



การพัฒนา ออกแบบ สร้าง และทดสอบวงจร เอซี-เอซี
เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับโหลดแบบพาสซีฟ

โดย

ประสพโชค ให่ทองคำ

ณรงค์ชัย ทศพร

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2556

Development Design Construction and Testing of a Single-phase AC-AC Matrix Converter with Passive Loads

By

Prasopchok Hothongkham
Narongchai Thodsaporn



Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2013

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา (สวพ.) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัยจากงบประมาณประจำปี 2556 ซึ่งทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณประโยชน์ใดๆ อันพึงเกิดจากงานวิจัยฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบให้แก่ บิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านด้วยความเคารพยิ่ง

ประสพโชค ให้ทองคำ และคณะ
พฤศจิกายน 2556



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : Inno023/2556
 ชื่อโครงการ : การพัฒนา ออกแบบ สร้าง และทดสอบวงจร เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่ง
 เฟสกับโหลดแบบพาสซีฟ
 ชื่อนักวิจัย : ดร.ประสพโชค ให่ทองคำ และอาจารย์ณรงค์ชัย ทศพร

โครงการวิจัยนี้ได้นำเสนอหลักการของวงจร 1-เฟส พีดับบลิวเอ็ม เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งใช้ Power MOSFET-Diode ที่สามารถให้กระแสไหลได้สองทิศทางจำนวนรวม 4 ชุด เป็นอุปกรณ์สวิตช์ตัดต่อในวงจรกำลัง วงจรคอนเวอร์เตอร์นี้สามารถแปลงแรงดันแหล่งจ่ายโซลาร์ไฟฟ้า 1-เฟส ที่มีแรงดันและความถี่คงที่ให้เป็นแรงดันเอซีลักษณะคลื่นที่มีจำนวนพัลส์ต่างๆ และสามารถปรับแรงดันและความถี่โดยการปรับความถี่และมีอดดูเลชั่นอินเด็กซ์ที่ชุดสัญญาณควบคุมพีดับบลิวเอ็มของคอนเวอร์เตอร์นี้ ในขั้นตอนแรกจะกล่าวถึง หลักการออกแบบคลื่นแรงดันเอาท์พุทที่สามารถปรับแรงดันและความถี่สำหรับกรณี 5 , 10 และ 20 พัลส์ ลักษณะคลื่นแรงดันเอาท์พุทพีดับบลิวเอ็มที่ได้นี้ เมื่อนำมาพิจารณาพร้อมกับแรงดันไลน์อินพุท ทำให้สามารถทำการออกแบบสัญญาณเกตเพื่อใช้ควบคุมการตัดต่อของสวิตช์ทั้ง 4 ชุดในวงจรคอนเวอร์เตอร์ได้ ซึ่งสัญญาณที่ได้จากการออกแบบนี้ได้มีการนำไปป้อนจริง เพื่อให้ได้ลักษณะคลื่นแรงดันเอาท์พุทตามที่ต้องการได้ นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึง หลักการทางทฤษฎีของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ในทอแมคณิตศาสตร์ พร้อมกับการแปลความหมายให้อยู่ในรูปของคลื่นทางทฤษฎีซึ่งจะนำไปเปรียบเทียบกับทางปฏิบัติเพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของแนวคิดทางทฤษฎีของคอนเวอร์เตอร์นี้ ลักษณะคลื่นพีดับบลิวเอ็มทั้งหมดที่ได้นี้ จะนำมาวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบฮาร์โมนิคอันดับต่างๆ เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าแรงดันเอาท์พุทพีดับบลิวเอ็มต่อไปในทอแมคของแรงดันอาร์เอ็มเอส ตลอดจนทดสอบเพื่อหาค่าคุณลักษณะต่างๆของวงจรด้วย วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่นำเสนอนี้ สามารถปรับจำนวนพัลส์ ความถี่ และแรงดันได้

คำสำคัญ: เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์, เอซี-เอซี คอนเวอร์เตอร์, พีดับบลิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์

E-mail Address : prasopchok.hot@rmutr.ac.th, prasopchok_ho@yahoo.com

ระยะเวลาโครงการ : 1 ตุลาคม 2555 – 30 กันยายน 2556

Abstract

Code of project : Inno023/2556
Project name : Development Design Construction and Testing of a Single-Phase AC-AC Matrix Converter with Passive Loads
Researcher name : Dr. Prasopchok Hothongkham and Mr.Narongchai Thodsaporn

Abstract

This research concerns the principle of a single-phase PWM ac-ac matrix converter, using 4-units of bi-directional, Power MOSFET-Diode as main power switching devices. The converter can directly convert the utility, 1-phase, sinusoidal supply voltage and frequency into a variable frequency and variable voltage of variable pulse PWM pattern by adjusting the frequency and modulation index of the PWM control signal of the converter. The principle of design for the output of variable voltage and variable frequency will be first described for the cases of 5-pulses, 10-pulses and 20-pulses. These output voltage pattern together with the ac line-to-line input voltage can then be used to design the corresponding gating signals, and they are actually used to operate the proposed converts for the specified ac output voltage. The theoretical principle of matrix converter will be also described in terms of mathematics and then implemented in terms of theoretical waveform in order to verify the theoretical concept of this converts. Moreover, the matrix converter is actually designed, constructed and operated the in our laboratory to generate the 3-phase PWM ac output voltage of various patterns. These experimental results are also compared with the theoretical simulation results under various changing circuit parameters to confirm the actual circuit operation. All these PWM patterns are also analyzed in various harmonic spectra which can be further used to calculated the PWM output voltage in terms of RMS voltage and tested for the characteristics of this circuit. The matrix converts can be varied the variable pulse, the variable frequency and the variable voltage.

Keywords: Matrix Converter, AC-AC Converter, PWM Converter

E-mail Address : prasopchok.hot@rmutr.ac.th, prasopchok_ho@yahoo.com

Period of project : 1st October 2012 – 30th September 2013

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
3. ขอบเขตของการวิจัย	3
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	3
5. ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย	4
6. นิยามศัพท์	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
1. บทนำ	5
2. หลักการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์	5
3. สรุปท้ายบท	8
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
บทที่ 3 วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์	10
1. บทนำ	10
2. โครงสร้างวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์	10
3. วงจรส่วนสร้างสัญญาณพัลส์ที่ดับลิ่วเอ็มที่ใช้ในการขับนำสวิตซ์สองทาง	11
4. วงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัพท์ (Interrupt Circuit)	19
5. วงจรตรวจจับแรงดันศูนย์ (Zero Crossing Voltage Detector Circuit)	20
6. วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส (Single-Phase Matrix Converter)	21
7. สรุปท้ายบท	23

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการจำลองและผลการทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์	24
1. บทนำ	24
2. วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการจำลอง	24
3. ลักษณะสัญญาณพัลส์พีดีบีลิวเอ็มที่ใช้ในการจำลองวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์	27
4. การจำลองวงจรโดยการทดสอบกับโหลดตัวต้านทาน	33
5. การจำลองวงจรโดยการทดสอบกับโหลดตัวต้านทาน – ตัวเหนี่ยวนำ	58
6. ผลการทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์	83
7. ผลการทดสอบกับโหลดตัวต้านทาน	87
8. ผลการทดสอบกับโหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ	100
9. คุณลักษณะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์	113
10. สรุปท้ายบท	120
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	122
1. สรุปผลการวิจัย	122
2. ปัญหาที่พบในการทำการวิจัย	123
3. ข้อเสนอแนะ	123
บรรณานุกรม	124
ภาคผนวก	127
ภาคผนวก ก ตารางแสดงค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ทำการทดสอบ	128
ภาคผนวก ข วงจรส่วนต่างๆ ของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสเครื่องต้นแบบ	135
ภาคผนวก ค ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่	139
ประวัติคณะผู้วิจัย	147

สารบัญตาราง

	หน้า
ก.1 ค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ ที่ทำการทดสอบกับโหลดตัวต้านทานขนาด 100 Watts	129
ก.2 ค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ ที่ทำการทดสอบกับโหลดตัวต้านทานขนาด 200 Watts	130
ก.3 ค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ ที่ทำการทดสอบกับโหลดตัวต้านทานขนาด 300 Watts	131
ก.4 ค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ ที่ทำการทดสอบกับโหลดตัวต้านทานขนาด 400 Watts	132
ก.5 ค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ ที่ทำการทดสอบกับโหลดตัวต้านทานขนาด 500 Watts	133
ก.6 ค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ ที่ทำการทดสอบกับโหลดตัวต้านทานขนาด 100 Watts - ตัวเหนี่ยวนำขนาด 0.088 Henrys	134



สารบัญภาพ

	หน้า
1.1 วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเก่าและวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่นำเสนอในงานวิจัย	1
2.1 วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 1-เฟส	5
2.2 การไหลของกระแสในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์	6
2.3 โหมดการทำงานที่ 1 และ 2 ของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์	7
3.1 บล็อกไดอะแกรมรวมของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์	10
3.2 สัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิตีที่ค่าความถี่สวิตช์เท่ากับ 250 Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 5 พัลส์ต่อไซเคิล	12
3.3 สัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิตีที่ค่าความถี่สวิตช์เท่ากับ 500 Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 10 พัลส์ต่อไซเคิล	13
3.4 สัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิตีที่ค่าความถี่สวิตช์เท่ากับ 1000 Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 20 พัลส์ต่อไซเคิล	14
3.5 การเก็บข้อมูลสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิตี ครั้งละ 0.2 มิลลิวินาที	15
3.6 โพล์ชาร์ทของโปรแกรมหลัก	17
3.7 โพล์ชาร์ทของโปรแกรมบริการการอินเทอร์รัพท์	17
3.8 โพล์ชาร์ทของโปรแกรมสร้างสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิตี	18
3.9 โพล์ชาร์ทของโปรแกรมน้อยหน่วงเวลา 0.2 มิลลิวินาที	19
3.10 วงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัพท์เพื่อให้เกิดการซิงโครไนซ์ของสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิตี	20
3.11 ลักษณะของสัญญาณอินเทอร์รัพท์ที่ได้มาจากสัญญาณแรงดันไฟไลน์การไฟฟ้า	20
3.12 วงจรตรวจจับแรงดันศูนย์	21
3.13 วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่ประกอบด้วยสวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุด	22
3.14 ลักษณะสวิตช์สองทิศทางที่ใช้ IGBT 1 ตัว ทำงานร่วมกับ Diode ที่ต่อแบบ Bridge	22
3.15 การทำงานของสวิตช์สองทิศทาง	23
4.1 ลักษณะสวิตช์สองทางที่ใช้ในการจำลองของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส	24
4.2 ลักษณะวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่ใช้ในการจำลอง	25
4.3 ลักษณะวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่ใช้ในการจำลองวงจรทั้งหมด	26
4.4 สัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิตี m_1, m_2 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 250 Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 5 พัลส์ต่อไซเคิล	28
4.5 สัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิตี m_1, m_2 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 500 Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 10 พัลส์ต่อไซเคิล	30
4.6 สัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิตี m_1, m_2 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 1000 Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 20 พัลส์ต่อไซเคิล	32

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
4.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าคุณลักษณะของวงจรใน กรณีโหลดตัวต้านทานขนาด 300 วัตต์	116
4.61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าคุณลักษณะของวงจรใน กรณีโหลดตัวต้านทานขนาด 400 วัตต์	117
4.62 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าคุณลักษณะของวงจรใน กรณีโหลดตัวต้านทานขนาด 500 วัตต์	118
4.63 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของคุณลักษณะของวงจรใน กรณีโหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ	120
ข.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 16F628 ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์พีดีบีลิวเอ็ม	136
ข.2 วงจรตรวจจับสัญญาณศูนย์และวงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัพท์ให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์	136
ข.3 วงจร Schematicของวงจรขับนำเกทของสวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุด	137
ข.4 วงจรขับนำเกทของสวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุด	137
ข.5 สวิตช์สองทางที่ใช้ในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ทั้ง 4 ชุด	138
ข.6 แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแก่วงจรในแต่ละส่วน	138



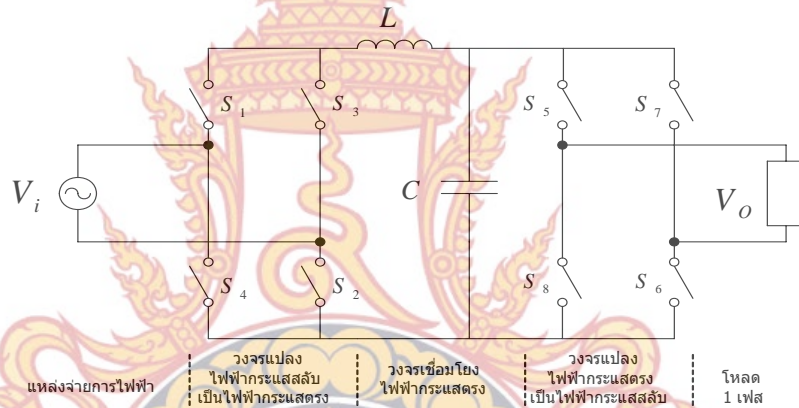
สัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
$S_1 - S_4$: สวิตช์สองทางหมายเลข 1-4 ในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์
$v_{in}(t), v_i(t)$: แรงดันอินพุตด้านแหล่งจ่ายของวงจรคอนเวอร์เตอร์ในรูปชั่วขณะที่แปรตามเวลา
$i_{in}(t), i_i(t)$: กระแสอินพุตด้านแหล่งจ่ายของวงจรคอนเวอร์เตอร์ในรูปชั่วขณะที่แปรตามเวลา
$v_{out}(t), v_o(t)$: แรงดันเอาต์พุตด้านต่อกับโหลดของวงจรคอนเวอร์เตอร์ในรูปชั่วขณะที่แปรตามเวลา
$i_{out}(t), i_o(t)$: กระแสเอาต์พุตด้านต่อกับโหลดของวงจรคอนเวอร์เตอร์ในรูปชั่วขณะที่แปรตามเวลา
f_s	: ความถี่ในการทำงานของสวิตช์สองทางความถี่สัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็ม
f_i	: ความถี่ที่ใช้งานจริงด้านแหล่งจ่ายไฟสลับที่เป็นอินพุตให้กับวงจรคอนเวอร์เตอร์
f_o	: ความถี่ที่ใช้งานจริงด้านเอาต์พุตไฟสลับที่ต่อกับโหลดของวงจรคอนเวอร์เตอร์
m_j^k	: ค่าดีวตีไซเคิลของการทำงานของสวิตช์สองทางทำงานในโหมด j ที่ไซเคิล k
m_j	: ค่าดีวตีไซเคิลของการทำงานของสวิตช์สองทางในโหมดการทำงาน มีค่า $0 \leq m_j \leq 1$
m_1, m_2	: ค่าดีวตีไซเคิลของการทำงานของสวิตช์สองทางในโหมดการทำงานที่ 1 และ 2
Δ_j^k	: ช่วงค่าเวลาเมื่อวงจรทำงานในโหมด j ใดๆ ในไซเคิลที่ k ใดๆ
j	: โหมดการทำงาน มีค่าเท่ากับ 1 หรือ 2
k	: จำนวนไซเคิลในการทำงาน มีค่าเท่ากับ $1, 2, \dots, n, \dots, \infty$
T_s	: คาบเวลาหรือไซเคิลของการทำงานของสวิตช์สองทาง
$v_{o,av}^k(t)$: เป็นค่าแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยในช่วงระหว่างไซเคิลที่ k ใดๆ
$v_i^k(t)$: เป็นค่าแรงดันอินพุตในช่วงไซเคิลที่ k ใดๆ และในทางปฏิบัติมีค่าคงที่
ω_i	: ความถี่เชิงมุมของไฟสลับอินพุตด้านแหล่งจ่ายไฟสลับ
ω_o	: ความถี่เชิงมุมของไฟสลับเอาต์พุตของวงจรคอนเวอร์เตอร์

บทที่ 1 บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

นับแต่อดีตจนถึงปัจจุบันการประยุกต์ใช้งานของวงจรคอนเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตที่สามารถปรับได้ทั้งความถี่และแรงดันไฟฟ้าเพื่อทำการจ่ายโหลดสามารถกระทำได้โดยใช้วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและแปลงไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับหรือวงจรเอช-ดีซี-เอชอี คอนเวอร์เตอร์ซึ่งเป็นรูปแบบทั่วไป ซึ่งยังคงใช้กันอยู่ในปัจจุบัน แสดงได้ดังรูปที่ 1.1 (ก)



(ก) วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเก่าที่ใช้กันอยู่ทั่วไป



(ข) วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่นำเสนอในงานวิจัย

รูปที่ 1.1 วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเก่าและวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่นำเสนอในงานวิจัย



จากรูปที่ 1.1 (ก) เป็นวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเก่า มีส่วนประกอบหลักอยู่ด้วยกัน 3 ส่วน กล่าวคือ ส่วนที่หนึ่งจะเป็นวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (AC-DC) และส่วนที่สองจะเป็นวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (DC-AC) ที่สามารถปรับได้ทั้งขนาดแรงดันไฟฟ้าและความถี่ ซึ่งในระหว่างวงจรส่วนที่หนึ่งและสองนั้นจะพบว่าเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นในส่วนนี้จึงจำเป็นต้องใช้ส่วนเชื่อมโยงที่เรียกว่า วงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงหรือส่วนดีซีลิงค์ (DC-Link) ซึ่งประกอบด้วย ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ จากลักษณะโครงสร้างของวงจรในแบบเก่านี้ พบว่ามีการแปลงพลังงานไฟฟ้าถึง 2 ขั้นตอน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนของการแปลงพลังงานไฟฟ้าจะเกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าขึ้นในวงจรของแต่ละขั้นตอนการแปลงพลังงานไฟฟ้า ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าถึง 2 ขั้นตอนในการแปลงพลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้ยังพบว่าในส่วนของวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงหรือส่วนดีซีลิงค์ (DC-Link) มีปัญหาในการใช้งานอยู่บางประการ คือ ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำที่ใช้มีขนาดใหญ่ ทำให้ขนาดและน้ำหนักของวงจรคอนเวอร์เตอร์มาก อีกทั้งในกรณีที่มีการคืนพลังงานไฟฟ้าจากด้านโหลดเพื่อป้อนกลับเข้าไปยังแหล่งจ่ายการไฟฟ้าในปริมาณครั้งละมากๆ ไม่สามารถกระทำได้ เพราะเกิดการสะสมพลังงานไฟฟ้าจากด้านโหลดเพื่อมาเก็บไว้ที่ตัวเก็บประจุในรูปของแรงดันไฟฟ้าในปริมาณไม่มากนักแต่จะมีปริมาณที่จำกัดอยู่เพียงระดับหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากตัวเก็บประจุมีพิกัดของแรงดันไฟฟ้าที่จำกัดอยู่เพียงค่าเดียวทำให้การคืนพลังงานไฟฟ้าจากด้านโหลดไปยังด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้าไม่สามารถกระทำได้ในปริมาณมากๆ นอกจากนี้ตัวเก็บประจุดังกล่าวยังมีปัญหาเรื่องของการสูญเสียของพลังงานไฟฟ้าที่เก็บสะสมอยู่ด้วย เพราะต้องทำการคายประจุที่เก็บสะสมออกไปเพื่อพยายามรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ภายในค่าพิกัดของตัวเก็บประจุ ซึ่งในทุกครั้งที่กระทำการปลดคาย (Discharge) พลังงานไฟฟ้าส่วนเกินนี้ทั้งด้วยวิธีการต่างๆ เป็นการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าไปโดยเสียประโยชน์

ด้วยเหตุนี้จึงเกิดแนวความคิดที่จะกำจัดข้อเสียเหล่านี้โดยใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายการไฟฟ้าให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับได้โดยตรงโดยไม่ต้องใช้ส่วนเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงอีกทั้งเป็นการแปลงพลังงานไฟฟ้าเพียงขั้นตอนเดียวทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในวงจรเพียงขั้นตอนเดียวซึ่งจะดีกว่าวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเก่า ลักษณะคลื่นเอาท์พุทของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบใหม่ที่น่าเสนอนั้นยังคงเหมือนกับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเก่าและยังสามารถทำการปรับได้ทั้งขนาดของแรงดันไฟฟ้าและความถี่เพื่อจ่ายให้กับโหลดโดยตรง โดยอาศัยอุปกรณ์สวิตช์กำลังที่ทำการ On-Off ด้วยสัญญาณพัลส์(สัญญาณพัลส์ที่ใช้เรียกว่า สัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม : Pulse Width Modulation : PWM) ที่จ่ายให้กับอุปกรณ์สวิตช์กำลังเพื่อทำหน้าที่ตัดต่อให้ได้ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีคลื่นเอาท์พุทในลักษณะตามความต้องการได้ โดยเรียกว่า วงจรเอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ (AC-AC Matrix Converter) ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 1.1 (ข) อุปกรณ์สวิตช์กำลังที่นำมาใช้ในวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบนี้จะมีคุณสมบัติและลักษณะการทำงานแบบให้กระแสไหลได้ทั้งสองทิศทางเรียกว่า อุปกรณ์สวิตช์กำลังสองทิศทาง(Bidirectional Switch) ซึ่งจะนำมาต่อเชื่อมกันในลักษณะของเมตริกซ์ วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์แบบใหม่ที่น่าเสนอยังคงมีคุณสมบัติต่างๆ เหมือนกับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบที่ใช้งานทั่วไป แต่จะมีข้อได้เปรียบที่ไม่มีส่วนวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง (DC-Link) รวมทั้งในกรณีนี้ยังสามารถให้การไหลของพลังงานไฟฟ้าระหว่าง

แหล่งจ่ายกับโหลดเป็นไปอย่างสะดวก และไม่เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าขึ้น ซึ่งจะเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เกิดประโยชน์ได้สูงสุด

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

2.1 เพื่อศึกษาการทำงานและทำการสร้างวงจร เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส เครื่องต้นแบบได้

2.2 เพื่อนำวงจร เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น ไปทดสอบกับโหลดแบบพาสซีฟและมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสขนาด 1 kW ได้

2.3 เพื่อทำการวิเคราะห์การทำงานของวงจร เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสได้

2.4 เพื่อทำการทดสอบและวิเคราะห์คุณลักษณะของวงจร เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่ได้ทำการทดสอบกับโหลดแบบพาสซีฟขนาด 1 kW ได้

3. ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อทำการศึกษา วิเคราะห์หลักการทำงานของวงจร เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ พร้อมทำการออกแบบและสร้างวงจร เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์เครื่องต้นแบบที่รับแรงดันไฟฟ้าอินพุทจากแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 1-เฟส ขนาดแรงดัน 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรท์ ได้ และสามารถทำการทดสอบกับโหลดแบบพาสซีฟขนาด 1 kW เพื่อศึกษาคุณลักษณะต่างๆ ของวงจรเอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสเครื่องต้นแบบนี้

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

4.1 สามารถทำการลดขั้นตอนในการแปลงพลังงานไฟฟ้าของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเก่าที่มีการแปลงพลังงานไฟฟ้า 2 ขั้นตอน คือ แปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและแปลงจากไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับให้เหลือเพียงขั้นตอนเดียว คือ จากไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยตรง

4.2 สามารถกำจัดส่วนวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงหรือส่วนวงจรดีซีลิงก์ (DC-Link) ซึ่งประกอบด้วย ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ ที่มีขนาดใหญ่ในส่วนวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงออกไป

4.3 สามารถลดจำนวนอุปกรณ์สวิตช์กำลังที่ใช้ทำหน้าที่ตัดต่อในวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเก่าที่ใช้ทั้งหมด 8 ชุด ให้ลดลงเหลือเพียง 4 ชุด ซึ่งเป็นการประหยัดต้นทุนของอุปกรณ์ลง

4.4 ข้อมูลและความรู้ต่างๆที่ได้จากการวิจัยนี้จะสามารถเผยแพร่เป็นข้อมูลและความรู้ให้กับหน่วยงานด้านอุตสาหกรรม และบริษัทที่มีการนำเทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังมาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม เช่น ด้านการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เป็นต้น

4.5 สามารถนำผลงานวิจัยนี้ไปตีพิมพ์เผยแพร่ได้

5. ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

5.1 เริ่มต้นจากดำเนินการศึกษาและวิเคราะห์การทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ โดยทำการพิจารณาแยกโหมดการทำงานออกเป็นในแต่ละโหมดการทำงาน

5.2 ดำเนินการออกแบบลักษณะสัญญาณพีดับลิวิตีที่จะใช้กับวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ โดยกำหนดเงื่อนไขของสัญญาณพีดับลิวิตีให้มีจำนวนพัลส์ ความถี่ และอัตราการมอดต่างๆ

5.3 ดำเนินการศึกษาคูณลักษณะของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุทของวงจร โดยพิจารณาที่เงื่อนไขของสัญญาณพีดับลิวิตีที่มี จำนวนพัลส์ ความถี่ และอัตราการมอดต่างๆ ตามที่ได้ทำการออกแบบไว้แล้วดำเนินการทดสอบกับโหลดขนาด 100W, 200W, 300W, 400W และ 500W

5.4 ดำเนินการสร้างสัญญาณพีดับลิวิตีตามที่ได้ออกแบบไว้และจากการใช้โปรแกรมการจำลองวงจรไฟฟ้า โดยดำเนินการสร้างสัญญาณพีดับลิวิตีตามเงื่อนไขของจำนวนพัลส์ ความถี่ และอัตราการมอดต่างๆ ตามที่ได้ทำการออกแบบไว้แล้ว เพื่อใช้เป็นสัญญาณควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์กำลังต่อไป

5.5 ดำเนินการออกแบบส่วนวงจรที่ใช้ในการขับนำอุปกรณ์สวิตช์กำลัง พร้อมกับสร้างส่วนอุปกรณ์สวิตช์กำลังในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ทั้งหมด พร้อมทั้งทำการทดสอบการทำงานของวงจรทั้งระบบ คือ ทำการจ่ายสัญญาณพีดับลิวิตีไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์กำลังให้เป็นไปตามหลักการทำงานที่ถูกต้อง เพื่อเตรียมการทดสอบกับโหลดต่างๆ ต่อไป

5.6 ดำเนินการทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์เครื่องต้นแบบที่ออกแบบและสร้างขึ้นกับโหลด R และ RL เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองวงจรโดยใช้โปรแกรม Orcad/Pspice เพื่อยืนยันความถูกต้อง (พร้อมทั้งทำการแก้ไขถ้าเกิดปัญหา)

5.7 ดำเนินการศึกษาและวิเคราะห์คุณลักษณะของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุทที่พีดับลิวิตีของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ ที่เงื่อนไขของสัญญาณพีดับลิวิตีที่มีจำนวนพัลส์ ความถี่ และอัตราการมอดต่างๆ

5.8 สุดท้ายดำเนินการสรุปผลการทดสอบ และดำเนินการเขียนรายงานการวิจัยเสนอทางมหาวิทยาลัย

6. นิยามศัพท์

AC to AC Converter = วงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันไฟฟ้าและความถี่ของแรงดันไฟฟ้าด้านออกได้ มีทั้งแบบ 1 เฟส และ 3 เฟส

Matrix Converter = วงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันไฟฟ้าและความถี่ของแรงดันไฟฟ้าด้านออกได้ โดยที่การต่อของสวิตช์ในวงจรมีลักษณะการต่อแบบเมตริกซ์ มีทั้งแบบ 1 เฟส และ 3 เฟส

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึง ลักษณะโครงสร้างและหลักการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ หนึ่งเฟส ซึ่งจะพิจารณาลักษณะการทำงานของสวิตช์ทั้ง 4 ชุด ที่ทำหน้าที่ตัดต่อไฟฟ้ากระแสสลับอินพุตไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตตามสัญญาณพัลส์ที่จ่ายให้แก่สวิตช์ทั้ง 4 ชุด ในรูปของฟังก์ชันการสวิตช์ รวมทั้งพิจารณาลักษณะของแรงดันและกระแสด้านเอาต์พุตที่อยู่ในรูปของฟังก์ชันการสวิตช์ เพื่อเป็นหลักการสำหรับใช้ในการสร้างวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่เป็นเครื่องต้นแบบขึ้นมา ซึ่งรายละเอียดจะได้แสดงในหัวข้อต่างๆต่อไปนี้

2. หลักการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

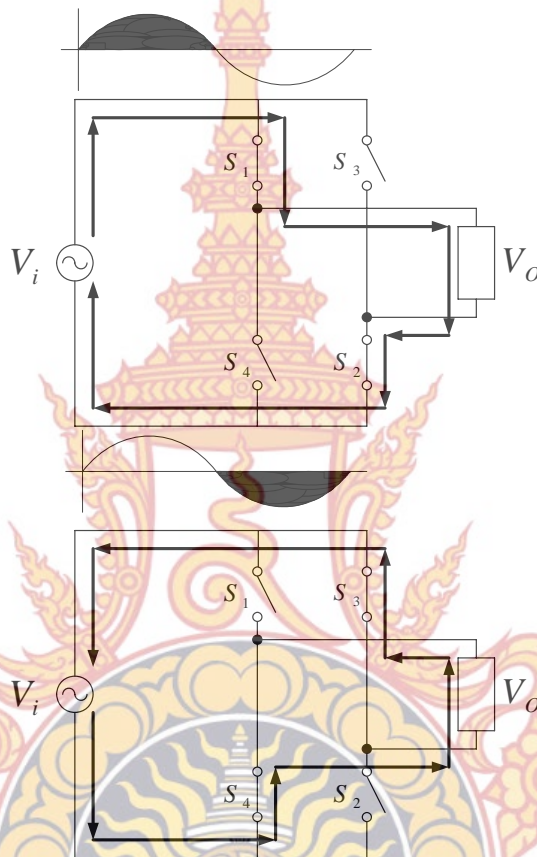
วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส มีโครงสร้างของวงจรประกอบด้วยสวิตช์ 4 ชุด คือ $S_1 - S_4$ มาต่อกันในลักษณะของเมตริกซ์แสดงได้ดังรูปที่ 2.1 โดยไฟฟ้ากระแสสลับอินพุตมีค่าแรงดันและกระแสเท่ากับ $v_{in}(t)$ และ $i_{in}(t)$ ทำการจ่ายให้กับสวิตช์ 4 ชุด ทำหน้าที่ตัดต่อให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตที่มีค่าแรงดันและกระแสเท่ากับ $v_{out}(t)$ และ $i_{out}(t)$ เพื่อทำการจ่ายไปยังโหลดต่อไป



รูปที่ 2.1 วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 1-เฟส



สวิตช์ที่ใช้ในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสทั้ง 4 ชุด คือ $S_1 - S_4$ ที่นำมาทำหน้าที่ตัดต่อไฟฟ้ากระแสสลับอินพุทให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุทนั้น สวิตช์แต่ละชุดที่ใช้เป็นสวิตช์ที่ยอมให้กระแสไหลได้สองทิศทาง (Bidirectional Switch) คือ ไหลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านชุดสวิตช์ไปยังโหลดในช่วงครึ่งไซเคิลบวกและไหลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านชุดสวิตช์ไปยังโหลดในช่วงครึ่งไซเคิลลบแสดงได้ดังรูปที่ 2.2



(ก) การไหลของกระแสในซีกบวกของแรงดันอินพุท (ข) การไหลของกระแสในซีกลบของแรงดันอินพุท
รูปที่ 2.2 การไหลของกระแสในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส ที่นำเสนอตั้งรูปที่ 2.1 นั้น กำหนดให้ไฟฟ้ากระแสสลับอินพุทมีค่าแรงดันอินพุทชั่วขณะ (Instantaneous Input Voltage) มีค่าเท่ากับ $v_i(t)$

$$v_i(t) = \sqrt{2}V_i \cos \omega_i t \quad 2.1$$

และไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุทมีค่าแรงดันเอาต์พุทชั่วขณะ (Instantaneous Output Voltage) มีค่าเท่ากับ $v_o(t)$

$$v_o(t) = \sqrt{2}V_o \cos \omega_o t \quad 2.2$$

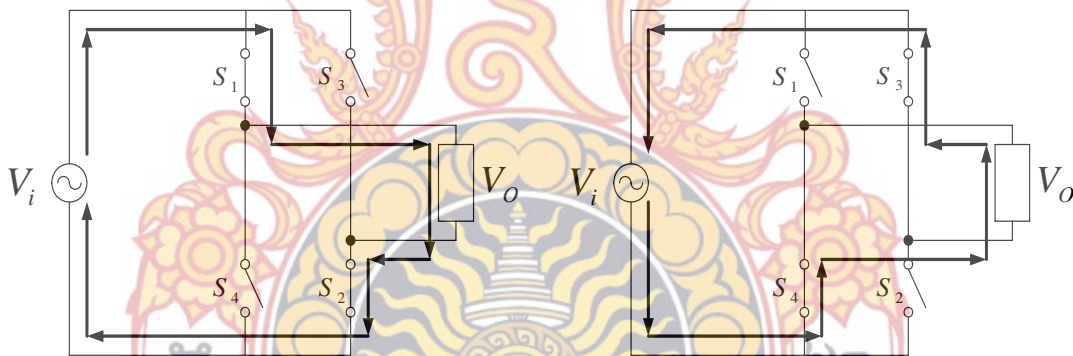
สวิตช์ทั้ง 4 ชุด ที่ทำหน้าที่ตัดต่อวงจร มีลักษณะการทำงานของสวิตช์แต่ละชุด เพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตตามที่ต้องการ ดังนี้

$$v_o(t) = \begin{cases} v_i(t) & : S_1 \text{ \& } S_2 = ON - \text{Mode 1} \\ -v_i(t) & : S_3 \text{ \& } S_4 = ON - \text{Mode 2} \\ 0 & : S_1 \text{ \& } S_3 \text{ or } S_2 \text{ \& } S_4 = ON - \text{Mode 3} \end{cases} \quad 2.3$$

และค่ากระแสอินพุตจะมีค่าเท่ากับ

$$i_i(t) = \begin{cases} i_o(t) & ; \text{Mode 1} \\ -i_o(t) & ; \text{Mode 2} \end{cases} \quad 2.4$$

โดยที่ สวิตช์ S_1 & S_4 และ S_2 & S_3 จะไม่สามารถทำงานพร้อมกันได้ เนื่องจากจะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้นในแต่ละกิ่งของวงจรได้ และลักษณะการทำงานในแต่ละโหมดตามสมการที่ 2.3 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



(ก) โหมดการทำงานที่ 1

(ข) โหมดการทำงานที่ 2

รูปที่ 2.3 โหมดการทำงานที่ 1 และ 2 ของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

จากลักษณะการทำงานของสวิตช์ทั้ง 4 ชุด ตามสมการ 2.3 พบว่ามีการทำงาน 3 โหมดการทำงาน โดยที่แต่ละโหมดการทำงานที่สามารถพิจารณาให้เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้มี 2 โหมดการทำงาน คือ การทำงานในโหมด 1 และ 2 โดยที่โหมดการทำงานที่ 3 จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เพราะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้นที่แหล่งจ่าย การทำงานของสวิตช์ทั้ง 4 ชุด จะทำงานที่ความถี่ในการสวิตช์ (Switching Frequency : f_s) ที่มีค่าความถี่สูง ($f_s \gg f_i, f_o$ โดยที่ $f_i = \omega_i/2\pi$ และ $f_o = \omega_o/2\pi$) และมีค่าเวลาการทำงานของสวิตช์ (หรือค่าดิวตีไซเคิล (Duty Cycle) ของการสวิตช์ในแต่ละครั้ง) ในระหว่างหนึ่งไซเคิลหรือหนึ่งคาบของการสวิตช์ใดๆ ($T_s = 1/f_s$) มีค่าเท่ากับ

$$m_j^k = \frac{\Delta_j^k}{T_s} \quad 2.5$$

$$\sum_{j=1}^2 \Delta_j^k = T_s \quad 2.6$$

$$m_1^k + m_2^k = 1 \quad 2.7$$

โดยที่

Δ_j^k เป็นช่วงค่าเวลาเมื่อวงจรทำงานในโหมด j ใดๆ ในระหว่างไซเคิลที่ k ใดๆ

j เป็นโหมดการทำงาน มีค่าเท่ากับ 1 หรือ 2

k เป็นจำนวนไซเคิลในการทำงาน มีค่าเท่ากับ $1, 2, \dots, n, \dots, \infty$

T_s เป็นคาบเวลาหรือไซเคิลของการสวิตช์

$$0 \leq m_j \leq 1$$

กรณีที่ความถี่ในการสวิตช์ของวงจรคอนเวอร์เตอร์มีค่าสูงๆ จะทำให้ค่าแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยในช่วงไซเคิลที่ k ใดๆ ที่มีคาบเวลาเท่ากับ T_s มีค่าเท่ากับ

$$v_{o,av}^k = (m_1^k - m_2^k)v_i^k(t) \quad 2.8$$

$$V_o \cos(\omega_o t) = (m_1 - m_2)V_i \cos(\omega_i t) \quad 2.9$$

โดยที่

$v_{o,av}^k(t)$ เป็นค่าแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยในช่วงระหว่างไซเคิลที่ k ใดๆ

$v_i^k(t)$ เป็นค่าแรงดันอินพุตในช่วงไซเคิลที่ k ใดๆ และในทางปฏิบัติมีค่าคงที่

3. สรุปท้ายบท

ในบทนี้ทำให้ทราบถึง หลักการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส ว่ามีลักษณะการทำงานทั้งหมด 2 โหมดการทำงาน ซึ่งในแต่ละโหมดของการทำงานจะมีการทำงานของสวิตช์ทั้ง 4 ชุด แตกต่างกัน โดยสวิตช์แต่ละชุดจะทำงานตามสัญญาณพัลส์ m_1, m_2 ซึ่งคำนวณได้ตามสมการข้างต้นดังได้กล่าวไปแล้ว ซึ่งสัญญาณพัลส์ที่ดับบลิวเอ็มจากการคำนวณนี้ จะนำไปใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์ที่ดับบลิวเอ็มโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวประมวลผลเพื่อสร้างสัญญาณพัลส์ที่ดับบลิวเอ็มออกมา เพื่อนำไปใช้ในขับนำสวิตช์แต่ละชุดในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์เครื่องต้นแบบต่อไป

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วงจร เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ถูกนำเสนอครั้งแรกในปี 1976 โดย Gyugyi และ Pelly [1,2] หลักการของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ถูกนำเสนอเป็นหลักการทางคณิตศาสตร์ โดย Venturini และ Alessina [3, 5] ซึ่งวงจร เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการ

ลดส่วน DC link ในวงจรอินเวอร์เตอร์ถูกนำเสนอโดย Ziogas [4] ซึ่งเป็นหลักการที่นำเสนอจะพิจารณาในระบบไฟฟ้าสามเฟส หลักการของวงจร เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Zuckerberger [6] การประยุกต์ใช้วงจร เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสมีมากมายหลายด้าน เช่น radio-frequency induction heating [10] และ audio power amplification [11] แต่อย่างไรก็ตามมีปริมาณงานวิจัยค่อนข้างน้อยที่จะทำการพิจารณาถึงคุณลักษณะต่างๆของวงจร เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสโดยทำการทดสอบกับโหลดแบบพาสซีฟ ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบวงจร เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับพาสซีฟโหลดเพื่อทำการวัดรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าทั้งด้านอินพุทและเอาต์พุท รวมทั้งวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และสเปกตรัมฮาร์โมนิก ที่ได้ทำการทดสอบกับโหลดแบบพาสซีฟนี้



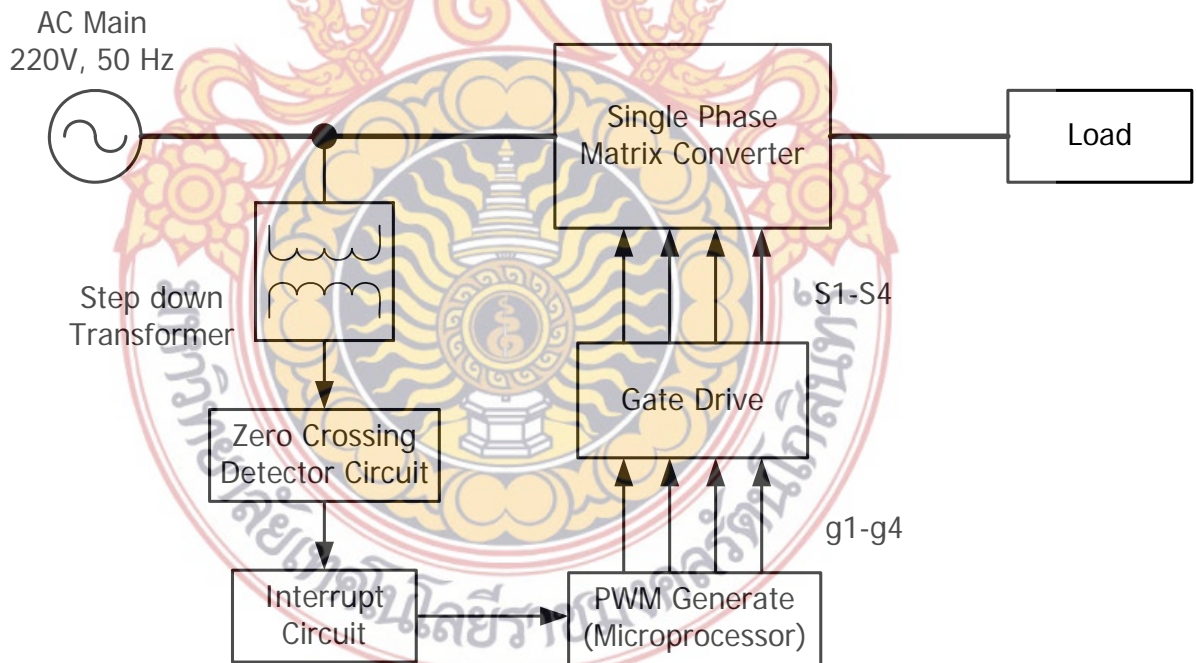
บทที่ 3 วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

1. บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึง ลักษณะโครงสร้างของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่จะทำการสร้างขึ้นเป็นเครื่องต้นแบบ และหลักการสร้างสัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็ม ซึ่งใช้ในการขับนำสวิทซ์สองทางทั้ง 4 ชุดเพื่อให้ได้แรงดันพีดับลิวเอ็มเอาท์พุท รวมทั้งลักษณะของสัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็ม ที่ใช้ควบคุมการทำงานของสวิทซ์สองทางในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งสัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็มที่ใช้จะได้อาจมาจากสมการของ m_1, m_2 ที่ได้ทำการแสดงไว้ในบทที่ 2 แล้ว โดยสร้างจากชุดไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งรายละเอียดจะได้แสดงในหัวข้อต่างๆต่อไปนี้

2. โครงสร้างวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

โครงสร้างวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 1-เฟส ที่ดำเนินการวิจัยนี้ สามารถออกแบบและสร้างขึ้น มีรายละเอียดในส่วนต่าง ๆ ดังแสดงด้วยบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมรวมของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

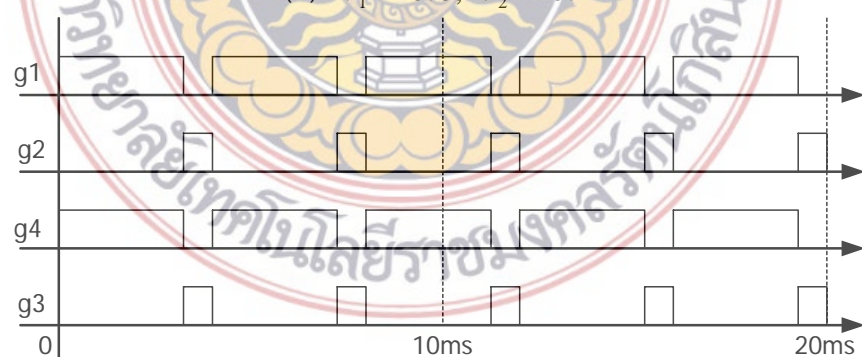
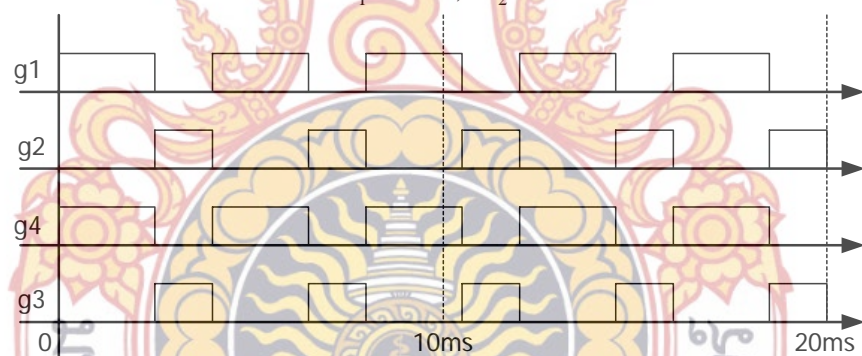
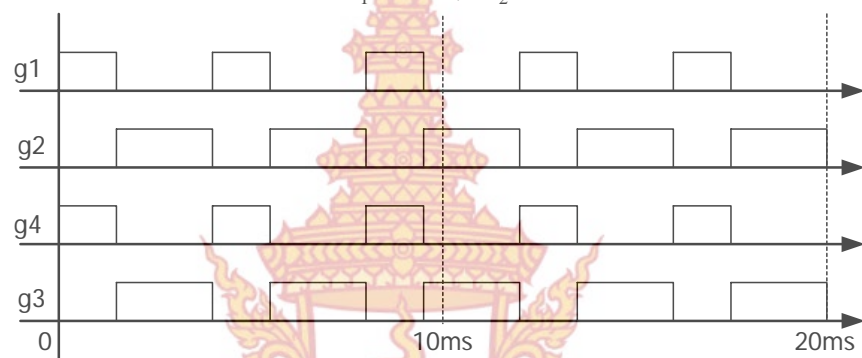
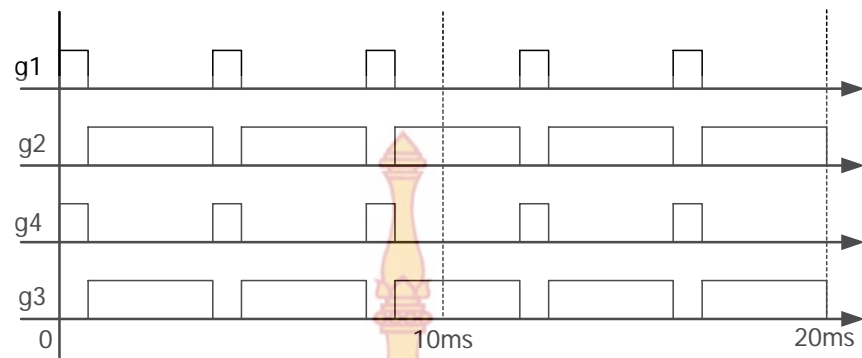
จากรูปที่ 3.1 เป็นโครงสร้างโดยรวมของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งสามารถแยกออกเป็นส่วนต่าง ๆ ได้ดังนี้

- (1) วงจรส่วนสร้างสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิเอม (PWM Generate)
- (2) วงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัพท์ (Interrupt Circuit)
- (3) วงจรตรวจจับแรงดันศูนย์ (Zero Crossing Voltage Detector Circuit)
- (4) วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส (Single-Phase Matrix Converter)

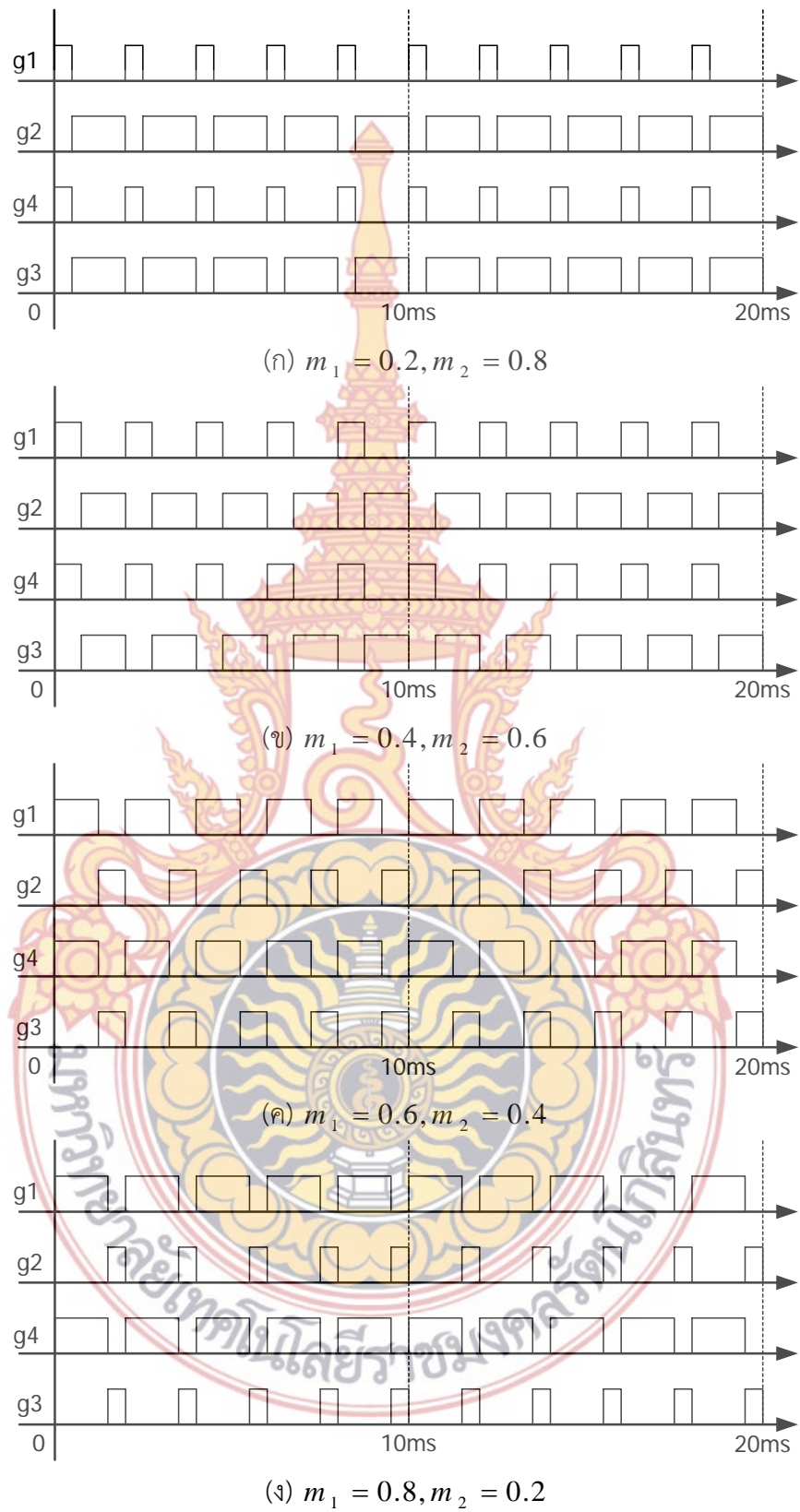
ซึ่งรายละเอียดของแต่ละส่วนของวงจรจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

3. วงจรส่วนสร้างสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิเอมที่ใช้ในการขับนำสวิทซ์สองทาง

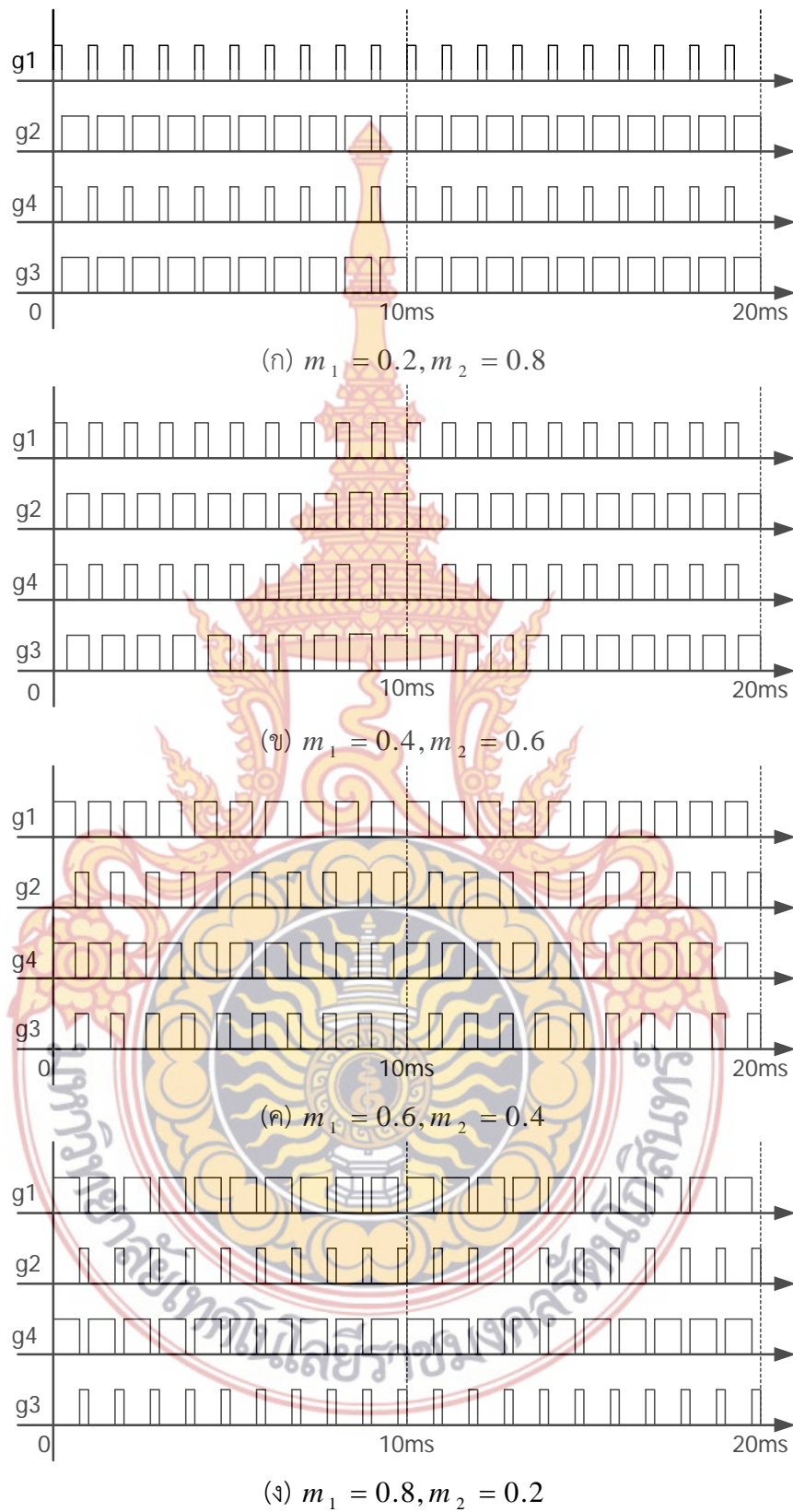
สัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิเอม (g_1 - g_4) ที่ใช้ในการขับนำสวิทซ์สองทิศทางในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างมาจากการใช้สมการของ m_1, m_2 ที่ได้ทำการแสดงไว้ในบทที่ 2 โดยการคำนวณหาค่าเวลาของ m_1, m_2 ซึ่งเป็นค่าดิวิตีไซเคิล (Duty Cycle) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่า m_1 เท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ส่วนค่า m_2 เท่ากับ 0.8, 0.6, 0.4 และ 0.2 ในแต่ละค่าความถี่สวิทซ์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าความถี่สวิทซ์ (Switching Frequency : f_s) เท่ากับ 250 Hz, 500 Hz และ 1 kHz ซึ่งมีรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 3.2 – 3.4 โดยที่สัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิเอม g_1 และ g_4 มีค่าดิวิตีไซเคิล (Duty Cycle) เท่ากับ m_1 (0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8) และสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิเอม g_2 และ g_3 มีค่าดิวิตีไซเคิล (Duty Cycle) เท่ากับ m_2 (0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8) ซึ่งสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิเอม (g_1 - g_4) สามารถสร้างขึ้นจากการใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูล PIC เบอร์ PIC16F628 โดยการเก็บข้อมูลของสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิเอม g_1 - g_4 ที่ค่าดิวิตีไซเคิล (Duty Cycle) เท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 และค่าความถี่สวิทซ์ (Switching Frequency : f_s) เท่ากับ 250 Hz, 500 Hz และ 1 kHz ไว้ในลักษณะเป็นตารางในหน่วยความจำของไมโครโปรเซสเซอร์ PIC16F628 แล้วให้ไมโครโปรเซสเซอร์ PIC16F628 ทำการอ่านค่าข้อมูลจากตารางข้อมูลส่งออกทางพอร์ตของไมโครโปรเซสเซอร์ PIC16F628 ซึ่งเป็นวิธีการเปิดตาราง (Look-up Table) โดยแต่ละค่าของข้อมูลที่ส่งออกทางพอร์ต A ของไมโครโปรเซสเซอร์ PIC16F628 ซึ่งเป็นข้อมูลที่เป็นสถานะการทำงานของสวิทซ์สองทางในช่วง 0.2 มิลลิวินาที ดังนั้นจะทำให้มีข้อมูลทั้งหมด 100 ค่าต่อหนึ่งตารางต่อหนึ่งค่าดิวิตีไซเคิล (Duty Cycle) และหนึ่งค่าความถี่สวิทซ์ (Switching Frequency : f_s) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งออกที่เอาต์พุตพอร์ต A ของไมโครโปรเซสเซอร์ PIC16F628 ครั้งละ 1 ข้อมูลแล้วทำการหน่วงเวลาไว้จำนวน 0.2 มิลลิวินาที จนครบ 100 ข้อมูลซึ่งจะได้สัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิเอม g_1 - g_4 ครบ 1 ไซเคิล ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างวิธีการหาข้อมูลของสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิเอม g_1 - g_4 ที่ค่าดิวิตีไซเคิล (Duty Cycle) เท่ากับ 0.8 และที่ความถี่ความถี่สวิทซ์ (Switching Frequency : f_s) เท่ากับ 250 Hz แสดงได้ดังรูปที่ 3.5 โดยจะแทนลอจิก “0” ซึ่งหมายถึงสวิทซ์หยุดนำกระแสและแทนลอจิก “1” ซึ่งหมายถึงสวิทซ์นำกระแส ดังนั้น จากรูปแบบของสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิเอม g_1 - g_4 ในรูปที่ 3.5 ในช่วง 0.2 มิลลิวินาทีแรก (0-0.2 มิลลิวินาที) จะแทนด้วยลอจิกเป็น 1,



รูปที่ 3.2 สัญญาณพัลส์พีดีบีเอ็มที่ค่าความถี่สวิตช์เท่ากับ 250 Hz



รูปที่ 3.3 สัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่ค่าความถี่สวิตช์เท่ากับ 500 Hz



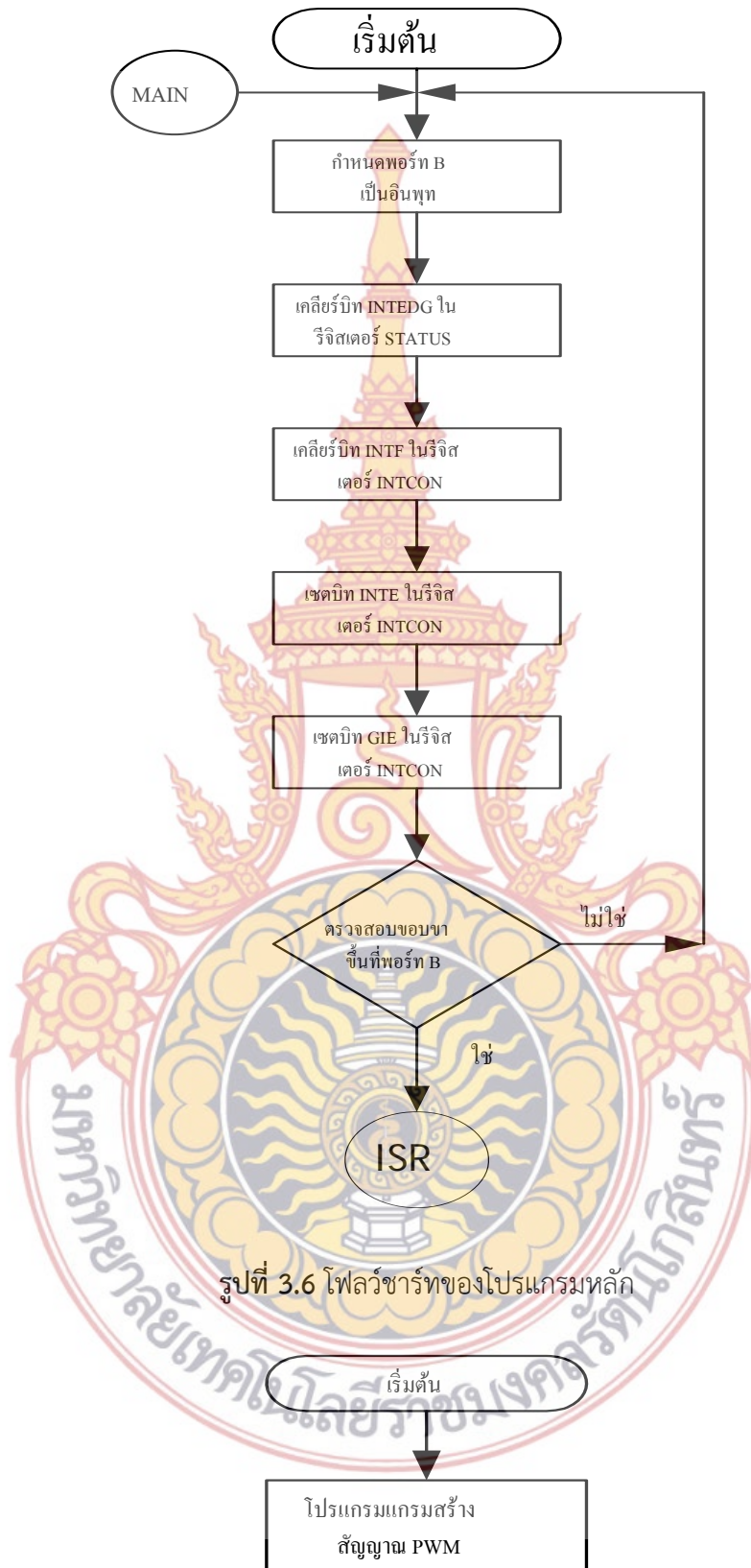
รูปที่ 3.4 สัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็มที่ค่าความถี่สวิทซ์เท่ากับ 1 kHz



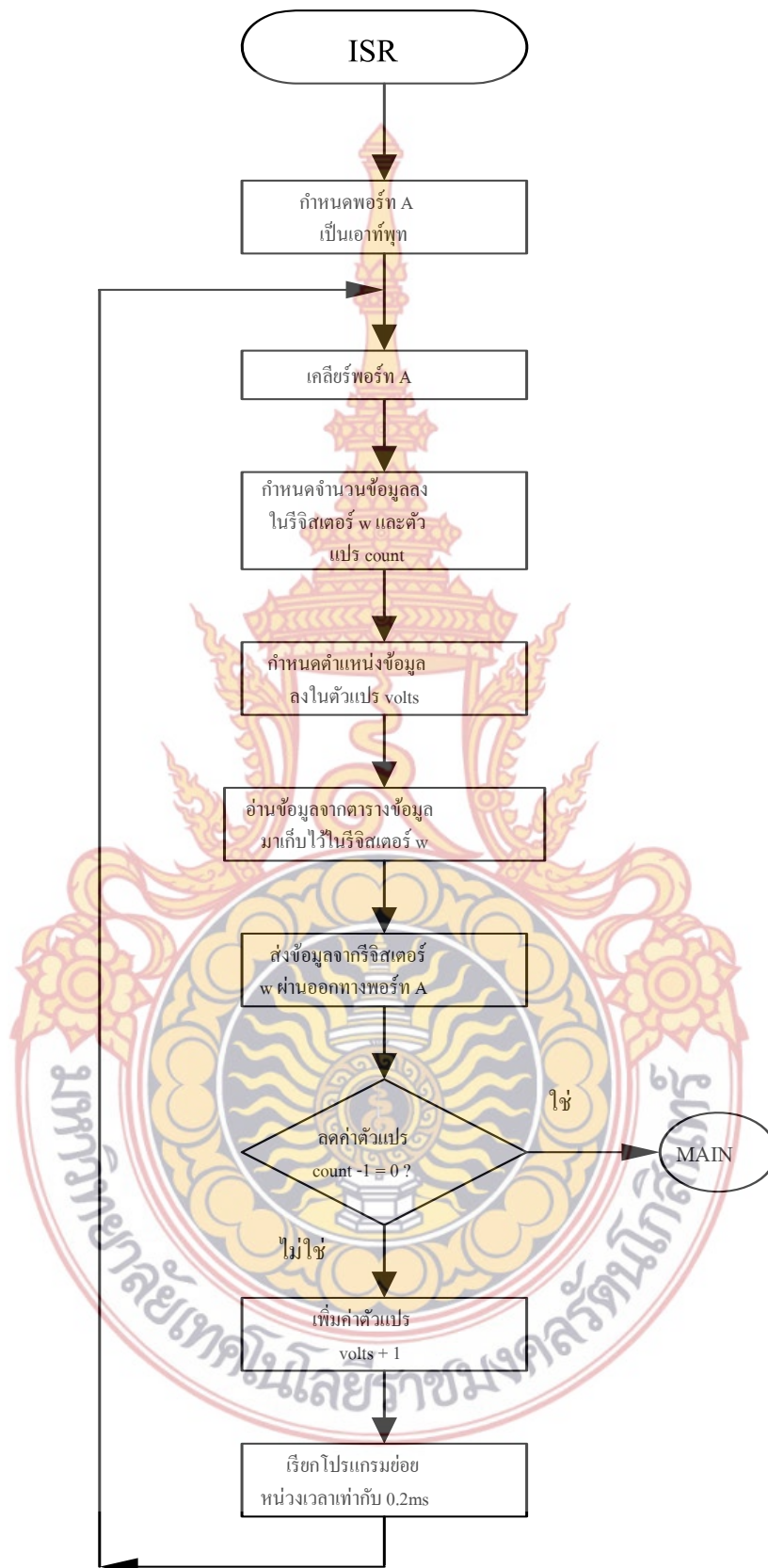
0, 1, และ 0 ตามลำดับ แต่ในการเก็บข้อมูลของสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม g_1 - g_4 ลงในตารางนั้นจะทำการเก็บข้อมูลของ g_1 ในบิต 0, g_2 ในบิต 1, g_4 ในบิต 2 และ g_3 ในบิต 3 ซึ่งการเก็บข้อมูลในช่วง 0.2 มิลลิวินาทีแรก จะต้องเก็บข้อมูลในระบบเลขฐานสองเท่ากับ 00000101B หรือในระบบเลขฐานสิบหกเท่ากับ 05H ส่วนในการหาข้อมูลที่เหลือช่วงละ 0.2 มิลลิวินาที สามารถหาได้ในลักษณะเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว

โปรแกรมที่ใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่ค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) และค่าความถี่สวิทช์ (Switching Frequency : f_s) ต่างๆ โดยสามารถแสดงโพล์ชาร์ตของโปรแกรมหลักได้ดังรูปที่ 3.6 โดยจะเริ่มต้นจากการตั้งค่าเริ่มต้นให้กับพอร์ต B ซึ่งจะทำการกำหนดให้พอร์ต B เป็นพอร์ตอินพุตที่จะรับสัญญาณอินเทอร์รัพท์ภายนอกทุกๆ หนึ่งไซเคิลของสัญญาณไฟไลน์การไฟฟ้า หลังจากนั้นทำการเคลียร์บิต INTEDG ในรีจิสเตอร์ STATUS และบิต INTR ในรีจิสเตอร์ INTCON รวมทั้งทำการเซตบิต INTE และ GIE ในรีจิสเตอร์ INTCON แล้วตรวจสอบขอบขาขึ้นของสัญญาณอินเทอร์รัพท์ภายนอกจากพอร์ต B บิต 0 (RBO / \overline{INT}) ว่ามีการอินเทอร์รัพท์เกิดขึ้นหรือไม่

