



อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส
Single Phase Inverter

นายชนพล	ธานีวัฒน์ตระกูล	รหัส 46363222
นายภาณุพันธุ์	อินทะสุระ	รหัส 46363370
นายมนู	เกตุครุฑ	รหัส 46363396

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 25 พ.ค. 2553
เลขทะเบียน..... 150 10226
เลขเรียกหนังสือ..... 0162.0
2549
มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2549



ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

หัวข้อโครงการ	อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายชนพล	สนธิวัฒน์ ตรีระกุล	รหัส 46363222
	นายภาณุพันธุ์	อินทะสุระ	รหัส 46363370
	นายมนู	เกตุครุฑ	รหัส 46363396
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สมยศ เกียรติวนิชวิไล		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2549		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

.....กรรมการ
(อาจารย์สมพร เรืองสินชัยวานิช)

.....กรรมการ
(อาจารย์ชัชรัตน์ พินทอง)

หัวข้อโครงการ	อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายธนพล	สนธิวัฒน์ตระกูล	รหัส 46363222
	นายภาณุพันธุ์	อินทะสุระ	รหัส 46363370
	นายมนู	เกตุครุฑ	รหัส 46363396
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สมยศ	เกียรติวินิทธิไถ	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2549		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นกรนำเสนอการวิเคราะห์การทำงานและการออกแบบวงจรสำหรับการใช้งานอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ซึ่งสามารถควบคุมโดยใช้เทคนิคการสวิตช์แบบไซน์ซอชอยคอลลพัลส์วิธมอดูเลชัน โดยเทคนิคการสวิตช์ซึ่งรูปแบบนี้ทำได้โดยการนำรูปคลื่นสัญญาณควบคุมรูปไซน์มาเปรียบเทียบกับสัญญาณแคเรียร์ (รูปคลื่นสามเหลี่ยม) สัญญาณจากวงจรควบคุมจะต้องผ่านวงจรเดคไทม์เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในกรณีที่สวิตช์ในกิ่งเดียวกันทำงานพร้อมกัน สัญญาณควบคุมจะถูกส่งไปยังวงจรขับเคลื่อนและเข้าสู่อุปกรณ์สวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ ผลจากการจำลองการทำงานและการทดลองจริงของอินเวอร์เตอร์จะถูกแสดงในรูปของดัชนีคุณภาพตัวอย่างเช่น โททอลฮาร์โมนิกดีสทอซัน รูปคลื่นสัญญาณและการวิเคราะห์ฮาร์โมนิกสเปกตราของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

ผลจากการเปรียบเทียบการจำลองการทำงานกับการทดลองจริงแสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องกันและตรงตามทฤษฎี จากผลการจำลองการทำงานและการทดลองจริง พบว่าผลจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการสวิตช์โดยการเปลี่ยนค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์สามารถแนะนำในการเลือกรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

Project Title Single Phase Inverter

Name Mr. Thanapon Sonthiwattrakul ID. 46363222
Mr. Panupun Inthasura ID. 46363370
Mr. Manu Ketkrut ID. 46363396

Project Advisor Dr. Somyot Kaitwanidvilai

Major Electrical Engineering.

Department Electrical and Computer Engineering.

Academic Year 2006

.....

ABSRTACT

This project presents the analysis and design for single phase inverter controlled by pulse width modulation (PWM). This switching technique uses comparison between the sine wave and triangle wave. The signal from the control circuit is transmitted to the dead time circuit, to ensure that both switches which are in the same branch, do not operate in the same time. The control signal is sent into driver circuit and then pass to switching device of inverter. The results of simulation and experiment of single phase inverter are shown in the form of quality index such as total harmonic distortion, current and voltage wave from and spectra.

The comparison between the simulation and experimental results are shown in good agreement with theory support. As the simulated and experimented results, the advantage and disadvantage of various switching patterns in various modulation index ranges are shown and guided. In addition, the selection of optimized patterns for higher performance single phase inverter design

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยการให้คำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับหลักการทำงาน และการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ ตลอดจนการวิเคราะห์ผลการทดลอง และการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นจากท่านอาจารย์สมยศ เกียรติวนิชวิไล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการนี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาที่คอยให้กำลังใจในการทำงาน และเป็นแรงบันดาลใจให้ข้าพเจ้าได้ก้าวผ่านปัญหาต่างๆมาจนถึงจุดนี้

ขอขอบคุณครูช่างและบุคลากรทุกท่านในภาควิชาที่คอยดูแลให้โครงการเสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และสุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยช่วยเหลือในการแก้ปัญหา และคอยเป็นเพื่อนในยามที่เราเหนื่อยล้า ขอขอบคุณครับ



คณะผู้จัดทำ

นายชนพล

สนธิวัฒน์ตระกูล

นายภาณุพันธุ์

อินทะสุระ

นายมนู

เกตุครุฑ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของ โครงการงาน.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการงาน.....	1
1.3 ขอบข่ายของโครงการงาน.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ตารางการปฏิบัติงาน.....	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.7 งบประมาณที่ใช้.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นและหลักการทํางาน	
2.1 หลักการทํางานของอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส (Principles of Single Phase Inverter).....	4
2.2 เทคนิคพีดับเบิลยูเอ็มแบบไซน์วูชอยคอด (SPWM).....	6
2.3 อินเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square – Wave Inverter).....	13
2.4 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียว.....	16
2.5 การสวิตชิงแรงดันไฟฟ้าแบบไบโพลาร์.....	17
2.6 การสวิตชิงแรงดันไฟฟ้าแบบยูนิโพลาร์.....	19
2.7 ผลของเดดไทม์ต่อแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์.....	24
2.8 มอสเฟตกำลัง (Metal – Oxide Semiconductor Field – Effect Transistor).....	29

บทที่ 3	ขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์สัญญาณ	
3.1	ขั้นตอนในการดำเนินงานออกแบบวงจร	32
3.2	บล็อกไดอะแกรมและการทำงานของวงจรควบคุม	32
3.3	การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและคุณภาพของรูปคลื่นสัญญาณ	33
3.4	ค่า Total Harmonic Distortion (THD)	36
3.5	ค่า r.m.s. ขององค์ประกอบของความถี่หลักมูล	36
3.6	ค่า Distortion Factor (DF)	36
บทที่ 4	ผลการทดลองและการวิเคราะห์สัญญาณ	
4.1	ผลการทดลอง	43
4.2	วิเคราะห์ผลการทดลอง	67
บทที่ 5	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	
5.1	สรุปผลการทดลอง	78
5.2	ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำโครงการ	78
5.3	แนวทางในการพัฒนาโครงการต่อไป	78
	เอกสารอ้างอิง	79
	ประวัติผู้จัดทำโครงการ	80

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	เงื่อนไขการสวิตซ์แรงดันเฟสและแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์แบบยูนิโพลาร์.....20
2.2	การเปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสียของการสวิตซ์แรงดันไฟฟ้าแบบไบโพลาร์กับยูนิโพลาร์22
3.1	นิยามดัชนีและค่าปริมาณที่กำหนดคุณสมบัติและคุณภาพของรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุต.....35
4.1	ค่าดัชนีคุณภาพของรูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจากการจำลองการทำงาน..... 74
4.2	ค่าดัชนีคุณภาพของรูปคลื่นสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตจากการจำลองการทำงาน75



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 อินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส.....	5
2.2 แสดงลำดับการสวิตช์.....	5
2.3 ลักษณะทิศทางการไหลของกระแส เมื่อ S1 และ S4 Turn On.....	5
2.4 ลักษณะทิศทางการไหลของกระแสเมื่อ S2 และ S3 Turn On.....	6
2.5 แสดงตัวอย่างการสวิตช์แบบชาน้ชวยคอลลพีดับเบิลยูเอ็ม ที่คามอดูเลชั่นอินเด็กซ์เท่ากับ 0.8 , ความถี่ของสัญญาณอ้างอิง = 50 Hz และความถี่ของสัญญาณแคเรียร์ = 1 kHz.....	8
2.6 แสดงมอดูลัสเปลคราของการสวิตช์แบบชาน้ชวยคอลลพีดับเบิลยูเอ็ม.....	9
2.7 แสดงรูปคลื่นพีดับเบิลยูเอ็มแบบ โอเวอร์มอดูเลชั่น.....	10
2.8 แสดงฮาร์มอนิกสเปลคราของรูปคลื่นพีดับเบิลยูเอ็มแบบ โอเวอร์มอดูเลชั่น.....	11
2.9 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์พีดับเบิลยูเอ็มโดยการปรับค่า m_a	14
2.10 รูปคลื่นพีดับเบิลยูเอ็มแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม.....	14
2.11 ฮาร์มอนิกสเปลคราของพีดับเบิลยูเอ็มแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม.....	15
2.12 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฮาล์ฟบริดจ์และแบบฟูลบริดจ์.....	17
2.13 การสวิตชิงแรงดันแบบ ไบโพลาร์.....	19
2.14 การสวิตชิงแรงดันไฟฟ้าแบบยูนิโพลาร์.....	21
2.15 ฮาร์มอนิกสเปลคราของการสวิตชิงแรงดันไฟฟ้าแบบยูนิโพลาร์.....	21
2.16 ค่าระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว (ก) การสวิตชิงแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม.....	23
(ข) การสวิตชิงแบบไบโพลาร์.....	24
2.17 ผลของเดดไทม์ที่มีต่อแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์.....	27
2.18 ผลของเดดไทม์ต่อแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทรูปไซน์.....	28
2.19 ค่าแรงดันไฟฟ้าผิดเพี้ยนเฉลี่ยจากผลของเดดไทม์.....	29
2.20 มอสเฟตกำลัง (ก) สัญลักษณ์.....	30
(ข) คุณลักษณะของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าขณะสภาวะอยู่ตัว.....	30
(ค) คุณลักษณะของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในอุคมคติ.....	31
2.21 ภาพสัญลักษณ์ของ MOSFET แบบ N-Channel.....	31
3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรถิเวอร์เตอร์.....	32
3.2 วงจรที่ใช้ในการสร้างรูปคลื่นสามเหลี่ยม.....	37

3.3	วงจรที่ใช้ในการสร้างรูปคลื่นไซน์.....	37
3.4	วงจรที่ใช้ในการสร้างสัญญาณ PWM.....	38
3.5	วงจรที่ใช้ในการสร้างสัญญาณเคคไทม์.....	39
3.6	วงจรที่ใช้ในการแยกกราวด์ในส่วนของวงจรควบคุมและวงจรกำลัง.....	39
3.7	วงจรที่ใช้ในขับเคลื่อนมอเตอร์.....	40
3.8	วงจรกำลัง.....	40
3.9	วงจรกำลังจากการออกแบบจริง.....	41
3.10	วงจรขับเคลื่อนจากการออกแบบจริง.....	41
3.11	วงจรรวมขณะทำการทดลอง.....	42
4.1	แสดงรูปคลื่นสัญญาณสามเหลี่ยม.....	43
4.2	แสดงรูปคลื่นสัญญาณไซน์.....	44
4.3	แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปคลื่นไซน์กับสัญญาณคลื่นสามเหลี่ยม.....	44
4.4	แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้า Pulse Width Modulation ที่ได้จากการ Compare.....	45
4.5	แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้า Pulse Width Modulation.....	45
4.6	แสดงสัญญาณ Dead Time ก่อนเข้าสู่วงจร Driver.....	46
4.7	แสดงสัญญาณ Dead Time ก่อนเข้าสู่วงจร Driver.....	46
4.8	แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ออกจาก Driver.....	47
4.9	แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต.....	47
4.10	วงจรขณะขับโหลดแสงสว่างที่แรงดัน 24 โวลต์.....	48
4.11	แสดงรูปคลื่นกระแสจากการขับโหลดแสงสว่าง.....	48
4.12	แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.2$	49
4.13	แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.2$ โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM.....	49
4.14	แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.2$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 200 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM.....	50
4.15	แสดงสัญญาณกระแสไฟฟ้เอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.2$ โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM.....	50
4.16	แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณกระแสไฟฟ้เอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.2$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 200 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM.....	51
4.17	แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.4$	52
4.18	แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.4$ โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM.....	52

