

การประมาณค่ากระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบไม่เป็นเชิงเส้น  
ในผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัย



นายทรงศักดิ์ มะระประเสริฐศักดิ์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

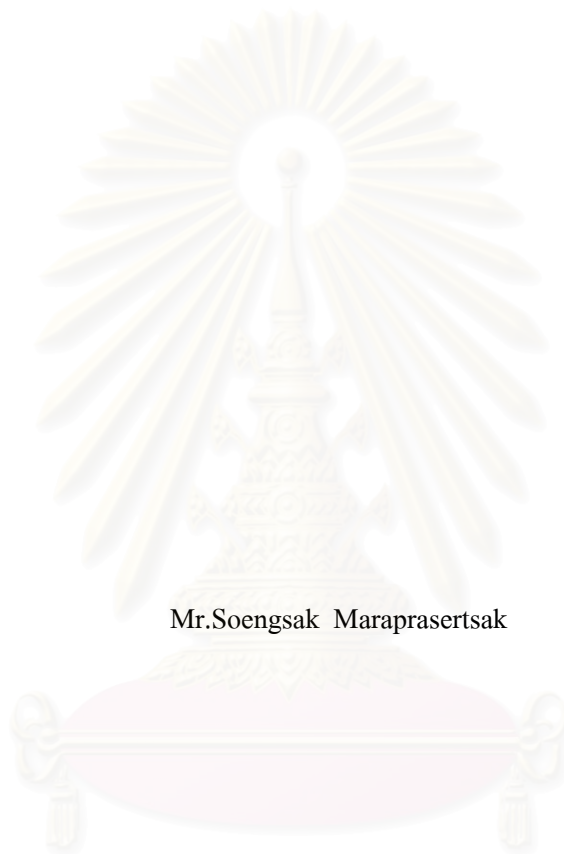
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0244-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ESTIMATION OF HARMONIC CURRENTS INJECTED BY NON-LINEAR APPLIANCES  
FROM RESIDENTIAL CUSTOMERS



Mr.Soengsak Maraprasertsak

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0244-4



ทรงศักดิ์ มะระประเสริฐศักดิ์ : การประมาณค่ากระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบไม่เป็นเชิงเส้นในผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัย. (ESTIMATION OF HARMONIC CURRENTS INJECTED BY NON-LINEAR APPLIANCES FROM RESIDENTIAL CUSTOMERS)

อ. ที่ปรึกษา : อ. ไชยะ แซ่มซ้อย, 130 หน้า. ISBN 974-13-0244-4

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอแนวทางการศึกษาและวิธีการประมาณค่ากระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบไม่เป็นเชิงเส้นภายในบ้านพักอาศัย โดยแบ่งส่วนการประเมินออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนที่ 1. การประมาณค่ากระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบไม่เป็นเชิงเส้นแต่ละชนิด: คอมพิวเตอร์ โทรทัศน์สี หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์แกนเหล็ก เครื่องเสียง วีดีโอ และ เตอบไมโครเวฟ ส่วนที่ 2. การประมาณค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว และส่วนที่ 3. การประมาณค่ากระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียว การศึกษาดังกล่าวจะเป็นแนวทางสำหรับการวางแผนและแก้ไขปัญหาฮาร์มอนิกที่จะเกิดขึ้นในอนาคตต่อไป

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา \_\_\_\_\_ วิศวกรรมไฟฟ้า \_\_\_\_\_

สาขาวิชา \_\_\_\_\_ วิศวกรรมไฟฟ้า \_\_\_\_\_

ปีการศึกษา \_\_\_\_\_ 2543 \_\_\_\_\_

ลายมือชื่อนิติ \_\_\_\_\_

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา \_\_\_\_\_

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม \_\_\_\_\_ - \_\_\_\_\_

## 4170317721 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD : HARMONIC CURRENT/NON-LINEAR APPLIANCES/RESIDENTIAL CUSTOMER

SOENGSAK MARAPRASERTSAK : ESTIMATION OF HARMONIC CURRENTS INJECTED BY  
NON-LINEAR APPLIANCES FROM RESIDENTIAL CUSTOMERS.

THESIS ADVISOR : CHAIYA CHAMCHOY 130 pp.

ISBN 974-13-0244-4

This thesis presents as a method for estimation of harmonic current injected by non-linear appliances from residential customer. The estimation comprises three parts, 1) Estimation of harmonic currents from each non-linear appliances, e.g. Computer, Television, Fluorescent lamp, Stereo, Video, and Microwave oven, 2) Estimation of harmonic currents from each households, and 3) Estimation of harmonic currents from group of houses on single feeder. The obtained results can be used as a guideline for system planning and harmonic mitigation in the future.



Department Electrical engineering

Field of study Electrical engineering

Academic year 2000

Student's signature \_\_\_\_\_

Advisor's signature \_\_\_\_\_

Co-advisor's signature \_\_\_\_\_ -

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ไชยะ แซ่มซ้อย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้แนะแนวทางปฏิบัติให้ความคิดเห็นและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนแนวทางแก้ไขต่างๆ นับตั้งแต่เริ่มต้นในการทำวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

นอกจากนั้น ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณท่านเจ้าของบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัวที่ให้ข้อมูล สำหรับการตรวจวัดกระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด และจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่อำนวยความสะดวกในการตรวจวัดกระแสฮาร์มอนิกบนสายป้อน และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา – มารดา และญาติๆ ที่ได้ให้กำลังใจเสมอมา และทุก ๆ ท่านที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ทรงศักดิ์ มะระประเสริฐศักดิ์

เมษายน 2544

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 แนวเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	4
2 แหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิกขนาดเล็ก.....	5
2.1 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิง.....	6
2.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์.....	8
2.3 ชุดควบคุมการทำงานแบบ Integral Control .....	10
2.4 เต้าอบไมโครเวฟ.....	12
2.5 ชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วรอบมอเตอร์.....	13
2.6 แหล่งจ่ายกำลังมิให้หยุดชะงัก.....	15
3 การประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด.....	17
3.1 การหาค่าตัวประมาณกระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้า.....	17
3.2 การหักล้างของกระแสฮาร์มอนิก.....	19
3.2.1 เนื่องจากการเลื่อนเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	19
3.2.2 เนื่องจากโหลดเฟสเดียวและสามเฟสที่ระดับแรงดันเดียวกัน.....	20
3.2.3 เนื่องจากความแตกต่างมุมเฟสของโหลดต่างชนิดกัน.....	20

3.2.4	เนื่องจากความแตกต่างมุมเฟสของโหนดชนิดเดียวกัน.....	21
3.3	มาตรฐาน IEC Std.1000-3-2 Limits for harmonic current emissions (equipment input current $\leq 16$ A per phase).....	22
3.4	ผลการตรวจวัดและค่าตัวประมาณกระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้า.....	25
3.5	วิเคราะห์และสรุปผลการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด....	61
4	การประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว.....	63
4.1	การประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว.....	65
4.2	การสำรวจการใช้งานและการตรวจวัดกระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัย แต่ละครอบครัว.....	66
4.2.1	การสำรวจพฤติกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า.....	66
4.2.2	การตรวจวัดกระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว.....	66
4.3	ผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัย แต่ละครอบครัว.....	67
4.4	วิเคราะห์และสรุปผลการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัย แต่ละครอบครัว.....	98
5	การประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียว.....	100
5.1	การประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียว.....	100
5.2	การสำรวจการใช้งานและการตรวจวัดกระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัย.....	102
5.3	ผลการสำรวจหาค่าตัวประกอบการถือครอง ตัวประกอบการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า แต่ละชนิด ผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัย บนสายป้อนเฟสเดียว.....	103
5.3.1	ค่าตัวประกอบการถือครองเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด.....	103
5.3.2	ค่าตัวประกอบการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด.....	104
5.3.3	ผลการตรวจวัดและประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัย บนสายป้อนเฟสเดียว.....	105
5.4	วิเคราะห์และสรุปผลการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัย บนสายป้อนเฟสเดียว.....	119
6	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	122
	รายการอ้างอิง.....	124
	ภาคผนวก.....	126
	ประวัติผู้เขียน.....	130



## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

3.1 Cancellation between three-phase and single-phase loads connected at the same voltage level.....	20
3.2 3 <sup>rd</sup> and 5 <sup>th</sup> harmonic cancellation factors for residential loads.....	20
3.3 Harmonic current diversity factors due to variations of circuit parameters For same type of load .....	21
3.4 Limits for Class A equipment.....	24
3.5 Limits for Class C equipment .....	24
3.6 Limits for Class D equipment .....	24
3.7 ผลการตรวจวัดกระแสฮาร์โมนิกของคอมพิวเตอรื.....	28
3.8 ผลการหาค่าประมาณกระแสฮาร์โมนิกของคอมพิวเตอรื.....	29
3.9 ผลการตรวจวัดกระแสฮาร์โมนิกของโทรทัศน์สี .....	33
3.10 ผลการหาค่าประมาณกระแสฮาร์โมนิกของโทรทัศน์สี.....	34
3.11 ผลการตรวจวัดกระแสฮาร์โมนิกของหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	38
3.12 ผลการหาค่าประมาณกระแสฮาร์โมนิกของหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	39
3.13 ผลการตรวจวัดกระแสฮาร์โมนิกของเครื่องเสียง .....	43
3.14 ผลการหาค่าประมาณกระแสฮาร์โมนิกของเครื่องเสียง.....	44
3.15 ผลการตรวจวัดกระแสฮาร์โมนิกของวิดีโอ.....	50
3.16 ผลการหาค่าประมาณกระแสฮาร์โมนิกของวิดีโอ.....	51
3.17 ผลการตรวจวัดกระแสฮาร์โมนิกของเตาอบไมโครเวฟ.....	56
3.18 ผลการหาค่าประมาณกระแสฮาร์โมนิกของเตาอบไมโครเวฟ.....	57
3.19 ตารางสรุปค่าประมาณและค่าตัวประกอบการหักล้างของกระแสฮาร์โมนิก ของเครื่องใช้ไฟฟ้า.....	62
5.1 ค่าความแปรปรวนของกระแสฮาร์โมนิกแบ่งตามช่วงเวลา.....	120
5.2 ค่าความแปรปรวนของกระแสฮาร์โมนิกแบ่งตามวันในสัปดาห์.....	121

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	วงจรของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิ่ง..... 6
2.2	รูปคลื่นของกระแสที่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งดึงจากแหล่งจ่ายไฟ..... 7
2.3	ตัวอย่างรูปคลื่นกระแสของบัลลาสต์แกนเหล็ก..... 8
2.4	วงจรพื้นฐานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์..... 9
2.5	ตัวอย่างรูปคลื่นกระแสของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์..... 9
2.6	รูปแบบวงจรการต่อโหลดฟลูออเรสเซนต์..... 10
2.7	วงจรพื้นฐานของชุดควบคุมการทำงานแบบ Integral Cycle..... 10
2.8	รูปคลื่นของแรงดันของชุดควบคุมการทำงานแบบ Integral Cycle..... 10
2.9	วงจรพื้นฐานสำหรับชุดขับแมกนีตรอน ..... 12
2.10	วงจรพื้นฐานของชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วรอบมอเตอร์..... 13
2.11	วงจรชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วรอบมอเตอร์ที่มีวงจรรอง..... 14
2.12	รูปคลื่นกระแสของวงจรชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วรอบมอเตอร์ ในรูปที่ 2.11..... 14
2.13	การต่อแหล่งจ่ายกำลังมิให้หยุดชะงักแบบ On-Line..... 15
2.14	การต่อแหล่งจ่ายกำลังมิให้หยุดชะงักแบบ Off-Line ..... 16
2.15	รูปคลื่นกระแสที่จ่ายให้กับแหล่งจ่ายกำลังมิให้ชะงักแบบ 1 เฟส ..... 16
3.1	โพลีชาร์ตแสดงการคำนวณหาค่าประมาณกระแสฮาร์มอนิก ของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด..... 18
3.2	Current waveform of single-phase non-linear loads reflected to primary side of transformer..... 19
3.3	การหักล้างของกระแสฮาร์มอนิกจากโหลดที่ต่ออยู่ด้านทุติยภูมิ และปฐมภูมิของหม้อแปลง..... 19
3.4	Envelope of the input current to define the “special wave shape” and to classify equipment as class D..... 23
3.5	Flow-chart for the classification of equipment ..... 23







4.21 ผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 4.....	87
4.22 ผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 7 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 4.....	88
4.23 ผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 9 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 4.....	89
4.24 ผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 11 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 4.....	90
4.25 ผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 13 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 4.....	91
4.26 ผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 5.....	92
4.27 ผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 5.....	93
4.28 ผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 7 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 5.....	94
4.29 ผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 9 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 5.....	95
4.30 ผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 11 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 5.....	96
4.31 ผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 13 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 5.....	97
5.1 การตรวจวัดปริมาณกระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัย.....	102
5.2 ค่าตัวประกอบการถือครองเครื่องใช้ไฟฟ้า.....	103
5.3 ค่าตัวประกอบการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า.....	105
5.4 กระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยลำดับที่ 3 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M1.....	107
5.5 กระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยลำดับที่ 5 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M1.....	108
5.6 กระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยลำดับที่ 7 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M1.....	109
5.7 กระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยลำดับที่ 9 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M1.....	110
5.8 กระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยลำดับที่ 11 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M1.....	111
5.9 กระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยลำดับที่ 13 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M1.....	112

5.10	กระแสน้ำมอญิกเฉลี่ยลำดับที่ 3 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M2.....	113
5.11	กระแสน้ำมอญิกเฉลี่ยลำดับที่ 5 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M2.....	114
5.12	กระแสน้ำมอญิกเฉลี่ยลำดับที่ 7 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M2.....	115
5.13	กระแสน้ำมอญิกเฉลี่ยลำดับที่ 9 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M2.....	116
5.14	กระแสน้ำมอญิกเฉลี่ยลำดับที่ 11 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M2.....	117
5.15	กระแสน้ำมอญิกเฉลี่ยลำดับที่ 13 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M2.....	118



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 แนวเหตุผล

ในปัจจุบัน การใช้งานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังมีความแพร่หลายอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สามารถลดการบริโภคพลังงานไฟฟ้า เพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักร และเพิ่มความสะดวกในการควบคุม แต่อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์เหล่านี้เป็นโพลิคแบบไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งจะดึงกระแสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยระดับปริมาณกระแสฮาร์มอนิกค่อนข้างสูง และจะนำไปสู่ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันต่อไป

ในส่วนของประเทศไทย อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้เริ่มมีบทบาทมากขึ้น ทั้งในแหล่งอุตสาหกรรม, ย่านธุรกิจ รวมทั้งบ้านพักอาศัย สำหรับบ้านพักอาศัย อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้จะเป็นส่วนประกอบในเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ อาทิเช่น วงจรขับเคลื่อนปรับความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำในเครื่องปรับอากาศ วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งในคอมพิวเตอร์และโทรทัศน์ เป็นต้น

จากข้อมูลในรายงานการสำรวจการใช้พลังงานของครัวเรือน พ.ศ.2535, 2537, 2539 ของสำนักงานสถิติแห่งชาติ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

อัตราร้อยละของครัวเรือนที่รายงานการเป็นเจ้าของสินทรัพย์ถาวรบางชนิดทั่วประเทศ

(กทม. และปริมณฑล)

	ปี 2535	ปี 2537	ปี 2539
ตู้เย็น	38.4(60.8)	49.2(65.8)	58.9(69.9)
โทรทัศน์สี	47.5(69.4)	58.7(75.5)	70.9(80.9)
เครื่องปรับอากาศ	3.1(13.0)	3.7(14.8)	4.7(17.7)
หลอดฟลูออเรสเซนต์	- ( - )	94.9(99.3)	96.5(98.6)

หมายเหตุ ค่าในวงเล็บแสดงถึงอัตราร้อยละของครัวเรือนในกรุงเทพฯ และปริมณฑล



จะเห็นได้ว่า เครื่องใช้ไฟฟ้าดังกล่าว มีแนวโน้มในการใช้งานเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเกือบมากกว่า 60 % ของครัวเรือนจะเป็นเจ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรุงเทพฯ และปริมณฑล เกือบจะทุกครัวเรือนที่เป็นเจ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้ แม้ว่าคอมพิวเตอร์ ซึ่งยังไม่มีการสำรวจ แต่มีแนวโน้มการใช้งานแพร่หลายมากขึ้นเช่นกัน จึงควรนำมาพิจารณาด้วย ซึ่งการขยายตัวของเครื่องใช้ไฟฟ้ายิ่งมากขึ้น ย่อมทำให้ปริมาณกระแสฮาร์โมนิกในสายป้อนมากขึ้นด้วย จึงสมควรอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษาและประเมินค่ากระแสฮาร์โมนิกที่เกิดจากผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัย

ในวิทยานิพนธ์นี้ จะแบ่งการประเมินออกเป็น 3 ส่วนคือ การประเมินค่ากระแสฮาร์โมนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด การประเมินค่ากระแสฮาร์โมนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว และการประเมินค่ากระแสฮาร์โมนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียว

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและประเมินค่ากระแสฮาร์โมนิกที่เกิดจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบไม่เป็นเชิงเส้นชนิดต่างๆในบ้านพักอาศัย
2. เพื่อศึกษาและประเมินค่ากระแสฮาร์โมนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว
3. เพื่อประเมินค่ากระแสฮาร์โมนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียว

## 1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. วัดปริมาณกระแสฮาร์โมนิกของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด และประเมินกระแสฮาร์โมนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด
2. วัดปริมาณกระแสฮาร์โมนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว ที่มีเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้ และประเมินปริมาณกระแสฮาร์โมนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว
3. ประเมินปริมาณกระแสฮาร์โมนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียว
4. เก็บข้อมูลปริมาณกระแสฮาร์โมนิกสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดอย่างต่ำ 10 ตัวอย่าง และสำหรับบ้านพักอาศัยใช้เวลา 7 วัน
5. เปรียบเทียบการวิเคราะห์ปริมาณฮาร์โมนิกจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นกับข้อมูลที่ได้จากการวัดจริง

#### 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาแนวทางการวิจัยในหัวข้อที่เกี่ยวข้อง
2. วัดและรวบรวมข้อมูลค่ากระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด
3. ประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด
4. ศึกษาวิธีการรวมค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยที่เหมาะสม
5. ประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว และเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากบ้านพักอาศัยตัวอย่างนั้นๆ
6. ประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียว และเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากสายป้อน

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถประมาณค่ากระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด
2. สามารถประมาณค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว
3. สามารถประมาณค่ากระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียว
4. สามารถเป็นแนวทางในการวางแผนระบบส่งจ่าย การแก้ไขและควบคุมปัญหากระแสฮาร์มอนิกที่อาจเกิดขึ้นบนสายป้อนสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัย
5. สามารถเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต

## 1.6 เนื้อหาวิทยานิพนธ์

เนื้อหาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ จะบรรยายถึง แนวเหตุผล วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอน และวิธีการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 แหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิกขนาดเล็ก จะบรรยายถึงแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิก ชนิดต่างๆที่พบในบ้านพักอาศัย

บทที่ 3 การประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด จะบรรยายถึง วิธีการหาค่าประมาณของกระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด การหักล้างของกระแสฮาร์มอนิก มาตรฐาน IEC 1000-3-2-1995 ผลการตรวจวัดและค่าประมาณกระแสฮาร์มอนิก วิเคราะห์และสรุปผลการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด

บทที่ 4 การประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว จะบรรยายถึง แนวทางการประเมินจากบทความต่างๆ วิธีการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิก วิธีการสำรวจพฤติกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า วิธีการตรวจวัด ผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิก วิเคราะห์และสรุปผลการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว

บทที่ 5 การประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียว จะบรรยายถึง วิธีการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิก วิธีการสำรวจการถือครองและพฤติกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด วิธีการตรวจวัด ผลการหาตัวประกอบการถือครองและตัวประกอบการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า ผลการตรวจวัดและการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิก วิเคราะห์และสรุปผลการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียว

บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### แหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกขนาดเล็ก

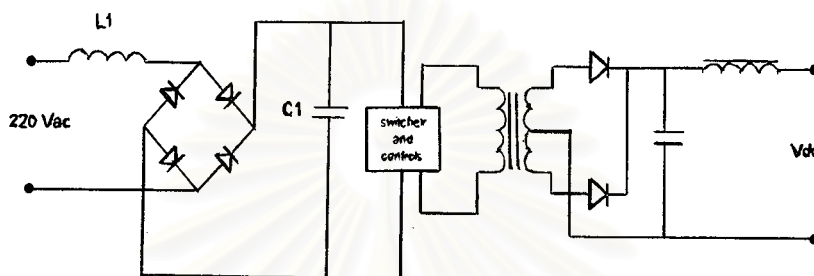
ในปัจจุบัน การใช้งานอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทั้งในโรงงานอุตสาหกรรม และ บ้านพักอาศัย ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักร เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เพื่อความสะดวกในการควบคุมการทำงาน รวมทั้งยังช่วยในด้านการประหยัดพลังงานอีกด้วย จึงทำให้อุปกรณ์เหล่านี้มีแนวโน้มที่จะขยายตัวมากขึ้นเรื่อยๆ ในอนาคต แต่การใช้งานอุปกรณ์เหล่านี้ ก็ก่อมลภาวะที่เพิ่มขึ้นให้แก่ระบบไฟฟ้า นั่นคือ กระแสฮาร์โมนิกที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม และจากบ้านพักอาศัย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ต่างๆ ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า

แม้ว่า กระแสฮาร์โมนิกที่เกิดจากบ้านพักอาศัย จะมีค่าน้อย แต่ก็ควรที่จะได้รับการพิจารณา เพราะถ้ากระแสฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้น จากหลายๆจุดมารวมกัน ย่อมทำให้มีค่าสูงขึ้น สำหรับแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์โมนิกที่เกิดจากบ้านพักอาศัยนั้น ก็เกิดมาจากเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ที่ใช้งานอยู่ในบ้านพักอาศัย ซึ่งส่วนใหญ่ก็คือ วงจรแปลงผันกำลังสถิต (Static Power Converter) โดยวงจรนี้จะเป็นส่วนประกอบอยู่ในเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ให้เป็น แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน ตัวอย่างเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สร้างกระแสฮาร์โมนิก อาทิเช่น แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งในคอมพิวเตอร์และโทรทัศน์ ชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำของคอมเพรสเซอร์ในเครื่องปรับอากาศและตู้เย็น ชุดขับแมกนีตรอนในเตาอบไมโครเวฟ รวมทั้งบัลลาสต์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น ซึ่งโหลดที่สร้างกระแสฮาร์โมนิกเหล่านี้ รวมเรียกว่า โหลดไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Load)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

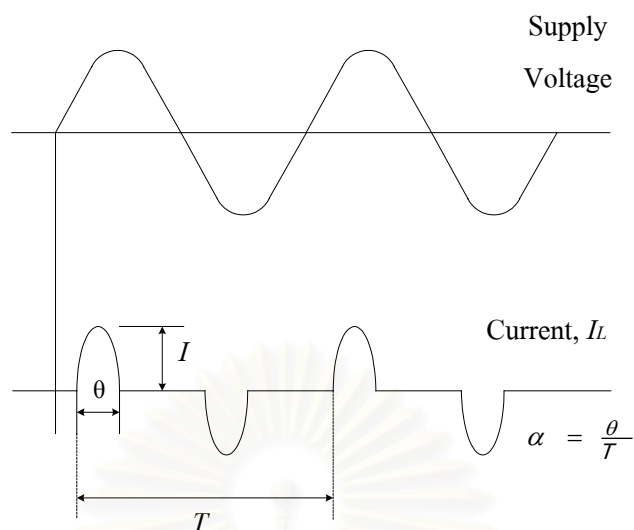
## 2.1 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิง (Switching Mode Power Supply :SMPS) [1,2]

แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกที่สำคัญอย่างหนึ่งในระบบจำหน่าย คือ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิง ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เฟสเดียว แหล่งจ่ายกระแสตรงนี้จะประกอบด้วย วงจรตัวเรียงกระแสแบบบริดจ์ไดโอด (Four Diode Bridge Rectifier) และตัวสวิตช์ (Switcher) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วงจรของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิง

แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิง จะเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้ได้ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีความเรียบ โดยทางด้านรับไฟจะต่อตรงเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ผ่านวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ไดโอด จะได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตกคร่อม C1 ที่ยังไม่เรียบ และจะผ่านวงจรแปลงผันจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC to DC Converter) โดยส่วนประกอบการสวิตช์ จะใช้ บีเจที (BJT'S) หรือ มอสเฟต (MOSFETS) ซึ่งจะเป็นสวิตช์ที่เปิด-ปิดอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีความเรียบมากขึ้น คุณสมบัติที่สำคัญของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิง คือ สามารถใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านรับไฟที่มีค่าเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงกว้าง สำหรับกระแสที่วงจรนี้จะดึงจากแหล่งจ่ายไฟนั้นจะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม C1 ถ้าแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ น้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าคร่อม C1 ก็จะไม่มีการแสไหลจากแหล่งจ่ายไฟ แต่เมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ มีแรงดันมากกว่าแรงดันไฟฟ้าคร่อม C1 ก็จะมีการแสไหล จึงทำให้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิง ก่อให้เกิดปริมาณกระแสฮาร์โมนิกที่ 3 ค่อนข้างสูง ซึ่งกระแสฮาร์โมนิกที่ 3 แต่ละเฟสของระบบจำหน่ายทั้ง 3 เฟส จะรวมกันไหลในสายนิวทรัล จะเกิดปัญหาแก่สายนิวทรัล คืออุณหภูมิที่สูงเกิน ซึ่งกระแสที่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิงดึงจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปคลื่นของกระแสที่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตซ์ซึ่งดึงจากแหล่งจ่ายไฟ

จากการวิเคราะห์โดยใช้อนุกรมฟูเรียร์ของกระแสจากทางด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ จากรูปที่ 2.2 จะได้ดังสมการ (2.1)

$$I_L = \frac{8\alpha I}{\pi} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{\cos(n\alpha\pi)}{1 - n^2\alpha^2\pi^2} \cos(n\omega t) \quad (2.1)$$

โดยที่  $I_L$  คือ กระแสจากทางด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

$I$  คือ ค่ายอดของกระแสอิมพัลส์

$\alpha$  คือ อัตราส่วนระหว่างช่วงเวลาสัมพันธ์( $\theta$ ) กับคาบของคลื่นพื้นฐาน ( $T$ )

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp) [1,3,4]

ปัจจุบันหลอดฟลูออเรสเซนต์ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากช่วยประหยัดพลังงาน แต่การใช้งานของหลอดฟลูออเรสเซนต์เหล่านี้ ก่อให้เกิดปัญหาฮาร์มอนิกขึ้นในระบบไฟฟ้า โดยปริมาณการรบกวนขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้หลอด และ ชนิดของบัลลาสต์ที่นำมาใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งได้แก่

### ก. บัลลาสต์แกนเหล็ก (Magnetic Ballast)

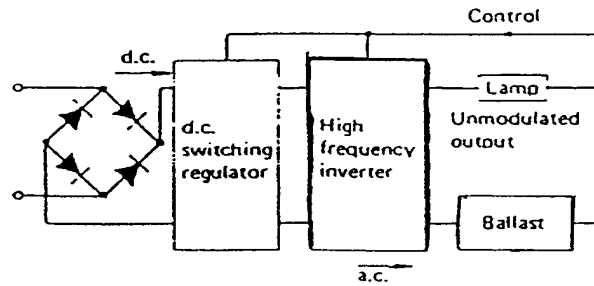
บัลลาสต์ชนิดนี้ จะมีส่วนประกอบของแกนเหล็กอยู่ จึงทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์มีค่าต่ำ และก่อให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นของแกนเหล็ก ซึ่งจะมีระดับความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (THD: Total Harmonic Distortion) ของกระแส ประมาณต่ำกว่า 20 % ตัวอย่างรูปคลื่นกระแสของบัลลาสต์แกนเหล็ก แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างรูปคลื่นกระแสของบัลลาสต์แกนเหล็ก

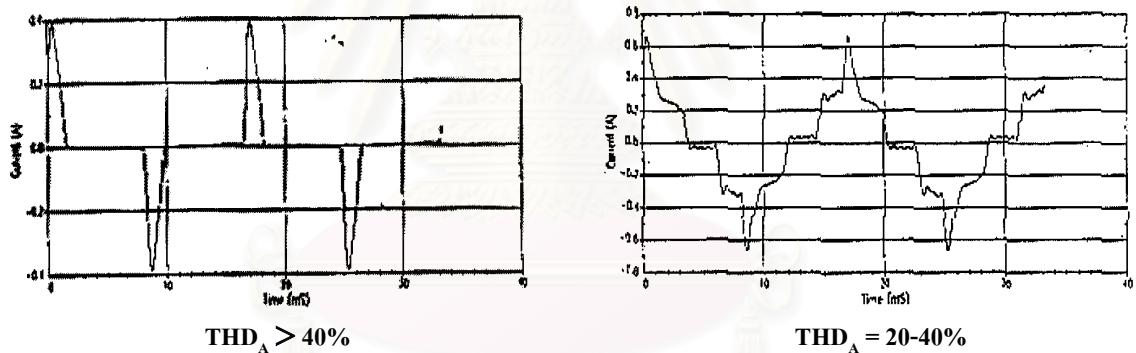
### ข. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast)

ในปัจจุบันบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เริ่มถูกนำมาใช้มากขึ้น แต่ยังคงไม่แพร่หลายในประเทศไทย เพราะมีราคาแพง แต่การใช้งานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จะมีกำลังสูญเสียต่ำกว่าบัลลาสต์แกนเหล็ก ไม่ก่อให้เกิดแสงกระพริบ (Flicker) เนื่องจากทำงานในย่านความถี่สูง และจุดหลอดติดได้ทันทีเป็นต้น หากเลือกใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ไม่เหมาะสมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ก็สามารถก่อให้เกิดกำลังสูญเสียมากขึ้น ปริมาณแสงที่ได้น้อยลง และปริมาณกระแสฮาร์มอนิกจะมากขึ้นด้วย วงจรพื้นฐานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ สามารถแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วงจรพื้นฐานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

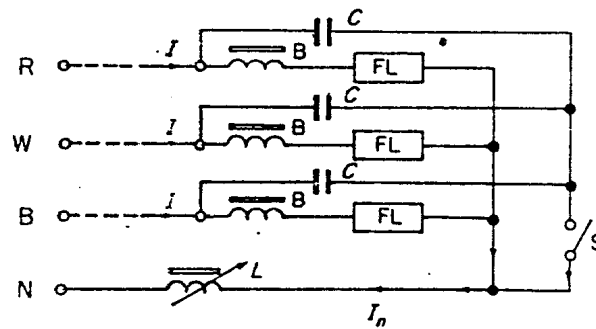
สำหรับปริมาณกระแสฮาร์โมนิกที่บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สร้างขึ้นนั้น มีทั้งระดับกระแสฮาร์โมนิกสูง โดยมีระดับความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกรวมของกระแส สูงกว่า 40% ขึ้นไป(อาจจะสูงถึง 140%) และระดับกระแสฮาร์โมนิกปานกลาง ซึ่งมีส่วนแก้ไขปัญหาค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่ต่ำ และส่วนควบคุมกระแสฮาร์โมนิก (ได้แก่วงจรกรองแบบพาสซีฟ:Passive Filter และวงจรกรองแบบแอกทีฟ:Active Filter) โดยจะมีระดับความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกรวมของกระแสอยู่ในช่วง 20-40% ตัวอย่างรูปคลื่นกระแสของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างรูปคลื่นกระแสของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

การใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะก่อให้เกิดปริมาณกระแสฮาร์โมนิกโดยเฉพาะอย่างยิ่งในลำดับเลขคี่ ซึ่งในระบบ 3 เฟส 4 สาย กระแสฮาร์โมนิกที่เป็นพหุคูณของสาม (Triplen Harmonic) จะไหลมารวมกันในสายนิวทรัล โดยเฉพาะกระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 จะมีปริมาณที่สูงที่สุด และสำหรับการต่อใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ ดังรูปที่ 2.6 ที่มีการนำตัวเก็บประจุ มาใช้ในการแก้ไขค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์อาจทำให้เกิดเรโซแนนซ์ขึ้นในกระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 ซึ่งอาจแก้ปัญหาเรโซแนนซ์ได้โดยการต่อหลอดแบบเดลต้า หรือต่อแบบวาย ที่ไม่ต่อนิวทรัลลงกราวด์

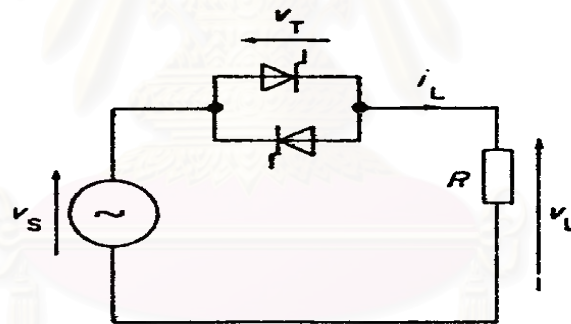




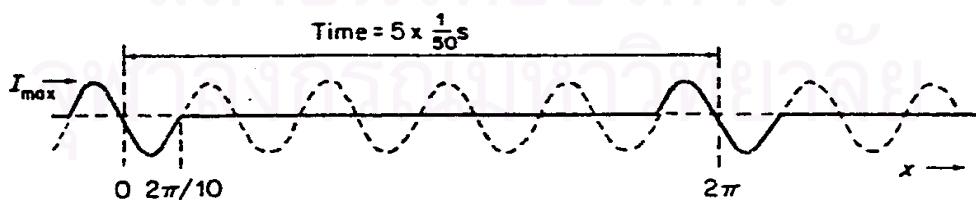
รูปที่ 2.6 รูปแบบวงจรการต่อหลอดฟลูออเรสเซนต์

### 2.3 ชุดควบคุมการทำงานแบบ Integral Cycle [1]

ชุดควบคุมแบบนี้ อาศัยหลักการสวิตซ์ครบครึ่งไซเคิลทั้งหมดของรูปคลื่นแรงดัน สามารถเรียกการควบคุมแบบนี้ก็อย่างหนึ่งว่า Burst-Firing ซึ่งจะพบได้ในเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น ชุดควบคุมอุณหภูมิในเตาไฟฟ้า โดยแสดงวงจรพื้นฐานของชุดควบคุมการทำงานแบบ Integral Cycle ดังรูปที่ 2.7 และรูปคลื่นแรงดันของชุดควบคุมนี้ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 วงจรพื้นฐานของชุดควบคุมการทำงานแบบ Integral Cycle



รูปที่ 2.8 รูปคลื่นของแรงดันของชุดควบคุมการทำงานแบบ Integral Cycle

กำหนดให้  $N$  คือ จำนวนรูปคลื่นที่ทำงาน  $M$  คือ จำนวนรูปคลื่นที่ซ้ำ ดังในรูปที่ 2.8  $N = 1$  และ  $M = 5$  เป็นต้น สามารถหาค่าคาบของการซ้ำเท่ากับ  $M/f$  โดยที่  $f$  เท่ากับความถี่มูลฐานของแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งจะได้ความถี่ต่ำสุดคือ ความถี่มูลฐาน เท่ากับ  $f/M$  เฮิร์ต สามารถวิเคราะห์ค่ากระแสได้ตามสมการที่ 2.2

$$i = I_{\max} \sin M \omega t \quad (2.2)$$

และ สามารถวิเคราะห์โดยอนุกรมฟูเรียร์ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์  $A_0$  และ  $A_n$  มีค่าเท่ากับศูนย์ แต่จะได้ค่า  $B_n$  ตามสมการที่ 2.3

$$B_n = \int_0^{2\pi f/M} [I - I_{\max} \sin M\omega t \sin n\omega t] d\omega t = -I_{\max} \cdot \frac{2M}{\pi} \cdot \frac{\sin((N/M)n\pi)}{M^2 - N^2} \quad (2.3)$$

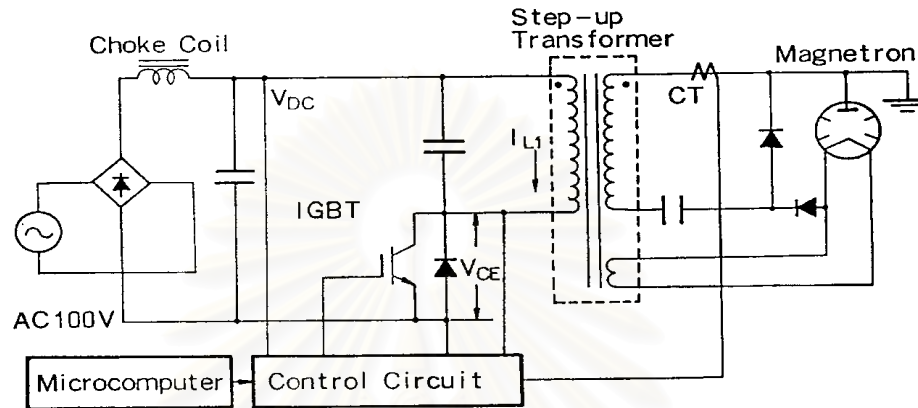
เมื่อ พิจารณาจาก  $M = 5$  และ  $N = 1$  ความถี่มูลฐานของแหล่งจ่ายไฟ 50 เฮิร์ต จะได้ค่าความถี่ต่ำสุดของการซ้ำเท่ากับ 10 เฮิร์ต โดยที่  $n = 1$  หรือที่ความถี่มูลฐานจะมีค่าความถี่เท่ากับ 10 เฮิร์ต จะได้ค่าต่อหน่วย (pu.) ที่ความถี่ต่างๆตามสมการที่ 2.3 ดังนี้

$f_1$ (10Hz) เท่ากับ 0.087	$f_8$ (80Hz) เท่ากับ 0.078
$f_2$ (20Hz) เท่ากับ 0.140	$f_9$ (90Hz) เท่ากับ 0.033
$f_3$ (30Hz) เท่ากับ 0.189	$f_{10}$ (100Hz) เท่ากับ 0
$f_4$ (40Hz) เท่ากับ 0.208	$f_{11}$ (110Hz) เท่ากับ 0.019
$f_5$ (50Hz) เท่ากับ 0.200	$f_{12}$ (120Hz) เท่ากับ 0.025
$f_6$ (60Hz) เท่ากับ 0.170	$f_{13}$ (130Hz) เท่ากับ 0.021
$f_7$ (70Hz) เท่ากับ 0.126	$f_{14}$ (140Hz) เท่ากับ 0.011

โดยที่ ความถี่ 100 Hz 150 Hz 200 Hz ... จะมีค่าเท่ากับ ศูนย์ ดังนั้นชุดควบคุมการทำงานแบบ Integral Cycle จะเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกที่มีความถี่ไม่เป็นจำนวนเท่าของความถี่มูลฐานในระบบนั่นเอง

## 2.4 เตาอบไมโครเวฟ (Microwave Oven) [5]

ในเตาอบไมโครเวฟนั้น จะมีส่วนประกอบชุดขับเคลื่อนแม่กนีตรอนเพื่อปล่อยรังสีไมโครเวฟ ซึ่ง วงจรพื้นฐานสำหรับชุดขับเคลื่อนแม่กนีตรอน แสดงดังรูปที่ 2.9

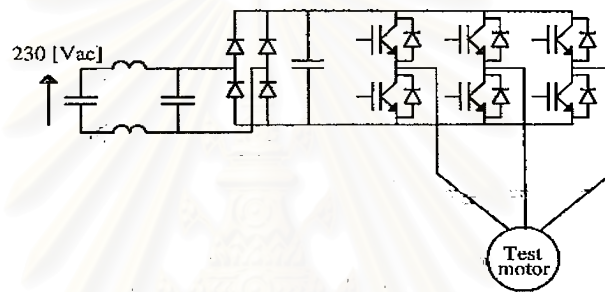


รูปที่ 2.9 วงจรพื้นฐานสำหรับชุดขับเคลื่อนแม่กนีตรอน

การทำงานของวงจรนี้ เริ่มจากแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับจะถูกกรองผ่าน วงจรบริดจ์ไดโอด แกนเหล็กโช๊ค และตัวคาปาซิเตอร์ ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง หลังจากนั้น แรงดันไฟฟ้าที่ได้ผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าขึ้น ซึ่งต่อกับอุปกรณ์สวิตช์ ที่ใช้ IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) เป็นอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งสามารถทำงานที่ความถี่สูงได้ และยัง ต่อกับตัวคาปาซิเตอร์ อีกด้วย ซึ่งเสมือนเป็นวงจรเรโซแนนซ์ ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่มีความถี่ สูง แล้วจะถูกแปลงให้มีค่าสูงขึ้นในด้านขดลวดทุติยภูมิ ซึ่งวงจรด้านทุติยภูมิจะเป็นวงจรเรียงกระแส แบบครึ่งทวิคูณ (Half Doubler Rectifier) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าสูงตกคร่อมขั้วอานอด และคา โทดของแมกนีตรอน มีกระแสอานอดไหลผ่าน รังสีไมโครเวฟก็จะถูกปล่อยออกมา จากการทำงานของ วงจรนี้ก็จะทำให้เตาอบไมโครเวฟดึงกระแสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ผิดเพี้ยนไปจากรูป คลื่นไซน์ ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดกระแสฮาร์มอนิก

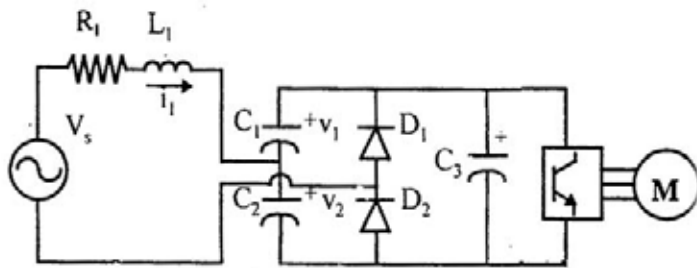
## 2.5 ชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Adjustable Speed Drive) [6]

ในเครื่องปรับอากาศ และตู้เย็นรุ่นใหม่ๆบางรุ่น จะใช้ชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วรอบมอเตอร์นี้ เนื่องจากจะช่วยประหยัดพลังงาน รักษาระดับอุณหภูมิให้เสถียรภาพได้ดีกว่า และมีเสียงรบกวนน้อย ชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วรอบมอเตอร์ จะประกอบด้วย วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ไดโอด และชุดอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งวงจรตัวเรียงกระแสจะเปลี่ยนแรงดันกระแสสลับจากแหล่งจ่ายไฟ ให้เป็นแรงดันกระแสตรง เพื่อจ่ายให้ชุดอินเวอร์เตอร์ทำงาน โดยแปลงแรงดันกระแสตรงเป็นแรงดันกระแสสลับที่ปรับความถี่ได้ เพื่อปรับความเร็วรอบมอเตอร์ในคอมเพรสเซอร์ต่อไป ซึ่งสามารถแสดงวงจรพื้นฐานดังรูปที่ 2.10

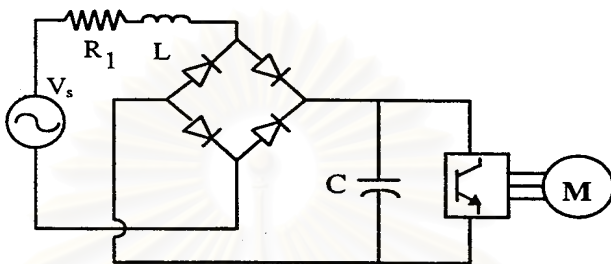


รูปที่ 2.10 วงจรพื้นฐานของชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วรอบมอเตอร์

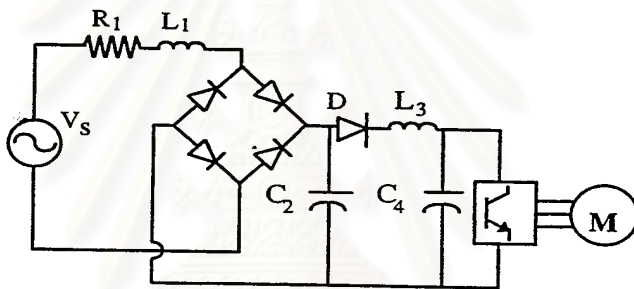
สำหรับวงจรชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วรอบมอเตอร์อาจประกอบด้วยวงจรกรอง (Filter) ที่แตกต่างกัน ดังแสดงดังรูปที่ 2.11 โดยแต่ละวงจรก็จะดึงกระแสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วยรูปคลื่นที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงเปรียบเทียบดังรูปที่ 2.12



(A)



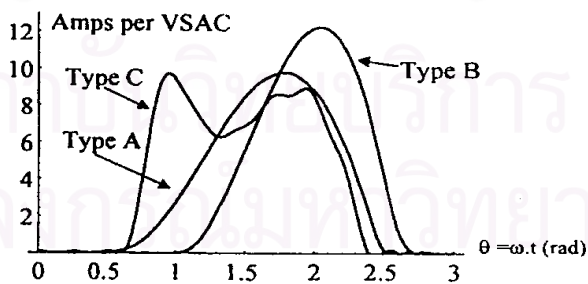
(B)



(C)

รูปที่ 2.11 วงจรชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วรอบมอเตอร์ที่มีวงจรกรอง (A) Filter

B) Low Pass Filter (C) Blocking Filter



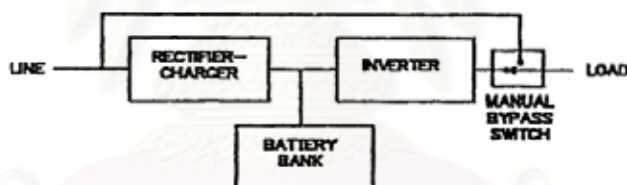
รูปที่ 2.12 รูปคลื่นกระแสของวงจรชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วรอบมอเตอร์ ในรูปที่ 2.11

## 2.6 แหล่งจ่ายกำลังมิให้หยุดชะงัก (Uninterruptible Power Supply: UPS) [7]

แหล่งจ่ายกำลังมิให้หยุดชะงักจะสามารถช่วยจ่ายไฟให้กับโหลดได้ในกรณีที่ไฟฟ้าดับ ซึ่งจะช่วยลดความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการที่ไฟฟ้าดับลงได้ ช่วงระยะเวลาที่จะสามารถจ่ายไฟได้ของแหล่งจ่ายกำลังมิให้หยุดชะงักจะขึ้นอยู่กับขนาดของแบตเตอรี่ภายในตัวแหล่งจ่ายกำลังมิให้หยุดชะงัก ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ

### ก. แหล่งจ่ายกำลังมิให้หยุดชะงักแบบ On-Line

แหล่งจ่ายกำลังมิให้หยุดชะงักแบบนี้ จะจ่ายไฟให้กับโหลดที่ต่ออยู่ตลอดเวลา โดยไฟฟ้ากระแสสลับที่เข้ามาจะถูกแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยตัวอัดประจุเรียงกระแส (Rectifier Charger) ซึ่งจะไปอัดประจุแบตเตอรี่เอาไว้ ต่อจากนั้นไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกแปลงกลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับอีกครั้งด้วยอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ถ้าระบบไฟฟ้าเกิดล้มเหลวหรือไฟฟ้าดับ โหลดจะได้รับการจ่ายไฟจากแบตเตอรี่โดยผ่านทางอินเวอร์เตอร์ การต่อแหล่งจ่ายกำลังมิให้หยุดชะงักแบบ On-Line แสดงดังรูปที่ 2.13

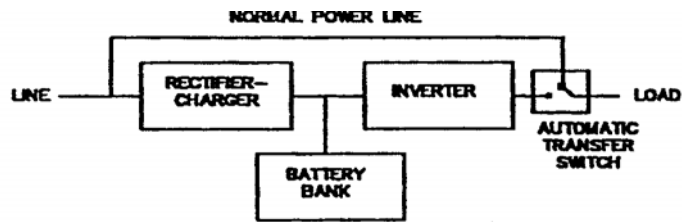


รูปที่ 2.13 การต่อแหล่งจ่ายกำลังมิให้หยุดชะงักแบบ On-Line

แหล่งจ่ายกำลังมิให้หยุดชะงักแบบนี้ สามารถช่วยการแยกโคด (Isolation) โหลดวิกฤตออกจากการรบกวนทางไฟฟ้ากำลังได้ดี แต่แหล่งจ่ายกำลังมิให้หยุดชะงักแบบนี้ยังมีราคาแพง และมีกำลังสูญเสียที่สูง อีกด้วย

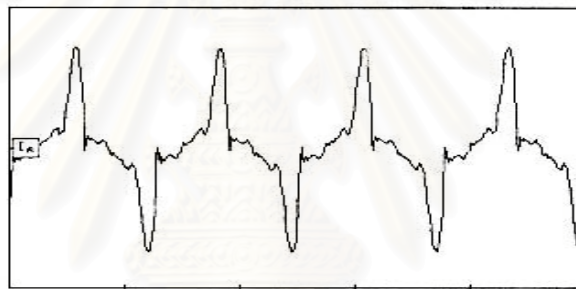
### ข. แหล่งจ่ายกำลังมิให้หยุดชะงักแบบ Off-Line

แหล่งจ่ายกำลังมิให้หยุดชะงักแบบ Off-Line จะทำงานก็ต่อเมื่อมีไฟฟ้าดับเกิดขึ้น ซึ่งโหลดจะได้รับการจ่ายไฟโดยสวิตช์ถ่ายโอน (Transfer Switch) จะเปลี่ยนสถานะเพื่อรับการจ่ายไฟจากแบตเตอรี่แทน โดยทั่วไปช่วงเวลาที่ถ่ายโอน (Transfer Time) ควรมีค่าประมาณ 4 ms. เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องในการทำงานของโหลดวิกฤต ซึ่งสามารถแสดงการต่อแหล่งจ่ายกำลังมิให้ชะงักแบบ Off-Line ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การต่อแหล่งจ่ายกำลังมิให้ชะงักแบบ Off-Line

ตัวอย่างรูปคลื่นกระแสที่จ่ายให้กับแหล่งจ่ายกำลังมิให้ชะงัก แบบ 1 เฟส แสดงดังรูปที่ 2.15 จะพบว่ามีส่วนประกอบของฮาร์มอนิกลำดับพหุคูณของสามอยู่มาก โดยเฉพาะในระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สายจะส่งผลกระทบต่อสายนิวทรัล และหม้อแปลงไฟฟ้า ที่อาจจะต้องรับโหลดเกินพิกัด เนื่องจากส่วนประกอบฮาร์มอนิกที่มากขึ้น จากการรวมเอากระแสฮาร์มอนิกพหุคูณของสาม ที่อาจมีค่าสูงถึง 1.73 เท่าของกระแสเฟส นอกจากนี้อาจส่งผลกระทบต่อระบบโทรศัพท์ และแรงดันผิดเพี้ยนได้



รูปที่ 2.15 รูปคลื่นกระแสที่จ่ายให้กับแหล่งจ่ายกำลังมิให้ชะงักแบบ 1 เฟส

โดยรวม เครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภทจะมีส่วนประกอบที่เหมือนกัน คือวงจรเรียงกระแสบริดจ์ไดโอดนั่นเอง ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้ดึงกระแสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีค่ากระแสฮาร์มอนิกที่สูง แต่ถ้าเปรียบเทียบกับเครื่องจักรที่มีขนาดพิกัดที่ใหญ่กว่าก็จะถือว่าน้อย แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายๆเครื่องที่อยู่บนสายป้อนเดียวสร้างกระแสฮาร์มอนิกที่มีมมเฟสเดียวกัน ก็ย่อมเสริมให้ค่ากระแสฮาร์มอนิกสูงขึ้นได้เช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระแสฮาร์มอนิกในลำดับพหุคูณของสามของแต่ละเฟสในระบบจำหน่าย อาจทำให้มีกระแสฮาร์มอนิกในลำดับเหล่านี้ไหลในสายนิวทรัลมากเกินไปกว่าพิกัดของสายนิวทรัลที่ออกแบบไว้ได้

## บทที่ 3

### การประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด

#### 3.1 การหาค่าประมาณของกระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้า

การหาค่าประมาณของกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆนี้ จะอาศัยข้อมูลจากการตรวจวัดกระแสฮาร์มอนิกของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด โดยวัดทั้งขนาด และมุมเฟสของกระแสฮาร์มอนิก โดยจะทำการตรวจวัดเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดจำนวน 30 เครื่อง ซึ่งข้อมูลที่ได้จะใช้เป็นฐานข้อมูล ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการวิเคราะห์กระแสฮาร์มอนิกเฉพาะลำดับที่ 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 สำหรับการหาค่าประมาณกระแสฮาร์มอนิกของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดนี้ จะอาศัยหลักการมอนติคาร์โล โดยทำการสุ่มตัวเลขในช่วง  $[0,1]$  แปลงเป็นหมายเลขเครื่องในช่วง  $[1,30]$  เพื่อเลือกเครื่องใช้ไฟฟ้าทีละเครื่อง แล้วนำค่ากระแสฮาร์มอนิกของแต่ละเครื่องรวมกันทางเวกเตอร์ ทั้งนี้เพื่อคำนึงถึงผลการลดทอนในเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดเดียวกันที่ทำงานพร้อมๆกันหลายๆเครื่อง ซึ่งจะทำให้ได้ค่าประมาณกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดต่อหนึ่งเครื่อง โดยจะทำการสุ่มเลือกอย่างต่ำ 1000 เครื่องจากฐานข้อมูล และจะทำการสุ่มเลือกต่อไป จนเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของค่าประมาณที่ได้แต่ละรอบของการสุ่ม มีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดคือ 0.005 ทั้งขนาดและมุมเฟสของกระแสฮาร์มอนิกของทุกลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์หาได้จากสมการที่ 3.1 และสามารถแสดงโพลีชาร์ตแสดงการคำนวณหาค่าประมาณกระแสฮาร์มอนิกของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ดังรูปที่ 3.1

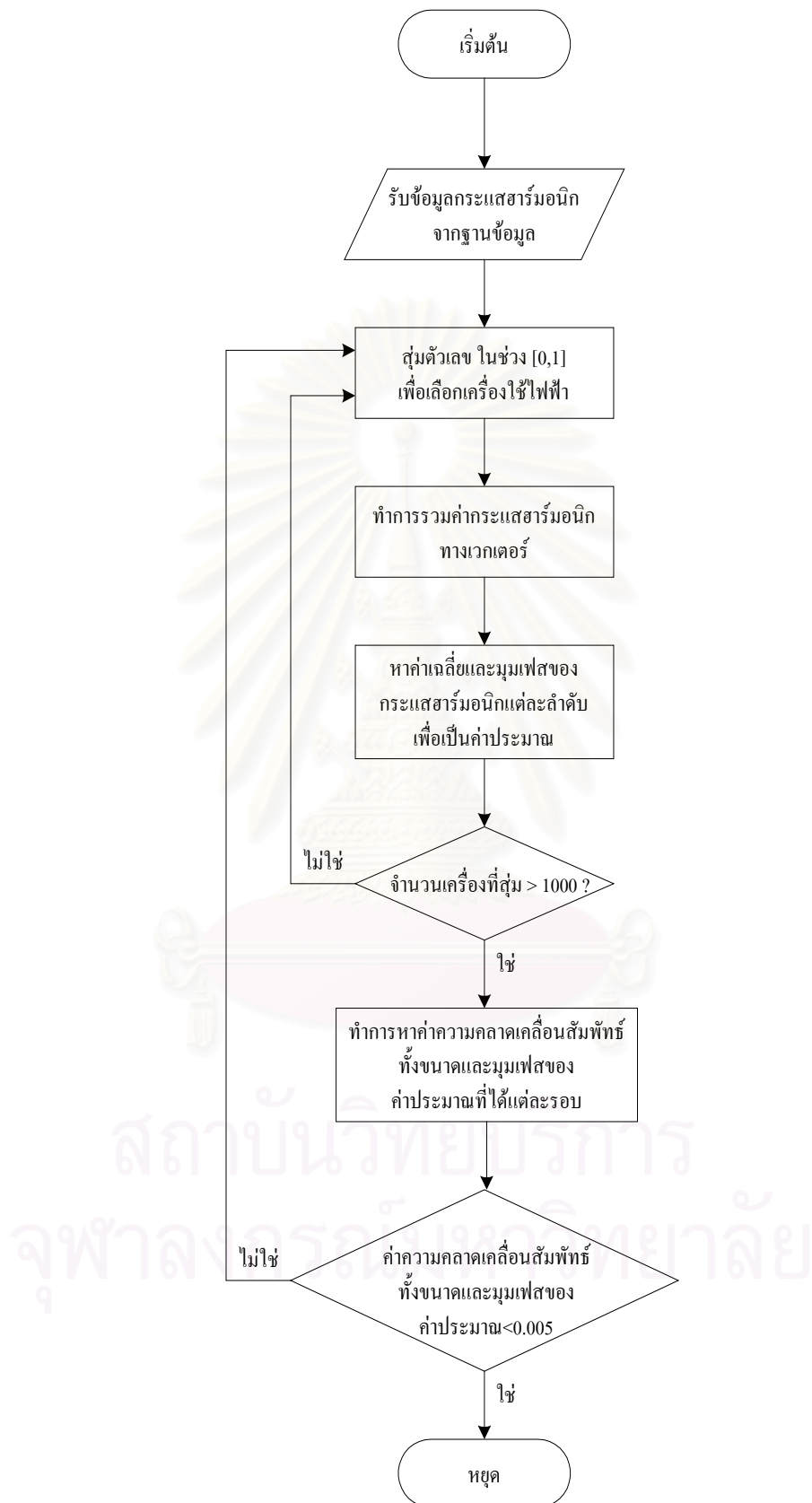
$$\text{ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์} = \frac{S}{\bar{x}\sqrt{n}} \quad (3.1)$$

โดยที่  $S$  = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) ของค่าประมาณ

$\bar{x}$  = ค่าเฉลี่ย (Mean) ของค่าประมาณ

$n$  = จำนวนครั้งของการสุ่ม





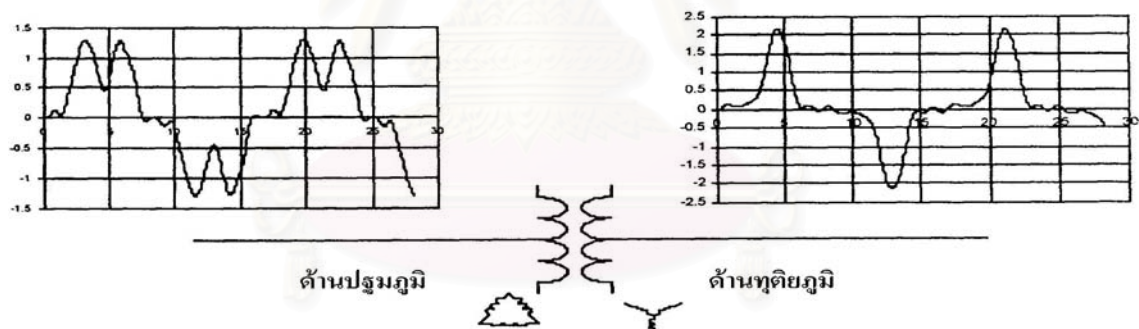
รูปที่ 3.1 โฟลว์ชาร์ตแสดงการคำนวณหาค่าประมาณกระแสชาวมอนิกของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด

### 3.2 การหักล้างของกระแสฮาร์โมนิก (Harmonic Current Cancellation) [8]

การหักล้างของกระแสฮาร์โมนิกเกิดขึ้นจากการรวมกันของโหลดแบบไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งมีมุมเฟสแตกต่างกันในกระแสฮาร์โมนิกแต่ละลำดับ โดยสามารถแบ่งลักษณะการหักล้างของกระแสฮาร์โมนิกตามสาเหตุของการเกิดความแตกต่างมุมเฟส ได้ 4 ลักษณะ ดังนี้

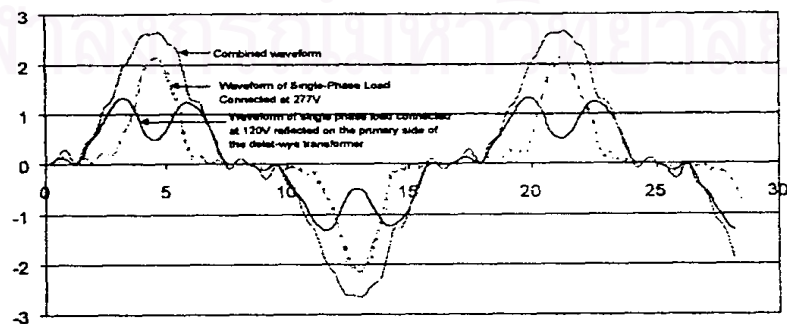
#### 3.2.1 เนื่องจากการเลื่อนเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้า

การหักล้างของกระแสฮาร์โมนิกเกิดมาจากการเลื่อนเฟส 30 องศาของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลต้า-วาย โดยรูปคลื่นกระแสของโหลดเฟสเดียวที่ถูกแปลงจากระดับแรงดันด้านทุติยภูมิ(แบบวาย) ไปยังระดับแรงดันด้านปฐมภูมิ(แบบเดลต้า) จะไม่มีส่วนประกอบกระแสฮาร์โมนิกในส่วนของลำดับพหุคูณของสาม แต่กระแสฮาร์โมนิกลำดับบวก ( $7^{th}, 13^{th}$ ) จะเลื่อนเฟสเดินหน้า 30 องศา และกระแสฮาร์โมนิกลำดับลบ ( $5^{th}, 11^{th}$ ) จะเลื่อนเฟสถอยหลัง 30 องศา ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.2 และจะเกิดการหักล้างมากขึ้นเมื่อกระแสฮาร์โมนิกที่ถูกแปลงมาด้านปฐมภูมิดังกล่าว รวมกับกระแสฮาร์โมนิกของโหลดแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่ระดับแรงดันปฐมภูมิ ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 Current waveform of single-phase non-linear loads reflected to primary side of transformer

Combination of Single-Phase Load Current at Two Different Voltage Level Separated by a delta-wye Transformer



รูปที่ 3.3 การหักล้างของกระแสฮาร์โมนิกจากโหลดที่ต่ออยู่ด้านทุติยภูมิและปฐมภูมิของหม้อแปลง

### 3.2.2 เนื่องจากโหลดเฟสเดียวและสามเฟสที่ระดับแรงดันเดียวกัน

ความแตกต่างมุมเฟสของส่วนประกอบกระแสฮาร์โมนิกจากโหลดเฟสเดียวและสามเฟส ที่ต่ออยู่ระดับแรงดันเดียวกันโดยไม่เกิดการเลื่อนเฟสมือแปลงไฟฟ้าระหว่างกระแสโหลดทั้งสอง จะทำให้เกิดการหักล้างของกระแสฮาร์โมนิกอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฮาร์โมนิกลำดับที่ 5 และ 7 ดังตัวอย่างในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 Cancellation between three-phase and single-phase loads connected at the same voltage level

	3-ph Bridge Rectifier		1-ph Bridge Rectifier		Combined Current	
	Magnitude (pu)	Phase Angle	Magnitude (pu)	Phase Angle	Vector Summation	Linear Summation
Fund.	1	-13	1	-5	2	2
5	0.765	118	0.377	-41	0.435	1.142
7	0.627	-90	0.127	116	0.516	0.754
11	0.248	31	0.053	-102	0.215	0.301
13	0.127	169	0.025	-2	0.102	0.152

### 3.2.3 เนื่องจากความแตกต่างมุมเฟสของโหลดต่างชนิดกัน

โหลดแบบไม่เป็นเชิงเส้นหลายๆชนิดที่ต่ออยู่ในระดับแรงดันเดียวกัน จะสามารถหากระแสฮาร์โมนิกรวมได้จาก ผลรวมทางเวกเตอร์ของกระแสโหลดแต่ละชนิด ซึ่งการหักล้างของกระแสฮาร์โมนิกจะเกิดขึ้นจากความแตกต่างมุมเฟสของกระแสฮาร์โมนิกลำดับเดียวกันของโหลดแต่ละชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฮาร์โมนิกลำดับต่ำ อาทิเช่น ลำดับที่ 3 และ 5 ดังตัวอย่างในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 3<sup>rd</sup> and 5<sup>th</sup> harmonic cancellation factors for residential loads

	3 <sup>rd</sup> Harmonic		5 <sup>th</sup> Harmonic	
	Mag. (mA)	Phase degrees	Mag. (mA)	Phase degrees
1 TV	375	-176	264	8
1 refrigerator	62	-104	43	-95
2 dimmer	294	-91	96	84
3 compact fluorescent lamps	135	126	108	-93
2 fluorescent lamps	162	53	36	-143
Total (Linear Sum)	<b>1028</b>		<b>547</b>	
Total (Vector Sum)	<b>397</b>		<b>238</b>	
Cancellation Factor	<b>0.39</b>		<b>0.43</b>	

### 3.2.4 เนื่องจากความแตกต่างมุมเฟสของโหลดชนิดเดียวกัน

ความแตกต่างมุมเฟสของกระแสฮาร์โมนิกแต่ละลำดับของโหลดชนิดเดียวกันนั้น อาจเกิดมาจาก ระดับกำลังไฟฟ้า ขนาดอิมพีแดนซ์สายส่ง อัตราส่วนX/Rของอิมพีแดนซ์สายส่ง และคาปาซิเตอร์ทางด้านโหลด ซึ่งการหักล้างของกระแสฮาร์โมนิกจากโหลดชนิดเดียวกันแถบจะไม่เกิดขึ้นในฮาร์โมนิกลำดับต่ำ (3<sup>rd</sup> และ 5<sup>th</sup>) แต่จะส่งผลอย่างมากในฮาร์โมนิกลำดับสูง ตั้งแต่ลำดับที่ 7 ขึ้นไป ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 Harmonic current diversity factors due to variations of circuit parameters for same type of load

Harmonic Number h	$DF_h$ Due to P	$DF_h$ Due to Z	$DF_h$ Due to X/R	$DF_h$ Due to C	$DF_h$ Due to Composite PZX/RC
3	1.00	0.99	0.97	1.00	0.97
5	0.99	0.96	0.89	0.99	0.90
7	0.86	0.57	0.69	0.96	0.59
9	0.76	0.57	0.84	0.97	0.18
11	0.79	0.39	0.59	0.93	0.31
13	0.46	0.11	0.78	0.95	0.12
15	0.56	0.08	0.62	0.90	0.05

**หมายเหตุ:** ค่าตัวประกอบการหักล้างของกระแสฮาร์โมนิก (Harmonic Current Cancellation Factor) และค่าตัวประกอบความแตกต่างของกระแสฮาร์โมนิก (Harmonic Current Diversity Factor: DF) คือ อัตราส่วนระหว่างผลรวมกระแสฮาร์โมนิกแบบเวกเตอร์ (Vector Summation) กับผลรวมกระแสฮาร์โมนิกแบบเชิงเส้น (Linear Summation) ตามสมการที่ 3.2

$$DF_h = \frac{\text{Vector Summation}}{\text{Linear Summation}} \quad (3.2)$$

### 3.3 มาตรฐาน IEC Std. 1000-3-2 Limits for harmonic current emissions

(equipment input current  $\leq 16$  A per phase) [9]

#### ก. ขอบเขต

มาตรฐานนี้ จะระบุถึงส่วนประกอบปริมาณฮาร์มอนิกของกระแสเข้าที่อาจถูกสร้างมาจาก อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทดสอบภายใต้เงื่อนไข โดยครอบคลุมในส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ที่มีกระแสเข้าไม่เกิน 16 แอมแปร์ต่อเฟส ในระบบจำหน่ายแรงดันต่ำที่มีแรงดันปกคือน้อยไม่ต่ำกว่า 220 โวลท์

#### ข. การจัดกลุ่มอุปกรณ์ และค่ากำหนด

มาตรฐานนี้ จะทำการแบ่งประเภทของอุปกรณ์ เพื่อจัดกลุ่มในการกำหนดปริมาณกระแสฮาร์มอนิก ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มดังนี้

**Class A :** Balanced three-phase equipment and all other equipment, except that stated in one of the following classes

ในกลุ่มนี้จะเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า แบบสามเฟสสมดุล และอุปกรณ์อื่นๆที่ไม่อยู่ในกลุ่มอื่นๆ ซึ่งมีค่ากำหนดปริมาณกระแสฮาร์มอนิกตามตารางที่ 3.4

**Class B :** Portable tools.

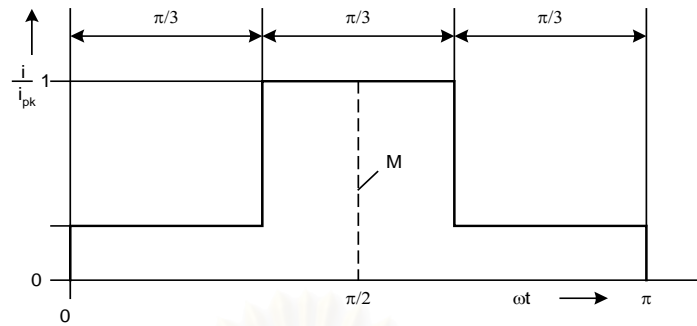
ในกลุ่มนี้เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สามารถถือได้ขณะใช้งานปกติ และใช้งานในช่วงเวลาสั้น จะมีค่ากำหนดปริมาณกระแสฮาร์มอนิก เป็น 1.5 เท่าของตารางที่ 3.4

**Class C :** Lighting equipment including dimming devices

ในกลุ่มนี้จะเป็นกลุ่มของอุปกรณ์ส่องสว่าง รวมทั้งอุปกรณ์หรี่แสง จะมีค่ากำหนดปริมาณกระแสฮาร์มอนิกตามตารางที่ 3.5

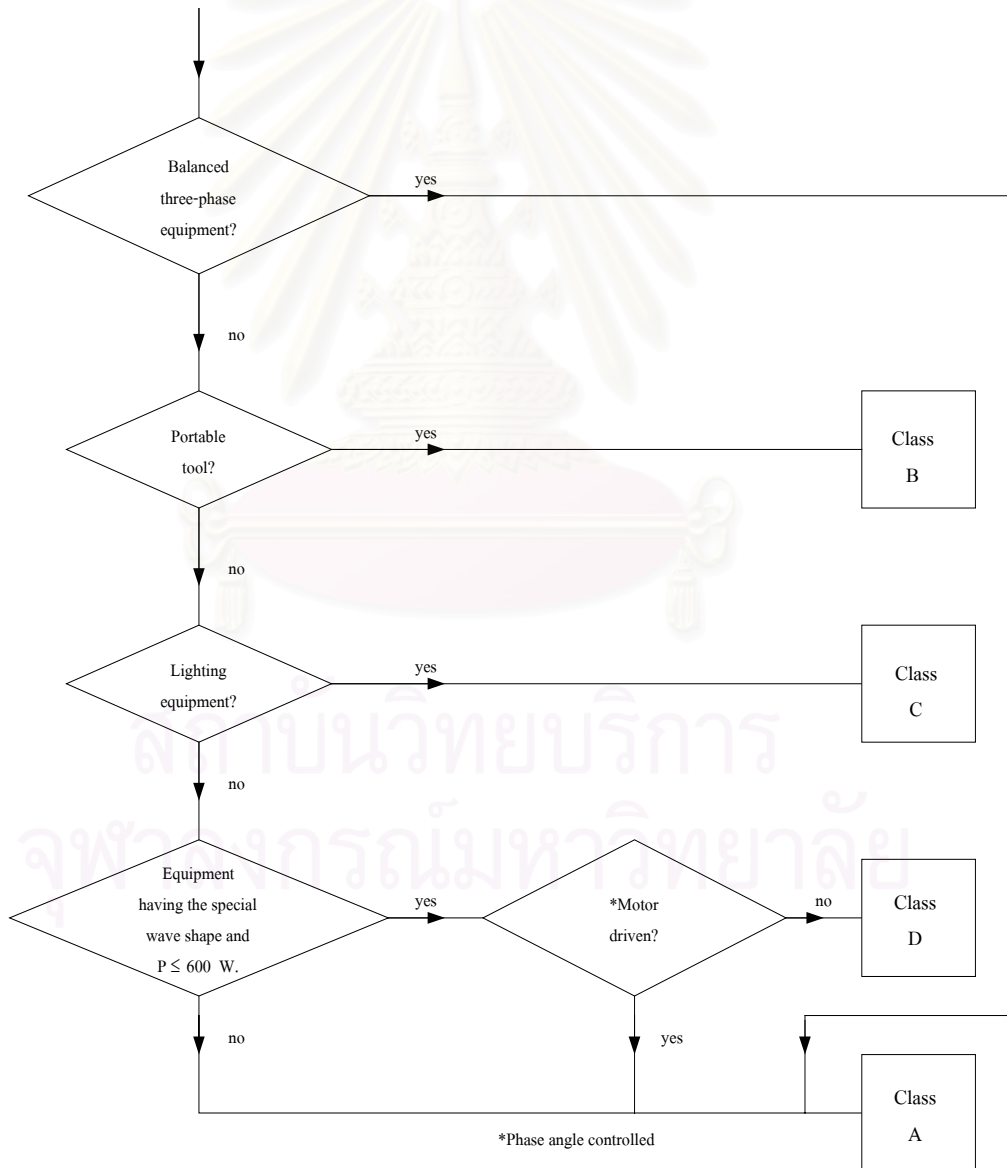
**Class D :** Equipment having an input current with a “special wave shape” and an active input power  $P \leq 600$  W.

ในกลุ่มนี้จะเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีรูปคลื่นกระแสเข้าพิเศษ ตามรูปที่ 3.4 และกำลังไฟฟ้าจริงขาเข้าไม่เกิน 600 วัตต์ จะมีค่ากำหนดปริมาณกระแสฮาร์มอนิก ตามตารางที่ 3.6



รูปที่ 3.4 Envelope of the input current to define the “special wave shape” and to classify equipment as Class D

จากมาตรฐาน IEC 1000-3-2 สามารถแสดง โฟลว์ชาร์ตในการจัดกลุ่มอุปกรณ์ได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 Flow-chart for the classification of equipment

ตารางที่ 3.4 Limits for Class A equipment

Harmonic order n	Maximum permissible Harmonic Current A
Odd harmonics	
3	2.30
5	1.14
7	0.77
9	0.40
11	0.33
13	0.21
$15 \leq n \leq 39$	$0.15 \frac{15}{n}$
Even harmonics	
2	1.08
4	0.43
6	0.30
$8 \leq n \leq 39$	$0.23 \frac{8}{n}$

ตารางที่ 3.5 Limits for Class C equipment

Harmonic order n	Maximum permissible harmonic current expressed as a percentage of the input current at the fundamental frequency %
2	2
3	$30 \cdot \lambda^*$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (odd harmonic only)	3
* $\lambda$ is the circuit power factor	

ตารางที่ 3.6 Limits for Class D equipment

Harmonic order n	Maximum permissible harmonic current per watt mA/W	Maximum permissible harmonic current A
3	3.4	2.30
5	1.9	1.14
7	1.0	0.77
9	0.5	0.40
11	0.35	0.33
$13 \leq n \leq 39$ (odd harmonic only)	$\frac{3.85}{n}$	see table 3.1

### 3.4 ผลการตรวจวัด และ ค่าประมาณกระแสฮาร์โมนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้า

เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทำการตรวจวัดในวิทยานิพนธ์นี้ ประกอบด้วย เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งสิ้น 6 ชนิด คือ คอมพิวเตอร์ โทรทัศน์สี เครื่องเสียง วีดีโอ หลอดฟลูออเรสเซนต์ และเตาอบไมโครเวฟ ซึ่งเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดจะทำการตรวจวัดอย่างละ 30 ชุด สามารถแสดงผลการตรวจวัดได้ดังนี้

#### 3.4.1 คอมพิวเตอร์

สำหรับคอมพิวเตอร์นั้น จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ ที่ก่อให้เกิดกระแสฮาร์โมนิกได้แก่ แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง ซึ่งผลการตรวจวัดพบว่ามีค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกรวมของกระแสที่สูงมาก คือ อยู่ในช่วง 94.7-167.2% โดยคอมพิวเตอร์จัดอยู่ใน Class D ตามมาตรฐาน IEC Std.1000-3-2

ผลการตรวจวัดกระแสฮาร์โมนิกของคอมพิวเตอร์ ทั้ง 30 เครื่อง แสดงตามตารางที่ 3.7

ผลการหาค่าประมาณกระแสฮาร์โมนิกของคอมพิวเตอร์ แสดงดังตารางที่ 3.8

ตัวอย่างรูปคลื่นกระแส และสเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิกที่ตรวจวัดได้ แสดงดังรูปที่ 3.6

รูปแสดงกระแสฮาร์โมนิกที่ 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 ที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ แสดงดังรูปที่ 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 และ 3.12 ตามลำดับ

#### 3.4.2 โทรทัศน์สี

สำหรับโทรทัศน์สีนั้น จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ ที่ก่อให้เกิดกระแสฮาร์โมนิกได้แก่ แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง ซึ่งผลการตรวจวัดพบว่ามีค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกรวมของกระแสที่สูงมาก คือ อยู่ในช่วง 109.0-166.8% โดยโทรทัศน์สีจัดอยู่ใน Class D ตามมาตรฐาน IEC Std.1000-3-2

ผลการตรวจวัดกระแสฮาร์โมนิกของโทรทัศน์สี ทั้ง 30 เครื่อง แสดงตามตารางที่ 3.9

ผลการหาค่าประมาณกระแสฮาร์โมนิกของโทรทัศน์สี แสดงดังตารางที่ 3.10

ตัวอย่างรูปคลื่นกระแส และสเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิกที่ตรวจวัดได้ แสดงดังรูปที่ 3.13

รูปแสดงกระแสฮาร์โมนิกที่ 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 ที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ แสดงดังรูปที่ 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18 และ 3.19 ตามลำดับ



### 3.4.3 หลอดฟลูออเรสเซนต์

สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้น จะประกอบใช้งานร่วมกับบัลลาสต์แกนเหล็ก ที่ก่อให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกปริมาณไม่มากนัก ซึ่งผลการตรวจวัดพบว่ามีค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของกระแสที่ต่ำ คืออยู่ในช่วง 5.3-14.0% โดยหลอดฟลูออเรสเซนต์จัดอยู่ใน Class C ตามมาตรฐาน IEC Std.1000-3-2

ผลการตรวจวัดกระแสฮาร์มอนิกของหลอดฟลูออเรสเซนต์ ทั้ง 30 ชุดแสดงตามตารางที่ 3.11  
ผลการหาค่าประมาณกระแสฮาร์มอนิกของหลอดฟลูออเรสเซนต์ แสดงดังตารางที่ 3.12  
ตัวอย่างรูปคลื่นกระแส และสเปกตรัมกระแสฮาร์มอนิกที่ตรวจวัดได้ แสดงดังรูปที่ 3.20  
รูปแสดงกระแสฮาร์มอนิกที่ 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 ที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ แสดงดังรูปที่ 3.21, 3.22, 3.23, 3.24, 3.25 และ 3.26 ตามลำดับ

### 3.4.4 เครื่องเสียง

สำหรับเครื่องเสียงนั้น จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ ที่ก่อให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกได้แก่ แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง ซึ่งผลการตรวจวัดพบว่ามีค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของกระแสที่สูงพอสมควร คืออยู่ในช่วง 39.0-92.4% โดยเครื่องเสียงจัดอยู่ใน Class D ตามมาตรฐาน IEC Std.1000-3-2

ผลการตรวจวัดกระแสฮาร์มอนิกของเครื่องเสียง ทั้ง 30 เครื่อง แสดงตามตารางที่ 3.13  
ผลการหาค่าประมาณกระแสฮาร์มอนิกของเครื่องเสียง แสดงดังตารางที่ 3.14  
ตัวอย่างรูปคลื่นกระแส และสเปกตรัมกระแสฮาร์มอนิกที่ตรวจวัดได้ แสดงดังรูปที่ 3.27  
รูปแสดงกระแสฮาร์มอนิกที่ 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 ที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ แสดงดังรูปที่ 3.28, 3.29, 3.30, 3.31, 3.32 และ 3.33 ตามลำดับ

### 3.4.5 วิดีโอ

สำหรับวิดีโอ นั้น จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ ที่ก่อให้เกิดกระแสฮาร์โมนิกได้แก่ แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง ซึ่งผลการตรวจวัดพบว่ามีค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกรวมของกระแสอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก คืออยู่ในช่วง 53.4-216.6% โดยวิดีโอจัดอยู่ใน Class D ตามมาตรฐาน IEC Std.1000-3-2

ผลการตรวจวัดกระแสฮาร์โมนิกของวิดีโอ ทั้ง 30 เครื่อง แสดงตามตารางที่ 3.15

ผลการหาค่าประมาณกระแสฮาร์โมนิกของวิดีโอ แสดงดังตารางที่ 3.16

ตัวอย่างรูปคลื่นกระแส และสเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิกที่ตรวจวัดได้ แสดงดังรูปที่ 3.34

รูปแสดงกระแสฮาร์โมนิกที่ 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 ที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ แสดงดังรูปที่ 3.35, 3.36, 3.37, 3.38, 3.39 และ 3.40 ตามลำดับ

### 3.4.6 เตอบไมโครเวฟ

สำหรับเตอบไมโครเวฟ นั้น จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ ที่ก่อให้เกิดกระแสฮาร์โมนิกได้แก่ วงจรแหล่งจ่ายแบบอินเวอร์เตอร์ที่ขับเคลื่อนมอเตอร์ ซึ่งผลการตรวจวัดพบว่ามีค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกรวมของกระแสในระดับปานกลาง คืออยู่ในช่วง 19.5-40.9% โดยเตอบไมโครเวฟจัดอยู่ใน Class A ตามมาตรฐาน IEC Std.1000-3-2

ผลการตรวจวัดกระแสฮาร์โมนิกของเตอบไมโครเวฟทั้ง 30 เครื่อง แสดงตามตารางที่ 3.17

ผลการหาค่าประมาณกระแสฮาร์โมนิกของเตอบไมโครเวฟ แสดงดังตารางที่ 3.18

ตัวอย่างรูปคลื่นกระแส และสเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิกที่ตรวจวัดได้ แสดงดังรูปที่ 3.41

รูปแสดงกระแสฮาร์โมนิกที่ 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 ที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ แสดงดังรูปที่ 3.42, 3.43, 3.44, 3.45, 3.46 และ 3.47 ตามลำดับ

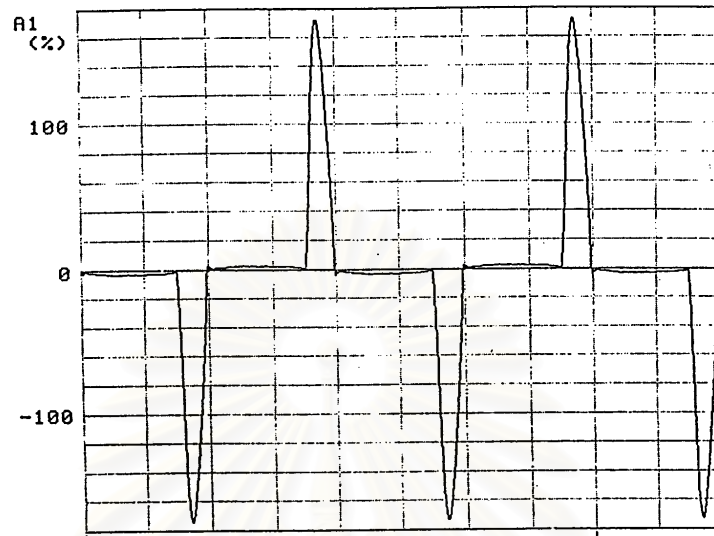
ตารางที่ 3.7 ผลการตรวจวัดกระแสฮาร์มอนิกของคอมพิวเตอร์

No.	Irms (A)	Power (W)	I1(A)	I3			I5			I7			I9			I11			I13		
				(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.
1	0.516	67.40	0.312	0.281	90.06	-177.2	0.226	72.44	4.9	0.160	51.28	-171.8	0.093	29.81	14.1	0.039	12.50	-148.9	0.018	5.77	-109.0
2	0.771	110.10	0.511	0.427	83.56	-179.5	0.321	62.82	-0.1	0.187	36.59	-179.9	0.073	14.29	-2.7	0.012	2.35	13.1	0.047	9.20	-177.6
3	0.910	122.80	0.570	0.502	88.07	178.7	0.394	69.12	-2.5	0.262	45.96	176.5	0.137	24.04	-4.8	0.036	6.32	173.9	0.027	4.74	167.9
4	0.571	74.90	0.344	0.310	90.12	-174.4	0.251	72.97	9.7	0.179	52.03	-164.9	0.107	31.10	23.5	0.049	14.24	-137.6	0.022	6.40	107.7
5	0.839	118.70	0.551	0.473	85.84	-177.7	0.347	62.98	3.4	0.206	37.39	-175.3	0.081	14.70	4.2	0.008	1.45	36.1	0.047	8.53	-167.7
6	0.539	72.70	0.339	0.299	88.20	-174.4	0.231	68.14	9.9	0.151	44.54	-163.5	0.076	22.42	29.1	0.027	7.96	-103.5	0.032	9.44	153.0
7	0.383	48.20	0.219	0.202	92.24	-177.5	0.171	78.08	4.2	0.131	59.82	-173.9	0.088	40.18	8.4	0.047	21.46	-168.6	0.015	6.85	20.8
8	0.873	115.20	0.537	0.472	87.90	-179.4	0.379	70.58	0.7	0.268	49.91	-177.1	0.157	16.39	5.9	0.059	10.99	-162.6	0.021	3.91	121.5
9	0.393	44.20	0.202	0.190	94.06	-168.7	0.171	84.65	19.1	0.146	72.28	-152.5	0.116	77.72	36.7	0.057	28.22	-132.6	0.057	28.22	61.3
10	0.440	51.30	0.234	0.220	94.02	-173.1	0.194	82.91	11.6	0.161	68.80	-163.2	0.122	49.57	22.7	0.083	35.47	-150.2	0.048	20.51	40.5
11	0.436	51.50	0.242	0.223	92.15	169.1	0.193	79.75	-18.3	0.154	63.64	154.6	0.113	50.41	-32.2	0.069	28.51	139.2	0.033	13.64	-51.1
12	0.918	131.10	0.611	0.520	85.11	-171.2	0.369	60.39	14.7	0.198	32.41	-159.4	0.051	18.49	24.3	0.046	7.53	37.0	0.080	13.09	-137.6
13	0.390	50.20	0.233	0.210	90.13	178.6	0.172	73.82	-2.4	0.123	52.79	176.8	0.075	21.89	-3.8	0.030	12.88	176.7	0.003	1.29	133.9
14	0.672	87.00	0.410	0.363	88.54	179.9	0.293	71.46	-0.8	0.207	50.49	178.4	0.126	18.29	-4.6	0.051	12.44	166.5	0.013	3.17	-104.5
15	0.337	41.80	0.194	0.177	91.24	179.7	0.149	76.80	-0.6	0.113	58.25	179.9	0.075	38.66	0.6	0.038	19.59	-175.6	0.009	4.64	26.3
16	0.595	87.10	0.405	0.336	82.96	-174.8	0.233	57.53	9.6	0.123	30.37	-161.9	0.037	9.14	49.7	0.037	9.14	-25.9	0.049	12.10	171.0
17	0.668	93.90	0.433	0.372	85.91	-177.5	0.279	64.43	4.3	0.173	39.95	-171.9	0.076	17.55	16.1	0.017	3.93	-86.2	0.043	9.93	163.2
18	0.354	48.40	0.232	0.201	86.64	161.7	0.146	62.93	-31.5	0.082	35.34	134.6	0.031	13.36	-67.3	0.012	5.17	-34.8	0.027	11.64	107.6
19	0.306	42.60	0.204	0.174	85.29	175.7	0.123	60.29	-6.6	0.066	32.35	173.7	0.019	9.31	8.6	0.017	8.33	-50.0	0.027	13.24	139.9
20	0.534	75.00	0.365	0.304	83.29	173.7	0.206	56.44	-9.5	0.101	27.67	171.0	0.022	6.03	26.5	0.039	10.68	-51.7	0.049	13.42	133.2
21	0.528	74.10	0.359	0.299	83.29	169.4	0.207	57.66	-18.5	0.108	30.08	153.8	0.030	8.36	-45.1	0.026	7.24	-36.3	0.043	11.98	129.0
22	0.626	96.10	0.454	0.351	77.31	164.9	0.210	46.26	-29.0	0.080	17.62	125.2	0.034	7.49	-146.0	0.052	11.45	-34.6	0.046	10.13	110.0
23	0.854	115.20	0.540	0.474	87.78	171.7	0.364	67.41	-13.8	0.237	43.89	161.7	0.118	21.85	-23.5	0.017	3.15	163.4	0.042	7.78	142.3
24	0.379	48.10	0.224	0.204	91.07	178.2	0.168	75.00	-2.6	0.123	54.91	177.2	0.076	33.93	-1.5	0.034	15.18	-173.8	0.009	4.02	73.5
25	0.394	54.40	0.253	0.218	86.17	-168.5	0.163	65.22	14.6	0.103	40.71	-154.5	0.050	19.76	46.6	0.022	8.70	-72.1	0.026	10.28	172.3
26	0.737	103.30	0.489	0.415	84.87	175.1	0.298	60.94	-9.1	0.172	35.17	164.5	0.069	14.11	-35.5	0.029	5.93	-143.1	0.049	10.02	-172.7
27	0.339	41.90	0.193	0.178	92.23	172.8	0.151	78.24	-11.8	0.116	60.10	164.7	0.079	40.93	-18.2	0.043	22.28	164.0	0.015	7.77	5.3
28	0.336	42.70	0.197	0.180	91.37	172.7	0.149	75.63	-11.9	0.111	56.35	164.1	0.070	35.53	-19.0	0.033	16.75	162.4	0.007	3.55	32.6
29	0.407	56.10	0.268	0.225	83.96	177.3	0.168	62.69	-9.3	0.099	36.94	171.9	0.040	14.93	7.6	0.021	7.84	-91.8	0.033	12.31	120.8
30	0.358	49.30	0.237	0.197	83.12	160.5	0.149	62.87	-37.0	0.088	37.13	126.6	0.033	13.92	-76.8	0.010	4.22	-25.3	0.025	10.55	101.0
ค่าเฉลี่ย (A, Radian)				0.2974	-0.0230		0.2238	-0.0408		0.1403	-0.0270		0.0672	0.0254		0.0167	0.5534		0.0181	-0.6546	

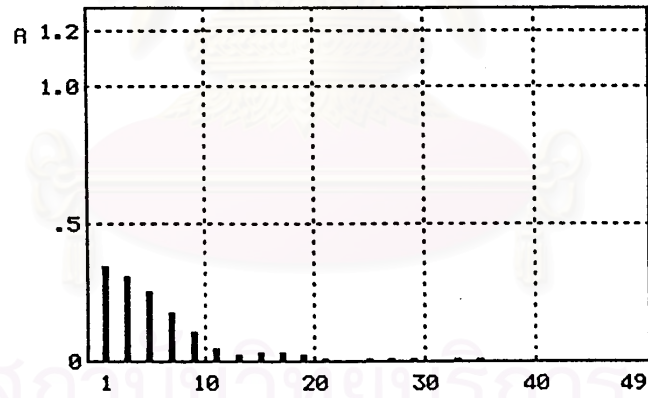
ตารางที่ 3.8 ผลการหาค่าประมาณกระแสฮาร์มอนิกของคอมพิวเตอร์

เครื่องที่	จำนวน เครื่องที่สู่ม	Harmonic 3rd		Harmonic 5th		Harmonic 7th		Harmonic 9th		Harmonic 11th		Harmonic 13th	
		(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)
1	4588	0.2976	3.1233	0.2242	-0.0326	0.1410	3.1258	0.0678	0.0389	0.0169	-2.5852	0.0181	2.4975
2	6969	0.2988	3.1226	0.2257	-0.0334	0.1426	3.1250	0.0692	0.0384	0.0179	-2.6027	0.0180	2.4732
3	4861	0.2991	3.1215	0.2254	-0.0353	0.1419	3.1236	0.0684	0.0401	0.0175	-2.5735	0.0183	2.4657
4	5476	0.2968	3.1233	0.2237	-0.0323	0.1409	3.1272	0.0679	0.0432	0.0173	-2.5737	0.0182	2.4820
5	6602	0.2987	3.1224	0.2252	-0.0339	0.1418	3.1242	0.0684	0.0372	0.0176	-2.5855	0.0182	2.4869
6	5550	0.2998	3.1216	0.2260	-0.0352	0.1423	3.1229	0.0686	0.0369	0.0174	-2.5842	0.0183	2.4806
7	4588	0.2976	3.1233	0.2242	-0.0326	0.1410	3.1258	0.0678	0.0389	0.0169	-2.5852	0.0181	2.4975
8	5865	0.3013	3.1212	0.2271	-0.0357	0.1429	3.1209	0.0688	0.0301	0.0174	-2.6054	0.0181	2.4992
9	5793	0.2968	3.1218	0.2240	-0.0346	0.1413	3.1233	0.0686	0.0354	0.0178	-2.6100	0.0176	2.4699
10	5313	0.2979	3.1215	0.2249	-0.0352	0.1419	3.1226	0.0687	0.0358	0.0177	-2.5989	0.0180	2.4714
<b>Estimated Values</b>		<b>0.2984</b>	<b>3.1222</b>	<b>0.2250</b>	<b>-0.0341</b>	<b>0.1418</b>	<b>3.1241</b>	<b>0.0684</b>	<b>0.0375</b>	<b>0.0174</b>	<b>-2.5904</b>	<b>0.0181</b>	<b>2.4824</b>

