.8	-152.5	-144.9	-145.5	-156.7	-139.9	-146.6	-138.9	-148.2	-139.3	-138.8	-134.4	-136.3	-135.5	-147.4	

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

ข้อมูลที																				
ค่า	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
Sampling																				
73	-162.7	-169.5	-160.8	-161.9	-159.6	-163.2	-156.3	-156.2	-163.1	-145.6	-153.0	-140.1	-151.9	-138.1	-139.6	-134.6	-138.4	-137.1	-149.1	
74	-173.4	-180.6	-171.2	-172.6	-171.4	-173.8	-167.9	-167.4	-171.1	-155.4	-171.6	-147.2	-159.8	-143.8	-147.0	-141.7	-147.0	-145.1	-155.2	
75	-189.2	-195.8	-187.3	-188.3	-188.0	-189.0	-184.4	-184.1	-186.1	-174.3	-198.7	-165.7	-177.1	-162.4	-166.7	-161.6	-167.6	-165.2	-171.1	
76	-207.7	-212.7	-206.3	-206.7	-206.7	-206.5	-203.5	-203.8	-205.3	-199.2	-241.8	-192.3	-200.7	-190.1	-194.7	-190.3	-196.3	-193.6	-193.7	
77	-239.2	-241.8	-238.7	-238.1	-238.0	-236.8	-235.4	-236.7	-238.6	-238.6	-249.4	-234.9	-239.2	-234.4	-238.6	-235.2	-240.5	-238.0	-231.9	
78	-235.7	-235.9	-236.3	-235.0	-234.3	-232.4	-232.7	-235.1	-237.4	-242.7	-291.1	-242.5	-242.4	-243.6	-247.0	-244.8	-248.9	-246.8	-235.5	
79	-270.1	-268.4	-271.8	-270.2	-268.5	-266.4	-268.1	-271.6	-273.6	-282.4	-310.9	-285.1	-281.1	-287.1	-289.2	-288.2	-290.8	-289.8	-275.2	
80	-288.6	-285.7	-291.3	-290.0	-287.0	-285.2	-288.1	-292.3	-293.1	-302.7	-337.0	-307.0	-300.4	-308.6	-309.4	-309.4	-310.5	-311.0	-295.9	
81	-319.8	-316.6	-323.4	-323.1	-318.6	-317.4	-321.1	-325.7	-324.2	-331.9	-346.9	-336.3	-328.5	-336.3	-335.8	-336.7	-336.4	-338.6	-325.9	
82	-339.6	-336.9	-343.8	-344.9	-339.1	-338.7	-342.9	-347.5	-342.8	-346.7	-363.1	-349.9	-342.3	-347.5	-345.9	-347.4	-346.0	-350.0	-341.8	
83	-367.6	-365.7	-372.1	-374.7	-367.9	-368.5	-372.9	-377.1	-369.1	-368.5	-397.3	-369.8	-363.4	-364.7	-362.1	-364.2	-362.0	-367.5	-364.7	
84	-411.9	-411.0	-416.8	-420.6	-413.2	-414.6	-419.0	-422.6	-411.9	-407.5	-456.5	-407.2	-402.0	-399.8	-396.4	-399.2	-396.3	-402.7	-404.9	
85	-476.4	-476.0	-481.6	-486.0	-478.6	-480.5	-484.8	-487.7	-475.5	-469.2	-426.8	-468.2	-463.9	-459.7	-455.5	-459.1	-455.8	-462.4	-468.0	
86	-445.7	-445.2	-451.1	-455.2	-448.6	-450.6	-454.8	-456.9	-444.7	-439.1	-469.7	-438.8	-434.8	-430.6	-425.8	-430.5	-426.9	-432.8	-439.3	
87	-481.3	-480.2	-486.9	-490.0	-484.9	-486.4	-490.6	-491.8	-481.1	-478.8	-511.1	-480.4	-476.0	-474.0	-468.7	-474.6	-471.1	-475.4	-480.4	
88	-511.2	-509.1	-516.8	-518.3	-515.3	-516.0	-520.0	-520.4	-512.1	-515.1	-571.6	-519.3	-514.1	-515.5	-510.1	-517.3	-514.0	-516.1	-517.7	
89	-559.2	-556.2	-564.6	-564.4	-564.0	-563.6	-567.4	-566.7	-561.2	-570.0	-577.9	-576.7	-570.9	-575.9	-570.8	-579.1	-576.5	-575.8	-573.3	
90	-555.9	-552.3	-560.7	-558.8	-561.3	-559.7	-563.2	-561.3	-557.9	-572.1	-597.7	-580.0	-574.6	-581.8	-577.5	-586.4	-585.0	-581.5	-575.2	

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูลที																		
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
Sampling																			
91	-571.7	-568.4	-575.6	-572.6	-578.1	-575.3	-578.4	-574.9	-572.5	-590.2	-604.8	-597.5	-593.7	-600.9	-597.9	-607.0	-607.1	-600.9	-592.6
92	-581.8	-579.6	-584.5	-581.1	-589.3	-585.6	-588.1	-583.0	-580.0	-598.7	-591.8	-603.5	-602.5	-607.0	-605.8	-614.4	-616.3	-608.0	-599.7
93	-578.4	-578.0	-579.5	-576.5	-587.0	-582.6	-584.5	-577.8	-572.9	-590.1	-583.8	-590.7	-593.5	-592.9	-593.8	-601.4	-605.1	-595.4	-589.3
94	-584.1	-585.8	-583.6	-581.5	-593.7	-588.9	-590.2	-582.1	-574.5	-588.3	-561.8	-583.9	-590.6	-584.1	-587.0	-593.1	-598.4	-588.2	-585.6
95	-576.5	-579.9	-574.5	-573.5	-586.6	-581.7	-582.5	-573.5	-563.2	-572.9	-550.7	-563.8	-573.7	-561.7	-566.3	-570.8	-577.0	-567.2	-568.6
96	-576.6	-581.0	-573.3	-573.4	-586.5	-581.8	-582.4	-573.2	-560.9	-567.0	-541.9	-554.6	-566.0	-550.9	-556.4	-559.4	-565.7	-557.0	-561.5
97	-573.2	-577.4	-569.1	-569.8	-582.1	-577.7	-578.5	-569.8	-557.1	-560.8	-552.1	-547.4	-558.1	-543.2	-548.9	-550.7	-555.9	-549.1	-555.0
98	-581.6	-584.3	-577.1	-578.0	-588.7	-584.7	-586.1	-578.8	-567.1	-570.5	-555.7	-558.7	-566.3	-555.2	-560.3	-561.1	-564.4	-559.9	-565.2
99	-577.1	-577.2	-572.7	-573.2	-581.8	-578.3	-580.5	-575.2	-566.1	-570.7	-572.3	-562.7	-565.2	-561.2	-565.1	-565.2	-565.7	-563.9	-566.6
100	-582.0	-578.9	-577.7	-577.7	-583.8	-580.9	-584.0	-581.0	-575.4	-582.3	-598.8	-579.2	-575.6	-580.5	-582.7	-582.3	-579.7	-580.8	-579.7
101	-596.5	-590.3	-592.6	-592.0	-595.6	-593.1	-597.2	-596.6	-594.5	-603.6	-610.5	-605.6	-595.8	-609.5	-610.0	-609.2	-603.4	-607.3	-602.6
102	-599.9	-591.3	-596.1	-595.2	-596.5	-594.6	-599.4	-600.9	-601.5	-611.8	-613.7	-617.5	-602.8	-623.5	-622.6	-621.1	-612.7	-619.2	-611.9
103	-600.9	-590.9	-596.9	-596.2	-595.6	-594.3	-599.4	-602.5	-604.4	-614.0	-575.3	-621.4	-603.8	-628.1	-626.6	-624.1	-613.8	-622.7	-614.7
104	-567.1	-557.1	-562.6	-562.5	-560.7	-559.9	-565.0	-568.8	-570.6	-577.4	-561.0	-584.1	-566.0	-590.2	-588.7	-584.9	-573.8	-584.5	-578.0
105	-563.2	-554.4	-557.8	-558.8	-556.5	-556.1	-560.8	-564.6	-565.0	-567.5	-520.2	-571.2	-554.9	-575.5	-574.8	-569.6	-558.7	-570.5	-567.2
106	-535.8	-529.1	-529.3	-531.4	-529.4	-529.2	-533.1	-536.3	-534.5	-532.2	-495.5	-531.5	-518.7	-533.4	-534.2	-527.4	-517.7	-529.7	-530.5
107	-523.8	-519.5	-516.1	-519.2	-518.1	-517.9	-520.8	-523.0	-519.2	-512.7	-484.7	-507.3	-498.9	-507.0	-509.5	-501.4	-493.5	-504.9	-509.4
108	-521.3	-519.1	-512.6	-516.0	-516.4	-515.9	-517.8	-518.8	-513.8	-504.9	-470.6	-495.7	-491.5	-494.1	-498.3	-489.2	-483.5	-493.4	-500.2