4.52 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุทเมื่อ $m_a = 1.0$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 20 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM.....	73
4.53 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุทเมื่อ $m_a = 1.2$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 20 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM.....	74
4.54 แสดงการเปรียบเทียบค่า V_{rms} ที่ค่า m_a ตั้งแต่ 0.2 – 1.2.....	75
4.55 แสดงการเปรียบเทียบค่า THD_v ที่ค่า m_a ตั้งแต่ 0.2 – 1.2	76
4.56 การเปรียบเทียบค่า DF_i ที่ค่า m_a ตั้งแต่ 0.2 – 1.2.....	76
4.57 แสดงการเปรียบเทียบค่า I_{rms} ที่ค่า m_a ตั้งแต่ 0.2 – 1.2.....	77
4.58 แสดงการเปรียบเทียบค่า THD_i ที่ค่า m_a ตั้งแต่ 0.2 – 1.2.....	77



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ต้นกำลังทางไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรม จะนิยมใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ เช่น อุตสาหกรรมการผลิต ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นหลัก ในยุคปัจจุบันการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า สามารถใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุมให้ได้ความเร็วรอบ แรงบิดตามต้องการ และมีประสิทธิภาพสูง มีสถานะการทำงานที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาการรบกวนแก่ระบบไฟฟ้าข้างเคียง อินเวอร์เตอร์จึงมีบทบาทในภาคอุตสาหกรรมมากขึ้น

เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับหรือ “อินเวอร์เตอร์” ผู้นำเสนอโครงการมีความสนใจที่จะทำการศึกษาและค้นคว้าข้อมูล เพื่อที่จะนำมาพัฒนาประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์แบบ 1 เฟส ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

อินเวอร์เตอร์สามารถจำแนกตามลักษณะของเอาต์พุตได้เป็น 2 ประเภท คือ อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส และอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ซึ่งในโครงการนี้จะจัดทำในลักษณะของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส โดยอาศัยเทคนิคการสวิตช์แบบพีคดับเบิลยูเอ็มซายน์ชอยดอล

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงการ

1. เพื่อทำการศึกษาและออกแบบอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ที่สามารถควบคุมความถี่และแรงดันเอาต์พุตได้ตามต้องการ
2. เพื่อศึกษาเทคนิคการสวิตช์อินเวอร์เตอร์แบบ SPWM
3. เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ให้สูงขึ้น
4. เพื่อเป็นการเสริมสร้างประสบการณ์ ตลอดจนสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ใน ชีวิตประจำวันได้
5. เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่ความรู้ความเข้าใจทางด้าน “อิเล็กทรอนิกส์” เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์ต่างๆได้

1.3 ขอบข่ายของการทำโครงการ

1. เพื่อทำการออกแบบและพัฒนาอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ขนาด 24 Volt. ที่สามารถควบคุมความถี่และแรงดันเอาต์พุตได้ตามต้องการ
2. ใช้โปรแกรมแมตแลปและโปรแกรม PSIM ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์
2. ศึกษาวิธีการเขียนโปรแกรม
3. ทำการทดลองโดยสร้างวงจรต่างๆ
4. วิเคราะห์และสรุปผลการดำเนินโครงการ

1.5 ตารางการปฏิบัติงาน

กิจกรรม	เดือน-ปี						
	พ.ย. 49	ธ.ค. 49	ม.ค. 50	ก.พ. 50	มี.ค. 50	ม.ย. 50	พ.ค. 50
1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	←→						
2. ศึกษาการเขียนโปรแกรม			←→				
3. ออกแบบวงจรทดลอง				←→			
4. สร้างวงจรทดลอง					←→		
6. เก็บผลการทดลอง						←→	
7. วิเคราะห์ผลการทดลอง							←→

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถวิเคราะห์ถึงผลกระทบของการสวิตซ์ซิ่งอินเวอร์เตอร์แบบ SPWM และสามารถพัฒนาอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

1.7 งบประมาณที่ใช้

1. วัสดุทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	เป็นเงิน	3,000	บาท
ที่ประกอบด้วย			
1.1 IC เบอร์ต่างๆ			
1.2 มอสเฟต			
1.3 หม้อแปลงไฟฟ้า			
1.4 อุปกรณ์อื่นๆ เช่น ตัวเก็บประจุ, ตัวต้านทาน, แผ่น PCB เป็นต้น			
2. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	เป็นเงิน	1,000	บาท
	รวมเป็นเงิน	4,000	บาท



บทที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้นและหลักการทำงาน

อินเวอร์เตอร์ คือ วงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ในการแปลงผันกำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดด้วยกัน คือ

1. อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage Source Inverter: VSI) ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

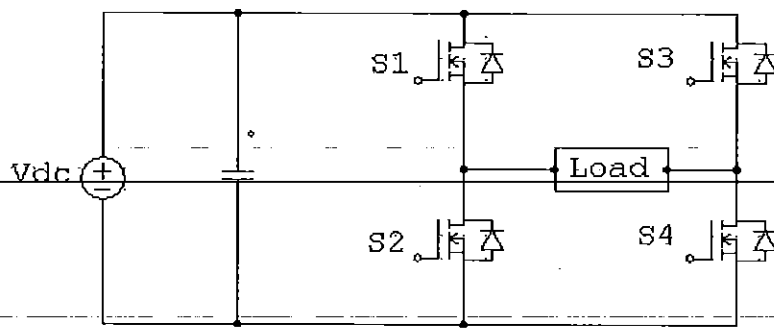
- 1.1 อินเวอร์เตอร์แบบมอดูเลตความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulation Inverter)
- 1.2 อินเวอร์เตอร์แบบรีโซแนนท์
- 1.3 อินเวอร์เตอร์แบบ McMurray
- 1.4 อินเวอร์เตอร์แบบ McMurray – Bedford

2. อินเวอร์เตอร์แบบป้อนกระแส (Current Source Inverter : CSI)

อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน มักจะเหมาะกับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าไม่สูงมากนักแต่ อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายกระแสจะเหมาะสมกับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูง อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันที่นิยมนำไปใช้งานคือ อินเวอร์เตอร์แบบพีดับเบิลยูเอ็ม (Pulse Width Modulation Inverter : PWM Inverter) ส่วนอีกประเภทที่นิยมคือ อินเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square – Wave Inverter) ซึ่งมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน แต่มีข้อเสียคือ ขนาดของฮาร์มอนิกส์อันดับต่างๆจะมีค่าสูง ดังจะกล่าวให้เห็นในรายละเอียดต่อไป

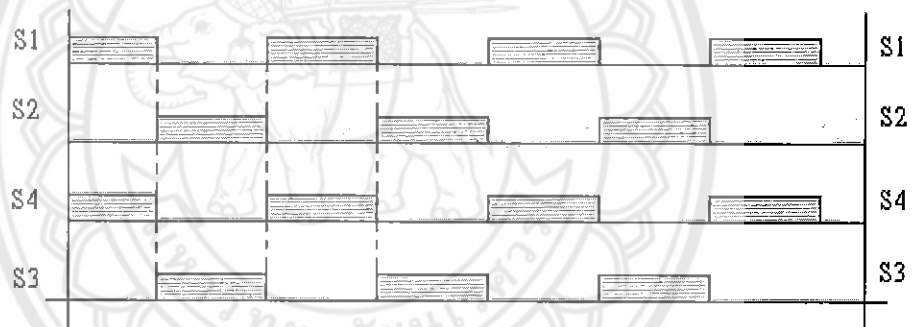
2.1 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส (Principles of Single Phase Inverter)

จากรูปที่ 2.1 เป็นอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสซึ่งเป็นวงจรพื้นฐานที่ใช้เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เอาท์พุทกระแสสลับนั้นได้จากการปิดและการเปิดสวิตช์ในลำดับที่เหมาะสมดังรูปที่ 2.1 แสดงวงจรสวิตช์ซึ่งอาจเป็นทรานซิสเตอร์ ไทริสเตอร์หรืออย่างอื่นก็ได้ แต่สำหรับโครงการนี้จะใช้พาวเวอร์มอสเฟตเป็นอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งเพราะสามารถทำงานที่ความถี่สูงได้

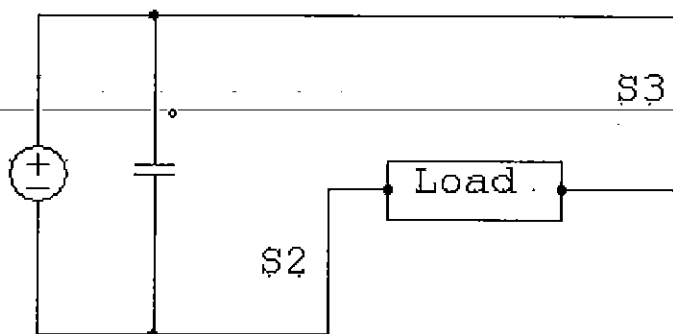


รูปที่ 2.1 อินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส

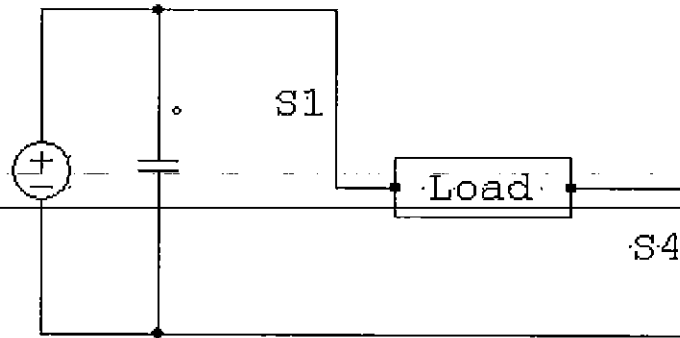
จากรูปเมื่อพิจารณาจะพบว่าสวิตช์ S1 กับ S2 จะต้องไม่ทำงานพร้อมกัน และ S3 กับ S4 ก็จะต้องไม่ทำงานพร้อมกัน เพราะหากทำงานพร้อมกันจะทำให้เกิดการลัดวงจรที่แหล่งจ่ายไฟดีซี ดังนั้นช่วงเวลาการทำงานของสวิตช์จะสลับกันทำงาน ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงลำดับการสวิตช์