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

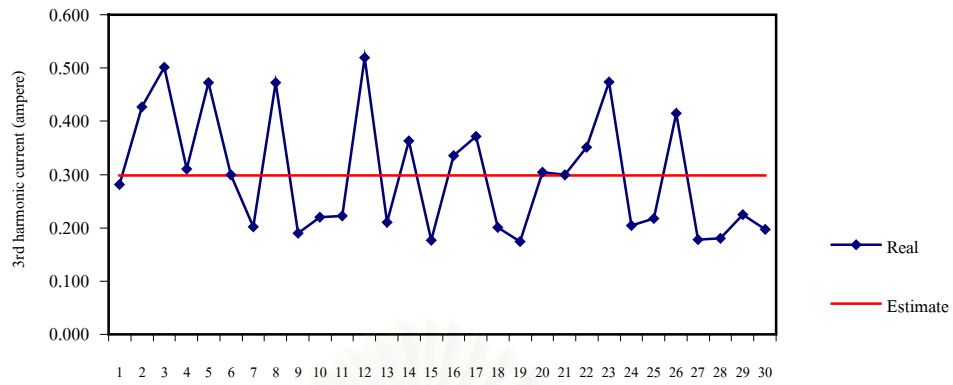


รูปคลื่นกระแส ( Time Scale 1 Div = 5 mS. )

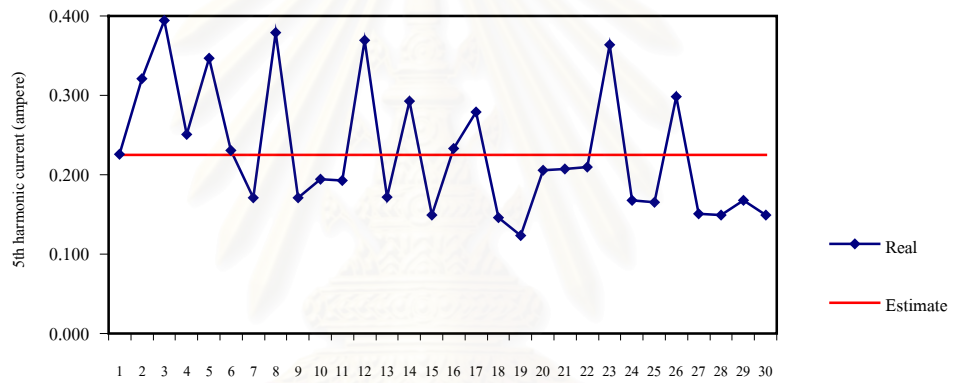


สเปกตรัมกระแสฮาร์มอนิก

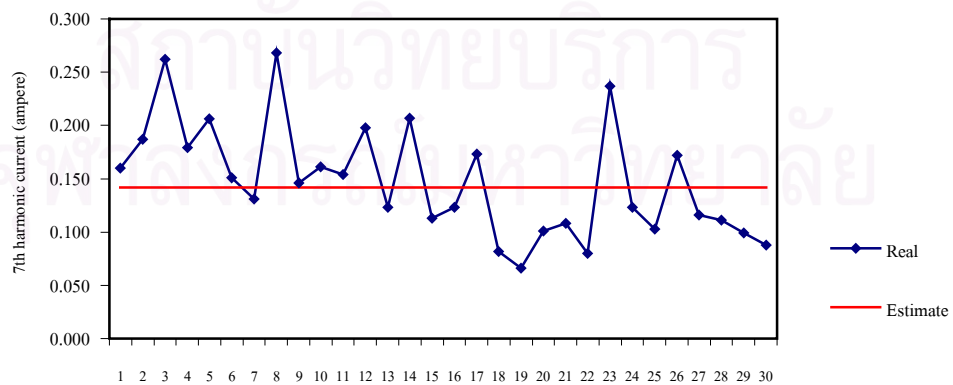
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างรูปคลื่นกระแส และสเปกตรัมกระแสฮาร์มอนิกของคอมพิวเตอร้



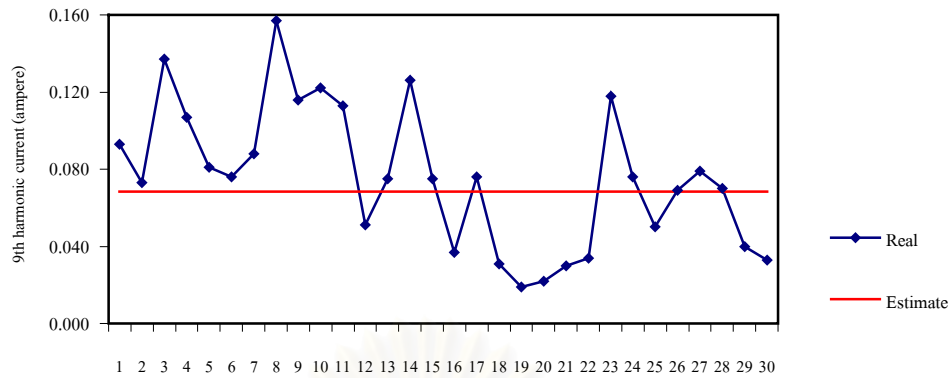
รูปที่ 3.7 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 ของคอมพิวเตอรืที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



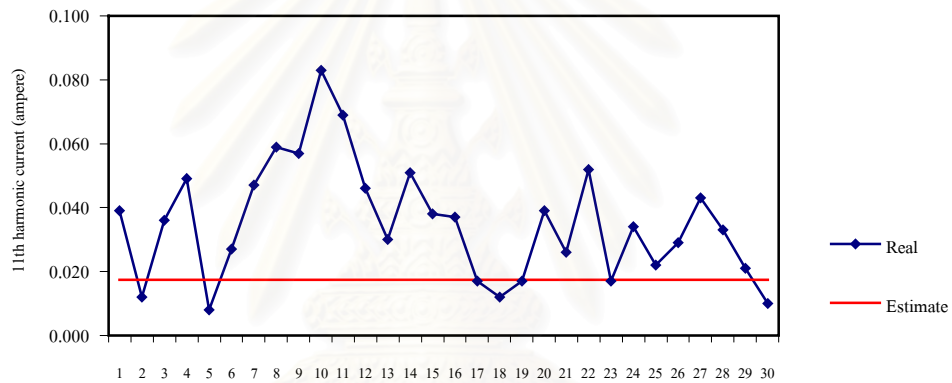
รูปที่ 3.8 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 5 ของคอมพิวเตอรืที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



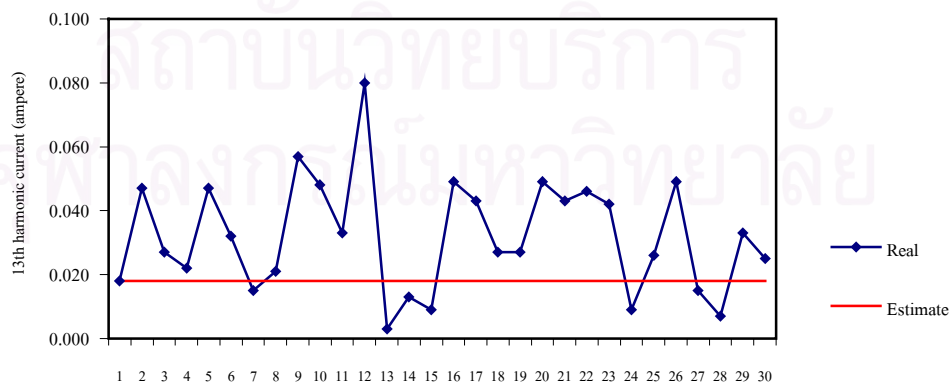
รูปที่ 3.9 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 7 ของคอมพิวเตอรืที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



รูปที่ 3.10 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 9 ของคอมพิวเตอรืที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



รูปที่ 3.11 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 11 ของคอมพิวเตอรืที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



รูปที่ 3.12 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 13 ของคอมพิวเตอรืที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ

ตารางที่ 3.9 ผลการตรวจวัดกระแสฮาร์มอนิกของโทรทัศน์สี

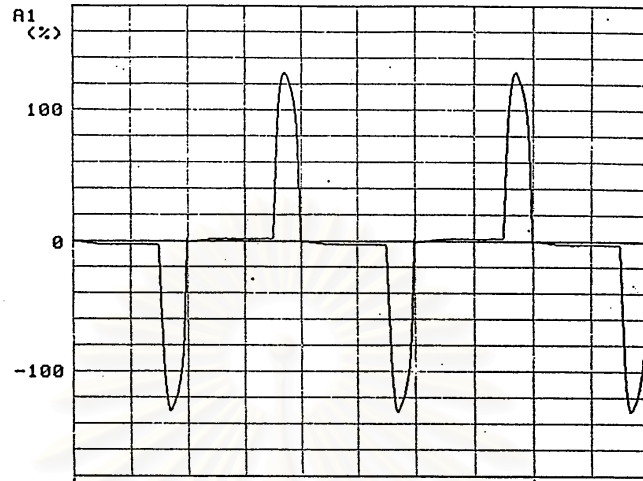
No.	Irms (A)	Power (W)	I1(A)	I3			I5			I7			I9			I11			I13			
				(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	
1	0.342	48.60	0.224	0.191	85.38	172.0	0.141	62.92	-14.0	0.084	37.52	159.2	0.032	14.45	-32.4	0.008	3.40	9.6	0.025	11.27	151.8	
2	0.781	118.90	0.524	0.442	84.35	178.7	0.314	59.92	-1.8	0.170	32.44	178.5	0.047	8.97	8.1	0.035	6.68	-26.3	0.062	11.83	161.8	
3	0.604	75.20	0.330	0.305	92.42	165.8	0.266	80.61	-23.9	0.217	65.76	146.1	0.162	49.09	-44.4	0.108	32.73	123.9	0.059	17.88	-70.5	
4	0.503	76.50	0.328	0.281	85.67	-170.3	0.207	63.11	16.5	0.124	37.80	-156.2	0.047	14.33	34.7	0.012	3.66	3.1	0.040	12.20	-149.2	
5	0.351	51.30	0.220	0.191	86.82	178.8	0.150	68.18	-2.2	0.101	45.91	176.4	0.052	23.64	-5.9	0.011	5.00	162.1	0.016	7.27	-177.0	
6	0.322	46.10	0.208	0.179	86.06	176.3	0.134	64.42	-6.7	0.084	40.38	169.2	0.037	17.79	-18.8	0.006	2.88	74.8	0.022	10.58	177.3	
7	0.728	92.10	0.403	0.372	92.31	166.2	0.320	79.40	-23.7	0.255	63.28	145.7	0.184	45.66	-47.0	0.118	29.28	115.6	0.066	16.38	-91.5	
8	0.376	48.20	0.220	0.191	86.82	-165.9	0.159	72.27	24.1	0.124	56.36	-145.8	0.088	83.64	47.6	0.053	24.09	-114.0	0.028	12.73	102.0	
9	0.332	42.50	0.184	0.168	91.30	-162.9	0.145	78.80	29.0	0.118	64.13	-139.2	0.088	47.83	53.0	0.057	30.98	-114.1	0.029	15.76	82.1	
10	0.429	62.80	0.282	0.239	84.75	170.4	0.173	61.35	-15.4	0.097	34.40	160.3	0.029	31.21	-11.8	0.025	8.87	-64.0	0.047	16.67	121.4	
11	0.367	57.60	0.248	0.195	78.63	-179.5	0.139	56.05	1.8	0.084	33.87	-166.6	0.047	11.69	40.0	0.036	14.52	-92.1	0.041	16.53	117.9	
12	0.371	54.70	0.234	0.205	87.61	-170.8	0.158	67.52	15.9	0.103	44.02	-155.7	0.050	20.09	38.8	0.015	6.41	-82.5	0.025	10.68	-178.8	
13	0.471	71.00	0.303	0.263	86.80	-172.7	0.197	65.02	12.7	0.121	39.93	-160.8	0.050	16.50	31.7	0.012	3.96	-40.5	0.036	11.88	-167.9	
14	0.354	47.80	0.204	0.186	91.18	177.5	0.156	76.47	-4.3	0.119	58.33	173.9	0.079	24.51	-7.6	0.040	19.61	170.4	0.009	4.41	-12.0	
15	0.476	71.80	0.303	0.264	87.13	164.8	0.200	66.01	-26.2	0.125	41.23	141.2	0.055	18.15	-58.0	0.014	4.62	29.2	0.035	11.55	134.7	
16	0.378	55.60	0.244	0.210	86.07	175.3	0.156	63.93	-7.1	0.095	38.93	171.8	0.038	15.57	-1.7	0.013	5.33	-79.5	0.032	13.11	133.1	
17	0.409	56.60	0.249	0.220	88.35	170.2	0.175	70.28	-15.9	0.122	49.00	158.3	0.066	26.51	-26.3	0.017	6.83	161.0	0.020	8.03	118.3	
18	0.298	42.70	0.196	0.167	85.07	169.1	0.121	61.67	-18.1	0.070	35.83	155.3	0.023	11.77	-27.0	0.011	5.56	-65.2	0.026	13.40	118.8	
19	0.478	71.10	0.315	0.268	85.08	164.9	0.194	61.59	-26.2	0.113	35.87	141.1	0.040	12.70	-61.1	0.016	5.08	-15.8	0.037	11.75	122.4	
20	0.301	40.80	0.179	0.157	87.71	-176.2	0.131	73.18	6.6	0.099	55.31	-170.8	0.064	35.75	13.6	0.031	17.32	-159.2	0.007	3.91	66.5	
21	0.528	65.50	0.282	0.259	91.84	-146.7	0.226	80.14	56.7	0.185	65.60	-99.3	0.139	49.29	107.6	0.095	33.69	-40.6	0.063	22.34	178.6	
22	0.364	47.20	0.203	0.185	91.13	173.5	0.159	78.33	-11.2	0.128	63.05	164.0	0.093	45.81	-21.6	0.058	28.57	151.5	0.027	13.30	-40.2	
23	0.658	84.50	0.367	0.339	92.37	164.4	0.291	79.29	-26.3	0.230	62.67	142.7	0.163	44.41	-49.0	0.098	26.70	117.9	0.044	11.99	-79.2	
24	0.462	62.20	0.278	0.246	88.49	170.4	0.200	71.94	-16.2	0.145	52.16	156.4	0.088	31.65	-32.7	0.036	12.95	132.2	0.010	3.60	-163.4	
25	0.423	58.00	0.257	0.217	84.44	168.0	0.164	63.81	-22.7	0.111	43.19	140.7	0.067	26.07	-73.0	0.055	21.40	54.7	0.066	25.68	-161.3	
26	0.545	71.60	0.309	0.281	90.94	-178.5	0.289	93.53	2.5	0.188	60.84	-176.8	0.132	42.72	3.8	0.078	25.24	-175.8	0.030	9.71	3.2	
27	0.576	70.20	0.314	0.278	88.54	167.9	0.229	72.93	21.7	0.179	57.01	145.4	0.128	40.76	-53.3	0.091	28.98	99.8	0.075	23.89	-113.1	
28	0.312	48.50	0.213	0.176	82.78	-170.9	0.117	55.25	17.3	0.056	26.40	-145.7	0.021	9.69	103.8	0.033	15.34	-10.1	0.035	16.24	-172.0	
29	0.371	51.50	0.226	0.199	88.05	-178.3	0.160	70.80	3.0	0.115	50.88	-175.2	0.069	30.53	7.6	0.028	12.39	-166.0	0.005	2.21	135.1	
30	0.638	99.60	0.440	0.360	81.82	178.3	0.240	54.55	-2.0	0.111	25.23	-177.5	0.022	5.00	68.9	0.059	13.41	-32.2	0.069	15.68	152.4	
ค่าเฉลี่ย (A, Radian)				0.2365	-0.0495	0.1791	-0.0551	0.1125	-0.1352	0.0522	-0.2127	0.0084	-0.6625	0.0174	-0.0300							



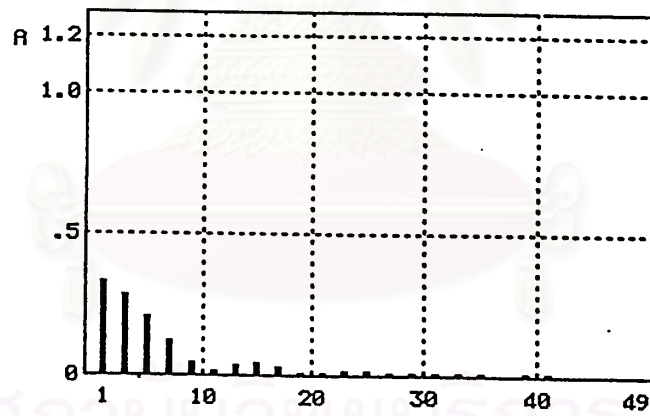
ตารางที่ 3.10 ผลการหาค่าประมาณกระแสฮาร์มอนิกของโทรทัศน์สี

เครื่องที่	จำนวน เครื่องที่สุ่ม	Harmonic 3rd		Harmonic 5th		Harmonic 7th		Harmonic 9th		Harmonic 11th		Harmonic 13th	
		(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)
1	3599	0.2321	3.0933	0.1761	-0.0505	0.1113	3.0065	0.0524	-0.2174	0.0095	2.4745	0.0165	-3.1172
2	3764	0.2340	3.0861	0.1782	-0.0681	0.1132	2.9875	0.0540	-0.2463	0.0108	2.4465	0.0160	-3.1045
3	3111	0.2344	3.0935	0.1780	-0.0521	0.1124	3.0071	0.0529	-0.2160	0.0095	2.4781	0.0167	-3.1227
4	4659	0.2340	3.0840	0.1775	-0.0716	0.1127	2.9807	0.0534	-0.2598	0.0105	2.3806	0.0165	-3.1019
5	6632	0.2347	3.0879	0.1781	-0.0623	0.1125	2.9927	0.0530	-0.2381	0.0097	2.4232	0.0169	-3.1310
6	2945	0.2338	3.0874	0.1776	-0.0630	0.1125	2.9909	0.0532	-0.2411	0.0101	2.4306	0.0165	-3.1202
7	3985	0.2352	3.0868	0.1787	-0.0599	0.1132	2.9876	0.0536	-0.2505	0.0104	2.3853	0.0168	-3.0910
8	5889	0.2332	3.0942	0.1773	-0.0533	0.1119	3.0099	0.0526	-0.2102	0.0093	2.4990	0.0167	-3.1370
9	2883	0.2321	3.0931	0.1763	-0.0525	0.1115	3.0064	0.0526	-0.2165	0.0097	2.4904	0.0163	-3.1217
10	6232	0.2344	3.0878	0.1783	-0.0663	0.1131	2.9931	0.0537	-0.2349	0.0103	2.4753	0.0162	-3.1309
<b>Estimated Values</b>		<b>0.2338</b>	<b>3.0890</b>	<b>0.1776</b>	<b>-0.0609</b>	<b>0.1124</b>	<b>2.9949</b>	<b>0.0531</b>	<b>-0.2355</b>	<b>0.0100</b>	<b>2.4406</b>	<b>0.0165</b>	<b>-3.1155</b>

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

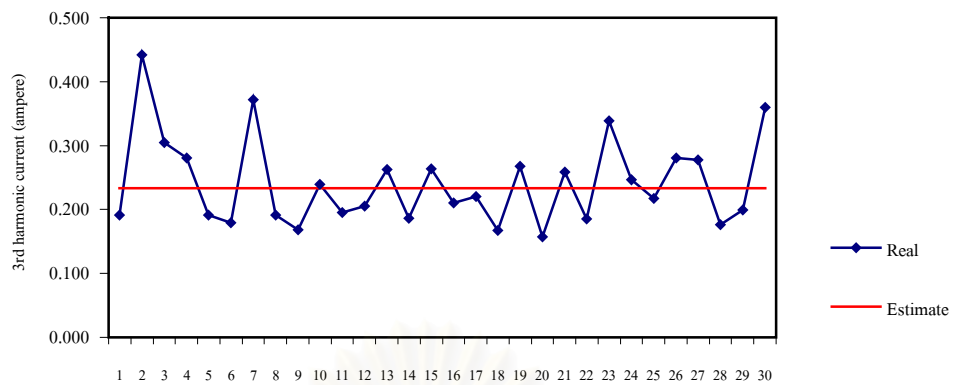


รูปคลื่นกระแส ( Time Scale 1 Div = 5 mS. )

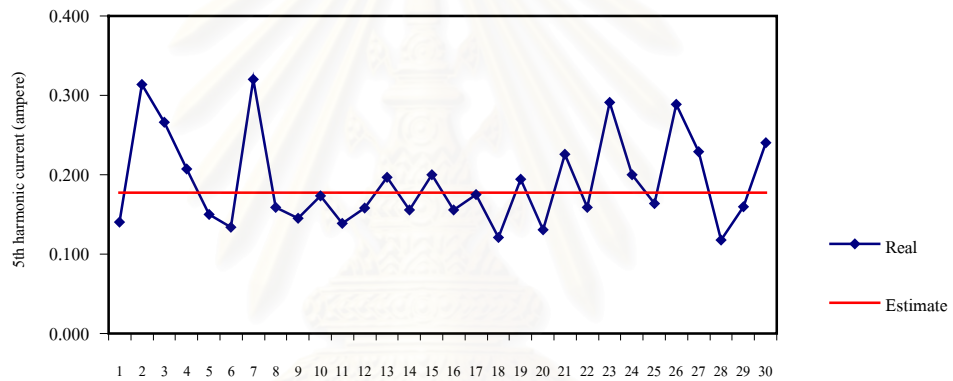


สเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิก

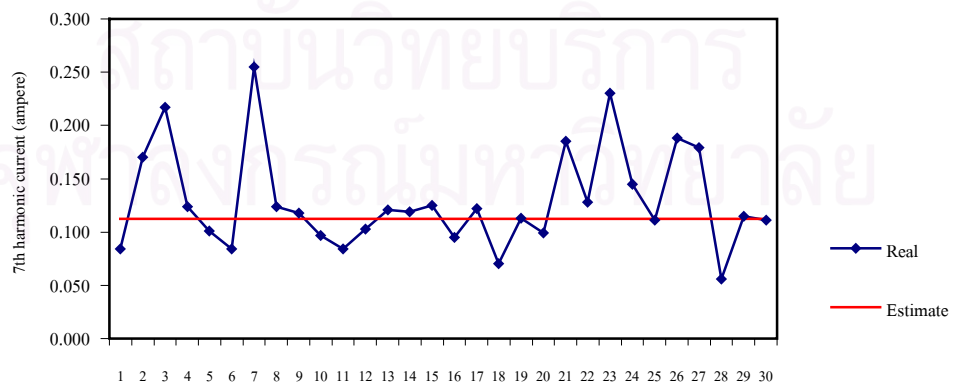
รูปที่ 3.13 ตัวอย่างรูปคลื่นกระแส และสเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิกของโทรท์สน์สี่



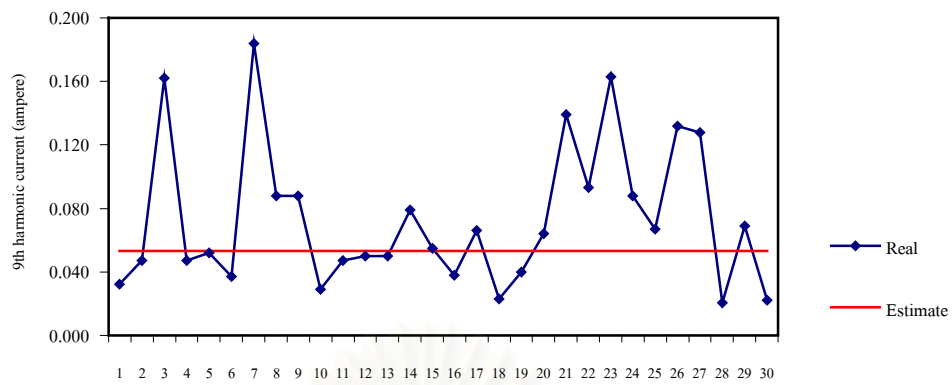
รูปที่ 3.14 กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 ของโทรทัศน์ที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



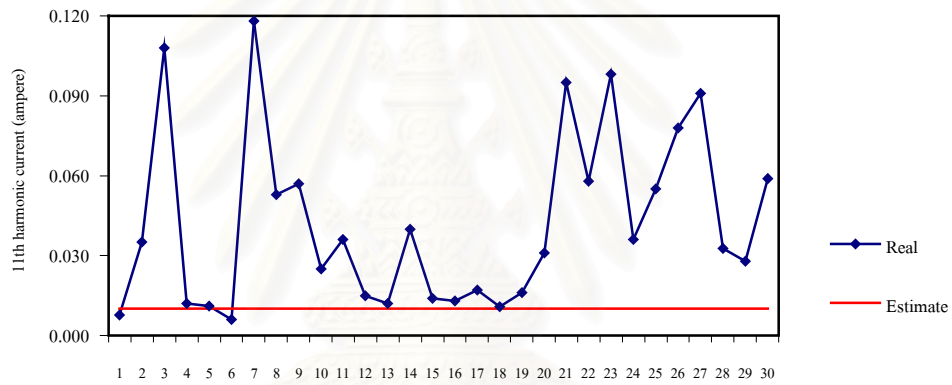
รูปที่ 3.15 กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ของโทรทัศน์ที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



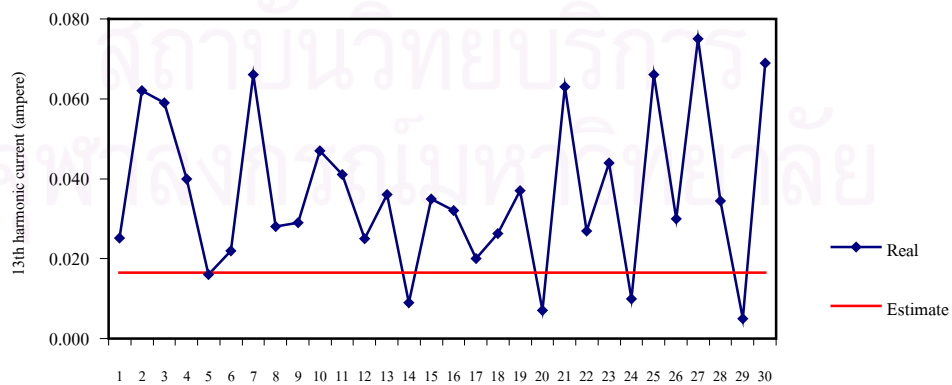
รูปที่ 3.16 กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 7 ของโทรทัศน์ที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



รูปที่ 3.17 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 9 ของโหมทศน์สี่ที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



รูปที่ 3.18 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 11 ของโหมทศน์สี่ที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



รูปที่ 3.19 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 13 ของโหมทศน์สี่ที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ

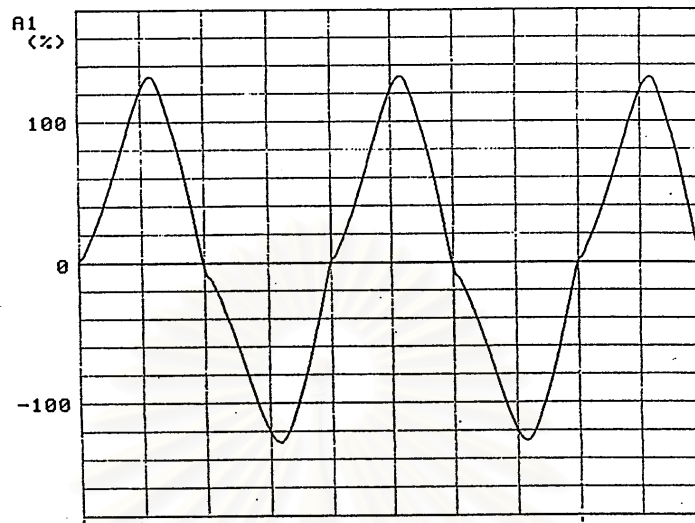
ตารางที่ 3.11 ผลการตรวจวัดกระแสฮาร์มอนิกของโหลดฟลูออเรสเซนต์

No.	Irms (A)	Power (W)	I1(A)	I3			I5			I7			I9			I11			I13		
				(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.
1	0.355	24.20	0.354	0.030	8.50	-58.7	0.005	1.41	28.1	0.004	1.21	0.0	0.000	0.03	109.3	0.000	0.08	55.0	0.000	0.08	-38.9
2	0.347	23.80	0.346	0.030	8.59	-59.0	0.004	1.16	37.1	0.004	1.16	2.1	0.000	0.00	79.9	0.001	0.29	59.0	0.000	0.12	-32.7
3	0.351	24.00	0.350	0.031	8.90	-58.4	0.005	1.37	29.0	0.004	1.26	2.4	0.000	0.03	48.3	0.001	0.29	59.4	0.000	0.11	-31.8
4	0.348	23.60	0.346	0.029	8.34	-59.3	0.004	1.24	37.2	0.004	1.15	0.5	0.000	0.03	-178.0	0.001	0.26	59.0	0.000	0.12	-41.4
5	0.407	40.60	0.404	0.052	12.81	-43.2	0.003	0.79	164.5	0.007	1.81	73.3	0.003	0.64	7.8	0.002	0.42	-149.8	0.002	0.37	115.4
6	0.411	40.90	0.407	0.052	12.75	-43.8	0.003	0.74	159.9	0.007	1.79	70.4	0.003	0.64	2.6	0.002	0.42	153.3	0.002	0.37	110.9
7	0.415	41.20	0.412	0.054	13.09	-43.4	0.003	0.63	155.3	0.008	1.82	69.7	0.003	0.63	5.5	0.002	0.41	-157.4	0.002	0.36	109.1
8	0.408	40.20	0.405	0.055	13.60	-43.4	0.002	0.47	147.0	0.008	1.88	68.1	0.003	0.49	10.4	0.002	0.42	-158.9	0.002	0.37	111.7
9	0.413	40.70	0.409	0.054	13.21	-43.9	0.002	0.59	153.5	0.008	1.83	68.7	0.003	0.64	7.6	0.002	0.42	-157.4	0.002	0.37	109.3
10	0.410	40.60	0.407	0.056	13.65	-43.0	0.002	0.44	157.2	0.007	1.82	69.8	0.003	0.64	7.6	0.002	0.42	-151.2	0.002	0.37	113.2
11	0.485	49.30	0.483	0.043	8.90	-51.0	0.006	1.24	131.3	0.008	1.66	50.8	0.002	0.41	-41.1	0.002	0.41	169.1	0.002	0.41	74.7
12	0.486	48.90	0.484	0.049	10.12	-48.2	0.005	1.03	106.0	0.009	1.86	51.2	0.002	0.41	-34.0	0.002	0.41	165.1	0.002	0.41	77.4
13	0.479	48.90	0.477	0.044	9.22	-49.6	0.006	1.26	133.6	0.008	1.68	52.3	0.002	0.42	-42.9	0.002	0.42	171.9	0.002	0.42	78.5
14	0.514	53.80	0.512	0.042	8.20	-53.8	0.008	1.56	158.0	0.007	1.37	56.0	0.003	0.59	-45.1	0.002	0.39	-173.1	0.002	0.39	83.4
15	0.498	51.30	0.496	0.040	8.06	-53.7	0.008	1.61	150.0	0.007	1.41	51.9	0.003	0.60	-48.6	0.002	0.40	-179.3	0.002	0.40	79.4
16	0.494	50.90	0.492	0.041	8.33	-52.5	0.008	1.63	148.4	0.007	1.42	51.7	0.003	0.61	-49.1	0.002	0.41	179.5	0.002	0.41	76.7
17	0.405	32.20	0.404	0.022	5.45	-59.2	0.005	1.24	73.9	0.004	0.99	2.7	0.001	0.25	147.2	0.001	0.25	79.2	0.001	0.25	-31.3
18	0.408	31.60	0.408	0.020	4.90	-59.4	0.005	1.23	73.5	0.004	0.98	-1.3	0.001	0.25	-160.9	0.001	0.25	68.8	0.001	0.25	-50.2
19	0.416	32.50	0.415	0.022	5.30	-56.4	0.005	1.20	69.1	0.004	0.96	1.9	0.001	0.24	-160.3	0.001	0.24	69.5	0.001	0.24	-53.1
20	0.402	31.60	0.402	0.021	5.22	-57.5	0.005	1.24	70.9	0.003	0.75	1.9	0.001	0.25	-159.1	0.001	0.25	70.7	0.000	0.00	-48.5
21	0.395	29.50	0.394	0.022	5.58	-61.1	0.005	1.27	56.1	0.004	1.02	-0.6	0.001	0.25	179.8	0.001	0.25	61.0	0.000	0.00	-46.7
22	0.386	28.80	0.386	0.021	5.44	-61.2	0.005	1.30	61.3	0.004	1.04	-2.9	0.001	0.26	173.8	0.001	0.26	62.4	0.000	0.00	-51.0
23	0.388	29.30	0.387	0.024	6.20	-56.9	0.006	1.55	48.4	0.004	1.03	1.3	0.001	0.26	-174.9	0.001	0.26	65.0	0.000	0.00	-50.0
24	0.393	29.60	0.392	0.021	5.36	-60.1	0.005	1.28	57.3	0.004	1.02	-1.2	0.001	0.26	-177.4	0.001	0.26	63.0	0.000	0.00	-44.5
25	0.392	29.50	0.391	0.021	5.37	-61.2	0.005	1.28	59.3	0.004	1.02	-7.8	0.001	0.26	-154.9	0.001	0.26	61.2	0.001	0.26	-48.2
26	0.390	29.40	0.389	0.021	5.40	-60.7	0.005	1.29	62.1	0.004	1.03	-6.2	0.001	0.26	-154.7	0.001	0.26	61.4	0.001	0.26	-50.3
27	0.492	49.00	0.490	0.046	9.39	-49.8	0.007	1.43	129.4	0.008	1.63	52.1	0.002	0.41	-51.9	0.002	0.41	171.1	0.002	0.41	74.1
28	0.505	48.80	0.502	0.047	9.36	-50.4	0.007	1.39	128.5	0.008	1.59	47.6	0.002	0.40	-63.9	0.002	0.40	158.3	0.001	0.20	62.3
29	0.485	49.70	0.483	0.044	9.11	-49.2	0.006	1.24	132.4	0.007	1.45	54.6	0.002	0.41	-42.5	0.002	0.41	176.7	0.002	0.41	80.4
30	0.479	48.90	0.477	0.044	9.22	-49.4	0.006	1.26	120.8	0.008	1.68	54.9	0.002	0.42	-38.3	0.002	0.42	173.5	0.002	0.42	81.5
ค่าเฉลี่ย (A, Radian)				0.0363	-0.8925		0.0036	-1.3656		0.0052	0.7137		0.0009	-0.6652		0.0009	-0.4542		0.0008	1.3356	

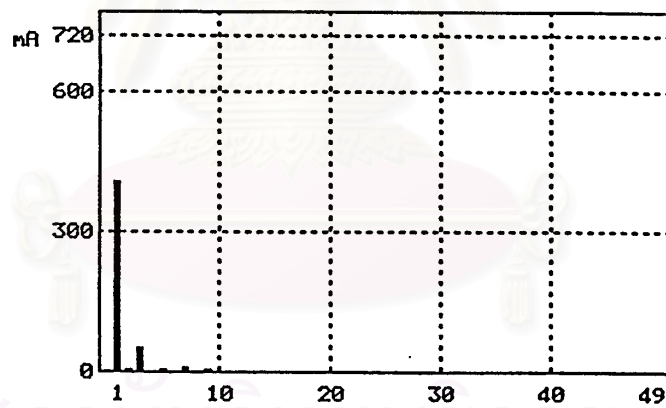
ตารางที่ 3.12 ผลการหาค่าประมาณกระแสฮาร์โมนิกของโหลดฟลูออเรสเซนต์

เครื่องที่	จำนวน เครื่องที่สู่ม	Harmonic 3rd		Harmonic 5th		Harmonic 7th		Harmonic 9th		Harmonic 11th		Harmonic 13th	
		(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)
1	1385	0.0365	-0.8891	0.0035	1.7695	0.0051	0.7207	0.0010	-0.5501	0.0009	2.7777	0.0009	1.4857
2	1186	0.0362	-0.8932	0.0035	1.7590	0.0051	0.7087	0.0010	-0.6038	0.0009	2.7472	0.0008	1.4576
3	1485	0.0357	-0.9012	0.0035	1.7116	0.0051	0.6768	0.0009	-0.6558	0.0008	2.6923	0.0008	1.4143
4	2216	0.0365	-0.8920	0.0035	1.7387	0.0051	0.7109	0.0010	-0.5665	0.0009	2.7301	0.0008	1.4729
5	1468	0.0359	-0.8963	0.0036	1.7381	0.0051	0.6958	0.0009	-0.6385	0.0009	2.6927	0.0008	1.4378
6	2402	0.0361	-0.8957	0.0036	1.7505	0.0052	0.7021	0.0010	-0.6280	0.0009	2.7203	0.0009	1.4427
7	1262	0.0359	-0.8981	0.0035	1.7029	0.0050	0.6862	0.0009	-0.6020	0.0008	2.7186	0.0008	1.4715
8	1117	0.0353	-0.9010	0.0036	1.7182	0.0050	0.6750	0.0009	-0.6886	0.0008	2.6746	0.0008	1.4175
9	1022	0.0364	-0.8924	0.0036	1.7708	0.0052	0.7147	0.0010	-0.5994	0.0009	2.7395	0.0009	1.4619
10	1198	0.0357	-0.8983	0.0035	1.7197	0.0051	0.6852	0.0009	-0.6303	0.0009	2.7035	0.0008	1.4323
<b>Estimated Values</b>		<b>0.0360</b>	<b>-0.8957</b>	<b>0.0035</b>	<b>1.7379</b>	<b>0.0051</b>	<b>0.6976</b>	<b>0.0009</b>	<b>-0.6163</b>	<b>0.0009</b>	<b>2.7196</b>	<b>0.0008</b>	<b>1.4494</b>

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

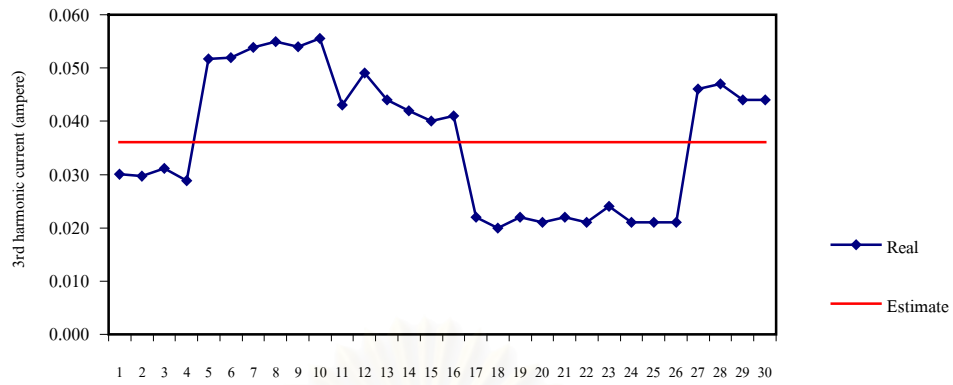


รูปคลื่นกระแส ( Time Scale 1 Div = 5 mS. )

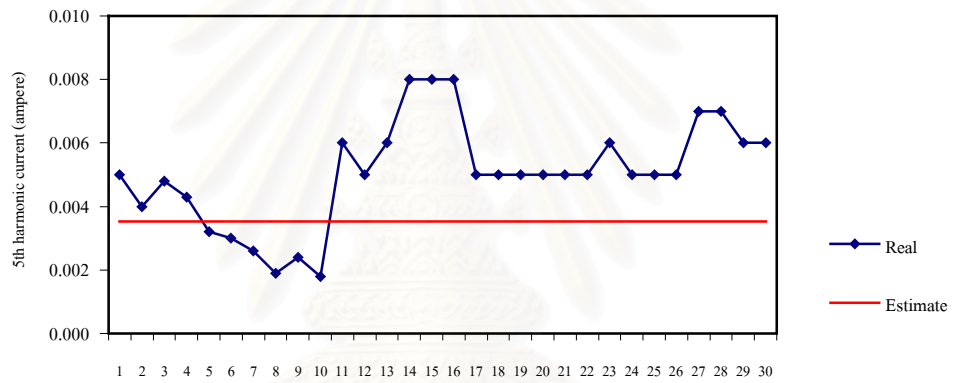


สเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิก

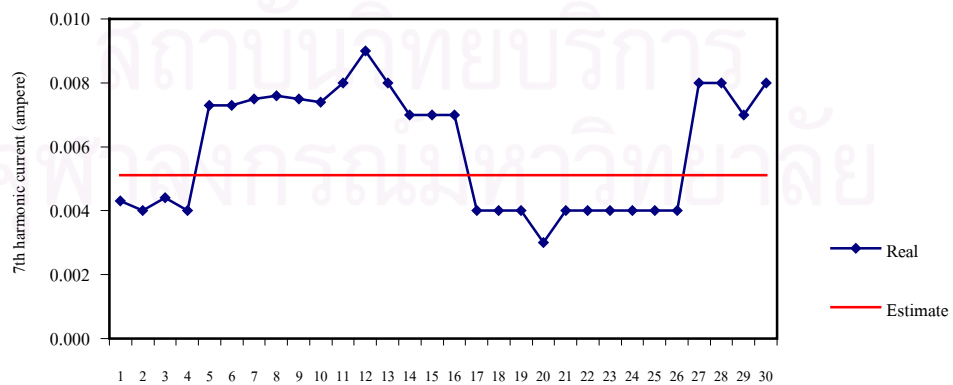
รูปที่ 3.20 ตัวอย่างรูปคลื่นกระแส และสเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิกของหลอดฟลูออเรสเซนต์



รูปที่ 3.21 กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 ของโหลดฟลูออเรสเซนต์ที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ

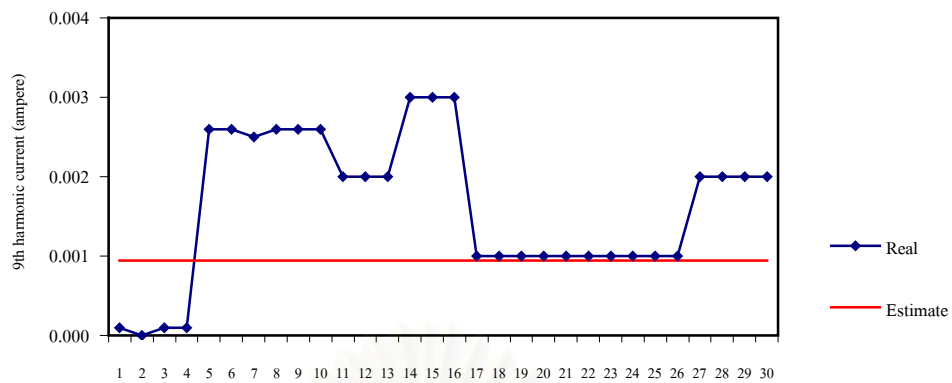


รูปที่ 3.22 กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ของโหลดฟลูออเรสเซนต์ที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ

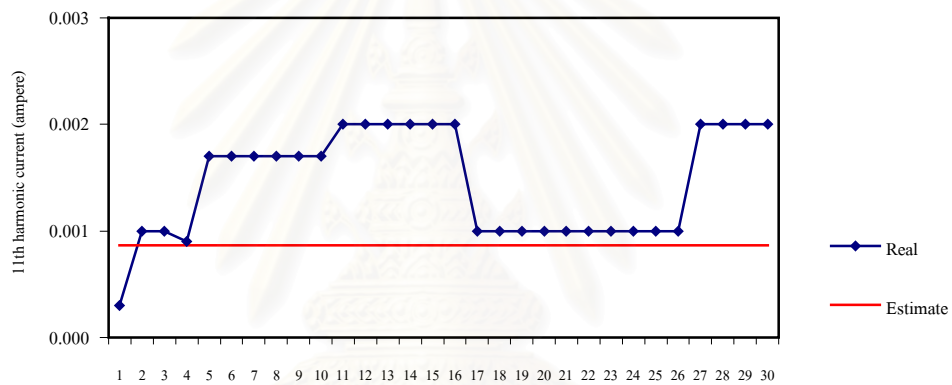


รูปที่ 3.23 กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 7 ของโหลดฟลูออเรสเซนต์ที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ

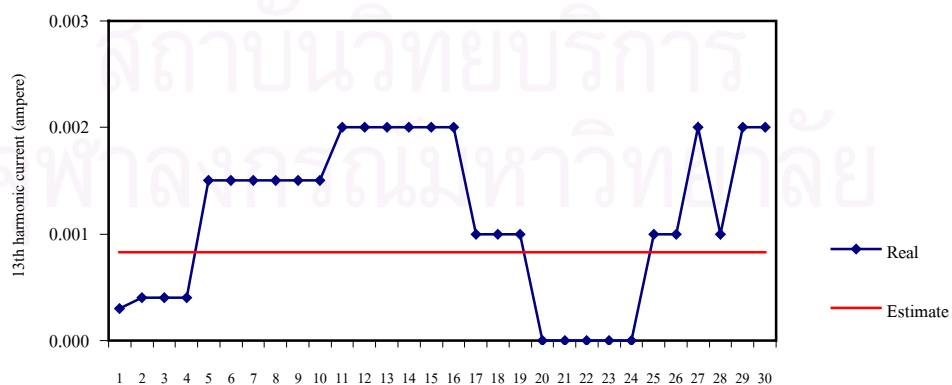




รูปที่ 3.24 กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 9 ของโหลดฟลูออเรสเซนต์ที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



รูปที่ 3.25 กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 11 ของโหลดฟลูออเรสเซนต์ที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



รูปที่ 3.26 กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 13 ของโหลดฟลูออเรสเซนต์ที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ

ตารางที่ 3.13 ผลการตรวจวัดกระแสฮาร์มอนิกของเครื่องเสียง

No.	Irms (A)	Power (W)	I1(A)	I3			I5			I7			I9			I11			I13		
				(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.
1	0.215	35.10	0.177	0.008	4.74	176.2	0.073	41.03	-24.3	0.038	21.33	140.3	0.022	12.42	-74.9	0.012	6.83	47.6	0.010	5.81	176.9
2	0.092	16.33	0.078	0.040	50.83	-165.1	0.023	29.25	-14.3	0.003	3.32	130.5	0.007	9.45	-168.4	0.008	9.58	-14.7	0.003	3.83	138.8
3	0.129	23.19	0.109	0.050	45.51	-172.0	0.038	34.62	-18.4	0.020	18.68	146.6	0.013	11.90	-70.2	0.008	7.23	59.4	0.008	6.87	-154.4
4	0.169	29.40	0.146	0.066	44.99	170.4	0.045	30.77	-41.7	0.019	13.05	90.9	0.017	11.47	-151.4	0.013	8.65	-18.3	0.009	5.98	96.6
5	0.144	24.60	0.118	0.066	55.56	-169.8	0.047	39.78	-4.2	0.018	15.61	177.2	0.006	5.09	-59.6	0.006	4.75	38.5	0.005	4.07	-147.6
6	0.265	46.30	0.230	0.095	41.10	-172.3	0.077	33.32	-12.3	0.033	14.40	164.1	0.018	7.83	-78.5	0.017	7.53	54.2	0.016	7.09	143.4
7	0.206	36.70	0.176	0.082	46.59	-174.0	0.056	31.53	-20.2	0.020	11.48	129.9	0.020	11.08	-111.3	0.015	8.64	34.3	0.011	5.97	178.1
8	0.230	42.50	0.202	0.076	37.65	-163.7	0.059	29.20	-30.7	0.031	15.17	127.7	0.022	9.63	-86.8	0.014	6.72	24.4	0.016	8.00	170.5
9	0.153	28.60	0.135	0.058	42.91	-167.1	0.040	29.99	-8.9	0.010	7.13	153.2	0.012	16.41	-100.7	0.010	7.35	47.9	0.005	3.86	-122.9
10	0.185	34.50	0.165	0.071	42.84	173.6	0.036	21.97	-39.8	0.016	9.53	74.9	0.012	7.28	-161.9	0.009	5.70	-44.1	0.008	5.04	86.3
11	0.227	37.10	0.182	0.104	57.06	173.0	0.073	39.81	-25.6	0.030	16.58	134.0	0.012	6.70	-128.9	0.018	9.77	-15.3	0.017	9.06	135.7
12	0.123	20.68	0.110	0.044	40.44	-173.4	0.030	27.14	-25.2	0.006	5.56	124.6	0.005	10.75	-166.4	0.010	9.02	-37.9	0.007	6.10	122.3
13	0.263	50.30	0.217	0.136	62.62	-170.9	0.057	26.12	14.4	0.011	4.98	-72.1	0.020	2.45	169.5	0.010	4.66	0.1	0.004	1.71	-36.2
14	0.227	38.50	0.189	0.092	48.57	-179.6	0.070	36.73	-22.4	0.034	17.86	-103.8	0.024	10.62	-89.1	0.014	7.29	52.5	0.008	4.33	169.8
15	0.257	41.20	0.234	0.075	32.09	-154.1	0.063	26.75	-32.1	0.025	10.77	126.9	0.022	9.40	-85.7	0.012	5.17	51.0	0.012	4.91	-168.7
16	0.142	25.25	0.128	0.049	38.20	-151.9	0.027	21.33	-23.0	0.009	7.03	98.2	0.015	11.33	-113.8	0.011	8.28	35.2	0.007	5.47	-163.0
17	0.087	15.29	0.076	0.035	45.84	-154.7	0.022	28.40	-17.5	0.007	9.51	134.1	0.004	5.68	-97.1	0.003	4.23	-1.7	0.003	3.57	163.9
18	0.089	14.72	0.065	0.049	75.19	171.9	0.030	45.48	-18.6	0.009	13.78	139.8	0.006	9.34	-162.9	0.010	14.85	-17.0	0.007	10.26	141.1
19	0.131	22.60	0.105	0.056	53.05	-170.1	0.043	41.05	-18.4	0.022	21.14	148.1	0.014	13.24	-78.6	0.012	11.71	60.6	0.011	10.38	-141.7
20	0.204	35.30	0.170	0.088	51.79	-179.7	0.060	35.35	-18.6	0.025	14.80	140.2	0.016	9.51	-99.3	0.013	7.46	36.8	0.010	5.58	-179.4
21	0.167	21.52	0.156	0.049	31.51	-149.4	0.032	20.54	-17.1	0.006	3.66	157.0	0.008	5.07	131.1	0.009	5.78	19.4	0.005	3.15	170.0
22	0.120	19.94	0.093	0.060	63.88	-163.9	0.040	43.19	-3.8	0.016	17.47	172.9	0.003	3.32	-76.1	0.007	7.40	13.1	0.007	6.97	-175.5
23	0.133	23.85	0.109	0.063	57.42	-174.5	0.037	34.07	-7.8	0.011	10.35	157.1	0.007	5.95	-139.4	0.010	8.97	7.2	0.006	5.68	172.7
24	0.204	42.70	0.188	0.126	67.00	-160.5	0.074	39.16	8.5	0.030	15.94	-145.5	0.006	3.19	71.4	0.004	2.07	34.1	0.003	1.54	-96.5
25	0.318	60.10	0.265	0.148	55.98	-162.2	0.087	32.92	9.4	0.035	13.33	-159.1	0.007	2.76	23.2	0.024	9.06	82.6	0.006	2.23	-51.3
26	0.234	42.50	0.191	0.117	61.08	-178.4	0.063	32.71	-15.9	0.013	6.53	132.6	0.014	7.21	-154.0	0.012	6.17	6.0	0.004	2.14	149.8
27	0.195	33.00	0.167	0.078	46.71	179.7	0.054	32.28	-21.2	0.025	14.85	140.3	0.014	8.20	-82.4	0.009	5.21	43.2	0.008	4.49	167.5
28	0.289	49.50	0.231	0.133	57.56	-173.7	0.095	40.93	-5.1	0.044	19.14	172.7	0.012	5.33	-46.9	0.016	6.97	21.7	0.023	9.83	-168.8
29	0.158	25.24	0.141	0.061	43.50	-147.3	0.030	21.04	5.5	0.007	5.26	159.6	0.012	8.46	-80.7	0.009	6.47	93.3	0.006	4.26	-86.2
30	0.205	34.00	0.173	0.079	45.50	-149.8	0.063	36.26	10.8	0.037	21.13	-144.6	0.014	7.85	19.3	0.002	1.33	29.4	0.013	7.45	-119.3
ค่าเฉลี่ย (A, Radian)				0.0736	0.1722		0.0497	-0.2354		0.0153	-0.3746		0.0090	1.3637		0.0090	0.4946		0.0061	0.0754	

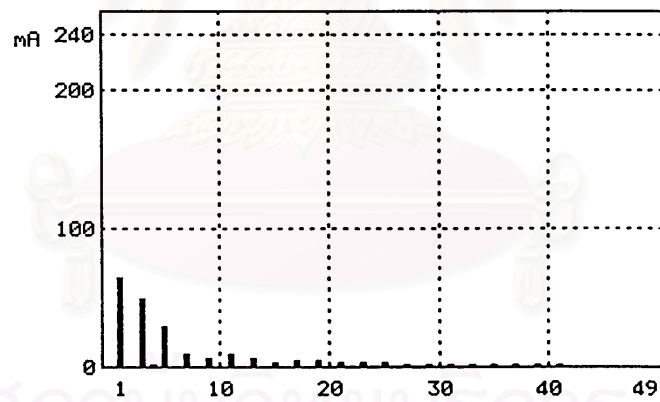
ตารางที่ 3.14 ผลการหาค่าประมาณกระแสฮาร์มอนิกของเครื่องเสียง

เครื่องที่	จำนวน เครื่องที่สุ่ม	Harmonic 3rd		Harmonic 5th		Harmonic 7th		Harmonic 9th		Harmonic 11th		Harmonic 13th	
		(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)
1	5195	0.0732	-2.9787	0.0504	-0.2444	0.0158	2.7307	0.0097	-1.7809	0.0093	0.4959	0.0064	-3.0974
2	4692	0.0722	-2.9728	0.0498	-0.2491	0.0156	2.7166	0.0095	-1.7713	0.0092	0.4981	0.0064	-3.0922
3	3039	0.0729	-2.9722	0.0501	-0.2502	0.0156	2.7063	0.0096	-1.7854	0.0094	0.5069	0.0064	-3.0903
4	5542	0.0723	-2.9711	0.0499	-0.2539	0.0156	2.7141	0.0094	-1.7843	0.0092	0.4865	0.0063	-3.1080
5	3249	0.0717	-2.9738	0.0498	-0.2484	0.0156	2.7099	0.0095	-1.7846	0.0093	0.4989	0.0062	-3.1006
6	5607	0.0733	-2.9781	0.0503	-0.2487	0.0156	2.7125	0.0095	-1.7941	0.0093	0.5007	0.0063	-3.1038
7	1512	0.0728	-2.9739	0.0501	-0.2379	0.0159	2.7165	0.0091	-1.7924	0.0092	0.4743	0.0064	-3.1012
8	4993	0.0722	-2.9812	0.0499	-0.2529	0.0156	2.7109	0.0095	-1.7800	0.0092	0.4854	0.0063	-3.1135
9	2318	0.0737	-2.9724	0.0506	-0.2453	0.0155	2.7505	0.0095	-1.7821	0.0094	0.5008	0.0064	-3.0929
10	3248	0.0724	-2.9671	0.0494	-0.2448	0.0154	2.7170	0.0095	-1.7791	0.0093	0.5114	0.0063	-3.0769
<b>Estimated Values</b>		<b>0.0727</b>	<b>-2.9741</b>	<b>0.0500</b>	<b>-0.2476</b>	<b>0.0156</b>	<b>2.7185</b>	<b>0.0095</b>	<b>-1.7834</b>	<b>0.0093</b>	<b>0.4959</b>	<b>0.0063</b>	<b>-3.0977</b>

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

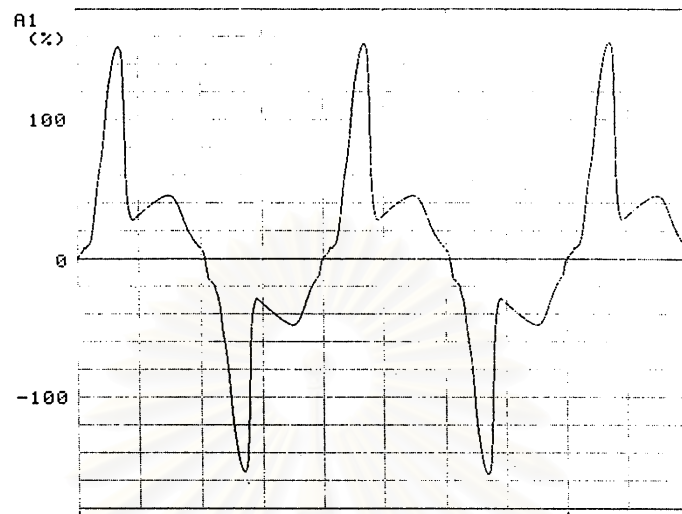


รูปคลื่นกระแส ( Time Scale 1 Div = 5 mS. )

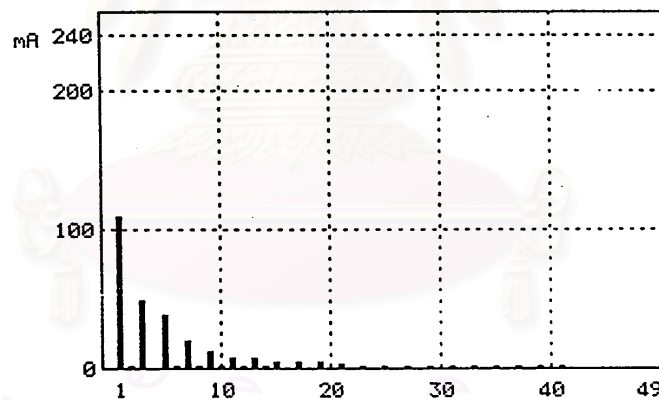


สเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิก

รูปที่ 3.27 ตัวอย่างรูปคลื่นกระแส และสเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิกของเครื่องเสียง(แบบที่ 1)

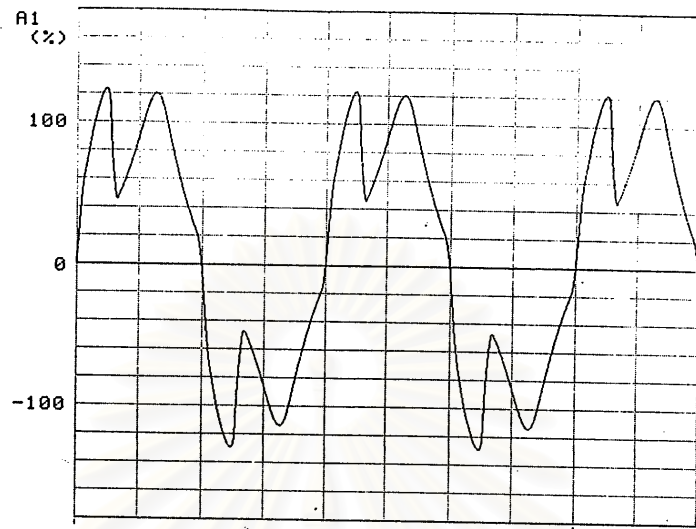


รูปคลื่นกระแส ( Time Scale 1 Div = 5 mS. )

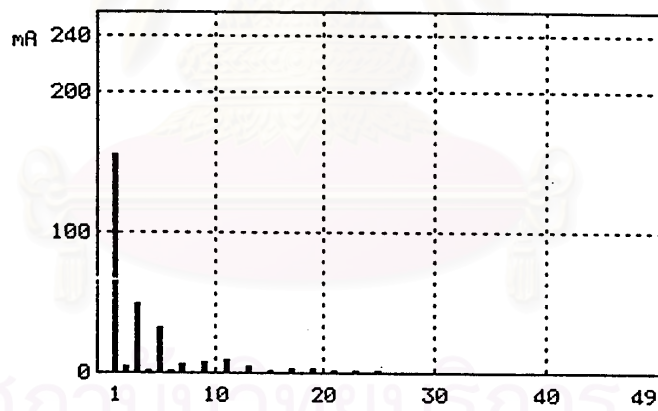


สเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิก

รูปที่ 3.27(ต่อ) ตัวอย่างรูปคลื่นกระแส และสเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิกของเครื่องเสียง(แบบที่ 2)

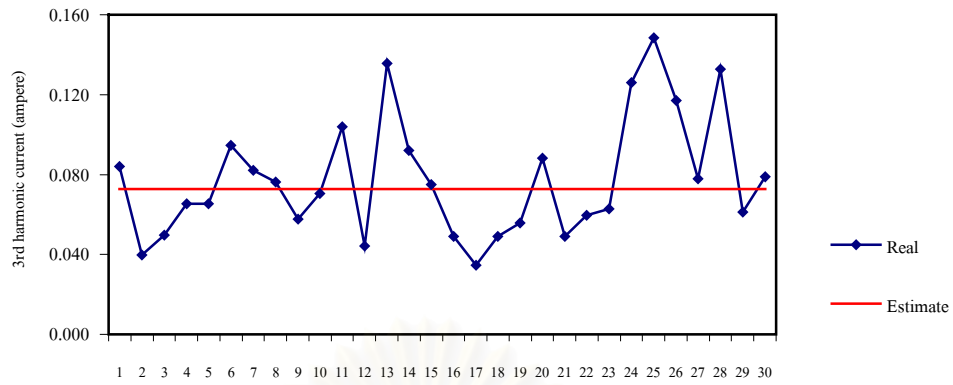


รูปคลื่นกระแส ( Time Scale 1 Div = 5 mS. )

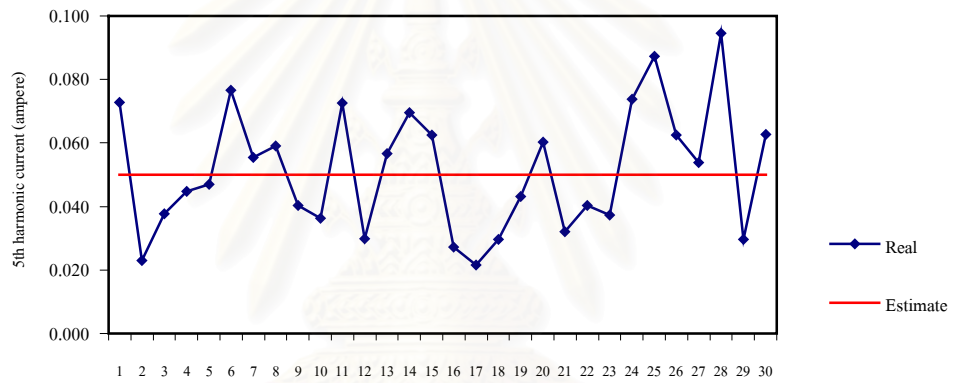


สเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิก

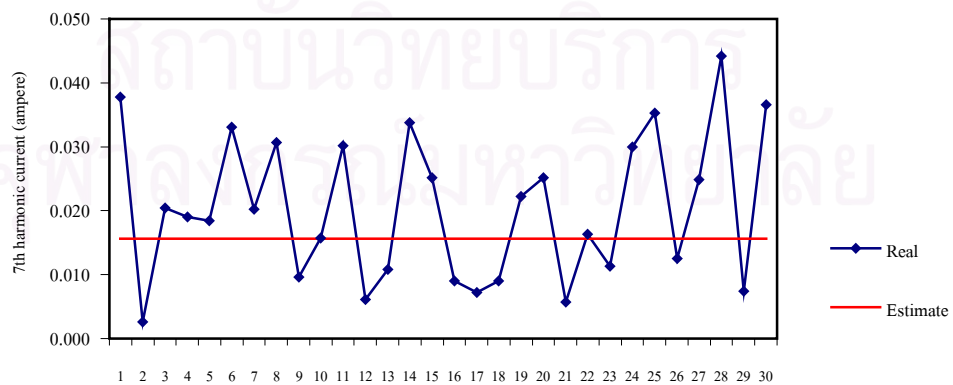
รูปที่ 3.27(ต่อ) ตัวอย่างรูปคลื่นกระแส และสเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิกของเครื่องเสียง(แบบที่ 3)



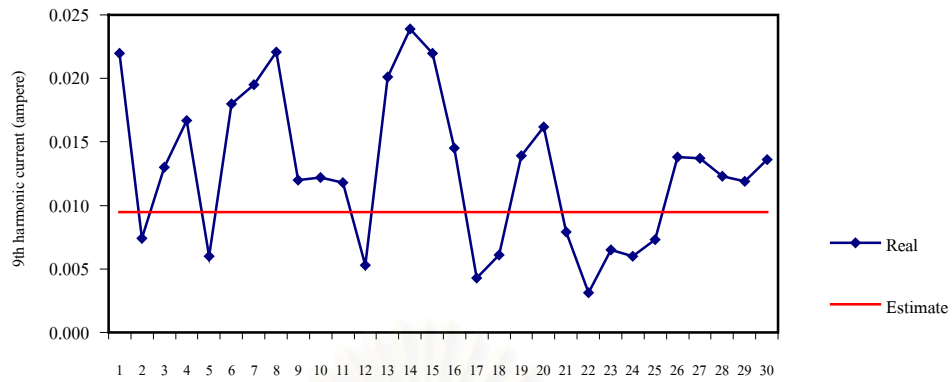
รูปที่ 3.28 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 ของเครื่องเสียงที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



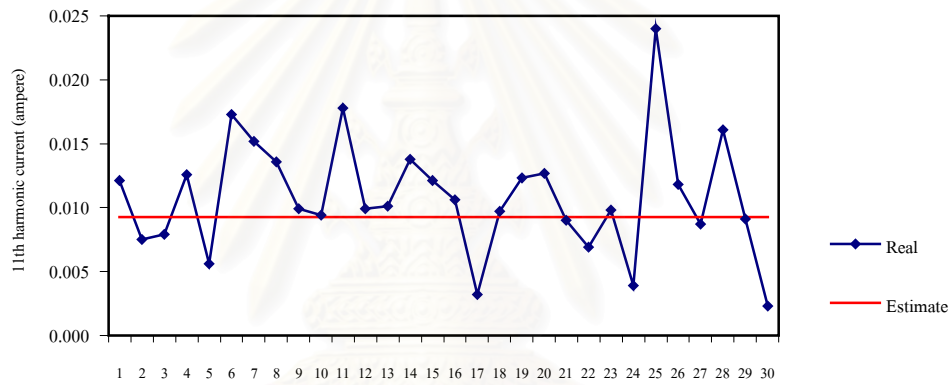
รูปที่ 3.29 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 5 ของเครื่องเสียงที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



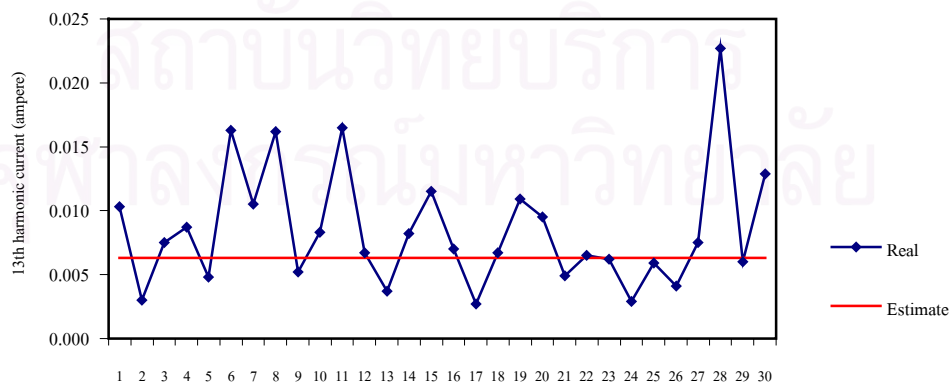
รูปที่ 3.30 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 7 ของเครื่องเสียงที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



รูปที่ 3.31 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 9 ของเครื่องเสียงที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



รูปที่ 3.32 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 11 ของเครื่องเสียงที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



รูปที่ 3.33 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 13 ของเครื่องเสียงที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



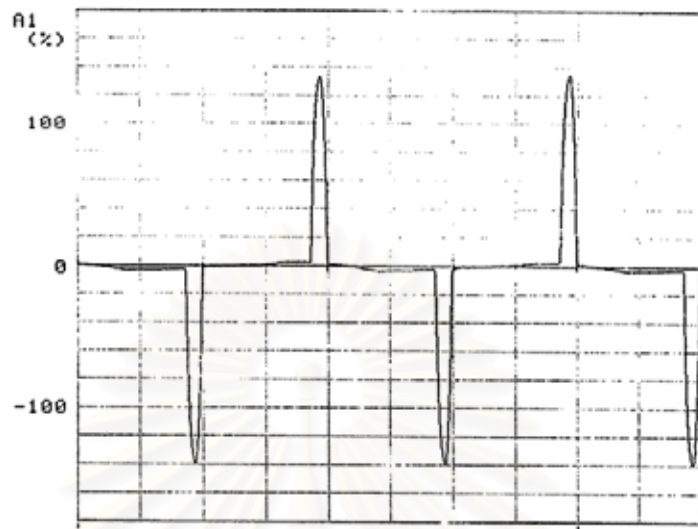
ตารางที่ 3.15 ผลการตรวจวัดกระแสฮาร์มอนิกของวิดีโอ

No.	Irms (A)	Power (W)	I1(A)	I3			I5			I7			I9			I11			I13		
				(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.
1	0.175	22.10	0.096	0.089	92.63	-176.6	0.077	80.27	5.7	0.062	64.38	-171.5	0.045	46.31	12.9	0.027	28.14	-160.5	0.013	12.98	36.5
2	0.192	26.30	0.110	0.100	90.84	-168.4	0.083	74.80	20.7	0.062	55.76	-148.4	0.039	35.36	48.3	0.023	20.58	-99.2	0.018	15.87	134.6
3	0.136	17.50	0.079	0.070	89.57	178.0	0.060	75.95	-4.3	0.046	59.03	174.5	0.033	41.86	-5.2	0.019	23.79	172.9	0.007	8.65	-7.9
4	0.109	20.61	0.093	0.052	55.36	-168.6	0.020	21.46	5.9	0.005	5.26	-12.5	0.010	10.73	-164.7	0.005	4.94	23.1	0.002	1.72	-16.4
5	0.088	16.30	0.074	0.042	56.05	-176.1	0.018	23.92	-9.9	0.002	2.69	47.6	0.007	8.74	-173.7	0.005	6.05	-12.2	0.002	2.28	134.7
6	0.147	17.20	0.074	0.071	95.80	156.1	0.064	86.18	-40.2	0.055	73.98	123.5	0.044	59.62	-73.8	0.032	43.77	86.9	0.022	29.13	-116.5
7	0.147	17.60	0.076	0.072	94.24	-179.1	0.064	84.16	1.6	0.054	70.68	-177.3	0.042	54.97	4.3	0.030	38.61	-172.7	0.018	23.30	13.5
8	0.121	13.10	0.059	0.054	91.45	-163.9	0.049	82.91	27.2	0.046	77.95	-143.2	0.039	67.01	48.1	0.033	56.07	-121.0	0.026	43.76	70.6
9	0.076	8.77	0.038	0.034	90.03	173.2	0.032	83.20	-11.2	0.028	74.28	164.0	0.024	62.73	-20.5	0.019	50.39	154.3	0.014	37.53	-31.0
10	0.164	20.00	0.087	0.083	95.40	146.7	0.072	83.20	-55.9	0.059	67.66	101.7	0.043	49.83	-103.8	0.028	31.76	48.4	0.015	17.15	-172.5
11	0.155	20.30	0.096	0.083	87.15	-172.2	0.063	65.94	15.9	0.041	42.84	-149.8	0.024	45.25	63.1	0.021	21.42	-69.6	0.022	23.41	138.5
12	0.161	21.20	0.093	0.084	90.22	166.9	0.070	75.59	-21.4	0.054	57.63	150.7	0.035	25.70	-36.3	0.017	18.06	140.7	0.004	3.98	6.5
13	0.107	12.80	0.056	0.051	91.30	-160.4	0.046	81.53	32.8	0.039	69.98	-134.2	0.032	61.63	59.9	0.023	41.39	-106.0	0.015	27.00	90.4
14	0.162	30.02	0.138	0.078	56.57	-176.7	0.028	20.33	-6.4	0.006	4.58	-10.0	0.011	23.02	170.6	0.004	2.98	-34.8	0.002	1.67	-15.1
15	0.097	10.28	0.048	0.044	92.00	-165.6	0.040	84.84	24.0	0.036	75.37	-147.5	0.031	65.26	43.0	0.025	52.00	-126.6	0.019	39.79	63.3
16	0.111	19.23	0.090	0.057	62.64	-164.1	0.029	31.82	20.1	0.007	7.65	-121.0	0.006	6.43	175.1	0.005	5.32	8.4	0.001	0.89	-175.0
17	0.124	21.24	0.101	0.063	62.99	-173.7	0.033	33.13	4.7	0.006	6.27	-172.7	0.008	7.56	-166.4	0.009	8.66	11.0	0.004	3.58	175.0
18	0.180	23.40	0.104	0.095	91.46	-177.6	0.079	76.20	4.5	0.059	56.73	-172.3	0.038	35.99	13.7	0.018	17.66	-150.6	0.009	8.16	90.6
19	0.073	7.46	0.037	0.031	82.62	167.9	0.029	76.47	-20.7	0.027	70.86	152.4	0.024	62.83	-35.7	0.020	52.14	137.5	0.015	38.77	-50.0
20	0.077	10.00	0.046	0.039	85.31	164.5	0.033	72.59	-25.8	0.026	57.46	143.7	0.019	40.79	-47.7	0.010	22.81	120.3	0.004	7.68	-86.2
21	0.092	18.24	0.081	0.041	50.92	-177.0	0.009	10.48	-25.2	0.008	9.37	11.9	0.005	6.29	176.1	0.002	1.97	-73.6	0.001	1.11	74.9
22	0.212	27.20	0.124	0.112	90.06	-159.8	0.091	73.10	34.8	0.065	52.50	-127.9	0.040	32.31	76.3	0.022	17.53	-59.2	0.020	15.83	-174.6
23	0.106	19.26	0.089	0.051	58.01	-175.1	0.025	27.77	1.8	0.001	1.47	151.0	0.008	9.03	-165.5	0.006	7.22	4.8	0.002	2.14	155.0
24	0.204	24.50	0.108	0.101	94.05	-174.8	0.090	83.36	8.9	0.074	69.05	-166.9	0.057	52.60	18.4	0.039	35.78	-154.5	0.022	20.72	39.1
25	0.092	9.60	0.045	0.040	90.79	-147.7	0.037	82.70	54.2	0.033	74.83	-104.0	0.029	65.84	98.0	0.024	54.16	-59.0	0.019	42.70	145.2
26	0.102	8.90	0.043	0.038	87.82	-146.7	0.035	81.97	55.5	0.034	78.65	-102.2	0.033	77.28	99.8	0.029	68.62	-58.5	0.027	63.47	144.6
27	0.131	14.90	0.065	0.060	91.72	-149.0	0.055	84.20	52.1	0.048	74.23	-106.7	0.041	62.42	95.2	0.032	49.39	-61.7	0.024	36.66	143.4
28	0.106	11.60	0.052	0.047	90.15	-166.0	0.043	83.40	24.2	0.039	75.10	-148.1	0.034	65.83	42.2	0.028	53.86	-128.0	0.022	41.89	63.8
29	0.157	18.20	0.077	0.073	95.08	-158.6	0.067	86.92	36.1	0.059	75.78	-129.4	0.049	62.82	66.0	0.038	48.58	-97.6	0.027	34.33	100.7
30	0.098	12.50	0.055	0.051	92.69	-172.6	0.044	79.52	12.3	0.035	63.25	-163.1	0.025	44.97	21.4	0.015	26.87	-155.4	0.006	11.33	24.7
ค่าเฉลี่ย (A, Radian)				0.0614	0.0979		0.0442	0.1541		0.0278	0.2903		0.0156	0.5297		0.0084	0.9945		0.0055	-1.3933	

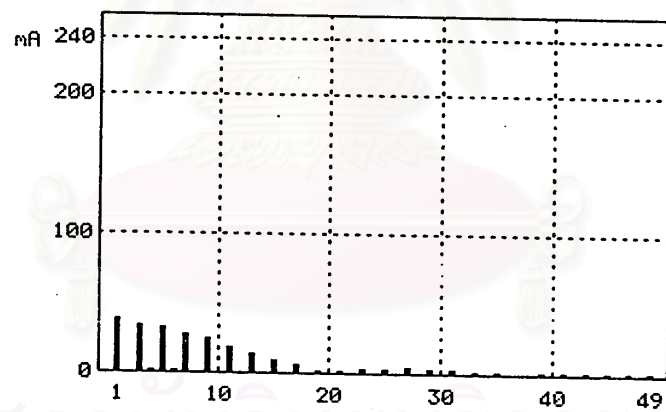
ตารางที่ 3.16 ผลการหาค่าประมาณกระแสฮาร์โมนิกของวิดีโอ

เครื่องที่	จำนวน เครื่องที่สูม	Harmonic 3rd		Harmonic 5th		Harmonic 7th		Harmonic 9th		Harmonic 11th		Harmonic 13th	
		(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)
1	2146	0.0611	-3.0441	0.0439	0.1517	0.0274	-2.8539	0.0154	0.5295	0.0084	-2.1355	0.0056	1.7448
2	2366	0.0616	-3.0447	0.0442	0.1534	0.0275	-2.8479	0.0154	0.5457	0.0083	-2.0959	0.0057	1.8163
3	1983	0.0626	-3.0425	0.0452	0.1553	0.0283	-2.8503	0.0160	0.5265	0.0086	-2.1527	0.0056	1.7410
4	1969	0.0618	-3.0505	0.0447	0.1422	0.0281	-2.8712	0.0158	0.5023	0.0085	-2.1722	0.0056	1.7184
5	1874	0.0612	-3.0412	0.0443	0.1571	0.0280	-2.8474	0.0161	0.5277	0.0088	-2.1712	0.0056	1.6893
6	1280	0.0623	-3.0436	0.0455	0.1557	0.0291	-2.8546	0.0168	0.5154	0.0092	-2.1767	0.0060	1.6977
7	1379	0.0619	-3.0455	0.0449	0.1514	0.0285	-2.8584	0.0163	0.5081	0.0088	-2.1881	0.0055	1.7146
8	1700	0.0616	-3.0425	0.0448	0.1576	0.0285	-2.8504	0.0164	0.5198	0.0089	-2.1852	0.0056	1.6773
9	1274	0.0614	-3.0426	0.0444	0.1541	0.0279	-2.8550	0.0159	0.5115	0.0087	-2.1960	0.0054	1.6579
10	1650	0.0626	-3.0445	0.0451	0.1505	0.0283	-2.8576	0.0162	0.5100	0.0089	-2.2045	0.0055	1.6342
<b>Estimated Values</b>		<b>0.0618</b>	<b>-3.0442</b>	<b>0.0447</b>	<b>0.1529</b>	<b>0.0282</b>	<b>-2.8547</b>	<b>0.0160</b>	<b>0.5196</b>	<b>0.0087</b>	<b>-2.1678</b>	<b>0.0056</b>	<b>1.7091</b>

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

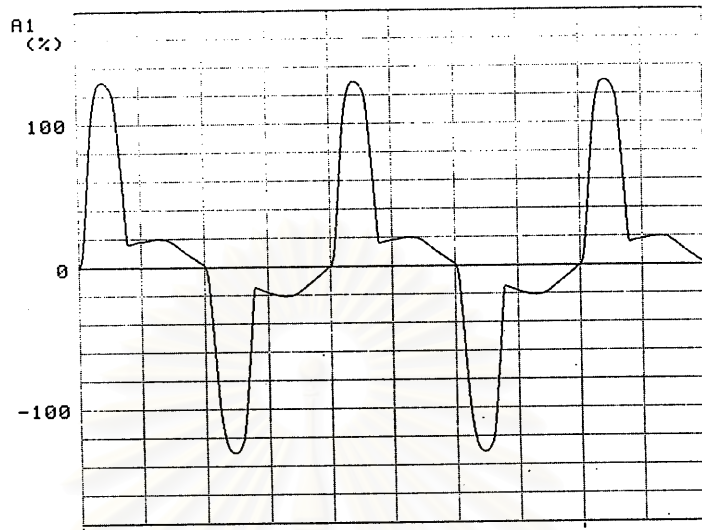


รูปคลื่นกระแส ( Time Scale 1 Div = 5 mS. )

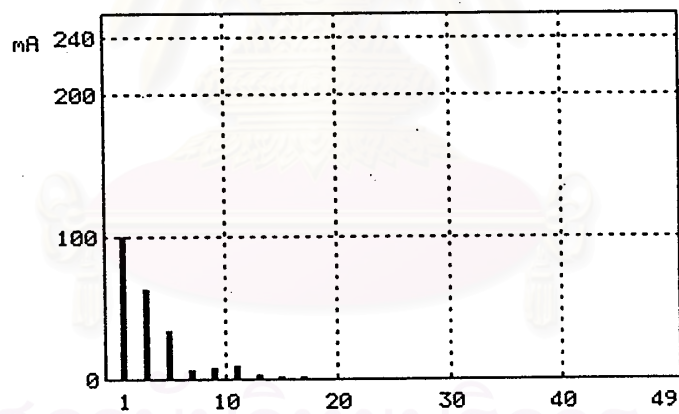


สเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิก

รูปที่ 3.34 ตัวอย่างรูปคลื่นกระแส และสเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิกของวิดีโอ(แบบที่ 1)

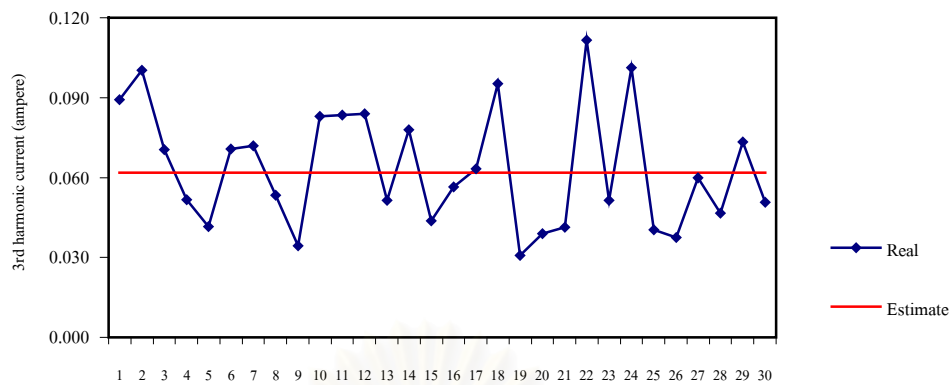


รูปคลื่นกระแส (Time Scale 1 Div = 5 mS.)

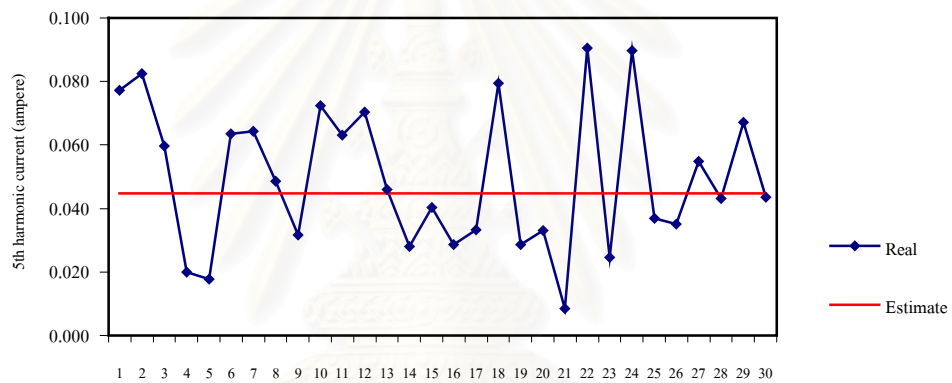


สเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิก

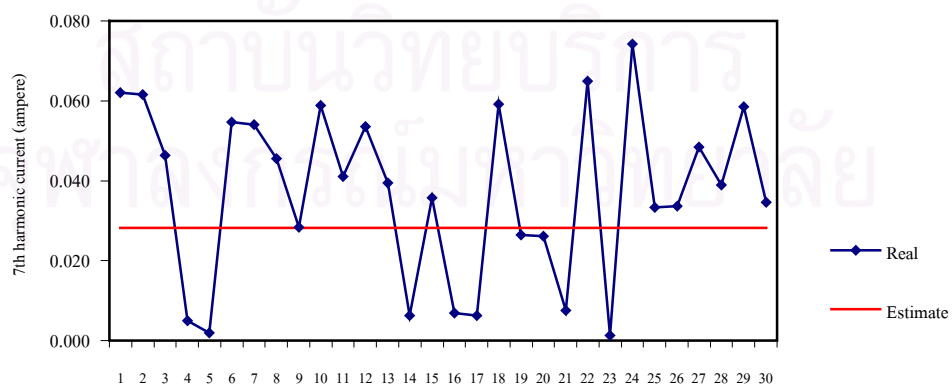
รูปที่ 3.34(ต่อ) ตัวอย่างรูปคลื่นกระแส และสเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิกของวิดีโอ(แบบที่ 2)



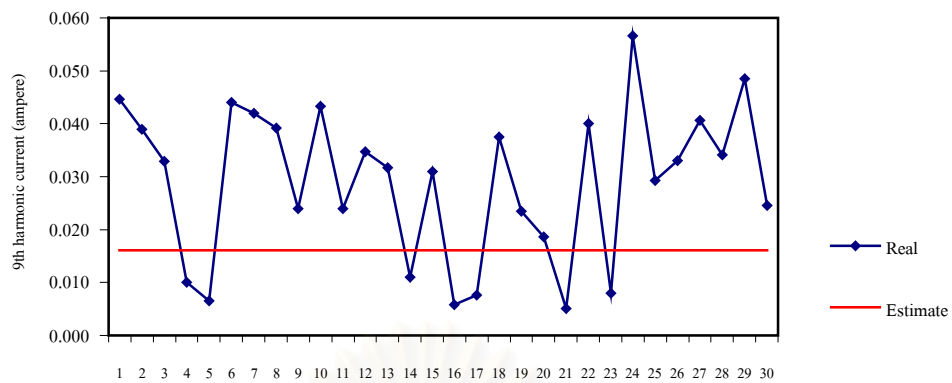
รูปที่ 3.35 กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 ของวิตีโที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



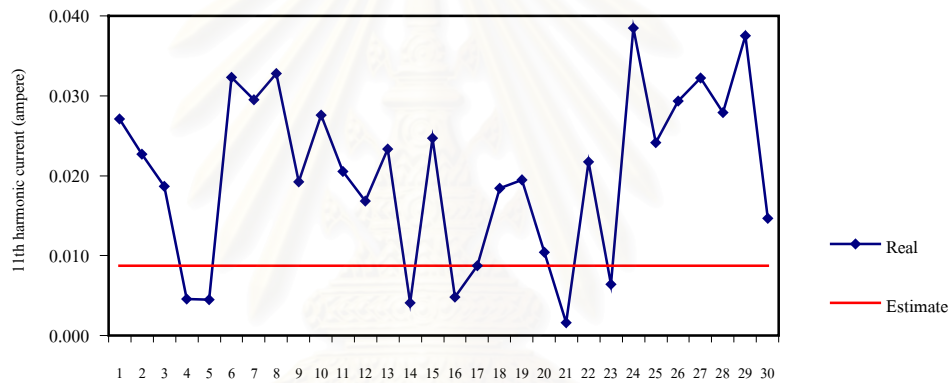
รูปที่ 3.36 กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ของวิตีโที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



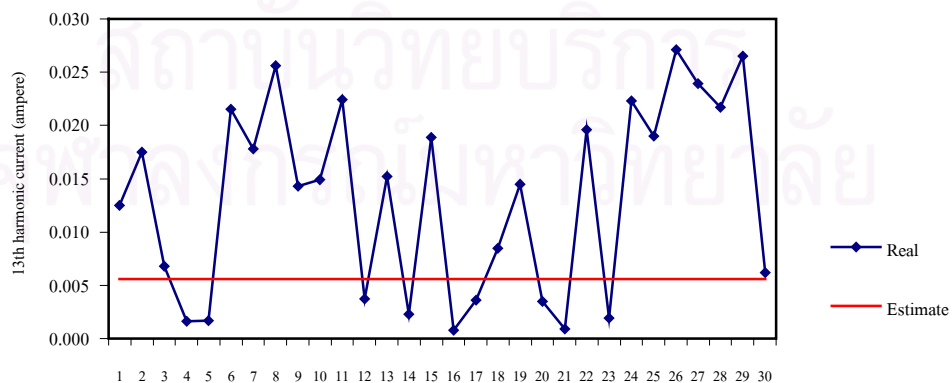
รูปที่ 3.37 กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 7 ของวิตีโที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



รูปที่ 3.38 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 9 ของวิดีโอที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



รูปที่ 3.39 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 11 ของวิดีโอที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



รูปที่ 3.40 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 13 ของวิดีโอที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ

ตารางที่ 3.17 ผลการตรวจวัดกระแสฮาร์มอนิกของเตาอบไมโครเวฟ

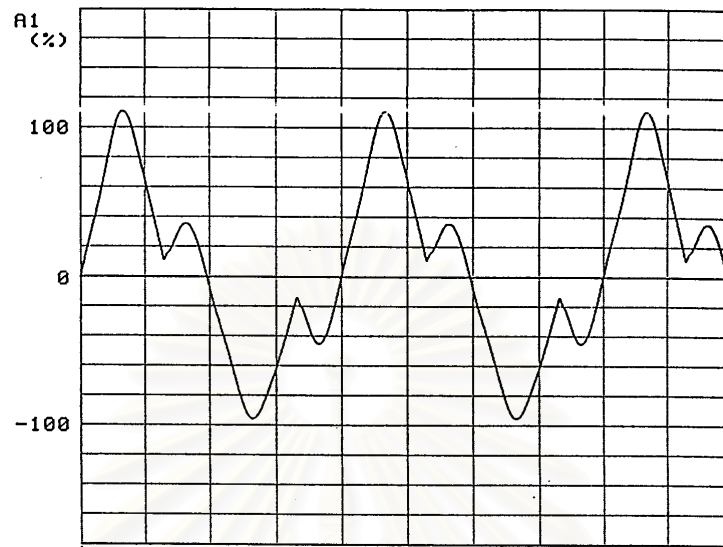
No.	Irms (A)	Power (W)	I1(A)	I3			I5			I7			I9			I11			I13		
				(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.	(A)	(%)	Deg.
1	5.470	1124.0	5.280	1.370	25.95	-151.6	0.340	6.44	-72.2	0.220	4.17	-68.4	0.100	1.89	22.1	0.060	1.14	82.3	0.040	0.76	160.1
2	6.310	1268.0	6.030	1.780	29.52	-134.9	0.220	3.65	-12.0	0.210	3.48	-38.9	0.060	1.00	52.1	0.050	0.83	144.5	0.040	0.66	131.9
3	6.570	1397.0	6.290	1.830	29.09	-138.9	0.410	6.52	-26.3	0.260	4.13	-54.6	0.070	1.11	24.3	0.060	0.95	108.1	0.040	0.64	175.9
4	5.580	1226.0	5.360	1.340	25.00	-143.7	0.620	11.57	-64.8	0.240	4.48	-51.7	0.130	2.43	30.2	0.090	1.68	93.0	0.070	1.31	162.6
5	4.880	1033.0	4.760	0.980	20.59	-157.2	0.340	7.14	-83.0	0.190	3.99	-68.4	0.100	2.10	2.6	0.060	1.26	61.4	0.040	0.84	137.7
6	5.720	1214.0	5.450	1.580	28.99	-134.0	0.590	10.83	-47.9	0.210	3.85	-33.9	0.110	2.02	71.1	0.060	1.10	150.3	0.040	0.73	125.4
7	6.410	1384.0	6.080	1.850	30.43	-139.4	0.670	11.02	-47.4	0.310	5.10	-56.2	0.150	2.47	44.6	0.080	1.32	113.9	0.060	0.99	177.9
8	5.810	1144.0	5.440	1.680	30.88	-130.6	0.960	17.65	-48.1	0.200	3.68	-45.4	0.140	2.76	44.8	0.080	1.47	121.4	0.060	1.10	169.6
9	5.500	1207.0	5.320	1.280	24.06	-148.6	0.430	8.08	-69.2	0.240	4.51	-68.4	0.110	2.63	15.3	0.070	1.32	76.0	0.050	0.94	146.9
10	5.770	1223.0	5.340	2.050	38.39	-130.3	0.560	10.49	-33.1	0.230	4.31	-37.6	0.110	2.06	88.3	0.050	0.94	173.6	0.030	0.56	105.5
11	6.080	1242.0	5.680	1.870	32.92	-114.0	0.980	17.25	-57.1	0.340	5.99	-9.8	0.180	1.94	82.7	0.100	1.76	165.1	0.060	1.06	110.8
12	6.730	1331.0	6.350	1.850	29.13	-145.9	1.130	17.80	-50.0	0.120	1.89	-107.6	0.140	2.83	10.9	0.040	0.63	73.8	0.060	0.94	133.2
13	4.560	928.0	4.370	1.150	26.32	-134.0	0.560	12.81	-63.2	0.210	4.81	-58.5	0.110	3.20	35.7	0.030	0.69	117.0	0.060	1.37	178.1
14	5.490	1169.0	5.260	1.390	26.43	-136.7	0.630	11.98	-59.5	0.250	4.75	-51.6	0.130	2.09	32.6	0.080	1.52	94.2	0.060	1.14	174.7
15	5.580	1185.0	5.470	0.900	16.45	-165.1	0.500	9.14	-71.1	0.170	3.11	-97.7	0.110	2.01	-45.7	0.050	0.91	-5.8	0.040	0.73	52.2
16	5.890	1285.0	5.620	1.600	28.47	-157.9	0.570	10.14	-58.7	0.210	3.74	-79.2	0.150	2.67	10.4	0.070	1.25	74.8	0.060	1.07	144.8
17	5.990	1220.0	5.600	1.860	33.21	-117.0	0.930	16.61	-50.4	0.310	5.54	-10.3	0.160	2.86	88.3	0.100	1.79	178.3	0.070	1.25	105.8
18	5.290	1139.0	5.130	1.200	23.39	-149.6	0.400	7.80	-57.3	0.220	4.29	-67.5	0.110	2.14	25.9	0.050	0.97	108.1	0.050	0.97	172.3
19	5.290	1127.0	5.090	1.280	25.15	-139.0	0.600	11.79	-55.3	0.220	4.32	-51.9	0.120	2.36	42.7	0.080	1.57	116.7	0.060	1.18	172.2
20	6.150	1325.0	5.820	1.820	31.27	-137.5	0.640	11.00	-41.7	0.300	5.15	-55.4	0.150	2.58	46.0	0.080	1.37	110.1	0.060	1.03	169.0
21	5.710	1201.0	5.360	1.680	31.34	-155.1	0.500	9.33	-44.7	0.220	4.10	-83.2	0.120	2.24	7.4	0.060	1.12	65.0	0.050	0.93	147.4
22	5.730	1189.0	5.430	1.560	28.73	-118.5	0.830	15.29	-52.2	0.330	6.08	-10.0	0.170	3.13	76.7	0.100	1.84	165.5	0.070	1.29	117.6
23	5.550	1206.0	5.340	1.360	25.47	-141.5	0.590	11.05	-59.3	0.280	5.24	-56.2	0.140	2.62	29.6	0.080	1.50	104.8	0.070	1.31	173.7
24	6.020	1284.0	5.640	1.760	31.21	-154.8	0.600	10.64	-44.0	0.240	4.26	-87.4	0.120	2.13	11.9	0.060	1.06	68.0	0.060	1.06	147.5
25	6.760	1340.0	6.390	1.860	29.11	-143.9	1.060	16.59	-48.2	0.160	2.50	-88.2	0.150	2.35	15.6	0.040	0.63	69.7	0.060	0.94	133.1
26	5.510	1208.0	5.290	1.400	26.47	-150.7	0.530	10.02	-60.8	0.230	4.35	-67.8	0.120	2.27	16.8	0.070	1.32	85.4	0.060	1.13	151.9
27	5.570	1136.0	5.220	1.630	31.23	-133.3	0.870	16.67	-47.3	0.200	3.83	-55.9	0.150	2.87	39.3	0.080	1.53	110.4	0.060	1.15	172.5
28	7.190	1531.0	6.980	1.500	21.49	-158.1	0.690	9.89	-73.4	0.270	3.87	-73.3	0.170	2.44	-11.8	0.090	1.29	46.9	0.070	1.00	107.6
29	6.110	1319.0	5.720	1.980	34.62	-129.9	0.630	11.01	-14.5	0.270	4.72	-47.0	0.110	1.92	87.3	0.050	0.87	161.1	0.040	0.70	111.4
30	6.320	1339.0	6.160	1.130	18.34	-146.7	0.830	13.47	-71.6	0.210	3.41	-78.5	0.090	1.46	-31.7	0.070	1.14	23.3	0.060	0.97	89.6
ค่าเฉลี่ย (A, Radian)				1.5150	0.6968		0.6221	-0.9243		0.2161	-0.9686		0.1068	0.5924		0.0507	-1.3038		0.0394	-0.1396	

ตารางที่ 3.18 ผลการหาค่าประมาณกระแสฮาร์โมนิกของเตาอบไมโครเวฟ

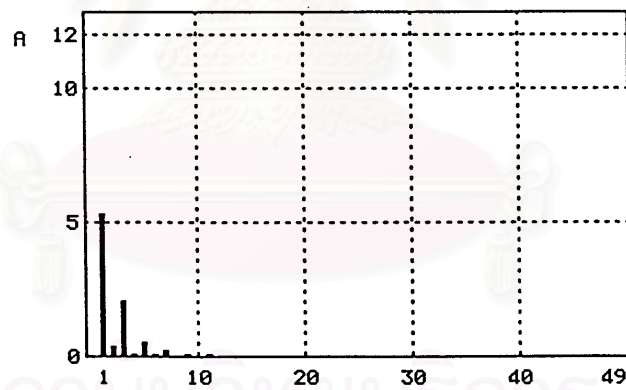
เครื่องที่	จำนวน เครื่องที่สุ่ม	Harmonic 3rd		Harmonic 5th		Harmonic 7th		Harmonic 9th		Harmonic 11th		Harmonic 13th	
		(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)	(A)	(Rad.)
1	2088	1.5097	-2.4474	0.6141	-0.9219	0.2151	-0.9660	0.1080	0.6032	0.0514	1.8576	0.0400	3.0251
2	1219	1.5231	-2.4452	0.5964	-0.9135	0.2172	-0.9593	0.1062	0.6151	0.0514	1.8704	0.0395	3.0548
3	1279	1.5337	-2.4427	0.6143	-0.9055	0.2164	-0.9606	0.1075	0.6244	0.0510	1.8784	0.0396	3.0520
4	3100	1.5232	-2.4477	0.6131	-0.9187	0.2175	-0.9680	0.1086	0.6040	0.0523	1.8534	0.0405	3.0261
5	3566	1.5178	-2.4497	0.6116	-0.9200	0.2147	-0.9736	0.1079	0.5958	0.0516	1.8441	0.0404	3.0155
6	2173	1.5224	-2.4420	0.6175	-0.9224	0.2178	-0.9526	0.1075	0.6091	0.0516	1.8583	0.0395	3.0299
7	2555	1.5191	-2.4502	0.6106	-0.9191	0.2183	-0.9731	0.1079	0.5926	0.0520	1.8358	0.0402	3.0121
8	3071	1.5249	-2.4390	0.6232	-0.9155	0.2162	-0.9532	0.1079	0.6184	0.0511	1.8819	0.0393	3.0462
9	2414	1.5114	-2.4511	0.6062	-0.9217	0.2172	-0.9793	0.1076	0.5946	0.0516	1.8378	0.0404	3.0127
10	1233	1.5310	-2.4491	0.6168	-0.9115	0.2171	-0.9731	0.1087	0.5968	0.0521	1.8437	0.0403	3.0131
<b>Estimated Values</b>		<b>1.5216</b>	<b>-2.4464</b>	<b>0.6124</b>	<b>-0.9170</b>	<b>0.2168</b>	<b>-0.9659</b>	<b>0.1078</b>	<b>0.6054</b>	<b>0.0516</b>	<b>1.8561</b>	<b>0.0400</b>	<b>3.0287</b>

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



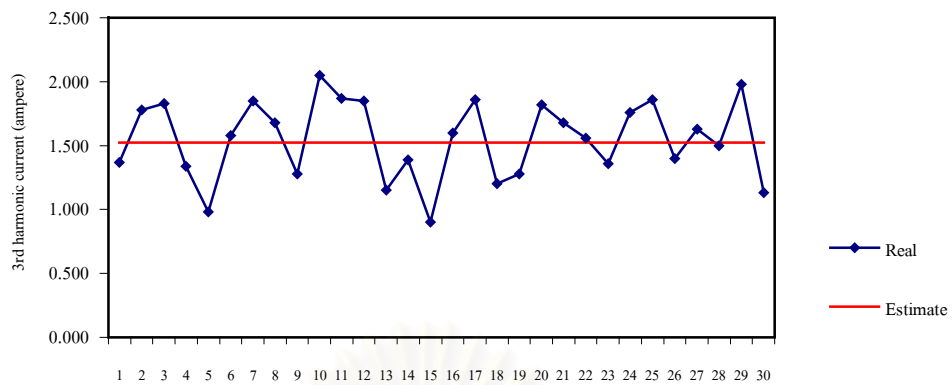


รูปคลื่นกระแส ( Time Scale 1 Div = 5 mS. )

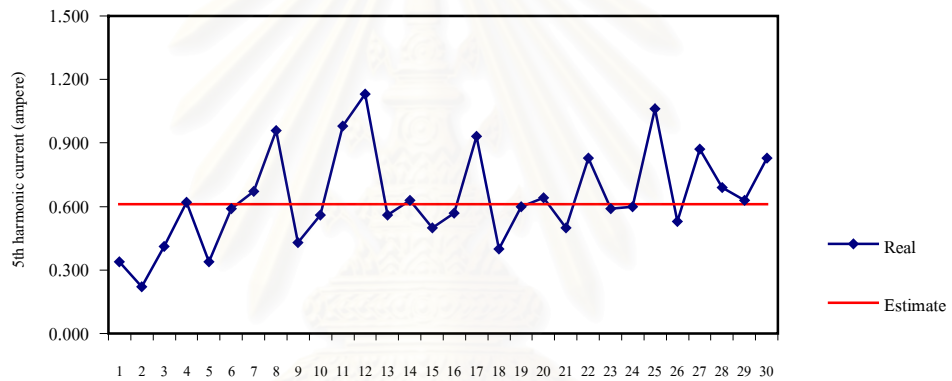


สเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิก

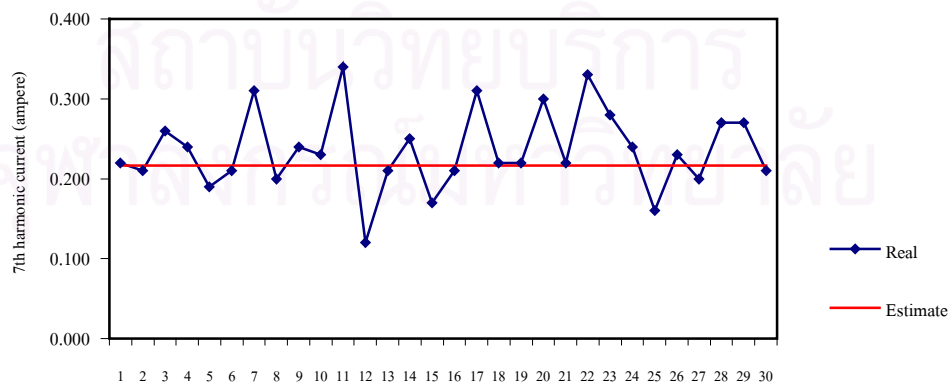
รูปที่ 3.41 ตัวอย่างรูปคลื่นกระแส และสเปกตรัมกระแสฮาร์โมนิกของเตาอบไมโครเวฟ



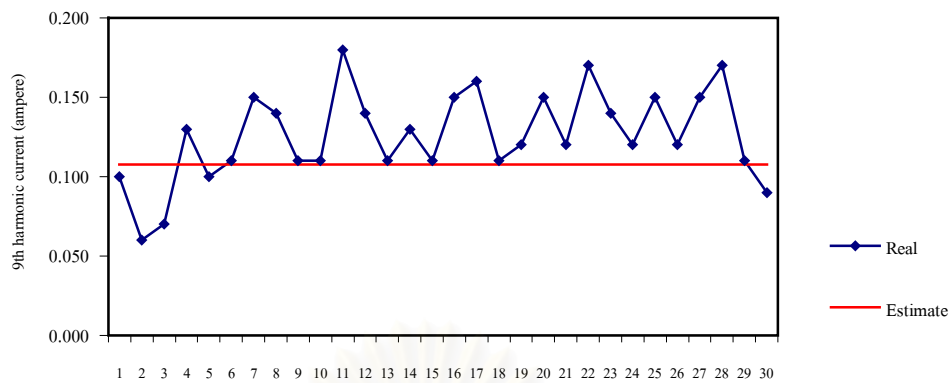
รูปที่ 3.42 กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 ของเตาอบไมโครเวฟที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



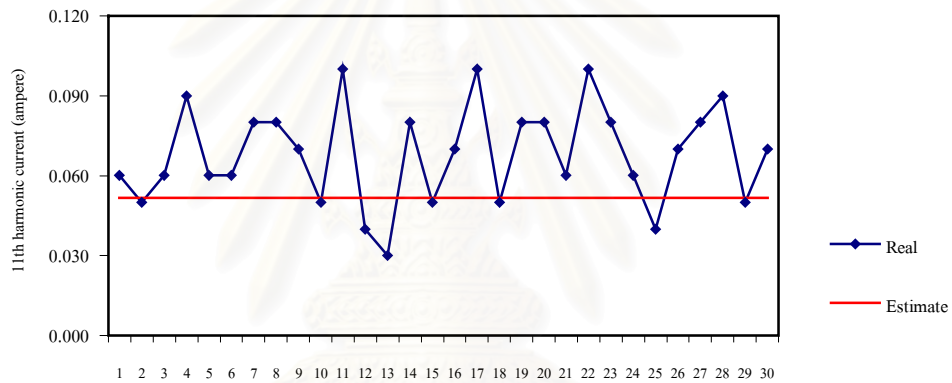
รูปที่ 3.43 กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 ของเตาอบไมโครเวฟที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



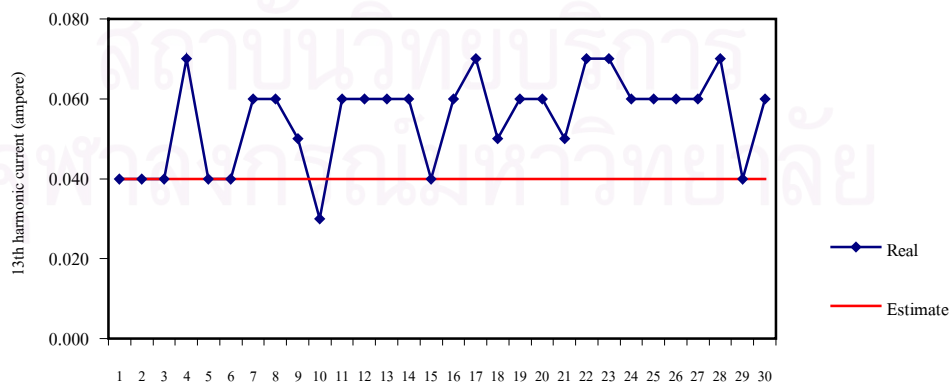
รูปที่ 3.44 กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 7 ของเตาอบไมโครเวฟที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



รูปที่ 3.45 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 9 ของเตาอบไมโครเวฟที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



รูปที่ 3.46 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 11 ของเตาอบไมโครเวฟที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ



รูปที่ 3.47 กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 13 ของเตาอบไมโครเวฟที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าประมาณ

### 3.5 วิเคราะห์และสรุปผลการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด

ผลจากการตรวจวัด จะพบว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านพักอาศัยมักจะมีส่วนประกอบของวงจรเรียงกระแสบริดจ์ไดโอด ประกอบอยู่ด้วยเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดกระแสฮาร์มอนิก จึงสามารถแบ่งกลุ่มเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ตรวจวัดตามระดับปริมาณกระแสฮาร์มอนิก ได้ 3 กลุ่ม ดังนี้

#### ก. ระดับปริมาณกระแสฮาร์มอนิกสูง

เครื่องใช้ไฟฟ้าในกลุ่มนี้ จะสร้างกระแสฮาร์มอนิกออกมามากที่สุด มีความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสมากที่สุด โดยมีระดับความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของกระแส สูงกว่า 40% ขึ้นไป ได้แก่ คอมพิวเตอร์ โทรทัศน์สี เครื่องเสียง และวิดีโอ

#### ข. ระดับปริมาณกระแสฮาร์มอนิกปานกลาง

เครื่องใช้ไฟฟ้าในกลุ่มนี้ จะสร้างกระแสฮาร์มอนิกออกมาในระดับรองลงมา แต่ยังคงมีความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสอย่างเห็นได้ชัด แต่ไม่มากเท่ากับในกลุ่มแรก โดยมีระดับความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของกระแส อยู่ระหว่าง 20-40% ซึ่งได้แก่ เตารีด ไมโครเวฟ

#### ค. ระดับปริมาณกระแสฮาร์มอนิกต่ำ

เครื่องใช้ไฟฟ้าในกลุ่มนี้ จะสร้างกระแสฮาร์มอนิกออกมาน้อยมาก หรือแทบจะไม่เกิดเลย ซึ่งความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสแทบจะไม่เห็นเลย โดยมีระดับความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของกระแส ต่ำกว่า 20% ซึ่งได้แก่ ชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดา

ผลจากการหาค่าประมาณกระแสฮาร์มอนิกของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ทำให้พบว่าการหักล้างของกระแสฮาร์มอนิกในลำดับต่างๆเกิดขึ้น ซึ่งสามารถสรุปค่าตัวประกอบการหักล้างของกระแสฮาร์มอนิกของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ดังตารางที่ 3.19 โดยค่าตัวประกอบการหักล้างของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 และ 5 มีค่าใกล้เคียงกับในหัวข้อที่ 3.2.4 ส่วนในลำดับที่ 7 ขึ้นไป จะมีค่าที่แตกต่าง แต่มีค่าลดลง ดังเช่นในหัวข้อที่ 3.2.4 ซึ่งบ่งบอกได้ว่าการหักล้างของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ต้นๆจะเกิดน้อยมาก และมีผลมากขึ้นในกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่สูงขึ้น

ตารางที่ 3.19 ตารางสรุปค่าประมาณและค่าตัวประกอบกรหักล้างของกระแสฮาร์มอนิกของเครื่องใช้ไฟฟ้า

Equipment	I3			I5			I7			I9			I11			I13								
	Linear Sum. (A)	Vector Sum.		Linear Sum. (A)	Vector Sum.		Linear Sum. (A)	Vector Sum.		Linear Sum. (A)	Vector Sum.		Linear Sum. (A)	Vector Sum.		Linear Sum. (A)	Vector Sum.							
		(A)	Deg.		(A)	Deg.		(A)	Deg.		(A)	Deg.		(A)	Deg.		(A)	Deg.						
Computer	0.2999	0.2984	178.9	0.9951	0.2292	0.2250	-1.95	0.9817	0.1476	0.1418	179.0	0.9604	0.0758	0.0684	2.1	0.9027	0.0353	0.0174	-148.4	0.4937	0.0321	0.0181	142.2	0.5638
Television	0.2411	0.2338	177.0	0.9698	0.1904	0.1776	-3.49	0.9329	0.1291	0.1124	171.6	0.8707	0.0733	0.0531	-13.5	0.7246	0.0423	0.0100	139.8	0.2369	0.0362	0.0165	-178.5	0.4558
Fluorescent	0.0366	0.0360	-51.3	0.9857	0.0050	0.0035	99.57	0.7027	0.0059	0.0051	40.0	0.8630	0.0016	0.0009	-35.3	0.5784	0.0014	0.0009	155.8	0.5984	0.0012	0.0008	83.0	0.7220
Stereo	0.0750	0.0727	-170.4	0.9685	0.0513	0.0500	-14.18	0.9750	0.0203	0.0156	155.8	0.7678	0.0128	0.0095	-102.2	0.7422	0.0108	0.0093	28.4	0.8570	0.0085	0.0063	-177.5	0.7487
Video	0.0635	0.0618	-174.4	0.9731	0.0494	0.0447	8.76	0.9045	0.0372	0.0282	-163.6	0.7579	0.0290	0.0160	29.8	0.5526	0.0201	0.0087	-124.2	0.4325	0.0132	0.0056	97.9	0.4242
Microwave	1.5507	1.5216	-140.2	0.9813	0.6403	0.6124	-52.54	0.9563	0.2357	0.2168	-55.3	0.9197	0.1260	0.1078	34.7	0.8553	0.0680	0.0516	106.3	0.7589	0.0550	0.0400	173.5	0.7266
<b>Mean</b>				<b>0.9789</b>				<b>0.9089</b>				<b>0.8566</b>				<b>0.7260</b>				<b>0.5629</b>				<b>0.6068</b>

## บทที่ 4

### การประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว

ปัจจุบัน ปริมาณค่ากระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัย เริ่มมีปริมาณมากขึ้น และในอนาคต อาจก่อปัญหาให้กับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้ามากขึ้นด้วย ซึ่งสังเกตได้จากบทความที่มีการศึกษามากขึ้นในต่างประเทศ ฉะนั้นในการทำวิทยานิพนธ์นี้ จะทำการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิก เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษา และวางแผนในการพัฒนาระบบไฟฟ้า ต่อไป จากการศึกษาแนวทางการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากบ้านพักอาศัย จากบทความต่างๆ สามารถพอสรุปเป็นแนวทางตามบทความดังกล่าวดังนี้

#### แนวทางที่ 1 บทความของ A.Capasso [10]

ในบทความนี้ นำเสนอขั้นตอนในการประเมินแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การประเมินบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว เริ่มจากการหาไดอะแกรมกระแสฮาร์มอนิกแต่ละลำดับในแต่ละวัน ที่เกิดจากสเปกตรัมกระแสฮาร์มอนิกของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ซึ่งพิจารณาตามเงื่อนไขลักษณะการทำงานต่างๆของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ประกอบกับข้อมูลพฤติกรรมการทำกิจกรรมต่างๆในการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดของสมาชิกในครอบครัว

ขั้นตอนที่ 2 การประเมินทั้งหมดในบริเวณพื้นที่บ้านพักอาศัย ที่ได้จากการรวมค่ากระแสที่ได้จากขั้นตอนแรก ก็จะได้ไดอะแกรมกระแสฮาร์มอนิกทั้งหมดแต่ละลำดับในแต่ละวัน ซึ่งโอกาสการใช้งานเครื่องใช้งานต่างๆในบทความนี้ได้มาจากการจำลองตามโปรแกรม ARGOS ตามบทความนี้ได้ใช้ และการรวมกระแสฮาร์มอนิกทั้งหมดก็จะทำการพิจารณาค่าขนาดกระแสฮาร์มอนิก และมุมเฟสของแต่ละลำดับตามการกระจายความน่าจะเป็นแบบต่างๆ ด้วย

## แนวทางที่ 2 บทความของ T.Deflandre [11]

บทความนี้ ได้นำเสนอการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากบ้านพักอาศัย โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ซึ่งจะทำการตรวจวัดค่ากระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน แล้วทำการสุ่มเลือกเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดเดียวกันจำนวนมากจากข้อมูลพื้นฐาน แล้วทำการรวมกันทางเวกเตอร์ทั้งนี้เพื่อคำนึงผลการหักล้างของกระแสฮาร์มอนิกตามสภาพความเป็นจริงที่มีการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดนั้นๆพร้อมๆกัน ซึ่งจะทำได้ค่าประมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับต่างๆของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด หลังจากที่ได้ประมาณแล้ว ในบทความนี้ได้ทำการหากระแสฮาร์มอนิกโดยเฉลี่ยต่อวันต่อหลัง โดยพิจารณาพร้อมกับข้อมูลการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวันของแต่ละชนิด และโอกาสการถือครองเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดของกลุ่มบ้านพักอาศัยตัวอย่าง ซึ่งหาได้ตามสมการในบทความนี้

## แนวทางที่ 3 บทความของ R.Caldon [12]

ในบทความนี้ จะนำข้อมูลกระแสฮาร์มอนิกที่ทำการวัดในช่วงเวลา 1 สัปดาห์ ในตำแหน่งจุดต่อรวม หลายๆจุดที่จ่ายไฟฟ้าให้แก่กลุ่มบ้านพักอาศัย โดยนำข้อมูลที่แต่ละจุดมาหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสฮาร์มอนิกแต่ละลำดับต่อวัน ในตำแหน่งจุดวัดต่างๆ หลังจากนั้นจึงนำมาพิจารณาร่วมกับจำนวนครอบครัว และความต้องการบริโภคพลังงาน ตามตำแหน่งจุดวัดแต่ละจุด แล้วจึงนำแต่ละจุดมาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสฮาร์มอนิกแต่ละลำดับต่อวัน โดยเฉลี่ยของทุกๆจุด และเมื่อต้องการประเมินจากจำนวนครอบครัวที่กำหนด ก็สามารถนำค่าดังกล่าวมาใช้หาตามสมการในบทความนี้

ในวิทยานิพนธ์นี้จะยึดถือตามแนวทางต่างๆที่ได้ศึกษามา และได้ทำการปรับเปลี่ยนในบางส่วนให้เหมาะสมกับข้อจำกัดต่างๆ และจากการศึกษาบทความต่างๆ สามารถแบ่งลักษณะการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัยได้ 3 ส่วน คือ ส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด (ดังที่อธิบายไว้ในบทที่ 3) , ส่วนบ้านพักอาศัยแต่ละหลัง (ดังจะกล่าวในบทนี้) และส่วนกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียวกัน (จะกล่าวต่อไปในบทที่ 5)

#### 4.1 การประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว

การประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว จะคำนึงถึงพฤติกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด และจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดที่จะพบในบ้านพักอาศัยแต่ละหลัง โดยเครื่องใช้ไฟฟ้าที่จะทำพิจารณาได้แก่ คอมพิวเตอร์ โทรทัศน์สี หลอดฟลูออเรสเซนต์ เครื่องเสียง วีดีโอ และเตาอบไมโครเวฟ ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณกระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัย ดังสมการที่ 4.1

$$i_h(t) = \left| \sum_{k=1}^n [N_k(t) \cdot DF_{h,k}^{-1} \cdot \hat{i}_{h,k}] \right| \quad (4.1)$$

โดยที่  $i_h$  คือ ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกรวมเฉลี่ย ลำดับที่  $h$  ณ ช่วงเวลา  $t$

$N_k$  คือ จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิด  $k$  ที่มีการใช้งาน ณ ช่วงเวลา  $t$

$DF_{h,k}$  คือ ตัวประกอบการหักล้างของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่  $h$  ของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิด  $k$

$\hat{i}_{h,k}$  คือ ปริมาณทางเวกเตอร์กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่  $h$  จากเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิด  $k$

##### การหาค่า $N_k$

จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้งาน ณ ช่วงเวลาต่างๆ ได้จากการบันทึกการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละครอบครัว ดังรายละเอียดในหัวข้อ 4.2

##### การหาค่า $DF_{h,k}$

ค่าตัวประกอบการหักล้างของกระแสฮาร์มอนิกแต่ละลำดับเนื่องจากโหนดชนิดเดียวกัน ของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดนั้นเป็นค่าที่ได้ทำการประมาณมาตามบทที่ 3 แต่เมื่อนำมาพิจารณาในการประเมินกระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละหลังนั้น เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดเดียวกันมิได้ทำงานพร้อมกัน การหักล้างของกระแสฮาร์มอนิกเนื่องจากโหนดชนิดเดียวกันจึงไม่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงควรปรับค่าประมาณกระแสฮาร์มอนิก ( $\hat{i}_{h,k}$ ) ของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดให้มีขนาดมากขึ้น

##### การหาค่า $\hat{i}_{h,k}$

ค่าประมาณกระแสฮาร์มอนิกของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ที่หามาได้โดยพิจารณาผลการหักล้างของกระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดเดียวกัน ซึ่งค่าที่ได้จะมีทั้งขนาด และมุมเฟส ของกระแสฮาร์มอนิกแต่ละลำดับ ดังผลที่ได้ในบทที่ 3 จึงทำให้ค่ากระแสฮาร์มอนิกที่หาได้ ณ ช่วงเวลาต่างๆ ตามสมการที่ 4.1 ดังกล่าว เกิดการหักล้างของกระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างชนิดกัน เรียบร้อยแล้ว



## 4.2 การสำรวจการใช้งาน และการตรวจวัดกระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว

### 4.2.1 การสำรวจพฤติกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า

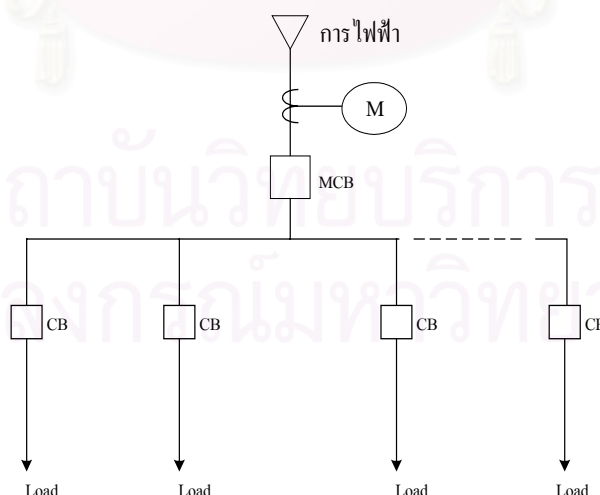
ในการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว จะต้องทราบถึงลักษณะการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดของแต่ละครอบครัว ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้จากการบันทึกของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละครอบครัว ตามแบบฟอร์มสำรวจ ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดทั้งหมดในบ้านพักอาศัย

ส่วนที่ 2 จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดทั้งหมดที่มีการใช้งาน ในช่วงเวลาทุกๆ 15 นาที ตลอดช่วงเวลา 1 สัปดาห์ที่ทำการตรวจวัด

### 4.2.2 การตรวจวัดกระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว

การตรวจวัดข้อมูลจะทำการตรวจวัดปริมาณกระแสฮาร์มอนิกจากทางด้านเข้าเซอร์กิตเบรกเกอร์หลัก (Main Circuit Breaker) ของบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว ดังตำแหน่งการวัดในรูปที่ 4.1 โดยจะทำการตรวจวัดตลอดช่วงเวลา 7 วัน แบ่งเป็นช่วงเวลาทุกๆ 15 นาทีในแต่ละวัน เพื่อให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของกระแสฮาร์มอนิกครบช่วงการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ของบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว สำหรับค่าที่เครื่องมือวัดบันทึก ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับค่าประเมินนั้น จะเป็นค่าเฉลี่ยของกระแสฮาร์มอนิกในแต่ละช่วง 15 นาที ในลำดับฮาร์มอนิกที่ 3, 5, 7, 9, 11 และ 13



รูปที่ 4.1 การตรวจวัดปริมาณกระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว

### 4.3 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว

สำหรับการตรวจวัดจากบ้านพักอาศัยนั้น ได้ทำการตรวจวัดทั้งสิ้น 5 ครอบครัว ซึ่งแต่ละครอบครัว จะมีจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดไม่เท่ากัน และพฤติกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ดังรายละเอียด ต่อไปนี้

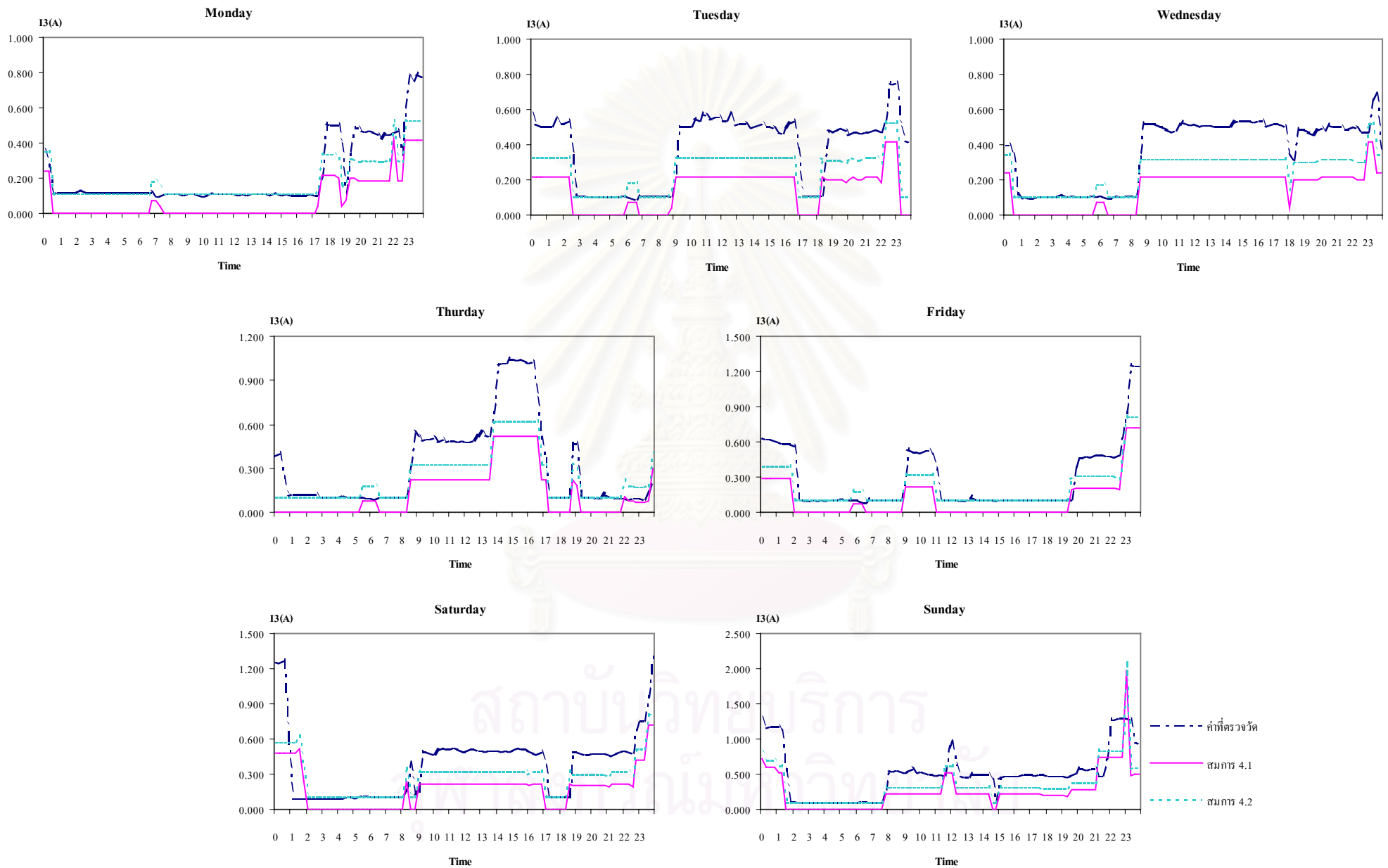
**บ้านหลังที่ 1:** มีคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง โทรทัศน์สี 2 เครื่อง หลอดฟลูออเรสเซนต์ 8 หลอด เครื่องเสียง 1 เครื่อง และเตาอบไมโครเวฟ 1 เครื่อง ซึ่งผลการตรวจวัด และการประเมินปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 แสดงดังรูปที่ 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

**บ้านหลังที่ 2:** มีคอมพิวเตอร์ 2 เครื่อง โทรทัศน์สี 3 เครื่อง หลอดฟลูออเรสเซนต์ 10 หลอด เครื่องเสียง 2 เครื่อง และวิดีโอ 1 เครื่อง ซึ่งผลการตรวจวัด และการประเมินปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 แสดงดังรูปที่ 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ

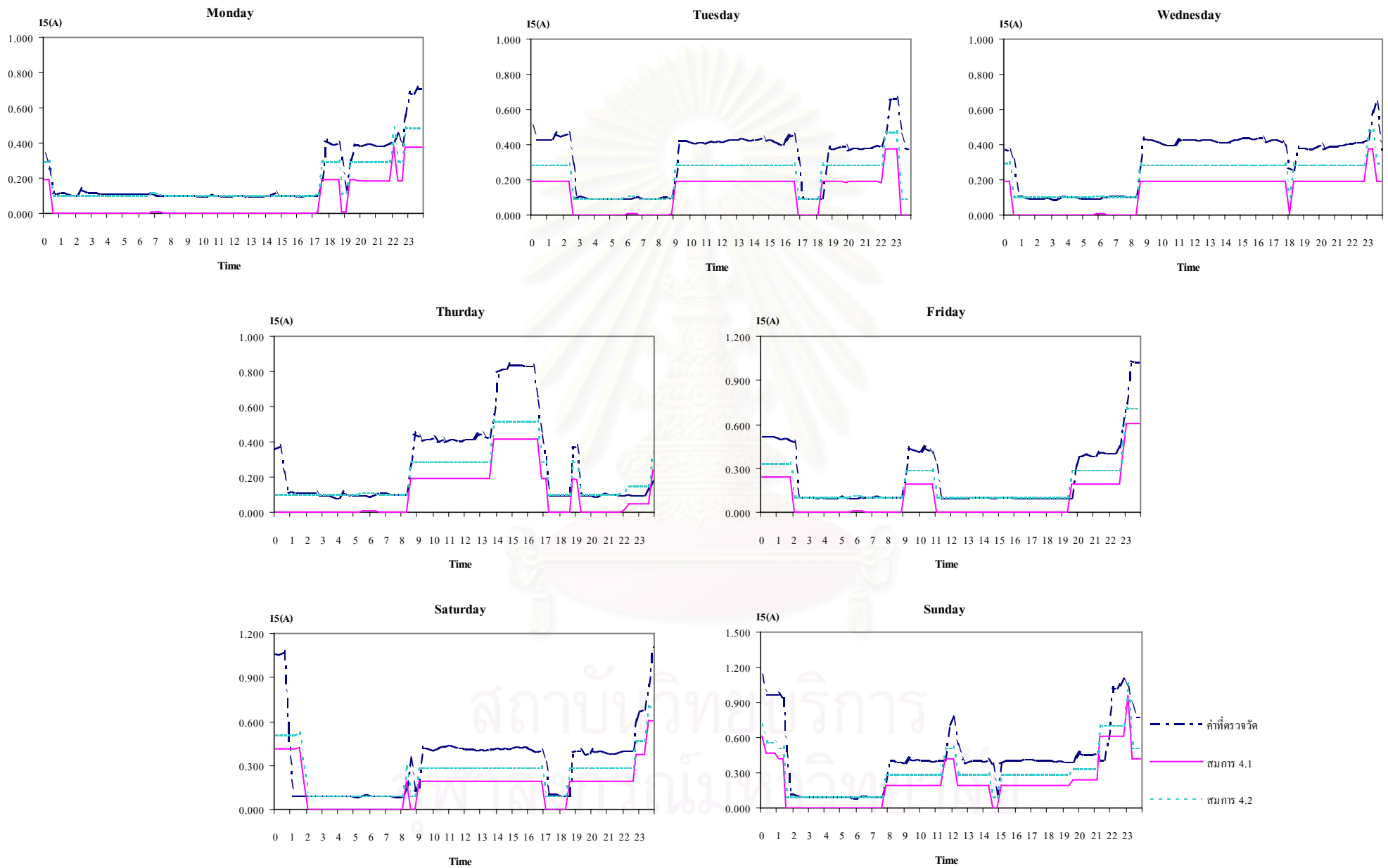
**บ้านหลังที่ 3:** มีคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง โทรทัศน์สี 2 เครื่อง หลอดฟลูออเรสเซนต์ 7 หลอด เครื่องเสียง 1 เครื่อง และเตาอบไมโครเวฟ 1 เครื่อง ซึ่งผลการตรวจวัด และการประเมินปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 แสดงดังรูปที่ 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 และ 4.19 ตามลำดับ

**บ้านหลังที่ 4:** มีโทรทัศน์สี 3 เครื่อง หลอดฟลูออเรสเซนต์ 10 หลอด เครื่องเสียง 1 เครื่อง และวิดีโอ 1 เครื่อง ซึ่งผลการตรวจวัด และการประเมินปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 แสดงดังรูปที่ 4.20, 4.21, 4.22, 4.23, 4.24 และ 4.25 ตามลำดับ

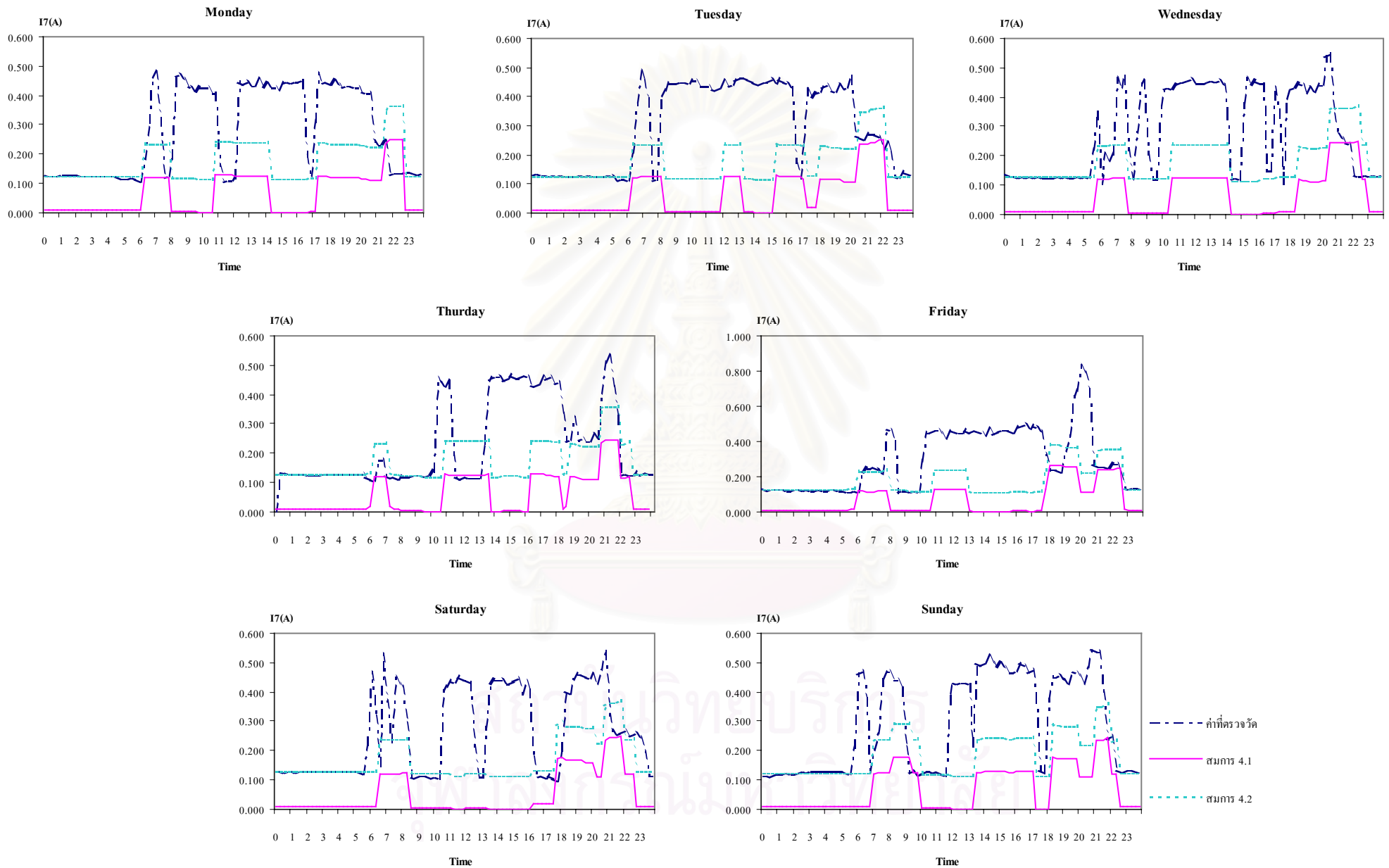
**บ้านหลังที่ 5:** มีคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง โทรทัศน์สี 2 เครื่อง หลอดฟลูออเรสเซนต์ 7 หลอด เครื่องเสียง 1 เครื่อง และวิดีโอ 1 เครื่อง ซึ่งผลการตรวจวัด และการประเมินปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 แสดงดังรูปที่ 4.26, 4.27, 4.28, 4.29, 4.30 และ 4.31 ตามลำดับ