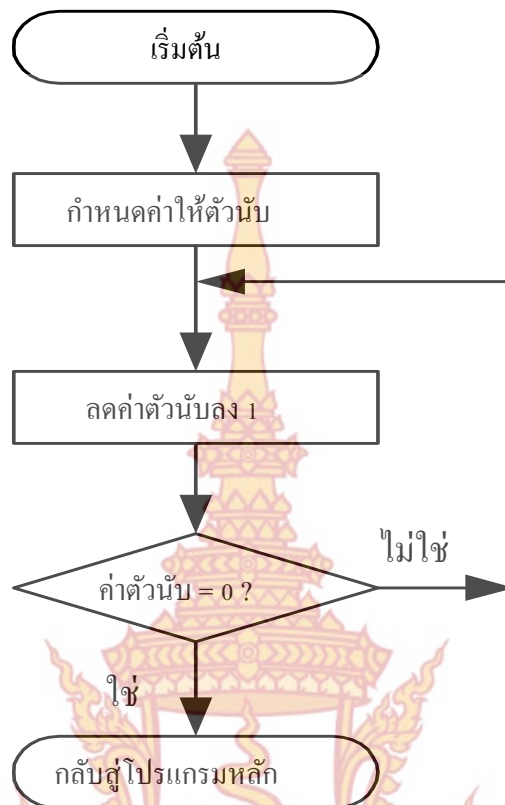
ถ้าตรวจสอบพบขอบขาขึ้นของสัญญาณอินเทอร์รัพท์ภายนอกก็จะเกิดการอินเทอร์รัพท์ขึ้นแล้วโปรแกรมบริการอินเทอร์รัพท์จะทำงานดังโพล์ชาร์ตรูปที่ 3.7 ซึ่งจะเริ่มต้นทำการสร้างสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็ม ขึ้นดังโพล์ชาร์ตรูปที่ 3.8 โดยเริ่มจากการกำหนดพอร์ต A เป็นพอร์ตเอาต์พุตที่จะส่งข้อมูลเลขฐานสิบหกออกไปเป็นสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มโดยใช้วิธีการเปิดตาราง โดยจะทำการกำหนดตำแหน่ง (address) เริ่มต้นของตารางข้อมูลสภาวะการทำงานของสวิทช์ให้กับรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการชี้ตำแหน่งของข้อมูลซึ่งได้ทำการเก็บไว้ก่อนแล้วตารางละ 100 ข้อมูล ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ต่อจากนั้นจะเป็นการส่งข้อมูลสภาวะการทำงานของสวิทช์ทั้งหมด 100 ค่า ที่ถูกชี้โดยรีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ชี้ตำแหน่งของข้อมูลส่งออกทางพอร์ต A ซึ่งจะถูกระงับเวลาให้ข้อมูลยังคงอยู่ที่พอร์ตเป็นเวลา 0.2 มิลลิวินาที โดยในการหน่วงเวลา 0.2 มิลลิวินาทีนั้นจะใช้โปรแกรมย่อยดังโพล์ชาร์ตรูปที่ 3.9 และเมื่อส่งข้อมูลออกไปที่พอร์ตจนครบ 100 ค่าข้อมูลแล้วจะกลับไปเริ่มต้นนำข้อมูลในตำแหน่งเริ่มต้นใหม่อีกครั้งจนครบ 100 ค่าข้อมูล ซึ่งข้อมูลแต่ละค่าที่ส่งออกไปจะถูกหน่วงเวลาข้อมูลละ 0.2 มิลลิวินาที จนครบจำนวน 100 ข้อมูล เป็นเวลา 20 มิลลิวินาที เท่ากับหนึ่งไซเคิลของไฟไลน์การไฟฟ้า โดยใช้แรงดันไฟไลน์ an เป็นเฟสอ้างอิงแล้วใช้แรงดันนี้ไปสร้างสัญญาณอินเทอร์รัพท์ให้กับไมโครโปรเซสเซอร์ PIC16F628 โดยที่เมื่อมีสัญญาณอินเทอร์รัพท์ภายนอกเข้ามาที่พอร์ต B บิต 0 (RBO / \overline{INT}) ให้กับไมโครโปรเซสเซอร์โปรแกรมจะเริ่มส่งข้อมูลที่ชี้โดยตัวชี้ ตำแหน่งข้อมูลแรกออกไปยังเอาต์พุตพอร์ต A เพื่อเริ่มสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่มุม 0 องศาใหม่



รูปที่ 3.7 โฟลว์ชาร์ทของโปรแกรมบริการการอินเทอร์รัพท์



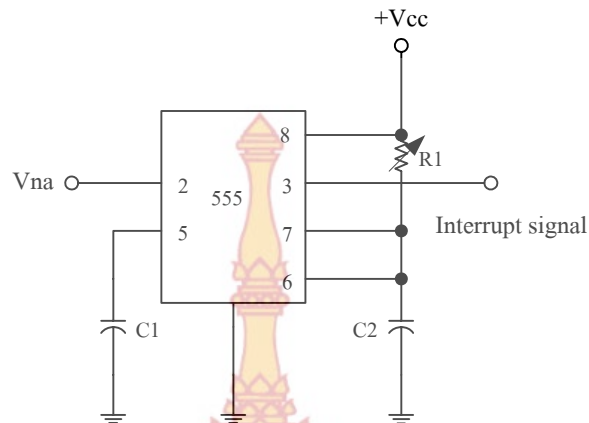
รูปที่ 3.8 โฟลว์ชาร์ทของโปรแกรมสร้างสัญญาณพัลส์พีดีบีพลิวเอ็ม



รูปที่ 3.9 โฟลว์ชาร์ทของโปรแกรมย่อยหน่วงเวลา 0.2 มิลลิวินาที

4. วงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัพท์ (Interrupt Circuit)

การสร้างสัญญาณพัลส์พีดีบีบลิวเอ็มเพื่อใช้ในการขับนำสวิทช์สองทางในวงจรเมตริกคอนเวอร์เตอร์นั้น ตำแหน่งเริ่มต้นของสัญญาณพัลส์พีดีบีบลิวเอ็มแต่ละชุดจะต้องเริ่มจากตำแหน่งศูนย์ของแรงดันไลน์ทูล์ไลน์การไฟฟ้าอินพุท V_{an} ซึ่งเป็นการทำงานในลักษณะที่ซิงโครไนซ์กัน นั่นคือ ทำให้เฟสของแรงดันอินพุทและแรงดันเอาต์พุทตรงกัน ดังนั้นเพื่อให้เกิดการซิงโครไนซ์ขึ้น จะต้องทำการสร้างสัญญาณเพื่อส่งไปทำการอินเทอร์รัพท์ไมโครโปรเซสเซอร์ให้เริ่มสร้างและส่งข้อมูลสัญญาณพัลส์พีดีบีบลิวเอ็ม ณ ตำแหน่งศูนย์ของแรงดันอินพุท V_{an} โดยสัญญาณอินเทอร์รัพท์ที่ใช้เป็นการอินเทอร์รัพท์แบบนอนมาสเคเบิล (Nonmaskable Interrupt) ซึ่งสัญญาณอินเทอร์รัพท์จะส่งไปยังพอร์ท B บิต 0 (RBO / \overline{INT}) โดยใช้การตรวจสอบขอบขาขึ้นของสัญญาณอินเทอร์รัพท์ที่ขา \overline{NMI} ของไมโครโปรเซสเซอร์ สัญญาณอินเทอร์รัพท์นี้ จะถูกสร้างโดยใช้วงจรโมนอสเตเบิล (Monostable Circuit) โดยมีลักษณะของวงจรโมนอสเตเบิลที่ใช้ตามรูปที่ 3.10 และสัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับตำแหน่งแรงดันศูนย์และสัญญาณอินเทอร์รัพท์ที่ส่งไปให้แก่ไมโครโปรเซสเซอร์ PIC16F628 แสดงได้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 วงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัพท์เพื่อให้เกิดการชิงโครไนซ์ของสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวเอ็ม



รูปที่ 3.11 ลักษณะของสัญญาณอินเทอร์รัพท์ที่ได้มาจากสัญญาณแรงดันไฟไลน์การไฟฟ้า

5. วงจรตรวจจับแรงดันศูนย์ (Zero Crossing Voltage Detector Circuit)

ในส่วนของวงจรตรวจจับแรงดันศูนย์นั้น จะประกอบด้วยวงจรอีก 2 ส่วน คือ วงจรที่ทำหน้าที่แยกกราวด์ระหว่างไฟไลน์การไฟฟ้ากับไฟเลี้ยงในวงจรสร้างสัญญาณต่าง ๆ และวงจรตรวจจับแรงดันศูนย์ ซึ่งจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

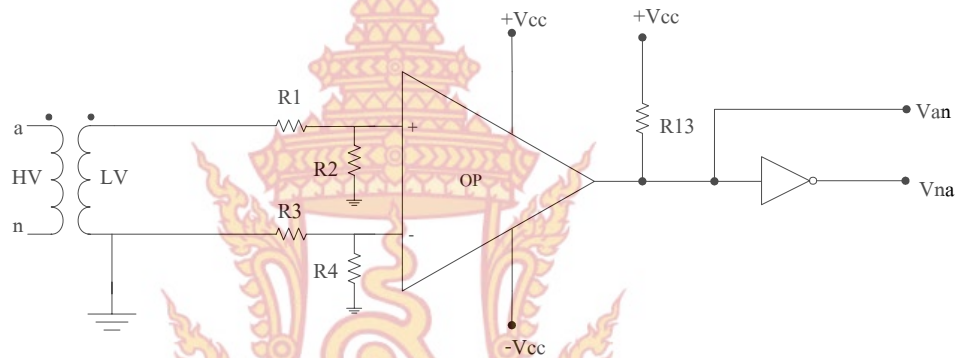
5.1 วงจรแยกกราวด์ (Ground Separated)

การทำงานของสวิตช์สองทางในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ จะต้องมีการทำงานที่มีลักษณะชิงโครไนซ์กับสัญญาณไฟไลน์อินพุท ดังนั้นจะต้องนำสัญญาณไฟไลน์อินพุทมาใช้ควบคุมการทำงานของสวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุด และเพื่อป้องกันการเสียหายของวงจรสร้างสัญญาณต่าง ๆ อันเนื่องจากการผิด ปกติของสัญญาณไฟไลน์การไฟฟ้า จึงต้องทำการแยกกราวด์ของสัญญาณไฟไลน์กับไฟเลี้ยง

ของวงจรควบคุม การแยกกราวด์นี้จะใช้หม้อแปลงทำการลดระดับแรงดันจาก 220 Vrms ลงมาเหลือ 6 Vrms ดังนั้นจะได้สัญญาณไฟไลน์ที่มีลักษณะที่ซิงโครไนซ์กับไฟไลน์การไฟฟ้า

5.2 วงจรตรวจจับแรงดันศูนย์ (Zero Crossing Voltage Detector)

วงจรตรวจจับแรงดันศูนย์ ทำหน้าที่ตรวจจับตำแหน่งแรงดันศูนย์โวลต์ของไฟเอซีไลน์การไฟฟ้า โดยจะนำสัญญาณไฟเอซีที่ได้ทำการลดระดับลงมาแล้วจากวงจรแยกกราวด์มาผ่านวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน ซึ่งจะได้สัญญาณพัลส์ที่มีความสัมพันธ์กับไฟเอซีไลน์การไฟฟ้า ซึ่งลักษณะวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 3.12 และสัญญาณที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบจะนำไปเป็นสัญญาณอินพุตให้แก่วงจรโมโนสเตเบิล เพื่อให้ได้สัญญาณอินเทอร์รัพท์แบบนอนมาสเคเบิลส่งไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ PIC16F628 ต่อไป

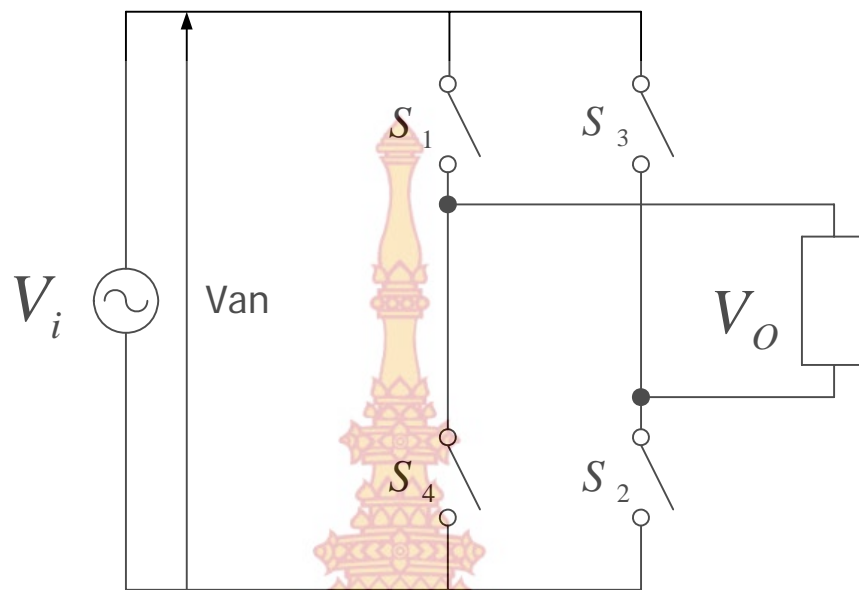


รูปที่ 3.12 วงจรตรวจจับแรงดันศูนย์

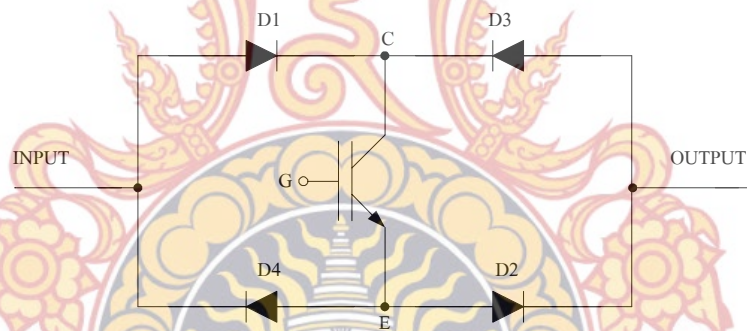
6. วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส (Single-Phase Matrix Converter)

วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส ทำหน้าที่ตัดต่อแรงดันไลน์การไฟฟ้าหนึ่งเฟสที่มีค่าความถี่และระดับแรงดันคงที่ โดยใช้สวิตช์ทั้งหมด 4 ชุด แสดงได้ดังวงจรรูปที่ 3.13 ไปเป็นแรงดันเอาต์พุตหนึ่งเฟส ที่สามารถปรับเปลี่ยนระดับแรงดันและความถี่เอาต์พุตได้ โดยการปรับที่ความถี่ของสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวเอ็มที่สร้างมาจากไมโครโปรเซสเซอร์ PIC16F628 สวิตช์ที่ใช้ในวงจรกำลังจะเป็นสวิตช์ที่มีการทำงานโดยให้กระแสไหลผ่านได้ทั้งสองทาง เรียกว่า สวิตช์สองทาง (Bidirectional Switch) โดยสวิตช์สองทางที่ใช้จะประกอบด้วย สวิตช์เอจิปที (IGBT) จำนวน 1 ตัว ทำงานร่วมกับไดโอด (Diode) 4 ตัว ต่อแบบบริดจ์ ซึ่งลักษณะสวิตช์สองทิศทาง แสดงได้ดังรูปที่ 3.14

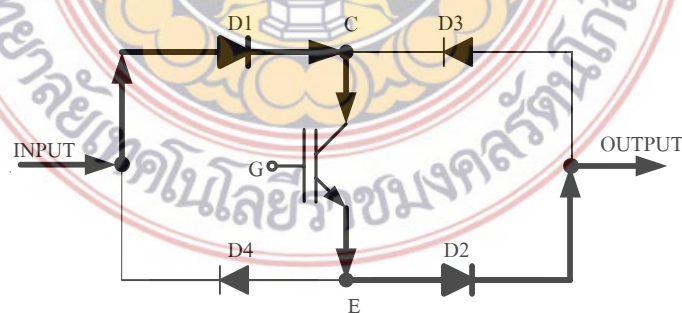
จากรูปที่ 3.14 เป็นสวิตช์สองทิศทางที่ใช้ในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ โดยทิศทางแรกกระแสไหลเข้ามาทางอินพุตจะไหลผ่านไดโอด D1 ผ่านขาคอลเลคเตอร์-อีมีเตอร์ของ IGBT (IGBT Turn-ON) ผ่านไดโอด D2 ออกทางเอาต์พุตดังรูปที่ 3.15(a) และในทิศทางที่สองกระแสไหลย้อนกลับเข้าทางเอาต์พุตไหลผ่านไดโอด D3 ผ่านขาคอลเลคเตอร์-อีมีเตอร์ของ IGBT (IGBT Turn-ON) ผ่านไดโอด D4 ออกทางอินพุตดังรูปที่ 3.15 (b)



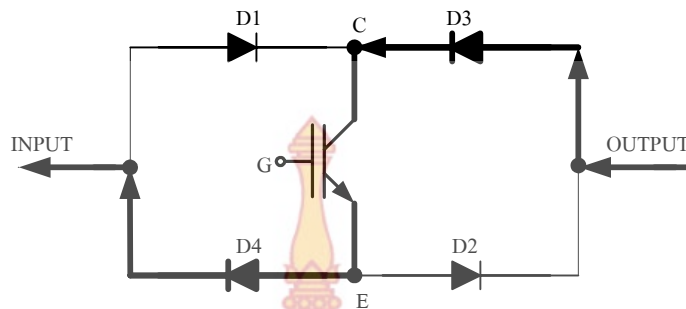
รูปที่ 3.13 วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่ประกอบด้วยสวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุด



รูปที่ 3.14 ลักษณะสวิตช์สองทิศทางที่ใช้ IGBT 1 ตัว ทำงานร่วมกับ Diode ที่ต่อแบบ Bridge



(a) สวิตช์นำกระแสจากอินพุทไหลไปยังเอาต์พุท



(b) สวิตช์นำกระแสจากเอาต์พุทไหลไปยังอินพุท
รูปที่ 3.15 การทำงานของสวิตช์สองทิศทาง

7. สรุปท้ายบท

ในบทนี้ได้ทำให้เข้าใจถึงส่วนประกอบต่าง ๆ ของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส ในส่วนของการสร้างสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวเอ็มที่ใช้ในการขับนำสวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุดให้ทำงานได้ ซึ่งจะต้องใช้สัญญาณ 2 ส่วน คือ สัญญาณพัลส์ที่ดับลิวเอ็มที่สร้างจากไมโครโปรเซสเซอร์ PIC16F628 กับ สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับแรงดันศูนย์จากแรงดันไฟไลน์การไฟฟ้า เพื่อนำมาเป็นสัญญาณอินเทอร์รัพท์ให้แก่ไมโครโปรเซสเซอร์ PIC16F628 เพื่อใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวเอ็ม เพื่อไปขับนำสวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุด ให้ทำงานตามจังหวะของแรงดันไฟไลน์อินพุทตลอดจนได้แสดงการทำงานของสวิตช์สองทิศทางที่ใช้ในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งสามารถทำงานโดยให้กระแสไหลจากแหล่งจ่ายไปยังโหลดและไหลจากโหลดย้อนกลับสู่แหล่งจ่ายได้ ซึ่งเป็นลักษณะของสวิตช์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จากหลักการสร้างสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวเอ็มที่ใช้ควบคุม การขับนำของสวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุด ให้ทำงานจะนำไปเป็นหลักการสร้างสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวเอ็ม เพื่อนำไปป้อนให้กับสวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุด ให้ทำงานเพื่อทดสอบโหลดในหัวข้อการทดลองต่อไป

บทที่ 4

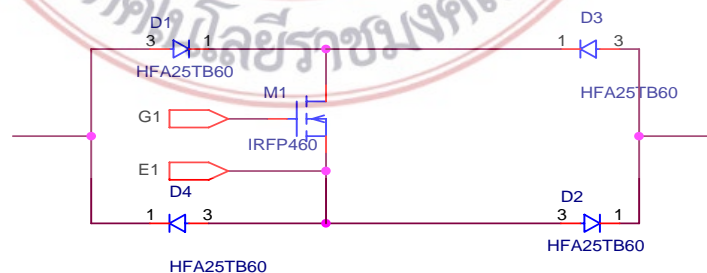
ผลการจำลองและผลการทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

1. บทนำ

ในบทนี้เป็นการจำลองการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส โดยใช้โปรแกรมจำลองวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่มีชื่อว่าโปรแกรม OrCAD/PSpice 9.1 student version ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วงจรการทำงานของสวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุด จะทำงานตามสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่ค่าความถี่สวิตช์ (Switching Frequency) เท่ากับ 250Hz, 500Hz และ 1000Hz และค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) เท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 เพื่อทำการศึกษาพฤติกรรมการทำงานพร้อมทำการวัดรูปคลื่นสัญญาณที่จุดต่างๆ ของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์สัญญาณในเชิงฟูเรียร์ (Fast Fourier Transform : FFT) และพล็อตสเปกตรัม (Spectrum) ของรูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้า รวมทั้งเป็นการนำวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส ที่ทำการสร้างขึ้นเป็นเครื่องต้นแบบตามหลักการและโครงสร้างดังที่กล่าวมาในบทที่ 3 นำไปทำการทดสอบกับโหลดชนิดต่างๆ คือ โหลดชนิดตัวต้านทาน และโหลดชนิดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ โดยใช้ลักษณะสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่เงื่อนไขของค่าความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 250 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz จำนวนพัลส์ในแต่ละไซเคิลเท่ากับ 5 พัลส์, 10 พัลส์ และ 20 พัลส์ และมีค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 เพื่อศึกษาลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุตและด้านเอาต์พุต รวมทั้งนำมาทำการวิเคราะห์เชิงฟูเรียร์เพื่อศึกษาฮาร์มอนิกของคลื่นทั้งสองด้วย พร้อมทั้งทำการศึกษาคูณลักษณะของวงจรโดยการหาความสัมพันธ์ ระหว่าง ค่าดิวตี้ไซเคิล จำนวนพัลส์ และ ค่าความถี่การสวิตช์ ของสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มกับค่าแรงดันและกระแสอินพุตและเอาต์พุตของวงจรที่ได้ทำการต่อกับโหลดชนิดต่างๆ ดังรายละเอียดต่อไป

2. วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการจำลอง

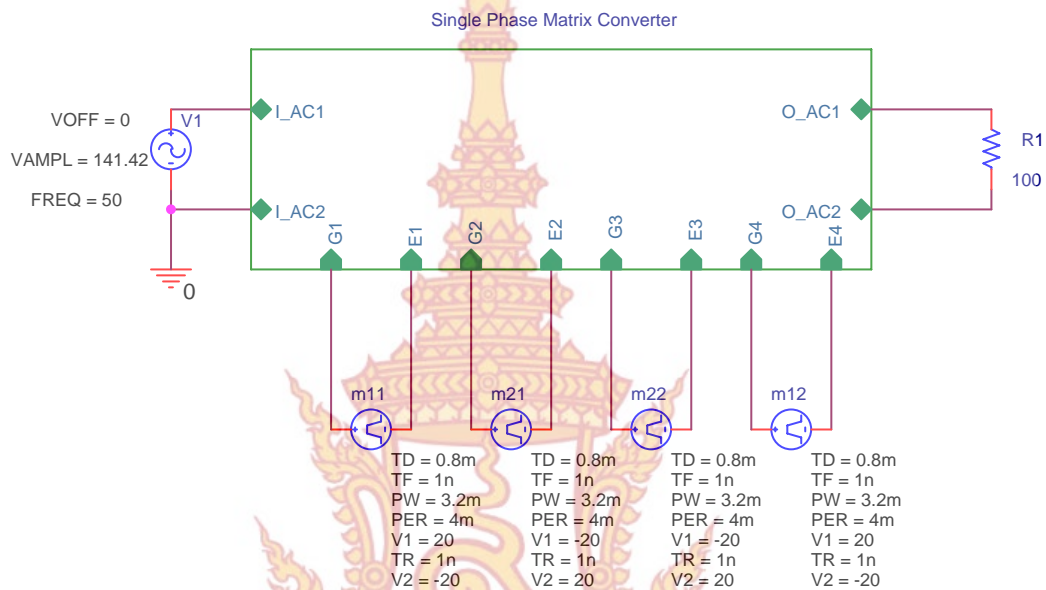
การจำลองการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสในงานวิจัยนี้ ได้ใช้โครงสร้างวงจรและลักษณะสวิตช์สองทาง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ซึ่งสวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุด ที่ใช้นั้นแต่ละชุด ประกอบด้วย สวิตช์กำลังมอสเฟต (Power MOSFET) เบอร์ IRFP460 1 ตัว กับ ไดโอดกำลัง (Power Diode) เบอร์ HFA25TB60 4 ตัว นำมาต่อกันในลักษณะดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะสวิตช์สองทางที่ใช้ในการจำลองของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส



สวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุด จะถูกนำมาต่อกันตามโครงสร้างของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสดังรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นวงจรที่ใช้ในการจำลองวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส เพื่อทำการศึกษาถึงพฤติกรรมการทำงาน พร้อมทำการวัดรูปคลื่นสัญญาณที่จุดต่างๆ ของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส ตามลักษณะสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่เงื่อนไขค่าตัวที่ใช้เคลและความถี่สวิตช์ค่าต่างๆ



รูปที่ 4.3 ลักษณะวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่ใช้ในการจำลองวงจรทั้งหมด

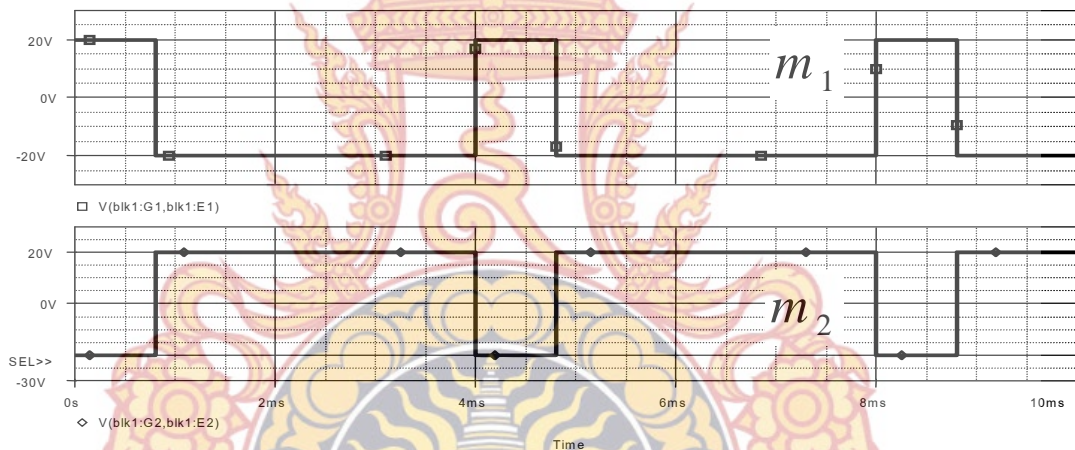
ลักษณะวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสโดยรวมที่ใช้ในการจำลองวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้ คือ แรงดันอินพุต V1 ที่เป็นแหล่งจ่ายไฟสลับ VSIN ที่ใช้มีค่าแรงดันเท่ากับ 100 Vrms ($VAMPL = 141.42$ Vpeak), ความถี่(FREQ) 50 Hz และสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่จ่ายให้แก่สวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุด คือ m11, m12, m21 และ m22 ใช้อุปกรณ์ที่ชื่อ VPULSE ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็ม เพื่อจ่ายสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มตามเงื่อนไขที่ค่าตัวที่ใช้เคลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 และค่าความถี่สวิตช์เท่ากับ 250 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz ตามที่คำนวณได้จากสมการ m_1, m_2 โดยที่สัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็ม m11 และ m12 คำนวณจากสมการ m_1 ใช้ในการขับสวิตช์สองทาง S_1 และ S_4 และสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็ม m21 และ m22 คำนวณจากสมการ m_2 ใช้ในการขับสวิตช์สองทาง S_2 และ S_3 ส่วนทางด้านเอาท์พุทของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ ได้ทำการต่อกับโหลดความต้านทานและความต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ เพื่อทำการจำลองวงจรแล้ววัดรูปคลื่นที่จุดต่างๆ และศึกษาพฤติกรรมต่างๆ ของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสต่อไป

3. ลักษณะสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิตีที่ใช้ในการจำลองวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

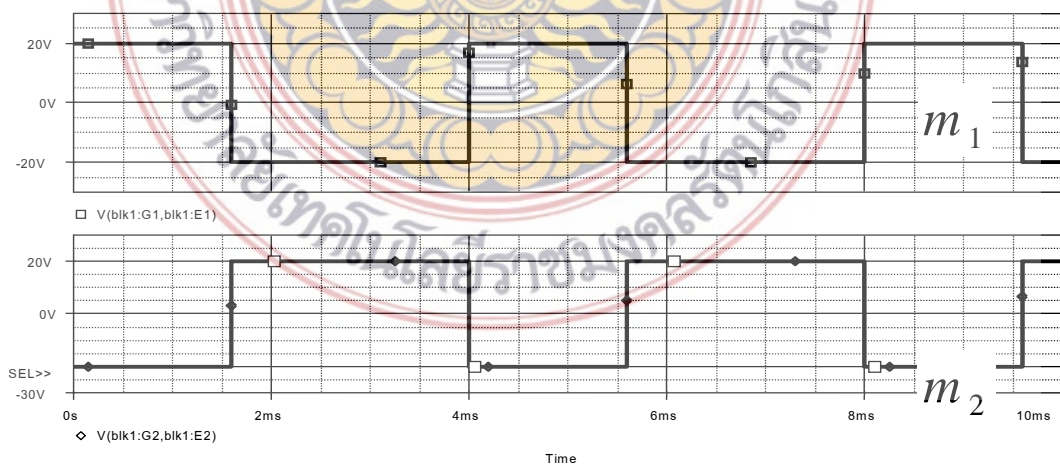
ลักษณะสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิตีที่ใช้ในการจำลองวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสนี้ ได้ทำการคำนวณจากสมการ m_1, m_2 ในบทที่ 2 โดยจะทำการพิจารณาที่เงื่อนไขของความถี่สวิตช์เท่ากับ 250 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz และค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ดังมีลักษณะดังต่อไปนี้

3.1. สัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิตีที่ความถี่สวิตช์เท่ากับ 250Hz

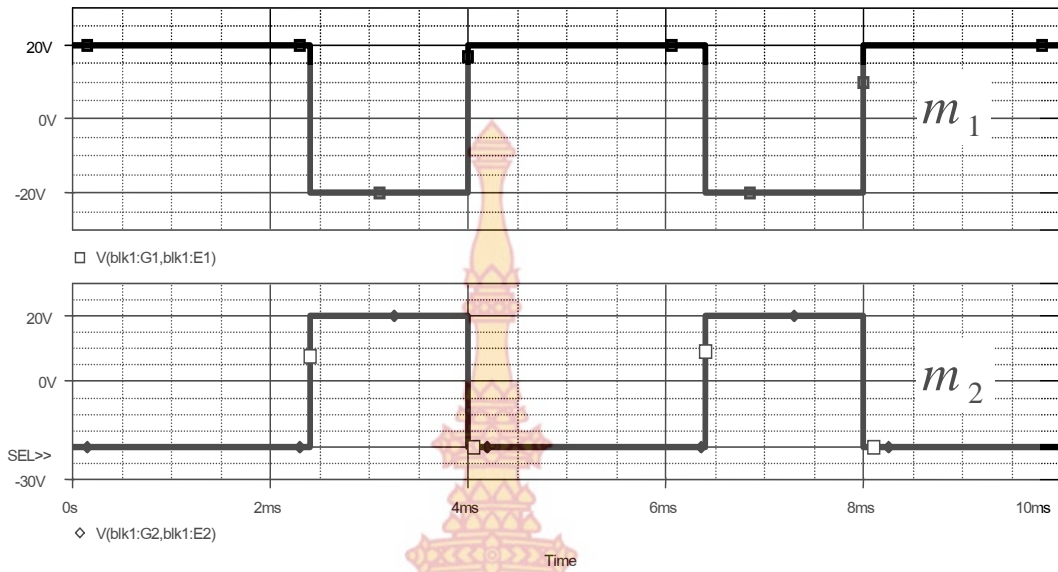
สัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิตีที่ความถี่ที่คำนวณได้จากสมการ m_1, m_2 โดยพิจารณาที่ค่าความถี่สวิตช์เท่ากับ 250 Hz, จำนวนพัลส์เท่ากับ 5 พัลส์ต่อไซเคิล แล้วทำการปรับเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลให้มีค่าเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยใช้ขนาดแรงดันเท่ากับ $\pm 20V$ ซึ่งเป็นขนาดแรงดันที่จะใช้ในการขับนำสวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุด เมื่อทำการจำลองจะได้ลักษณะสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิตีที่ค่าความถี่สวิตช์เท่ากับ 250 Hz และค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ดังรูปที่ 4.4



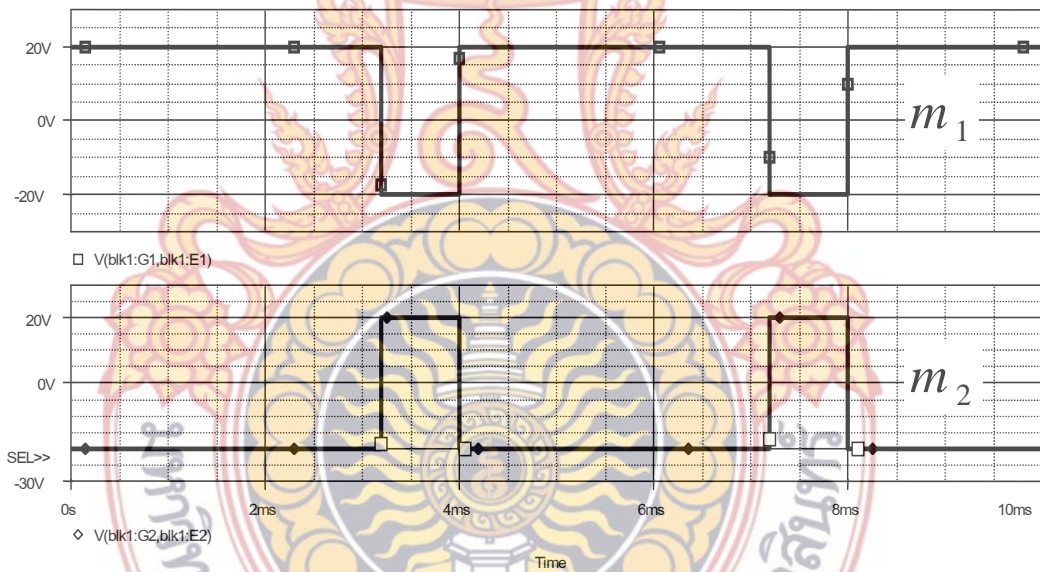
(ก) ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2



(ข) ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.4



(ค) ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.6



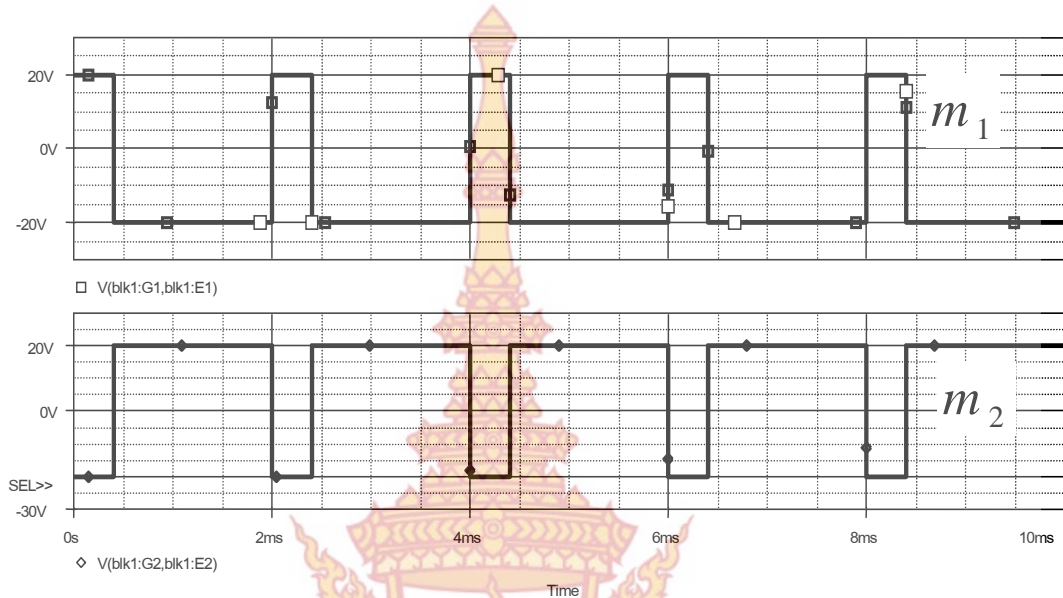
(ง) ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.8

รูปที่ 4.4 สัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็ม m_1, m_2 ความถี่สวิตซ์เท่ากับ 250Hz

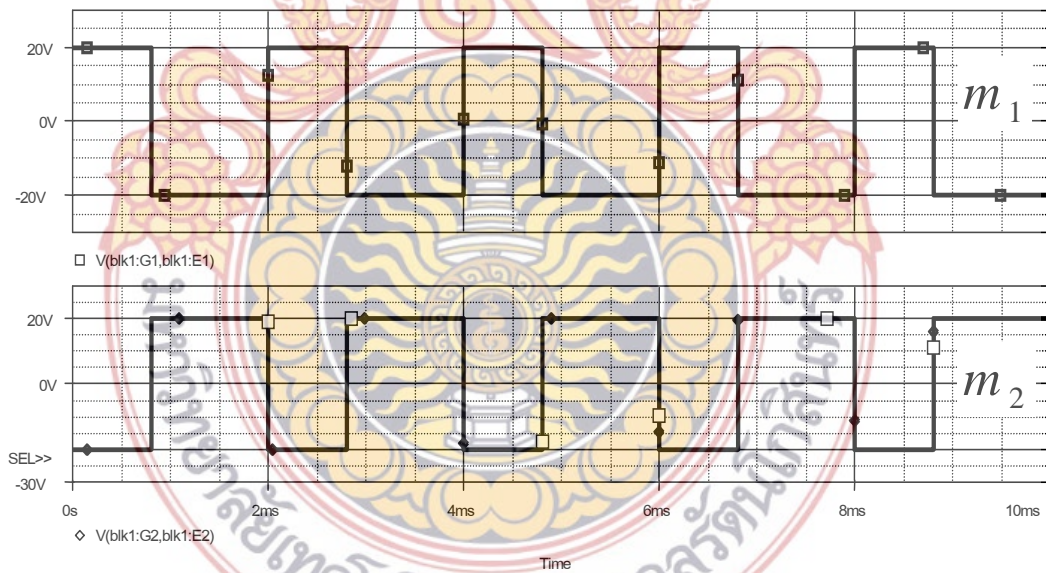
3.2. สัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่ความถี่สวิตซ์เท่ากับ 500Hz

สัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่ความถี่ที่คำนวณได้จากสมการ m_1, m_2 โดยพิจารณาที่ค่าความถี่สวิตซ์เท่ากับ 500 Hz, จำนวนพัลส์เท่ากับ 10 พัลส์ต่อไซเคิล แล้วทำการปรับเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลให้มีค่าเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยใช้ขนาดแรงดันเท่ากับ $\pm 20V$ ซึ่งเป็นขนาดแรงดันที่จะใช้ในการขับนำสวิตซ์สองทางทั้ง 4 ชุด เมื่อทำการจำลองจะได้ลักษณะสัญญาณพัลส์ที่

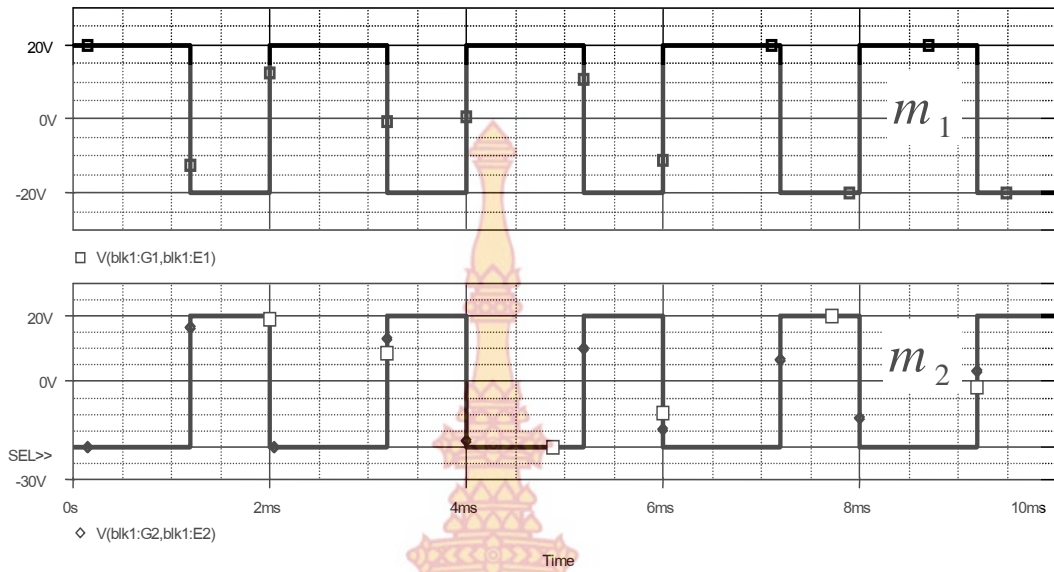
ดัดแปลงที่ค่าความถี่สวิตช์เท่ากับ 500 Hz และค่าดีวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8
 ดังรูปที่ 4.5



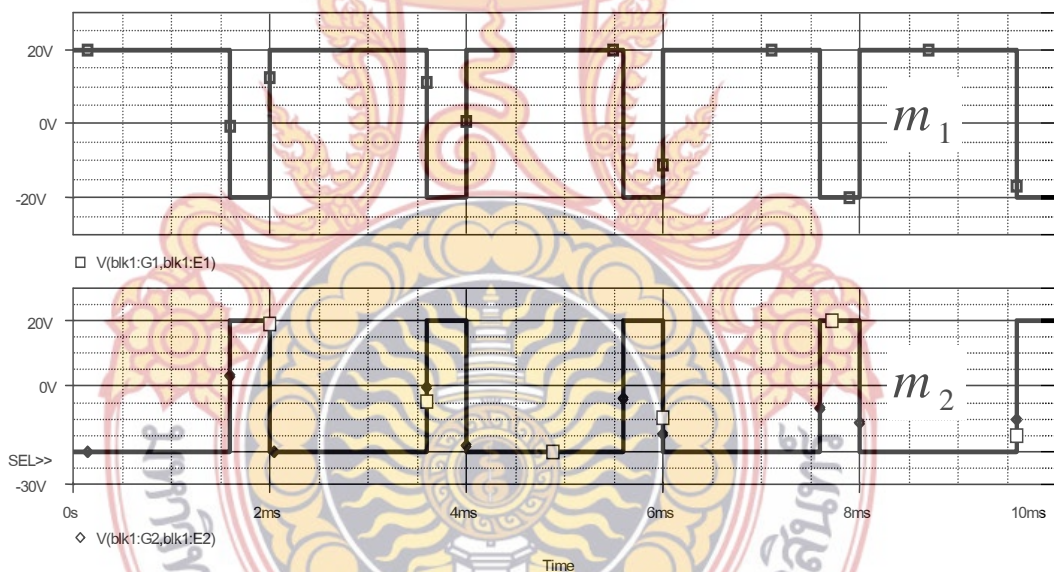
(ก) ค่าดีวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2



(ข) ค่าดีวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.4



(ค) ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.6



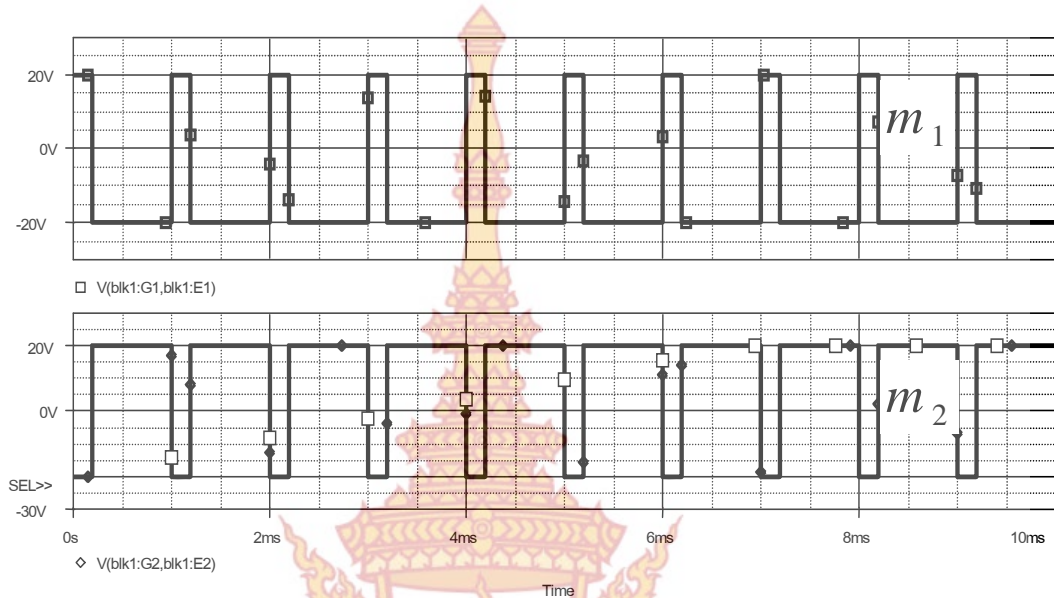
(ง) ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.8

รูปที่ 4.5 สัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็ม m_1, m_2 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 500Hz

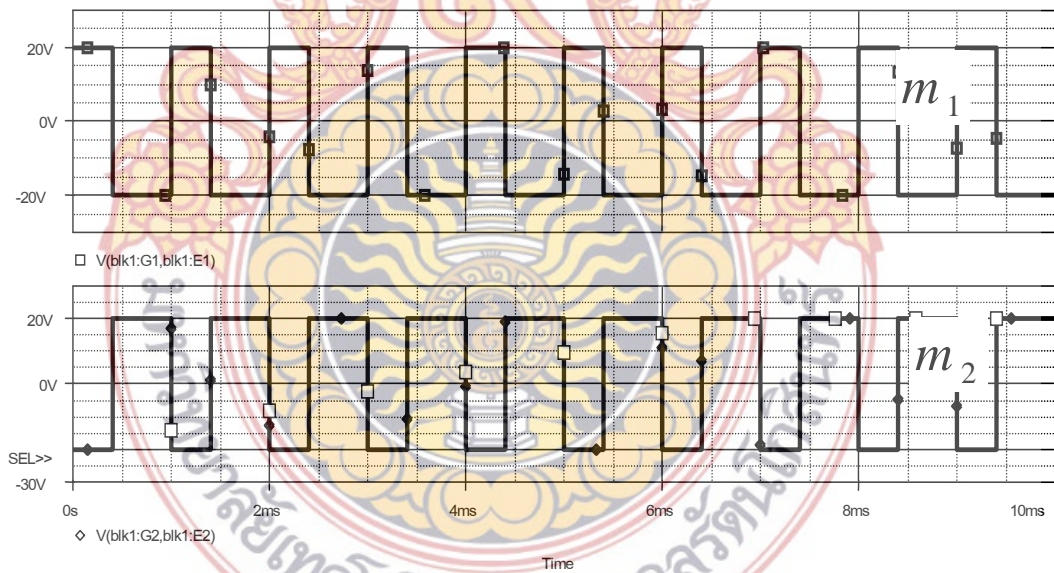
3.3. สัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่ความถี่สวิตช์เท่ากับ 1000Hz

สัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่ความถี่ที่คำนวณได้จากสมการ m_1, m_2 โดยพิจารณาที่ค่าความถี่สวิตช์เท่ากับ 1000 Hz, จำนวนพัลส์เท่ากับ 20 พัลส์ต่อไซเคิล แล้วทำการปรับเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลให้มีค่าเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยใช้ขนาดแรงดันเท่ากับ $\pm 20V$ ซึ่งเป็นขนาดแรงดันที่จะใช้ในการขับนำสวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุด เมื่อทำการจำลองจะได้ลักษณะสัญญาณพัลส์พี

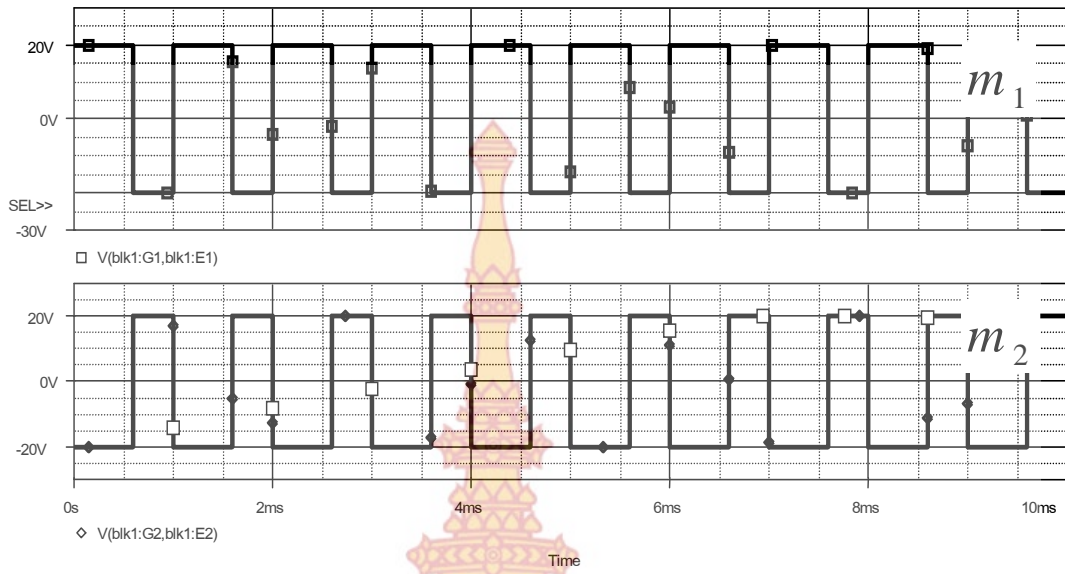
ดัดแปลงที่ค่าความถี่สวิตช์เท่ากับ 1000 Hz และค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8
 ดังรูปที่ 4.6



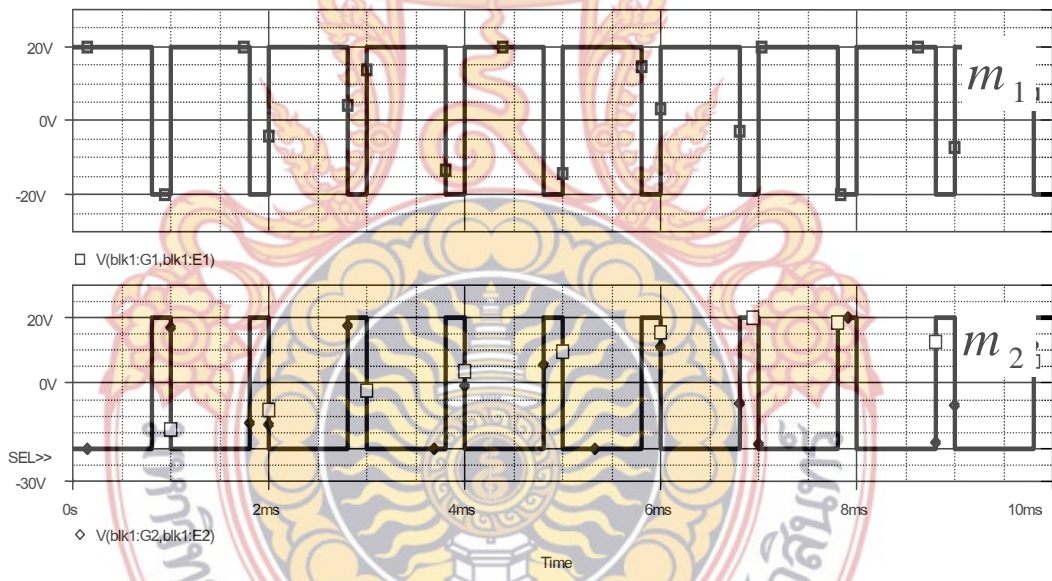
(ก) ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2



(ข) ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.4



(ค) ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.6



(ง) ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.8

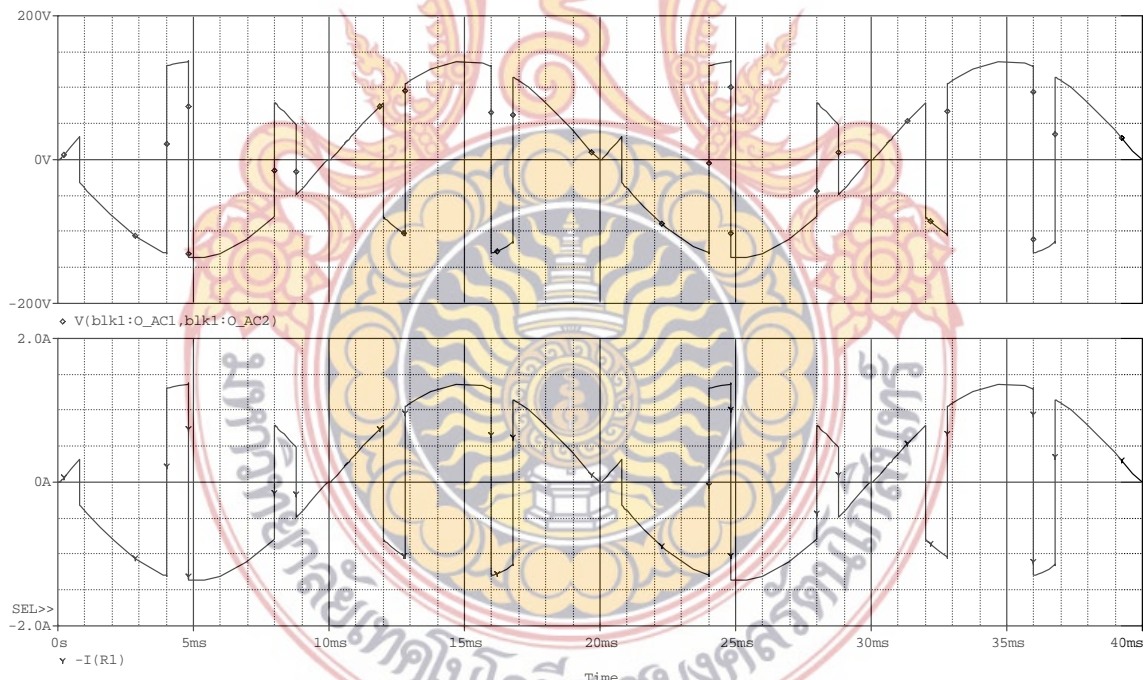
รูปที่ 4.6 สัญญาณพัลส์ที่ดับลิวเอ็ม m_1, m_2 ความถี่สัญญาณเท่ากับ 1000Hz

4. การจำลองวงจรโดยการทดสอบกับโหลดตัวต้านทาน

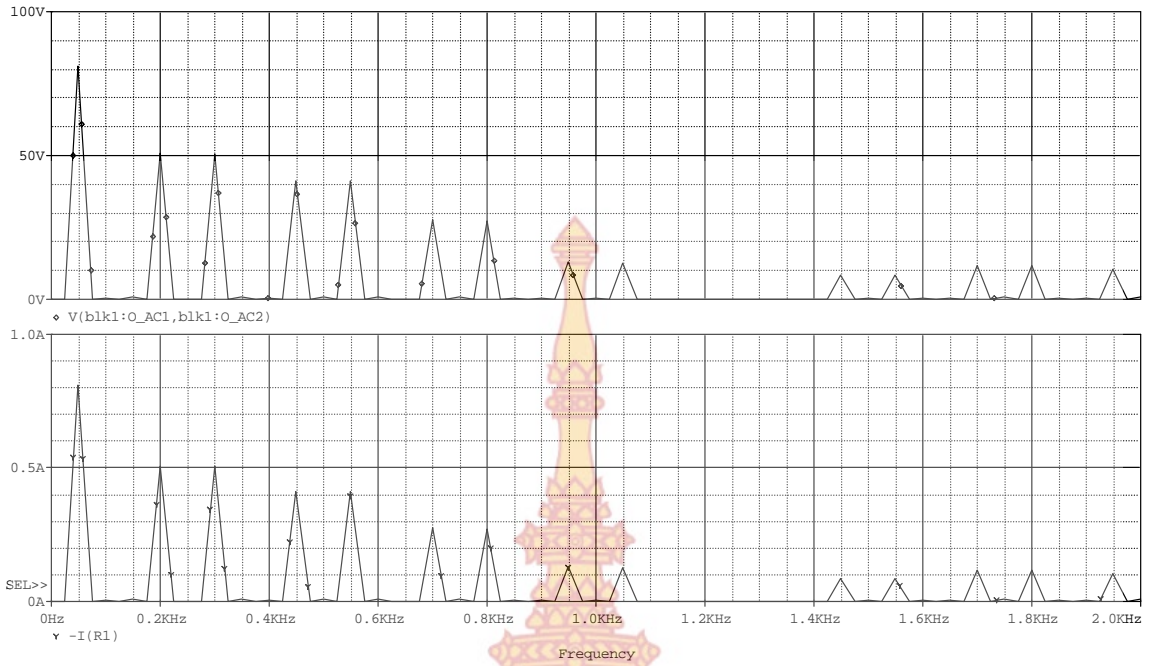
ในการจำลองวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ได้ทำการสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม OrCAD/PSpice นั้น จะนำมาทำการทดสอบกับโหลดความต้านทานขนาด 100 วัตต์ โดยใช้สัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็มในการขับนำ สวิตช์สองทางที่มีเงื่อนไขของลักษณะสัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็ม คือ ความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 250 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz จำนวนพัลส์ในแต่ละไซเคิลเท่ากับ 5 พัลส์, 10 พัลส์ และ 20 พัลส์ และค่าดิวตี้ไซเคิล เท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ซึ่งในการทดสอบเพื่อศึกษาลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและ เอาท์พุทของวงจร รวมทั้งได้ทำการวิเคราะห์คลื่นดังกล่าวในเชิงฟูเรียร์หรือ FFT เพื่อศึกษาค่าฮาร์มอนิกที่ อันดับต่างๆ ที่เกิดขึ้นว่ามีผลต่อค่าแรงดันและกระแสมากน้อยอย่างไร ในการทดสอบได้ทำการแยกทดสอบ เป็นหัวข้อตามเงื่อนไขของลักษณะสัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็ม ดังนี้

4.1 สัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็มที่ความถี่สวิตช์เท่ากับ 250Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 5 พัลส์ต่อ ไซเคิล

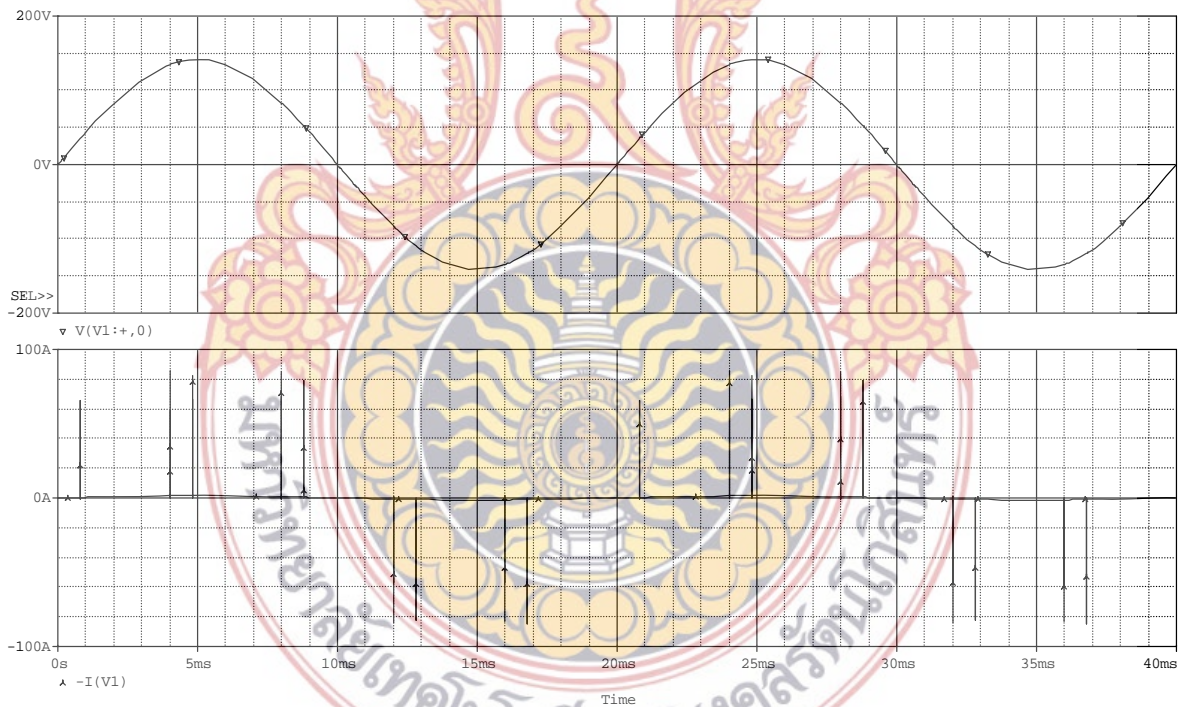
เป็นการนำมาทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์กับโหลดความต้านทานขนาด 100 วัตต์ เพื่อ ศึกษาลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาท์พุทของวงจร รวมทั้งได้ทำการวิเคราะห์คลื่นแรงดัน และกระแสดังกล่าวในเชิงฟูเรียร์หรือ FFT ด้วย โดยใช้ลักษณะสัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็มที่มีค่าความถี่ในการ สวิตช์เท่ากับ 250 Hz จำนวนพัลส์ในแต่ละไซเคิลเท่ากับ 5 พัลส์ และค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาท์พุทของวงจรและการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและ กระแสดังกล่าวในเชิงฟูเรียร์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.7, 4.8, 4.9 และ 4.10



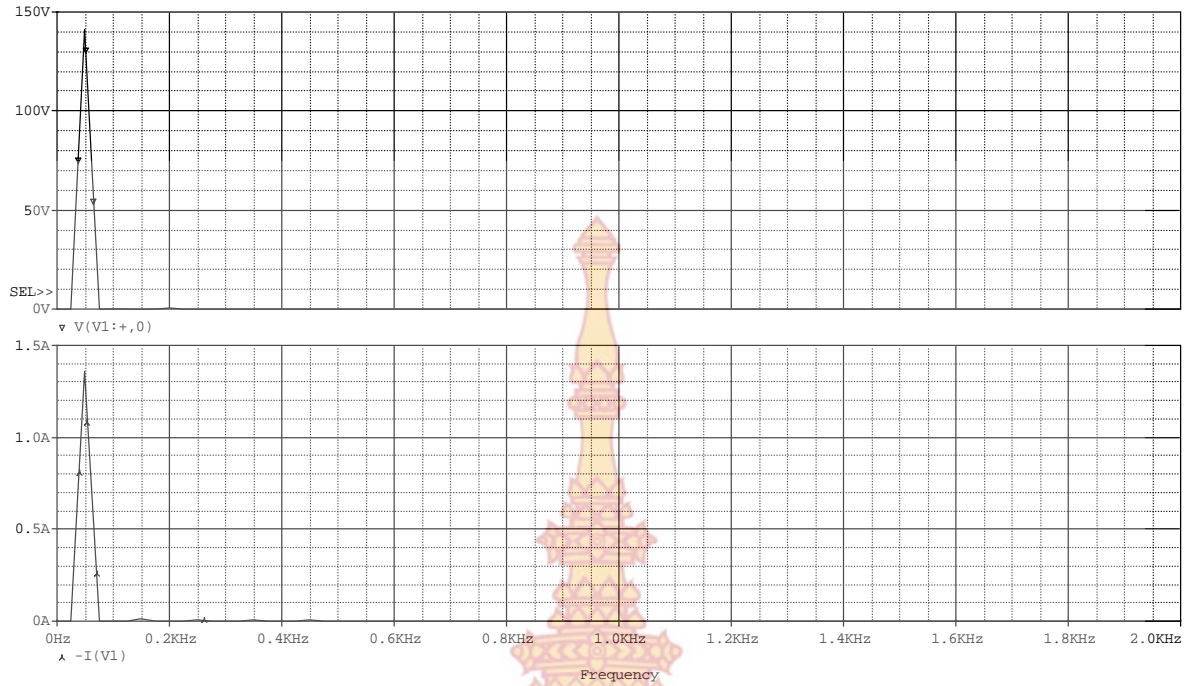
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาท์พุทที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

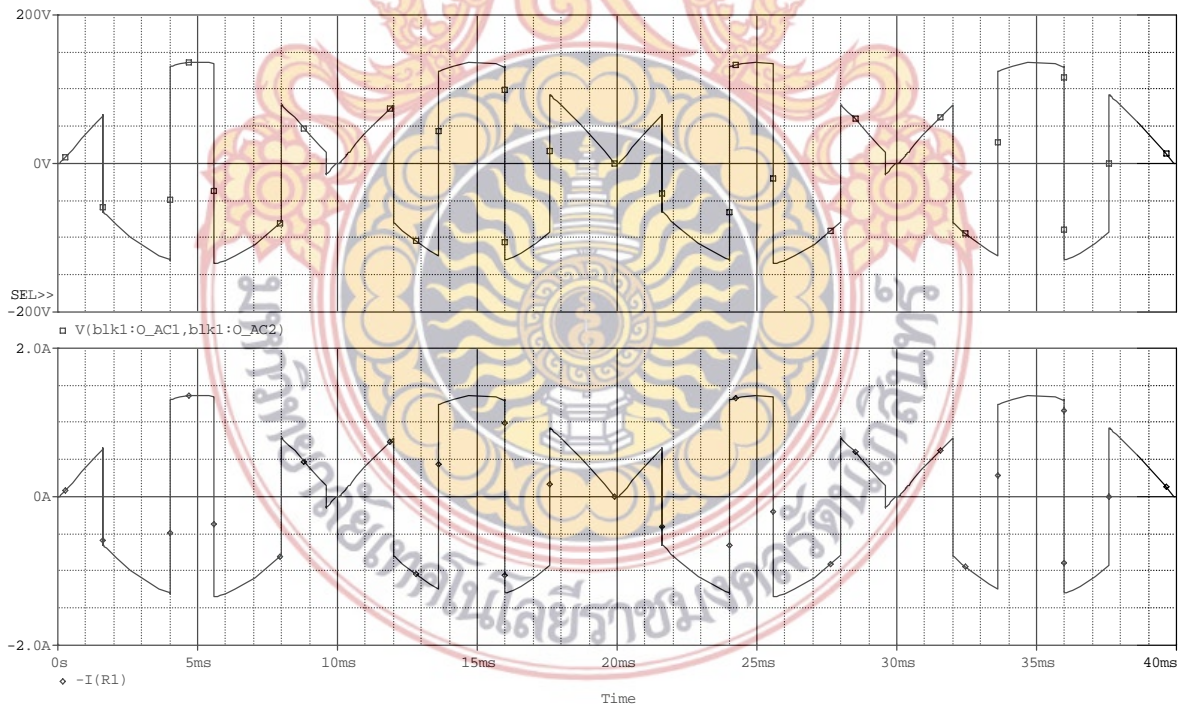


(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุต (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