รูปที่ 2.3 ลักษณะทิศทางการไหลของกระแส เมื่อ S1 และ S4 Turn On



รูปที่ 2.4 ลักษณะทิศทางการไหลของกระแส เมื่อ S2 และ S3 Turn On

ในความเป็นจริงสวิตช์จะไม่เปิดหรือปิดในทันที ดังนั้นในการออกแบบจะต้องออกแบบช่วงเวลาที่เรียกว่า “เดดไทม์” เข้าไปด้วยเพื่อความปลอดภัยซึ่งจะกล่าวต่อไป

จากรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 สวิตช์ทุกตัวสามารถควบคุมได้ด้วยสัญญาณที่สร้างขึ้นจากการเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณอ้างอิงรูปคลื่นซายน์ กับสัญญาณสามเหลี่ยม (กรณีเทคนิคการสวิตช์แบบไซน์ซอชอยดอลพัลส์วีธมอดูเลชั่น) โดยที่สัญญาณที่ได้จะนำไปควบคุมสวิตช์โดยที่สวิตช์ S1 และ S2 ต้องเป็นสัญญาณที่อินเวอร์สกันทำให้สวิตช์ทั้งสองไม่ทำงานพร้อมกัน

2.2 เทคนิคที่ดับเบิ้ลยูเอ็มแบบไซน์ซอชอยดอล (SPWM)

เทคนิคนี้จะใช้หลักการ โดยการนำรูปคลื่นสัญญาณควบคุมรูปไซน์ ที่มีความถี่เท่ากับความถี่หลักมูลทางด้านเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์มาเปรียบเทียบกับสัญญาณแคเรียร์ (รูปคลื่นสามเหลี่ยม) ที่มีความถี่เท่ากับความถี่การสวิตช์ที่ออกแบบไว้ โดยที่ค่าอัตราการมอดูเลตด้านแอมพลิจูดจะหมายถึงค่าอัตราส่วนของค่ายอดของสัญญาณควบคุมรูปไซน์เทียบกับค่ายอดของสัญญาณแคเรียร์ (รูปคลื่นสามเหลี่ยม) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการรูปคลื่นสัญญาณควบคุม ได้ดังนี้

$$V_{control} = \hat{V}_{control} \sin(\omega t) \quad \text{เมื่อ } 0 \leq \omega t \leq 2\pi \quad (2.1)$$

โดยที่

$$m_a = \frac{\hat{V}_{control}}{\hat{V}_{tri}} \quad (2.2)$$

เมื่อ

$\hat{V}_{control}$ คือ ค่ายอดของสัญญาณควบคุมรูปไซน์ และ

\hat{V}_{tri} คือ ค่ายอดของสัญญาณแคเรียร์ (รูปคลื่นสามเหลี่ยม)

โดยที่ค่าอัตราการผลิตด้านความถี่ คือค่าอัตราส่วนระหว่างความถี่ของสัญญาณแคเรียร์กับความถี่ของสัญญาณควบคุมรูปไซน์ซึ่งในโครงการนี้จะนิยามโดยใช้ตัวแปร m_f ซึ่งจะได้

$$m_f = \frac{f_{ri}}{f_{control}} \quad (2.3)$$

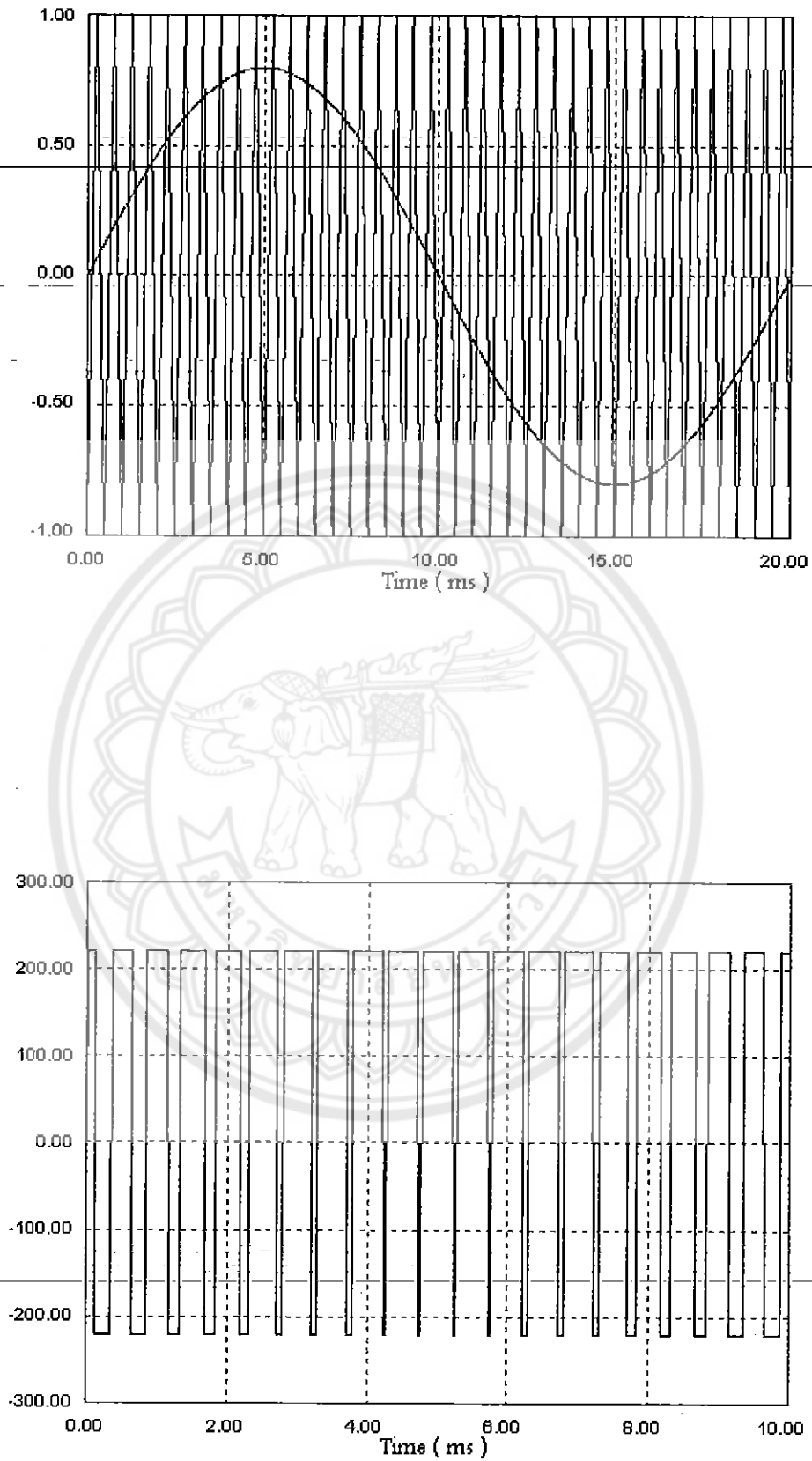
เมื่อ	$f_{control}$	คือ ความถี่ของรูปคลื่นสัญญาณควบคุมรูปไซน์ หรือ
	f_1	คือ ความถี่หลักมูลทางด้านเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์ และ
	f_{ri}	คือ ความถี่ของรูปคลื่นสัญญาณแคเรียร์ (รูปคลื่นสามเหลี่ยม) หรือ
	f_s	คือ ความถี่ของการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์

ในการออกแบบทำได้โดยการเลือกค่า m_f ที่เหมาะสมซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

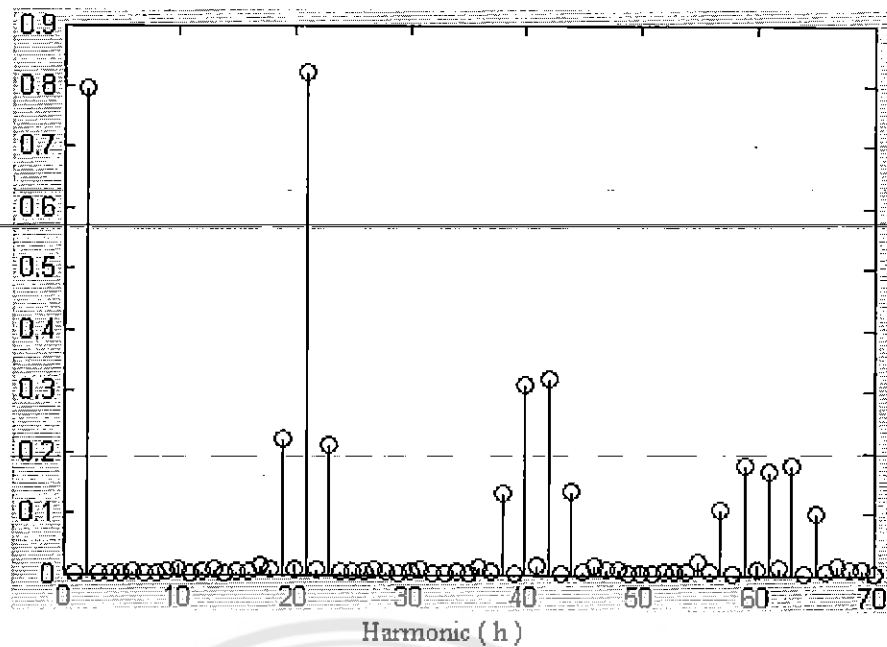
1. กรณีที่ออกแบบโดยให้ค่า m_f ต่ำ ๆ ($m_f \leq 21$) จะต้องทำการเลือกค่า m_f เป็นเลขคี่ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฮาร์มอนิกลำดับคู่ขึ้น
2. กรณีที่ m_f มีค่าสูง ($m_f > 21$) ผลจากการเลือกใช้ซิงโครนัสพีดับเบิลยูเอ็มจะมีน้อยจึงอาจใช้การสวิตช์แบบอะซิงโครนัสพีดับเบิลยูเอ็มแทนได้

ในการพิจารณาสัญญาณแรงดันเอาต์พุทที่เกิดจากรูปคลื่นนี้สามารถพิจารณาได้ 2 ช่วงการทำงานดังต่อไปนี้

1. ช่วงการมอดูเลตเชิงเส้น ($0 \leq m_a \leq 1$) เป็นช่วงที่องค์ประกอบหลักมูลของแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุท (fundamental – frequency component of the output voltage) แปรผันเชิงเส้นกับค่า m_a



รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างการสวิตช์แบบชานันุชอยคอลลีดับเบิลยูเอ็ม ที่ค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์เท่ากับ 0.8 , ความถี่ของสัญญาณอ้างอิง = 50 Hz และความถี่ของสัญญาณแคเรียร์ = 1 kHz