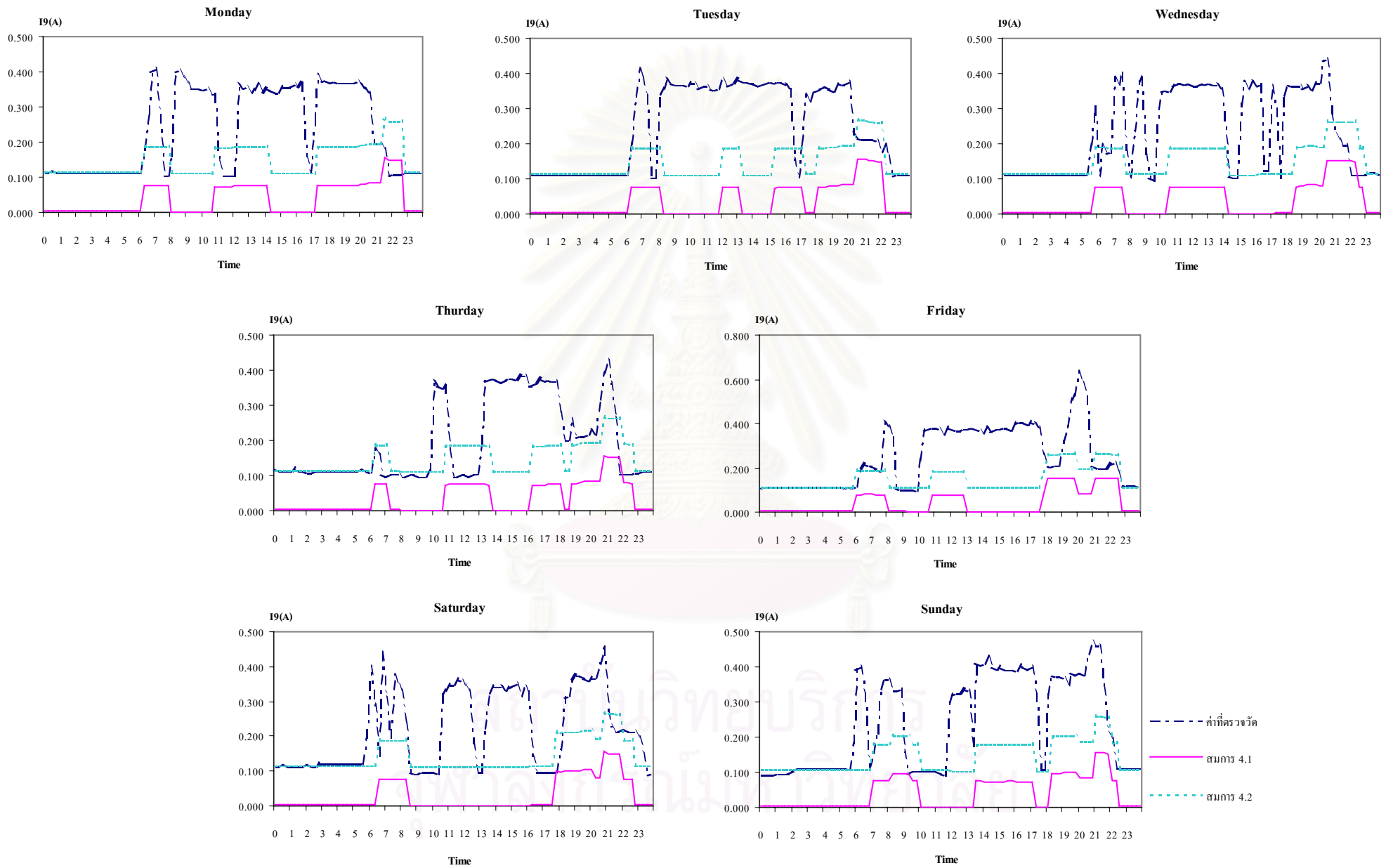
รูปที่ 4.2 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสความร้อนลำดับที่ 3 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 1



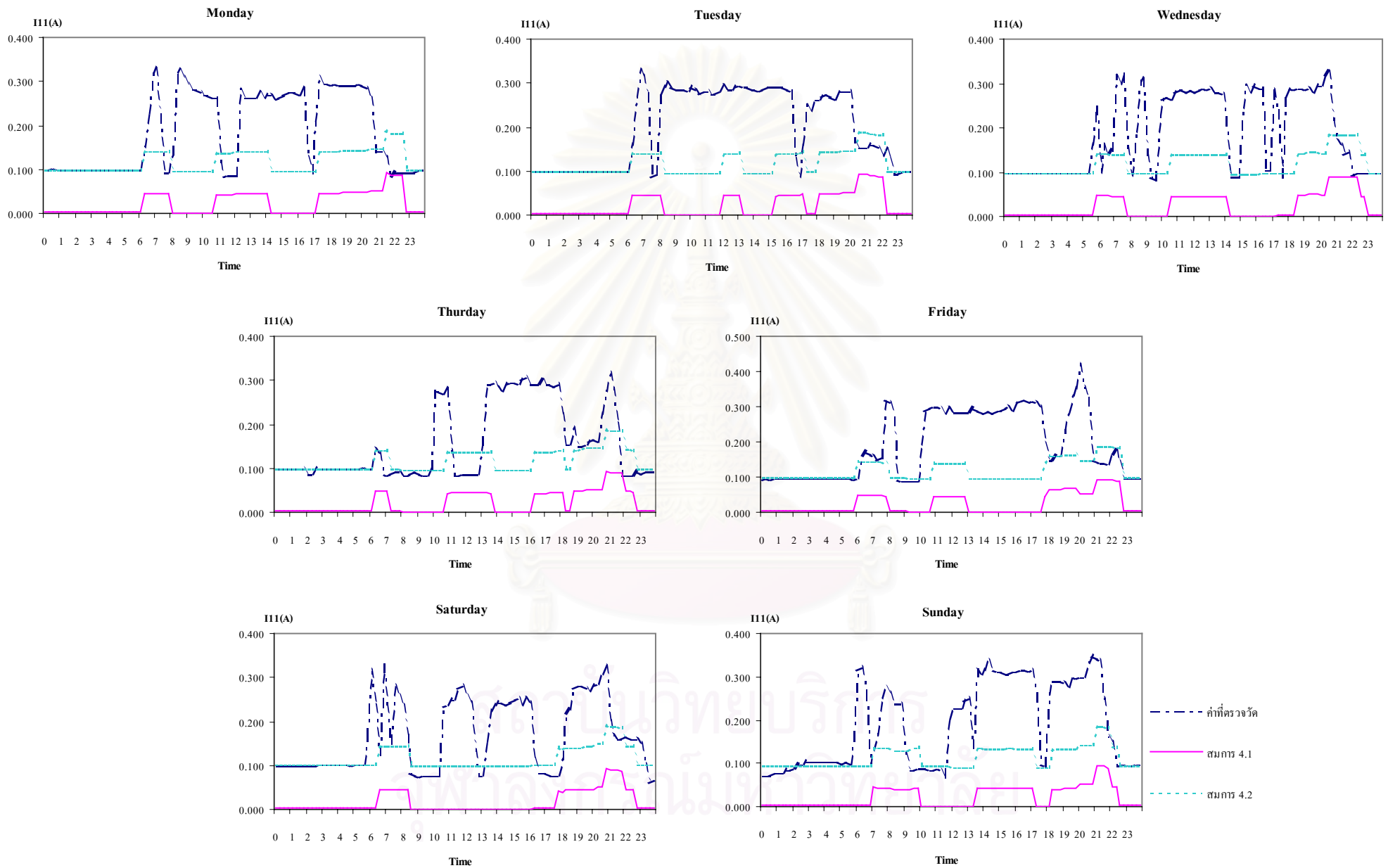
รูปที่ 4.3 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสความร้อนกล้าดับที่ 5 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 1



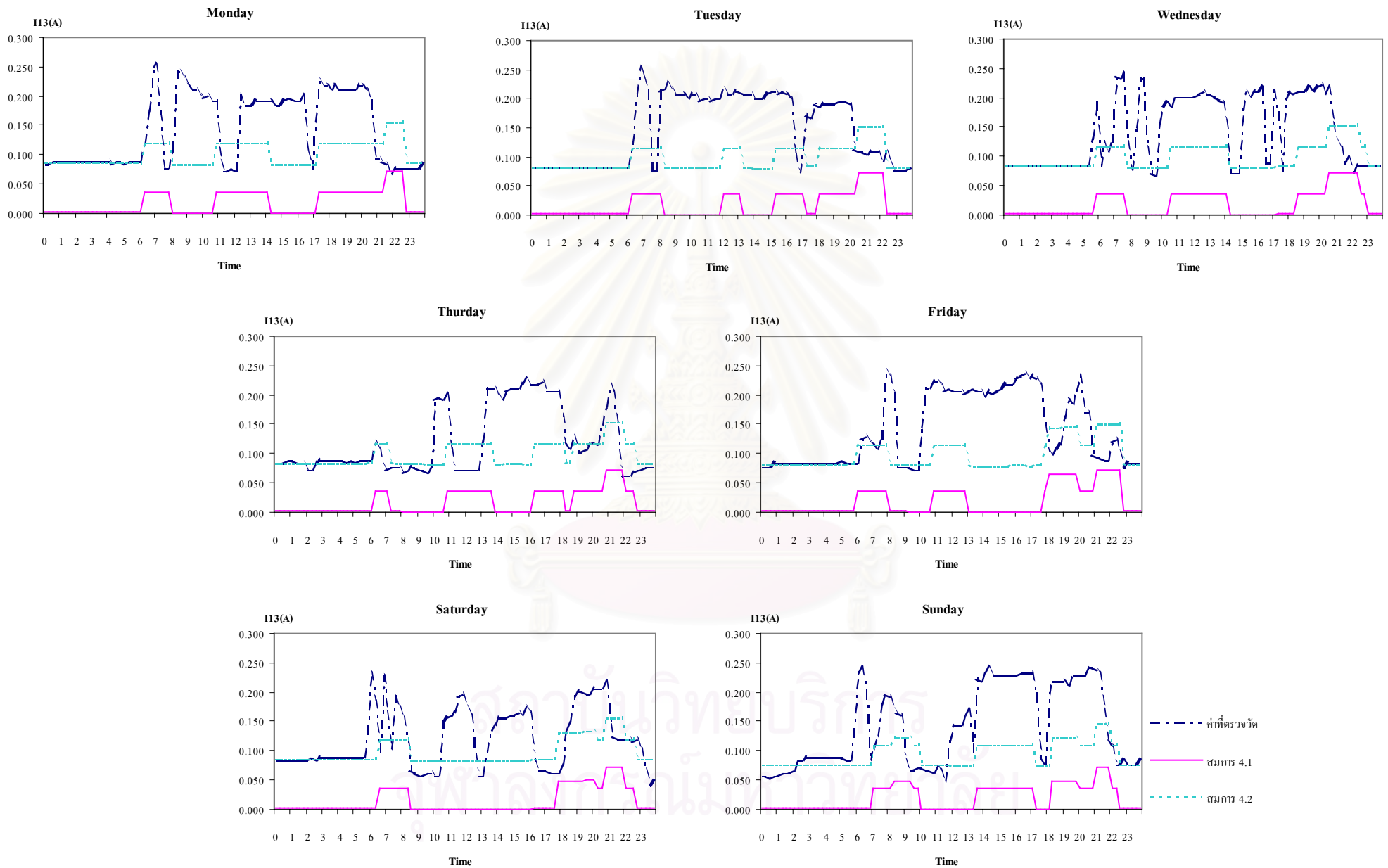
รูปที่ 4.4 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสความร้อนใกล้ดับที่ 7 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 1



รูปที่ 4.5 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสความร้อนกล้าดับที่ 9 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 1

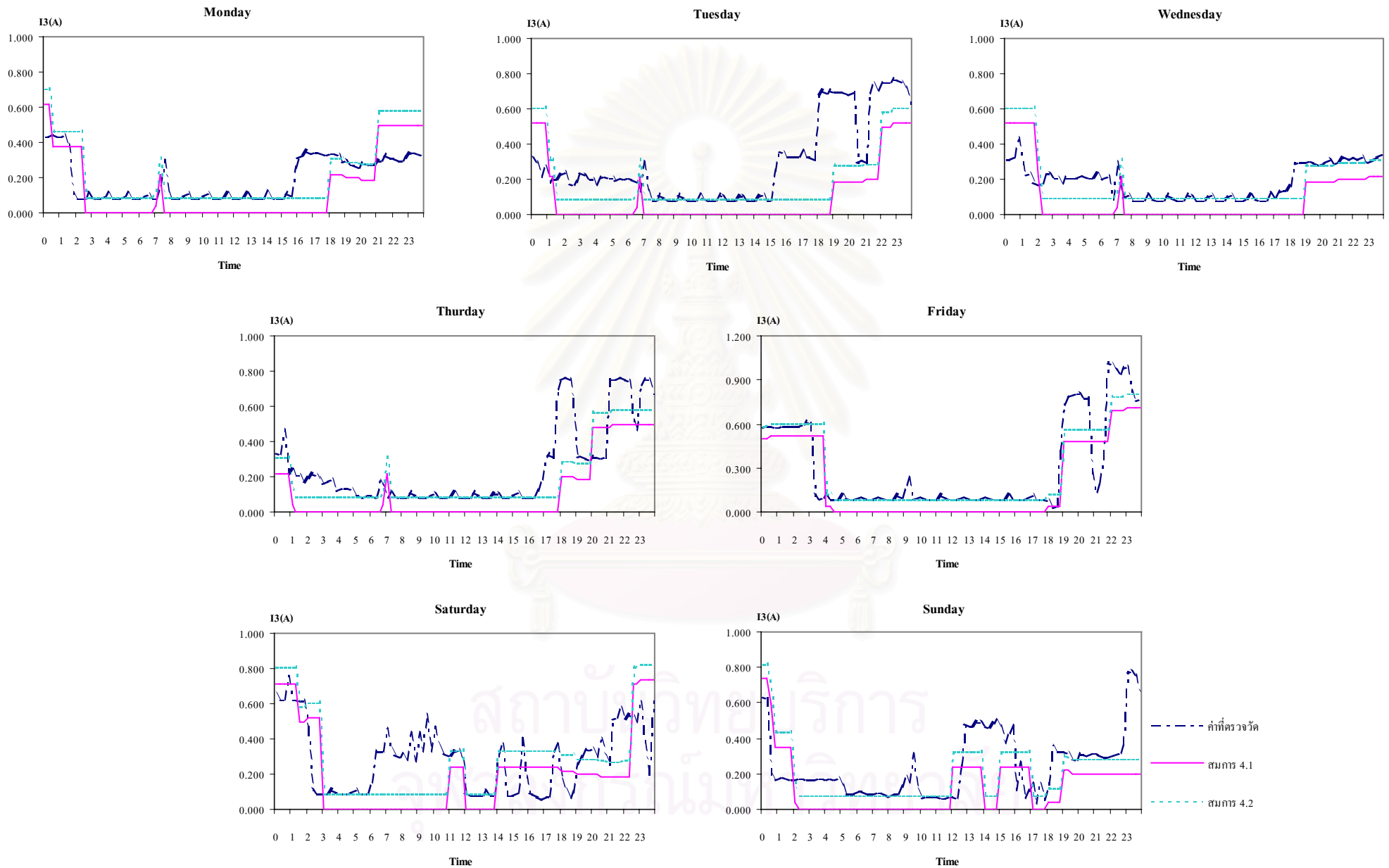


รูปที่ 4.6 ผลการตรวจวัด และ การประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 11 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 1

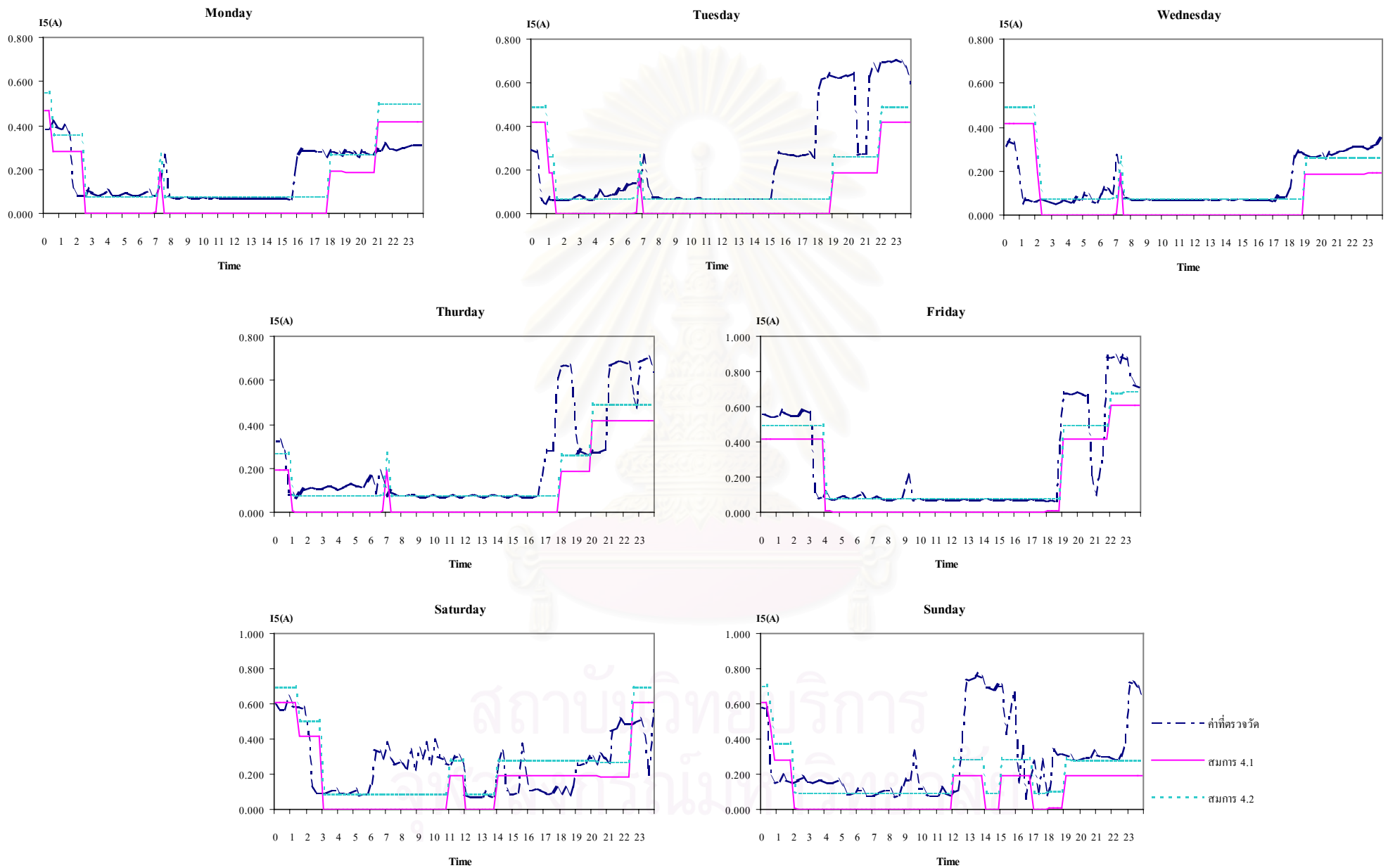


รูปที่ 4.7 ผลการตรวจวัด และ การประเมินค่ากระแสสารมอนิกลำดับที่ 13 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 1

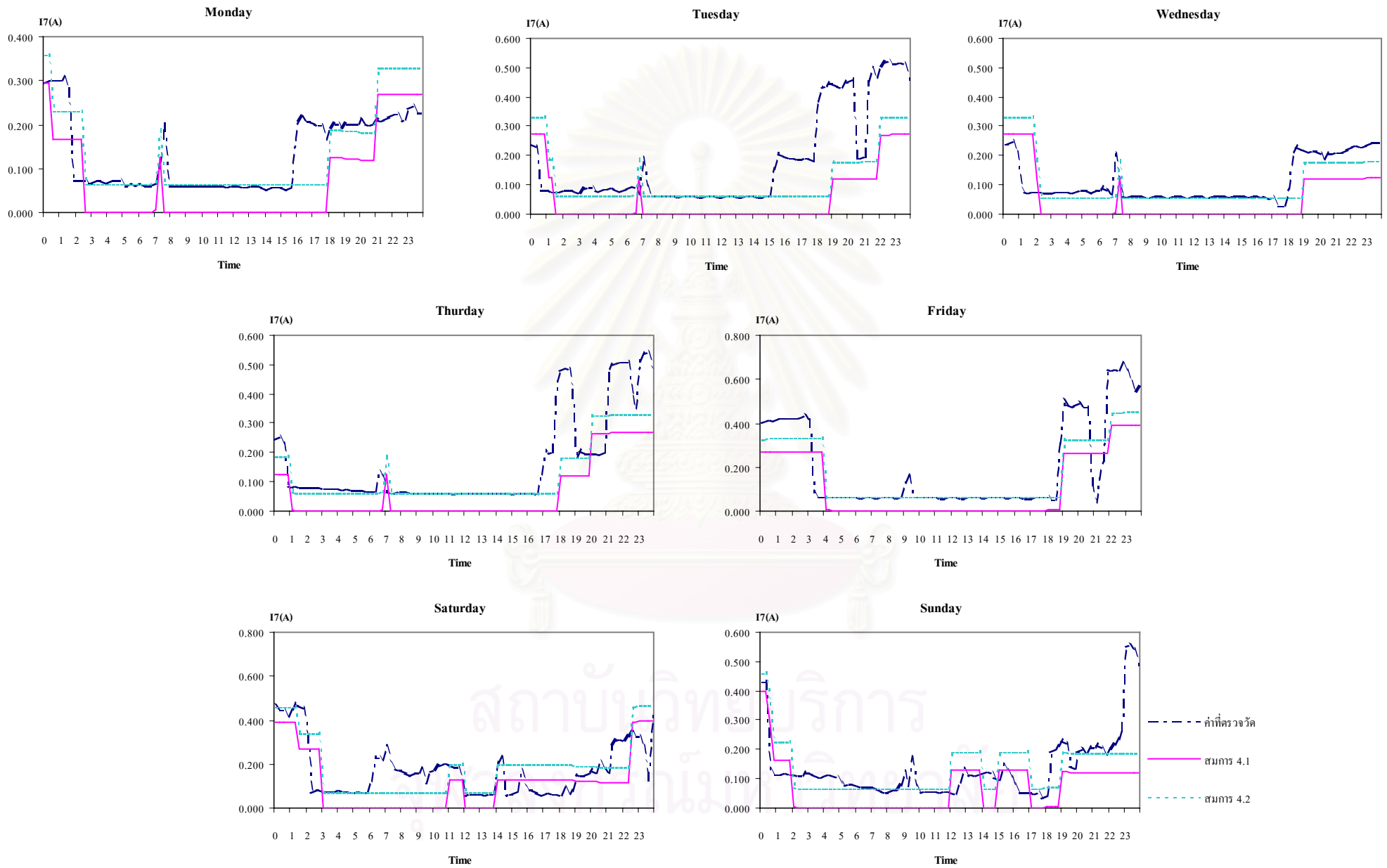




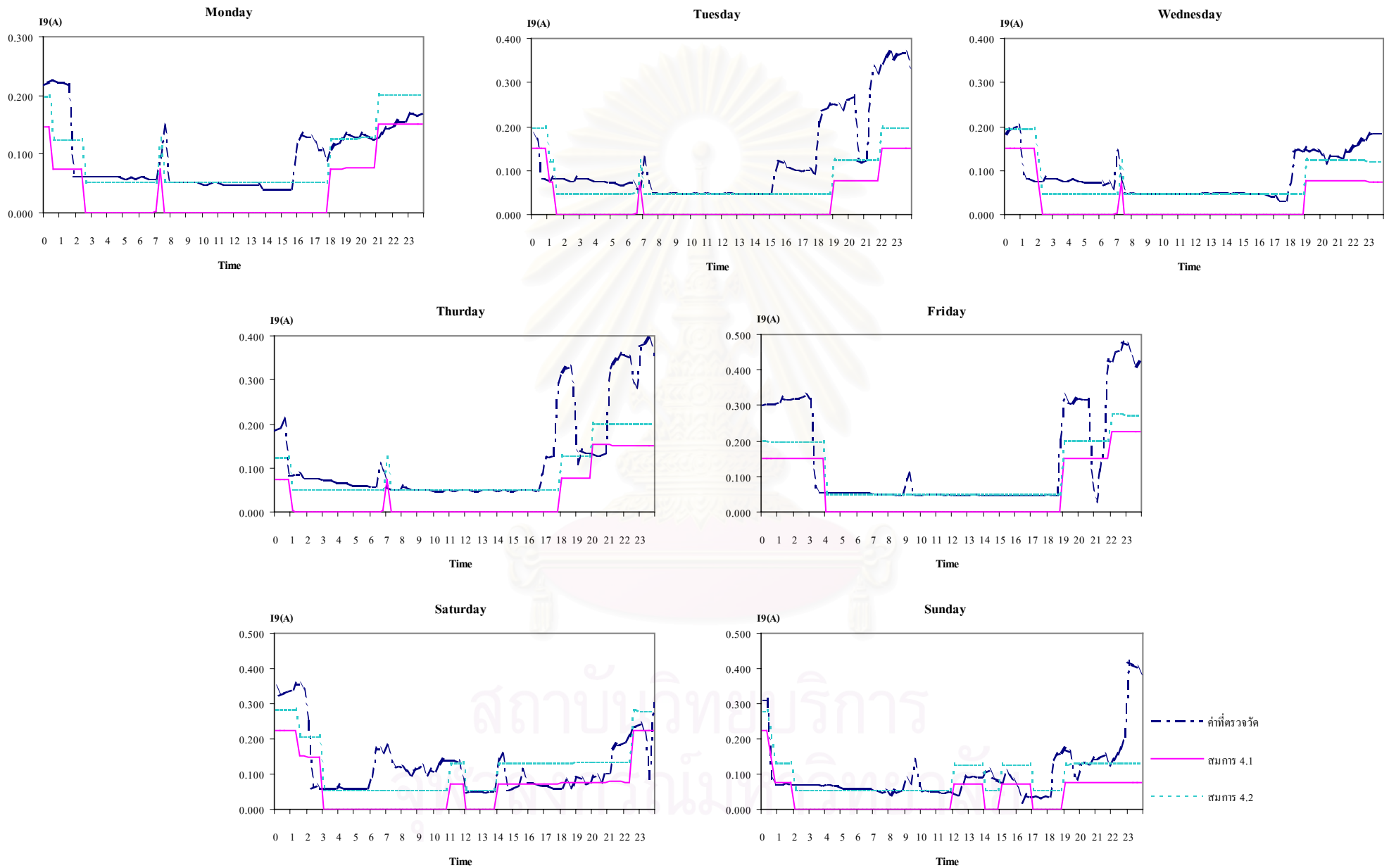
รูปที่ 4.8 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสความร้อนลำดับที่ 3 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 2



รูปที่ 4.9 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสความร้อนกล้าดับที่ 5 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 2



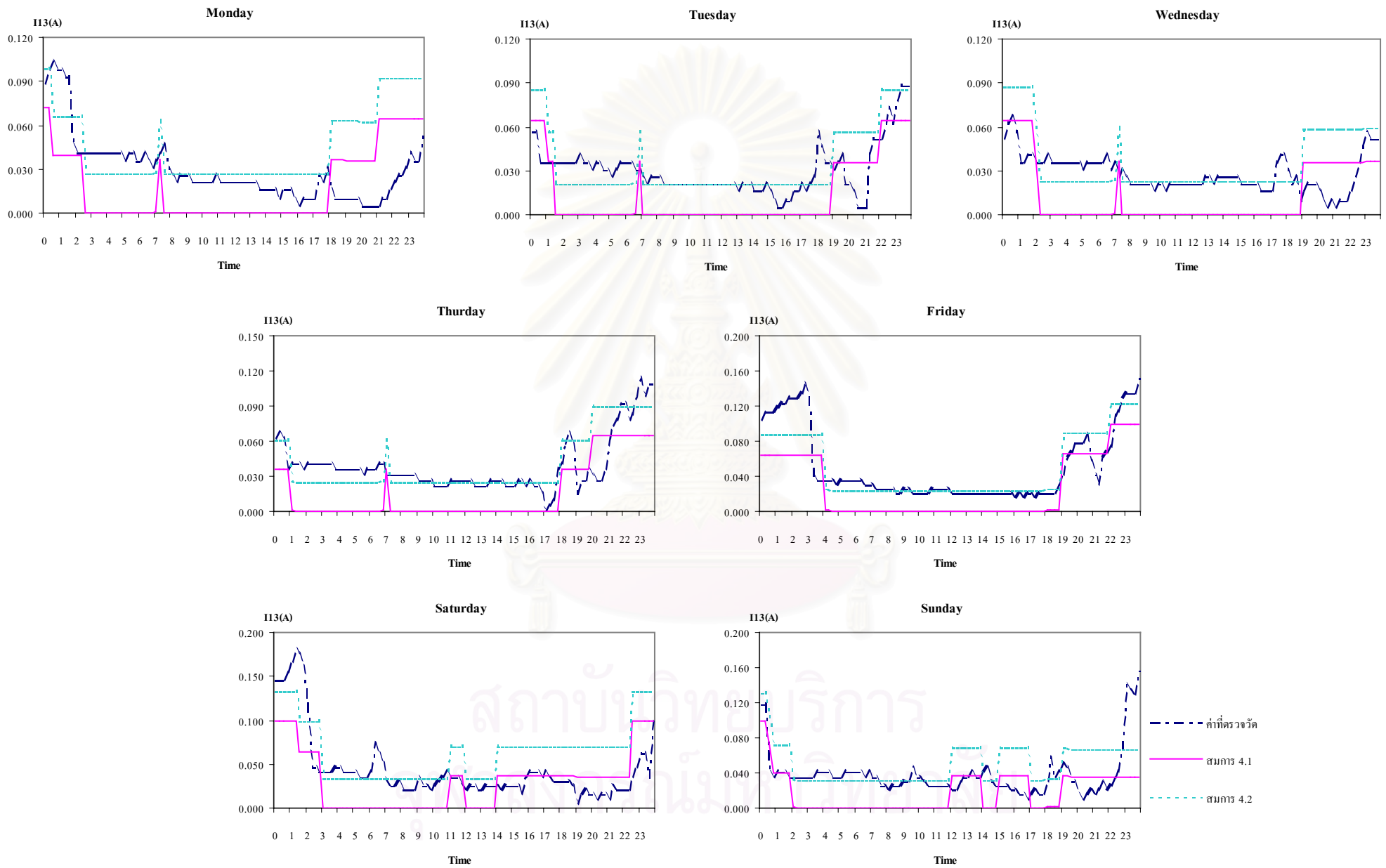
รูปที่ 4.10 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสความร้อนลำดับที่ 7 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 2



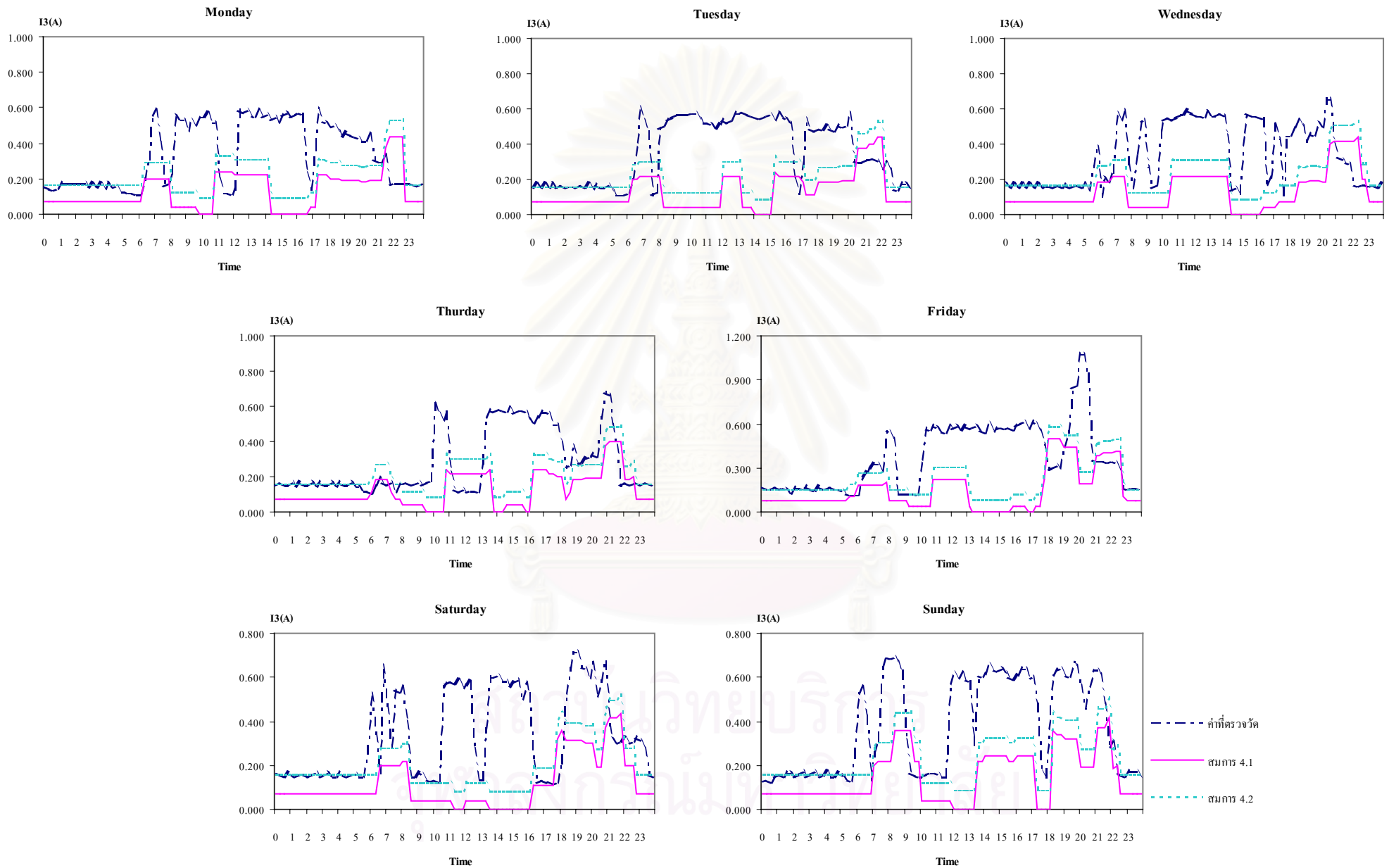
รูปที่ 4.11 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 9 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 2



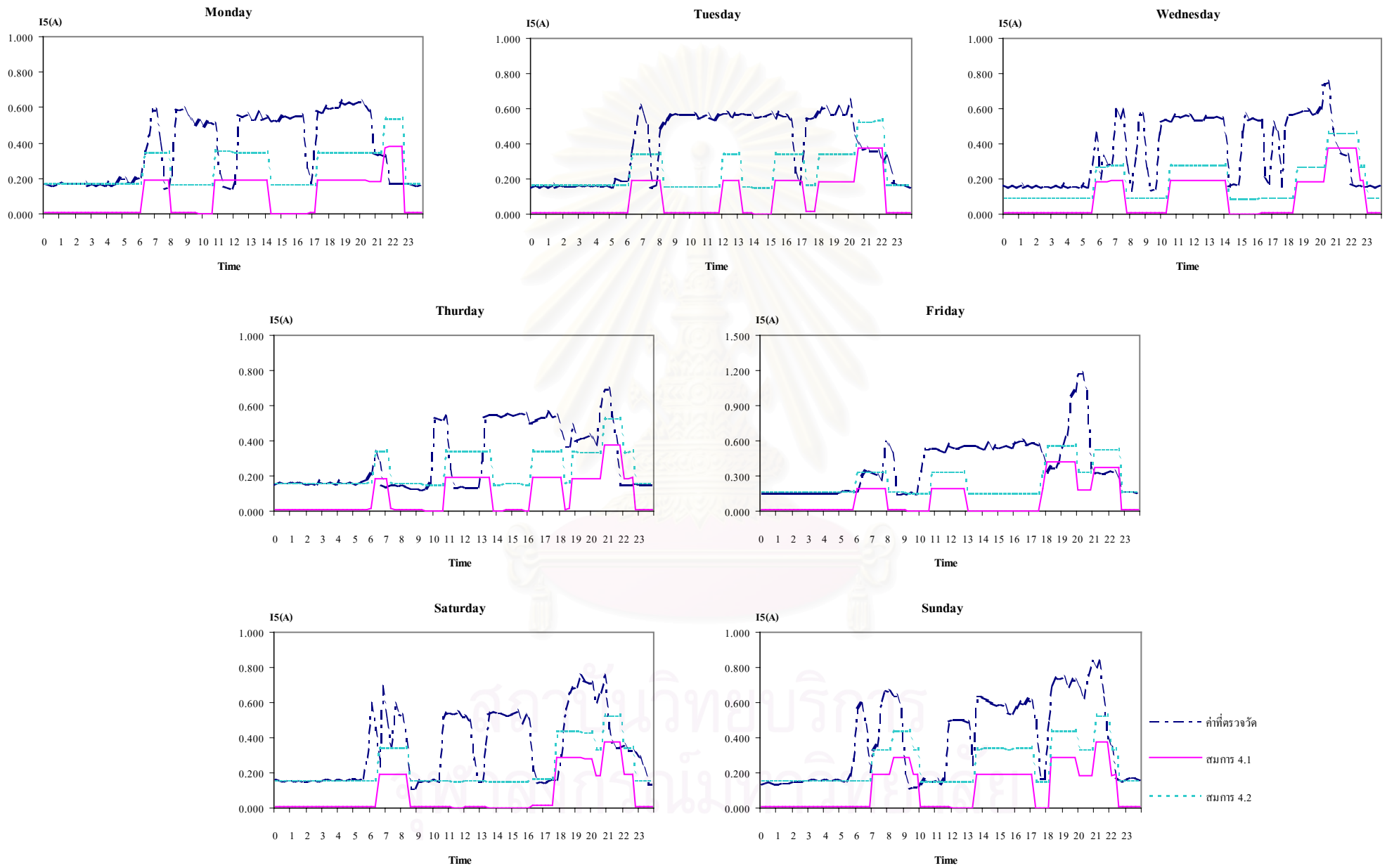
รูปที่ 4.12 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสความร้อนลำดับที่ 11 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 2



รูปที่ 4.13 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสรวมอนิกลำดับที่ 13 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 2

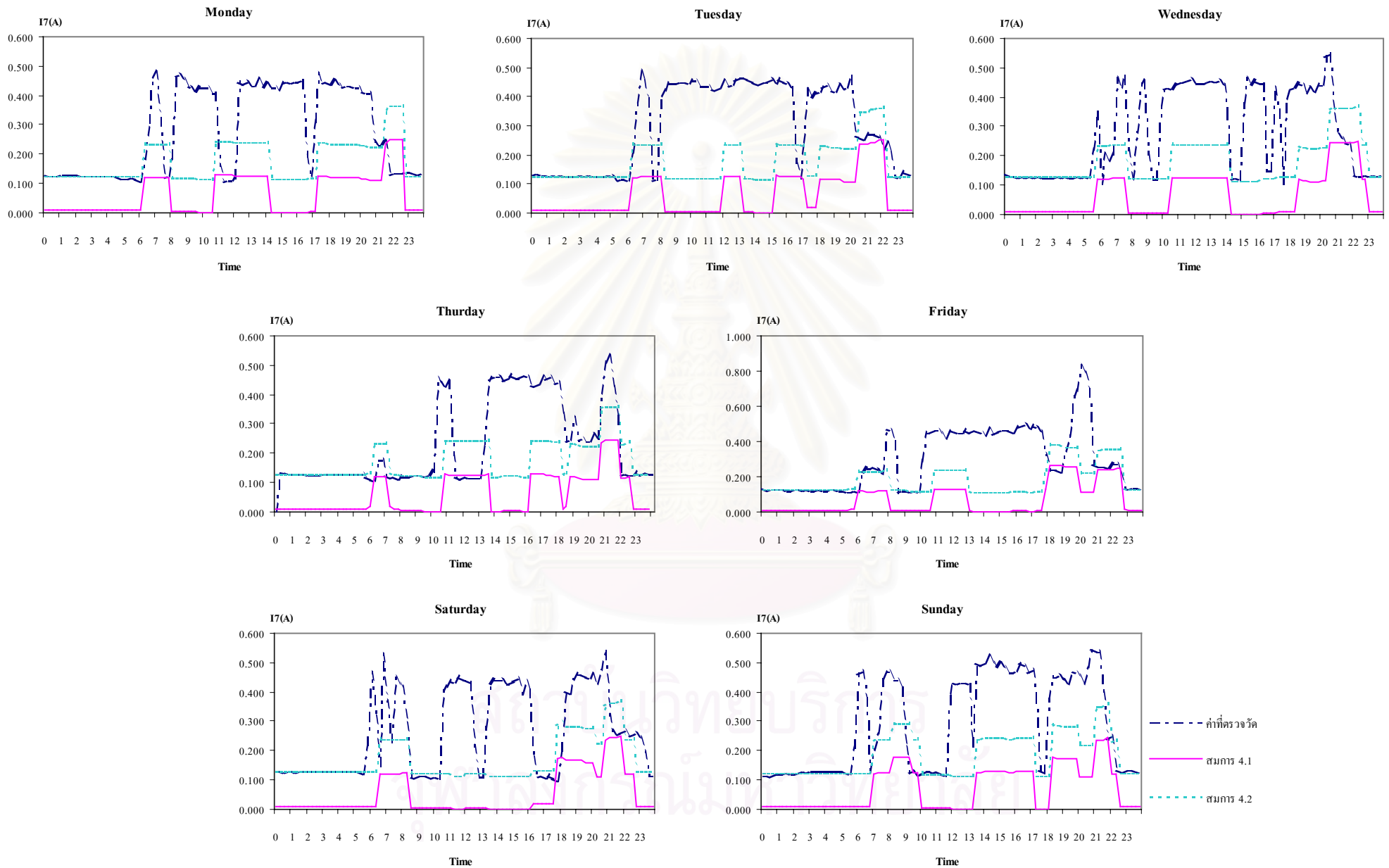


รูปที่ 4.14 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 3

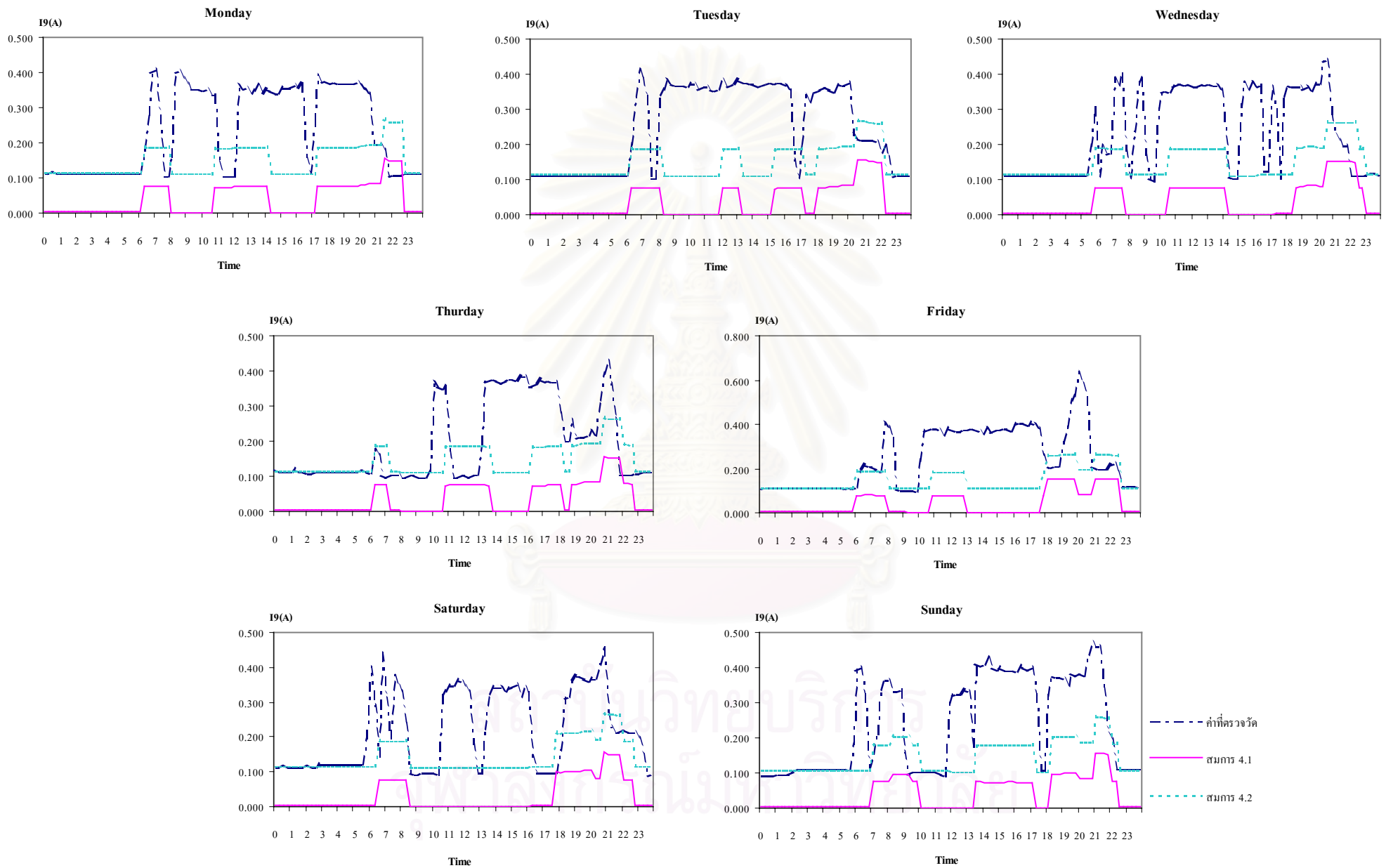


รูปที่ 4.15 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสความร้อนกลำดับที่ 5 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 3