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

ค่า	ข้อมูล																		
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
Sampling																			
109	-508.9	-508.3	-499.6	-502.6	-504.8	-503.8	-504.7	-504.4	-499.7	-490.8	-464.4	-479.5	-478.8	-477.8	-483.5	-474.0	-470.5	-478.1	-485.1
110	-497.2	-497.3	-487.6	-489.5	-493.8	-492.1	-492.0	-490.7	-487.8	-481.3	-445.3	-470.0	-471.4	-469.6	-476.3	-467.0	-465.4	-470.2	-475.3
111	-466.7	-466.8	-457.3	-457.5	-463.7	-461.3	-460.4	-458.3	-458.5	-456.2	-470.4	-446.7	-449.0	-448.6	-455.8	-447.2	-447.2	-448.9	-450.5
112	-477.7	-477.4	-468.8	-467.3	-475.0	-472.0	-470.3	-467.7	-471.7	-474.1	-467.8	-467.5	-469.9	-472.2	-479.3	-471.8	-473.1	-471.8	-469.4
113	-461.8	-461.1	-453.8	-450.6	-459.3	-456.0	-453.7	-450.7	-458.1	-464.5	-457.1	-461.1	-463.4	-468.3	-474.8	-468.7	-470.7	-467.0	-461.4
114	-441.9	-441.2	-434.9	-430.7	-439.7	-436.6	-433.6	-430.3	-440.3	-448.7	-447.5	-447.7	-450.3	-456.4	-462.1	-457.3	-459.8	-454.3	-447.4
115	-429.4	-429.2	-423.4	-419.0	-427.6	-425.1	-421.4	-418.0	-429.0	-436.7	-441.2	-437.1	-440.6	-445.9	-450.5	-446.8	-449.6	-443.2	-437.4
116	-426.6	-427.5	-421.7	-417.9	-425.3	-423.9	-419.5	-415.9	-426.5	-431.0	-417.0	-431.3	-436.5	-438.7	-442.1	-439.3	-442.2	-435.8	-433.6
117	-410.6	-413.1	-406.9	-404.3	-409.9	-409.9	-404.9	-401.3	-410.3	-409.6	-385.3	-408.9	-416.1	-413.8	-415.9	-413.9	-416.7	-411.0	-414.0
118	-388.8	-392.7	-386.3	-385.2	-388.6	-390.1	-384.7	-381.3	-388.2	-381.5	-349.8	-379.6	-388.6	-381.5	-382.3	-380.9	-383.3	-378.9	-387.5
119	-361.4	-366.4	-360.3	-360.7	-361.6	-364.5	-359.0	-356.1	-360.9	-349.2	-329.9	-346.6	-356.5	-345.8	-345.0	-344.4	-346.2	-343.4	-356.7
120	-344.8	-350.1	-345.3	-346.6	-344.9	-349.1	-343.8	-341.8	-345.3	-330.5	-319.9	-328.5	-337.9	-325.9	-323.5	-323.7	-324.6	-323.3	-339.2
121	-331.9	-336.5	-334.1	-335.8	-331.7	-336.6	-332.0	-331.3	-334.5	-319.2	-291.5	-319.4	-326.8	-316.3	-312.1	-313.5	-313.3	-313.3	-328.9
122	-294.6	-297.7	-298.6	-300.0	-293.9	-299.1	-295.3	-296.2	-300.2	-287.1	-275.7	-290.7	-294.9	-288.2	-282.5	-285.1	-283.9	-284.8	-297.3
123	-266.1	-267.3	-271.9	-272.5	-264.9	-269.9	-267.3	-269.7	-275.0	-266.2	-256.4	-273.8	-274.2	-272.7	-265.7	-269.6	-267.7	-268.8	-276.3
124	-233.7	-233.1	-241.1	-240.7	-232.1	-236.5	-235.1	-239.0	-245.4	-241.8	-233.1	-253.0	-249.7	-253.4	-245.7	-250.7	-248.4	-249.5	-250.9
125	-200.6	-198.7	-209.1	-208.0	-199.0	-202.5	-202.3	-207.2	-213.9	-215.0	-188.5	-228.3	-222.5	-229.7	-222.0	-227.7	-225.8	-226.5	-222.3
126	-152.1	-149.9	-161.3	-159.9	-151.0	-153.6	-154.3	-159.7	-165.3	-169.5	-130.3	-182.9	-176.3	-184.1	-177.2	-183.2	-182.3	-182.4	-174.1

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. กิตติ อัจฉริยะภากร. “การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับวัดค่าฮาร์มอนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลัง” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่.18, ฉบับที่1, พฤษภาคม 2551, หน้า.1-8.



that this method is suitable to detecting harmonics accurately and rapidly.

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาเนื่องจากการนำอุปกรณ์จำพวกโหลด ที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น (Non Linear Loads) เข้ามาใช้อย่างแพร่หลายทั้งในโรงงานอุตสาหกรรม และบ้านเรือนที่อยู่อาศัย ตัวอย่างเช่นอุปกรณ์พวกอินเวอร์เตอร์ อุปกรณ์แปลงแรงดันทางไฟฟ้า เคาเมาแบบเหนี่ยวนำ หรือแม้กระทั่งคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันในสำนักงานและบ้านเรือน การขยายตัวของโหลดเหล่านี้ส่งผลให้ฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังมีมากขึ้นและส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์อื่นๆ มีการทำงานที่ผิดพลาดหรือเกิดการชำรุดเสียหายเนื่องจากการเกิดการสั่นพ้อง (Resonance) กันกับฮาร์มอนิกในย่านนั้นๆ ซึ่งจากผลกระทบดังกล่าวเราจึงต้องมีการศึกษาและวิเคราะห์ถึงฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นเพื่อหาแนวทางป้องกันและแก้ไข โดยอาจจะใช้อุปกรณ์พวกตัวกรองแบบแอคทีฟ (Active Filter) ตัวกรองแบบพาสซีฟ (Passive Filter) หรืออุปกรณ์แบบดีจูน (D-tune) เป็นต้นแล้วแต่ความเหมาะสมของลักษณะปัญหาและงบประมาณการลงทุน โดยวิธีการแบบใช้ตัวกรองชนิดแอคทีฟจะเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงและใช้เงินลงทุนสูงเช่นเดียวกันโดยอุปกรณ์ดังกล่าวอาจใช้วิธีการของ FFT (Fast Fourier Transform) หรือวิธีการของโครงข่ายประสาทเทียม [1] เพื่อใช้ในการหาขนาดของฮาร์มอนิกในย่านความถี่ต่างๆ เพื่อสร้างสัญญาณ ฮาร์มอนิกไปหักล้างกันกับฮาร์มอนิกของระบบไฟฟ้า

ปัจจุบันวิธีการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกมีมากมายหลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกด้วยวิธีการของฟูเรียร์ วิธีการจำลองทางเวลา (Time Domain Simulation) หรือการจำลองทางความถี่ (Frequency Domain Simulation) เป็นต้น สำหรับอุปกรณ์เครื่องมือวัดฮาร์มอนิกแบบดิจิตอลสามารถทำการวัดด้วยเทคนิคพื้นฐานสองอย่างคือ โดยวิธีการกรองทางดิจิตอล (By Mean of Digital Filter) และวิธีการทาง

FFT ซึ่งปัจจุบันมักเป็นแบบที่ใช้หลักการทาง FFT [2] เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความสามารถในการทำงานที่รวดเร็วกว่าและทำการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกได้ในระดับที่สูง แต่ในบทความนี้เป็นงานนำเอาเทคนิคของโครงข่ายประสาทเทียมเข้ามาใช้โดยการสร้างชุดโครงข่ายประสาทเทียมที่สามารถให้เอาต์พุตเป็นฮาร์มอนิกที่ลำดับต่างๆ ในชุดโครงข่ายเดียวกันพร้อมกัน เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งและเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์วัดหรือตัวกรองฮาร์มอนิก ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้จะเห็นได้ว่าการหาค่าฮาร์มอนิกด้วยวิธีการนี้สามารถให้ผลลัพธ์ที่รวดเร็วและมีการตอบสนองต่อผลผลิตน้อยกว่าวิธีการของฟูเรียร์ ในกรณีที่อัตราค่าการสุ่มสัญญาณน้อยเกินไป (Under sampling) จึงกล่าวได้ว่าการหาค่าฮาร์มอนิกด้วยโครงข่ายประสาทเทียมมีความรวดเร็วและถูกต้องสูงสามารถนำไปใช้วัดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังได้

2. ทฤษฎีการแปลงสัญญาณทางฟูเรียร์

การวิเคราะห์ฟูเรียร์เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปคลื่นสัญญาณทางเวลาไปเป็นส่วนประกอบกันทางความถี่หรือสเปกตรัมของสัญญาณนั้นๆ โดยสัญญาณที่มีลักษณะเป็นรายคาบ (Periodic) จะสามารถวิเคราะห์โดยใช้อนุกรมฟูเรียร์ (Fourier Series) และสัญญาณที่มีลักษณะไม่เป็นรายคาบ (Non Periodic) จะวิเคราะห์ได้ด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม (Fourier Transform) [3]

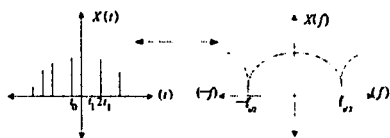
2.1 ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม (Fourier Transform)

เป็นการประยุกต์ใช้ฟูเรียร์กับสัญญาณที่ไม่เป็นรายคาบ โดยการขยายขอบเขตการอินทิเกรตจากคาบเป็น $(-\infty, \infty)$ โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณทางเวลาและทางความถี่ ดังสมการที่ (1)

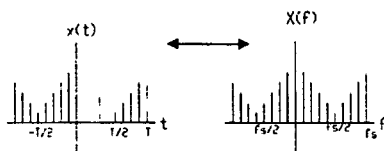
$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) e^{-j2\pi ft} df \quad (1)$$

และมีผลการแปลงย้อนกลับ ดังสมการที่ (2)

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (2)$$



รูปที่ 1 สัญญาณที่ได้จากการสุ่มสัญญาณทางเวลาและสเปกตรัมที่ได้



รูปที่ 2 Discrete Time and Frequency Domain function

ในการนิยามสัญญาณเป็นแบบสุ่ม (Sample Time Function) เราจะใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง $X(f)$ และ $x(t)$ ดังนี้คือ

$$X(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_s) e^{-j2\pi f n T_s} \quad (3)$$

และมีผลการแปลงฟูเรียร์ย้อนกลับคือ

$$x(t) = \frac{1}{T_s} \int_{-f_s/2}^{f_s/2} X(f) e^{j2\pi f t} df \quad (4)$$

โดย $f_s = \frac{1}{T_s}$

2.2 ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transform)

ในทางปฏิบัติการเปลี่ยนสัญญาณทางเวลาไปเป็นสัญญาณทางความถี่สามารถกระทำได้โดยการสุ่มสัญญาณทางเวลาให้อยู่ในรูปของสัญญาณคิสรติคและใช้ทฤษฎีการแปลงสัญญาณคิสรติคของฟูเรียร์เพื่อเปลี่ยนสัญญาณดังกล่าวเป็น สเปกตรัมทางความถี่ต่อไปโดยความสัมพันธ์ของสเปกตรัมทางเวลาและทางความถี่ที่ได้จากสมการที่ (5) และ (6) ตามลำดับ

$$X(f_k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(t_n) e^{-j2\pi f_k n T_s} \quad (5)$$

$$x(t_n) = \sum_{k=0}^{N-1} X(f_k) e^{j2\pi f_k n T_s} \quad (6)$$

จากสมการที่ (5) ให้ $W = e^{-j2\pi f_k T_s}$ เพราะฉะนั้น

$$X(f_k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(t_n) W^{kn} \quad (7)$$

จากสมการที่ (7) เราสามารถเขียนในรูปของเมตริกได้ดังนี้คือ

$$\begin{bmatrix} X(f_0) \\ X(f_1) \\ M \\ M \\ X(f_k) \\ M \\ X(f_{N-1}) \end{bmatrix} = \frac{1}{N} \begin{bmatrix} 1 & 1 & \Lambda & \Lambda & 1 & \Lambda & 1 \\ 1 & W & \Lambda & \Lambda & W^{N-1} & \Lambda & W^{N-1} \\ M & M & O & & M & & M \\ M & M & & & M & & M \\ 1 & W^k & & & W^{N-k} & & W^{N-k} \\ M & M & & & M & & M \\ 1 & W^{N-1} & \Lambda & \Lambda & W^{N-N} & \Lambda & W^{N-N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t_0) \\ x(t_1) \\ M \\ M \\ x(t_k) \\ M \\ x(t_{N-1}) \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$[X(f_k)] = \frac{1}{N} [W^{kn}] [x(t_n)] \quad (9)$$