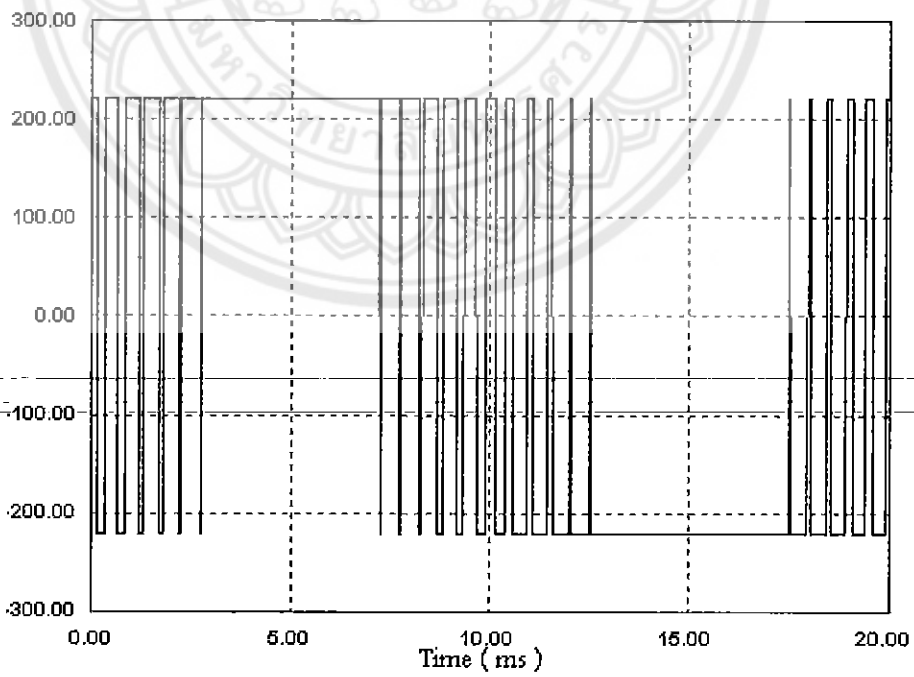
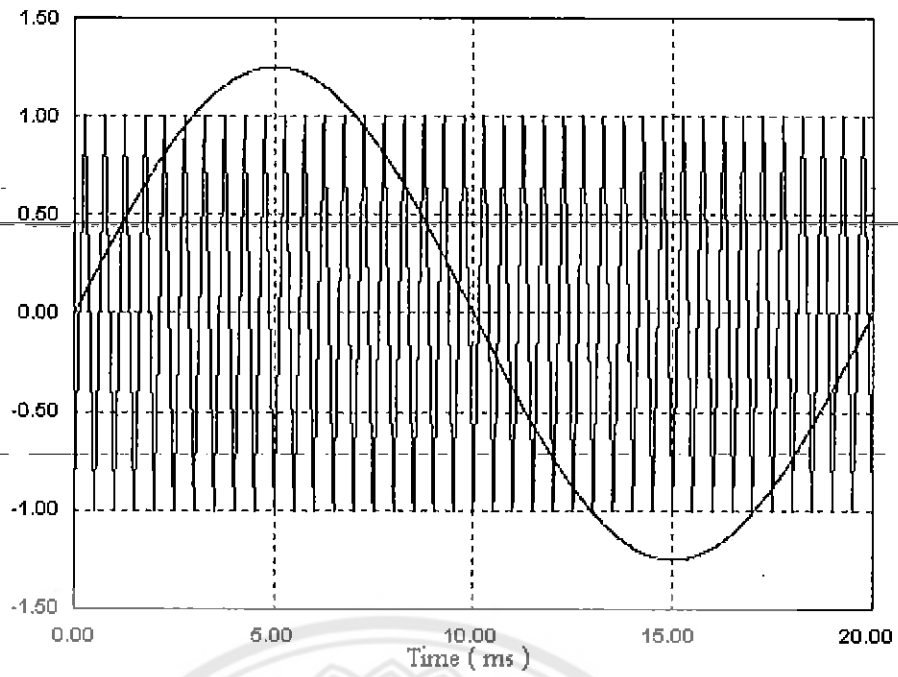
รูปที่ 2.6 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของการสวิตช์แบบชานี่นุชอยดอลพีดับเบิลยูเอ็ม

2. ช่วงการควบคุมแบบโอเวอร์มอดูเลต ($m_a > 1$) เป็นย่านที่แรงดันเอาต์พุตไม่แปรผันเชิงเส้นกับค่า m_a ซึ่งส่วนใหญ่มักไม่มีการนำย่านนี้ไปใช้งานเนื่องจากจะมีผลจากองค์ประกอบของฮาร์มอนิก ลำดับต่ำ ๆ ที่อยู่ใกล้กับฮาร์มอนิกลำดับที่หนึ่งหรือความถี่หลักมูล เช่น ฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, 5, 7, ... เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดผลเสียหากนำไปใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปขับมอเตอร์เหนี่ยวนำเพราะฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, 5, 7 จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียและทำให้เกิดความเร็วมืด ความเร็ว

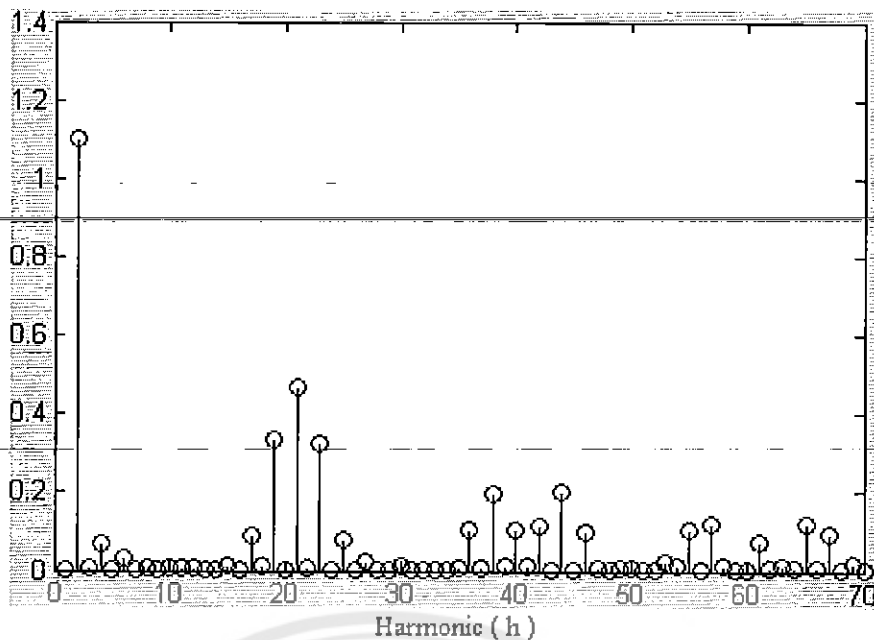
การเปรียบเทียบสัญญาณสองสัญญาณ ในเงื่อนไขหาก $v_{control} > v_{tri}$ จะได้สัญญาณพัลส์เป็นบวก ในทำนองเดียวกันหาก $v_{control} < v_{tri}$ จะได้พัลส์เป็นลบ กรณีโอเวอร์มอดูเลชันในรูปที่ 2.7 ไซเคิลบวกของ $v_{control}$ จะมีช่วงที่ยอดของ $v_{control}$ มากกว่า v_{tri} จนถือว่าจะได้พัลส์เป็นบวกในช่วงระยะเวลาหนึ่งเสมือนว่าไม่มีการสวิตซ์ ซึ่งเช่นเดียวกับการเกิดขึ้นที่ครึ่งไซเคิลลบของ $v_{control}$ ช่วง Peak ถ่างจะทำให้ค่าพัลส์เป็นลบหรือศูนย์ ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่มีการสวิตซ์เช่นเดียวกัน

ผลเสียจากรูปที่ 2.8 คือเกิดฮาร์มอนิกขึ้นที่บริเวณใกล้ ๆ กับความถี่หลักมูลหรือฮาร์มอนิกลำดับที่หนึ่ง

ส่วนผลดีของการควบคุมแบบโอเวอร์มอดูเลชันนั้นคือ จะได้ขนาดของแรงดันไฟฟ้าของความมอดูลสูงมากกว่ากรณีช่วงการมอดูเลชันเชิงเส้น



รูปที่ 2.7 แสดงรูปคลื่นพีดับเบิลยูเอ็มแบบโอเวอร์มอดูเลชัน



รูปที่ 2.8 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของรูปคลื่นที่คัปเบิลยูเอ็มแบบ โอเวอร์มอดูเลชัน

ตัวอย่างลักษณะของการสวิตช์แบบ ไซน์ซอชอยคอลลที่คัปเบิลยูเอ็มแสดงไว้ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งข้อดีของการสวิตช์แบบนี้คือสามารถลดขนาดของฮาร์มอนิกลำดับต่ำได้ทำให้ค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นลดน้อยลง แต่มีข้อเสียคือค่าองค์ประกอบแรงดันเอาต์พุทของความถี่มูลฐานน้อยลง

2.2.1 การควบคุมแรงดัน

SPWM สามารถที่จะปรับแรงดันกระแสสลับทางด้านเอาต์พุทได้ โดยอาศัยการปรับค่า Modulation Index ซึ่งเราสามารถที่จะปรับค่าค่าต่างๆได้แต่ที่สำคัญนั้นเราจะปรับค่าของ Amplitude ของสัญญาณอ้างอิงรูปคลื่น Sine และในการปรับความถี่ก็สามารถทำได้เช่นกันโดยการปรับค่าของสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม

ในการประยุกต์ใช้งานกับระบบต่างที่สำคัญไม่ว่าจะเป็น การนำเอาอินเวอร์เตอร์ไปขับ Motor แรงดันของ Motor ที่จะเพิ่มขึ้นนั้นเกิดจากการเพิ่มขึ้นของความถี่ เมื่อเราต้องการที่จะปรับความเร็วของ Motor เพื่อที่จะทำการรักษาค่า Flux ในแกนเหล็กให้มีค่าคงที่

2.2.2 THE R.M.S. VALUE OF SPWM VOLTAGE

เราสามารถที่จะพิจารณาค่าเฉลี่ยแรงดันถ้าถ้าค่าเฉลี่ยของแรงดันที่ถูก Plotted ในเชิงมุม (θ) เราสามารถที่จะหาพื้นที่ใต้กราฟของแต่ละพัลส์ได้ดังสมการ $V^2 \text{Sine}\theta d\theta$
 $\text{Sin}\theta d\theta$ เป็นค่าความกว้างของพัลส์
 ดังนั้นพื้นที่ใต้กราฟในครึ่งคาบจะได้เป็น

$$\int_0^{\pi} V^2 \text{Sin}\theta d\theta = 2V^2$$

ดังนั้นค่า MEAN SQUARE ของแรงดันรวมเป็น $\left(\frac{2}{\pi}\right)V^2$ และค่า R.M.S. ของแรงดันรวมจะ
 ได้เป็น

$$\left(\frac{2}{\pi}\right)V^2 = 0.7979$$

สำหรับ HALF BRIDGE ค่าแรงดัน R.M.S มีค่าดังนี้

$$= 0.7979 \frac{V}{2} = 0.3990V$$

2.2.3 FUNDAMENTAL SINUSOIDAL COMPONENT

องค์ประกอบพื้นฐานของ SINUSOIDAL สามารถที่จะนำมาวิเคราะห์โดยใช้อนุกรมฟูเรียร์
 แสดงค่าแอมพลิจูดได้โดยสมการของการวิเคราะห์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม

$$= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} V \text{Sin}\theta \text{Sin}\theta d\theta = V$$

$$= \frac{V}{\sqrt{2}} = 0.707V$$

ค่าแรงดันที่เป็นผลตอบสนองของ HALF BRIDGE จะเป็นครึ่งหนึ่งของสมการข้างต้น ดังนั้นจะมีค่า
 R.M.S. ของแรงดันพื้นฐาน $= \frac{V}{2\sqrt{2}}$