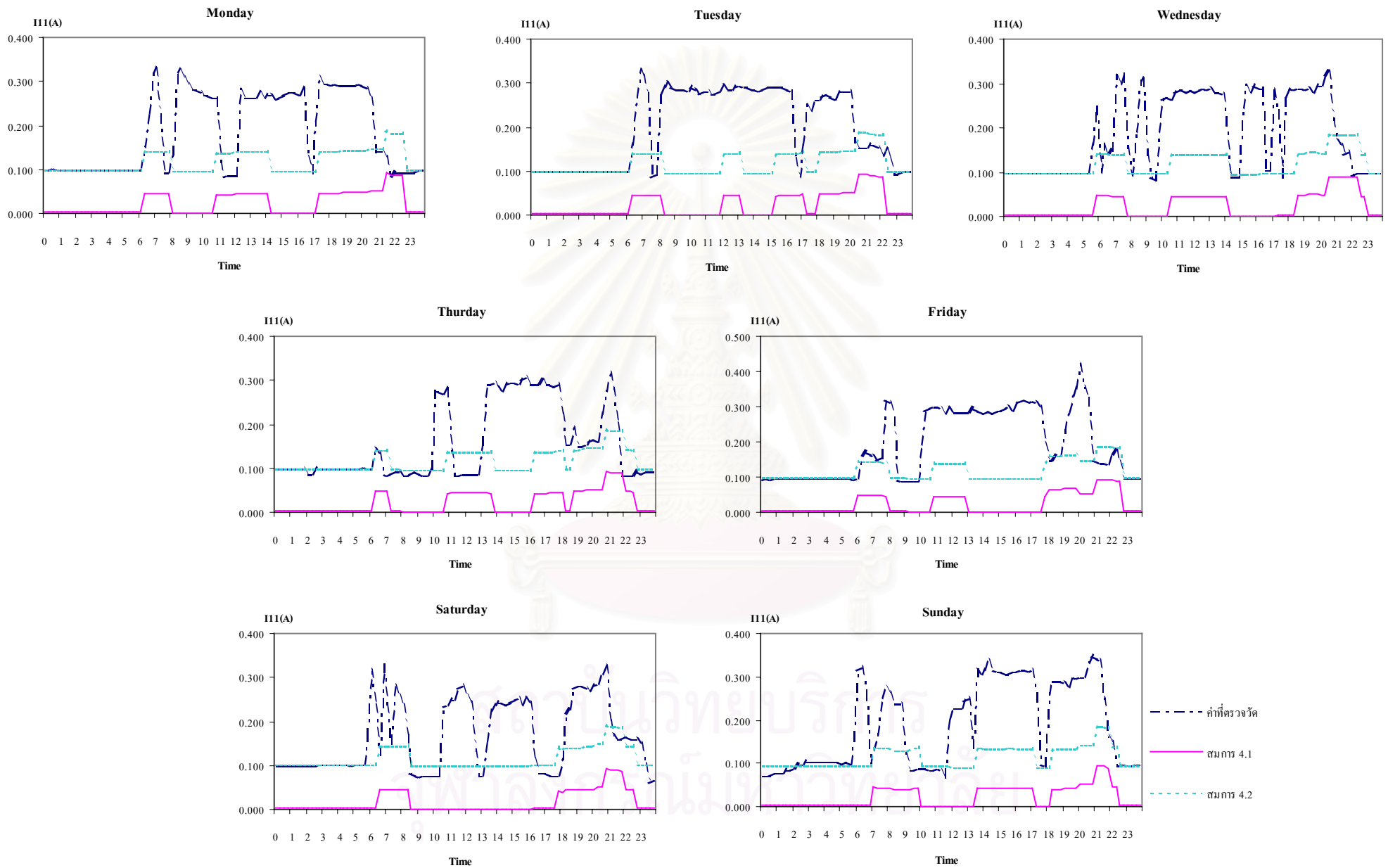




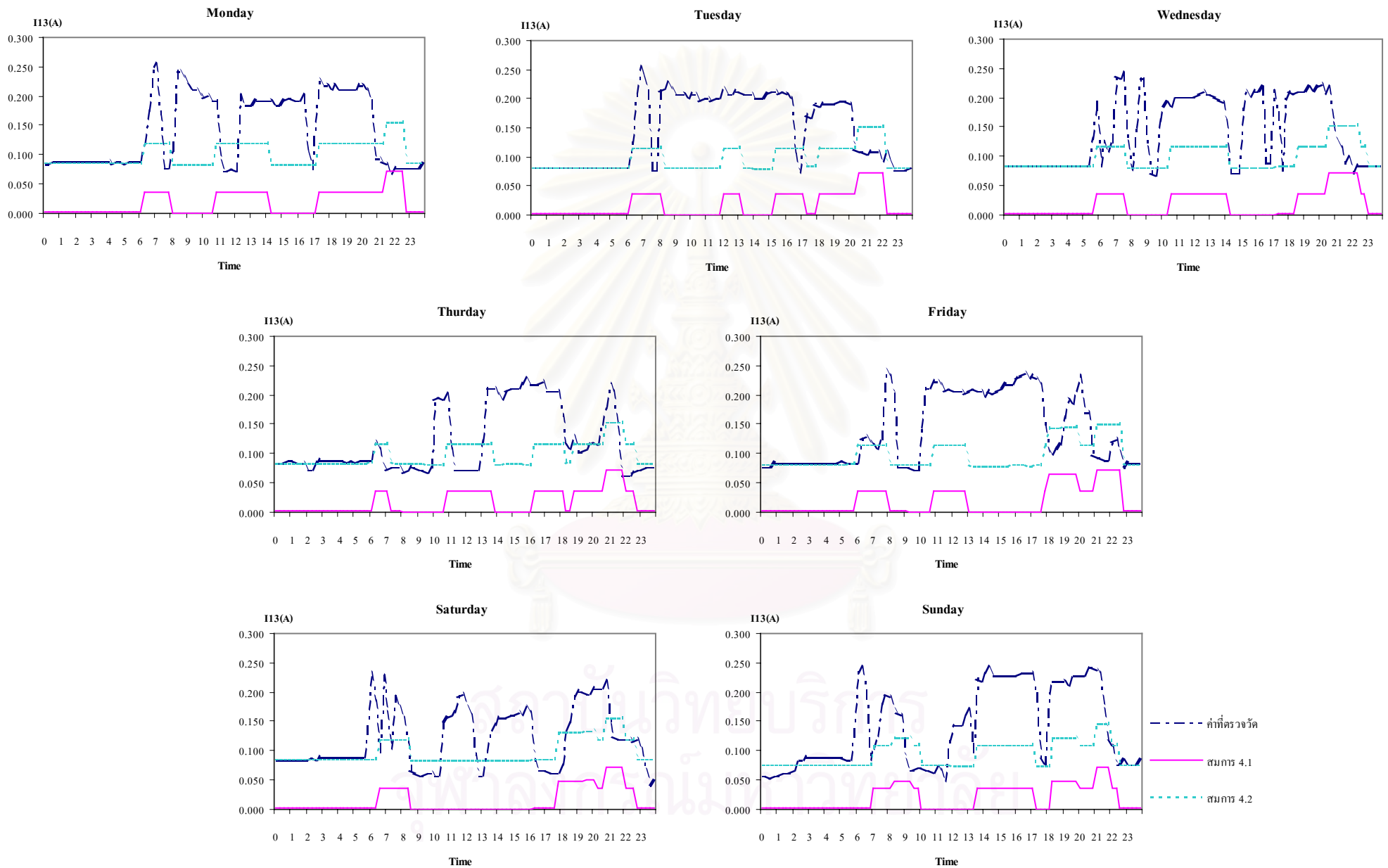
รูปที่ 4.16 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสความร้อนลำดับที่ 7 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 3



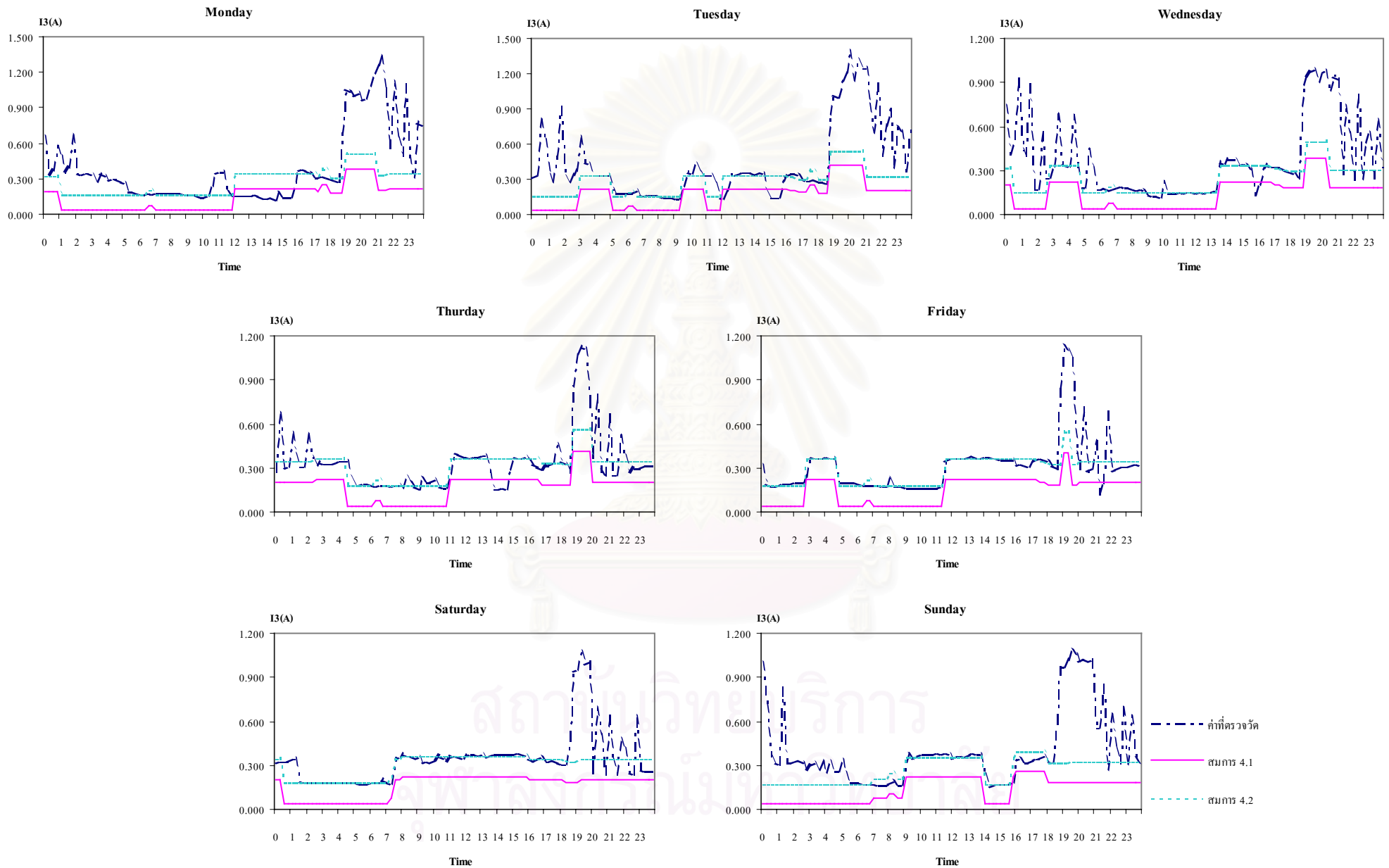
รูปที่ 4.17 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสสาร์โมนิกลำดับที่ 9 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 3



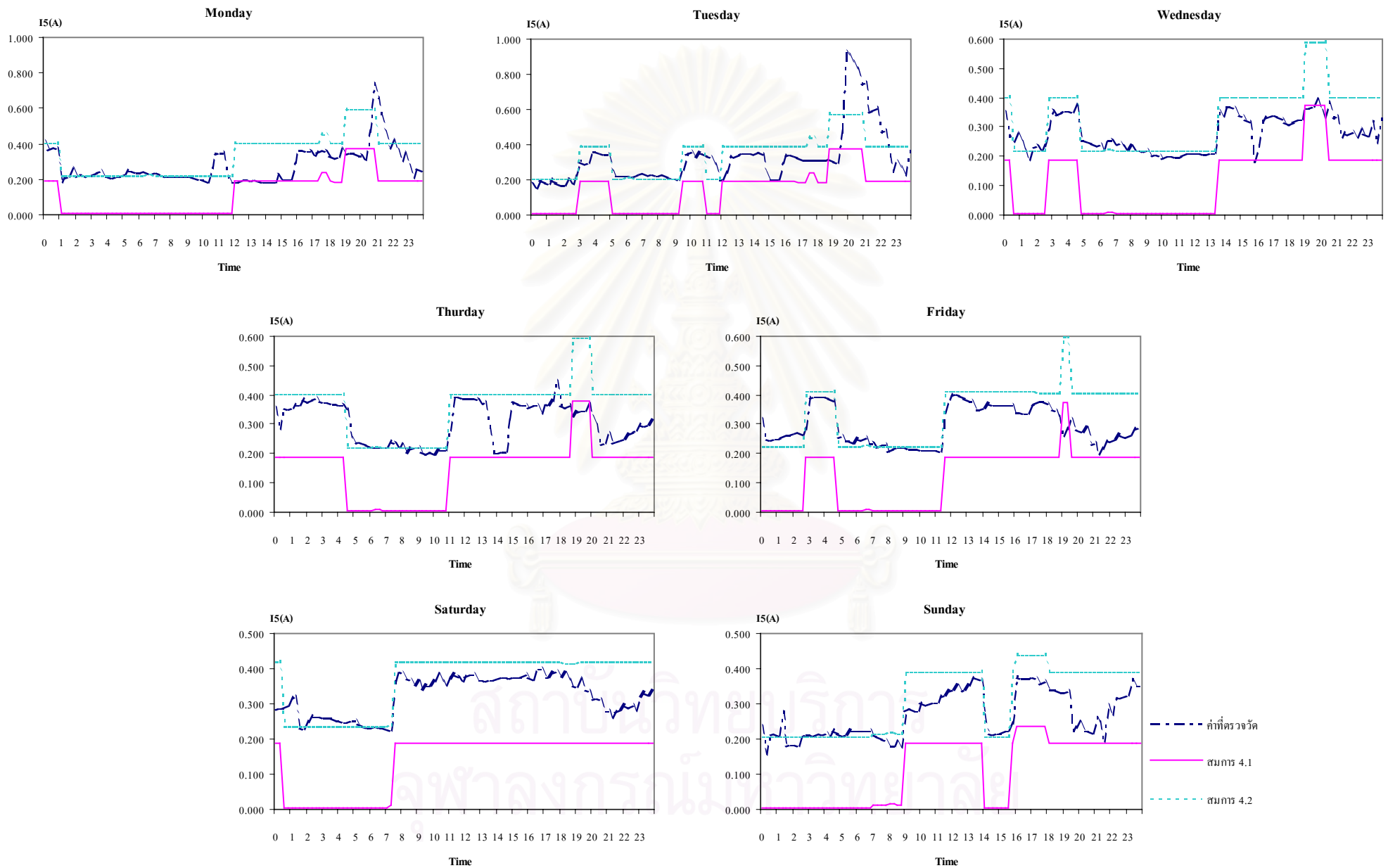
รูปที่ 4.18 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสความร้อนกล้าดับที่ 11 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 3



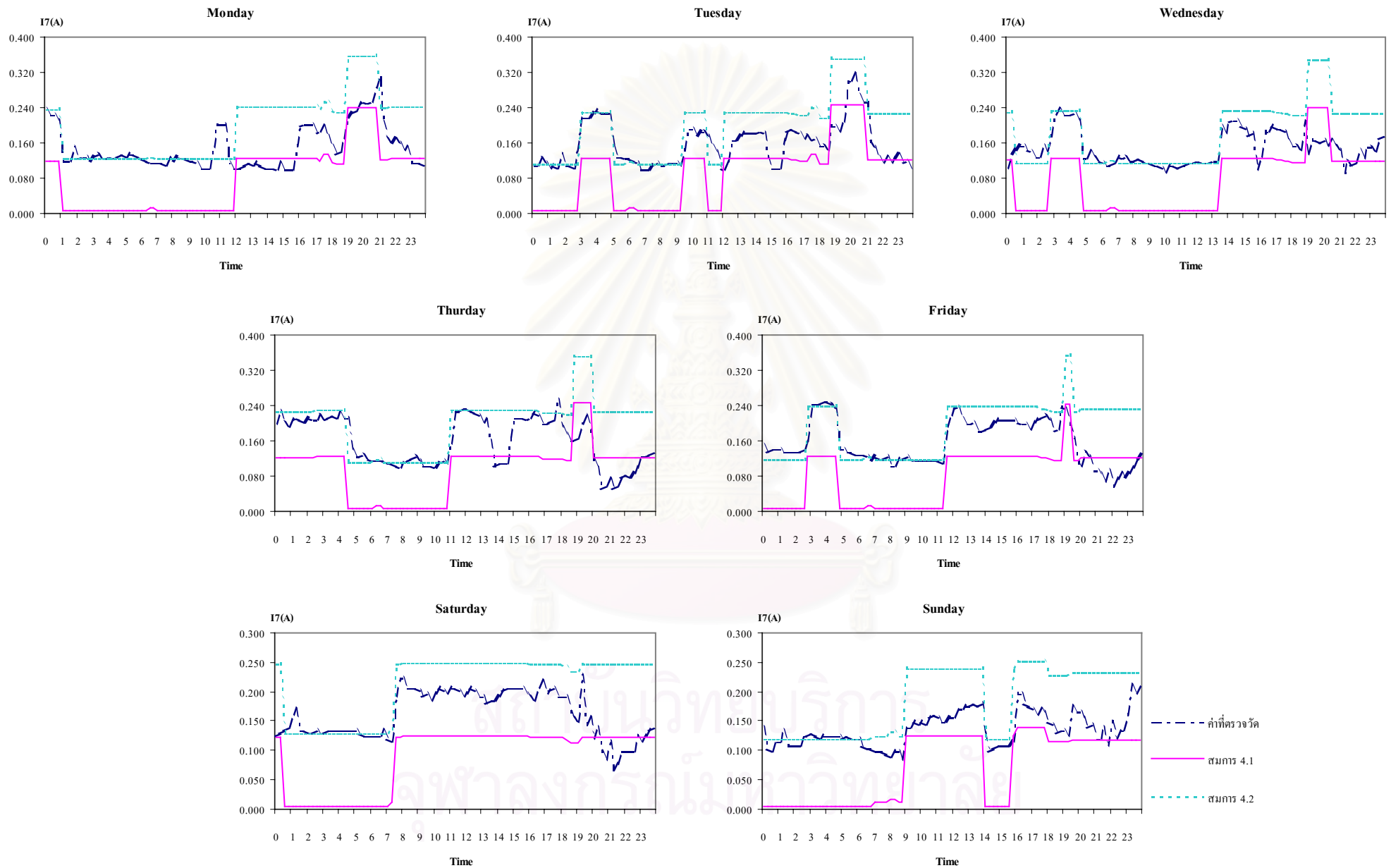
รูปที่ 4.19 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสความร้อนกล้าดับที่ 13 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 3



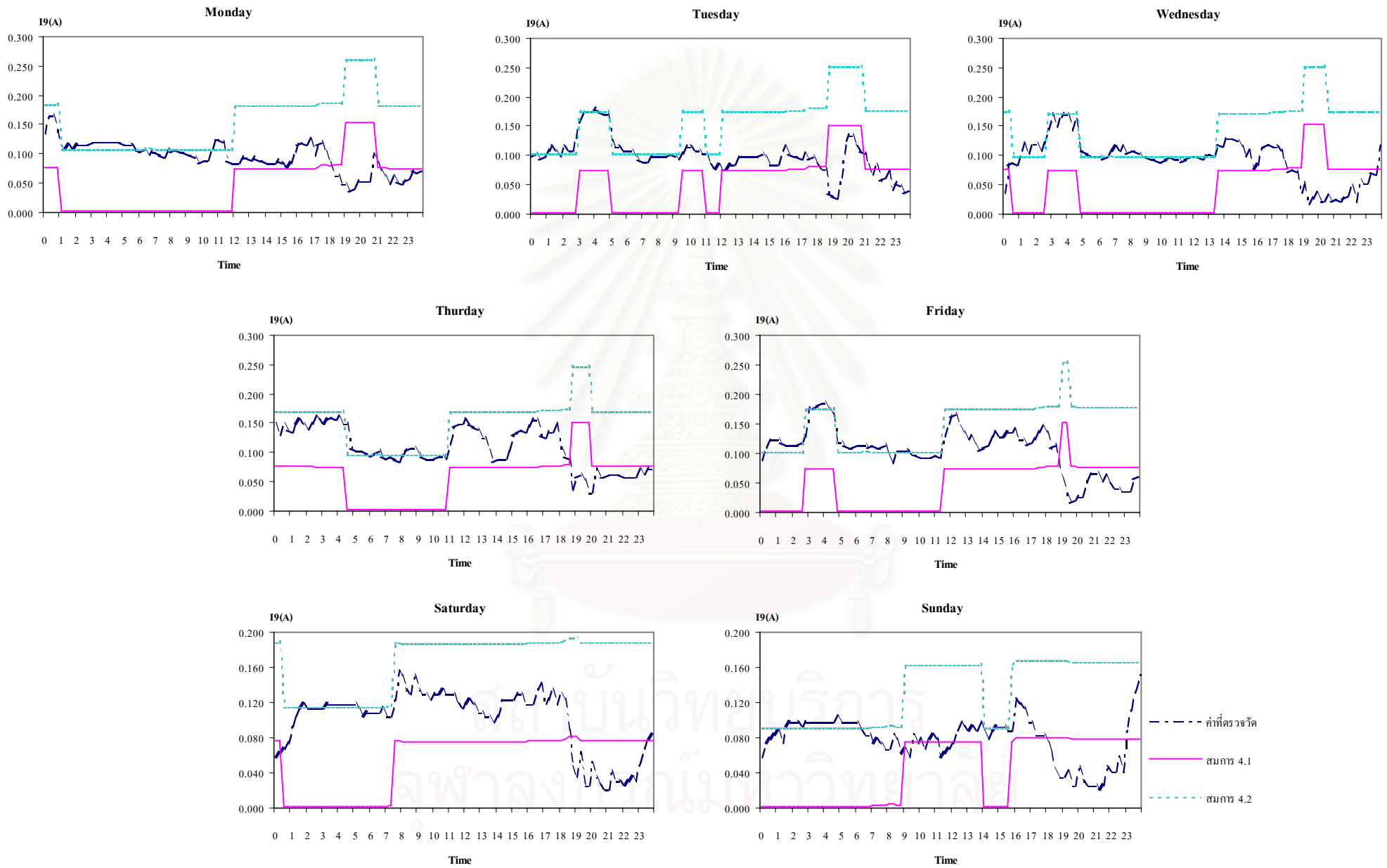
รูปที่ 4.20 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสความร้อนลำดับที่ 3 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 4



รูปที่ 4.21 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสความร้อนกลำดับที่ 5 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 4



รูปที่ 4.22 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสสารรบกวนลำดับที่ 7 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 4

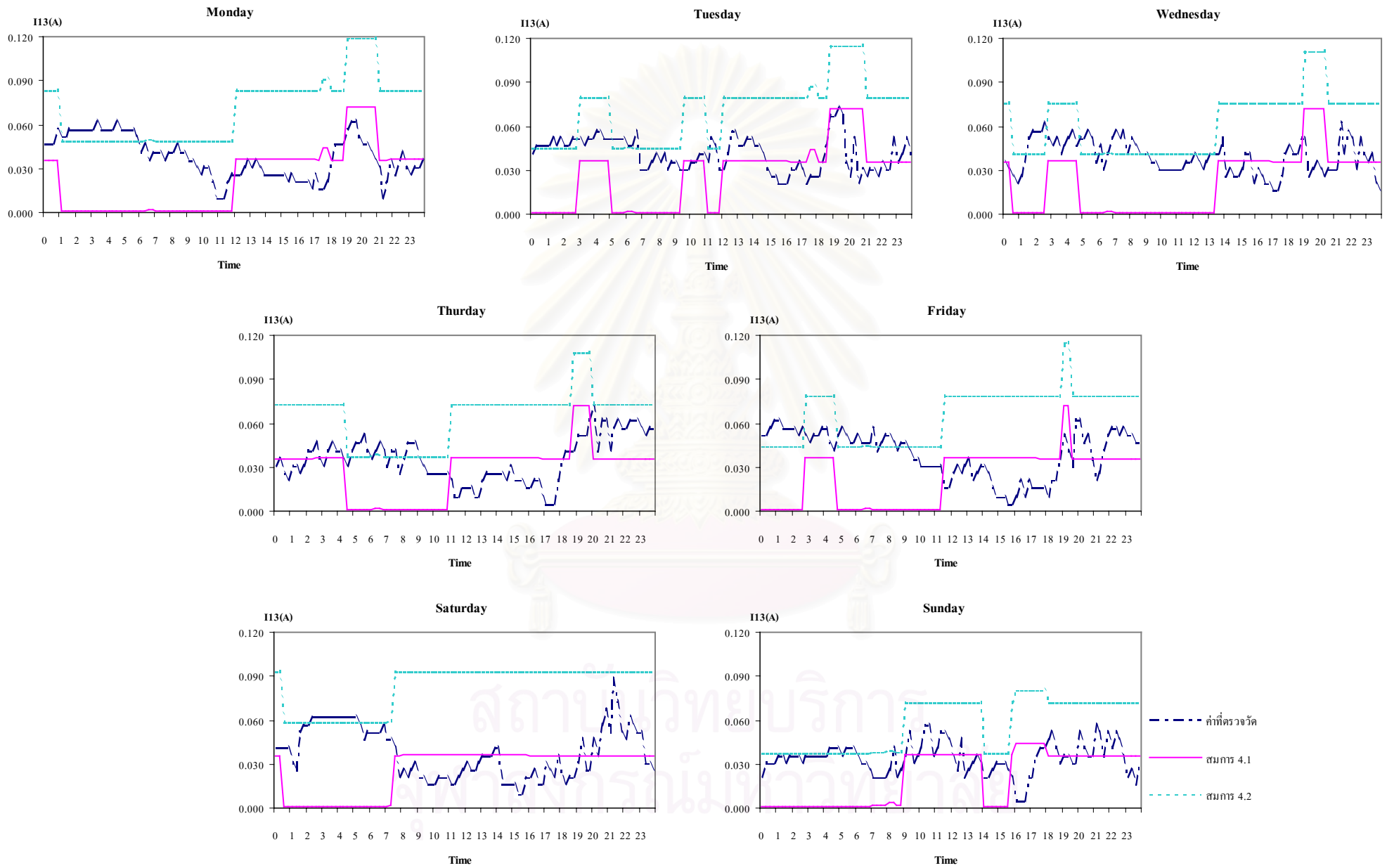


รูปที่ 4.23 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสสารมือนิกลำดับที่ 9 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 4





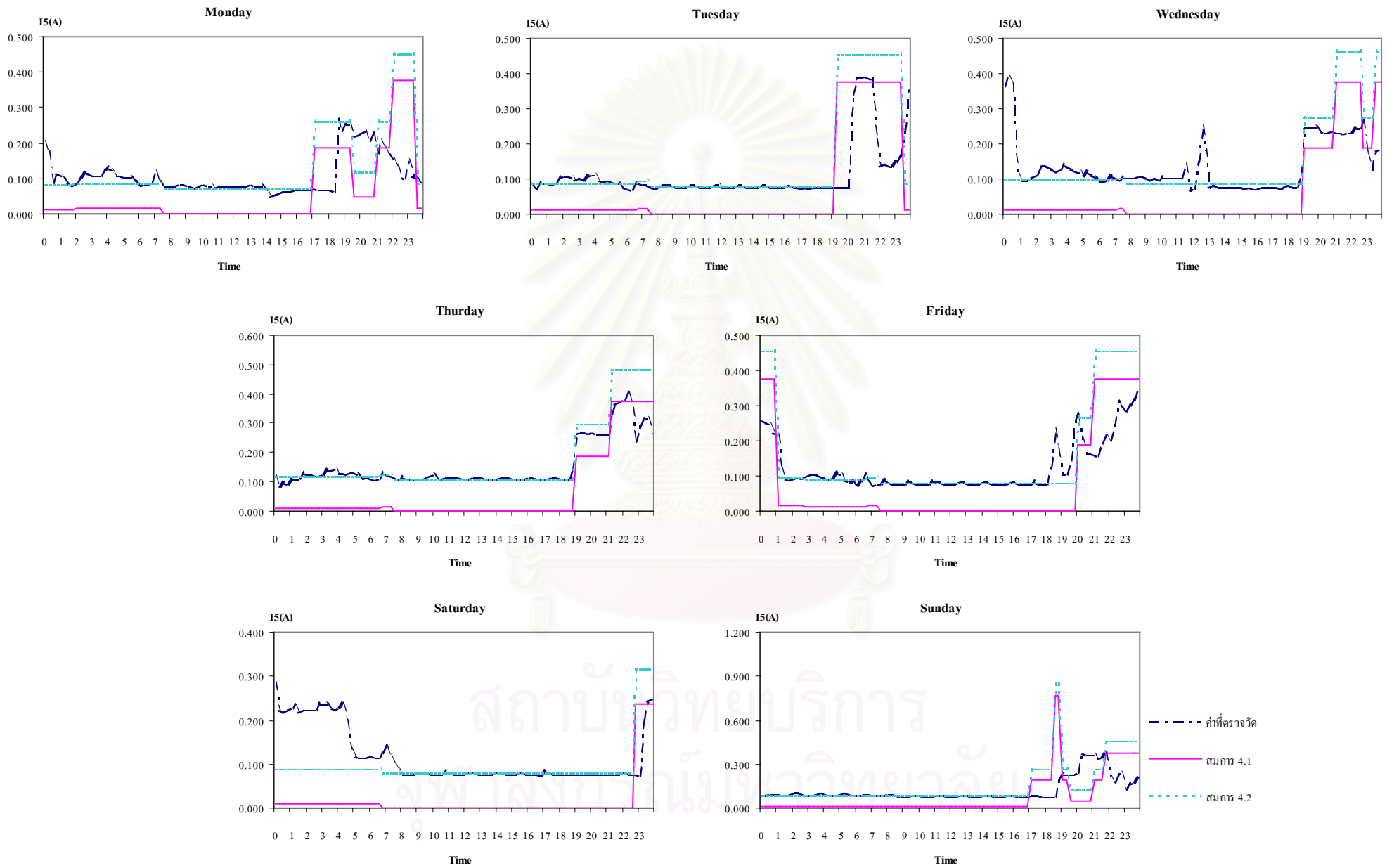
รูปที่ 4.24 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสความร้อนใกล้ระดับที่ 11 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 4



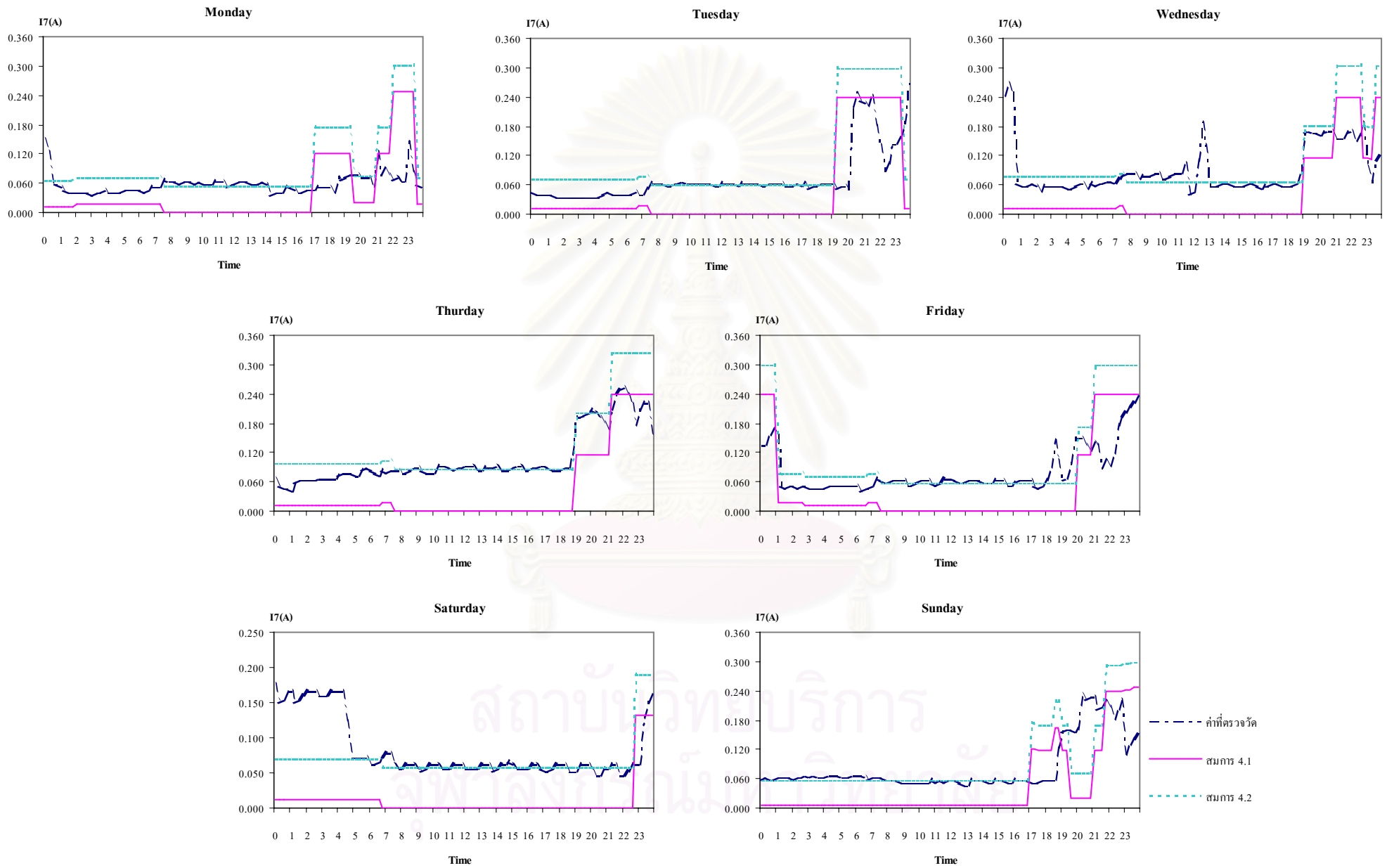
รูปที่ 4.25 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสความร้อนลำดับที่ 13 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 4



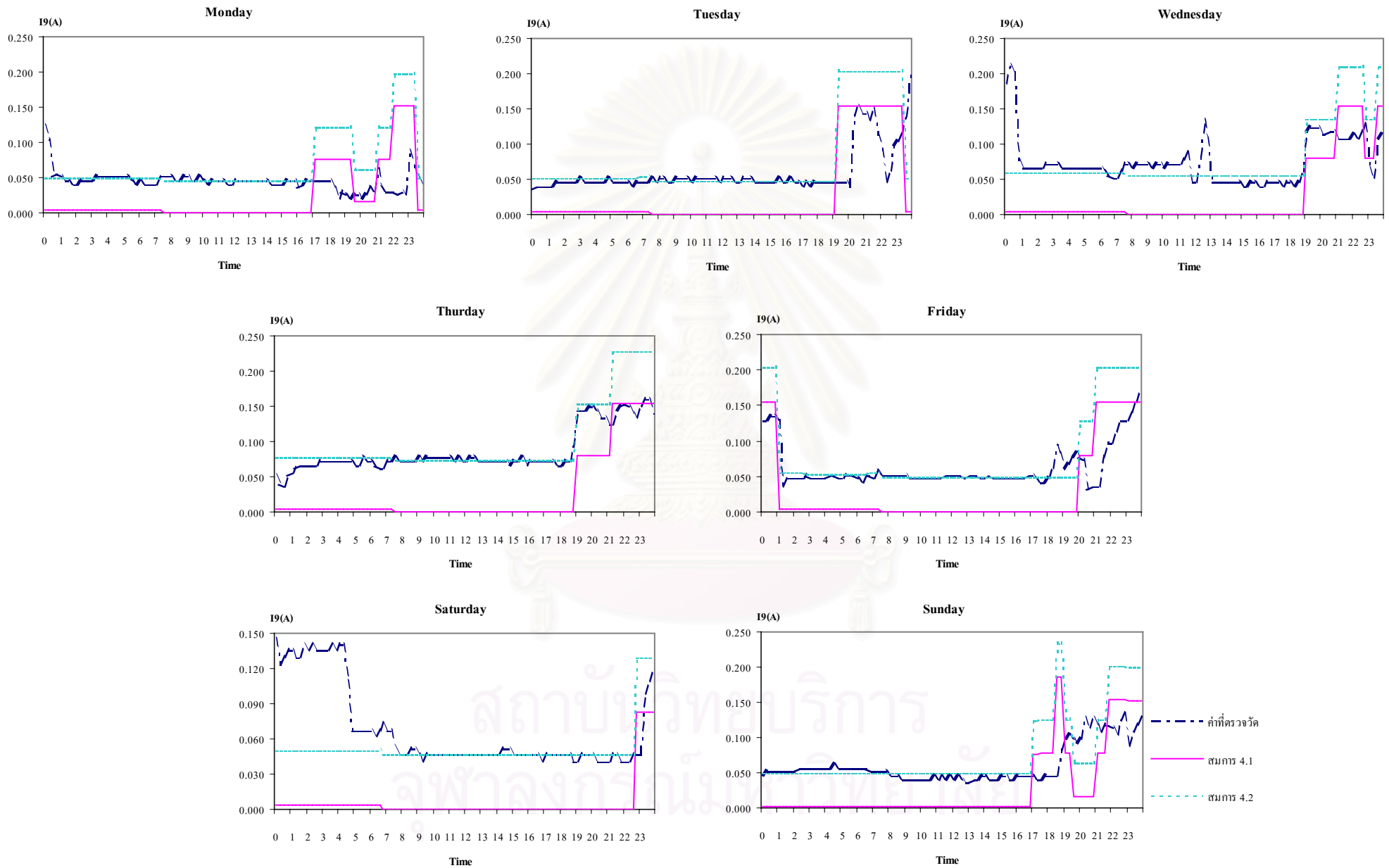
รูปที่ 4.26 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสสารรบกวนลำดับที่ 3 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 5



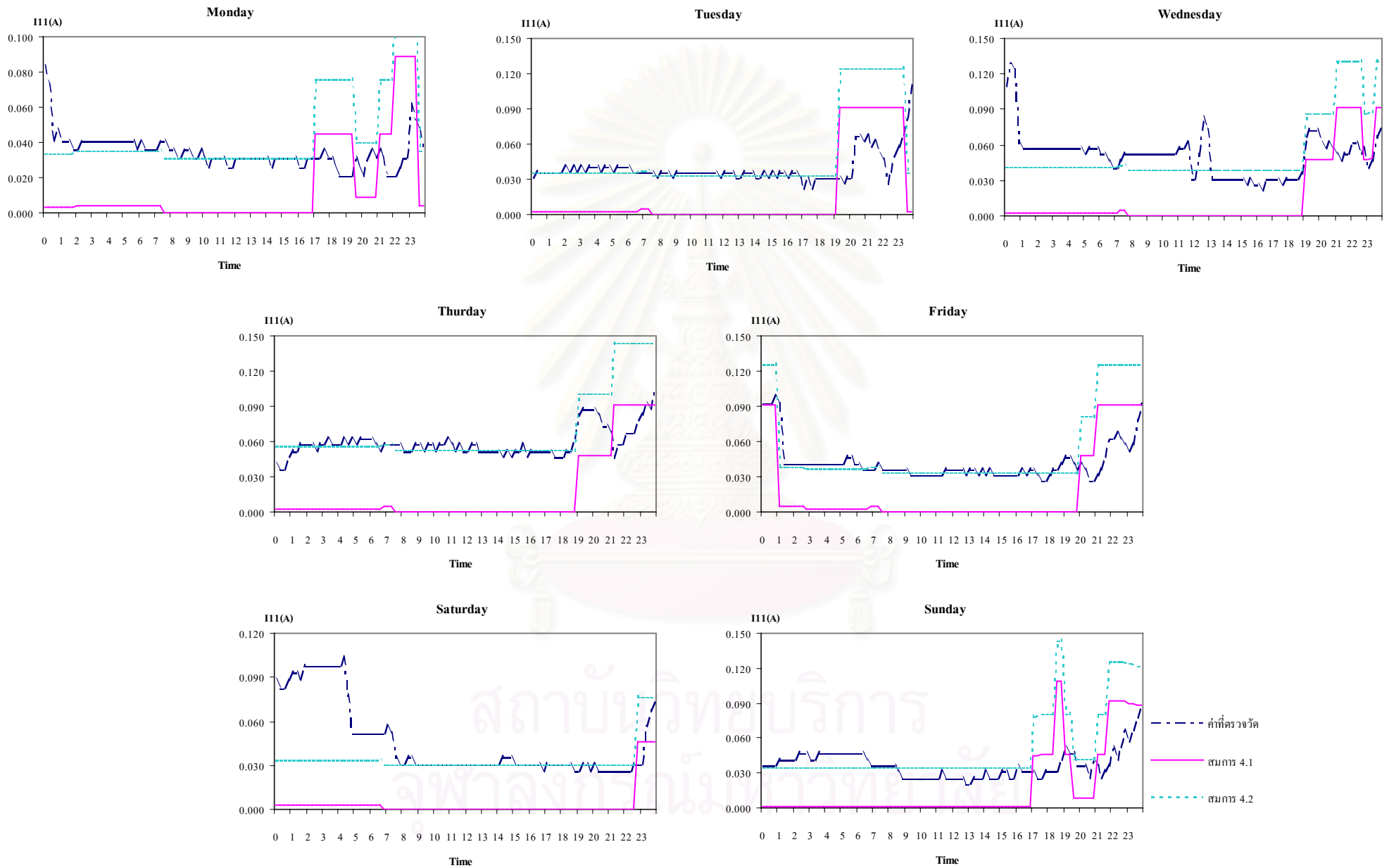
รูปที่ 4.27 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสสารรบกวนลำดับที่ 5 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 5



รูปที่ 4.28 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสความร้อนลำดับที่ 7 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 5



รูปที่ 4.29 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสสารรบกวนกลิ่นลำดับที่ 9 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 5



รูปที่ 4.30 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสความร้อนกล้าดับที่ 11 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 5



รูปที่ 4.31 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสรวมอนิกลำดับที่ 13 จากบ้านพักอาศัยหลังที่ 5



#### 4.4 วิเคราะห์และสรุปผลการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว

จากผลการตรวจวัด และผลการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยตัวอย่างแต่ละครอบครัว ทำให้สามารถวิเคราะห์และสรุปได้เป็นข้อๆ ดังนี้

1. ลักษณะเส้นภาระโหลดของค่าที่ประเมินได้ มีลักษณะแนวโน้มไปในแนวเดียวกับค่าที่ตรวจวัดได้โดยเฉพาะกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, 5, 7 และ 9 แต่กระแสฮาร์มอนิกในลำดับที่ 11 และ 13 จะพบว่าลักษณะเส้นภาระโหลดที่ตรวจวัดจากบ้านพักอาศัยบางครอบครัว จะแตกต่างจากเส้นภาระโหลดที่พบในกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่อื่นๆ และก็จะแตกต่างจากค่าที่ประเมินได้ด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีอยู่จริงของบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัวมีมุมเฟสของกระแสฮาร์มอนิกในลำดับที่ 11 และ 13 ที่มีการหักล้างกัน หรือเสริมกันแตกต่างจากค่าประเมินกระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดในบทที่ 3 แต่กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, 5, 7 และ 9 จะมีลักษณะที่เสริมกัน มีมุมเฟสของกระแสฮาร์มอนิกใกล้เคียงกับค่าที่ประเมินดังที่กล่าวมา

2. สำหรับปริมาณกระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัวที่ตรวจวัด เปรียบเทียบกับค่าที่ประเมินได้ ตามสมการที่ 4.1 จะพบว่าปริมาณกระแสฮาร์มอนิกที่ประเมินได้จะมีค่าต่ำกว่าค่าที่ตรวจวัดได้ แต่จะสังเกตได้ว่าในบางช่วงเวลาที่ค่าประเมินได้มีค่าเท่ากับ 0 นั่นคือช่วงเวลาที่เครื่องใช้ไฟฟ้าที่พิจารณามีได้ใช้งาน จะพบว่ากระแสฮาร์มอนิกส่วนหนึ่งเกิดขึ้นตามค่าที่ตรวจวัดได้ ซึ่งบอกได้ว่ามีเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ในบ้านพักอาศัยที่ไม่ได้พิจารณาถูกใช้งาน และก่อให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกด้วย ฉะนั้นในการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัวควรนำค่ากระแสฮาร์มอนิกส่วนนี้มาพิจารณาด้วย ดังสมการที่ 4.2

$$i_h(t) = \left| \sum_{k=1}^n [N_k(t) \cdot DF_{h,k}^{-1} \cdot \hat{i}_{h,k}] \right| + i_{nl,h} \quad (4.2)$$

- โดยที่  $i_h$  คือ ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกรวมเฉลี่ย ลำดับที่  $h$  ณ ช่วงเวลา  $t$   
 $N_k$  คือ จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิด  $k$  ที่มีการใช้งาน ณ ช่วงเวลา  $t$   
 $DF_{h,k}$  คือ ตัวประกอบการหักล้างของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่  $h$  ของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิด  $k$   
 $\hat{i}_{h,k}$  คือ ปริมาณทางเวกเตอร์กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่  $h$  จากเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิด  $k$   
 $i_{nl,h}$  คือ ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่  $h$  จากเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ที่มิได้พิจารณา

3. ตามผลการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว ดังสมการที่ 4.2 จะพบว่าปริมาณกระแสฮาร์มอนิกที่ประเมินได้มีค่าสูงขึ้น และเข้าใกล้ค่าที่ตรวจวัดมากขึ้น แต่ก็ยังมีค่าต่ำกว่าค่าที่ตรวจวัดได้เป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะค่ากระแสฮาร์มอนิกในลำดับต้นๆ ซึ่งอาจเกิดจากเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้งานจริงในบ้านพักอาศัยตัวอย่างมีปริมาณกระแสฮาร์มอนิกในลำดับนั้นๆ สูงกว่าที่ประเมินได้ หรืออาจจะมีเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ที่มิได้พิจารณาถูกใช้งาน ณ ช่วงเวลานั้นๆ ด้วย และอาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนในการบันทึกพฤติกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละครอบครัว

4. สำหรับปริมาณกระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ที่มิได้พิจารณาในแต่ละลำดับที่ตรวจวัดจากบ้านพักอาศัยตัวอย่าง สามารถประมาณค่ากระแสฮาร์มอนิกแต่ละลำดับโดยเฉลี่ยได้ดังนี้

ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 โดยเฉลี่ย ประมาณ 0.094 แอมแปร์  
ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 โดยเฉลี่ย ประมาณ 0.088 แอมแปร์  
ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 7 โดยเฉลี่ย ประมาณ 0.064 แอมแปร์  
ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 9 โดยเฉลี่ย ประมาณ 0.054 แอมแปร์  
ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 11 โดยเฉลี่ย ประมาณ 0.040 แอมแปร์  
ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 13 โดยเฉลี่ย ประมาณ 0.027 แอมแปร์

ซึ่งค่าประมาณเหล่านี้จะนำไปใช้ในการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียว ในบทที่ 5 ต่อไป

ฉะนั้น ผลจากการวิเคราะห์ สามารถยืนยันได้ว่าการสอบถามพฤติกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ทำให้สามารถประเมินลักษณะเส้นภาระโหลดได้ว่ามีลักษณะแนวโน้มไปในทางเดียวกับที่ว่าจะเกิดขึ้น และยังบ่งบอกได้ว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ในบ้านพักอาศัยที่มิได้พิจารณา เป็นตัวสร้างกระแสฮาร์มอนิก ด้วยเช่นกัน จึงควรนำกระแส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### การประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียว

จากผลการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด และผลการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว ทำให้สามารถเห็นผลของการหักล้างของกระแสฮาร์มอนิกในเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดเดียวกันที่ทำงานพร้อมกันหลายๆเครื่อง และยังทำให้เห็นแนวโน้มลักษณะเส้นภาระโหลด (Load Curve) ที่ได้จากการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยโดยอาศัยพฤติกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆของผู้บริโภค ซึ่งมีลักษณะสอดคล้องกับที่ตรวจวัดได้ จึงนำมาสู่วิธีการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียวกัน โดยต้องอาศัยข้อมูลที่ได้จากการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกทั้งสองส่วนในบทที่ผ่านมา ดังจะกล่าวต่อไป