จากสมการที่ (9) เราจะเห็นว่าหากเราต้องการหาค่าส่วนประกอบทางความถี่ N ค่าและทำการสุ่มสัญญาณจำนวน N ครั้งจากสัญญาณหนึ่งลูกคลื่นเราจะต้องการคูณสมการเชิงซ้อนถึง N^2 ครั้งเพื่อหาคำตอบและเพื่อให้ข้อมูลไม่ผิดพลาดเราจะต้องทำการสุ่มสัญญาณอย่างน้อยมากกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุดของข้อมูล $f_s > 2f$ (Nyquist Frequency) เพื่อป้องกัน การเกิดความผิดพลาดของข้อมูลเนื่องจากสัญญาณความถี่สูงและใส่ตัวกรองความถี่สูงหรือ Low Pass Filter ที่ Cutoff Frequency หรือ $f_c = 2f$ (Cutoff Frequency = Nyquist Frequency)

2.3 Fast Fourier Transform : FFT

จากสมการที่ (9) เราสามารถลดจำนวนการคูณกันของสมการเมตริกได้ด้วยการแปลงทางฟูเรียร์แบบรวดเร็ว: Fast Fourier Transform โดยการจัดกลุ่มของ



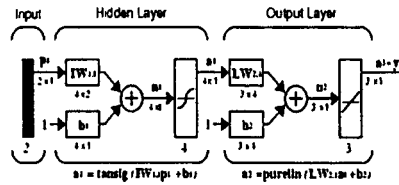
เมตริก W^m ใหม่ ซึ่งทำให้การคูณกันของสมการลดลงเหลือเพียง $N \log_2 N$ ครั้ง

3. ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม

ระบบนิวรอลเน็ตเวิร์กหรือโครงข่ายประสาทเทียม เป็นระบบที่พยายามเลียนแบบโครงสร้างเซลล์สมองของมนุษย์ โครงสร้างของระบบนิวรอลเน็ตเวิร์กมีทั้งแบบโครงข่ายแบบชั้นเดียว (Single Layer Neural Networks) และแบบหลายชั้น (Multi Layer Neural Network) โดยประกอบด้วยชั้นอินพุต ชั้นซ่อน และชั้นเอาต์พุต ลักษณะการเรียนรู้ของชุดโครงข่ายประสาทเทียมแบ่งออกเป็นการเรียนรู้แบบ Supervised ที่มีลักษณะการปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักในโครงข่ายด้วยชุดฝึกสอนให้มีผลผิดพลาดของเอาต์พุตน้อยที่สุด และ Unsupervised ที่มีการปรับค่าถ่วงน้ำหนักในโครงข่ายด้วยตัวของมันเอง [4] แต่ในบทความนี้จะใช้วิธีการแพร่ค่าย้อนกลับที่มีโครงข่ายแบบหลายชั้นและมีการเรียนรู้แบบ Supervised มาใช้ในการเรียนรู้

3.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Back-Propagation Neural Networks)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับนั้นจะประกอบไปด้วย ชั้นอินพุต (Input Layer) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และชั้นเอาต์พุต (Output Layer) [5] โดยในชั้นซ่อนอาจมีขนาดตั้งแต่หนึ่งชั้นขึ้นไปไม่มีกฎเกณฑ์ตายตัวขึ้นอยู่กับการทดลอง ซึ่งโหนดในชั้นซ่อนและโหนดในชั้นเอาต์พุตนั้นจะมีฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer Function) ประกอบอยู่ดังแสดงในรูปที่ 3 โครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้จะมีฟังก์ชันการถ่ายโอน 3 แบบที่สำคัญคือ Log-Sigmoid, Tan-Sigmoid และ Linear โดยแต่ละชนิดจะมีสมการฟังก์ชัน [6] ดังแสดงในตารางที่ 1 และในแต่ละชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกเชื่อมต่อกันด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก และค่าไบอัส ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้จากการเรียนรู้ของชุดโครงข่าย



รูปที่ 3 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

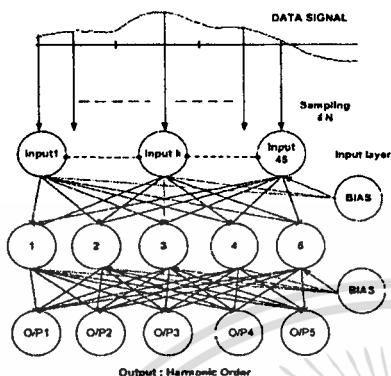
ตารางที่ 1 ฟังก์ชันการถ่ายโอนและสมการของฟังก์ชัน

ชนิดฟังก์ชันการถ่ายโอน	สมการฟังก์ชัน
 $a = \text{purelin}(x)$ Linear Transfer Function	$a(n) = n$
 $a = \text{logsig}(x)$ Log-Sigmoid Transfer Function	$a(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}}$
 $a = \text{tansig}(x)$ Tan-Sigmoid Transfer Function	$a(n) = \frac{1 - e^{-n}}{1 + e^{-n}}$

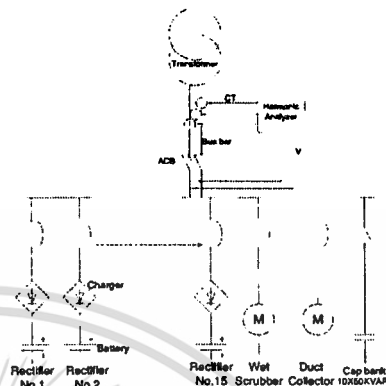
สำหรับในบทความนี้จะทำการทดลองหาจำนวนข้อมูลที่ใช้สำหรับฝึกสอนและจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดในชุดโครงข่ายโดยมีลักษณะของโครงข่ายที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 4

4. การทดลองและผลการทดลอง

ในการทดลองเราจะทำการเปรียบเทียบผลของค่าฮาร์มอนิกที่ได้จากชุดโครงข่ายประสาทเทียมเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากวิธีการของ FFT ที่ฮาร์มอนิกไม่เกินฮาร์มอนิกที่ 45 ที่เราสนใจเนื่องจากฮาร์มอนิกลำดับที่สูงกว่านี้มีค่าน้อยมากในวงจรทดลอง ดังนั้น



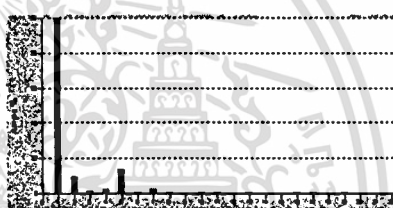
รูปที่ 4 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับที่มีชั้นซ่อน 1 ชั้น



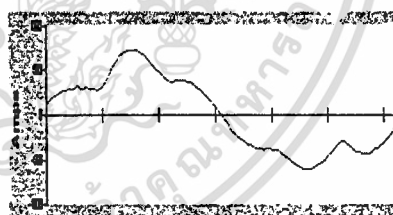
รูปที่ 5 วงจรทดลองที่นำมาทดสอบ

เราจะทำการสุ่มสัญญาณที่ 90 ค่าในหนึ่งคาบเพื่อเป็นอินพุตให้กับ FFT และ NN ซึ่งในชุดอินพุตของ NN เราจะใช้สัญญาณเพียงครึ่งคาบในการให้ค่าเอาต์พุต โดยในกระบวนการฝึกสอนและทดสอบชุดโครงข่ายประสาทเทียมเราจะทำการวัดสัญญาณฮาร์มอนิกส์จากวงจรทดลองในโรงงานแบบเคอร์รี่แห่งหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 5

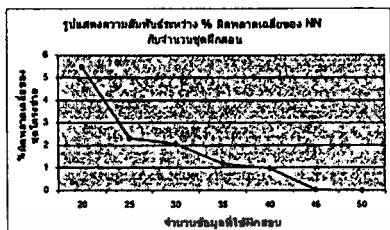
ในวงจรทดลองจะเป็นอุปกรณ์พวกเรกติไฟจำนวน 15 เครื่องสำหรับชาร์จแผ่นเซลล์แบบเคอร์รี่และโหลดมอเตอร์พัดลมขนาดใหญ่ ในส่วนของการเก็บบันทึกข้อมูลเราจะใช้เครื่องมือวัดฮาร์มอนิกส์ [7] ไปติดตั้งแล้วทำการบันทึกรูปคลื่นสัญญาณและค่าของฮาร์มอนิกส์ในแต่ละลำดับดังตัวอย่างในรูปที่ 6 แสดงสเปกตรัมทางความถี่ของสัญญาณที่วัดได้จากวงจรทดลองและรูปที่ 7 แสดงรูปคลื่นสัญญาณฮาร์มอนิกส์ของวงจรทดลองด้วยเครื่องวัด โดยในการเก็บข้อมูลเราจะทำการเก็บค่าสัญญาณฮาร์มอนิกส์ ณ ช่วงเวลาต่างๆ กันเพื่อให้เกิดความแตกต่างของข้อมูลที่เราจะนำมาฝึกสอนและทดสอบ (ในการทดลองนี้เราจะสนใจฮาร์มอนิกส์ที่ 2, 3, 5, 7 และ 11 เนื่องจากมีค่าค่อนข้างมากสำหรับในโหลดที่นำมาทดลอง)



รูปที่ 6 สเปกตรัมของสัญญาณฮาร์มอนิกส์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัด



รูปที่ 7 สัญญาณฮาร์มอนิกส์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัด



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชุดฝึกสอนและความผิดพลาดสูงสุดของชุดโครงข่าย

ในการทดลองเราจะหาจำนวนชุดฝึกสอนที่เหมาะสมที่ทำให้โครงข่ายมีความผิดพลาดสูงสุดไม่เกิน 1% ในค่าอาร์มอนิกส์ที่เราสนใจโดยใช้ข้อมูลทดสอบที่ 5 ชุดข้อมูลเท่ากันซึ่งผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 8 จากรูปจะเห็นได้ว่าจำนวนชุดฝึกสอนยิ่งมากยิ่งทำให้ชุดโครงข่ายผิดพลาดน้อยลงโดยที่จำนวนชุดฝึกสอนที่ทำให้ชุดโครงข่ายผิดพลาดน้อยกว่า 1% จะอยู่ที่ 40 ชุดข้อมูลฝึกสอนขึ้นไปโดย % ผิดพลาดคำนวณมาจากสมการที่ (10) (Mean Absolute Percentage Error: MAPE)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Real\ Result_i - Obtained\ result_i}{Real\ Result_i} \right| \times 100\% \quad (10)$$