2.2.4 TOTAL HARMONIC VOLTAGE AND TOTAL HARMONIC DISTORTION FACTOR (THD)

แรงดันฮาร์โมนิกรวมสามารถเขียนพิจารณาได้จากค่า R.M.S. แรงดันรวมและค่า R.M.S. ของแรงดันพื้นฐานสำหรับ HALF BRIDGE ได้ดังสมการ

$$\begin{aligned} &= 0.3990 \\ &= 0.3535V \end{aligned}$$

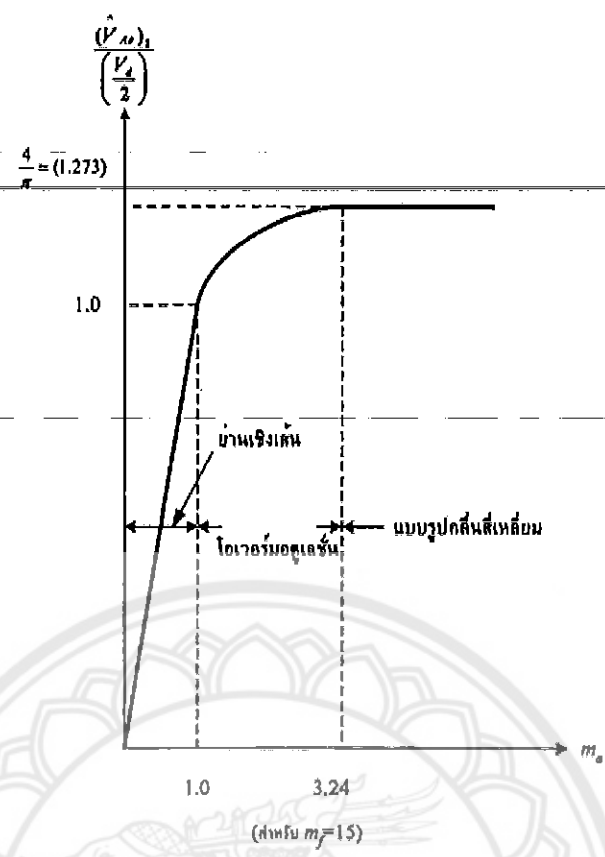
ซึ่งจากสมการดังกล่าวทำให้แรงดันฮาร์โมนิกรวมเป็น

$$\begin{aligned} &= \sqrt{(0.3990V)^2 - (0.3535V)^2} = 0.1850V \\ &= \frac{0.1850}{0.3990} = 0.4637 = 46.37\% \end{aligned}$$

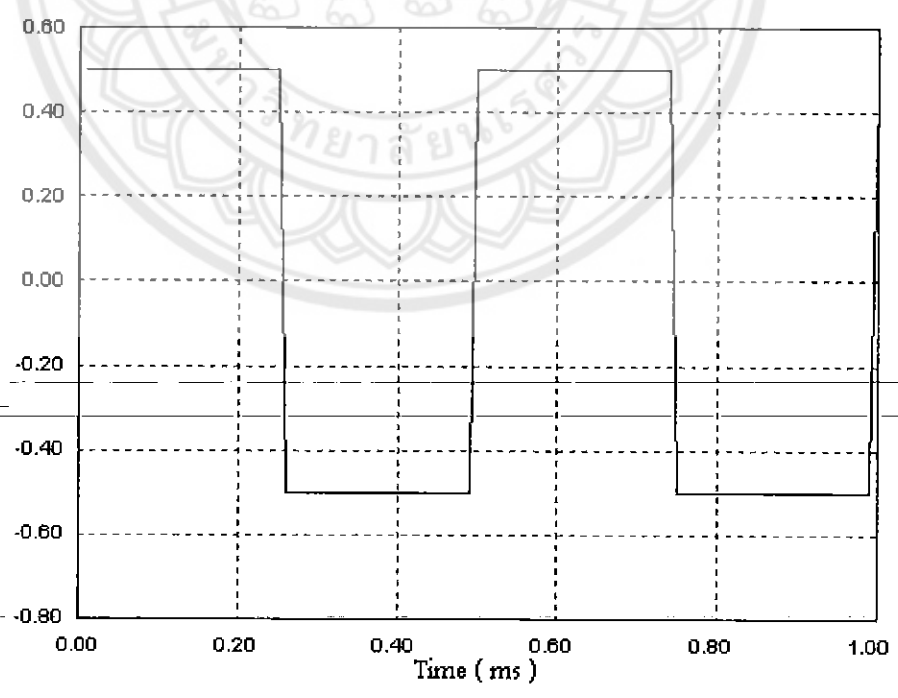
2.3 อินเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square – Wave Inverter)

เมื่อปรับเพิ่มค่า m_a จนกระทั่งถึงช่วงแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตโอเวอร์มอดูเลชันซึ่งแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะมีการเพิ่มขึ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้น จนกระทั่งถึงค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งมีตัวประกอบเป็น $4/\pi$ สำหรับแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตต่อค่า m_a จะมีแนวโน้มดังแสดงในรูปที่ 2.9 กล่าวคือเมื่อปรับเพิ่มค่า m_a จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้อีกต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า m_a ตั้งแต่ 3.24 ขึ้นไปจะจัดการทำงานอยู่ในโหมดการสวิตช์ซึ่งแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ซึ่งจะได้ขนาดของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ความถี่หลักมูลดังสมการที่ 2.4

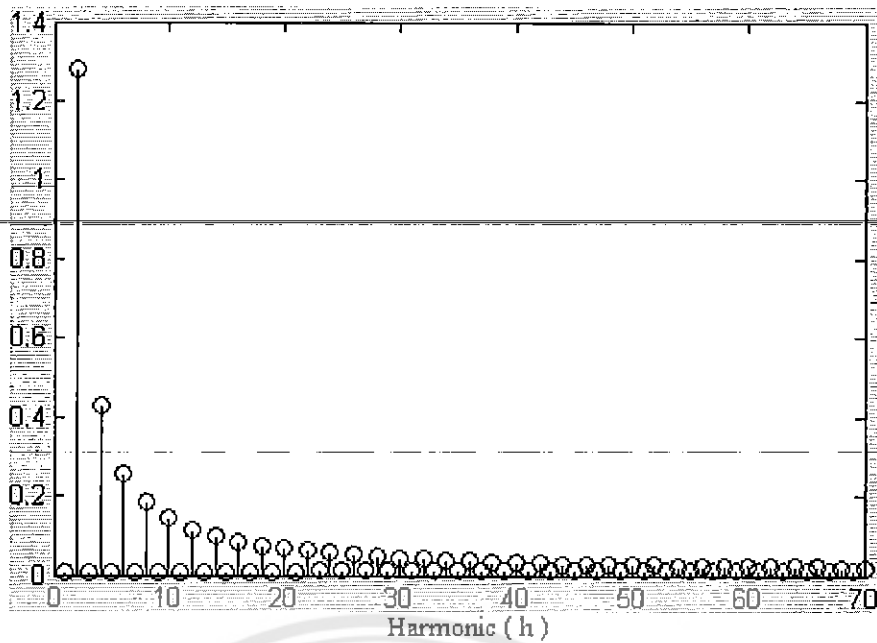
$$(\hat{V}_{A0}) = \frac{4}{\pi} \frac{V_d}{2} = 1.273 \left(\frac{V_d}{2} \right) \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.9 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์ที่ดับเบิลยูเอ็มโดยการปรับค่า m_a



รูปที่ 2.10 รูปคลื่นที่ดับเบิลยูเอ็มแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม



รูปที่ 2.11 ฮาร์มอนิกสเปกตรัมของพีคดับเบิลยูเอ็มแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

$$\left(\hat{V}_{A0}\right)_h = \frac{\left(\hat{V}_{A0}\right)_1}{h} \quad (2.5)$$

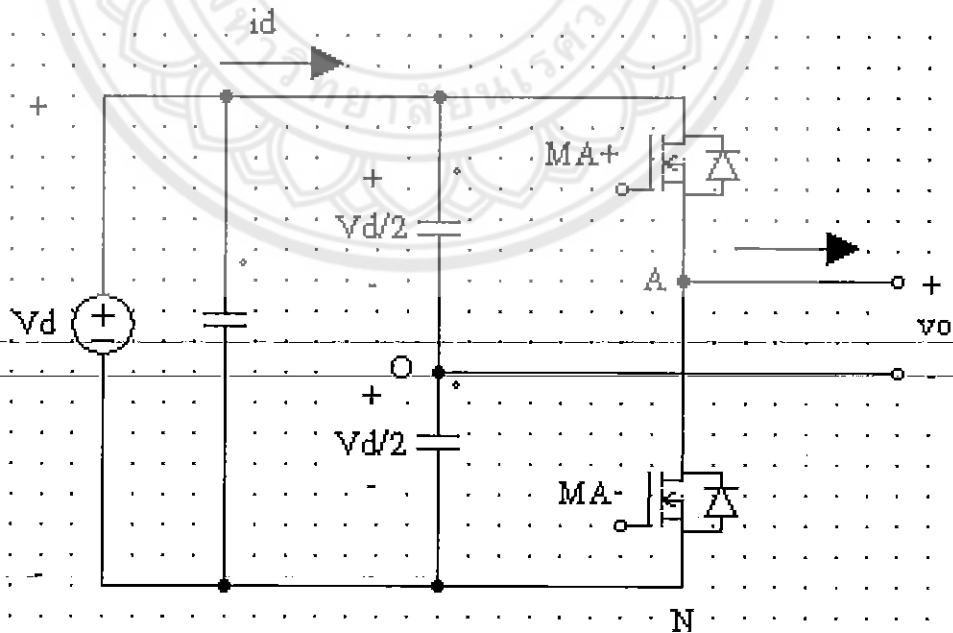
สมการที่ 2.5 แสดงให้เห็นว่าแรงดันไฟฟ้ายอดเอาต์พุตที่ฮาร์มอนิกใด ๆ จะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้ายอดเอาต์พุตของความถี่หลักมูลหารด้วยค่าอันดับของฮาร์มอนิกนั้น ๆ

ข้อดีของการใช้งานในช่วงการสวิตช์แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม คือแรงดันไฟฟ้ายอดเอาต์พุตของความถี่หลักมูลจะมีค่าสูงเป็น 1.273 หรือมาจาก $\frac{4}{\pi}$ เท่าของครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอินพุตและอุปกรณ์สวิตช์จะทำงานที่ความถี่ต่ำ เช่น ความถี่ไฟตามสาย ทำให้สามารถเลือกใช้อุปกรณ์สวิตช์ที่ทำงานได้ที่ความถี่ต่ำได้ แต่มีข้อเสียคือจะไม่สามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจากการปรับค่า m_n ดังนั้นหากต้องการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะสามารถทำได้เพียงการปรับระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอินพุต นอกจากนั้นการสวิตช์แบบนี้ยังมีข้อเสียเช่นเดียวกับการทำงานในช่วงโอเวอร์มอดูเลชัน ก็จะมีฮาร์มอนิกลำดับต่ำ ๆ ที่อยู่ใกล้กับฮาร์มอนิกลำดับที่ 1 เช่น ฮาร์มอนิกลำดับที่ 3,5,7, ... เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.11