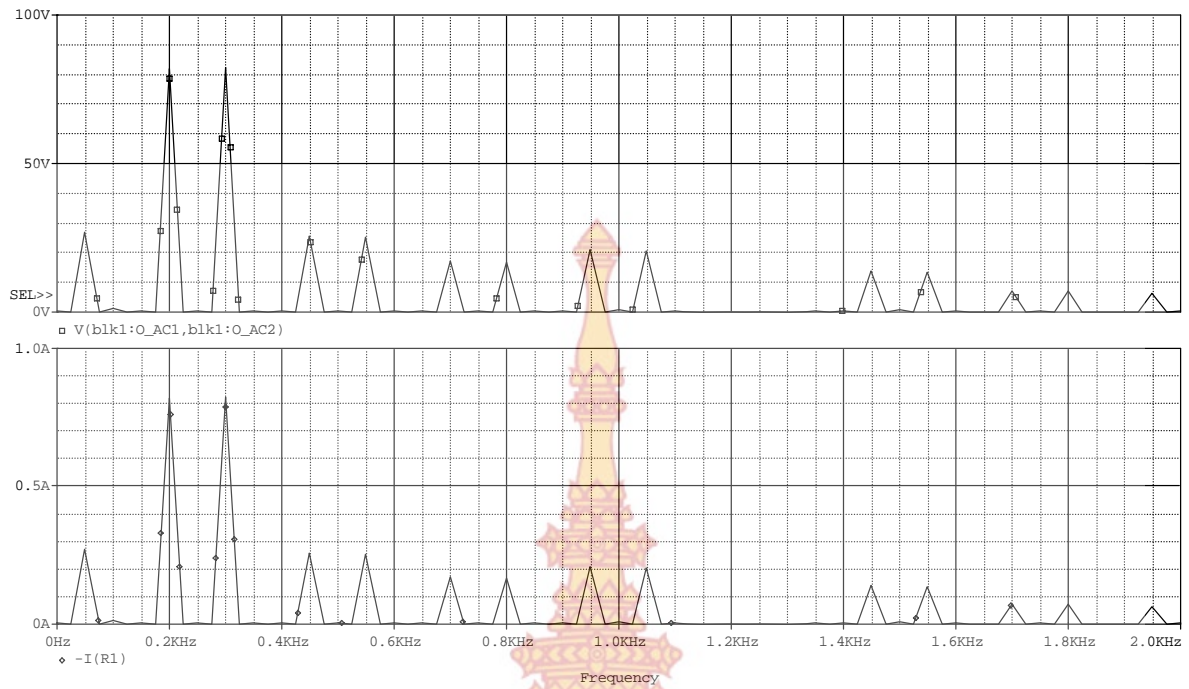


(ง) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

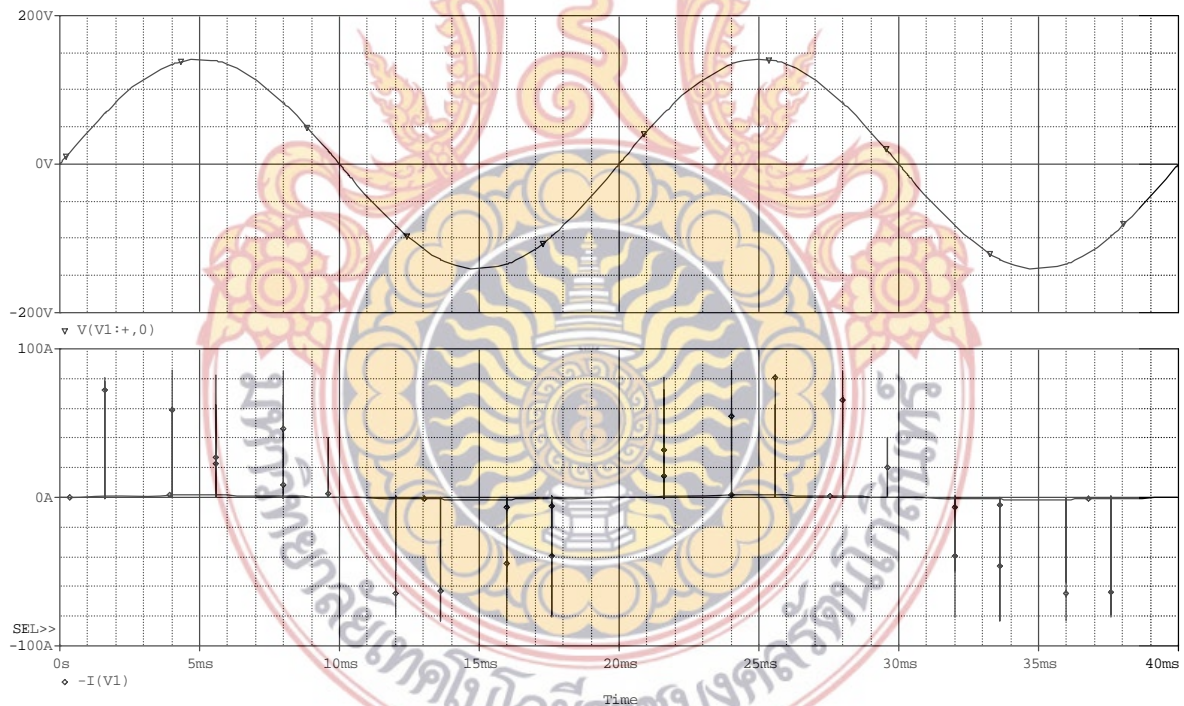
รูปที่ 4.7 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูเรียร์กรณีค่าตัวชี้ไขเคลเท่ากับ 0.2 ความถี่ 250 Hz จำนวนพัลส์ 5 พัลส์ต่อไซเคิล



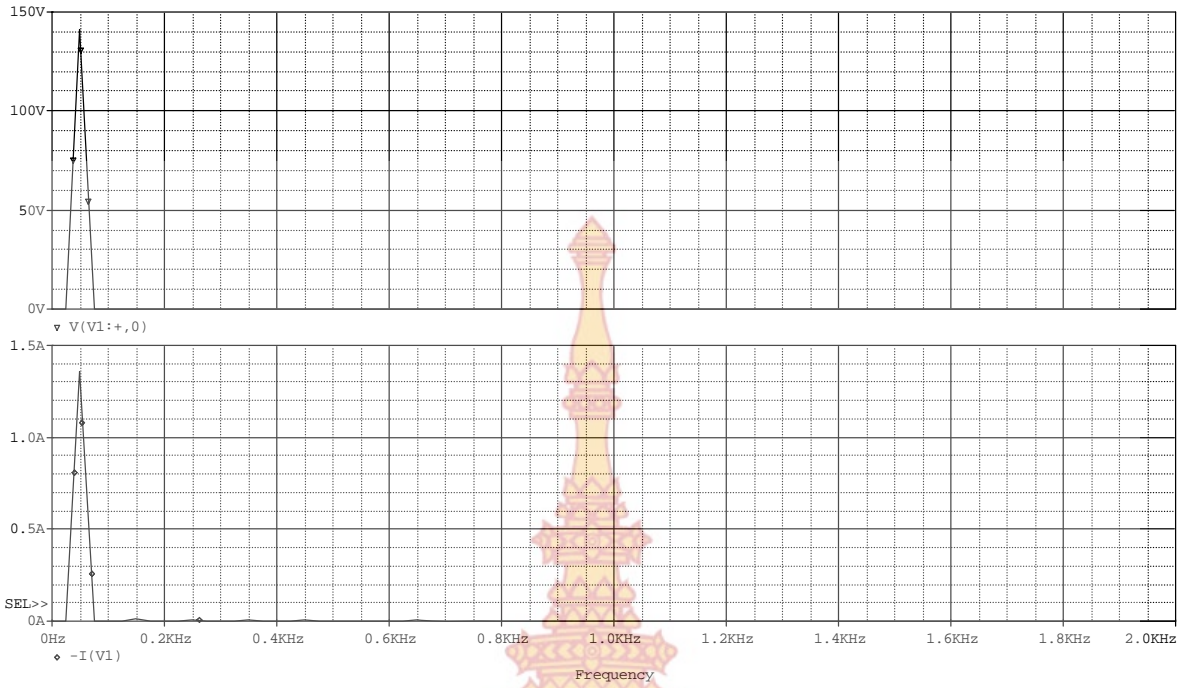
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุทที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์หัพูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

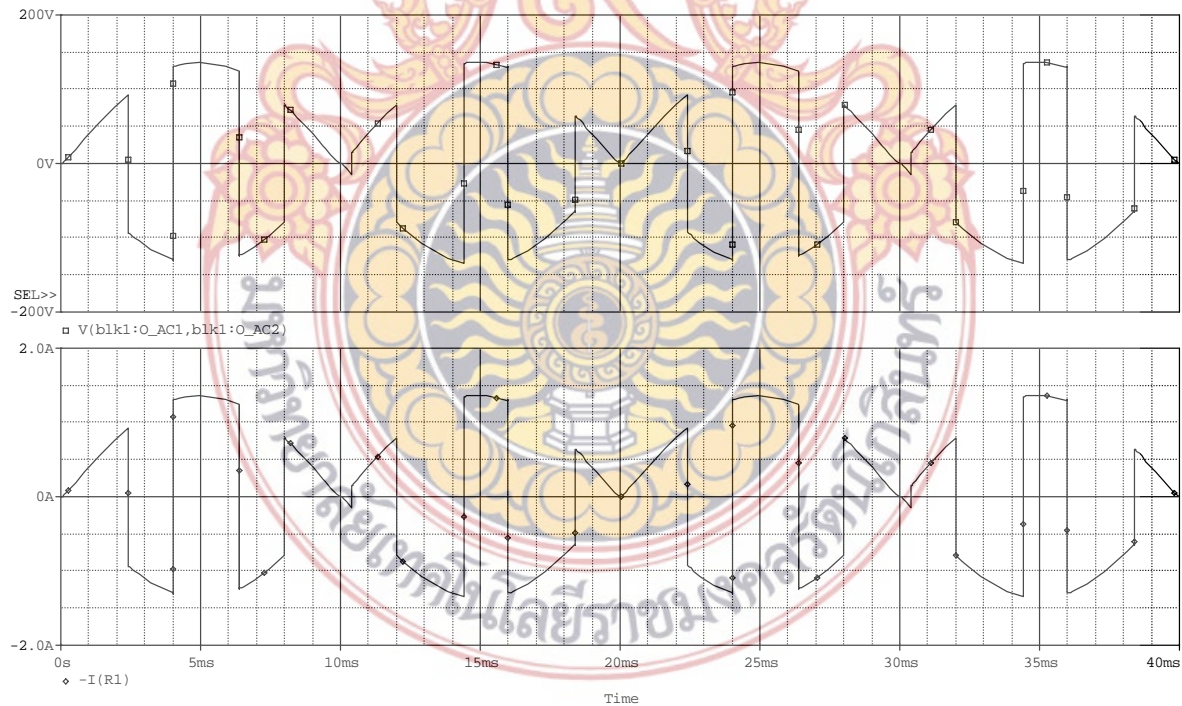


(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุต (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

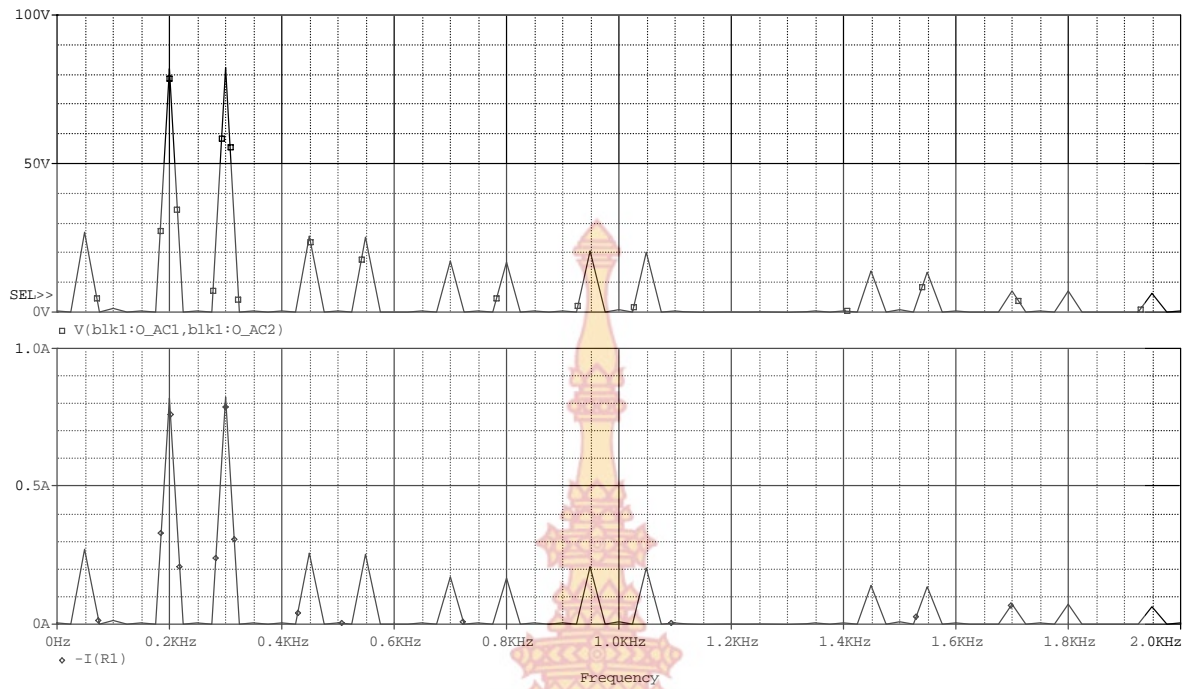


(ง) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

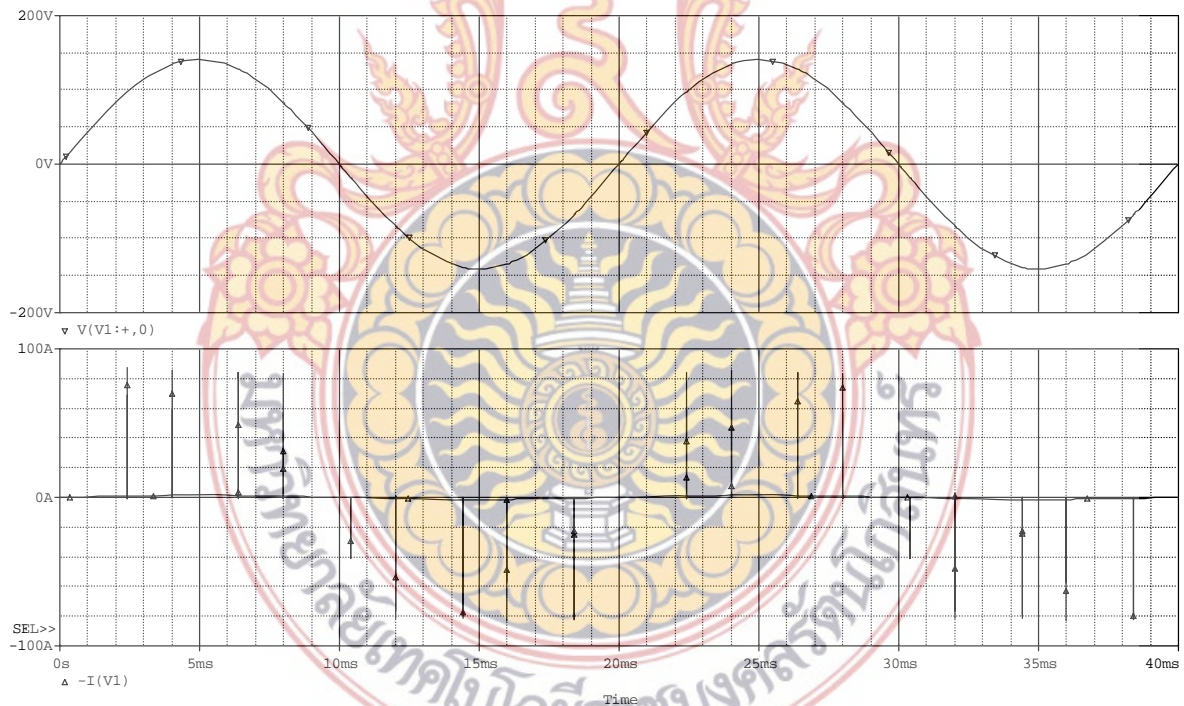
รูปที่ 4.8 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูเรียร์กรณีค่าตัวชี้เซเคลเท่ากับ 0.4 ความถี่ 250 Hz จำนวนพัลส์ 5 พัลส์ต่อไซเคิล



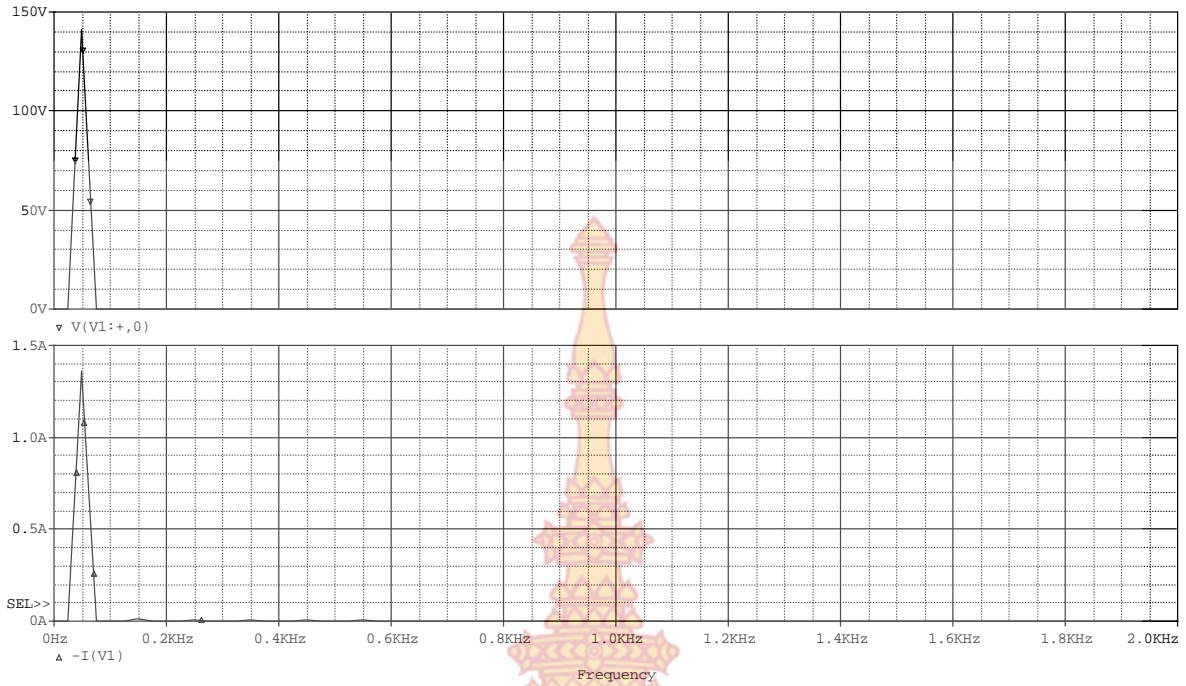
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุทที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์พหุเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

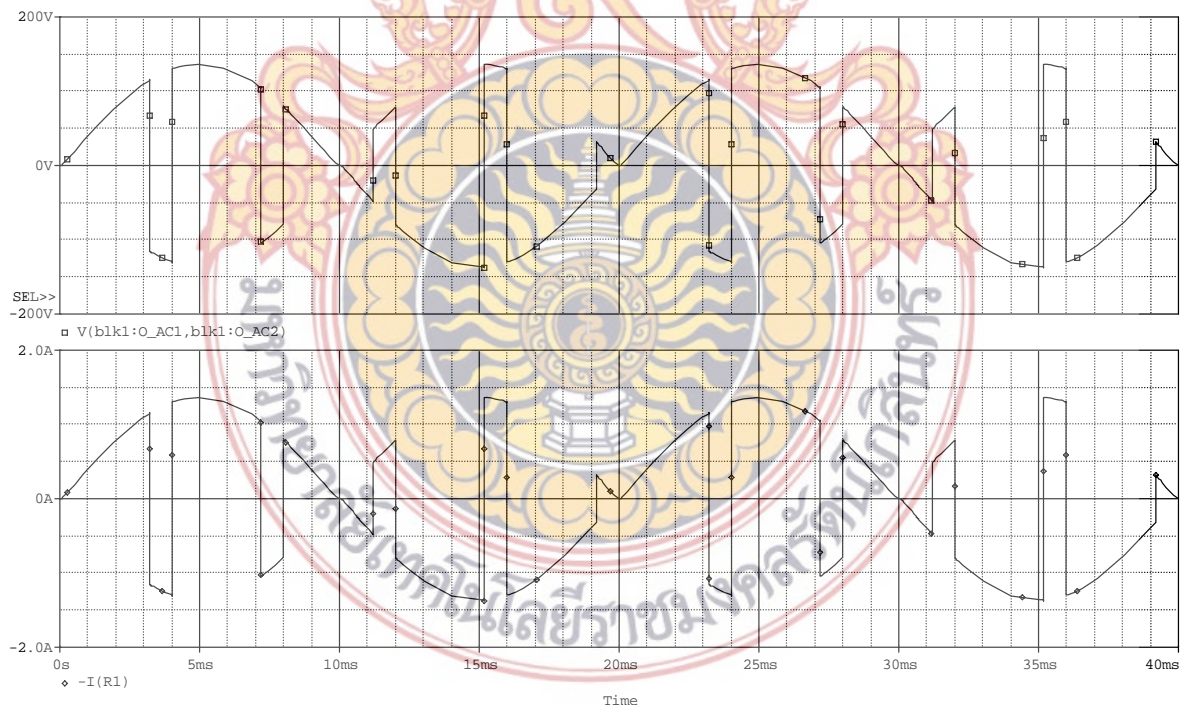


(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุต (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

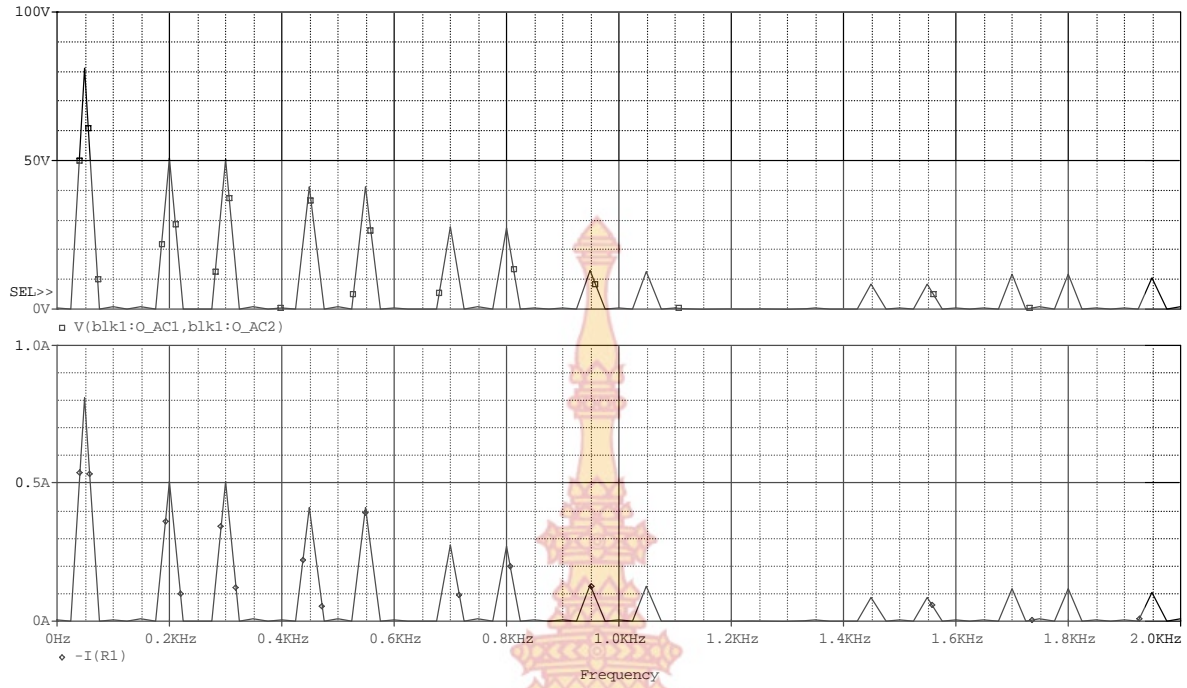


(ง) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

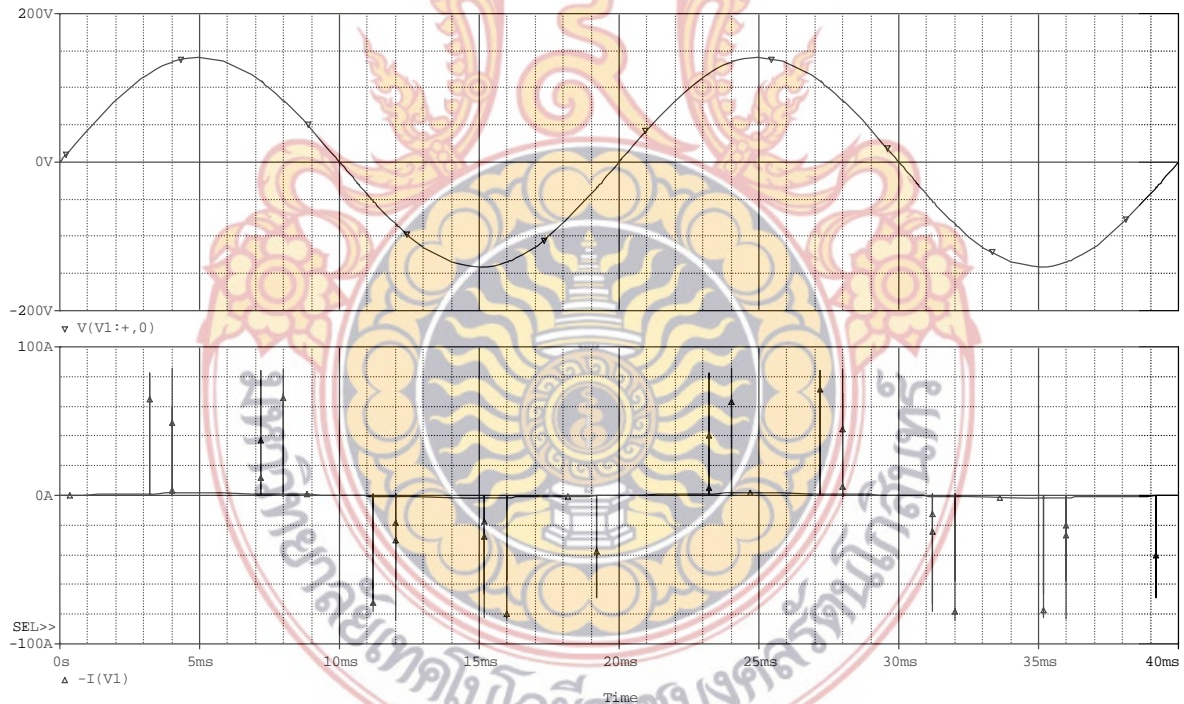
รูปที่ 4.9 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูเรียร์กรณีค่าตัวชี้ไซเคิลเท่ากับ 0.6 ความถี่ 250 Hz จำนวนพัลส์ 5 พัลส์ต่อไซเคิล



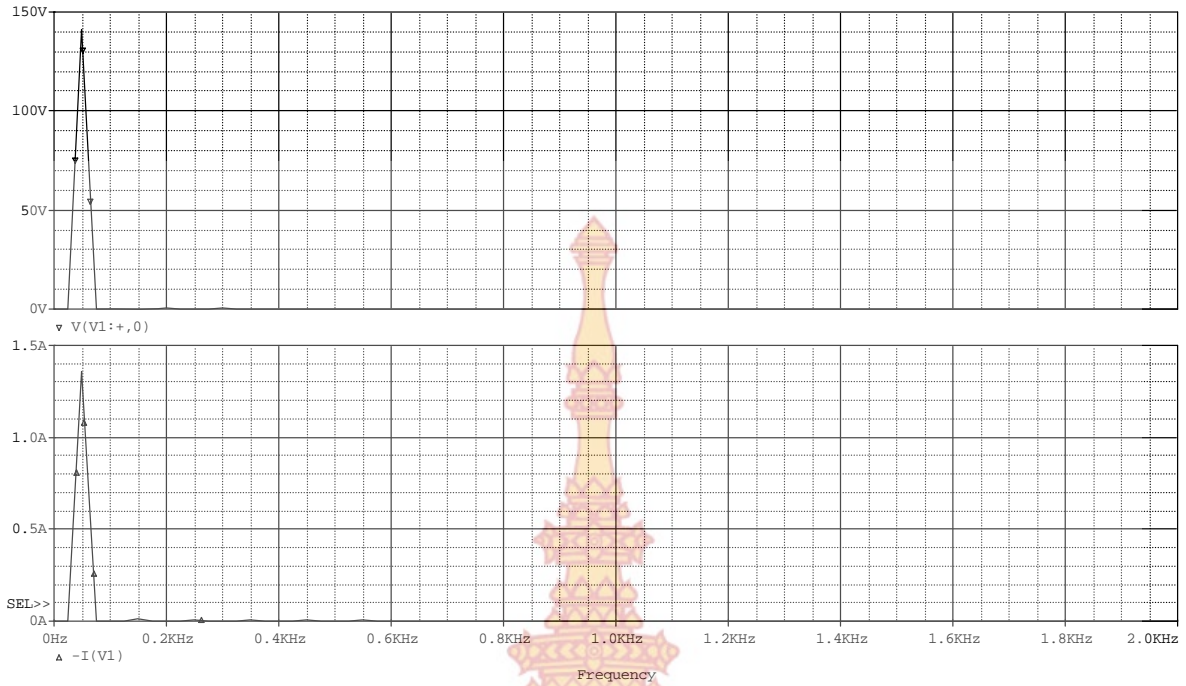
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุทที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุต (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



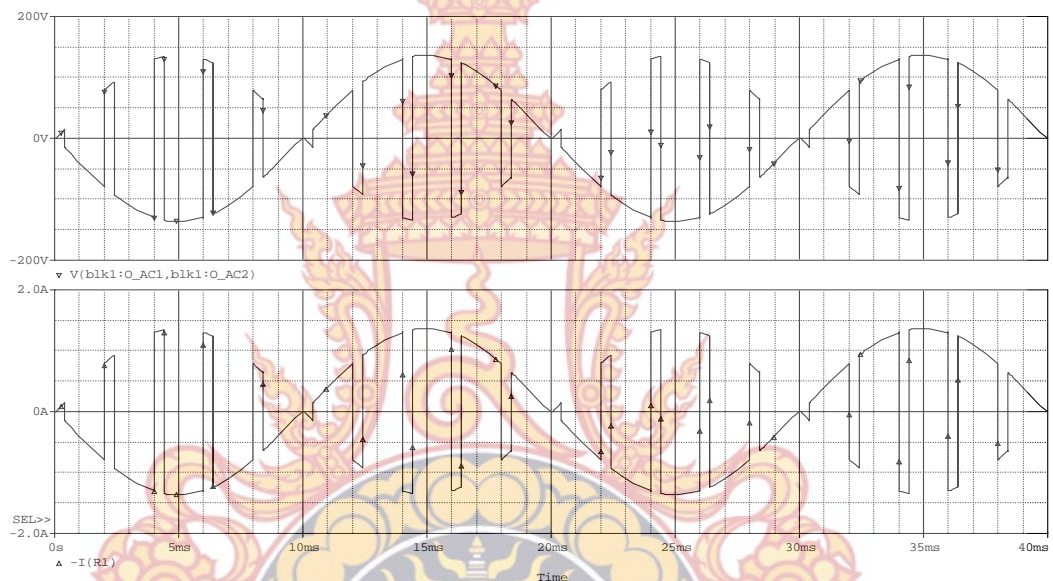
(ง) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

รูปที่ 4.10 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูเรียร์กรณีค่าตัวชี้ไซเคิลเท่ากับ 0.8 ความถี่ 250 Hz จำนวนพัลส์ 5 พัลส์ต่อไซเคิล

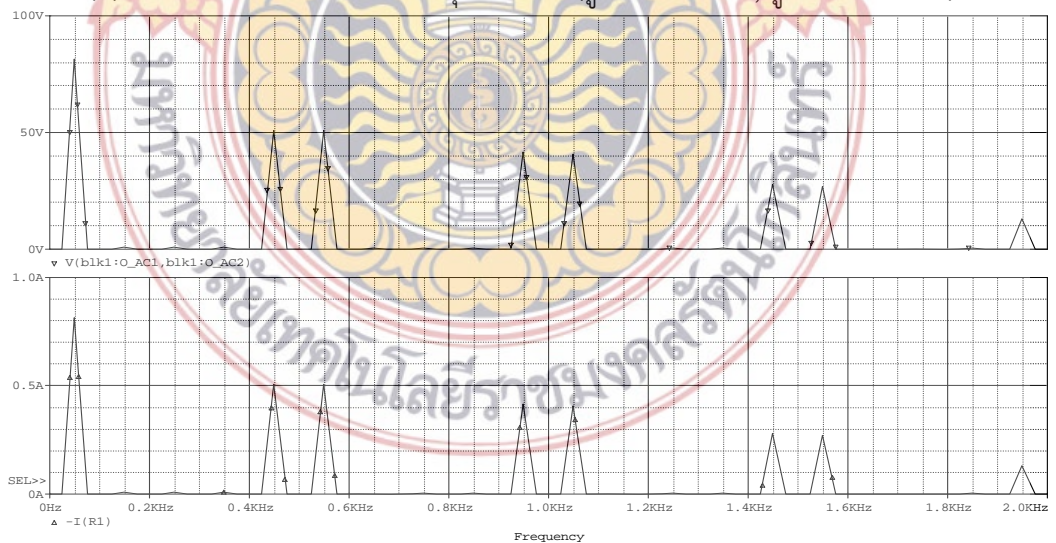


4.2. สัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็มที่ความถี่สวิทซ์เท่ากับ 500Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 10 พัลส์ต่อไซเคิล

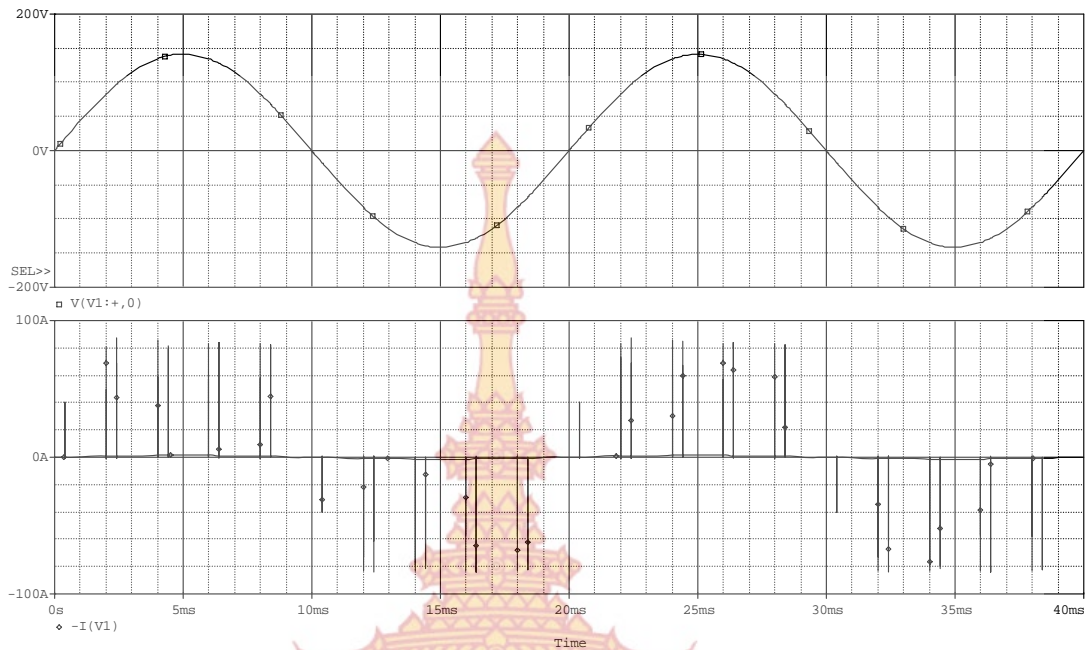
เป็นการนำมาทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์กับโหลดความต้านทานขนาด 100 วัตต์ เพื่อศึกษาลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทของวงจร รวมทั้งได้ทำการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสดังกล่าวในเชิงฟูเรียร์หรือ FFT ด้วย โดยใช้ลักษณะสัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็มที่มีค่าความถี่ในการสวิทซ์เท่ากับ 500 Hz จำนวนพัลส์ในแต่ละไซเคิลเท่ากับ 10 พัลส์ และค่าตัวต่อไซเคิลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทของวงจร และการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสดังกล่าวในเชิงฟูเรียร์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.11, 4.12, 4.13 และ 4.14



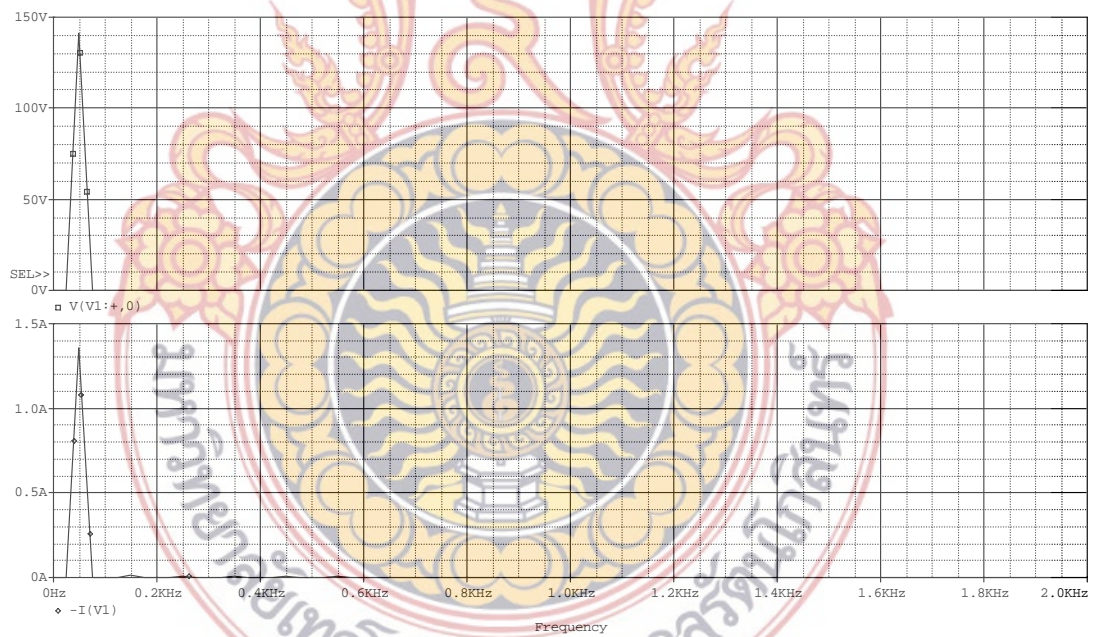
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุทที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุทที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

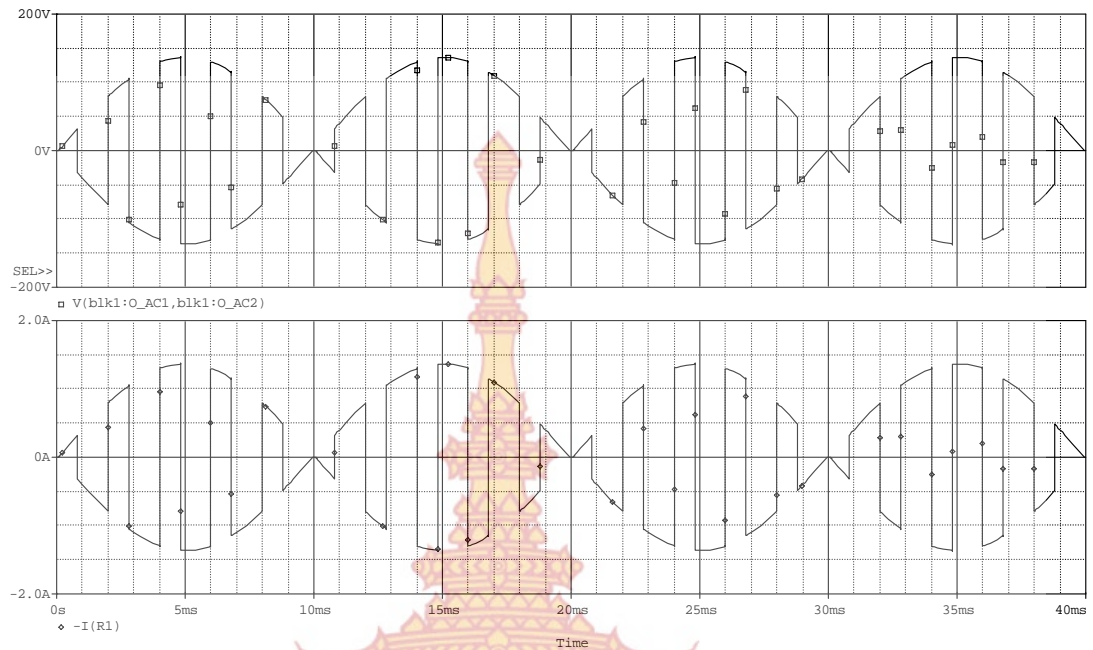


(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

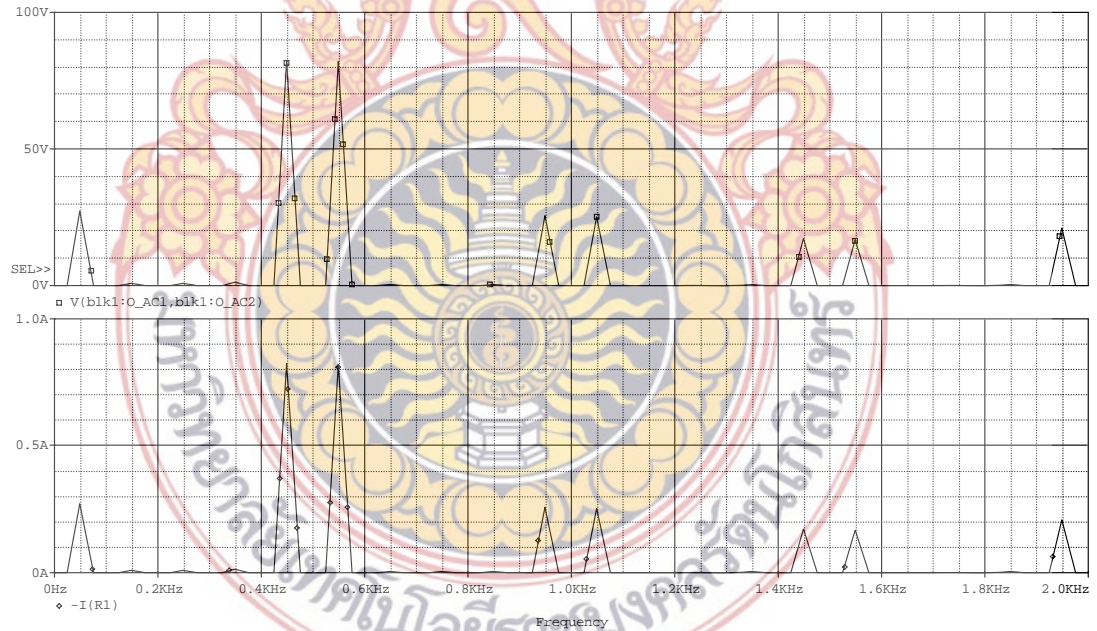


(ง) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

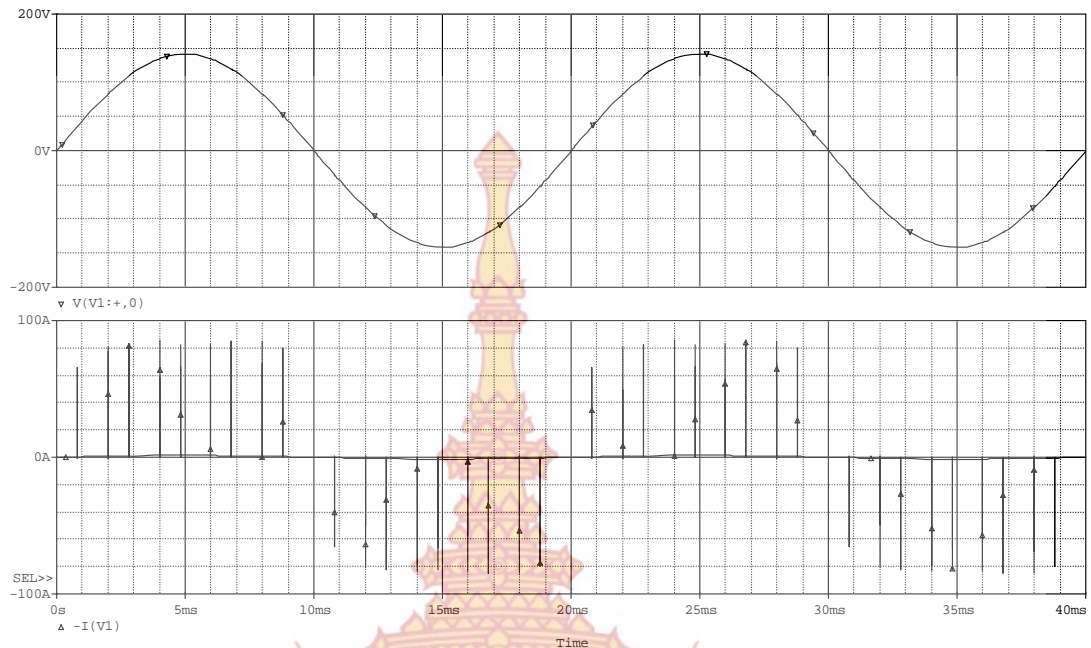
รูปที่ 4.11 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูเรียร์กรณีค่าตัวต่อไซเคิลเท่ากับ 0.2 ความถี่ 500 Hz จำนวนพัลส์ 10 พัลส์ต่อไซเคิล



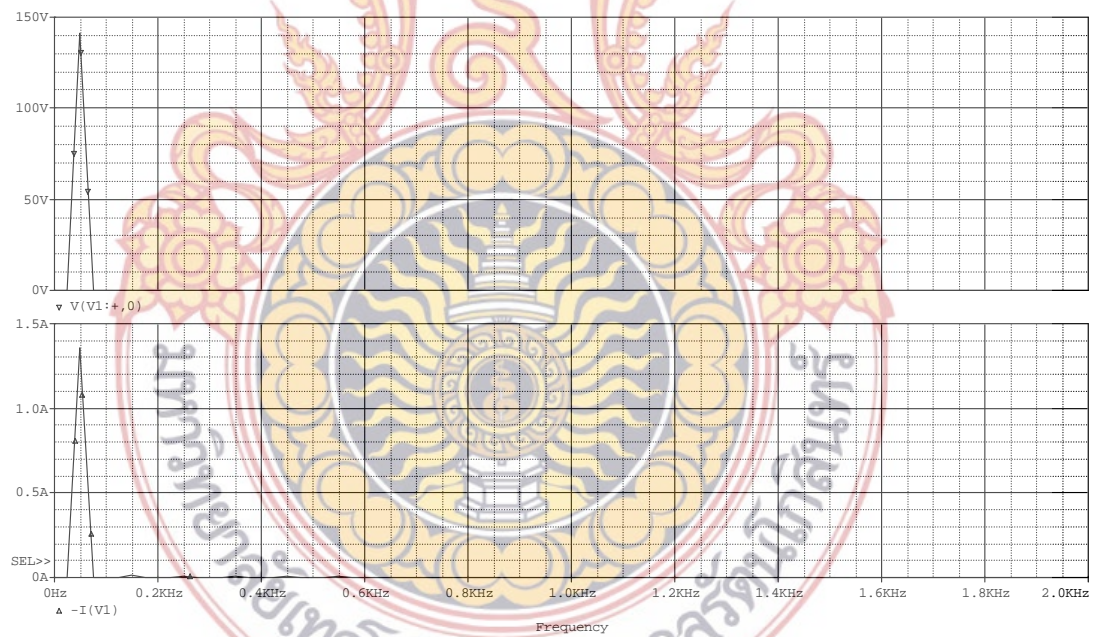
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

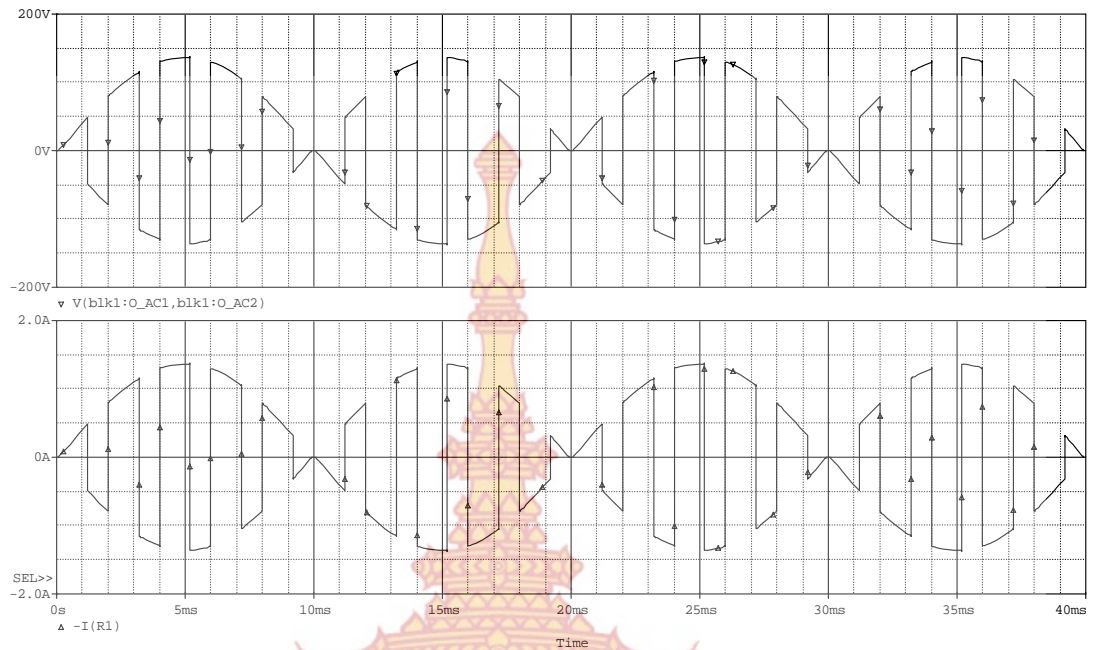


(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

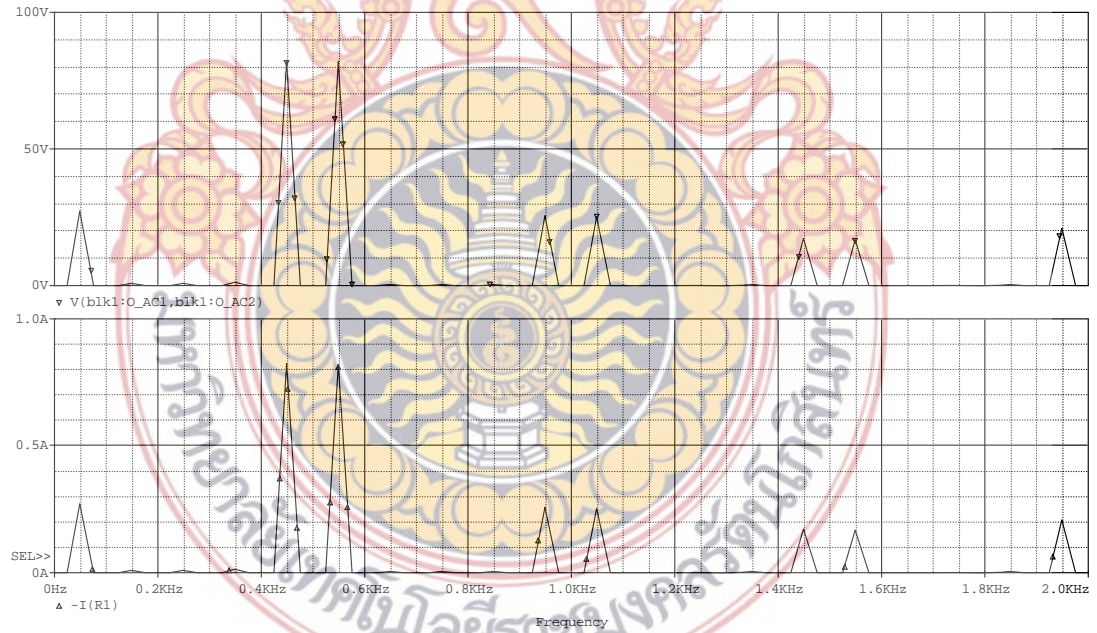


(ง) การวิเคราะห์ฟูริเยร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

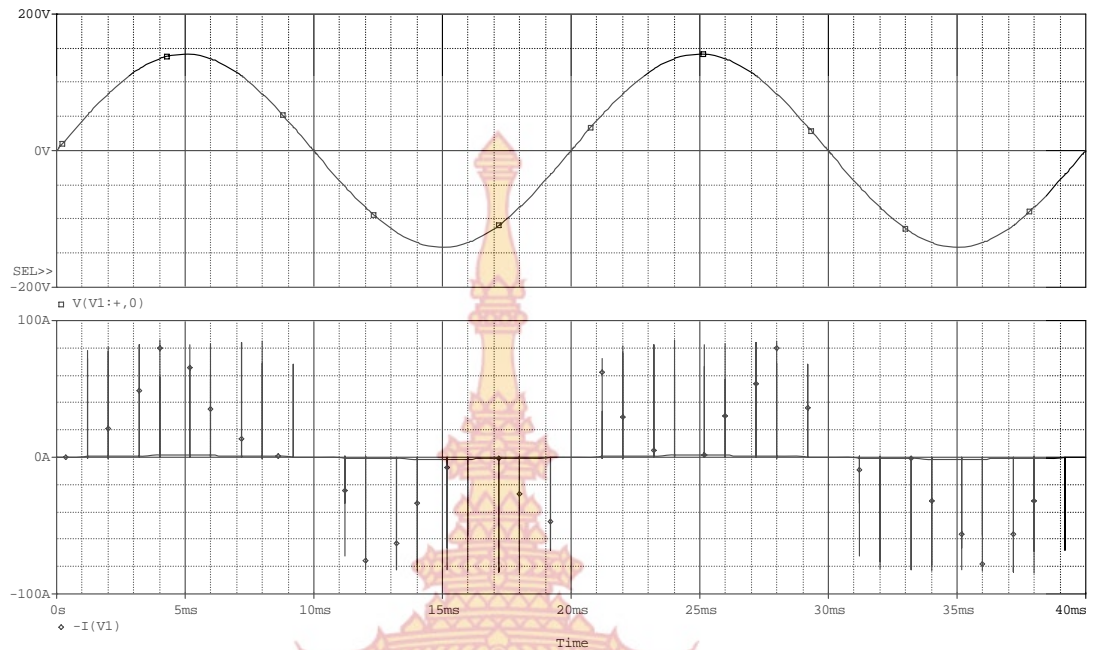
รูปที่ 4.12 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูริเยร์กรณีค่าตัวชี้ไขเคลเท่ากับ 0.4 ความถี่ 500 Hz จำนวนพัลส์ 10 พัลส์ต่อไขเคล



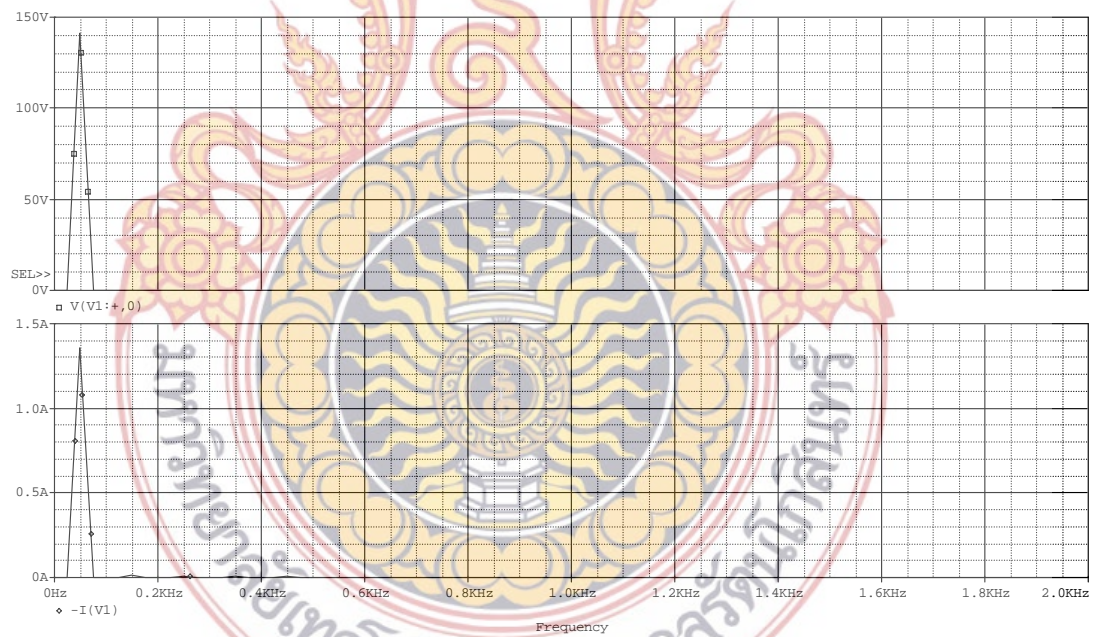
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

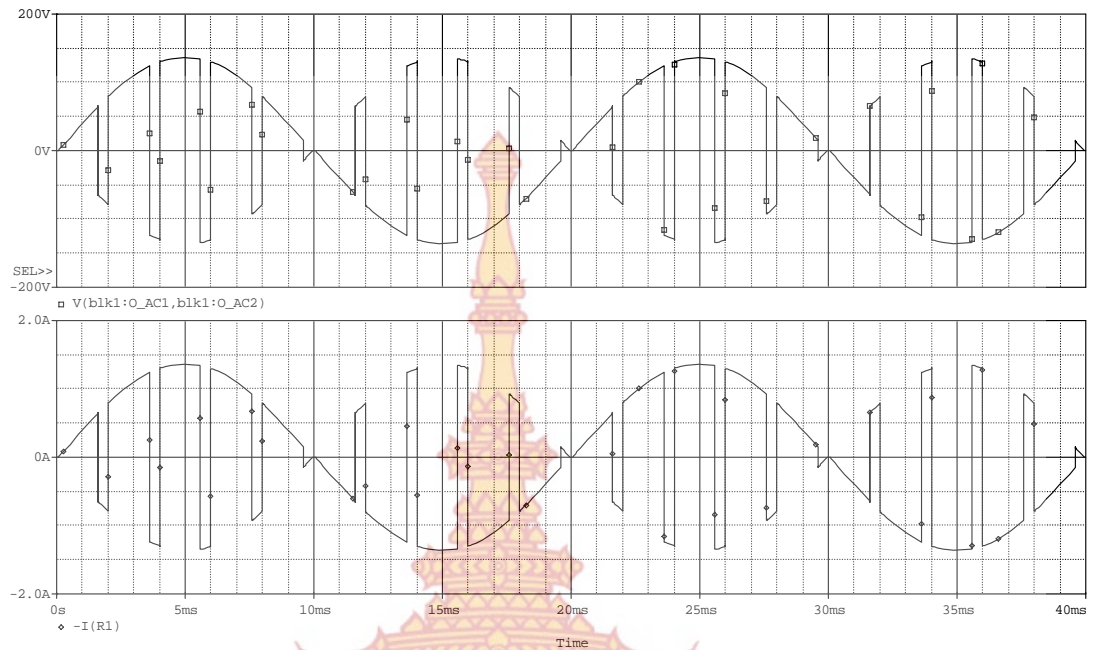


(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปแบบ : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

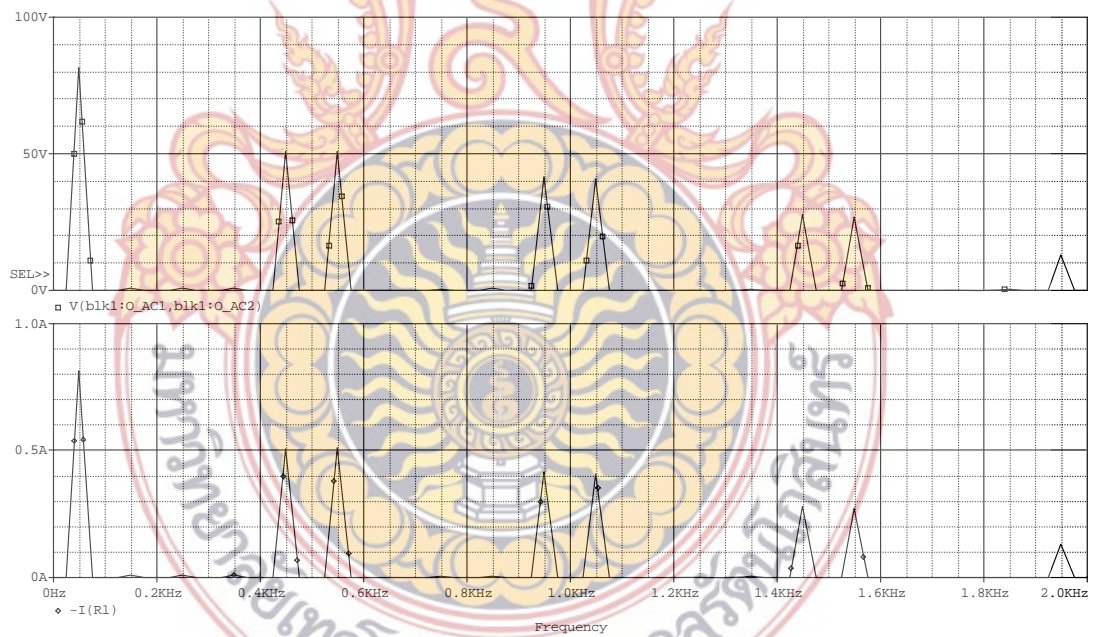


(ง) การวิเคราะห์ฟูริเยร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปแบบ : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

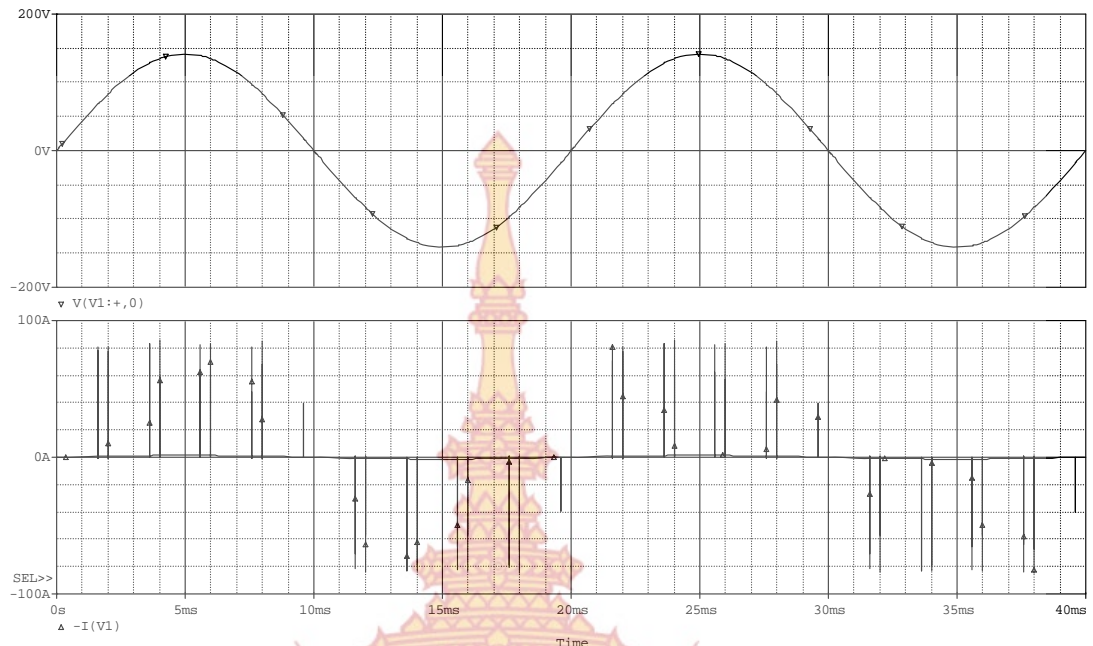
รูปที่ 4.13 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูริเยร์กรณีค่าตัวชี้ไขเคลเท่ากับ 0.6 ความถี่ 500 Hz จำนวนพัลส์ 10 พัลส์ต่อไซเคล



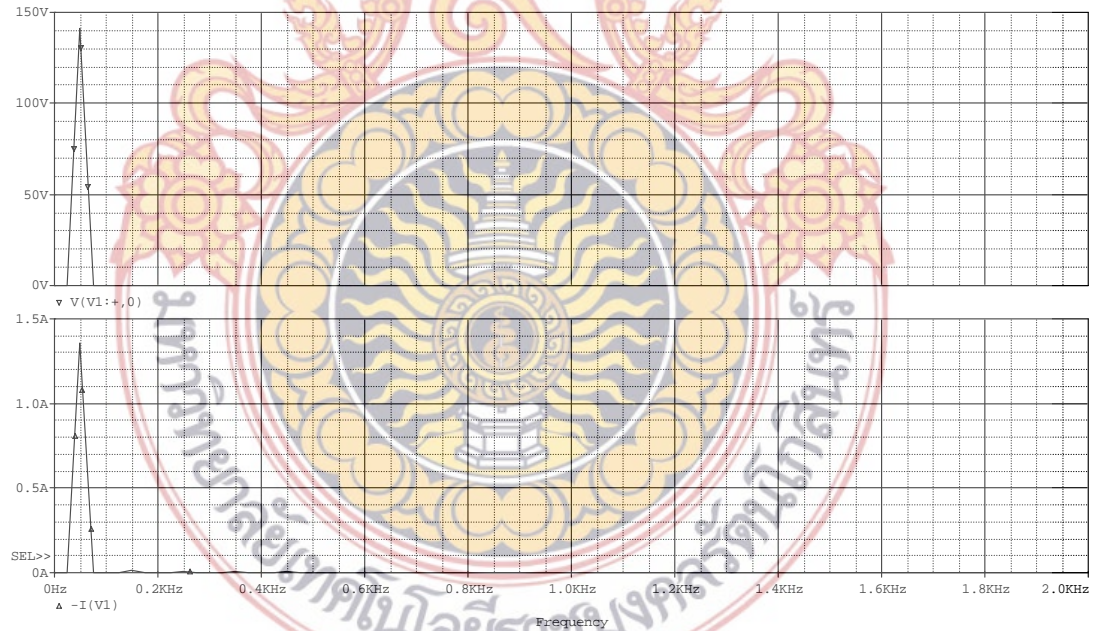
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ฟูริเยร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

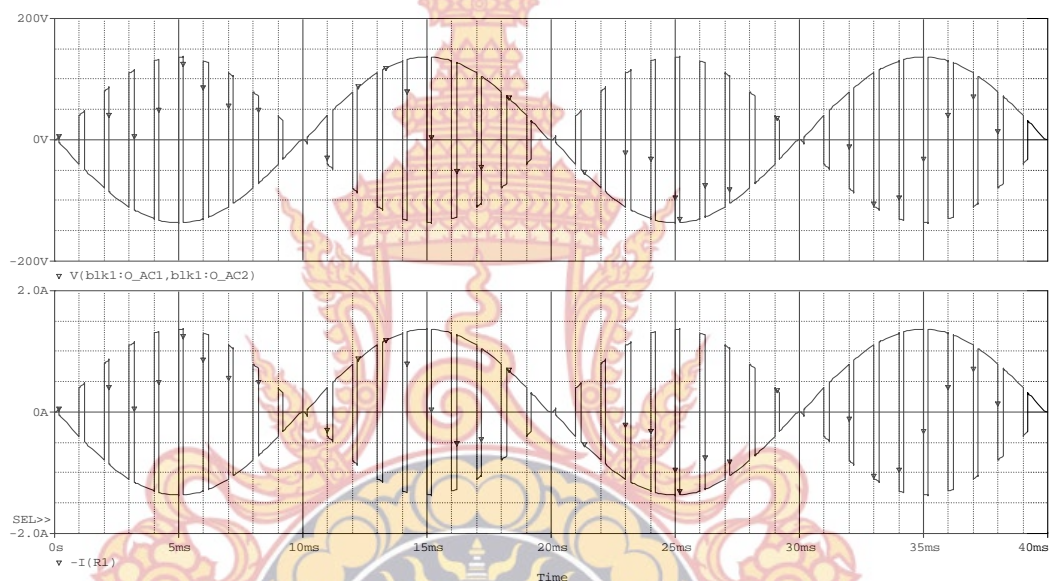


(ง) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง กระแส)

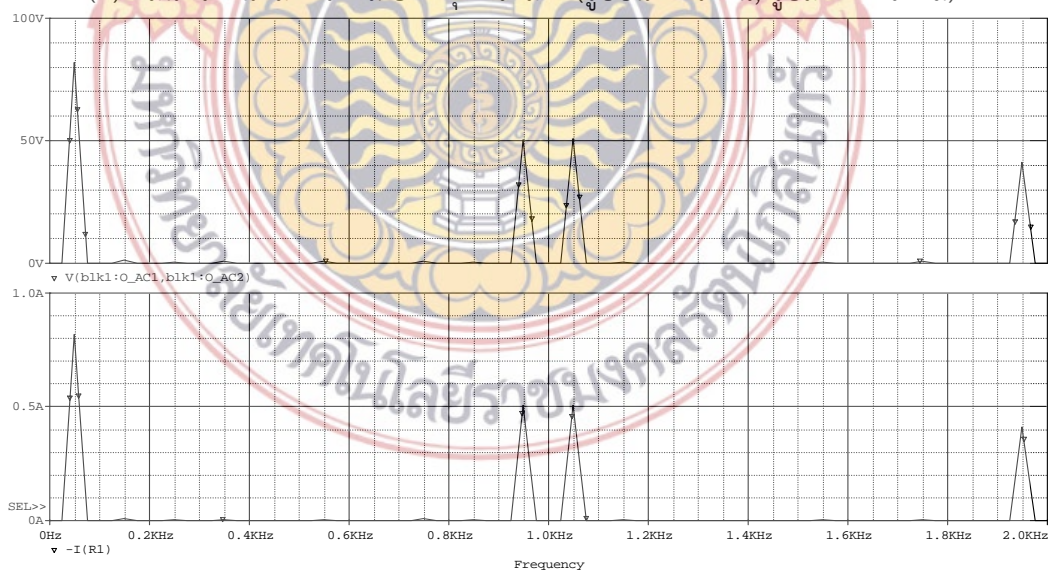
รูปที่ 4.14 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูเรียร์กรณีค่าตัวชี้ไขเคลเท่ากับ 0.8 ความถี่ 500 Hz จำนวนพัลส์ 10 พัลส์ต่อไขเคล

4.3. สัญญาณพัลส์ที่ดับลิแวมที่ความถี่สวิทซ์เท่ากับ 1000Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 20 พัลส์ต่อไซเคิล

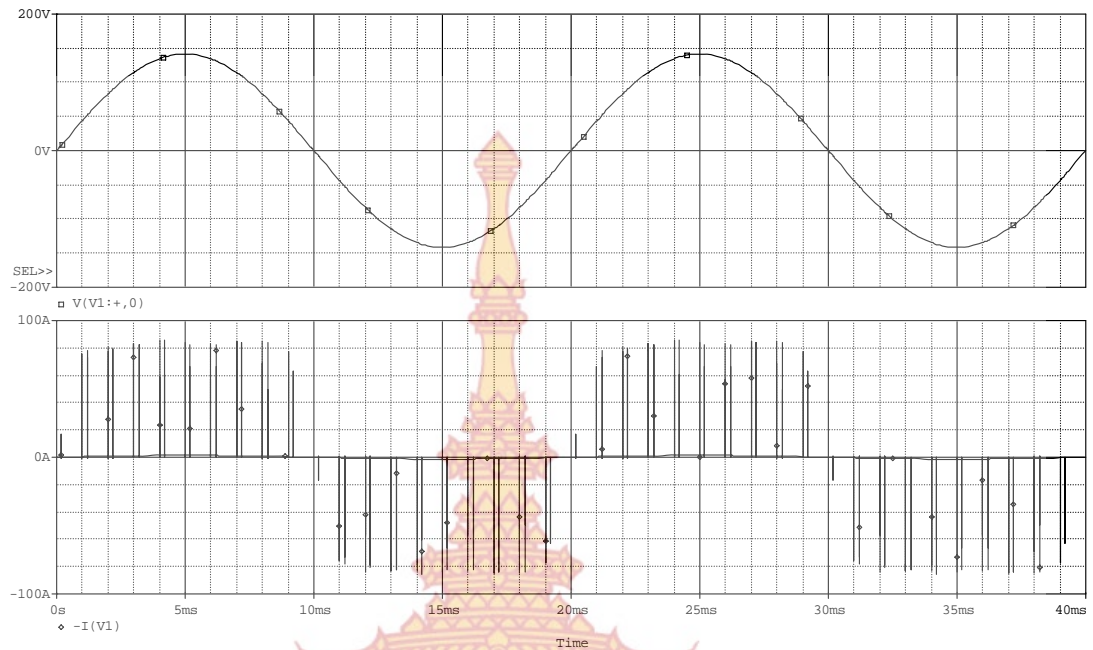
เป็นการนำมาทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์กับโหลดความต้านทานขนาด 100 วัตต์ เพื่อศึกษาลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสต้านอินพุทและเอาต์พุทของวงจร รวมทั้งได้ทำการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสดังกล่าวในเชิงฟูเรียร์หรือ FFT ด้วย โดยใช้ลักษณะสัญญาณพัลส์ที่ดับลิแวมที่มีค่าความถี่ในการสวิทซ์เท่ากับ 1000 Hz จำนวนพัลส์ในแต่ละไซเคิลเท่ากับ 20 พัลส์ และค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสต้านอินพุทและเอาต์พุทของวงจรและการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสดังกล่าวในเชิงฟูเรียร์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.15, 4.16, 4.17 และ 4.18



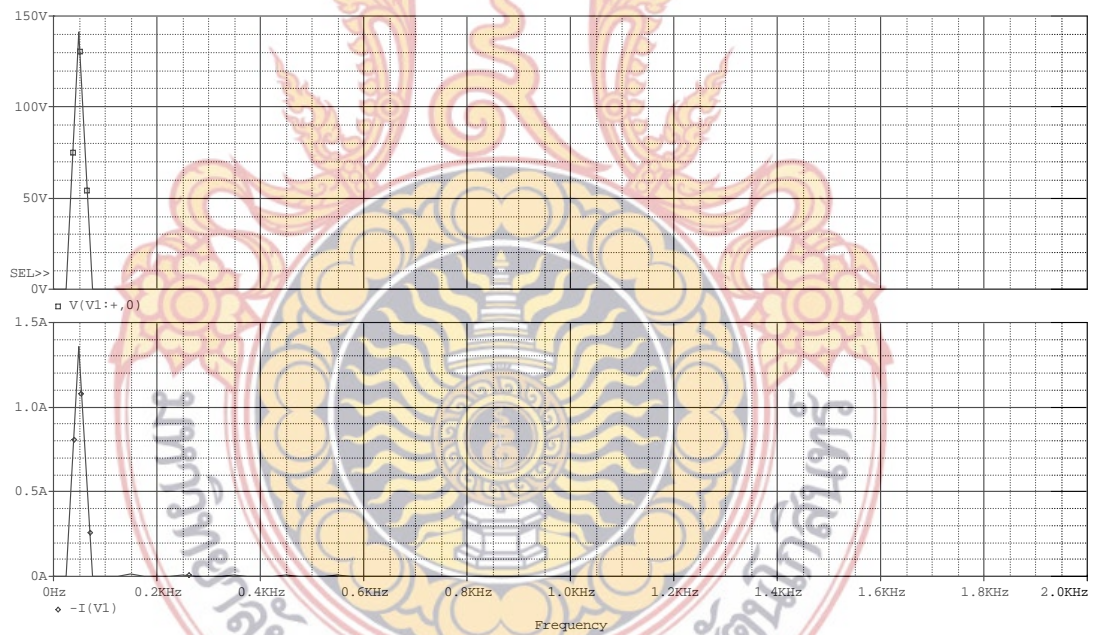
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุทที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุทที่โหลด
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

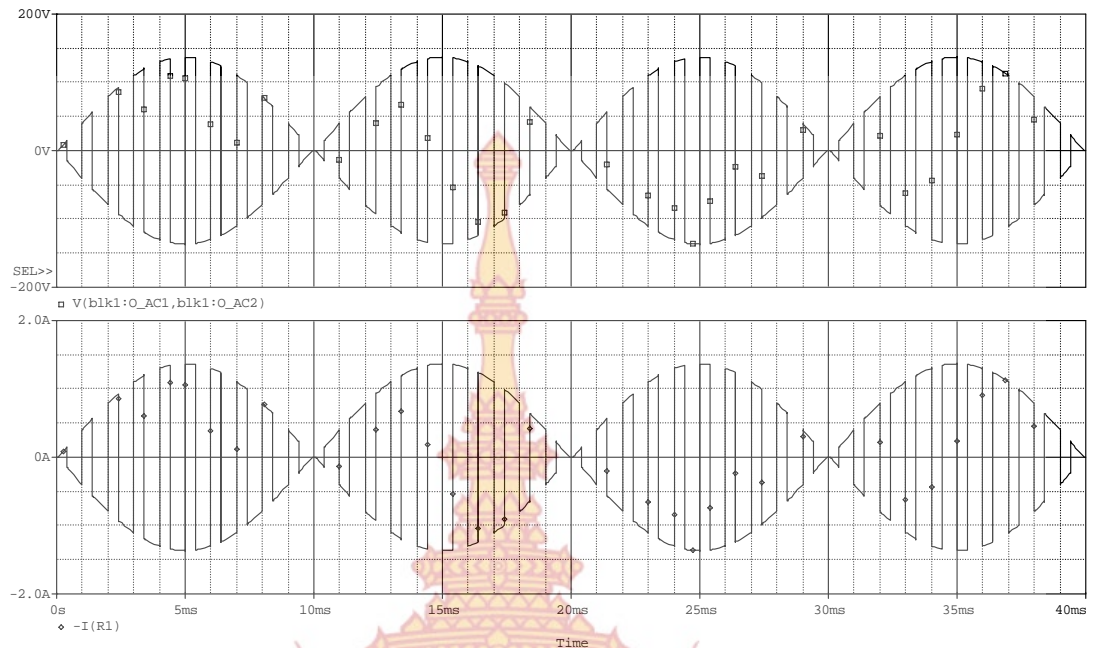


(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

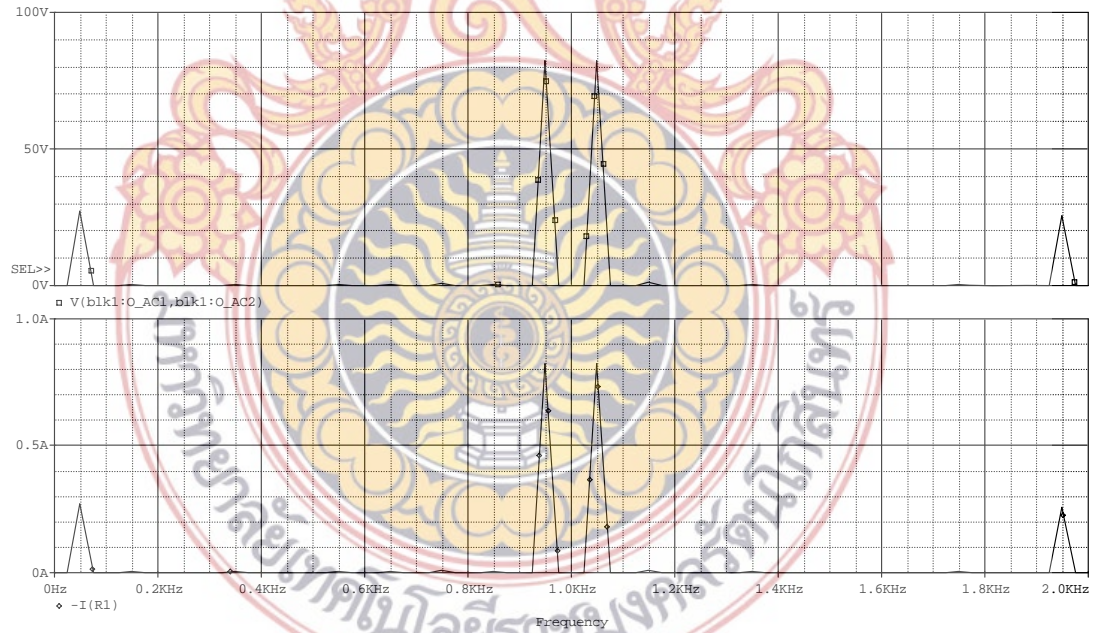


(ง) การวิเคราะห์ฟูริเยร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

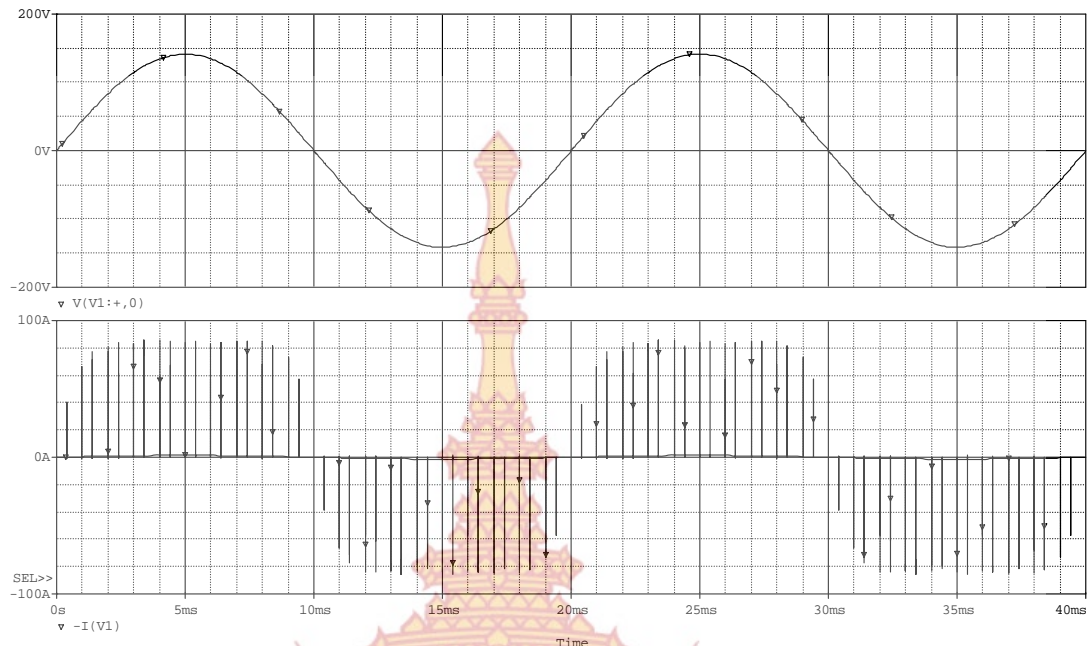
รูปที่ 4.15 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูริเยร์กรณีค่าตัวชี้โวลต์เท่ากับ 0.2 ความถี่ 1000 Hz จำนวนพัลส์ 20 พัลส์ต่อโวลต์



(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ทางฟูรีเยร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

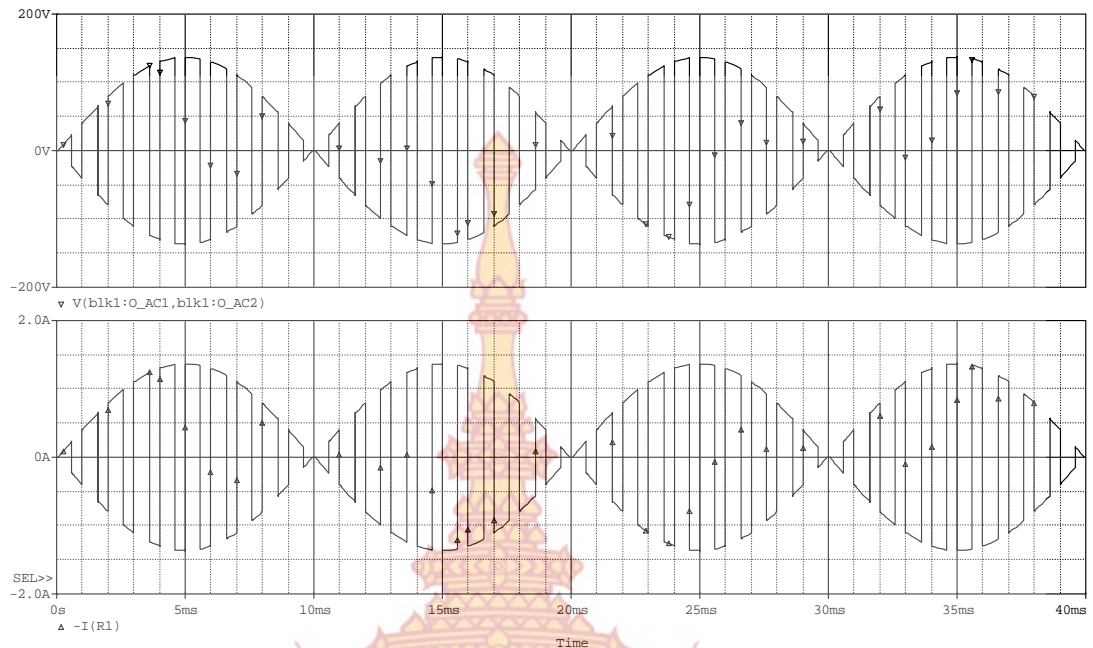


(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

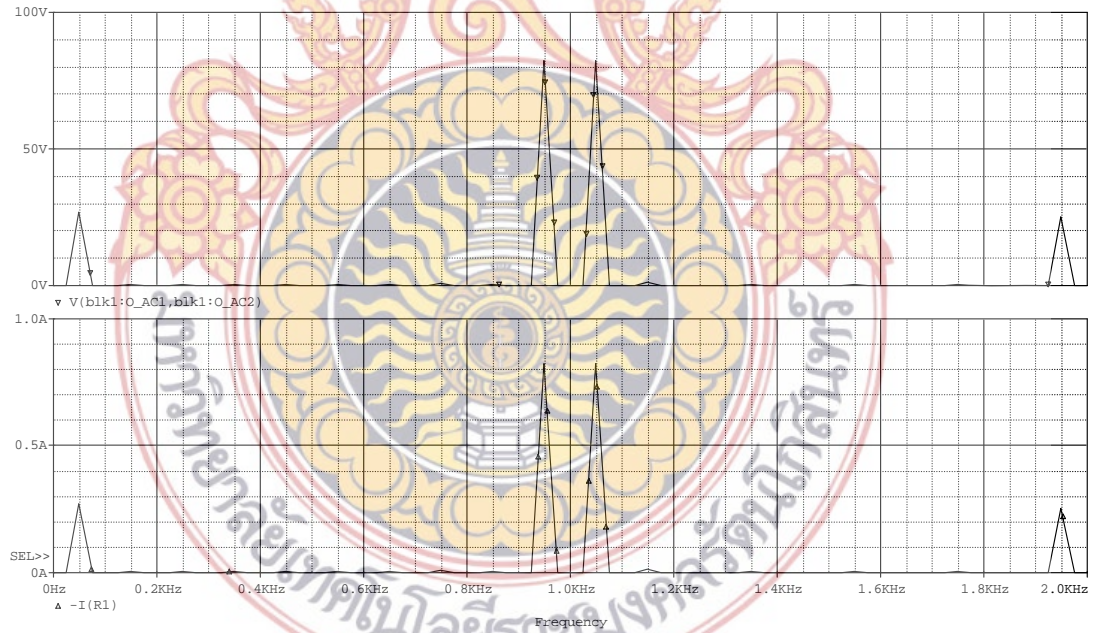


(ง) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

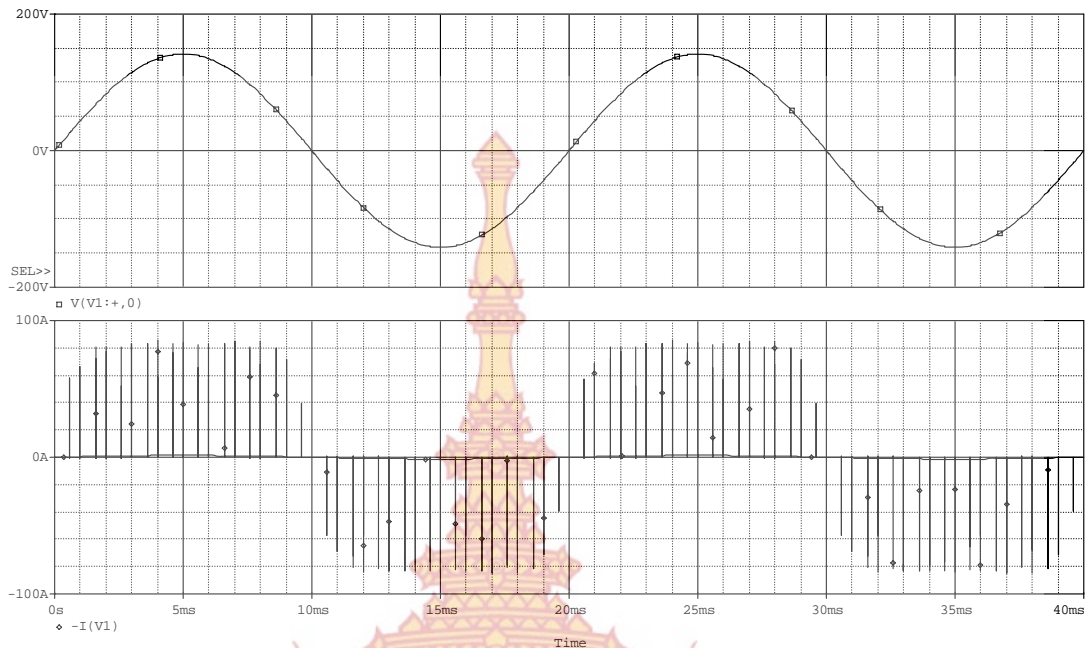
รูปที่ 4.16 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูเรียร์กรณีค่าตัวชี้โชนีเคลเท่ากับ 0.4 ความถี่ 1000 Hz จำนวนพัลส์ 20 พัลส์ต่อโชนีเคล



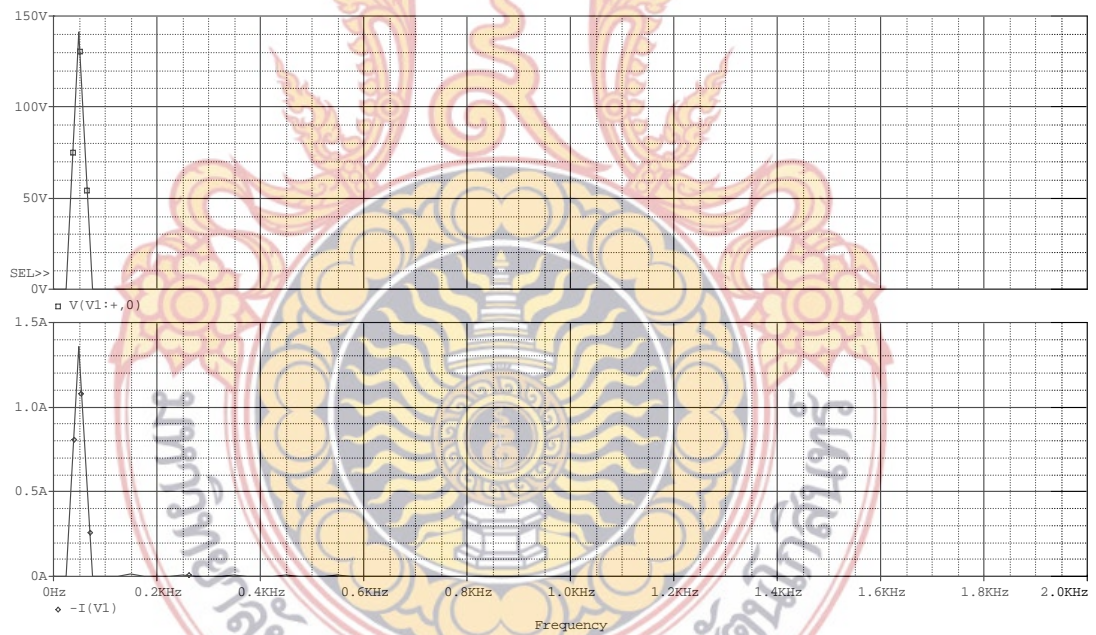
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

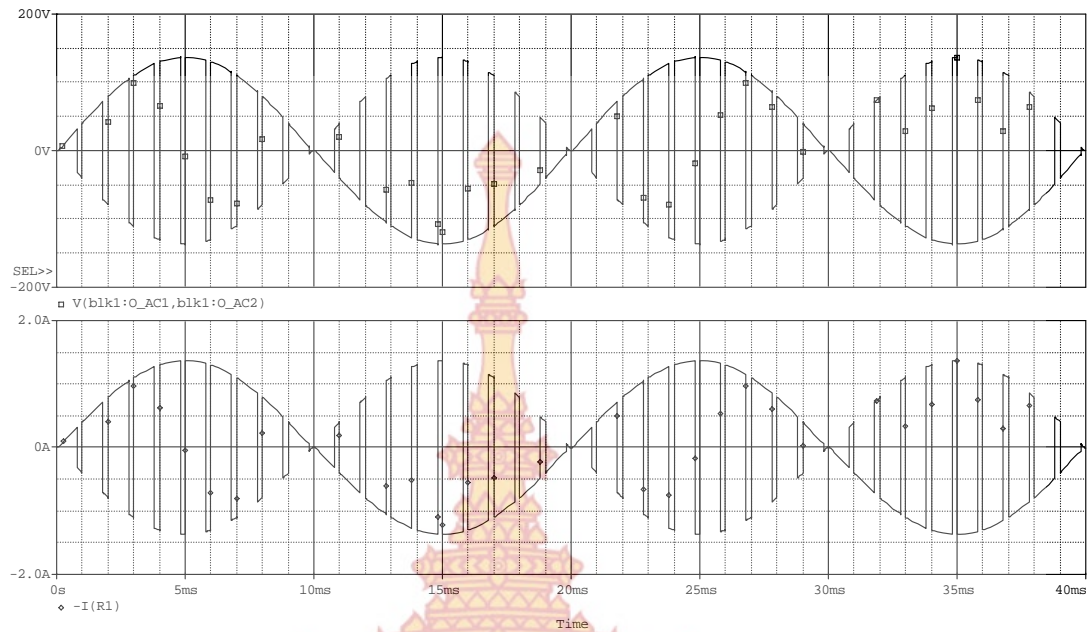


(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

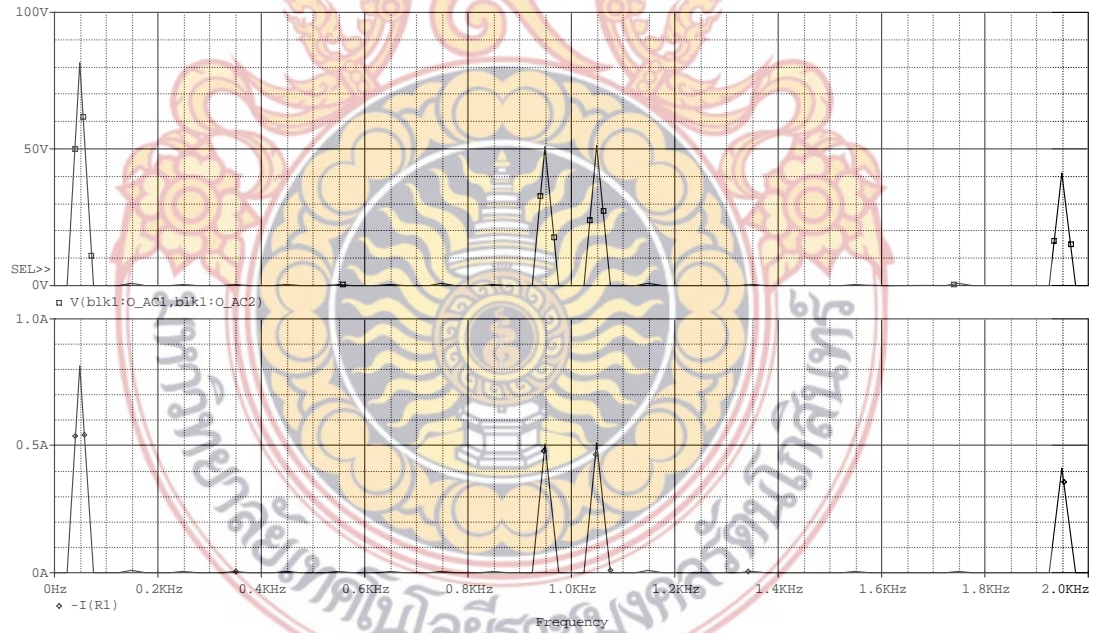


(ง) การวิเคราะห์ทางฟูรีเยอร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

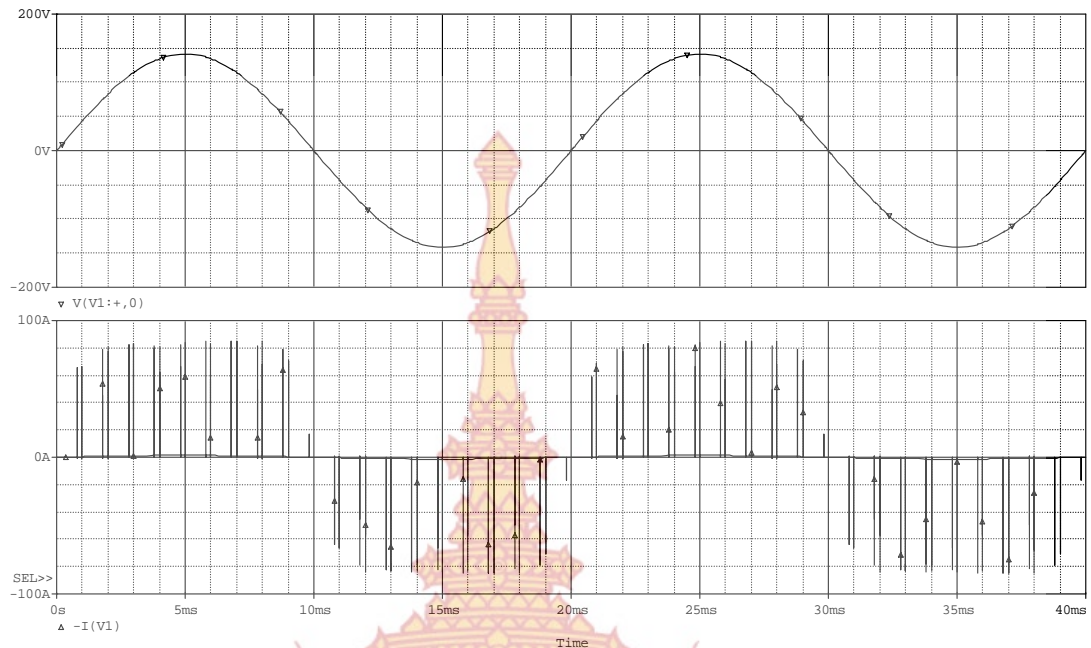
รูปที่ 4.17 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูรีเยอร์กรณีค่าตัวชี้ไซเคิลเท่ากับ 0.6 ความถี่ 1000 Hz จำนวนพัลส์ 20 พัลส์ต่อไซเคิล



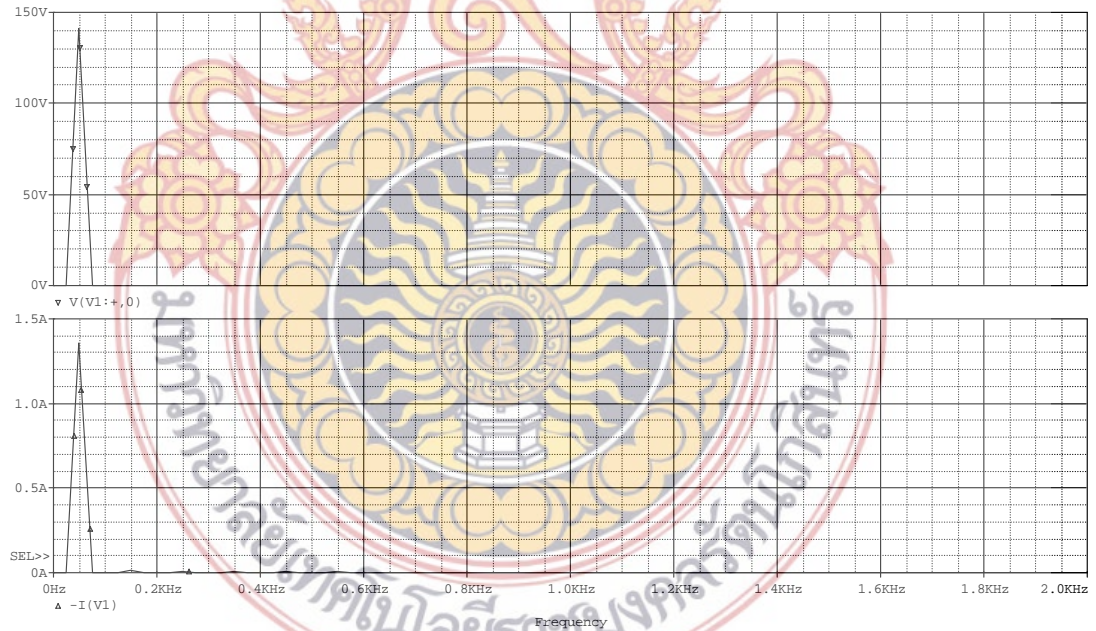
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ง) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

รูปที่ 4.18 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูเรียร์กรณีค่าตัวชี้ไซเคิลเท่ากับ 0.8 ความถี่ 1000 Hz จำนวนพัลส์ 20 พัลส์ต่อไซเคิล

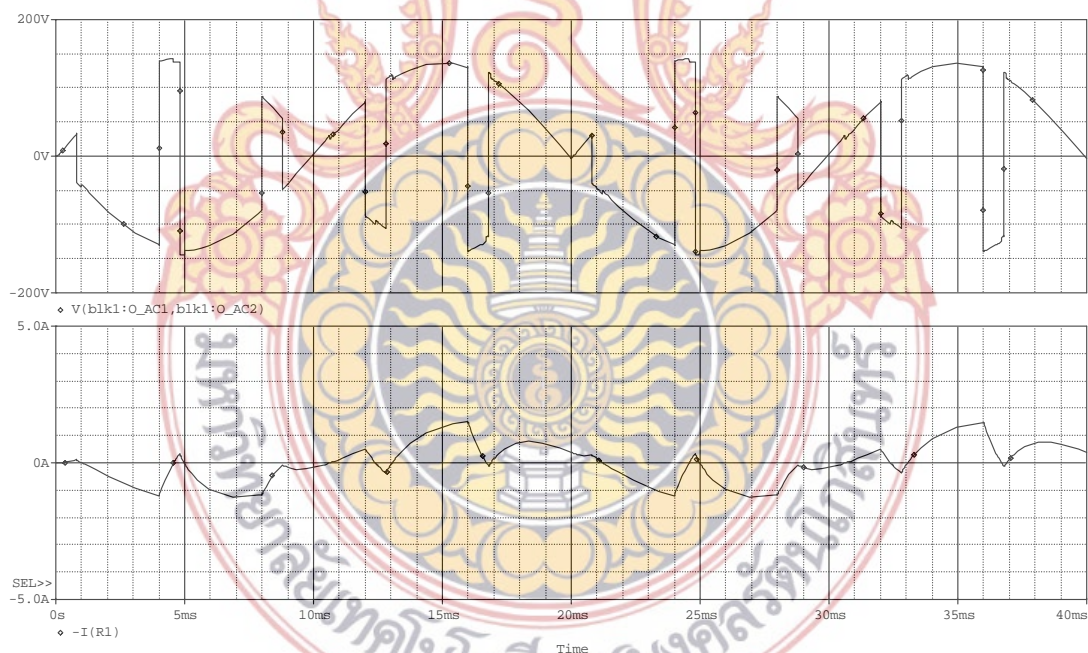
5. การจำลองวงจรโดยการทดสอบกับโหลดตัวต้านทาน - ตัวเหนี่ยวนำ

ในการจำลองวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ได้ทำการสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม OrCAD/PSpice นั้น จะนำมาทำการทดสอบกับโหลดความต้านทานขนาด 100 วัตต์ และ ตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าเท่ากับ 0.088 Henry โดยใช้สัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็มในการขับนำสวิทช์สองทาง ที่มีเงื่อนไขของลักษณะสัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็ม คือ ความถี่ในการสวิทช์เท่ากับ 250 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz จำนวนพัลส์ในแต่ละไซเคิลเท่ากับ 5 พัลส์, 10 พัลส์ และ 20 พัลส์ และค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ซึ่งในการทดสอบเพื่อศึกษา ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทของวงจร รวมทั้งได้ทำการวิเคราะห์คลื่นดังกล่าวในเชิงฟูเรียร์หรือ FFT เพื่อศึกษาค่าฮาร์โมนิกที่อันดับต่างๆ ที่เกิดขึ้นว่ามีผลต่อค่าแรงดันและกระแสมากน้อยอย่างไร ในการทดสอบได้ทำการแยกทดสอบเป็นหัวข้อตามเงื่อนไขของลักษณะสัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็ม ดังนี้

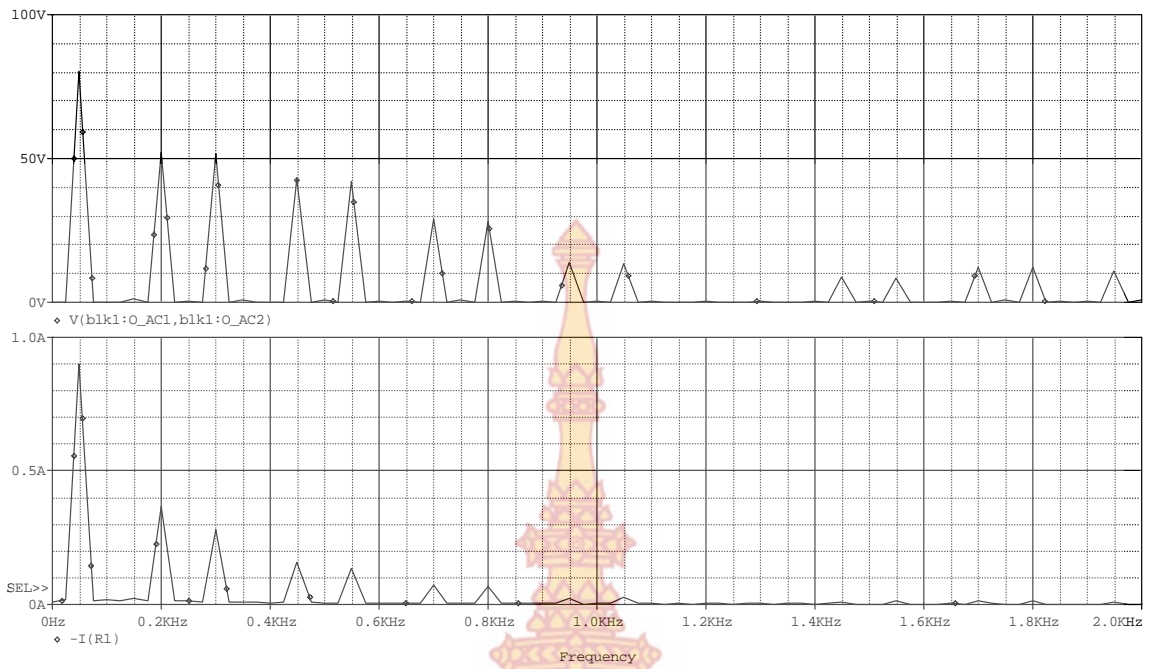
5.1 สัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็มที่ความถี่สวิทช์เท่ากับ 250Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ

5 พัลส์ต่อ ไซเคิล

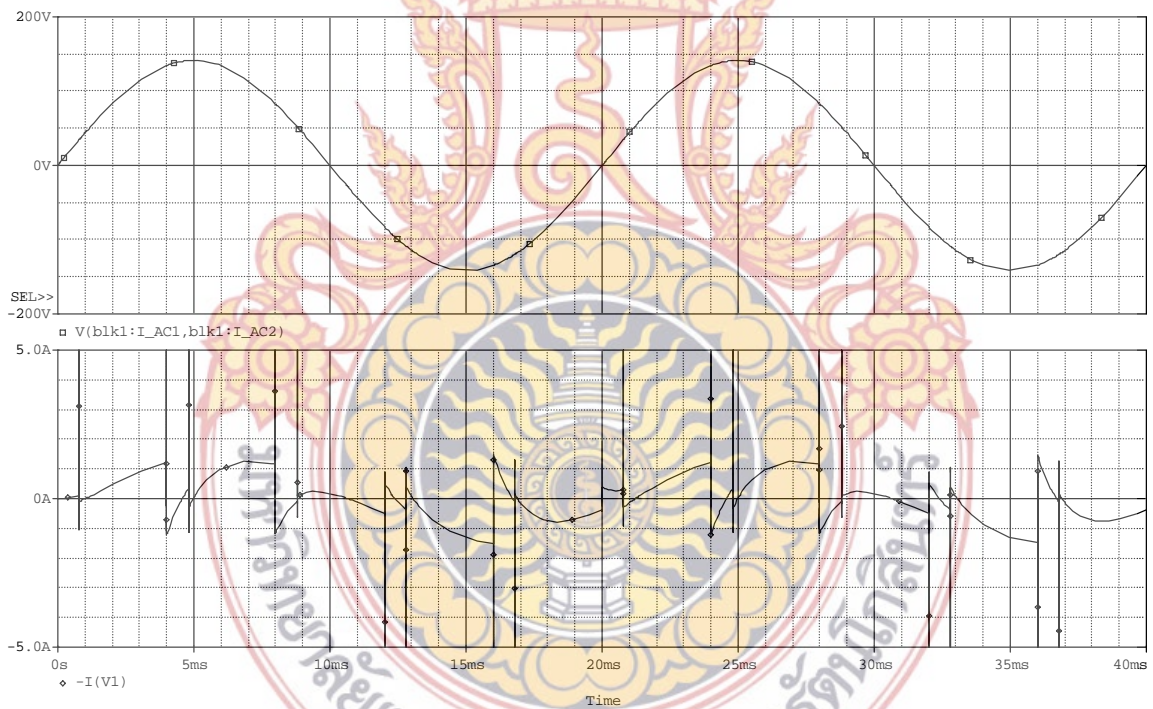
เป็นการนำมาทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์กับโหลดความต้านทานขนาด 100 วัตต์ และ ตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าเท่ากับ 0.088 Henry เพื่อศึกษาลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทของวงจร รวมทั้งได้ทำการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสดังกล่าวในเชิงฟูเรียร์หรือ FFT ด้วย โดยใช้ลักษณะสัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็ม ที่มีค่าความถี่ในการสวิทช์เท่ากับ 250 Hz จำนวนพัลส์ในแต่ละไซเคิลเท่ากับ 5 พัลส์ และค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทของวงจรและการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสดังกล่าวในเชิงฟูเรียร์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.19, 4.20, 4.21 และ 4.22



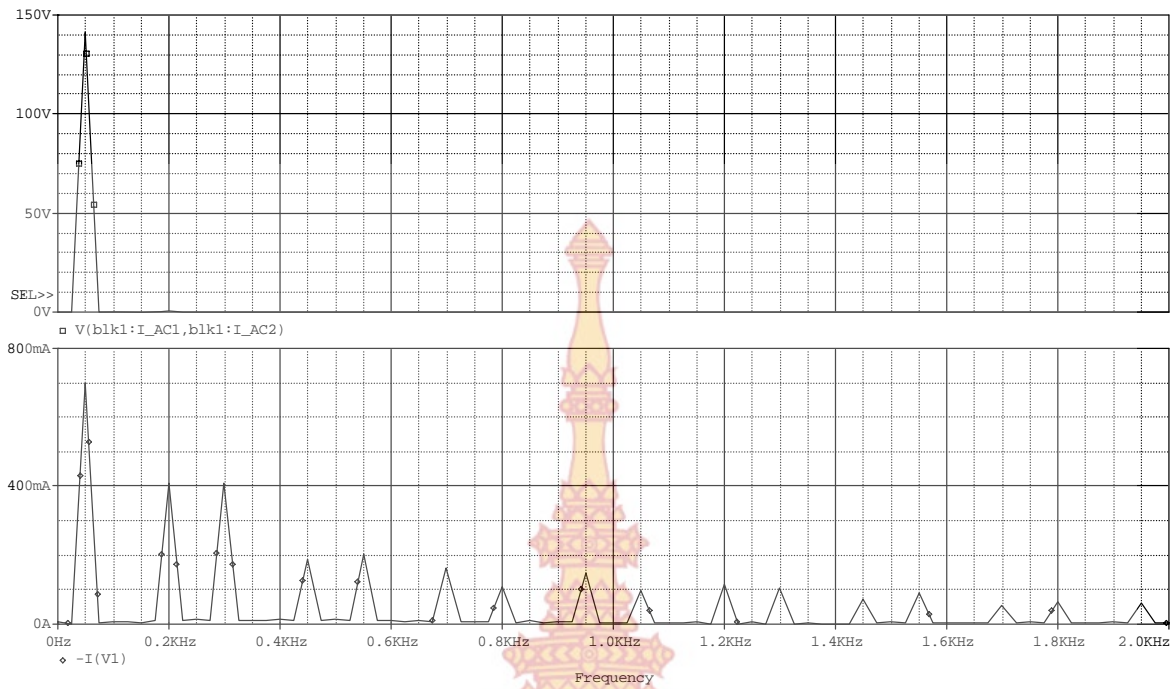
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุทที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

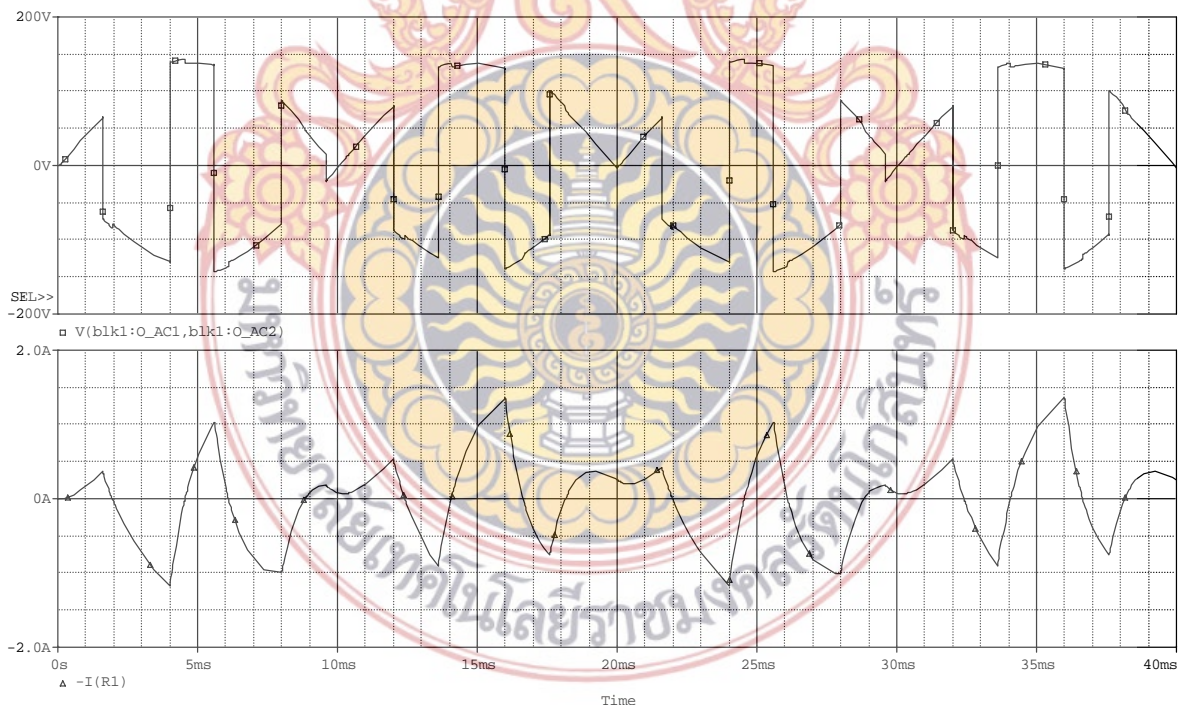


(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุต (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

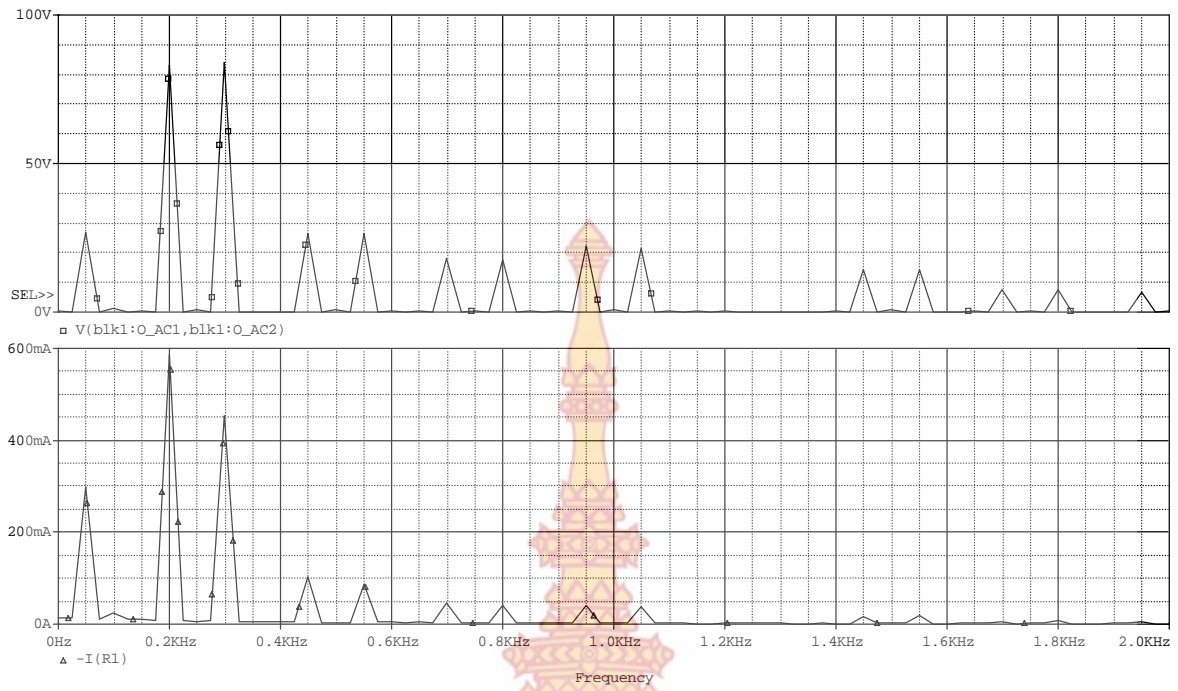


(ง) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุต (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

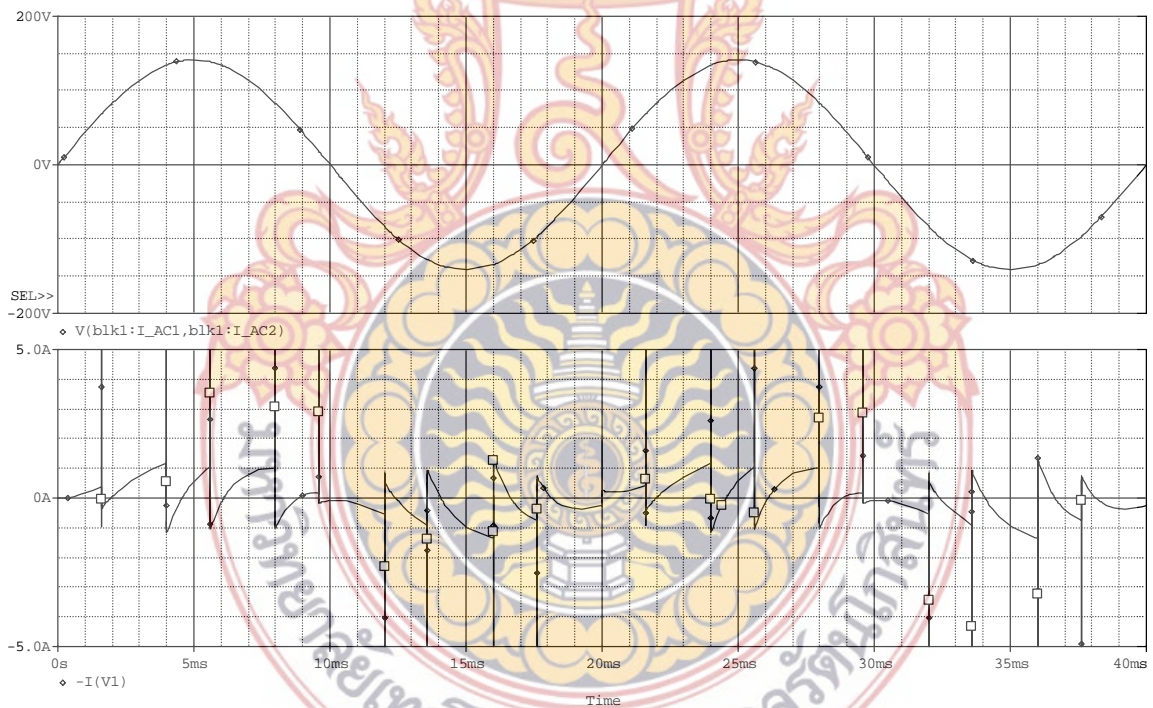
รูปที่ 4.19 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุตและเอาต์พุตพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูเรียร์กรณีค่าตัวชี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2 ความถี่ 250 Hz จำนวนพัลส์ 5 พัลส์ต่อไซเคิล



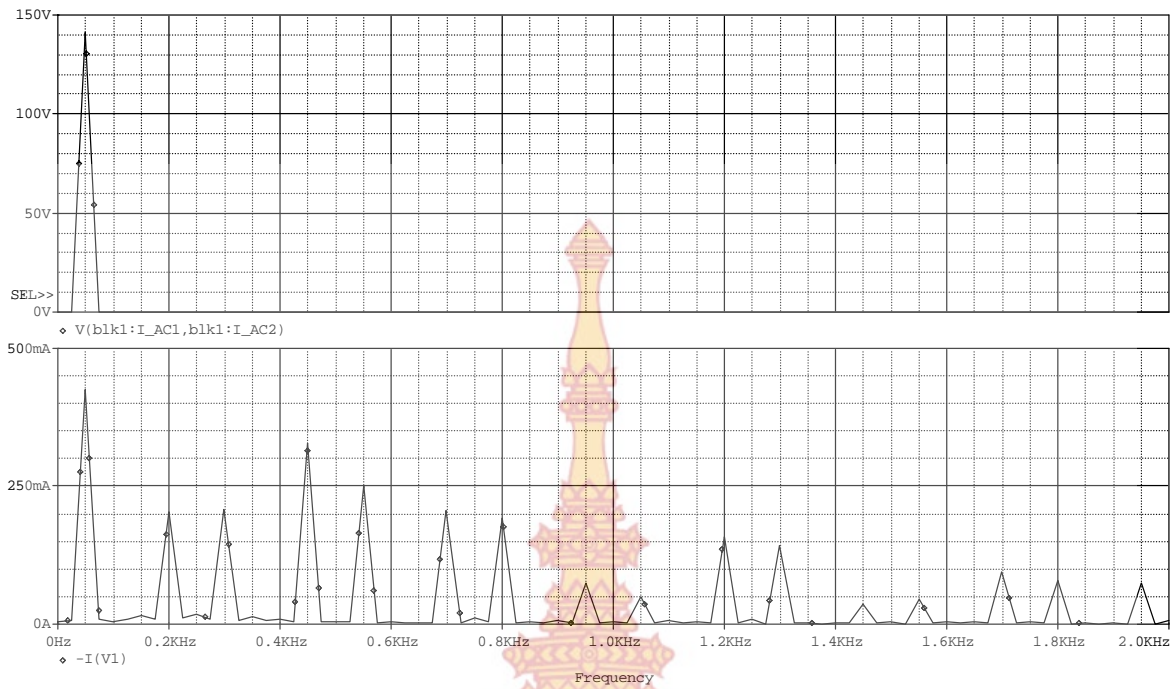
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ทางฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

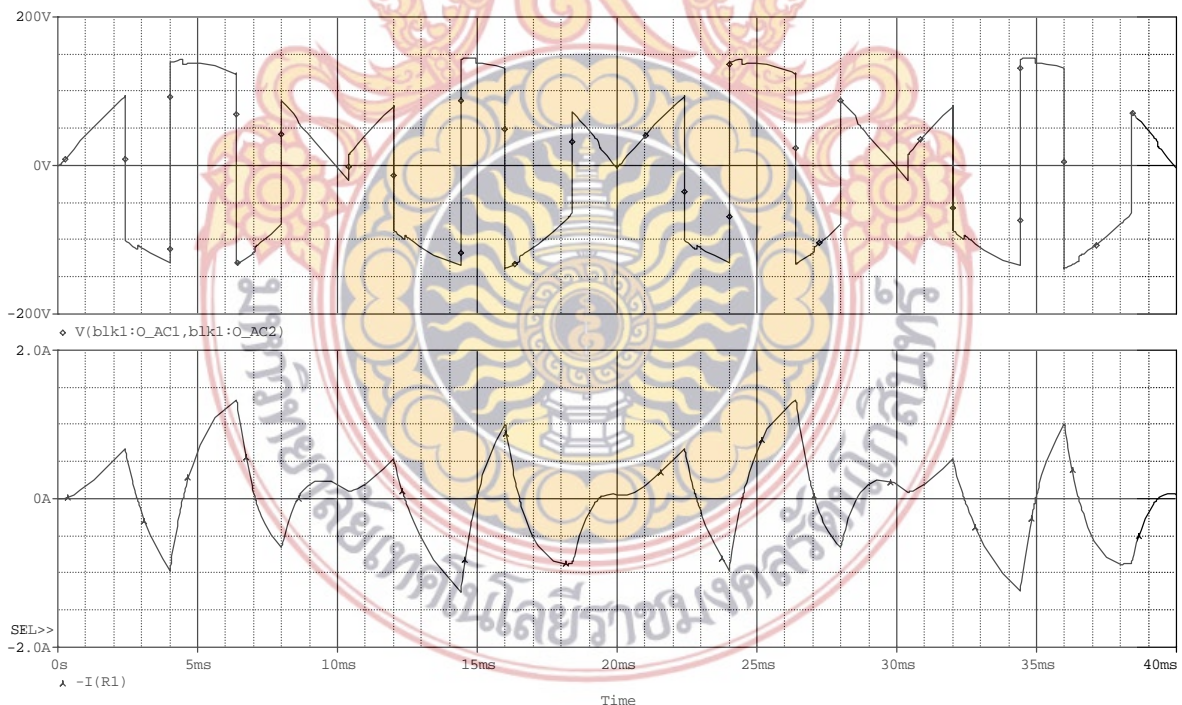


(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุต (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

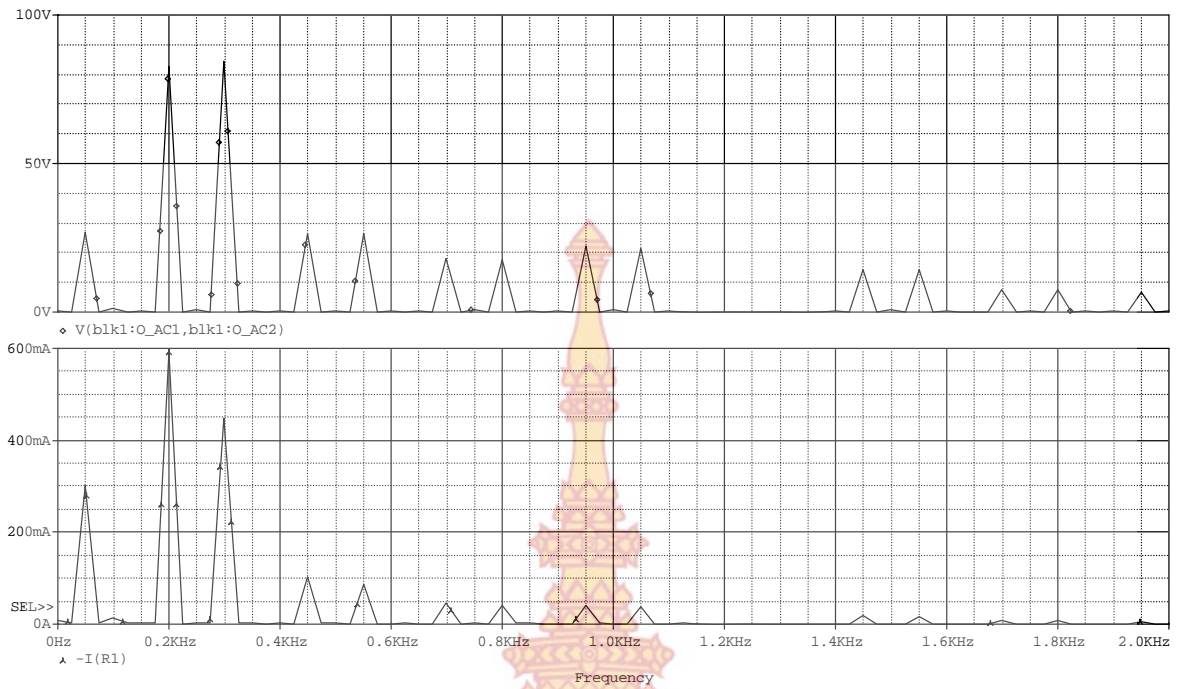


(ง) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

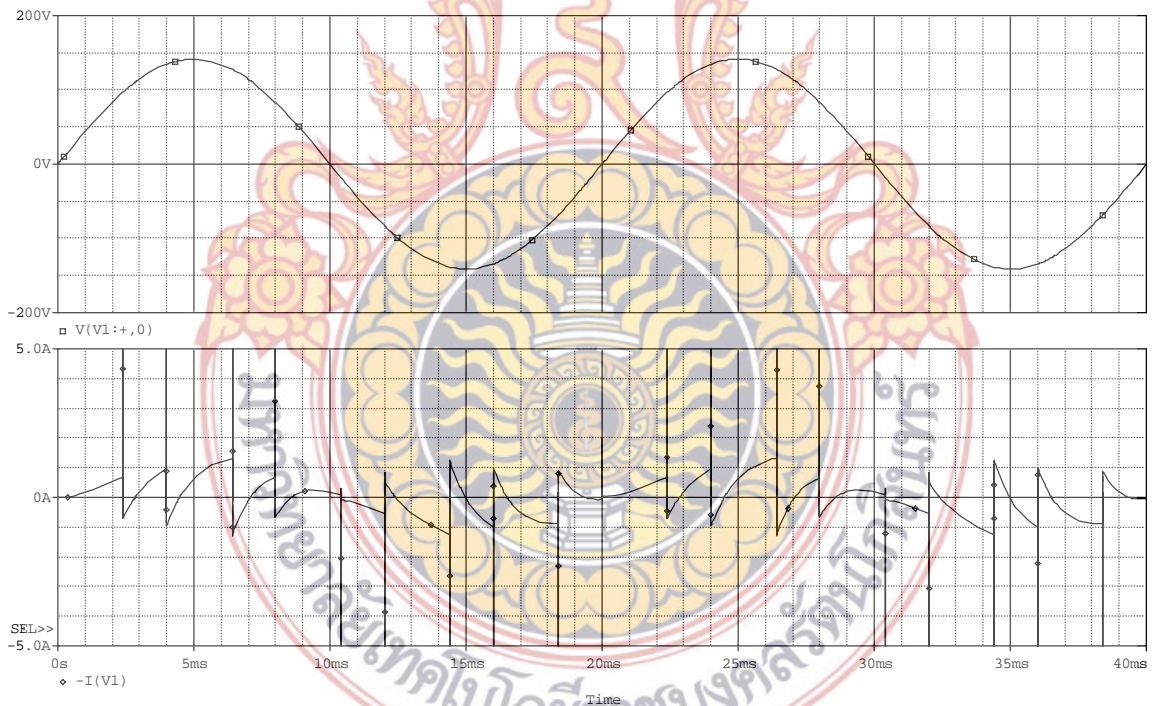
รูปที่ 4.20 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูเรียร์กรณีค่าตัวชี้ไซเคิลเท่ากับ 0.4 ความถี่ 250 Hz จำนวนพัลส์ 5 พัลส์ต่อไซเคิล



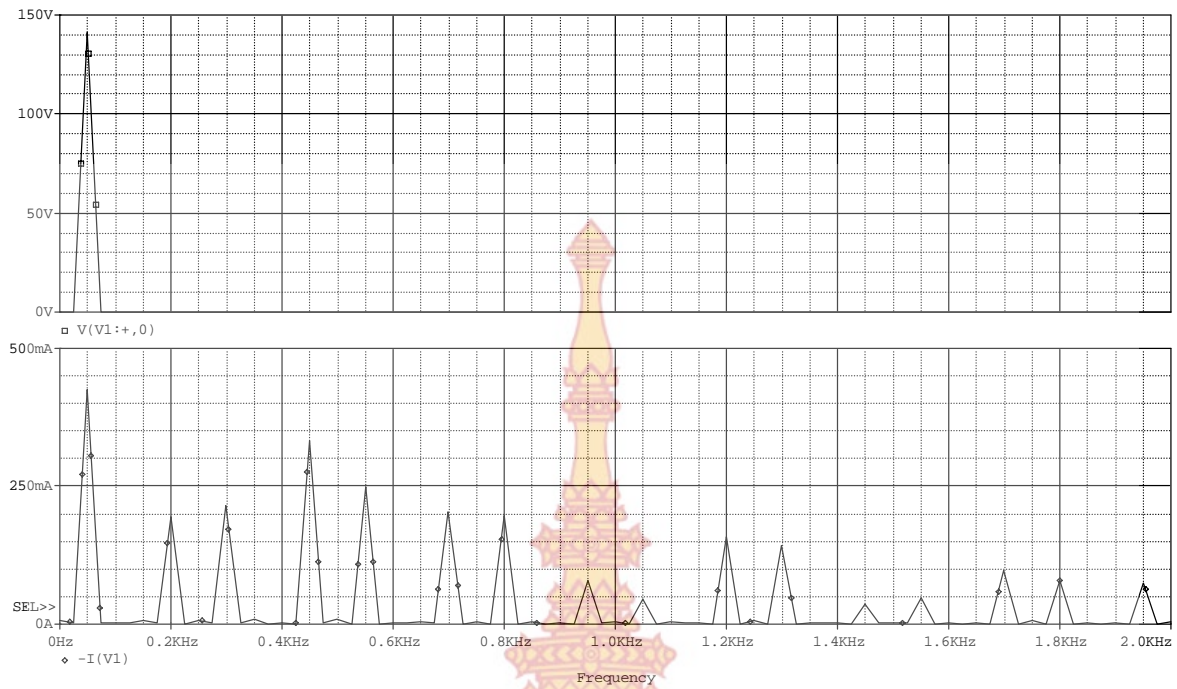
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุทที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์หัพูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

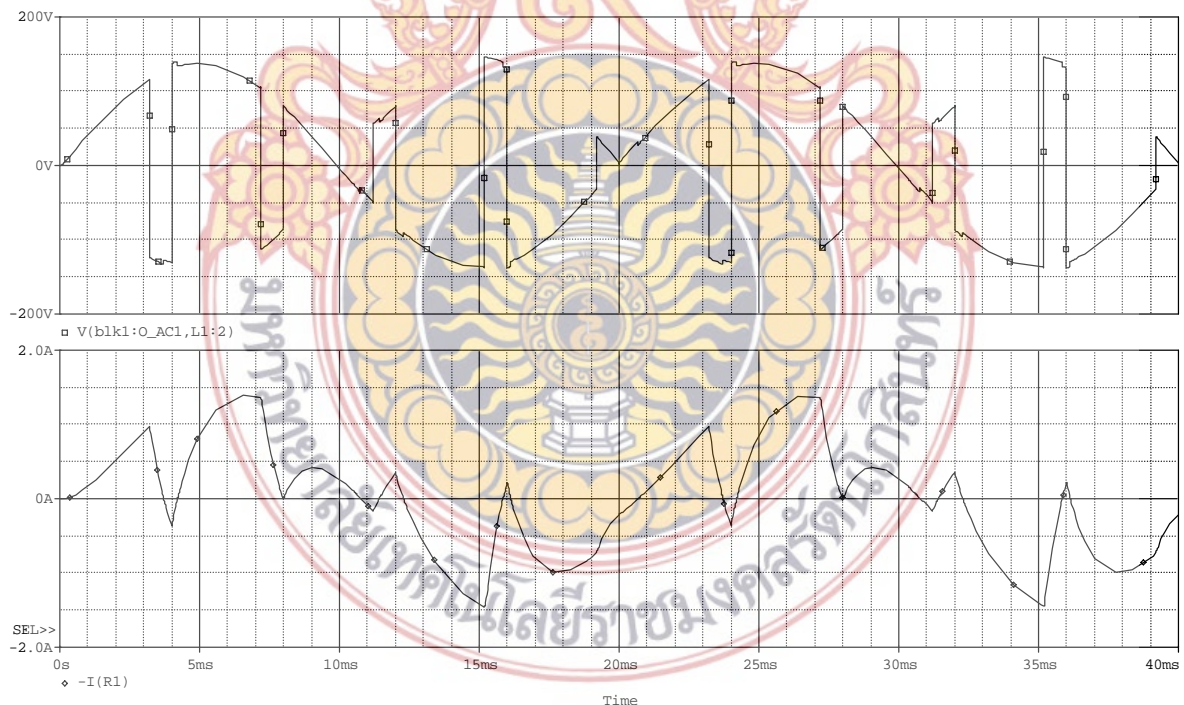


(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

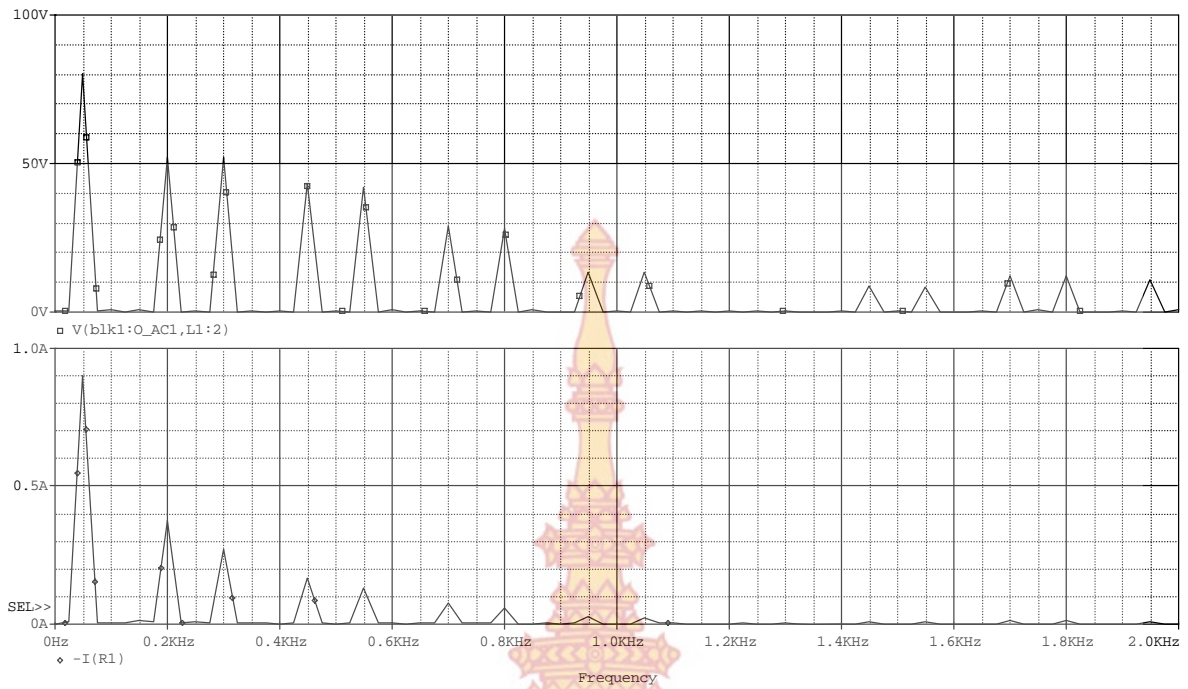


(ง) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

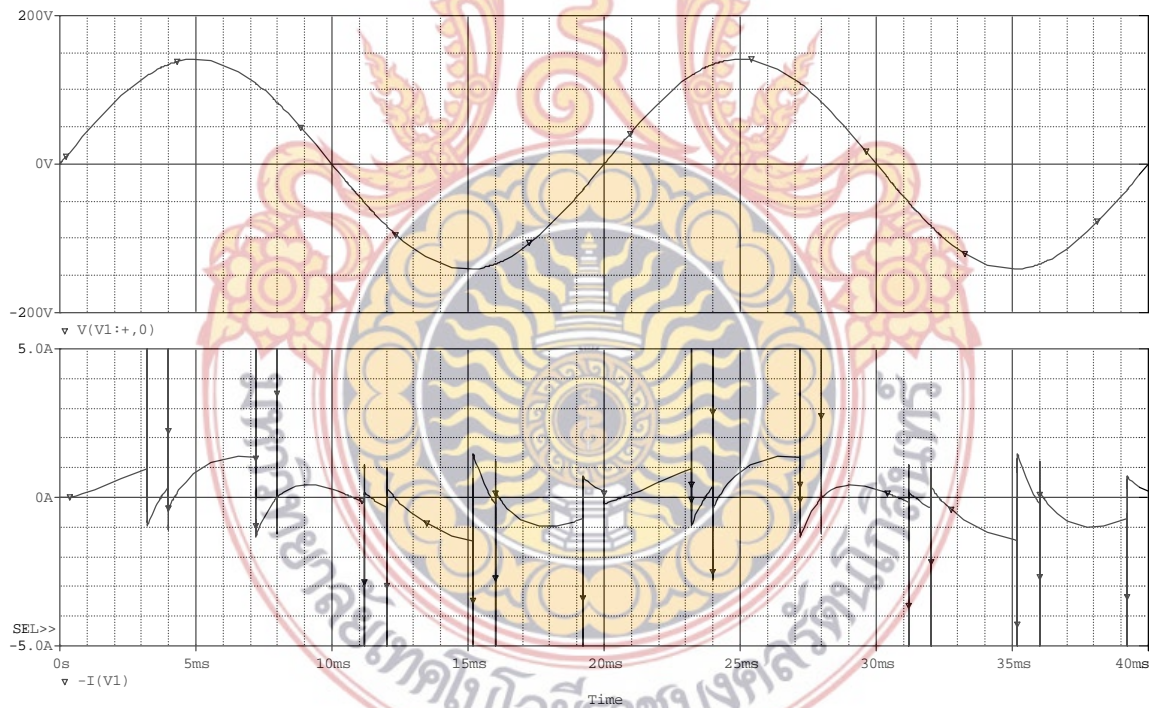
รูปที่ 4.21 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูเรียร์กรณีค่าตัวชี้ไซเคิลเท่ากับ 0.6 ความถี่ 250 Hz จำนวนพัลส์ 5 พัลส์ต่อไซเคิล



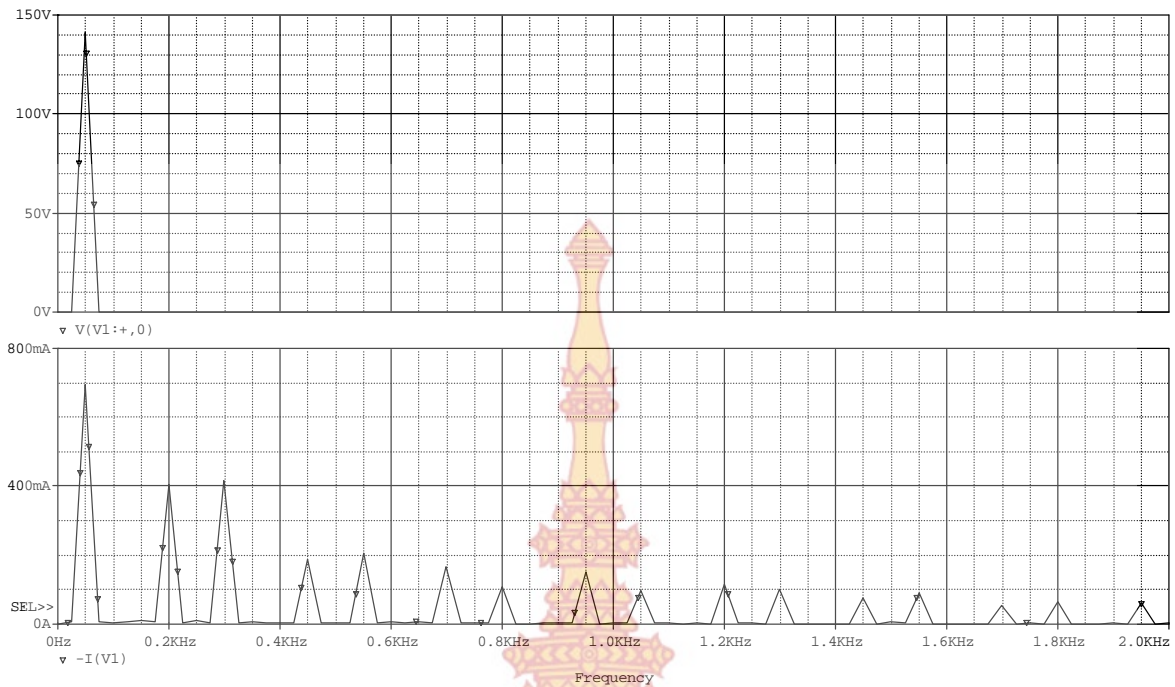
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุทที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ฟูริเยร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุต (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

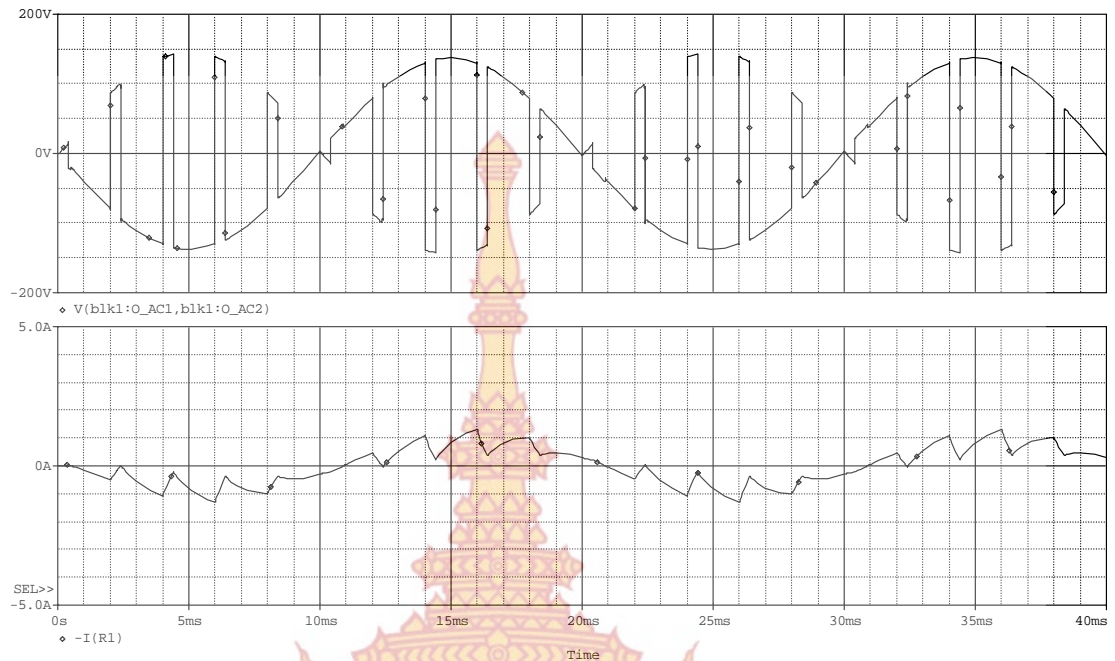


(ง) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

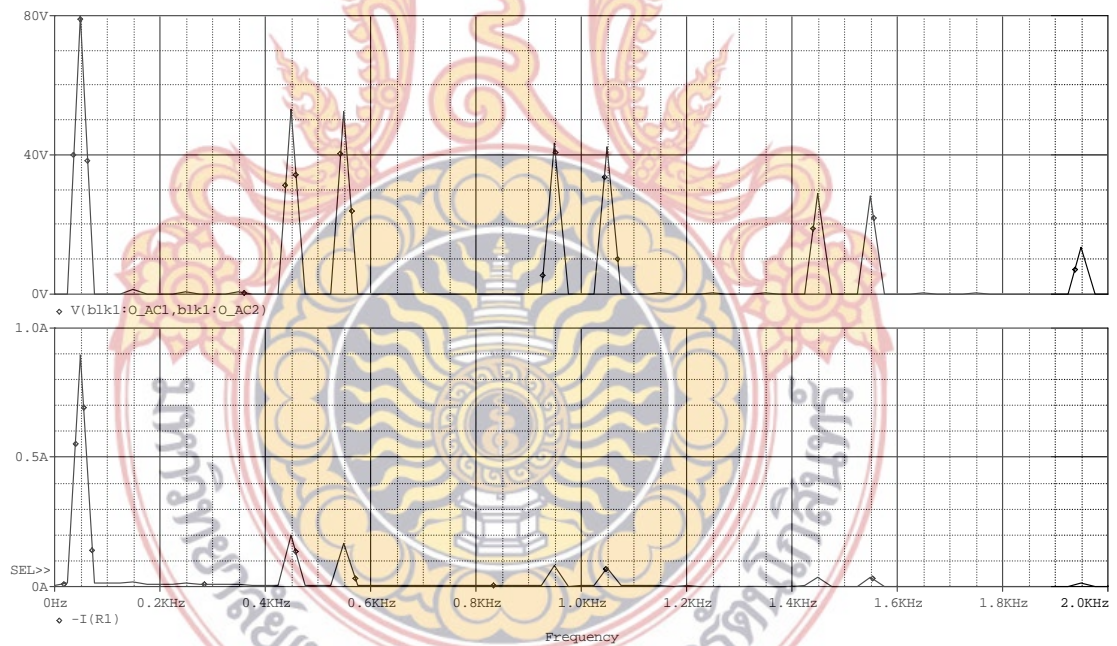
รูปที่ 4.22 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูเรียร์ กรณีค่าตัวตีไซเคิลเท่ากับ 0.8 ความถี่ 250 Hz จำนวนพัลส์ 5 พัลส์ต่อไซเคิล

5.2. สัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่มีความถี่สวิตช์เท่ากับ 500Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 10 พัลส์ต่อ ไซเคิล

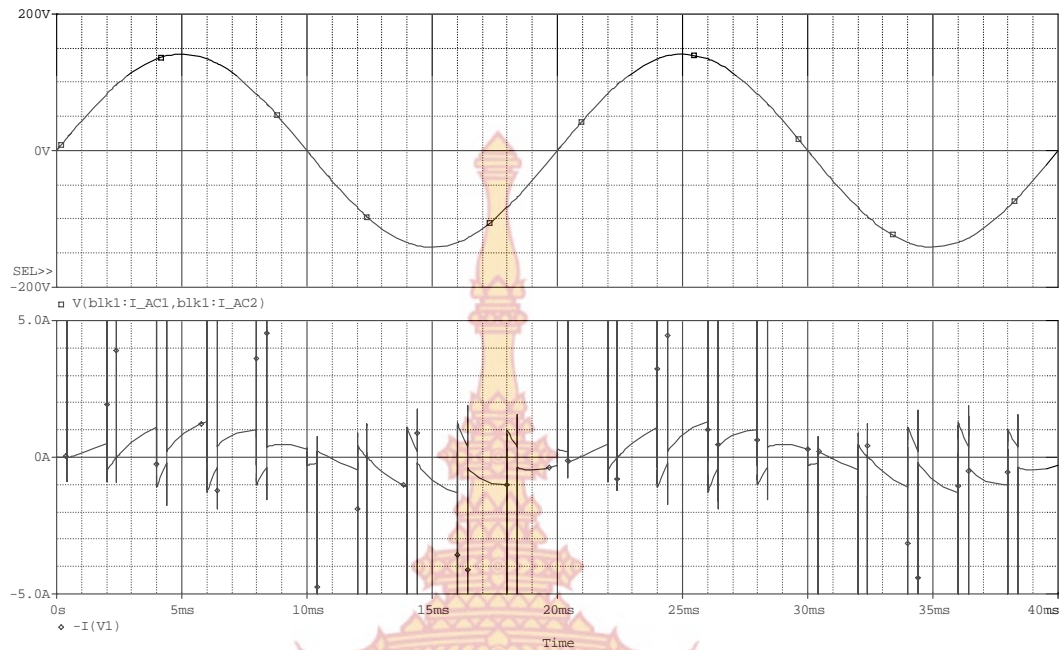
เป็นการนำมาทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์กับโหลดความต้านทานขนาด 100 วัตต์ และตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าเท่ากับ 0.088 Henry เพื่อศึกษาลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทของวงจร รวมทั้งได้ทำการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสดังกล่าวในเชิงฟูเรียร์หรือ FFT ด้วย โดยใช้ลักษณะสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็ม ที่มีค่าความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 500 Hz จำนวนพัลส์ในแต่ละไซเคิลเท่ากับ 10 พัลส์ และค่าตัวตีไซเคิลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทของวงจรและการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสดังกล่าวในเชิงฟูเรียร์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.23, 4.24, 4.25 และ 4.26



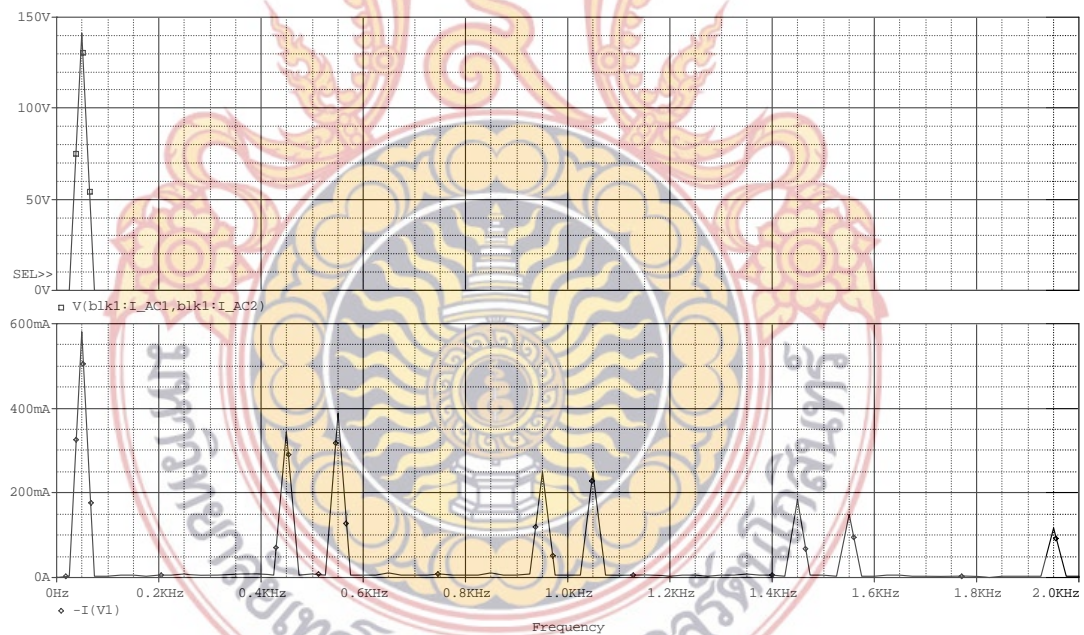
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

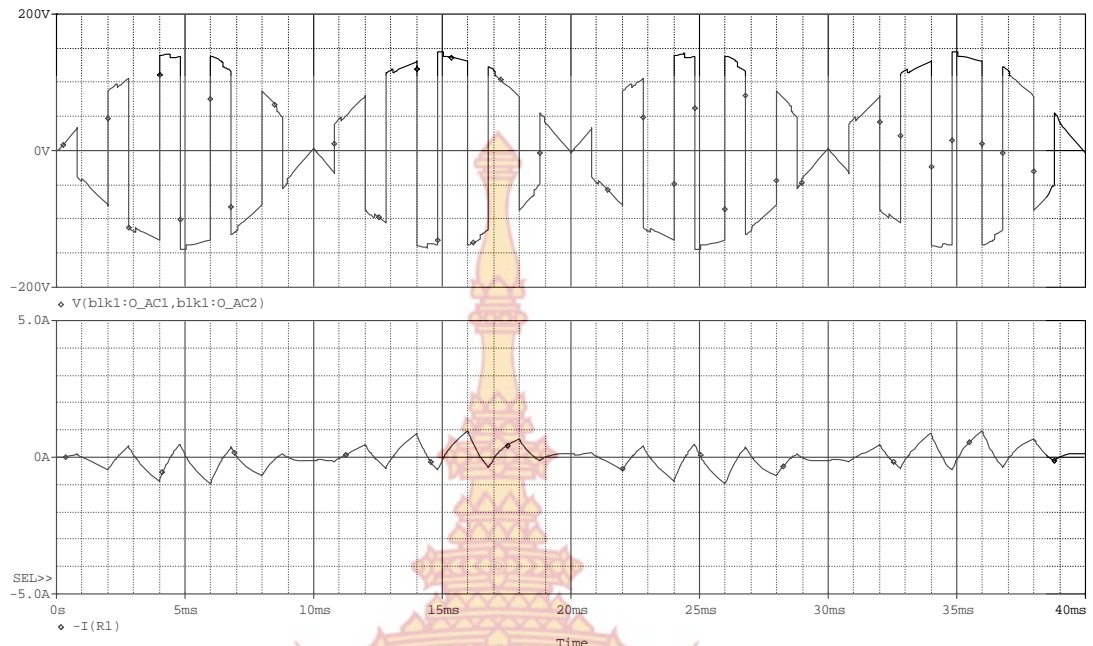


(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

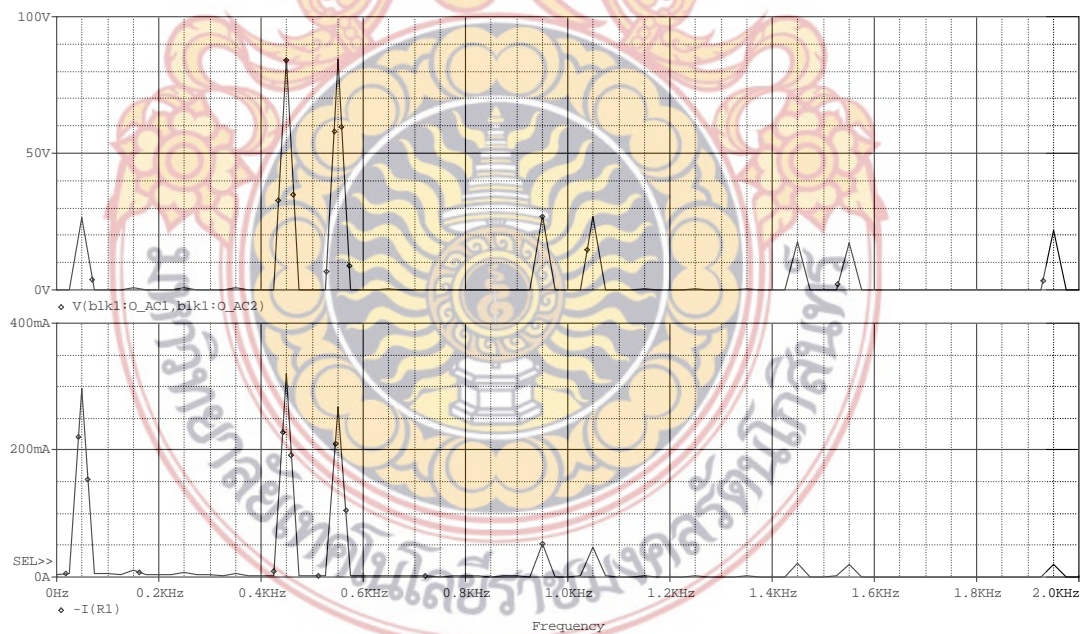


(ง) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

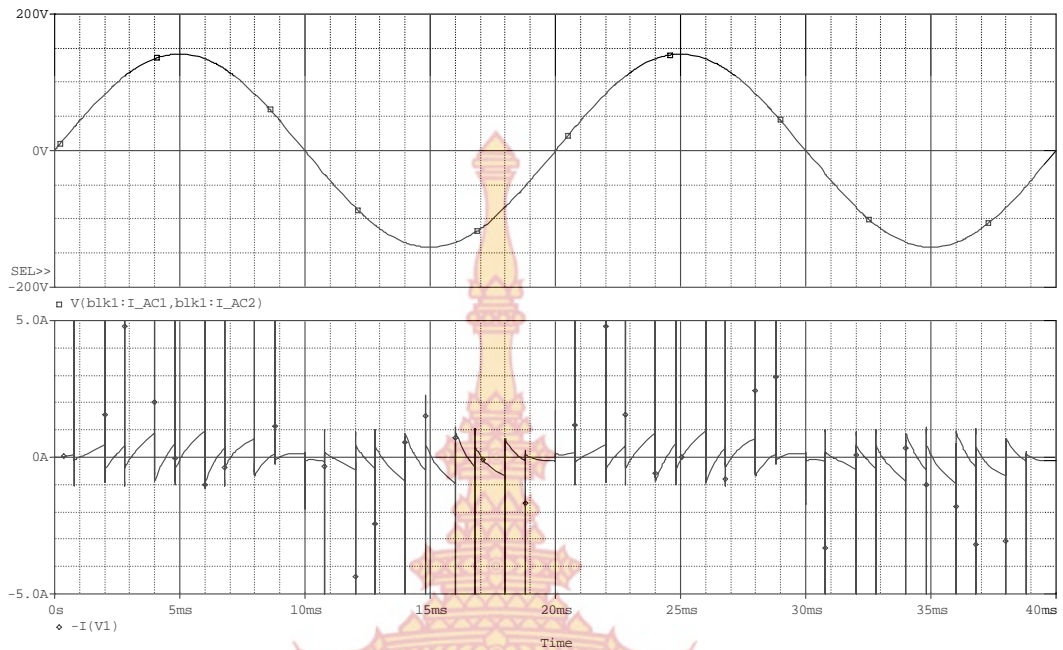
รูปที่ 4.23 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูเรียร์กรณีค่าตัวชี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2 ความถี่ 500 Hz จำนวนพัลส์ 10 พัลส์ต่อไซเคิล



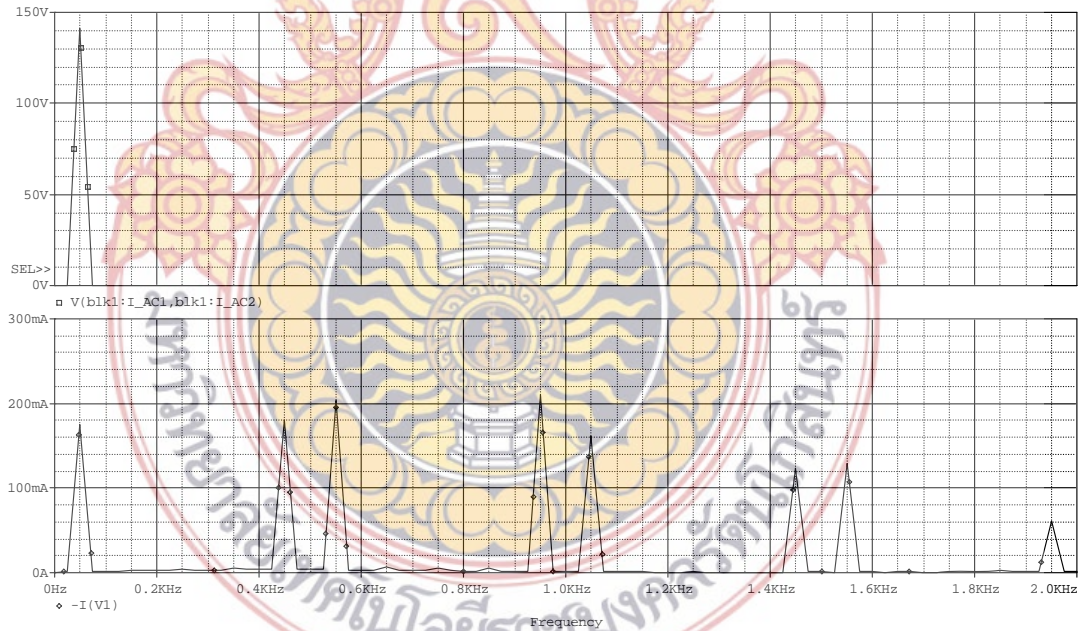
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ฟูริเยร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

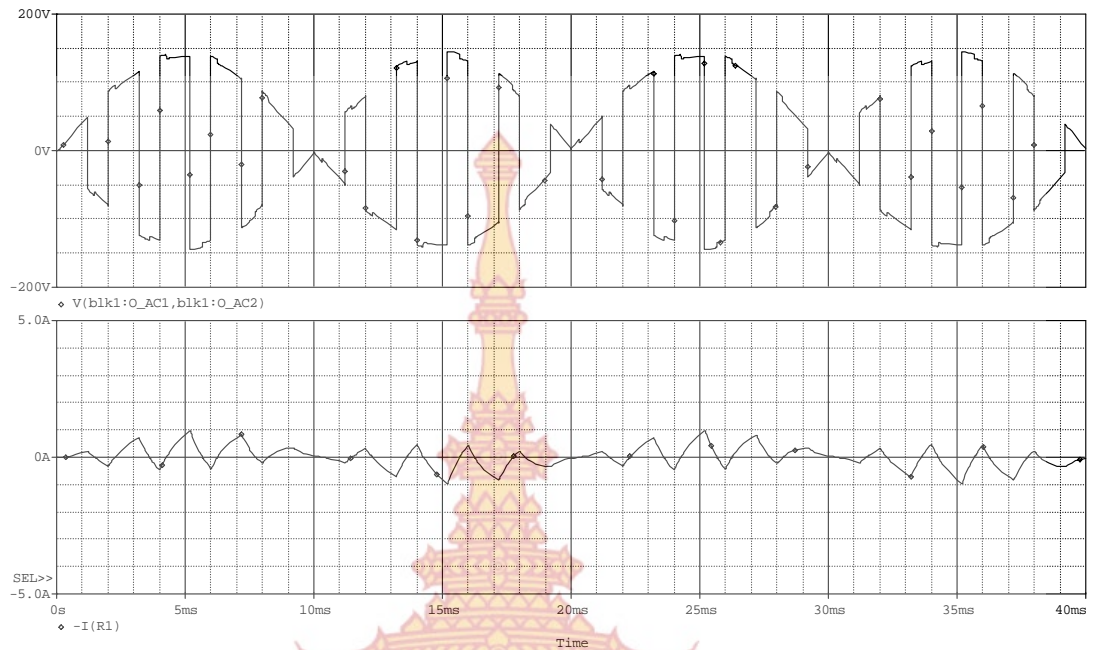


(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

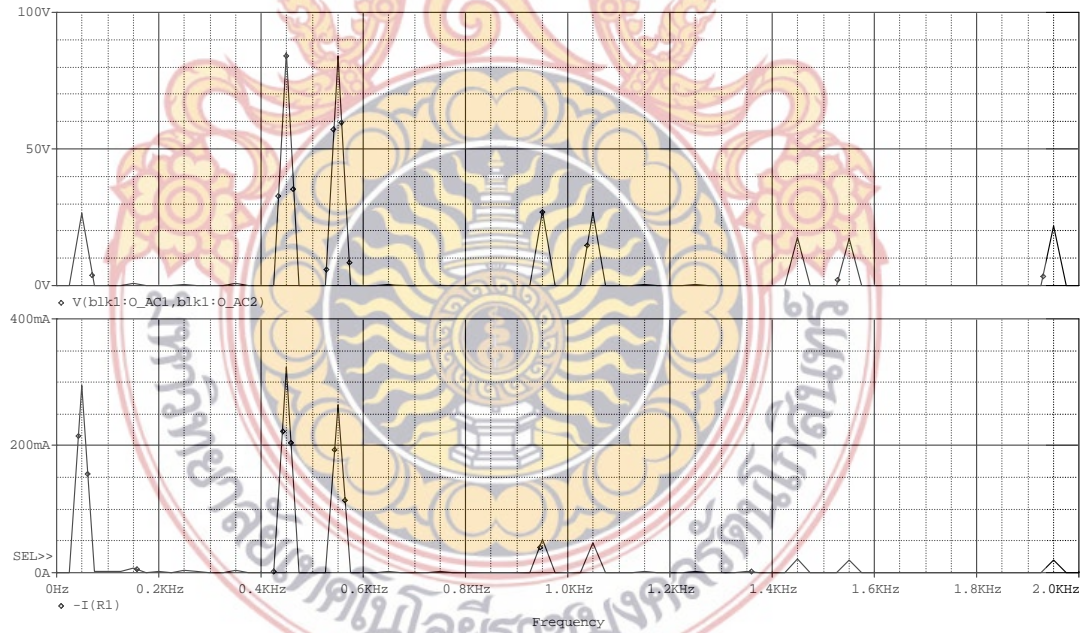


(ง) การวิเคราะห์ฟูริเยร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

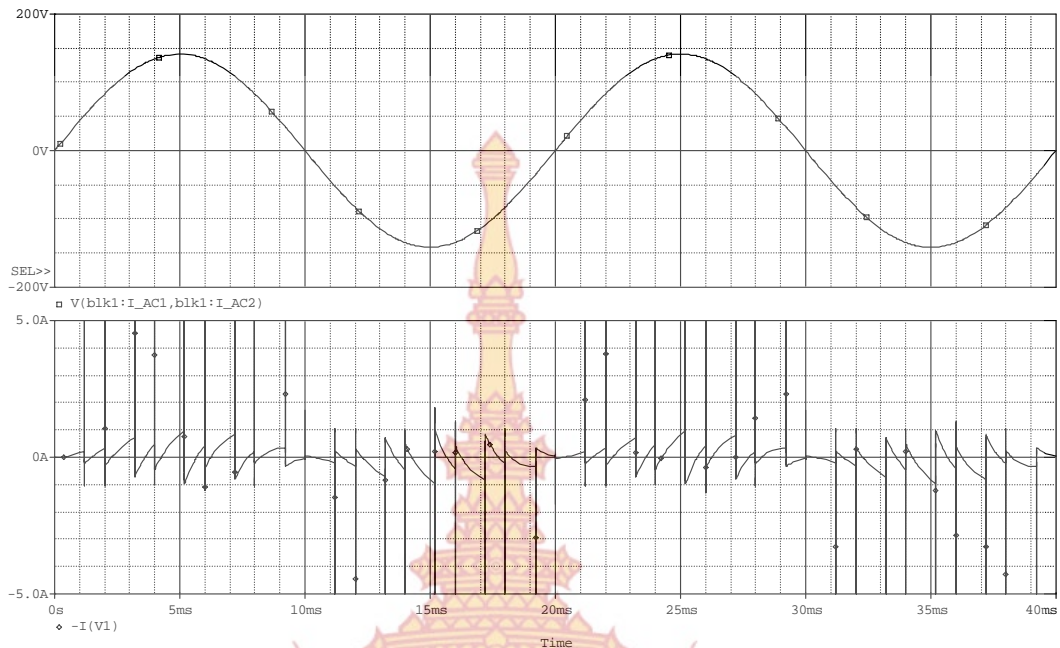
รูปที่ 4.24 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูริเยร์กรณีค่าตัวชี้ไขเคลเท่ากับ 0.4 ความถี่ 500 Hz จำนวนพัลส์ 10 พัลส์ต่อไขเคล



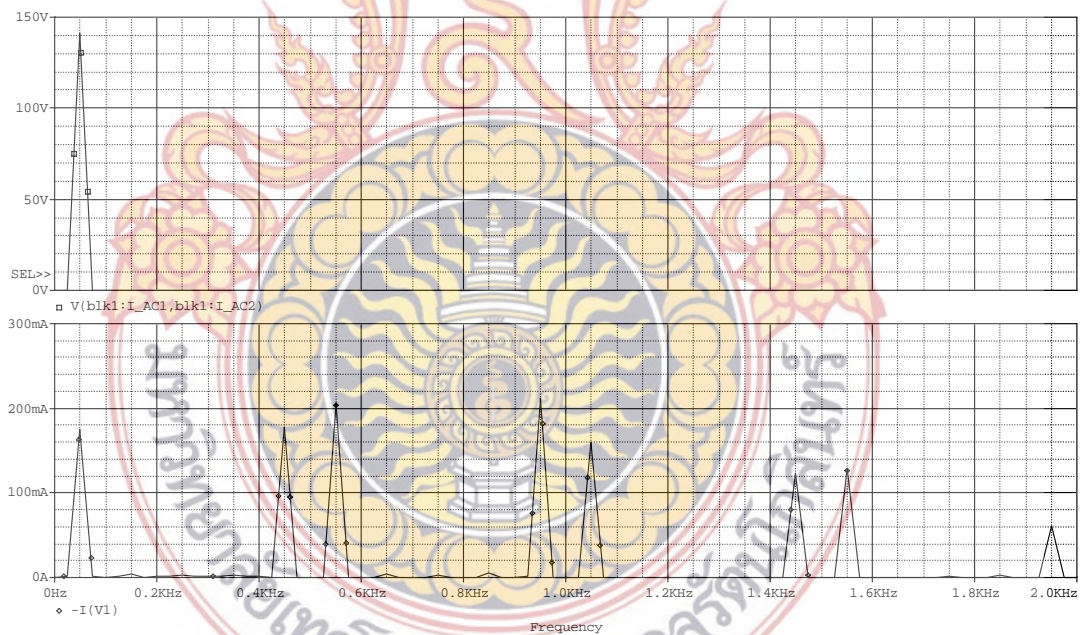
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

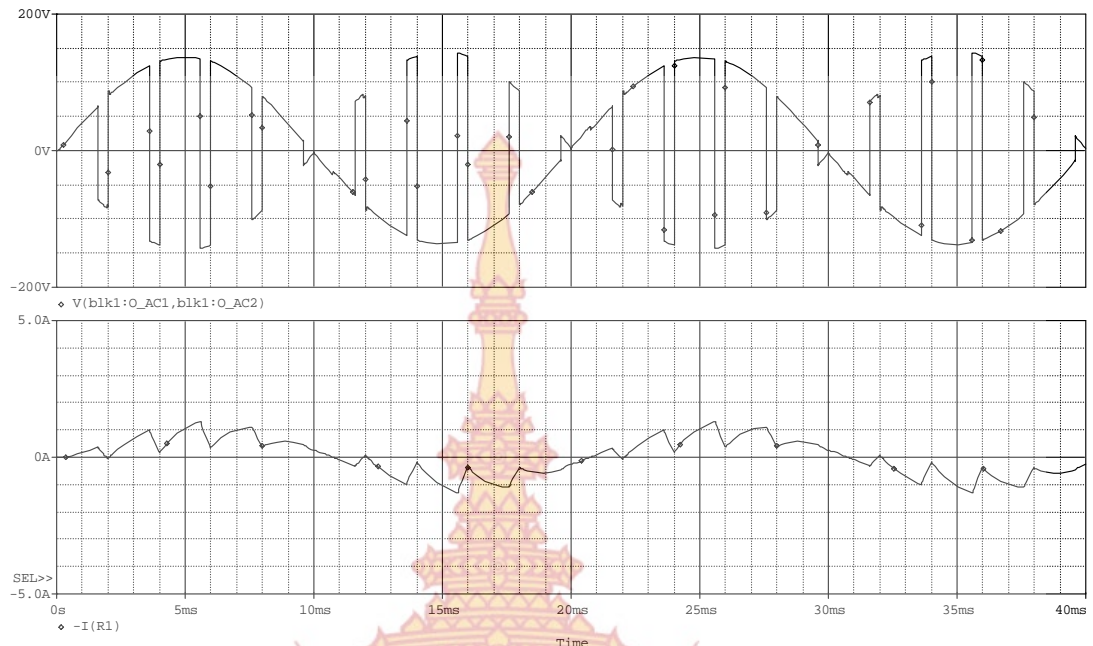


(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

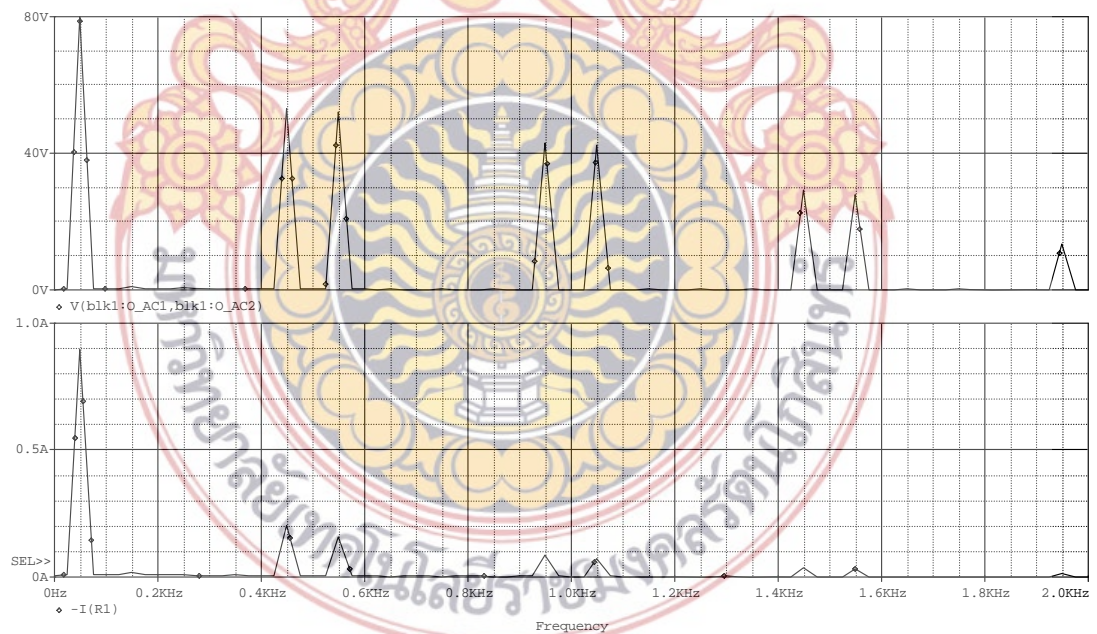


(ง) การวิเคราะห์ฟูริเยร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

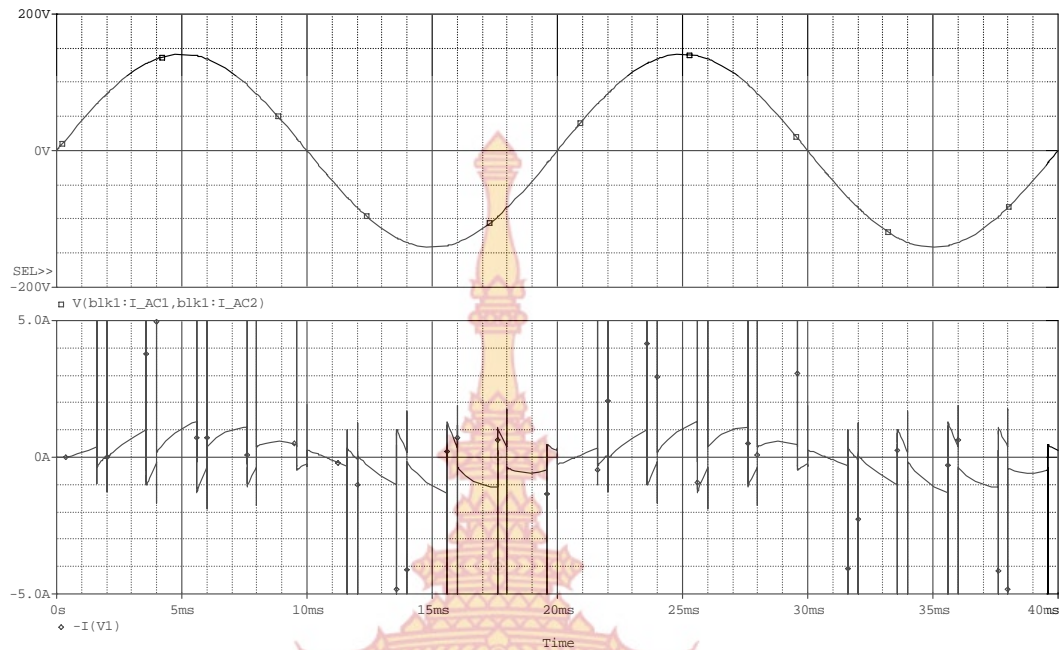
รูปที่ 4.25 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูริเยร์กรณีค่าตัวชี้ไซเคิลเท่ากับ 0.6 ความถี่ 500 Hz จำนวนพัลส์ 10 พัลส์ต่อไซเคิล



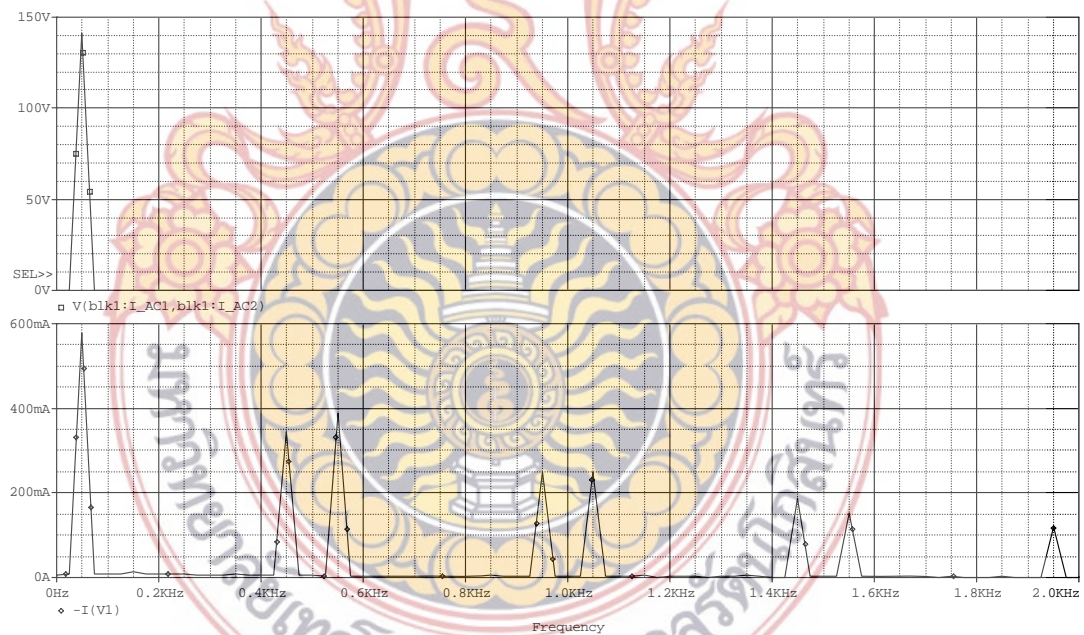
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

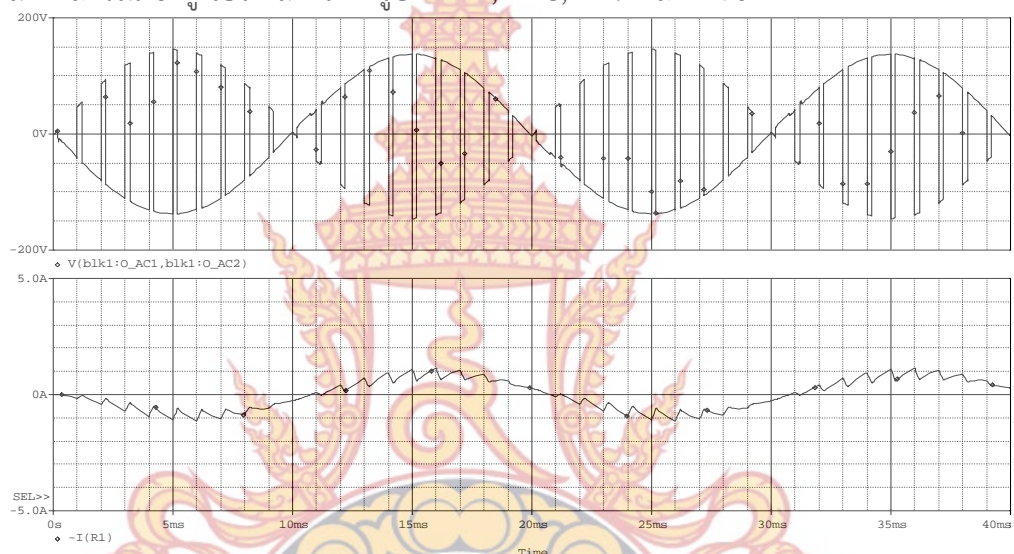


(ง) การวิเคราะห์ฟูริเยร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

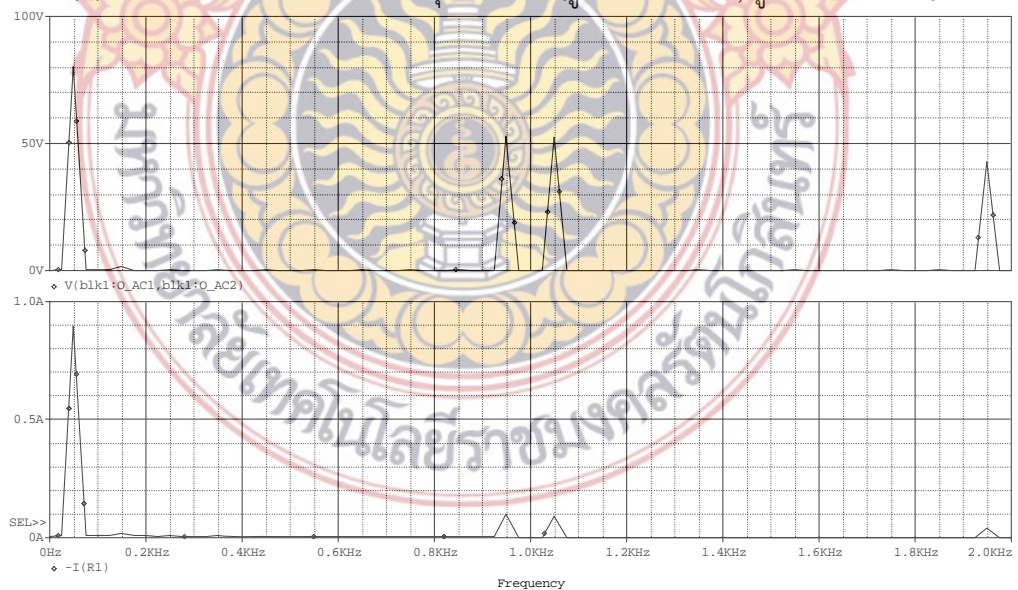
รูปที่ 4.26 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูริเยร์กรณีค่าตัวชี้ไซเคิลเท่ากับ 0.8 ความถี่ 500 Hz จำนวนพัลส์ 10 พัลส์ต่อไซเคิล

5.3. สัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็มที่ความถี่สวิทซ์เท่ากับ 1000Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 20 พัลส์ต่อ ไซเคิล

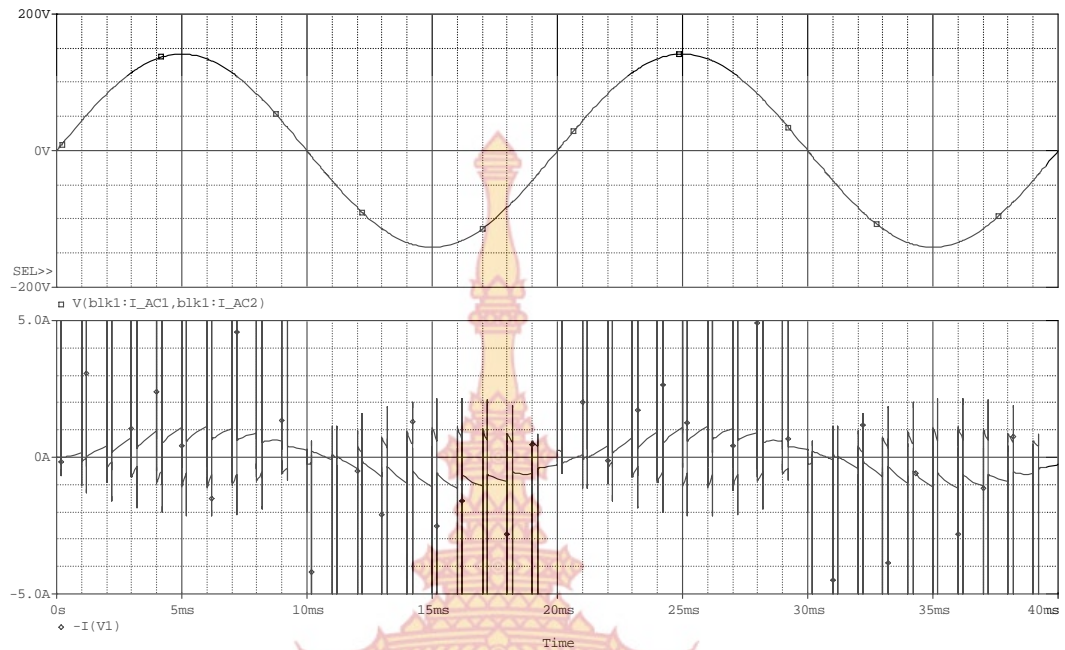
เป็นการนำมาทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์กับโหลดความต้านทานขนาด 100 วัตต์ และ ตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าเท่ากับ 0.088 Henry เพื่อศึกษาลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้าน อินพุทและเอาต์พุทของวงจร รวมทั้งได้ทำการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสดังกล่าวในเชิงฟูเรียร์ หรือ FFT ด้วย โดยใช้ลักษณะสัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็ม ที่มีค่าความถี่ในการสวิทซ์เท่ากับ 1000 Hz จำนวนพัลส์ในแต่ละไซเคิลเท่ากับ 20 พัลส์ และค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทของวงจร และการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและ กระแสดังกล่าวในเชิงฟูเรียร์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.27, 4.28, 4.29 และ 4.30



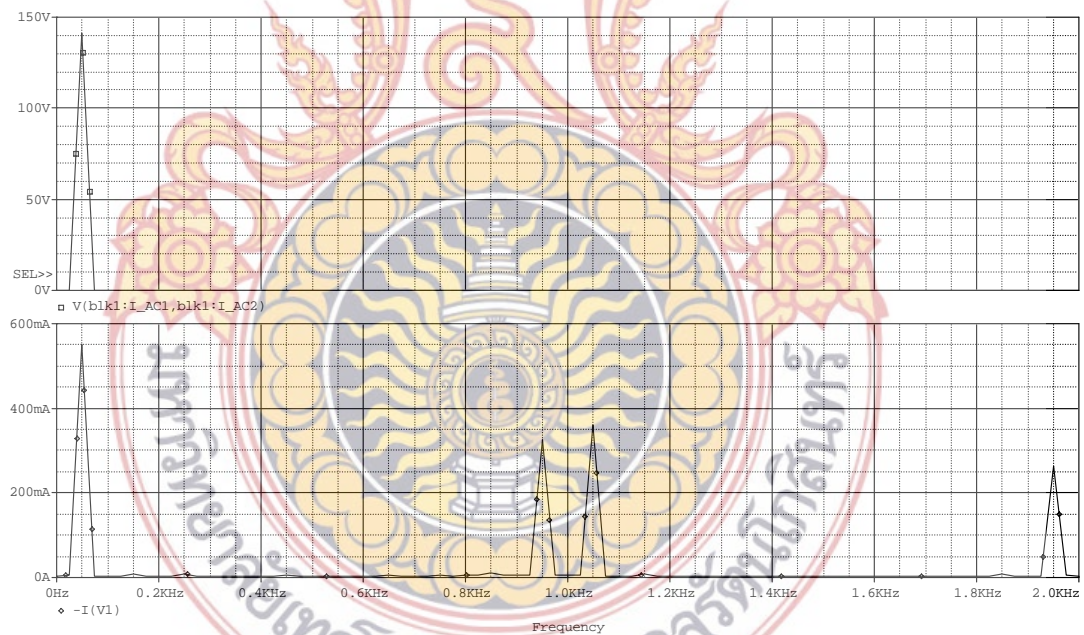
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุทที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุทที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

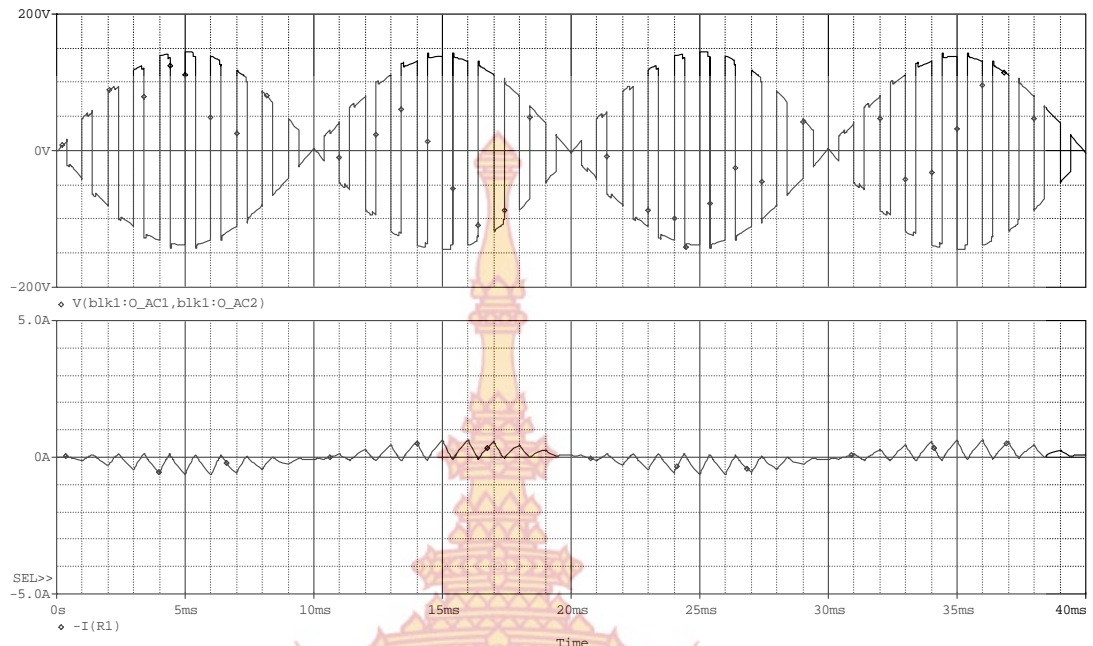


(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

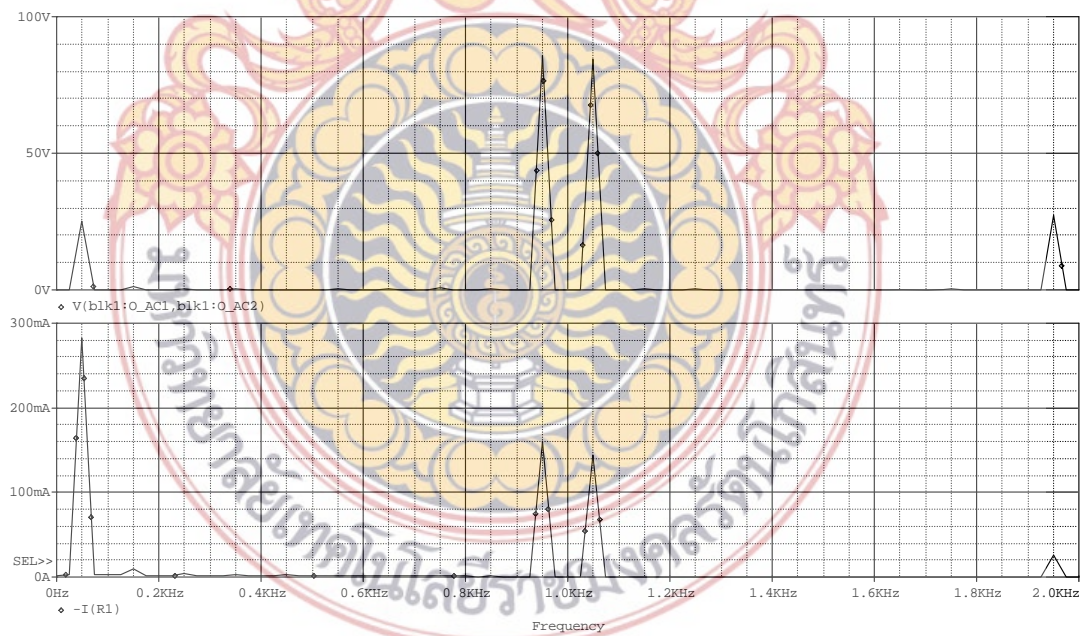


(ง) การวิเคราะห์ฟูริเยร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

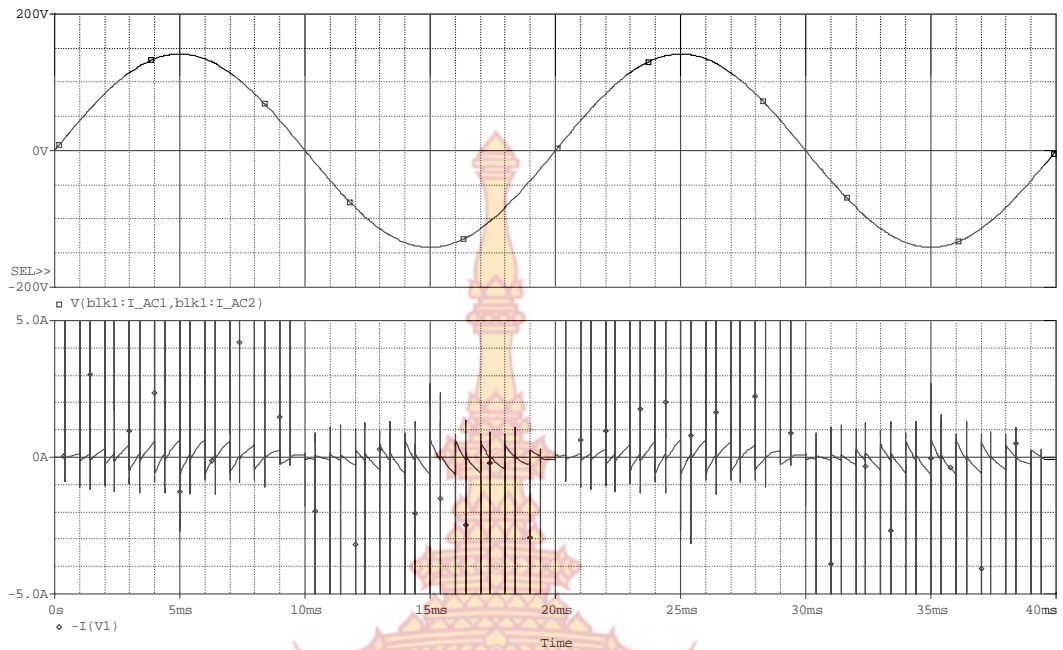
รูปที่ 4.27 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูริเยร์กรณีค่าตัวชี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2 ความถี่ 1000 Hz จำนวนพัลส์ 20 พัลส์ต่อไซเคิล



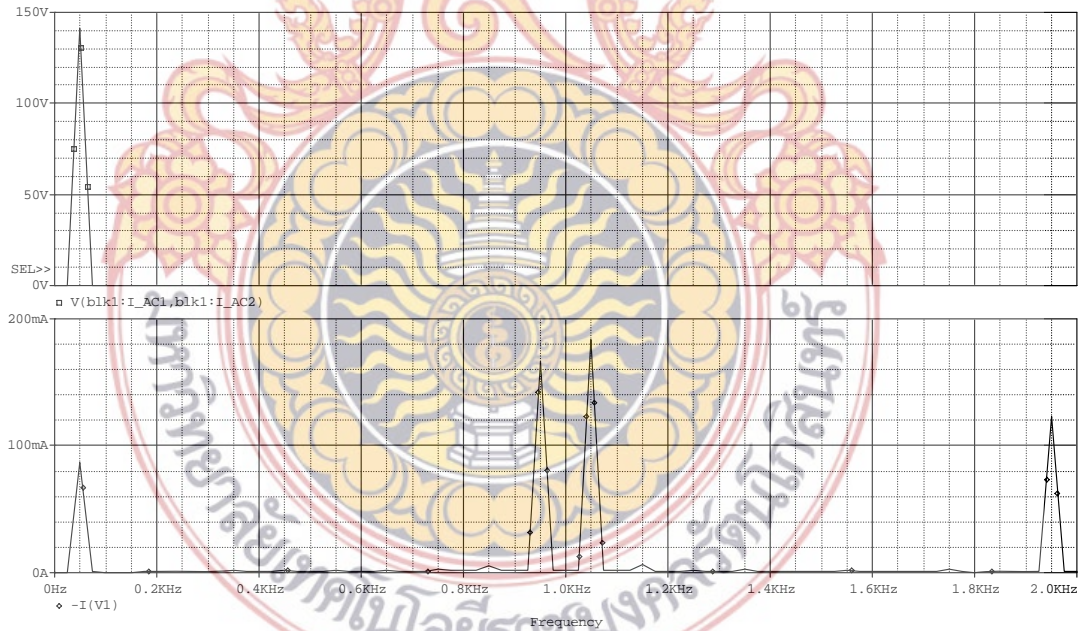
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

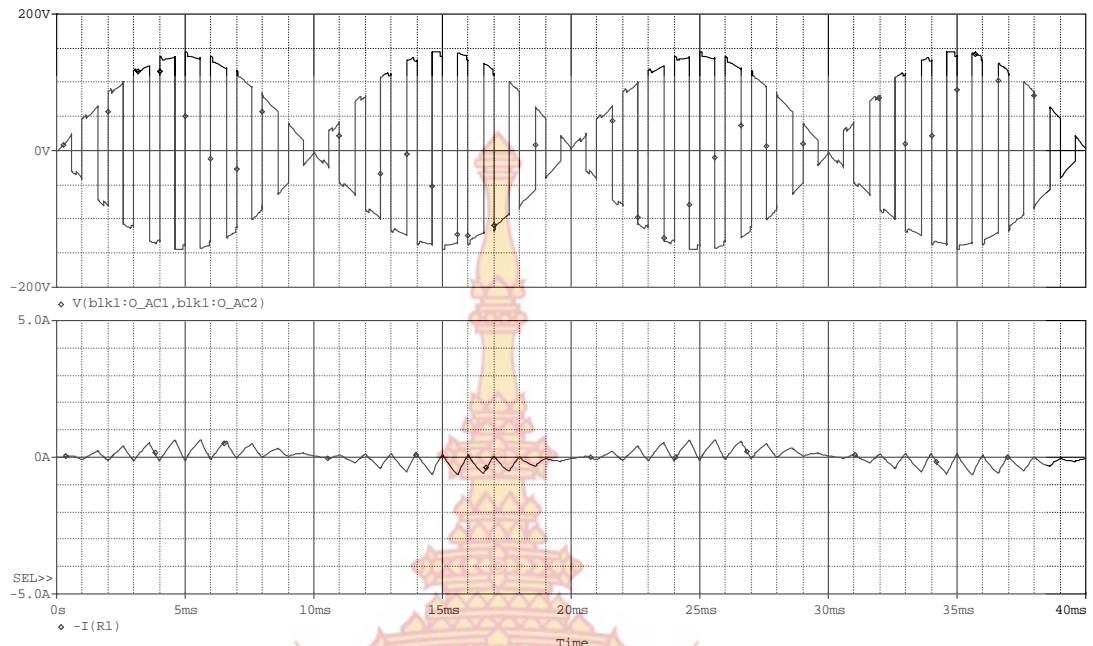


(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

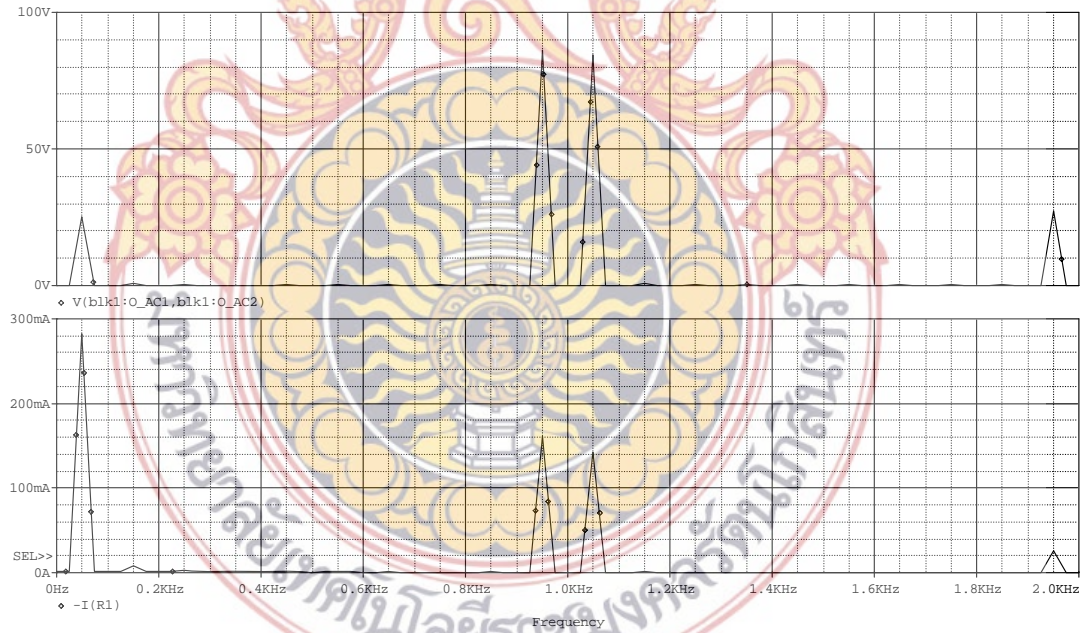


(ง) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

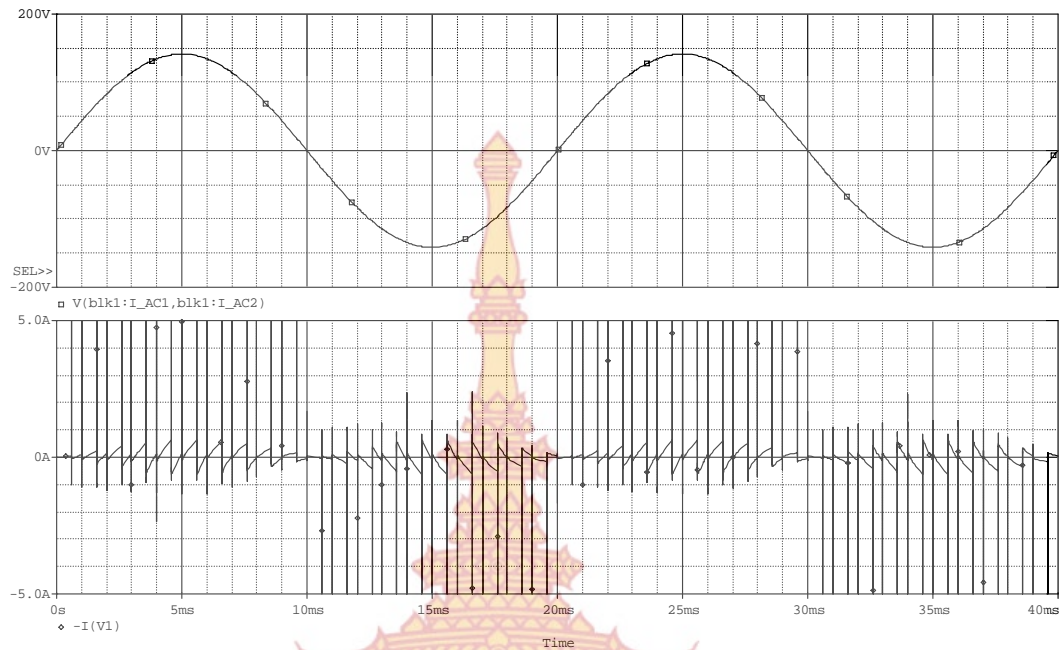
รูปที่ 4.28 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูเรียร์กรณีค่าตัวชี้ไขเคลิลเท่ากับ 0.4 ความถี่ 1000 Hz จำนวนพัลส์ 20 พัลส์ต่อไขเคลิล



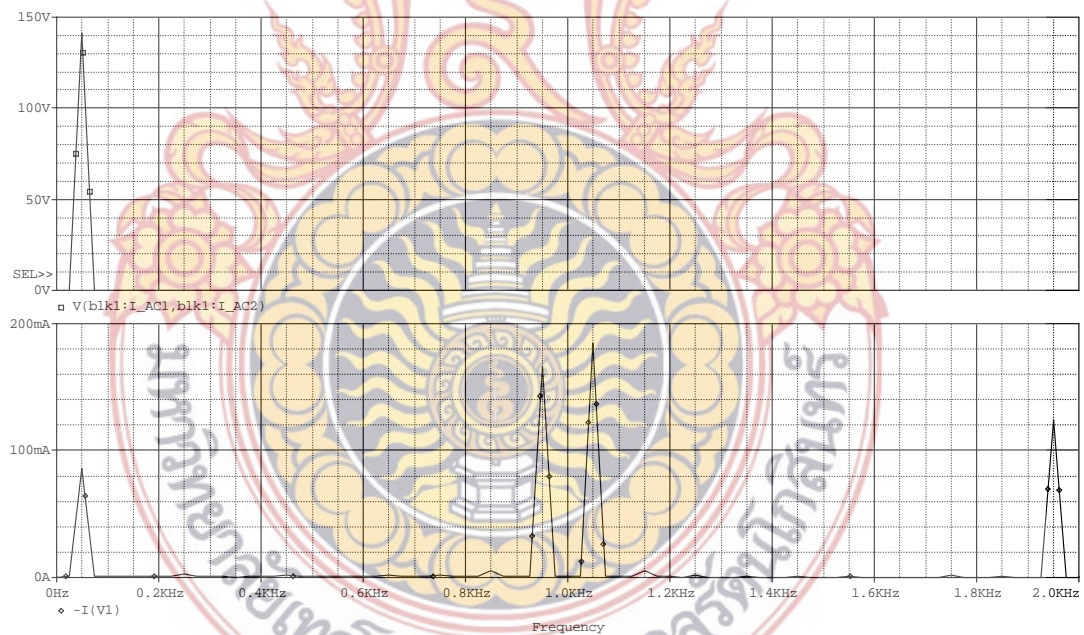
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

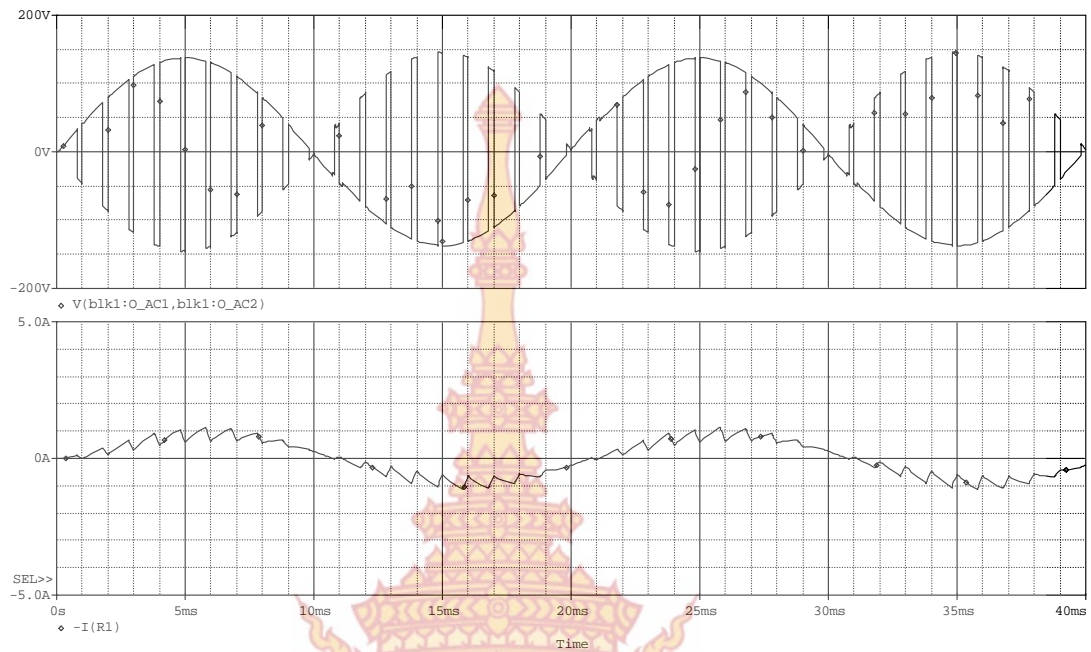


(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ง) การวิเคราะห์ฟูริเยร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

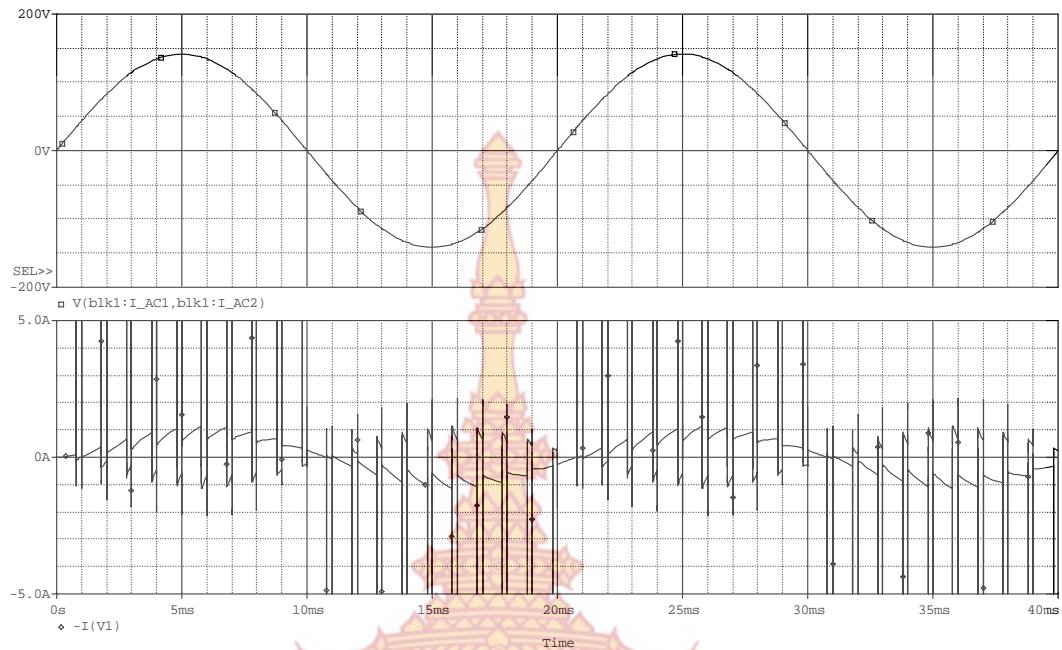
รูปที่ 4.29 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสต้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูริเยร์กรณีค่าตัวชี้ไซเคิลเท่ากับ 0.6 ความถี่ 1000 Hz จำนวนพัลส์ 20 พัลส์ต่อไซเคิล



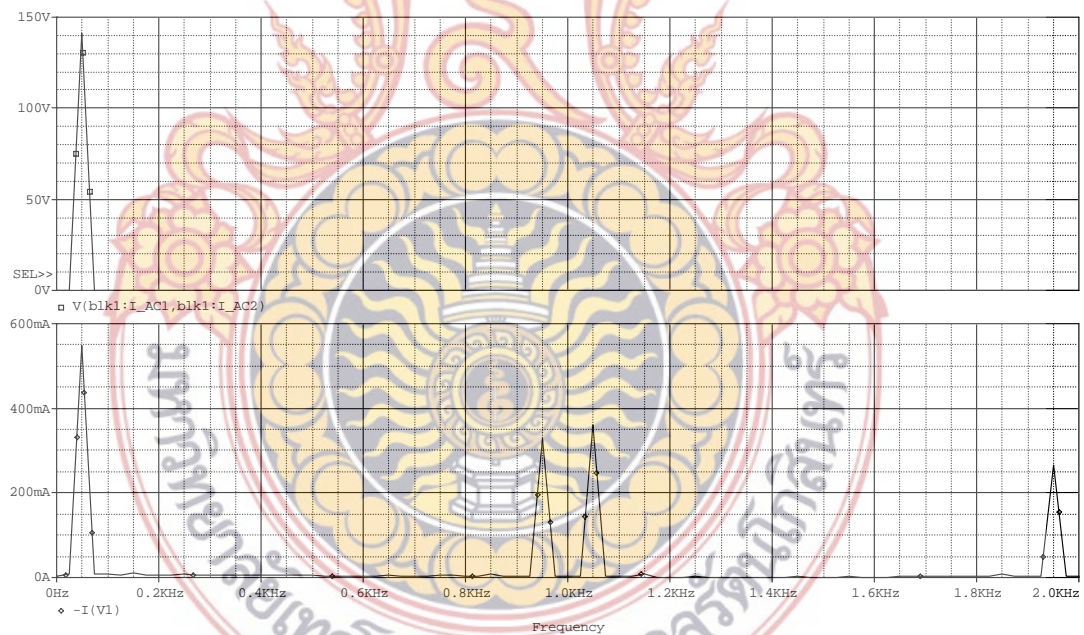
(ก) คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) การวิเคราะห์ฟูริเยร์ของคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่โหลด
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ค) คลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ง) การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสอินพุท (รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

รูปที่ 4.30 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสต้านอินพุทและเอาต์พุทพร้อมการวิเคราะห์คลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูเรียร์กรณีค่าตัวชี้ไซเคิลเท่ากับ 0.8 ความถี่ 1000 Hz จำนวนพัลส์ 20 พัลส์ต่อไซเคิล

6. ผลการทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

นับจากหัวข้อนี้เป็นต้นไปเป็นการนำวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่ทำการสร้างขึ้น เป็นเครื่องต้นแบบตามหลักการและโครงสร้างดังที่กล่าวมาในบทที่ 3 นำไปทำการทดสอบกับโหลด ชนิดต่างๆ คือ โหลดชนิดตัวต้านทาน และโหลดชนิดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ โดยใช้ลักษณะ สัญญาณพัลส์ที่ดับบลิวเอ็มที่เงื่อนไขของค่าความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 250 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz จำนวนพัลส์ในแต่ละไซเคิลเท่ากับ 5 พัลส์, 10 พัลส์ และ 20 พัลส์ และมีค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 เพื่อศึกษาลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและด้านเอาต์พุท รวมทั้ง นำมาทำการวิเคราะห์เชิงฟูรีเยร์เพื่อศึกษาฮาร์โมนิกของคลื่นทั้งสองด้วย พร้อมทั้งทำการศึกษาคูณลักษณะของวงจรโดยการหาความสัมพันธ์ ระหว่าง ค่าดิวตี้ไซเคิล จำนวนพัลส์ และ ค่าความถี่การสวิตช์ ของสัญญาณพัลส์ที่ดับบลิวเอ็มกับค่าแรงดันและกระแสอินพุทและเอาต์พุทของวงจรที่ได้ทำการต่อกับโหลดชนิดต่างๆ ดังรายละเอียดต่อไป

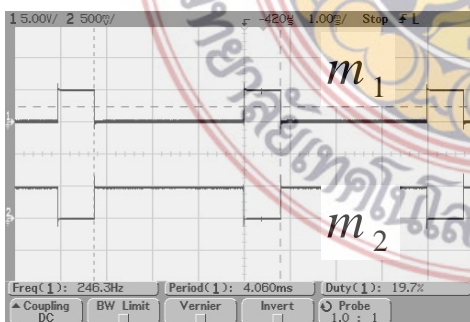
6.1 ลักษณะสัญญาณพัลส์ที่ดับบลิวเอ็มที่ใช้ในงานวิจัย

สัญญาณพัลส์ที่ดับบลิวเอ็มที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ทำการสร้างโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูล PIC เบอร์ PIC16F628 เป็นตัวสร้างสัญญาณพัลส์ที่ดับบลิวเอ็มที่ค่าความถี่ในการสวิตช์ เท่ากับ 250 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz โดยมีค่าดิวตี้ไซเคิล เท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ในแต่ละค่าความถี่ในการสวิตช์ ซึ่งลักษณะสัญญาณพัลส์ที่ดับบลิวเอ็มที่สร้างขึ้นมีลักษณะดังต่อไปนี้

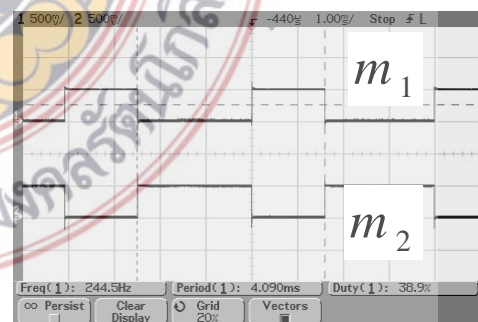
6.1.1. สัญญาณพัลส์ที่ดับบลิวเอ็มที่ความถี่สวิตช์เท่ากับ 250 Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 5 พัลส์ต่อ

ไซเคิล

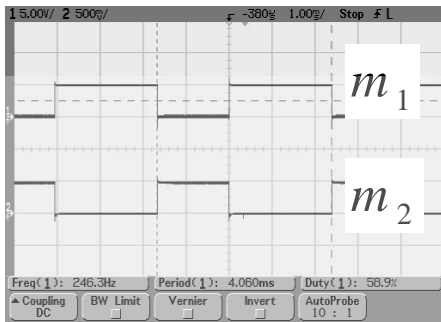
สัญญาณพัลส์ที่ดับบลิวเอ็มที่ความถี่ที่คำนวณได้จากสมการ m_1, m_2 โดยพิจารณาที่จำนวนพัลส์เท่ากับ 5 พัลส์ต่อไซเคิล ที่ค่าความถี่สวิตช์เท่ากับ 250 Hz แล้วทำการปรับเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลให้มีค่าเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยใช้ขนาดแรงดันเท่ากับ $\pm 20V$ ซึ่งเป็นขนาดแรงดันที่จะใช้ในการขับนำสวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุด เมื่อทำการจำลองจะได้ลักษณะสัญญาณพัลส์ที่ดับบลิวเอ็มที่ค่าความถี่สวิตช์เท่ากับ 250 Hz และ ค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ดังรูปที่ 4.31



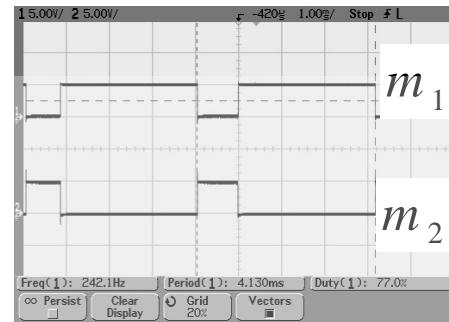
(ก) ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2



(ข) ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.4



(ค) ค่าความถี่ไซเคิลเท่ากับ 0.6

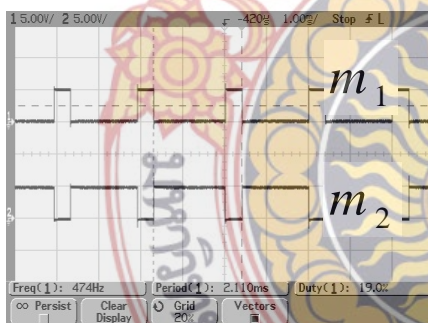


(ง) ค่าความถี่ไซเคิลเท่ากับ 0.8

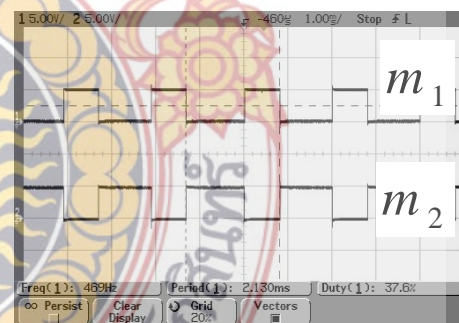
รูปที่ 4.31 สัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็ม m_1, m_2 ความถี่สวิทซ์เท่ากับ 250 Hz จำนวนพัลส์ 5 พัลส์ต่อไซเคิล

6.1.2. สัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่ความถี่สวิทซ์เท่ากับ 500 Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 10 พัลส์ต่อไซเคิล

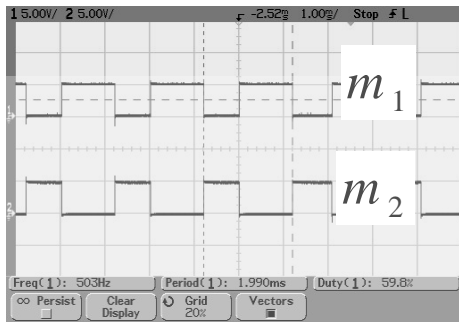
สัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่ความถี่ที่คำนวณได้จากสมการ m_1, m_2 โดยพิจารณาที่จำนวนพัลส์เท่ากับ 10 พัลส์ต่อไซเคิล ค่าความถี่สวิทซ์เท่ากับ 500 Hz แล้วทำการปรับเปลี่ยนค่าความถี่ไซเคิลให้มีค่าเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยใช้ขนาดแรงดันเท่ากับ $\pm 20V$ ซึ่งเป็นขนาดแรงดันที่จะใช้ในการขับนำสวิทซ์สองทางทั้ง 4 ชุด เมื่อทำการจำลองจะได้ลักษณะสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่ค่าความถี่สวิทซ์เท่ากับ 500 Hz และค่าความถี่ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ดังรูปที่ 4.32



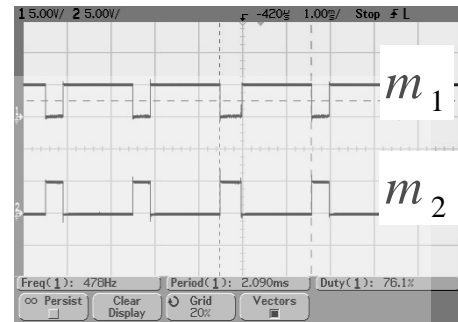
(ก) ค่าความถี่ไซเคิลเท่ากับ 0.2



(ข) ค่าความถี่ไซเคิลเท่ากับ 0.4



(ค) ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.6

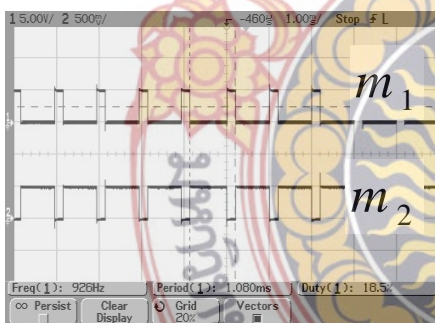


(ง) ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.8

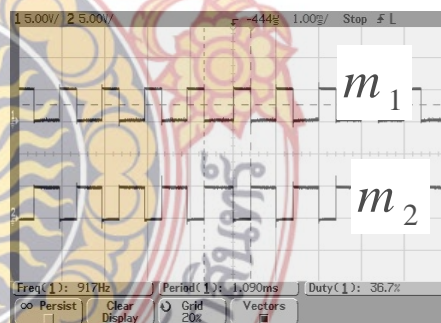
รูปที่ 4.32 สัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็ม m_1, m_2 ความถี่สวิทช์เท่ากับ 500 Hz จำนวนพัลส์ 10 พัลส์ต่อไซเคิล

6.1.3. สัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่ความถี่สวิทช์เท่ากับ 1000 Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 20 พัลส์ต่อไซเคิล

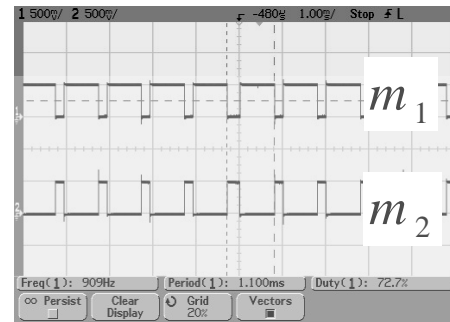
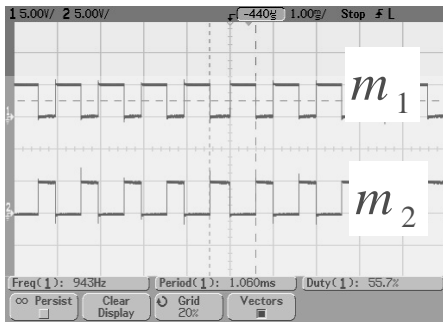
สัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่ความถี่ที่คำนวณได้จากสมการ m_1, m_2 โดยพิจารณาที่จำนวนพัลส์เท่ากับ 20 พัลส์ต่อไซเคิล ค่าความถี่สวิทช์เท่ากับ 1000 Hz แล้วทำการปรับเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลให้มีค่าเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยใช้ขนาดแรงดันเท่ากับ $\pm 20V$ ซึ่งเป็นขนาดแรงดันที่จะใช้ในการขับนำสวิทช์สองทางทั้ง 4 ชุด เมื่อทำการจำลองจะได้ลักษณะสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่ค่าความถี่สวิทช์เท่ากับ 1000 Hz และค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ดังรูปที่ 4.33



(ก) ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2



(ข) ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.4



(ค) ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.6

(ง) ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.8

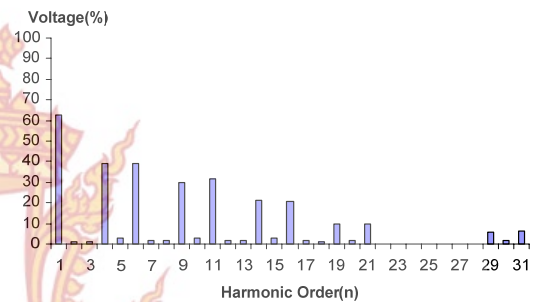
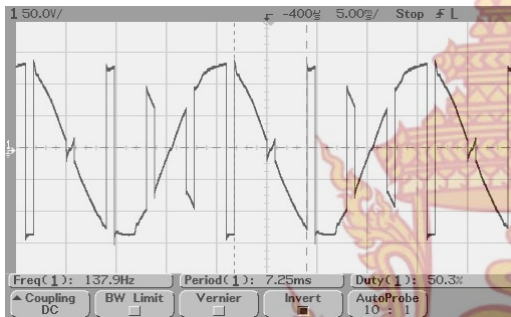
รูปที่ 4.33 สัญญาณพัลส์ที่ดับบลิวเอ็ม m_1, m_2 ความถี่สวิทช์เท่ากับ 1000 Hz จำนวนพัลส์ 20 พัลส์ ต่อไซเคิล



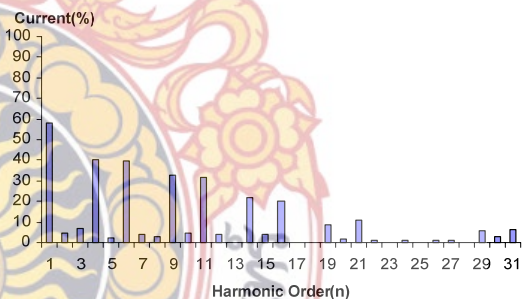
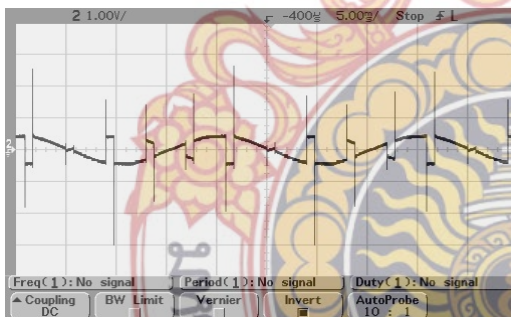
7. ผลการทดสอบกับโหลดตัวต้านทาน

การทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่เป็นเครื่องต้นแบบกับโหลดตัวต้านทานกระทำโดยจ่ายแรงดันอินพุตจากการไฟฟ้า 1-เฟส 100 โวลท์ 50 เฮิร์ต กับโหลดตัวต้านทานที่มีขนาดเท่ากับ 100 วัตต์ แล้วทำการบันทึกผลเป็นรูปคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุตและเอาต์พุต ค่าความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 250 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz จำนวนพัลส์ในแต่ละไซเคิลเท่ากับ 5 พัลส์, 10 พัลส์ และ 20 พัลส์ และมีค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ของสัญญาณพัลส์ พีดีบีบลิวเอ็ม พร้อมทั้งได้ทำ การวิเคราะห์รูปคลื่นแรงดันและกระแสในเซิงฟูเรียร์ เพื่อศึกษาผลของฮาร์โมนิคอันดับที่ 1-31 ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังรูปต่อไปนี้

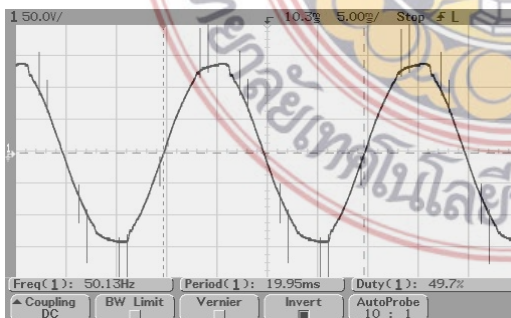
7.1 สัญญาณพัลส์พีดีบีบลิวเอ็มที่มีความถี่สวิตช์เท่ากับ 250Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 5 พัลส์ต่อไซเคิล



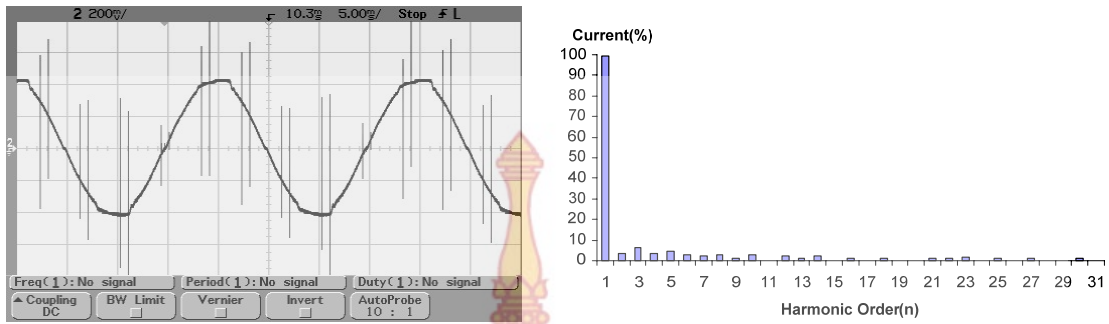
(ก) แรงดันเอาต์พุต



(ข) กระแสเอาต์พุต

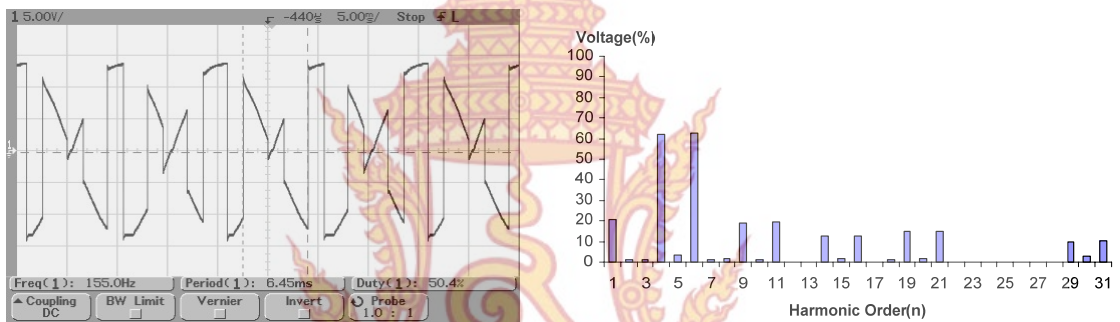


(ค) คลื่นแรงดันอินพุต

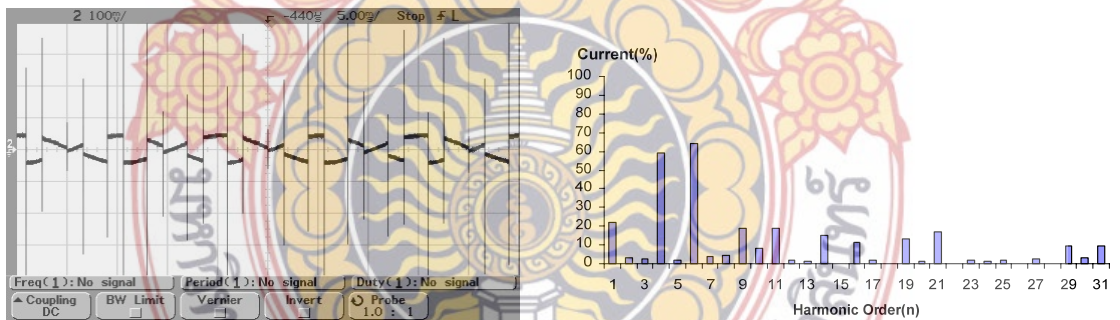


(ง) คลื่นกระแสอินพุท

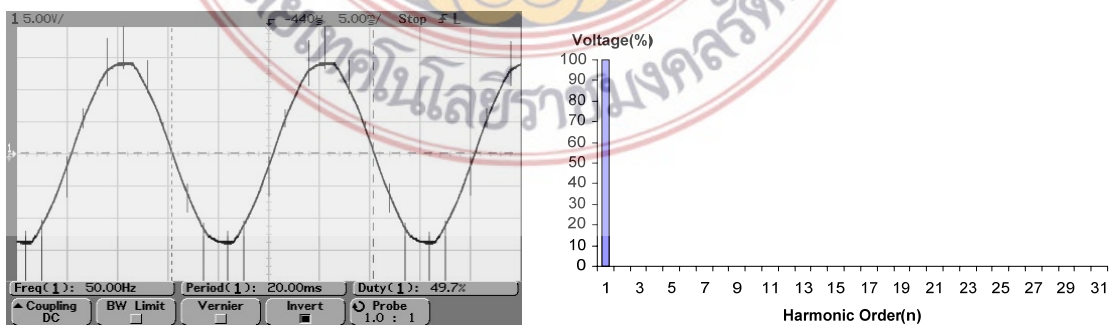
รูปที่ 4.34 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูริเยร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 250 Hz จำนวนพัลส์ 5 พัลส์ต่อไซเคิล



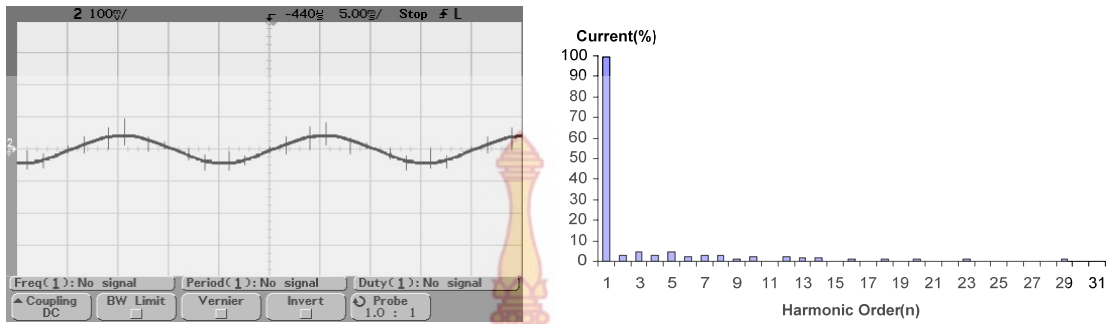
(ก) คลื่นแรงดันเอาต์พุท



(ข) คลื่นกระแสเอาต์พุท

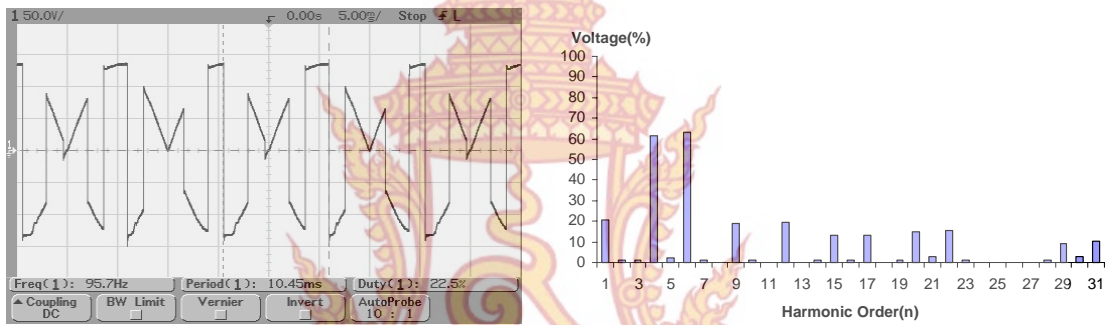


(ค) คลื่นแรงดันอินพุท

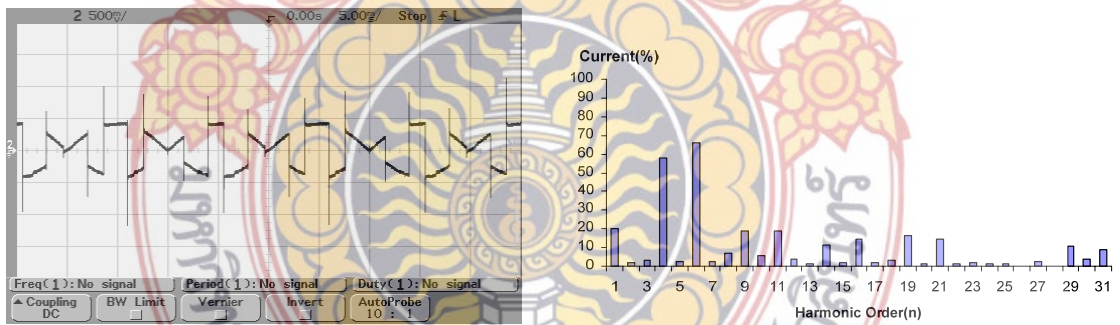


(ง) คลื่นกระแสอินพุท

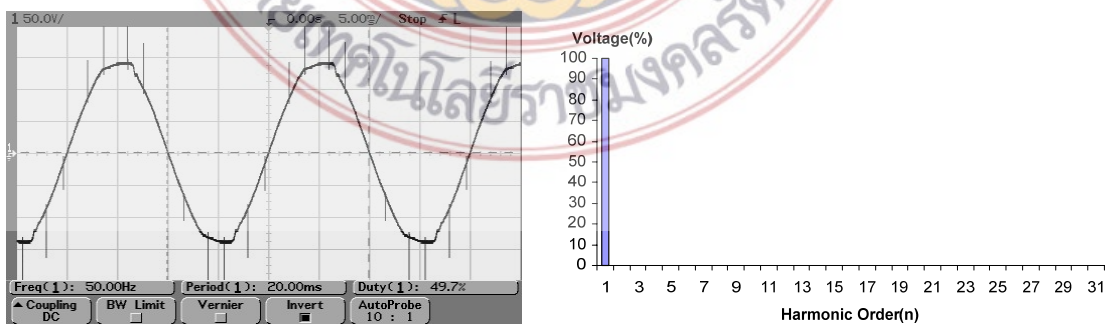
รูปที่ 4.35 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูริเยร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.4 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 250 Hz จำนวนพัลส์ 5 พัลส์ต่อไซเคิล



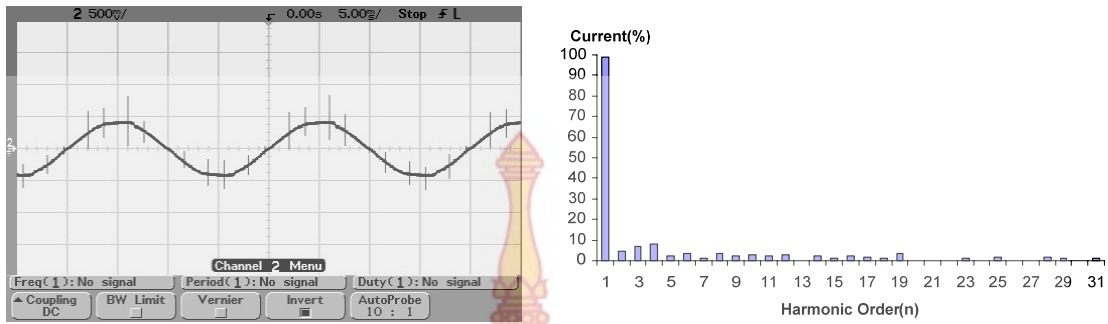
(ก) คลื่นแรงดันเอาต์พุท



(ข) คลื่นกระแสเอาต์พุท

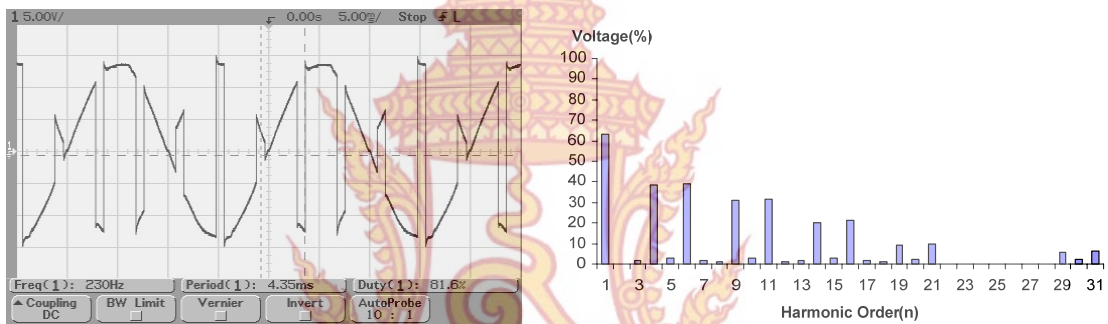


(ค) คลื่นแรงดันอินพุท

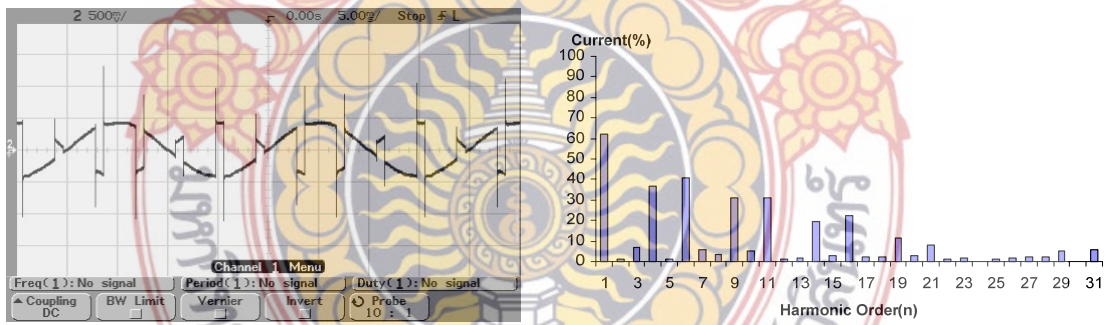


(ง) คลื่นกระแสอินพุท

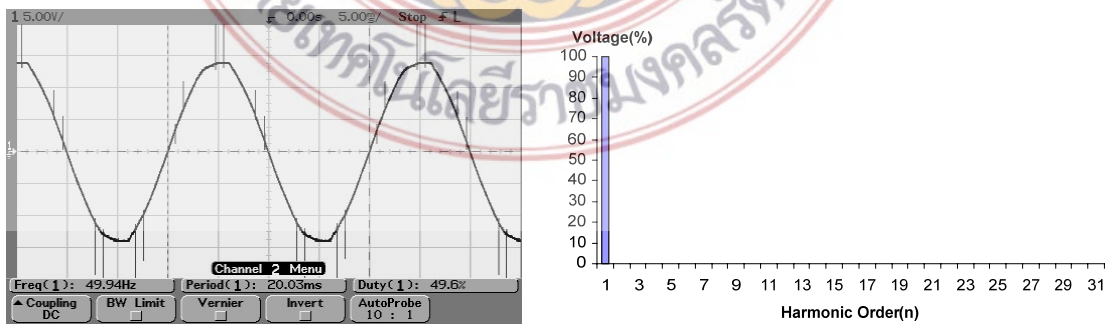
รูปที่ 4.36 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูเรียร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.6 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 250 Hz จำนวนพัลส์ 5 พัลส์ต่อไซเคิล



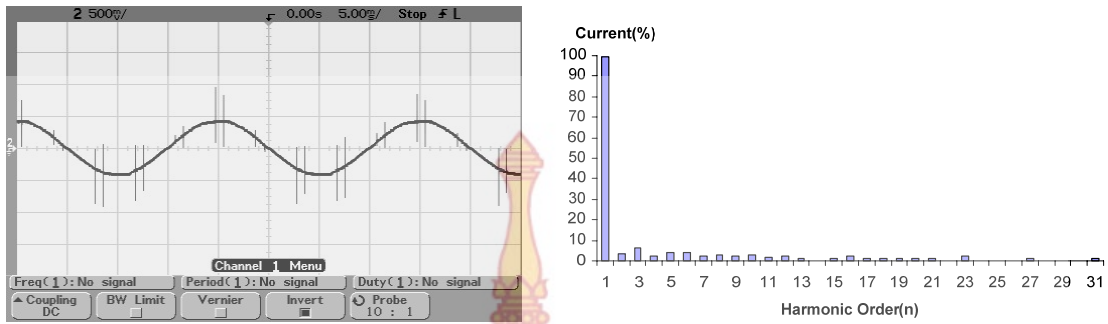
(ก) คลื่นแรงดันเอาต์พุท



(ข) คลื่นกระแสเอาต์พุท



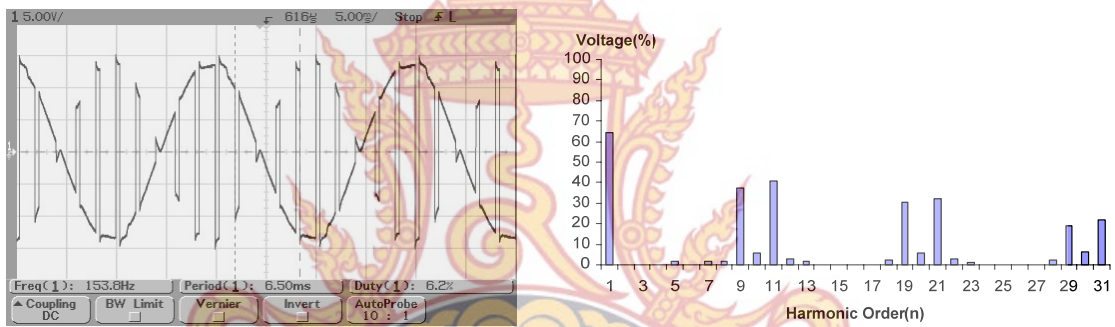
(ค) คลื่นแรงดันอินพุท



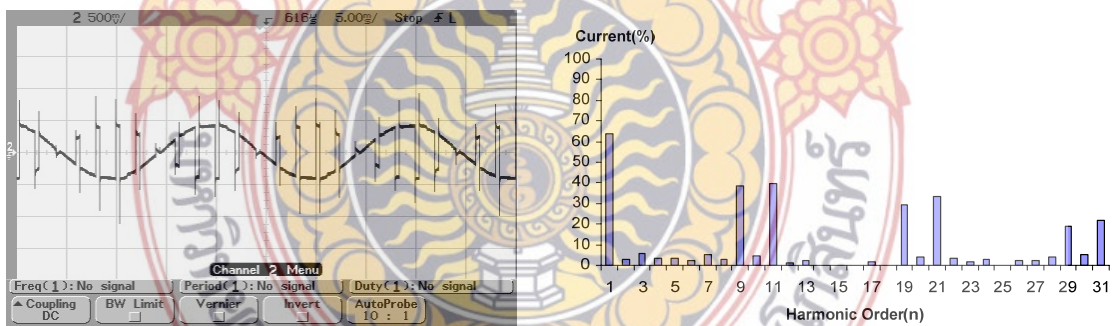
(ง) คลื่นกระแสอินพุท

รูปที่ 4.37 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูริเยร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าตัวชี้ไขเคลเท่ากับ 0.8 ความถี่สวิตซ์เท่ากับ 250 Hz จำนวนพัลส์ 5 พัลส์ต่อไซเคิล

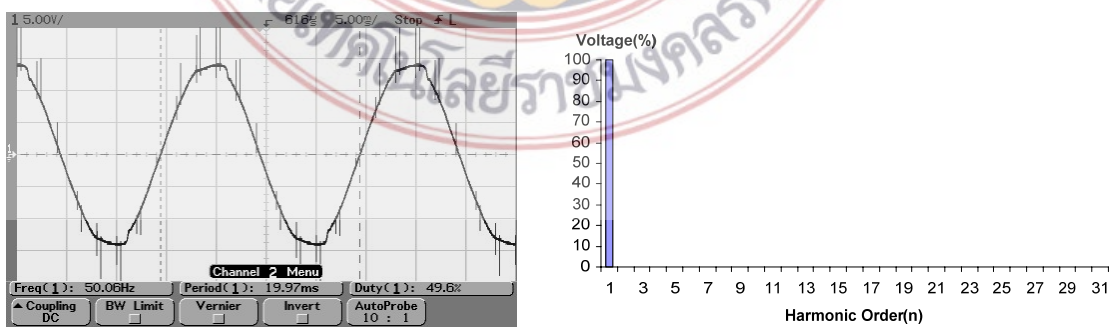
7.2 สัญญาณพัลส์พิตบลิวเอ็มที่ความถี่สวิตซ์เท่ากับ 500Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 10 พัลส์ต่อไซเคิล



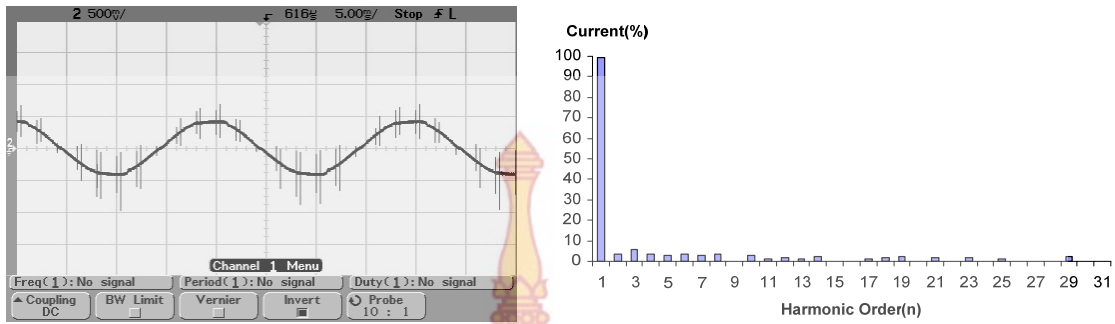
(ก) คลื่นแรงดันเอาท์พุท



(ข) คลื่นกระแสเอาท์พุท

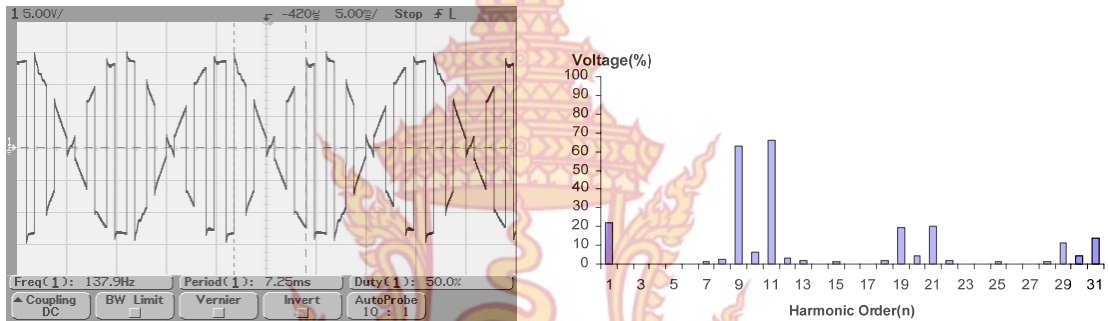


(ค) คลื่นแรงดันอินพุท

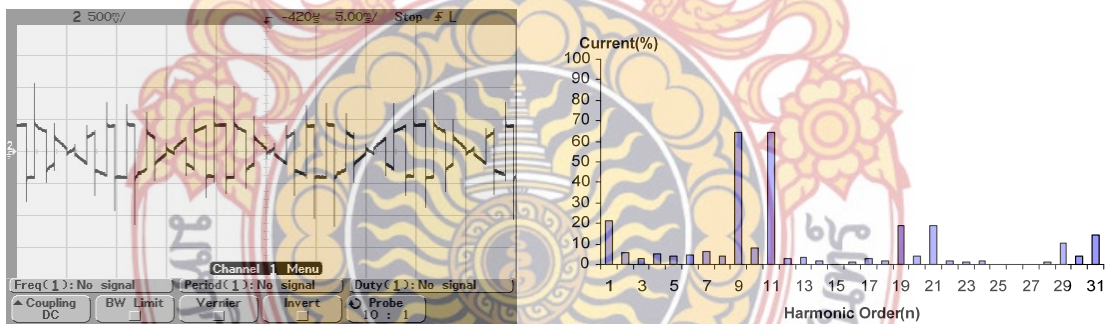


(ง) คลื่นกระแสอินพุท

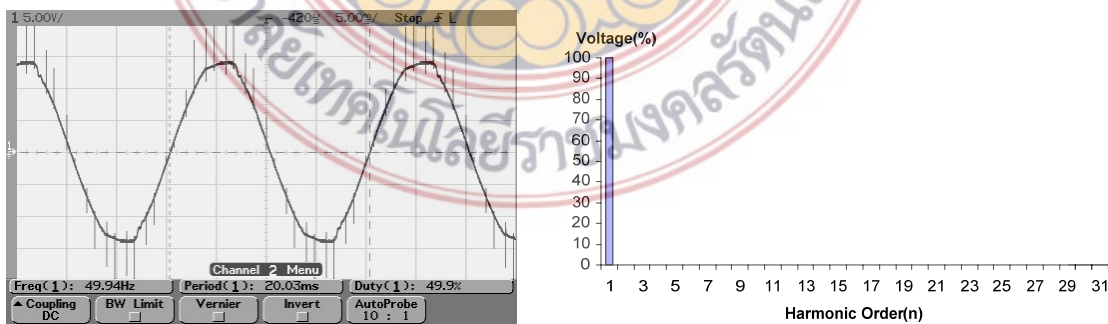
รูปที่ 4.38 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูรีเยร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 500 Hz จำนวนพัลส์ 10 พัลส์ต่อไซเคิล



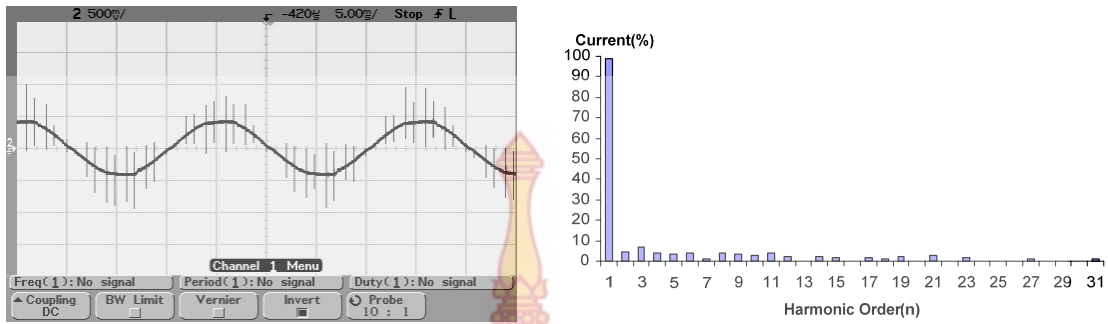
(ก) คลื่นแรงดันเอาต์พุท



(ข) คลื่นกระแสเอาต์พุท

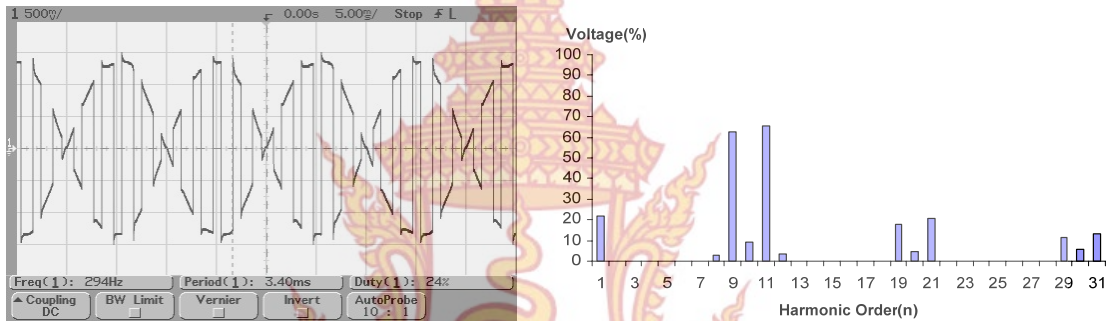


(ค) คลื่นแรงดันอินพุท

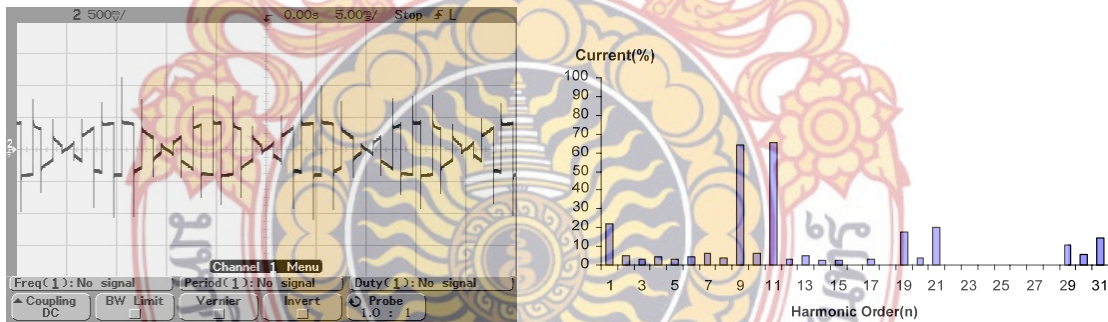


(ง) คลื่นกระแสอินพุท

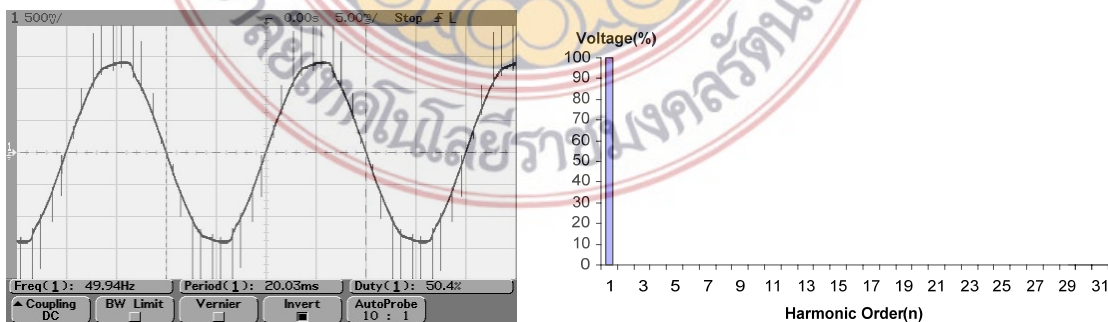
รูปที่ 4.39 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูรีเยร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.4 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 500 Hz จำนวนพัลส์ 10 พัลส์ต่อไซเคิล



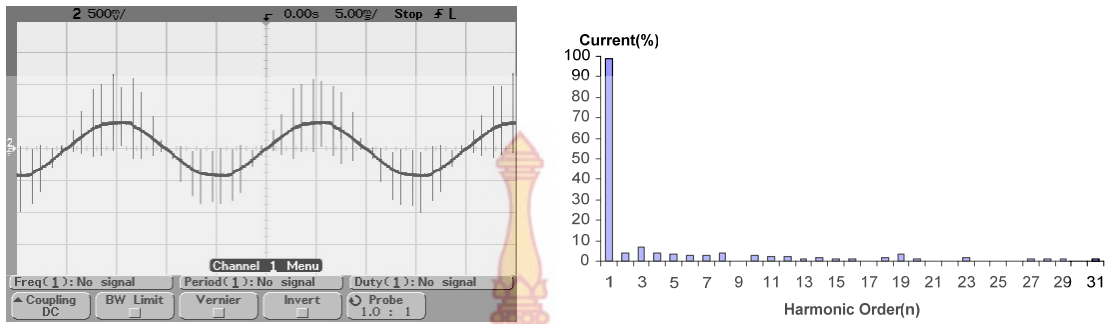
(ก) คลื่นแรงดันเอาต์พุท



(ข) คลื่นกระแสเอาต์พุท

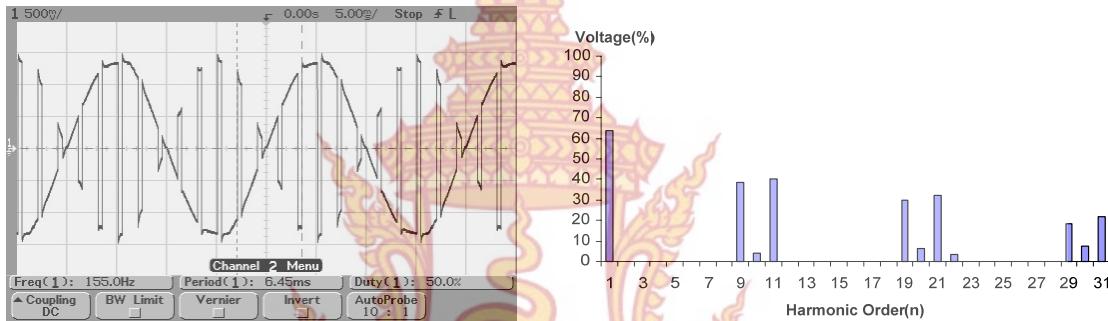


(ค) คลื่นแรงดันอินพุท

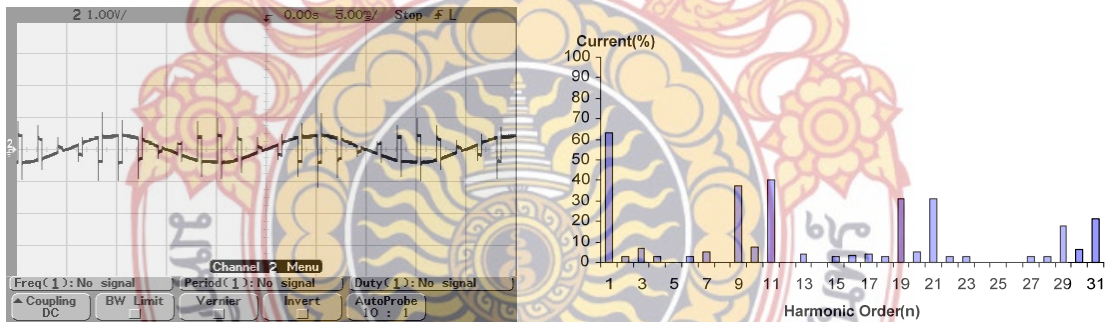


(ง) คลื่นกระแสอินพุท

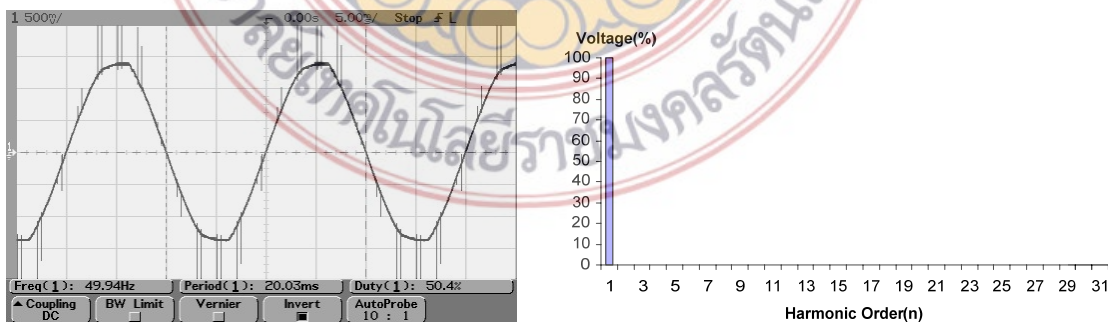
รูปที่ 4.40 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูริเยร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.6 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 500 Hz จำนวนพัลส์ 10 พัลส์ต่อไซเคิล



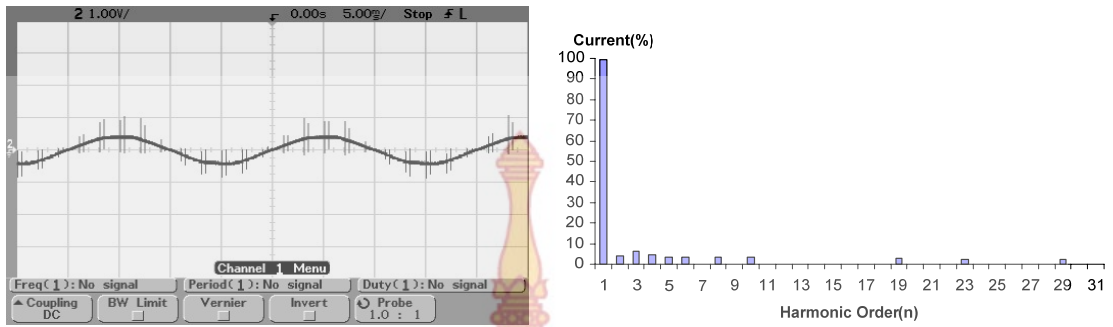
(ก) คลื่นแรงดันเอาท์พุท



(ข) คลื่นกระแสเอาท์พุท



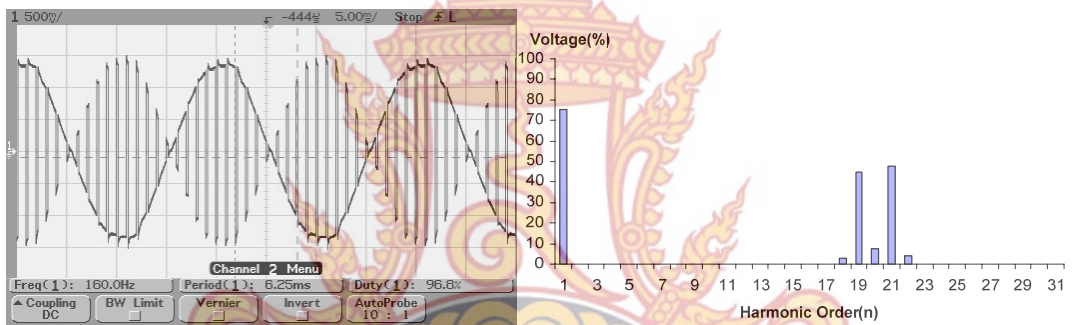
(ค) คลื่นแรงดันอินพุท



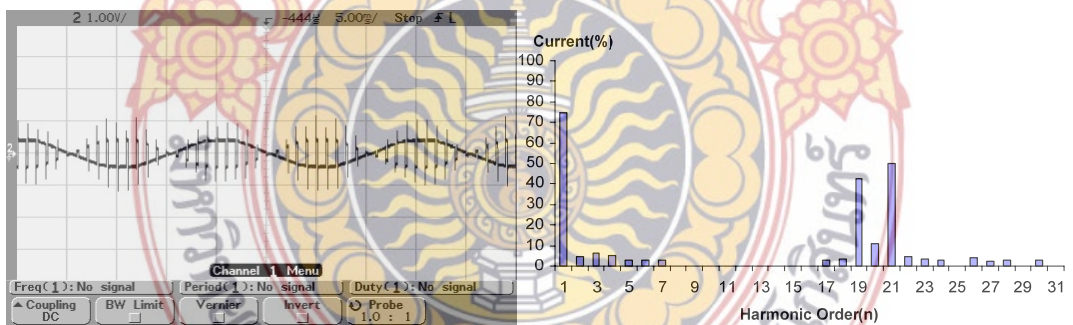
(ง) คลื่นกระแสอินพุท

รูปที่ 4.41 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูเรียร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.8 ความถี่สวิตซ์เท่ากับ 500 Hz จำนวนพัลส์ 10 พัลส์ต่อไซเคิล

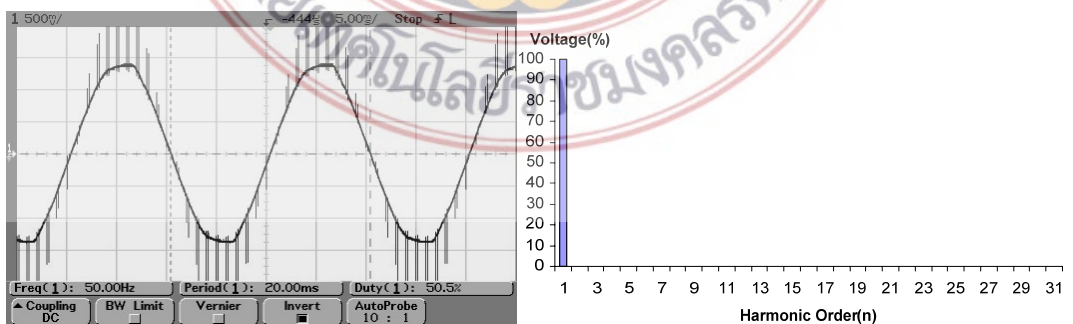
7.3 สัญญาณพัลส์พีดีบีบลิวเอ็มที่ความถี่สวิตซ์เท่ากับ 1000Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 20 พัลส์ต่อไซเคิล



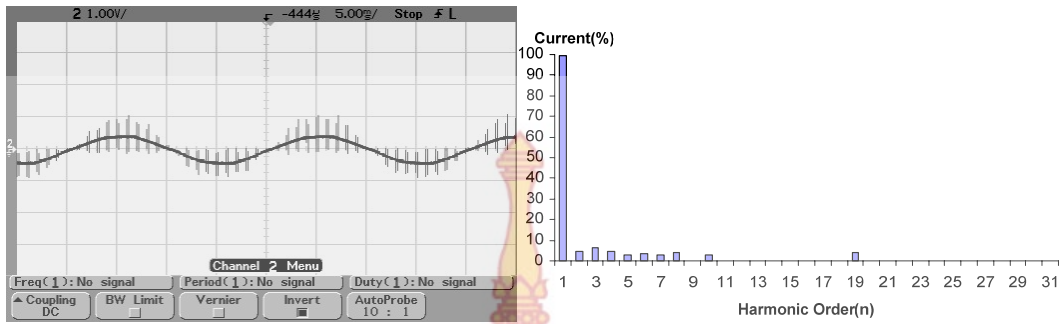
(ก) คลื่นแรงดันเอาท์พุท



(ข) คลื่นกระแสเอาท์พุท

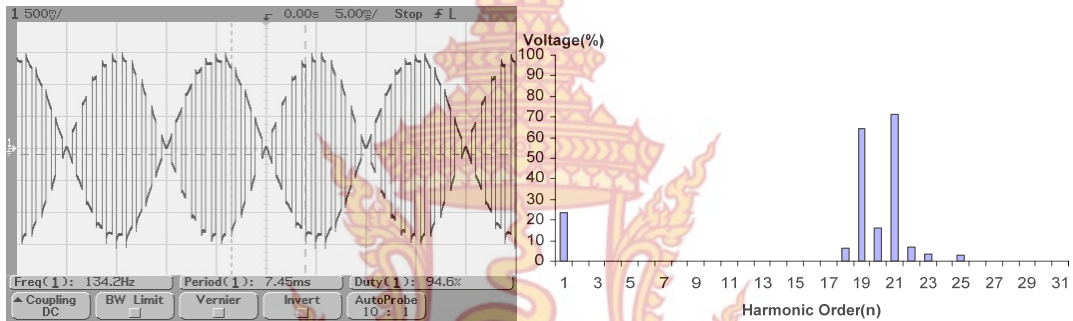


(ค) คลื่นแรงดันอินพุท

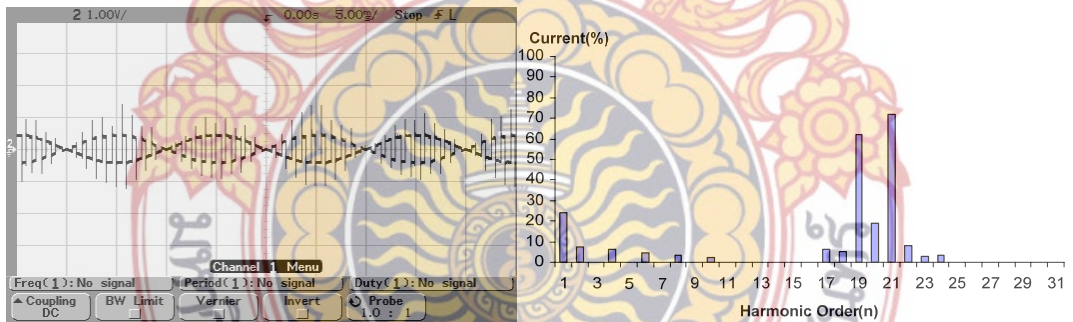


(ง) คลื่นกระแสอินพุท

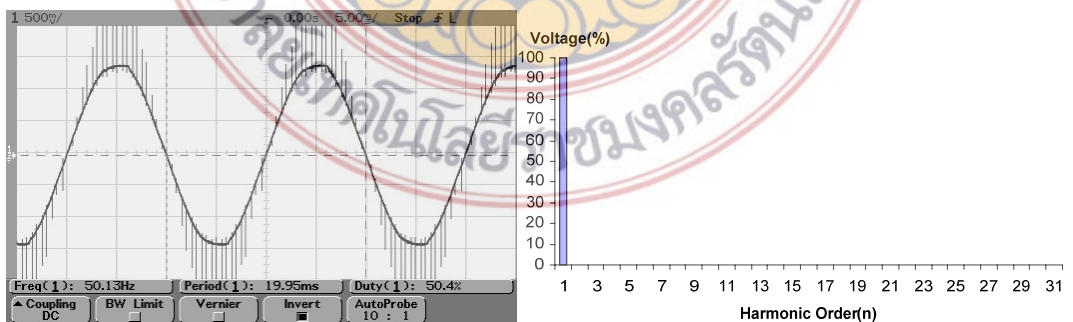
รูปที่ 4.42 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูเรียร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 1000 Hz จำนวนพัลส์ 20 พัลส์ต่อไซเคิล



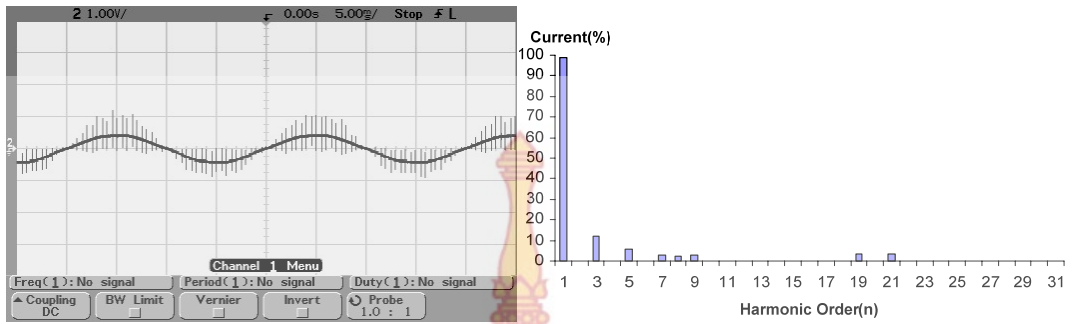
(ก) คลื่นแรงดันเอาท์พุท



(ข) คลื่นกระแสเอาท์พุท

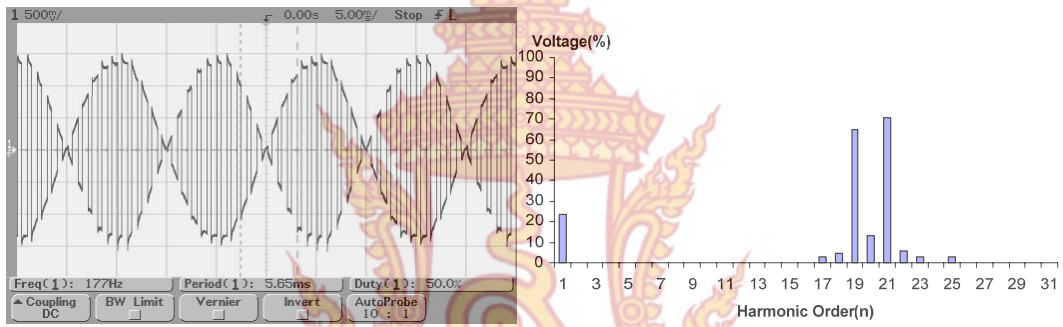


(ค) คลื่นแรงดันอินพุท

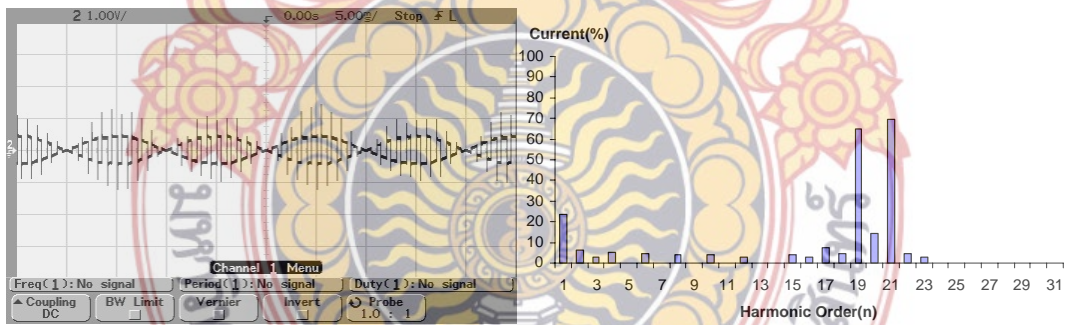


(ง) คลื่นกระแสอินพุท

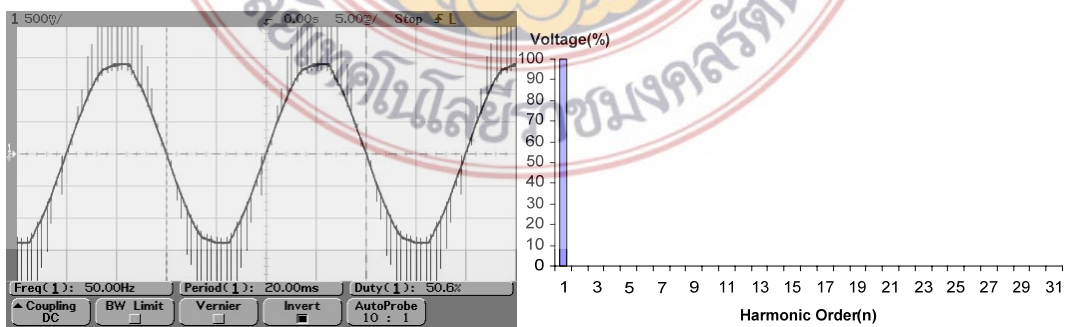
รูปที่ 4.43 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูริเยร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าตัวชี้เซเคลเท่ากับ 0.4 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 1000 Hz จำนวนพัลส์ 20 พัลส์ต่อเซเคล



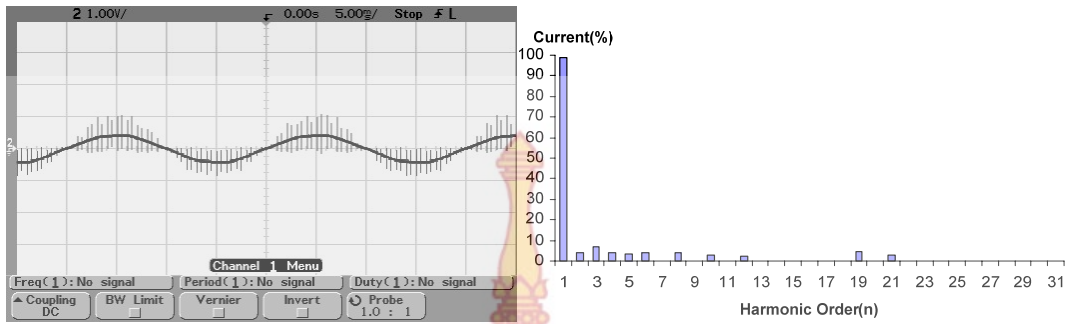
(ก) คลื่นแรงดันเอาท์พุท



(ข) คลื่นกระแสเอาท์พุท

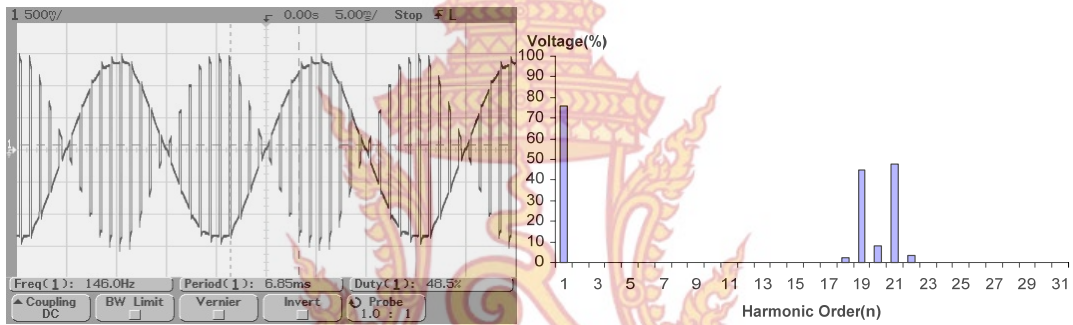


(ค) คลื่นแรงดันอินพุท

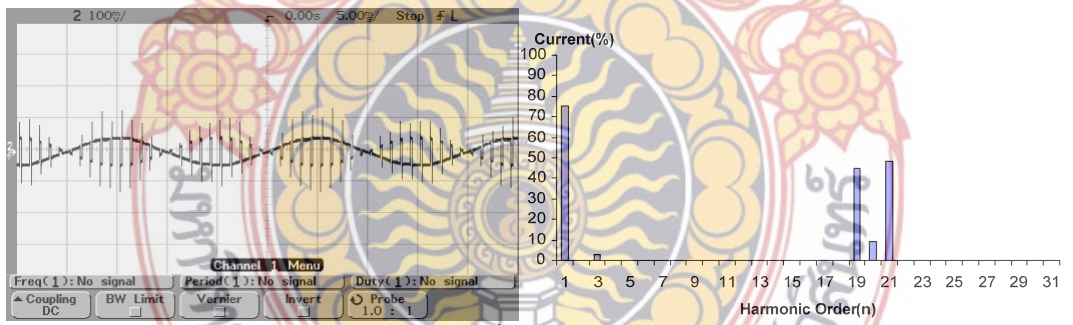


(ง) คลื่นกระแสอินพุท

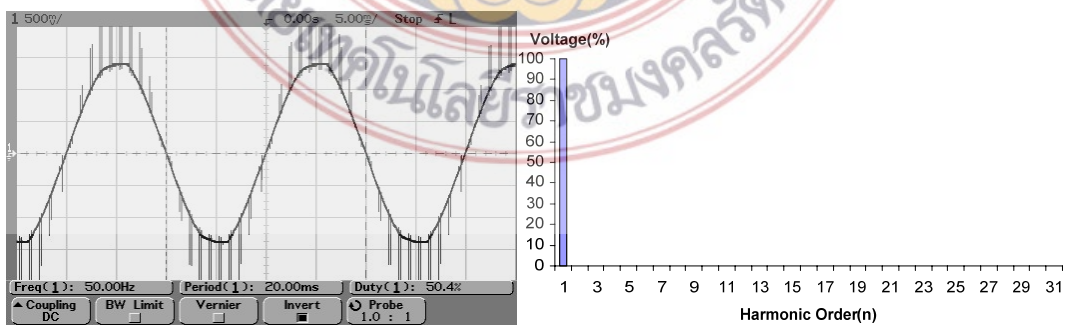
รูปที่ 4.44 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูรีเยร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าดิวิตีไซเคิลเท่ากับ 0.6 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 1000 Hz จำนวนพัลส์ 20 พัลส์ต่อไซเคิล



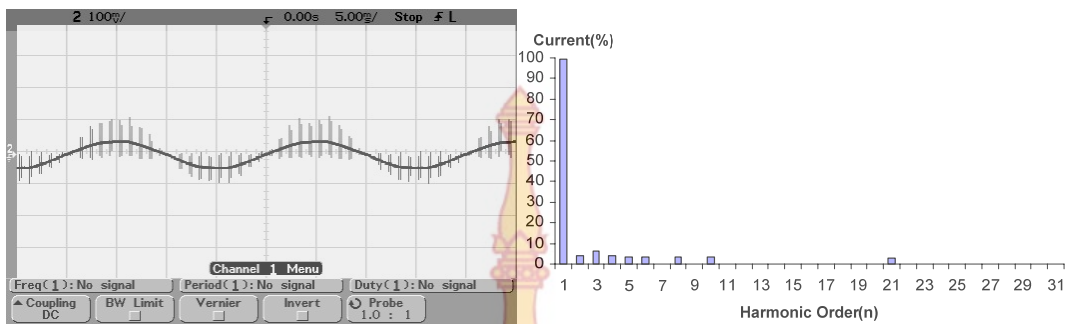
(ก) คลื่นแรงดันเอาต์พุท



(ข) คลื่นกระแสเอาต์พุท



(ค) คลื่นแรงดันอินพุท



(ง) คลื่นกระแสอินพุท

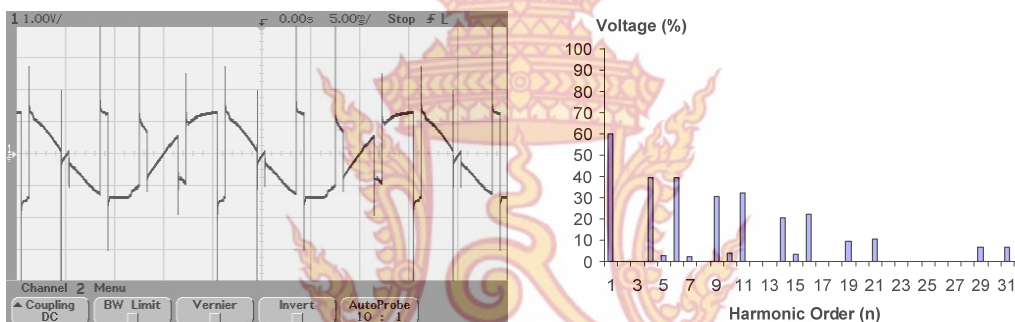
รูปที่ 4.45 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูรีเยร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.8 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 1000 Hz จำนวนพัลส์ 20 พัลส์ต่อไซเคิล



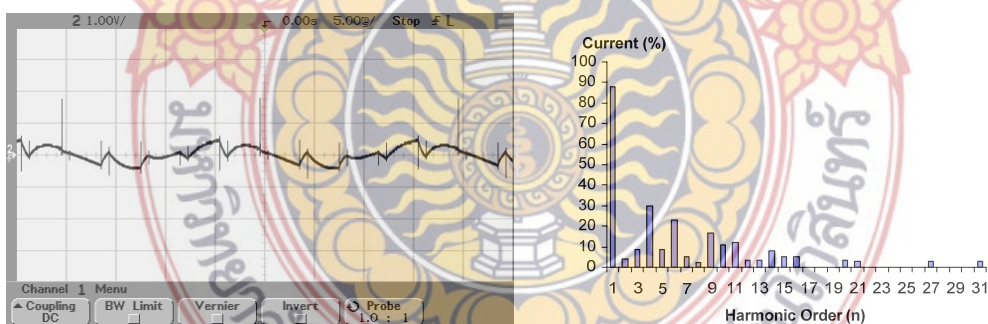
8. ผลการทดสอบกับโหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ

การทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่เป็นเครื่องต้นแบบกับโหลดตัวต้านทานกระทำโดยจ่ายแรงดันอินพุทจากการไฟฟ้า 1-เฟส 100 โวลท์ 50 เฮิร์ต กับโหลดตัวต้านทานที่มีขนาดเท่ากับ 100 วัตต์ ต่ออนุกรมกับโหลดตัวเหนี่ยวนำขนาดเท่ากับ 0.088 Henry แล้วทำการบันทึกผลเป็นรูปคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุท ค่าความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 250 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz จำนวนพัลส์ในแต่ละไซเคิลเท่ากับ 5 พัลส์, 10 พัลส์ และ 20 พัลส์ และมีค่าตัวต่อไซเคิลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ของสัญญาณพัลส์ พีดีบีลิวเอ็ม พร้อมทั้งได้ทำ การวิเคราะห์รูปคลื่นแรงดันและกระแสในเชิงฟูเรียร์ เพื่อศึกษาผลของฮาร์มอนิกอันดับที่ 1-31 ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังรูปต่อไปนี้

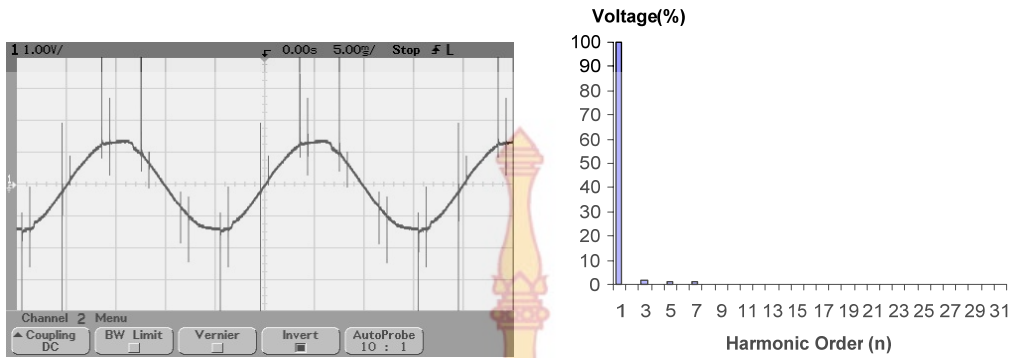
8.1 สัญญาณพัลส์พีดีบีลิวเอ็มที่ความถี่สวิตช์เท่ากับ 250Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 5 พัลส์ต่อไซเคิล



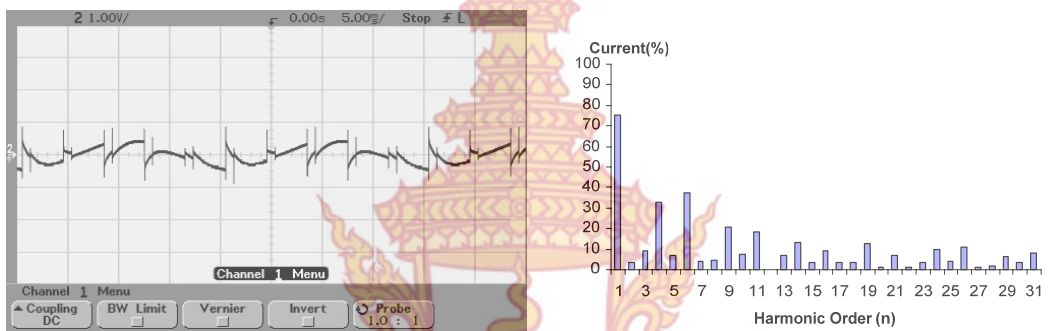
(ก) คลื่นแรงดันเอาต์พุท



(ข) คลื่นกระแสเอาต์พุท

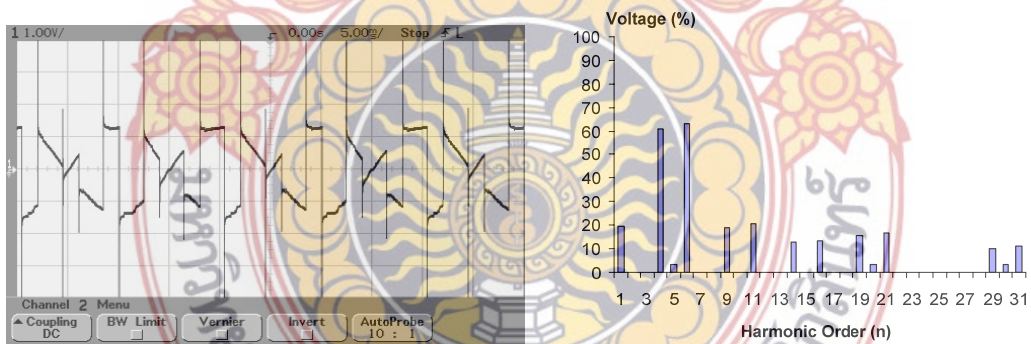


(ค) คลื่นแรงดันอินพุท

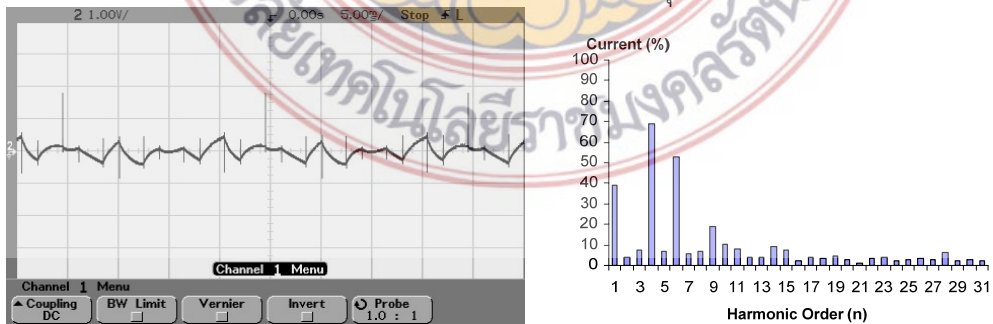


(ง) คลื่นกระแสอินพุท

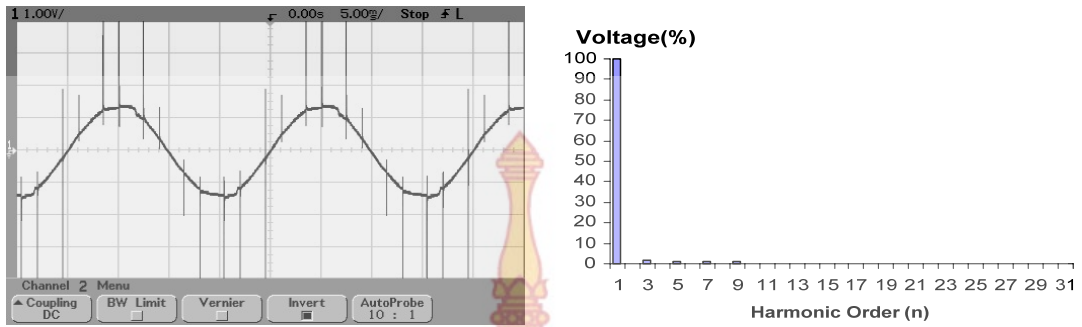
รูปที่ 4.46 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูรีเยร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2 ความถี่สวิทซ์เท่ากับ 250 Hz จำนวนพัลส์ 5 พัลส์ต่อไซเคิล



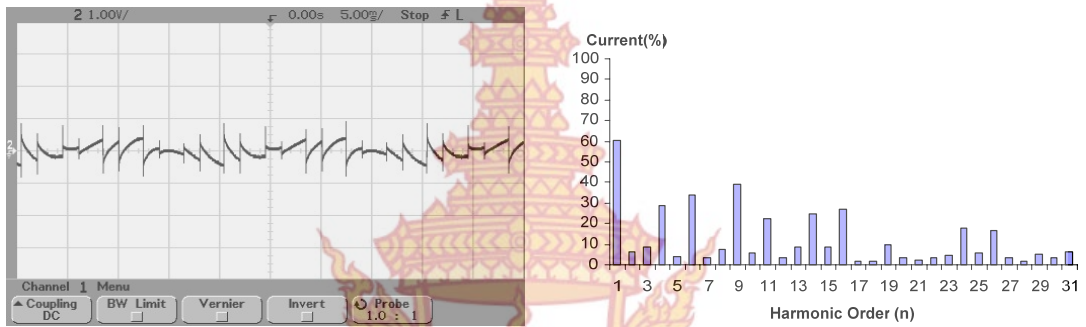
(ก) คลื่นแรงดันเอาท์พุท



(ข) คลื่นกระแสเอาท์พุท

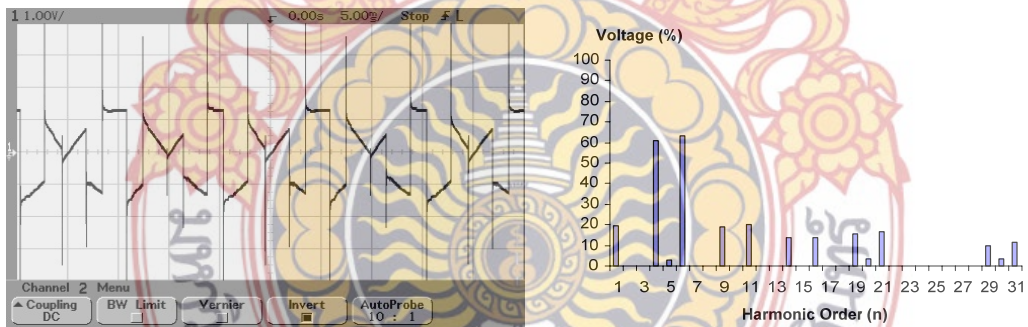


(ค) คลื่นแรงดันอินพุท

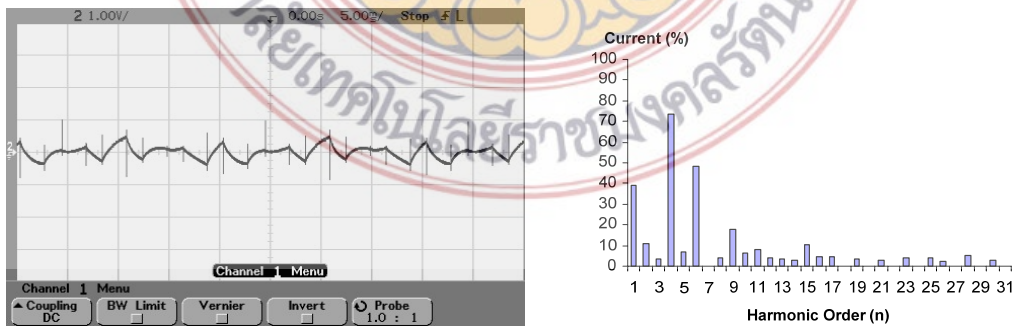


(ง) คลื่นกระแสอินพุท

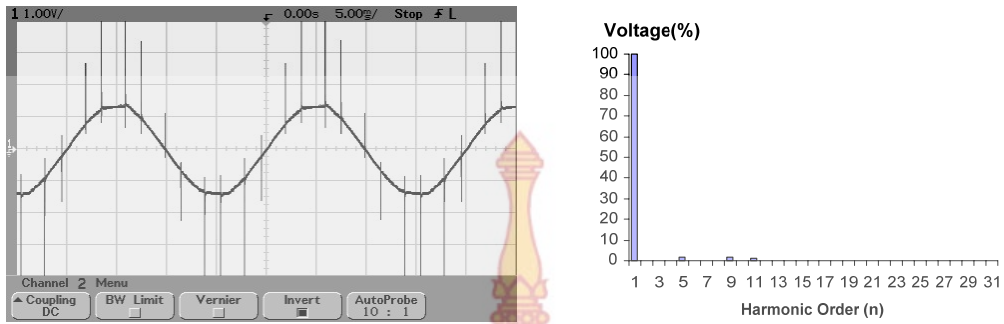
รูปที่ 4.47 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูเรียร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.4 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 250 Hz จำนวนพัลส์ 5 พัลส์ต่อไซเคิล



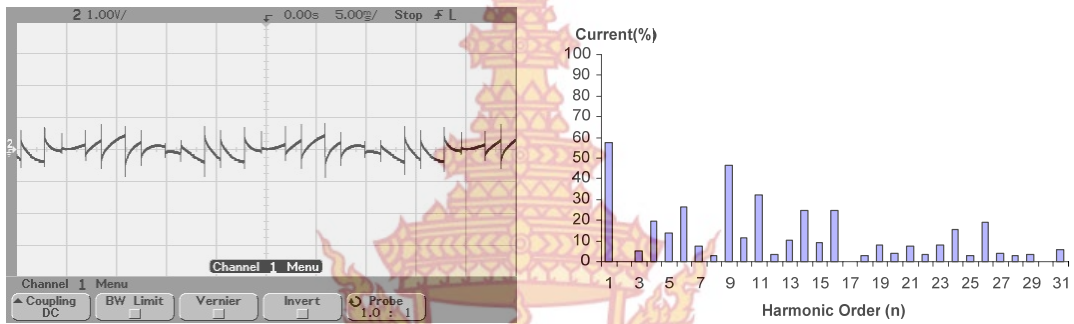
(ก) คลื่นแรงดันเอาท์พุท



(ข) คลื่นกระแสเอาท์พุท

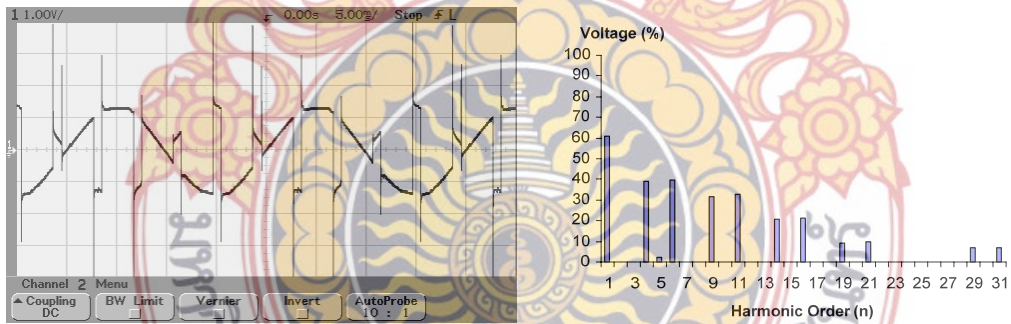


(ค) คลื่นแรงดันอินพุท

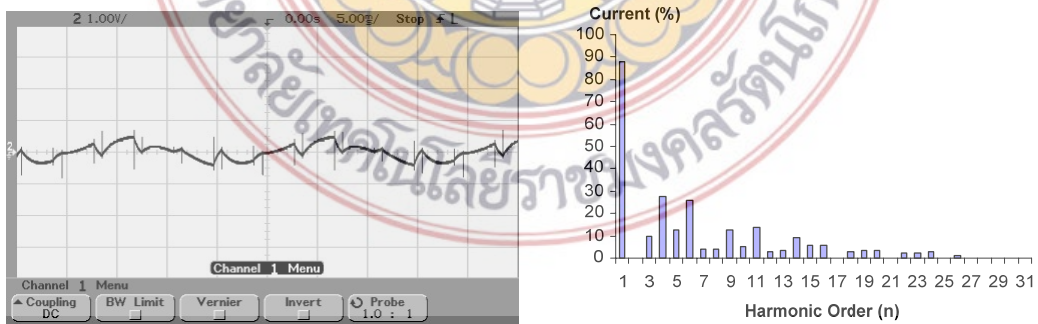


(ง) คลื่นกระแสอินพุท

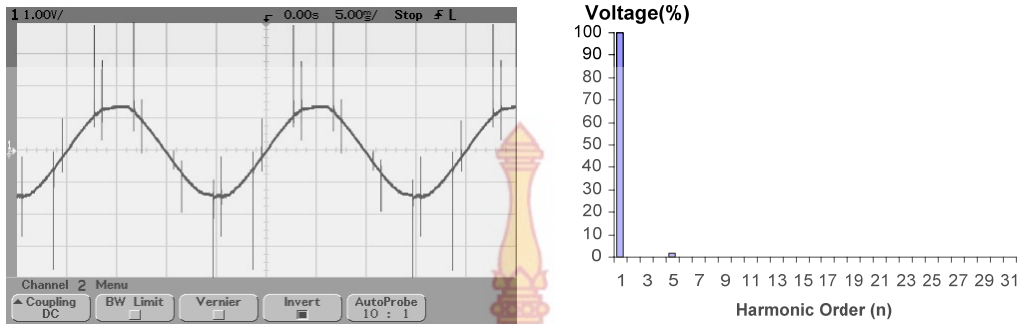
รูปที่ 4.48 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูริเยร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าดิวตีไซเคิลเท่ากับ 0.6 ความถี่สวิตซ์เท่ากับ 250 Hz จำนวนพัลส์ 5 พัลส์ต่อไซเคิล



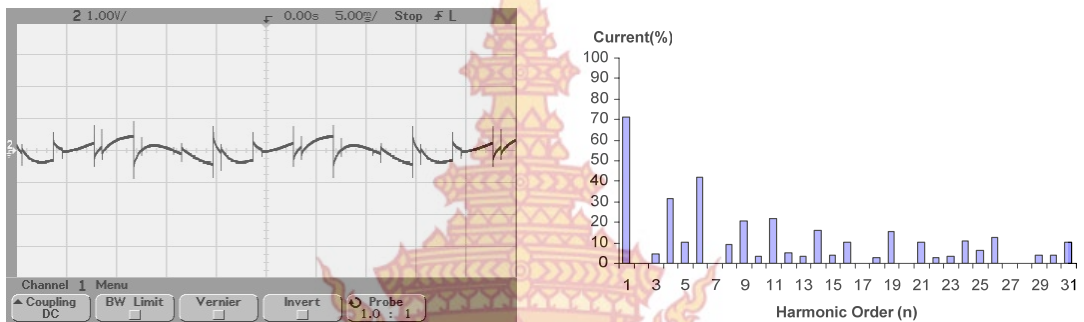
(ก) คลื่นแรงดันเอาต์พุท



(ข) คลื่นกระแสเอาต์พุท



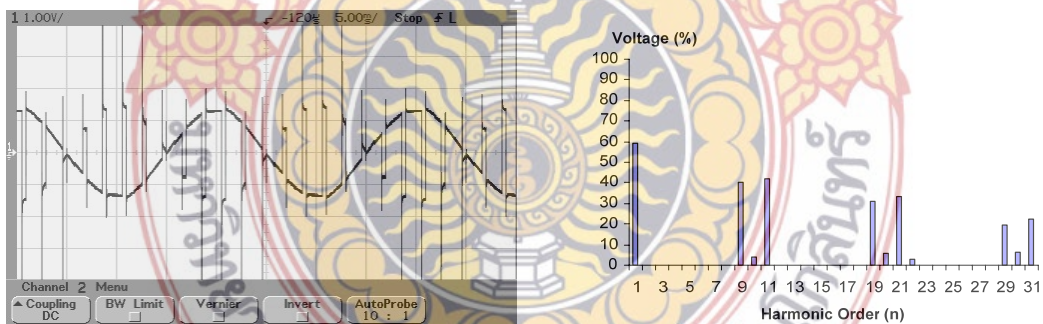
(ค) คลื่นแรงดันอินพุท



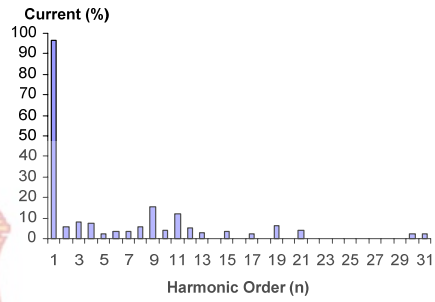
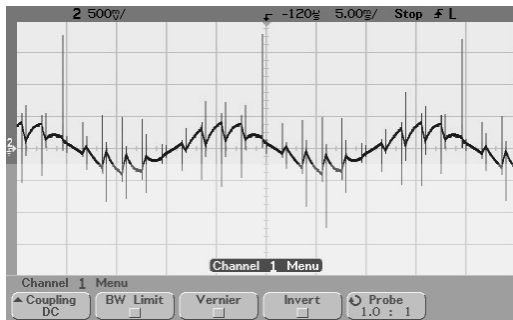
(ง) คลื่นกระแสอินพุท

รูปที่ 4.49 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูริเยร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.8 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 250 Hz จำนวนพัลส์ 5 พัลส์ต่อไซเคิล

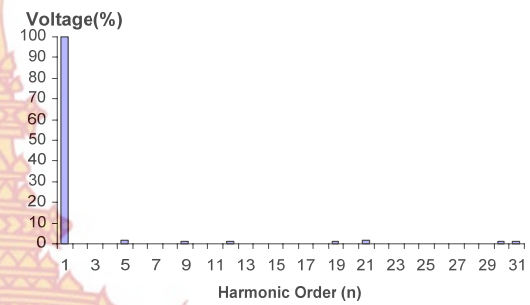
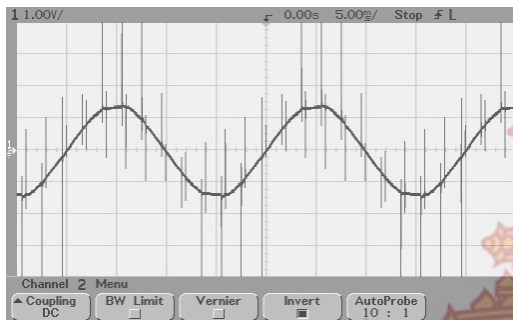
8.2 สัญญาณพัลส์ที่ดับลิวเอ็มที่ความถี่สวิตช์เท่ากับ 500Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 10 พัลส์ต่อไซเคิล



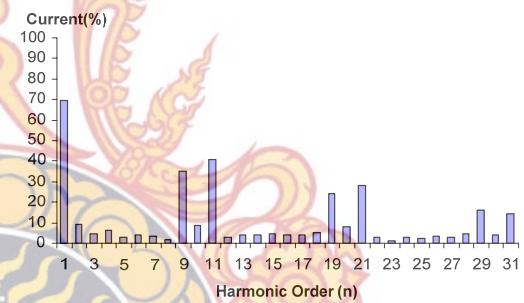
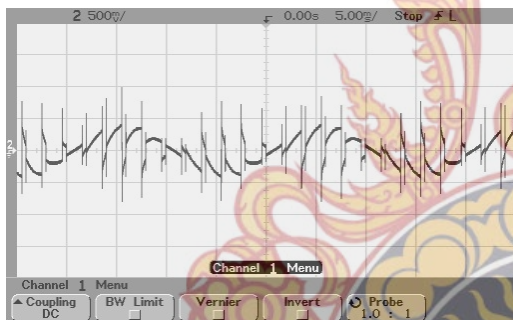
(ก) คลื่นแรงดันเอาท์พุท



(ข) คลื่นกระแสเอาต์พุต

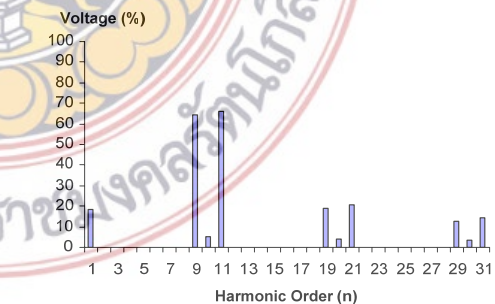
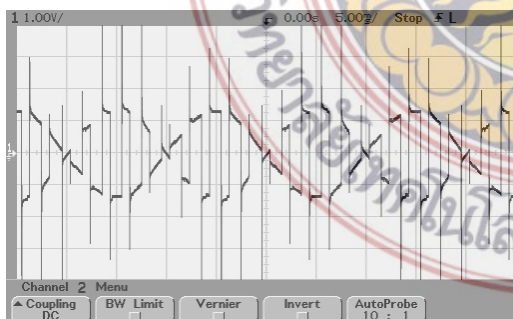


(ค) คลื่นแรงดันอินพุต

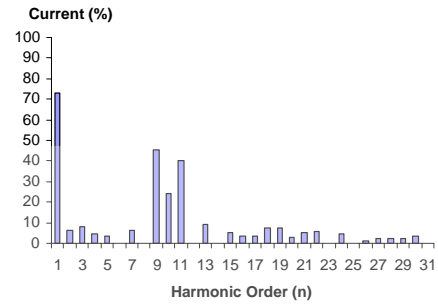
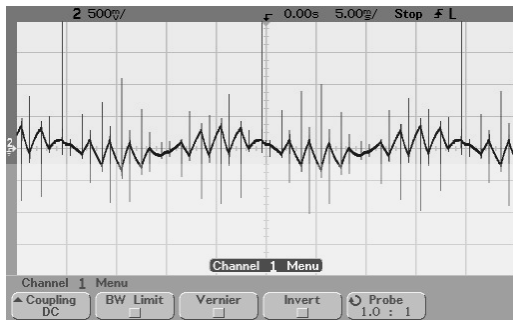


(ง) คลื่นกระแสอินพุต

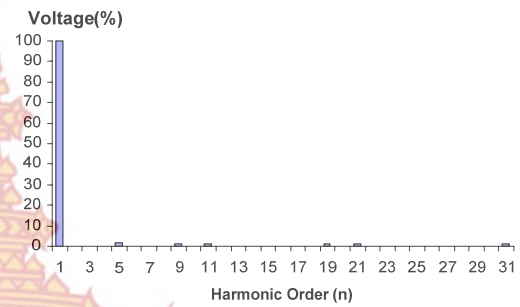
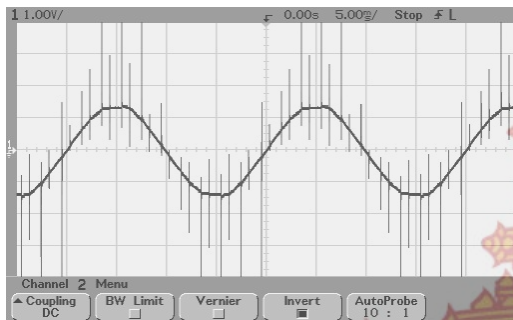
รูปที่ 4.50 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูเรียร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 500 Hz จำนวนพัลส์ 10 พัลส์ต่อไซเคิล



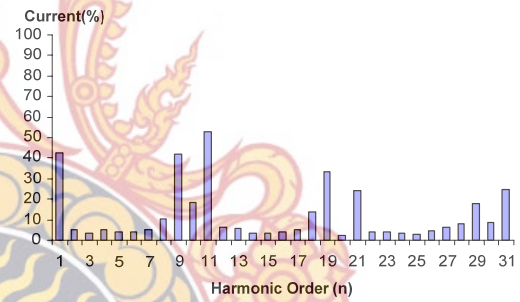
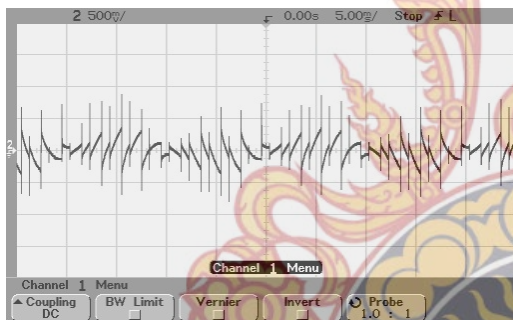
(ก) คลื่นแรงดันเอาต์พุต



(ข) คลื่นกระแสเอาต์พุต

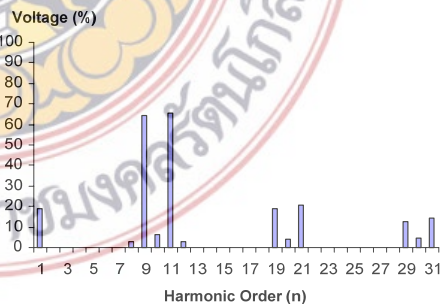
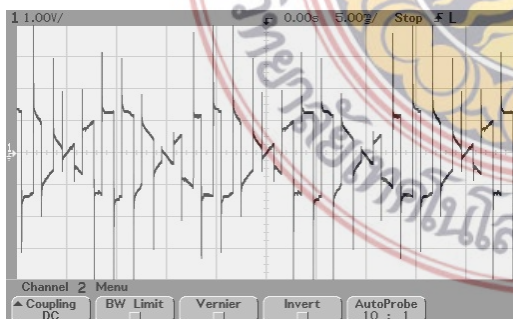


(ค) คลื่นแรงดันอินพุต

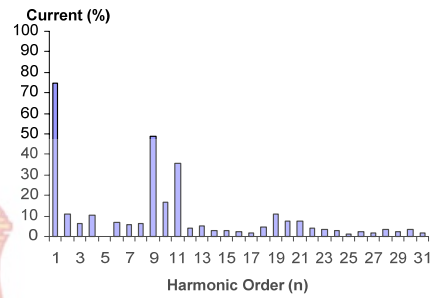
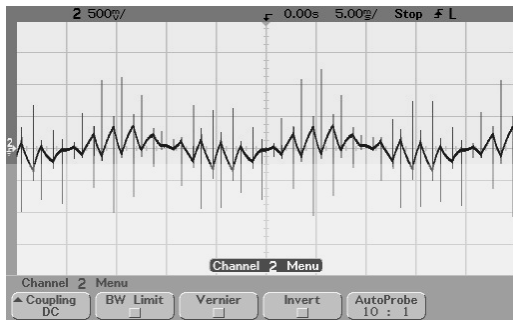


(ง) คลื่นกระแสอินพุต

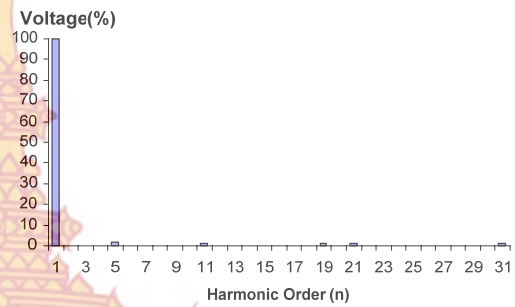
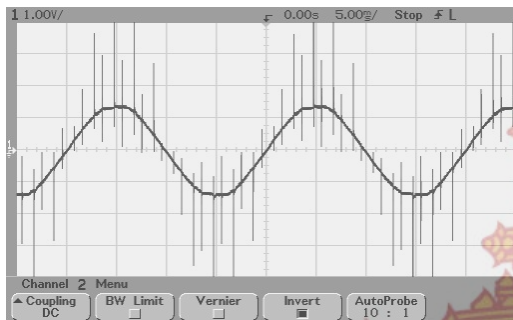
รูปที่ 4.51 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูรีเยร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.4 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 500 Hz จำนวนพัลส์ 10 พัลส์ต่อไซเคิล



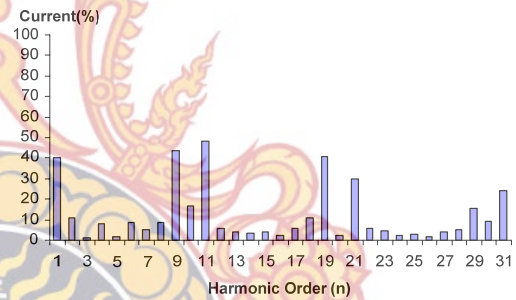
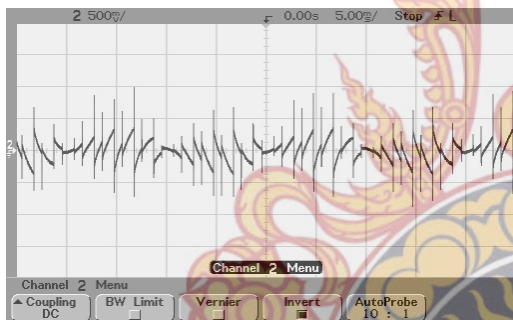
(ก) คลื่นแรงดันเอาต์พุต



(ข) คลื่นกระแสเอาต์พุต

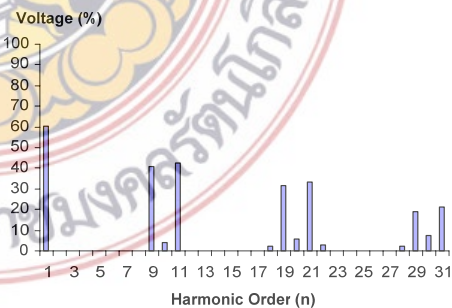
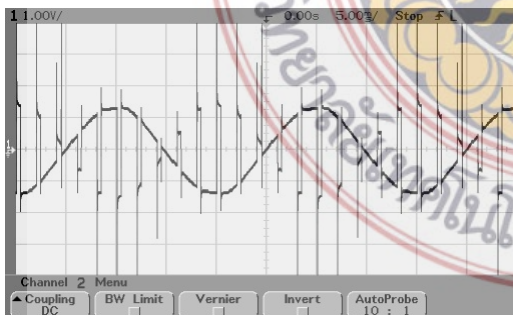


(ค) คลื่นแรงดันอินพุต

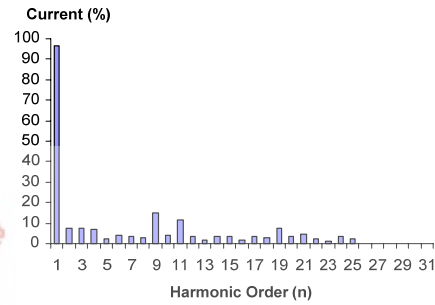
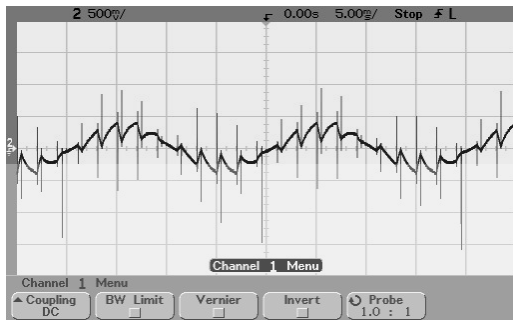


(ง) คลื่นกระแสอินพุต

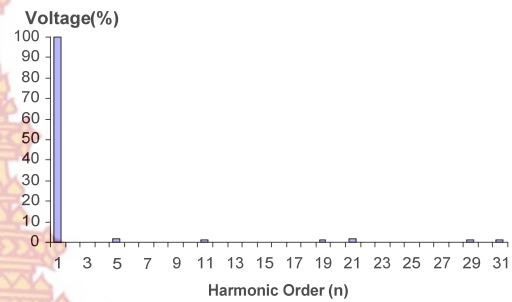
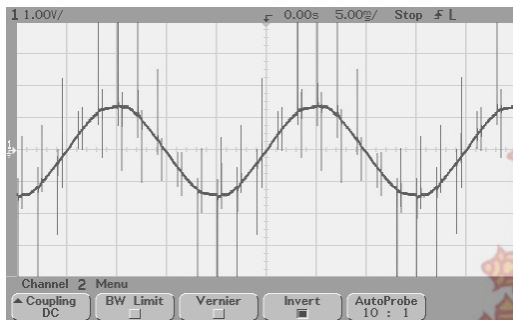
รูปที่ 4.52 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูรีเยร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.6 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 500 Hz จำนวนพัลส์ 10 พัลส์ต่อไซเคิล



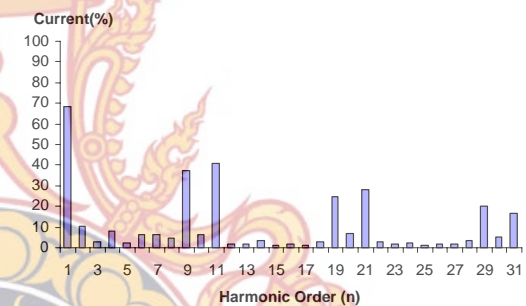
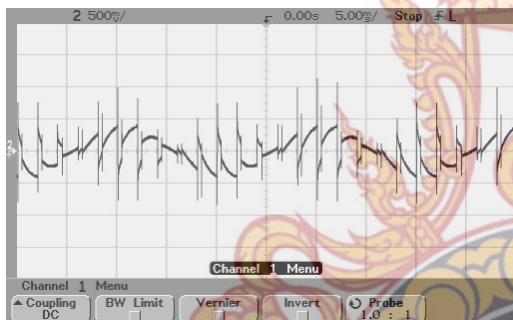
(ก) คลื่นแรงดันเอาต์พุต



(ข) คลื่นกระแสเอาท์พุท



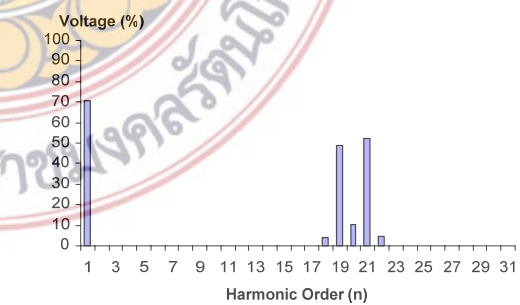
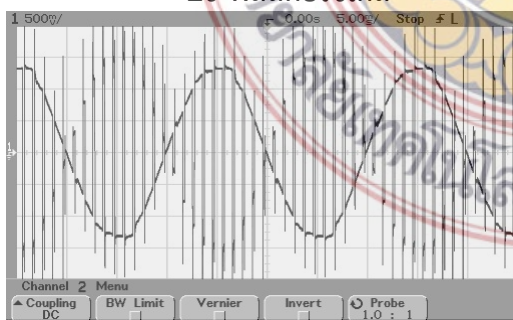
(ค) คลื่นแรงดันอินพุท



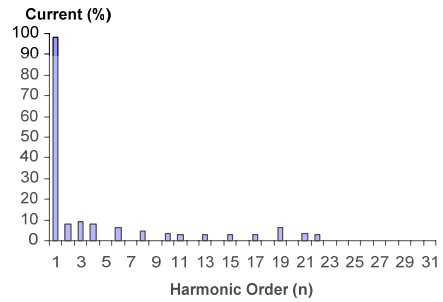
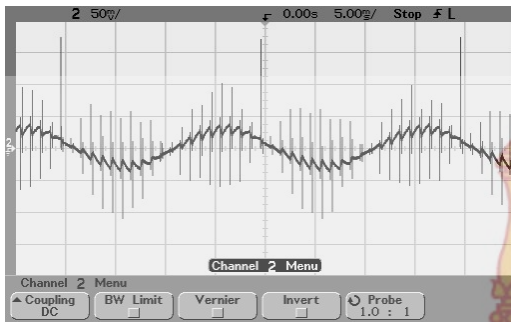
(ง) คลื่นกระแสอินพุท

รูปที่ 4.53 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูเรียร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าดิวิตีไซเคิลเท่ากับ 0.8 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 500 Hz จำนวนพัลส์ 10 พัลส์ต่อไซเคิล

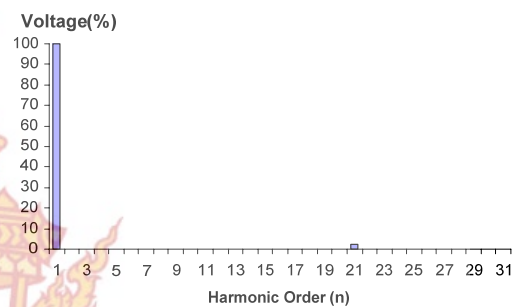
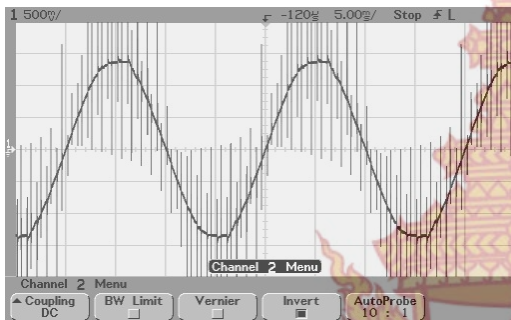
8.3 สัญญาณพัลส์ที่ดับลิวเอ็มที่ความถี่สวิตช์เท่ากับ 1000Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 20 พัลส์ต่อไซเคิล



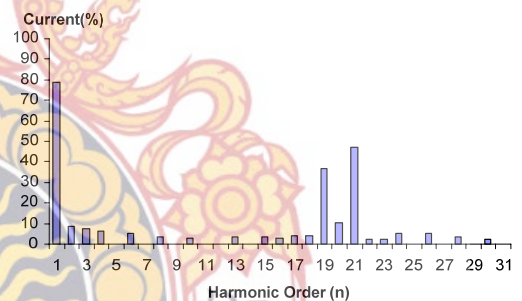
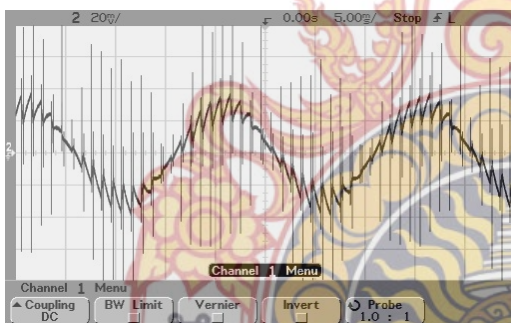
(ก) คลื่นแรงดันเอาท์พุท



(ข) คลื่นกระแสเอาท์พุท

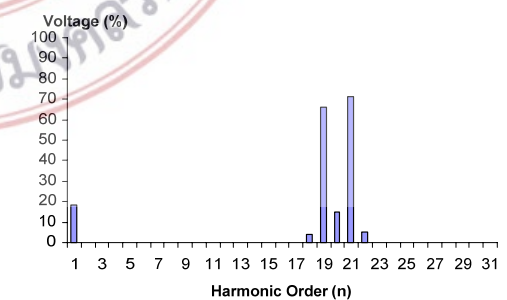
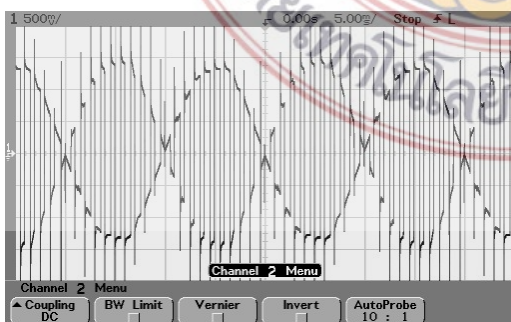


(ค) คลื่นแรงดันอินพุท

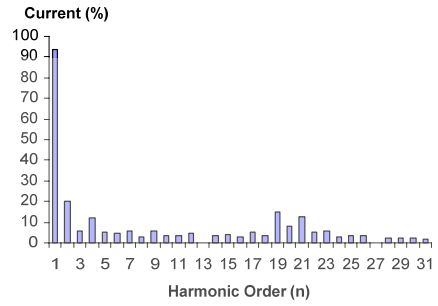
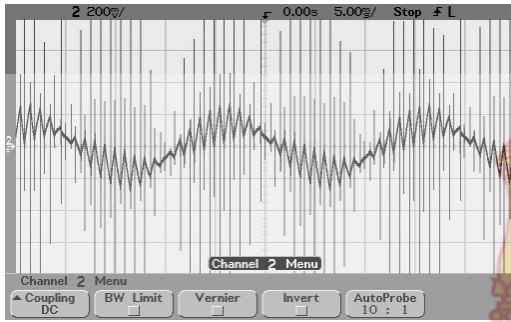


(ง) คลื่นกระแสอินพุท

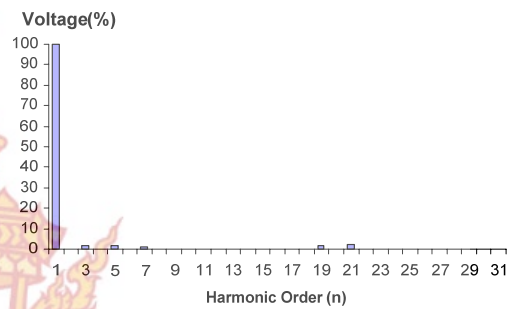
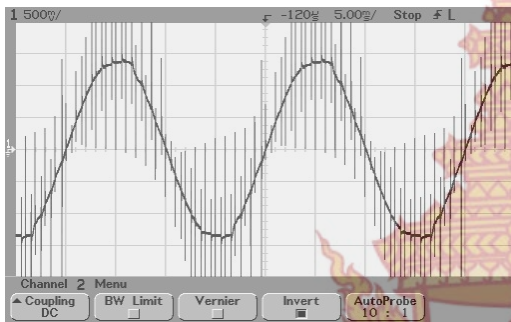
รูปที่ 4.54 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูริเยร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าตัวตัดไซเคิลเท่ากับ 0.2 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 1000 Hz จำนวนพัลส์ 20 พัลส์ต่อไซเคิล



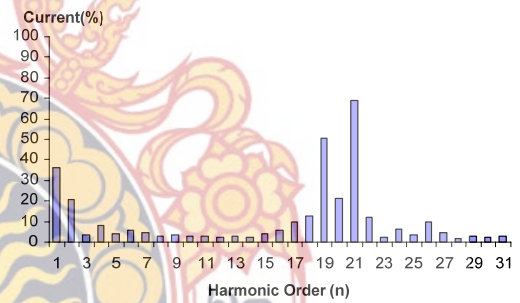
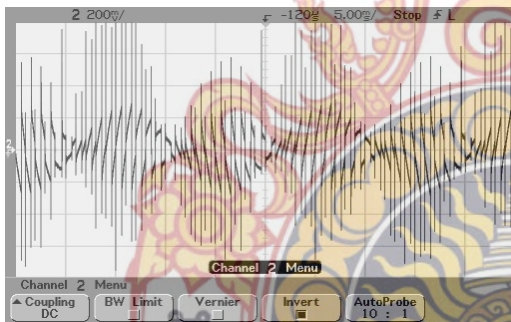
(ก) คลื่นแรงดันเอาท์พุท



(ข) คลื่นกระแสเอาท์พุท

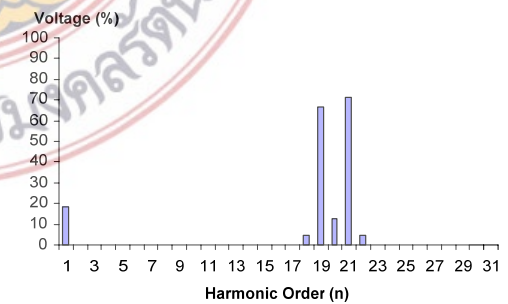
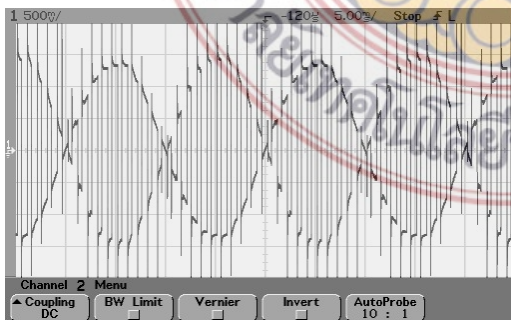


(ค) คลื่นแรงดันอินพุท

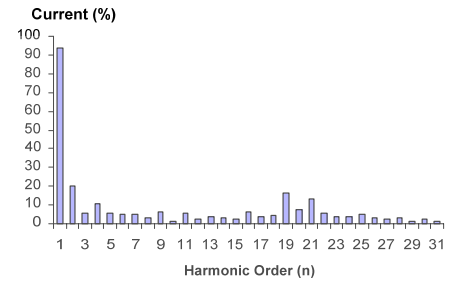
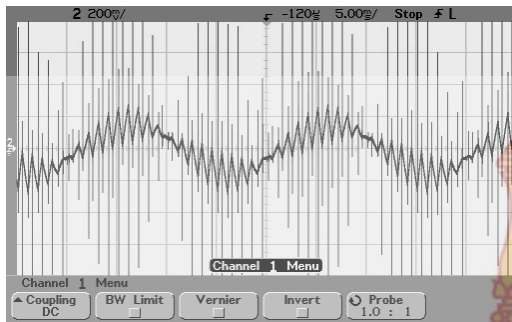


(ง) คลื่นกระแสอินพุท

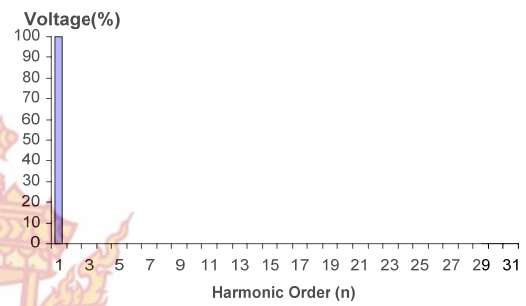
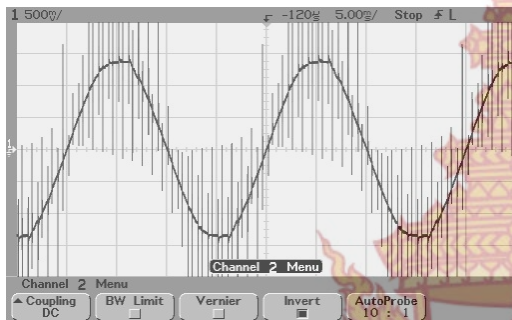
รูปที่ 4.55 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูริเยร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าดิวตีไซเคิลเท่ากับ 0.4 ความถี่สวิทซ์เท่ากับ 1000 Hz จำนวนพัลส์ 20 พัลส์ต่อไซเคิล



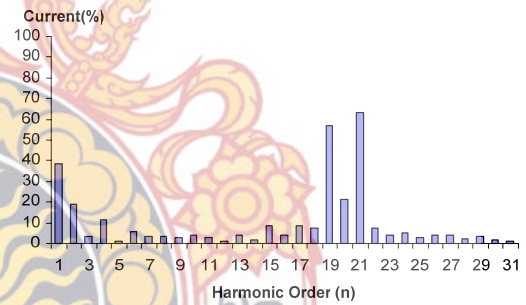
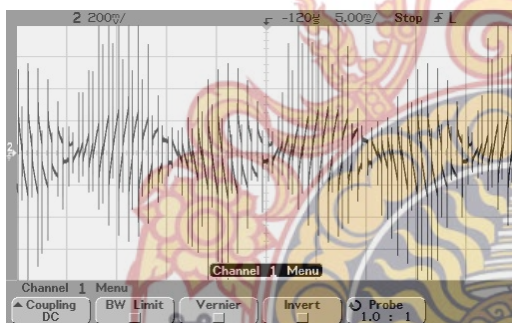
(ก) คลื่นแรงดันเอาท์พุท



(ข) คลื่นกระแสเอาท์พุท

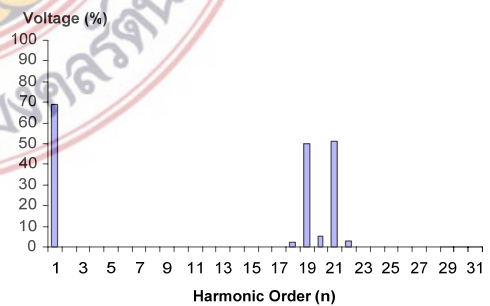
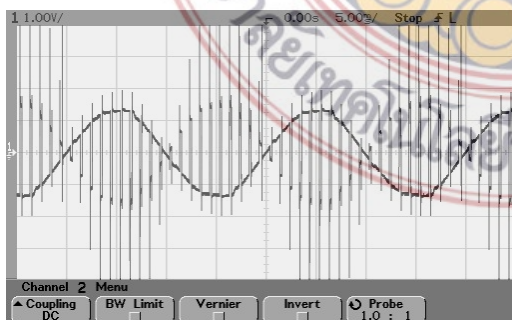


(ค) คลื่นแรงดันอินพุท

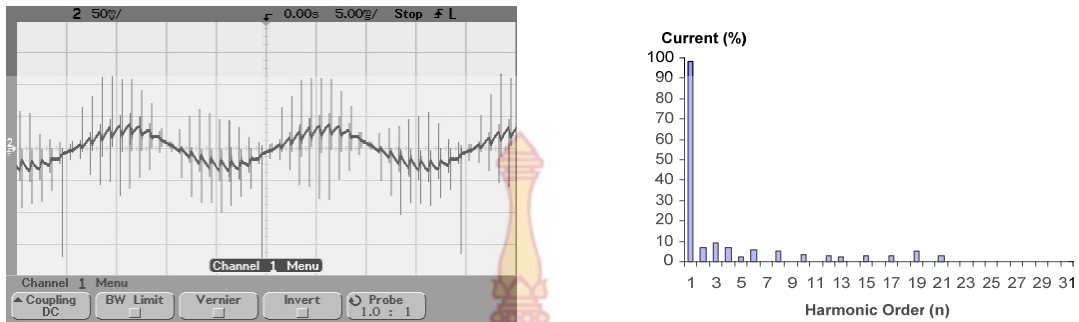


(ง) คลื่นกระแสอินพุท

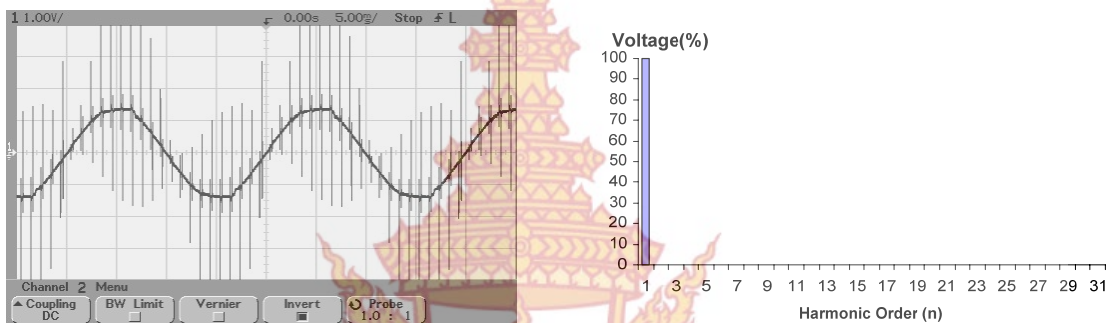
รูปที่ 4.56 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูริเยร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าตัวตัดไซเคิลเท่ากับ 0.6 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 1000 Hz จำนวนพัลส์ 20 พัลส์ต่อไซเคิล



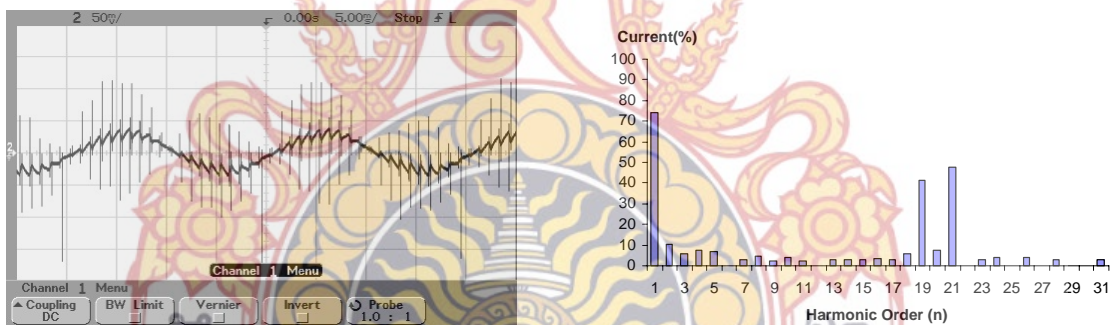
(ก) คลื่นแรงดันเอาท์พุท



(ข) คลื่นกระแสเอาท์พุท



(ค) คลื่นแรงดันอินพุท



(ง) คลื่นกระแสอินพุท

รูปที่ 4.57 รูปคลื่นและการวิเคราะห์ทางฟูริเยร์ของแรงดันและกระแสที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.8 ความถี่สวิตช์เท่ากับ 1000 Hz จำนวนพัลส์ 20 พัลส์ต่อไซเคิล

หลังจากได้ทำการทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นเป็นเครื่องต้นแบบ โดยทำการทดสอบในหัวข้อที่ผ่านมาโดยได้ทำการทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์กับโหลดตัวต้านทานและโหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ โดยใช้ลักษณะสัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็มที่เงื่อนไขของค่าความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 250 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz จำนวนพัลส์ในแต่ละไซเคิลเท่ากับ 5 พัลส์, 10 พัลส์ และ 20 พัลส์ และมีค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 เมื่อทำการบันทึกผลการทดสอบของรูปคลื่นแรงดัน และกระแสด้านอินพุทหรือด้านแหล่งจ่ายไฟ การไฟฟ้าและด้านเอาท์พุทที่ต่อกับโหลดทั้งสองชนิด รวมทั้งทำการวิเคราะห์รูปคลื่นแรงดันและกระแสทางฟูริเยร์แล้วนำผลการทดสอบมาทำการศึกษาค้นคว้า เปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่ได้

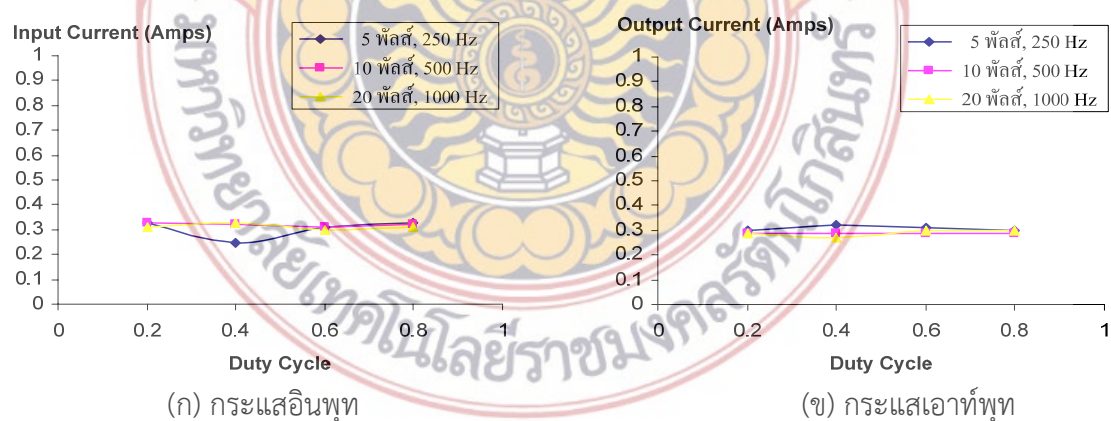
จากการออกแบบและจำลองการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์โดยใช้โปรแกรม OrCAD/PSpice พบว่าผลการจำลองวงจรและผลจากการทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์เครื่องต้นแบบกับโหลดตัวต้านทานและตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบพบว่าให้ผลการทดสอบที่ได้เป็นที่สอดคล้องในทำนองเดียวกัน

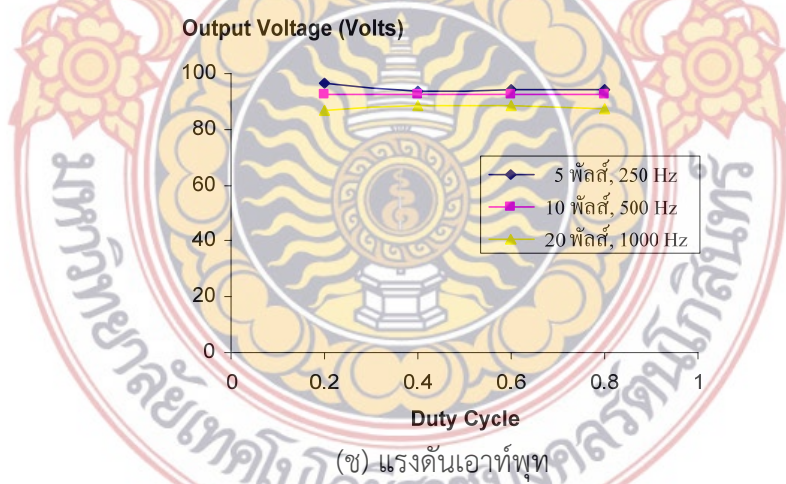
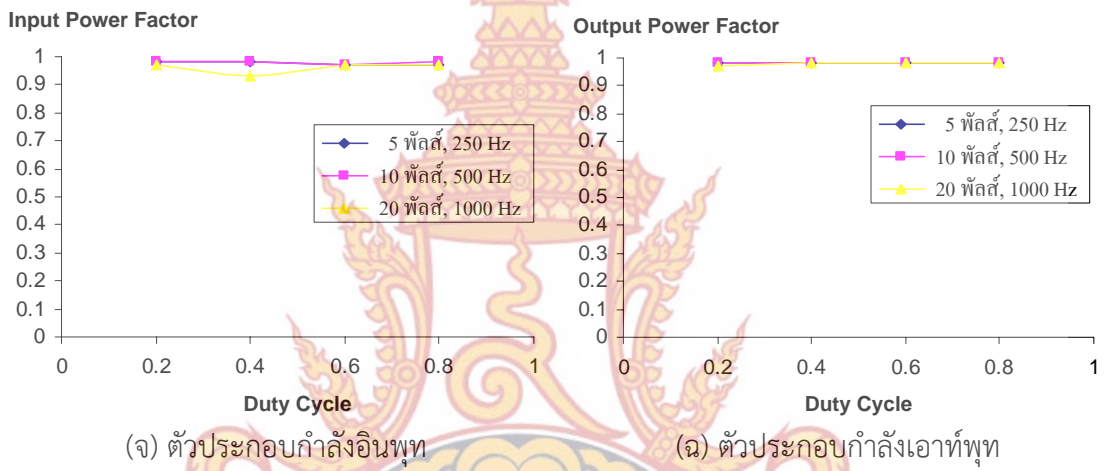
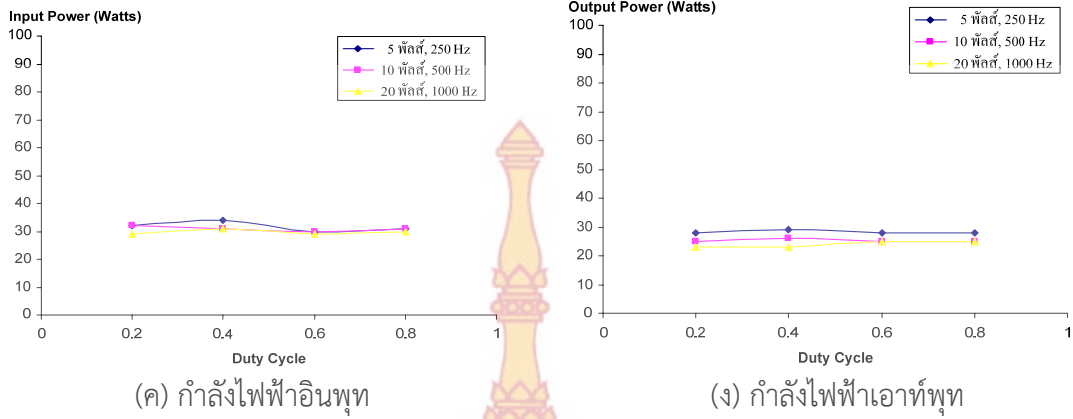
9. คุณลักษณะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

เป็นการทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสเครื่องต้นแบบ โดยจ่ายแรงดันอินพุทจากการไฟฟ้า 1-เฟส 100 โวลท์ 50 เฮิรท์ กับโหลดตัวต้านทานที่มีขนาดเท่ากับ 100, 200, 300, 400 และ 500 วัตต์ และโหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำที่มีขนาดเท่ากับ 100 วัตต์ ต่ออนุกรมกับโหลดตัวเหนี่ยวนำขนาดเท่ากับ 0.088 เฮนรี เพื่อหาความสัมพันธ์ของ ค่าแรงดันเอาท์พุท, กระแสต้านอินพุทและเอาท์พุท, ค่าตัวประกอบกำลังต้านอินพุทและเอาท์พุท และ ค่ากำลังไฟฟ้าต้านอินพุทและเอาท์พุท กับสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่ค่าความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 250 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz จำนวนพัลส์ในแต่ละไซเคิลเท่ากับ 5 พัลส์, 10 พัลส์ และ 20 พัลส์ และ ค่าดีวตีไซเคิลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นกับสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่ค่าดีวตีไซเคิล, จำนวนพัลส์และความถี่ในการสวิตช์ต่างๆ โดยแยกเป็นชนิดและขนาดโหลดต่างๆ

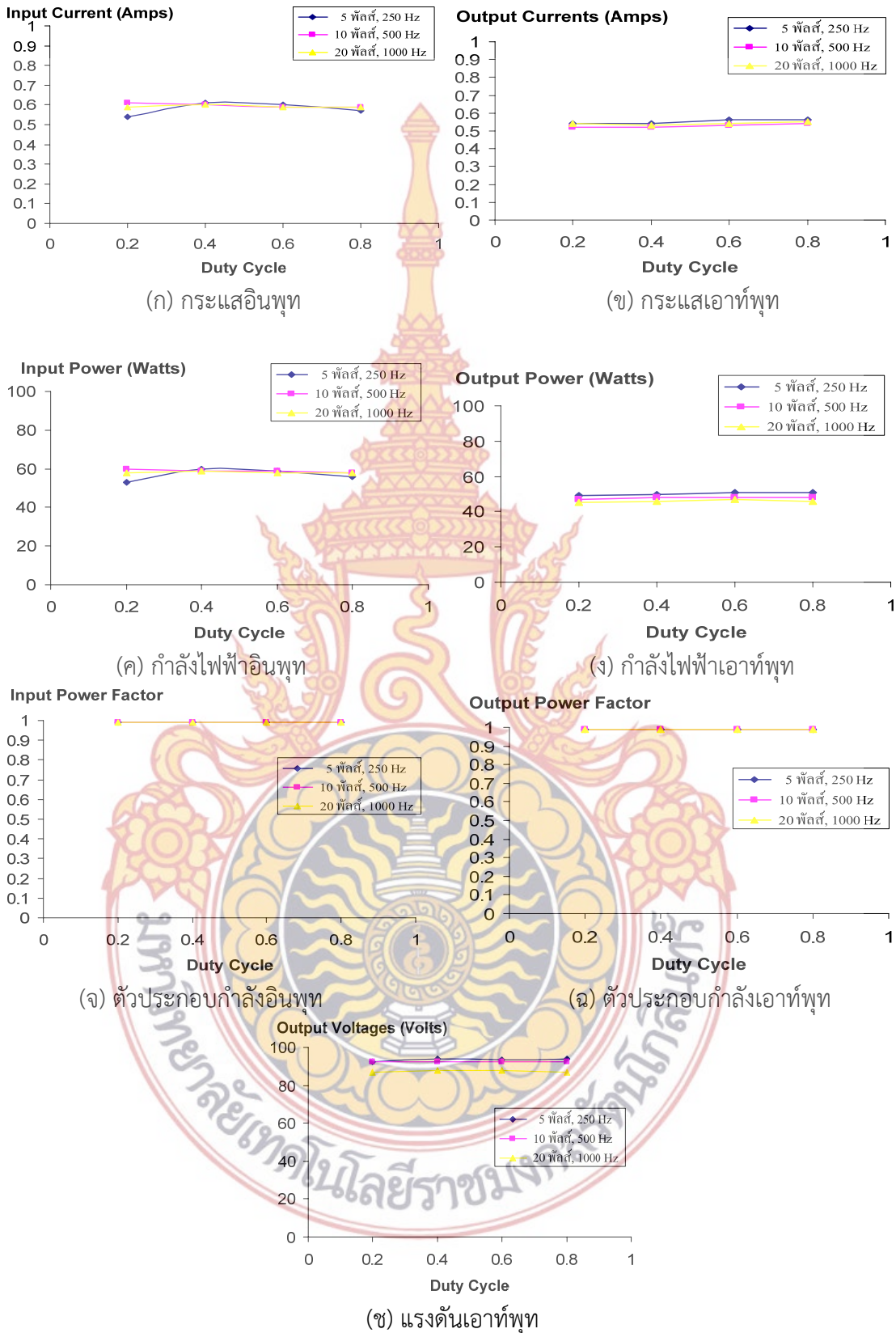
9.1 กรณีโหลดตัวต้านทาน

เป็นการทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสเครื่องต้นแบบ กับโหลดตัวต้านทานที่มีขนาดเท่ากับ 100, 200, 300, 400 และ 500 วัตต์ โดยใช้สัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่ค่าความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 250 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz จำนวนพัลส์ในแต่ละไซเคิลเท่ากับ 5 พัลส์, 10 พัลส์ และ 20 พัลส์ และค่าดีวตีไซเคิลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 แล้วบันทึกผลค่าต่างๆ แสดงดังกราฟความสัมพันธ์ต่อไปนี้

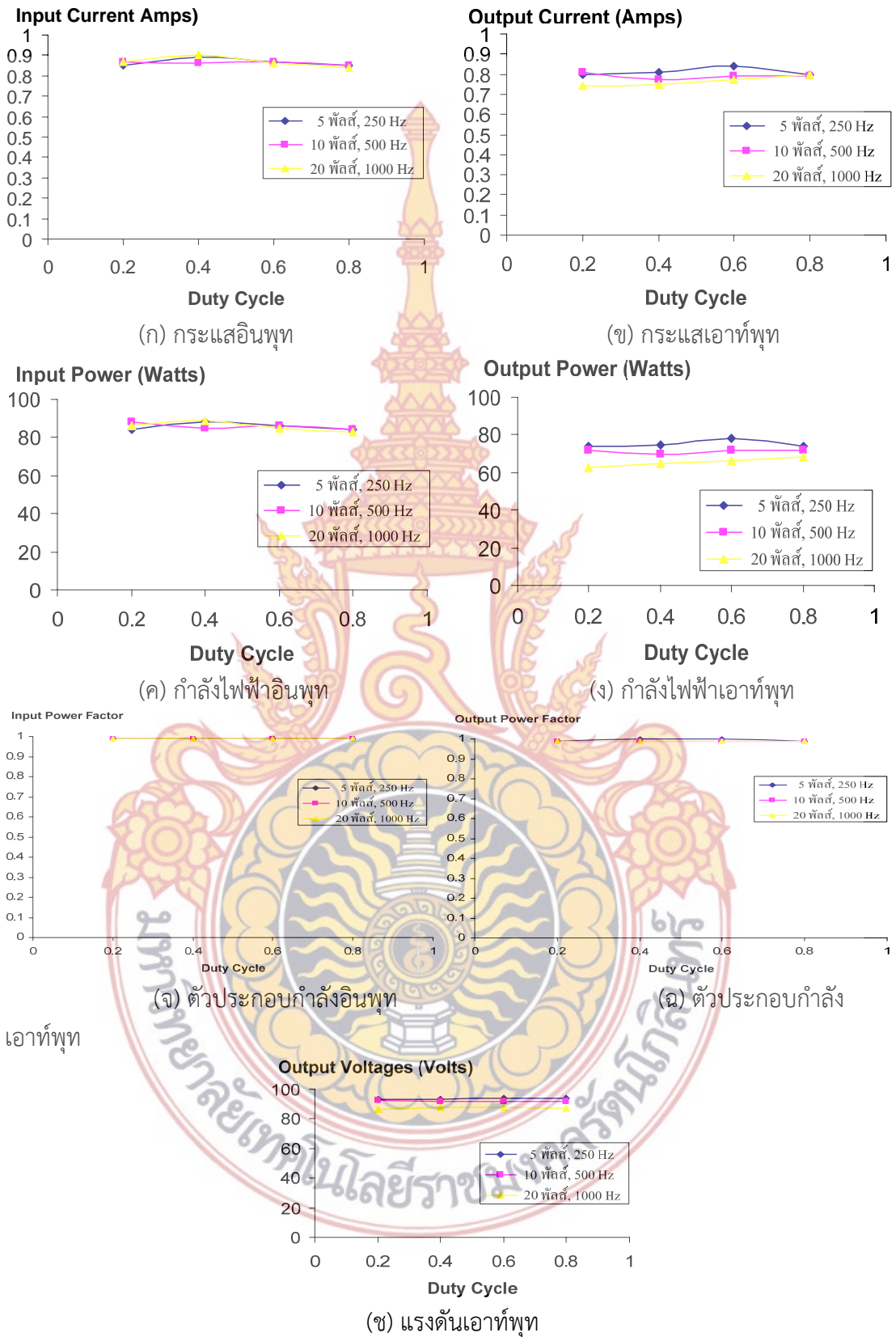




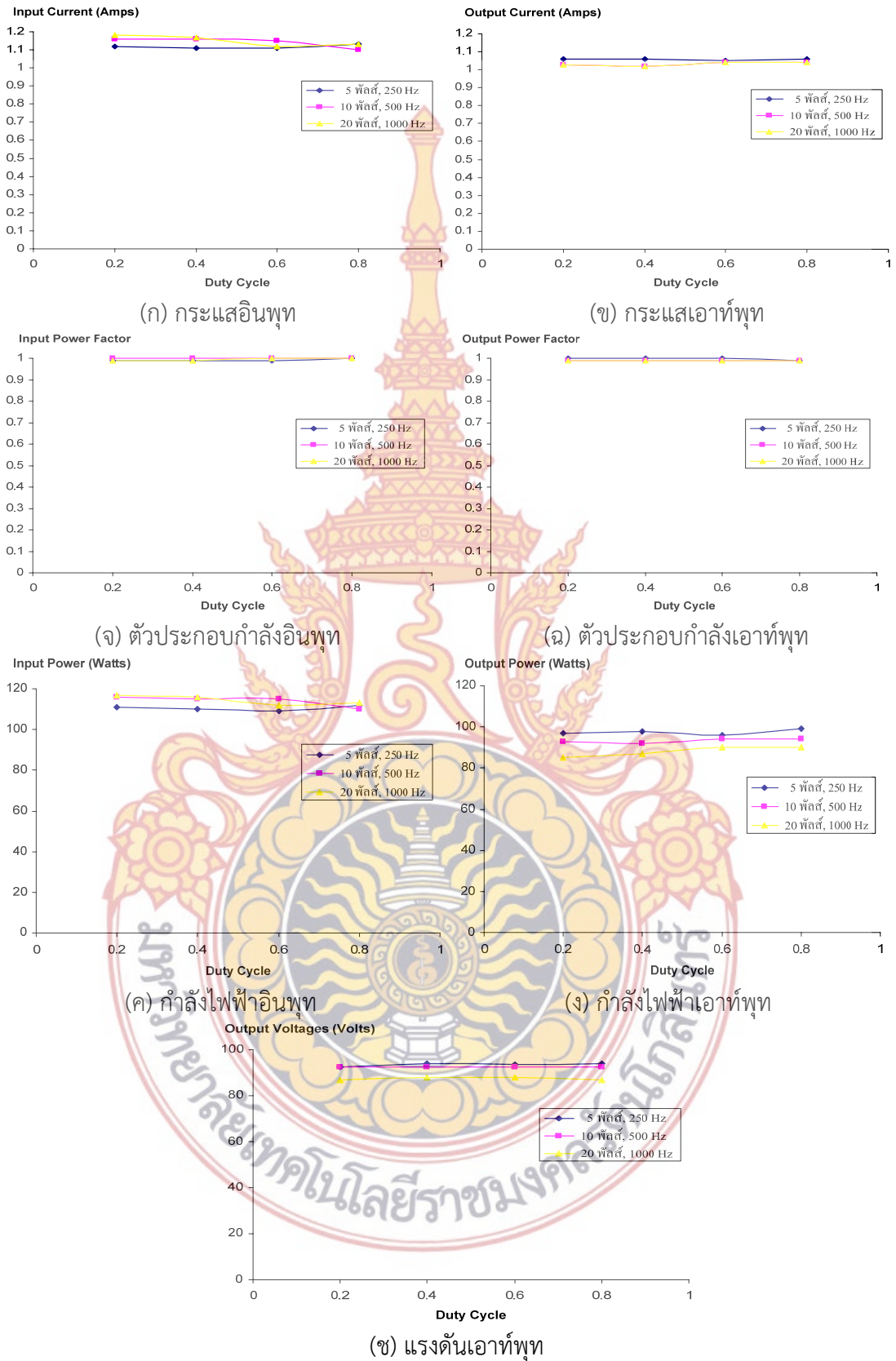
รูปที่ 4.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าคุณลักษณะของวงจรในกรณีโหลดตัวต้านทานขนาด 100 วัตต์



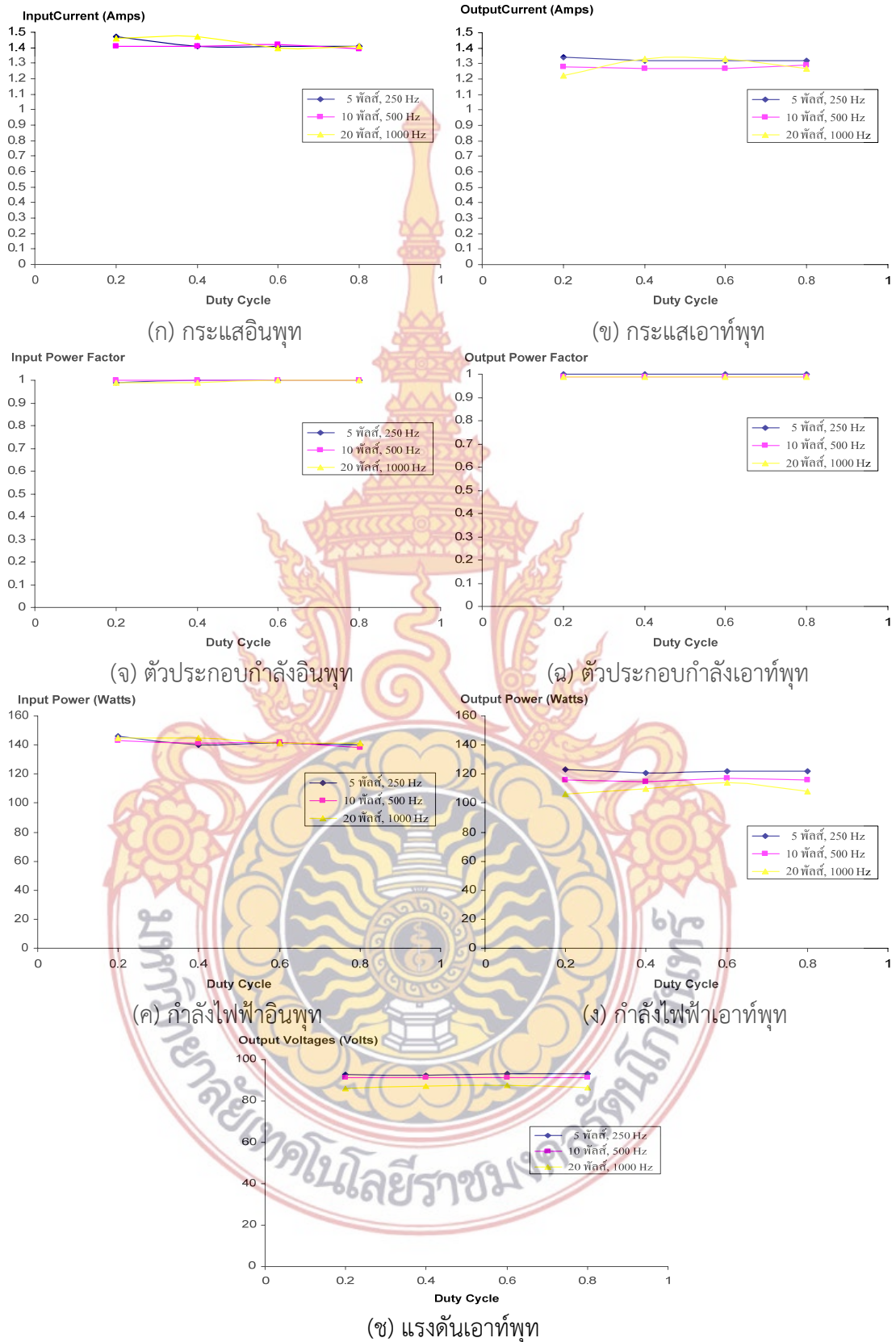
รูปที่ 4.59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าคุณลักษณะของวงจร
ในกรณีโหลดตัวต้านทานขนาด 200 วัตต์



รูปที่ 4.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าคุณลักษณะของวงจร ในกรณีโหลดตัวต้านทานขนาด 300 วัตต์



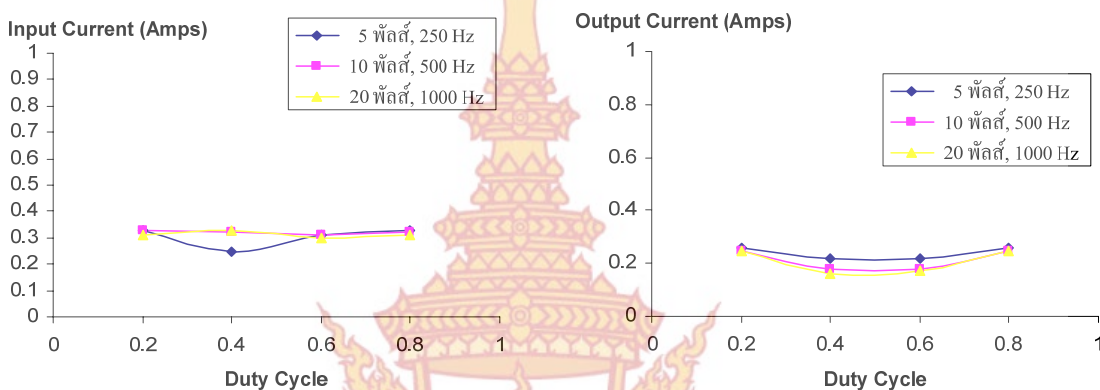
รูปที่ 4.61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าคุณลักษณะของวงจร ในกรณีโหลดตัวต้านทานขนาด 400 วัตต์



รูปที่ 4.62 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าคุณลักษณะของวงจร ในกรณีโหลดตัวต้านทานขนาด 500 วัตต์

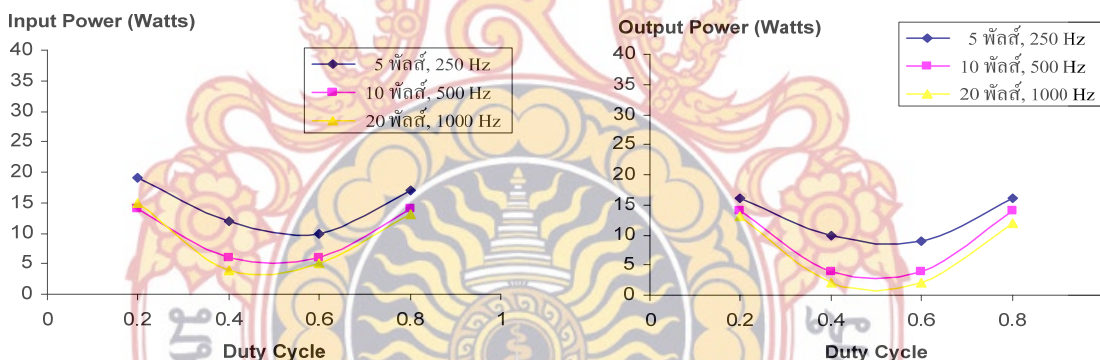
9.2 กรณีโหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ

เป็นการทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสเครื่องต้นแบบ กับ โหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ ที่มีขนาดเท่ากับ 100 วัตต์ ต่ออนุกรมกับโหลดตัวเหนี่ยวนำขนาดเท่ากับ 0.088 เฮนรี่ โดยใช้สัญญาณพัลส์ที่ดับบลิวเอ็มที่ค่าความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 250 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz จำนวนพัลส์ในแต่ละไซเคิลเท่ากับ 5 พัลส์, 10 พัลส์ และ 20 พัลส์ และค่าดีวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 แล้วบันทึกผลค่าต่างๆ แสดงดังกราฟความสัมพันธ์ต่อไปนี้



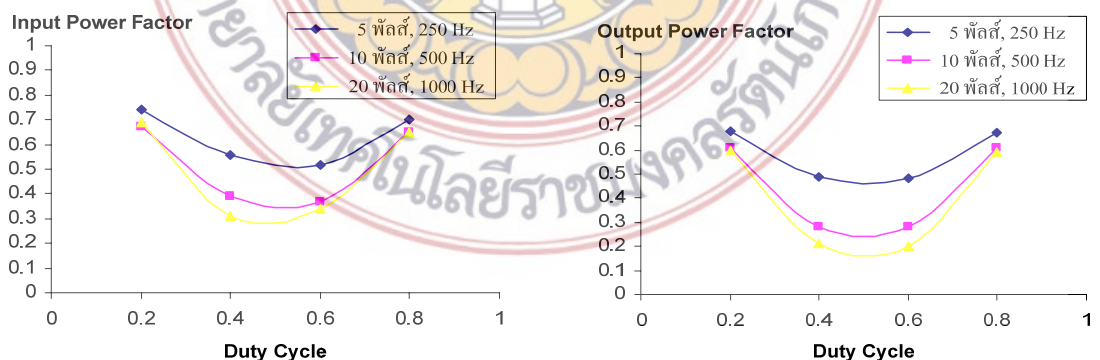
(ก) กระแสอินพุท

(ข) กระแสเอาต์พุท



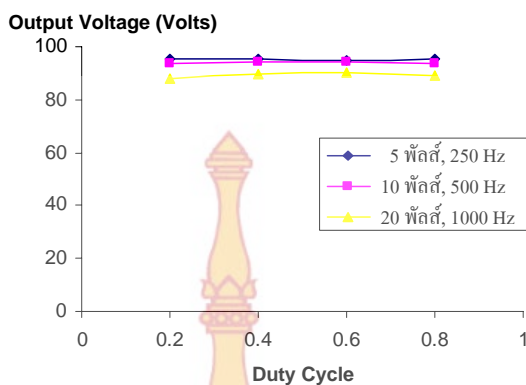
(ค) กำลังไฟฟ้าอินพุท

(ง) กำลังไฟฟ้าเอาต์พุท



(จ) ตัวประกอบกำลังอินพุท

(ฉ) ตัวประกอบกำลังเอาต์พุท



(ข) แรงดันเอาต์พุต

รูปที่ 4.63 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของคุณลักษณะของวงจร ในกรณีโหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ

จากรูปที่ 4.58 - 4.63 เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันเอาต์พุต, กระแสอินพุตและเอาต์พุต, ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าด้านอินพุตและเอาต์พุต และกำลังไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุต กับสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวเอมที่เงื่อนไขต่างๆ โดยทดสอบกับโหลดตัวต้านทานและตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งแสดงได้ดังกราฟความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ ดังกล่าว กับสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวเอมที่ค่าตัวชี้ไขเคลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ของจำนวนพัลส์ในแต่ละไขเคลเท่ากับ 5 พัลส์, 10 พัลส์ และ 20 พัลส์ โดยมีความถี่ในการสวิทซ์เท่ากับ 250 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz

10. สรุปท้ายบท

ในบทนี้ได้ทำการจำลองการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ โดยใช้โปรแกรม OrCAD/PSpice 9.1 student version ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองวงจรทางไฟฟ้า ในการจำลองวงจรนั้นได้ใช้สัญญาณพัลส์ที่ดับลิวเอมในการขับนำสวิทซ์ที่สร้างตามสมการของ m_1, m_2 ในบทที่ 2 โดยมีเงื่อนไขของลักษณะสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวเอม คือ ความถี่ในการสวิทซ์เท่ากับ 250 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz จำนวนพัลส์เท่ากับ 5, 10 และ 20 พัลส์ต่อไขเคล และค่าตัวชี้ไขเคลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 เพื่อทำการศึกษาลักษณะของรูปคลื่นแรงดันและกระแส รวมทั้งการวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสทั้งทางด้านอินพุตและด้านเอาต์พุต โดยได้ทำการทดสอบกับโหลดที่เป็นตัวต้านทานบริสุทธิ์ และตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งผลในการจำลองได้แสดงผลของสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวเอมที่เงื่อนไขต่างๆ และการวิเคราะห์ฟูเรียร์ของลักษณะรูปคลื่นแรงดันและกระแส รวมทั้งการวิเคราะห์ฟูเรียร์ของคลื่นแรงดันและกระแสทั้งทางด้านอินพุตและด้านเอาต์พุต ที่ทดสอบกับโหลดชนิดต่างๆ หลังจากนั้นทำการทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสเครื่องต้นแบบ โดยนำสัญญาณพัลส์ที่ดับลิวเอมที่ค่าความถี่ในการสวิทซ์เท่ากับ 250 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz จำนวนพัลส์ในแต่ละไขเคลเท่ากับ 5 พัลส์, 10 พัลส์ และ 20 พัลส์ และค่าตัวชี้ไขเคลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 มาทำการขับนำเกทของสวิทซ์สองทางทั้ง 4 ชุด ในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส เพื่อทำการตัดต่อไฟฟ้ากระแสสลับด้านแหล่งจ่ายไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับด้านเอาต์พุต แล้วนำเอาต์พุตของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส มาบ่อนให้กับโหลดตัวต้านทานและตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ แล้วทำการทดสอบเพื่อวัดรูปคลื่นของแรงดันและกระแสที่โหลด และด้านแหล่งจ่าย แล้ว

ทำการวิเคราะห์ฟูเรียร์เพื่อหาค่าองค์ประกอบฮาร์โมนิคอันดับต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสไว้ในบทที่ 4 ซึ่งพบว่าให้ผลการทดสอบที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ ยังได้ทำการเมื่อทำการทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นเป็นเครื่องต้นแบบ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันเอาต์พุต, กระแสอินพุตและเอาต์พุต, ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าด้านอินพุตและเอาต์พุต และกำลังไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุต กับ สัญญาณพัลส์ที่ดับบลิวเอ็มที่เงื่อนไขต่างๆ โดยทดสอบกับโหลดตัวต้านทานและตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบคุณลักษณะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส ได้ตั้งกราฟความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ ดังกล่าว กับสัญญาณพัลส์ที่ดับบลิวเอ็มที่ค่าตัวตั้งซีเคิลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ของจำนวนพัลส์ในแต่ละซีเคิลเท่ากับ 5 พัลส์, 10 พัลส์ และ 20 พัลส์ โดยมีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 250 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz ดังกราฟข้างต้น



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส พร้อมได้ทำการออกแบบ สร้างเครื่องต้นแบบ และทำการทดสอบเครื่องต้นแบบที่ได้ทำการสร้างขึ้น โดยได้เริ่มจากการสร้างสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มตามหลักการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส ที่วิเคราะห์ในทางคณิตศาสตร์ไว้ในบทที่ 2 แล้วนำหลักการดังกล่าวมาสร้างสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็ม ให้มีค่าความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 250 Hz, 500 Hz และ 1000 Hz มีจำนวนพัลส์ในแต่ละไซเคิลเท่ากับ 5 พัลส์, 10 พัลส์ และ 20 พัลส์ และค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 16F628 ในการสร้างสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มในลักษณะต่างๆ พร้อมทั้งได้ทำการจำลองการทำงานของวงจรและทำการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบฮาร์โมนิกในรูปของสเปกตรัมของคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุท โดยใช้โปรแกรม OrCAD/PSpice student version ในการวิเคราะห์ เพื่อเปรียบเทียบคลื่นแรงดันและกระแสที่ได้จากผลการจำลองการทำงานของวงจรมากับผลที่ได้จากการทดสอบซึ่งแสดงไว้ในบทที่ 4 โดยใช้สัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มที่เงื่อนไขต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น ในส่วนของหลักการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์นั้นได้ทำการอธิบายการทำงานในแต่ละโหมด ซึ่งมีทั้งหมด 2 โหมดการทำงาน แบ่งตามช่วงแรงดันไฟไลน์จากแหล่งจ่ายการไฟฟ้า โดยได้พิจารณาถึงการทำงานของสวิตช์แต่ละตัวว่ามีการทำงานอย่างไรในแต่ละโหมดซึ่งได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 ส่วนการสร้างวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่ได้ทำการออกแบบและสร้างวงจรในส่วนต่างๆ เพื่อควบคุมให้มีการสร้างสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มตามที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของสวิตช์ทั้ง 4 ชุด ซึ่งการทำงานของสวิตช์จะต้องทำงานตามช่วงแรงดันอินพุทเพื่อให้เฟสของคลื่นแรงดันเอาต์พุทมีการซิงโครไนซ์กับเฟสของแรงดันอินพุทซึ่งรายละเอียดวงจรส่วนต่างๆ ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 หลังจากได้ทำการสร้างวงจรต้นแบบแล้วได้นำมาทดสอบกับโหลดแบบพาสซีฟ คือ โหลดตัวต้านทานและตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ เพื่อทำการทดสอบแล้วบันทึกคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทที่สัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มตามเงื่อนไขต่างๆ พร้อมทั้งได้ทำการวิเคราะห์สเปกตรัมของแรงดันและกระแสเพื่อองค์ประกอบฮาร์โมนิกเปรียบเทียบกับกันระหว่างผลจากการจำลองการทำงานของวงจรและผลจากการทดสอบจริง ซึ่งปรากฏผลทั้งคลื่นแรงดันและกระแสด้านอินพุทและเอาต์พุทและสเปกตรัมมีค่าตรงตามที่ได้ทำการออกแบบไว้รวมทั้งที่ได้ทำการทดลอง พร้อมกันนั้น ได้ทำการทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสเพื่อหาคุณลักษณะของวงจรโดยทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันเอาต์พุท, ค่ากระแสอินพุทและเอาต์พุท, ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าด้านอินพุทและเอาต์พุท และค่ากำลังไฟฟ้าอินพุทและเอาต์พุท ที่เงื่อนไขของสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มต่างๆ โดยทดสอบกับโหลดตัวต้านทานและตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ โดยแสดงผลการทดสอบคุณลักษณะของ

วงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสได้ด้วยกราฟความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ ดังได้แสดงไว้ในบทที่ 4 เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่จะพัฒนางจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสต่อไป

2. ปัญหาที่พบในการทำการวิจัย

1. อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทำการวิจัย เช่น อุปกรณ์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์สวิทช์กำลัง คือ ไอจีบีที และไดโอดกำลังที่มีการพันตัวเร็ว เป็นอุปกรณ์ที่ต้องทำการสั่งซื้อจากต่างประเทศ และไม่สามารถที่จะใช้เบอร์อื่นแทนได้เนื่องจากในการออกแบบวงจรขั้วนำเกทได้ออกแบบไว้สำหรับเบอร์ดังกล่าวนี้ ทำให้ต้องใช้เวลาในการสั่งซื้ออุปกรณ์ดังกล่าว
2. ในงานวิจัยนี้พบข้อเสียในส่วนของวงจรต้นแบบที่ได้สร้างขึ้นนั้นจะใช้อุปกรณ์ในการสวิทช์จำนวนมาก และวงจรควบคุมการสร้างสัญญาณพีดับลิวิตีนั้น มีความยุ่งยากซับซ้อน ทำให้ค่าใช้จ่ายในการสร้างค่อนข้างสูงมากกว่าวงจรที่ใช้งานในทางเดียวกัน
3. สัญญาณพีดับลิวิตีที่ใช้ในวงจรเครื่องต้นแบบต้องมีการปรับปรุงเพื่อให้สามารถใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ เนื่องจากสัญญาณพีดับลิวิตีที่สร้างขึ้นสามารถใช้ในการทดสอบกับโหลดแบบพาสซีฟได้แต่ยังไม่สามารถใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ จึงต้องทำการปรับปรุงในงานวิจัยโครงการต่อไป

3. ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยโครงการดังกล่าวนี้ พบสิ่งที่จะต้องปรับปรุงแก้ไข คือ ในส่วนของการสร้างสัญญาณพัลส์พีดับลิวิตีที่ใช้ในการขับเคลื่อนของสวิทช์สองทางทั้ง 4 ขูด นั้นในงานวิจัยนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 16F628 ทำหน้าที่เป็นตัวสร้างสัญญาณพีดับลิวิตี พบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 16F628 ที่ใช้มีขีดจำกัดในเรื่องของการสร้างสัญญาณที่จำนวนพัลส์มากๆ และที่ค่าอัตราการมอดบางค่าที่ไม่สามารถสร้างได้ เนื่องจากองศาของแต่ละพัลส์อยู่ในรูปของเลขทศนิยม ซึ่งไม่สามารถที่จะเก็บค่าองศาของพัลส์ได้ ซึ่งเป็นปัญหาของไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดนี้ ดังนั้น ควรมีการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดอื่นๆหรือใช้อุปกรณ์ประมวลผลชนิดอื่นๆ ที่มีประสิทธิภาพและศักยภาพที่สูงกว่ามาใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์พีดับลิวิตีในงานวิจัยนี้ยังเป็นการควบคุมการทำงานแบบเปิด (Open-Loop Control) ซึ่งทำให้ไม่สามารถควบคุมแรงดันและกระแสเอาท์พุทได้ดี ดังนั้น ควรมีการนำการควบคุมแบบปิด (Close-Loop Control) มาใช้ในการควบคุมแรงดันและกระแส ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและสมรรถนะแก่วงจรด้วย

บรรณานุกรม

- [1] L. Gyugyi and B. R. Pelly, **Static Power Frequency Changers: Theory, Performance, and Application**, John Wiley & Sons, 1976.
- [2] B. R. Pelly, **“Thyristor Phase-Controlled Converters and Cycloconverters ”**, New York, Wiley, 1971.
- [3] A. Alesina and M. Venturini, **“Solid-State Power Conversion : A Fourier Analysis Approach to Generalize Transfer Synthesis”**, **IEEE Transactions on Circuit and Systems**, vol.CAS-28, No.4, pp.319-330., April, 1981
- [4] P. D. Ziogas, S. I. Khan, and M. H. Rashid, **“Some Improve Forced Commutated Cycloconverter Structures”**, **IEEE Trans. Industry Application**, vol.IA-21, pp.1242-1253, Sept./Oct. 1985.
- [5] A. Alesina and M. Venturini, **“Analysis and Design of Optimum-Amplitude Nine-Switch Direct AC-AC Converters”**, **IEEE Transaction on Power Electronics**, vol.4, NO.1, pp.101-112., January, 1989.
- [6] A. Zuckerberger, D. Weinstock, and A. Alexandrovitz, **“Single-phase Matrix Converter”**, **IEE Proc.-Electr. Power Appl.**, vol.144, No.4, pp. 235-240., July 1997.
- [7] P. D. Ziogas, S. I. Khan, and M. H. Rashid, **“Some Improve Forced Commutated Cycloconverter Structures”**, **IEEE Trans. Industry Application**, vol. IA-21, pp.1242-1253, Sept./Oct., 1985.
- [8] P. D. Ziogas, S. I. Khan, and M. H. Rashid, **“Analysis and design of Forced Commutated Cycloconverter Structures with Improved Transfer Characteristics”**, **IEEE Trans. Industry Application**, vol. IE-33, NO.3, August, 1986.
- [9] Z. Idris, M. K. Hamzah and M. F. Saidon, **“Implementation of single-phase matrix converter as a direct ac-ac converter with commutation strategies”**, in **Conf. Rec. of IEEE PESC'06**, 2006, pp.2240-2246.
- [10] N. Nguyen-Quang, D.A. Stone, C.M. Bingham, and M.P. Foster, **“Single phase matrix converter for radio frequency induction heating”**, in **Proc. SPEEDAM 2006**, pp. S18-28–S18-32.
- [11] P. Ljusev and M. A. E. Andersen, **“Safe-commutation principle for direct single-phase ac-ac converters for use in audio power amplification”**, in **Proc. Nordic Workshop Power Ind. Electron.**, Trondheim, Norway, 2004

- [12] P.D. Ziogas, S.I. Khan, and M.H. Rashid, "Some Improve Forced Commutated Cycloconverter Structures", *IEEE Trans. Industry Application*, vol. IA-21, pp.1242-1253, Sept./Oct. 1985.
- [13] Vichok Hothongkham, "Analysis design AC AC Matrix Converter", Master Thesis, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2002. (in Thai)
- [14] Malcolm Tabone, Cyril Spiteri Staines, Joseph Cilia, "Low Cost Three Phase to Single Phase Matrix Converter", **2004 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)**, pp.474-479.
- [15] Hosseini S. H., Babaei E., "A new generalized direct matrix converter", **IEEE International Symposium of Industrial Electronics**, 2001, Proc. ISIE 2001., vol. 2, pp. 1071-1076.
- [16] Yang Xi-Jun, Lei Huai-ang, Cao Yi-long, Gong You-min, "Realization of Matrix Electric Power Conversion with Practicality", **PCC-Osaka 2002**, pp.1182-1187.
- [17] ABDOLLAH KHOEI and SUBBARAYA YUVARAJAN, "Single-Phase AC-AC Converter Using Power MOSFET's", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 35, NO.3, August,1988., pp. 442-443.
- [18] ABDOLLAH KHOEI and SUBBARAYA YUVARAJAN, "Steady State Performance of a Single Phase Induction Motor Fed by a Direct AC-AC Converter", *IEEE Conference*, 1989.
- [19] Y. Minari, K. Shinohara and R. Ueda, " PWM-rectifier/voltage source inverter without DC link components for induction motor drive", *IEE Proceedings-B*, vol.140, No.6, November, 1993., pp.363-368.
- [20] P. C. Loh, R. Rong, F. Blaabjerg, and P. Wang, "Digital carrier modulation and sampling issues of matrix converters", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 7, pp. 1690-1700, July 2009.
- [21] Y. D. Yoon, and S. K. Sul, "Carrier-based modulation technique for matrix converter", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 21, no. 6, pp. 1691-1703, Nov. 2006.
- [22] I. Sato, J. Itoh, H. Ohguchi, A. Odaka, and H. Mine, "An improvement method of matrix converter drives under input voltage disturbances", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 22, no. 1, pp. 132-138, January 2007.
- [23] C. Liu, B. Wu, N. R. Zargari, D. Xu, and J. Wang, "A novel three phase three-leg ac/ac converter using nine IGBTs", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 5, pp. 1151-1160, May 2009.
- [24] D. F. Chen, and T. H. Liu, "Optimal controller design for a matrix converter based surfacemounted PMSM drive system", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 18, no. 4, pp. 1034-1046, July 2003.

- [25] R. Vargas, U. Ammann, and J. Rodriguez, "Predictive approach to increase efficiency and reduces witching losses on matrix converters", **IEEE Trans. Power Electron.**, vol. 24, no. 4, pp. 894-902, April 2009.
- [26] J. I. Itoh, and K. I. Nagayoshi, "A new bidirectional switch with regenerative snubber to realize a simple series connection for matrix converters", **IEEE Trans. Power Electron.**, vol. 24, no. 3, pp. 822-829, March 2009.
- [27] A. Ecklebe, A. Lindemann, and S. Schulz, "Bidirectional switch commutation for a matrix converter supplying a series resonant load", **IEEE Trans. Power Electron.**, vol. 24, no. 5, pp.1173-1181, May 2009.
- [28] A. K. Gola, and V. Agarwal, "Implementation of an efficient algorithm for a single phase matrix converter", **Journal of Power Electronics**, vol. 9, no. 2, pp.198-206, March 2009.
- [29] S. Sunter and O. Aydogmus, "Implementation of a single-phase matrix converter induction motor drive", **Springer Electrical Engineering**, vol. 90, no. 6, pp. 425-433, 2008.





ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



ตาราง ก.1 ค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ทำการทดสอบกับโหลด
ตัวต้านทานขนาด100 Watts

ความถี่ในการสวิตช์ (Switching Frequency)	250 (Hz)				500 (Hz)				1000 (Hz)			
ดัชนีการมอดูเลชัน (Modulation Index)	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8
แรงดันอินพุต (Volts)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
กระแสอินพุต (Amps)	0.33	0.25	0.31	0.33	0.33	0.32	0.31	0.32	0.31	0.33	0.30	0.31
ค่าตัวประกอบกำลัง อินพุต (PFin)	0.98	0.98	0.97	0.97	0.98	0.98	0.97	0.98	0.97	0.93	0.97	0.97
กำลังไฟฟ้าอินพุต (Pin : Watts)	32	34	30	31	32	31	30	31	29	31	29	30
แรงดันเอาต์พุต (Volts)	96.4	93.9	94.5	94.2	92.8	92.6	92.8	92.4	86.7	88.6	88.6	87.5
กระแสเอาต์พุต (Amps)	0.30	0.32	0.31	0.30	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.27	0.30	0.30
ค่าตัวประกอบกำลัง เอาต์พุต (PFout)	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.98	0.98	0.98
กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (Pout : Watts)	28	29	28	28	25	26	25	25	23	23	25	25

ตาราง ก.2 ค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ทำการทดสอบกับโหลด
ตัวต้านทานขนาด 200 Watts

ความถี่ในการสวิตช์ (Switching Frequency)	250 (Hz)				500 (Hz)				1000 (Hz)			
	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8
ดัชนีการมอดดูเลชัน (Modulation Index)	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8
แรงดันอินพุต (Volts)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
กระแสอินพุต (Amps)	0.54	0.61	0.60	0.57	0.61	0.60	0.59	0.59	0.59	0.60	0.59	0.59
ค่าตัวประกอบกำลัง อินพุต (PF _{in})	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
กำลังไฟฟ้าอินพุต (P _{in} : Watts)	53	60	59	56	60	59	59	58	58	59	58	58
แรงดันเอาต์พุต (Volts)	92.6	93.8	93.6	94.0	92.3	92.4	92.4	92.4	86.7	88.0	87.9	86.9
กระแสเอาต์พุต (Amps)	0.54	0.54	0.56	0.56	0.52	0.52	0.53	0.54	0.54	0.53	0.54	0.55
ค่าตัวประกอบกำลัง เอาต์พุต (PF _{out})	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (P _{out} : Watts)	49	50	51	51	47	48	48	48	45	46	47	46

ตาราง ก.3 ค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ทำการทดสอบกับโหลด
ตัวต้านทานขนาด 300 Watts

ความถี่ในการสวิตช์ (Switching Frequency)	250 (Hz)				500 (Hz)				1000 (Hz)			
ดัชนีการมอดดูเลชั่น (Modulation Index)	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8
แรงดันอินพุต (Volts)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
กระแสอินพุต (Amps)	0.85	0.89	0.87	0.85	0.87	0.86	0.87	0.85	0.87	0.90	0.86	0.84
ค่าตัวประกอบกำลัง อินพุต (PFin)	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
กำลังไฟฟ้าอินพุต (Pin : Watts)	84	88	86	84	88	85	86	84	86	89	85	83
แรงดันเอาต์พุต (Volts)	93.5	93	93.7	94.0	92.2	91.9	91.9	91.9	86.6	87.9	87.6	86.8
กระแสเอาต์พุต (Amps)	0.80	0.81	0.84	0.80	0.81	0.77	0.79	0.79	0.74	0.75	0.77	0.80
ค่าตัวประกอบกำลัง เอาต์พุต (PFout)	0.99	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (Pout : Watts)	74	75	78	74	72	70	72	72	63	65	66	68

ตาราง ก.4 ค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ทำการทดสอบกับโหลด
ตัวต้านทานขนาด 400 Watts

ความถี่ในการสวิตช์ (Switching Frequency)	250 (Hz)				500 (Hz)				1000 (Hz)			
ดัชนีการมอดดูเลชั่น (Modulation Index)	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8
แรงดันอินพุต (Volts)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
กระแสอินพุต (Amps)	1.12	1.11	1.11	1.13	1.16	1.16	1.15	1.10	1.18	1.17	1.12	1.13
ค่าตัวประกอบกำลัง อินพุต (PFin)	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00
กำลังไฟฟ้าอินพุต (Pin : Watts)	111	110	109	112	116	115	115	110	117	116	112	113
แรงดันเอาต์พุต (Volts)	92.6	93.8	93.6	94.0	92.3	92.4	92.4	92.4	86.7	88.0	87.9	86.9
กระแสเอาต์พุต (Amps)	1.06	1.06	1.05	1.06	1.03	1.02	1.04	1.04	1.00	1.01	1.04	1.05
ค่าตัวประกอบกำลัง เอาต์พุต (PFout)	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (Pout : Watts)	97	98	96	99	93	92	94	94	85	87	90	90

ตาราง ก.5 ค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ทำการทดสอบกับโหลด
ตัวต้านทานขนาด 500 Watts

ความถี่ในการสวิตช์ (Switching Frequency)	250 (Hz)				500 (Hz)				1000 (Hz)			
	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8
ดัชนีการมอดดูเลชั่น (Modulation Index)	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8
แรงดันอินพุต (Volts)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
กระแสอินพุต (Amps)	1.47	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.42	1.39	1.46	1.47	1.40	1.41
ค่าตัวประกอบกำลัง อินพุต (PFin)	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00
กำลังไฟฟ้าอินพุต (Pin : Watts)	146	140	141	140	143	141	142	138	145	145	141	141
แรงดันเอาต์พุต (Volts)	93.0	92.6	93.2	93.2	91.5	91.5	91.2	91.5	86.2	87.2	87.5	86.3
กระแสเอาต์พุต (Amps)	1.34	1.32	1.32	1.32	1.28	1.27	1.27	1.29	1.22	1.33	1.33	1.27
ค่าตัวประกอบกำลัง เอาต์พุต (PFout)	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (Pout : Watts)	123	121	122	122	116	115	117	116	106	110	114	108

ตาราง ก.6 ค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ทำการทดสอบกับโหลด
ตัวต้านทานขนาด 100 Watts - ตัวเหนี่ยวนำขนาด 0.088 Henrys

ความถี่ในการสวิตช์ (Switching Frequency)	250 (Hz)				500 (Hz)				1000 (Hz)			
ดัชนีการมอดดูเลชั่น (Modulation Index)	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8
แรงดันอินพุท (Volts)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
กระแสอินพุท (Amps)	0.26	0.21	0.21	0.24	0.22	0.17	0.16	0.22	0.22	0.14	0.15	0.21
ค่าตัวประกอบกำลัง อินพุท (PFin)	0.74	0.56	0.52	0.7	0.67	0.39	0.37	0.65	0.69	0.31	0.34	0.65
กำลังไฟฟ้ายินพุท (Pin : Watts)	19	12	10	17	14	6	6	14	15	4	5	13
แรงดันเอาต์พุท (Volts)	95.2	95.6	95.1	95.4	93.5	94.3	94.3	93.7	88.2	89.9	90	89
กระแสเอาต์พุท (Amps)	0.26	0.22	0.22	0.26	0.25	0.18	0.18	0.25	0.25	0.16	0.17	0.25
ค่าตัวประกอบกำลัง เอาต์พุท (PFout)	0.68	0.49	0.48	0.67	0.61	0.28	0.28	0.61	0.6	0.21	0.2	0.59
กำลังไฟฟ้าเอาต์พุท (Pout : Watts)	16	10	9	16	14	4	4	14	13	2	2	12



1. ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็ม



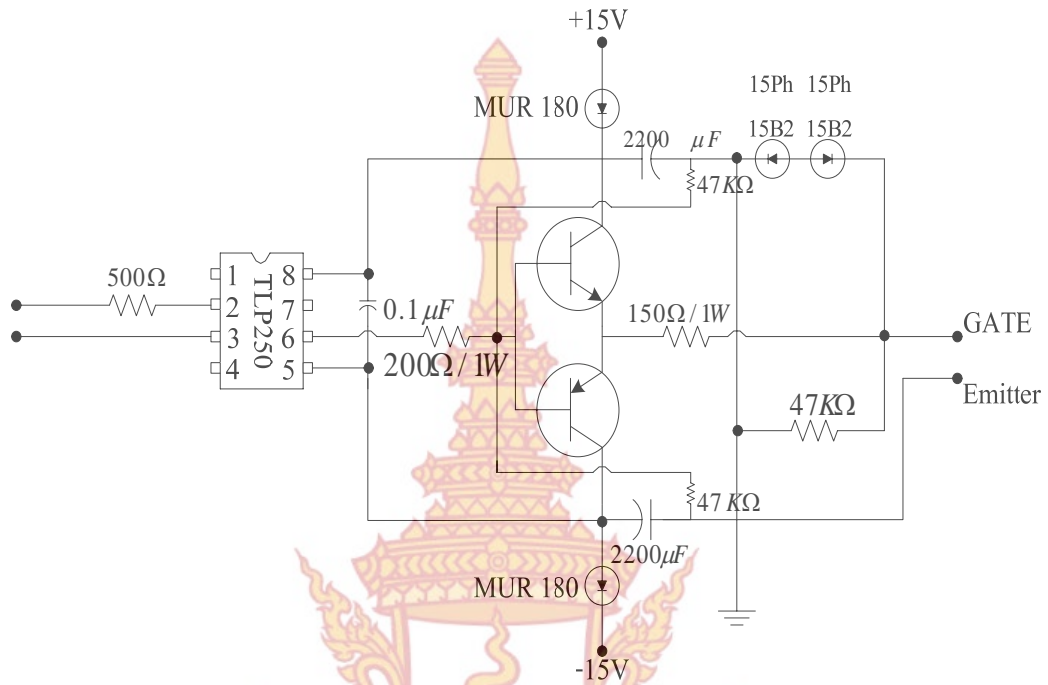
รูปที่ ข.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 16F628 ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็ม

2. ส่วนวงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัพท์หรือวงจรตรวจจับแรงดันศูนย์

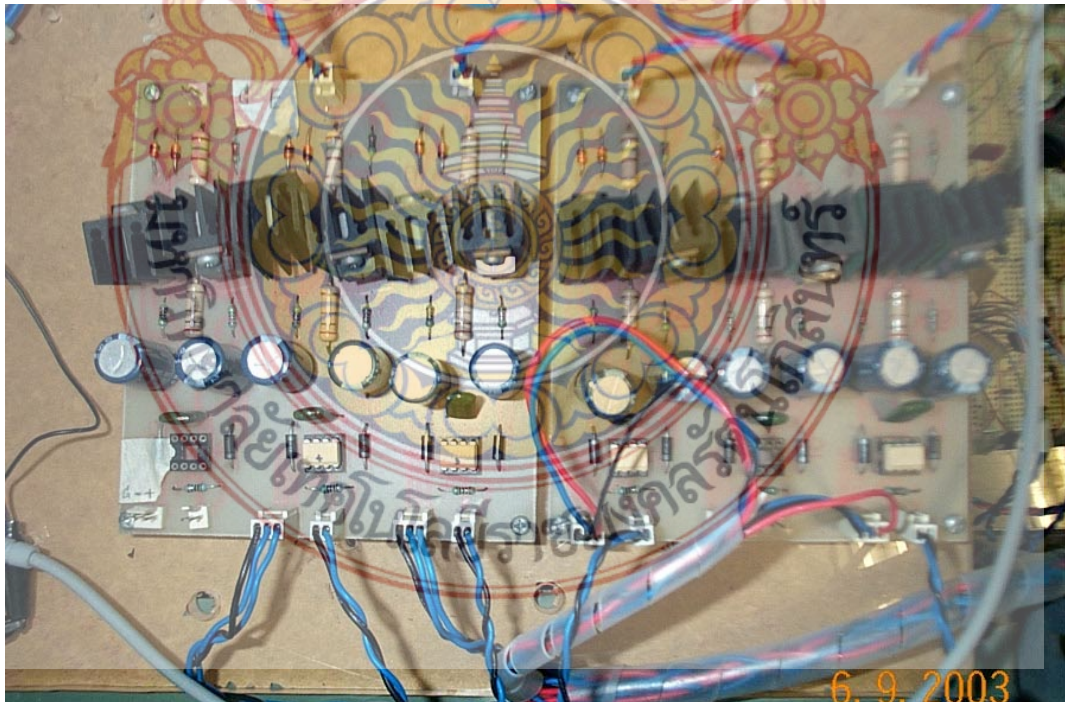


รูปที่ ข.2 วงจรตรวจจับสัญญาณศูนย์และวงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัพท์ให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์

3. ส่วนวงจรขับนำเกต

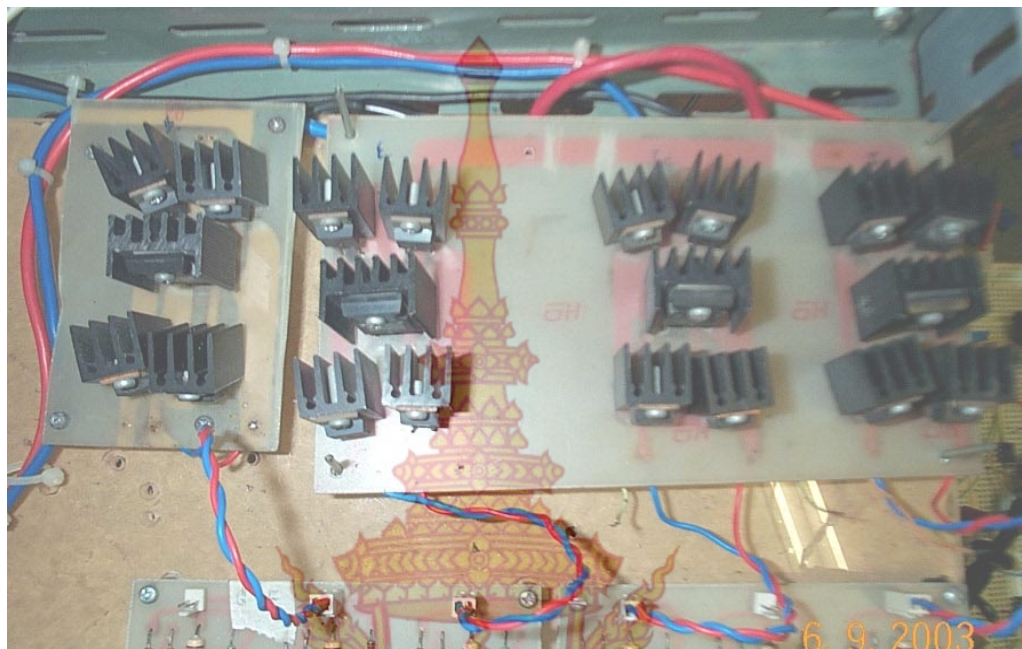


รูปที่ ข.3 วงจร Schematic ของวงจรขับนำเกตของสวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุด



รูปที่ ข.4 วงจรขับนำเกตของสวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุด

4. ส่วนชุดสวิตซ์สองทาง



รูปที่ ข.5 สวิตซ์สองทางที่ใช้ในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ทั้ง 4 ชุด

5. ส่วนแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่วงจรในส่วนต่างๆ



รูปที่ ข.6 แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแก่วงจรในแต่ละส่วน



ภาคผนวก ค

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

[1] ประสพโชค โห้ทองคำ, กิตติพงษ์ พุ่มโกชนา, สิทธิชัย บุญปิยทัศน์, ณรงค์ชัย ทศพร และครองยศ โพธิ์ชัย, “การทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36 (EECON-36) ณ เฟลิกซ์ ริเวอร์แคว รีสอร์ท จังหวัดกาญจนบุรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, วันที่ 11-13 ธันวาคม 2556



การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36

The 36th Electrical Engineering Conference (EECON 36)

11-13 ธันวาคม 2556

ณ เฟลิกซ์ รีเวอร์แคว รีสอร์ท จ.กาญจนบุรี



Volume 1

(PW) ไฟฟ้ากำลัง

(PE) อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

Electrical Engineering Dept.

Faculty of Engineering

Kasetsart University

50 Ngamwongwan Road Latyao

Chatuchak Bangkok 10900

Tel: 02-797-0999 ext 1503, 1504

Fax: 02-579-7566



L&E

silicon craft

ABB











ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

- ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) ดร.ประสพโชค โห้ทองคำ
ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Dr. Prasopchok Hothongkham
 - เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3740200047041
 - ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
 - หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
สถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก 78 หมู่ 4 ตำบลแคราย อำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร 74110
หมายเลขโทรศัพท์ 081-850-2305
โทรสาร e-mail: prasopchok.hot@mutr.ac.th, prasopchok_ho@yahoo.com
 - ประวัติการศึกษา
 - 2009 D.Eng (Electrical Engineering) KMITL
 - 2001 M.Eng (Electrical Engineering) KMITL
 - 1994 B.Eng (Electrical Engineering) SIAM University
 - สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการไฟฟ้ากำลัง อิเล็กทรอนิกส์กำลัง การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า และพลังงานทดแทน
 - ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ
 - หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย
หัวหน้าโครงการวิจัย : เครื่องล้างอุปกรณ์โดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก
หัวหน้าโครงการวิจัย : วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส
หัวหน้าโครงการวิจัย : ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์
หัวหน้าโครงการวิจัย : เครื่องผลิตก๊าซไอโซนแบบแรงดันไฟฟ้าสูง ความถี่สูง กำลังไฟฟ้าต่ำ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า
 - งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : (ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุนย้อนหลังไม่เกิน 5 ปี)
- [1] ประสพโชค โห้ทองคำ, และ ณรงค์ชัย ทศพร, “การศึกษาเปรียบเทียบเครื่องผลิตก๊าซไอโซนที่ใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ฟูลบริดจ์แบบพีดับบลิวเอ็มกับแบบพีดับบลิวเอ็มที่มีการเลื่อนเฟสได้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34(EECON-

- 34) วันที่ 26 – 28 ตุลาคม 2554 ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน พัทยา จ.ชลบุรี จัดโดย มหาวิทยาลัยสยาม
- [2] สมเกียรติ คงคะชาติ นพดล พวงมณี และ **ประสพโชค ให้ทองคำ** “การควบคุมกระแสในแกนชิงโครนีสและประยุกต์ใช้เทคนิคการมอดูเลตความกว้างพัลส์แบบสเปซเวคเตอร์อิงสัญญาณพาร์สำหรับวงจรกรองกำลังแอกตีฟ”, *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34 (EECON-34)* วันที่ 26 – 28 ตุลาคม 2554 ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน พัทยา จ.ชลบุรี จัดโดย มหาวิทยาลัยสยาม (Accepted)
- [3] **ประสพโชค ให้ทองคำ**, วิจิตร กิณเรศ, ปิตักันต์ รักราชการ และ ณรงค์ชัย ทศพร, “การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของแท่งอิเล็กโทรดสำหรับเครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง”, *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33 (EECON-33)* วันที่ 1 – 3 ธันวาคม 2553 ณ โรงแรมเซ็นทารา ดวงตะวัน จ.เชียงใหม่ จัดโดย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [4] สุดาพร อารัมรุณ **ประสพโชค ให้ทองคำ** และ วิจิตร กิณเรศ , “การประเมินสมรรถนะเครื่องผลิตก๊าซไอโซนแรงดันไฟฟ้าสูง ความถี่สูง กำลังไฟฟ้าต่ำ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟาร่วม”, *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33 (EECON-33)* วันที่ 1 – 3 ธันวาคม 2553 ณ โรงแรมเซ็นทารา ดวงตะวัน จ.เชียงใหม่ จัดโดย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [5] **ประสพโชค ให้ทองคำ**, วิจิตร กิณเรศ “การวัดค่าพารามิเตอร์ของชุดอิเล็กโทรดสำหรับเครื่องผลิตก๊าซไอโซน” *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32 (EECON-32)* วันที่ 28 – 30 ตุลาคม 2552 ณ โรงแรมทวาราวดี จ.ปราจีนบุรี จัดโดย มหาวิทยาลัยมหิดล
- [6] ปิตักันต์ รักราชการ, **ประสพโชค ให้ทองคำ** “การสร้างและทดสอบเครื่องล้างชิ้นส่วนโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก” *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7* วันที่ 21 – 22 พฤษภาคม 2552
- [7] **ประสพโชค ให้ทองคำ**, ปิตักันต์ รักราชการ, วิจิตร กิณเรศ “การวิเคราะห์วงจร 3-เฟส พีดับบลิวเอ็ม เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่น 6 พัลส์เชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ” *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 29 (EECON-29)* วันที่ 9 – 10 พฤศจิกายน 2549 ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ พัทยา จ.ชลบุรี จัดโดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี(คลองหก)
- [8] **ประสพโชค ให้ทองคำ**, วิจิตร กิณเรศ “การสังเคราะห์และออกแบบวงจร 3-เฟส พีดับบลิวเอ็ม เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่น 6 พัลส์” *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 29 (EECON-29)* วันที่ 9 – 10 พฤศจิกายน 2549 ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ พัทยา จ.ชลบุรี จัดโดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี(คลองหก)

- [9] วิโชค โห้ทองคำ “วงจรมetriกร์ชคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28 (EECON-28) วันที่ 20 - 21 ตุลาคม 2548 ณ โรงแรมเพิร์ล วิลเลจ จ.ภูเก็ต จัดโดย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายณรงค์ชัย ทศพร
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Narongchai Thodsaporn
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 366010059161
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มือถือ 086-6776736 e-mail: kknarongchai@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา

-	2000-2003	B.Eng (Electrical Engineering)	KMITL
-	2003-2007	M.Eng (Electrical Engineering)	KMITL
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
อิเล็กทรอนิกส์กำลัง
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพ
ในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละ
ข้อเสนอการวิจัย

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจ
มากกว่า 1 เรื่อง)

 1. ณรงค์ชัย ทศพร และวิจิตร กิณเรศ การออกแบบและวิเคราะห์อินเวอร์เตอร์พี
ดับบลิวเอ็มกึ่งเรโซแนนท์แบบขนาน สวิตซ์ขณะแรงดันเป็นศูนย์สำหรับการหุงต้มแบบเหนียวนา.
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 31 (EECON 31) 29-31 ตุลาคม 2551.
 2. ประสพโชค ให้อทองคำ, วิจิตร กิณเรศ และณรงค์ชัย ทศพร. การศึกษาปัจจัยที่มี
อิทธิพลต่อค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของแท่งอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับเครื่องกำเนิดก๊าซไอโซน
แรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (EECON 33) ครั้งที่ 33 โรงแรม
เซ็นทารา ดวงตะวัน จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 1-3 ธันวาคม 2553
 3. รัฐทาวุฒิ บริบูรณ์, วีระ ฉันทยาภิรักษ์, ณรงค์ชัย ทศพร และวิจิตร กิณเรศ การ
ออกแบบ วิเคราะห์และทดสอบสมรรถนะบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง
ด้วยวงจรวาลเลย์ฟิลสำหรับโหลดไอพรอทความดันสูง 250 วัตต์ ที่มีการควบคุมกำลังของ
โหลดไฟให้คงที่. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (EECON 33) ครั้งที่ 33 โรงแรมเซ็นทารา
ดวงตะวัน จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 1-3 ธันวาคม 2553