

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



ปีการศึกษา 2542

การวัดกระแส และแรงดันไฟฟ้าสายนิวตรอลของระบบหม้อแปลงไฟฟ้า
ในโรงงานอุตสาหกรรม

Measurement of Neutral Currents and Voltages at Industrial Transformers



โดย
นายจิตร เหลลภา
นายวิทยา จันทร์สุรินทร์
นายวิทยากร อันภักดี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. จงรักษ์ บุญเส็ง

เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 36972
วัน, เดือน, ปี..... 30 ส.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2542

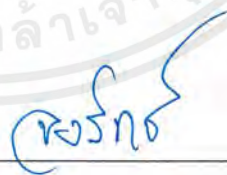
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวัดกระแสและแรงดัน ไฟฟ้าสายนิวทรัลของระบบหม้อแปลงไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม

ผู้จัดทำ

1. นายวิจิตร เหลลภา
2. นายวิทยา จันทร์สุรินทร์
3. นายวิษยากร อันภักดี



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. จงรักษ์ บุญเส็ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดกระแส และแรงดันไฟฟ้าสายนิวตรอลของระบบหม้อแปลงไฟฟ้า
ในโรงงานอุตสาหกรรม

นายวิจิตร เหลาภา

นายวิทยา จันทร์สุรินทร์

นายวิทยากร อันภักดี

ผศ.จรงค์ บัญเส็ง อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

โหลดแบบไม่เป็นเชิงเส้นและโหลดแบบเชิงเส้นที่ไม่สมดุลในระบบจำหน่ายแบบ 3 เฟส 4 สาย เป็นสาเหตุที่ทำให้ระดับของกระแสและแรงดันไฟฟ้าในสายนิวตรอลสูงกว่าปกติ ซึ่งสามารถทำให้เกิดแรงดันเกิน, เกิดการไหม้ของสายนิวตรอล, พิกัดกำลังของหม้อแปลงไฟฟ้าลดลง หรือเกิดความผิดปกติของแรงดัน ปริมาณนิพจน์ฉบับนี้จะนำเสนอผลการวัดและการวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดกระแสและแรงดันไฟฟ้าในสายนิวตรอลของระบบหม้อแปลงไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งชี้ให้เห็นผลกระทบและเสนอแนะแนวทางแก้ไข

MEASUREMENT OF NEUTRAL CURRENTS AND VOLTAGES AT INDUSTRIAL TRANSFORMERS

Wijit Laopa

Withaya Chansurin

Wityagorn Unpakdee

Asst.Prof. Chongrag Boonseng Advisor

1999

ABSTRACT

Nonlinear load and linear load unbalances in three phase four wire electric power distribution system have brought more attention upon the levels of neutral currents and neutral voltages found in distribution system. High levels of neutral currents can lead to overload ,burned neutral conductors, derating of transformers , excessive voltage distortion. This thesis presents the measurable data, explores the cause of neutral currents and neutral voltages on industrial transformers in industrial factories, effects and recommended remedies.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 สาเหตุหลักของการเกิดและแรงคั้นในสายนิวทรอด	2
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวัด	15
บทที่ 4 ทฤษฎีการวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์	25
บทที่ 5 ตัวอย่างผลการวัดและการวิเคราะห์กระแสนิวทรอด ในโรงงานอุตสาหกรรม	52
บทที่ 6 การวิเคราะห์และทำนายผลความสัมพันธ์ระหว่างกระแส เฟสและกระแสนิวทรอดจากกรณีศึกษาบริษัทเนสเลย์	88
บทที่ 7 ผลกระทบและการแก้ไขการเกิดกระแสนิวทรอด	109
บทที่ 8 บทสรุป	115
ภาคผนวก	117
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การต่อคาปาซิเตอร์ขนานเข้าในระบบ	4
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสฮาร์โมนิกส์ แรงดันฮาร์โมนิกส์ และ อิมพีแดนซ์ของระบบ	4
รูปที่ 2.3 รูปแบบพื้นฐานสำหรับการไหลของพลังงาน	5
รูปที่ 2.4 รูปแบบการไหลของกำลังงานฮาร์โมนิกส์	5
รูปที่ 2.5 รูปคลื่นแบบยอดแบน	6
รูปที่ 2.6 การควบคุมกระแสที่ไหลผ่าน โหลดแบบ Integral cycle control	7
รูปที่ 2.7 โหลดสามเฟสสมดุลจะส่งผลให้กระแสนิวทรัลมีค่าเป็นศูนย์	10
รูปที่ 2.8 โหลดสมดุลแบบไม่เป็นเชิงเส้นก่อให้เกิดกระแสในสายนิวทรัล	11
รูปที่ 2.9 กระแสฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ในระบบ 3 เฟส	12
รูปที่ 3.1 Digital Oscilloscope	15
รูปที่ 3.2 Harmonic Analyzer	15
รูปที่ 3.3 computer notebook และ Harmonic Analyzer	16
รูปที่ 3.4 Harmonic Meter	16
รูปที่ 3.5 Current Transformer	16
รูปที่ 3.6 Power Meter	17
รูปที่ 3.7 Current Probe	17
รูปที่ 3.8 ถุงมือกันไฟดูด	18
รูปที่ 3.9 รูปแบบการวัด	19
รูปที่ 3.10 Block Diagram รูปแบบการวัด โดยใช้ Digital Oscilloscope	20
รูปที่ 3.11 รูปแบบการวัดตลอดช่วงเวลาใด ๆ	22
รูปที่ 3.12 รูปคลื่นกระแสทั้ง 3 เฟส	23
รูปที่ 3.13 รูปคลื่นกระแสทั้ง 3 เฟส หลังการเลื่อนมุมเฟส 120 องศา	24
รูปที่ 3.14 กระแสนิวทรัลที่ได้จากวิธีโดยอ้อม	24
รูปที่ 4.1 กระแสการแจกแจงแบบปกติ	29
รูปที่ 4.2 การแจกแจงแบบ ไคสแควร์	29
รูปที่ 4.3 การแจกแจงแบบ ที	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4 การแจกแจงแบบ เอฟ	31
รูปที่ 4.5 การทดสอบแบบ 2 ทาง	33
รูปที่ 4.6 การทดสอบแบบทางเดียวเมื่อ $H_a : \theta < \theta_0$	33
รูปที่ 4.7 การทดสอบแบบทางเดียวเมื่อ $H_a : \theta > \theta_0$	34
รูปที่ 4.8 แผนภาพการกระจายของตัวแปร X และ Y	37
รูปที่ 4.9 เส้นถดถอยของตัวแปร X และ Y	37
รูปที่ 4.10 ค่า A และ B ของความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y	43
รูปที่ 4.11 แสดงวิธีแยกการกระจายของข้อมูลต่าง ๆ ออกเป็นหลายส่วน	45
รูปที่ 4.12 ขอบเขตของการปฏิเสธ	49
รูปที่ 4.13 แผนภาพการกระจายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ณ ค่า γ ต่างๆกัน	51
รูปที่ 5.1 Single Line Diagram ของ MDB 1	53
รูปที่ 5.2 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ เฟส A MDB 1	54
รูปที่ 5.3 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ เฟส B MDB 1	55
รูปที่ 5.4 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ เฟส C MDB 1	56
รูปที่ 5.5 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ นิวทรอล MDB 1	57
รูปที่ 5.6 Single Line Diagram ของ MDB 3	58
รูปที่ 5.7 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ เฟส A MDB 3	59
รูปที่ 5.8 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ เฟส B MDB 3	60
รูปที่ 5.9 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ เฟส C MDB 3	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.10 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ นิวทรอล MDB 3	62
รูปที่ 5.11 Single Line Diagram ของ MDB 5	63
รูปที่ 5.12 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ เฟส A MDB 5	64
รูปที่ 5.13 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ เฟส B MDB 5	65
รูปที่ 5.14 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ เฟส C MDB 5	66
รูปที่ 5.15 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ นิวทรอล MDB 5	67
รูปที่ 5.16 Single Line Diagram ของ Seagate	68
รูปที่ 5.17 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ เฟส A Seagate	69
รูปที่ 5.18 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ เฟส B Seagate	70
รูปที่ 5.19 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ เฟส C Seagate	71
รูปที่ 5.20 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ นิวทรอล Seagate	72
รูปที่ 5.21 Single Line Diagram ของ Sony	73
รูปที่ 5.22 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ เฟส A Sony	74
รูปที่ 5.23 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ เฟส B Sony	75
รูปที่ 5.24 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ เฟส C Sony	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.25 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ นิวทรอล Sony	77
รูปที่ 5.26 Single Line Diagram ของ Thai Metal	78
รูปที่ 5.27 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ เฟส A Thai Metal	79
รูปที่ 5.28 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ เฟส B Thai Metal	80
รูปที่ 5.29 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ เฟส C Thai Metal	81
รูปที่ 5.30 กราฟและตารางแสดงค่า %THD,RMS และ ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ของ นิวทรอล Thai Metal	82
รูปที่ 6.1 Single Line Diagram ของ บริษัทเนสส์ได้	88
รูปที่ 6.2 แผนภาพการกระจายแสดงการกระจายค่า RMS ของสายนิวทรอล	89
รูปที่ 6.3 การแจกแจงของค่ากระแส RMS ในสายนิวทรอล	94
รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณมาตรฐานกับค่าความคลาดเคลื่อน มาตรฐาน	95
รูปที่ 6.5 การประมาณค่าเส้นกราฟของค่าสังเกต (ค่ากระแสในสายนิวทรอล)	95
รูปที่ 6.6 กระแส RMS ในสายนิวทรอลและกระแส RMS ในสายเฟส A รวมทั้ง การทำนายแนวโน้มการเกิดขึ้นของกระแส RMS ในสายนิวทรอลและ กระแส RMS ในสายเฟส พร้อมทั้งแสดงสมการของเส้นแนวโน้ม	96
รูปที่ 6.7 แผนภาพการกระจายของค่ากระแส RMS ในสายนิวทรอล	97
รูปที่ 6.8 การถอดอยแบบเส้นตรงของการเกิดกระแส RMS ในสายนิวทรอล	97
รูปที่ 6.9 การถอดอยแบบ Polynomial อันดับ 6 ของค่ากระแส RMS ใน สายนิวทรอล	98
รูปที่ 6.10 การถอดอยแบบ logarithm ของค่ากระแส RMS ในสายนิวทรอล	98
รูปที่ 6.11 การถอดอยแบบ Exponential ของค่ากระแส RMS ในสายนิวทรอล	99
รูปที่ 6.12 การถอดอยแบบ Power ของค่ากระแส RMS ในสายนิวทรอล	99
รูปที่ 6.13 การเปรียบเทียบค่า THD ในสายเฟส A และสายนิวทรอล	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 6.14 การเปรียบเทียบกระแส ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 ของสายเฟส A และสาย นิวทรัล	101
รูปที่ 6.15 การเปรียบเทียบกระแส ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5 ของสายเฟส A และสาย นิวทรัล	101
รูปที่ 6.16 การเปรียบเทียบกระแส ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 7 ของสายเฟส A และสาย นิวทรัล	102
รูปที่ 6.17 การเปรียบเทียบกระแส ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 9 ของสายเฟส A และสาย นิวทรัล	102
รูปที่ 6.18 การเปรียบเทียบกระแส ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 11 ของสายเฟส A และสาย นิวทรัล	103
รูปที่ 6.19 การเปรียบเทียบกระแส ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 13 ของสายเฟส A และสาย นิวทรัล	103
รูปที่ 6.20 การเปรียบเทียบกระแส ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 15 ของสายเฟส A และสาย นิวทรัล	103
รูปที่ 6.21 การเปรียบเทียบกระแส ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 17 ของสายเฟส A และสาย นิวทรัล	104
รูปที่ 6.22 การเปรียบเทียบกระแส ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 19 ของสายเฟส A และสาย นิวทรัล	104
รูปที่ 6.23 การเปรียบเทียบกระแส ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 21 ของสายเฟส A และสาย นิวทรัล	105
รูปที่ 6.24 การเปรียบเทียบกระแส ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 23 ของสายเฟส A และสาย นิวทรัล	105
รูปที่ 6.25 การเปรียบเทียบกระแส ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 25 ของสายเฟส A และสาย นิวทรัล	106
รูปที่ 6.26 การเปรียบเทียบกระแส ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 27 ของสายเฟส A และสาย นิวทรัล	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 6.27 ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวมและค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3,5,7 และ 9 ของสายเฟส A	107
รูปที่ 6.28 ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวมและค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3,5,7 และ 9 ของสายนิวทรอล	107
รูปที่ 7.1 การติดตั้ง Filter	111
รูปที่ 7.2 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในเฟส A ที่มีค่ากระแส RMS = 32 A	112
รูปที่ 7.3 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในเฟส B ที่มีค่ากระแส RMS = 32 A	112
รูปที่ 7.4 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในเฟส C ที่มีค่ากระแส RMS = 31 A	113
รูปที่ 7.5 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในสายนิวทรอล ที่มีค่ากระแส RMS = 61 A	113
รูปที่ 7.6 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในเฟส A ที่มีค่ากระแส RMS = 29 A	113
รูปที่ 7.7 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในเฟส B ที่มีค่ากระแส RMS = 29 A	114
รูปที่ 7.8 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในเฟส C ที่มีค่ากระแส RMS = 31 A	114
รูปที่ 7.9 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในสายนิวทรอล ที่มีค่ากระแส RMS = 2.86 A	114

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 3.1 ตัวอย่างข้อมูลที่บันทึกจาก Harmonic Meter	21
ตาราง 4.1 ค่าความคลาดเคลื่อนในการทดสอบสมมติฐาน	35
ตาราง 4.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน	48
ตาราง 5.1 กระแสนิวทรอลที่เกิดจากกระแสเฟสไม่สมดุล	83
ตาราง 5.2 กระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับสำคัญ	83
ตาราง 5.3 กระแสนิวทรอลที่เกิดจากกระแสฮาร์โมนิกส์	84
ตาราง 5.4 กระแสนิวทรอลที่เกิดจากกระแสฮาร์โมนิกส์	84
ตาราง 5.5 กระแสนิวทรอลเทียบกับกระแสเฟส	85
ตาราง 5.6 ข้อมูล %THDV และ %THDI	85
ตาราง 5.7 ขีดจำกัดความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ของแรงดันสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้า ที่จุดต่อร่วม (PCC)ของการไฟฟ้านครหลวง	86
ตาราง 6.1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	89
ตาราง 6.2 สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่ากระแส RMS ในสายนิวทรอลกับ ค่ากระแส RMS ในสายเฟส A	90
ตาราง 6.3 การใช้วิธีเลือกตัวแปรอิสระ	90
ตาราง 6.4 ค่าสถิติของสมการถดถอย	91
ตาราง 6.5 การวิเคราะห์การแปรปรวนของสมการถดถอย	91
ตาราง 6.6 สัมประสิทธิ์การถดถอย	92
ตาราง 6.7 ค่าความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่ากระแส RMS ใน สายนิวทรอลด้วยค่ากระแส RMS ในสายเฟส A	93

บทที่ 1

บทนำ

กระแสในนิวทรอลในระบบ 3 เฟส 4 สาย เกิดจากสาเหตุหลัก 2 ประการคือ โหลดเชิงเส้นแบบไม่สมดุล ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นโหลดเฟสเดียวที่ทำให้กระแสไฟฟ้าในสายตัวนำของระบบสามเฟสมีความแตกต่างกัน นำมาซึ่งความไม่สมดุลของแรงดันเฟส เกิดกระแสไหลในสายนิวทรอล

สาเหตุอีกประการหนึ่งคือ โหลดแบบไม่เป็นเชิงเส้น เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ และอุปกรณ์พวกลวดซึ่งเพาเวอร์ซัพพลาย เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติแบบไม่เป็นเชิงเส้นจะทำให้เกิดความคิดเหนี่ยวนำฮาร์โมนิกส์ โดยเฉพาะฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 และลำดับที่ 3 หารลงตัว คือ ฮาร์โมนิกส์ลำดับสำคัญเพราะในระบบสามเฟส กระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 มีเฟสตรงกัน รวมกันในสายนิวทรอลเกิดเป็นกระแสที่มีค่าสูง

ปัญหาของการมีกระแสนิวทรอลสูง คือ สายตัวนำร้อนหรืออาจไหม้ได้หากกระแสนิวทรอลมีค่าสูงเกินขีดจำกัด, อุปกรณ์เกิดความเสียหาย, แรงดันเฟสเกิดความผิดปกติ เป็นต้น เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเบื้องต้น เมื่อระบบมีโหลดแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยทั่วไปวิศวกรจะพิจารณาเพิ่มขนาดของสายนิวทรอล และลดขนาดพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะนำเสนอการวัดกระแสนิวทรอล รวมถึงค่าอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องจากระบบหม้อแปลงไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม โดยข้อมูลที่ได้นี้จะนำมาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดกระแสนิวทรอล และความสัมพันธ์ระหว่างสายนิวทรอลกับค่าต่าง ๆ โดยเฉพาะกระแสเฟส และกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ 3 หารลงตัว รวมทั้งจะชี้ให้เห็นผลกระทบของการมีกระแสนิวทรอลสูงกว่าปกติ ตลอดจนแนะนำแนวทางแก้ไข

บทที่ 2

สาเหตุหลักของการเกิดกระแสและแรงดันนิวทรอล

สาเหตุที่นำมาสู่การมีกระแสไหลในสายนิวทรอล ในระบบ 3 เฟส 4 สาย มี 2 สาเหตุหลัก ๆ คือ

- ความผิดเพี้ยนทางด้านฮาร์โมนิกส์
- ความไม่สมดุล

ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ความผิดเพี้ยนทางด้านฮาร์โมนิกส์

ฮาร์โมนิกส์ คือส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์(Sine wave)ของสัญญาณรายคาบ (Periodic Signal) ใดๆซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่มูลฐานสำหรับระบบไฟฟ้าในประเทศไทยความถี่มูลฐาน(Fundamental Frequency)คือ 50 Hz ดังนั้น

ส่วนประกอบที่มีความถี่ 100 เรียกว่า ฮาร์โมนิกส์ ที่ 2

ส่วนประกอบที่มีความถี่ 150 เรียกว่า ฮาร์โมนิกส์ ที่ 3

ฮาร์โมนิกส์ของรายคาบใดๆ สามารถคำนวณหาโดยใช้ Fourier Series ดังสมการ

$$f(t) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin(n\omega_0 t + \phi_n) \quad (2.1)$$

โดย	$f(t)$	=	สัญญาณรายคาบ(Periodic Signal)
	C_0	=	องค์ประกอบกระแสตรง(DC Component)
	n	=	อันดับฮาร์โมนิกส์ (Order)
	ω_0	=	ความถี่มูลฐาน(Fundamental Frequency)
	C_n	=	ขนาด(Magnitude)ของฮาร์โมนิกส์อันดับที่ n
	ϕ_n	=	มุม(Phase shift)ของ ฮาร์โมนิกส์อันดับที่ n

สมการข้างต้น มีความหมายว่า สัญญาณรายคาบใดๆ(สัญญาณที่เมื่อเวลาผ่านไปครบ 1 คาบสัญญาณจะกลับมาที่มีค่าเท่าเดิม) จะประกอบด้วยองค์ประกอบกระแสตรง และองค์ประกอบของสัญญาณ ไซน์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่มูลฐาน

กระแสฮาร์โมนิก (Harmonic Current)

ฮาร์โมนิกที่อยู่ในรูปของกระแสในไลน์ในระบบไฟฟ้าเกิดขึ้นจากอุปกรณ์ที่มีคุณลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Devices) ซึ่งอาจเป็นโหลดหรือแหล่งกำเนิดก็ได้ ในอดีตที่ไม่มีการศึกษาฮาร์โมนิกอย่างจริงจัง เนื่องจากอุปกรณ์เชิงเส้นมีจำนวนน้อย ทำให้ผลของฮาร์โมนิกต่อระบบไฟฟ้ามีกำลังน้อย แต่ในช่วงสิบปีที่ผ่านมาอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเครื่องแปลงผัน (Converter) ได้ขยายตัวอย่างมากเป็นผลให้เกิดกระแสฮาร์โมนิกขึ้นอย่างมากมาย

แรงดันฮาร์โมนิก (Harmonic Voltage)

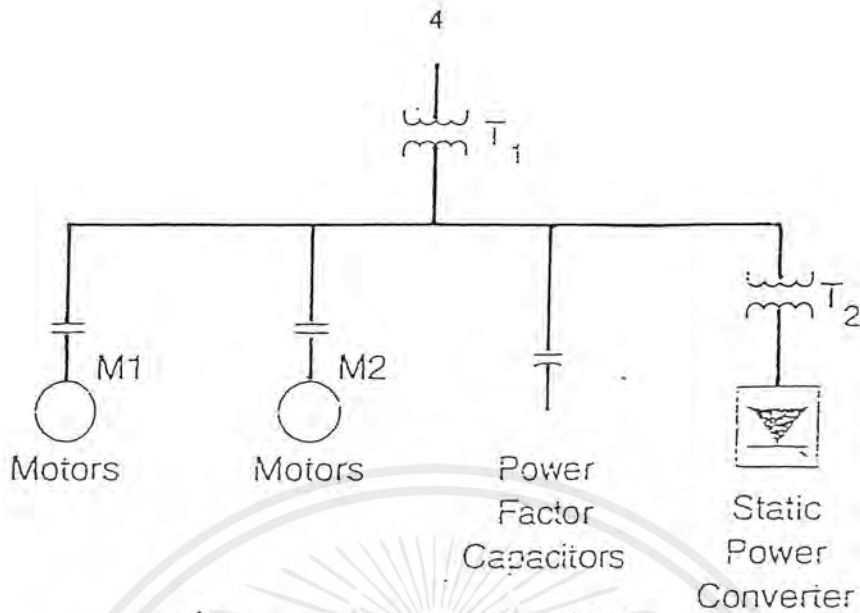
เกิดจากที่กระแสฮาร์โมนิกไหลผ่านค่ารีแอกแตนซ์ (Reactance) ของระบบ (รีแอกแตนซ์) ของแหล่งจ่ายของสายส่ง หรือรีแอกแตนซ์ของคาปาซิเตอร์ที่ต่อขนานเข้าไปในระบบเพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลัง (Power factor) และแรงดันให้ดีขึ้น) ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของรูปแรงดัน อันเนื่องมาจากรีแอกแตนซ์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามความถี่ส่วนค่าความต้านทาน ไม่มีเปลี่ยนแปลง

กระแสฮาร์โมนิกที่ไหลในระบบนั้นจะเป็นตัวสร้างทำให้เกิดความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิก (Harmonic Voltage Distortion) ซึ่งเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} V_n &= Z_n I_n & (2.2) \\ \text{เมื่อ } V_n &= \text{แรงดันฮาร์โมนิก} \\ I_n &= \text{กระแสฮาร์โมนิกในระบบ} \\ Z_n &= \text{ค่าอิมพีแดนซ์ของระบบ} \end{aligned}$$

ถ้าในระบบไฟฟ้าใช้คาปาซิเตอร์ต่อขนานเข้าไปในระบบ เพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลัง จะทำให้อิทธิพลต่อระดับฮาร์โมนิกในระบบจำหน่าย คาปาซิเตอร์มิได้เป็นตัวกำเนิดฮาร์โมนิก แต่จากการต่อระบบในวงจรที่ความเป็นไปได้ที่จะทำให้เกิดเงื่อนไขเรโซแนนซ์แบบขนาน (Parallel resonance) ระหว่างคาปาซิเตอร์และรีแอกแตนซ์ของระบบดังรูปที่ 2.1

เมื่อพิจารณาให้โหลดไม่เป็นเชิงเส้นเป็นแหล่งจ่ายกระแสฮาร์โมนิก ถ้ารีโซแนนซ์แบบขนานเกิดที่ความถี่เดียวกันหรือใกล้เคียงกับความถี่ฮาร์โมนิกของโหลดไม่เป็นเชิงเส้น จะให้เกิดกระแสจำนวนมากไหลผ่านระหว่างรีแอกแตนซ์ของระบบและรีแอกแตนซ์ของคาปาซิเตอร์ กระแสนี้จะรวมกับกระแสฮาร์โมนิกของโหลดไม่เป็นเชิงเส้นที่ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมรีแอกแตนซ์ของระบบ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ตัวประกอบความผิดเพี้ยนของแรงดันมีค่ามาก (Distortion Factor)

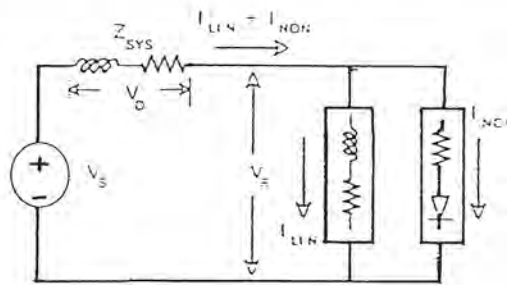


รูปที่ 2.1 การต่อคาปาซิเตอร์ขนานเข้าไปในระบบ

2.1.1 การเกิดฮาร์โมนิกส์

ฮาร์โมนิกส์เกิดจากโหลดที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น คือโหลดที่รับแรงดันไฟฟ้าในรูปคลื่นไซน์ แต่มีการดึงกระแสที่มีรูปคลื่นเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ Fourier Series จะสามารถแยกรูปคลื่นกระแสที่ผิดเพี้ยนไปออกเป็นส่วนประกอบความถี่มูลฐานและฮาร์โมนิกส์ต่างๆ

พิจารณารูปที่ 2.2 ผลรวมของกระแสของโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (I_{NON}) และกระแสที่เป็นเชิงเส้น (I_{LN}) นั้นจะมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อไหลผ่านอิมพีแดนซ์ของระบบ (Z_{SYS}) จะทำให้แรงดันตกคร่อมอิมพีแดนซ์ระบบ (V_D) เกิดผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ นั่นคือจะทำให้แรงดันปลายทาง (V_R) ซึ่งเป็นผลรวมของแรงดันแหล่งจ่ายไฟ (V_S) กับแรงดันตกคร่อมในอิมพีแดนซ์ของระบบ (V_D) เกิดความผิดเพี้ยนไปด้วย

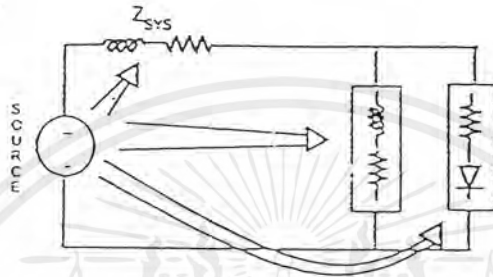


รูป 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสฮาร์โมนิกส์ แรงดันฮาร์โมนิกส์และอิมพีแดนซ์ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

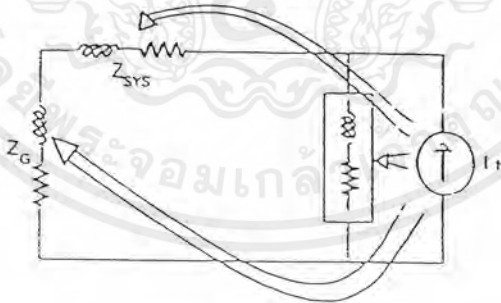
2.1.2 ทิศทางการไหลของฮาร์โมนิกส์

โดยทั่วไปเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ความถี่ 50 Hz ให้กับโหลดต่างๆ รวมถึงกำลังงานสูญเสียบางส่วนในอิมพีแดนซ์ของระบบดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูป 2.3 รูปแบบพื้นฐานสำหรับการไหลของพลังงาน

ในกรณีของโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นกำลังไฟฟ้าที่ความถี่ 50 Hz บางส่วนจะถูกเปลี่ยนเป็นกำลังไฟฟ้าความถี่ฮาร์โมนิกส์ต่างๆ และจ่ายย้อนเข้าสู่ระบบไฟฟ้าโดยอาจพิจารณาโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นให้เป็นแหล่งกำเนิดกระแสที่มีความถี่ฮาร์โมนิกส์ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูป 2.4 รูปแบบการไหลของกำลังงานฮาร์โมนิกส์

จากหลักการของการไหลของกำลังไฟฟ้า อาจสามารถระบุทิศทางการไหลของกระแสฮาร์โมนิกส์ได้โดยพิจารณาจาก Harmonic Power โดย

$$P_h = I_h \times V_h \times \cos \theta_h \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย	P_h	=	Harmonic Power ที่อันดับ h
	V_h	=	ขนาดของแรงดันฮาร์โมนิกที่อันดับ h
	I_h	=	ขนาดของกระแสฮาร์โมนิกที่อันดับ h
	θ_h	=	มุมระหว่างกระแสและแรงดันฮาร์โมนิกที่อันดับ h

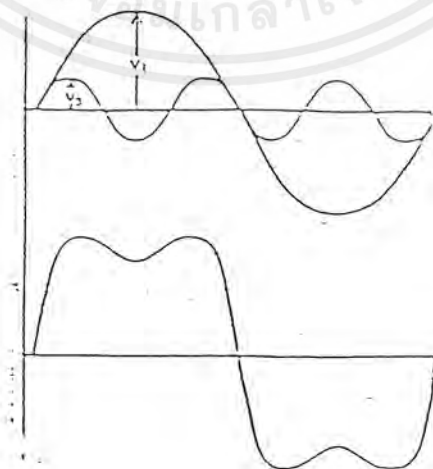
ถ้า Harmonic Power อันดับที่ h มีค่าเป็น Positive แสดงว่ากระแสฮาร์โมนิกที่อันดับ h ไหลเข้าสู่ตำแหน่งที่วัด ในกรณีวัดที่โหลด หมายความว่า มีกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ h จากภายนอกไหลเข้าสู่โหลดนั้น ถ้า Harmonic Power อันดับที่ h มีค่าเป็น Negative แสดงว่ากระแสฮาร์โมนิกที่อันดับ h ไหลออกจากตำแหน่งที่วัด ในกรณีวัดที่โหลด หมายความว่า โหลดตัวนั้นเป็นแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกอันดับที่ h

2.1.3 ประเภทของฮาร์โมนิก

ฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้นปะปนอยู่ในกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าอาจแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ฮาร์โมนิก (Harmonics)

ฮาร์โมนิก หมายถึง ส่วนประกอบรูปคลื่นไซน์ของรูปคลื่นรายคาบใดๆ ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าลงตัวของความถี่มูลฐาน เช่น รูปคลื่นสี่เหลี่ยมจะมีฮาร์โมนิกปนอยู่มากตั้งแต่ฮาร์โมนิกลำดับที่ 2,3,4 หรือรูปคลื่นในรูปที่ 2.5 จะมีเฉพาะลำดับฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 ปนอยู่เท่านั้น

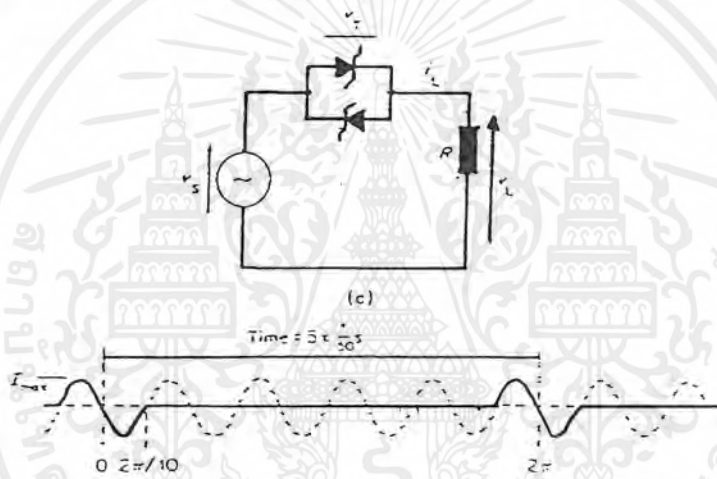


รูปที่ 2.5 รูปคลื่นแบบขดแบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อินเตอร์ฮาร์โมนิกส์ (Interharmonics)

อินเตอร์ฮาร์โมนิกส์ หมายถึง ส่วนประกอบรูปคลื่นไซน์รายคาบใดๆ ที่มีความถี่ไม่เป็นจำนวนเท่าลงตัวของความถี่มูลฐาน อินเตอร์ฮาร์โมนิกส์นี้ส่วนมากจะพบในกระแสเตาหลอมแบบอาร์ก (Arc furnace) เนื่องจากในระหว่างหลอมเหล็ก โดยเฉพาะในช่วงเริ่มต้นการหลอมกระแสอาร์กยังไม่เสถียร ทำให้คาบกระแสไม่แน่นอน กล่าวคือ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ คาบจะกินเวลา 20 มิลลิวินาที แต่กระแสอาร์กแต่ละจะมีคาบเวลาไม่เป็น 20 มิลลิวินาทีทุกคาบ ทำให้เกิดอินเตอร์ฮาร์โมนิกส์ขึ้น นอกจากนี้ก็จะพบอินเตอร์ฮาร์โมนิกส์ในอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการควบคุมการทำงานแบบ Integral Cycle Control หรือ Burst firing ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การควบคุมกระแสที่ไหลผ่านโหลดแบบ Integral Cycle Control

ถ้าให้ N คือจำนวน Cycle ที่ ON และ M คือจำนวน cycle ที่ pattern ของรูปคลื่นกับมาซ้ำเดิม จะคำนวณหากระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆ ได้ดังนี้

$$I_n = -I_{\max} \cdot \frac{2M}{\pi} \cdot \frac{\sin((N/M)n\pi)}{M^2 - N^2} \quad (2.4)$$

จากกระแสฮาร์โมนิกส์ที่วิเคราะห์ออกมาจะพบว่ากระแสฮาร์โมนิกส์ที่ลำดับเป็นเลขลงตัวของความถี่มูลฐาน 50 เฮิร์ตซ์ จะเป็นศูนย์ แต่กระแสฮาร์โมนิกส์ที่มีความถี่หรือมีลำดับไม่เป็นเลขลงตัวของความถี่หลักมูลจะมีค่าดังเช่น ฮาร์โมนิกส์ความถี่ 10 เฮิร์ตซ์ จะมีลำดับเป็น 1/5 ของความถี่หลักมูล เราจึงเรียกฮาร์โมนิกส์เหล่านี้ว่า อินเตอร์ฮาร์โมนิกส์

3. ฮาร์โมนิกส์คุณลักษณะ (Characteristic Harmonic)

ฮาร์โมนิกส์คุณลักษณะ หมายถึง ฮาร์โมนิกส์ที่สร้างโดยเครื่องแปลงผันทางไฟฟ้า (แปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงหรือกลับกัน โดยใช้สารกึ่งตัวนำ เช่น ไคโอด , SCR เป็นสวิตช์ตัดกระแส) ในสภาวะการทำงานปกติลำดับของฮาร์โมนิกส์คุณลักษณะสามารถหาได้จาก

$$n = kp \pm 1 \quad (2.5)$$

เมื่อ

n	=	ลำดับของฮาร์โมนิกส์
k	=	เลขจำนวนเต็มบวกใดๆ (1,2,3,...)
p	=	จำนวนพัลส์ (pulse number) ของเครื่องแปลงผันไฟฟ้า

4. ฮาร์โมนิกส์ที่ไม่เกิดจากคุณลักษณะ (Noncharacteristic Harmonics)

ฮาร์โมนิกส์ที่ไม่เกิดจากคุณลักษณะ หมายถึง ฮาร์โมนิกส์ที่สร้างโดยเครื่องแปลงผันไฟฟ้าที่ไม่เป็นไปตามสมการ $n = kp \pm 1$ เช่น เครื่องแปลงผันไฟฟ้าชนิด 12 พัลส์ ควรจะมีเฉพาะฮาร์โมนิกส์คุณลักษณะที่มีลำดับ 11,13,23,25,35,37 ดังนั้นถ้ามีฮาร์โมนิกส์ที่มีลำดับเป็น 5,7,17,19 ปนมาด้วยฮาร์โมนิกส์เหล่านี้ถือว่าเป็นฮาร์โมนิกส์ที่ไม่เกิดจากคุณลักษณะ

5. ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่สามหารลงตัว (Triplen Harmonics)

ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่สามหารลงตัว ได้แก่ ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3,6,9 เป็นต้น ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มที่มีลำดับเป็นศูนย์ (Zero Sequence) ในกรณีที่เป็นระบบ 3 เฟส 4 สาย ฮาร์โมนิกส์กลุ่มนี้จะรวมตัวกันไหลอยู่ในสายนิวทรัล ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า

2.1.4 ปริมาณที่แสดงระดับของฮาร์โมนิกส์

ปริมาณที่แสดงระดับของฮาร์โมนิกส์ที่นิยมใช้กันมากคือ THD นอกจากนี้ยังมีปริมาณอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับ ฮาร์โมนิกส์อัน ได้แก่ True RMS, Displacement Power และ Factor Crest Factor ดังนี้

True RMS คือ ค่า RMS ที่แท้จริงของสัญญาณใดๆตัวอย่างเช่นแรงดันไฟฟ้าที่มีฮาร์โมนิกส์เป็นส่วนประกอบจะมีค่า True RMS ดังนี้

$$V_{rms} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots} \quad (2.6)$$

โดย V_1 = ขนาดของแรงดันที่ความถี่มูลฐาน
 V_2 = ขนาดของแรงดันฮาร์โมนิกที่ 2
 V_3 = ขนาดของแรงดันฮาร์โมนิกที่ 3
 V_4 = ขนาดของแรงดันฮาร์โมนิกที่ 4

THD (Total Harmonic Distortion) คือปริมาณฮาร์โมนิกทั้งหมดแสดงเป็นร้อยละเทียบกับขนาดขององค์ประกอบความถี่มูลฐาน (Fundamental) หรือเทียบกับค่า RMS รวมของสัญญาณ โดยค่า THD นั้นมีทั้งค่า THD ของกระแสและแรงดัน ตัวอย่างเช่น

$$\%THD_{FUND}(Voltage) = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots}}{V_1} \times 100 \quad (2.7)$$

$$\%THD_{rms}(Current) = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_{rms}} \times 100 \quad (2.8)$$

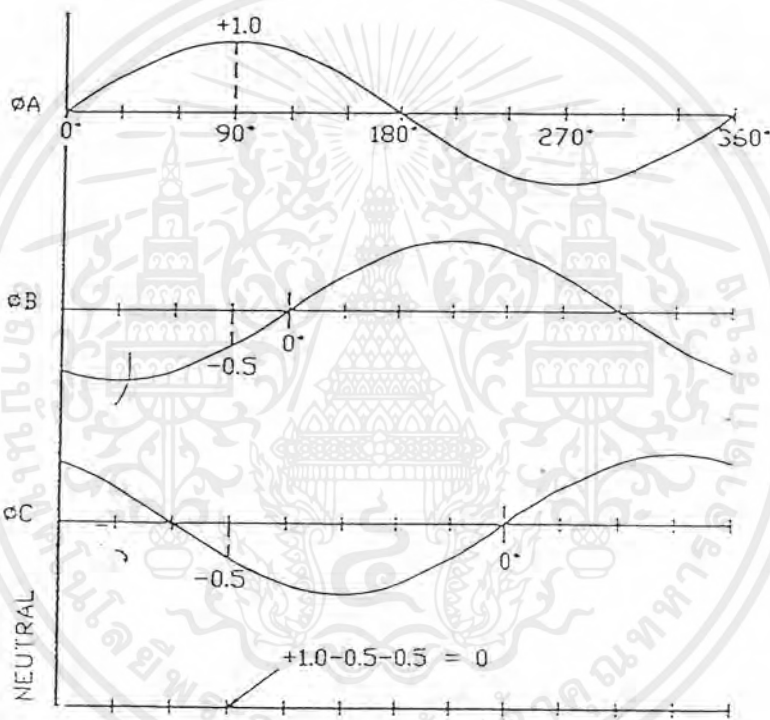
Power Factor (PF) คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง(Active Power) และกำลังไฟฟ้าปรากฏ(Apparent Power) ซึ่งรวมกำลังไฟฟ้าที่ทุกฮาร์โมนิกส์

Displacement Power Factor คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง(Active Power)และกำลังไฟฟ้าปรากฏ(Apparent Power)ที่ความถี่มูลฐาน(Fundamental Frequency) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\cos\theta$ โดย θ คือมุมระหว่างกระแสและแรงดันที่ความถี่มูลฐาน

Crest Factor คือ อัตราส่วนระหว่างค่าสูง(Peak)ต่อค่า RMS ของรูปคลื่น ในกรณีรูปคลื่นไซน์(Sine Wave)ทั่วไป Crest Factor จะมีค่าเท่ากับ $\sqrt{2}$ นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบ 3 เฟส 4 สาย กระแสนิวทรัลเป็นผลรวมของกระแสไลน์ทั้ง 3 เฟส ในระบบที่สมดุล กระแสจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้น เป็นรูปคลื่นไซน์ มีระยะห่างในแต่ละเฟส 120 องศาไฟฟ้า ผลรวมที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆจะเท่ากับศูนย์ และทำให้ไม่มีกระแสในสายนิวทรัล (ดูรูปที่ 2.7)

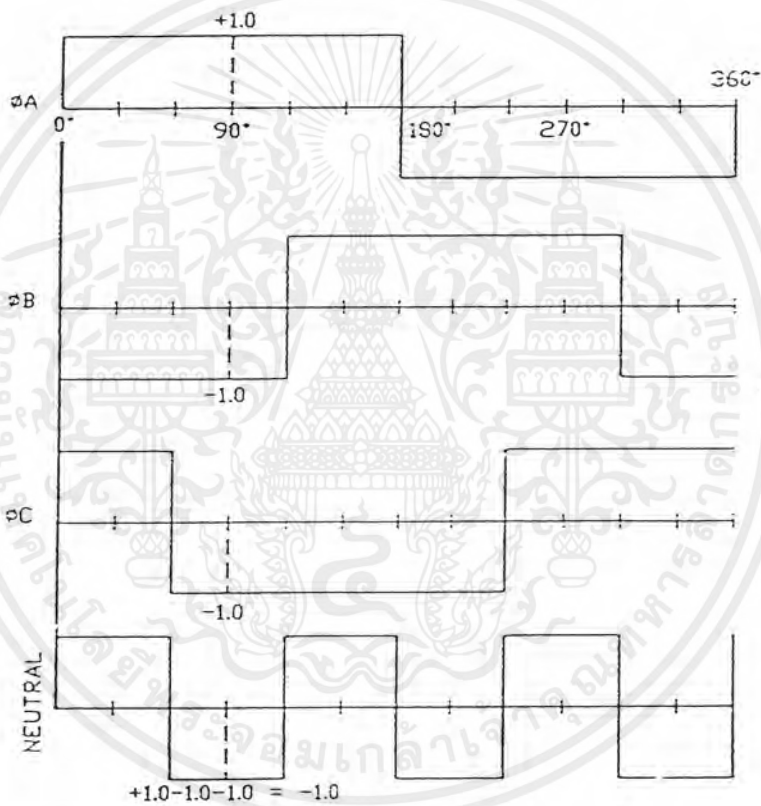


รูป 2.7 โหลด 3 เฟสสมดุลจะส่งผลให้กระแสนิวทรัลมีค่าเป็นศูนย์

ในระบบ 3 เฟสส่วนมากจะจ่ายให้แก่โหลดเฟสเดียวซึ่งอาจจะมีบางเฟสที่ไม่สมดุลและทำให้ไม่มีกระแสนิวทรัล กระแสนิวทรัลขนาดเล็กๆนี้เป็นผลมาจากโหลด ไม่สมดุลซึ่งไม่ใช่สาเหตุของปัญหาในระบบจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

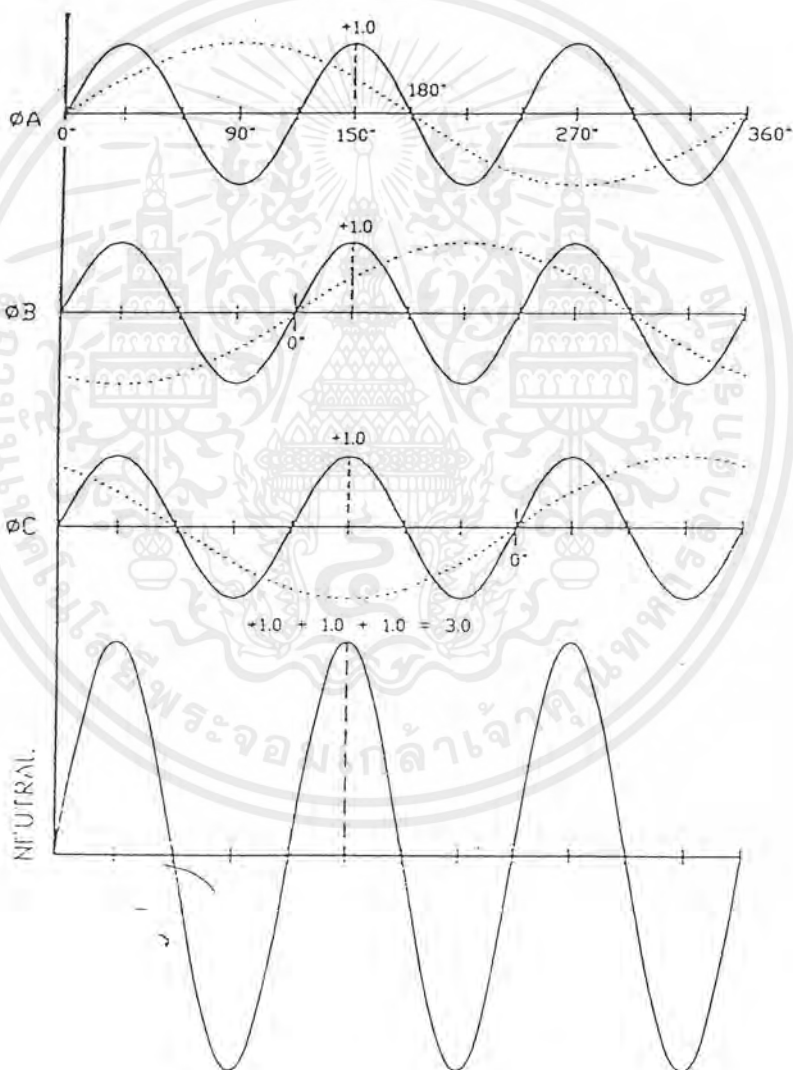
มีบางกรณีที่มีโหลดเป็นแบบสมมูลแต่ยังส่งผลให้เกิดกระแสในสายนิวทรอล อันเป็นผลมาจากโหลดแบบไม่เป็นเชิงเส้น เช่น เเรคตีฟลายเออร์ , พาวเวอร์จัฟฟลาย , หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น กระแสจะไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ เวกเตอร์ผลรวมของความสมมูลไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ ผลรวมของกระแสทั้ง 3 เฟสไม่จำเป็นต้องเท่ากับศูนย์ ตัวอย่างเช่น กระแสรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่สมมูล อาจจะส่งผลให้เกิดกระแสในนิวทรอล ดังรูปที่ 2.8



รูป 2.8 โหลดสมมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้นก่อให้เกิดกระแสในสายนิวทรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวงจรระบบ 3 เฟส กระแสนิวทรัลของฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 หาลงตัว (3, 6, 9, ฯลฯ) จะเพิ่มเข้ามามีความถี่เป็น 3 เท่าของความถี่มูลฐานและมีระยะห่างเป็น 120 องศาทางไฟฟ้าของความถี่มูลฐาน กระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 จะมีค่ามากเหมือนกระแสเฟส และจะเพิ่มขึ้นให้เห็นในสายนิวทรัล ดังรูปที่ 2.9



รูป 2.9 กระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 ในระบบ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ความไม่สมดุลของแรงดันเฟส(Phase Voltage Unbalance)

ในระบบการจำหน่ายนั้น เพื่อให้ได้ประโยชน์ใช้สอยสูงสุดจึงใช้การเดินสายแบบ 3 เฟส 4 สายและกราวด์ 1 สาย ดังนั้นหม้อแปลงจำหน่ายแบบเฟสเดียวสามารถรับไฟจากสายเฟสและสายนิวทรัล(neutral) เพื่อจ่ายให้กับโหลดที่เป็นเฟสเดียวกัน เช่น ที่พักอาศัยทั่วไปและไฟถนน เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงของโหลดหนึ่งเฟสทำให้กระแสไฟฟ้าในสายตัวนำของระบบสามเฟสแต่ละเส้นมีความแตกต่างกัน อันเป็นผลทำให้แรงดันตกคร่อมในแต่ละเฟสไม่เท่ากันด้วย นำมาซึ่งความไม่สมดุลของแรงดันเฟส ซึ่งความไม่สมดุลจะมีค่าสูงสุดที่ปลายสายของระบบจำหน่ายแต่ก็ขึ้นอยู่กับภาระการกระจายโหลดในแต่ละเฟสด้วยว่ามีความสมดุลหรือไม่

ความสมดุลที่สมบูรณ์แบบไม่มีในความเป็นจริงเพราะโหลดมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ความไม่สมดุลของแรงดันเฟสจึงเกิดขึ้นตลอดเวลาด้วยเช่นกัน

ในโรงอุตสาหกรรมนิยมใช้ระบบ 3 เฟส 4 สาย เพื่อให้แรงดันหนึ่งเฟสจ่ายให้กับโหลดแสงสว่างและอุปกรณ์ที่ใช้กับไฟหนึ่งเฟส ดังนั้นการทำให้โหลดในแต่ละเฟสมีความสมดุลก็จะช่วยลดความไม่สมดุลของแรงดันเฟสได้

การวัดความไม่สมดุลของแรงดันเฟส

วิธีการที่ใช้หาค่าความไม่สมดุลของแรงดันเฟสคือการวัดแรงดันในแต่ละเฟสทั้งสามเฟส และหาค่าโดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{ค่าความไม่สมดุลของแรงดัน} = \frac{\text{ค่าที่เบี่ยงเบนสูงสุดจากแรงดันเฉลี่ย}}{\text{แรงดันเฉลี่ย}}$$

ลักษณะของไฟสามเฟสที่ผลิตออกมานั้น จะมีต่างเฟสกันอยู่เฟสละ 120 องศา และในระบบจำหน่ายนั้นส่วนมากจะเป็นแบบ 3 เฟส 4 สาย โดยมีจุด n เป็นจุดรวมของโหลด เรียกว่าจุดนิวทรัล (neutral)

เมื่อแรงดันทั้งสามเฟสมีความสมดุล จะได้ว่า

$$V_{an} = V_{bn} = V_{cn}$$

$$\text{และ } I_a + I_b + I_c = I_n = 0 \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ในความเป็นจริง จะไม่มีแรงดันสมดุลที่สมบูรณ์แบบดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ฉะนั้น

$$V_m \neq V_{bn} \neq V_{cn}$$

จึงทำให้กระแส Line มีค่าไม่เท่ากัน และมี phase shift ไม่เท่ากับ 120 ทำให้

$$I_a + I_b + I_c = I_n \neq 0 \quad (2.10)$$

ดังนั้นจึงเกิดกระแสไหลขึ้นในสาย neutral และเมื่อเกิดกระแสไหลในสาย neutral จึงทำให้เกิดแรงดันขึ้นระหว่างสายนิวทรัลกับสายกราวด์

การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ หากทราบค่ากระแส RMS ของกระแสเฟสและกระแส นิวทรัลสามารถใช้วิธีการประมาณค่ากระแสส่วนที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์ที่ประกอบอยู่ในกระแส นิวทรัลโดยการรวมกระแสมูลฐานและกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ไม่ใช่กระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 หารลงตัว โดยการนำค่ากระแส RMS ที่เกิดจากความไม่สมดุลไปลบออกจากกระแส นิวทรัลทั้งหมด ส่วนที่เหลือ เราสามารถประมาณได้ว่าเป็นกระแสส่วนที่เกิดจากกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 หารลงตัว ดังนี้

กระแสนิวทรัลที่เกิดจากความไม่สมดุล

$$= \sqrt{A^2 + B^2 + C^2 - (AB) - (BC) - (CA)} \quad (2.11)$$

กระแสนิวทรัลที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 หารลงตัว

$$= \sqrt{N^2 - [A^2 + B^2 + C^2 - (AB) - (BC) - (CA)]} \quad (2.12)$$

โดยที่

A = กระแส rms ของเฟส A

B = กระแส rms ของเฟส B

C = กระแส rms ของเฟส C

N = กระแส rms ของสายนิวทรัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

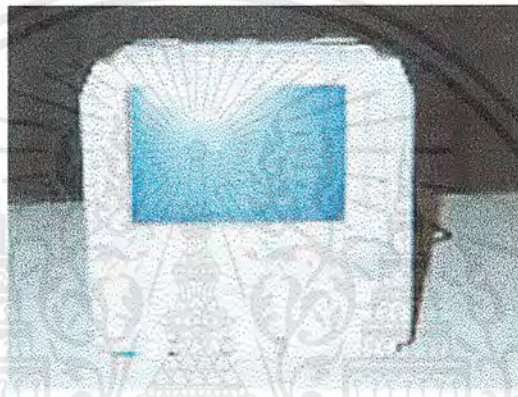
บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการวัด

3.1 อุปกรณ์การวัด

อุปกรณ์ที่ใช้ทำการวัดและเก็บข้อมูล ประกอบด้วย

1. Digital Oscilloscope model DL1520 Yokogawa



รูป 3.1 Digital Oscilloscope

2. Harmonic Analyzer model 290H SATEC



รูป 3.2 Harmonic Analyzer

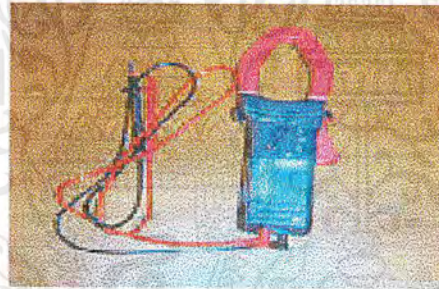
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Computer Notebook



รูป 3.3 Computer Notebook และ Harmonic Analyzer

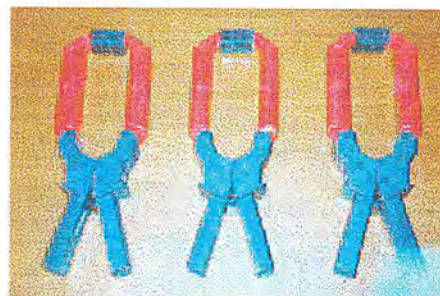
4. Harmonic Meter model F25 CHAUVIN ARNOUX



รูป 3.4 Harmonic Meter

5. CT model RS232 CHAUVIN ARNOUX

Range 1000/5, 2000/5, 3000/5



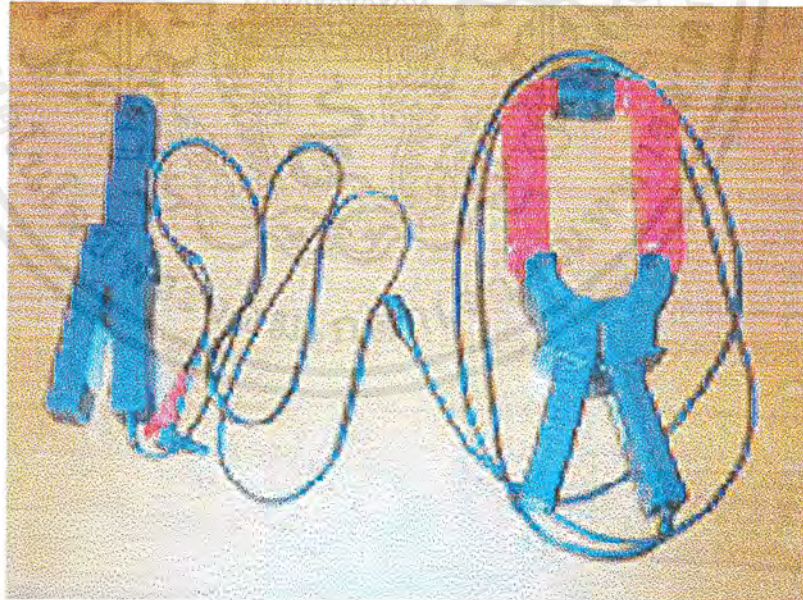
รูป 3.5 Current Transformer (CT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Power Meter model 3910 AEMC Instrument



รูป 3.6 Power Meter



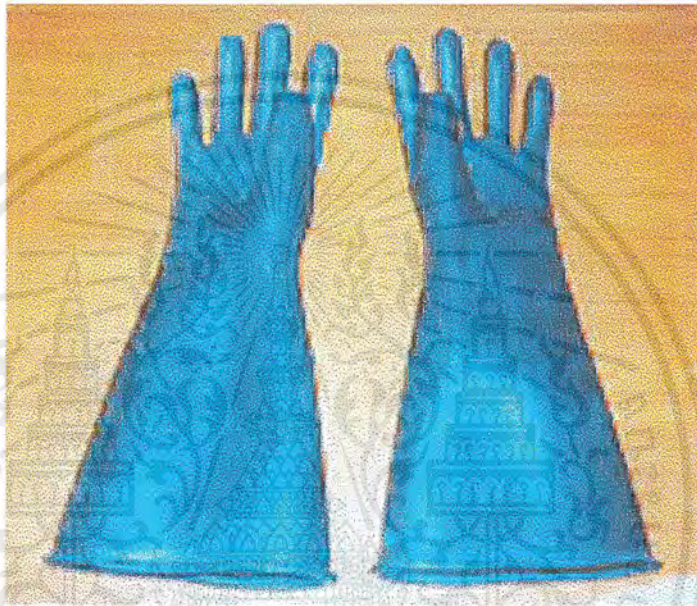
รูป 3.7 Current Probe

7. Current Probe 30-3000A/0.3V CHAUVIN ARNOU

Range *10, *1, *0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. Current Probe E1N 1-1000A/1V CHAUVIN ARNOUX
Range 1V/A, 1mV/A
9. ถุงมือกันไฟดูด Max. Use Voltage 17,000 V AC RMS
ANSI/ASTM 0120 Class 2 Type 1

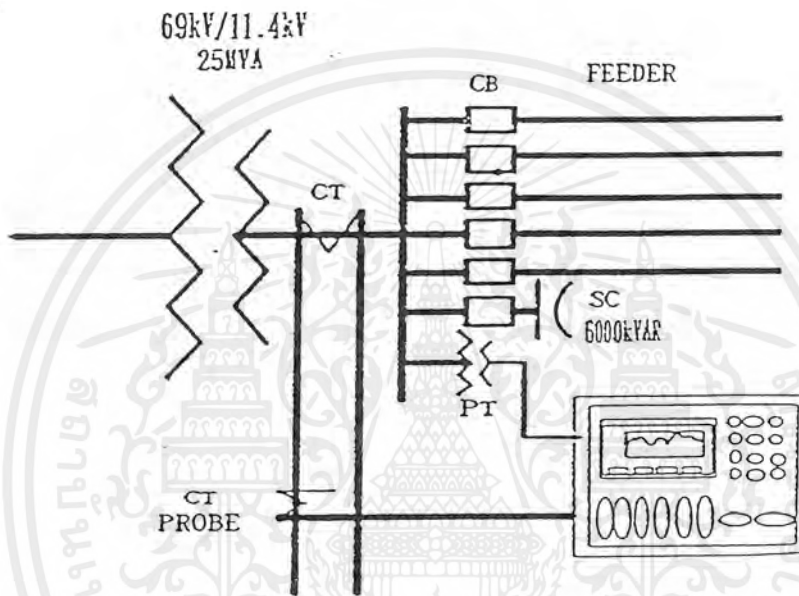


รูป 3.8 ถุงมือกันไฟดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการวัด

ทำการวัดที่จุด PCC (Point of Common Coupling) ของระบบหม้อแปลงไฟฟ้า โดยวิธีการวัดมีรูปแบบและวิธีการ ดังนี้



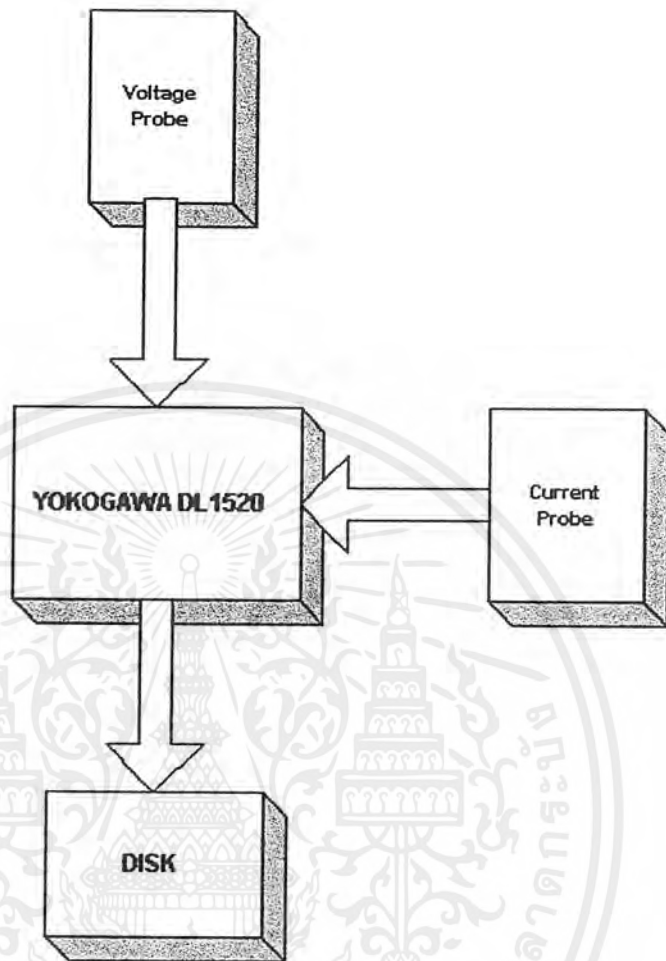
รูป 3.9 รูปแบบการวัด

จากรูป 3.9 เป็นรูปแบบที่ใช้ทำการวัดและเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าของระบบหม้อแปลงในโรงงานอุตสาหกรรม การวัดมี 2 ลักษณะแบ่งตามระยะเวลาการวัด คือ

- การวัด ณ เวลาใด ๆ
- การวัดตลอดช่วงเวลาใด ๆ

การวัด ณ เวลาใด ๆ ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้ Digital Oscilloscope Yokogawa model DL 1520 ผ่านทางโพรบแรงดัน(Voltage Probe) และโพรบกระแส(Current Probe) ดังรูป 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป3.10 Block Diagram รูปแบบการวัดโดยใช้ Digital Oscilloscope

บริเวณที่ทำการวัดคือ หม้อแปลงกระแส(Current Transformer : CT) และหม้อแปลงแรงดัน(Voltage Transformer : PT) หน้าตู้ MDB โดยวัดทีละเฟสพร้อมกันทั้งกระแสและแรงดันบันทึกข้อมูลลงแผ่นเก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์เป็น ไฟล์แบบ ACQ, BMP และ HPGL จากนั้นบิด Selector Switch เปลี่ยนเป็นเฟสต่อไปจนครบทั้งสามเฟส

การวัดโดยใช้ Harmonic Meter Chauvin Arnoux model F25 ทำการเก็บข้อมูลเริ่มจากกระแสทั้งสามเฟส โดยใช้เครื่องมือวัดคล่อง วัดทีละเฟส จากนั้นทำการวัดแรงดันจนครบทั้งสามเฟส แล้วใช้ Power Meter วัดเพาเวอร์แฟคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแส....เฟส A $I_{rms} = 2.72 \text{ A}$ (CT 1000/5)

THD	DC	Fun	2	3	4	5	6	7
	1.09	2.66	0.22	0.1	0	0.15	0	0.33
14.7	40.98	100	1.7	4	0.7	5.8	1.1	12.6

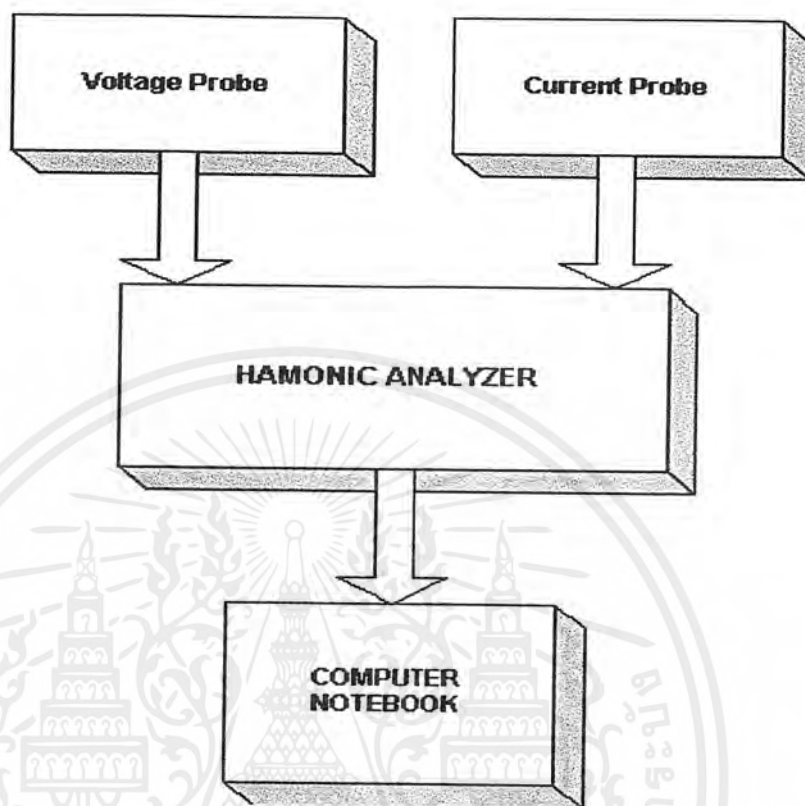
8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	0.06	0	0	0	0	0	0.01	0
0.2	2.5	0.2	0.5	0.5	0.4	0.1	0.5	0.2

17	18	19	20	21	22	23	24	25
0	0	0	0	0	0	0.02	0	0
0.2	0.1	0.6	0.1	0.1	0.3	1	0	0.2

ตาราง 3.1 ตัวอย่างข้อมูลที่บันทึกจาก Harmonic Meter

การวัดตลอดช่วงเวลาใด ๆ เป็นการติดตั้งอุปกรณ์การวัดเพื่อบันทึกข้อมูลตลอดช่วงเวลา เช่น 1 สัปดาห์ เป็นต้น เพื่อติดตามพฤติกรรมของค่าต่าง ๆ ทางไฟฟ้าได้ละเอียดยิ่งขึ้น ซึ่งมีรูปแบบการวัดแสดงดังรูป 3.11

การวัดแบบนี้ทำโดยการใช้หม้อแปลงกระแสที่ติดตั้งที่แท่งตัวนำ (Busbar) หรือสายตัวนำของตู้ MDB ส่วนโพรบแรงดันต้องเกี่ยวหรือหนีบให้แน่นในจุดที่เหมาะสม เพราะต้องวัดเป็นระยะเวลานาน ขณะติดตั้งเครื่องมือวัดต้องสวมถุงมือป้องกัน ไฟดูดและต้องทำด้วยความระมัดระวังอย่างสูงด้วย



รูป 3.11 รูปแบบการวัดตลอดช่วงเวลาใดๆ

ส่วนการวัดกระแสสวิตช์หรือเป็นจุดสำคัญนั้น จะแบ่งการวัดออกเป็น 2 กรณีตามวิธีการ ได้มาของข้อมูล คือ

3.2.1 การวัดโดยวิธีตรง

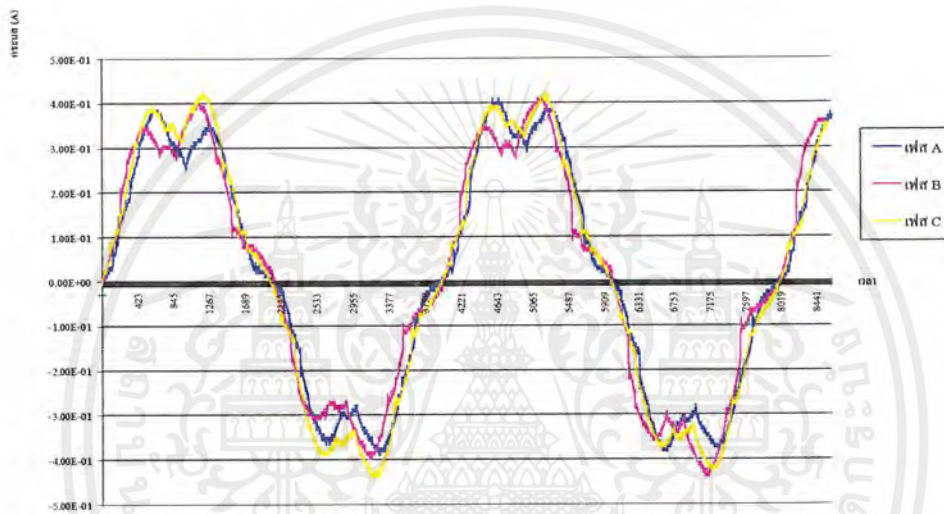
การวัดโดยวิธีตรง คือการสามารถวัดกระแสสวิตช์ได้โดยตรงจากหม้อแปลงกระแสของตู้ MDB จากการบิดเลือก Selector Switch ไปที่ตำแหน่ง N แล้วทำการวัด หากไม่มีตำแหน่ง N ก็ทำการวัดโดยการใช้โพรบกระแสคล้องทั้งสามเฟส ซึ่งจะได้กระแสสวิตช์เหมือนกัน แต่ในกรณีที่ไม่สามารถวัดกระแสสวิตช์ได้จึงวิธีการที่กล่าวมาข้างต้น จึงต้องอาศัยการวัดโดยวิธีอ้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การวัดโดยวิธีอ้อม จากหลักการที่ว่า

และกระแสในแต่ละเฟส มีมูมเฟสต่างกัน 120 องศา นำหลักการดังกล่าวมาใช้ในการหากระแสนิวทรอล โดยอาศัยข้อมูลของทั้งสามเฟสที่ได้วัดมาแล้ว มีขั้นตอนดังนี้

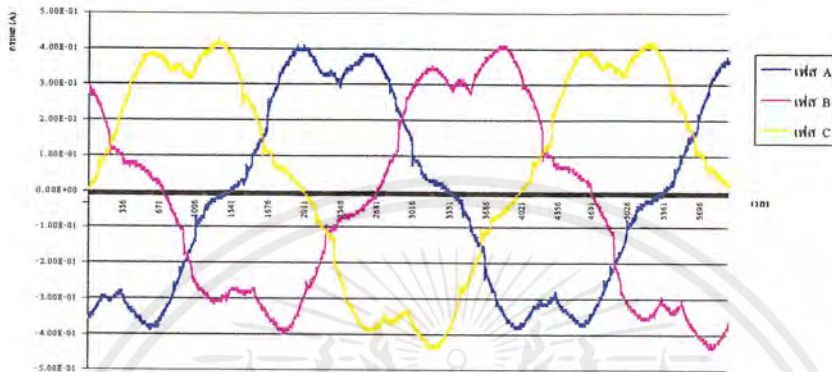
1. นำข้อมูลของกระแสเฟสที่เก็บไว้ในแผ่นบันทึกข้อมูลมาสร้างกราฟ



รูป 3.12 รูปคลื่นกระแสทั้งสามเฟส

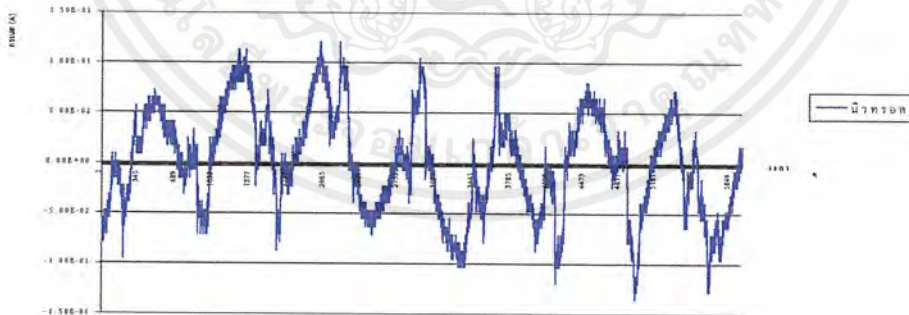
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการเลื่อนมุมเฟส 120 องศา



รูป 3.13 รูปคลื่นกระแสทั้งสามเฟส หลังการเลื่อนมุมเฟส 120 องศา

3. รวมกระแสทั้งสามเฟส



รูป 3.14 กระแสนิ่วทอดที่ได้จากวิธีโดยอ้อม

เมื่อได้กระแสนิ่วทอดมาแล้วก็นำไปหา %THD และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรม MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ทฤษฎีการวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์

4.1 ระเบียบวิธีการดำเนินงานทางสถิติ (Statistical Method)

ในการดำเนินงานทางสถิติ ต้องปฏิบัติตามขั้นตอนต่างๆดังต่อไปนี้

1. การวางแผนงาน (Designing) เป็นขั้นตอนการวางแผนงานเกี่ยวกับงานที่ต้องการศึกษา เช่น ลักษณะของข้อมูล แหล่งที่มาของข้อมูล
2. การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection) เป็นขั้นตอนที่จะได้มาซึ่งข้อมูลสถิติ
3. การนำเสนอข้อมูล (Data Presentation) เป็นขั้นตอนที่นำเอาข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลมาจัดเป็นหมวดหมู่ เพื่อสะดวกในการอ่านและวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนต่อไป
4. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) เป็นขั้นตอนที่นำเอาข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อศึกษาหาข้อสรุปตามที่ต้องการ
5. การตีความหมายข้อมูล (Data Interpretation) เป็นขั้นตอนที่นำเอาผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ มาทำการแปลผลและสรุปในสิ่งที่ต้องการศึกษา เพื่อนำเอาข้อสรุปที่ได้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์

4.2 ข้อมูล (Data) ในทางสถิติ

ข้อมูล (Data) หมายถึง รายละเอียดข้อเท็จจริงของสิ่งต่างๆทั้งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรม รายละเอียดหรือข้อเท็จจริงของสิ่งที่ต้องการศึกษานั้น แบ่งตามหลักการวัดผลได้ 4 ประเภท ซึ่งเป็นการแบ่งตามลักษณะของข้อมูล ดังนี้

ข้อมูลประเภทที่ 1 คือ ข้อมูลที่มีความหมายที่สุด ซึ่งบอกได้แต่เพียงชื่อเท่านั้น (Nominal Scale) รายละเอียดของข้อมูลประเภทนี้ไม่สามารถกำหนดเป็นตัวเลขได้ แต่สามารถรวมข้อมูลได้

ข้อมูลประเภทที่ 2 คือ ข้อมูลที่สามารถวัดได้และนำผลการวัดมาจัดลำดับได้ (Ordinal Scale) ข้อมูลประเภทนี้ให้รายละเอียดที่มีทั้งชื่อและคุณลักษณะที่สามารถนำมาจัดลำดับที่หรือเรียงลำดับที่ได้

ข้อมูลประเภทที่ 3 คือ ข้อมูลที่สามารถวัดได้เป็นช่วงคะแนน (Interval Scale) ข้อมูลประเภทช่วงคะแนน หมายถึง ข้อมูลที่ให้รายละเอียดได้ลึกซึ้งถึงปริมาณของข้อมูลแต่ละหน่วย เมื่อบอกปริมาณ ได้ก็ย่อมนำมาจัดเรียงลำดับที่ได้

ข้อมูลประเภทที่ 4 คือ ข้อมูลประเภทช่วงคะแนนที่มีค่าศูนย์สัมบูรณ์ (Ratio Scale)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประเภทนี้บางทีก็เรียกว่า ข้อมูลประเภทอัตราส่วน ซึ่งหมายถึงว่าถ้ามีศูนย์สัมบูรณ์ก็นำมาเปรียบเทียบกันได้

4.3 ค่าสถิติเบื้องต้น

4.3.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิตหรือค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean or Mean)

สัญลักษณ์ที่ใช้ :

μ เป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิตที่คำนวณได้จากข้อมูลประชากร
 \bar{X} เป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิตที่คำนวณได้จากข้อมูลตัวอย่าง

4.3.1.1 กรณีที่ข้อมูลยังไม่ได้แจกแจงความถี่ (Ungrouped Data)

ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลที่ไม่ได้แจกแจงความถี่ จะหาจากผลรวมของทุกค่าของข้อมูลทั้งหมดหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$\text{ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของประชากร } (\mu) = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (4.1)$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของตัวอย่าง } (\bar{X}) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (4.2)$$

เมื่อ N เป็นขนาดของข้อมูลประชากร

n เป็นขนาดของข้อมูลตัวอย่าง

4.3.1.2 กรณีที่ข้อมูลแจกแจงความถี่ (Grouped Data)

เมื่อนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาสร้างเป็นตารางแจกแจงความถี่ สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิต ได้ดังนี้

$$\text{ค่าเฉลี่ยเลขคณิต} = \frac{\sum_{i=1}^c f_i X_i}{\sum_{i=1}^c f_i} \quad (4.3)$$

เมื่อ f_i เป็นความถี่ของชั้นที่ i

X_i เป็นจุดกึ่งกลาง (Mid Point) ของชั้นที่ i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ **สงวนเป็นจำนวนชั้นของข้อมูล** การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 มัชยฐาน (Median)

เมื่อนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาทำการเรียงลำดับข้อมูล จะได้ว่าค่าที่อยู่กึ่งกลางของข้อมูล เรียกว่า มัชยฐาน นั่นก็คือ มัชยฐานจะทำหน้าที่แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆกัน โดยส่วนหนึ่งจะเป็นค่าของข้อมูลที่น้อยกว่ามัชยฐาน และอีกส่วนหนึ่งจะเป็นค่าของข้อมูลที่มากกว่ามัชยฐาน

4.3.2.1 กรณีที่ข้อมูลยังไม่ได้แจกแจงความถี่ (Ungrouped Data)

ถ้าให้ n เป็นจำนวนข้อมูลที่เรียงลำดับจากน้อยไปหามาก หรือเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ดังนั้น มัชยฐานของข้อมูลจะหาได้จากข้อมูลในตำแหน่งที่ $\frac{n+1}{n}$

4.3.2.2 กรณีที่ข้อมูลแจกแจงความถี่ (Grouped Data)

เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงความถี่ การหามัชยฐานสามารถอาศัยการเปรียบเทียบบัญชียุติ ไตรยางค์ ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$Med = L + \frac{I \left(\frac{n}{2} - Cuf \right)}{f_m} \quad (4.4)$$

เมื่อตารางความถี่สะสมเป็นแบบชนิดน้อยกว่า

- โดยที่
- L เป็นค่าขอบเขตล่างของชั้นที่มีมัชยฐานตกอยู่
 - I เป็นความกว้างของอันตภาคชั้นที่มีมัชยฐานตกอยู่
 - $\frac{n}{2}$ เป็นตำแหน่งข้อมูลที่เป็นมาตรฐาน เมื่อ n เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมด
 - Cuf เป็นความถี่สะสมที่ต่ำกว่าชั้นของมัชยฐานตกอยู่
 - f_m เป็นความถี่ของชั้นที่มีมัชยฐานตกอยู่

4.3.3 ความแปรปรวนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Variance and Standard Deviation)

ความแปรปรวนเป็นค่าวัดการกระจายของค่าเฉลี่ยของผลต่างยกกำลังสองของข้อมูลแต่ละค่ากับค่าเฉลี่ย

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นค่าที่ถอดรากที่สองของความแปรปรวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.1 กรณีที่ข้อมูลไม่ได้แจกแจงความถี่ (Ungrouped data)

สามารถหาได้จากสูตรดังนี้

ก. ข้อมูลประชากร

$$\text{ความแปรปรวนของประชากร} \quad (\sigma^2) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2 \quad (4.5 \text{ a})$$

$$\text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร} \quad (\sigma) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2} \quad (4.5 \text{ b})$$

เมื่อ N เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมดของประชากร

ข. ข้อมูลตัวอย่าง

$$\text{ความแปรปรวนของตัวอย่าง} \quad (S^2) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (4.6 \text{ a})$$

$$\text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง} \quad (S) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (4.6 \text{ b})$$

เมื่อ n เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมดของตัวอย่าง

4.3.3.2 กรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงความถี่ (Grouped Data)

สามารถหาได้จากสูตรดังนี้

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^C f_i (X'_i - \mu)^2 \quad (4.7)$$

และ

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^C f_i (X'_i - \bar{X})^2 \quad (4.8)$$

เมื่อ f_i เป็นความถี่ของชั้นที่ i

X'_i เป็นจุดกึ่งกลาง (Mid Point) ของชั้นที่ i

C เป็นจำนวนชั้นของข้อมูล

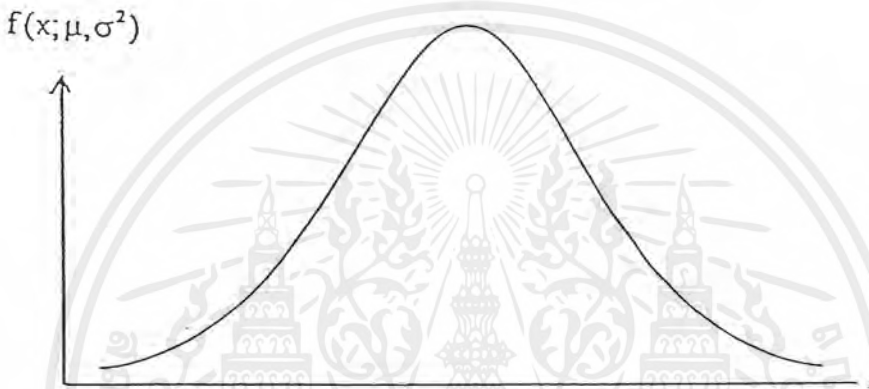
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

นิยาม ถ้า X เป็นตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่องที่มีการแจกแจงแบบปกติด้วยค่าเฉลี่ย μ และความแปรปรวน σ^2 ฟังก์ชัน $P.d.f.$ ของ X คือ

$$f(x, \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}; -\infty < x < \infty \quad (4.9)$$

สามารถเขียนกราฟได้ดังนี้

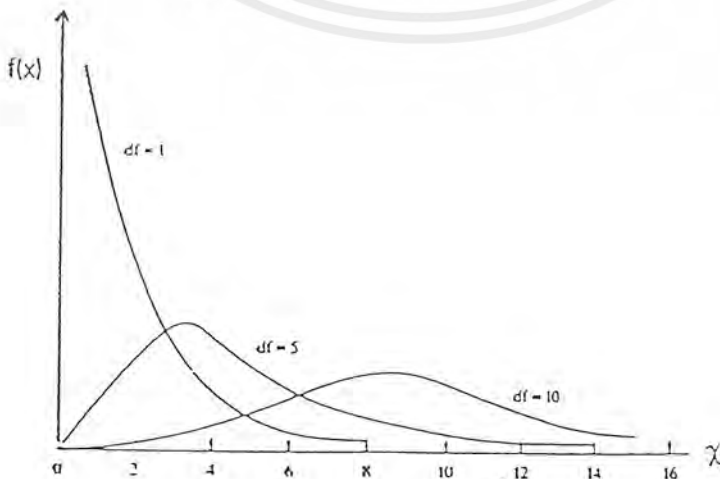


รูปที่ 4.1 การแจกแจงแบบปกติ

4.5 การแจกแจงแบบไคสแควร์ (Chi-square Distribution)

นิยาม ถ้า X เป็นตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่องที่มีการแจกแจงแบบไคสแควร์ด้วยพารามิเตอร์ v ฟังก์ชัน $P.d.f.$ ของ X คือ

$$f(x, v) = \frac{1}{2^{\frac{v}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{v}{2}\right)} \cdot e^{-\frac{x}{2}} \cdot x^{\frac{v}{2}-1}; x > 0 \quad (4.10)$$



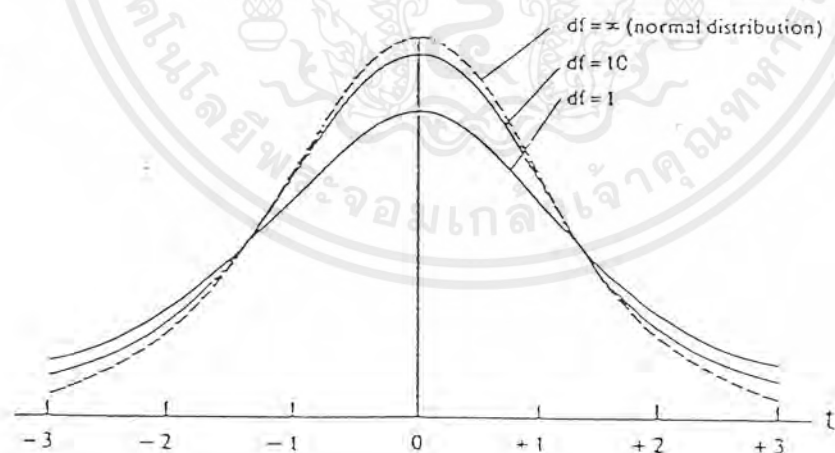
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ **รูปที่ 4.2** ทรัพย์สินของ **การแจกแจงแบบไคสแควร์** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การแจกแจงแบบที (T-Distribution)

นิยาม ถ้า Z เป็นตัวแปรสุ่มปกติมาตรฐาน และ U เป็นตัวแปรสุ่มไคสแควร์ด้วยองศาของความเป็นอิสระ = ν และถ้า Z และ U เป็นอิสระกัน ดังนั้น $X = \frac{Z}{\sqrt{U/\nu}}$ จะเรียก X ว่ามีการแจกแจงแบบทีด้วยองศาของความเป็นอิสระ = ν และฟังก์ชัน $P.d.f.$ ของ X คือ

$$f(x; \nu) = \frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)\sqrt{\pi\nu}} \left(1 + \frac{x^2}{\nu}\right)^{-\frac{\nu+1}{2}} \quad ; -\infty < x < \infty \quad (4.11)$$

สามารถเขียนกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 4.3 การแจกแจงแบบที

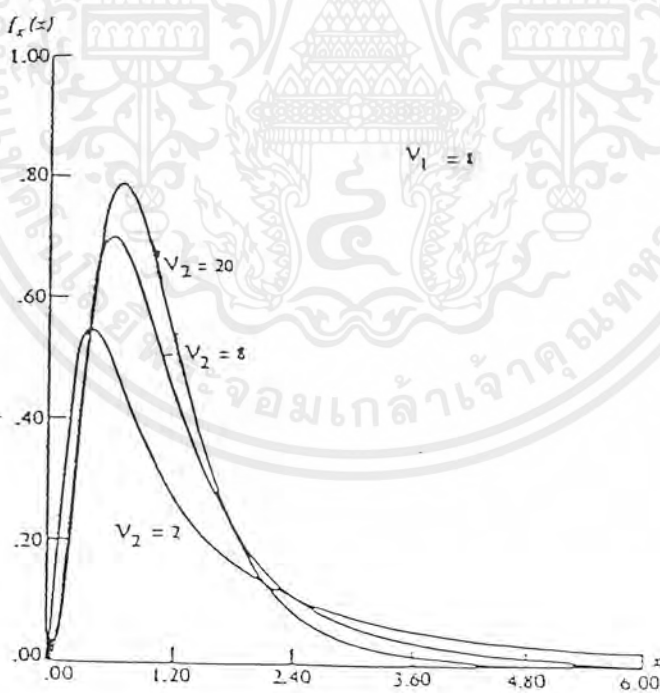
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การแจกแจงแบบเอฟ (F-Distribution)

นิยาม ถ้าให้ u และ v เป็นตัวแปรสุ่มอิสระที่มีการแจกแจงแบบไคสแควร์ด้วยองศาของความเป็นอิสระ v_1 และ v_2 ตามลำดับ การแจกแจงตัวแปรสุ่ม X ซึ่งเกิดจาก $X = \frac{u/v_1}{v/v_2}$ เรียกว่าการแจกแจงแบบเอฟด้วยองศาของความเป็นอิสระ v_1 และ v_2 และฟังก์ชัน *P.d.f.* ของ X คือ

$$f(x; v_1, v_2) = \frac{\Gamma\left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{v_1}{2}\right)\Gamma\left(\frac{v_2}{2}\right)} \cdot \frac{x^{v_1/2 - 1}}{\left(1 + \frac{v_1}{v_2} \cdot x\right)^{\frac{v_1 + v_2}{2}}} ; x > 0 \quad (4.12)$$

และสามารถเขียนกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 4.4 การแจกแจงแบบเอฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 สัมประสิทธิ์ของการกระจาย (Coefficient of Variation หรือ C.V.)

เป็นค่าวัดการกระจายของข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไป ซึ่งข้อมูลแต่ละชุดมักจะมีหน่วยของข้อมูลที่แตกต่างกัน ดังนั้น สัมประสิทธิ์ของการกระจายจะเป็นค่าที่ไม่มีหน่วย จึงนิยมให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ ซึ่งหาได้จากสูตรดังนี้

$$\text{สัมประสิทธิ์ของการกระจาย (C.V.)} = \frac{S}{X} \times 100\% \quad (4.13)$$

4.9 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

4.9.1 ความหมายของการทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานเป็นส่วนหนึ่งของสถิติอนุมาน เพื่อใช้ในการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของประชากรที่เราต้องการทราบ ว่าเป็นไปตามความเชื่อที่คิดไว้หรือไม่ ดังนั้น สมมติฐานในที่นี้จะหมายถึงสมมติฐานทางสถิติ (Statistical hypothesis)

สมมติฐานทางสถิติ คือ ข้อความที่เกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ของประชากร ซึ่งอาจจะเป็นจริงหรือไม่เป็นจริงก็ได้ จึงทำการทดสอบสมมติฐาน โดยอาศัยกลุ่มตัวอย่าง เพื่อช่วยในการตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่เราตั้งไว้หรือไม่

4.9.2 ชนิดของสมมติฐานทางสถิติ

1. สมมติฐานจริง (Null hypothesis) เป็นข้อความเกี่ยวกับความจริงของประชากร และมีค่าที่แน่นอน สัญลักษณ์ที่ใช้คือ H_0
2. สมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis) เป็นสมมติฐานที่ตรงกันข้ามกับสมมติฐานจริง สัญลักษณ์ที่ใช้คือ H_a

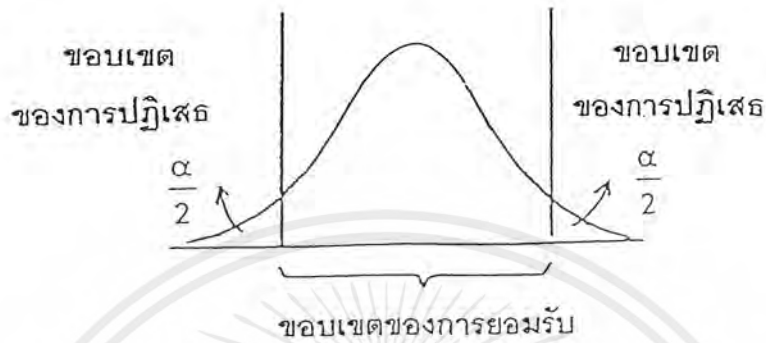
4.9.3 แบบการทดสอบสมมติฐาน

แบบการทดสอบสมมติฐานจะมีลักษณะใดขึ้นอยู่กับที่ตั้งสมมติฐาน ดังนี้

1. แบบการทดสอบ เมื่อ $H_0 : \theta = \theta_0$ และ $H_a : \theta \neq \theta_0$

การหาช่วงสำหรับทดสอบต้องทำ 2 ทาง การทดสอบแบบนี้เรียกว่า การทดสอบแบบสองทาง (Two – tailed Test) และช่วงการยอมรับ (Accept) และการปฏิเสธ (Reject) สมมติฐานจริง (H_0)

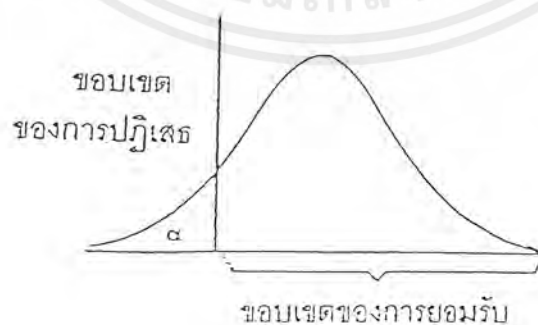
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การทดสอบแบบ 2 ทาง

2. แบบการทดสอบเมื่อ $H_0 : \theta = \theta_0$ และ $H_a : \theta < \theta_0$

การทำช่วงสำหรับทดสอบต้องเพียงทางเดียว การทดสอบแบบนี้เรียกว่า การทดสอบแบบทางเดียว (One-tailed Test) และช่วงของการยอมรับและการปฏิบัติสมมติฐานจริง (H_0)

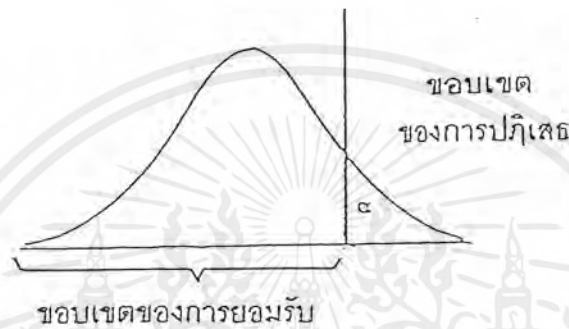


รูปที่ 4.6 การทดสอบแบบทางเดียวเมื่อ $H_a : \theta < \theta_0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การทดสอบเมื่อ $H_0 : \theta = \theta_0$ และ $H_a : \theta > \theta_0$

การหาช่วงสำหรับทดสอบจะทำเพียงทางเดียวเช่นกัน การทดสอบแบบนี้เรียกว่า การทดสอบแบบทางเดียว และช่วงของการยอมรับและการปฏิเสธสมมติฐานจริง (H_0) จะเป็น ดังรูป



รูปที่ 4.7 การทดสอบแบบทางเดียว เมื่อ $H_a : \theta > \theta_0$

4.9.4 ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐาน มีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. การตั้งสมมติฐาน จะต้องมทั้งสมมติฐานจริง (H_0) และสมมติฐานแย้ง (H_a)
2. การคำนวณค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบจะอยู่ภายใต้ H_0 อาจจะเป็นค่า Z , t , X^2 หรือ F ขึ้นอยู่กับการแจกแจงของตัวอย่างสุ่ม
3. กำหนดระดับนัยสำคัญ ซึ่งส่วนใหญ่จะกำหนดให้
4. หาเขตวิกฤต (Critical region) เป็นการหาขอบเขตของการปฏิเสธสมมติฐานจริง (H_0) โดยพิจารณาจากสมมติฐานแย้ง (H_a) ที่ได้ตั้งไว้แล้ว และระดับนัยสำคัญ ที่กำหนดไว้ข้างต้น
5. สรุปผลการทดสอบ จะสรุปผลจากค่าสถิติที่คำนวณได้กับเขตวิกฤต ดังนี้
 - ปฏิเสธ (Reject) สมมติฐานจริง (H_0) เมื่อค่าสถิติที่คำนวณได้ตกอยู่ในช่วงของการปฏิเสธ หรือเขตวิกฤต
 - ยอมรับ (Accept) สมมติฐานจริง (H_0) เมื่อคำนวณได้ตกอยู่ในขอบเขตของการยอมรับ หรือนอกเขตวิกฤต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.5 ความคลาดเคลื่อนในการทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐานอาจเกิดความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อน (Error) ในการทดสอบได้ ซึ่งสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ

1. ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (Type I Error)
เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อ H_0 นั้นเป็นจริงและให้ความน่าจะเป็นในการเกิดความคลาดเคลื่อนนี้เท่ากับ α
2. ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 2 (Type II Error)
เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการยอมรับสมมติฐาน H_0 เมื่อ H_0 นั้นไม่จริงและให้ความน่าจะเป็นในการเกิดความคลาดเคลื่อนนี้เท่ากับ β

สามารถเขียนความคลาดเคลื่อนทั้งสองดังตารางต่อไปนี้

การตัดสินใจภายใต้ H_0	เมื่อ H_0 เป็นจริง	เมื่อ H_0 ไม่เป็นจริง
ปฏิเสธ H_0	Type I Error	การตัดสินใจถูกต้อง
ยอมรับ H_0	การตัดสินใจถูกต้อง	Type II Error

ตารางที่ 4.1 ความคลาดเคลื่อนในการทดสอบสมมติฐาน

จะเห็นว่าในการทดสอบสมมติฐาน จะกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ α ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 นั้นเอง

4.10 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

ในวิธีการทางสถิติสามารถจะนำเอาการวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์มาช่วยในการตัดสินใจได้ กล่าวคือ การวิเคราะห์การถดถอยจะช่วยคาดคะเนหรือแนวโน้มของข้อมูล ส่วนสหสัมพันธ์จะศึกษาความสัมพันธ์ของข้อมูล

4.10.1 ความหมายของการถดถอย (Regression)

การถดถอยเป็นวิธีทางสถิติที่นำเอาข้อมูลมาสร้างรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยกำหนดให้สิ่งที่สนใจเป็นตัวแปรตาม (Dependent variable) ซึ่งใช้สัญลักษณ์เป็น Y ส่วนตัวแปรที่เหลือจะเรียกว่าตัวแปรอิสระ (Independent variable) ซึ่งใช้สัญลักษณ์เป็น X ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่มีตัวแปรอิสระหลายตัว ก็อาจใช้สัญลักษณ์เป็น X_1, X_2, \dots, X_k ดังนั้น จึงสามารถเขียนรูปแบบความสัมพันธ์ให้อยู่ในเชิงคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

$$Y = f(X) \quad (4.14 a)$$

$$\text{หรือ} \quad Y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad \text{เมื่อ } k \geq 2 \quad (4.14 b)$$

4.10.2 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

ในการถดถอยจะประกอบไปด้วยตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ ซึ่งสามารถนำมาสร้างรูปแบบความสัมพันธ์ได้ดังนี้

ก. รูปแบบที่ 1 การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Model)

เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) และตัวแปรอิสระ (X) เพียงตัวเดียวให้อยู่ในเชิงเส้นตรง และมีฟังก์ชันดังนี้

$$Y = f(X)$$

ข. รูปแบบที่ 2 การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression Model)

เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) และตัวแปรอิสระ (X) 2 ตัวหรือมากกว่าให้อยู่ในเชิงเส้น และมีฟังก์ชันดังนี้

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad \text{เมื่อ } k \geq 2$$

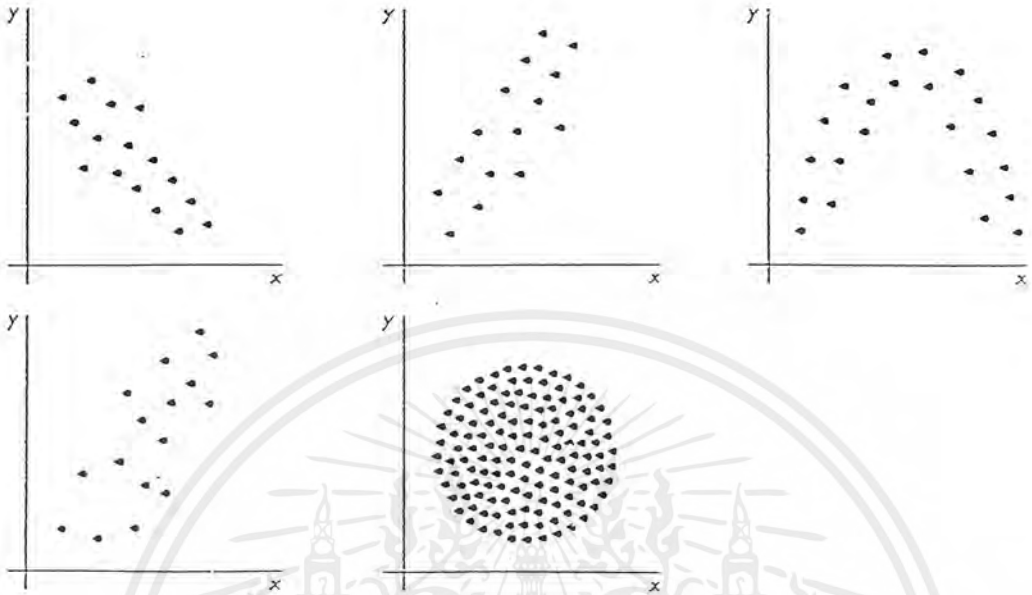
ค. รูปแบบที่ 3 การถดถอยไม่เชิงเส้น (Nonlinear Regression Model)

การถดถอยไม่เป็นเชิงเส้นหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การถดถอยแบบเส้นโค้ง (Curvilinear Regression Model) เป็นลักษณะของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นโค้งมากกว่าเส้นตรง ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียวหรือมากกว่า

4.10.3 แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram)

แผนภาพการกระจายจะช่วยในการดูแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) และตัวแปรอิสระ (X) ได้ โดยนำเอาข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้มากำหนดจุดบนแกน X และ Y ดังรูปที่ 4.8

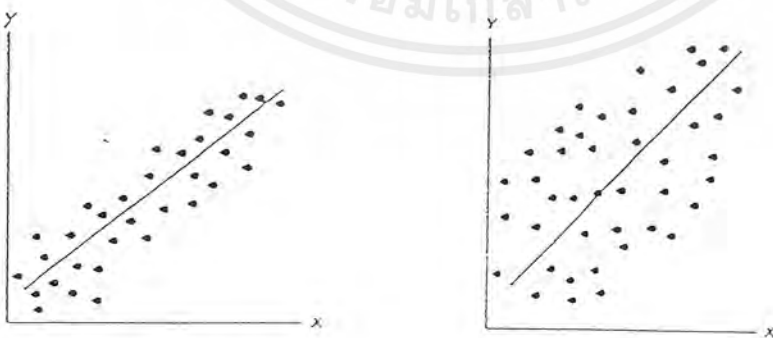
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แผนภาพการกระจายของตัวแปร X และ Y

4.10.4 เส้นถดถอย (Regression Line)

เส้นถดถอยจะเป็นเส้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) และตัวแปรอิสระ (X) ดังรูปที่ 4.9



(ก) ความสัมพันธ์ในเชิงบวก

(ข) ความสัมพันธ์ในเชิงบวก

แต่มีการกระจายของข้อ มูล > รูป (ก)

รูปที่ 4.9 เส้นถดถอยของตัวแปร X และ Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเส้นการถดถอยในรูปที่ 2 ถ้าให้ α เป็นตัวแกน Y (Y - Intercept) ของเส้นตรงและให้ β เป็นค่าความชัน (Slope) ของเส้นตรง ในทางคณิตศาสตร์สามารถเขียนสมการเส้นตรงแทนเส้นการถดถอยได้ดังนี้

$$\mu_{Y.X} = \alpha + \beta X_i \quad (4.15)$$

เมื่อ $\mu_{Y.X}$ คือค่าของ Y บนเส้นการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์กับค่า X ต่างๆ เรียกสมการนี้ว่า สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Equation)

ถ้ากำหนดให้ ε (Epsilon) เป็นผลต่างระหว่างค่า Y ที่แท้จริงกับค่า $\mu_{Y.X}$ จะได้ว่า

$$\varepsilon_i = Y_i - \mu_{Y.X} \quad (4.16 a)$$

หรือ

$$\begin{aligned} Y_i &= \mu_{Y.X} + \varepsilon_i \\ &= \alpha + \beta X_i + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (4.16 b)$$

ดังนั้นค่า ε_i จะเป็นค่าความคลาดเคลื่อน (Error Term) และมีลักษณะสำคัญบางประการ (Classical Assumption) ดังนี้

- 1) ผลรวมของ มีค่าเท่ากับ 0

$$\sum \varepsilon_i = 0 \text{ หรือ } E(\varepsilon_i) = 0 \quad (4.17 a)$$

- 2) ค่าความแปรปรวนของ ในแต่ละประชากรย่อยจะต้องเท่ากัน

$$V(\varepsilon_i) = \sigma^2 \quad (4.17 b)$$

- 3) ค่าของ ε_i จะต้องมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution)

$$\varepsilon_i \approx N(0, \sigma^2) \quad (4.17 c)$$

- 4) ค่าของ ε_i กับ (เมื่อ $i \neq j$) จะต้องเป็นอิสระกัน

$$E(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0 ; i \neq j \quad (4.17 d)$$

แต่ในทางปฏิบัติ จะไม่สามารถศึกษาข้อมูลประชากรได้ จึงทำการศึกษาข้อมูลที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างเท่านั้น ดังนั้น ตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของข้อมูลตัวอย่าง (Sample Simple Linear Regression Model) คือ

$$Y_i = a + bX_i + e_i ; i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของข้อมูลตัวอย่าง (Sample Simple Linear Regression) คือ

$$\hat{Y} = a + bX_i \quad (4.19)$$

เมื่อ a คือ ค่าที่เส้นการถดถอยตัดแกน Y (Y -Intercept)

b คือ ค่าความชัน (Slope) ของเส้นการถดถอย และเรียก b ว่าสัมประสิทธิ์ของการถดถอย (Coefficient of Regression)

และ $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น

จากสมการข้างต้นจะได้ค่าของ \hat{Y}_i , a และ b จะเป็นค่าประมาณของ $\mu_{Y.X}$, α

และ β ตามลำดับ ดังนั้น เมื่อต้องการใช้เส้นการถดถอยจากสมการตัวประมาณ \hat{Y}_i , a และ b จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. ความไม่เอนเอียง (Unbiasness) หมายถึง ตัวประมาณ \hat{Y}_i , a และ b จะต้องเป็นตัวประมาณค่าที่ไม่เอนเอียงของ $\mu_{Y.X}$, α และ β ตามลำดับ
2. ความแปรปรวนต่ำสุด (Minimum variance) หมายถึง ความแปรปรวนของ \hat{Y}_i , a และ b จะต้องมีค่าน้อยที่สุด

ในการหาค่า a, b มีอยู่หลายวิธี แต่มีอยู่วิธีหนึ่งที่นิยมใช้มากที่สุดก็คือ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method)

4.10.5 วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method)

เป็นวิธีการที่ใช้หาค่า a และ b ของสมการที่ให้คุณสมบัติความไม่เอนเอียงและความแปรปรวนต่ำสุด ตามที่กล่าวมาข้างต้นได้โดยอาศัยหลักการที่ว่า

1. $\sum e_i = 0$
2. $\sum e_i^2$ มีค่าน้อยที่สุด

4.1.5.1 ขั้นตอนในการหาค่า a และ b

ขั้นที่ 1 สร้างสมการปกติ (Normal Equation)

จากตัวแบบ

$$y_i = a + bX_i + e_i \quad (4.20 a)$$

$$\therefore e_i = y_i - a - bX_i \quad (4.20 b)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับทำใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาศัยคุณสมบัติของวิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยพิจารณาจากผลบวกกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อนจะต้องมีค่าน้อยที่สุด จะได้ดังนี้

$$e_i = y_i - a - bX_i \quad (4.20 \text{ c})$$

$$e_i^2 = (y_i - a - bX_i)^2 \quad (4.20 \text{ d})$$

$$\sum e_i^2 = \sum (y_i - a - bX_i)^2 \text{ จะต้องมีค่าน้อยที่สุด}$$

โดยอาศัยความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์ ด้วยการดิฟเฟอเรนทิเอท (Differentiate) ค่า $\sum e_i^2$ เทียบกับ a และ b แล้วกำหนดให้เท่ากับ 0 ก็จะได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ ดังต่อไปนี้

$$\frac{\partial \sum e_i^2}{\partial a} = -2 \sum (y_i - a - bX_i) = 0 \quad (4.21 \text{ a})$$

จะได้ $\sum Y_i = na + b \sum X_i \quad (4.21 \text{ b})$

$$\frac{\partial \sum e_i^2}{\partial b} = -2 \sum X_i (y_i - a - bX_i) = 0 \quad (4.22 \text{ a})$$

จะได้ $\sum X_i Y_i = a \sum X_i + b \sum X_i^2 \quad (4.22 \text{ b})$

ดังนั้น สมการปกติ คือ

$$\sum Y_i = na + b \sum X_i \quad (4.23)$$

$$\sum X_i Y_i = a \sum X_i + b \sum X_i^2 \quad (4.24)$$

ขั้นที่ 2 คำนวณหาค่า a และ b โดยวิธีพีชคณิต จะได้

$$b = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \quad (4.25 \text{ a})$$

หรือ $b = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (4.25 \text{ b})$

ถ้าให้ $x_i = (X_i - \bar{X}) \quad (4.26)$

$$y_i = (Y_i - \bar{Y}) \quad (4.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จะได้} \quad b = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2} \quad (4.28)$$

$$\text{และ} \quad a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (4.29)$$

4.10.5.2 คุณสมบัติของ a และ b

จากสูตรที่ใช้ในการคำนวณค่า a และ b ดังที่กล่าวมาข้างต้น จะพิจารณาคงสมบัติที่สำคัญของ a และ b ในแง่ของ

- 1) a และ b เป็นตัวประมาณค่าที่ไม่เอนเอียงของ α และ β ตามลำดับ
- 2) หาความแปรปรวนของ a และ b คือ $V(a)$ และ $V(b)$

ก. พิจารณาตัวประมาณค่า b

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad b &= \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \\ &= \frac{\sum x_i (Y_i - \bar{Y})}{\sum x_i^2} \quad (\text{ให้ } x_i = X_i - \bar{X}) \\ &= \frac{\sum x_i Y_i - \sum x_i \bar{Y}}{\sum x_i^2} \\ &= \frac{\sum x_i Y_i}{\sum x_i^2} \end{aligned} \quad (4.30 \text{ a})$$

$$\begin{aligned} b &= \frac{\sum x_i (\alpha + \beta X_i + \varepsilon_i)}{\sum x_i^2} \\ &= \beta + \frac{\sum x_i \varepsilon_i}{\sum x_i^2} \end{aligned} \quad (4.30 \text{ b})$$

$$\begin{aligned} \therefore E(b) &= E\left[\beta + \frac{\sum x_i \varepsilon_i}{\sum x_i^2}\right] \\ &= \beta + \frac{\sum x_i E(\varepsilon_i)}{\sum x_i^2} \\ &= \beta \quad (\because E(\varepsilon_i) = 0) \end{aligned} \quad (4.31)$$

ข. พิจารณาตัวประมาณค่า a

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad a &= \bar{Y} - b\bar{X} \\ &= (\alpha + b\bar{X} + \bar{\varepsilon}) - b\bar{X} \end{aligned} \quad (4.32 \text{ a})$$

$$= \alpha + \bar{\varepsilon} \quad (4.32 \text{ b})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีสืบค้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ (4.32 b) ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \therefore E(a) &= E(\alpha + \bar{\varepsilon}) \\
 &= \alpha + E(\bar{\varepsilon}) \\
 &= \alpha \quad (\because E(\bar{\varepsilon}) = 0)
 \end{aligned} \tag{4.33}$$

ดังนั้น จะได้ว่า a และ b เป็นตัวประมาณค่าที่ไม่เอนเอียงของ α และ β ตามลำดับ

ก. หาคความแปรปรวนของ b

$$\text{จาก } b = \beta + \frac{\sum x_i \varepsilon_i}{\sum x_i^2} \tag{4.34}$$

$$\begin{aligned}
 V(b) &= V\left(\beta + \frac{\sum x_i \varepsilon_i}{\sum x_i^2}\right) \\
 &= \frac{1}{(\sum x_i^2)^2} \cdot \sum x_i^2 V(\varepsilon_i) \\
 &= \frac{1}{(\sum x_i^2)^2} \cdot \sum x_i^2 \sigma^2 \\
 &= \frac{\sigma^2}{\sum x_i^2}
 \end{aligned} \tag{4.35}$$

ง. หาคความแปรปรวนของ a

หาในทำนองเดียวกันกับ $V(b)$ จะได้

$$V(a) = \sigma^2 \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{\sum x_i^2} \right) \tag{4.36}$$

4.10.5.3 การตีความหมายของค่า a และ b

1) การตีความหมายของค่า a

ค่า a จะเป็นค่าที่แสดงถึงจุดตัดบนแกน Y (Y -Intercept) นั่นคือ ถ้า $X = 0$ ค่า Y จะเท่ากับ a และค่า a มีค่าได้ทั้งบวกและลบ หรือ เท่ากับศูนย์

2) การตีความหมายของค่า b

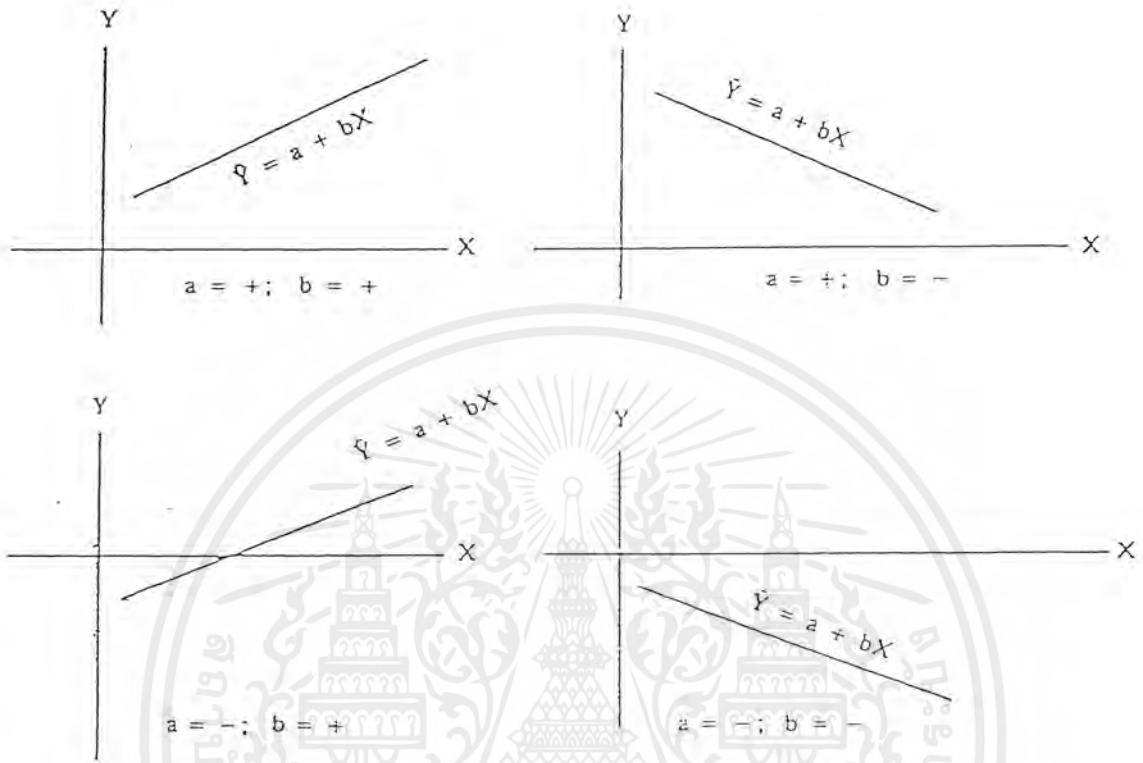
ค่า b คือ ความลาดชัน (Slope) เส้นการถดถอยมีค่าได้ทั้งบวกและลบหรือเท่ากับมีความหมายดังนี้

ถ้า $b > 0$ แสดงว่า ตัวแปร X กับตัวแปร Y มีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน

ถ้า $b < 0$ แสดงว่า ตัวแปร X กับตัวแปร Y มีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้าม

ถ้า $b = 0$ แสดงว่า ตัวแปร X กับตัวแปร Y ไม่มีความสัมพันธ์กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ค่า a และ b ของความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y

4.10.6 การประมาณค่า Y จากสมการถดถอย

จากการสร้างสมการถดถอยเพื่อใช้ในการประมาณค่า Y หรือการคาดคะเนค่า Y โดยการกำหนดค่าตัวแปรอิสระ (X) ก็จะได้ค่าคาดคะเนของ Y

4.10.7 ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า

(The Standard Error of Estimate)

สมการถดถอยที่สร้างขึ้น จะใช้ในการประมาณค่าของ Y และจะใช้ได้ผลดีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูล กล่าวคือ ถ้าข้อมูลที่รวบรวมมาได้มีการกระจายห่างจากเส้นถดถอยน้อย ความถูกต้องของการประมาณค่า Y จะมีมาก แต่ในทางกลับกันถ้าข้อมูลมีการกระจายห่างจากเส้นถดถอยมาก ความถูกต้องของการประมาณค่า Y จะมีค่าน้อย ซึ่งค่าการกระจายดังกล่าวสามารถอยู่ในรูปของความแตกต่างระหว่างค่า Y_i กับ \hat{Y}_i หรือค่าความคลาดเคลื่อน e ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จาก } e_i = Y_i - \hat{Y}_i \quad (4.37 \text{ a})$$

$$\sum e_i^2 = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (4.37 \text{ b})$$

$$\text{และ } \frac{\sum e_i^2}{df} = \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-2} = S_{Y.X}^2 \quad (4.37 \text{ c})$$

$$\sqrt{\frac{\sum e_i^2}{df}} = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-2}} = S_{Y.X} \quad (4.37 \text{ d})$$

เรียก $S_{Y.X}^2$ ว่า ความแปรปรวนของการประมาณค่า (Variance of Estimate)

และ $S_{Y.X}$ ว่า ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า (Standard Error of Estimate)

จากที่กล่าวมาข้างต้นในการหาค่า $V(a)$ และ $V(b)$ จะมีค่าดังนี้

$$V(a) = \sigma^2 \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{\sum x_i^2} \right) \quad (4.38 \text{ a})$$

และ

$$V(b) = \frac{\sigma^2}{\sum x_i^2} \quad (4.38 \text{ b})$$

เนื่องจากค่า σ^2 จะเป็นค่าที่ไม่ทราบ จึงประมาณค่า σ^2 ด้วย $S_{Y.X}^2$ ดังนั้นจะได้

$$\hat{V}(a) = S_{Y.X}^2 \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{\sum x_i^2} \right) \quad (4.39 \text{ a})$$

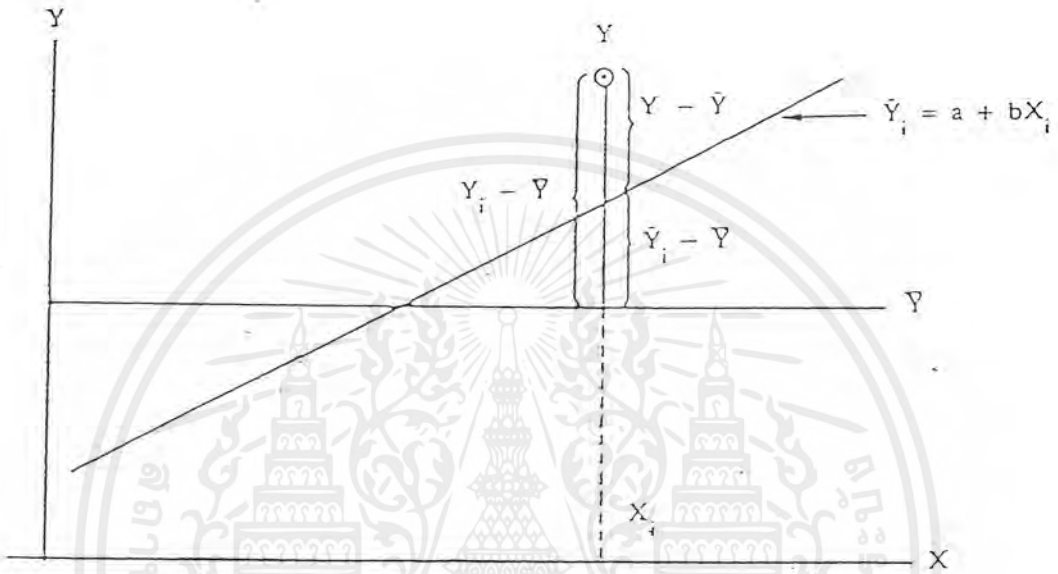
และ

$$\hat{V}(b) = \frac{S_{Y.X}^2}{\sum x_i^2} \quad (4.39 \text{ b})$$

ในการหาค่า สามารถคำนวณได้จากสูตรดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ใน

รูปที่ 4.11 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงวิธีแยกการกระจายของข้อมูลต่างๆ ออกเป็นหลายส่วน

จากรูปจะเห็นว่า

$$Y_i - \bar{Y} = (\hat{Y}_i - \bar{Y}) + (Y_i - \hat{Y}_i) \tag{4.40}$$

$$\sum (Y_i - \bar{Y})^2 = \sum [(\hat{Y}_i - \bar{Y}) + (Y_i - \hat{Y}_i)]^2 \tag{4.41 a)}$$

$$= \sum [(\hat{Y}_i - \bar{Y}) + 2(\hat{Y}_i - \bar{Y})(Y_i - \hat{Y}_i) + (Y_i - \hat{Y}_i)^2]$$

$$= \sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 + 2\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})(Y_i - \hat{Y}_i) + \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \tag{4.41 b)}$$

ถ้าทำการกระจายค่าของ $\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})(Y_i - \hat{Y}_i)$ จะมีค่าเท่ากับ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ซึ่งห้ามเพื่อการค้าหรือเพื่อประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น
$$\sum (y_i - \bar{y})^2 = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4.42)$$

ค่า $\sum (y_i - \bar{y})^2$ เรียกว่า ผลบวกกำลังสองของการกระจายทั้งหมด (Total Sum Square) เขียนแทนด้วย *SST*

ค่า $\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2$ เรียกว่า ผลบวกกำลังสองของการกระจายที่อธิบายได้ (Explained Sum Square) หรือ ผลบวกกำลังสองของการถดถอย (Regression Sum Square) เขียนแทนด้วย *SSR*

ค่า $\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$ เรียกว่า ผลบวกกำลังสองของการกระจายที่อธิบายไม่ได้ (Unexplained Sum Square) หรือผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Error Sum Square) เขียนแทนด้วย *SSE*

ดังนั้น จะได้ว่า
$$SST = SSR + SSE \quad (4.43)$$

และในการคำนวณค่า *SST*, *SSR* และ *SSE* สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$SST = \sum (y_i - \bar{y})^2 = \sum y_i^2 - \frac{(\sum Y_i)^2}{n} \quad (4.44)$$

$$SSR = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 = \sum (a + bX_i - \bar{y})^2 \quad (4.45)$$

$$= \sum (\bar{y} - b\bar{X} + bX_i - \bar{y})^2$$

$$= \sum (-b\bar{X} + bX_i)^2$$

$$= b^2 \sum (X_i - \bar{X})^2$$

$$= b^2 \sum x_i^2$$

$$SSR = b \sum x_i y_i \quad (4.46)$$

$$SSE = SST - SSR \quad (4.47)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$S_{r \cdot x}^2 = \frac{SSE}{n-2} \quad (4.48 \text{ a})$$

$$= \frac{SST - SSR}{n-2} \quad (4.48 \text{ b})$$

4.10.8 สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination)

สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ จะเป็นตัววัดความแม่นยำของสมการถดถอยที่ได้ จากข้อมูลตัวอย่าง ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนระหว่างผลรวมกำลังสองของการกระจายที่อธิบายได้ผลรวมกำลังสองของการกระจายทั้งหมด หรือหาได้จากสูตร ดังนี้

$$\text{สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ} : r^2 = \frac{SSR}{SST} \quad (4.49 \text{ a})$$

$$= 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (4.49 \text{ b})$$

คุณสมบัติของ r^2

1) ค่า r^2 มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 คือ $0 \leq r^2 \leq 1$ หรือเขียนอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ $0\% \leq r^2 \leq 100\%$

2) ถ้าค่า r^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระ X มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม Y มากถ้าค่า r^2 มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่า ตัวแปรอิสระ X มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม Y น้อย

กรณีที่ข้อมูลตัวอย่างมีขนาดเล็ก ค่า r^2 ที่คำนวณได้จะมีค่าสูงกว่าที่ควรจะเป็น (Positive Biased) ดังนั้น ควรจะทำการปรับค่า r^2 ด้วยค่า \bar{r}^2 โดยการปรับค่าองศาแห่งความอิสระ (df) ดังนี้

$$\text{สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว} : \bar{r}^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \cdot \frac{n-1}{n-2} \quad (4.50)$$

ในทางปฏิบัติจะใช้ค่า r^2 เมื่อ $n < 30$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

ในการทดสอบสมมติฐาน $H_0 : \beta = 0$; $H_a : \beta \neq 0$ จากที่กล่าวมาข้างต้น ได้ใช้ตัวสถิติ t ในการทดสอบ แต่ในที่นี้อาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดสอบดังกล่าว โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมติฐาน $H_0 : \beta = 0$ (ตัวแปร X ไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปร Y)

$H_a : \beta \neq 0$ (ตัวแปร X มีอิทธิพลต่อตัวแปร Y)

ขั้นที่ 2 อาศัยตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังนี้

ANOVA – TABLE

Source	df	SS	MS	F – ratio
Regression	1	SSR	MSR = SSR/1	F = MSR/MSE
Error	n - 2	SSE	MSE = SSE/(n - 2)	
Total	n - 1	SST	-	-

ตารางที่ 2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

เมื่อ

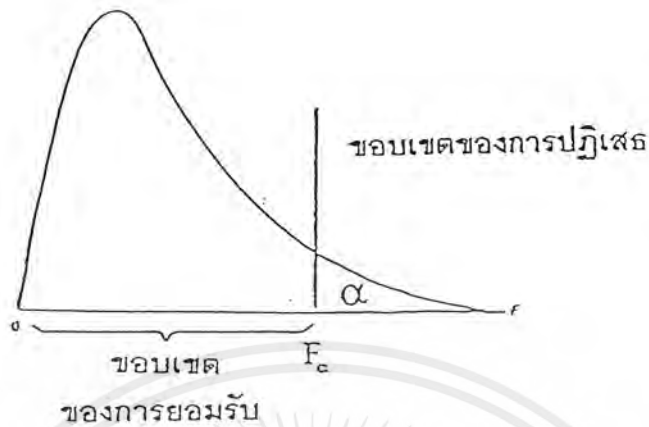
$$SST = \sum (Y_i - \bar{Y})^2$$

$$SSE = b \sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})$$

$$SSR = SST - SSE$$

ขั้นที่ 3 กำหนดระดับนัยสำคัญ (α)

ขั้นที่ 4 หาเขตวิกฤตภายใต้สมมติฐาน H_0 โดยอาศัยตาราง F ที่ df ของ $v_1 = 1$, $v_2 = n - 2$ จะได้เขตวิกฤตของ F และสามารถกำหนดขอบเขตของการปฏิเสธได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ขอบเขตของการปฏิเสธ

ขั้นที่ 5 สรุปผลการทดสอบ จะทำการปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ที่ตั้งไว้ก็ต่อเมื่อ ค่าสถิติ F ที่คำนวณได้ตกอยู่ในขอบเขตของการปฏิเสธหรือเขตกวิกฤต นอกจากนี้จะยอมรับสมมติฐาน H_0

เนื่องจากค่าสถิติ t กับค่าสถิติ F ที่ได้จากการทดสอบจะมีความสัมพันธ์ดังนี้ คือ

$$t^2 = F \quad (4.51)$$

ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ดังนี้

$$F_{(1, n-2)} = \frac{MSR}{MSE} \quad (4.52 a)$$

$$= \frac{SSR/1}{(SST - SSR)/(n-2)}$$

$$= \frac{b \sum x_i y_i}{S_{Y.X}^2}$$

$$F_{(1, n-2)} = \frac{b^2 \sum x_i^2}{S_{Y.X}^2} \quad (4.52 b)$$

$$\therefore b = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_{(1,n-2)} = \frac{b^2}{\frac{S_{Y \cdot X}^2}{\sum x_i^2}} \quad (4.52 \text{ c})$$

$$= \left(\frac{b}{\frac{S_{Y \cdot X}}{\sqrt{\sum x_i^2}}} \right)^2$$

$$= \left(\frac{b}{S_b} \right)^2$$

$$F_{(1,n-2)} = t^2(n-2) \quad (4.52 \text{ d})$$

จะเห็นว่าค่าวิกฤตของ F ที่ df ของ $v_1 = 1, v_2 = n-2$ จะมีค่า t^2 ที่ $df = n-2$

4.11 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis)

ในการวิเคราะห์การถดถอย จะกำหนดให้ตัวแปรหนึ่งเป็นตัวแปรอิสระ อีกตัวแปรหนึ่งเป็นตัวแปรตาม แล้วทำการศึกษาว่าตัวแปรอิสระมีอิทธิพลต่อตัวแปรตามหรือไม่ แต่ในการวิเคราะห์สหสัมพันธ์จะอาศัยข้อมูลในลักษณะเดียวกัน เพื่อศึกษาความเป็นตัวแปรอิสระ ตัวแปรใดจะเป็นตัวแปรตาม สำหรับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงจะใช้สัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ (Coefficient of Correlation) เป็นตัววัดความสัมพันธ์ ซึ่งใช้สัญลักษณ์ r

สัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ จึงถือเป็นดัชนีที่บอกถึงระดับและทิศทางของความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ชุด ซึ่งหาได้จากสูตรของ Pearson ดังนี้

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{X})^2 \sum (y_i - \bar{Y})^2}} \quad (4.53 \text{ a})$$

$$= \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{\sqrt{[n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2] [n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2]}} \quad (4.53 \text{ b})$$

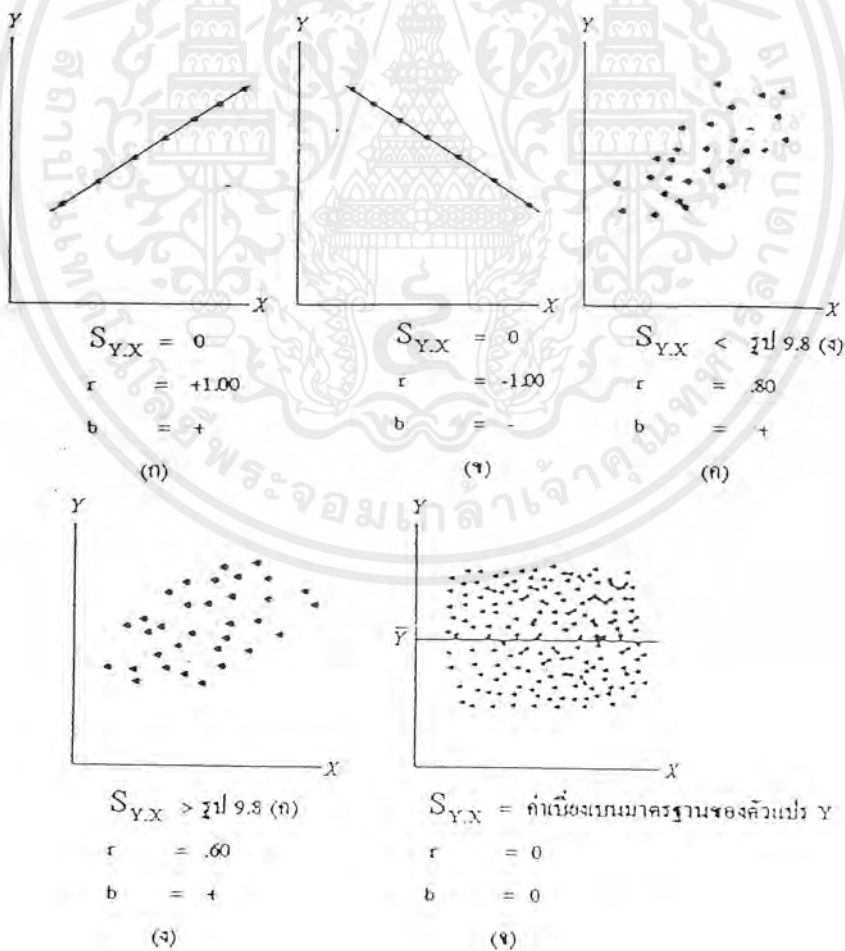
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือคำนวณได้จากการถอดรากที่สองของสัมประสิทธิ์ของการถดถอย ซึ่งเครื่องหมายของ γ จะเหมือนกับเครื่องหมายของ b ในสมการถดถอย ดังนี้

$$\gamma = \pm\sqrt{r^2} \tag{4.54}$$

คุณสมบัติของ γ

1. ค่าของ γ จะมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 หรือ $-1 \leq \gamma \leq 1$
2. ถ้าค่า γ มีค่าเป็นบวก ($\gamma > 0$) แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน
3. ถ้าค่า γ มีค่าเป็นลบ ($\gamma < 0$) แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้าม
4. ถ้าค่า γ มีค่าเป็นศูนย์ ($\gamma = 0$) แสดงว่าตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน



รูปที่ 4.13 แผนภาพการกระจายของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ณ ค่า γ ที่ต่าง ๆ กัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ตัวอย่างผลการวัดและการวิเคราะห์กระแสนิทรรศการในโรงงานอุตสาหกรรม

จำนวนแหล่งข้อมูลหรือกรณีศึกษา(Case Study)ที่ได้ออกสำรวจและเก็บข้อมูลมีทั้งหมด จำนวน 5 แห่ง ซึ่งมีรูปแบบการวัด 2 รูปแบบ คือ

การวัด ณ ช่วงเวลาใด ๆ จำนวน 4 แห่ง ประกอบด้วย

1. บริษัท Thai Wire Product (TWP) นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ระยอง
2. บริษัท Thai Metal สมุทรปราการ
3. บริษัท Sony (สำนักงาน ถนนเพชรบุรีตัดใหม่)
4. บริษัท Seagate (โรงงานเทพารักษ์)

การวัดแบบตลอดช่วงเวลา(1 สัปดาห์) จำนวน 1 แห่ง คือ

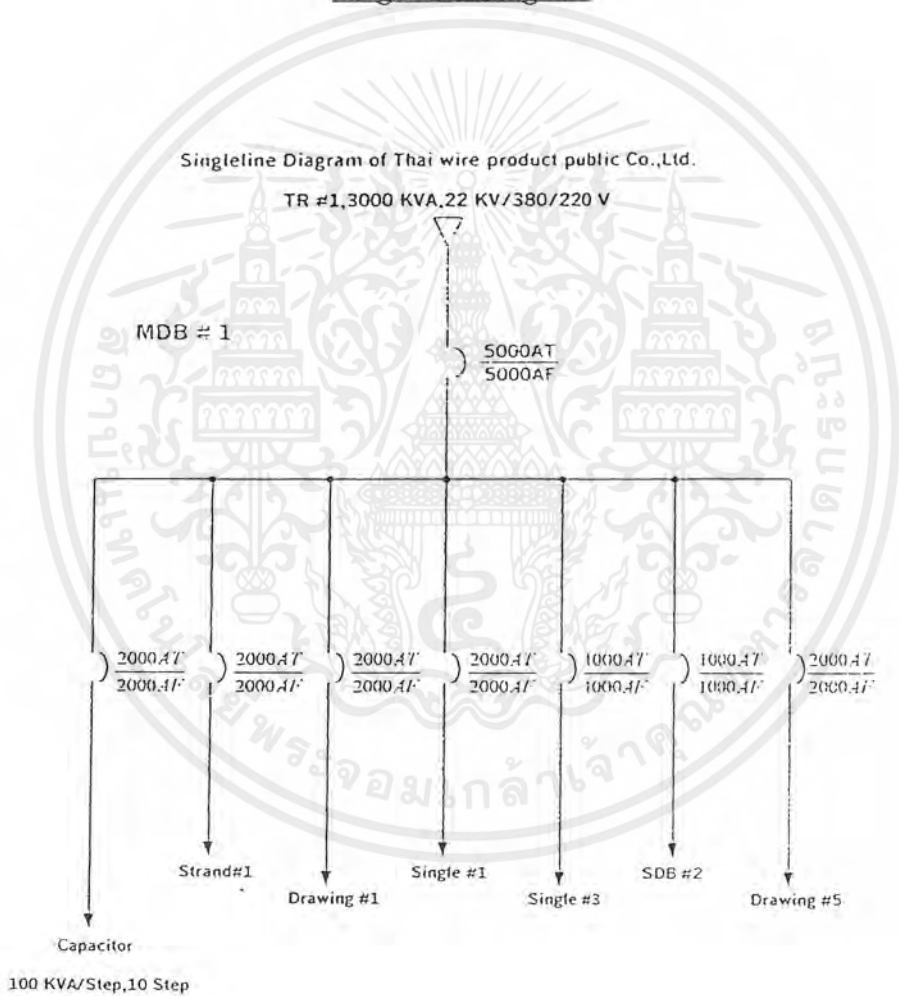
1. บริษัท Nestle

ในบทนี้จะแสดงรายละเอียดผลการวัดและการวิเคราะห์ เฉพาะกรณีการวัด ณ ช่วงเวลาใด ๆ ซึ่งแสดงไว้เป็นกรณีศึกษา ดังต่อไปนี้

5.1.1 กรณีศึกษาที่ 1
บริษัท Thai wire product

MDB 1

Singleline Diagram



รูปที่ 5.1 Singleline Diagram ของ MDB 1

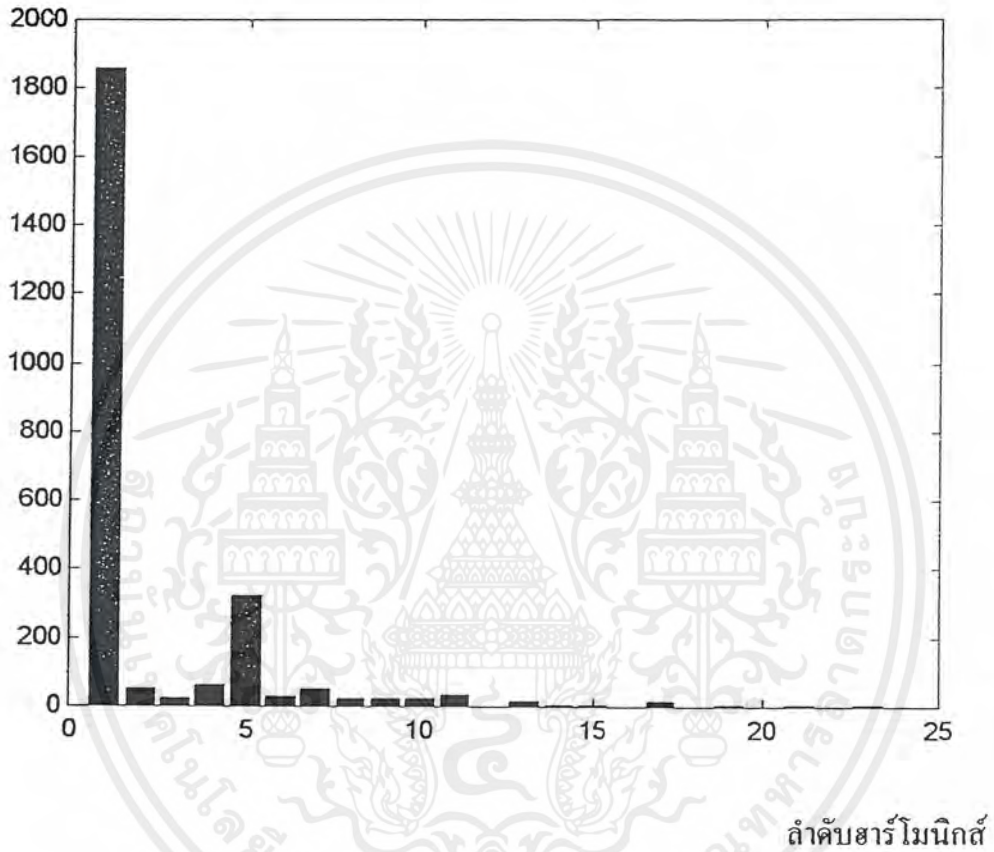
กระแสเฟสและกระแสฉนวนทรอด

แสดงผลการวัดเป็นสเปคตรัมและตารางได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฟส A

กระแส (A)



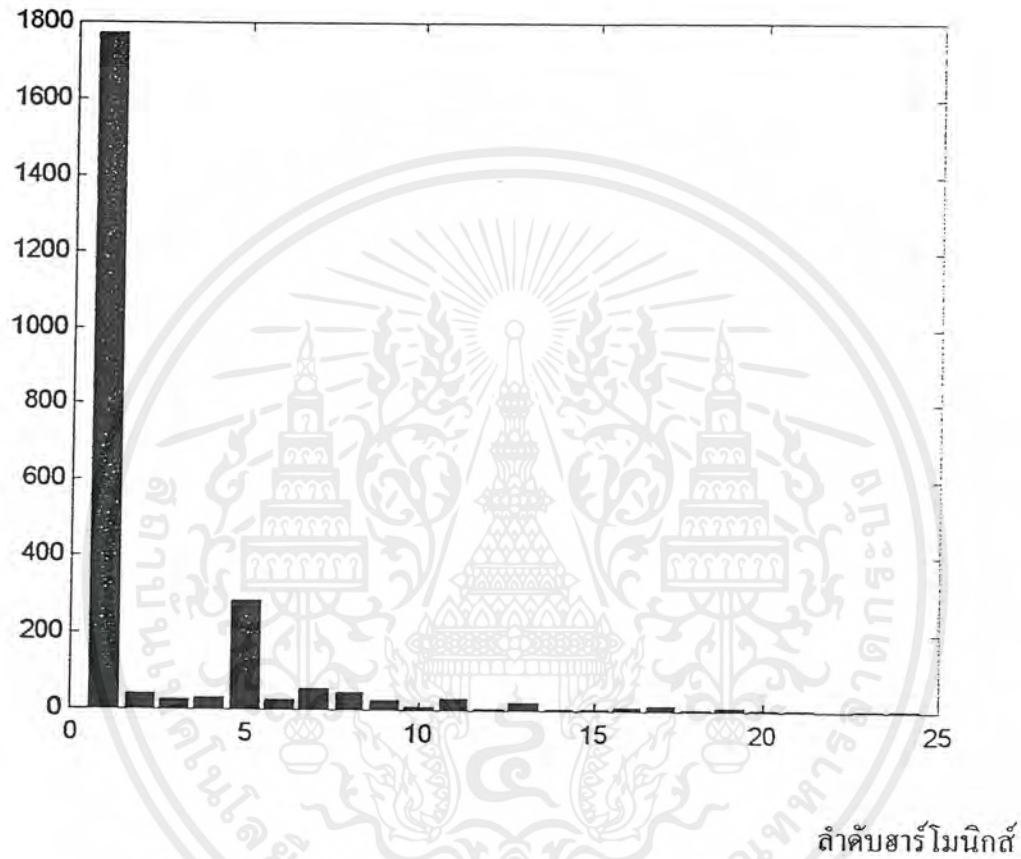
%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
18.51	1891.9	1860.3	54.3	23.9	64.9	321.3	30.7	53.3
8	9	10	11	12	13	14	15	16
24.3	24	20.8	36.5	2.9	17.8	7.8	4.5	1.4
17	18	19	20	21	22	23	24	25
17.2	1.5	4.8	1.7	2.5	1.2	6.1	2.6	3.8

รูปที่ 5.2 กราฟและตารางแสดงค่า % THD, RMS และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฟส B

กระแส (A)



ลำดับฮาร์โมนิกส์

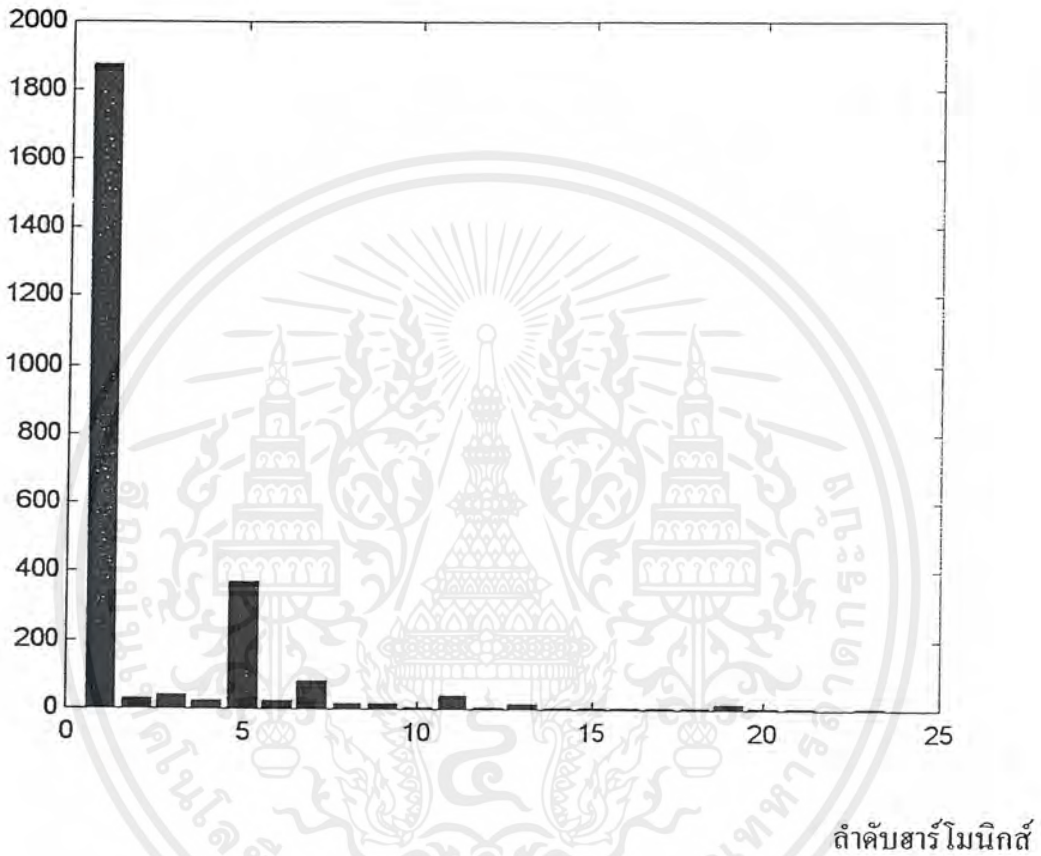
%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
17.41	1800.6	1774	42.8	27.4	31.7	287.5	24.3	55
8	9	10	11	12	13	14	15	16
48.8	27.6	8.7	33.8	7.6	18.6	6.1	5.6	8.9
17	18	19	20	21	22	23	24	25
16.1	3.7	11.6	6.3	3.8	1.8	7.4	4.4	4.7