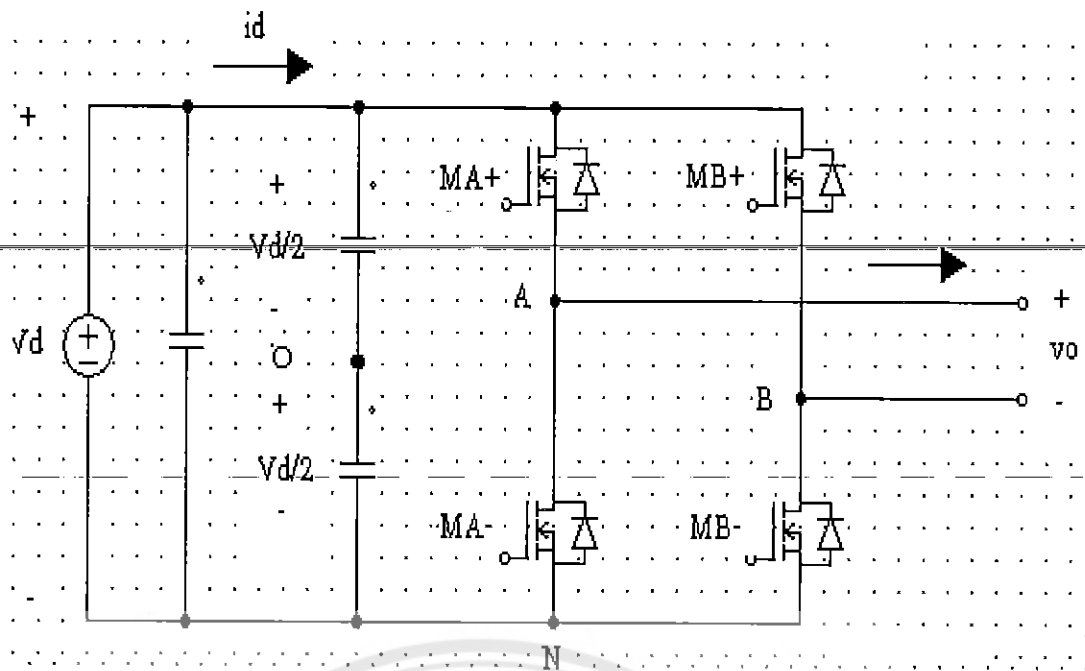
2.4 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียว

อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ แบบฮาล์ฟบริดจ์ (half-bridge) และแบบฟูลบริดจ์ (full-bridge) ในแบบฮาล์ฟบริดจ์นั้นจะมีตัวเก็บประจุสองตัวต่อลำดับกันอยู่ระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและถ้ากำหนดให้ค่าของตัวเก็บประจุทั้งสองตัวมีค่าเท่ากัน จะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีค่าเท่ากันคือ $V_d/2$ และจุดกึ่งกลางของแรงดันไฟฟ้า (จุด o ในรูปที่ 2.12 (ก)) จะมีค่ากึ่งที่เมื่อเทียบกับบัสลบ (N) ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ก) ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์เฟสเดียวจะประกอบไปด้วยสองกึ่ง คือ กึ่ง A และ กึ่ง B ดังรูปที่ 2.12 (ข) โดยแบบฟูลบริดจ์จะมีกำลังไฟฟ้าสูงกว่าแบบฮาล์ฟบริดจ์สองเท่า จึงเหมาะที่จะเลือกใช้เมื่อต้องการจ่ายกำลังไฟฟ้าเมื่อโหลดสูงขึ้น

เงื่อนไขสำคัญที่อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฮาล์ฟบริดจ์และแบบฟูลบริดจ์ คือการทำงานของสวิตช์ T_{A+} และ T_{A-} ต้องไม่ทำงานพร้อมกันในทุกช่วงเวลา มิฉะนั้นแล้วจะทำให้เกิดการลัดวงจรระหว่างบัสลบ ในทางอุดมคติเวลาของการสวิตช์ซิงของ T_{A+} และ T_{A-} จะตรงกันข้ามกัน แต่ในทางปฏิบัติจะต้องการช่วงเวลาที่ยาวขึ้นที่สวิตช์ทั้งคู่ไม่นำกระแส ซึ่งเรียกว่าเดดไทม์ (deadtime) โดยเดดไทม์จะอยู่ในช่วงเวลาก่อนจะเปลี่ยนสถานะการสวิตช์ จากนำกระแสเป็นไม่นำกระแสหรือจากไม่นำกระแสเป็นนำกระแส



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.12 อินเวอร์ตเฟสเดียวแบบฮาล์ฟบริดจ์และแบบฟูลบริดจ์

2.5 การสวิตชิงแรงดันไฟฟ้าแบบไบโพลาร์

การสวิตชิงแรงดันแบบไบโพลาร์ (bipolar voltage switching) คือการควบคุมให้สวิตช์แบบบริดจ์ทำงานพร้อมกันเป็นคู่ เช่น ในรูปที่ 2.12 (ข) การทำงานของสวิตช์ M_{A+} และ M_{B-} จะถูกควบคุมให้ทำงานพร้อมกันในแต่ละช่วงเวลา อีกคู่หนึ่งคือการทำงานของสวิตช์ M_{A-} และ M_{B+} ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของกิ่ง A จะเท่ากับ

$$v_{Ao} = \frac{1}{2}V_d \quad \text{เมื่อ } v_{control} > v_{tri}, \text{ สวิตช์ } M_{A+} \text{ และ } M_{B-} \text{ จะนำกระแส (2.6)}$$

$$v_{Ao} = -\frac{1}{2}V_d \quad \text{เมื่อ } v_{control} < v_{tri}, \text{ สวิตช์ } M_{A-} \text{ และ } M_{B+} \text{ จะนำกระแส (2.7)}$$

เมื่อคิดจากหนึ่งกิ่งของอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของกิ่ง B จะเท่ากับค่าลบของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของกิ่ง A คือ $V_{Bo} = -V_{Ao}$ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์หรือแรงดันไฟฟ้าระหว่างกิ่ง A และกิ่ง B จะเท่ากับ

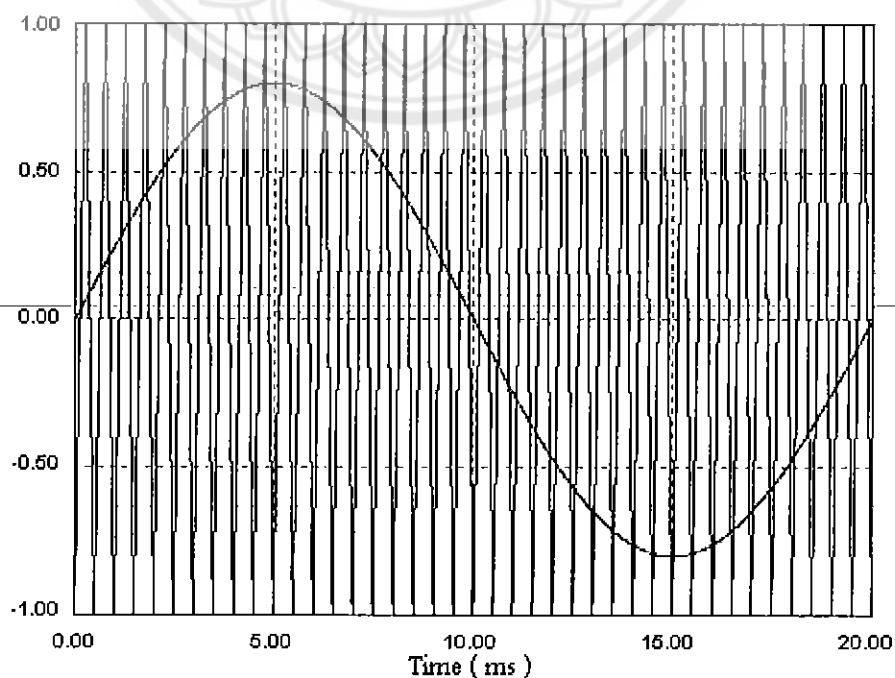
$$v_o = v_{Ao} - v_{Bo} = 2v_{Ao}$$

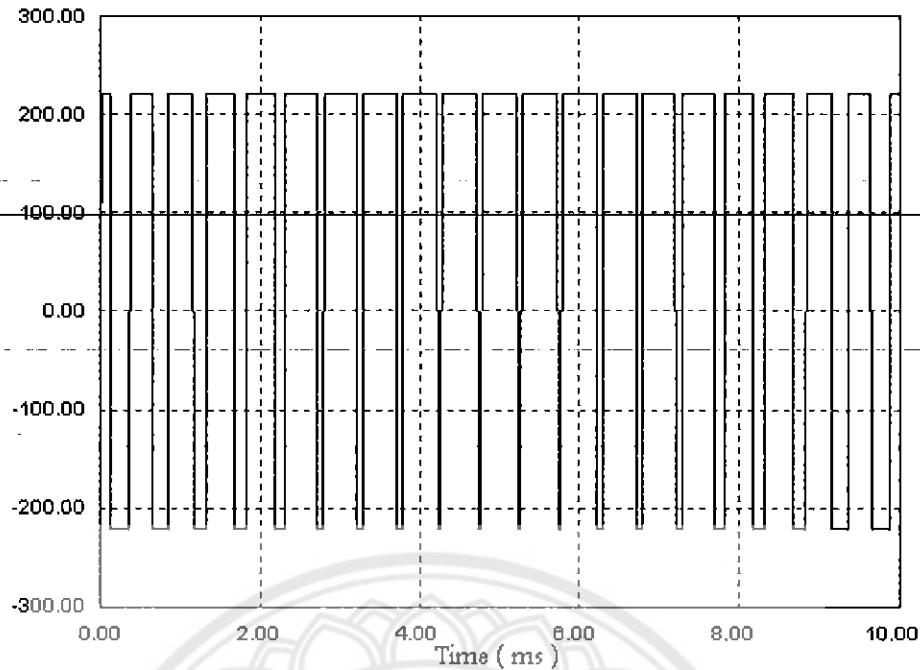
$$\hat{V}_{o1} = m_a V_d \quad \text{เมื่อ } m_a \leq 1.0 \quad (2.8)$$

$$V_d < \hat{V}_{o1} < \frac{4}{\pi} V_d \quad \text{เมื่อ } m_a > 1.0 \quad (2.9)$$

หรืออาจสรุปได้ว่าแรงดันไฟฟ้าออกเอาต์พุตจะเท่ากับสมการที่ 2.8 เมื่อ m_a อยู่ในย่านเชิงเส้นและแรงดันไฟฟ้าออกเอาต์พุตจะเท่ากับสมการที่ 2.9 เมื่อ m_a อยู่ในช่วงโอเวอร์มอดูเลชัน

โดยที่แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะสวิตช์อยู่ระหว่าง $+V_d$ และ $-V_d$ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ส่วนไซน์แบนฮาร์โมนิกจะเกิดขึ้นรอบ ๆ $m_f, 2m_f, 3m_f, \dots$ เช่น หากความถี่สวิตช์ซึ่งเท่ากับ 20 kHz ไซน์แบนฮาร์โมนิกก็จะเกิดขึ้นที่ 20 kHz, 40 kHz และ 60 kHz เป็นต้น





รูปที่ 2.13 การสวิตซ์แรงดันแบบไบโพลาร์

สิ่งที่ระบุว่าเป็นการสวิตซ์แบบไบโพลาร์ คือ

1. มีการสวิตซ์ของแรงดันระหว่างสาย (v_o หรือ v_{ob}) ระหว่างขั้วหรือระหว่างบัสบวกกับลบ
2. ความถี่ของพัลส์ที่ไหลลงจะเท่ากับความถี่ของ v_{tri}
3. จะเกิดความถี่จากสเปคตราคือ เริ่มต้นที่รอบ ๆ f_s และจำนวนเท่าของ f_s

2.6 การสวิตซ์แรงดันไฟฟ้าแบบยูนิโพลาร์

ข้อแตกต่างระหว่างการสวิตซ์แรงดันไฟฟ้าแบบไบโพลาร์กับแบบยูนิโพลาร์ (unipolar voltage switching) ก็คือ ในแบบยูนิโพลาร์การควบคุมสวิตซ์ในกึ่ง A กับกึ่ง B จะแยกสัญญาณควบคุมออกจากกัน คือสวิตซ์ในกึ่ง A จะถูกควบคุมจากสัญญาณ $v_{control}$ เทียบกับสัญญาณรูปสามเหลี่ยม (v_{tri}) ขณะที่สวิตซ์ในกึ่ง B จะถูกควบคุมจากสัญญาณ $-v_{control}$ เทียบกับสัญญาณรูปสามเหลี่ยม (v_{tri}) ซึ่งมีเงื่อนไขการสวิตซ์ดังนี้

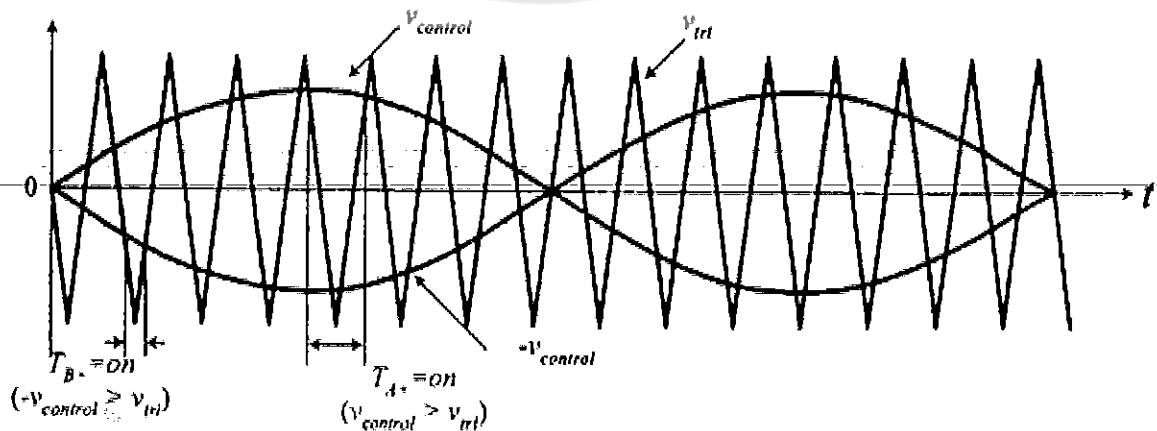
เมื่อ	$v_{control} > v_{tri}$: สวิตซ์ T_{A+} จะนำกระแส	$v_{AN} = V_d$
เมื่อ	$v_{control} < v_{tri}$: สวิตซ์ T_{A-} จะนำกระแส	$v_{AN} = 0$
เมื่อ	$-(v_{control}) > v_{tri}$: สวิตซ์ T_{B+} จะนำกระแส	$v_{BN} = V_d$
เมื่อ	$-(v_{control}) < v_{tri}$: สวิตซ์ T_{B-} จะนำกระแส	$v_{BN} = 0$

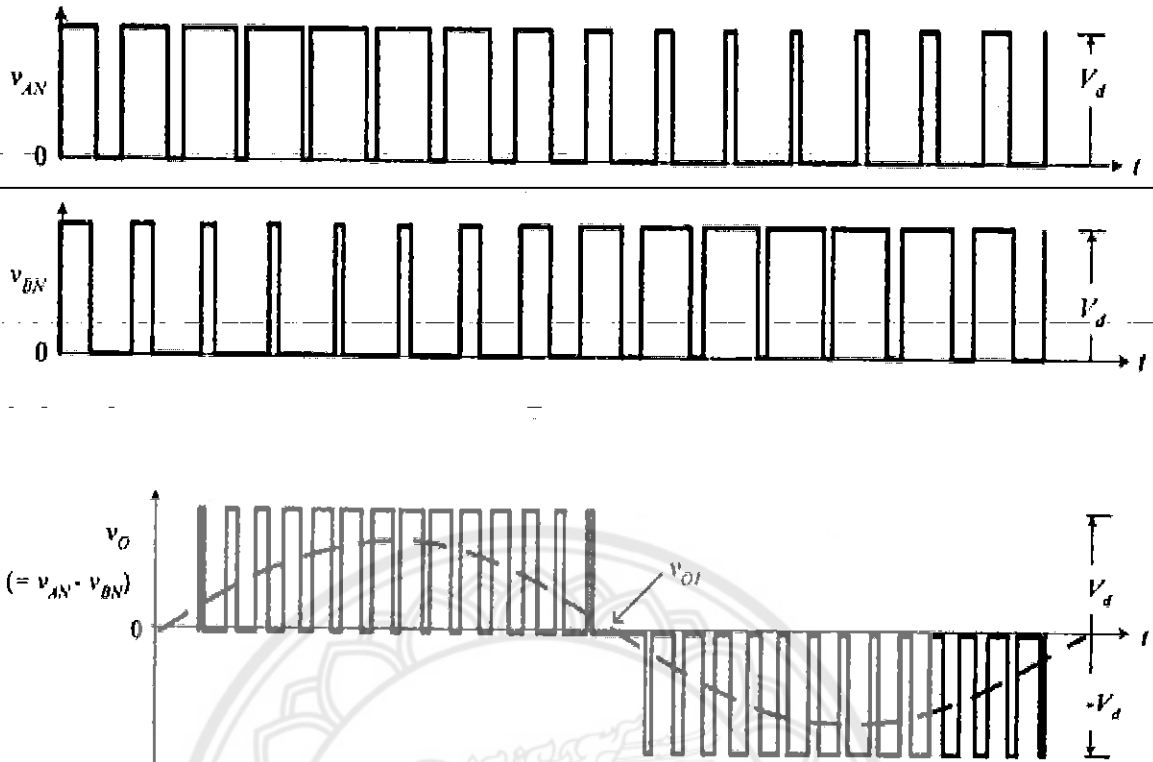
ตารางที่ 2.1 เงื่อนไขการสวิตช์แรงดันเฟสและแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์แบบยูนิโพลาร์

เงื่อนไข	สวิตช์นำกระแส	สวิตช์นำกระแส	v_{AN}	v_{BN}	v_o
1	T_{A+}	T_{B-}	V_d	0	V_d
2	T_{A-}	T_{B+}	0	V_d	$-V_d$
3	T_{A+}	T_{B+}	V_d	V_d	0
4	T_{A-}	T_{B-}	0	0	0

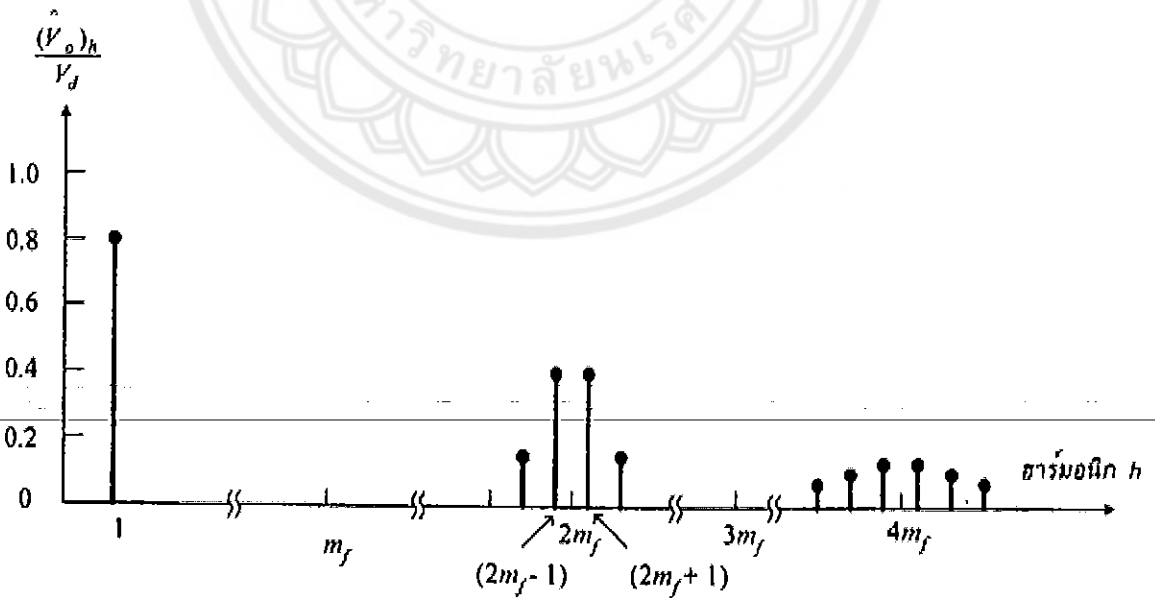
จากตารางที่ 2.1 การเปลี่ยนสถานะของแรงดันระหว่างสาย (v_o หรือ v_{ab}) จะเป็นการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันอยู่ระหว่างศูนย์ไปยังบวกหรือศูนย์ไปยังลบ จึงทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันจากการสวิตช์ซึ่งสูง เช่น กรณีไบโพลาร์

จุดเด่นของยูนิโพลาร์ คือ การเกิดความถี่เอาต์พุตมีค่าเป็นสองเท่าของความถี่สวิตช์ของแต่ละเฟส เช่น ความถี่สวิตช์ของอุปกรณ์เป็น 10 kHz หากเป็นการทำงานแบบยูนิโพลาร์ ค่าแรงดันเอาต์พุตจะประกอบไปด้วยสัญญาณที่ดับเบิ้ลยูเอ็ม ที่มีความถี่หลักมูลและความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 เท่าของแบบไบโพลาร์ที่ 20 kHz ซึ่งสอดคล้องกับฮาร์มอนิกสเปกตรัมของรูปที่ 2.15 โดยเกิดความถี่ขึ้นรอบข้าง ผลของความถี่ที่ไหลคเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ทำให้การออกแบบวงจรกรองความถี่ เล็ก ง่ายและประหยัด





รูปที่ 2.14 การสวิตซ์แรงดันไฟฟ้าแบบยูนิโพลาร์



รูปที่ 2.15 ฮาร์มอนิกสเปกตร้าของการสวิตซ์แรงดันไฟฟ้าแบบยูนิโพลาร์

เงื่อนไขในการสร้างแรงดันเฟสและแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตคคร่อมโหลด (v_o) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ผลที่ได้จากเงื่อนไขการทำงานในตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.14 คือแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างแรงดันไฟฟ้าค่าบวกไปยังศูนย์และศูนย์ไปยังบวกในครึ่งคาบ ส่วนอีกครึ่งคาบจะมีแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงระหว่างแรงดันไฟฟ้าค่าลบไปยังศูนย์และจากศูนย์ไปยังลบ ซึ่งจากลักษณะการทำงานดังกล่าวจึงเรียกวธีการสวิตซ์นี้ว่ายูนิโพลาร์ ส่วนขนาดของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะเท่ากับกับแบบไบโพลาร์และเมื่อเปรียบเทียบข้อดี - ข้อเสียของการสวิตซ์ทั้งสองแบบจะเป็นไปตามตารางที่ 2.2