#### 5.1 การประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียว

การประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียวกันนั้น จะต้องคำนึงถึงพฤติกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด และความเป็นไปได้ในการถือครองเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดของกลุ่มบ้านพักอาศัย ดังนั้นการคำนวณหาค่าปริมาณกระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัย จึงสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 5.1

$$i_h(t) = \left| \sum_{k=1}^n [PF_k \cdot UF_k(t) \cdot \hat{i}_{h,k}] \right| + (DF_h \cdot i_{nl,h}) \quad (5.1)$$

โดยที่  $i_h$  คือ ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกรวมเฉลี่ยต่อครอบครัว ลำดับที่  $h$  ณ ช่วงเวลา  $t$

$PF_k$  คือ ตัวประกอบการถือครองเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิด  $k$  (Penetration Factor)

$UF_k$  คือ ตัวประกอบการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิด  $k$  (Utilization Factor) ณ ช่วงเวลา  $t$

$\hat{i}_{h,k}$  คือ ปริมาณทางเวกเตอร์กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่  $h$  จากเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิด  $k$

$DF_h$  คือ ตัวประกอบการหักล้างของกระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยลำดับที่  $h$  (Diversity Factor)

$i_{nl,k}$  คือ ค่าคงที่กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่  $h$  ขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าที่พิจารณามีได้ใช้งาน

### การหาค่า $PF_k$

ค่า  $PF_k$  ได้มาจากการสำรวจกลุ่มบ้านพักอาศัยตัวอย่าง ว่ามีการถือครองเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดมากน้อยเพียงใด ซึ่งอาจเป็นค่าที่ได้จากสำนักงานสถิติแห่งชาติก็ได้ โดยค่า  $PF_k$  จะบ่งบอกถึงโอกาสที่จะพบเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดในบ้านพักอาศัยแต่ละหลัง

### การหาค่า $UF_k$

ค่า  $UF_k$  ได้จากการสำรวจพฤติกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดของกลุ่มบ้านพักอาศัยตัวอย่างในช่วงเวลาต่างๆ (อาจเป็น ทุกๆ 15 นาที หรือ ทุกๆ 30 นาที) ดังนั้นค่า  $UF_k$  จึงเป็นค่าบ่งบอกถึงโอกาสการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งหาได้จากสมการที่ 5.2

$$UF_k(t) = \frac{\sum Con}{\sum C} \quad (5.2)$$

โดยที่  $\sum Con$  คือ จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิด  $k$  ทั้งหมดที่ใช้งาน ณ ช่วงเวลา  $t$

$\sum C$  คือ จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิด  $k$  ทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง

### การหาค่า $\hat{i}_{h,k}$

ค่าของ  $\hat{i}_{h,k}$  ได้แก่ปริมาณทางเวกเตอร์กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่  $h$  ของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ( $k$ ) ที่ประมาณการได้จากบทที่ 2 ซึ่งมีทั้งค่าของขนาด และมุมเฟส (เทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่มูลฐาน) โดยค่าประมาณดังกล่าวได้พิจารณาผลการหักล้างของกระแสฮาร์โมนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดเดียวกันที่ใช้งานพร้อมกันแล้ว

### การหาค่า $DF_h$

ค่า  $DF_h$  เป็นค่าตัวประกอบหักล้างของกระแสฮาร์โมนิกเฉลี่ย ที่เกิดจากความแตกต่างมุมเฟสของโหลดชนิดเดียวกัน เพื่อนำมาลดทอนส่วนของกระแสฮาร์โมนิกในสภาวะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าที่พิจารณาไม่ได้ทำงาน ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ได้สรุปไว้แล้ว ในบทที่ 3

### การหาค่า $i_{nl,h}$

ค่า  $i_{nl,h}$  คือปริมาณกระแสฮาร์โมนิกเฉลี่ย ลำดับที่  $h$  ในสภาวะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าที่พิจารณาไม่ได้ทำงาน ซึ่งค่าดังกล่าวได้จากผลการตรวจวัดปริมาณกระแสฮาร์โมนิกจากบ้านพักอาศัยตัวอย่างแล้วพิจารณาเฉพาะในช่วงเครื่องใช้ไฟฟ้าที่พิจารณาไม่ได้ใช้งาน ซึ่งค่า  $i_{nl,h}$  นี้ได้สรุปไว้ในบทที่ 4

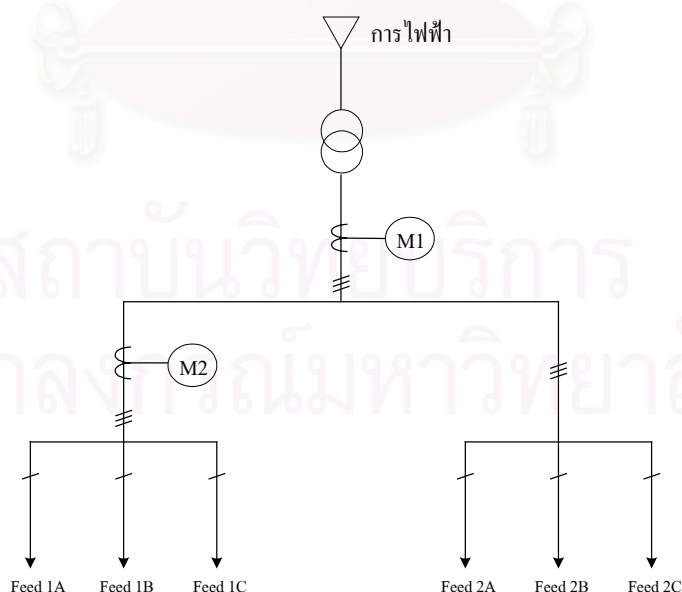
## 5.2 การสำรวจการใช้งาน และการตรวจวัดกระแสฮาร์โมนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัย

### 5.2.1 การสำรวจพฤติกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า

ในการประเมินค่ากระแสฮาร์โมนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัย จะต้องทราบถึงค่าตัวประกอบการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด และค่าตัวประกอบการถือครองเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ซึ่งค่าเหล่านี้สามารถได้มาจากการสำรวจจากกลุ่มบ้านพักอาศัย โดยการบันทึกของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละครอบครัวในกลุ่มบ้านพักอาศัยตัวอย่าง ทั้งสิ้น 55 ครอบครัว ตามแบบฟอร์มสำรวจเช่นเดียวกับการประเมินกระแสฮาร์โมนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว

### 5.2.2 การตรวจวัดกระแสฮาร์โมนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว

การตรวจวัดข้อมูลจะทำการตรวจวัดปริมาณกระแสฮาร์โมนิกจากทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าที่จ่ายให้เฉพาะผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัย ซึ่งได้ทำการตรวจวัด 2 จุด ดังแสดงตำแหน่งการวัดในรูปที่ 5.1 โดยจะทำการตรวจวัดตลอดช่วงเวลา 7 วัน แบ่งเป็นช่วงเวลาทุกๆ 15 นาที ในแต่ละวัน เช่นเดียวกับบทที่ 4 สำหรับค่าที่เครื่องมือวัดบันทึก ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับค่าประเมินนั้น จะเป็นค่าเฉลี่ยของกระแสฮาร์โมนิกในแต่ละช่วง 15 นาที ในลำดับฮาร์โมนิกที่ 3, 5, 7, 9, 11 และ 13



รูปที่ 5.1 การตรวจวัดปริมาณกระแสฮาร์โมนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัย

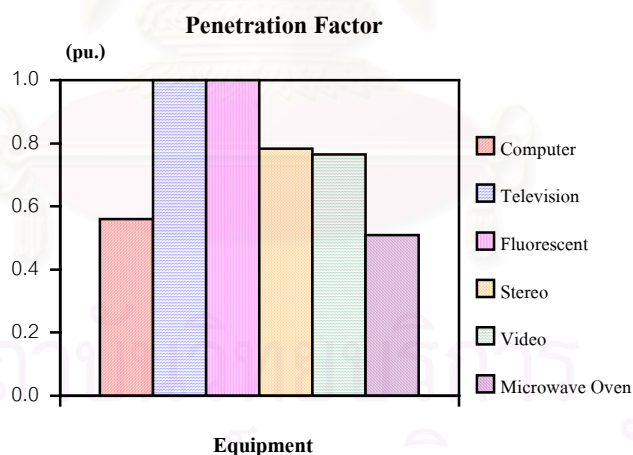
### 5.3 ผลการสำรวจหาค่าตัวประกอบการถือครอง ตัวประกอบการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ผลการตรวจวัด และการประเมินกระแสฮาร์โมนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียว

#### 5.3.1 ค่าตัวประกอบการถือครองเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด

ผลจากการสำรวจกลุ่มบ้านพักอาศัยตัวอย่าง สามารถทราบจำนวนครอบครัวยุคที่มีถือครองเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ดังรายละเอียดต่อไปนี้

คอมพิวเตอร์	มีจำนวนครอบครัวยุคที่มีถือครอง	31	ครอบครัวยุค
โทรทัศน์สี	มีจำนวนครอบครัวยุคที่มีถือครอง	55	ครอบครัวยุค
หลอดฟลูออเรสเซนต์	มีจำนวนครอบครัวยุคที่มีถือครอง	55	ครอบครัวยุค
เครื่องเสียง	มีจำนวนครอบครัวยุคที่มีถือครอง	43	ครอบครัวยุค
วิดีโอ	มีจำนวนครอบครัวยุคที่มีถือครอง	42	ครอบครัวยุค
เตาอบไมโครเวฟ	มีจำนวนครอบครัวยุคที่มีถือครอง	28	ครอบครัวยุค

ซึ่งสามารถนำมาหาค่าตัวประกอบการถือครองเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ค่าตัวประกอบการถือครองเครื่องใช้ไฟฟ้า

### 5.3.2 ค่าตัวประกอบการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด

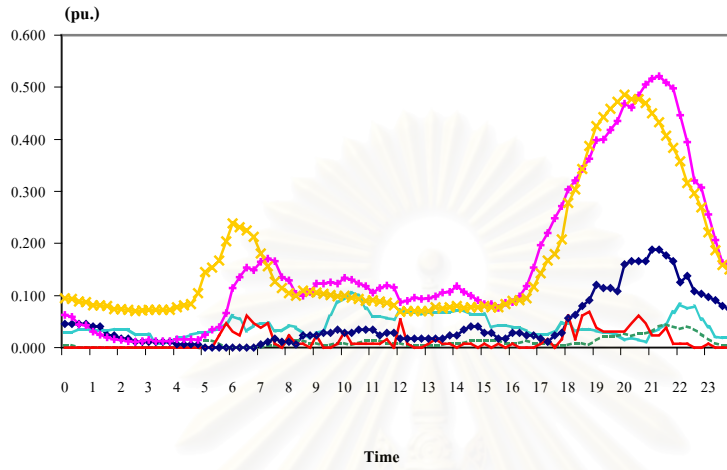
ผลจากการสำรวจกลุ่มบ้านพักอาศัยตัวอย่าง สามารถทราบจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ทั้งหมดที่มีการถือครอง และจำนวนทั้งหมดเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดที่มีการใช้งานในช่วงเวลาต่างๆ ของกลุ่มบ้านพักอาศัยตัวอย่าง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

คอมพิวเตอร์	มีจำนวนทั้งหมดที่ถือครอง	35 เครื่อง
โทรทัศน์สี	มีจำนวนทั้งหมดที่ถือครอง	112 เครื่อง
หลอดฟลูออเรสเซนต์	มีจำนวนทั้งหมดที่ถือครอง	385 หลอด
เครื่องเสียง	มีจำนวนทั้งหมดที่ถือครอง	56 เครื่อง
วิดีโอ	มีจำนวนทั้งหมดที่ถือครอง	45 เครื่อง
เตาอบไมโครเวฟ	มีจำนวนทั้งหมดที่ถือครอง	28 เครื่อง

ซึ่งสามารถนำมาหาค่าตัวประกอบการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ตามสมการ 5.2 ที่เปลี่ยนแปลงตามพฤติกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าของกลุ่มบ้านพักอาศัยตัวอย่าง ซึ่งสามารถแสดงค่าตัวประกอบการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 5.2

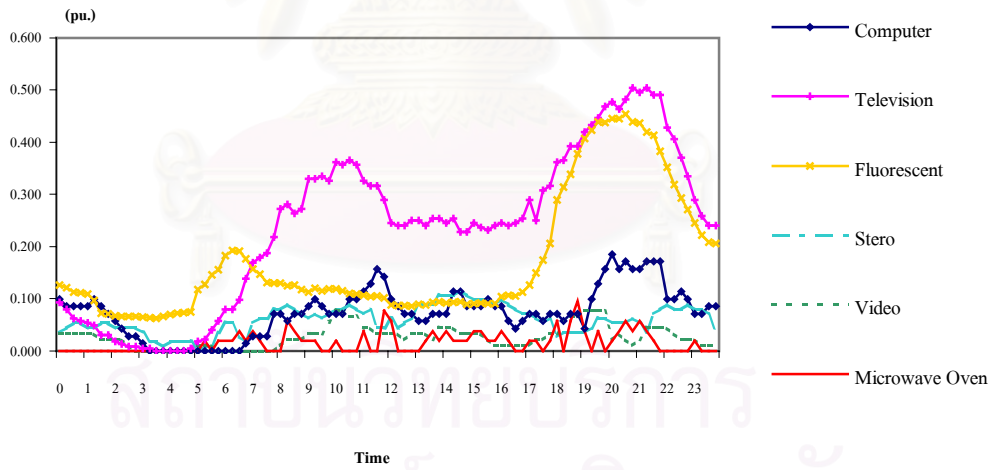
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Weekday



(ก) วันทำงาน

Weekend



(ข) วันหยุดสุดสัปดาห์

รูปที่ 5.2 ค่าตัวประกอบการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า



#### 5.4 ผลการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียวกัน

ในการตรวจวัดจะทำการตรวจวัดจากจุดตรวจวัด 2 จุด รวมทั้งสิ้น 6 สายป้อนโดยจำนวนรอบคร้วที่ต่อใช้งานจริงในแต่ละสายป้อน มีรายละเอียดดังนี้

Feeder 1A	มีจำนวนรอบคร้วทั้งสิ้น	24	รอบคร้ว
Feeder 1B	มีจำนวนรอบคร้วทั้งสิ้น	20	รอบคร้ว
Feeder 1C	มีจำนวนรอบคร้วทั้งสิ้น	17	รอบคร้ว
Feeder 2A	มีจำนวนรอบคร้วทั้งสิ้น	22	รอบคร้ว
Feeder 2B	มีจำนวนรอบคร้วทั้งสิ้น	19	รอบคร้ว
Feeder 2C	มีจำนวนรอบคร้วทั้งสิ้น	22	รอบคร้ว

สำหรับจุดตรวจวัดนั้นได้แก่ตำแหน่งจุด M1 และ M2 ดังแสดงผ่านมาแล้วในรูป 5.1 ดังนั้นปริมาณกระแสฮาร์มอนิกที่ตรวจวัดได้จากเครื่องวัดแต่ละเครื่อง จึงเป็นค่ากระแสฮาร์มอนิกของแต่ละสายป้อนดังต่อไปนี้

จุดวัดที่ M1 จะบันทึกค่ากระแสฮาร์มอนิกจาก Feeder 1A+2A, 1B+2B และ 1C+2C

จุดวัดที่ M2 จะบันทึกค่ากระแสฮาร์มอนิกจาก Feeder 1A, 1B และ 1C

ผลการตรวจวัดแต่ละสายป้อน สามารถหาค่ากระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยจากบ้านพักอาศัยแต่ละรอบคร้วของแต่ละสายป้อน ซึ่งสามารถแสดงผลเปรียบเทียบระหว่างค่ากระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยจากบ้านพักอาศัยแต่ละรอบคร้ว โดยเฉลี่ยจากทุกสายป้อนของเครื่องมือวัดแต่ละเครื่อง (M1และM2) กับค่าประเมินของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 สำหรับเครื่องมือวัด M1 แสดงดังรูปที่ 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 และ 5.8 ตามลำดับ และเครื่องมือวัด M2 แสดงดังรูปที่ 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13 และ 5.14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3 กระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยลำดับที่ 3 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M1



รูปที่ 5.4 กระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยลำดับที่ 5 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M1



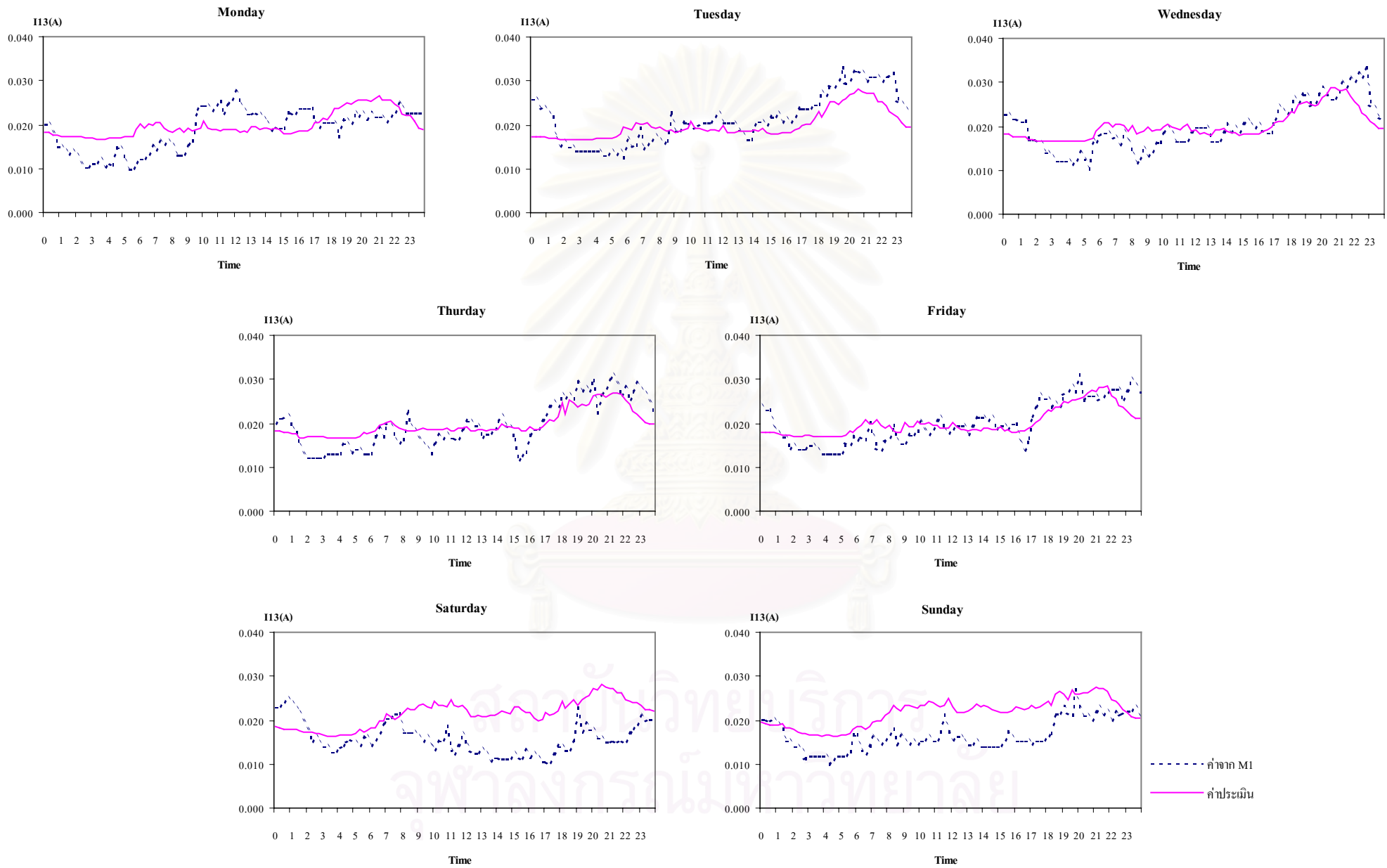
รูปที่ 5.5 กระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยลำดับที่ 7 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M1



รูปที่ 5.6 กระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยลำดับที่ 9 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M1



รูปที่ 5.7 กระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยลำดับที่ 11 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M1



รูปที่ 5.8 กระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยลำดับที่ 13 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M1



รูปที่ 5.9 กระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยลำดับที่ 3 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M2

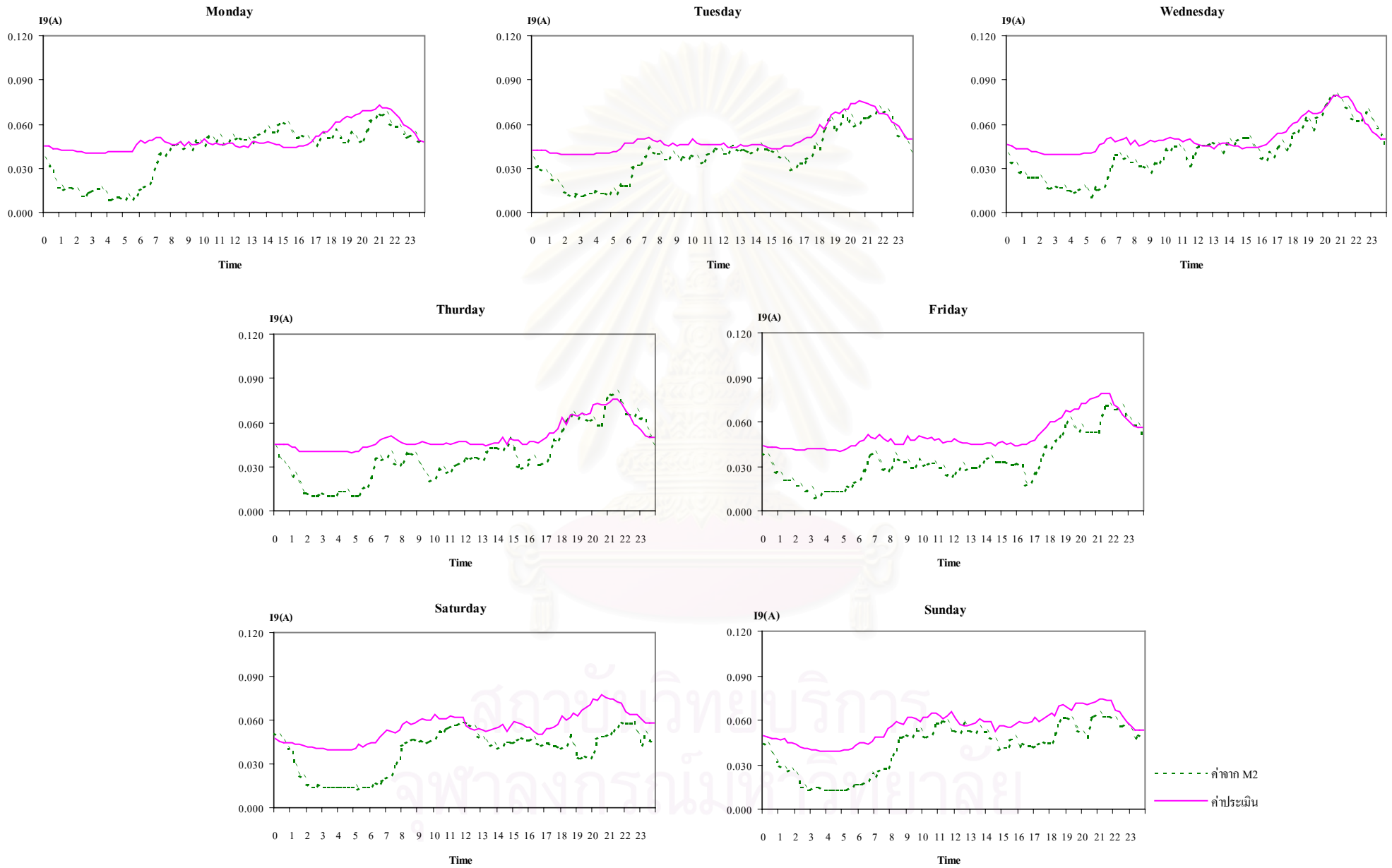




รูปที่ 5.10 กระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยลำดับที่ 5 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M2



ปที่ 5.11 กระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยลำดับที่ 7 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M2



รูปที่ 5.12 กระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยลำดับที่ 9 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M2



รูปที่ 5.13 กระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยลำดับที่ 11 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M2



รูปที่ 5.14 กระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยลำดับที่ 13 จากสายป้อนของเครื่องมือวัด M2

## 5.5 วิเคราะห์และสรุปผลการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียว

จากผลการสำรวจ ผลที่ได้จากการตรวจวัด และการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียว ทำให้สามารถสรุปข้อสังเกตของผลที่ได้รับ ดังต่อไปนี้

1. ผลจากการสำรวจจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า และพฤติกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด จะพบว่าโทรทัศน์สี เป็นอุปกรณ์ที่มีผลต่อระดับปริมาณกระแสฮาร์มอนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยมากที่สุด เนื่องจากมีพฤติกรรมการใช้งานมากที่สุด

2. ลักษณะเส้นภาระโหลดของค่าที่ตรวจวัดได้ และค่าที่ประเมินได้นั้น จะพบว่ามีแนวโน้มที่สอดคล้องกัน แต่ในบางช่วงเวลาก็เกิดความแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเกิดจากการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ที่มีได้พิจารณา อาทิเช่น เครื่องปรับอากาศ หรืออาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนของผลการสำรวจพฤติกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด

3. สำหรับผลการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกแต่ละลำดับ สามารถสรุปได้ดังนี้

- กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 จะพบว่าในช่วงเวลา 06:00-21:00 น. ค่าที่ประเมินได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยที่ตรวจวัด แต่ในช่วงเวลา 21:00-06:00 น. จะพบว่าค่าเฉลี่ยที่ตรวจวัดจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ประเมินอย่างมาก ซึ่งน่าจะเกิดจากกระแสฮาร์มอนิกในส่วนของเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆที่มีได้พิจารณา หรือจากความคลาดเคลื่อนของค่าตัวประกอบการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สำรวจได้

- กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 มีลักษณะเส้นภาระโหลดในลักษณะเช่นเดียวกับที่อธิบายในลำดับที่ 3 แต่จะพบว่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยที่ตรวจวัดกับค่าที่ประเมินได้น้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงวันอังคาร ถึง วันศุกร์

- กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 7, 9 จะพบว่าลักษณะเส้นภาระโหลดจากค่าที่ตรวจวัดกับค่าที่ประเมินได้สอดคล้องกัน แต่ในช่วงเวลา 00:00-06:00 น. จะพบว่าค่าเฉลี่ยที่ตรวจวัดได้มีค่าต่ำกว่าค่าประเมินอย่างมาก ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าน่าจะเกิดจากเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆที่มีได้พิจารณา โดยมีมุมเฟสของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 7, 9 ที่ทำให้เกิดการหักล้างกันของกระแสฮาร์มอนิก

- กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 11 ลักษณะเส้นภาระโหลดจะแตกต่างกัน ซึ่งอาจจะบ่งชี้ได้ว่าการประเมินกระแสฮาร์มอนิกในลำดับนี้ มีความถูกต้องน้อยที่สุด

- กระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ 13 พบว่าในช่วงวันทำงานค่าเฉลี่ยที่ตรวจวัด กับค่าประเมินมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงวันหยุด ค่าที่ประเมินได้มีค่าสูงกว่าค่าที่ตรวจวัด

จากผลการตรวจวัดจากเครื่องมือวัดทั้งสอง พบว่าค่าเฉลี่ยกระแสฮาร์โมนิกแต่ละลำดับจากเครื่องมือวัด M2 มีค่าต่ำกว่า จากเครื่องมือวัด M1 ซึ่งอาจเกิดจากความหลากหลายของเครื่องใช้ไฟฟ้าจากกลุ่มบ้านพักอาศัยใน M1 มีมากขึ้น หรือมีการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดจำนวนมากขึ้น เพราะมีจำนวนครอบครัวมากขึ้นบนสายป้อน แต่ลักษณะเส้นภาระโหลดจากทั้งสองเครื่องก็ยังสอดคล้องกัน และค่าเฉลี่ยจากทั้งสองเครื่องก็แตกต่างกันไม่มากนัก สำหรับค่าที่ประเมินได้แม้ว่ามีความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัดทั้งสองเล็กน้อยแตกต่างกัน แต่สามารถกล่าวได้ว่าค่าที่ประเมินได้ใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัด จึงน่าจะนำไปประเมินค่ากระแสฮาร์โมนิกบนสายป้อนที่มีจำนวนบ้านพักอาศัยมากหรือน้อยก็ได้

4. ความแตกต่างของกระแสฮาร์โมนิกแต่ละลำดับ สามารถสรุปค่าความแปรปรวนของกระแสฮาร์โมนิกลำดับต่างๆ (Variance of harmonic current:  $\sigma^2$ ) ตามช่วงเวลา ดังตารางที่ 5.1 และค่าความแปรปรวนของกระแสฮาร์โมนิกลำดับต่างๆ แบ่งตามวันทำงาน และวันหยุดสุดสัปดาห์ ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 ค่าความแปรปรวนของกระแสฮาร์โมนิกแบ่งตามช่วงเวลา

กระแสฮาร์โมนิก ลำดับที่	ค่าความแปรปรวนของกระแสฮาร์โมนิก $\sigma^2$			
	เครื่องมือวัด M1		เครื่องมือวัด M2	
	06:00 – 21:00 น.	21:00 – 06:00 น.	06:00 – 21:00 น.	21:00 – 06:00 น.
3	0.001422	0.006907	0.002791	0.002411
5	0.001061	0.003075	0.000487	0.001196
7	0.000326	0.000818	0.000476	0.000638
9	0.000184	0.000391	0.000192	0.000407
11	0.000240	0.000313	0.000038	0.000107
13	0.000024	0.000019	0.000080	0.000075

ตารางที่ 5.2 ค่าความแปรปรวนของกระแสฮาร์มอนิกแบ่งตามวันในสัปดาห์

กระแสฮาร์มอนิก ลำดับที่	ค่าความแปรปรวนของกระแสฮาร์มอนิก $\sigma^2$			
	เครื่องมือวัด M1		เครื่องมือวัด M2	
	วันทำงาน	วันหยุดสุดสัปดาห์	วันทำงาน	วันหยุดสุดสัปดาห์
3	0.003234	0.004091	0.002453	0.003137
5	0.001392	0.002875	0.000643	0.001027
7	0.000549	0.000416	0.000435	0.000791
9	0.000301	0.000163	0.000255	0.000315
11	0.000306	0.000171	0.000071	0.000045
13	0.000013	0.000044	0.000053	0.000141

ผลจากการประเมินสามารถกล่าวได้ว่า ค่ากระแสฮาร์มอนิกที่ประเมินได้ มีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่ากระแสฮาร์มอนิกในสภาพความเป็นจริง แต่คงจะต้องมีการปรับปรุงในส่วนต่างๆเพิ่มเติม ทั้งในส่วน of ค่าตัวประกอบการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ค่าประมาณกระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด และกระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆที่มีได้พิจารณา สำหรับระดับปริมาณกระแสฮาร์มอนิกบนสายป้อนเฟสเดียวที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในแต่ละสายป้อนจะแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละสายป้อน สมมติว่ามีจำนวน  $N$  ราย สามารถประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกบนสายป้อนนั้นๆ เท่ากับ  $N$  เท่าของกระแสฮาร์มอนิกเฉลี่ยต่อครอบครัว:  $N_i(t)$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 6

### สรุปและข้อเสนอแนะ

การประเมินกระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด จากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว และจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียวกัน สามารถสรุปเป็นหัวข้อได้ ดังนี้คือ

1. การประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด สามารถสรุปได้ว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดจะสร้างกระแสฮาร์มอนิกแต่ละลำดับมากขึ้นแตกต่างกัน โดยโทรทัศน์สี คอมพิวเตอร์ เครื่องเสียง และวิดีโอ จะมีระดับปริมาณกระแสฮาร์มอนิกค่อนข้างสูง และจะพบว่าการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดเดียวกันในช่วงเวลาเดียวกัน มีผลทำให้เกิดการหักล้างของกระแสฮาร์มอนิก เนื่องจากมุมเฟสที่แตกต่างกันของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละเครื่อง ซึ่งผลการหักล้างของกระแสฮาร์มอนิกจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับลำดับของกระแสฮาร์มอนิก โดยจะพบว่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับต้นๆ จะมีค่าตัวประกอบการหักล้างประมาณ 0.75-0.99 ซึ่งบ่งบอกได้ว่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับต้นๆ จะมีผลทำให้กระแสฮาร์มอนิกสูงขึ้นตามจำนวนเครื่องที่ใช้งาน แต่กระแสฮาร์มอนิกในลำดับสูง จะเกิดการหักล้างกันมากกว่าในลำดับต้นๆ ซึ่งสามารถทำให้ลดกระแสฮาร์มอนิกเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของกระแสฮาร์มอนิกรวมแบบเชิงเส้น แต่อย่างไรก็ตามการหักล้างของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดก็แตกต่างกัน ฉะนั้นการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ควรที่จะเก็บข้อมูลตัวอย่างให้มากขึ้น เพื่อให้ได้รับรูปแบบกระแสฮาร์มอนิกของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นๆ หลากหลายมากขึ้น ซึ่งอาจแยกตามยี่ห้อ หรือขนาดของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด และควรทำการประเมินกระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ให้มากขึ้น เพื่อให้ได้ความแม่นยำในการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกในหัวข้ออื่นๆ มากขึ้นด้วย

2. การประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว จะพบว่าปริมาณกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลานั้นขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า แต่ค่าที่ประเมินได้อาจต่ำกว่าค่าที่ตรวจวัด ทั้งนี้เนื่องจากค่ากระแสฮาร์มอนิกที่ใช้ในการประเมิน เป็นค่าที่ได้จากการประเมินค่ากระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ซึ่งอาจมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง

นอกจากนี้ผลจากการประเมินยังบอกให้ทราบว่ายังมีเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ที่มิได้พิจารณา ที่มีการใช้งานในบ้านพักอาศัยที่สามารถก่อให้เกิดกระแสฮาร์โมนิกสูงขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้งานตลอดวัน อาทิเช่น ตู้เย็น หรืออาจจะเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้งานในบางช่วงเวลา อาทิเช่น เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น ฉะนั้นในการประเมินค่ากระแสฮาร์โมนิกจากบ้านพักอาศัยแต่ละครอบครัว จึงต้องนำกระแสฮาร์โมนิกส่วนนี้มาพิจารณา ซึ่งควรที่จะมีการตรวจวัดจากบ้านพักอาศัยตัวอย่างให้มากขึ้น เพื่อที่จะได้ทราบปริมาณกระแสฮาร์โมนิกจากส่วนนี้ให้ใกล้เคียงมากขึ้น

3. การประเมินค่ากระแสฮาร์โมนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียว จะพบว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีผลต่อปริมาณกระแสฮาร์โมนิกได้แก่ โตรัทสน์ลี ซึ่งจะเห็นได้ว่าจะมีการใช้งานมากกว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ในช่วงเย็น และเกือบตลอดทั้งวันในวันหยุดสุดสัปดาห์ และเมื่อสังเกตลักษณะเส้นภาระโหลดก็จะพบว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกับพฤติกรรมการใช้งาน โตรัทสน์ลี แต่อย่างไรก็ตามในช่วงเวลา 21:00-06:00 น. จะพบว่ามีค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ตรวจวัดกับค่าที่ประเมินได้ ทั้งนี้ น่าจะเกิดจากกระแสฮาร์โมนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ที่มิได้พิจารณา ซึ่งจะพบว่าจะมีลักษณะเช่นนี้ทุกๆ ลำดับของกระแสฮาร์โมนิก ยกเว้นกระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 11 ที่มีความแตกต่างอย่างมาก อย่างไรก็ตาม การประเมินด้วยวิธีนี้สรุปได้ว่าสามารถหาค่ากระแสฮาร์โมนิกจากกลุ่มบ้านพักอาศัยบนสายป้อนเฟสเดียว ใกล้เคียงกับค่าจริงที่จะเกิดขึ้น โดยค่ากระแสฮาร์โมนิกบนสายป้อนจะมีค่าเท่ากับ N เท่าของกระแสฮาร์โมนิกเฉลี่ยต่อหลัง (N: จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าบนสายป้อน) แต่คงต้องมีการสำรวจการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดให้มากขึ้น และต้องคำนึงถึงเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ที่มิได้พิจารณามากขึ้นด้วย

การประเมินค่ากระแสฮาร์โมนิกจากทั้ง 3 หัวข้อ สามารถกล่าวได้ว่ามีแนวโน้มใกล้เคียงกับสภาพเป็นจริง ซึ่งค่าที่ประเมินได้น่าจะสามารถนำไปประเมินค่ากระแสฮาร์โมนิกจากผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัยบนสายป้อนได้อย่างคร่าวๆ แต่ก็คงจะต้องมีการปรับปรุงในแต่ละส่วนมากขึ้น เพราะในงานวิจัยนี้มีการใช้จำนวนตัวอย่างที่น้อย และยังคงครอบคลุมชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยไม่มากนัก ซึ่งในอนาคตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ก็คงจะมีบทบาทมากขึ้น ปริมาณกระแสฮาร์โมนิกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดก็ย่อมมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากที่ประเมินได้ในงานวิจัยนี้ และคงมีเครื่องใช้ไฟฟ้าหลากหลายชนิดมากขึ้นที่สร้างกระแสฮาร์โมนิก รวมทั้งพฤติกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ย่อมเปลี่ยนแปลง ดังนั้นควรจะต้องมีการปรับปรุงข้อมูลในแต่ละส่วนอยู่ตลอดเวลา จึงจะทำให้ค่าที่ประเมินได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

## รายการอ้างอิง

1. Arrillaga,J., Bradley,D.A., and Bodger,P.S. Power System harmonics. John Wiley & Sons. 1985.
2. R.C.Dugan, M.F.Mcgranaghan, H.W.Beaty. Electrical Power System Quality. McGraw-Hill. 1986.
3. R.Dwyer, A,K.Khan, M.Mcgranaghan, Le Tang, R.K. Mccluskey , R.Sung, T.Houy. Evaluation of Harmonic Impacts from Compact Fluorescent Lights On Distribution System. IEEE Transaction on Power System, Vol. 10, No 4, NOV. 1995.
4. Samir Datta. Power Pollution Caused by Lighting Control System. Conference Record of The 1991 IEEE, Industry Applications Society Annual Meeting, Vol.2, 1991.
5. Kako, Nakagawa, and Narita. Development of Compact Inverter Power Supply for Microwave Oven. IEEE Transaction on Consumer Electronics, AUG. 1991.
6. F.A.Gorgette, J.Lachaume, W.M.Grady. Statistical Summation of the Harmonic Currents Produced Currents Produced by a Large Number of Single Phase Variable Speed Air Conditioners. Proceedings of IEEE ICHQP VIII, Vol. 2, OCT. 1998.
7. รัชชัย เตชสันนันต์, สราวุธ เอื้ออวยชัย. การศึกษาคุณภาพกำลังไฟฟ้าสำหรับผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทอาคาร(ธนาคาร). ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง
8. A.Mansoor, W.M.Grady. Analysis of Compensation Factors Influencing the Net Harmonic Current Produced by Single-Phase Non-Linear Loads. Proceedings of IEEE ICHQP VIII, Vol. 2, OCT. 1998.
9. IEC 1000 ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC). Part3: Limits Section2: Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $\leq 16$  A per phase). IEC Standard 1000-3-2-1995.
10. A.Capasso, R.Lamedica, A.Prudenzi, P.Ribeiro, S.Ranade. Probabilistic Assessment of Harmonic Distortion Caused by Residential Load Areas. Proceedings of IEEE ICHPS VI, SEP. 1994.

11. T.Deflandre, J.Lachaume, O.Leonardi. Modeling Harmonic Injections by Domestic Customers. Proceedings of IEEE ICHQP VII, OCT. 1996.
12. R.Caldon, M.Fauri, L.Fellin. Harmonic Modelling of Household and Commercial Aggregate Loads. Proceedings of IEEE ICHQP VII, OCT. 1996.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ตัวอย่างแบบสำรวจการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า

เรียน ท่านเจ้าของบ้าน

เรื่อง ขอบความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลเพื่องานวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์สำหรับนักศึกษา

เอกสารแนบท้าย: 1 แบบสำรวจพฤติกรรมกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า

เนื่องด้วยกระผม นาย ทรงศักดิ์ มะระประเสริฐศักดิ์ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา เลขประจำตัวนิต 4170317721 ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งขณะนี้ได้ทำงานวิจัย ในหัวข้อวิทยานิพนธ์ “ การประมาณค่ากระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบไม่เป็นเชิงเส้นในผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัย” โดยในงานวิจัยนี้จะต้องอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิด เพื่อนำมาประกอบในการประมาณค่าสิ่งที่กำลังศึกษาอยู่ เพื่อนำผลที่ได้รับเปรียบเทียบกับค่าที่แท้จริงได้ จึงจำเป็นต้องขอความอนุเคราะห์ทุกๆท่านในการให้ข้อมูล ซึ่งจะแสดงวิธีการ และตัวอย่างการบันทึกข้อมูล ในเอกสารแนบท้าย ถ้ามีข้อสงสัยประการใดสามารถติดต่อได้ที่หมายเลขโทรศัพท์ (02) 5842294 หลังเวลา 19.30 น. และกรุณาส่งเอกสารกลับคืนด้วย แม้ท่านไม่ได้กรอกข้อมูลใดๆ จักเป็นพระคุณอย่างยิ่ง

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

(นาย ทรงศักดิ์ มะระประเสริฐศักดิ์)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบสำรวจพฤติกรรมการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า(1)

ส่วนที่ 1: จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด

กรุณาทำเครื่องหมาย X ในช่อง มี หรือ ไม่มี ในกรณี มี ให้ระบุจำนวนเครื่องทั้งหมดที่ใช้งานอยู่เป็นประจำสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด

ตัวอย่าง: สมมติบ้านของท่านมีโทรทัศน์สี 3 เครื่อง ใช้งานประจำเพียง 2 เครื่องแต่อีก 1 เครื่องไม่ได้ใช้งานเลย ให้ระบุเพียงจำนวน 2 เครื่องเท่านั้น

คอมพิวเตอร์ (PC)  มี  ไม่มี เครื่อง  ไม่มี โทรทัศน์สี (TV)  มี  ไม่มี เครื่อง  ไม่มี หลอดฟลูออเรสเซนต์ (FL)  มี  ไม่มี

เครื่องเสียง (TP)  มี  ไม่มี เครื่อง  ไม่มี วิทยุไอ (VO)  มี  ไม่มี เครื่อง  ไม่มี เตาอบไมโครเวฟ (MW)  มี  ไม่มี เครื่อง  ไม่มี

ส่วนที่ 2: จำนวนเครื่องทั้งหมดที่ใช้งาน ณ ช่วงเวลาหนึ่งๆ สำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด

กรุณา บันทึกจำนวนเครื่องทั้งหมดที่กำลังใช้งาน ณ ช่วงเวลาต่างๆ สำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ภายใน 1 วัน ตลอด 1 สัปดาห์

ตัวอย่าง: ณ ช่วงเวลา 08:00-08:15 ภายในบ้านของท่าน กำลังใช้งาน โทรทัศน์สี 2 เครื่อง, หลอดฟลูออเรสเซนต์ 3 หลอด ส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ไม่ได้ใช้งานให้เว้นว่าง หรือใส่ 0

ณ ช่วงเวลา 08:00-08:15 ภายในบ้านของท่าน กำลังใช้งาน โทรทัศน์สี 1 เครื่อง, หลอดฟลูออเรสเซนต์ 2 หลอด และวิทยุไอ 1 เครื่อง

		00:00-00:15	
TV	2	1	
VO	0	1	
FL	3	2	

วัน/เดือน/ปี	เวลา	จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า					
		PC	TV	FL	TP	VO	MW
๗	00:00-00:15						
	00:15-00:30						
	00:30-00:45						
	00:45-01:00						
	01:00-01:15						
	01:15-01:30						
	01:30-01:45						
	01:45-02:00						
	02:00-02:15						
	02:15-02:30						
	02:30-02:45						
	02:45-03:00						
	03:00-03:15						
	03:15-03:30						
	03:30-03:45						
	03:45-04:00						
	04:00-04:15						
	04:15-04:30						
	04:30-04:45						
	04:45-05:00						
	05:00-05:15						
	05:15-05:30						
	05:30-05:45						
	05:45-06:00						
06:00-06:15							
06:15-06:30							
06:30-06:45							
06:45-07:00							
07:00-07:15							
07:15-07:30							
07:30-07:45							
07:45-08:00							
08:00-08:15							
08:15-08:30							
08:30-08:45							
08:45-09:00							
09:00-09:15							
09:15-09:30							
09:30-09:45							
09:45-10:00							
10:00-10:15							
10:15-10:30							
10:30-10:45							
10:45-11:00							
11:00-11:15							
11:15-11:30							
11:30-11:45							
11:45-12:00							
12:00-12:15							
12:15-12:30							
12:30-12:45							
12:45-13:00							
13:00-13:15							
13:15-13:30							
13:30-13:45							
13:45-14:00							
14:00-14:15							
14:15-14:30							
14:30-14:45							
14:45-15:00							
15:00-15:15							
15:15-15:30							
15:30-15:45							
15:45-16:00							
16:00-16:15							
16:15-16:30							
16:30-16:45							
16:45-17:00							
17:00-17:15							
17:15-17:30							
17:30-17:45							
17:45-18:00							
18:00-18:15							
18:15-18:30							
18:30-18:45							
18:45-19:00							
19:00-19:15							
19:15-19:30							
19:30-19:45							
19:45-20:00							
20:00-20:15							
20:15-20:30							
20:30-20:45							
20:45-21:00							
21:00-21:15							
21:15-21:30							
21:30-21:45							
21:45-22:00							
22:00-22:15							
22:15-22:30							
22:30-22:45							
22:45-23:00							
23:00-23:15							
23:15-23:30							
23:30-23:45							
23:45-24:00							
๗	PC						
	TV						
	FL						
	TP						
	VO						
	MW						





## ประวัติผู้เขียน

นายทรงศักดิ์ มะระประเสริฐศักดิ์ เกิดวันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2517 ที่อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2538 หลังจากนั้นได้ทำงานที่ บริษัท กระเบื้องหลังคาเซรามิกไทย จำกัด และในปี พ.ศ. 2540 ทำงานที่ บริษัท ตรีศักดิ์อโต้แมชชีน จำกัด และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2541



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย