



การพัฒนาวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์เพื่อการขับเคลื่อน
มอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดสองเฟส



โดย

ประสพโชค โห้ทองคำ

สนับสนุนงบประมาณโดย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2557

Development of Matrix Converter for Two-phase Induction Motor Drives

By

Prasopchok Hothongkham



Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2014

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา (สวพ.) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัยจากงบประมาณประจำปี 2557 ซึ่งทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณประโยชน์ใดๆ อันพึงเกิดจากงานวิจัยฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบให้แก่ บิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านด้วยความเคารพยิ่ง

ประสพโชค ให้ทองคำ
มีนาคม 2558



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ :Inno007/2557
 ชื่อโครงการ :การพัฒนาวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์เพื่อการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ
 ชนิดสองเฟส
 ชื่อนักวิจัย :ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสพโชค โห้ทองคำ

โครงการนี้นำเสนอการสร้างและทดสอบวงจรเอชไอ-เอชไอ เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส ซึ่งใช้ชุดสวิตช์สองทิศทาง 4 ชุด ประกอบด้วย ไอจีบีที-ไดโอดกำลัง เป็นสวิตช์ตัดต่อในวงจรกำลังหลัก วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์นี้สามารถแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายแบบไซน์ซอชอยดอลหนึ่งเฟสไปเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบของคลื่นพีดับบลิวเอ็มที่สามารถปรับค่าได้ โดยการปรับค่าความถี่การสวิตช์ที่สัญญาณควบคุมและอัตราการมีอดดูเลชันของสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม โดยสามารถปรับอัตราการมีอดได้ที่ค่า 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ความถี่เอาท์พุทสามารถปรับได้ที่ค่า 12.5 เฮิร์ตซ์ 25 เฮิร์ตซ์ 50 เฮิร์ตซ์ และ 100 เฮิร์ตซ์ ที่จำนวนพัลส์ 3 และ 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล โดยทำการทดสอบกับโหลดตัวต้านทานขนาด 500 วัตต์ และตัวต้านทานขนาด 100 วัตต์ ต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำขนาด 1.0021 เฮนรี ผลการทดสอบได้ทำการวัดรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านอินพุทและเอาท์พุท รวมทั้งทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าอินพุทและเอาท์พุท ซึ่งประสิทธิภาพของวงจรมีค่าสูงสุดเท่ากับ 96%



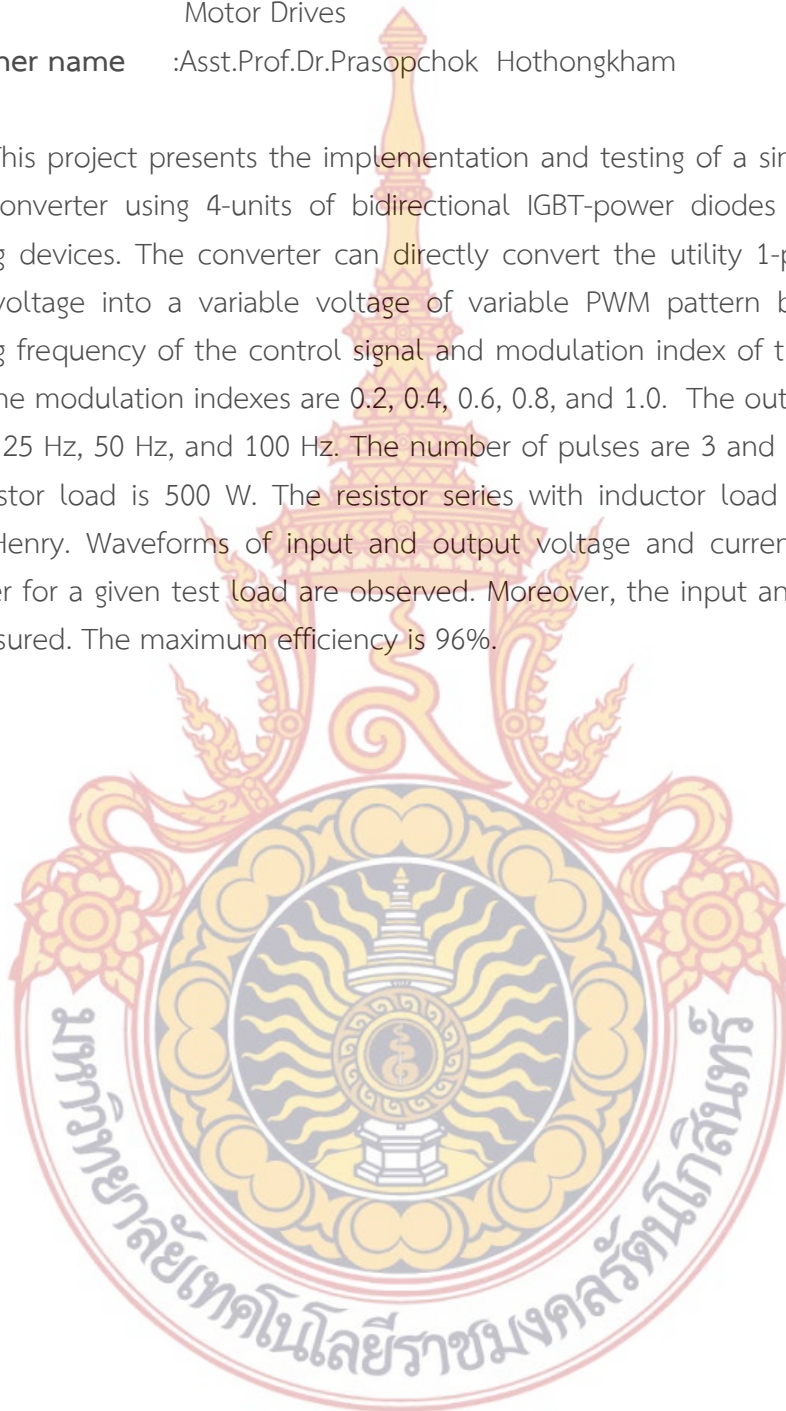
คำสำคัญ: เอชไอเอชไอคอนเวอร์เตอร์ เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ พีดับบลิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์

E-mail Address :prasopchok.hot@rmutr.ac.th, prasopchok_ho@yahoo.com
 ระยะเวลาโครงการ :เดือนตุลาคม 2556 – เดือนกันยายน 2557

Abstract

Code of Project :Inno007/2557
Project name : Development of Matrix Converter for Two-phase Induction Motor Drives
Researcher name :Asst.Prof.Dr.Prasopchok Hothongkham

This project presents the implementation and testing of a single phase ac-ac matrix converter using 4-units of bidirectional IGBT-power diodes as main power switching devices. The converter can directly convert the utility 1-phase sinusoidal supply voltage into a variable voltage of variable PWM pattern by adjusting the switching frequency of the control signal and modulation index of the PWM control signal. The modulation indexes are 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, and 1.0. The output voltages are 12.5 Hz, 25 Hz, 50 Hz, and 100 Hz. The number of pulses are 3 and 5 per half cycle. The resistor load is 500 W. The resistor series with inductor load are 100 W and 1.0021 Henry. Waveforms of input and output voltage and current of the matrix converter for a given test load are observed. Moreover, the input and output power are measured. The maximum efficiency is 96%.



Keywords: AC to AC Converter, Matrix Converter, PWM Converter

E-mail Address :prasopchok.hot@rmutr.ac.th, prasopchok_ho@yahoo.com
Period of project :October 2013 – September 2014

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
3. ขอบเขตของการวิจัย	4
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	4
5. ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย	4
6. นิยามศัพท์	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
1. บทนำ	6
2. หลักการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์	6
3. สรุปท้ายบท	9
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
บทที่ 3 วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์	11
1. บทนำ	11
2. โครงสร้างของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์	11
3. วงจรสร้างสัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็ม	12
4. การออกแบบสัญญาณพีดับลิวเอ็ม	12
5. วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าศูนย์	16
6. วงจรสร้างสัญญาณอินเตอร์รัพท์	17
7. วงจรคูณสัญญาณ	18
8. วงจรหารความถี่	19
9. วงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	22
1. สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ใช้ในโครงการ	22
2. การทดสอบกรณีโหลดตัวต้านทาน	38
3. การทดสอบกรณีโหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ	60
4. การทดลองวัดประสิทธิภาพของวงจร	82
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายและข้อเสนอแนะ	91
1. สรุปผลการวิจัย	91
2. การอภิปรายผล	91
3. ข้อเสนอแนะ	91
บรรณานุกรม	92
ภาคผนวก	95
ประวัติผู้วิจัย	103



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4-1 ผลการทดลองวงจรเอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์กับโหลดตัวต้านทาน จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	49
4-2 ผลการทดลองวงจรเอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์กับโหลดตัวต้านทาน จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	60
4-3 ผลการทดลองวงจรเอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์กับ โหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำจำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	71
4-4 ผลการทดลองวงจรเอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์กับ โหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำจำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	82
4-5 การทดลองวัดประสิทธิภาพของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์กับ โหลดตัวต้านทานจำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	83
4-6 การทดลองวัดประสิทธิภาพของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์กับ โหลดตัวต้านทานจำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	85
4-7 การทดลองวัดประสิทธิภาพของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์กับ โหลดตัวต้านทาน – ตัวเหนี่ยวนำจำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	87
4-8 การทดลองวัดประสิทธิภาพของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์กับ โหลดตัวต้านทาน – ตัวเหนี่ยวนำจำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	89



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเก่าและวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่นำเสนอในงานวิจัย	2
2.1	วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 1-เฟส	6
2.2	การไหลของกระแสในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์	7
2.3	โหมดการทำงานที่ 1 และ 2 ของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์	8
3-1	แผนผังของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์	11
3-2	วงจรที่ต่อใช้งานของ dsPIC30F2010	12
3-3	การออกแบบสัญญาณพีดับลิวิตี 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	13
3-4	การออกแบบสัญญาณพีดับลิวิตี 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	15
3-5	วงจรตรวจจับแรงดันศูนย์	17
3-6	วงจรโมโนสเตเบิล	18
3-7	ลักษณะของสัญญาณอินเทอร์รัพท์ที่ได้มาจากสัญญาณแรงดันไฟไลน์	18
3-8	วงจรคูณสัญญาณ	19
3-9	วงจรหารความถี่	19
3-10	วงจรเอซีเอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส	20
3-11	ลักษณะสวิตช์สองทิศทาง	20
3-12	การทำงานของสวิตช์สองทิศทาง	21
4-1	สัญญาณพีดับลิวิตีความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	23
4-2	สัญญาณพีดับลิวิตีความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	25
4-3	สัญญาณพีดับลิวิตีความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	27
4-4	สัญญาณพีดับลิวิตีความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	29
4-5	สัญญาณพีดับลิวิตีความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	31
4-6	สัญญาณพีดับลิวิตีความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	33
4-7	สัญญาณพีดับลิวิตีความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	35
4-8	สัญญาณพีดับลิวิตีความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	37
4-9	สัญญาณพีดับลิวิตีความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ อัตราการมอด 0.2 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	39
4-10	สัญญาณพีดับลิวิตีความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ อัตราการมอด 0.4 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	39
4-11	สัญญาณพีดับลิวิตีความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ อัตราการมอด 0.6 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	40
4-12	สัญญาณพีดับลิวิตีความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ อัตราการมอด 0.8 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	40
4-13	สัญญาณพีดับลิวิตีความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ อัตราการมอด 1.0 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-82	สัญญาณพีดับบลิวเอ็มความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.8 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	79
4-83	สัญญาณพีดับบลิวเอ็มความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 1.0 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	79
4-84	สัญญาณพีดับบลิวเอ็มความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.2 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	80
4-85	สัญญาณพีดับบลิวเอ็มความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.4 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	80
4-86	สัญญาณพีดับบลิวเอ็มความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.6 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	81
4-87	สัญญาณพีดับบลิวเอ็มความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.8 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	81
4-88	สัญญาณพีดับบลิวเอ็มความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 1.0 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	81
4-89	กราฟประสิทธิภาพของวงจรมีอดทดสอบกับโหลดตัวต้านทาน จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	84
4-90	กราฟประสิทธิภาพของวงจรมีอดทดสอบกับโหลดตัวต้านทาน จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	86
4-91	กราฟประสิทธิภาพของวงจรมีอดทดสอบกับโหลดตัวต้านทาน- ตัวเหนี่ยวนำ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	88
4-92	กราฟประสิทธิภาพของวงจรมีอดทดสอบกับโหลดตัวต้านทาน- ตัวเหนี่ยวนำ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล	90
4-93	วงจรมีอดซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส	90

บทที่ 1

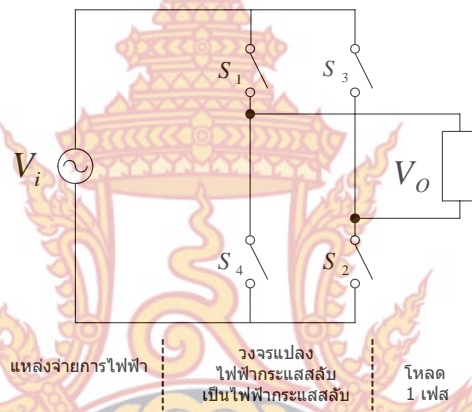
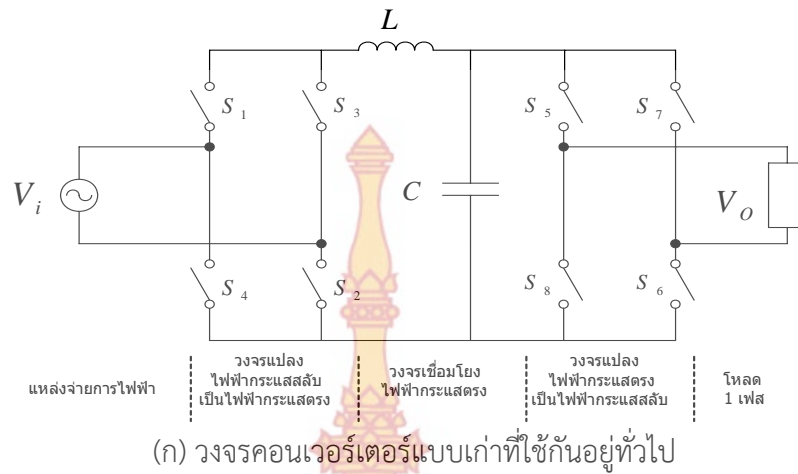
บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสไม่ว่าเป็นมอเตอร์ชนิดแยกเฟส (Split-Phase Motors) มอเตอร์ชนิดเริ่มต้นหมุนด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor-Start Motors) มอเตอร์ชนิดหมุนด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor-Run Motors) และมอเตอร์ชนิดเริ่มต้นหมุนและหมุนด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor-Start Capacitor-Run Motors) ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายกับสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ในที่อยู่อาศัย อาคารพาณิชย์ หรือสำนักงานต่าง ๆ อาทิเช่น เครื่องซักผ้า ตู้เย็น พัดลม และเครื่องปรับอากาศ นอกจากนี้ยังมีการใช้งานในอุตสาหกรรมครัวเรือนที่ใช้ระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส เช่น จักรเย็บผ้าอุตสาหกรรม เครื่องเจาะขนาดเล็ก และปั้มน้ำ เป็นต้น อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงเทคโนโลยีระบบควบคุมการทำงานของมอเตอร์ดังกล่าวในระดับของการค้นคว้าวิจัยโดยเฉพาะอย่างยิ่งภายในประเทศนักวิจัยในสาขาที่เกี่ยวข้องยังให้ความสำคัญน้อยมาก นอกจากนี้ในส่วนของภาคอุตสาหกรรมยังต้องพึ่งพาและนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ส่งผลทำให้ประเทศต้องชาติต้องสูญเสียเงินตรา ขาดดุลการค้าให้กับต่างชาติและภาคอุตสาหกรรมยังขาดความเข้มแข็งอีกด้วย

จากข้อมูลเบื้องต้นเห็นได้ว่าการพัฒนาเทคโนโลยีด้านระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส เป็นสิ่งที่น่าสนใจและท้าทายเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะหากมองในมุมของการพัฒนาเพื่อการลงทุนในเชิงพาณิชย์ การพึ่งพิงตนเอง ลดการนำเข้าเทคโนโลยี การประหยัดเงินตราต่างประเทศ และการสร้างความเข้มแข็งให้กับภาคการผลิตของประเทศ ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้นอกจากได้ให้ความสนใจในเรื่องการสร้างองค์ความรู้ใหม่และการเชื่อมโยงเทคโนโลยีไปสู่ภาคการผลิต นอกจากนี้ยังให้ความสำคัญในการพัฒนาระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสที่คำนึงถึงการประหยัดพลังงานอีกด้วย

จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้น โครงการวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการพัฒนาการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส โดยได้ดัดแปลงโครงสร้างของมอเตอร์ให้ทำงานเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟส และทำการพัฒนาระบบควบคุมระบบ ที่สอดคล้องกับความต้องการประยุกต์ใช้งานมอเตอร์ในลักษณะต่างๆ เช่น ปั้มน้ำ ตู้เย็น และพัดลม เป็นต้น และเป็นการนำวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับได้โดยตรง ซึ่งแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตสามารถปรับขนาดแรงดันไฟฟ้าและความถี่ได้โดยตรงมาแทนวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเก่าเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตที่สามารถปรับได้ทั้งความถี่และแรงดันไฟฟ้าเพื่อทำการจ่ายไปยังโหลดโดยที่ในวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเก่าสามารถกระทำได้โดยใช้วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และแปลงไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับหรือวงจรเอซี-ดีซี-เอซี คอนเวอร์เตอร์ซึ่งเป็นรูปแบบทั่วไป ซึ่งยังคงใช้กันอยู่ในปัจจุบันแสดงได้ดังรูปที่ 1.1 (ก)



ภาพที่ 1.1 วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเกาและวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่นำเสนอในงานวิจัย

จากภาพที่ 1.1 (ก) เป็นวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเกา มีส่วนประกอบหลักอยู่ด้วยกัน 3 ส่วน กล่าวคือ ส่วนที่หนึ่งจะเป็นวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (AC-DC) และส่วนที่สองจะเป็นวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (DC-AC) ที่สามารถปรับได้ทั้งขนาดแรงดันไฟฟ้าและความถี่ ซึ่งในระหว่างวงจรส่วนที่หนึ่งและสองนั้นจะพบว่าเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นในส่วนนี้จึงจำเป็นต้องใช้ส่วนเชื่อมโยงที่เรียกว่า วงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงหรือส่วนดีซีลิงค์ (DC-Link) ซึ่งประกอบด้วย ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ จากลักษณะโครงสร้างของวงจรในแบบเกานี้ พบว่ามีการแปลงพลังงานไฟฟ้าถึง 2 ขั้นตอน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนของการแปลงพลังงานไฟฟ้าจะเกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าขึ้นในวงจรของแต่ละขั้นตอนการแปลงพลังงานไฟฟ้า ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าถึง 2 ขั้นตอนในการแปลงพลังงานไฟฟ้า นอกจากนั้นยังพบว่าในส่วนของวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงหรือส่วนดีซีลิงค์ (DC-Link) มีปัญหาในการใช้งานอยู่บางประการ คือ ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำที่ใช้มีขนาดใหญ่ ทำให้ขนาดและน้ำหนักของวงจรคอนเวอร์เตอร์มาก อีกทั้งในกรณีที่มีการคืนพลังงานไฟฟ้าจากด้านโหลดเพื่อป้อนกลับเข้าไปยังแหล่งจ่ายการไฟฟ้าในปริมาณครั้งละมากๆ ไม่สามารถกระทำได้ เพราะเกิดการสะสมพลังงานไฟฟ้าจากด้านโหลดเพื่อมาเก็บไว้ที่ตัวเก็บประจุในรูปของแรงดันไฟฟ้าในปริมาณไม่มากนักแต่จะมีปริมาณที่จำกัดอยู่เพียงระดับ

หนึ่งทั้งนี้เนื่องจากตัวเก็บประจุมีพิกัดของแรงดันไฟฟ้าที่จำกัดอยู่เพียงค่าเดียวทำให้การคืนพลังงานไฟฟ้าจากด้านโหลดไปยังด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้าไม่สามารถกระทำได้ในปริมาณมากๆ นอกจากนั้นตัวเก็บประจุดังกล่าวยังมีปัญหาเรื่องของการสูญเสียของพลังงานไฟฟ้าที่เก็บสะสมอยู่ด้วยเพราะต้องทำการคายประจุที่เก็บสะสมออกไปเพื่อพยายามรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ภายในค่าพิกัดของตัวเก็บประจุ ซึ่งในทุกครั้งที่กระทำการปลดคาย (Discharge) พลังงานไฟฟ้าส่วนเกินนี้ทั้งด้วยวิธีการต่างๆ เป็นการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าไปโดยเสียประโยชน์

ด้วยเหตุนี้จึงเกิดแนวความคิดที่จะกำจัดข้อเสียเหล่านี้โดยใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายการไฟฟ้าให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับได้โดยตรงโดยไม่ต้องใช้ส่วนเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงอีกทั้งเป็นการแปลงพลังงานไฟฟ้าเพียงขั้นตอนเดียวทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในวงจรเพียงขั้นตอนเดียวซึ่งจะดีกว่าวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเก่า ลักษณะคลื่นเอาท์พุทของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบใหม่ที่น่าเสนอนั้นยังคงเหมือนกับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเก่าและยังสามารถทำการปรับได้ทั้งขนาดของแรงดันไฟฟ้าและความถี่เพื่อจ่ายให้กับโหลดโดยตรง โดยอาศัยอุปกรณ์สวิตช์กำลังที่ทำการ On-Off ด้วยสัญญาณพัลส์(สัญญาณพัลส์ที่ใช้เรียกว่า สัญญาณพีดับบลิวเอ็ม : Pulse Width Modulation : PWM) ที่จ่ายให้กับอุปกรณ์สวิตช์กำลังเพื่อทำหน้าที่ตัดต่อให้ได้ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีคลื่นเอาท์พุทในลักษณะตามความต้องการได้ โดยเรียกว่า วงจร เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ (Matrix Converter) ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 4.1 (ข) อุปกรณ์สวิตช์กำลังที่นำมาใช้ในวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบนี้จะมีคุณสมบัติและลักษณะการทำงานแบบให้กระแสไหลได้ทั้งสองทิศทางเรียกว่า อุปกรณ์สวิตช์กำลังสองทิศทาง(Bidirectional Switch) ซึ่งจะนำมาต่อเชื่อมกันในลักษณะของเมตริกซ์ วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์แบบใหม่ที่น่าเสนอยังคงมีคุณสมบัติต่างๆ เหมือนกับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบที่ใช้งานทั่วไป แต่จะมีข้อได้เปรียบที่ไม่มีส่วนวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง (DC-Link) รวมทั้งในกรณีนี้ยังสามารถให้การไหลของพลังงานไฟฟ้าระหว่างแหล่งจ่ายกับโหลดเป็นไปอย่างสะดวก และไม่เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าขึ้น ซึ่งจะเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เกิดประโยชน์ได้สูงสุด

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 2.1 เพื่อศึกษาการทำงานและทำการสร้างวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์เครื่องต้นแบบ
- 2.2 เพื่อนำวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นไปทดสอบกับโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดสองเฟสขนาด 1 kW ได้
- 2.3 เพื่อทำการวิเคราะห์ระบบการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดสองเฟสได้
- 2.4 เพื่อทำการทดสอบและวิเคราะห์คุณลักษณะของระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดสองเฟสที่ใช้วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ได้

3. ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อทำการศึกษา วิเคราะห์ระบบการทำงาน รวมทั้งศึกษาคุณลักษณะต่างๆ ของระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดสองเฟสโดยใช้วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ พร้อมทำการออกแบบวิเคราะห์การทำงาน และสร้างวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์เครื่องต้นแบบที่สามารถนำไปขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดสองเฟสได้

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

4.1 สามารถทำการลดขั้นตอนในการแปลงพลังงานไฟฟ้าของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเก่าที่มีการแปลงพลังงานไฟฟ้า 2 ขั้นตอน คือ แปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและแปลงจากไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับให้เหลือเพียงขั้นตอนเดียว คือ จากไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยตรง

4.2 สามารถกำจัดส่วนวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงหรือส่วนวงจรดีซีลิงค์ (DC-Link) ซึ่งประกอบด้วย ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ ที่มีขนาดใหญ่ในส่วนวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงออกไป

4.3 สามารถนำวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นมาใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟสเพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆต่อไป

4.4 ข้อมูลและความรู้ต่างๆที่ได้จากการวิจัยนี้จะสามารถเผยแพร่เป็นข้อมูลและความรู้ให้กับหน่วยงานด้านอุตสาหกรรม และบริษัทที่มีการนำเทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังมาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม เช่น ด้านการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เป็นต้น

4.5 สามารถนำผลงานวิจัยนี้ไปตีพิมพ์เผยแพร่ได้

5. ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

5.1 เริ่มต้นจากดำเนินการศึกษาและวิเคราะห์การทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์โดยทำการพิจารณาแยกโหมดการทำงานออกเป็นในแต่ละโหมดการทำงาน พร้อมทั้งศึกษาหลักการการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดสองเฟส

5.2 ดำเนินการออกแบบสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่จะใช้กับวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ โดยกำหนดเงื่อนไขของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มให้มีจำนวนพัลส์ ความถี่ และอัตราการมอดต่างๆ

5.3 ดำเนินการศึกษาคูณลักษณะของคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาท์พุทของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ โดยพิจารณาที่เงื่อนไขของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่มีจำนวนพัลส์ ความถี่ และอัตราการมอดต่างๆ ตามที่ได้ทำการออกแบบไว้

5.4 ดำเนินการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มตามที่ได้ออกแบบไว้และจากการใช้โปรแกรมการจำลองวงจรไฟฟ้า โดยดำเนินการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มตามเงื่อนไขของจำนวนพัลส์ ความถี่ และอัตราการมอดต่างๆ ตามที่ได้ทำการออกแบบไว้แล้ว เพื่อใช้เป็นสัญญาณควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์กำลังต่อไป

5.5 ดำเนินการออกแบบส่วนวงจรที่ใช้ในการขับนำอุปกรณ์สวิตซ์กำลัง พร้อมกับสร้างส่วนอุปกรณ์สวิตซ์กำลังในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ทั้งหมด พร้อมทำการทดสอบการทำงานของวงจร

ทั้งระบบ คือ ทำการจ่ายสัญญาณพีดับบลิวเอ็มไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิทช์กำลังให้เป็นไปตามหลักการทำงานที่ถูกต้อง เพื่อเตรียมการทดสอบกับโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟสต่อไป

5.6 ดำเนินการทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์เครื่องต้นแบบที่ออกแบบและสร้างขึ้นกับโหลดแบบพาสซีฟเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองวงจรโดยใช้โปรแกรมการจำลองวงจรไฟฟ้าเพื่อยืนยันความถูกต้อง (พร้อมทั้งทำการแก้ไขถ้าเกิดปัญหา)

5.7 ดำเนินการศึกษาและวิเคราะห์คุณลักษณะของระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดสองเฟสโดยใช้วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่เงื่อนไขของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่จำนวนพัลส์ ความถี่ และอัตราการมอดต่างๆ

5.8 สุดท้ายดำเนินการสรุปผลการทดสอบ และดำเนินการเขียนรายงานการวิจัยเสนอทางมหาวิทยาลัย

6. นิยามศัพท์

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

Matrix Converter = วงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันไฟฟ้าและความถี่ของแรงดันไฟฟ้าด้านออกได้ โดยที่การต่อของสวิทช์ในวงจรมีลักษณะการต่อแบบเมตริกซ์ 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

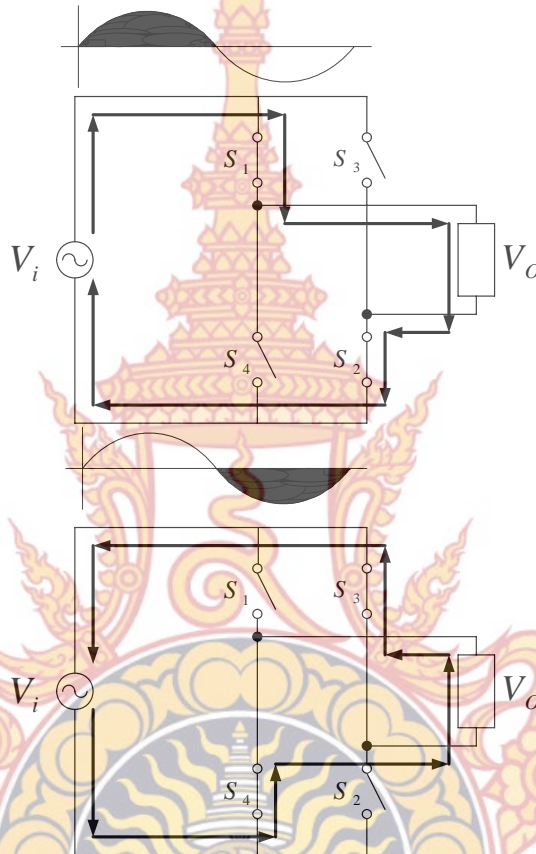
วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส มีโครงสร้างของวงจรประกอบด้วยสวิตช์ 4 ชุด คือ $S_1 - S_4$ มาต่อกันในลักษณะของเมตริกซ์แสดงได้ดังภาพที่ 2.1 โดยไฟฟ้ากระแสสลับอินพุตมีค่าแรงดันและกระแสเท่ากับ $v_{in}(t)$ และ $i_{in}(t)$ ทำการจ่ายให้กับสวิตช์ 4 ชุด ทำหน้าที่ตัดต่อให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตที่มีค่าแรงดันและกระแสเท่ากับ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



ภาพที่ 2.1 วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 1-เฟส



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



(ก) การไหลของกระแสในซีกบวกของแรงดันอินพุท (ข) การไหลของกระแสในซีกลบของแรงดันอินพุท
ภาพที่ 2.2 การไหลของกระแสในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส ที่นำเสนอในภาพที่ 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 $v_o(t)$

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

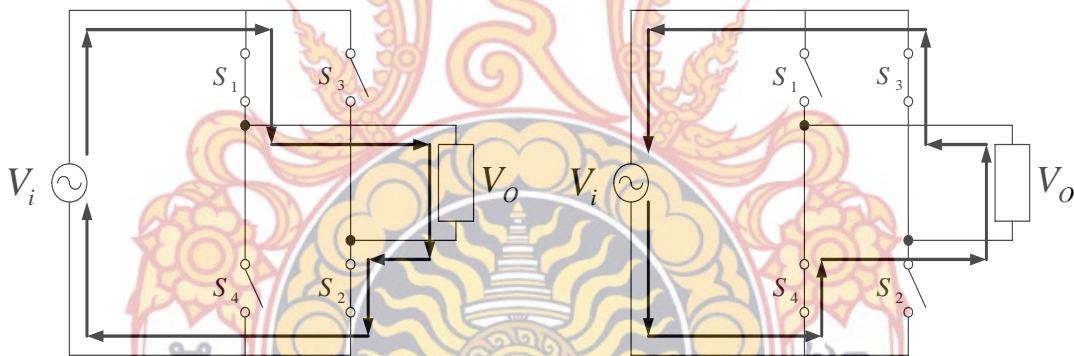
สวิตช์ทั้ง 4 ชุด ที่ทำหน้าที่ตัดต่อวงจร มีลักษณะการทำงานของสวิตช์แต่ละชุด เพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตตามที่ต้องการ ดังนี้

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

และค่ากระแสอินพุตจะมีค่าเท่ากับ

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

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



(ก) โหมดการทำงานที่ 1

(ข) โหมดการทำงานที่ 2

ภาพที่ 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 (หรือค่าดิวตี้ไซเคิล (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 ซึ่งคำนวณได้ตามสมการข้างต้นตั้งได้กล่าวไปแล้ว ซึ่งสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มจากการคำนวณนี้ จะนำไปใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวประมวลผลเพื่อสร้างสัญญาณพัลส์พีดับบลิวเอ็มออกมา เพื่อนำไปใช้ในขับนำสวิตช์แต่ละชุดในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์เครื่องต้นแบบต่อไป

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดสองเฟสได้มีการนำมาประยุกต์ใช้งานค่อนข้างมาก โดยที่ความเร็วเชิงโรตอร์สของโรเตอร์ถูกควบคุมโดยจำนวนโพลและความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า สมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดสองเฟสที่ถูกขับเคลื่อนด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์ตามเอกสารอ้างอิง [1] แต่อย่างไรก็ตาม

วงจรอินเวอร์เตอร์ในเอกสารอ้างอิง [1] สามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดสองเฟสได้โดยการคงที่ความถี่ของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่จ่ายโดยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนการควบคุมความถี่จะใช้หลักการของการควบคุมมุมเฟส(Phase-difference angle control) และเทคนิคสัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบเลือกการกำจัดฮาร์โมนิก (Selected Harmonic Elimination PWM technique) ตามเอกสารอ้างอิง [2, 3] เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่คงที่ตลอดย่านความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป ในเอกสารอ้างอิง [4] จะใช้วงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟสในการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดสองเฟสโดยใช้อุปกรณ์สวิตซ์ทั้งหมด 6 ตัว

หลักการวงจรคอนเวอร์เตอร์มีหลากหลายชนิดแตกต่างกัน [5] วงจรเอซี-เอซีคอนเวอร์เตอร์ได้มีการนำมาใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำมากมาย ซึ่งวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดนี้ได้มีการนำมาใช้อย่างหลากหลายเป็นที่นิยมเนื่องจากความสามารถของอุปกรณ์สวิตซ์[6] ซึ่งในปัจจุบันได้มีอุปกรณ์สวิตซ์ที่มีความซับซ้อนในทางโครงสร้างมากยิ่งขึ้น [7, 8]

วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ถูกนำเสนอครั้งแรกในปี 1979 โดย Gyugyi และ Pelly [9, 10] หลักการของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ถูกนำเสนอเป็นหลักการทางคณิตศาสตร์ โดย Venturini และ Alessina [10, 11] ซึ่งวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการลดส่วน DC link ในวงจรอินเวอร์เตอร์ถูกนำเสนอโดย Ziogas [12, 13] แต่อย่างไรก็ตามมีปริมาณงานวิจัยค่อนข้างน้อยที่ทำการประยุกต์ใช้วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์เพื่อการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดสองเฟส ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดสองเฟสด้วยวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งจะทำการพิจารณาถึงคุณลักษณะต่างๆ ของระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดสองเฟส โดยจะทำการวิเคราะห์การทำงาน ออกแบบ และสร้างระบบขับเคลื่อนนี้ขึ้น หลังจากนั้นจะทำการทดสอบเพื่อทำการวัดรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าทั้งด้านอินพุตและเอาต์พุต รวมทั้งวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และสเปกตรัมฮาร์โมนิก ของระบบขับเคลื่อนนี้



บทที่ 3

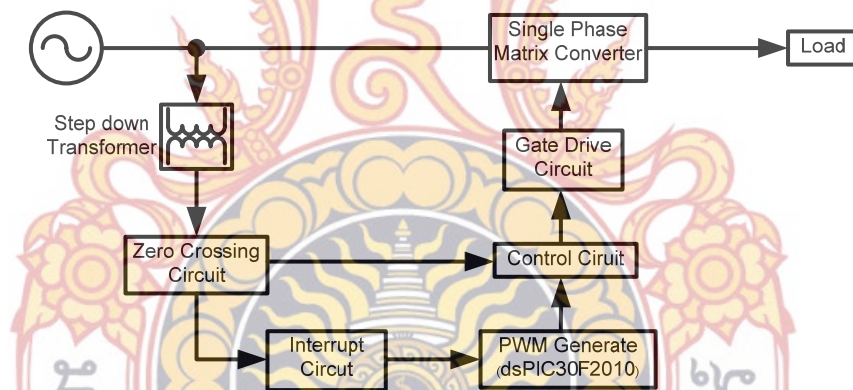
วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

1. บทนำ

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

2. โครงสร้างของวงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส

โครงสร้างของวงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสสามารถออกแบบและสร้างขึ้นมีรายละเอียดในส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.1 แผนผังของวงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส

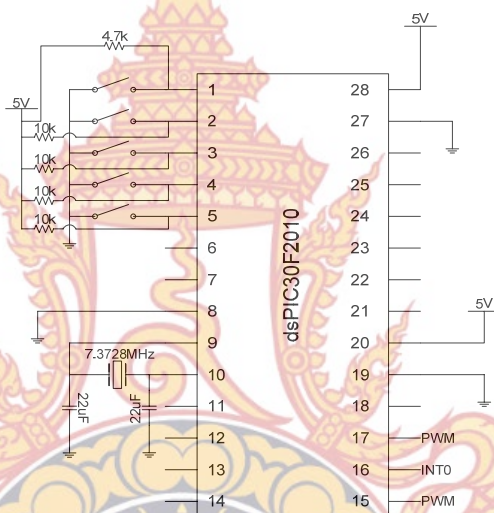
ในภาพที่ 3.1 เป็นโครงสร้างโดยรวมของวงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส ซึ่งสามารถแยกออกเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

1. วงจรส่วนสร้างสัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็ม (PWM Generate)
2. วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าศูนย์ (Zero Crossing Voltage Detector Circuit)
3. วงจรสร้างสัญญาณอินเตอร์รัพท์ (Interrupt Circuit)
4. วงจรควบคุม (Control Circuit)
5. วงจรขับเกต (Gate Drive Circuit)
6. วงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส (Single-Phase AC-AC Matrix Converter)

3. วงจรสร้างสัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็ม (PWM Generate)

วงจรสร้างสัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็มได้สร้างขึ้นจากไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC30F2010 จากแต่ละค่าความถี่สวิตช์ ซึ่งได้ใช้ค่าความถี่สวิตช์ (Switching Frequency; f_s) เท่ากับ 12.5 เฮิรตซ์ 25 เฮิรตซ์ 50 เฮิรตซ์ และ 100 เฮิรตซ์ โดยการเก็บข้อมูลของสัญญาณพีดับลิวเอ็มจะเก็บในลักษณะเป็นตารางในหน่วยความจำของไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC30F2010 แล้วให้ไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC30F2010 ทำการอ่านค่าข้อมูลจากตารางข้อมูลส่งออกจากพอร์ทของไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC30F2010

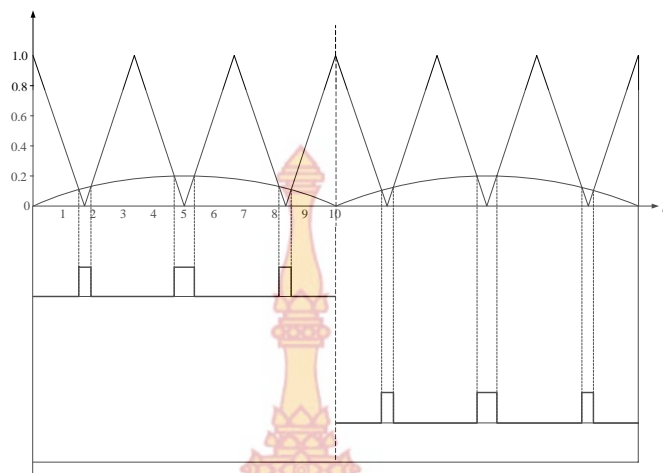
การต่อไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC30F2010 สามารถต่อได้ดังภาพที่ 3.2 โดยการต่อตัวต้านทานที่สวิตช์แต่ละตัวนั้นเพื่อที่จะทำหน้าที่เป็นลอจิก 1 ซึ่งหากสับสวิตช์ลงกราวด์จะเป็นลอจิก 0 ตามเงื่อนไขของไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC30F2010



ภาพที่ 3.2 วงจรที่ต่อใช้งานของ dsPIC30F2010

4. การออกแบบสัญญาณพีดับลิวเอ็ม

ในการออกแบบสัญญาณพีดับลิวเอ็มนั้นทำการออกแบบโดยที่ไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC30F2010 ทำการสร้างสัญญาณตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยหลักการทำงาน คือ สร้างสัญญาณไซน์ขึ้นมาหนึ่งชุดจากนั้นรับเอาสัญญาณสามเหลี่ยมจาก IC555 ไปทำการเปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้ากับสัญญาณไซน์จาก dsPIC30F2010 จะได้สัญญาณพีดับลิวเอ็ม ที่อัตราการมอดต่างๆ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.3 และ 3.4



(ก) อัตราการมีอดที่ 0.2

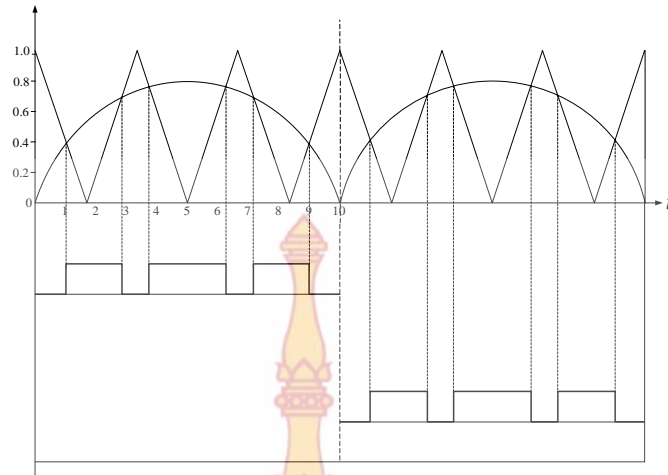


(ข) อัตราการมีอดที่ 0.4

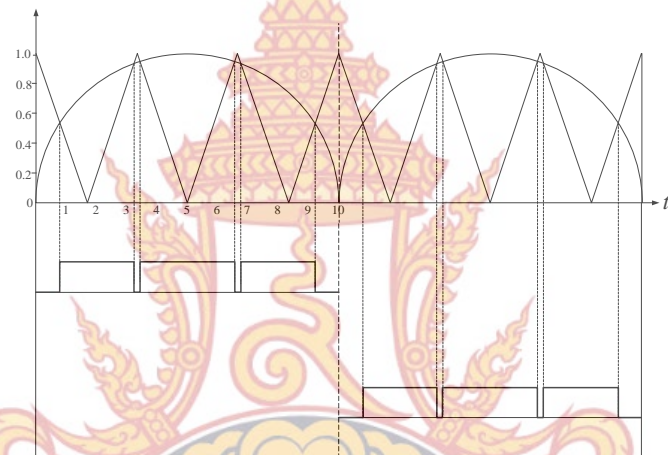


(ค) อัตราการมีอดที่ 0.6

ภาพที่ 3.3 การออกแบบสัญญาณพีดับลิวเอ็ม 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



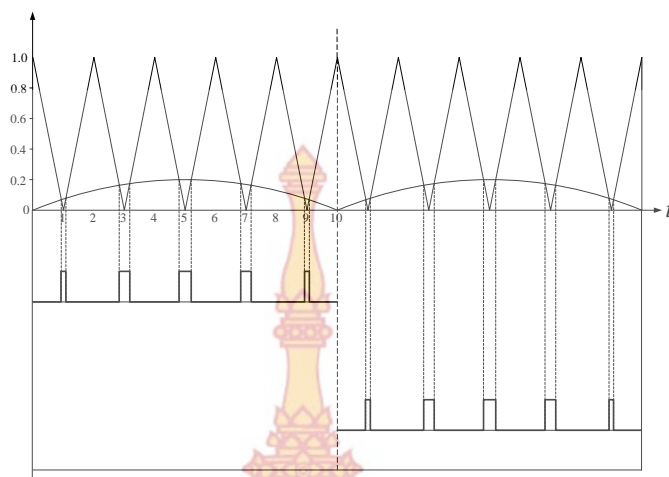
(ง) อัตราการมอดที่ 0.8



(จ) อัตราการมอดที่ 1.0

ภาพที่ 3.3 การออกแบบสัญญาณพัลส์ลิวเอ็ม 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล (ต่อ)





(ก) อัตราการมีอดที่ 0.2

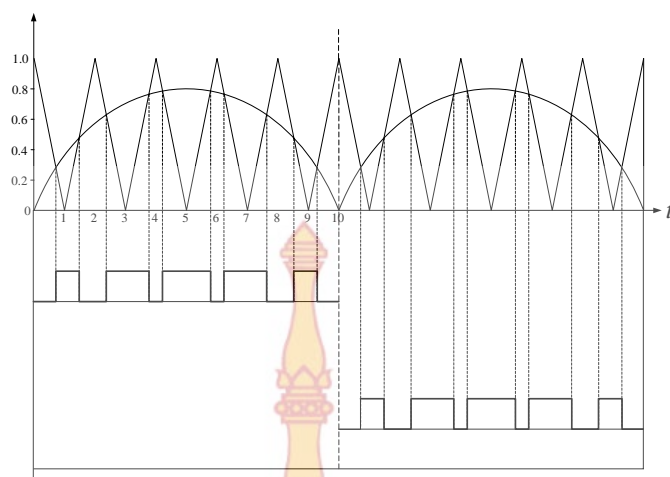


(ข) อัตราการมีอดที่ 0.4

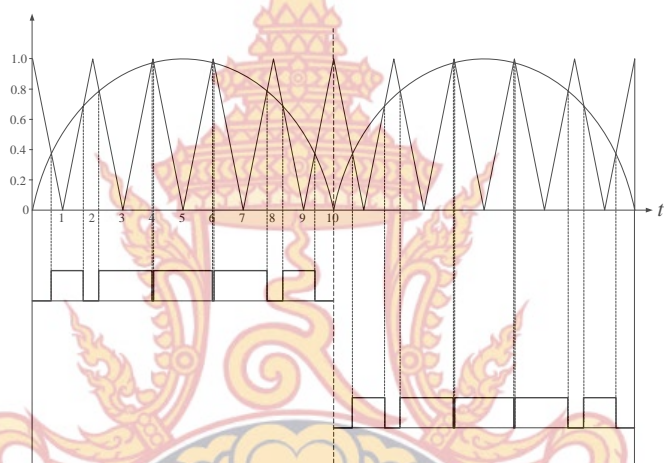


(ค) อัตราการมีอดที่ 0.6

ภาพที่ 3.4 การออกแบบสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ง) อัตราการมอดที่ 0.8



(จ) อัตราการมอดที่ 1.0

ภาพที่ 3.4 การออกแบบสัญญาณพีดีบีลิวเอ็ม 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล (ต่อ)

5. วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าศูนย์ (Zero Crossing Voltage Detector Circuit)

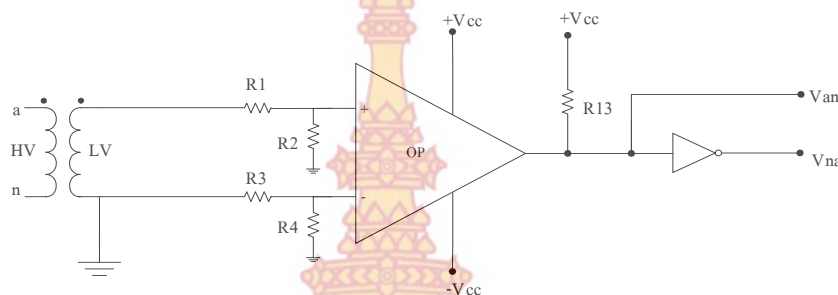
ในส่วนของวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าศูนย์จะประกอบด้วยวงจรอีก 2 ส่วน คือวงจรส่วนที่ทำหน้าที่แยกกราวด์ระหว่างไฟไลน์กับไฟเลี้ยงในวงจรสัญญาณต่างๆ และวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าศูนย์

5.1. วงจรแยกกราวด์ (Ground Separated)

เพื่อป้องกันการเสียหายของวงจรสัญญาณต่างๆ อันเนื่องจากการผิดปกติของสัญญาณไฟไลน์ การไฟฟ้าจึงต้องทำการแยกกราวด์ของสัญญาณไฟไลน์กับไฟเลี้ยงของวงจรควบคุมการแยกกราวด์นี้ จะใช้หม้อแปลงทำการลดระดับแรงดันไฟฟ้าจาก $220 V_{rms}$ ลงมาเหลือ $6 V_{rms}$ ดังนั้น จะได้สัญญาณไฟไลน์ที่มีลักษณะที่ซิงโครนัสกับไฟไลน์การไฟฟ้า

5.2. วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าศูนย์ (Zero Crossing Voltage Detector)

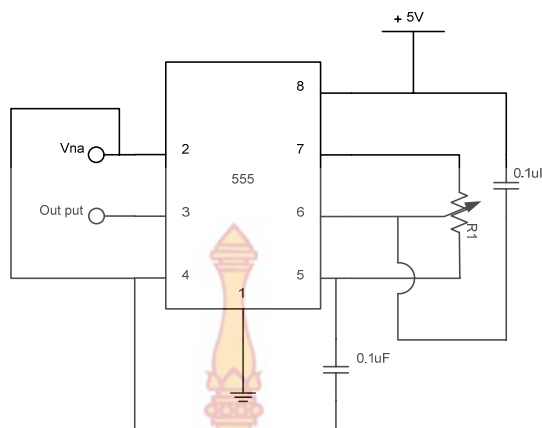
วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าศูนย์ทำหน้าที่ตรวจจับตำแหน่งแรงดันไฟฟ้าศูนย์โวลต์ของไฟเอซีไลน์ โดยจะนำสัญญาณไฟเอซีที่ได้จากการลดระดับลงมาแล้วจากวงจรแยกกราวด์มาผ่านวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้าซึ่งจะได้สัญญาณพัลส์ที่มีความสัมพันธ์กับไฟเอซีไลน์ซึ่งลักษณะวงจรได้แสดงดังภาพที่ 3.5 และสัญญาณที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบจะนำไปเป็นสัญญาณอินพุตให้แก่วงจรโมนอสเตเบิล เพื่อให้ได้สัญญาณอินเทอร์รัพท์แบบนอนมาสเคเบิลส่งไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC30F2010



ภาพที่ 3.5 วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าศูนย์

6. วงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัพท์ (Interrupt Circuit)

การสร้างสัญญาณพัลส์พีดีบีลิวเอ็มในวงจรเอซี-เอซีเมตริกคอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสนั้น เริ่มต้นของสัญญาณพัลส์พีดีบีลิวเอ็มแต่ละชุดจะต้องเริ่มจากตำแหน่งศูนย์ของแรงดันไฟฟ้าไลน์ ทุไลน์การไฟฟ้าอินพุต V_{an} ซึ่งเป็นการทำงานในลักษณะที่ซิงโครไนซ์กัน นั่นคือทำให้เฟสของแรงดันไฟฟ้าอินพุต และแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุตตรงกัน ดังนั้นเพื่อให้เกิดการซิงโครไนซ์ขึ้นจะต้องทำการสร้างสัญญาณเพื่อส่งไปทำการอินเทอร์รัพท์ไมโครโปรเซสเซอร์ให้เริ่มสร้าง และส่งข้อมูลสัญญาณพัลส์พีดีบีลิวเอ็ม ณ ตำแหน่งศูนย์ของแรงดันไฟฟ้าอินพุต V_{an} โดยสัญญาณอินเทอร์รัพท์ที่ใช้เป็นการอินเทอร์รัพท์แบบนอนมาสเคเบิล (Nonmaskable Interrupt) ซึ่งสัญญาณอินเทอร์รัพท์จะส่งไปยังพอร์ท E บิต 0 โดยใช้การตรวจสอบขอบขาขึ้นของสัญญาณอินเทอร์รัพท์ที่ขา \overline{NMI} ของไมโครโปรเซสเซอร์สัญญาณอินเทอร์รัพท์นี้จะถูกสร้างโดยใช้วงจรโมนอสเตเบิล (Monostable Circuit) โดยมีลักษณะของวงจร และสัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับตำแหน่งแรงดันไฟฟ้าศูนย์ และสัญญาณอินเทอร์รัพท์ที่ส่งไปให้แก่ไมโครโปรเซสเซอร์ PIC30F2010 ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 วงจรโมโนสเตเบิล

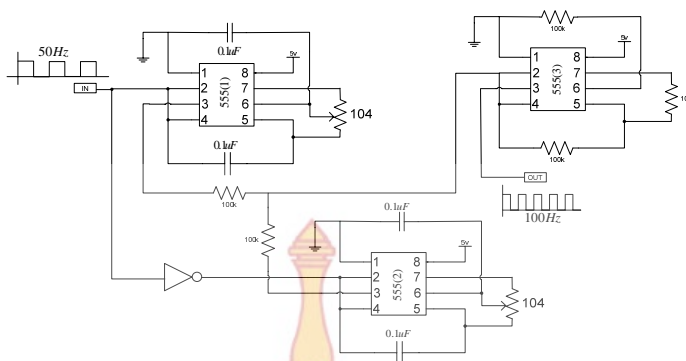
โดยที่ V_{na} เป็นสัญญาณอินพุตจากวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าศูนย์ที่ผ่านการเปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้ามาแล้ว ตัวเก็บประจุที่ต่อขึ้นเพื่อที่จะกรองสัญญาณไม่ให้สัญญาณแกว่งเท่านั้น และตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อที่จะปรับความกว้างของสัญญาณอินเตอร์รัพท์ที่สามารถปรับความกว้างของสัญญาณได้ โดยลักษณะของสัญญาณอินเตอร์รัพท์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 ลักษณะของสัญญาณอินเตอร์รัพท์ที่ได้มาจากสัญญาณแรงดันไฟฟ้าไฟไลน์

7. วงจรคูณสัญญาณ (Multiplier Frequency Circuit)

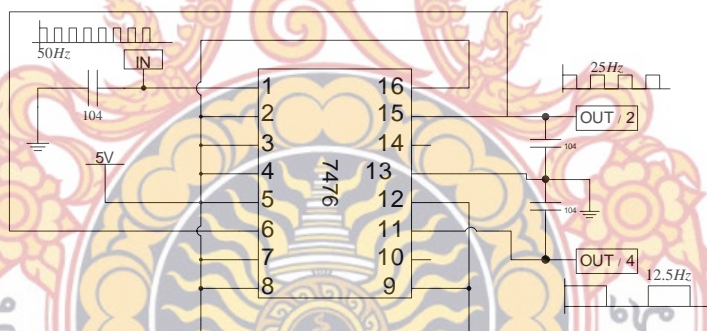
วงจรคูณสัญญาณสามารถสร้างขึ้นจากไอซีเบอร์ NE555 ทำหน้าที่ค่าตัวตั้งไซเคิลให้เหลือ 50 เปอร์เซ็นต์โดยค่าที่ใช้จะเป็นองศาที่ $0^\circ - 90^\circ$ กำหนดให้เป็นช่วง ON ส่วนที่เหลือกำหนดให้เป็นช่วง OFF องศาที่ $90^\circ - 360^\circ$ จากนั้นจะใช้ไอซีเบอร์ 74LS04 ซึ่งเป็นไอซีนอตเกตทำการกลับเฟสของสัญญาณไฟไลน์จากวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าศูนย์จะได้สัญญาณ ON ตั้งแต่ $180^\circ - 360^\circ$ จากนั้นนำไปเข้าไอซีเบอร์ NE555 ตัวที่สองโดยจะปรับความกว้างของสัญญาณลงมา 50 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำสัญญาณจากไอซีเบอร์ NE555 ตัวที่หนึ่งและสองมาทำการรวมสัญญาณโดยผ่านตัวต้านทานก่อนจะนำไปเข้าไอซีเบอร์ NE555 ตัวที่สามเพื่อที่จะนำไปใช้งานดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 วงจรคูณสัญญาณ

8. วงจรหารความถี่ (Divider Frequency Circuit)

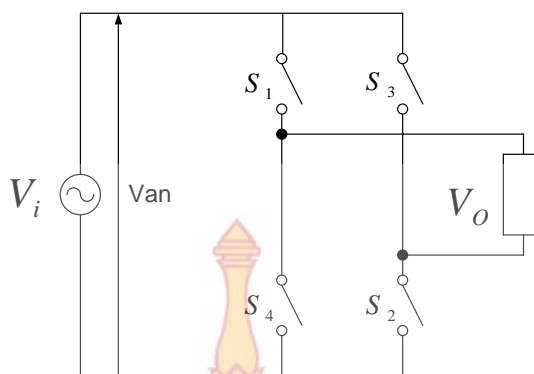
วงจรหารความถี่สามารถสร้างขึ้นจากไอซีเบอร์ SN7476N ซึ่งเป็นไอซีฟลิปฟล็อปซึ่งจะทำการหารความถี่ของสัญญาณที่เข้ามา เมื่อป้อนสัญญาณไฟไลน์ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ เข้าที่ขา 1 จะทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตที่ขา 15 ของไอซีในทำนองเดียวกันหากต้องการที่จะหารความถี่ลงอีกก็ทำได้โดยนำสัญญาณจากขาที่ 15 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ผ่านการหารความถี่ลงมาแล้วมาเข้าที่ขา 6 จะทำให้ได้สัญญาณที่ทำการหารความถี่ลงอีกออกทางขาที่ 11 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการว่าจะทำการหารความถี่กี่ครั้งโดยที่สัญญาณเอาต์พุตนั้นจะถูกหารสองทุกครั้งที่ทำการหาร ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 วงจรหารความถี่

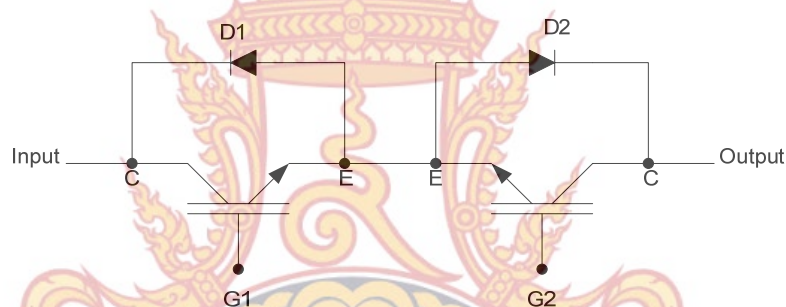
9. วงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส (Single-Phase AC-AC Matrix Converter)

วงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสทำหน้าที่ตัดต่อแรงดันไฟฟ้าไลน์หนึ่งเฟสที่มีค่าความถี่ และระดับแรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยใช้สวิตช์ทั้งหมด 4 ชุด โดยที่สวิตช์ทั้ง 4 ชุดนั้น จะสลับการทำงานกันเป็นคู่คือ S_1 และ S_2 จะทำงานพร้อมกันในช่วงซีกบวกและ S_3 และ S_4 จะทำงานในช่วงซีกลบดังวงจรภาพที่ 3.10



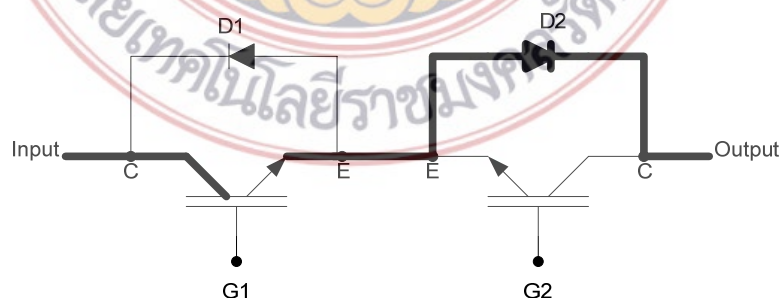
ภาพที่ 3.10 วงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส

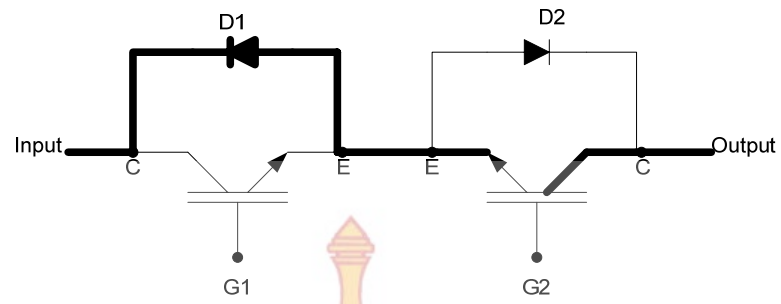
สวิตช์ที่ใช้ในวงจรจะเป็นสวิตช์ที่มีการทำงานโดยให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ทั้งสองทาง เรียกว่า สวิตช์สองทาง (Bi-directional Switch) โดยสวิตช์สองทางที่ใช้จะประกอบด้วย สวิตช์ไอจีบีที (IGBT) จำนวน 2 ตัวทำงานร่วมกับไดโอด 2 ตัว ซึ่งลักษณะสวิตช์สองทิศทางดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 ลักษณะสวิตช์สองทิศทาง

จากภาพที่ 3.11 เป็นสวิตช์สองทางที่ใช้ในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ โดยทางแรกจะไหลเข้าทางด้านอินพุทจะผ่านชาคอลลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์ของ IGBT ตัวที่หนึ่ง (IGBT Turn-ON) ผ่านไดโอดตัวที่สองออกด้านเอาท์พุท และในทางที่สองกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับเข้าทางเอาท์พุทไหลผ่านชาคอลลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์ของ IGBT ตัวที่สอง (IGBT Turn-ON) ผ่านไดโอดตัวที่หนึ่งออกทางด้านเอาท์พุทดังภาพที่ 3.12





ภาพที่ 3.12 การทำงานของสวิตช์สองทิศทาง



บทที่ 4

ผลการทดลอง

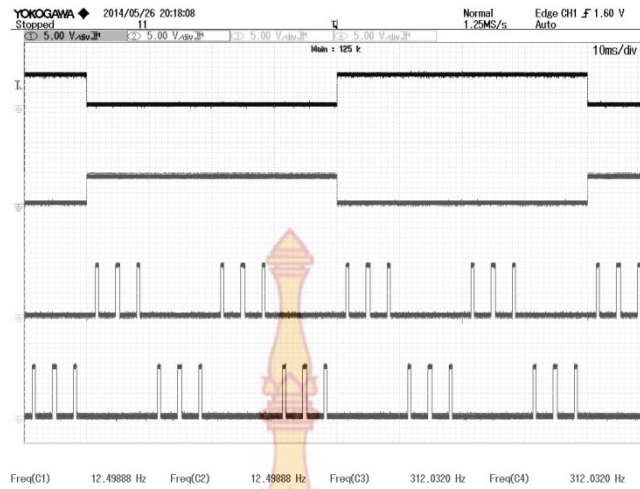
จากการออกแบบและสร้างวงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสเครื่องต้นแบบแล้วนำมาทำการทดสอบกับโหลดตัวต้านทานและตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ โดยทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าอินพุทขนาด 100 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ แล้วทำการจ่ายสัญญาณพีดับบลิวเอ็มเพื่อควบคุมสวิทช์สองทิศทางให้ทำงาน ซึ่งทำการจ่ายสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่จำนวนพัลส์ 3 และ 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 และมีค่าความถี่เอาท์พุทของวงจรที่ค่าเท่ากับ 12.5 เฮิร์ตซ์ 25 เฮิร์ตซ์ 50 เฮิร์ตซ์ และ 100 เฮิร์ตซ์ โดยทำการทดสอบกับโหลดตัวต้านทานขนาด 500 วัตต์ และโหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำขนาด 100 วัตต์ และ 1.0021 เฮนรี่ ซึ่งมีผลการทดสอบต่างๆ ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

1. สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ใช้ในโครงการ

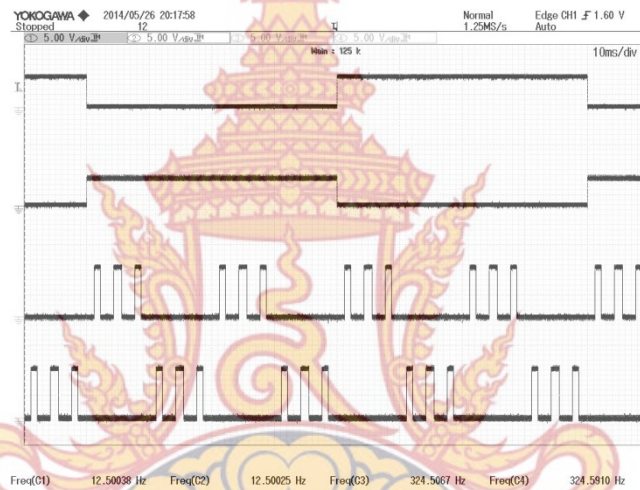
สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ใช้ในโครงการ สร้างมาจากไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC30F2010 ความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ 25เฮิร์ตซ์ 50เฮิร์ตซ์ และ 100 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 โดยมีจำนวนพัลส์เท่ากับ 3 และ 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

1.1. สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ความถี่สวิทช์เท่ากับ 12.5 เฮิร์ตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

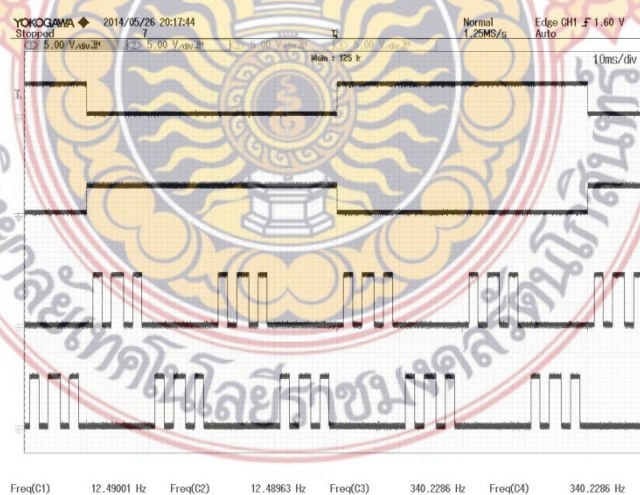
สัญญาณพีดับบลิวเอ็มนั้น มาจากการออกแบบในบทที่ 3 โดยสร้างมาจากไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC30F2010 โดยทำการออกแบบที่ความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ ที่อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 โดยสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ได้แสดงในภาพที่ 4.1



(ก) อัตราการมีอดที่ 0.2

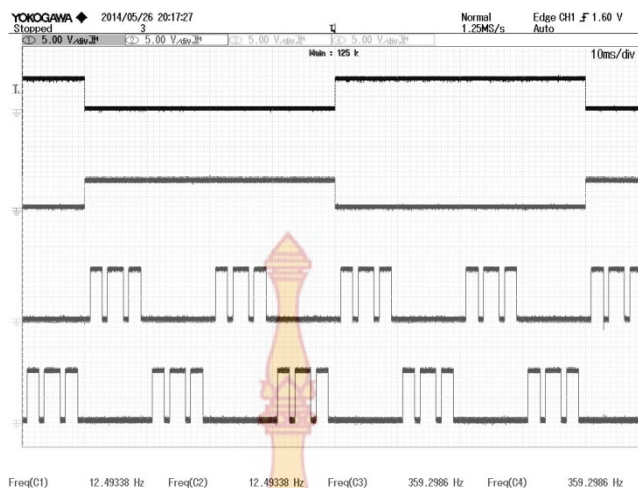


(ข) อัตราการมีอดที่ 0.4

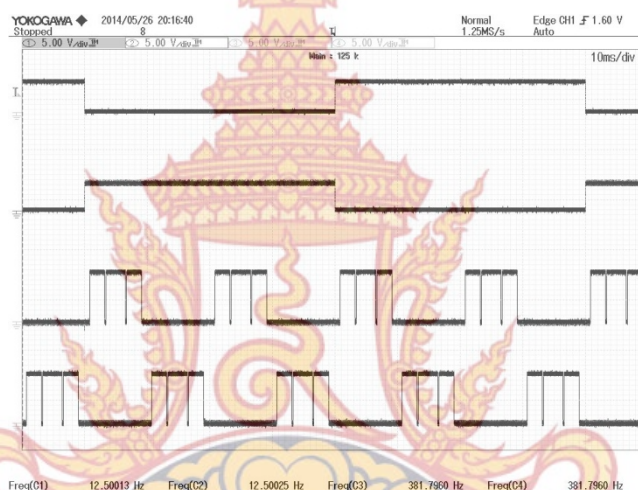


(ค) อัตราการมีอดที่ 0.6

ภาพที่ 4.1 สัญญาณพีดับบลิวเอ็มความถี่ 12.5 เฮิรตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ง) อัตราการมีอดที่ 0.8



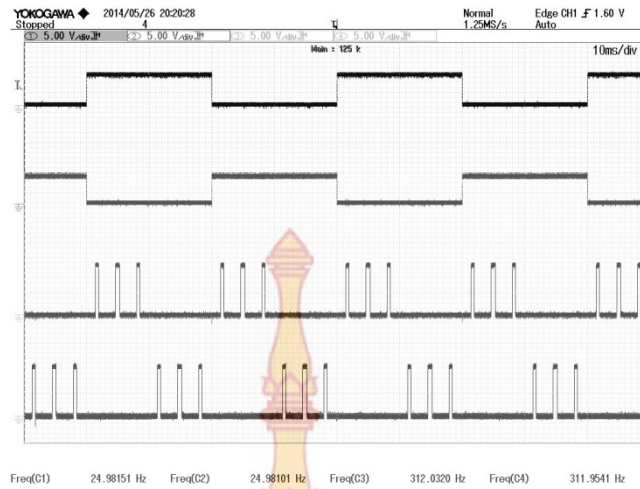
(จ) อัตราการมีอดที่ 1.0

ภาพที่ 4.1 สัญญาณพีดับลิแอมความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล (ต่อ)

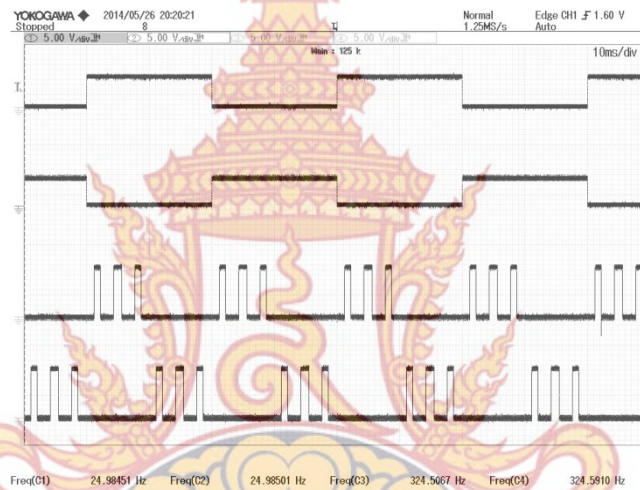
จากภาพที่ 4.1 เป็นสัญญาณพีดับลิแอมที่ความถี่สวิตช์ 12.5 เฮิร์ตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิลที่อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 สัญญาณที่ได้นี้จะนำไปเป็นเงื่อนไขของสวิตช์ควบคุมในวงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสต่อไป

1.2. สัญญาณพีดับลิแอมที่ความถี่สวิตช์เท่ากับ 25 เฮิร์ตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

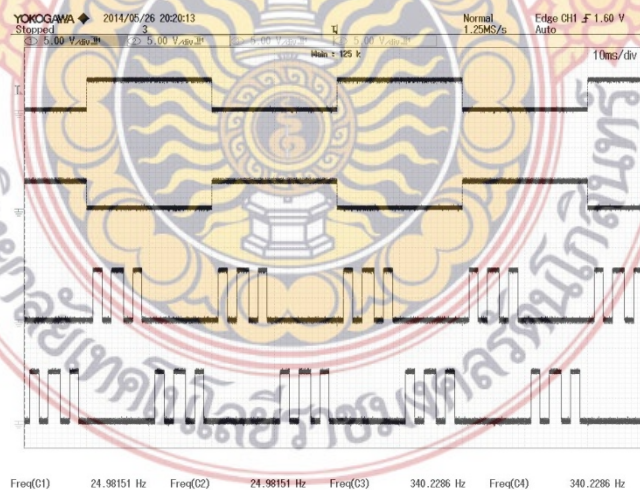
สัญญาณพีดับลิแอมที่ได้ มาจากการออกแบบในบทที่ 3 โดยสร้างมาจากไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC30F2010 โดยทำการออกแบบที่ความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ ที่อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 โดยสัญญาณพีดับลิแอมที่ได้แสดงในภาพที่ 4.2



(ก) อัตราการมีอดที่ 0.2

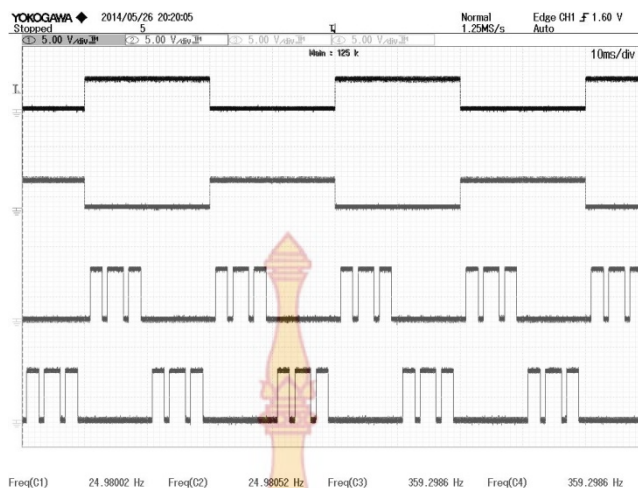


(ข) อัตราการมีอดที่ 0.4

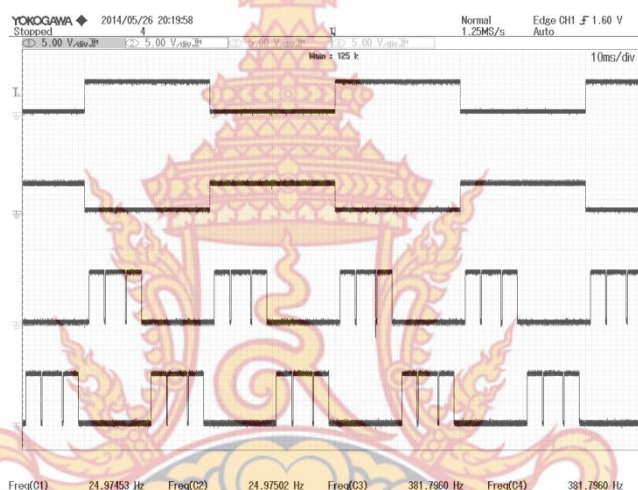


(ค) อัตราการมีอดที่ 0.6

ภาพที่ 4.2 สัญญาณพีคดับลิวเอ็มความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ง) อัตราการมีอดที่ 0.8



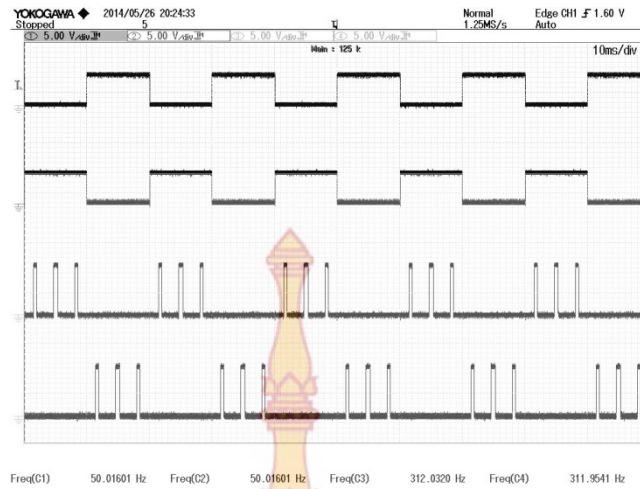
(จ) อัตราการมีอดที่ 1.0

ภาพที่ 4.2 สัญญาณพีดับบลิวเอ็มความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล (ต่อ)

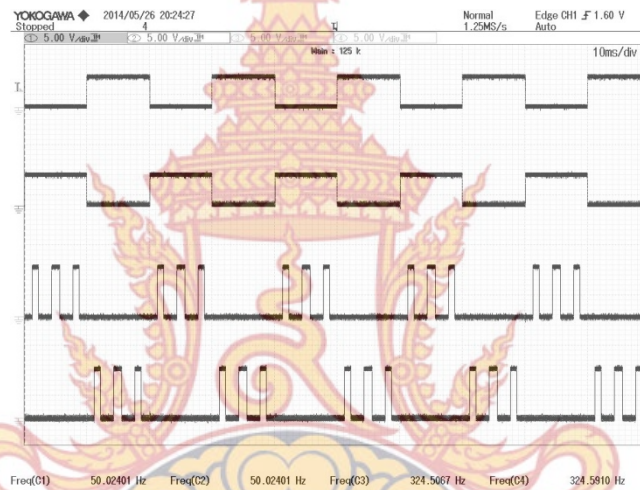
จากภาพที่ 4.2 เป็นสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ความถี่สวิตช์ 25 เฮิร์ตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิลที่อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 สัญญาณที่ได้นี้จะนำไปเป็นเงื่อนไขของสวิตช์ควบคุมในวงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสต่อไป

1.3. สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ความถี่สวิตช์เท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

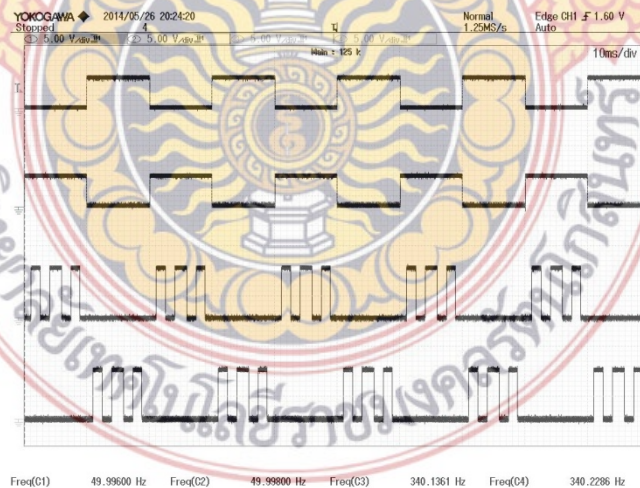
สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ได้ มาจากการออกแบบในบทที่ 3 โดยสร้างมาจากไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC30F2010 โดยทำการออกแบบที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ที่อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 โดยสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ได้แสดงในภาพที่ 4.3



(ก) อัตราการมีอดที่ 0.2

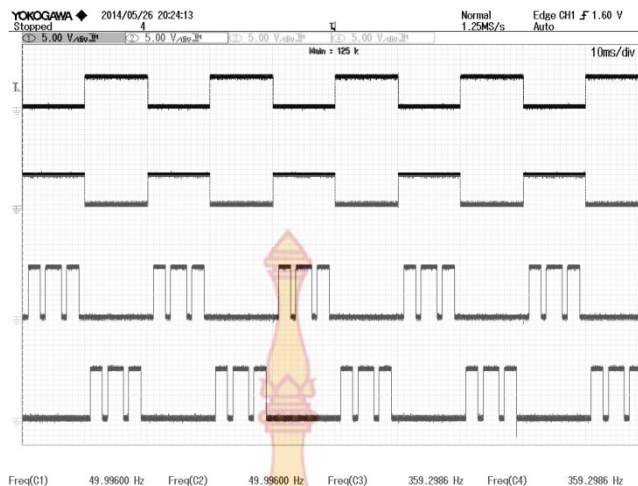


(ข) อัตราการมีอดที่ 0.4

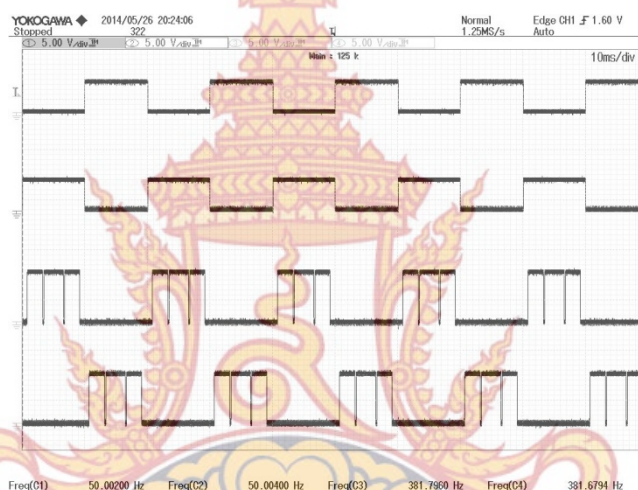


(ค) อัตราการมีอดที่ 0.6

ภาพที่ 4.3 สัญญาณพีคดับลิวิตี 50 เฮิร์ตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ง) อัตราการมีอดที่ 0.8



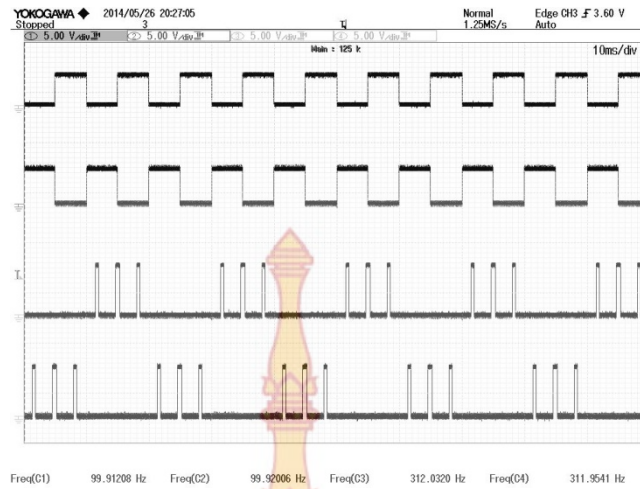
(จ) อัตราการมีอดที่ 1.0

ภาพที่ 4.3 สัญญาณพีดับลิวเอ็มความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล (ต่อ)

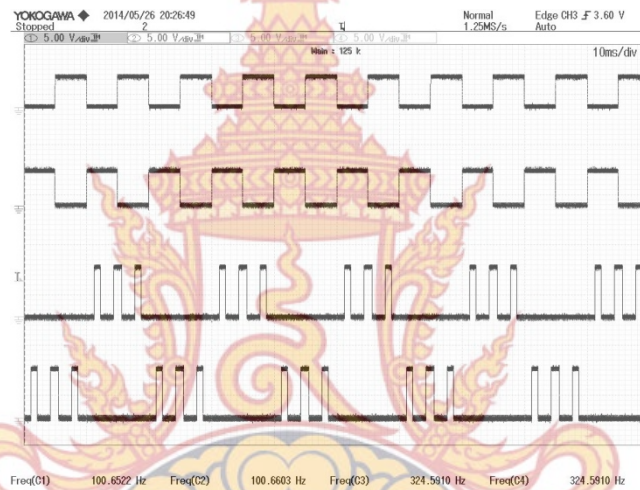
จากภาพที่ 4.3 เป็นสัญญาณพีดับลิวเอ็มที่ความถี่สวิตช์ 50 เฮิร์ตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิลที่อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 สัญญาณที่ได้นี้จะนำไปเป็นเงื่อนไขของสวิตช์ควบคุมในวงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสต่อไป

1.4. สัญญาณพีดับลิวที่ความถี่สวิตช์เท่ากับ 100 เฮิร์ตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

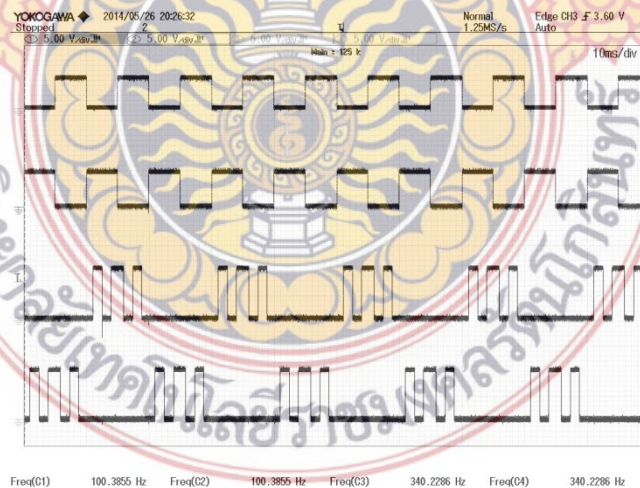
สัญญาณพีดับลิวเอ็มที่ได้ มาจากการออกแบบในบทที่ 3 โดยสร้างมาจากไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC30F2010 โดยทำการออกแบบที่ความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ ที่อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 โดยสัญญาณพีดับลิวเอ็มที่ได้แสดงในภาพที่ 4.4



(ก) อัตราการมีอดที่ 0.2

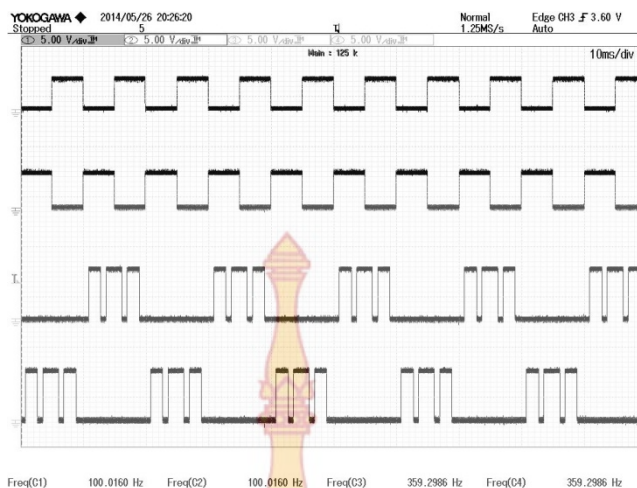


(ข) อัตราการมีอดที่ 0.4

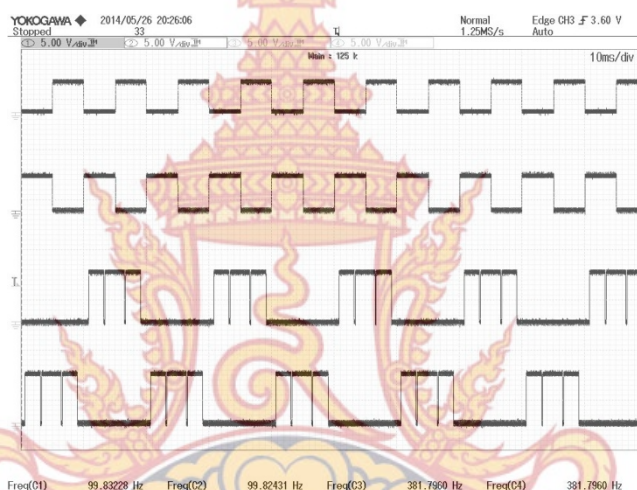


(ข) อัตราการมีอดที่ 0.6

ภาพที่ 4.4 สัญญาณพีดับลิวเอ็มความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ง) อัตราการมีอดที่ 0.8



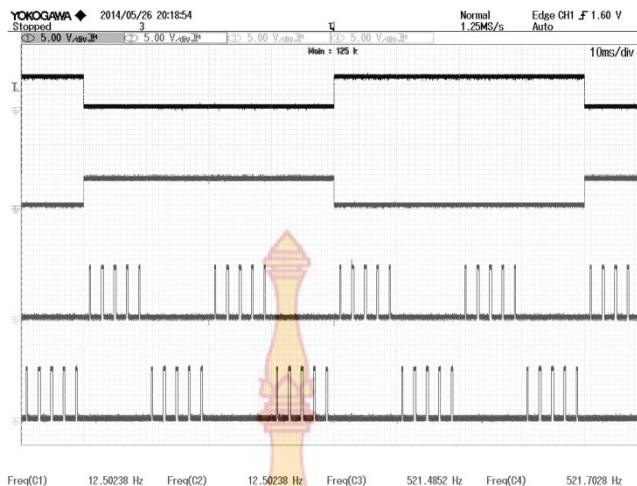
(จ) อัตราการมีอดที่ 1.0

ภาพที่ 4.4 สัญญาณพีดับลิแวมความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล (ต่อ)

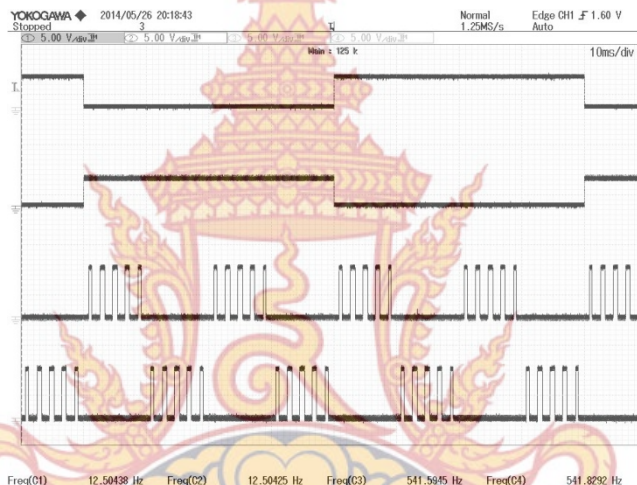
จากภาพที่ 4.4 เป็นสัญญาณพีดับลิแวมที่ความถี่สวิตซ์ 100 เฮิร์ตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิลที่อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 สัญญาณที่ได้นี้จะนำไปเป็นเงื่อนไขของสวิตซ์ควบคุมในวงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสต่อไป

1.5. สัญญาณพีดับลิแวมที่ความถี่สวิตซ์เท่ากับ 12.5 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

สัญญาณพีดับลิแวมที่ได้ มาจากการออกแบบในบทที่ 3 โดยสร้างมาจากไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC30F2010 โดยทำการออกแบบที่ความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ ที่อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 โดยสัญญาณพีดับลิแวมที่ได้แสดงในภาพที่ 4.5



(ก) อัตราการมีอดที่ 0.2

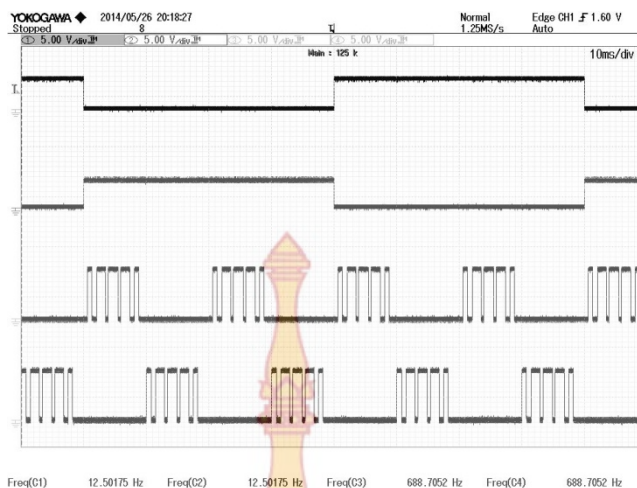


(ข) อัตราการมีอดที่ 0.4

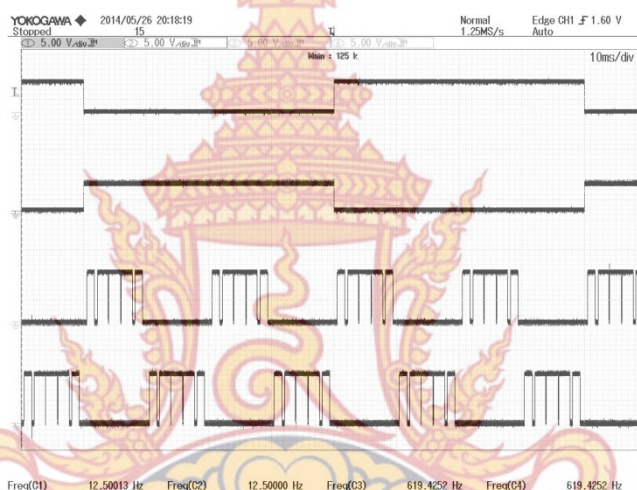


(ค) อัตราการมีอดที่ 0.6

ภาพที่ 4.5 สัญญาณพีดับบลิวเอ็มความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ง) อัตราการมีอดที่ 0.8



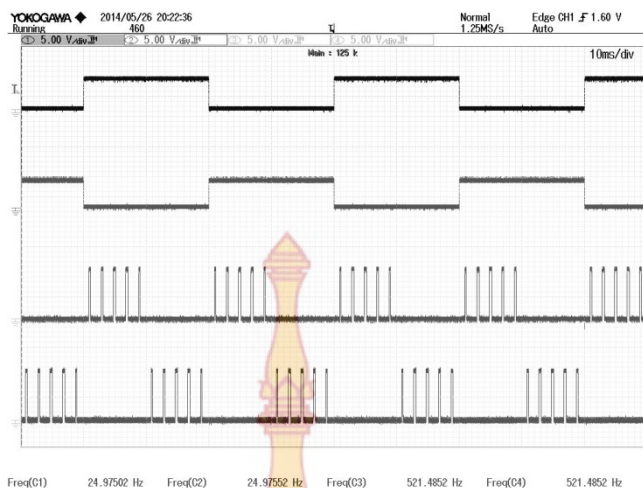
(จ) อัตราการมีอดที่ 1.0

ภาพที่ 4.5 สัญญาณพีดับลิแวมความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล (ต่อ)

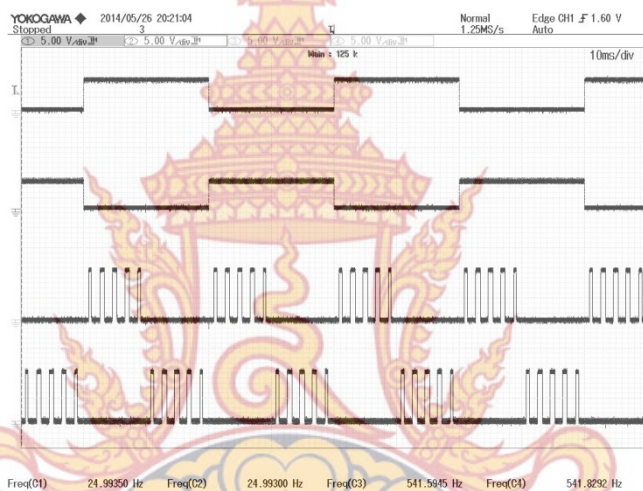
จากภาพที่ 4.5 เป็นสัญญาณพีดับลิแวมที่ความถี่สวิตช์ 12.5 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิลที่อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 สัญญาณที่ได้นี้จะนำไปเป็นเงื่อนไขของสวิตช์ควบคุมในวงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสต่อไป

1.6. สัญญาณพีดับลิแวมที่ความถี่สวิตช์เท่ากับ 25 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

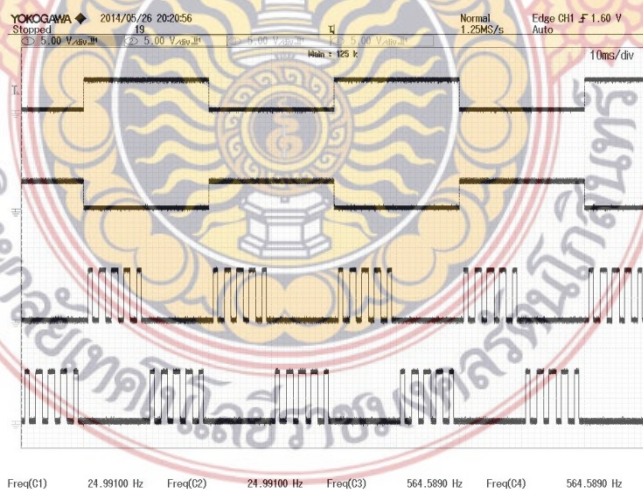
สัญญาณพีดับลิแวมที่ได้ มาจากการออกแบบในบทที่ 3 โดยสร้างมาจากไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC30F2010 โดยทำการออกแบบที่ความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ ที่อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 โดยสัญญาณพีดับลิแวมที่ได้แสดงในภาพที่ 4.6



(ก) อัตราการมีอดที่ 0.2

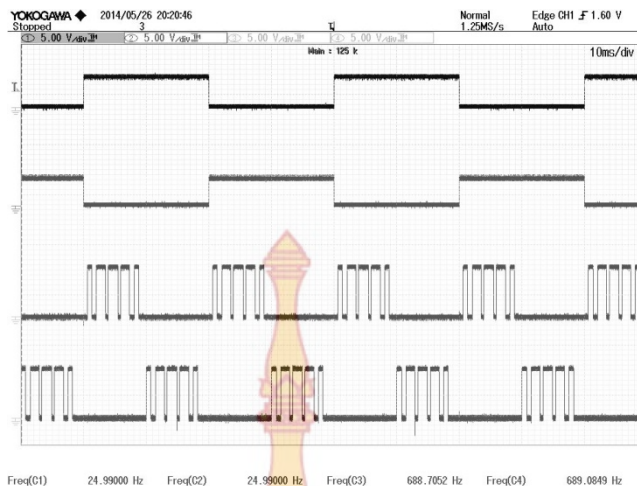


(ข) อัตราการมีอดที่ 0.4

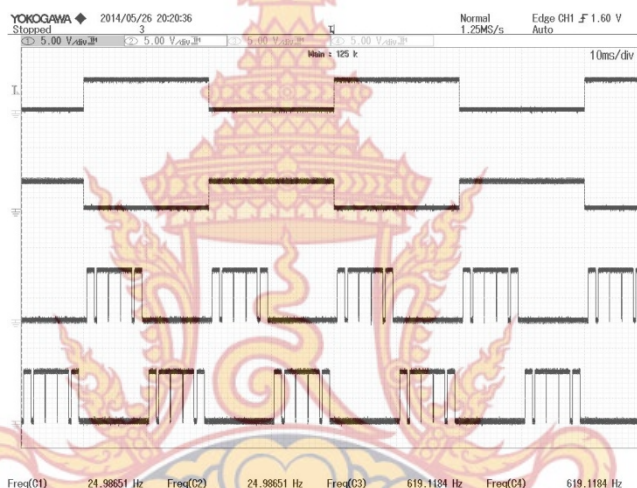


(ค) อัตราการมีอดที่ 0.6

ภาพที่ 4.6 สัญญาณพีคดับลิวิตี 25 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ง) อัตราการมีอดที่ 0.8



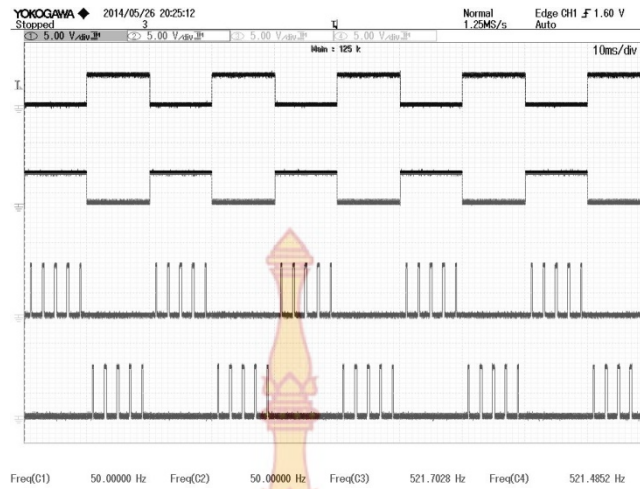
(จ) อัตราการมีอดที่ 1.0

ภาพที่ 4.6 สัญญาณพีดับบลิวเอ็มความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล (ต่อ)

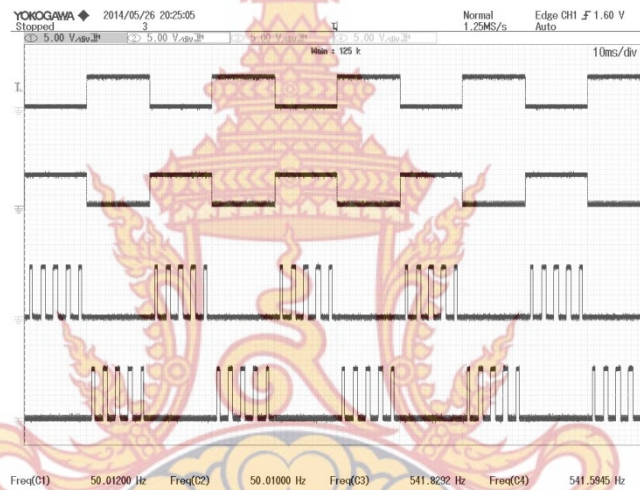
จากภาพที่ 4.6 เป็นสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ความถี่สวิตซ์ 25 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิลที่อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 สัญญาณที่ได้นี้จะนำไปเป็นเงื่อนไขของสวิตซ์ควบคุมในวงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสต่อไป

1.7. สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ความถี่สวิตซ์เท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

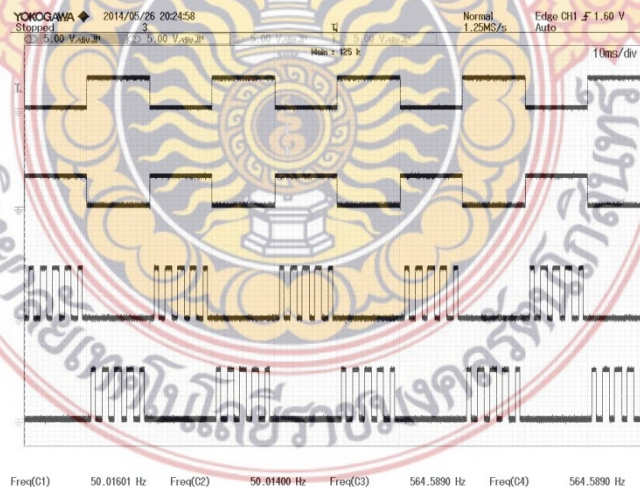
สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ได้ มาจากการออกแบบในบทที่ 3 โดยสร้างมาจากไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC30F2010 โดยทำการออกแบบที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ที่อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 โดยสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ได้แสดงในภาพที่ 4.7



(ก) อัตราการมีอดที่ 0.2

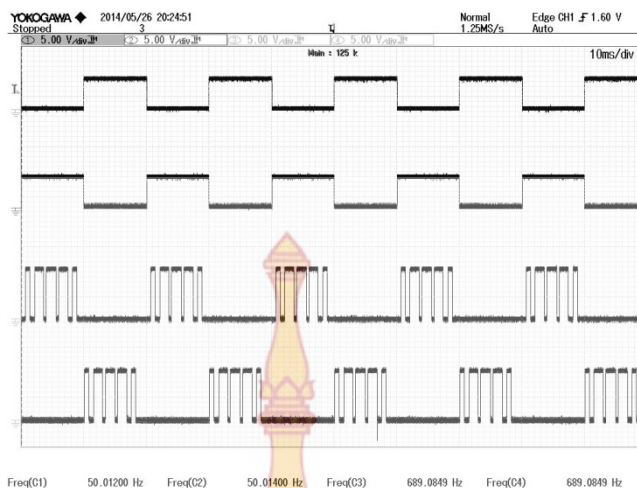


(ข) อัตราการมีอดที่ 0.4

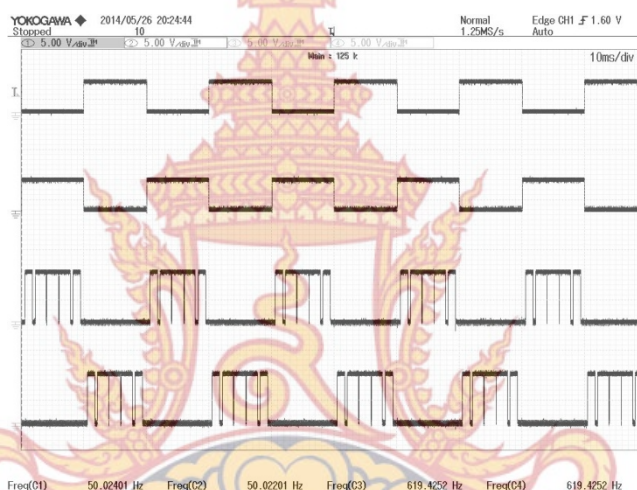


(ข) อัตราการมีอดที่ 0.6

ภาพที่ 4.7 สัญญาณพีคดับลิวิตี 50 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ง) อัตราการมีอดที่ 0.8



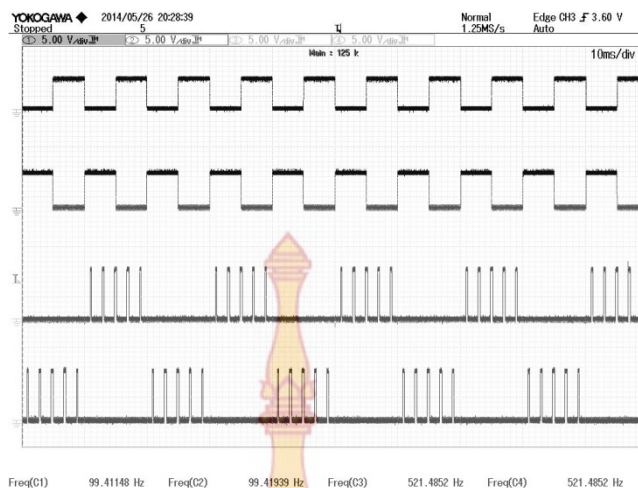
(จ) อัตราการมีอดที่ 1.0

ภาพที่ 4.7 สัญญาณพัลส์บลิ้วเอ็มความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล (ต่อ)

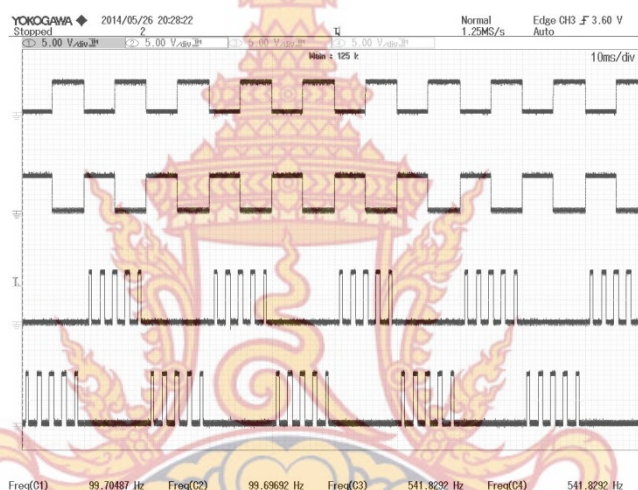
จากภาพที่ 4.7 เป็นสัญญาณพัลส์บลิ้วเอ็มที่ความถี่สวิตซ์ 50 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิลที่อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 สัญญาณที่ได้นี้จะนำไปเป็นเงื่อนไขของสวิตซ์ควบคุมในวงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสต่อไป

1.8. สัญญาณพัลส์บลิ้วที่ความถี่สวิตซ์เท่ากับ 100 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

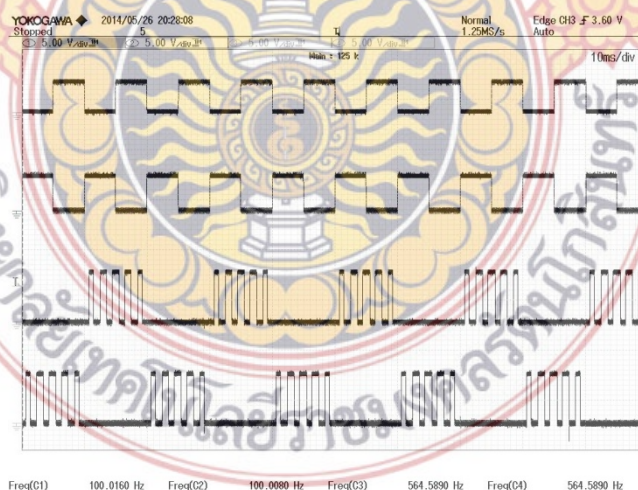
สัญญาณพัลส์บลิ้วเอ็มที่ได้ มาจากการออกแบบในบทที่ 3 โดยสร้างมาจากไมโครโปรเซสเซอร์ dsPIC30F2010 โดยทำการออกแบบที่ความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ ที่อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 โดยสัญญาณพัลส์บลิ้วเอ็มที่ได้แสดงในภาพที่ 4.8



(ก) อัตราการมีอดที่ 0.2

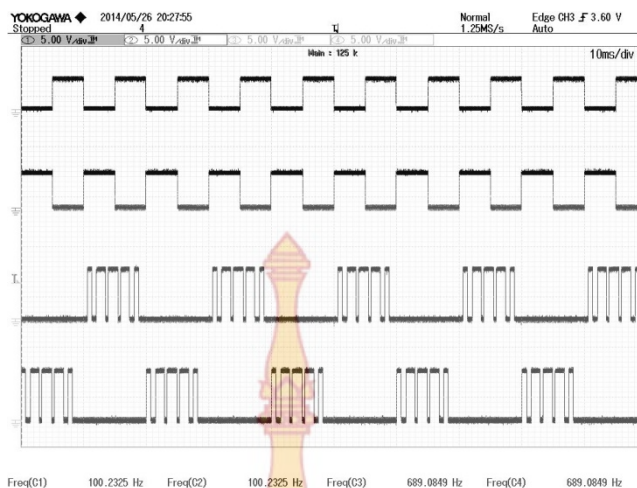


(ข) อัตราการมีอดที่ 0.4

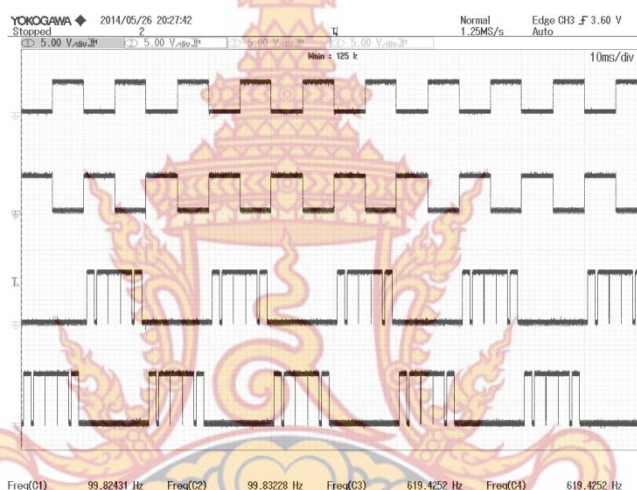


(ค) อัตราการมีอดที่ 0.6

ภาพที่ 4.8 สัญญาณพีดับลิวเอ็มความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ง) อัตราการมีอดที่ 0.8



(จ) อัตราการมีอดที่ 1.0

ภาพที่ 4.8 สัญญาณพีดับลิแวมความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล (ต่อ)

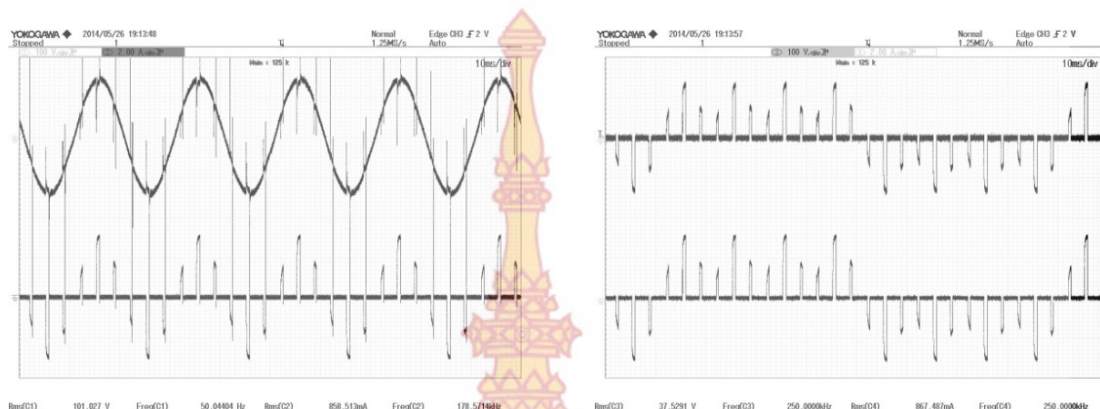
จากภาพที่ 4.8 เป็นสัญญาณพีดับลิแวมที่ความถี่สวิตซ์ 100 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิลที่อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 สัญญาณที่ได้นี้จะนำไปเป็นเงื่อนไขของสวิตซ์ควบคุมในวงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสต่อไป

2 การทดสอบกรณีโหลดตัวต้านทาน

การทดลองกับโหลดตัวต้านทานขนาด 500 วัตต์โดยการจ่ายแรงดันอินพุท 1 เฟส 100 โวลท์ 50 เฮิร์ตซ์ แล้วทำการบันทึกผลเป็นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านอินพุทและเอาท์พุทที่ค่าความถี่สวิตซ์ 12.5 เฮิร์ตซ์ 25 เฮิร์ตซ์ 50 เฮิร์ตซ์ และ 100 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 และ 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล และทำการบันทึกแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าลงในตารางที่ 4.1

2.1 สัญญาณพัลส์พีดับลิแวมความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

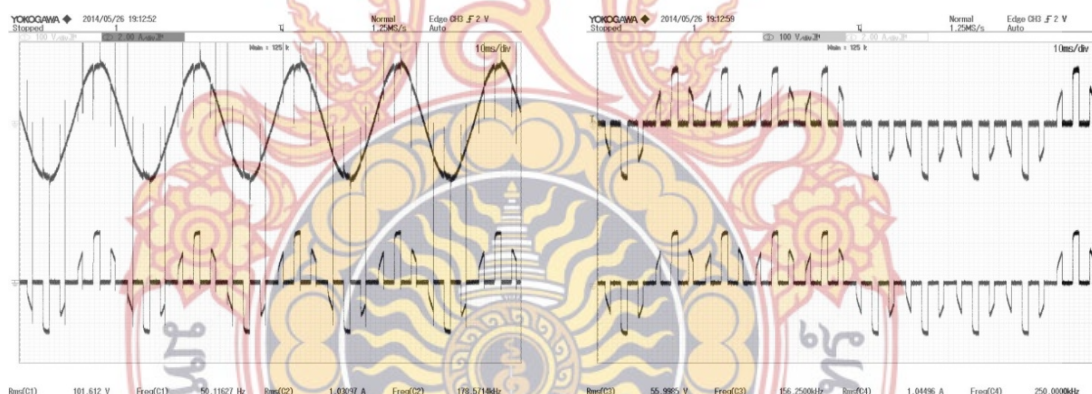
จากการทดลองกับโหลดตัวต้านทานขนาด 500 วัตต์ โดยทำการทดลองที่ความถี่ 12.5 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล เพื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลด โดยผลการทดลองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.9 ถึง ภาพที่ 4.13 และจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสามารถสรุปมาเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.1



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

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

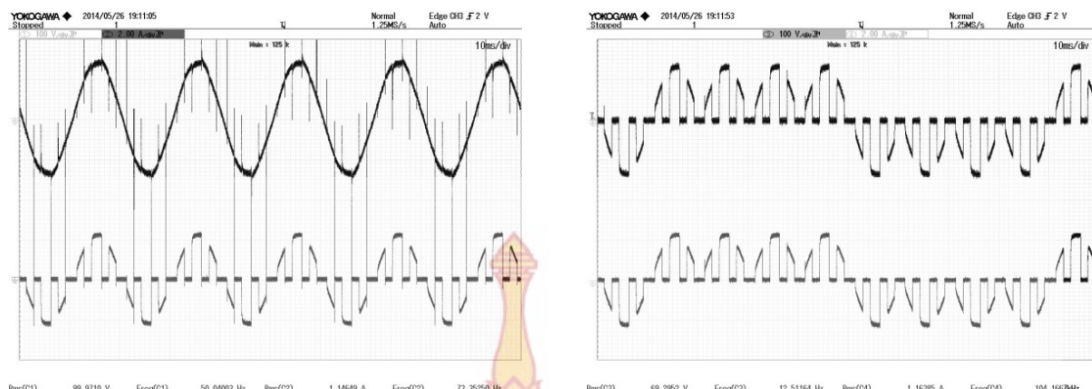
ภาพที่ 4.9 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 12.5 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.2 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



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

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

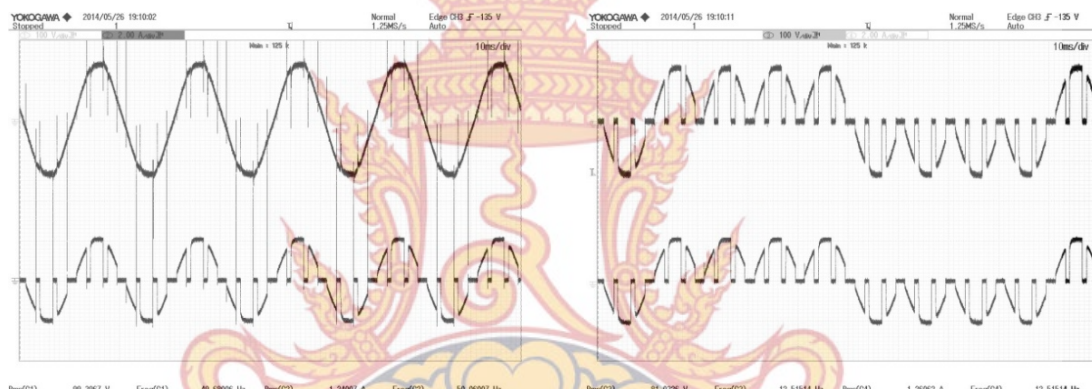
ภาพที่ 4.10 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 12.5 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.4 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



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

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

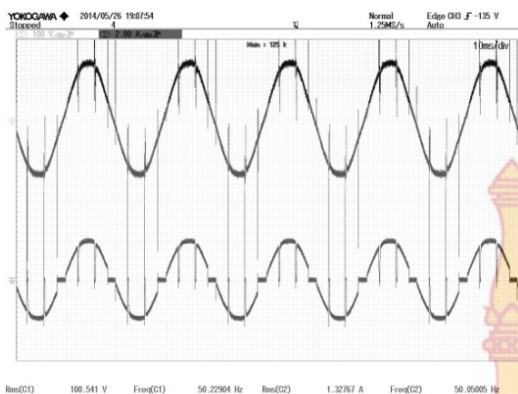
ภาพที่ 4.11 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 12.5 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.6 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



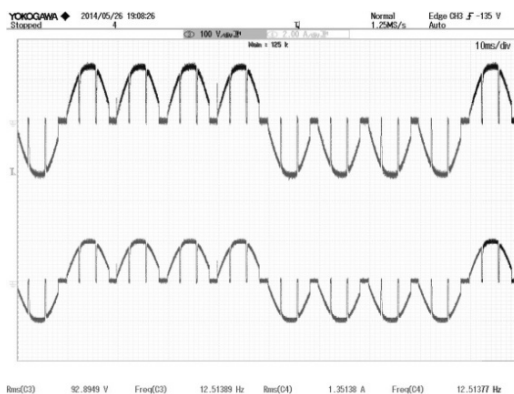
(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

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

ภาพที่ 4.12 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 12.5 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.8 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



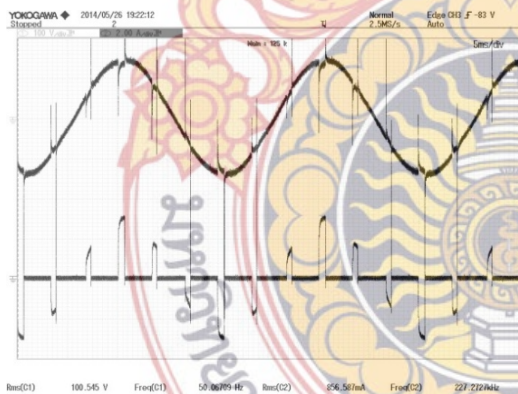
(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปร่าง : กระแส)



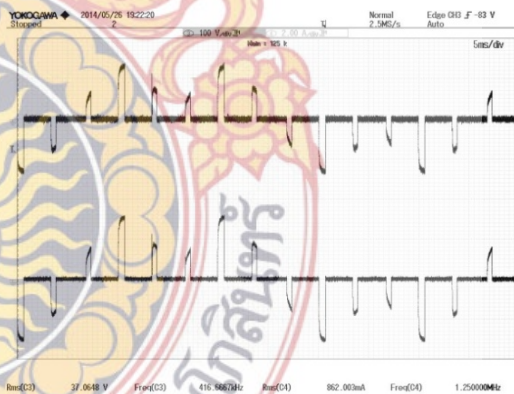
(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปร่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.13 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 12.5 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 1.0 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

2.2 สัญญาณพัลส์พิสัยลิแอมความถี่ 25 เฮิรตซ์ จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล จากการทดลองกับโหลดตัวต้านทานขนาด 500 วัตต์ โดยทำการทดลองที่ความถี่ 25 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล เพื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลด โดยผลการทดลองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.14 ถึง ภาพที่ 4.18 และจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสามารถสรุปมาเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.1

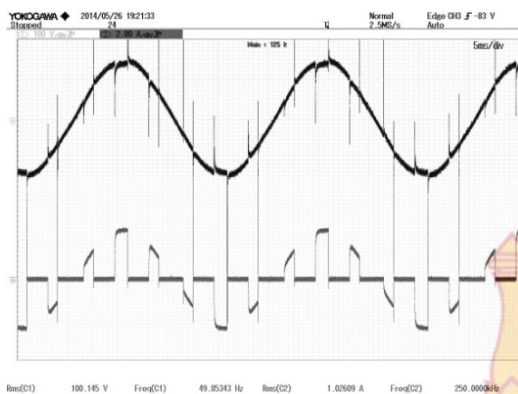


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปร่าง : กระแส)

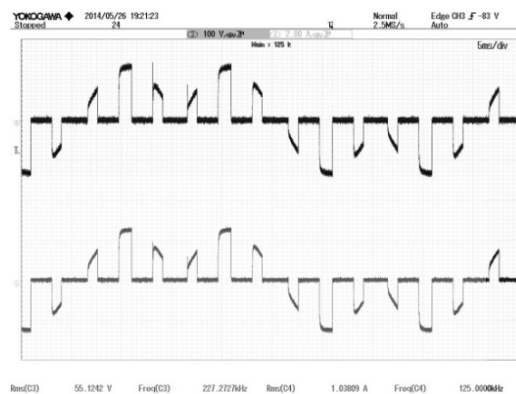


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปร่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.14 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.2 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

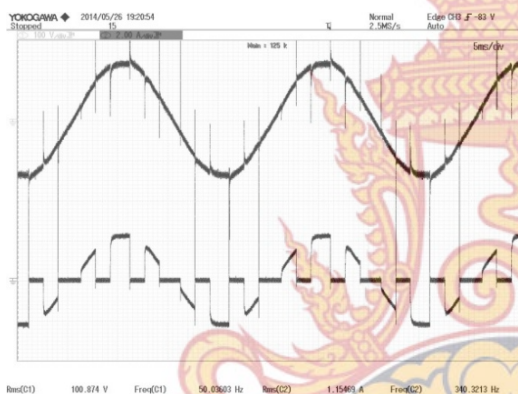


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

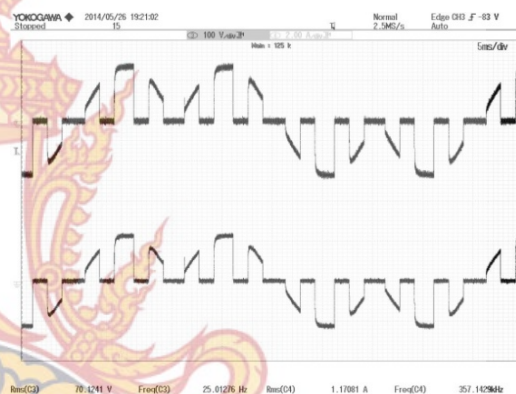


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.15 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ อัตราการมอด 0.4 จำนวน 3 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล

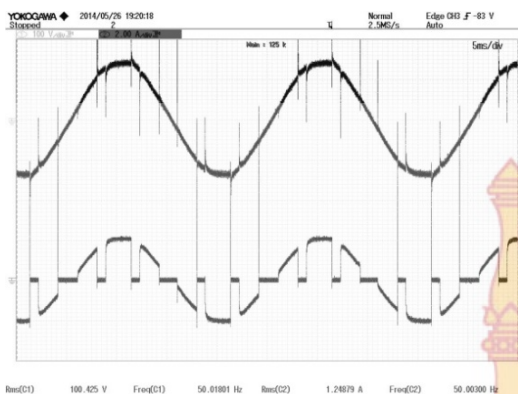


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

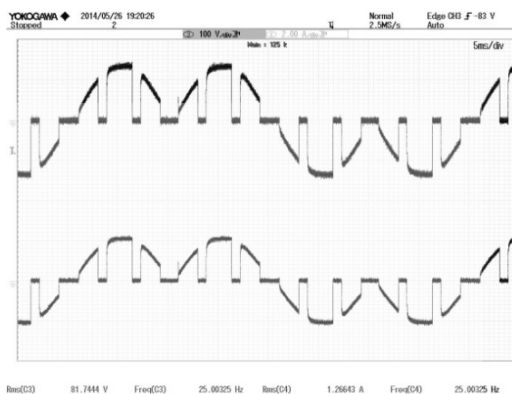


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.16 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ อัตราการมอด 0.6 จำนวน 3 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล

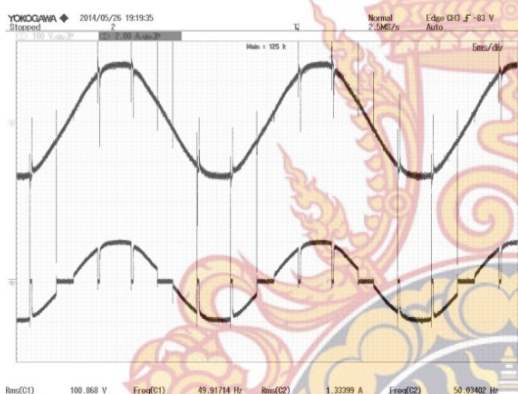


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
 (รูปแบบ : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

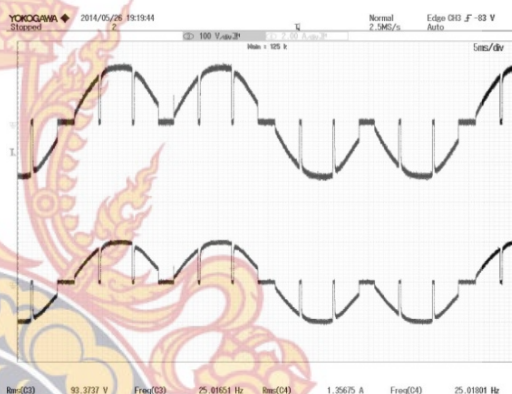


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
 (รูปแบบ : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.17 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.8 จำนวน 3 พัลส์ ต่อครึ่งไซเคิล



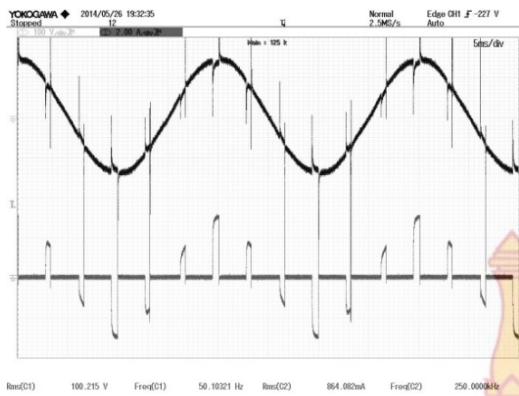
(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
 (รูปแบบ : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
 (รูปแบบ : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.18 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 1.0 จำนวน 3 พัลส์ ต่อครึ่งไซเคิล

2.3 สัญญาณพัลส์พีคดับลิวเอ็มความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล จากการทดลองกับโหลดตัวต้านทานขนาด 500 วัตต์ โดยทำการทดลองที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล เพื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลด โดยผลการทดลองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.19 ถึง ภาพที่ 4.23 และจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสามารถสรุปมาเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.1

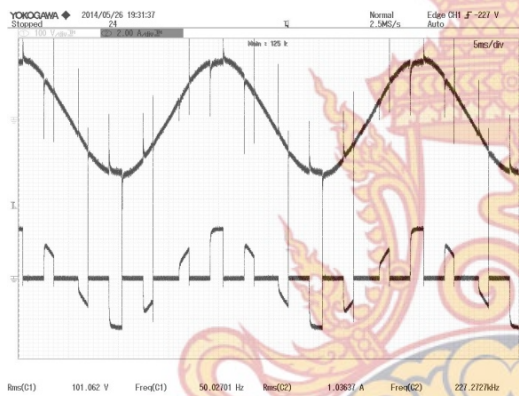


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

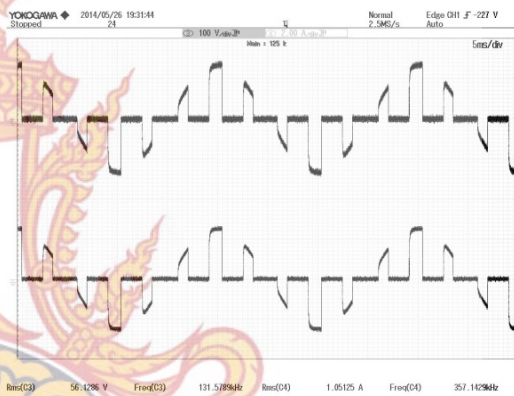


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.19 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 50 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.2 จำนวน 3 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล

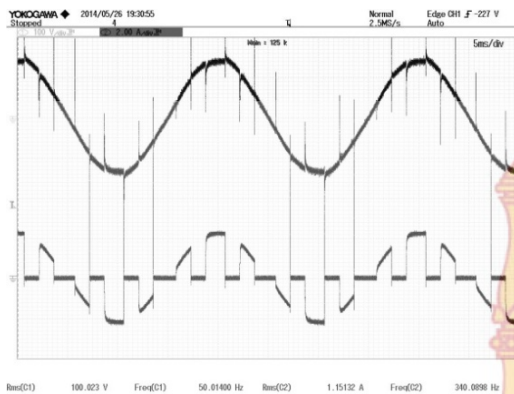


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

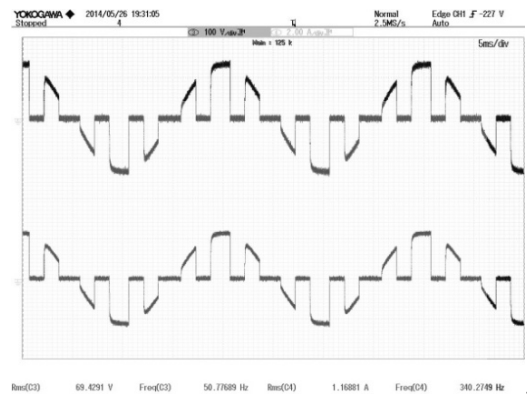


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.20 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 50 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.4 จำนวน 3 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล

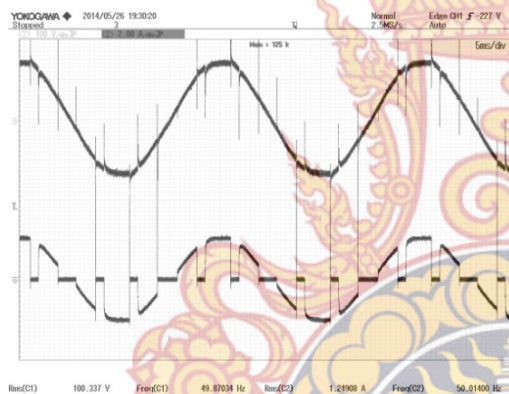


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

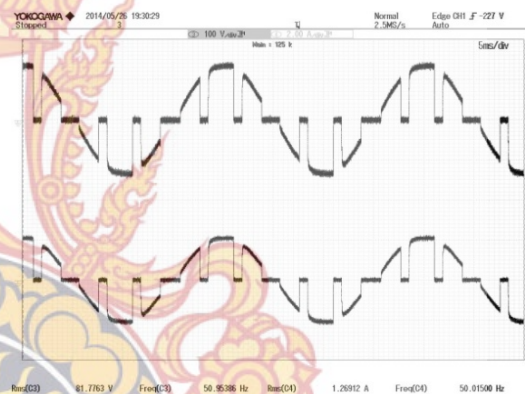


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.21 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 50 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.6 จำนวน 3 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล

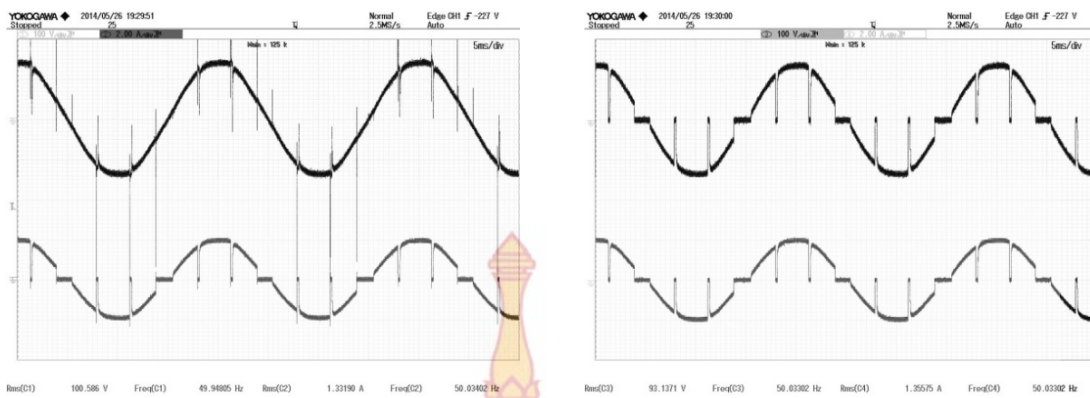


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)



(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.22 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 50 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.8 จำนวน 3 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล

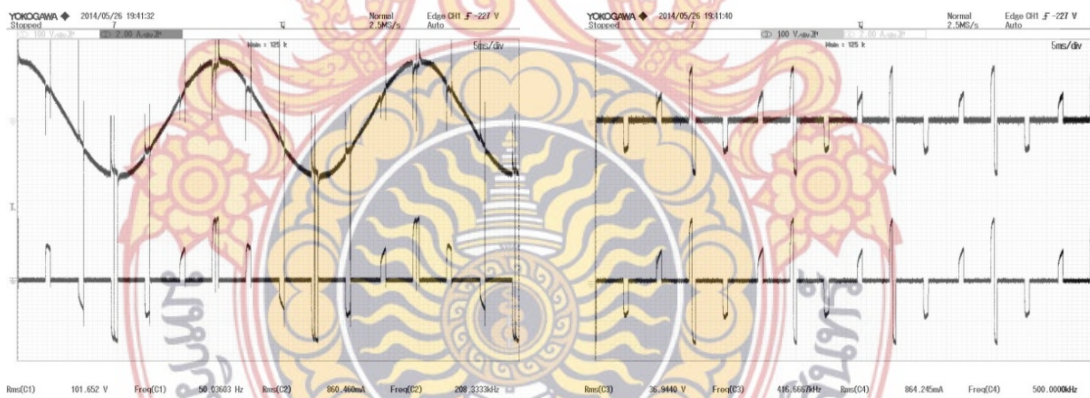


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

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

ภาพที่ 4.23 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 1.0 จำนวน 3 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล

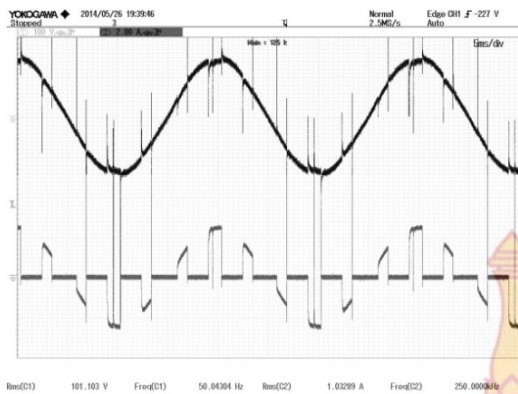
2.4 สัญญาณพัลส์พีดับลิวิตี 100 เฮิร์ตซ์ จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 พัลส์ต่อครั้งไซเคิล จากการทดลองกับโหลดตัวต้านทานขนาด 500 วัตต์ โดยทำการทดลองที่ความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 พัลส์ต่อครั้งไซเคิล เพื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลด โดยผลการทดลองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.24 ถึง ภาพที่ 4.28 และจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสามารถสรุปมาเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.1



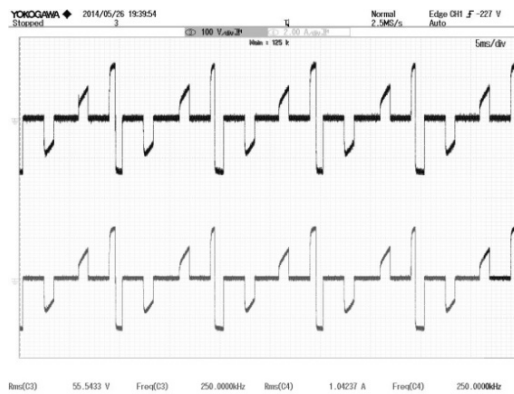
(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

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

ภาพที่ 4.24 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.2 จำนวน 3 พัลส์ต่อครั้งไซเคิล

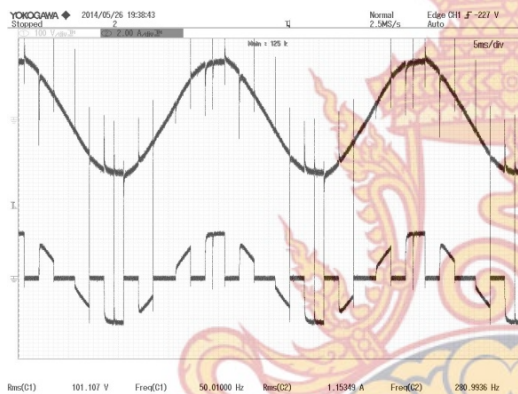


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

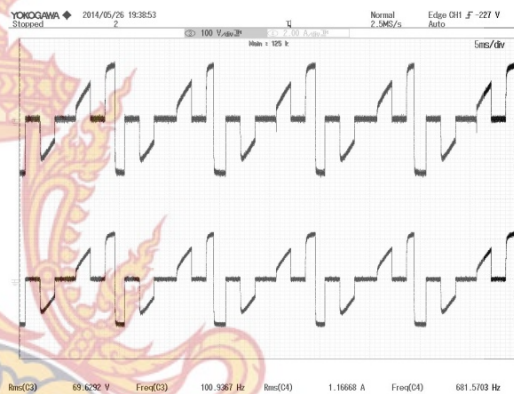


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.25 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.4 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

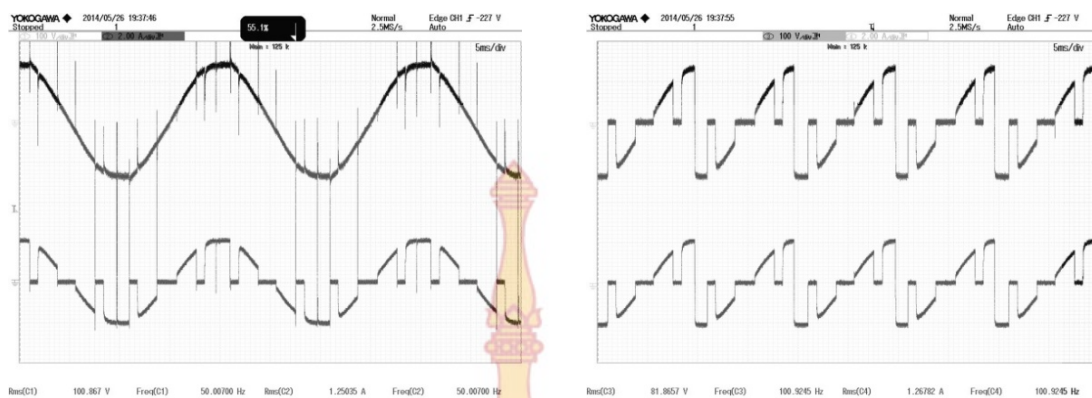


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

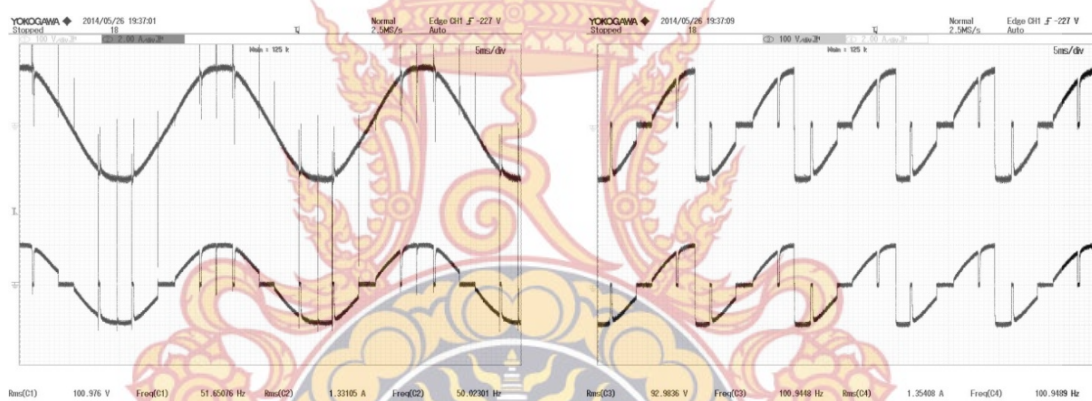
ภาพที่ 4.26 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.6 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



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

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

ภาพที่ 4.27 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 100 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.8 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



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

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

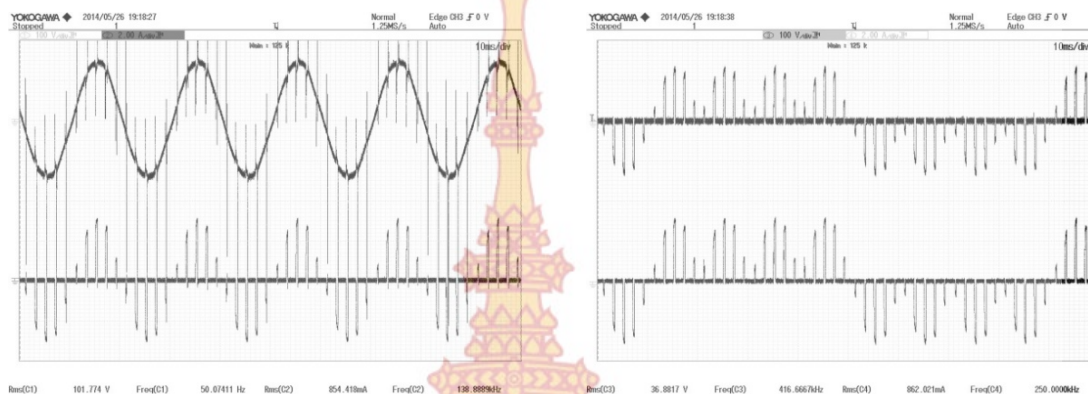
ภาพที่ 4.28 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 100 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 1.0 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวงจรเอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับโหลดตัวต้านทาน จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

ความถี่ (Hz)	อัตราการมอด	วงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส			
		อินพุทของวงจร		เอาต์พุทของวงจร	
		แรงดัน (V_{rms})	กระแส (I_{rms})	แรงดัน (V_{rms})	กระแส (I_{rms})
12.5	0.2	101.027	0.858	37.529	0.867
	0.4	101.612	1.031	55.9985	1.044
	0.6	99.971	1.146	69.295	1.163
	0.8	99.3967	1.240	81.032	1.261
	1.0	100.541	1.326	92.894	1.351
25	0.2	100.545	0.856	37.064	0.862
	0.4	100.145	1.026	55.124	1.038
	0.6	100.874	1.154	70.124	1.170
	0.8	100.425	1.248	81.744	1.266
	1.0	100.868	1.333	93.373	1.356
50	0.2	100.215	0.864	37.267	0.870
	0.4	101.062	1.036	56.128	1.051
	0.6	100.023	1.151	69.429	1.168
	0.8	100.337	1.249	81.776	1.269
	1.0	100.586	1.331	93.137	1.355
100	0.2	101.652	0.860	36.944	0.864
	0.4	101.103	1.032	55.543	1.042
	0.6	101.107	1.153	69.629	1.166
	0.8	100.867	1.250	81.865	1.267
	1.0	100.976	1.331	92.983	1.354

จากตารางที่ 4.1 การทดลองในความถี่ที่ 12.5 เฮิรตซ์ 25 เฮิรตซ์ 50 เฮิรตซ์ และ 100 เฮิรตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล ในการทดลองที่ความถี่โดยมีการปรับอัตราการมอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 จะสังเกตเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่โหลดจะมีความแตกต่างกัน เมื่อมีการปรับอัตราการมอด 0.2-1.0 จะส่งผลต่อกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าที่โหลด ดังนั้น ในช่วงอัตราการมอดที่ 0.2 จะทำให้เกิดช่วง T_{on} ในแต่ละช่วงน้อย ส่งผลให้แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าน้อยตามก็คือแรงดัน กระแสเฉลี่ยมีค่าลดลงเพราะฉะนั้นกำลังไฟฟ้าก็จะลดลงตามไปด้วย แต่เมื่อเพิ่มอัตราการมอดส่งผลให้พื้นที่ของสัญญาณ T_{on} เพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้แรงดัน กระแสเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นกำลังไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้น และโหลดไฟก็สว่างเพิ่มขึ้น และเมื่อปรับอัตราการมอดเป็น 1.0 สัญญาณที่ได้มีค่าใกล้เคียงสัญญาณไซน์ ดังนั้นเอาต์พุทที่ออกมาจะมีค่าใกล้เคียงกับสัญญาณ ไซน์ที่เป็นสัญญาณไซน์ปกติ แต่กำลังไฟฟ้าจะมีค่าน้อยกว่า

2.5 สัญญาณพัลส์ที่ดับลิวิตี 12.5 เฮิร์ตซ์ จำนวนพัลส์เท่ากับ 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล จากการทดลองกับโหลดตัวต้านทานขนาด 500 วัตต์ โดยทำการทดลองที่ความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ อัตราการมอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล เพื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลด โดยผลการทดลองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.29 ถึง ภาพที่ 4.33 และจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสามารถสรุปมาเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.2



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

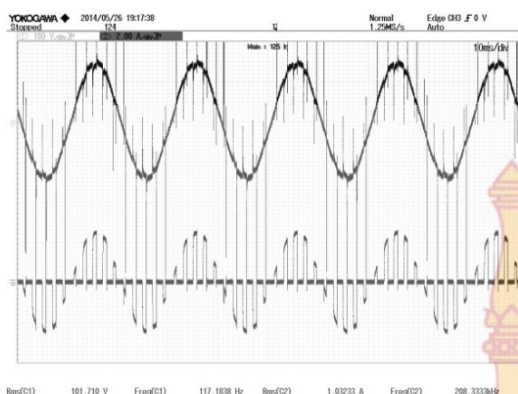
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

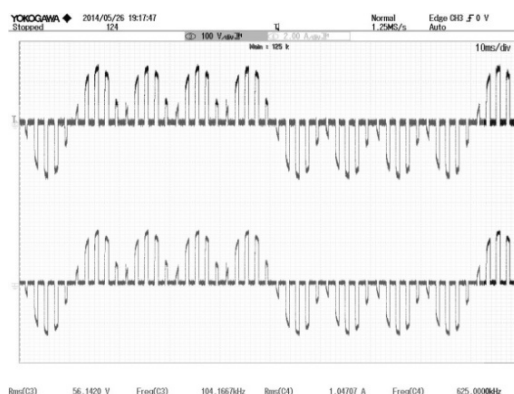
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.29 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ อัตราการมอด 0.2 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



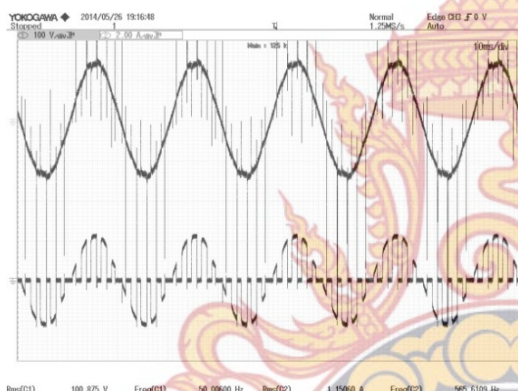


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

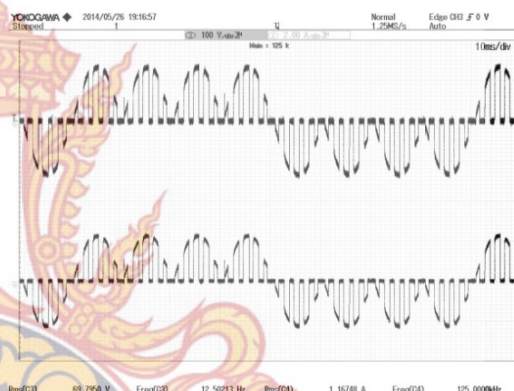


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.30 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 12.5 เฮอร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.4 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

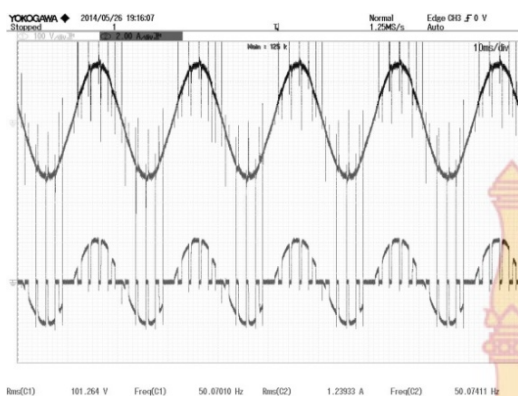


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

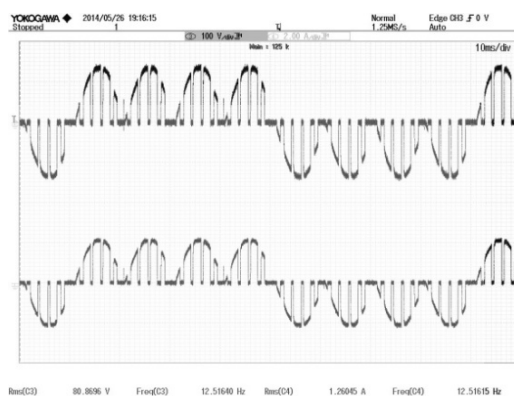


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.31 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 12.5 เฮอร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.6 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

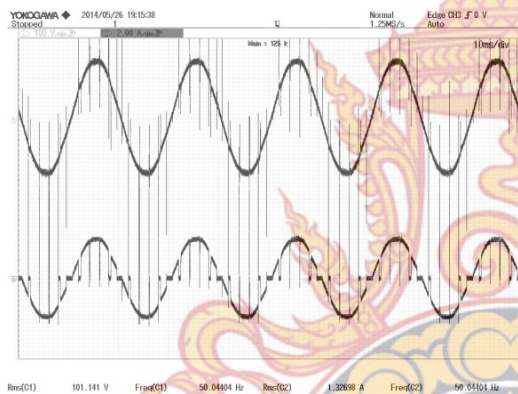


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

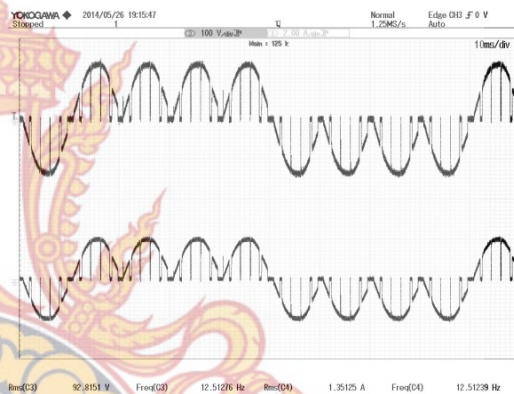


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.32 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 12.5 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.8 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

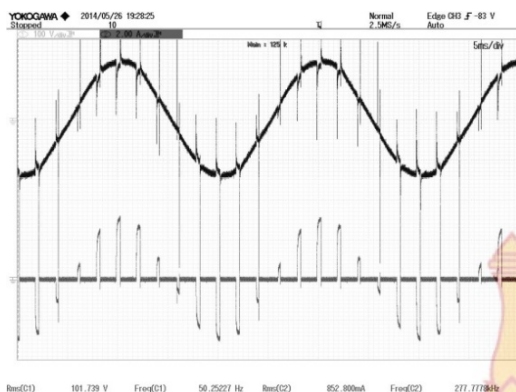


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.33 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 12.5 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 1.0 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

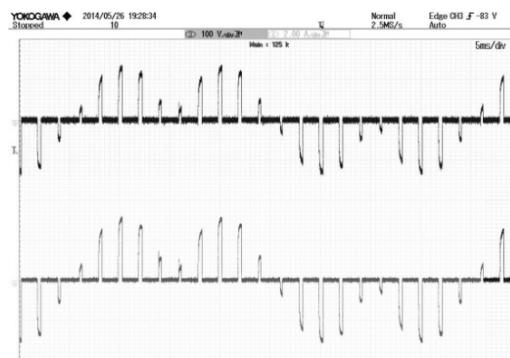
2.6 สัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็มความถี่ 25 เฮิรตซ์ จำนวนพัลส์เท่ากับ 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

จากการทดลองกับโหลดตัวต้านทานขนาด 500 วัตต์ โดยทำการทดลองที่ความถี่ 25 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล เพื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลด โดยผลการทดลองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.34 ถึง ภาพที่ 4.38 และจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสามารถสรุปมาเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.2



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

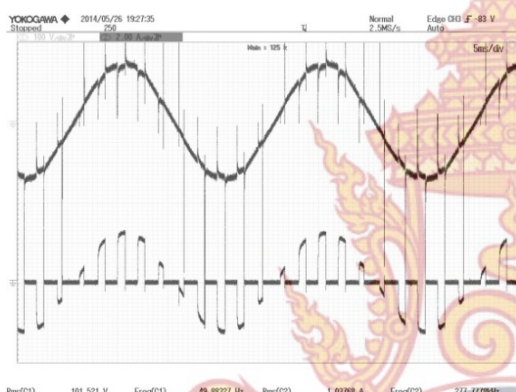
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

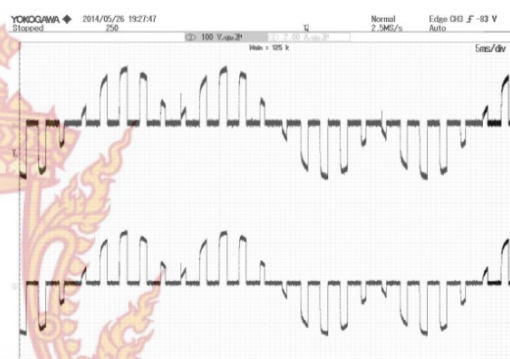
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.34 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.2 จำนวน 5 พัลส์ต่อครั้งไซเคิล



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

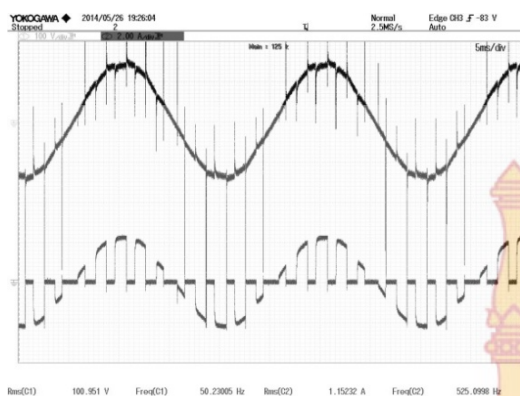


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

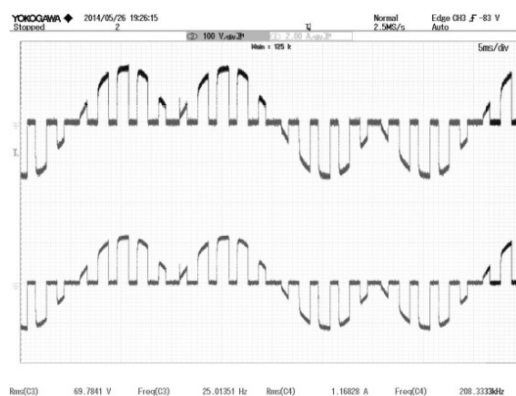
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.35 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.4 จำนวน 5 พัลส์ต่อครั้งไซเคิล



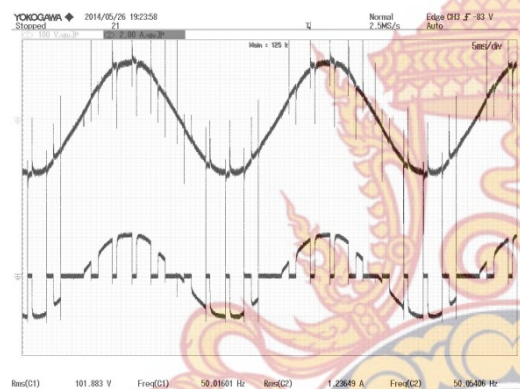


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

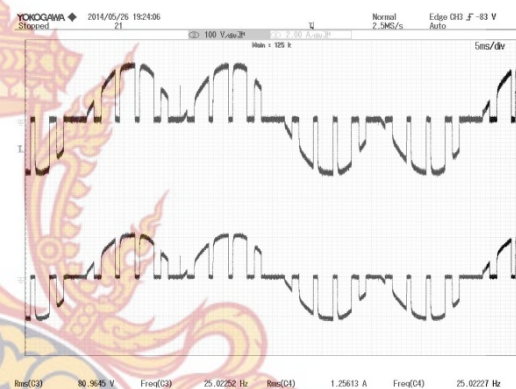


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.36 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.6 จำนวน 5 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล

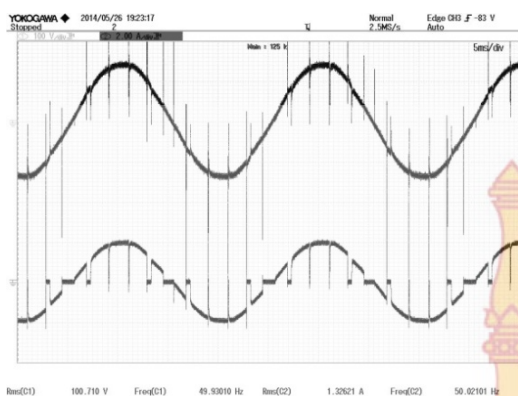


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

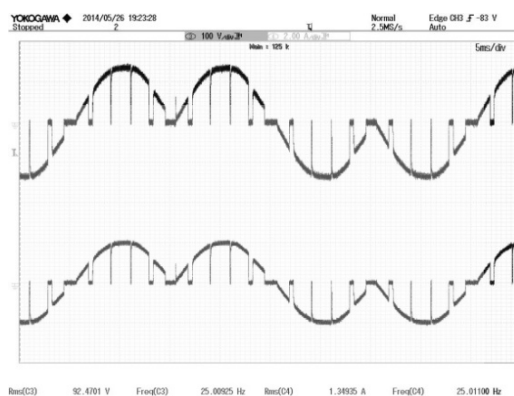


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.37 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.8 จำนวน 5 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล



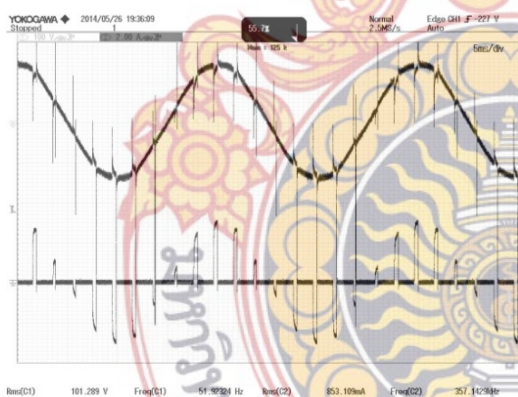
(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



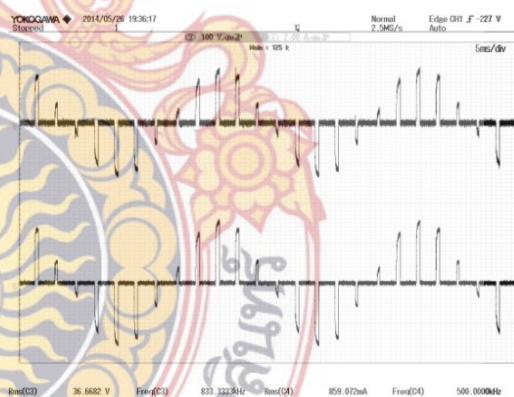
(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.38 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 1.0 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

2.7 สัญญาณพัลส์ที่ดับบลิวเอ็มมีความถี่ 50 เฮิรตซ์ จำนวนพัลส์เท่ากับ 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล จากการทดลองกับโหลดตัวต้านทานขนาด 500 วัตต์ โดยทำการทดลองที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล เพื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลด โดยผลการทดลองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.39 ถึง ภาพที่ 4.43 และจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสามารถสรุปมาเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.2

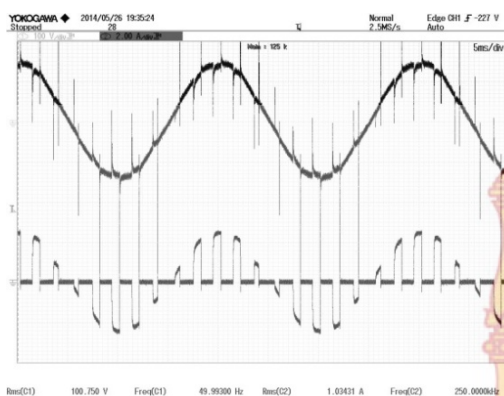


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



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

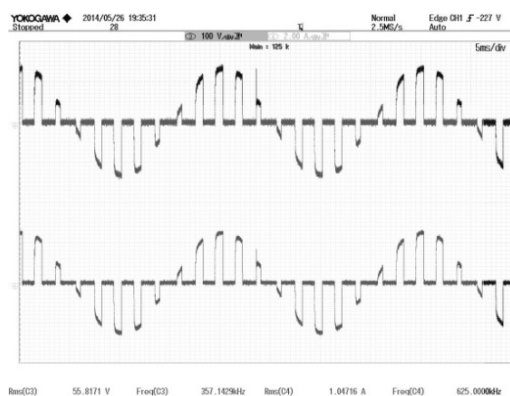
ภาพที่ 4.39 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 50 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.2 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

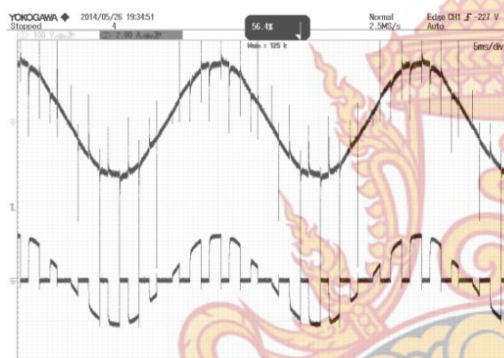
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.40 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.4 จำนวน 5 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล



(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

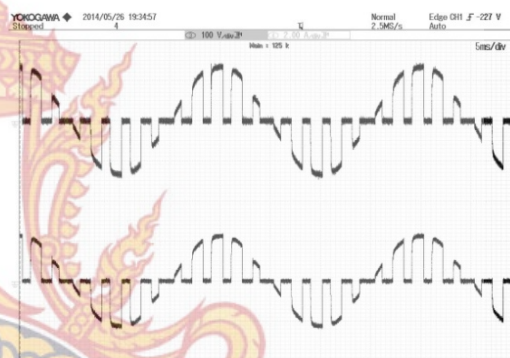
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

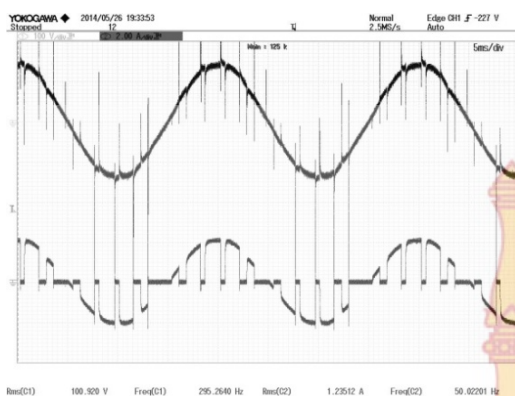
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.41 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.6 จำนวน 5 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล

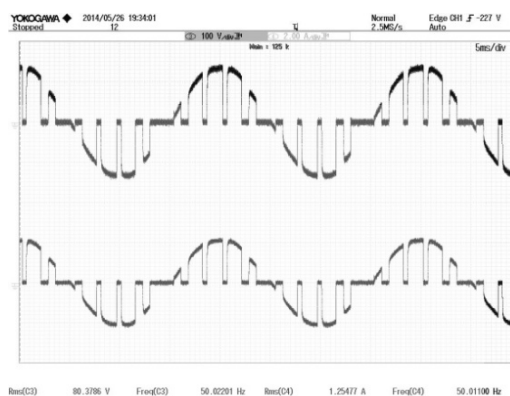


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

(รูปแบบ : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

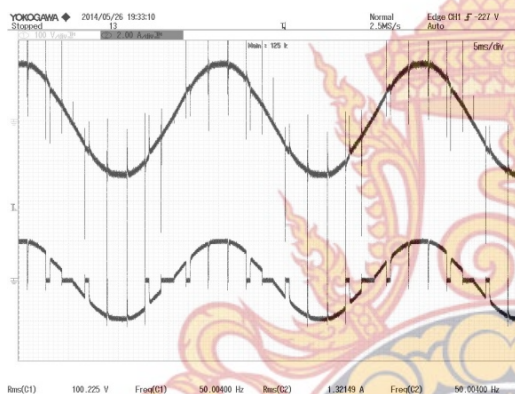


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

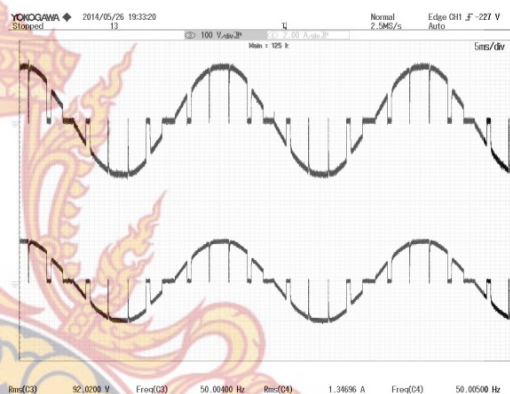


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.42 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 50 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.8 จำนวน 5 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล



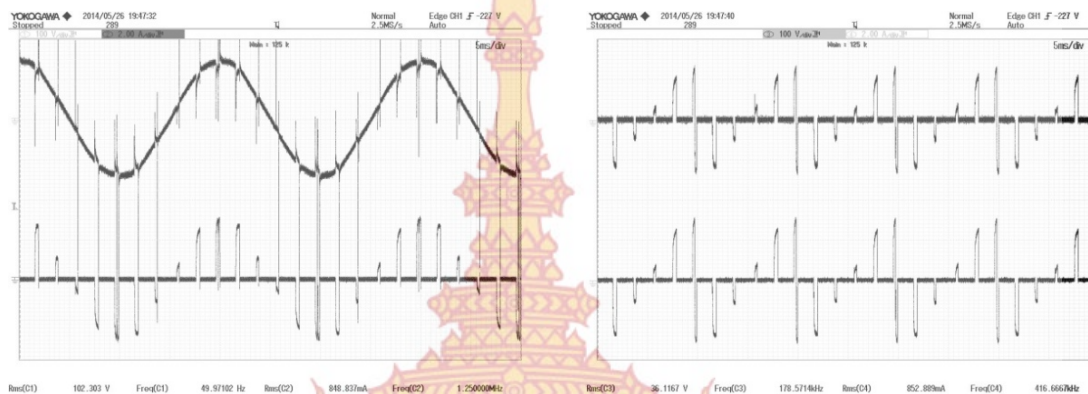
(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)



(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.43 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 50 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 1.0 จำนวน 5 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล

2.8 สัญญาณพัลส์พีดับลิแวมความถี่ 100 เฮิรตซ์ จำนวนพัลส์เท่ากับ 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล จากการทดลองกับโหลดตัวต้านทานขนาด 500 วัตต์ โดยทำการทดลองที่ความถี่ 100 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล เพื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลด โดยผลการทดลองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.44 ถึง ภาพที่ 4.48 และจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสามารถสรุปมาเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.2



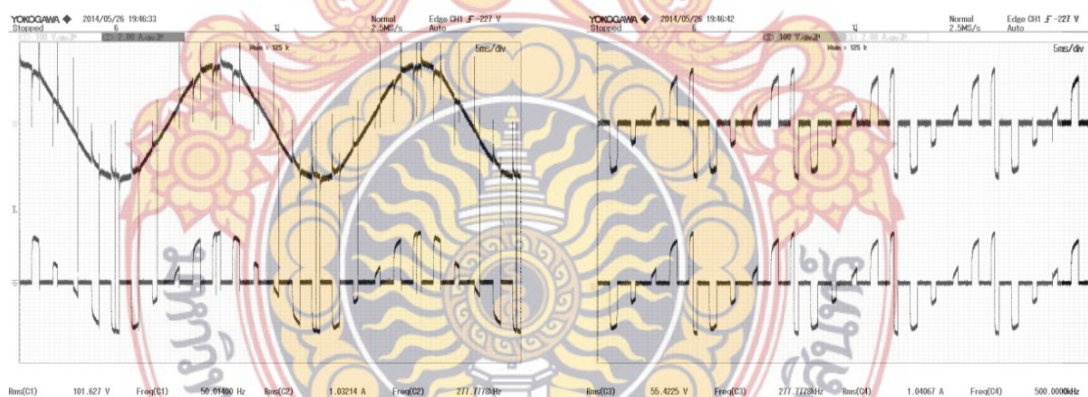
(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.44 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 100 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.2 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



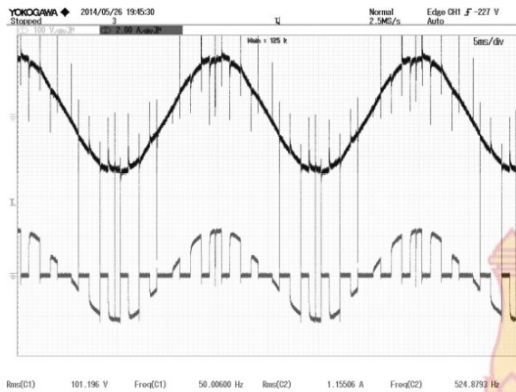
(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

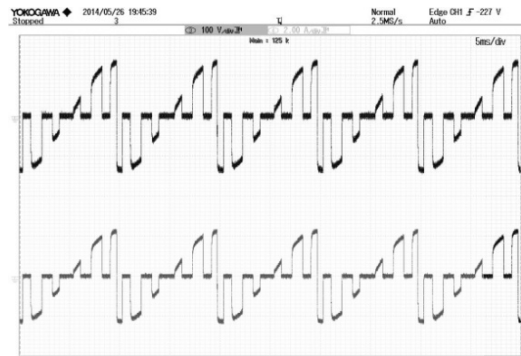
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.45 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 100 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.4 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

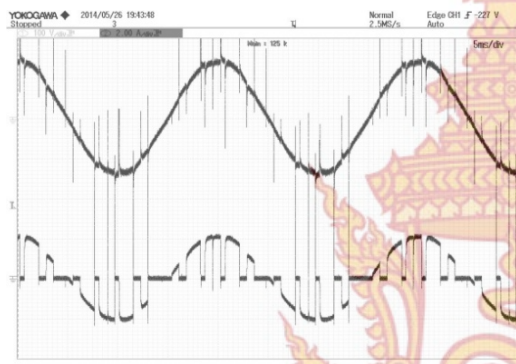
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.46 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 100 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.6 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

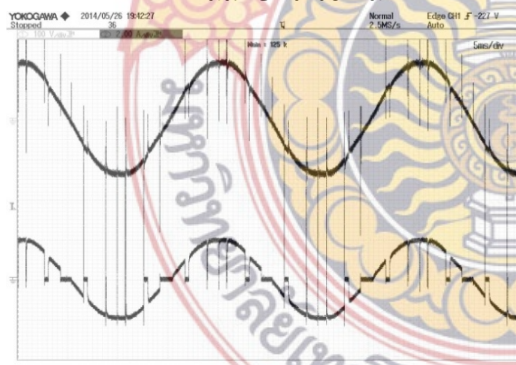
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

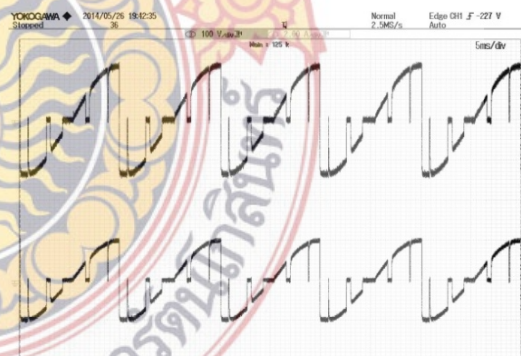
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.47 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 100 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.8 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.48 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 100 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 1.0 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวงจรเอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับโหลดตัวต้านทาน จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

ความถี่ (Hz)	อัตราการมอด	วงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส			
		อินพุทของวงจร		เอาต์พุทของวงจร	
		แรงดัน (V_{rms})	กระแส (I_{rms})	แรงดัน (V_{rms})	กระแส (I_{rms})
12.5	0.2	101.774	0.854	36.881	0.862
	0.4	101.710	1.032	56.142	1.047
	0.6	100.875	1.150	69.795	1.167
	0.8	101.264	1.239	80.869	1.260
	1.0	101.141	1.326	92.815	1.351
25	0.2	101.739	0.852	36.697	0.858
	0.4	101.521	1.037	55.921	1.044
	0.6	100.951	1.153	69.784	1.168
	0.8	101.883	1.236	80.964	1.256
	1.0	100.710	1.326	92.470	1.349
50	0.2	101.289	0.853	36.668	0.859
	0.4	100.750	1.034	55.817	1.047
	0.6	100.850	1.155	70.021	1.171
	0.8	100.920	1.235	80.378	1.254
	1.0	100.225	1.321	92.020	1.346
100	0.2	102.303	0.848	36.116	0.852
	0.4	101.627	1.032	55.422	1.040
	0.6	101.196	1.155	69.819	1.166
	0.8	100.937	1.233	79.936	1.247
	1.0	100.855	1.326	92.309	1.346

จากตารางที่ 4.2 การทดลองในความถี่ที่ 12.5 เฮิร์ตซ์ 25 เฮิร์ตซ์ 50 เฮิร์ตซ์ และ 100 เฮิร์ตซ์ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล ในการทดลองปรับความถี่โดยมีการปรับอัตราการมอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มีความใกล้เคียงกับในการทดลองแบบ 3 พัลส์ ในช่วงอัตราการมอดที่ 0.2 เกิดช่วง T_{on} ในแต่ละช่วงน้อย ส่งผล ให้แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้ามีน้อย แต่เมื่อเพิ่มอัตรา การมอดจะทำให้พื้นที่ของสัญญาณ T_{on} เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า เฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้น กำลังไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้น โดยค่าสูงที่สุดจะอยู่ในช่วงอัตราการมอดที่ 1.0

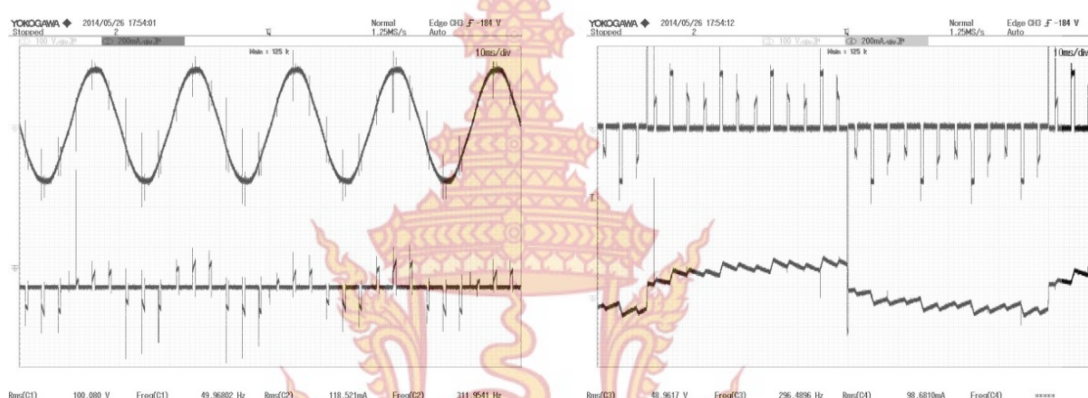
3 การทดสอบกรณีโหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ

ทำการทดลองกับโหลดตัวต้านทานขนาด 100 วัตต์ต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ ขนาด 1.0021 เฮนรี่ โดยการจ่ายแรงดันอินพุท 1 เฟส 100 โวลท์ 50 เฮิร์ตซ์ แล้วทำการบันทึกผลเป็นรูปสัญญาณ

อินพุทและเอาต์พุทที่ค่าความถี่สวิทช์ 12.5 เฮิร์ตซ์ 25 เฮิร์ตซ์ 50 เฮิร์ตซ์ และ 100 เฮิร์ตซ์ อัตราการมอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 และ 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

3.1 สัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็มความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

จากการทดลองกับโหลดตัวต้านทานขนาด 100 วัตต์ ต่อกับตัวเหนี่ยวนำขนาด 1.0021 เฮนรี่ โดยทำการทดลองที่ความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ อัตราการมอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล เพื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลด โดยผลการทดลองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.49 ถึงภาพที่ 4.53 และจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสามารถสรุปมาเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.3



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

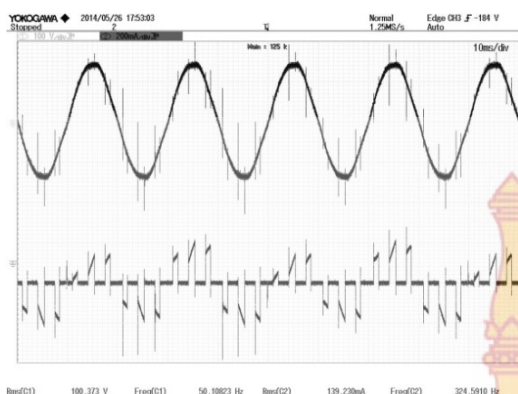
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.49 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ อัตราการมอด 0.2 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

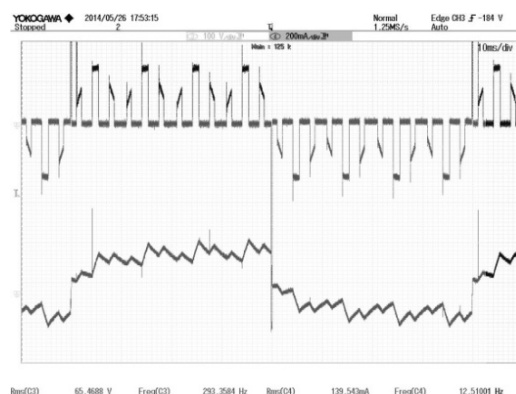




(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

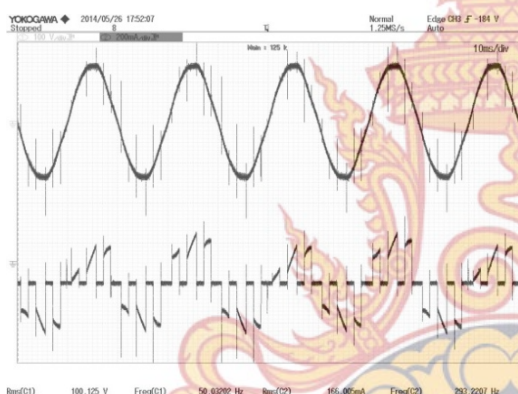
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.50 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 12.5 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.4 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

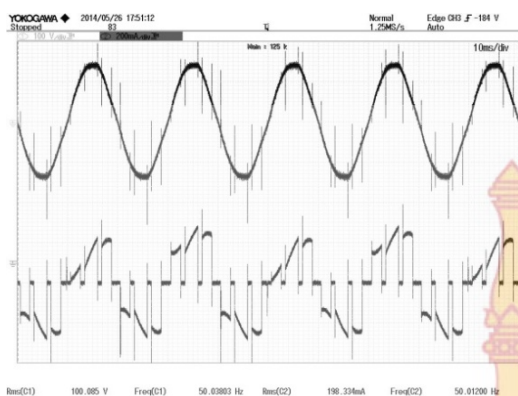
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.51 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 12.5 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.6 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

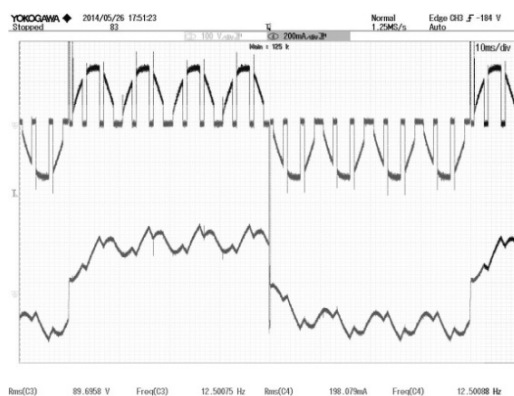


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

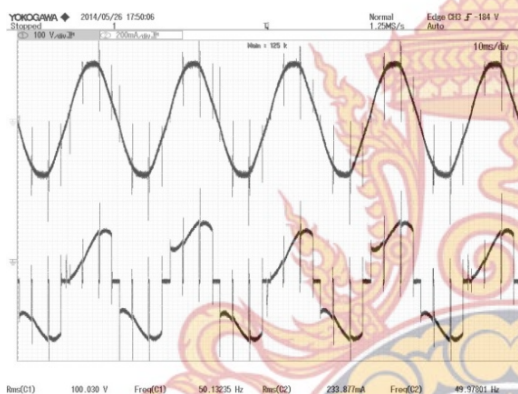


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

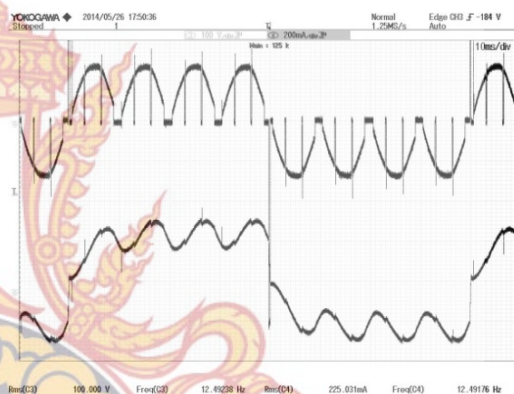


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.52 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 12.5 เฮอร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.8 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

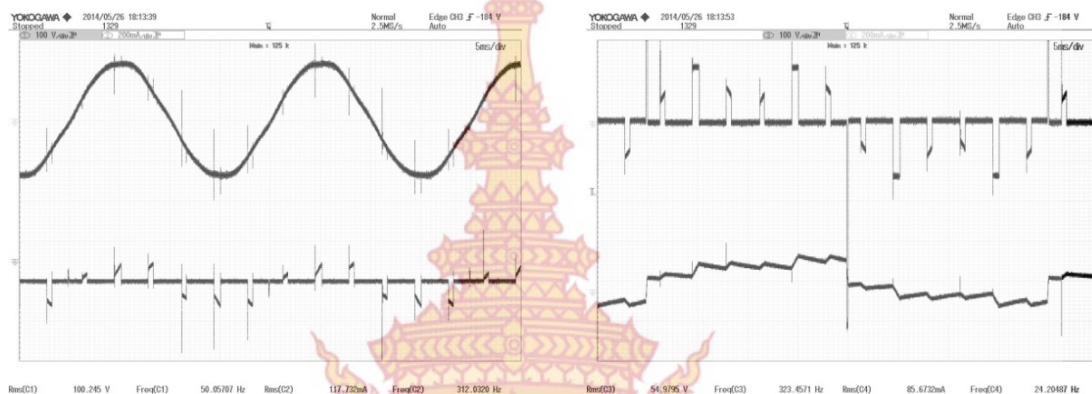


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.53 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 12.5 เฮอร์ตซ์ อัตราการมีอด 1.0 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

3.2 สัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็มความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

จากการทดลองกับโหลดตัวต้านทานขนาด 100 วัตต์ ต่อกับอนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำขนาด 1.0021 เฮนรี่ โดยทำการทดลองที่ความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล เพื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลด โดยผลการทดลองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.54 ถึงภาพที่ 4.58 และจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสามารถสรุปมาเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.3



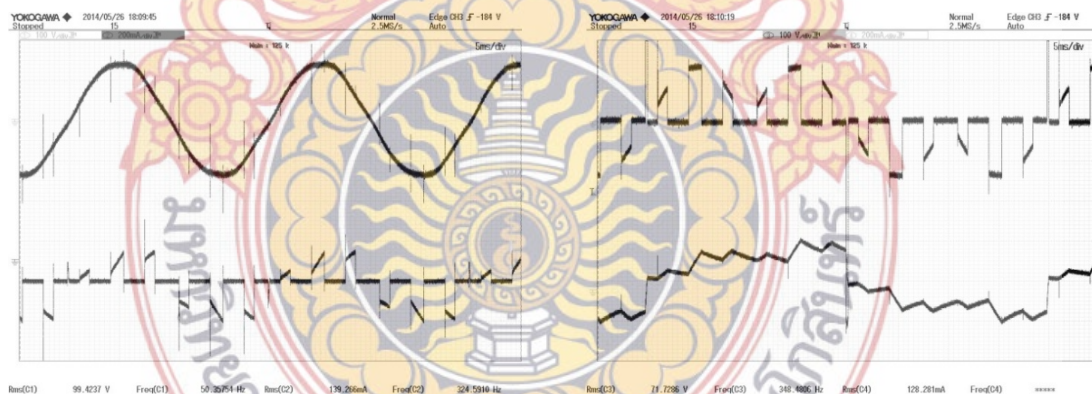
(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

(รูปแบบ : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

(รูปแบบ : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.54 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.2 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



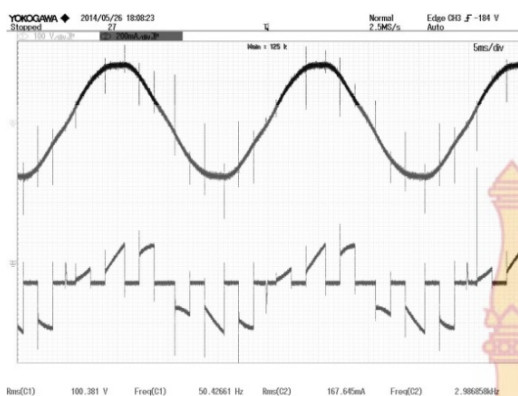
(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

(รูปแบบ : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

(รูปแบบ : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

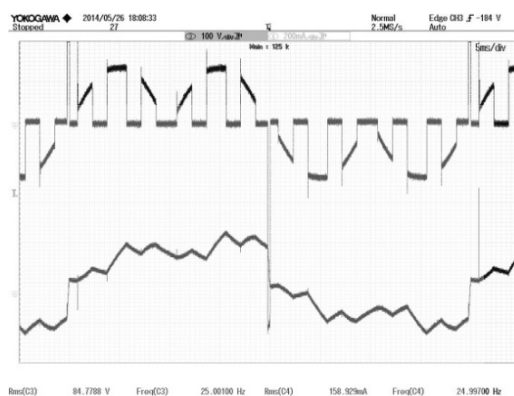
ภาพที่ 4.55 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.4 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุต

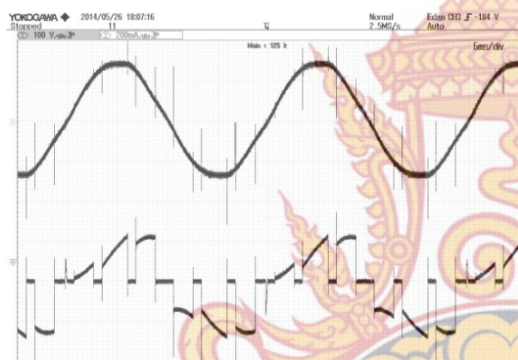
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.56 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.6 จำนวน 3 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล



(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต

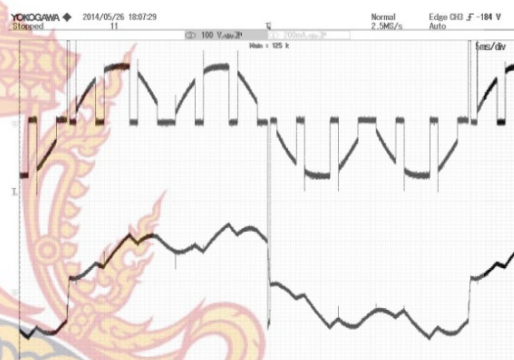
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุต

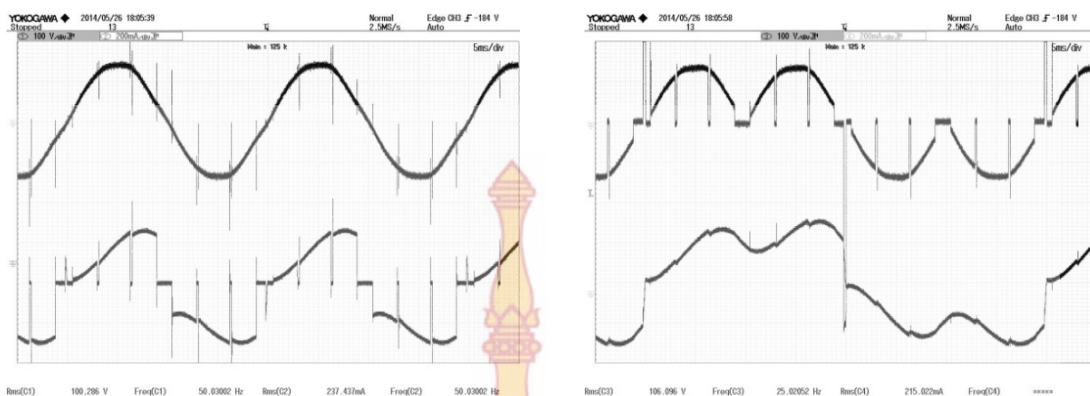
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.57 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.8 จำนวน 3 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล



(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

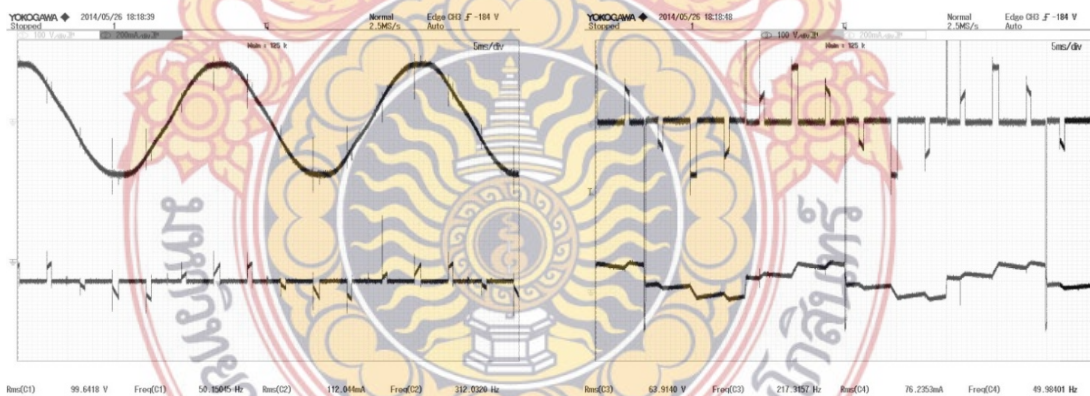


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.58 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 1.0 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

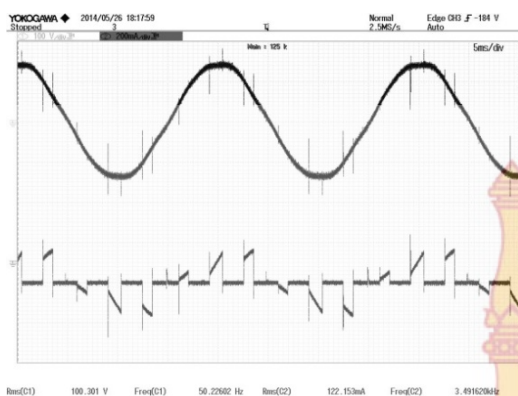
3.3 สัญญาณพัลส์ที่ดับลิวมเอ็มความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล จากการทดลองกับโหลดตัวต้านทานขนาด 100 วัตต์ ที่อนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำขนาด 1.0021 เฮนรี่ โดยทำการทดลองที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล เพื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลด โดยผลการทดลองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.59 ถึงภาพที่ 4.63 และจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสามารถสรุปมาเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.3



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

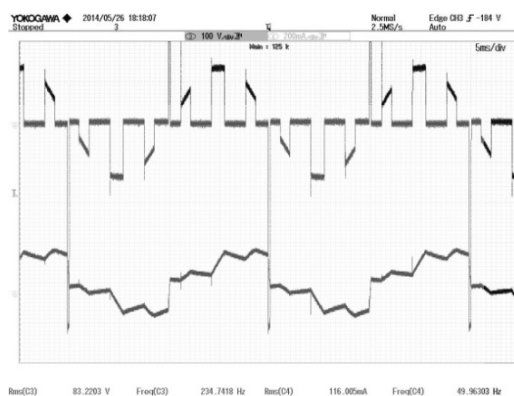
ภาพที่ 4.59 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.2 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

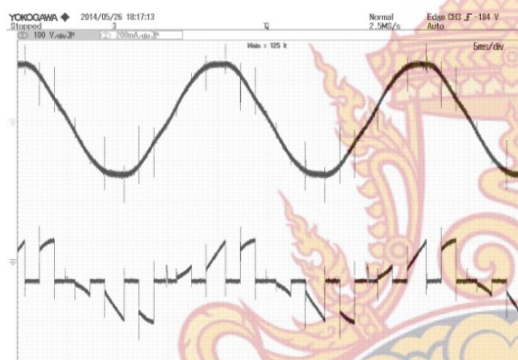
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.60 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 50 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.4 จำนวน 3 พัลส์ ต่อครึ่งไซเคิล



(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

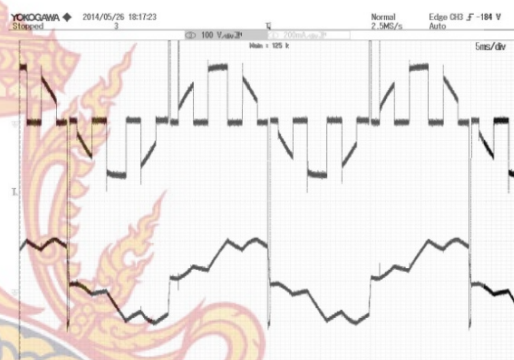
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

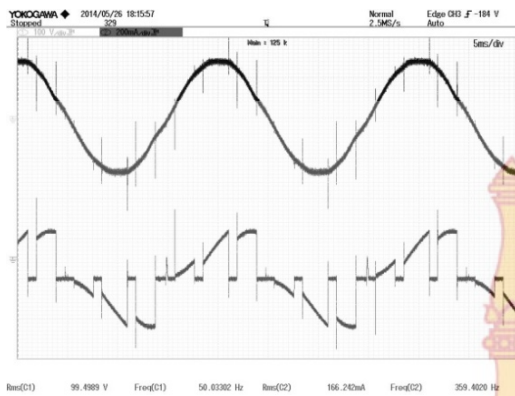
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.61 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 50 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.6 จำนวน 3 พัลส์ ต่อครึ่งไซเคิล

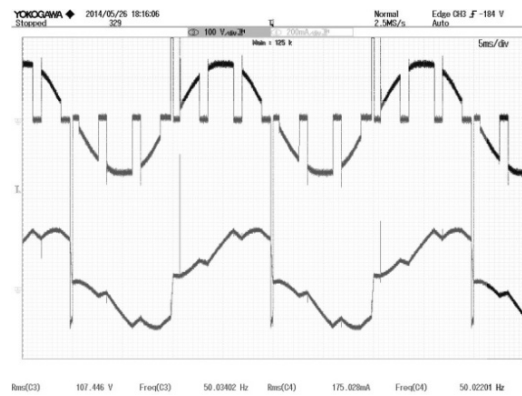


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

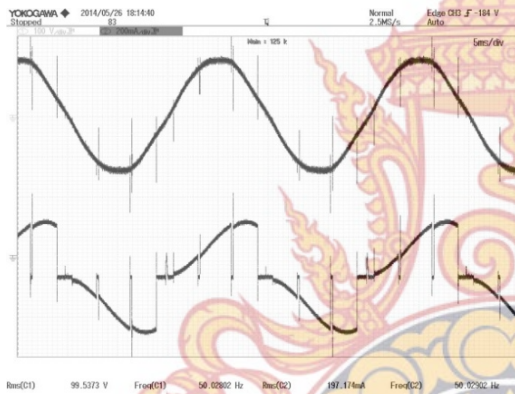


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

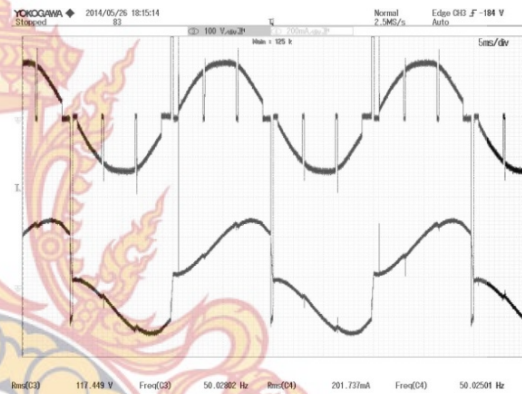


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.62 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 50 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.8 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



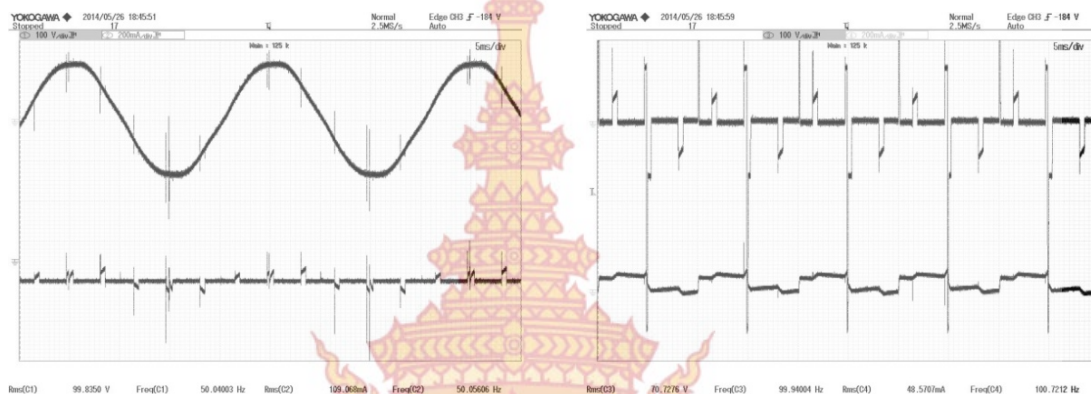
(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)



(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.63 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 50 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 1.0 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

3.4 สัญญาณพัลส์พีดับลิวิตีความถี่ 100 เฮิรตซ์ จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล จากการทดลองกับโหลดตัวต้านทานขนาด 100 วัตต์ ต่อกับตัวเหนี่ยวนำขนาด 1.0021 เฮนรี่ โดยทำการทดลองที่ความถี่ 100 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 จำนวนพัลส์เท่ากับ 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล เพื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลด โดยผลการทดลองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.64 ถึงภาพที่ 4.68 และจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสามารถสรุปมาเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.3



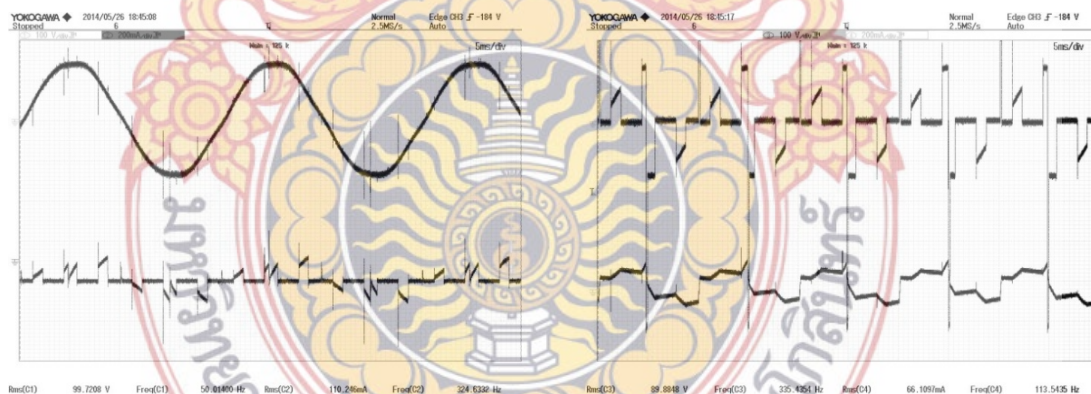
(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.64 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 100 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.2 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



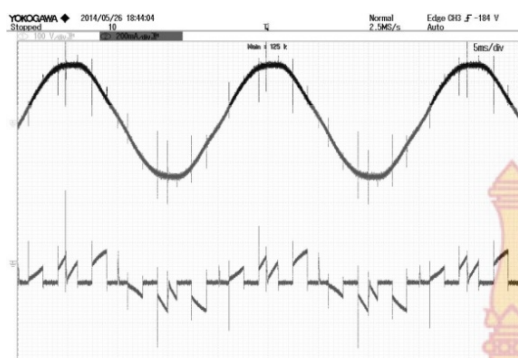
(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

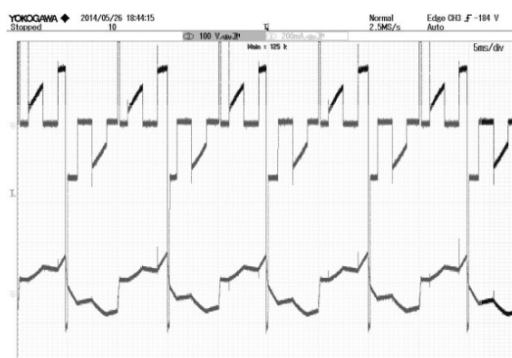
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.65 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 100 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.4 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



Rem(C1) 100.484 V Freed(C1) 50.82201 Hz Rem(C2) 116.432mA Freed(C2) 340.1823 Hz

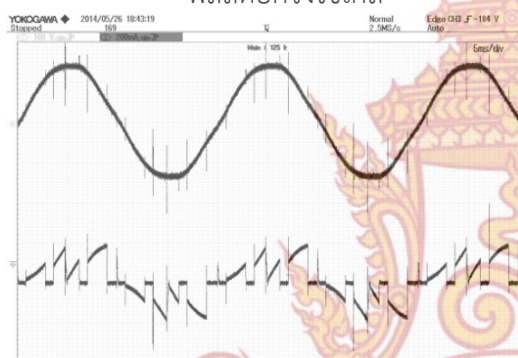
(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)



Rem(C3) 106.878 V Freed(C3) 98.54935 Hz Rem(C4) 88.5704mA Freed(C4) 100.5996 Hz

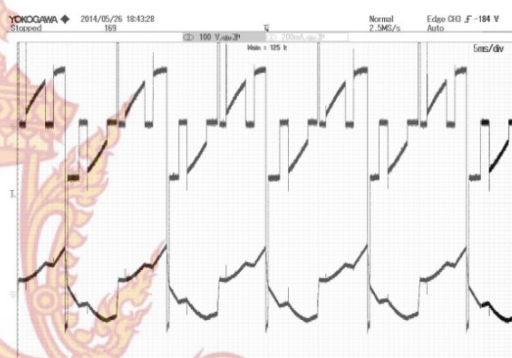
(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.66 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 100 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.6 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



Rem(C1) 99.8758 V Freed(C1) 50.82561 Hz Rem(C2) 129.360mA Freed(C2) 239.9600 Hz

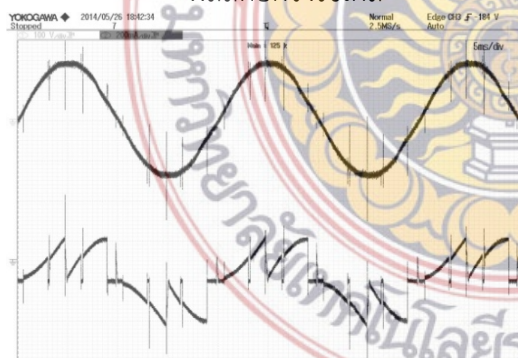
(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)



Rem(C3) 121.040 V Freed(C3) 98.77869 Hz Rem(C4) 110.791mA Freed(C4) 98.6772 Hz

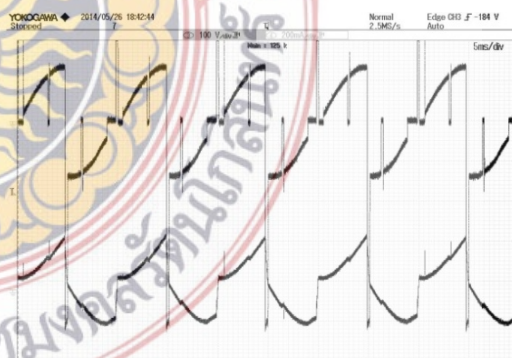
(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.67 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 100 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.8 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



Rem(C1) 100.835 V Freed(C1) 50.82101 Hz Rem(C2) 145.44mA Freed(C2) 50.03803 Hz

(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)



Rem(C3) 133.130 V Freed(C3) 98.90023 Hz Rem(C4) 133.509mA Freed(C4) 98.79861 Hz

(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.68 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 100 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 1.0 จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

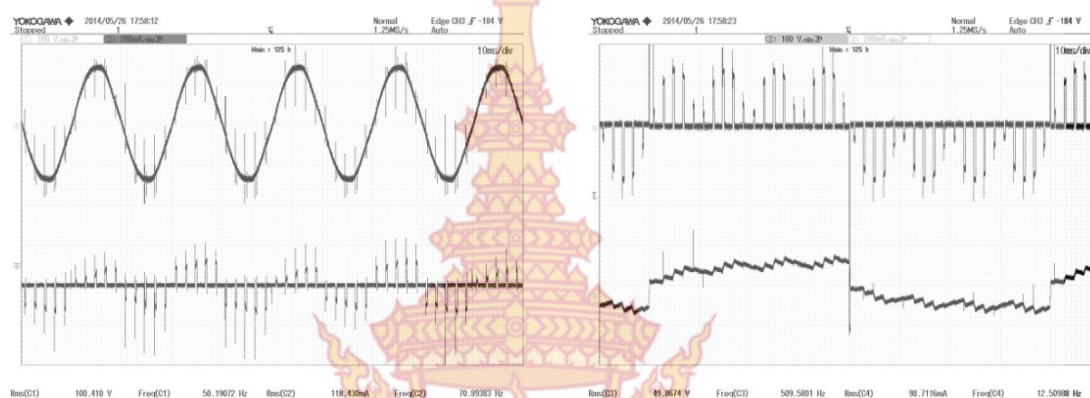
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองวงจรเอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับโหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

ความถี่ (Hz)	อัตราการมอด	วงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส			
		อินพุทของวงจร		เอาต์พุทของวงจร	
		แรงดัน (V_{rms})	กระแส (I_{rms})	แรงดัน (V_{rms})	กระแส (I_{rms})
12.5	0.2	100.080	0.118	48.961	0.098
	0.4	100.373	0.139	65.468	0.139
	0.6	100.125	0.166	78.322	0.169
	0.8	100.085	0.198	89.695	0.198
	1.0	100.030	0.233	100.000	0.225
25	0.2	100.245	0.117	54.979	0.085
	0.4	99.423	0.139	71.728	0.128
	0.6	100.381	0.167	84.778	0.158
	0.8	100.556	0.201	96.151	0.187
	1.0	100.286	0.237	106.096	0.215
50	0.2	99.641	0.112	63.914	0.076
	0.4	100.301	0.122	83.220	0.116
	0.6	99.583	0.140	96.192	0.146
	0.8	99.498	0.166	107.446	0.175
	1.0	99.573	0.197	117.449	0.201
100	0.2	99.835	0.109	70.727	0.048
	0.4	99.720	0.110	89.884	0.066
	0.6	100.484	0.116	106.878	0.088
	0.8	99.875	0.128	121.040	0.110
	1.0	100.035	0.145	133.130	0.133

จากตารางที่ 4.3 การทดลองในความถี่ที่ 12.5 เฮิรตซ์ 25 เฮิรตซ์ 50 เฮิรตซ์ และ 100 เฮิรตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล ในการทดลองได้ทำการทดสอบกับโหลดตัวต้านทานขนาด 100 วัตต์ ต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำขนาด 1.0021 เฮนรี โดยมีการปรับอัตราการมอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 พบว่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อทำการปรับอัตราการมอด 0.2-1.0 จะส่งผลต่อกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่โหลด ดังนั้น ในช่วงอัตราการมอดที่ 0.2 ช่วง T_{on} ในแต่ละช่วงน้อย ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้ามูลค่าน้อยเมื่อเพิ่มอัตราการมอดส่งผลให้พื้นที่ของสัญญาณ T_{on} เพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นกำลังไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้น ในส่วนรูปของกระแสไฟฟ้า เนื่องจากตัวเหนี่ยวนำกระแสจะล่าหลังแรงดันอยู่ 90 องศา ส่งผลให้ได้รูปกระแสไฟฟ้าดังภาพการทดลอง

3.5 สัญญาณพัลส์พีดีบีลิวเอ็มความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ จำนวนพัลส์เท่ากับ 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

จากการทดลองกับโหลดตัวต้านทานขนาด 100 วัตต์ ต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำขนาด 1.0021 เฮนรี่ โดยทำการทดลองที่ความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 จำนวนพัลส์เท่ากับ 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล เพื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลด โดยผลการทดลองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.69 ถึง ภาพที่ 4.73 และจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสามารถสรุปมาเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.4

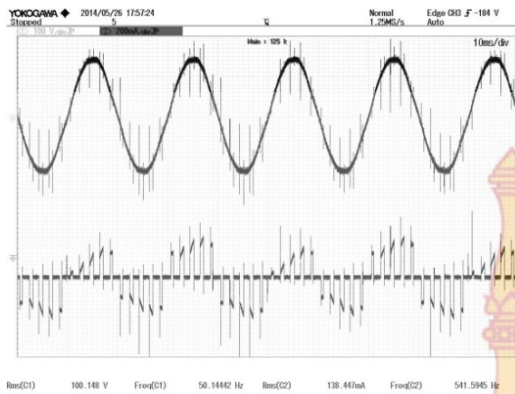


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

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

ภาพที่ 4.69 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.2 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

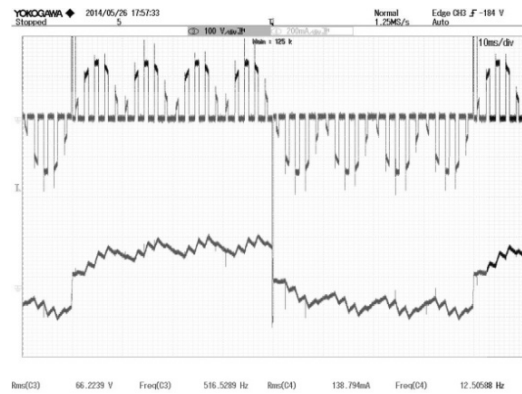




(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

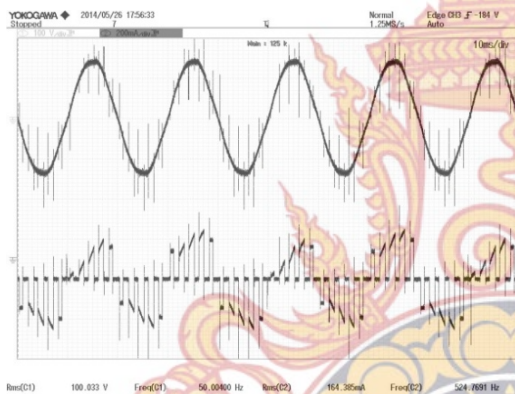
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.70 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 12.5 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.4 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

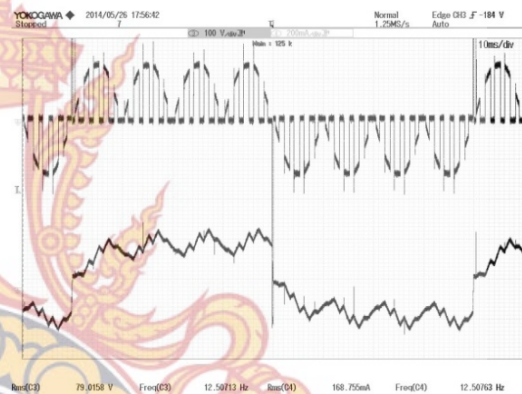
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

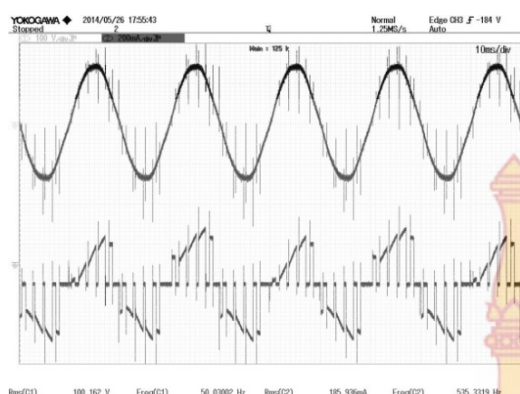
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.71 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 12.5 เฮิรตซ์ อัตราการมีอด 0.6 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

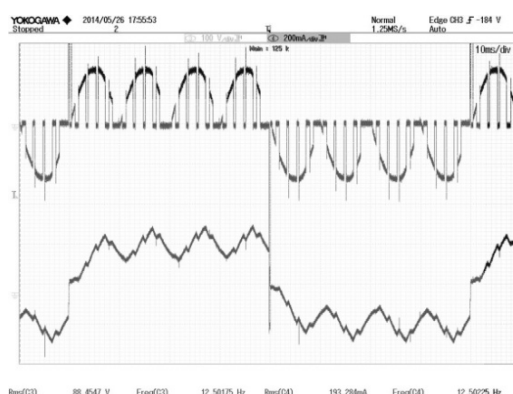
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

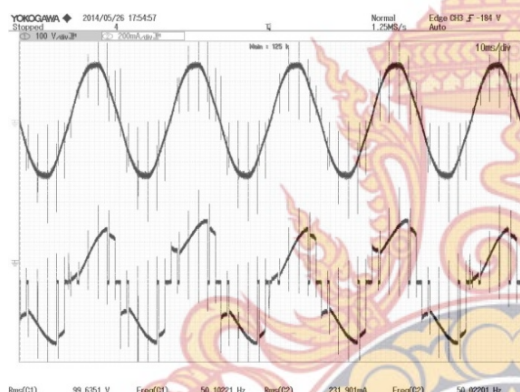
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.72 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.8 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

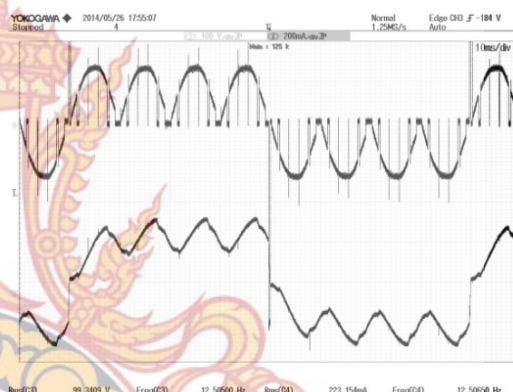
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

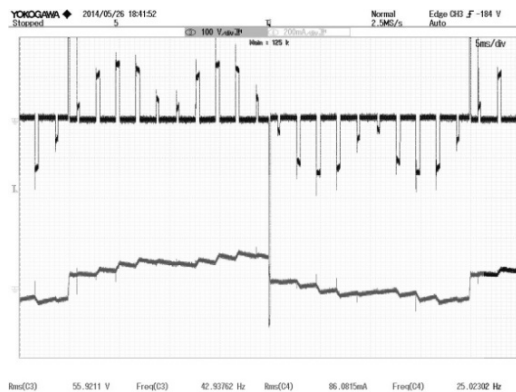
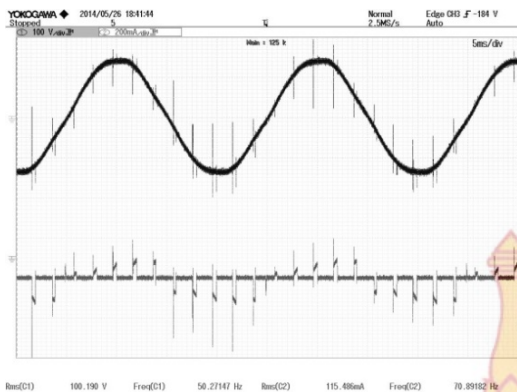
ภาพที่ 4.73 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 12.5 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 1.0 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

3.6 สัญญาณพัลส์ที่ดับลิแวนซ์ความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ จำนวนพัลส์เท่ากับ 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล จากการทดลองกับโหลดตัวต้านทานขนาด 100 วัตต์ ต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำขนาด 1.0021 เฮนรี่ โดยทำการทดลองที่ความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 จำนวนพัลส์เท่ากับ 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล เพื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลด โดยผลการทดลองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.74 ถึง ภาพที่ 4.78 และจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสามารถสรุปมาเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.4



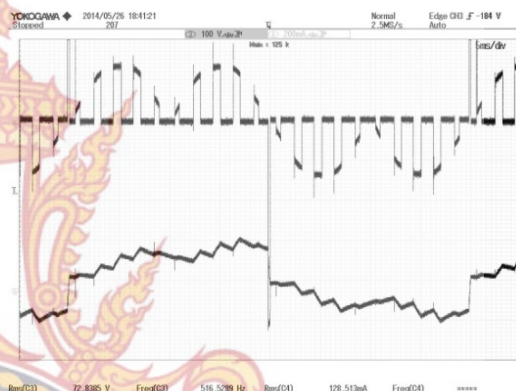
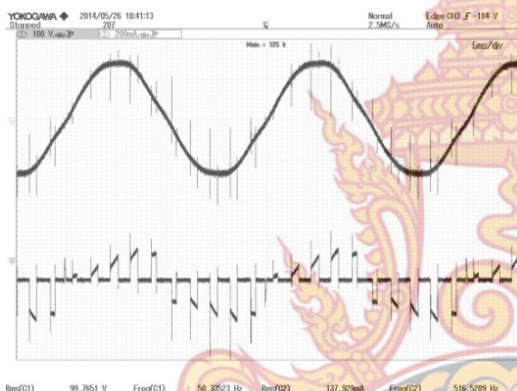
(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.74 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.2 จำนวน 5 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

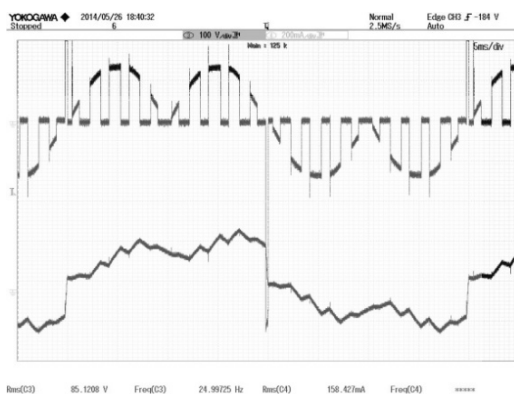
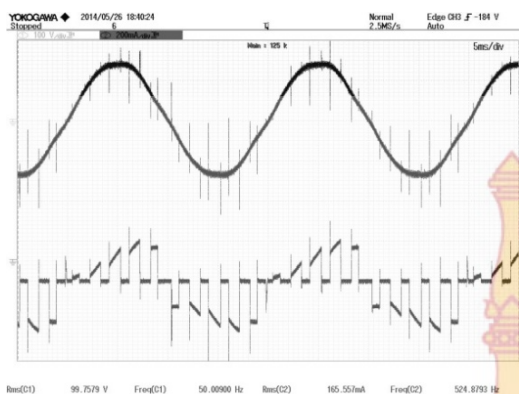
(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.75 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.4 จำนวน 5 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล





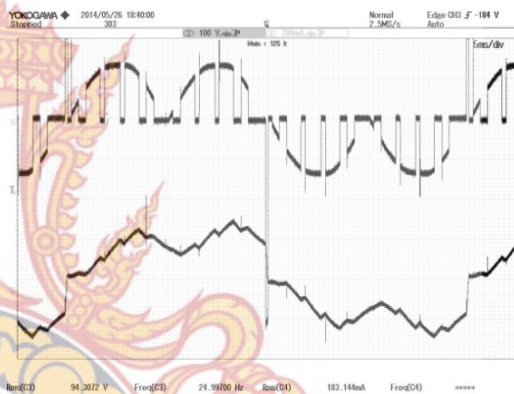
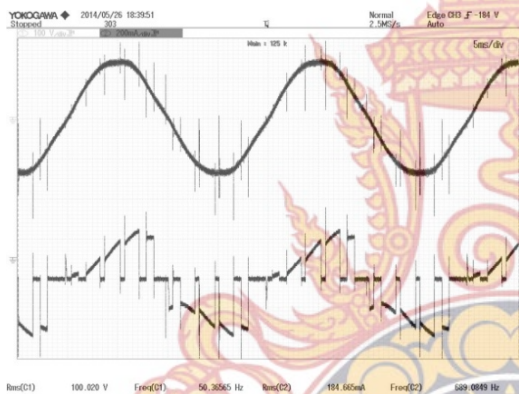
(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.76 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.6 จำนวน 5 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

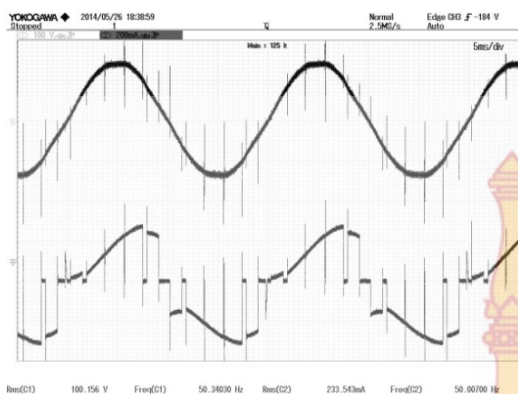
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

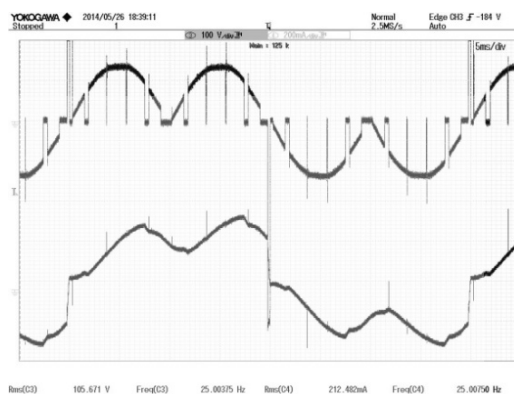
ภาพที่ 4.77 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.8 จำนวน 5 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล





(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



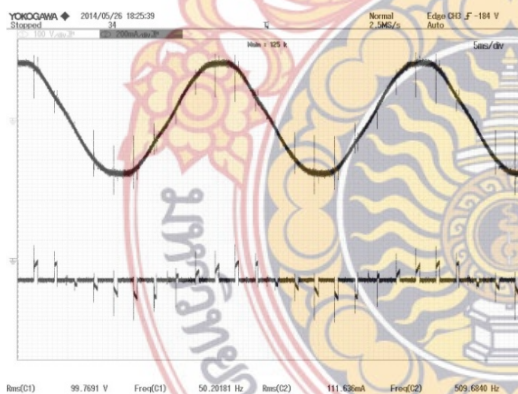
(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.78 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 1.0 จำนวน 5 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล

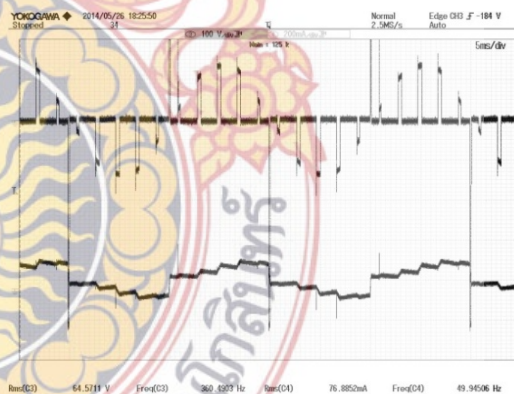
3.7 สัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็มความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จำนวนพัลส์เท่ากับ 5 พัลส์ต่อครั้งไซเคิล

จากการทดลองกับโหลดตัวต้านทานขนาด 100 วัตต์ ต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำขนาด 1.0021 เฮนรี่ โดยทำการทดลองที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 จำนวนพัลส์เท่ากับ 5 พัลส์ต่อครั้งไซเคิล เพื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลด โดยผลการทดลองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.79 ถึง ภาพที่ 4.83 และจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสามารถสรุปมาเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.4



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

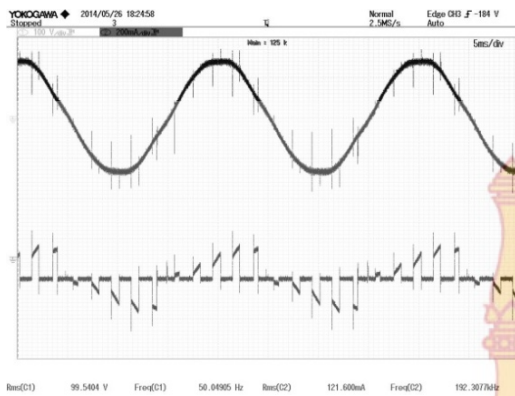
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

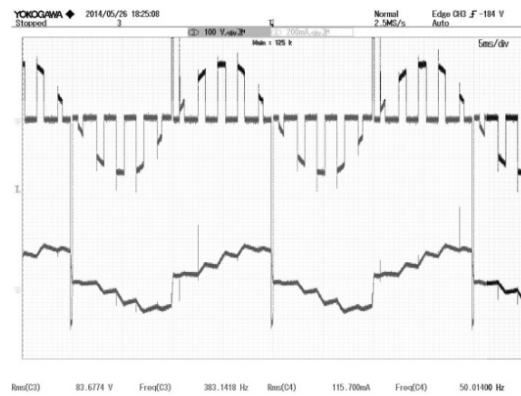
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.79 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.2 จำนวน 5 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล

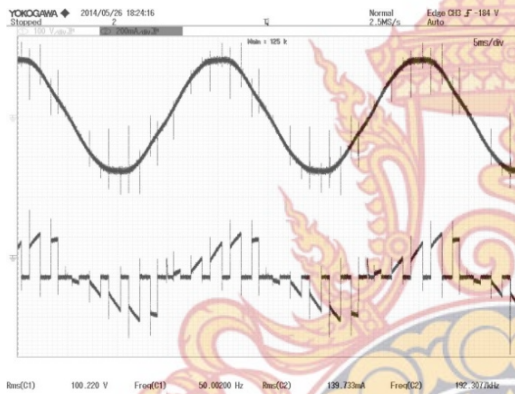


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.80 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ อัตราการมอด 0.4 จำนวน 5 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล

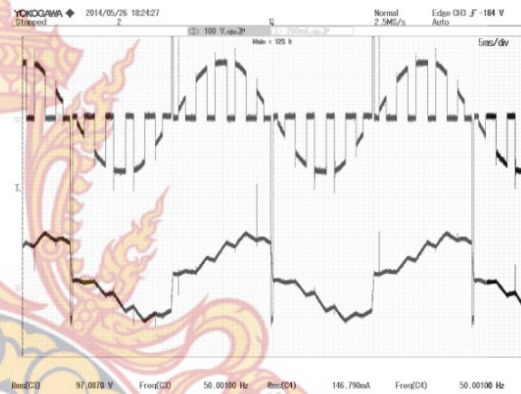


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

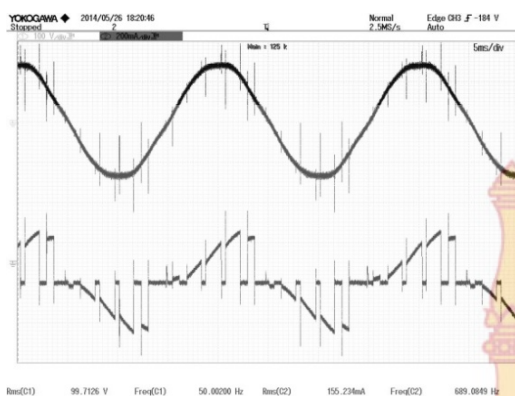


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

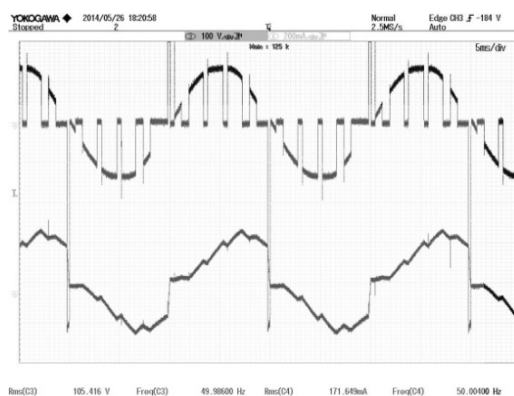
ภาพที่ 4.81 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิร์ตซ์ อัตราการมอด 0.6 จำนวน 5 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล



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

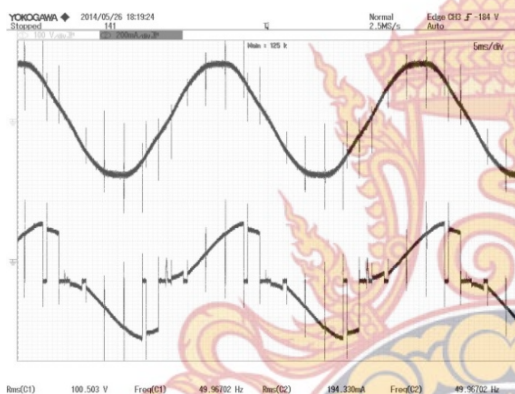


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

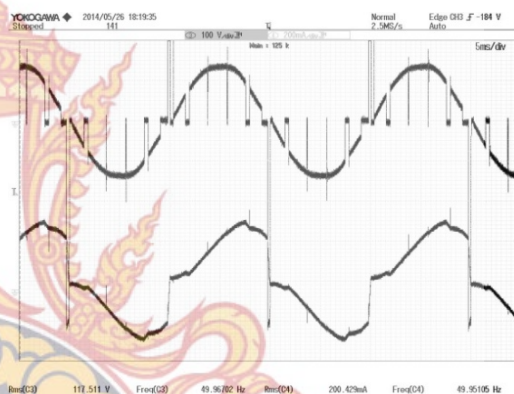


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.82 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.8 จำนวน 5 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล



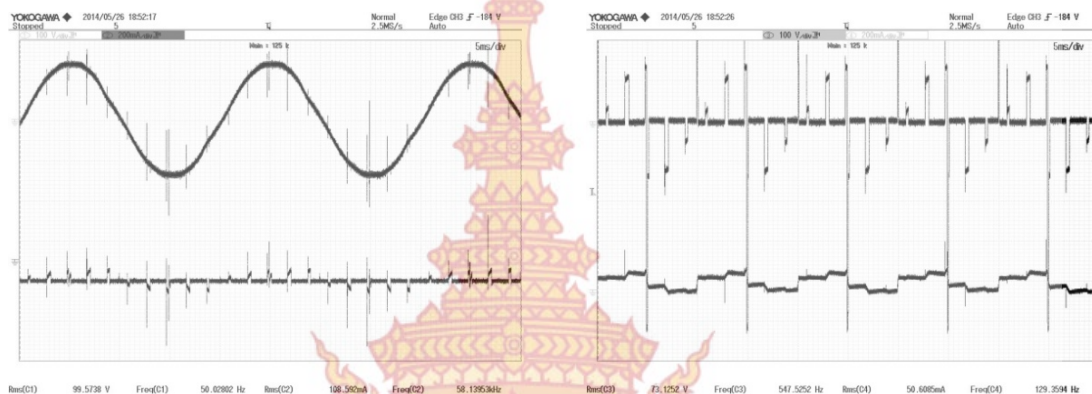
(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)



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

ภาพที่ 4.83 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 25 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 1.0 จำนวน 5 พัลส์ ต่อครั้งไซเคิล

3.8 สัญญาณพัลส์พีดับลิวิตี 100 เฮิร์ตซ์ จำนวนพัลส์เท่ากับ 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล จากการทดลองกับโหลดตัวต้านทานขนาด 100 วัตต์ ต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำขนาด 1.0021 เฮนรี่ โดยทำการทดลองที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 จำนวนพัลส์เท่ากับ 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล เพื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลด โดยผลการทดลองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.84 ถึง ภาพที่ 4.88 และจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสามารถสรุปมาเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.4



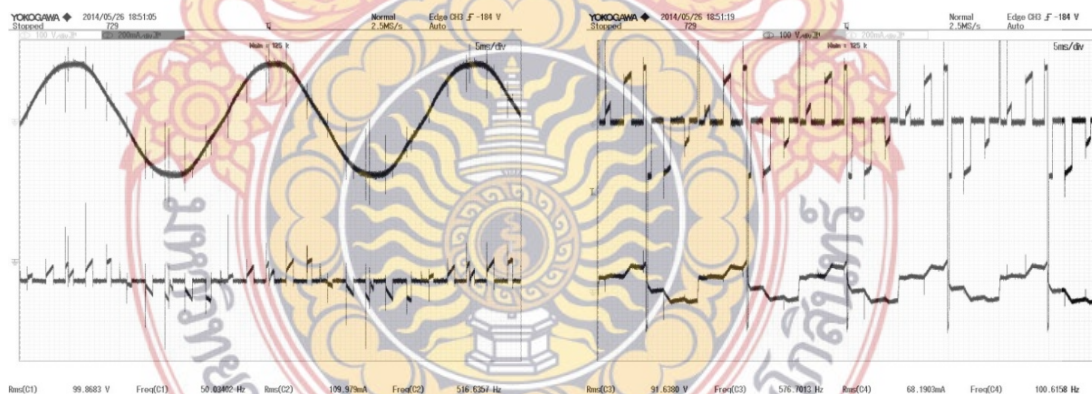
(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.84 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.2 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



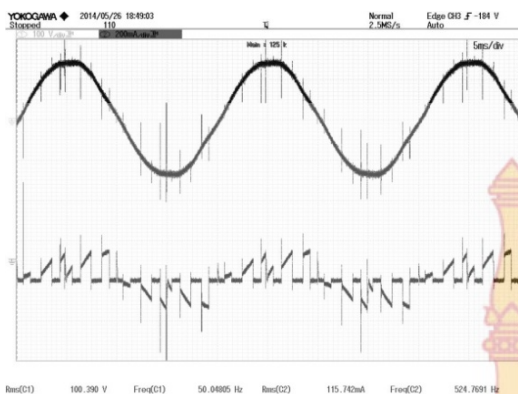
(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

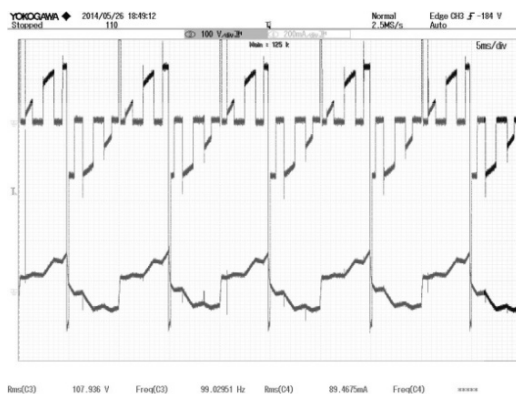
(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท

(รูปบน : แรงดัน, รูปล่าง : กระแส)

ภาพที่ 4.85 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ อัตราการมีอด 0.4 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

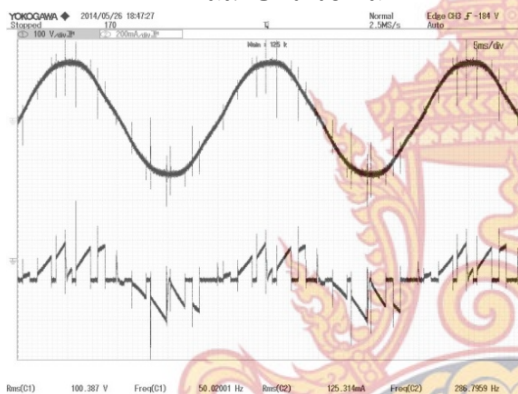


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

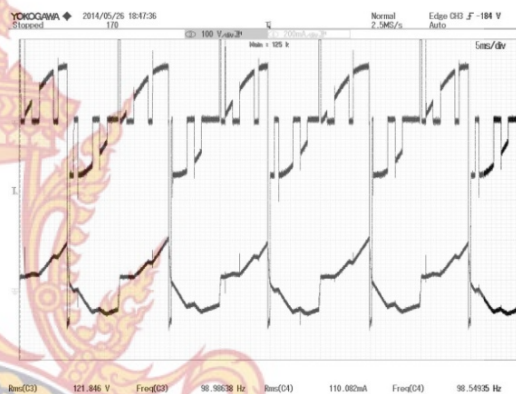


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.86 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 100 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.6 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

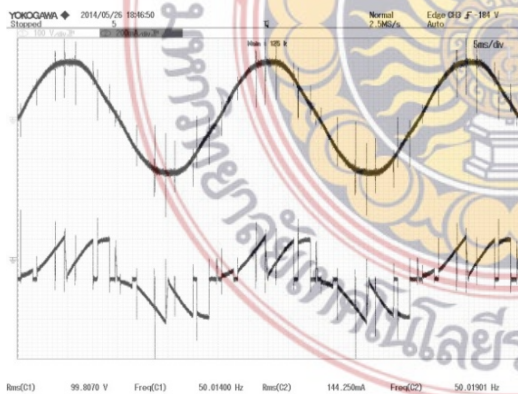


(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

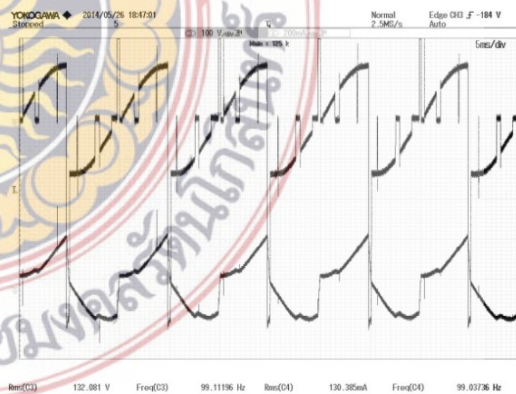


(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.87 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 100 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 0.8 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



(ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)



(ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุท
(รูปแบบ : แรงดัน, รูปถ่าย : กระแส)

ภาพที่ 4.88 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าความถี่ 100 เฮิรตซ์ อัตราการมอด 1.0 จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองวงจรเอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับโหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำจำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

ความถี่ (Hz)	อัตรา การมอด	วงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส			
		อินพุทของวงจร		เอาต์พุทของวงจร	
		แรงดัน (V_{rms})	กระแส (I_{rms})	แรงดัน (V_{rms})	กระแส (I_{rms})
12.5	0.2	100.080	0.118	48.961	0.098
	0.4	100.373	0.139	65.468	0.139
	0.6	100.125	0.166	78.322	0.169
	0.8	100.085	0.198	89.695	0.198
	1.0	100.030	0.233	100.000	0.225
25	0.2	100.245	0.117	54.979	0.085
	0.4	99.423	0.139	71.728	0.128
	0.6	100.381	0.167	84.778	0.158
	0.8	100.556	0.201	96.151	0.187
	1.0	100.286	0.237	106.096	0.215
50	0.2	99.641	0.112	63.914	0.076
	0.4	100.301	0.122	83.220	0.116
	0.6	99.583	0.140	96.192	0.146
	0.8	99.498	0.166	107.446	0.175
	1.0	99.573	0.197	117.449	0.201
100	0.2	99.835	0.109	70.727	0.048
	0.4	99.720	0.110	89.884	0.066
	0.6	100.484	0.116	106.878	0.088
	0.8	99.875	0.128	121.040	0.110
	1.0	100.035	0.145	133.130	0.133

จากตารางที่ 4.4 การทดลองในความถี่ที่ 12.5 เฮิรตซ์ 25 เฮิรตซ์ 50 เฮิรตซ์ และ 100 เฮิรตซ์ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล ในการทดลองได้ทำการทดสอบกับโหลดตัวต้านทานขนาด 100 วัตต์ ต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำขนาด 1.0021 เฮนรี โดยมีการปรับอัตราการมอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 พบว่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทจะมากกว่าแรงดันไฟฟ้าอินพุทในช่วงอัตราการมอดที่ 0.8 และ 1.0 ในช่วงความถี่ที่ 25 เฮิรตซ์ และ 50 เฮิรตซ์ ส่วนในความถี่ที่ 100 เฮิรตซ์ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทจะมากกว่าแรงดันไฟฟ้าอินพุทในช่วง อัตราการมอดที่ 0.6 เป็นต้นไป

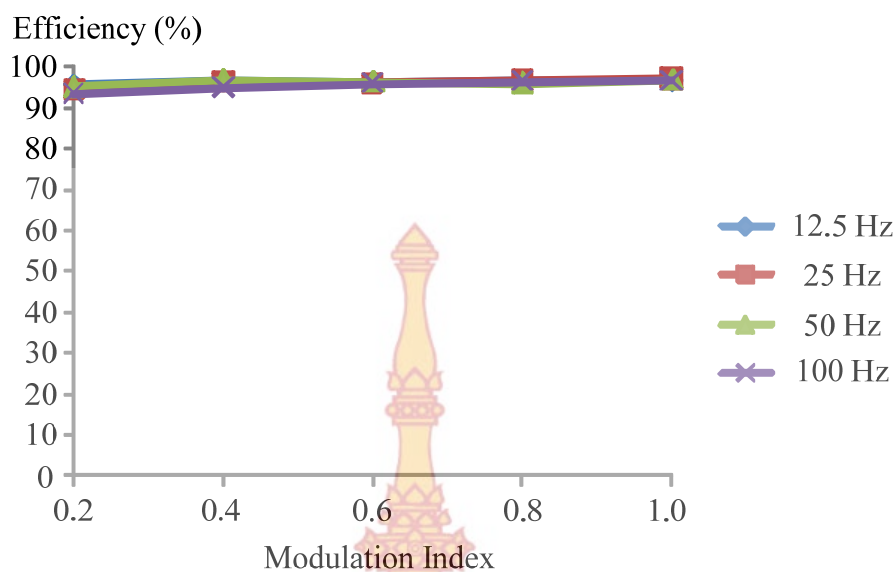
4. การทดลองวัดค่าประสิทธิภาพของวงจร

เป็นการวัดประสิทธิภาพของวงจรเพื่อดูค่าประสิทธิภาพที่อัตราการมอดต่างๆ ในแต่ละความถี่ รวมถึงหาค่าประสิทธิภาพรวมในแต่ละจำนวนพัลส์ ดังในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การทดลองวัดค่าประสิทธิภาพของวงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับ โหลดตัวต้านทานจำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

ความถี่ (Hz)	อัตราการมอด	วงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส		
		กำลังไฟฟ้าที่จ่าย ให้กับวงจร (W)	กำลังไฟฟ้าที่ออก จากวงจร (W)	ประสิทธิภาพ ของวงจร(%)
12.5	0.2	99.99	95.66	95.67
	0.4	125.58	121.26	96.56
	0.6	141.15	136.03	96.37
	0.8	152.33	147.16	96.61
	1.0	165.12	159.52	96.61
25	0.2	101.03	95.47	94.49
	0.4	123.80	119.36	96.41
	0.6	141.80	136.18	96.03
	0.8	154.16	149.16	96.76
	1.0	164.70	160.21	97.27
50	0.2	102.41	97.37	95.08
	0.4	124.35	120.46	96.87
	0.6	139.75	134.78	96.44
	0.8	154.51	148.29	95.97
	1.0	165.51	160.21	96.79
100	0.2	99.52	92.93	93.38
	0.4	126.32	119.91	94.93
	0.6	142.03	136.28	95.95
	0.8	155.12	149.61	96.45
	1.0	166.35	160.53	96.50

จากการทดลองวัดเพื่อดูประสิทธิภาพของวงจร พบว่า วงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับโหลดตัวต้านทานจำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดที่ 97.27 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.89 กราฟประสิทธิภาพของวงจรเมื่อทดสอบกับโหนดตัวต้านทานจำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

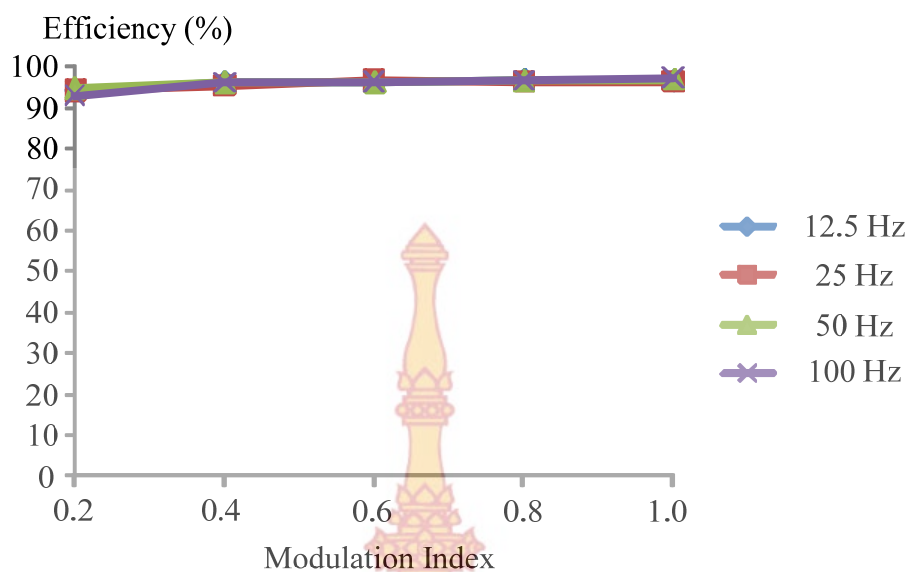
จากภาพที่ 4.89 แสดงกราฟประสิทธิภาพของวงจรเมื่อทำการทดสอบกับโหนดตัวต้านทานขนาด 500 วัตต์ จำนวน 3 พัลส์ต่อไซเคิล โดยสัญลักษณ์ที่เห็นจะแทนด้วยความถี่ต่างๆ ที่อัตรากรม็อด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0



ตารางที่ 4.6 การทดลองวัดค่าประสิทธิภาพของวงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับ โหลดตัวต้านทานจำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

ความถี่ (Hz)	อัตราการมอด	วงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส		
		กำลังไฟฟ้าที่จ่าย ให้กับวงจร (W)	กำลังไฟฟ้าที่ออก จากวงจร (W)	ประสิทธิภาพ ของวงจร(%)
12.5	0.2	100.58	94.76	94.21
	0.4	125.75	120.84	96.09
	0.6	142.93	137.73	96.36
	0.8	155.77	150.95	96.91
	1.0	167.97	162.40	96.68
25	0.2	99.42	93.72	94.27
	0.4	125.79	119.94	95.35
	0.6	141.98	137.39	96.77
	0.8	155.95	150.25	96.34
	1.0	168.39	162.35	96.41
50	0.2	99.64	94.43	94.77
	0.4	126.40	121.60	96.20
	0.6	141.92	136.53	96.20
	0.8	154.94	149.53	96.51
	1.0	166.20	161.02	96.88
100	0.2	99.29	92.35	93.01
	0.4	124.46	119.61	96.10
	0.6	142.53	137.24	96.29
	0.8	157.22	151.93	96.63
	1.0	168.37	163.76	97.26

จากการทดลองวัดเพื่อดูประสิทธิภาพของวงจร พบว่าวงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับโหลดตัวต้านทานจำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดที่ 97.26 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.90 กราฟประสิทธิภาพของวงจรเมื่อทดสอบกับโหลดตัวต้านทาน จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

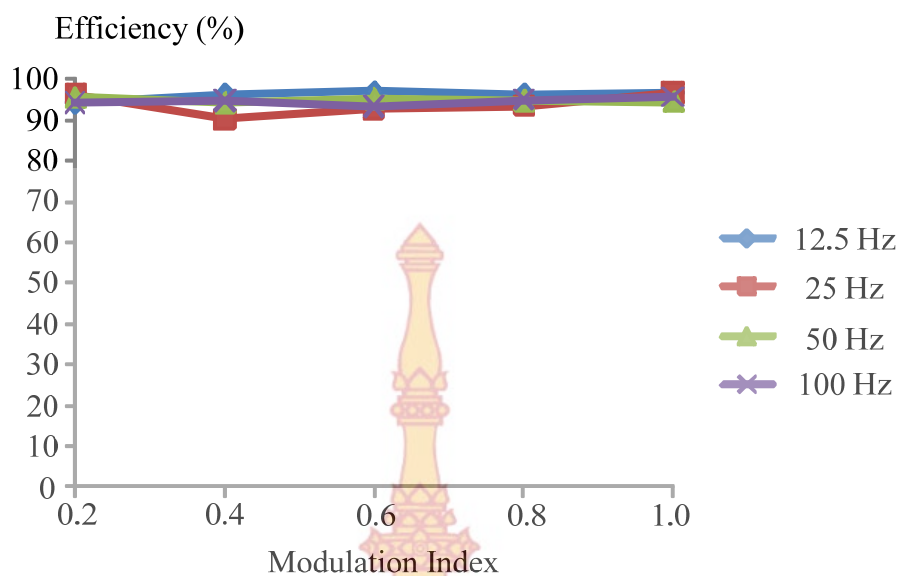
จากภาพที่ 4.90 แสดงกราฟประสิทธิภาพของวงจรเมื่อทำการทดสอบกับโหลดตัวต้านทานขนาด 500 วัตต์ จำนวน 5 พัลส์ต่อไซเคิล โดยสัญลักษณ์ที่เห็นจะแทนด้วยความถี่ต่างๆ ที่อัตราการมอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0



ตารางที่ 4.7 การทดลองวัดค่าประสิทธิภาพของวงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับ โหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำจำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

ความถี่ (Hz)	อัตราการมอด	วงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส		
		กำลังไฟฟ้าที่จ่าย ให้กับวงจร (W)	กำลังไฟฟ้าที่ออก จากวงจร (W)	ประสิทธิภาพ ของวงจร(%)
12.5	0.2	4.76	4.49	94.33
	0.4	8.55	8.24	96.37
	0.6	12.93	12.54	96.98
	0.8	17.21	16.58	96.33
	1.0	22.08	21.35	96.69
25	0.2	4.38	4.22	96.34
	0.4	8.71	7.86	90.24
	0.6	12.77	11.85	92.79
	0.8	17.40	16.27	93.51
	1.0	21.92	21.20	96.72
50	0.2	4.03	3.85	95.53
	0.4	8.12	7.65	94.21
	0.6	12.25	11.66	95.18
	0.8	16.49	15.63	94.78
	1.0	20.97	19.82	94.51
100	0.2	3.68	3.47	94.29
	0.4	6.60	6.25	94.69
	0.6	10.18	9.49	93.22
	0.8	14.16	13.43	94.84
	1.0	18.05	17.26	95.62

จากการทดลองวัดเพื่อดูประสิทธิภาพของวงจร พบว่า วงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับโหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำจำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดที่ 96.98 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.91 กราฟประสิทธิภาพของวงจรเมื่อทดสอบกับโหนดตัวต้านทาน- ตัวเหนี่ยวนำ จำนวน 3 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

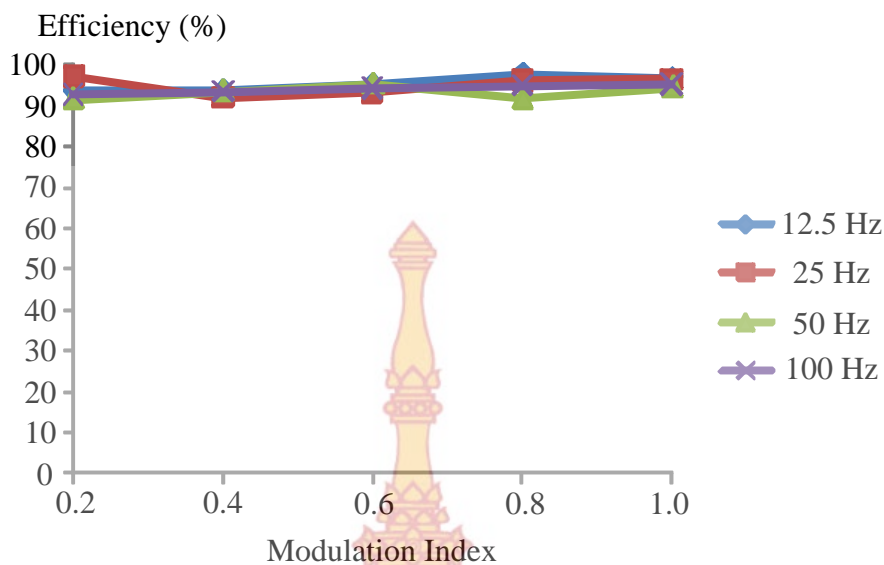
จากภาพที่ 4.91 แสดงกราฟประสิทธิภาพของวงจรเมื่อทำการทดสอบกับโหนดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำขนาด จำนวน 3 พัลส์ต่อไซเคิล โดยสัญลักษณ์ที่เห็นจะแทนด้วยค่าความถี่ต่างๆ ที่อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0



ตารางที่ 4.8 การทดลองวัดค่าประสิทธิภาพของวงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับ โหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำจำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

ความถี่ (Hz)	อัตราการมอด	วงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส		
		กำลังไฟฟ้าที่จ่าย ให้กับวงจร (W)	กำลังไฟฟ้าที่ออก จากวงจร (W)	ประสิทธิภาพ ของวงจร(%)
12.5	0.2	4.97	4.65	93.56
	0.4	8.87	8.31	93.68
	0.6	13.06	12.43	95.17
	0.8	17.09	16.72	97.83
	1.0	22.33	21.65	96.95
25	0.2	4.41	4.29	97.28
	0.4	8.83	8.12	91.96
	0.6	12.90	12.02	93.18
	0.8	16.72	16.09	96.23
	1.0	21.89	21.14	96.57
50	0.2	3.68	3.37	91.57
	0.4	8.03	7.51	93.52
	0.6	12.32	11.73	95.23
	0.8	15.59	14.28	91.59
	1.0	20.80	19.65	94.47
100	0.2	3.32	3.08	92.77
	0.4	6.09	5.69	93.43
	0.6	9.63	9.08	94.28
	0.8	14.08	13.36	94.88
	1.0	17.54	16.70	95.21

จากการทดลองวัดเพื่อดูประสิทธิภาพของวงจร พบว่า วงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับโหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำจำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิลมี ประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดที่ 97.83 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.92 กราฟประสิทธิภาพของวงจรเมื่อทดสอบกับโหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ จำนวน 5 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล

จากภาพที่ 4.92 แสดงกราฟประสิทธิภาพของวงจรเมื่อทำการทดสอบกับโหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ จำนวน 5 พัลส์ต่อไซเคิล โดยสัญลักษณ์ที่เห็นจะแทนด้วยความถี่ต่างๆ ที่อัตราการมีอด 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0



ภาพที่ 4.93 วงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหลักการการทำงานและสร้างวงจรเอซี-เอซีเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส ที่รับแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่ายอินพุทจากแหล่งจ่ายการไฟฟ้าหนึ่งเฟสขนาดแรงดันไฟฟ้า 100 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ โดยใช้สวิตช์สองทิศทาง (Bi-directional Switch) ควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า เพื่อทำการทดสอบกับโหลดตัวต้านทานขนาด 500 วัตต์ และโหลดตัวต้านทานขนาด 100 วัตต์ ต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำขนาด 1.0021 เฮนรี่ โดยทำการ *On-Off* ด้วยสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ความถี่เอาท์พุทเท่ากับ 12.5 เฮิร์ตซ์ 25 เฮิร์ตซ์ 50 เฮิร์ตซ์ และ 100 เฮิร์ตซ์ และที่ค่าอัตราการมอดเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 จากการทดลองกับโหลดต่าง ๆ พบว่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลดจะมีความแตกต่างกัน เมื่อเราทำการปรับอัตราการมอดที่ 0.2-1.0 จะส่งผลต่อกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ที่โหลดดังนั้น ในช่วงอัตราการมอดที่ 0.2 จะทำให้เกิดช่วง T_{on} ในแต่ละช่วงน้อยจะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยมีค่าลดลง เพราะฉะนั้น กำลังไฟฟ้าก็จะลดลงตามด้วย แต่เมื่อเพิ่มอัตราการมอดช่วง T_{on} จะเพิ่มขึ้นส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้น กำลังไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จากการทดลองพบว่าค่าประสิทธิภาพของวงจรมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการมอด โดยค่าประสิทธิภาพสูงสุดของวงจรมีค่าเท่ากับ 96.26 เปอร์เซ็นต์

2. การอภิปรายผล

จากผลการทดลองที่ได้เป็นการทดสอบกับโหลดแบบพาสซีฟ โดยผลการทดสอบที่ได้มาเป็นที่น่าสนใจ ซึ่งเป็นแนวทางที่สามารถนำไปใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟสได้ต่อไปในภาคหน้าต่อไปได้

3. ข้อเสนอแนะ

ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟสนั้น มอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟสไม่มีจำหน่ายในท้องตลาดต้องทำการดัดแปลงจากมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสที่มีขายในท้องตลาด ซึ่งวิธีการดัดแปลงค่อนข้างสลับซับซ้อนพอสมควร

บรรณานุกรม

- [1] MHANGO, L.M.C., and CREIGHTON, G.K., “*Novel two phase inverter-fed induction-motor drive*”, IEE Proc. B, 1984, 131, pp. 99-104.
- [2] Jang, D. Cha., and Won, J. S., “ *Voltage frequency and phase difference angle control of PWM inverters fed two-phase induction motors*”, IEEE Trans. Power Electron., 1994, pp.377-383.
- [3] Jang, D. Cha, G., Kim, D., and Won, J., “*Phase-difference control of 2-phase inverter-fed induction motor*”, IEEE Industrial Applications Society annual meeting conference records, 1989, pp.571-578.
- [4] Holmes, D.G., and Kotosopoulos, A., “*Variable speed control of single and two phase induction motor using a three phase voltage source inverter*”, IEEE Industrial Applications Society annual meeting conference records, 1993, pp.613-620.
- [5] Patrick W. Wheeler, Jose Rodriguez, Jon C. Clare, Lee Empringham and Alejandro Weinstein, “*Matrix Converters : A Technology Review*”, IEEE Trans. Industrial Electronic, vol. 49, No.2, April 2002.
- [6] Wheeler P.W., Clare J.C., Empringham L, Bland M, Kerris K.G., “*Matrix converters : A vector controlled MCT matrix converter induction motor drive with minimized commutation times and enhanced waveform quality*”, IEEE Indus. Appl. Mag. pp. 59-65, 2004.
- [7] Podlesak T. F., Katsis D. C., Wheeler P. W., Clare J. C., Empringham L, Bland M., “*A 150-kva vector controlled matrix converter induction motor drive*”, IEEE Trans. Indus. Appl. pp. 841-847, 2005.
- [8] L. Gyugyi and B. R. Pelly, **Static Power Frequency Changers: Theory, Performance, and Application**, John Wiley & Sons, 1976.
- [9] B. R. Pelly, “**Thyristor Phase-Controlled Converters and Cycloconverters**”, New York, Wiley, 1971.

- [10] 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
- [11] A. Alesina and M. Venturini, "Analysis and Design of Optimum-Amplitude Nine-Switch Direct AC-AC Converters", *IEEE Transaction on Power Electronics*, vol.4, N0.1, pp.101-112., January, 1989.
- [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] 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.
- [14] 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.
- [15] Vichok Hothongkham, "Analysis design AC AC Matrix Converter", Master Thesis, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2002. (in Thai)
- [16] 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.
- [17] ABDOLLAH KHOEI and SUBBARAYA YUVARAJAN, "Steady State Performance of a Single Phase Induction Motor Fed by a Direct AC-AC Converter", *IEEE Conference*, 1989.
- [18] 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.
- [19] 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.

- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

- [1] ประสพโชค ให้อทองคำ, กิตติธัช ศิริพรนพคุณ, จุฑาธร จันทร์สีซัง, อาสา วงษ์คำ, และครองยศ โพธิ์ชัย, “การสร้างและทดสอบวงจรเอซีทูเอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับโหลดแบบพาสซีฟ”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 37 (EECON-37) ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด จังหวัดขอนแก่น, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, วันที่ 19-21 พฤศจิกายน 2557



การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 37
The 37th Electrical Engineering Conference
(EECON-37)

วันที่ 19-21 พฤศจิกายน 2557 ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด

Vol.2

CM, EL, CT, CP, DS, PH, BE, GN



ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) ผศ.ดร.ประสพโชค โห้ทองคำ
ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Asst.Prof.Dr. Prasopchok Hothongkham
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3740200047041
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
4. หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
สถานที่อยู่ที่ติดต่อดีสะดวก 78 หมู่ 4 ตำบลแคราย อำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร 74110
หมายเลขโทรศัพท์ 081-850-2305
โทรสาร e-mail: prasopchok.hot@rmutr.ac.th, prasopchok_ho@yahoo.com

5. ประวัติการศึกษา

- 2009 D.Eng (Electrical Engineering) KMITL
 - 2001 M.Eng (Electrical Engineering) KMITL
 - 1994 B.Eng (Electrical Engineering) SIAM University
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการไฟฟ้ากำลัง อิเล็กทรอนิกส์กำลัง การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า และพลังงานทดแทน
 7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ
 - 7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย
หัวหน้าโครงการวิจัย : เครื่องล้างอุปกรณ์โดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก
หัวหน้าโครงการวิจัย : วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส
หัวหน้าโครงการวิจัย : ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์
หัวหน้าโครงการวิจัย : เครื่องผลิตก๊าซไอโซนแบบแรงดันไฟฟ้าสูง ความถี่สูง กำลังไฟฟ้าต่ำ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า
 - 7.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : (ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุนย้อนหลังไม่เกิน 5 ปี)

- [1] ประสพโชค โห้ทองคำ, กิตติธัช ศิริพรรณพคุณ, จุฑาธร จันทร์สีซัง, อาสา วงษ์คำ, และ ครอบยศ โพธิ์ชัย, “การสร้างและทดสอบวงจรเอชทูเอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับโหลดแบบพาสซีฟ”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37(EECON-37) วันที่ 19 - 21

- พฤศจิกายน 2557 ณ โรงแรมพลูแมน ขอนแก่น ราชอาณาจักร จ.ขอนแก่น จัดโดย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [2] **ประสพโชค ให้ทองคำ** สุดาพร อร่ามรุณ สิทธิชัย บุญปิยทัศน์ และ ณรงค์ชัย ทศพร, “เครื่องผลิตก๊าซไอโซนแบบแรงดันไฟฟ้าสูง ความถี่สูง กำลังไฟฟ้ต่ำ โดยใช้พลังงานลมเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6 (EENET 2014) วันที่ 26 – 28 มีนาคม 2557 ณ โรงแรม มารีย์ทอม์ ปาร์ค แอนดริ์สอร์ท จ.กระบี่
- [3] **ประสพโชค ให้ทองคำ** กิตติพงษ์ พุ่มโกษณา สิทธิชัย บุญปิยทัศน์ ณรงค์ชัย ทศพร และครองยศ โพธิ์ชัย, “การทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36(EECON-36) วันที่ 11 – 13 ธันวาคม 2556 ณ เฟลิกซ์ ริเวอร์แคว รีสอร์ท จ.กาญจนบุรี จัดโดย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [4] **ประสพโชค ให้ทองคำ** สุดาพร อร่ามรุณ ณรงค์ชัย ทศพร ไชยยันต์ ทองสองยอด ภูชิต ถึงสุข และ จักรกฤษณ์ จันท์เขียว, “เครื่องผลิตก๊าซไอโซนแบบแรงดันไฟฟ้าสูง ความถี่สูง กำลังไฟฟ้ต่ำ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าร่วม” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5 (EENET 2013) วันที่ 27-19 มีนาคม 2556 ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จ.ประจวบคีรีขันธ์ จัดโดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- [5] **ประสพโชค ให้ทองคำ** สุดาพร อร่ามรุณ ณรงค์ชัย ทศพร ไชยยันต์ ทองสองยอด และ ภูชิต ถึงสุข, “การประเมินสมรรถนะเครื่องผลิตก๊าซไอโซนแรงดันไฟฟ้าสูง ความถี่สูง กำลังไฟฟ้ต่ำ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าร่วม” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 35(EECON-35) วันที่ 12 – 14 ธันวาคม 2555 ณ รอยัลฮิลล์ กอล์ฟ รีสอร์ท แอนด์ สปา จ.นครนายก จัดโดย มหาวิทยาลัยกรุงเทพ และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
- [6] **ประสพโชค ให้ทองคำ** ณรงค์ชัย ทศพร และ ภูชิต ถึงสุข, “การสร้างทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์เฟสเดียวกับพาสซีฟโหลด” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 (EENET 2012) วันที่ 3-5 เมษายน 2555 ณ โรงแรมแกรนด์ พาราไดซ์ จ.หนองคาย จัดโดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
- [7] **ประสพโชค ให้ทองคำ** และ ณรงค์ชัย ทศพร, “การศึกษาเปรียบเทียบเครื่องผลิตก๊าซไอโซนที่ใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ฟูลบริดจ์แบบพีดับบลิวเอ็มกับแบบพีดับบลิวเอ็มที่มีการเลื่อนเฟสได้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34(EECON-34) วันที่ 30 พฤศจิกายน – 2 ธันวาคม 2554 ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน พัทยา จ.ชลบุรี จัดโดย มหาวิทยาลัยสยาม
- [8] สมเกียรติ คงคะชาติ นพดล พวงมณี และ **ประสพโชค ให้ทองคำ** “การควบคุมกระแสในแกนชิงโครนีสและประยุกต์ใช้เทคนิคการมอดูเลตความกว้างพัลส์แบบสเปซเวคเตอร์อิงสัญญาณพหุสำหรับวงจรรอกกำลังแอคทีฟ”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34(EECON-34) วันที่ 30 พฤศจิกายน – 2 ธันวาคม 2554 ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน พัทยา จ.ชลบุรี จัดโดย มหาวิทยาลัยสยาม

- [9] **ประสพโชค ไห้ทองคำ**, วิจิตร กิณเรศ, ปิติกันต์ รักราชการ และ ณรงค์ชัย ทศพร, “การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของแท่งอิเล็กโทรดสำหรับเครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33(EECON-33) วันที่ 1 – 3 ธันวาคม 2553 ณ โรงแรมเซ็นทารา ดวงตะวัน จ.เชียงใหม่ จัดโดย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [10] สุดาพร อร่ามรุณ **ประสพโชค ไห้ทองคำ** และ วิจิตร กิณเรศ, “การประเมินสมรรถนะเครื่องผลิตก๊าซไอโซนแรงดันไฟฟ้าสูง ความถี่สูง กำลังไฟฟ้ต่ำ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ร่วม”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33(EECON-33) วันที่ 1 – 3 ธันวาคม 2553 ณ โรงแรมเซ็นทารา ดวงตะวัน จ.เชียงใหม่ จัดโดย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [11] **ประสพโชค ไห้ทองคำ**, วิจิตร กิณเรศ “การวัดค่าพารามิเตอร์ของชุดอิเล็กโทรดสำหรับเครื่องผลิตก๊าซไอโซน” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32 (EECON-32) วันที่ 28 – 30 ตุลาคม 2552 ณ โรงแรมทวาราวดี จ.ปราจีนบุรี จัดโดย มหาวิทยาลัยมหิดล
- [12] ปิติกันต์ รักราชการ, **ประสพโชค ไห้ทองคำ** “การสร้างและทดสอบเครื่องล้างชิ้นส่วนโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7 วันที่ 21 – 22 พฤษภาคม 2552
- [13] **ประสพโชค ไห้ทองคำ**, ปิติกันต์ รักราชการ, วิจิตร กิณเรศ “การวิเคราะห์วงจร 3-เฟส พีดับบลิวเอ็ม เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่น 6 พัลส์เชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 29 (EECON-29) วันที่ 9 – 10 พฤศจิกายน 2549 ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์ พัทยา จ.ชลบุรี จัดโดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี(คลองหก)
- [14] **ประสพโชค ไห้ทองคำ**, วิจิตร กิณเรศ “การสังเคราะห์และออกแบบวงจร 3-เฟส พีดับบลิวเอ็ม เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่น 6 พัลส์” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 29 (EECON-29) วันที่ 9 – 10 พฤศจิกายน 2549 ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์ พัทยา จ.ชลบุรี จัดโดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี(คลองหก)
- [15] **วิโชค ไห้ทองคำ** “วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28 (EECON-28) วันที่ 20 – 21 ตุลาคม 2548 ณ โรงแรมเพิร์ล วิลเลจ จ.ภูเก็ต จัดโดย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์