รูปที่ 5.3 กราฟและตารางแสดงค่า % THD, RMS และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของเฟส B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฟส C

กระแส (A)



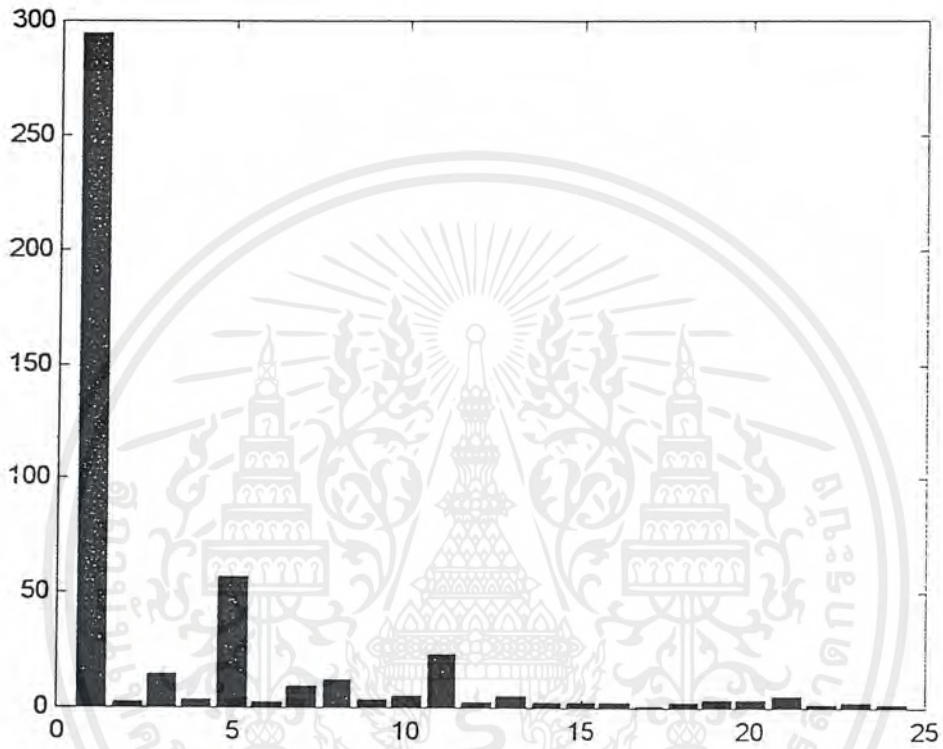
%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
20.74	1915.8	1876	27.3	43.1	24.5	370.8	25.2	82.2
8	9	10	11	12	13	14	15	16
17.1	19.1	6	40.4	3.1	19.6	4.2	7.1	3.1
17	18	19	20	21	22	23	24	25
3.8	4.4	17.1	2.8	3.5	0.7	5.7	2.1	5.3

รูปที่ 5.4 กราฟและตารางแสดงค่า % THD, RMS และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Neutral

กระแส (A)



ลำดับฮาร์โมนิกส์

%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
102.27	422	294.8	2.4	14.9	3.2	57.3	2.2	9.4
8	9	10	11	12	13	14	15	16
12.3	3.3	5.4	23.9	2.7	4.8	2.6	2.3	2.8
17	18	19	20	21	22	23	24	25
1.1	2.4	3.2	3.3	5.6	1.4	2.4	1.6	2.8

รูปที่ 5.5 กราฟและตารางแสดงค่า % THD,RMS และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของสาย

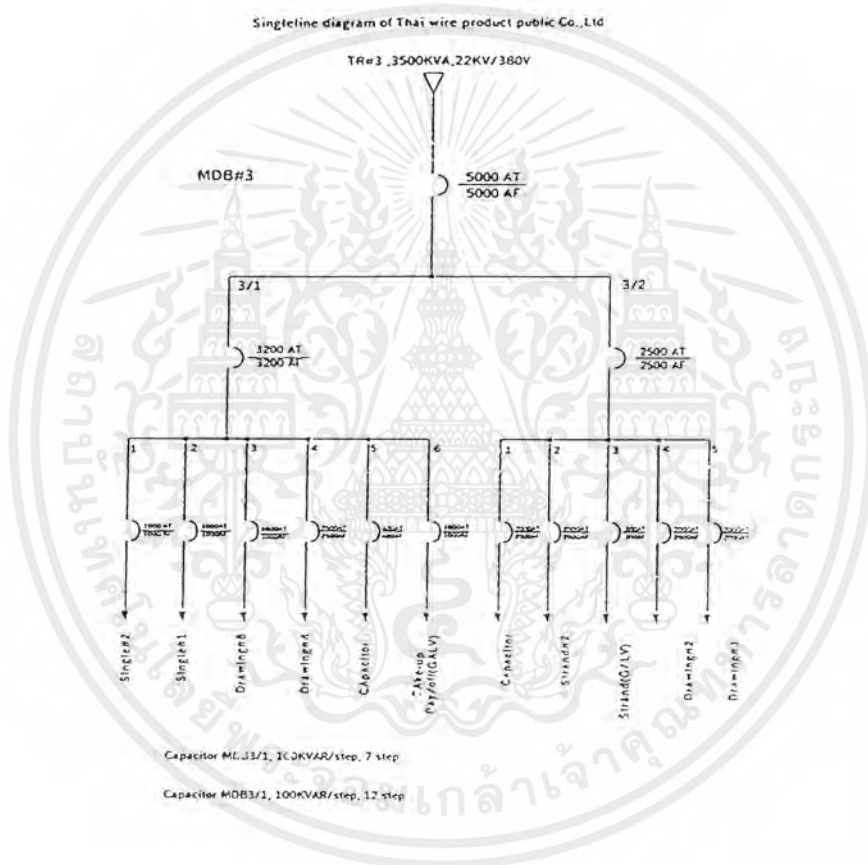
นิวทรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริษัท Thai wire product

MDB3

Singleline Diagram



รูปที่ 5.6 Singleline Diagram ของ MDB3

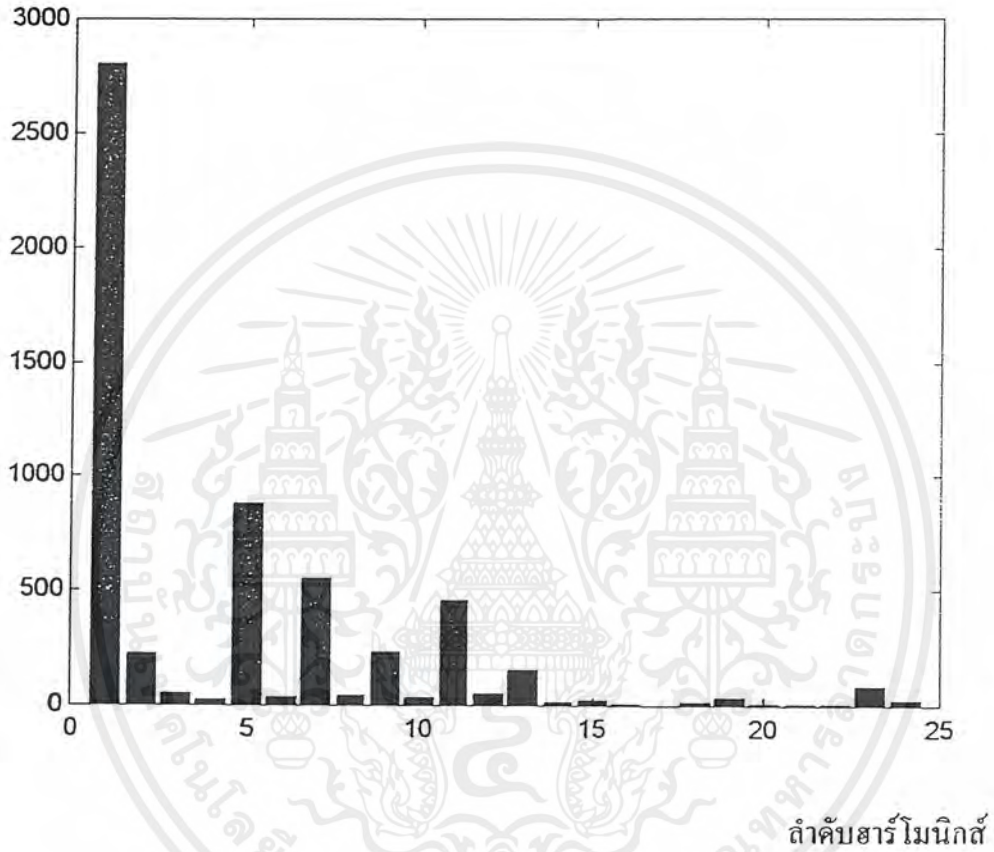
กระแสฟอสและกระแสฉนวนทรอล

แสดงผลการวัดเป็นสเปคตรัมและตารางได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฟส A

กระแส (A)



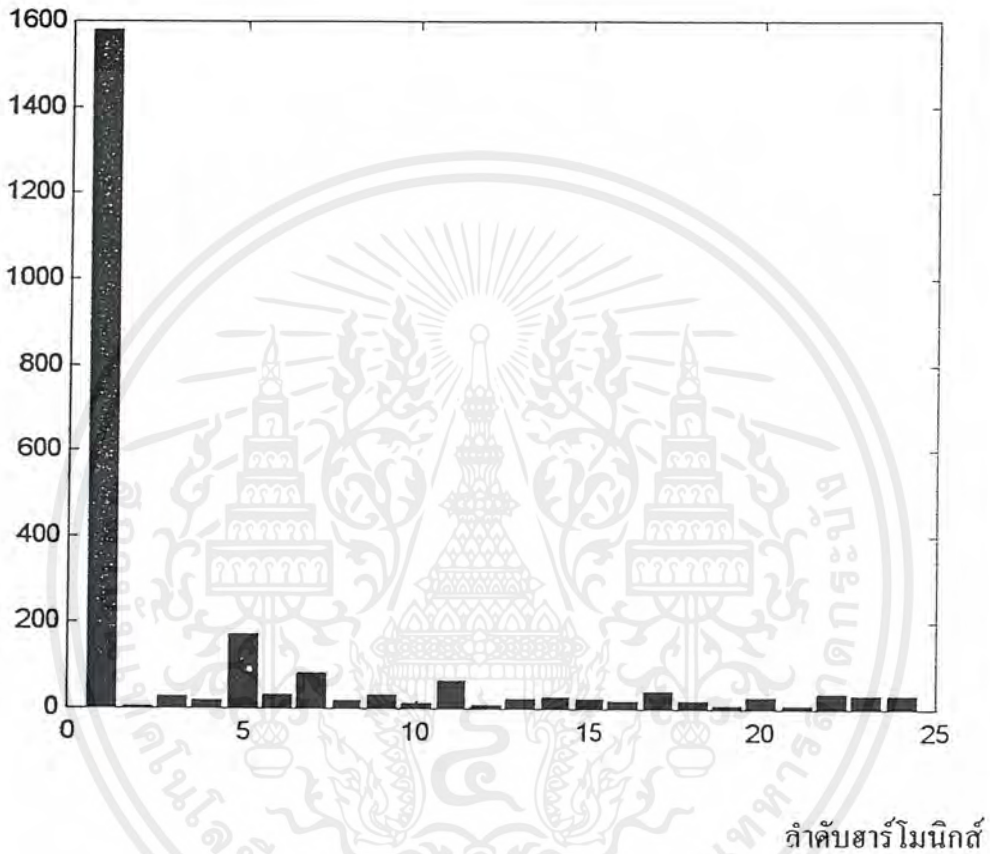
%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
42.81	3051	2804.9	227.1	56	28.2	876.4	32.6	552.7
8	9	10	11	12	13	14	15	16
41.5	238.9	32.1	460.8	51.4	156.8	18.2	25.3	12.9
17	18	19	20	21	22	23	24	25
3.5	18.5	35.3	8	8.7	8.3	91.3	23	29.7

รูปที่ 5.7 กราฟและตารางแสดงค่า % THD, RMS และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฟส B

กระแส (A)



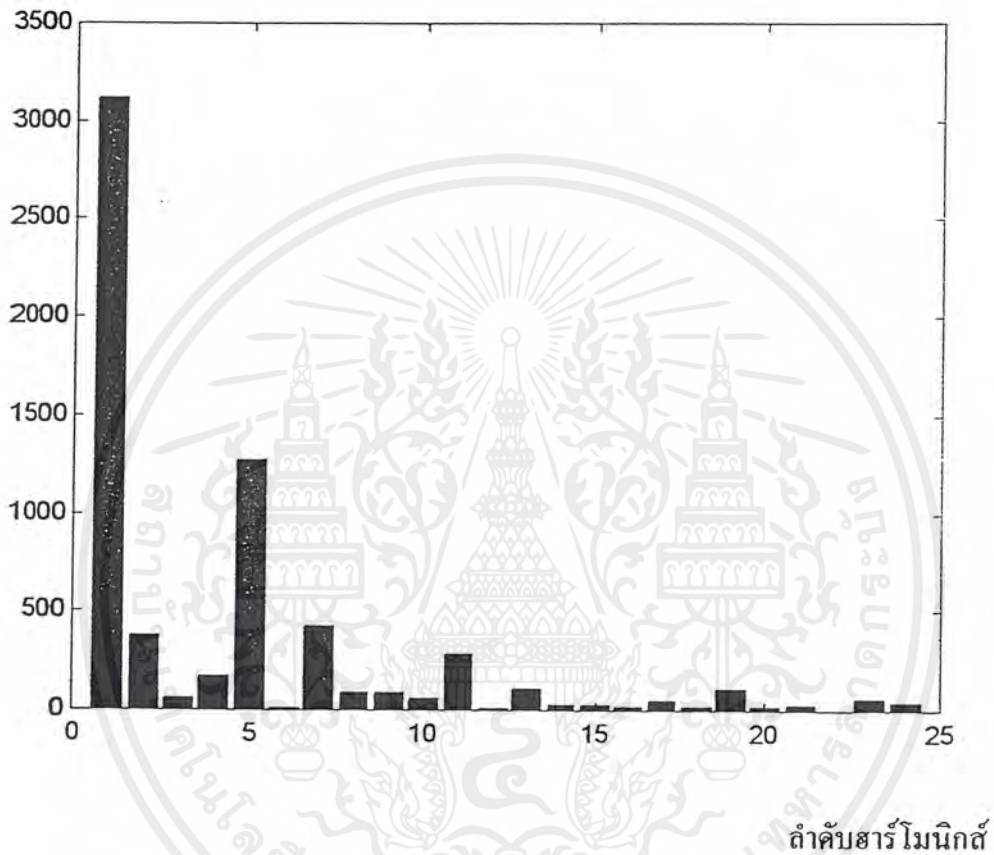
%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
25.53	1633.6	1582.7	6.5	29.3	17.8	172.8	30.8	83.7
8	9	10	11	12	13	14	15	16
18.2	34.6	13.8	65.8	7.8	24.3	30.1	21.3	20.8
17	18	19	20	21	22	23	24	25
40.6	20	7.2	8.5	7.3	37.7	33.2	30.7	21.2

รูปที่ 5.8 กราฟและตารางแสดงค่า % THD,RMS และกระแสฮาร์โมนิกลำดับต่างๆของเฟส B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฟส C

กระแส (A)



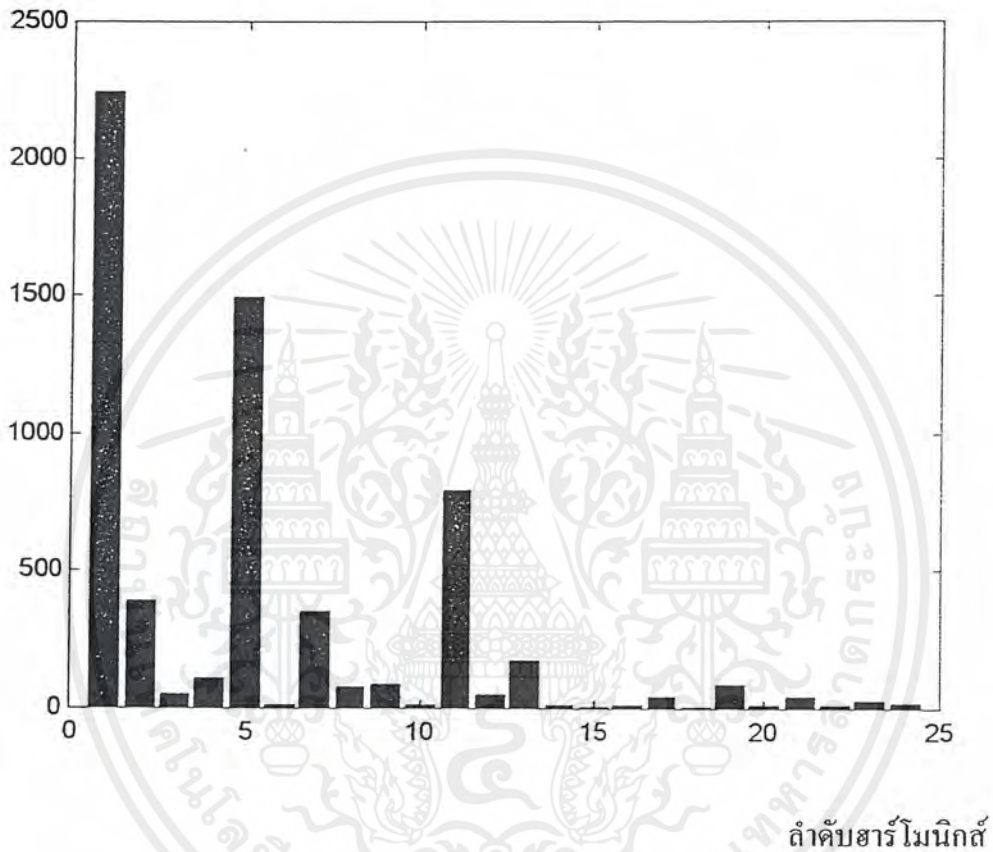
%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
46.54	3440	3123	376.5	65.3	172.3	1268.5	13	430.5
8	9	10	11	12	13	14	15	16
97.2	89.6	57.6	286.8	13.7	112	31.2	33.7	18.5
17	18	19	20	21	22	23	24	25
55.4	19.7	114.8	18.6	35.2	3.3	61.3	41.1	42.3

รูปที่ 5.9 กราฟและตารางแสดงค่า % THD, RMS และกระแสฮาร์โมนิกต์ลำดับต่างๆของเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Neutral

กระแสด (A)



%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
81.64	2900	2245.8	389.7	54.6	112.6	1492.6	11.1	354.3
8	9	10	11	12	13	14	15	16
81.6	91.1	12.2	700.4	47.7	179.2	14.1	9.6	18
17	18	19	20	21	22	23	24	25
41.1	5.8	85.5	12.6	47	12.7	32.1	21.8	38.2

รูปที่ 5.10 กราฟและตารางแสดงค่า % THD, RMS และกระแสดฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของสาย

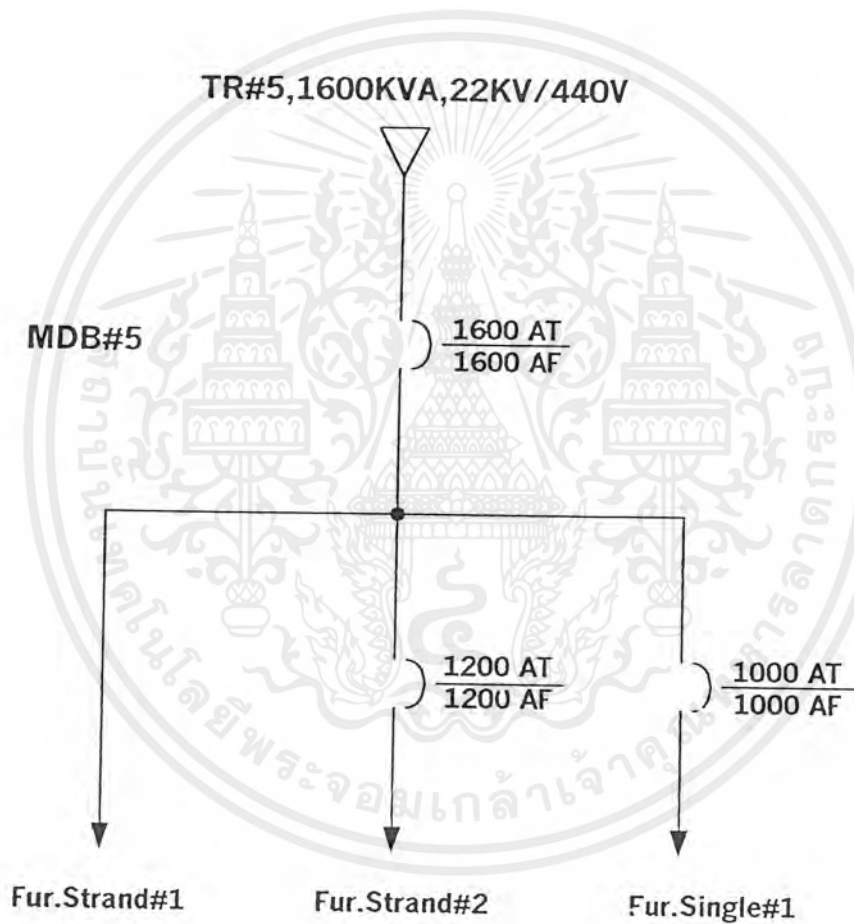
นิเวศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริษัท Thai wire product

MDB5

Singleline Diagram



รูปที่ 5.11 Singleline Diagram ของ MDB5

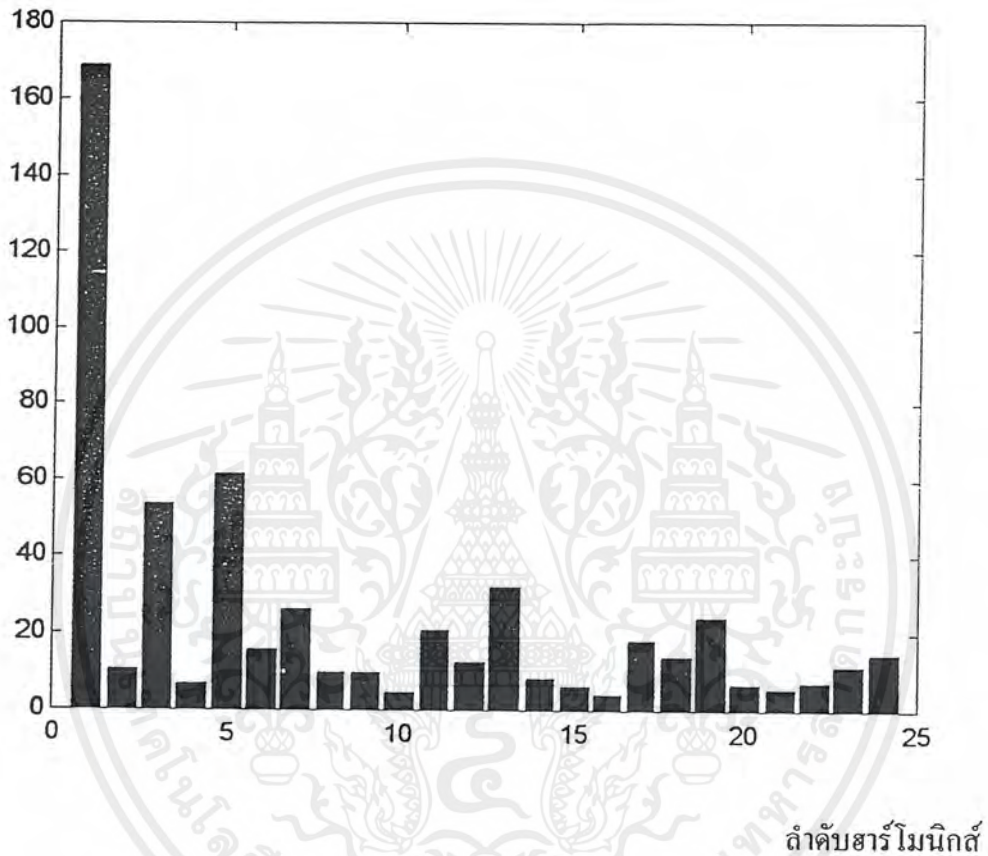
กระแสฟลักและกระแสนิวทรอล

แสดงผลการวัดเป็นสเปคตรัมและตารางได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฟส A

กระแส (A)



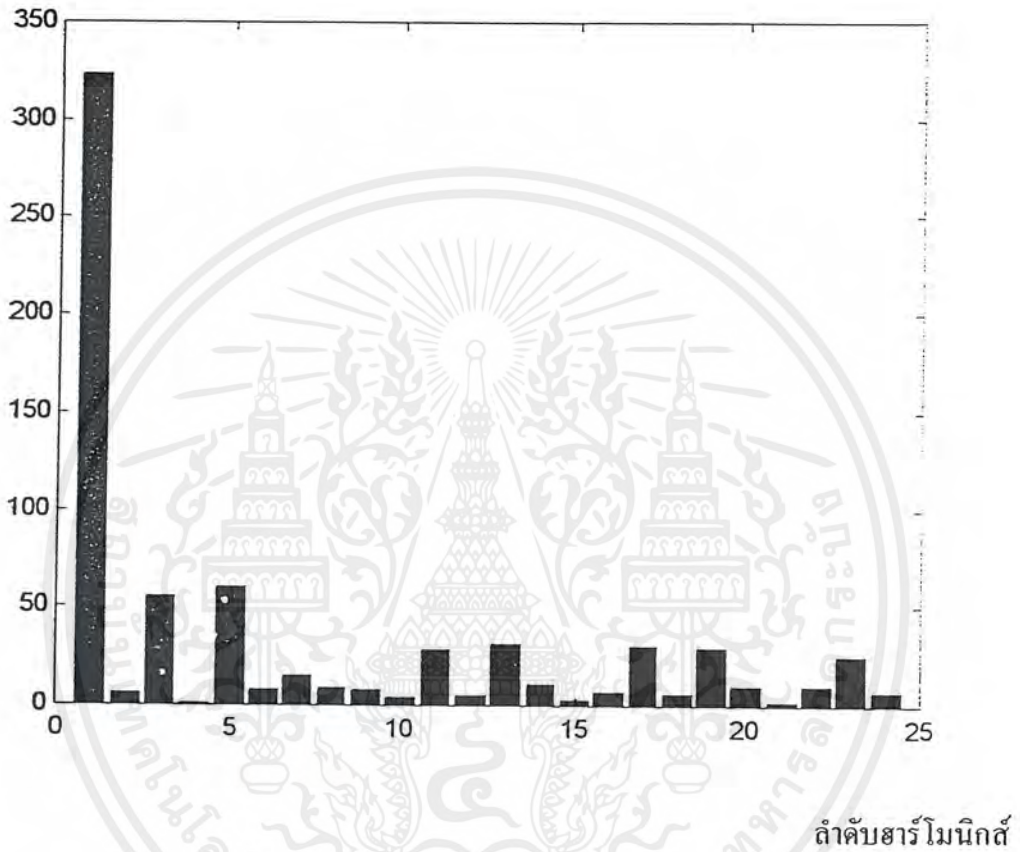
%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
63.99	200.64	169.1	10.38	5.37	6.93	6.18	15.6	26.16
8	9	10	11	12	13	14	15	16
10.02	10.02	4.89	20.88	12.6	3.24	8.1	6.3	4.2
17	18	19	20	21	22	23	24	25
18.48	14.07	24.39	6.93	5.87	7.62	11.52	14.52	17.13

รูปที่ 5.12 กราฟและตารางแสดงค่า % THD, RMS และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฟส B

กระแส (A)



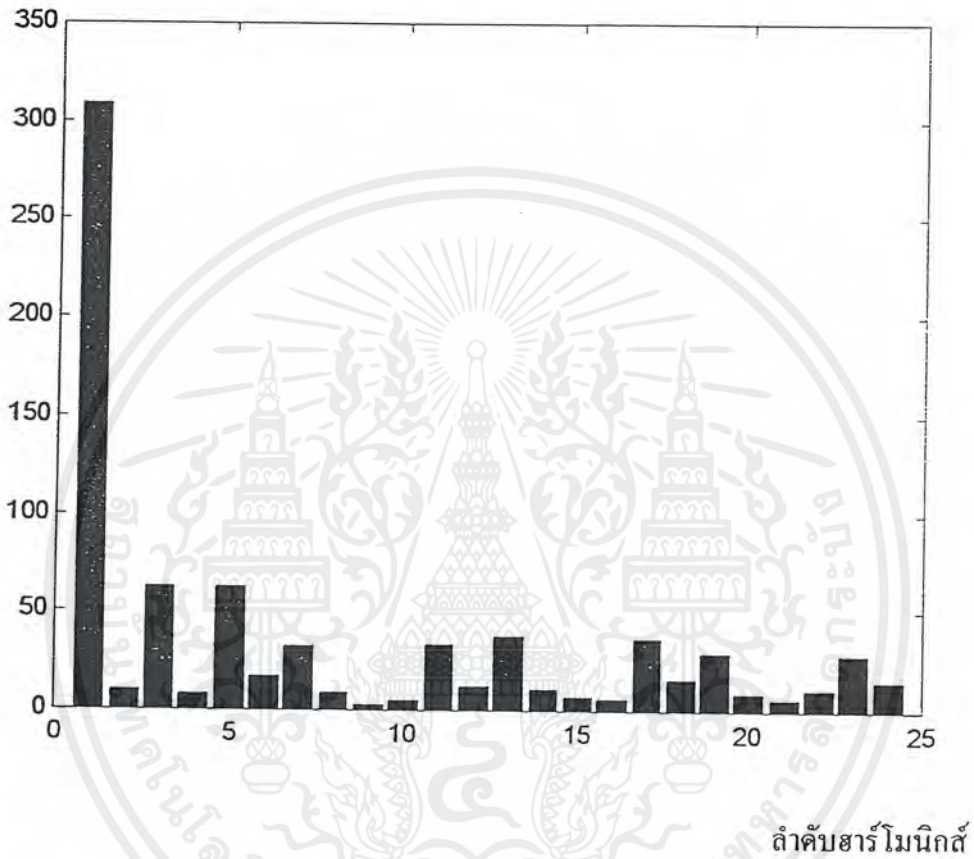
%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
34.89	341.07	322.8	6.12	55.77	1.38	60.3	8.22	15.87
8	9	10	11	12	13	14	15	16
9.03	8.01	4.23	28.86	5.28	32.1	10.98	2.94	6.87
17	18	19	20	21	22	23	24	25
30.42	6.18	29.52	9.75	2.37	10.08	25.35	7.02	24.72

รูปที่ 5.13 กราฟและตารางแสดงค่า % THD,RMS และกระแสสารโมนิกส์ลำดับต่างๆของเฟส B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฟส C

กระแส (A)



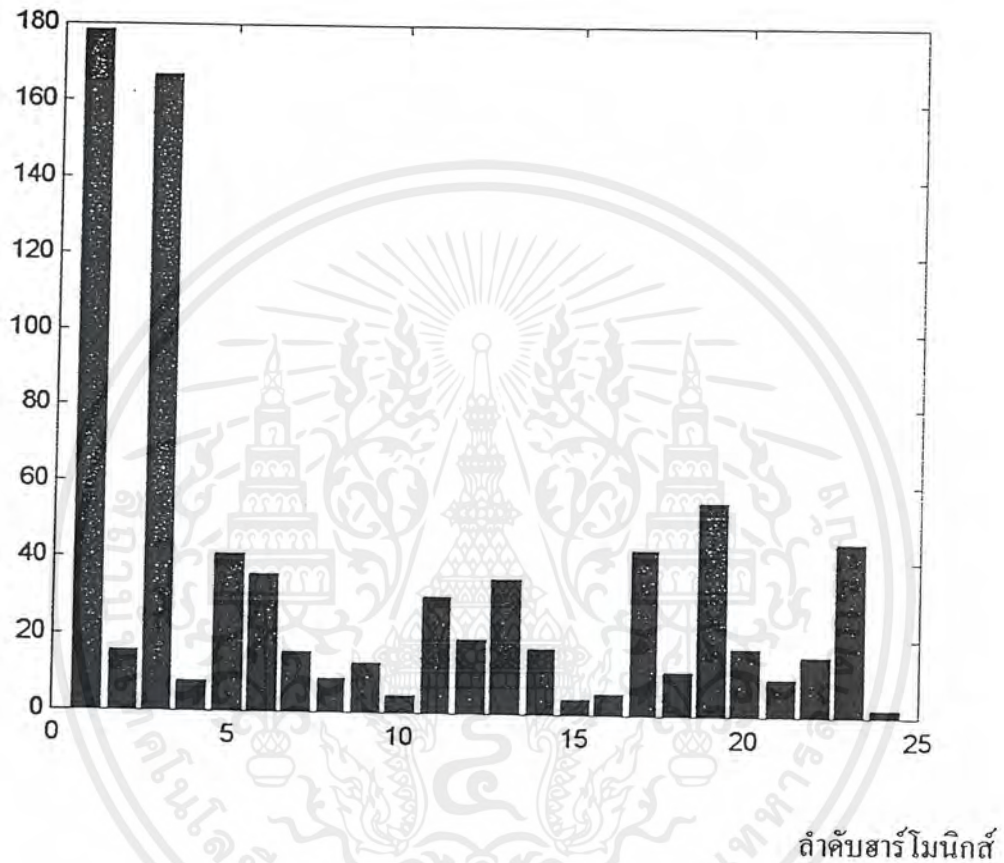
%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
41.54	534.8	309.18	10.05	62.88	8.07	62.49	17.25	33.21
8	9	10	11	12	13	14	15	16
9.27	2.97	4.71	33.3	1.26	37.8	10.8	7.08	6.18
17	18	19	20	21	22	23	24	25
36.93	10.47	29.55	9.18	5.73	11.01	28.38	15.15	19.17

รูปที่ 5.14 กราฟและตารางแสดงค่า % THD, RMS และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Neutral

กระแสด (A)



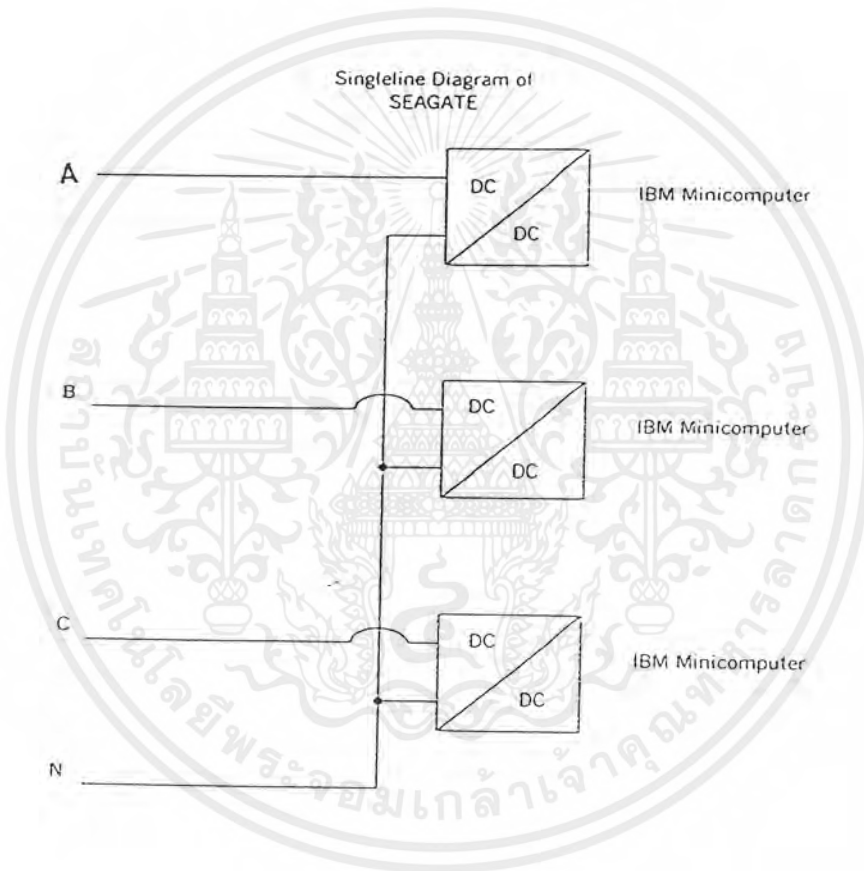
%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
118.86	277.11	178.4	15.66	166.85	7.92	41.04	36.15	15.79
8	9	10	11	12	13	14	15	16
8.87	13.24	4.69	30.51	19.43	35.27	17.24	4.2	5.69
17	18	19	20	21	22	23	24	25
43.4	11.6	56.18	17.75	9.96	15.74	45.35	2.23	50.08

รูปที่ 5.15 กราฟและตารางแสดงค่า % THD, RMS และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของสาย

นิวทรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 กรณีศึกษาที่ 2
บริษัท SEAGATE
Singleline Diagram



รูปที่ 5.16 Singleline Diagram ของ บริษัท SEAGATE

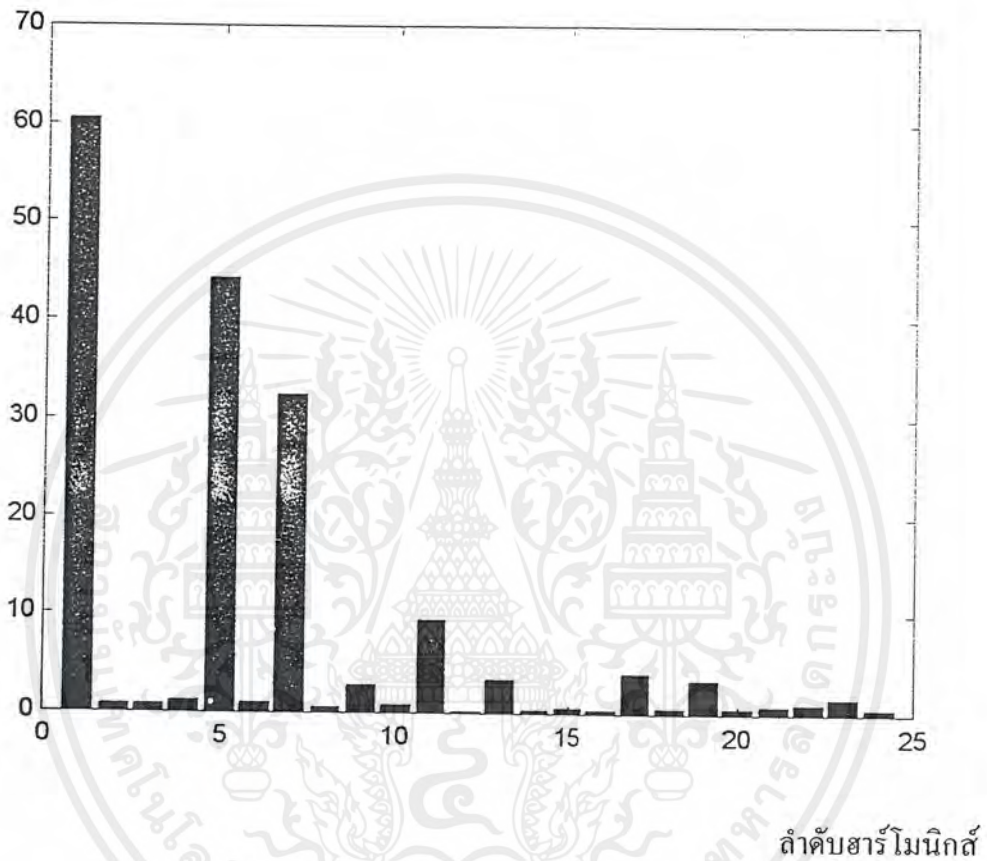
กระแสเฟสและกระแสนิวทรัล

แสดงผลการวัดเป็นสเปกตรัมและตารางได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฟส A

กระแส (A)



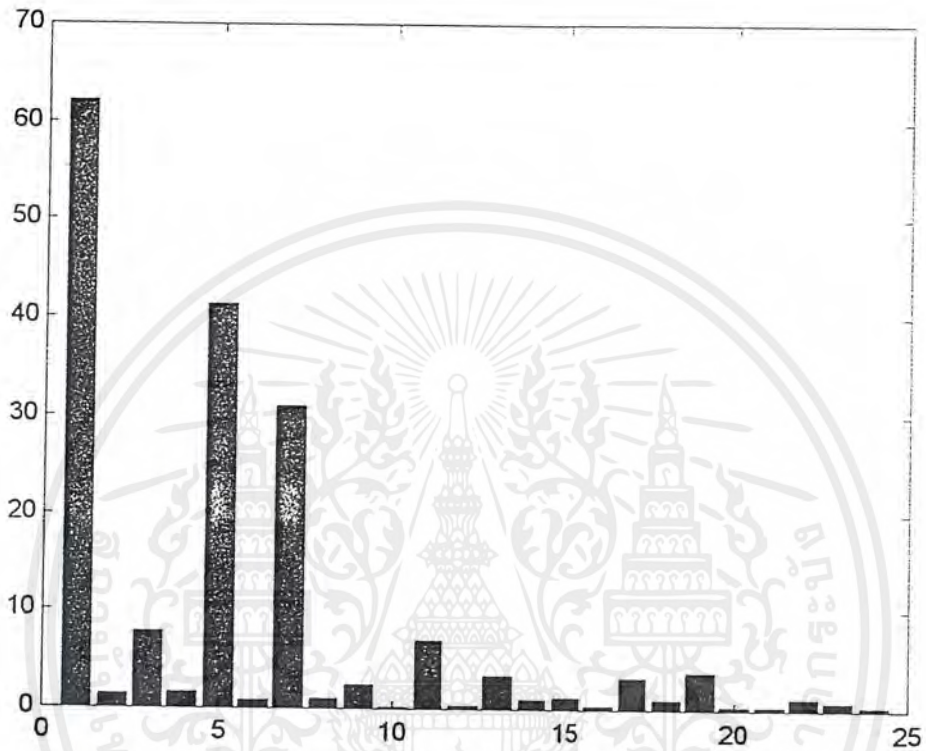
%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
92.88	82.6	60.54	0.8	0.86	0.66	44.26	1.06	32.44
8	9	10	11	12	13	14	15	16
0.64	2.78	0.92	9.54	0.24	3.54	0.3	0.68	0.44
17	18	19	20	21	22	23	24	25
4.06	0.6	3.5	0.7	0.76	0.94	1.62	0.66	1.18

รูปที่ 5.17 กราฟและตารางแสดงค่า % THD,RMS และกระแสฮาร์โมนิกส์ด้าค้บต่างๆของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฟส B

กระแส (A)



ลำดับฮาร์โมนิกส์

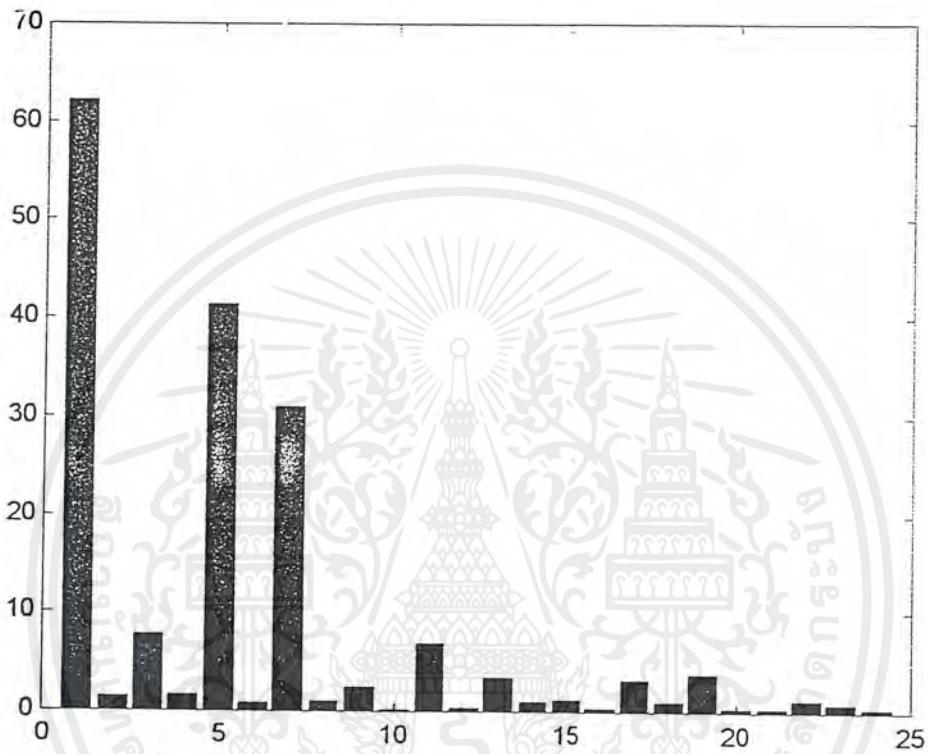
%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
85.82	81.94	62.2	1.54	7.74	1.54	41.52	0.92	30.96
8	9	10	11	12	13	14	15	16
0.94	2.36	0.28	7	0.54	3.42	0.94	1.14	0.34
17	18	19	20	21	22	23	24	25
3.36	1.02	3.92	0.38	0.36	1.3	0.9	0.34	0.88

รูปที่ 5.18 กราฟและตารางแสดงค่า % THD, RMS และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของเฟส B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฟส C

กระแส (A)



ลำดับฮาร์โมนิกส์

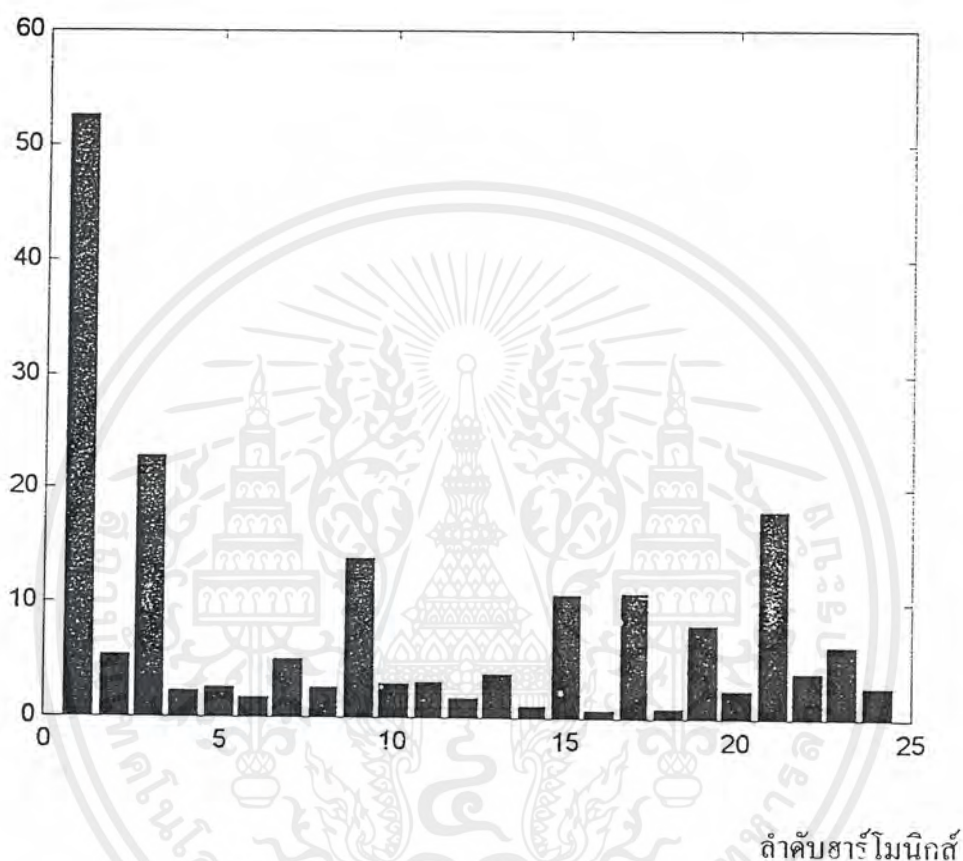
%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
85.82	81.94	62.2	1.54	7.74	1.54	41.52	0.92	30.96
8	9	10	11	12	13	14	15	16
0.94	2.36	0.28	7	0.54	3.42	0.94	1.14	0.34
17	18	19	20	21	22	23	24	25
3.36	1.02	3.92	0.36	0.36	1.3	0.9	0.34	0.88

รูปที่ 5.19 กราฟและตารางแสดงค่า % THD,RMS และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Neutral

กระแสด (A)



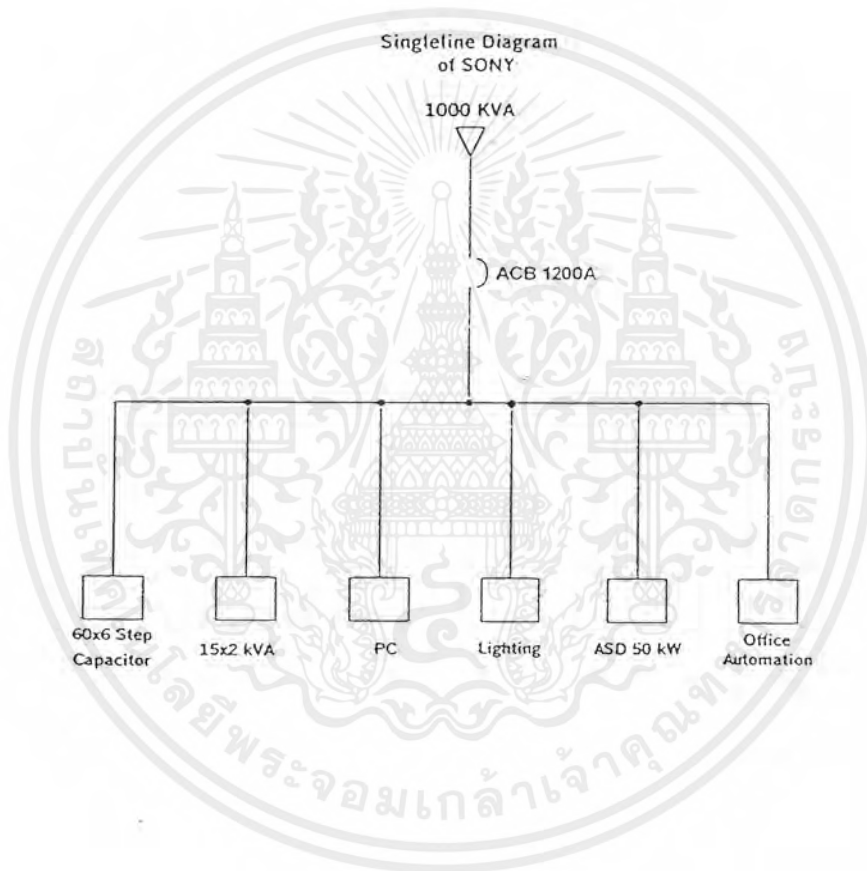
%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
77.26	66.56	52.68	4.6	22.4	2.2	2.6	1.78	5.2
8	9	10	11	12	13	14	15	16
2.58	13.8	2.8	3.26	0.18	3.9	1.12	10.7	0.76
17	18	19	20	21	22	23	24	25
10.96	0.84	8	2.36	18.2	4.1	6.34	2.88	11.7

รูปที่ 5.20 กราฟและตารางแสดงค่า % THD,RMS และกระแสดฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของสาย
นิวทรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 กรณีศึกษาที่ 3

บริษัท SONY

Singleline Diagram

รูปที่ 5.21 Singleline Diagram ของ บริษัท SONY

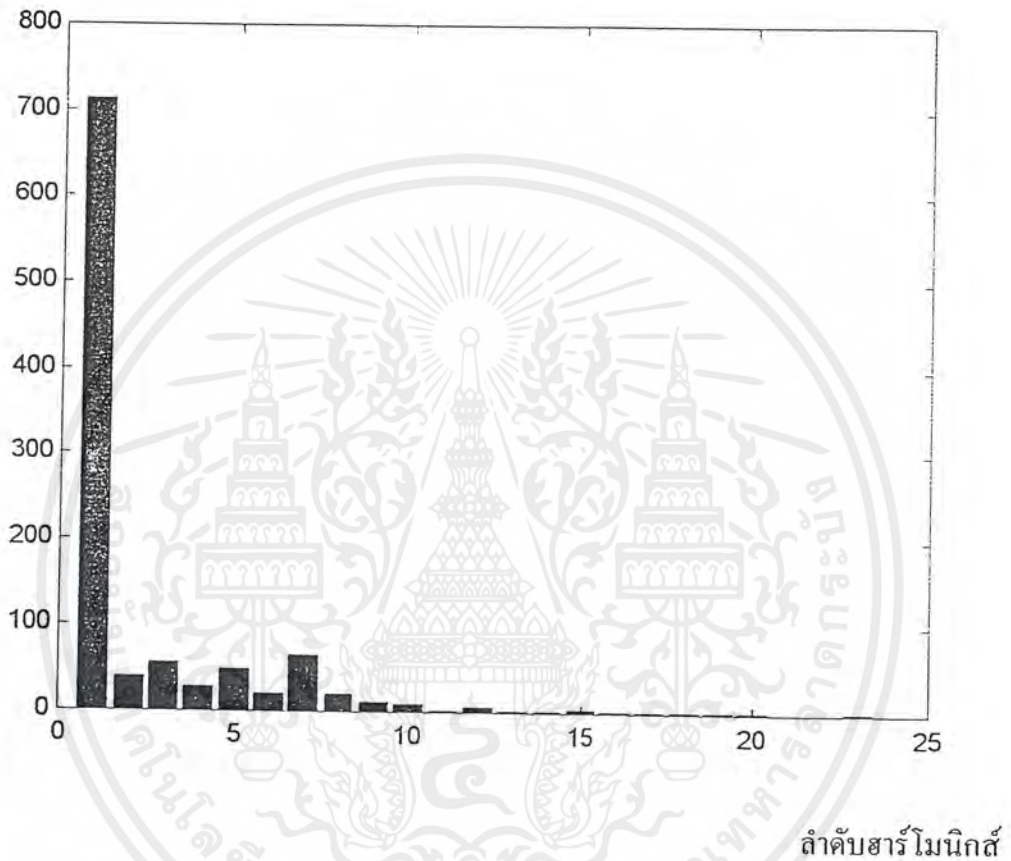
กระแสไฟสและกระแสฉนวนทรอล

แสดงผลการวัดเป็นสเปคตรัมและตาราง ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฟส A

กระแส (A)



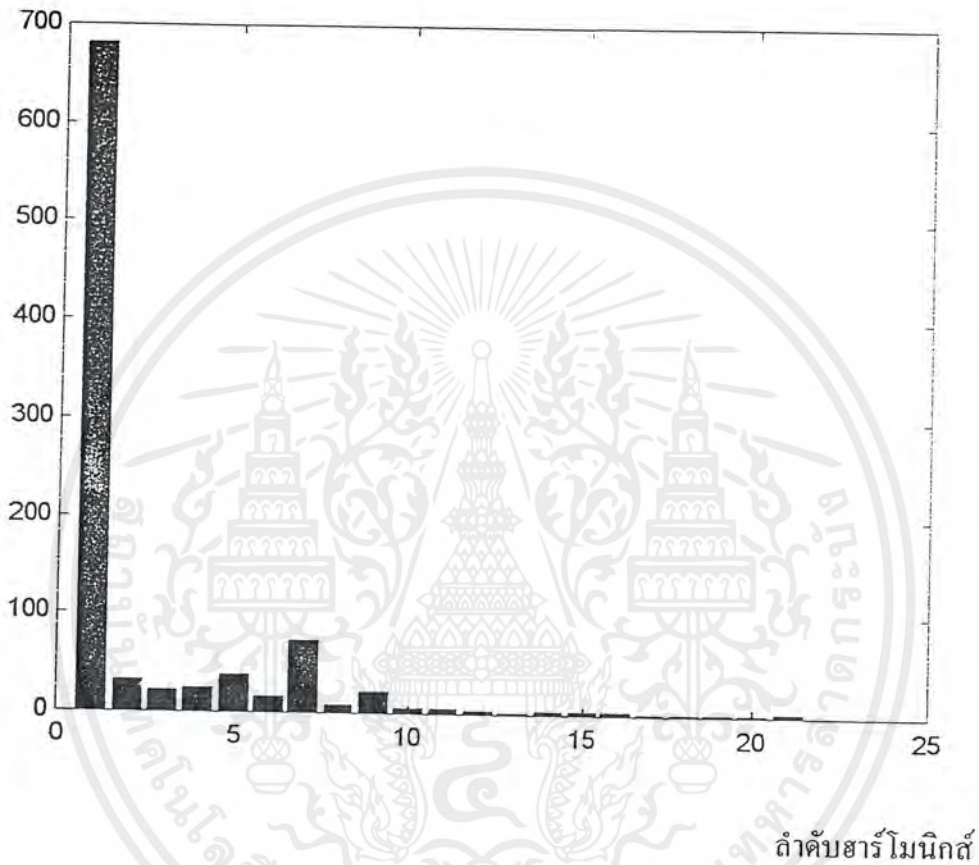
%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
16.41	722.2	712.6	39.56	57	27.18	49.8	20.82	60.46
8	9	10	11	12	13	14	15	16
20.92	12.76	8.66	3.4	6.28	1.66	2.46	3.74	3.5
17	18	19	20	21	22	23	24	25
1.84	1.34	3.44	2.38	1.08	0.92	2.58	0.88	0.88

รูปที่ 5.22 กราฟและตารางแสดงค่า % THD, RMS และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฟส B

กระแส (A)



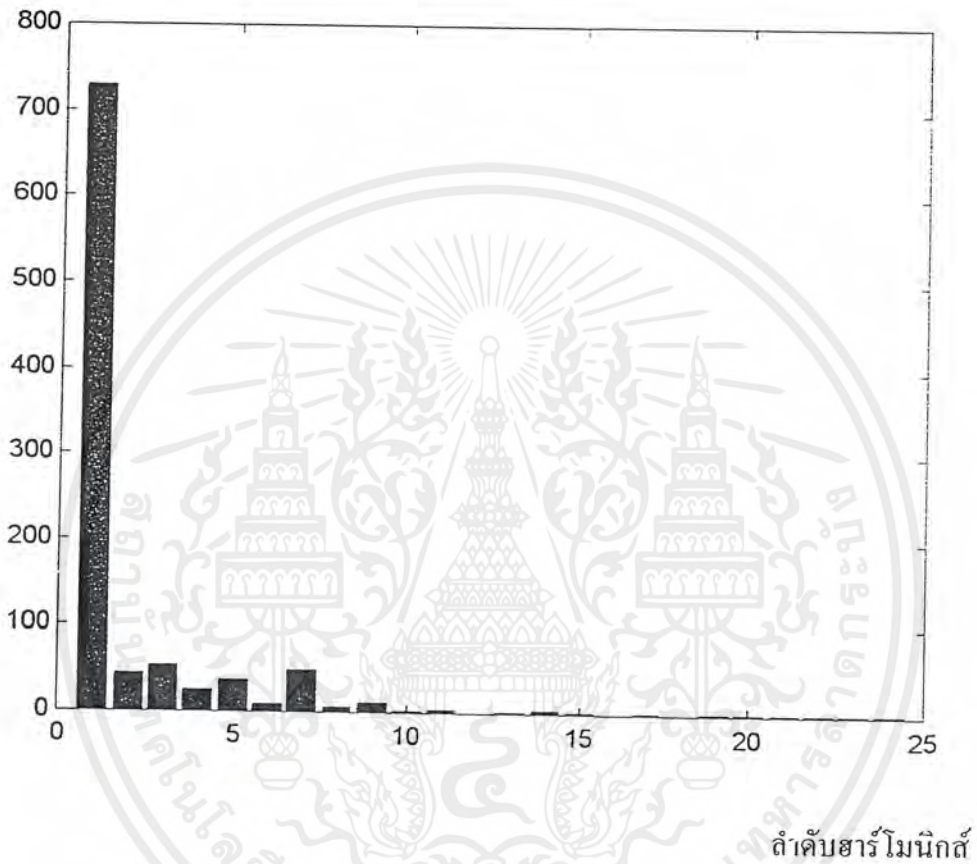
%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
14.65	688.06	680.88	32.42	22.26	25.42	38.06	15.8	72.98
8	9	10	11	12	13	14	15	16
8.62	23.06	5.16	5.68	3.3	2.46	3.44	3.7	3.78
17	18	19	20	21	22	23	24	25
1.96	1.88	2	1.34	3.16	0.7	0.84	0.84	1.48

รูปที่ 5.23 กราฟและตารางแสดงค่า % THD, RMS และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของเฟส B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฟส C

กระแส (A)



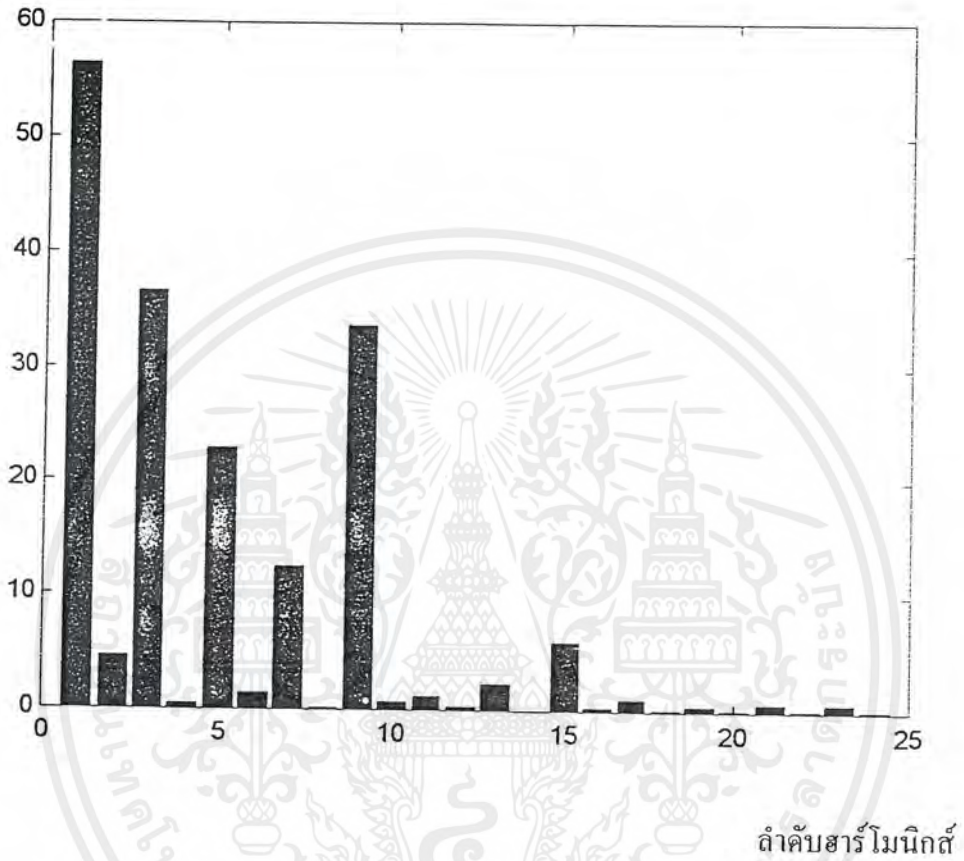
%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
13.61	735.9	729.2	45.52	53.58	25.78	37.18	8.32	50.16
8	9	10	11	12	13	14	15	16
6.98	11.5	2.94	3.96	0.96	1.98	3.88	1.56	0.64
17	18	19	20	21	22	23	24	25
3.42	1.08	2.16	2.5	1.96	1.34	1.24	1.34	1.2

รูปที่ 5.24 กราฟและตารางแสดงค่า % THD, RMS และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Neutral

กระแส (A)



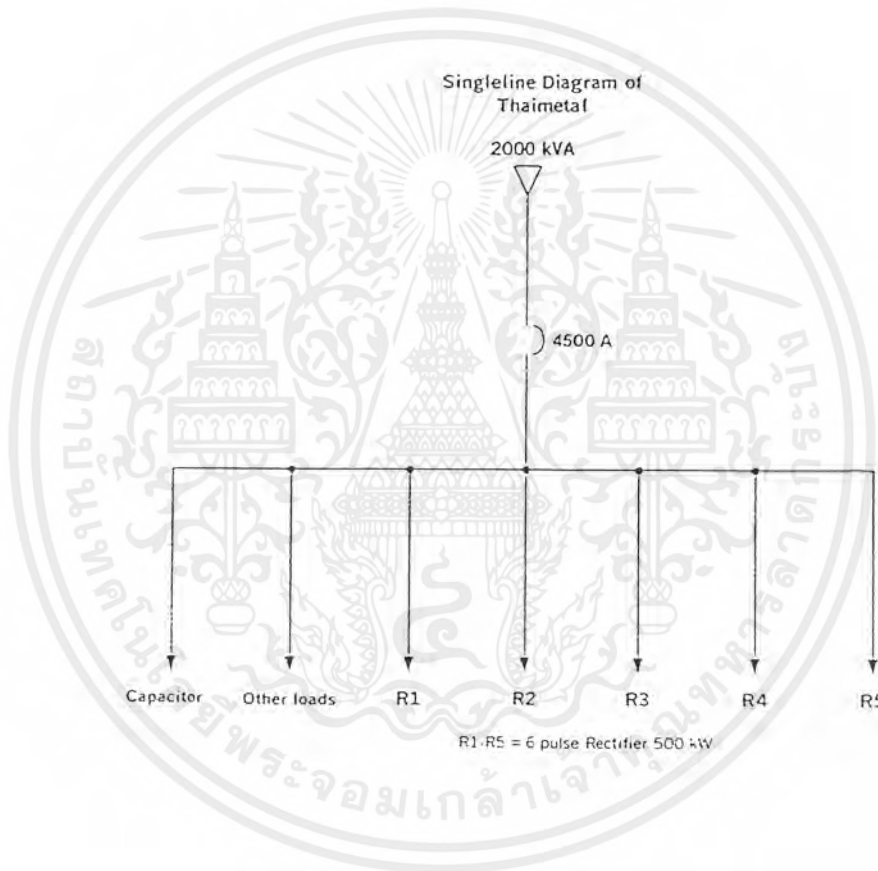
%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
100.2	80.06	56.52	4.64	36.6	0.5	22.92	1.34	12.42
8	9	10	11	12	13	14	15	16
0.14	33.58	0.7	1.22	0.28	2.22	0.8	5.9	0.34
17	18	19	20	21	22	23	24	25
1.14	0.14	0.58	0.24	0.68	0.22	0.68	0.1	0.412

รูปที่ 5.25 กราฟและตารางแสดงค่า % THD,RMS และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของสายนิวทรัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 กรณีศึกษาที่ 4

บริษัท Thai Metal

Singleline Diagram

รูปที่ 5.26 Singleline Diagram ของ บริษัท Thai Metal

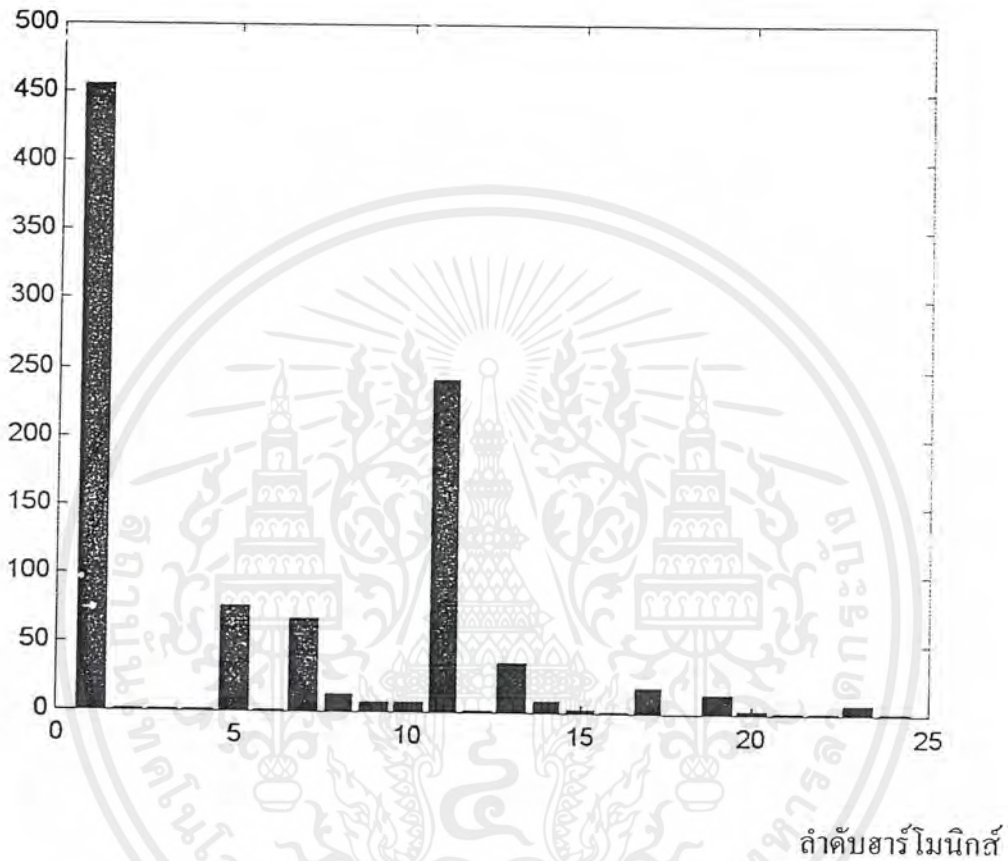
กระแสเฟสและกระแสฉนวนทรอล

แสดงผลการวัดเป็นสเปกตรัมและตาราง ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฟส A

กระแส (A)



ลำดับฮาร์โมนิกส์

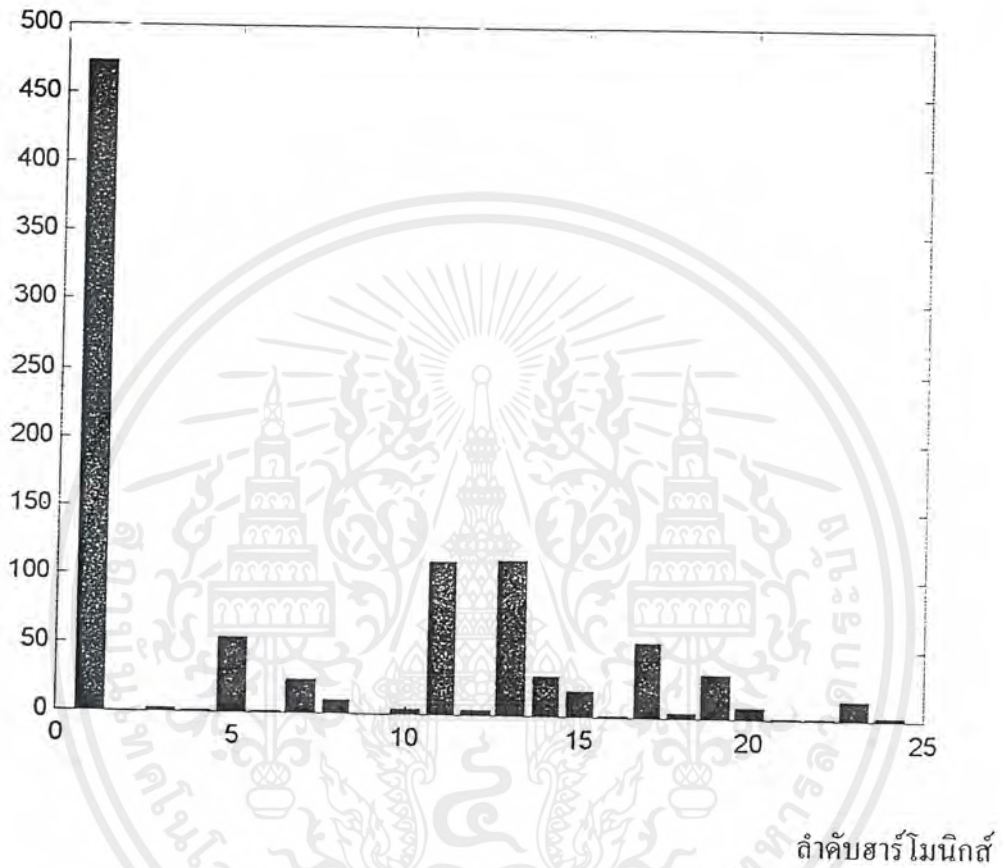
%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
56.59	523.8	455.4	0.9	1.9	1.8	75.6	0.9	67.8
8	9	10	11	12	13	14	15	16
13.7	7.3	7.2	241.2	0.9	37.3	8.3	2.9	1.8
17	18	19	20	21	22	23	24	25
18.3	0.4	15.2	3.1	0.9	1.2	7.2	1.7	7.3

รูปที่ 5.27 กราฟและตารางแสดงค่า % THD, RMS และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฟส B

กระแส (A)



%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
39.15	508.1	473.8	0.5	3.4	1.7	53.6	2.0	24.8
8	9	10	11	12	13	14	15	16
10.8	0.4	4.2	11.2	3.9	112.5	28.6	19.2	2.2
17	18	19	20	21	22	23	24	25
54	4.4	31.9	8.1	1	2	14.2	3	12

รูปที่ 5.28 กราฟและตารางแสดงค่า % THD, RMS และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของเฟส B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฟส C

กระแส (A)



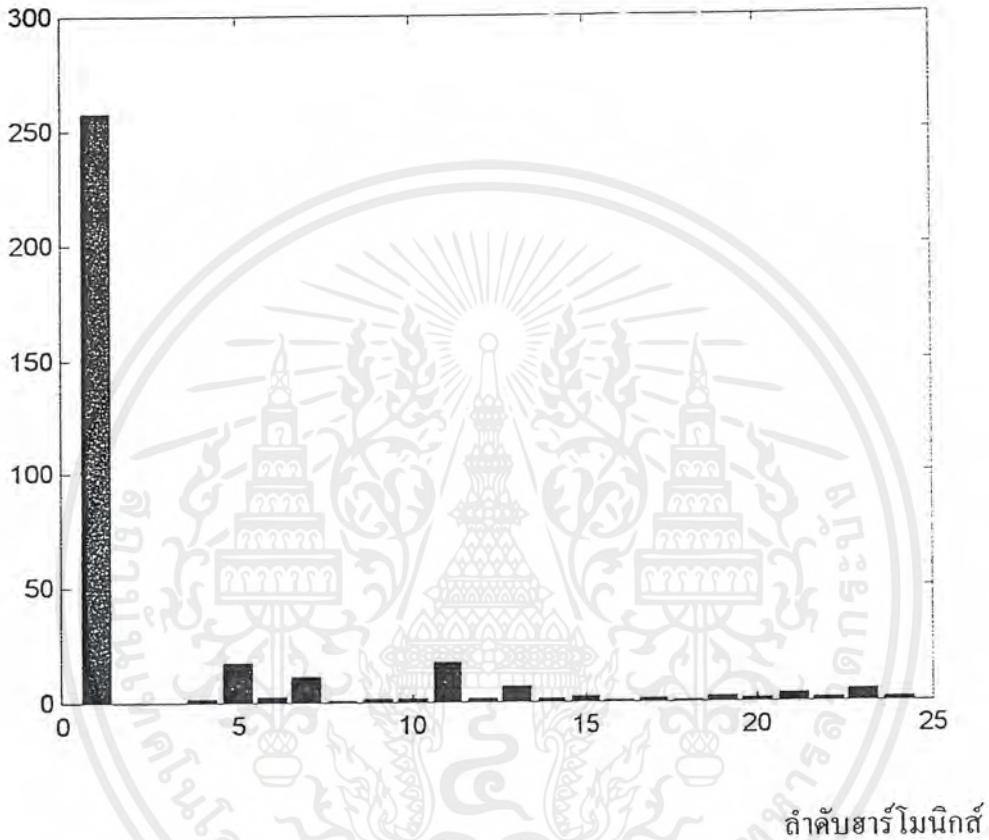
%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
7.97	500.5	499.9	2.1	2.9	1.1	29.7	2.5	16.6
8	9	10	11	12	13	14	15	16
4.6	6.2	0.7	13.3	0.8	12	0.6	1.2	1.0
17	18	19	20	21	22	23	24	25
1.2	0.2	1	5	0.5	0.5	0.6	0	0.6

รูปที่ 5.29 กราฟและตารางแสดงค่า % THD,RMS และกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับต่างๆของเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Neutral

กระแสด (A)



%THD	RMS	FUN	2	3	4	5	6	7
52.6	290	257.8	0.2	0.1	2.1	17.7	2.5	11.9
8	9	10	11	12	13	14	15	16
1.2	2.2	1.3	17.3	1.9	6.9	2.1	2.7	0.9
17	18	19	20	21	22	23	24	25
2.1	3.7	2.4	1.3	3.1	2.1	5.4	1.5	7

รูปที่ 5.30 กราฟและตารางแสดงค่า % THD, RMS และกระแสดฮาร์โมนิกลำดับต่างๆของสาย

นิวทรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การวิเคราะห์และสรุปผลข้อมูล

จากข้อมูลที่ได้นำเสนอไปแล้วของทุกกรณีศึกษา แสดงให้เห็นว่ากระแสนิวทรอลที่เกิดขึ้น
เป็นผลมาจากการรวมกันของกระแสสำคัญ 2 ประเภท ได้แก่

1. กระแสที่เกิดจากความไม่สมดุลของกระแสเฟส

เนื่องจากโหลดในแต่ละเฟสดึงกระแสไม่เท่ากัน ทำให้ผลรวมของกระแสทั้งสามเฟส
ไม่เป็นศูนย์ เกิดมีกระแสนิวทรอล ซึ่งก็คือกระแสมูลฐานในสายนิวทรอลนั่นเอง
กระแสนิวทรอลที่เกิดจากความไม่สมดุล แสดงดังตารางที่ 5.1

ตาราง 5.1 กระแสนิวทรอลที่เกิดจากกระแสเฟสไม่สมดุล

กรณีศึกษา	$\% I_{unbalance} / I_{RMS}$
TWP	64
Seagate	79
Sony	70
Thai metal	88

2. กระแสฮาร์โมนิกส์

แต่ละกรณีศึกษามีลำดับฮาร์โมนิกส์ที่สำคัญ คือ

ตาราง 5.2 กระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับสำคัญ

กรณีศึกษา	ฮาร์โมนิกส์ลำดับสำคัญ
TWP	5,7
Seagate	5,7
Sony	3,9
Thai metal	5,7,11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 กระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 ฮาร์ลงตัว

กระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 ฮาร์ลงตัว ซึ่งเกิดจากอุปกรณ์ประเภทเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น Switch Mode Power Supply ในคอมพิวเตอร์ และหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประเภทไม่เป็นเชิงเส้น

ตาราง 5.3 กระแสนิวทรอลที่เกิดจากกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3

กรณีศึกษา	$\% I_{H3} / I_{RMS}$
TWP	60
Seagate	29
Sony	46
Thai metal	0.03

2.2 กระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5 และ 7

กระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5 และ 7 เป็นกระแสฮาร์โมนิกส์คุณลักษณะที่เกิดจากอุปกรณ์ประเภทคอนเวอร์เตอร์และเตาหลอม(Arc furnace)

ตาราง 5.4 กระแสนิวทรอลที่เกิดจากกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5,7

กรณีศึกษา	$\% I_{H5} / I_{RMS}$	$\% I_{H7} / I_{RMS}$
TWP	15	5
Seagate	3	8
Sony	29	15.5
Thai metal	6	4

จากการรวมกันของกระแสจากความไม่สมดุลและกระแสฮาร์โมนิกส์ ทำให้เกิดมีกระแสไหลในสายนิวทรอล กระแสนิวทรอล RMS เปรียบเทียบกับกระแสเฟส RMS แสดงไว้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 5.5 กระแสนิวทรอลเทียบกับกระแสเฟส

กรณีศึกษา	$\% I_N / I_{\text{phase}}$
TWP	95
Seagate	80
Sony	11
Thai metal	55

และ %THDv และ %THDi ของทุกกรณีศึกษาเป็นดังนี้

ตาราง 5.6 ข้อมูล %THDv และ %THDi

กรณีศึกษา	%THDv (max)	%THDi เฟส (max)	%THDi นิวทรอล
TWP	7.3	64	119
Seagate	0.9	92	77.26
Sony	4.6	16.4	100
Thai metal	7.5	56.6	52.6

สรุปกรณีศึกษาที่ต้องมีการปรับปรุงแก้ไข

1. ปัญหาการมีกระแสนิวทรอลสูง

การพิจารณาว่า กรณีศึกษาใดมีกระแสนิวทรอลสูงนั้น ในที่นี้พิจารณาที่ 50% ของกระแสเฟสเป็นเกณฑ์ หากกระแสนิวทรอลสูงเกินกว่า 50% ของกระแสเฟส ถือว่ามีค่ากระแสนิวทรอลสูง

จากตาราง 5.5 พิจารณาได้ว่า กรณีศึกษาที่มีกระแสนิวทรอลสูง คือ

- TWP
- Seagate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. %THDv สูง

หากพิจารณาจาก ข้อจำกัดความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ของแรงดันสำหรับผู้ใช้งานไฟฟ้า ที่จุดต่อร่วม(PCC) ของการไฟฟ้านครหลวง ซึ่งกำหนดดังนี้

ตาราง 5.7 ข้อจำกัดความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ของแรงดันสำหรับผู้ใช้งานไฟฟ้า ที่จุดต่อร่วม (PCC) ของการไฟฟ้านครหลวง

ระดับแรงดันที่จุดต่อร่วม (kV)	%THDv
0.40	5
11,12,22,24	4
33	3
69	2.45
115 และสูงกว่า	1.5

เกณฑ์พิจารณาใช้ที่ 5% ฉะนั้น กรณีที่มีค่า %THDv เกิน 5% และควรพิจารณาปรับปรุงแก้ไข คือ

- Thai metal
- TWP
- Sony

จากข้อมูลทั้งหมดข้างต้นทำให้ได้ข้อสรุปดังนี้ สามารถแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่มคือ

1. กลุ่มอุตสาหกรรมหนัก

- TWP
- Thai metal
- Seagate

ปัญหาที่พบ เกิดจากฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5 ลำดับที่ 7 และลำดับที่ 11 เป็นหลัก

สาเหตุ อุปกรณ์ประเภทควบคุมความเร็ว,คอนเวอร์เตอร์, และเตาหลอม

(Arc furnaces) ในกรณีของ TWP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กลุ่มอาคารสำนักงาน

- Sony

ปัญหาที่พบ เกิดจากฮาร์ดไดรฟ์ระดับที่ 3 หารลงตัว เป็นหลัก

สาเหตุ อุปกรณ์ประเภทไม่เป็นเชิงเส้นพวกหลอดฟลูออเรสเซนต์และคอมพิวเตอร์ PC

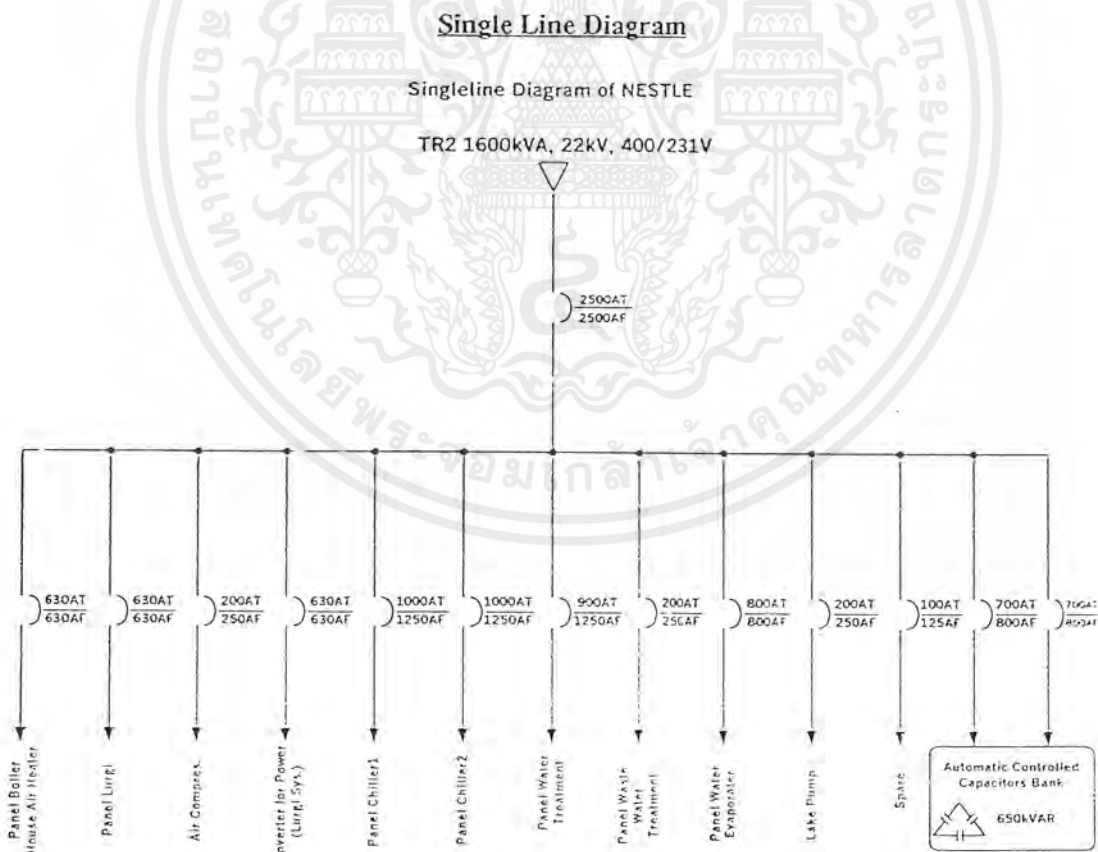


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การวิเคราะห์และการทำงานผลความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเฟสและกระแสนิวทรัล จากกรณีศึกษาบริษัทเนสท์เล่

เนื่องจากกรณีศึกษาบริษัทเนสท์เล่ เป็นการทำการวัดแบบตลอดช่วงเวลาโดยมีช่วงเวลาทำการวัดประมาณ 1 สัปดาห์ ข้อมูลที่ได้จึงมีความละเอียดกว่ากรณีอื่นๆทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างโหลด(โดยคัดเลือกกระแสเฟส A เป็นตัวแทน) กับกระแสนิวทรัลที่เกิดขึ้น โดยกรณีนี้จะได้ทำการวิเคราะห์เพื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเฟส (เฟส A) กับกระแสนิวทรัล

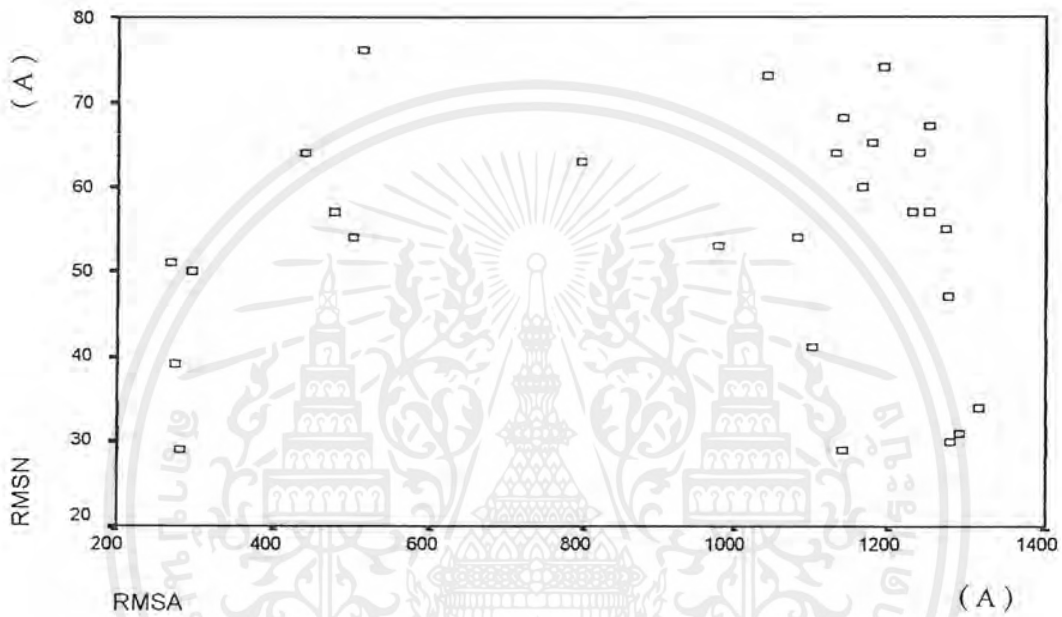


รูปที่ 6.1 Single Line Diagram ของบริษัทเนสท์เล่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1 การวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS 9.01

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแส RMS ในสายเฟส A และค่ากระแส RMS ในสายนิวทรอล สามารถสรุปผลได้ดังนี้



รูปที่ 6.2 แผนภาพการกระจายแสดงการกระจายค่าRMSของสายนิวทรอล

ตารางที่ 6.1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
RMSN	53.79	14.14	28
RMSA	941.93	380.51	28

สรุปผล ได้ดังนี้

- ค่าเฉลี่ยของกระแส RMS ในสายนิวทรอลมีค่าเท่ากับ 53.79 แอมป์
- กระแส RMS ในสายนิวทรอลมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 14.14 แอมป์
- ค่าเฉลี่ยของกระแส RMS ในสายเฟส A มีค่าเท่ากับ 941.93 แอมป์
- กระแส RMS ในสายเฟส A มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 380.51 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ค่ากระแส RMS ในสายนิวทรอลกับค่ากระแส RMS ในสายเฟส A

Correlations

	RMSN	RMSA
Pearson Correlation	RMSN	1.000
	RMSA	.039
Sig. (1-tailed)	RMSN	.
	RMSA	.422
N	RMSN	28
	RMSA	28

สรุปผลได้ดังนี้

- ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ค่ากระแส RMS ในสายนิวทรอลกับค่ากระแส RMS ในสายเฟส A เท่ากับ 0.039 หรือ 3.9 % แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันในทางบวกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น
- ค่านัยสำคัญของสถิติทดสอบ t โดยมีสมมติฐานดังนี้

$$H_0 ; \rho \leq 0 \quad (\text{เนื่องจาก } \gamma > 0)$$

$$H_1 ; \rho > 0$$

กำหนดระดับนัยสำคัญ 0.05

ในที่นี้ ค่านัยสำคัญของสถิติทดสอบ t เท่ากับ $0.422 > 0.05$ หมายถึง ปฏิเสธ H_0 หรือสรุปว่าค่ากระแส RMS ในสายนิวทรอลกับค่ากระแส RMS ในสายเฟส A สัมพันธ์กันในทางบวก

ตารางที่ 6.3 การใช้วิธีเลือกตัวแปรอิสระ

Variables Entered/Removed^b

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	RMSA ^a	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: RMSN

ในที่นี้คือ เลือกใช้ค่ากระแส RMS ในสายเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 ค่าสถิติสรุปของสมการถดถอย

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.039 ^a	.002	-.037	14.40	1.047

a. Predictors: (Constant), RMSA

b. Dependent Variable: RMSN

สรุปผลได้ดังนี้

- ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ $R^2 = 0.002$ หรือ 0.2% แสดงว่าค่ากระแส RMS ในสายเฟส A ไม่สามารถอธิบายความผันแปรของค่ากระแส RMS ในสายนิวทรัลได้
- ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแต่งแล้วเป็นค่า R^2 ที่ปรับจากจำนวนตัวอย่างของประชากร ให้มีความเหมาะสมกับจำนวนตัวแปรมากยิ่งขึ้นเท่ากับ -0.037 หรือ -3.7% ซึ่งก็ยังคงแสดงว่าค่ากระแส RMS ในสายนิวทรัลและค่ากระแส RMS ในสายเฟส A มีความสัมพันธ์กันน้อยมาก
- สมการถดถอยมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่าเท่ากับ 14.14 แอมป์
- ค่า Durbin-Watson เท่ากับ 1.047 ซึ่งน้อยกว่า 2 แสดงว่าความสัมพันธ์ของค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในทิศทางบวก

ตารางที่ 6.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอย

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	8.243	1	8.243	.040	.844 ^a
	Residual	5390.471	26	207.326		
	Total	5398.714	27			

a. Predictors: (Constant), RMSA

b. Dependent Variable: RMSN

สรุปได้ดังนี้

จากสมการถดถอย $RMSN = a + b(RMSA) + e$ (6.1)เมื่อ a คือ จุดตัดแกน Y b คือ ค่าความชันของสมการถดถอย e คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทดสอบสมมติฐาน

$$H_0 ; RMSN \neq a + b(RMSA) + e \text{ หรือ } H_0 ; b = 0 \tag{6.2 a}$$

$$H_1 ; RMSN = a + b(RMSA) + e \text{ หรือ } H_1 ; b \neq 0 \tag{6.2 b}$$

ช่วงของการยอมรับ 0.95 ดังนั้น $\alpha = 0.05$

จากตารางค่าวิกฤตของการแจกแจงแบบ F ที่ $\alpha = 0.05$ เมื่อ $v_1 = 1$ และ $v_2 = 26$ ได้ค่า $F = 4.23$ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $F > F_{1,26;0.95}$ และจากตาราง ANOVA สถิติทดสอบ F เท่ากับ 0.04 โดยมีนัยสำคัญเท่ากับ 0.844

$$F < F_{1,26;0.95} \text{ ดังนั้น จะยอมรับ } H_0 ; b = 0$$

ตารางที่ 6.6 สัมประสิทธิ์การถดถอย

Model	Coefficients ^a							
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B		
	B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	
1	(Constant)	52.418	7.380		7.103	.000	37.249	67.587
	RMSA	1.452E-03	.007	.039	.199	.844	-.014	.016

a. Dependent Variable: RMSN

สรุปได้ดังนี้

$a = 52.418$ แอมป์และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 7.380 แอมป์

$b = 1.452 \times 10^{-3}$ แอมป์ และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 0.007 แอมป์

ทดสอบสมมติฐานที่ 1 $H_0 ; H_0 ; b = 0 \tag{6.3 a}$

$$H_1 ; H_1 ; b \neq 0 \tag{6.3 b}$$

เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ของกระแส RMS ในสายเฟส A กับกระแส RMS ในสายนิวทรัลว่ามีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นหรือไม่

สถิติทดสอบ t เท่ากับ 0.199 และค่านัยสำคัญของ t เท่ากับ 0.844

จากตารางค่าวิกฤตของการแจกแจงแบบ t ที่ $d.f. = n - 1 = 27$ และ $\alpha = 0.05$ ได้ $t = 1.703$

$$0.199 < 1.703$$

ดังนั้น ยอมรับ H_0 นั่นคือ $b = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ทดสอบสมมติฐานที่ 2 } H_0 \quad ; a = 0 \quad (6.4 a)$$

$$H_1 \quad ; a \neq 0 \quad (6.4 b)$$

เพื่อทดสอบเกี่ยวกับการตัดแกน Y

สถิติทดสอบ t เท่ากับ 7.103 และค่านัยสำคัญของ t เท่ากับ 0.054

จากรายค่าวิกฤตของการแจกแจงแบบ t ที่ $d.f. = n - 1 = 27$ และ $\alpha = 0.05$ ได้ $t = 1.703$

$7.103 > 1.703$ แสดงว่าปฏิเสธ H_0 นั่นคือ $a \neq 0$ มีจุดตัดแกน Y ที่ 52.418 แอมป์
ดังนั้น ค่ากระแส RMS ในสายนิวทรอลกับค่ากระแส RMS ในสายเฟส A ไม่มีความสัมพันธ์กัน
เชิงเส้น เนื่องจาก $b = 0$

ตรวจสอบจากระดับความเชื่อมั่น

ค่าประมาณแบบช่วงของ a และ b ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$$37.249 < a < 67.587$$

สรุปได้ว่า ค่าต่ำสุดและสูงสุดของ a มีค่าเป็นบวก ดังนั้น a ไม่เท่ากับศูนย์

$$-0.014 < b < 0.016$$

สรุปได้ว่า ค่าต่ำสุดของ b มีค่าต่ำกว่าศูนย์ในขณะที่ค่าสูงสุดเป็นบวก ดังนั้น b เท่ากับศูนย์
กล่าวคือ ค่ากระแส RMS ในสายนิวทรอลกับค่ากระแส RMS ในสายเฟส A ไม่มีความสัมพันธ์กันใน
รูปเชิงเส้น แต่ก็ยังมีจุดตัดแกน Y

จากการประมวลผล พบว่าไม่เกิด Casewise Diagnostics

แสดงว่าไม่มีข้อมูลในกรณีใดที่มีค่าที่ผิดปกติ

ตารางที่ 6.7 ค่าความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่ากระแส RMS ในสายนิวทรอล
ด้วยค่ากระแส RMS ในสายเฟส A

Residuals Statistics^a

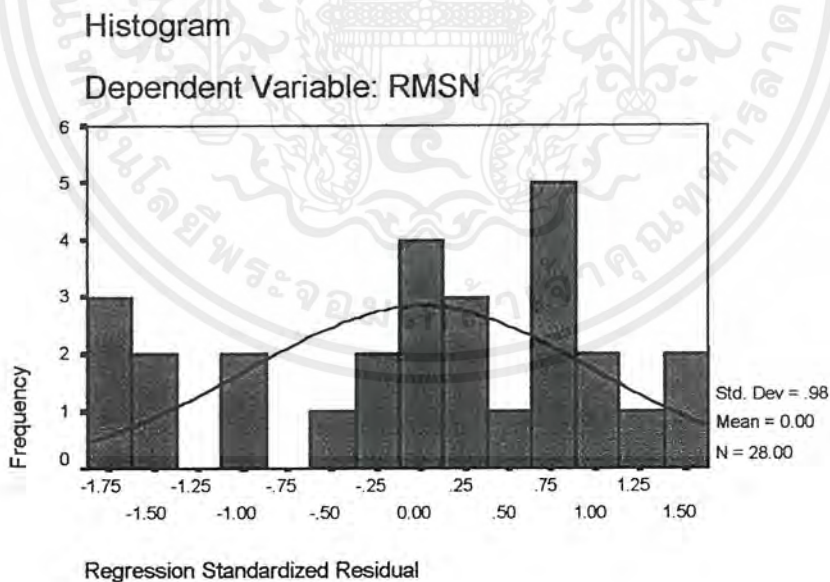
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	52.80	54.32	53.79	.55	28
Residual	-25.07	22.84	1.27E-15	14.13	28
Std. Predicted Value	-1.776	.975	.000	1.000	28
Std. Residual	-1.741	1.586	.000	.981	28

a. Dependent Variable: RMSN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปได้ดังนี้

- ค่าเฉลี่ยของกระแส RMS ในสายนิวทรอด โดยประมาณเท่ากับ 53.79 แอมป์
- ค่าประมาณของกระแส RMS ในสายนิวทรอดต่ำสุดเท่ากับ 52.80 แอมป์
- ค่าประมาณของกระแส RMS ในสายนิวทรอดสูงสุดเท่ากับ 54.32 แอมป์
- ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยประมาณของกระแส RMS ในสายนิวทรอดเท่ากับ 0.55 แอมป์
- ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อน เท่ากับ 1.27×10^{-15} แอมป์
- ค่าคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ -25.07 แอมป์
- ค่าคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับ 22.84 แอมป์
- ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคลาดเคลื่อนเท่ากับ 14.13 แอมป์
- ค่าประมาณมาตรฐานต่ำสุดเท่ากับ -1.776 แอมป์
- ค่าประมาณมาตรฐานสูงสุดเท่ากับ 0.975 แอมป์
- ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานต่ำสุดเท่ากับ -1.741 แอมป์
- ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานสูงสุดเท่ากับ 1.586 แอมป์
- ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 0.981 แอมป์



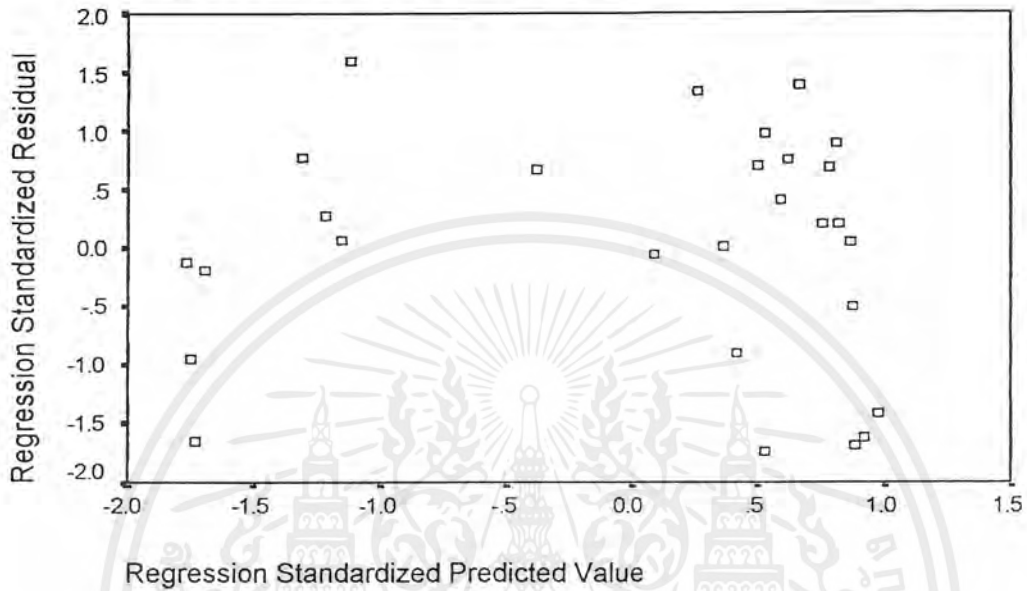
รูปที่ 6.3 การแจกแจงของค่ากระแส RMS ในสายนิวทรอด

สรุปได้ว่า มีการแจกแจงแบบปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

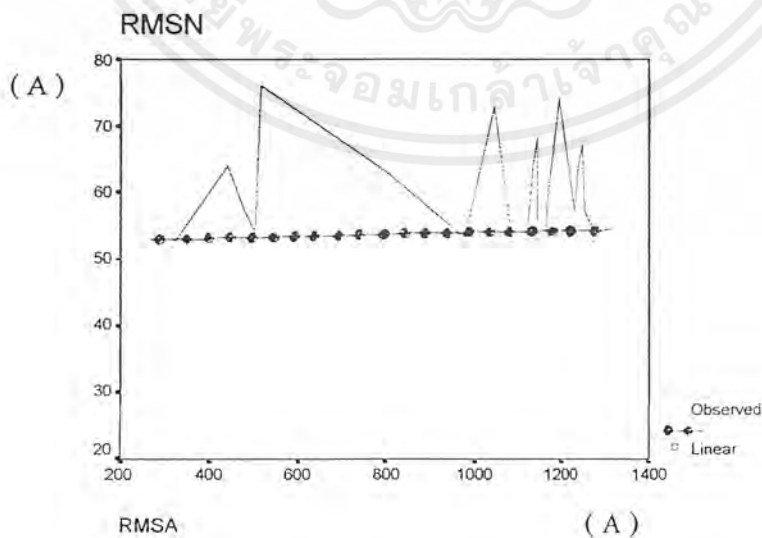
Scatterplot

Dependent Variable: RMSN



รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณมาตรฐานกับค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

พบว่าถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานมีความสัมพันธ์ที่ไม่แน่นอนกับค่าประมาณมาตรฐานของค่ากระแสในสายนิวทรอล

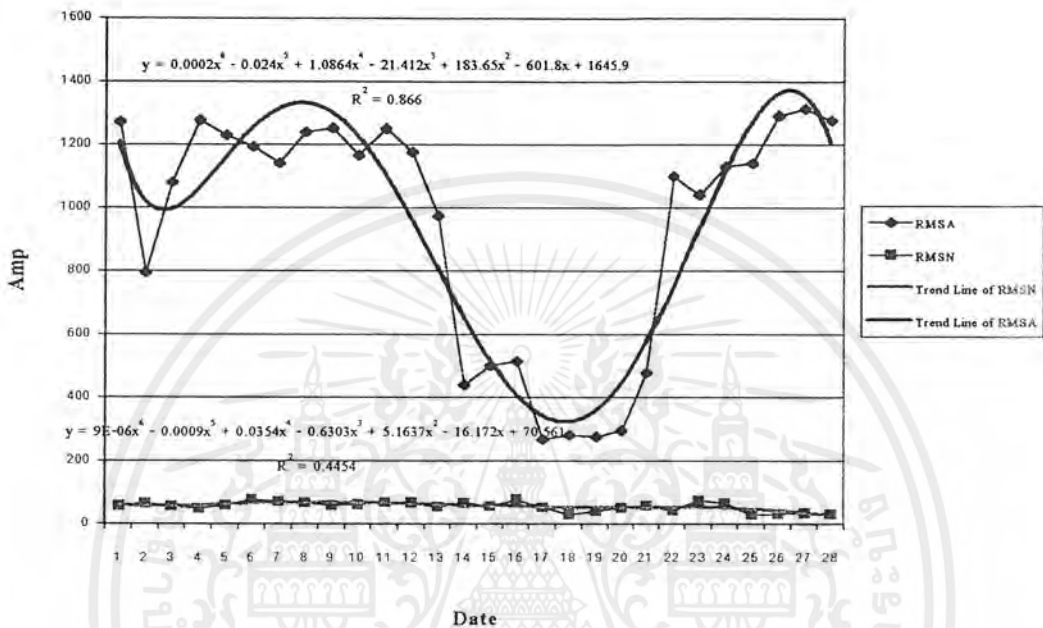


รูปที่ 6.5 การประมาณค่าเส้นกราฟของค่าสังเกต(ค่ากระแสในสายนิวทรอล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การวิเคราะห์ที่ใช้โปรแกรม EXCEL 97

ได้ผลดังนี้



รูปที่ 6.6

กระแส RMS ในสายนิวทรอลและกระแส RMS ในสายเฟส A รวมทั้งการทำนายแนวโน้มการเกิดขึ้นของกระแส RMS ในสายนิวทรอลและกระแส RMS ในสายเฟส A พร้อมทั้งแสดงสมการของเส้นแนวโน้ม

สรุปผลได้ว่า

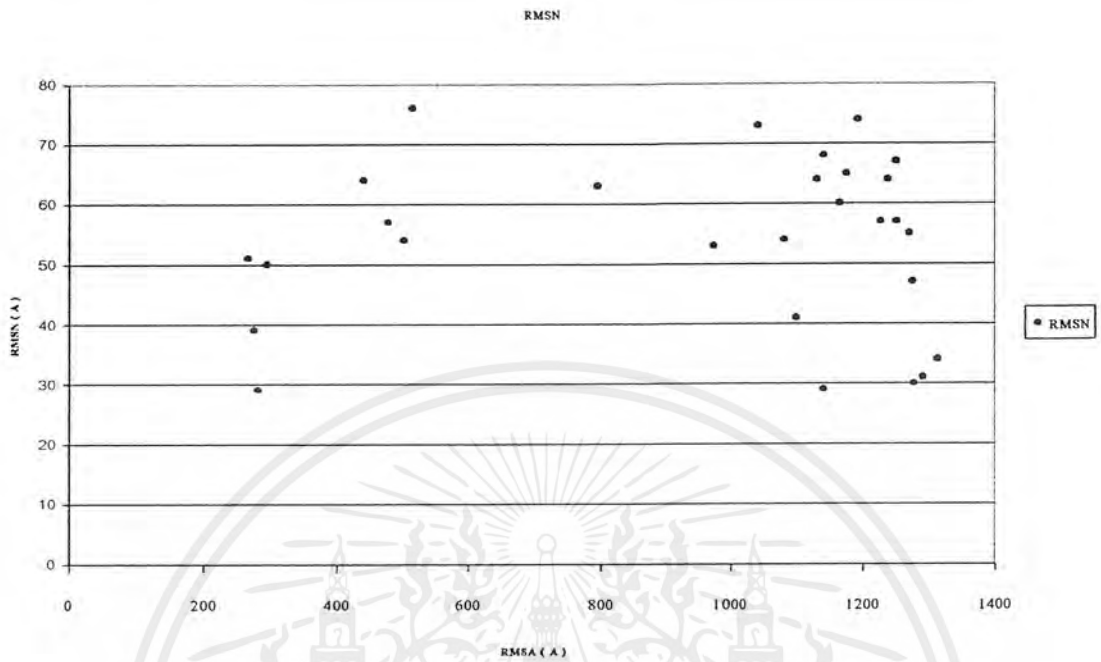
- กระแส RMS ในสายนิวทรอลมีความสัมพันธ์กับเส้นแนวโน้ม 44.54 % ซึ่งดูจากค่า $R^2=0.866$ และมีความสัมพันธ์กันแบบไม่เป็นเชิงเส้น

แสดงว่าสมการแนวโน้มการเกิดของกระแส RMS ในสายนิวทรอลมีความใช้ได้ปานกลาง

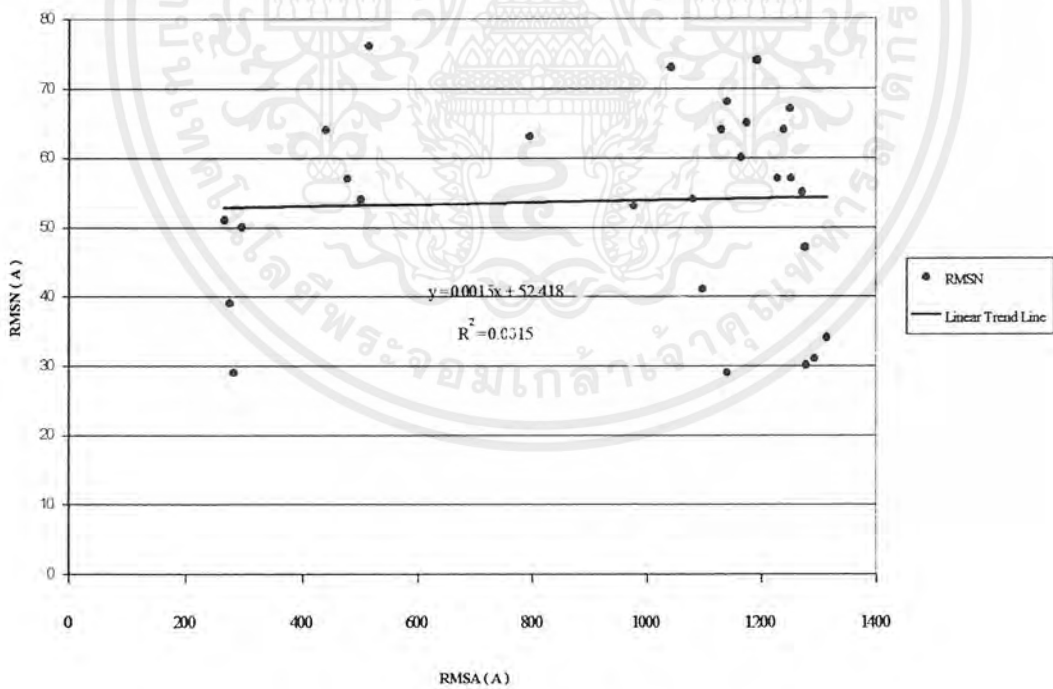
- กระแส RMS ในสายเฟส A มีความสัมพันธ์กับเส้นแนวโน้ม 86.6 % ซึ่งดูจากค่า $R^2=0.4454$ และมีความสัมพันธ์กันแบบไม่เป็นเชิงเส้น

แสดงว่าสมการแนวโน้มการเกิดของกระแส RMS ในสายเฟส A มีความใช้ได้ค่อนข้างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

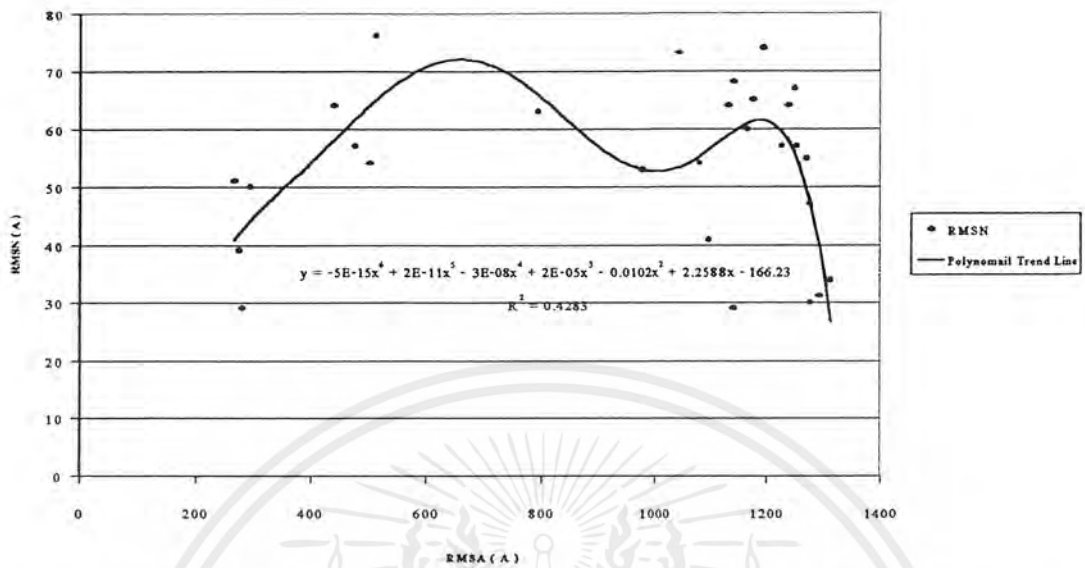


รูปที่ 6.7 แผนภาพการกระจายของค่ากระแส RMS ในสายนิวทรอล



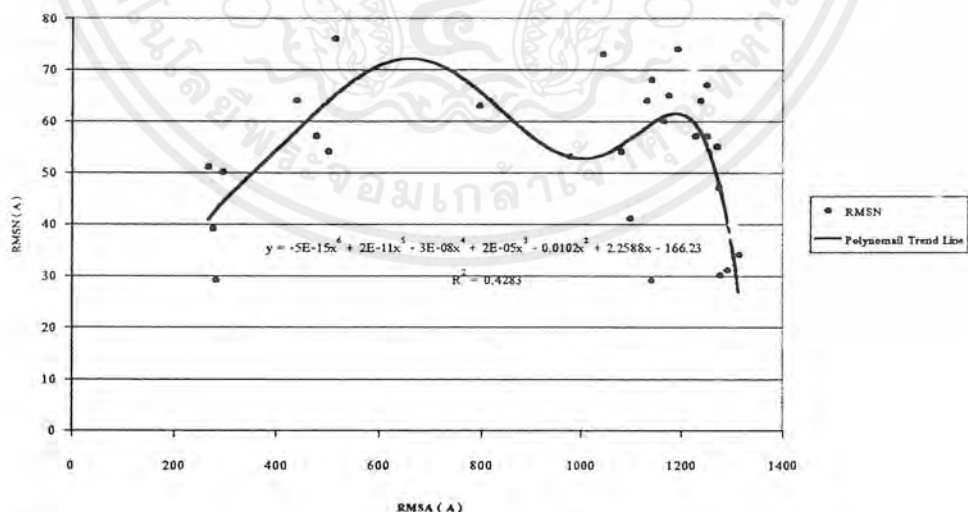
รูปที่ 6.8 การถดถอยแบบเส้นตรงของการเกิดกระแส RMS ในสายนิวทรอล

พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าเพียง 0.0015 หรือ 0.15 % เท่านั้น แสดงว่า กระแส RMS ในสายนิวทรอลไม่มีความสัมพันธ์กับกระแส RMS ในสายเฟส A เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.9 การถดถอยแบบ Polynomial อันดับ 6 ของค่ากระแส RMS ในสายนิวทรอล

พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่า 0.4283 หรือ 42.83 % แสดงว่า กระแส RMS ในสายนิวทรอลมีความสัมพันธ์กับกระแส RMS ในสายเฟส A แบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยที่ระดับความน่าเชื่อถือของสมการถดถอยอยู่ในระดับปานกลาง หรือ กระแส RMS ในสายนิวทรอลมีความสัมพันธ์กับกระแส RMS ในสายเฟส A แบบโพลีโนเมียลปานกลาง

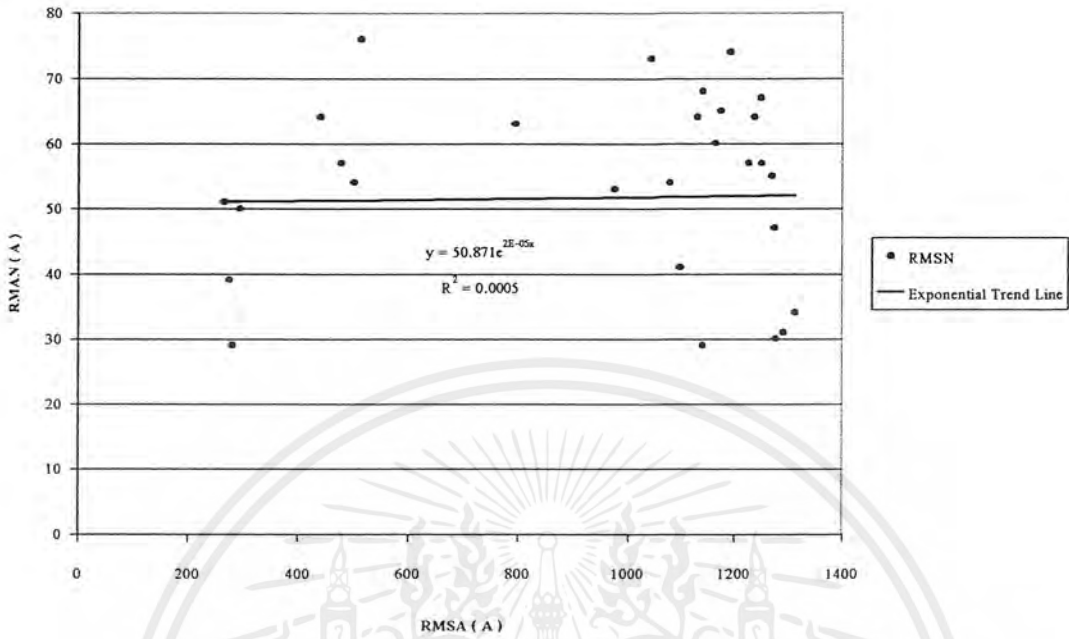


รูปที่ 6.10 การถดถอยแบบ Logarithm ของค่ากระแส RMS ในสายนิวทรอล

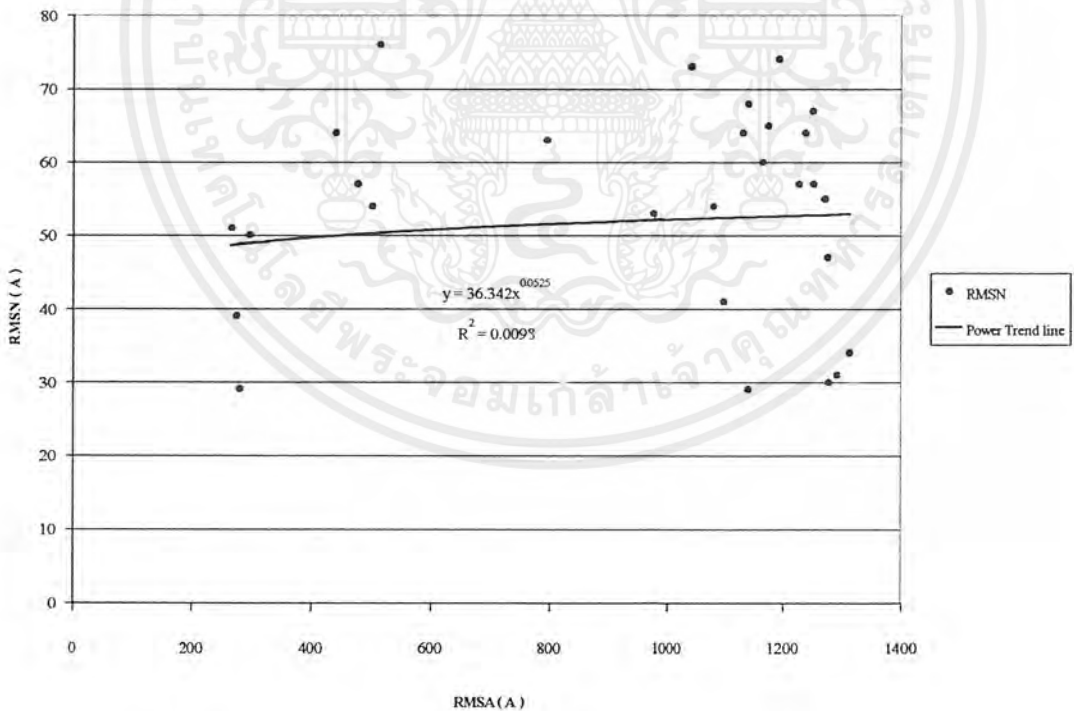
พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่า 0.0137 หรือ 1.37 % แสดงว่า กระแส RMS ในสายนิวทรอล

ไม่มีความสัมพันธ์กับกระแส RMS ในสายเฟส A แบบลอการิทึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

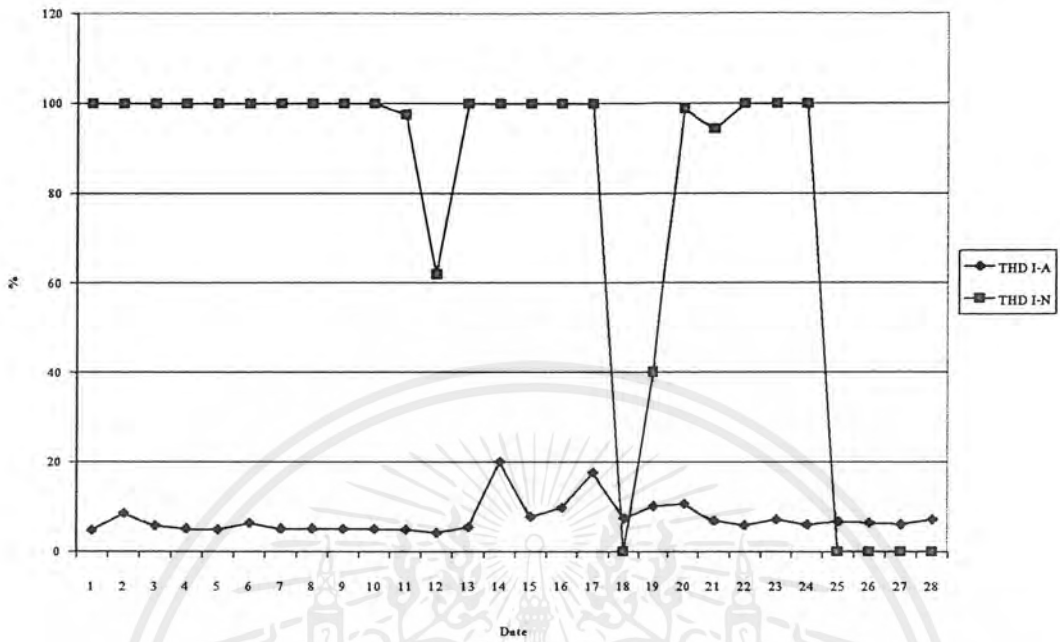


รูปที่ 6.11 การถดถอยแบบ Exponential ของค่ากระแส RMS ในสายนิวทรอล

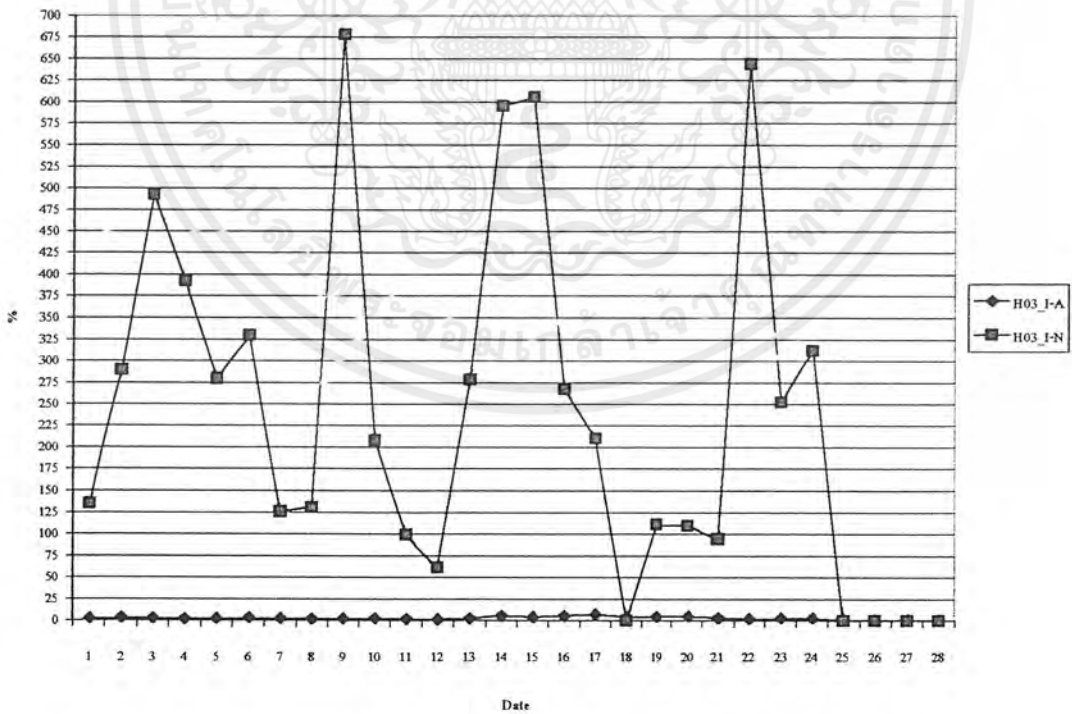


รูปที่ 6.12 การถดถอยแบบ Power ของค่ากระแส RMS ในสายนิวทรอล

จากทั้งสองรูป พบว่ากระแส RMS ในสายนิวทรอล ไม่มีความสัมพันธ์กับกระแส RMS ในสายเฟส A ทั้งแบบเอ็กโพเนนเชียลและแบบยกกำลัง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

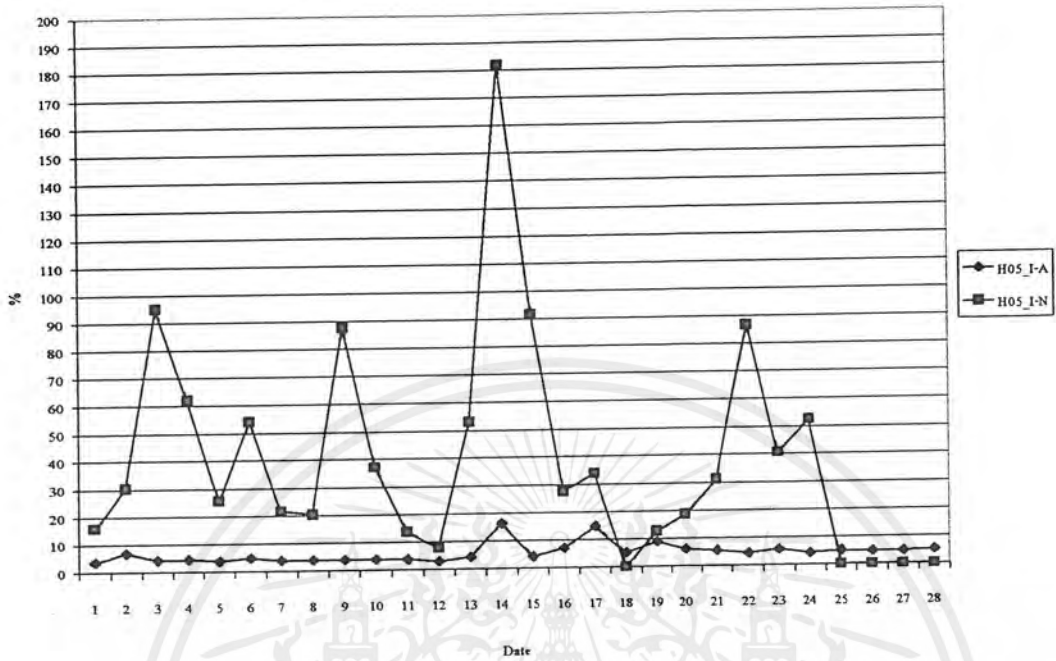


รูปที่ 6.13 เปรียบเทียบค่า THD ในสายเฟส A และสายนิวทรอล

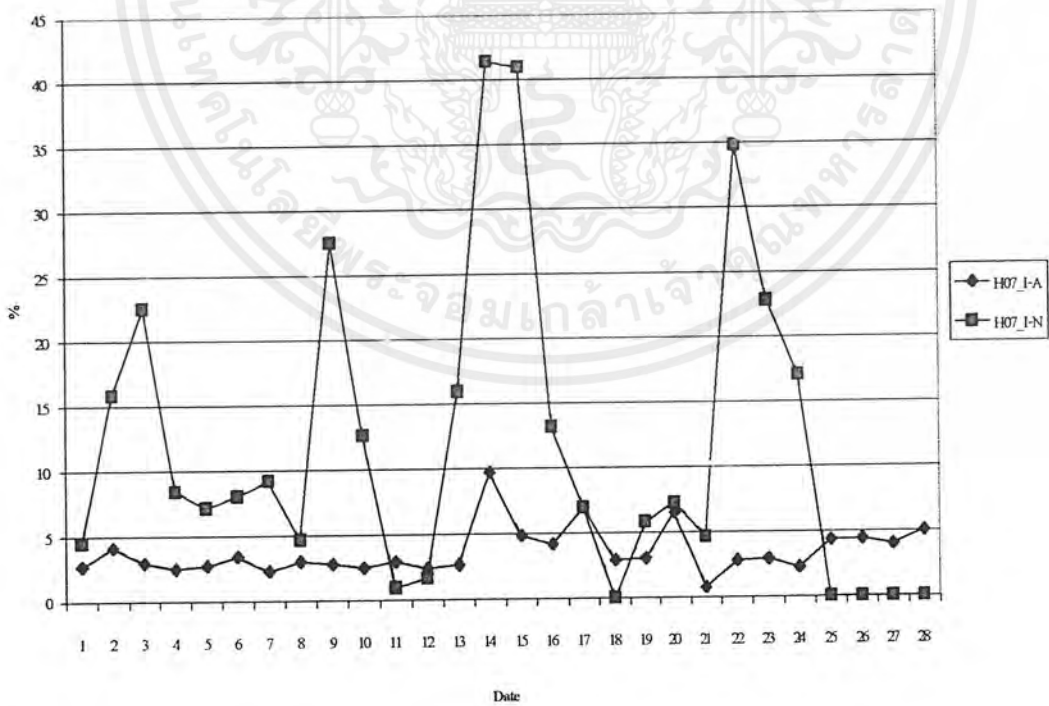


รูปที่ 6.14 เปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 ของสายเฟส A และสายนิวทรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

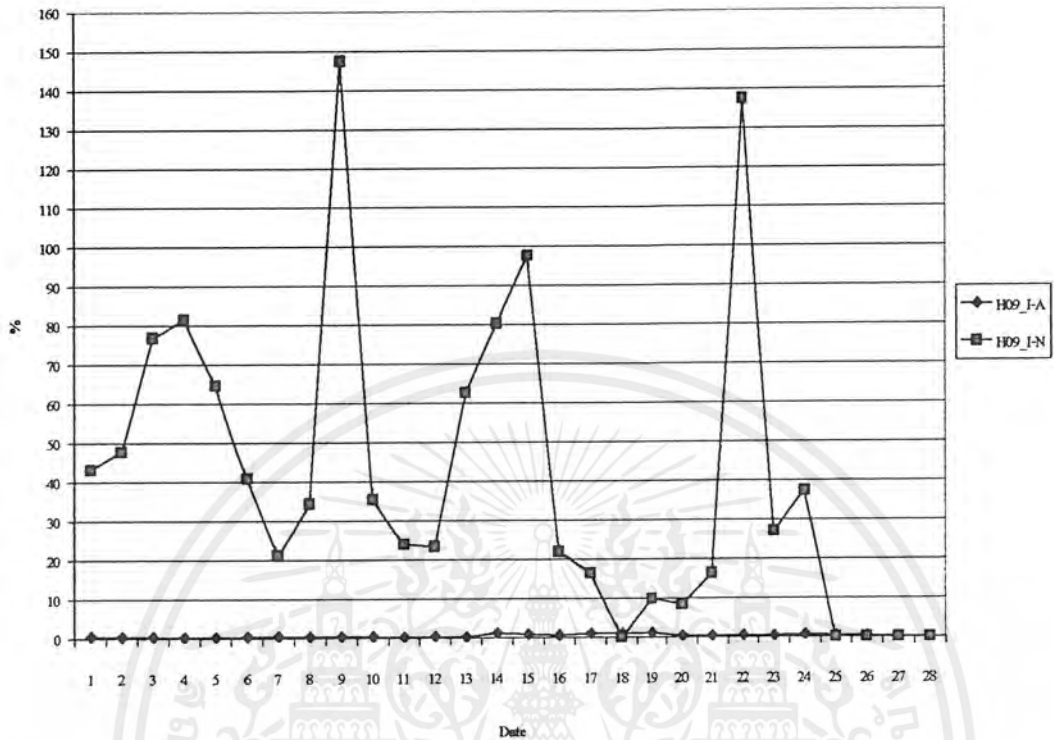


รูปที่ 6.15 เปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 5 ของสายเฟส A และสายนิวทรัล

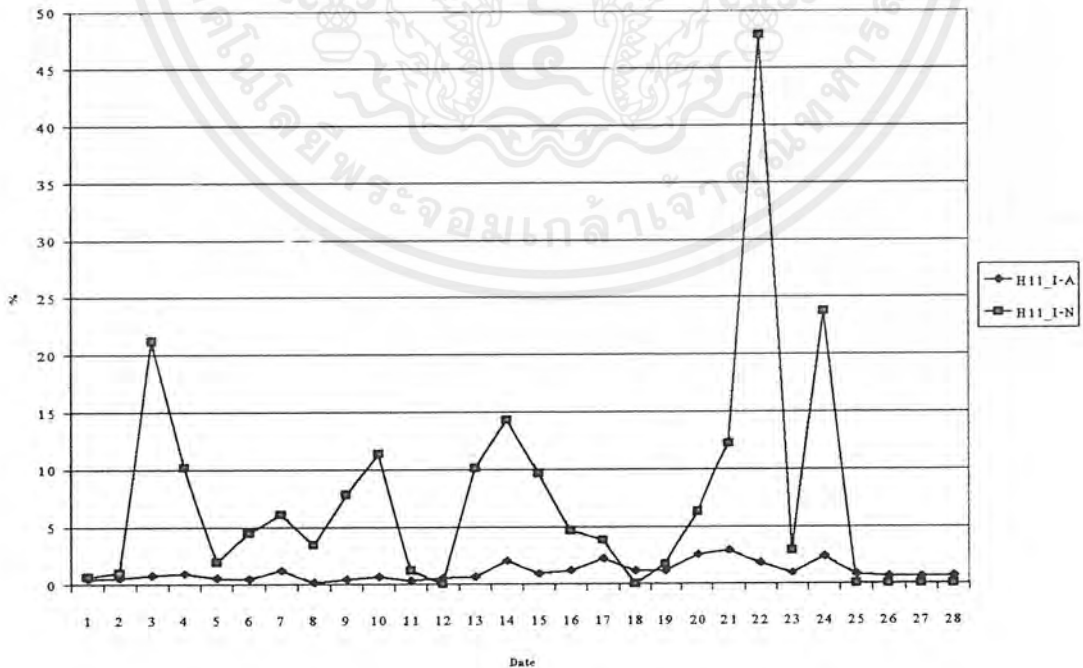


รูปที่ 6.16 เปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 7 ของสายเฟส A และสายนิวทรัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

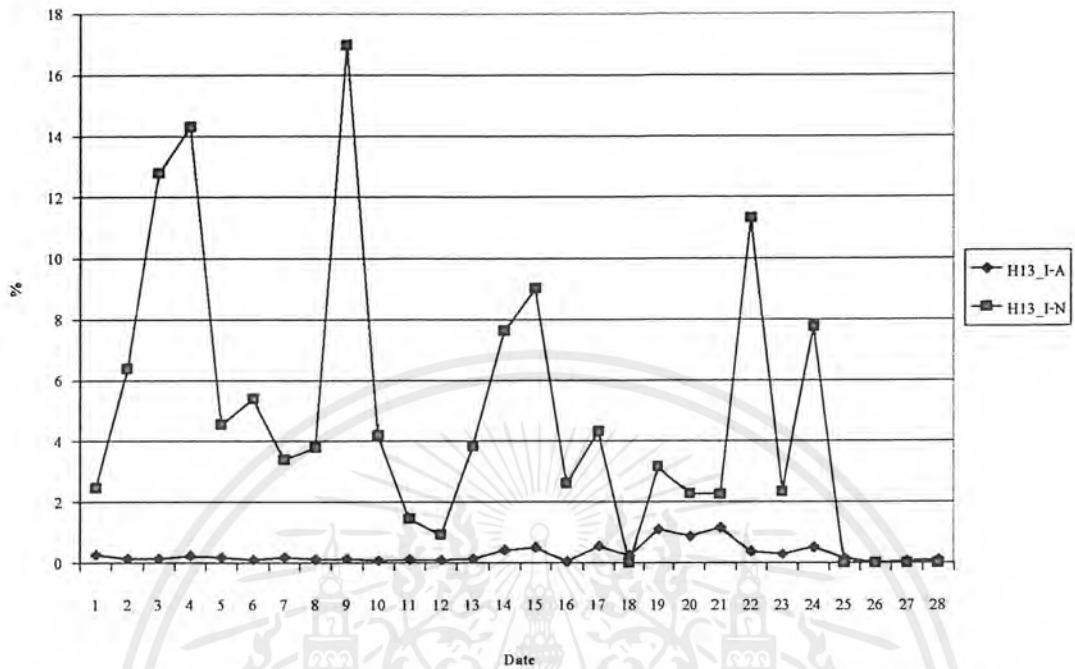


รูปที่ 6.17 เปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 9 ของสายเฟส A และสายนิวทรัล

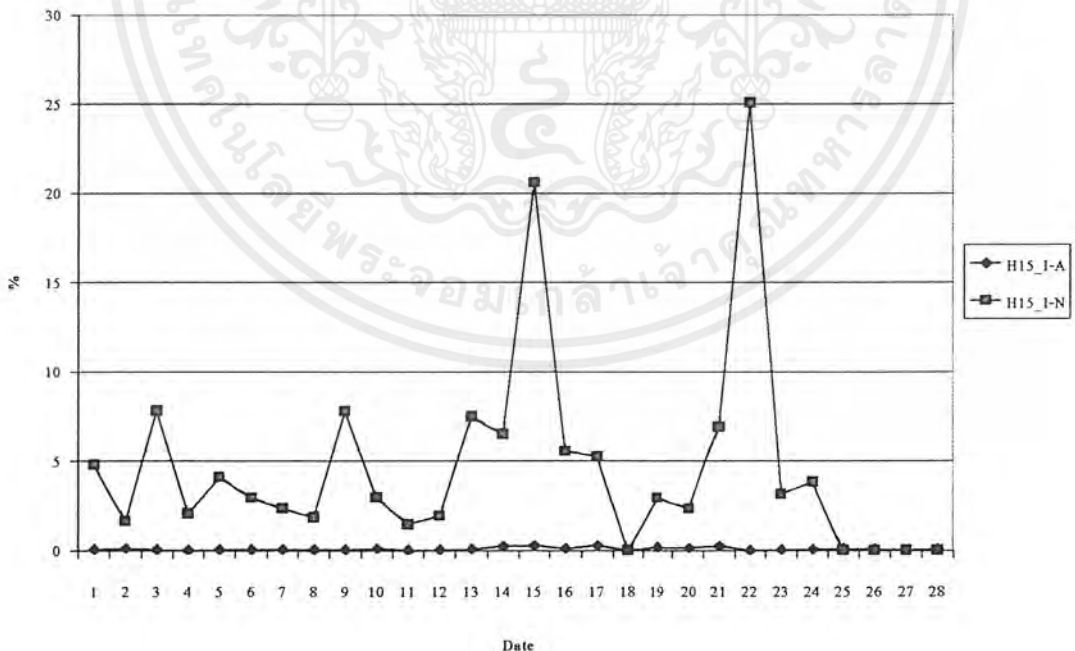


รูปที่ 6.18 เปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 11 ของสายเฟส A และสายนิวทรัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติหนาไปเซประะยชนดานการค้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

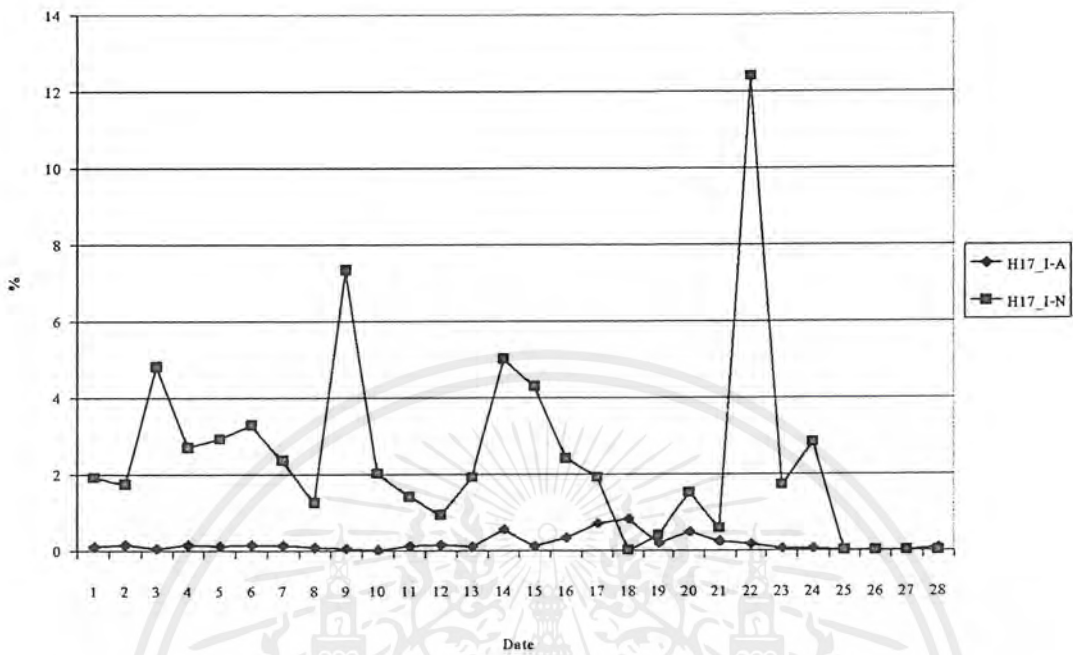


รูปที่ 6.19 เปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 13 ของสายเฟส A และสายนิวทรอล

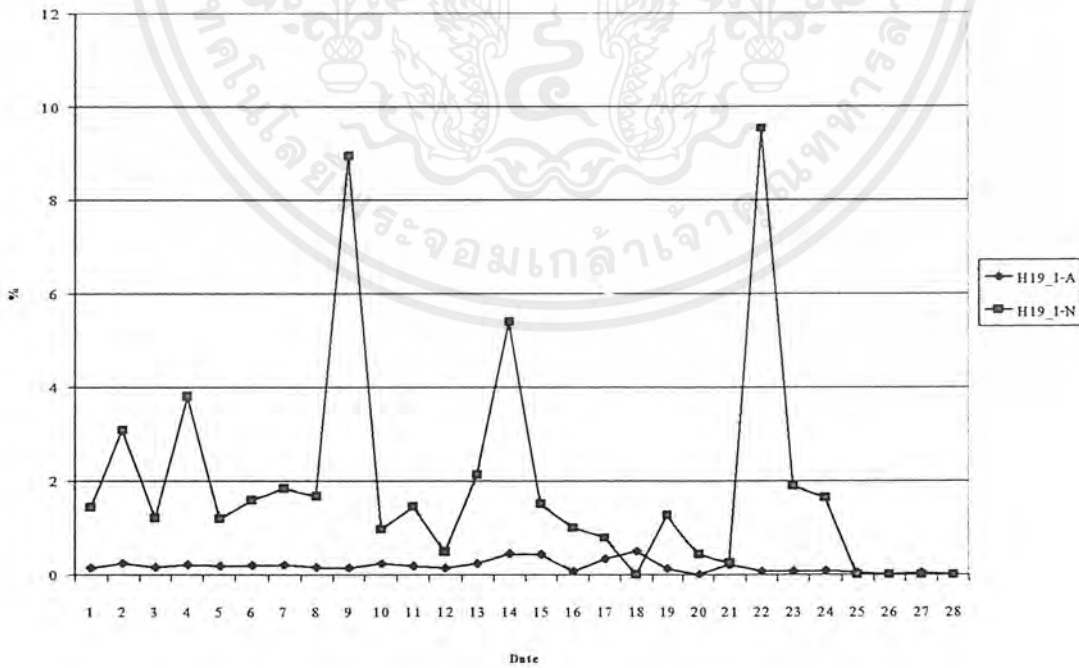


รูปที่ 6.20 เปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 15 ของสายเฟส A และสายนิวทรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

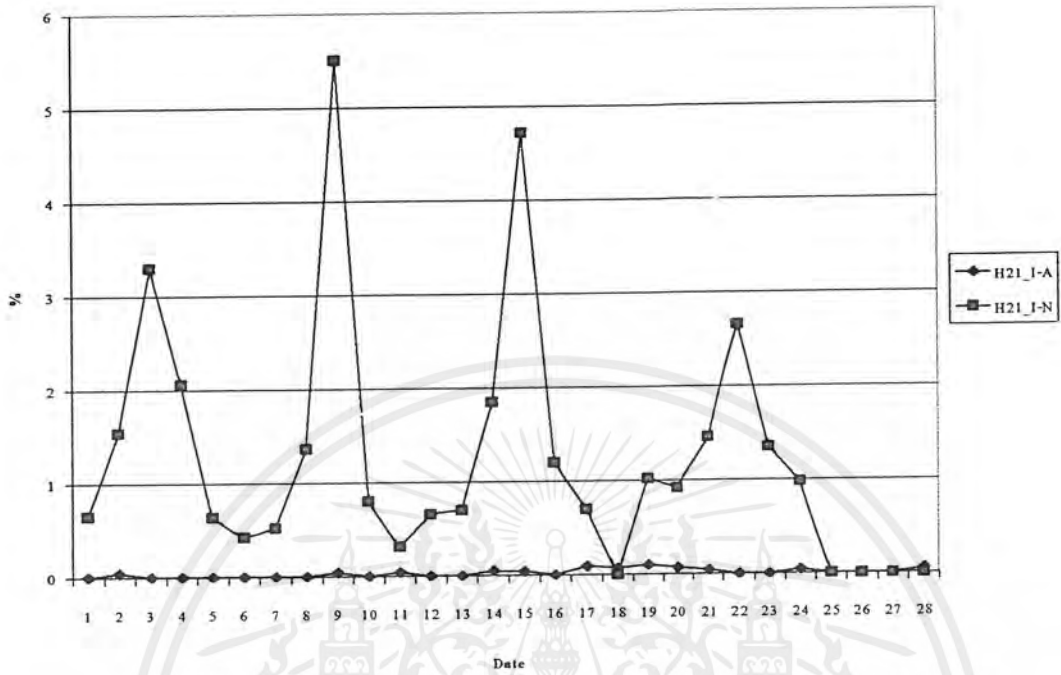


รูปที่ 6.21 เปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 17 ของสายเฟส A และสายนิวทรัล

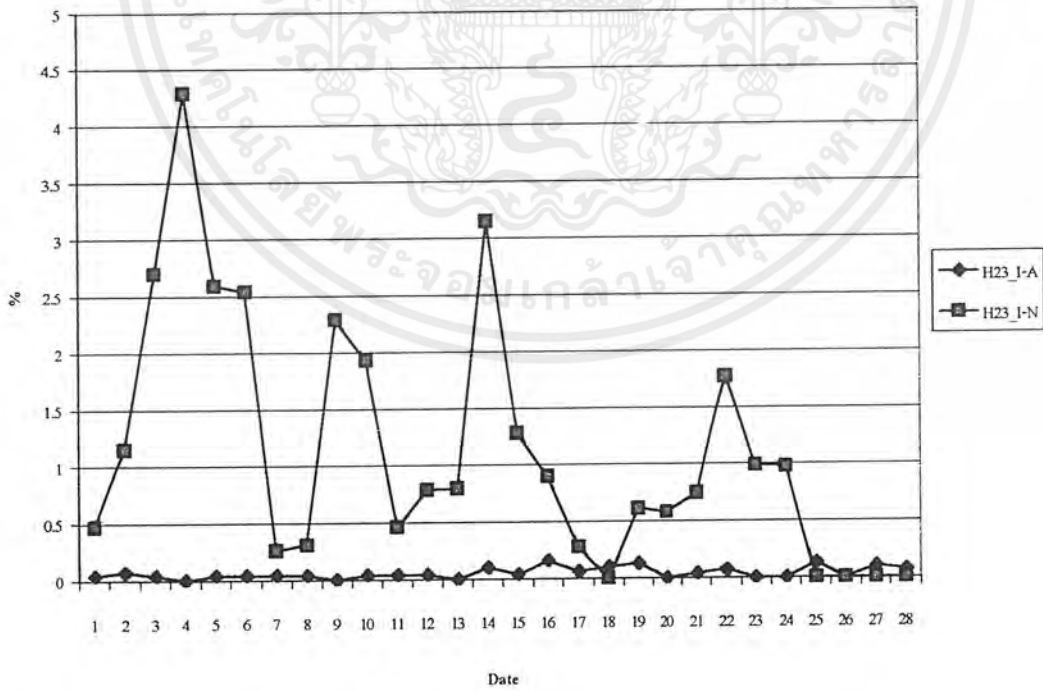


รูปที่ 6.22 เปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 19 ของสายเฟส A และสายนิวทรัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

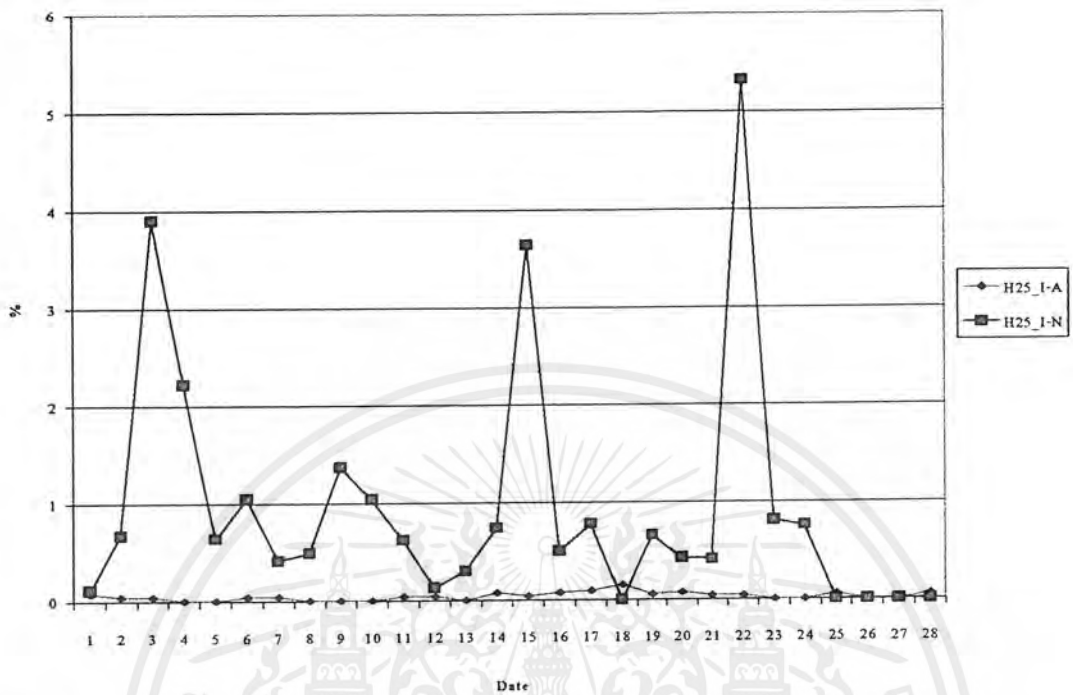


รูปที่ 6.23 เปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 21 ของสายเฟส A และสายนิวทรัล

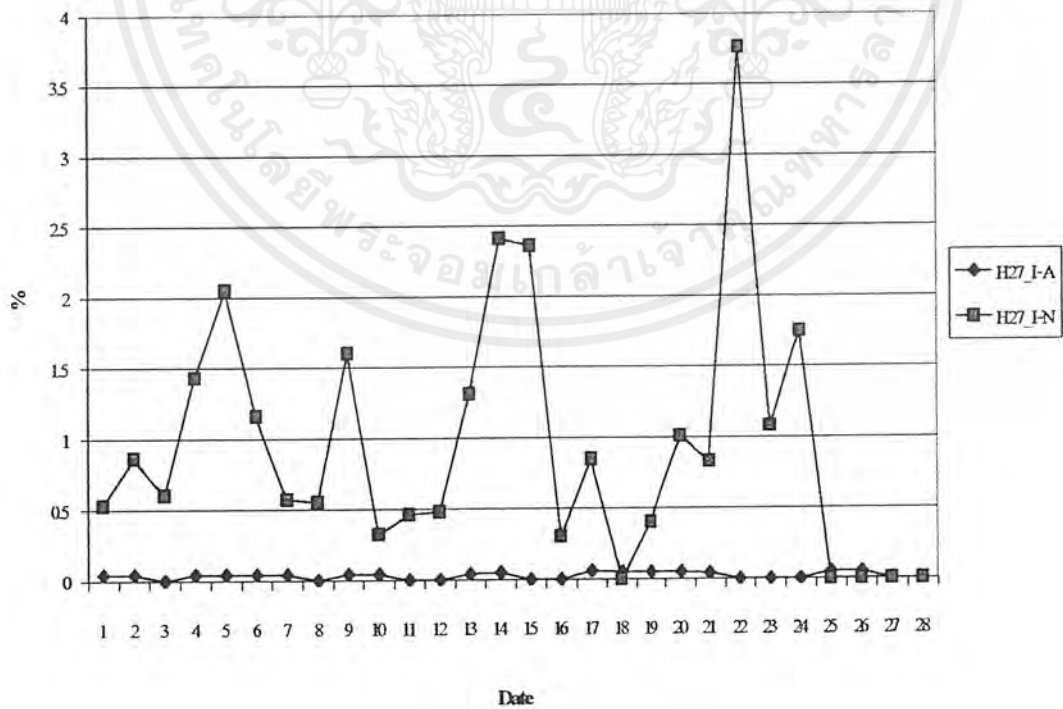


รูปที่ 6.24 เปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 23 ของสายเฟส A และสายนิวทรัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

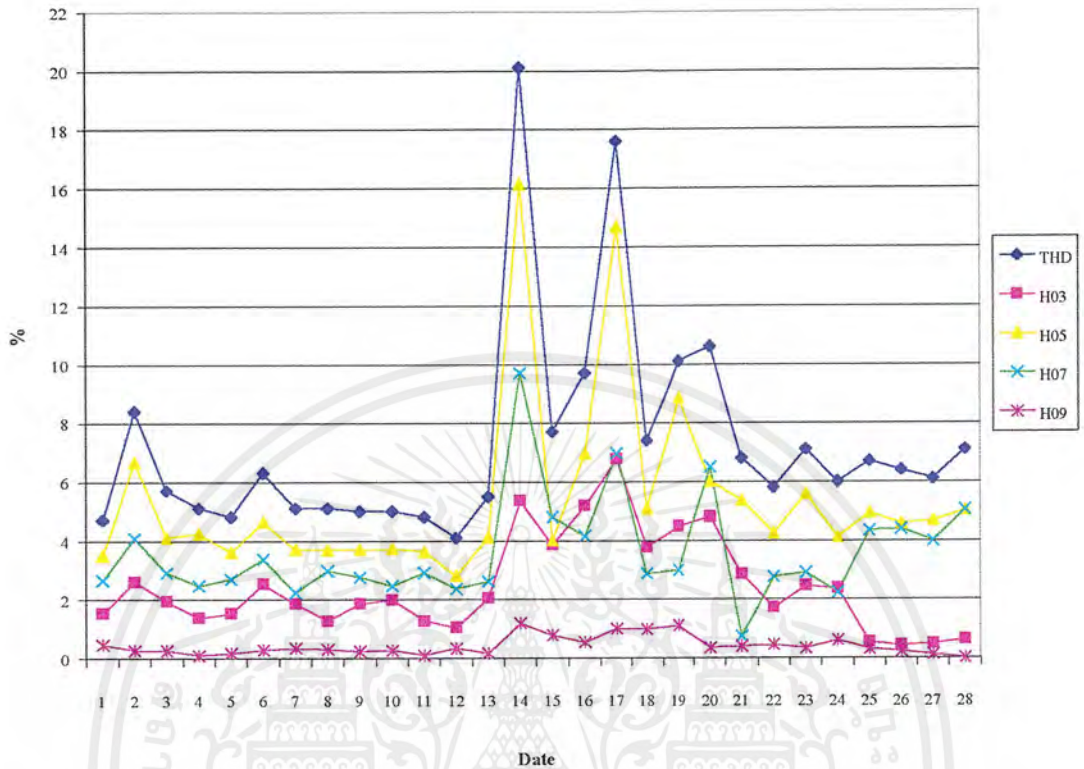


รูปที่ 6.25 เปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 25 ของสายเฟส A และสายนิวทรัล

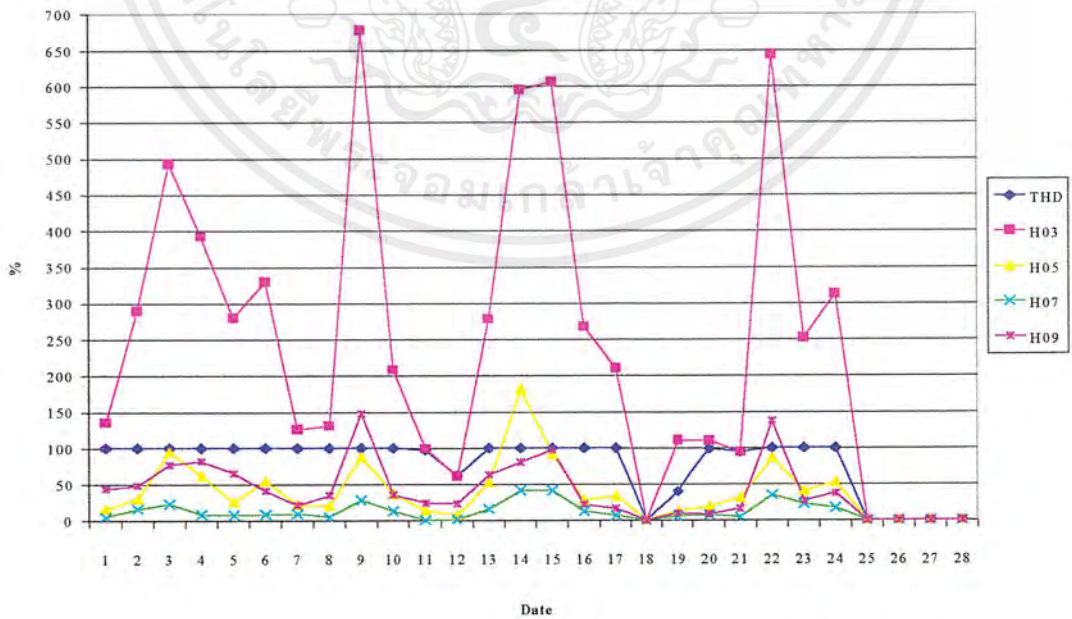


รูปที่ 6.26 เปรียบเทียบค่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 27 ของสายเฟส A และสายนิวทรัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.27 ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวมและค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3,5,7 และ 9 ของสายเฟส A



รูปที่ 6.28 ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวมและค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3,5,7 และ 9 ของสายนิวทรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป จะพบว่ากระแสที่เกิดขึ้นในสายนิวทรอลเกิดจากฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 และลำดับที่ 5 เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ โดยเฉพาะฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 เมื่อกลับไปพิจารณากระแสในเฟส A ก็จะมีฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 5 เป็นองค์ประกอบอยู่มาก

ดังนั้นในกรณีศึกษาบริษัทเนสต์แล้ว ทำให้สรุปได้ว่า

ปัญหาที่พบ กระแสในสายนิวทรอลเกิดจากฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 และลำดับที่ 5 เป็นหลัก

- สาเหตุ - เกิดจากอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้นจำพวกหลอดฟลูออเรสเซนต์
- อุปกรณ์ควบคุมความเร็ว, คอนเวอร์เตอร์ และอินเวอร์เตอร์

อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม EXCEL 97 ไม่สามารถบ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแส RMS ในสายนิวทรอลและค่ากระแส RMS ในสายเฟส A ได้อย่างชัดเจนแน่นอน เนื่องจากต้องมีการทดสอบสมมติฐานว่าจะสามารถยอมรับสมมติฐานได้หรือไม่

บทที่ 7

ผลกระทบและการแก้ไขการเกิดกระแสนิวทรัล

7.1 ผลกระทบจากกระแสนิวทรัล

สายนิวทรัล (Neutral Conductors)

ในระบบ 3 เฟส 4 สาย, สายนิวทรัลได้รับผลกระทบจากฮาร์โมนิกส์ที่เกิดจากโหลดชนิดที่ไม่เป็นเชิงเส้นมากที่สุดคือสามเฟส ถ้าเราพิจารณาในภาวะปกติ ในระบบที่มีโหลดสมดุลสามเฟสแบบเชิงเส้น จะไม่มีกระแสไหลในสายนิวทรัล

ในระบบ 4 สาย ที่มีโหลดแบบไม่เป็นเชิงเส้น ชนิดเฟสเดียวต่ออยู่ จะมีค่าฮาร์โมนิกส์เลขคี่ที่เราเรียกว่า Triplens เลขคี่ที่เป็นจำนวนเท่าของฮาร์โมนิกส์ที่สาม เช่น $3^{rd}, 9^{th}, 15^{th}, \dots$ ซึ่งไม่ได้ถูกหักล้างไปตรงกันข้ามกับเสริมกันเข้าไปในสายนิวทรัล และถ้าหากในระบบประกอบไปด้วยโหลดชนิดนี้มากๆ อาจจะทำให้กระแสที่ไหลในสายนิวทรัลมากกว่าในสายเฟสได้ ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนเกินขึ้น และเนื่องจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้มักจะไม่ได้ออกแบบมาป้องกันสายนิวทรัลด้วย ดังนั้นอาจจะทำให้เกิดความเสียหายตามมาได้

กระแสนิวทรัลที่มีค่าสูง ๆ ในระบบ สามารถที่จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดโหลดเกินในระบบจำหน่าย เกิดความผิดปกติของแรงดัน ในระบบจำหน่าย 3 เฟส 4 สายนั้นขนาดของตัวนำที่มีกระแสไหลทั้ง 3 สาย ตาม National Electrical Code (NEC) ตารางที่ 310-16 เมื่อมีกระแสฮาร์โมนิกส์ในสายนิวทรัล จะทำให้เกิดความร้อนและทำให้ความจุของสายป้อนลดลงตัวนำที่มีกระแสไหลทั้ง 4 สาย ขนาดความจุของระบบจำหน่าย จะต้องลดลงเป็น 80 % ของตัวนำที่มีกระแสไหลทั้ง 3 สาย ตาม NEC ตารางที่ 310 – 16 Note 8 และ 10 ตามปกติ สายนิวทรัล จะมีขนาดเท่ากับสายเฟส สามารถจะเกิดภาวะโหลดเกิน หากกระแสนิวทรัลมีค่ามากกว่ากระแสเฟส

กระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 ที่สมดุล ที่เพิ่มเข้าไปในสายนิวทรัลจะทำให้หม้อแปลงที่ต่อแบบเดลต้า – วาย จะไม่สามารถทำงานได้ กระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 จะไหลวนในด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงที่ต่อแบบเดลต้า ผลก็คือ กระแสที่ไหลในขดลวดของหม้อแปลง (สาเหตุของการเพิ่มขึ้นของความร้อน) จะมีค่ามากกว่าที่จะสามารถตรวจพบโดยอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง ซึ่งจะทำให้เกิดภาวะโหลดเกินของหม้อแปลง เพราะว่า แหล่งจ่ายไฟซึ่งผลิตกระแสนิวทรัลฮาร์โมนิกส์ ซึ่งมีรูปคลื่นกระแส Peak to RMS ที่สูงขึ้น จึงทำให้รูปคลื่นของ แรงดันเกิดความผิดปกติ “ Flat – Topping ” เป็นรูปคลื่นที่มาจากค่าความต้านทานของระบบไฟฟ้า ที่ความถี่ของกระแสฮาร์โมนิกส์ เมื่อแหล่งจ่ายไฟ ใช้ค่าแรงดันรูปคลื่นไซน์ค่าสูงสุด

เพื่อใช้ในการเก็บประจุของคาปาซิเตอร์ให้เต็ม การลดลงของแรงดันสูงสุดจะปรากฏที่ค่าแรงดันต่ำสุดของแหล่งจ่ายไฟ ถึงแม้ว่าค่า RMS ของแรงดัน จะเป็นปกติก็ตาม

นอกจากนั้นแล้วการที่มีกระแสไหลเกินในสายนิวทรอลก็จะเป็นสาเหตุให้เกิดแรงดันตกเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

7.2 การแก้ไขปัญหาจากกระแสนิวทรอล

การแก้ไขปัญหาในกรณีสายนิวทรอลรับภาระโหลดเกิน

จากที่อธิบายข้างต้นแล้วถ้าหากมีกระแสในสายนิวทรอลเกินนั้น วิธีการแก้สมการกระทำได้ โดยการปรับโหลดให้สมดุลกันในแต่ละเฟสและ Triplen ฮาร์โมนิกส์สามารถลงได้โดยการใส่ฟิลเตอร์เข้าที่โหลด แต่ถ้าหากไม่สามารถทำในสองกรณีดังกล่าวข้างต้นได้ก็อาจแก้ไขโดยลากสายนิวทรอลเพิ่มเข้าไป และในอุดมคติแล้วเราใช้หนึ่งสายนิวทรอลกับหนึ่งสายเฟส หรือใช้สายนิวทรอลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ในระบบสามเฟส

การแก้ไขปัญหากระแสนิวทรอลจากฮาร์โมนิกส์

การแก้ไขปัญหาที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์สามารถกระทำได้หลายวิธีดังนี้

1. การลดค่าอิมพีแดนซ์ของระบบ

ระดับความเพี้ยนของแรงดัน (Voltage Distortion) ของโหลด จะมีค่าน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ของระบบและขนาดของกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ไหลอยู่ในระบบไฟฟ้า สำหรับไฟฟ้าที่มีค่ากระแสลัดวงจรสูงนั้นคือมีค่าอิมพีแดนซ์ของระบบต่ำ แม้จะมีกระแสฮาร์โมนิกส์ไหลอยู่ในระบบมาก แต่ระดับความเพี้ยนของแรงดันก็ยังคงมีค่าไม่มาก

การลดค่าอิมพีแดนซ์ของระบบอาจทำได้โดยการเลือกใช้หม้อแปลงที่มีค่ากระแสลัดวงจรสูงขึ้นหรือเพิ่มขนาดของสาย Cable เป็นต้น

2. การย้ายตำแหน่งหรือเปลี่ยนขนาดคาปาซิเตอร์

การย้ายตำแหน่งหรือเปลี่ยนขนาดคาปาซิเตอร์เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดในการหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากภาวะรีโซแนนซ์

การย้ายตำแหน่งของการติดตั้งคาปาซิเตอร์คือการเปลี่ยนค่า Inductance ของระบบเนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งคาปาซิเตอร์ ทำให้ความยาวของสาย Cable เปลี่ยนไป ส่งผลให้ค่า Inductance ของสาย Cable เปลี่ยนไป ส่วนการเปลี่ยนขนาดคาปาซิเตอร์คือการเปลี่ยนค่า Capacitance เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้ความถี่รีโซแนนซ์ไม่ไปตรงกับความถี่ของฮาร์โมนิกส์ที่มีในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติการย้ายตำแหน่งคาปาซิเตอร์อาจไม่สามารถแก้ปัญหาได้ เนื่องจากการ Switching วงจรของไฟฟ้าอาจทำให้อิมพีแดนซ์เปลี่ยนไป และอาจกลับมาเกิดรีโซแนนซ์ได้อีก ในกรณีการเปลี่ยนขนาดของคาปาซิเตอร์ ต้องคำนึงถึงผลของการปรับปรุง Power Factor ด้วย

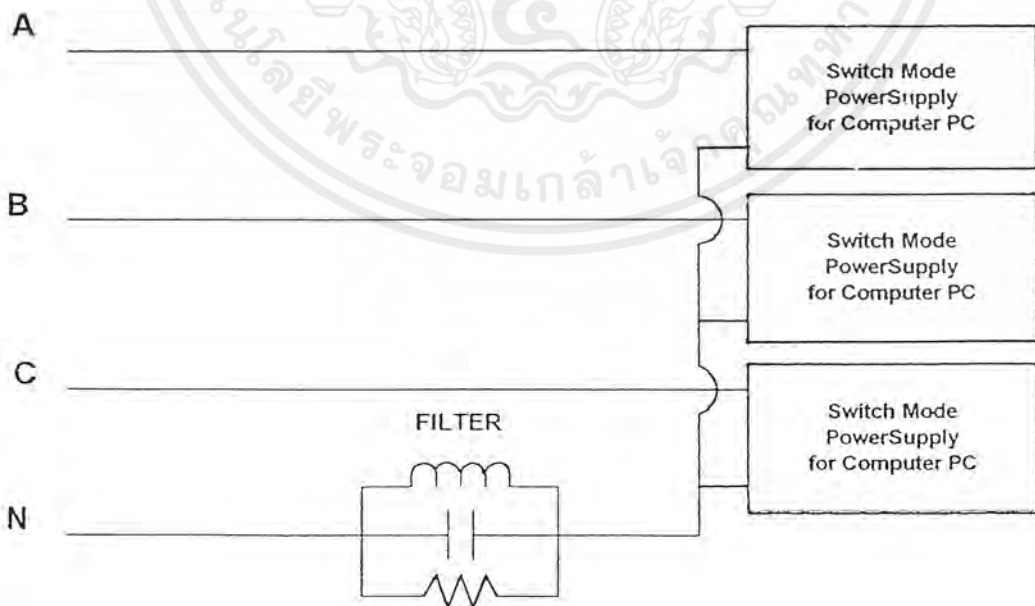
3. การติดตั้งฟิวเตอร์กรองฮาร์โมนิกส์

การติดตั้ง filter กรองฮาร์โมนิกส์เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการแก้ปัญหา แต่เป็นวิธีการที่ต้องใช้เงินลงทุนสูง โดยทั่วไป Filter สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

3.1 Passive Filter ประกอบด้วย อินดักเตอร์ และ คาปาซิเตอร์ ที่นำมาต่ออนุกรมกันโดย Tune ให้ตรงกับความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่ต้องการกรอง เพื่อตัดกระแสฮาร์โมนิกส์ให้ไหลผ่านฟิวเตอร์และไม่ไหลไปสู่ส่วนอื่นของระบบ

3.2 Active Filter ทำงานโดยสร้างกระแสฮาร์โมนิกส์อันดับต่าง ๆ ที่โหลดต้องการและจ่ายให้กับ โหลด เพื่อให้กระแสที่จ่ายจากแหล่งกำเนิดมีเพียงแต่กระแส Fundamental เท่านั้นคือเป็น Sine Wave อย่างแท้จริง

7.3 ตัวอย่างการแก้ไขโดยการติดตั้งฟิวเตอร์



รูปที่ 7.1 การติดตั้งฟิวเตอร์

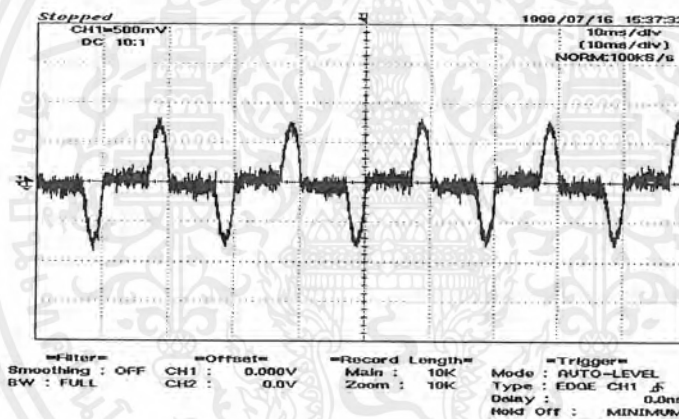
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างนี้ได้นำมาจากการทดสอบติดตั้งฟิลเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมโดยเลือกโรงงานประกอบฮาร์ดดิสค์ ที่มีระบบคอมพิวเตอร์สำหรับตรวจสอบ (Tester) เป็นภาระไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วยวงจร 3 เฟส 4 สาย

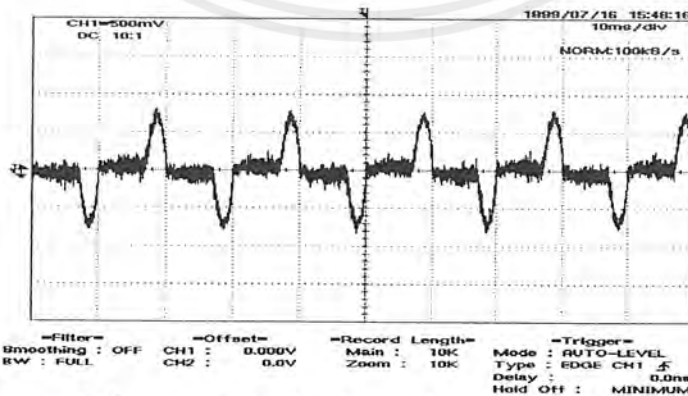
7.3.1 ก่อนการชดเชยด้วย 3rd Filter

เมื่อยังไม่มีการติดตั้งวงจรกรองสัญญาณฮาร์โมนิกส์แบบคลื่นเราทำการวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้าทั้งกระแสด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้าทั้งกระแสด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้าในเฟส A,B,C และกระแสในสายนิวทรัล

จากการวัดจะพบว่ามีความเพี้ยนของกระแสด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้าและในสายนิวทรัล %THD I มีค่าเท่ากับ 109.2 % และ 530.6 % ตามลำดับ

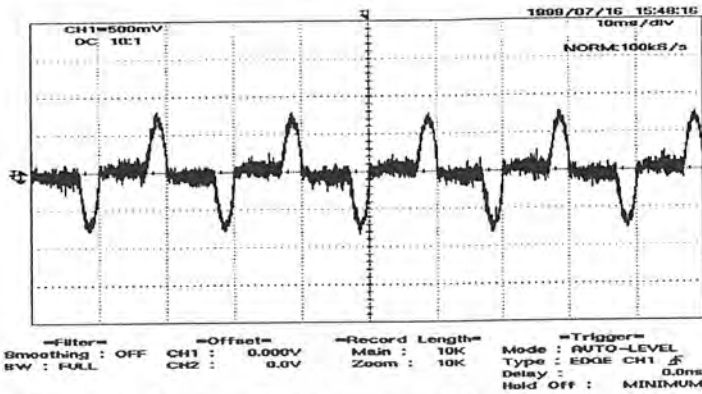


รูปที่ 7.2 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในเฟส A มีค่ากระแส rms เท่ากับ 32 A

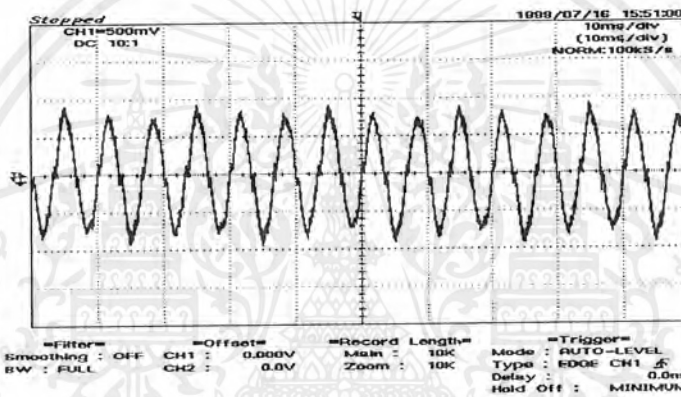


รูปที่ 7.3 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในเฟส B มีค่ากระแส rms เท่ากับ 32 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



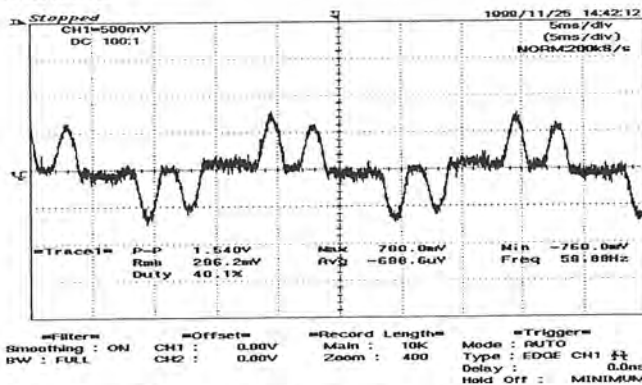
รูปที่ 7.4 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในเฟส C มีค่ากระแส rms เท่ากับ 31 A



รูปที่ 7.5 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในสายนิวทรอลมีค่ากระแส rms เท่ากับ 61 A

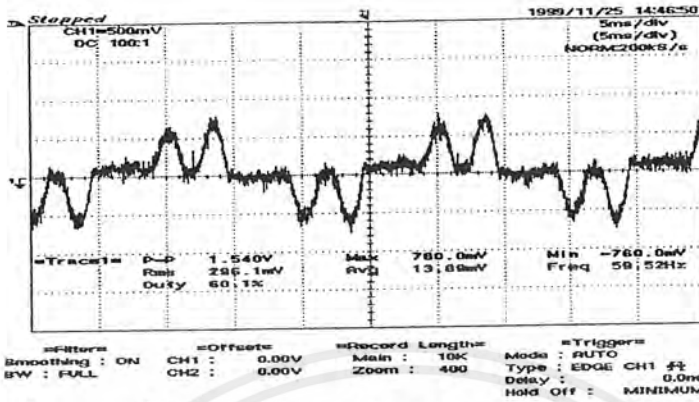
7.3.2 หลังการชดเชยด้วย 3rd Filter

เมื่อทำการติดตั้งวงจรกรองสัญญาณแบบดีจูนที่ได้ออกแบบไว้ที่สายนิวทรอลแล้วทำการวัดกระแสด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้าเฟส A, B, C และกระแสในสายนิวทรอล และจากการวัดพบว่ามีความผิดเพี้ยนของกระแสไฟฟ้าด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้า และในสายนิวทรอล %THD I มีค่าเท่ากับ 66 % และ 95.2 % ตามลำดับ

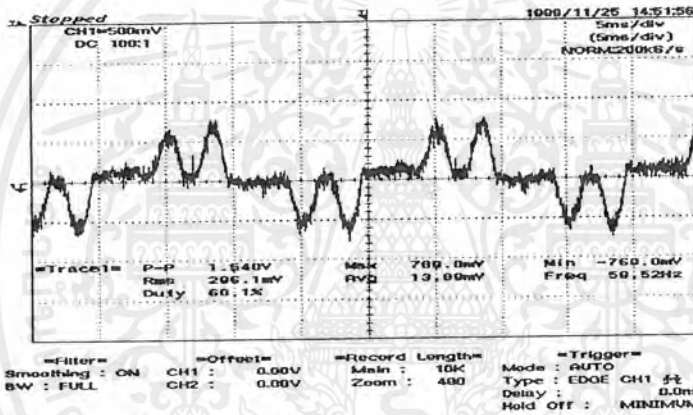


รูปที่ 7.6 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในเฟส A มีค่ากระแส rms เท่ากับ 29 A

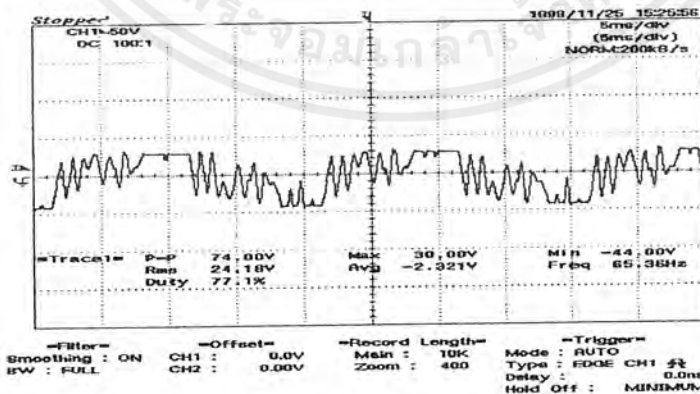
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.7 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในเฟส B มีค่ากระแส rms เท่ากับ 29 A



รูปที่ 7.8 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในเฟส C มีค่ากระแส rms เท่ากับ 31 A



รูปที่ 7.9 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในสายนิวทรอลมีค่ากระแส rms เท่ากับ 2.86 A

จากตัวอย่างการแก้ไขโดยใช้ฟิวเตอร์ ในกรณีที่น่ามาแสดงนี้สามารถลดกระแสในนิวทรอลลง

ได้อย่างมาก กล่าวคือ สามารถลดลงจาก 61 A เหลือเพียง 2.86 A เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

บทสรุป

ข้อมูลและการวิเคราะห์ทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นจากกรณีศึกษาทั้ง 5 แห่ง พบว่าสาเหตุของการมีกระแสไหลในสายนิวทรอล มาจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการ คือ

1. ความไม่สมดุลของกระแสในแต่ละเฟส
2. กระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 ลำดับที่ 5 และลำดับที่ 7

ซึ่งเกิดจากอุปกรณ์พวกไม่เป็นเชิงเส้นเช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ อุปกรณ์พวกเรกติไฟเออร์และคอนเวอร์เตอร์

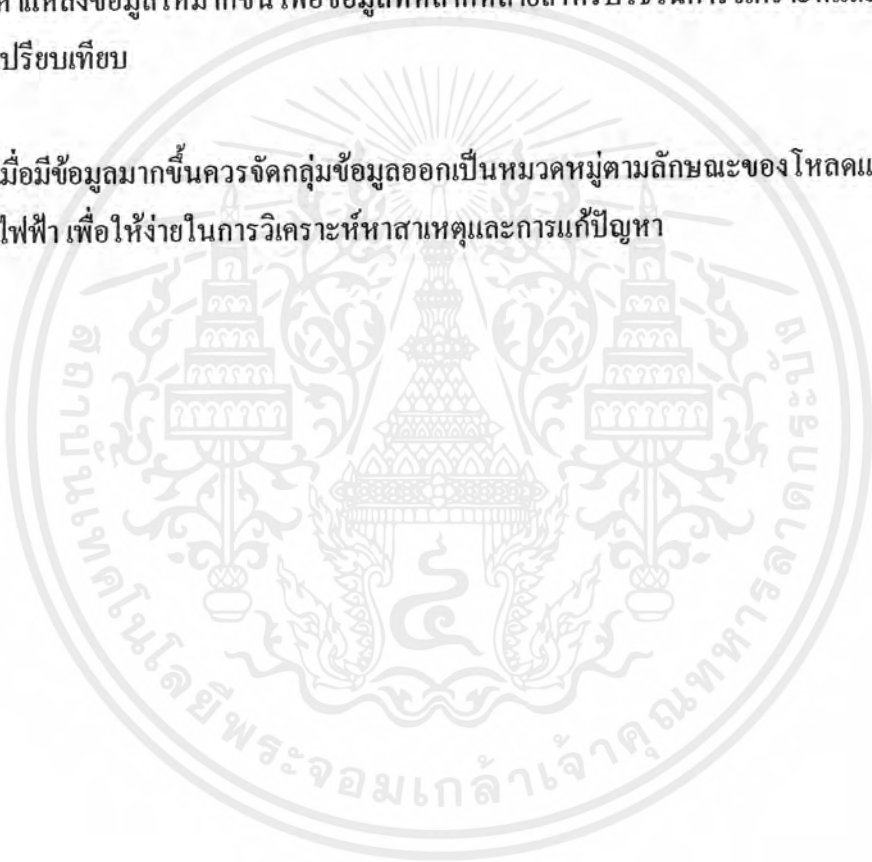
ข้อมูลที่ได้สำรวจและทำการวัดมานี้ยังชี้ให้เห็นว่า ปัจจุบันปัญหากระแสนิวทรอลนั้น เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นกับเกือบทุกบริษัทและโรงงานอุตสาหกรรม มากน้อยแล้วแต่กรณี โดยเฉพาะอาคารสำนักงาน ที่มีโหลดเป็นพวกคอมพิวเตอร์และหลอดฟลูออเรสเซนต์ กระแสนิวทรอลจะมีค่าสูงมาก ควรพิจารณาปรับปรุงแก้ไขออกแบบขนาดสายตัวนำให้เหมาะสม

การสำรวจและทำการวัดสำหรับโครงการนี้ มีกรณีให้ศึกษาเพียง 5 แห่งเท่านั้น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการทำการวัด ณ ช่วงเวลาใด ๆ (4 แห่ง) ข้อมูลที่ได้มีความละเอียดน้อยกว่าการวัดแบบตลอดช่วงเวลา ที่แสดงพฤติกรรมการใช้ไฟได้ละเอียดกว่า เนื่องจากมีข้อจำกัดหลาย ๆ อย่างในการขออนุญาตเข้าทำการวัดตามบริษัทหรือโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ นั่นเอง

แต่อย่างไรก็ตาม ข้อมูลชุดนี้ก็ชี้ให้เห็นแนวโน้มของปัญหาในระบบไฟฟ้า ซึ่งควรมีการควบคุมคุณภาพและกำหนดมาตรฐานเพื่อจำกัดขอบเขตและระดับของปัญหา เพื่อที่จะไม่ทำให้เกิดมลภาวะในระบบไฟฟ้าและไปกระทบกระเทือนต่อระบบไฟฟ้าอื่น จากหน่วยงานที่รับผิดชอบ

แนวทางปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาปริญญานิพนธ์ต่อไป

1. การทำการวัดข้อมูล ควรเป็นแบบตลอดช่วงเวลาจะมีความเหมาะสมที่สุด เพราะจะทำให้ทราบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอย่างถูกต้องและสามารถนำไปใช้ในการทำนายผลได้
2. หาแหล่งข้อมูลให้มากขึ้น เพื่อข้อมูลที่หลากหลายสำหรับการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ
3. เมื่อมีข้อมูลมากขึ้นควรจัดกลุ่มข้อมูลออกเป็นหมวดหมู่ตามลักษณะของโหลดและการใช้ไฟฟ้า เพื่อให้ง่ายในการวิเคราะห์หาสาเหตุและการแก้ปัญหา



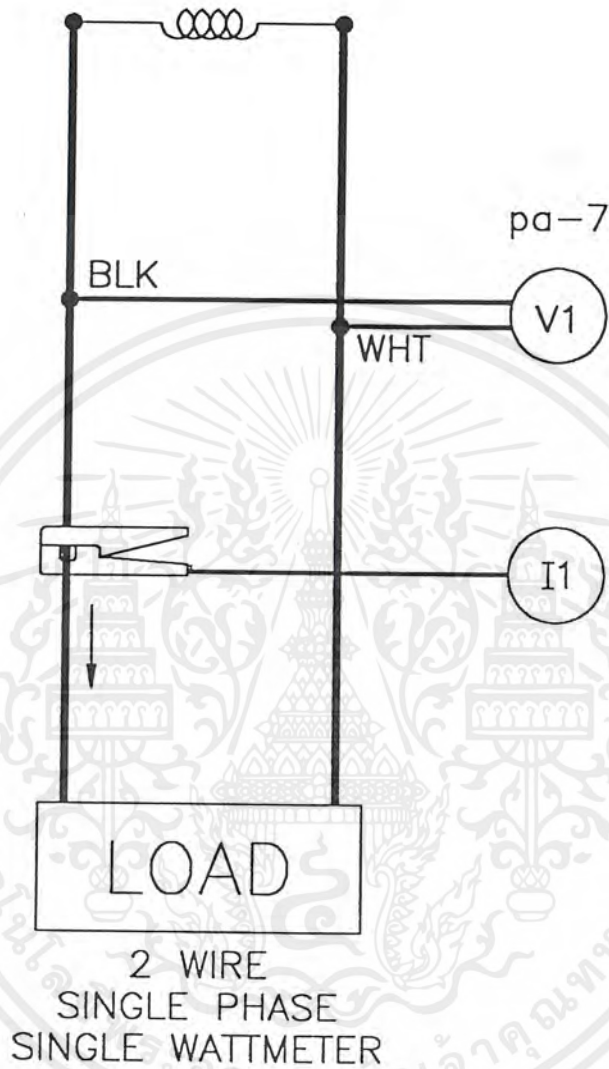


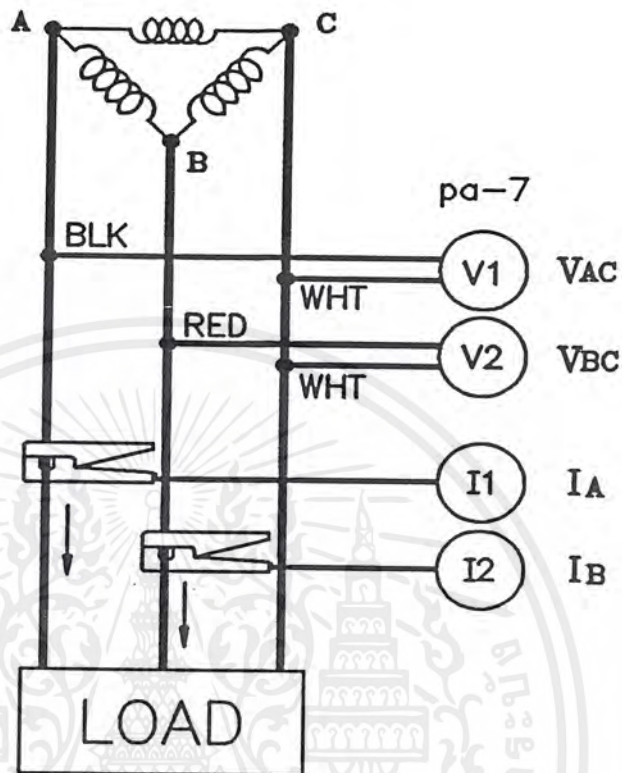
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix A: Wiring Diagrams

Notes on Wiring Diagrams in this appendix:

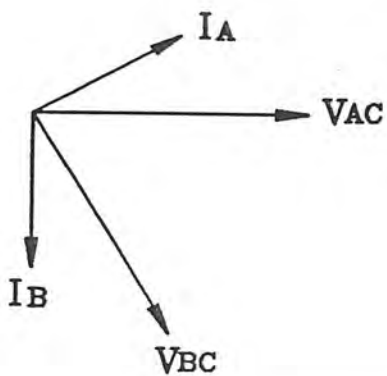
1. These diagrams show connections that would be needed for determining power parameters. If only voltage and/or current recording is required, the pa-7 can be considered as a general purpose multiple voltmeter/ammeter with no specific connection configuration required.
2. The pa-7 records all voltages and currents that are hooked up. Even though all channels may not be required for power configuration on the following pages, you can connect them to obtain voltage/current recordings.
3. The vector diagrams are shown for reference. The diagrams represent the vectors associated with a balanced resistive load. Reactive currents will rotate the current vectors clockwise or counterclockwise with respect to the voltages.
4. In the 3-wire configurations, any of the 3 wires can be used as the voltage reference. Whichever wire is used as the reference, the current clamps must be placed on the other two wires.
5. In the 3-wire configurations, the 2 element wattmeter method is used for power calculations. The third voltage and current can be connected to the pa-7 but will be recorded as RMS data only.