จากรูปที่ 8 ข้างต้นเราจะใช้ชุดฝึกสอนที่ 45 ชุด และทดสอบอีก 5 ชุดหรือคิดเป็นฝึกสอน 90% และทดสอบอีก 10% สำหรับในการทดลองหาฟังก์ชันถ่ายโอนที่ทำให้ชุดโครงข่ายผิดพลาดน้อยที่สุดและมีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยการทดลองในส่วนนี้เราจะทำการทดลองโดยเพิ่มจำนวนโหนดในชั้นซ่อนตั้งแต่ 1 โหนดจนถึง 5 โหนดและในแต่ละรอบของการเพิ่มจำนวนโหนดเราจะทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัส 500 ครั้งและเปลี่ยนฟังก์ชันถ่ายโอนรูปแบบต่างๆ เพื่อหาโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุดหรือให้ % ความผิดพลาดสัมบูรณ์สูงสุด (Absolute Percentage Error: APE) ที่มีค่าน้อยที่สุดโดยหาค่า %

ได้จากสมการที่ (11) ซึ่งผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 2

$$\%APE = \left[\frac{Real\ Result_i - Obtained\ Result_i}{Real\ result_i} \right] \times 100\% \quad (11)$$

ตารางที่ 2 ค่าความผิดพลาดของแต่ละฟังก์ชันถ่ายโอน

ชนิดฟังก์ชันถ่ายโอน		จำนวน โหนดที่ ดีที่สุด	เวลาที่ใ ใช้ในการ สอน (นาฬิกา)	ค่า Absolute Percentage Error ของชุดทดสอบ	
ชั้นซ่อน	ชั้น เอาต์พุต		เวลาที่ใ ใช้ทดสอบ (ms)	Max APE(%)	
purelin	purelin	5	4.16	<1	0.851
logsig	purelin	5	1.74	<1	13.5871
tanisig	purelin	5	1.90	<1	10.4022
purelin	logsig	2	3.91	<1	138.0775
logsig	logsig	3	5.87	<1	138.0775
tanisig	logsig	4	4.80	<1	138.0775
purelin	tanisig	4	3.92	<1	49.1683
logsig	tanisig	2	5.67	<1	52.6976
tanisig	tanisig	3	5.66	<1	61.9225

จากตารางที่ 2 เราจะเห็นได้ว่าฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Purelin ในชั้นซ่อนและในชั้นเอาต์พุตให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดโดยใช้เวลาในการประมวลผลด้วยโปรแกรมน้อยกว่า 1 ms ในการให้ค่าคำตอบซึ่งค่าเอาต์พุตอาร์มอนิกส์ที่ได้จากโครงข่ายกับค่าที่วัดได้จากมิเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 3 และจากผลการคำนวณที่ได้เราจะเห็นได้ว่าการประมวลผลด้วยโครงข่ายมีความเร็วมากกว่าการคำนวณด้วย FFT เนื่องจากวิธีแบบ FFT ต้องใช้สัญญาณเต็มลูกคลื่นหรืออย่างน้อย 1/50 วินาทีในการคำนวณ

จากโครงข่ายที่ได้ข้างต้นเราจะนำมาทดสอบหาความผิดพลาดจากกรณีของการสุ่มสัญญาณที่น้อยกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุดของข้อมูล (Under Sampling) โดยความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเรียกว่าปรากฏการณ์ Aliasing [8] หรือปรากฏการณ์ความผิดพลาดของข้อมูลเนื่องมาจากผลของสัญญาณความถี่สูง



ซึ่งความผิดพลาดนี้เกิดขึ้นเมื่ออุปกรณ์ที่นำมาวิเคราะห์ หรือวัดค่าฮาร์โมนิกส์ไม่มีตัวกรองความถี่สูง

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบเอาต์พุตของชุดโครงข่ายประสาทเทียม: NN และค่าที่วัดได้จากมิเตอร์

ชุดทดสอบที่		1	2	3	4	5
Harmonic Order 2	Actual(Amp)	6.24	6.09	8.2	7.15	6.28
	NN(Amp)	6.24	6.09	8.2	7.15	6.28
Harmonic Order 3	Actual(Amp)	0.92	1.47	1.32	1.74	1.44
	NN(Amp)	0.92	1.47	1.32	1.74	1.44
Harmonic Order 5	Actual(Amp)	12.69	12.33	13.24	12.28	12.57
	NN(Amp)	12.69	12.33	13.24	12.28	12.57
Harmonic Order 7	Actual(Amp)	4.02	3.97	3.88	4.16	3.96
	NN(Amp)	4.02	3.97	3.88	4.16	3.96
Harmonic Order 11	Actual(Amp)	1.35	1.52	1.42	1.65	1.55
	NN(Amp)	1.35	1.52	1.42	1.65	1.55

การทดสอบ Under Sampling เราจะทำการจำลองสัญญาณฮาร์โมนิกส์ที่มีส่วนประกอบของความถี่ปานสูงในที่นี้จะสร้างให้มีความถี่ฮาร์โมนิกส์ ลำดับที่ 2, 3, 5, 7, 11 และ 79 ดังสมการที่ (12)

$$X(t) = 1.0\sin(4\pi t) + 6.22\sin(6\pi t) + 2.99\sin(10\pi t) + 3.06\sin(14\pi t) + 1.77\sin(22\pi t) + 0.5\sin(15\pi t) \tag{12}$$

จากนั้นจะนำสัญญาณที่ได้มาสุ่ม (Sampling) ทั้งหมด 90 ค่าในหนึ่งคาบและนำค่าที่ได้มาเป็นชุดอินพุตของทั้งชุดโครงข่ายประสาทเทียม: NN และชุดของการแปลงฟูเรียร์: FFT โดยในชุดของการแปลงฟูเรียร์เราจะใช้สัญญาณเต็มลูกคลื่นคือ 90 ค่ามาเป็นชุดอินพุตของ FFT ส่วนวิธีการของโครงข่ายประสาทเทียมเราจะใช้อินพุตเพียงครึ่งคาบ หรือสัญญาณที่สุ่มได้ 45 ค่ามาเป็นชุดอินพุตของชุดโครงข่ายประสาทเทียมโดยผลผิดพลาดของทั้งสองวิธีแสดงดังตารางที่ 4

จากตารางที่ 4 เราจะเห็นว่าวิธีของฟูเรียร์ให้ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ 11 ผิดเพี้ยนไปซึ่งการสุ่มสัญญาณที่ 90

ตารางที่ 4 เอาต์พุตของ FFT และ NN กรณีใช้ตัวการสุ่มน้อยกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุดของข้อมูล

Harmonic	Actual(A)	FFT (Amp)		NN (Amp)	
		Output	%Ape	Output	%Ape
Order2	1.0	1.0	0	1.0	0
Order3	6.22	6.22	0	6.21	0.16
Order5	2.99	2.99	0	2.97	0.67
Order7	3.06	3.06	0	3.08	0.65
Order11	1.77	1.27	28.25	1.75	0.85

ค่าในการแปลงทางฟูเรียร์จะสามารถให้ค่าความถูกต้องถึงลำดับที่ 45 เท่านั้นหรืออัตราการสุ่มหารสองแต่สัญญาณที่เราสร้างขึ้นที่ประกอบด้วยฮาร์โมนิกส์ที่ 79 จะทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นในวิธีการของ FFT ในขณะที่ชุดโครงข่ายยังสามารถตัดสินใจหรือให้ค่าเอาต์พุตจากสัญญาณฮาร์โมนิกส์ที่ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้อยู่

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้ แสดงให้เห็นว่าการหาค่าฮาร์โมนิกส์ทั้ง 5 ลำดับด้วยโครงข่ายประสาทเทียมสามารถให้ค่าที่มีความถูกต้องและแม่นยำสูงในการตรวจวัด อีกทั้งยังมีความรวดเร็วในการประมวลผลของข้อมูลอีกด้วย เนื่องจากการหาค่าลำดับฮาร์โมนิกส์ด้วยวิธีนี้จะใช้การสุ่มสัญญาณเพียงครึ่งคาบมาเป็นชุดอินพุตและใช้เวลาในการประมวลผลเพื่อให้ได้ค่าฮาร์โมนิกส์อีกไม่ถึงครึ่งลูกคลื่นแต่ทฤษฎีของ FFT นอกจากจะต้องใช้สัญญาณเต็มลูกคลื่นในการประมวลผลแล้วยังต้องใช้เวลาในการประมวลผลของอุปกรณ์อีกอย่างน้อยหนึ่งลูกคลื่นเราจึงกล่าวได้ว่าวิธีการหาค่าฮาร์โมนิกส์ด้วยวิธีของโครงข่ายประสาทเทียมมีความรวดเร็วกว่าวิธีการของ FFT และให้ค่าความผิดพลาดต่ำกว่าวิธีการของ FFT ในกรณีที่อุปกรณ์การวัดไม่มีชุดตัวกรองสัญญาณความถี่สูง เราจึงสรุปได้ว่าการหาฮาร์โมนิกส์ด้วยวิธีการของโครงข่ายประสาทเทียมเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับอุปกรณ์บันทึกค่าฮาร์โมนิกส์ (Data Logger) อุปกรณ์วัดค่า



ฮาร์โมนิกส์ด้วยดิจิตอลหรือแม้กระทั่งการนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ที่มีลักษณะออนไลน์เช่นตัวกรองฮาร์โมนิกส์แบบแอคทีฟ (Active Harmonics Filter) เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Pecharanin N., Sone, M., and Mitsui H, "An application of neural network for harmonic detection in active filter," *WCCI-ICNN'94*, Vol.6, No.684, P.3756, 1994.
- [2] วิบุตย์ ชื่นแซก, *Power System Harmonics*, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, pp 73, 2549.
- [3] Jos Arrillaga, Bruce C Smith, Neville R Watson and Alan R Wood, *Power system harmonic analysis*, John Wiley & Sons, pp 7-31, c1997.
- [4] จตุพร ธรรมเจริญ, "การพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดระยะยาวของระบบ กฟน. โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม," วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550.
- [5] Lin, H.C., "Intelligent neural network based dynamic power system harmonic analysis," *PowerCon 2004*, Vol.1, Issue 21-24, pp.244-248, Nov. 2004.
- [6] Neural Network Toolbox, *User's Guide*, The Mathworks, January 1998.
- [7] Dent Instruments "Elite Pro & Data pro User manual," *Dent Instrument*, 2004
- [8] A Report by Schneider Electric, "Power Logic Solution," *Schneider Electric Newsletter*, Vol . 33, January-March 2007.

ประวัติผู้เขียน

นาย กิตติ อังกริยะภากร เกิดเมื่อวันที่ 13 พฤศจิกายน 2524 ที่จังหวัดชัยภูมิ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปีการศึกษา 2545 แล้วได้ศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2546

มีผลงานวิชาการทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าซึ่งได้รับการตีพิมพ์ 1 บทความ คือ บทความเรื่อง “การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับวัดค่าฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลัง (An Artificial Neural Networks Application for Harmonics Measurement in Power Systems)” ซึ่งได้รับการตีพิมพ์ลงวารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม-เมษายน 2551