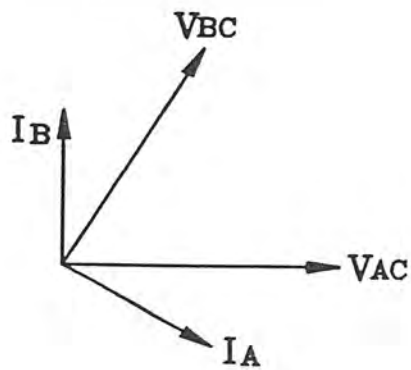


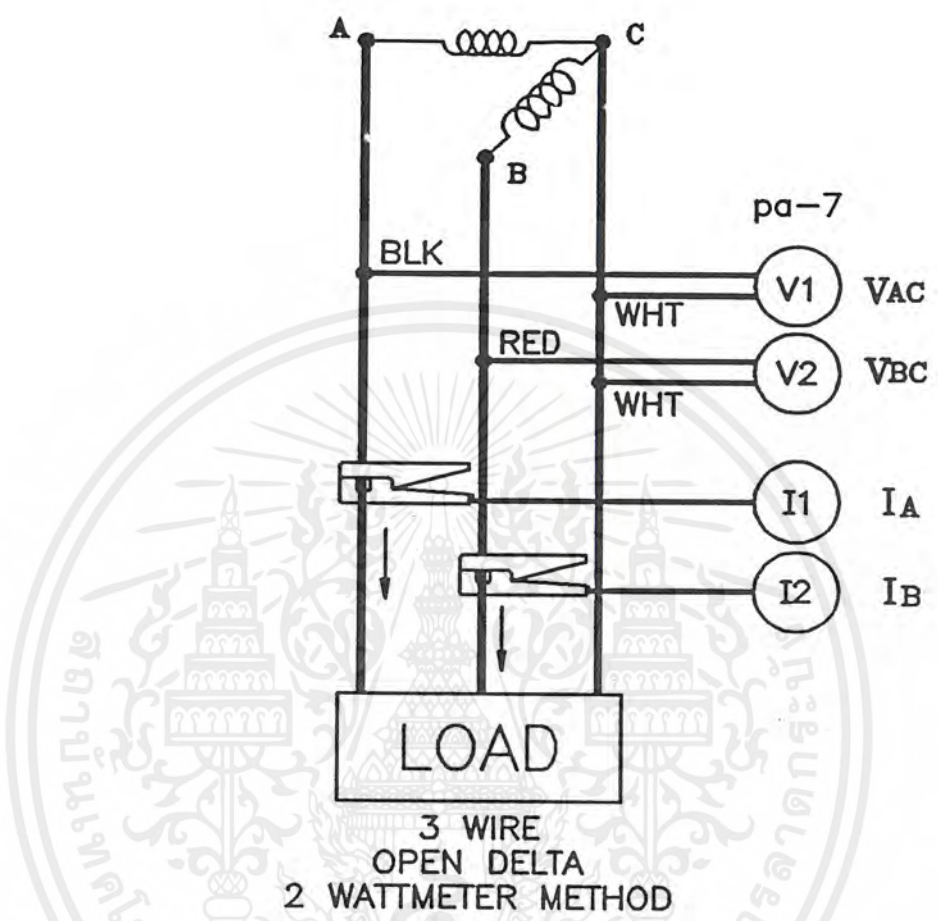
3 WIRE
DELTA CONNECTION
2 WATTMETER METHOD

ROTATION
AC-BA-CB

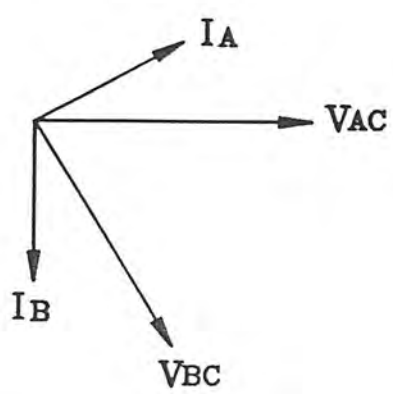


ROTATION
AC-CB-BA

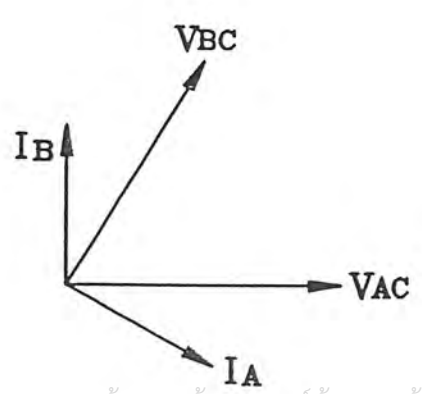




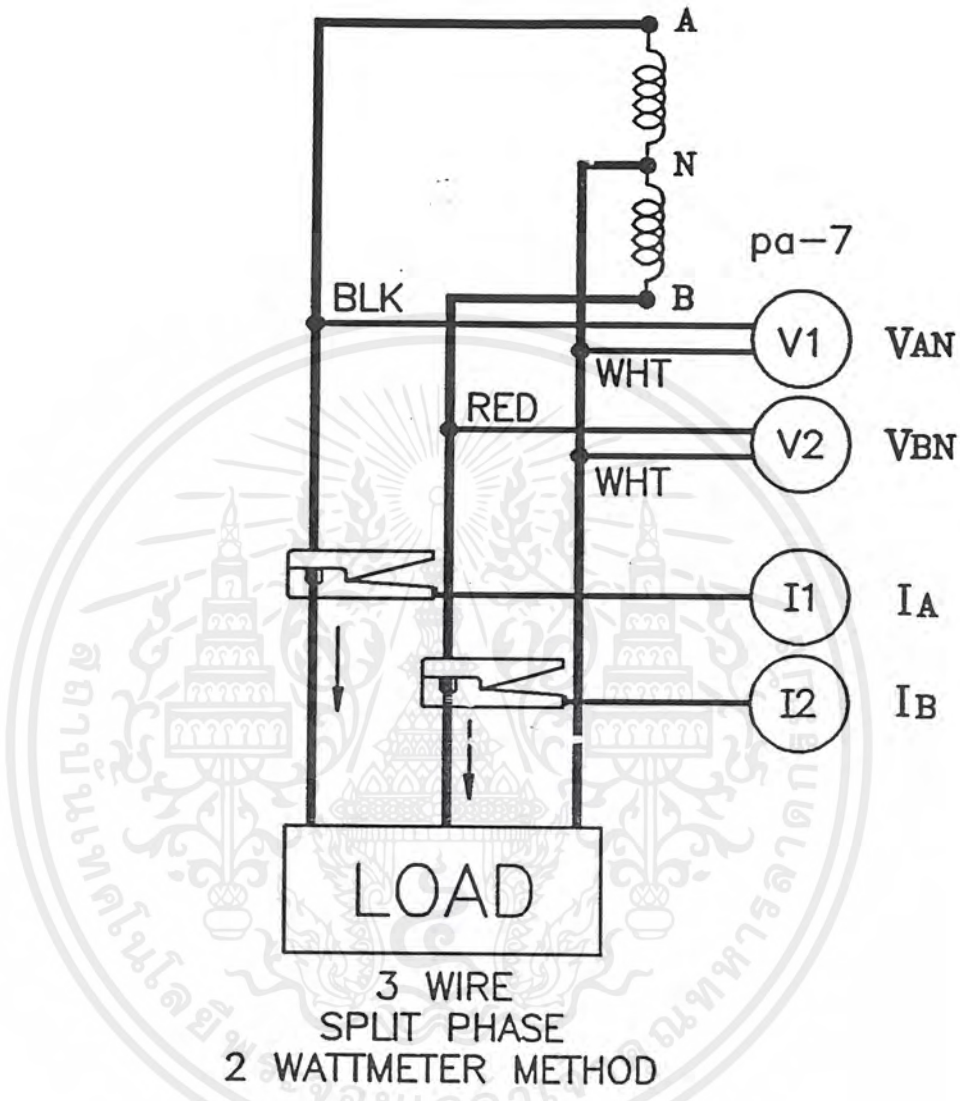
ROTATION
AC-BA-CB

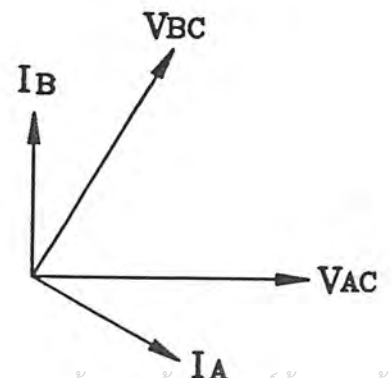
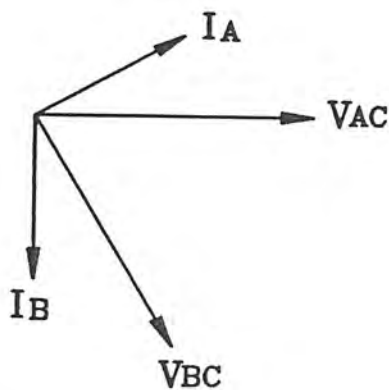
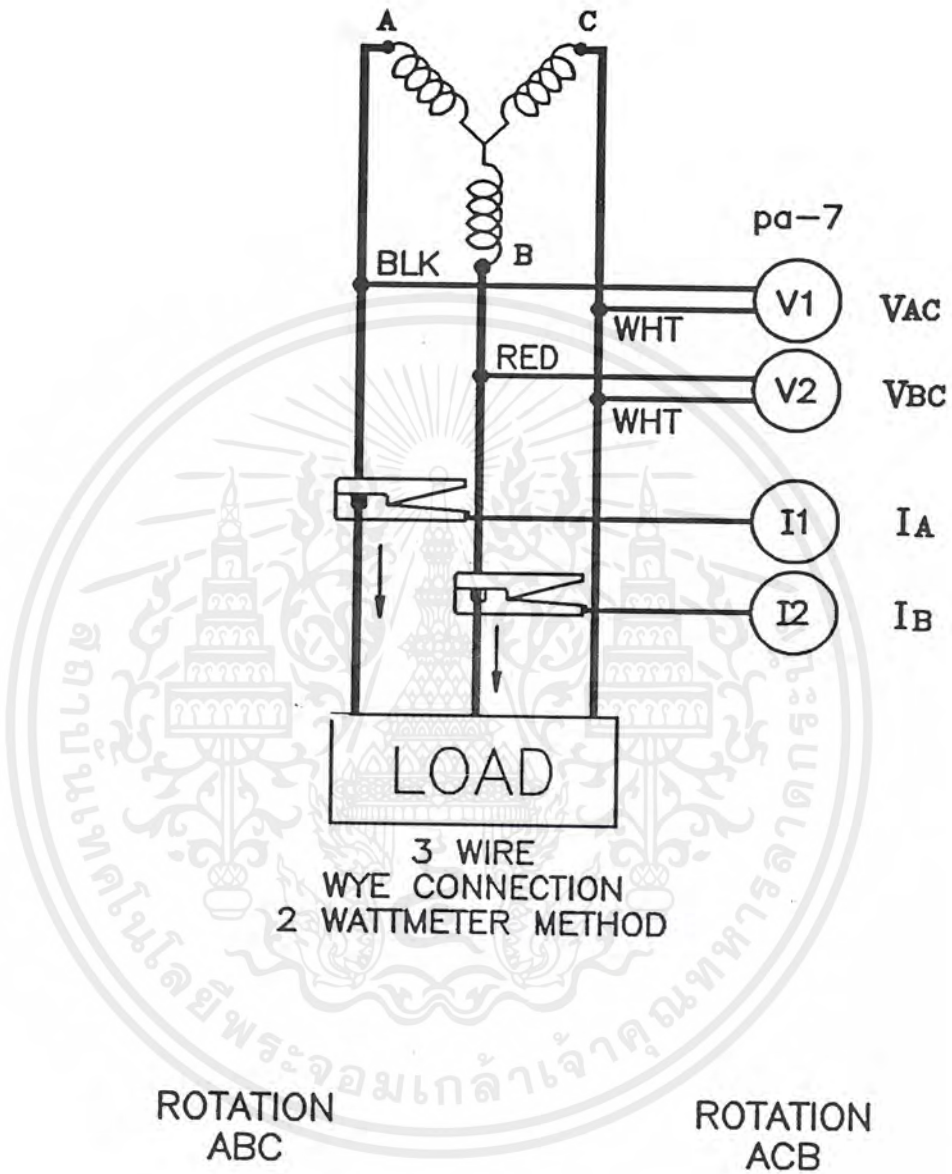


ROTATION
AC-CB-BA

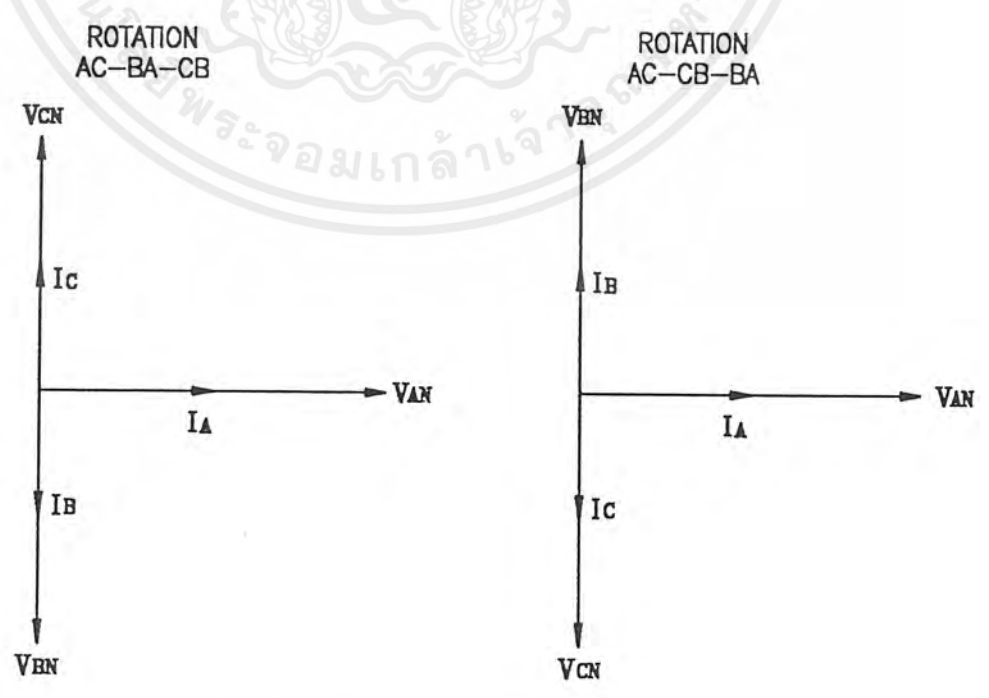
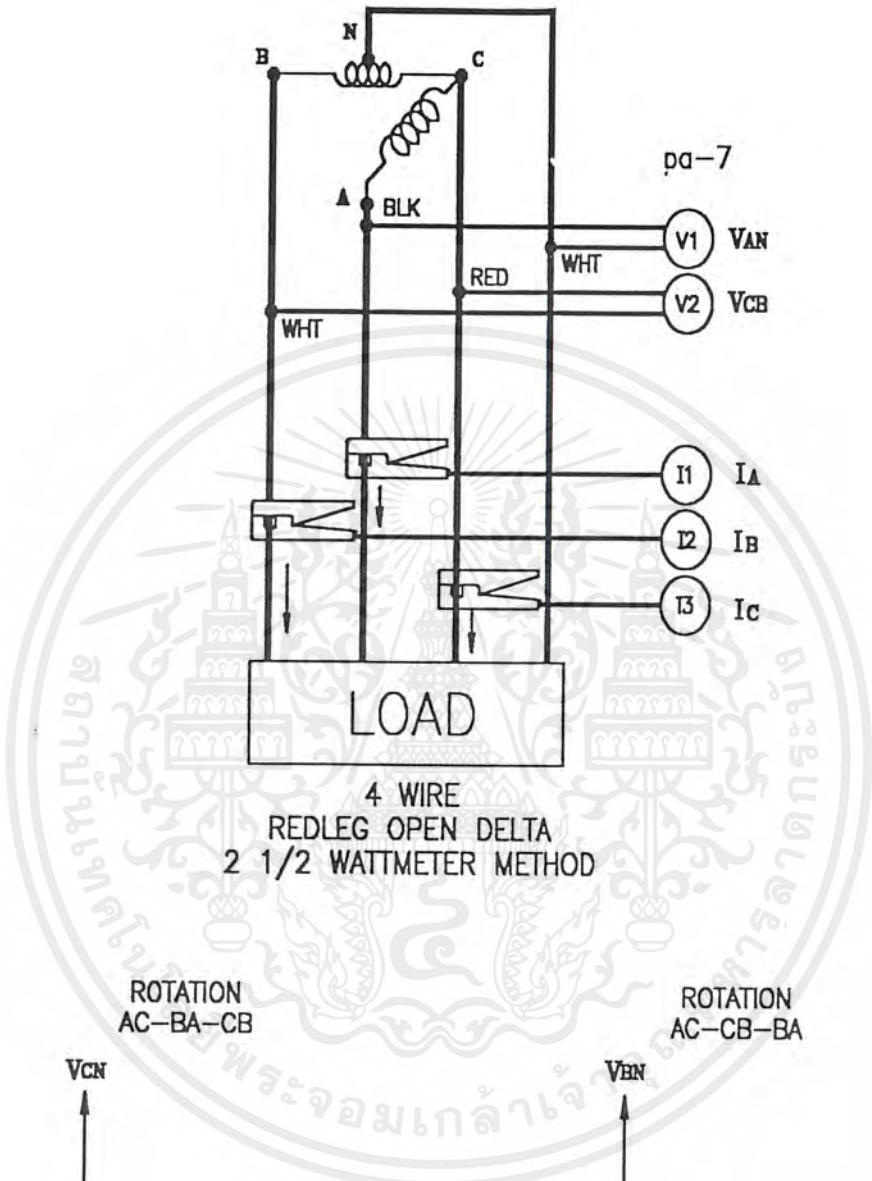


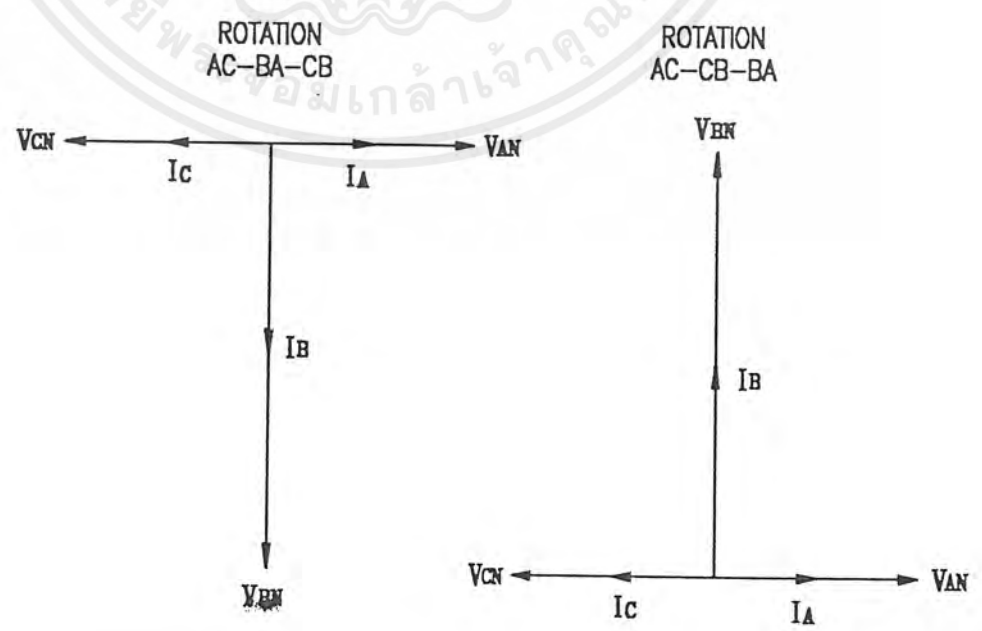
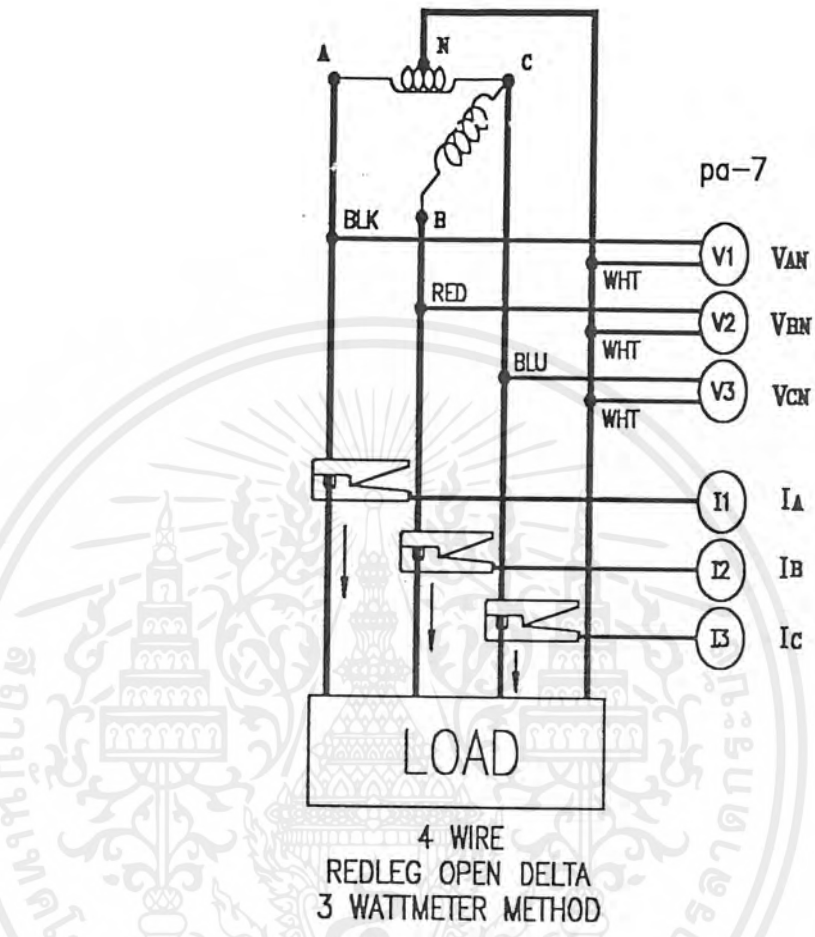
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

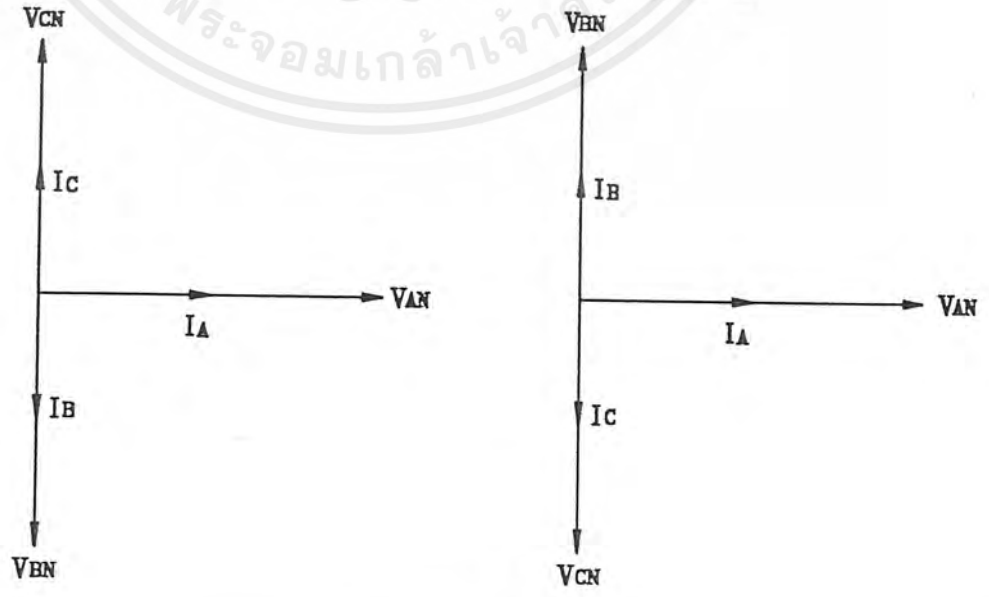
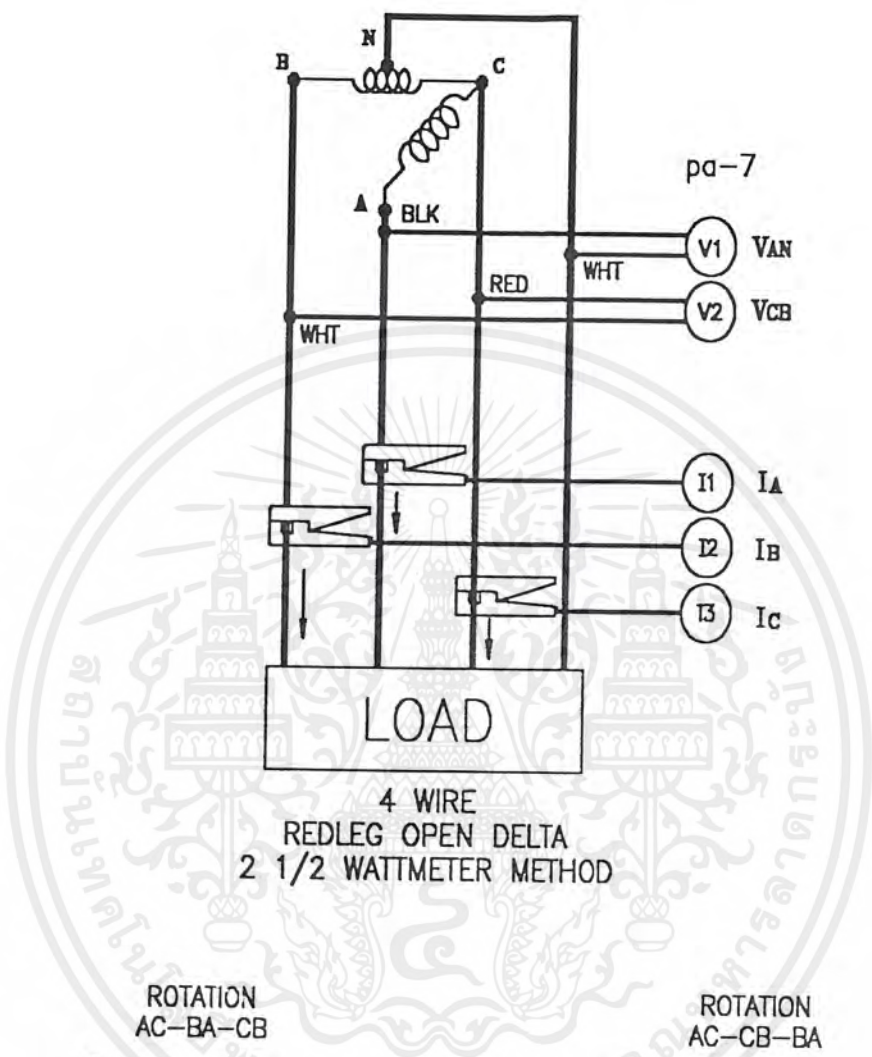


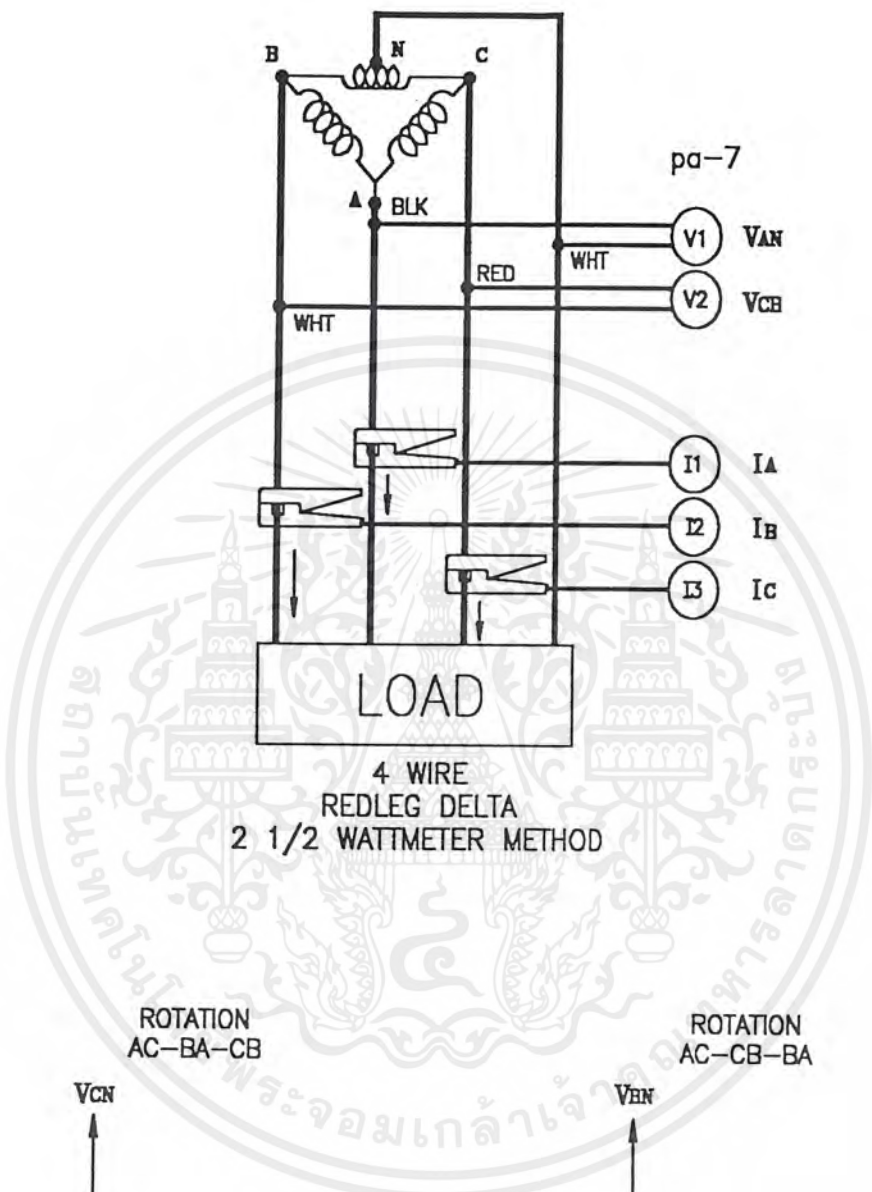


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



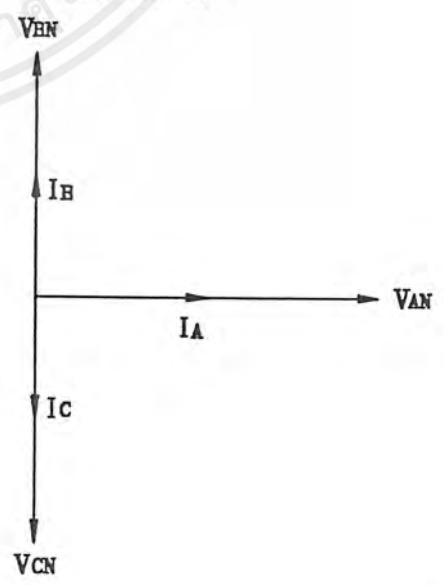
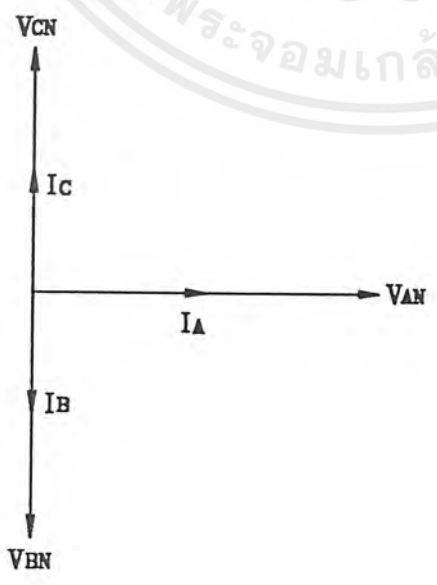


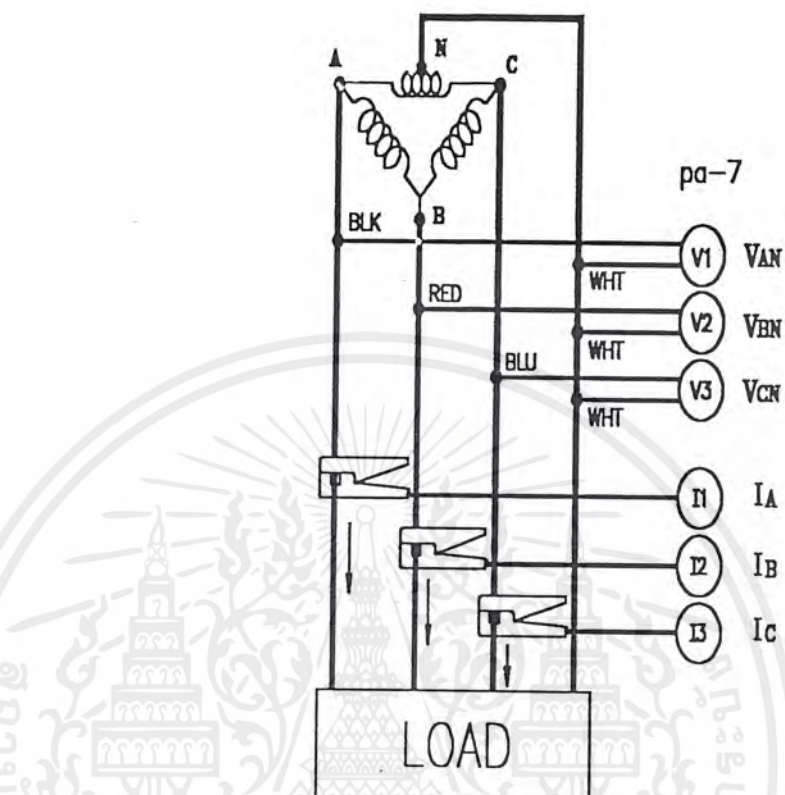




ROTATION
AC-BA-CB

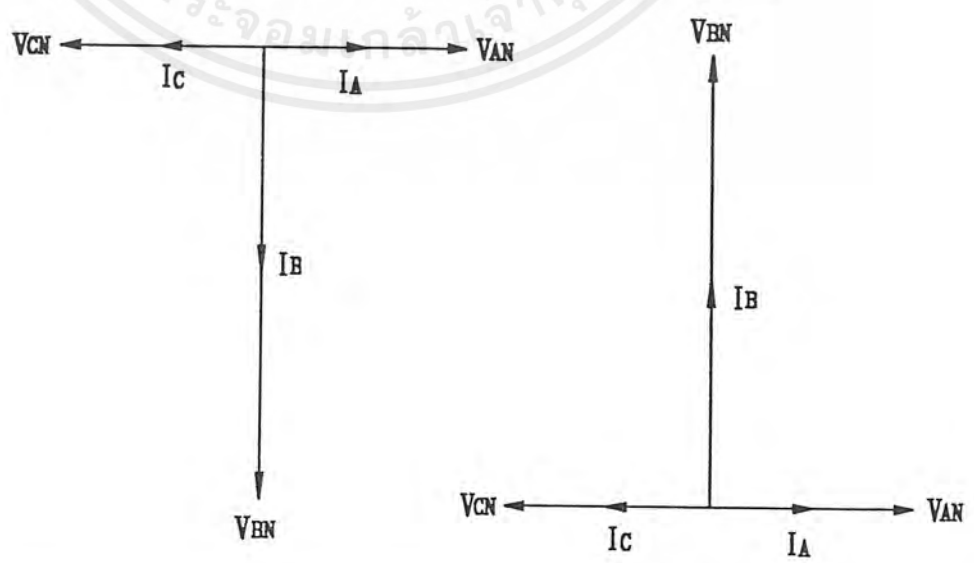
ROTATION
AC-CB-BA

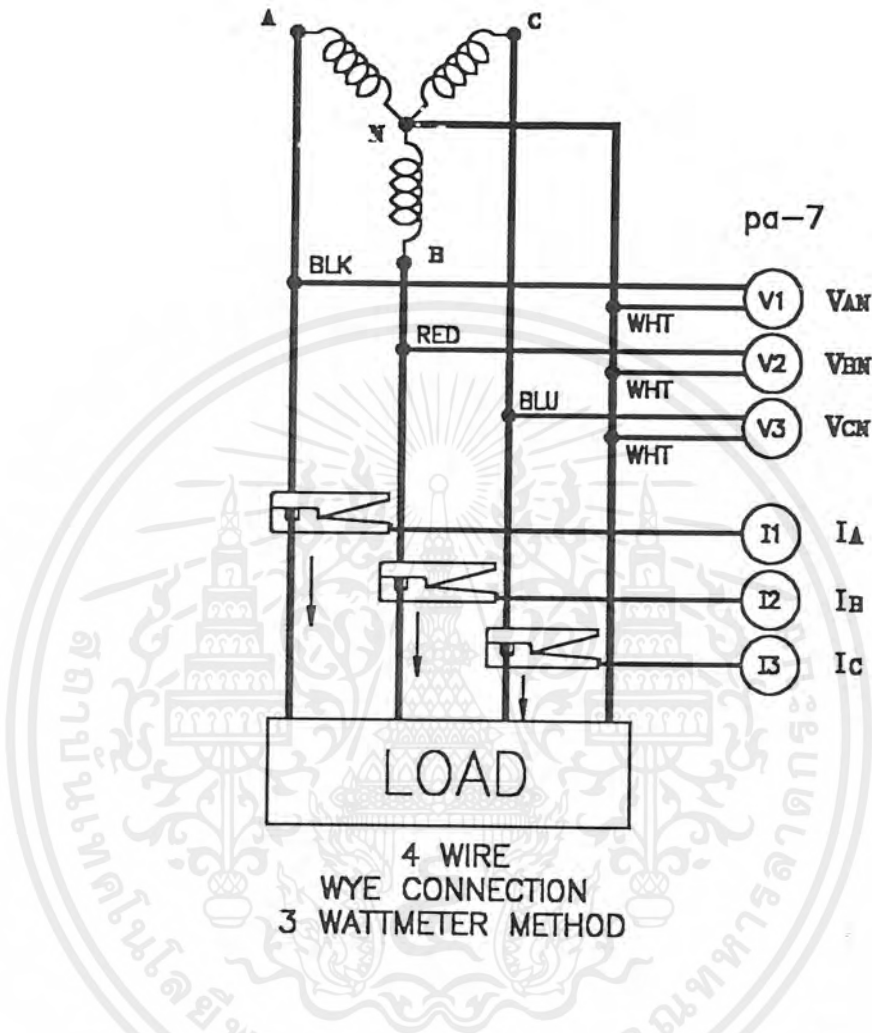




ROTATION
AC-BA-CB

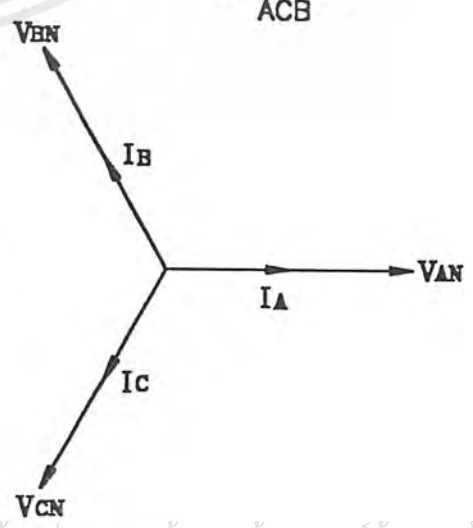
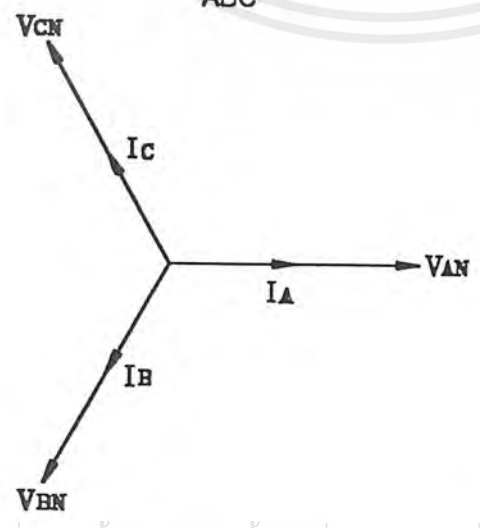
ROTATION
AC-CB-BA

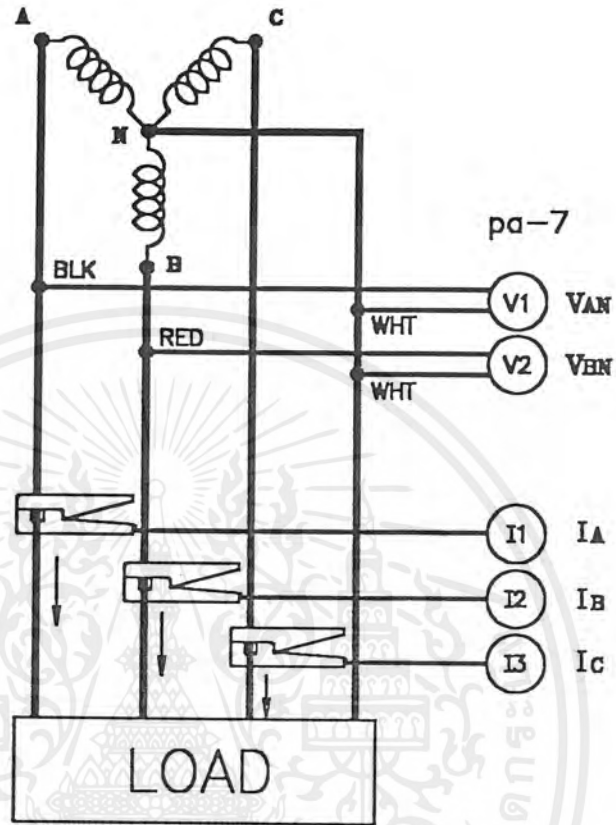




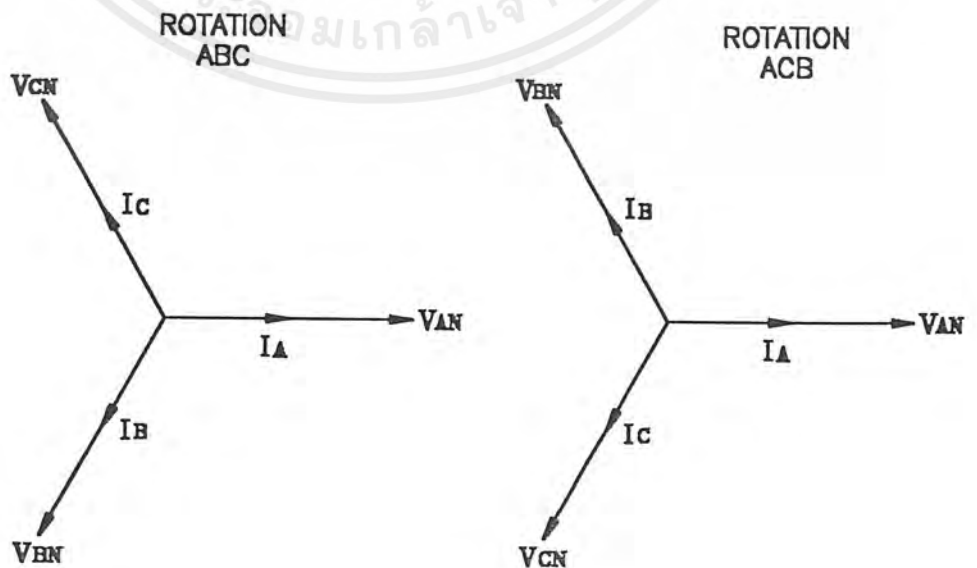
ROTATION
ABC

ROTATION
ACB





4 WIRE
WYE CONNECTION
2 1/2 WATTMETER METHOD



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

กลุ่มผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จงรักษ์ บุญเส็ง ที่ให้คำปรึกษา
แนะนำ แก้ปัญหา จนกระทั่งปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้คำแนะนำ
ติชมเพื่อการปรับปรุงแก้ไขในจุดบกพร่องต่างๆ จนกระทั่งปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง
ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ที่เป็นกำลังใจ ให้อดทนในการแก้ปัญหา
ต่างๆจนผ่านพ้นไปด้วยดีมาตลอด

ขอขอบคุณ พี่หนุ่ม พี่เต็ง พี่ดวง(นักศึกษาปริญญาโท) ที่ให้อาศัยรถยนต์
ในการเดินทาง ไปทำการวัดตามโรงงานต่างๆและช่วยเหลือด้านข้อมูล

ขอขอบคุณพนักงานของทาง โรงงานที่เอื้อเฟื้อและอำนวยความสะดวกใน
การทำการวัดและจัดเก็บข้อมูล

ขอขอบใจ เพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ทุกคน ที่ร่วมเรียน
ร่วมเล่น และช่วยผ่อนคลายความเครียดจากการทำปริญญาานิพนธ์นี้

ขอขอบใจ น้องหมวย น้องอ้อ น้องกฤษ น้องเต๋า น้องลูกหมู น้องเจี๊ยบ
และน้องพร ที่ช่วยพิมพ์งาน, น้องแก้วที่ให้ยืมหนังสือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] J.C.Balda, A.R.Oliva, D.W.McNabb and R.D.Richardson, "Measurement of Currents and Voltages on a Distribution Feeder", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.12, No.14, October 1997
- [2] J. Arrillaga,D.A.Bradley and P.S. Bodger, "Power System Harmonics", A Wiley Interscience Publication, 1988
- [3] Thomas M. Gruz, "A Survey of Neutral Currents in Three-Phase Computer Power System", IEEE Transactions On Industry Application, Vol.26, No.24,July/August 1990
- [4] Ah-Choy Liew, "Excessive Neutral Currents in Three-Phase Fluorescent Lighting Circuits", IEEE Transactions On Industry Applications, Vol.25, No.4, July/August, 1989
- [5] W.Mielczarski,J.Szczepanik and W.B. Lawrance, "Reduction of harmonic currents generated by discharge lamp system", IEE Proc.-Gener. Transm.Distrib., Vol.145, No.4 pp.363-368, July, 1998
- [6] W.Lawrance,V.G. Agelidis and W.Mielczarski, "Reduction of Harmonic Currents in Fluorescent Lighting System:Design and Realisation", IEEE catalog Number: 97Th8280, ISIE'97-Guimaraes, Portugal, pp.308-311, 1997
- [7] H.O.Aintablian and H.W.Hill Jr., "Harmonic Currents Generated by Personal Computers and their Effects on the Distribution System Neutral Current", Department of Electrical and Computer Engineering, Ohio University, Athens, Ohio, 1993
- [8] ชูใจ คูหารัตนไชย, "สถิติเบื้องต้น", ภาควิชา สถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [9] จงรักษ์ บุญตั้ง และ วีรเทพ พงศ์ศรีเพียร, " การลดสัญญาณฮาร์โมนิกส์ในสายนิวทรัลในระบบไฟฟ้ากำลังแบบ 3 เฟส 4 สาย ที่ต่อกับภาระไฟฟ้าที่ไม่เป็นเชิงเส้น", ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542
- [10] กัลยา วานิชย์บัญชา, "การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย SPSS for Windows" ภาควิชาสถิติ, คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540
- [11] อำนวย เลิศขันธ์, " สถิติวิจัย", โรงพิมพ์ศิลปสนองการพิมพ์, กรุงเทพมหานคร, 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้