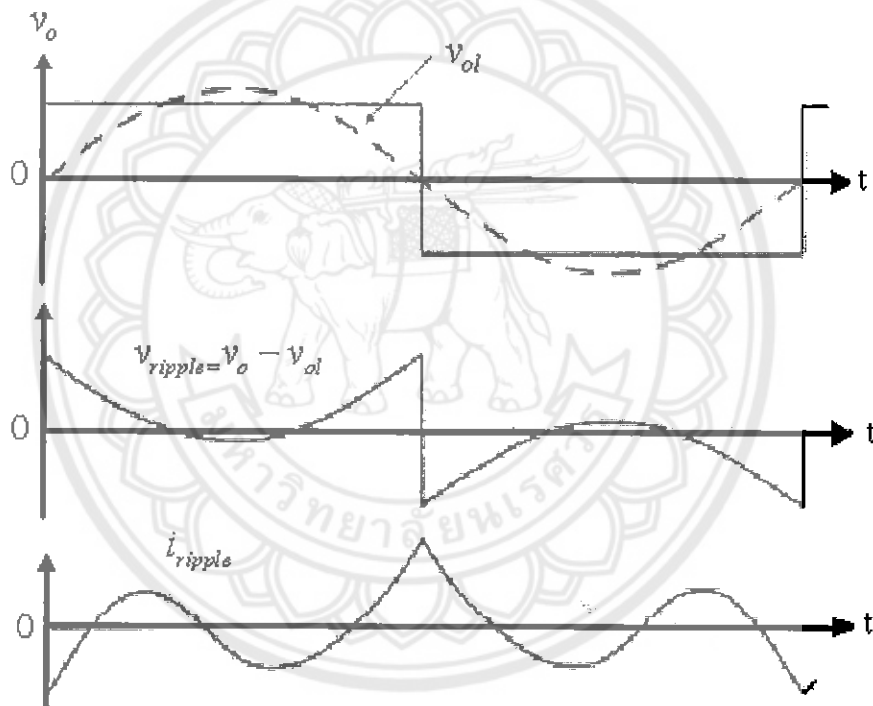
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อดี - ข้อเสียของการสวิตซ์แรงดันไฟฟ้าแบบไบโพลาร์กับยูนิโพลาร์

ประเด็น	ไบโพลาร์	ยูนิโพลาร์
แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (\hat{V}_{o1}), $m_a \leq 1.0$	$\hat{V}_{o1} = m_a V_d$	$\hat{V}_{o1} = m_a V_d$
แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (\hat{V}_{o1}), $m_a > 1.0$	$V_d < \hat{V}_{o1} < \frac{4}{\pi} V_d$	$V_d < \hat{V}_{o1} < \frac{4}{\pi} V_d$
แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (v_o)	$V_d \Leftrightarrow -(V_d)$	$V_d \Leftrightarrow 0$ $-(V_d) \Leftrightarrow 0$
ไซน์แบนฮาร์โมนิก	$m_f, 2m_f, 3m_f, \dots$	$m_f, 2m_f, 3m_f, \dots$
การกรองความถี่สูง	ดี	ดีมาก
การควบคุม	ง่าย	ซับซ้อน

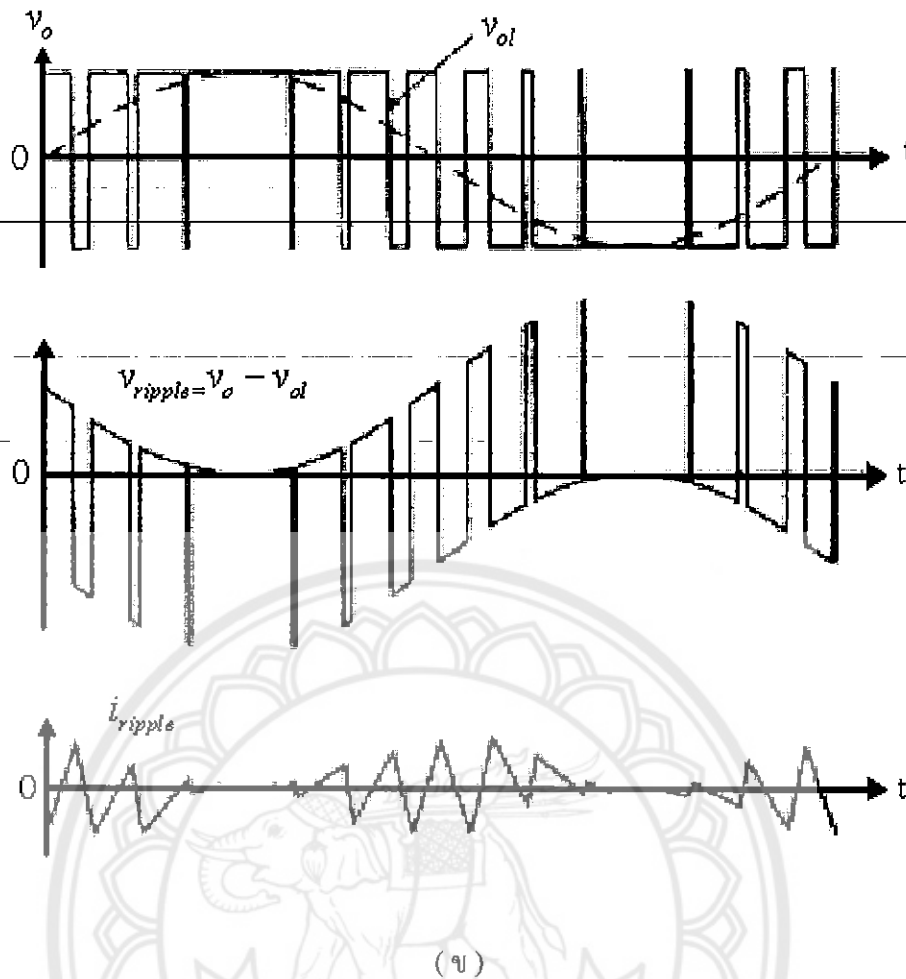
ข้อเปรียบเทียบของทั้งสองเทคนิคนี้ คือ จะแตกต่างกันที่แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ที่มีระดับการเปลี่ยนแปลงของยูนิโพลาร์จะมีแรงดันจากศูนย์ไปบวกหรือศูนย์ไปลบและมีไซน์แบนที่ $2m_f, 4m_f, 6m_f, \dots$ ตามลำดับ ยูนิโพลาร์มีความถี่สวิตซ์ที่สูงกว่าทำให้การกรองความถี่ทำได้ง่ายขึ้นเล็กและประหยัด

2.6.1 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว

จากรูปที่ 2.16 แสดงถึงตัวอย่างค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ที่มีการสวิตช์แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยมและแบบไบโพลาร์ โดยนิยามของค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าคือแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ลดลงด้วยแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของค่าเฉลี่ยหลักมูล เช่น ในรูปที่ 2.16 จะสังเกตเห็นว่า ค่าระลอกคลื่นของกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตของการสวิตช์แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจะมีค่ามากกว่าแบบไบโพลาร์ ซึ่งความต้องการในการออกแบบหรือการประยุกต์ใช้งานต้องการค่าระลอกคลื่นที่น้อยที่สุด



(ก)



รูปที่ 2.16 ค่าระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว (ก) การสวิตชิงแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (ข) การสวิตชิงแบบไบโพลาร์

2.7 ผลของเดดไทม์ต่อแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์

ในทางปฏิบัติ กิ่งใด ๆ ของอินเวอร์เตอร์ สวิตช์ตัวบนและสวิตช์ตัวล่างต้องไม่นำกระแสพร้อมกัน ดังนั้นจึงต้องการช่วงเวลาที่ยาวขึ้นที่สวิตช์ทั้งคู่หยุดนำกระแสก่อนที่สวิตช์จะเปลี่ยนสถานะ เพื่อป้องกันการลัดวงจรระหว่าง บัสบวกกับบัสลบ ซึ่งช่วงเวลานี้เรียกว่า **เดดไทม์** (dead time หรือ blanking time) ซึ่งเวลาเดดไทม์ดังกล่าวจะต้องมีความเหมาะสม คือหากมีค่าน้อยเกินไปอาจทำให้มีโอกาสในการเกิดการลัดวงจรได้ง่าย หรือถ้าหากมีค่ามากเกินไปก็อาจจะทำให้แรงดันไฟฟ้า เอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์ผิดเพี้ยนไป

สวิตช์ที่มีความเร็วในการเปลี่ยนแปลงสถานะคือมีช่วงเวลาในการนำกระแสและเริ่มหยุดการนำกระแสสั้น ๆ (เป็นหลักสิบของนาโนวินาที) เช่น สวิตช์ที่เป็นมอสเฟตจะมีค่าเดดไทม์น้อย ๆ เช่น 1-2 ไมโครวินาที ส่วนสวิตช์ที่เป็นไครสโตร์มักจะต้องการค่าเดดไทม์ที่มากกว่าทั้งนี้เพราะช่วงเวลา

เริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแสที่มากกว่า ดังนั้นเดดไทม์จึงขึ้นอยู่กับชนิดของสวิตซ์สารกึ่งตัวนำที่เลือกใช้

ผลของเดดไทม์ต่อแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ ดังที่แสดงอยู่ในรูปที่ 2.17 โดยรูปที่ 2.17 (ก) เป็นวงจรพูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์หนึ่งกึ่งและรูปที่ 2.17 (ข) เป็นแรงดันควบคุมเกดในอุดมคติ รูปที่ 2.17 (ค) คือแรงดันควบคุมเกดของสวิตซ์ที่ซดเซยผลของเดดไทม์แล้ว โยมีหลักการง่าย ๆ คือ ควบคุมทุก ๆ ขาลงของแรงดันควบคุมเกดให้คงที่และทุก ๆ ขาขึ้นให้หน่วงเวลาไปเท่ากับเดดไทม์ เพื่อไม่ให้สวิตซ์ในกึ่งเดียวกันทำงานพร้อมกัน แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาเดดไทม์จะขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสไหลค กล่าวคือ

เมื่อกระแสไหลคไฟฟ้าที่ไหลคเป็นบวก (i_A) มีทิศทางไหลคออกจากจุด A ในรูปที่ 2.17 (ง) หากไหลคเป็นไหลคความเหนี่ยวนำและตัวต้านทานร่วมกัน เมื่อ $i_A > 0$ ช่วงเวลาเดดไทม์ของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะมีค่าลดลงเพราะไดโอด D_{A-} จะนำกระแส ทำให้ v_{AN} ลดลงเป็นศูนย์เฉพาะในช่วงเวลาเดดไทม์ ส่งผลให้ค่าแรงดันเฉลี่ยของ v_{AN} ลดลง

เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลคเป็นลบ (i_A) มีทิศทางการไหลคเข้าหาจุด A ในรูป 2.17 (จ) เมื่อ $i_A < 0$ ช่วงเวลาเดดไทม์แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะมีค่าเพิ่มขึ้นเพราะไดโอด D_{A+} จะนำกระแส ทำให้ v_{AN} มีค่าเป็น $+v_d$ เฉพาะในช่วงเวลาเดดไทม์ ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของ v_{AN} มีค่าเพิ่มขึ้น

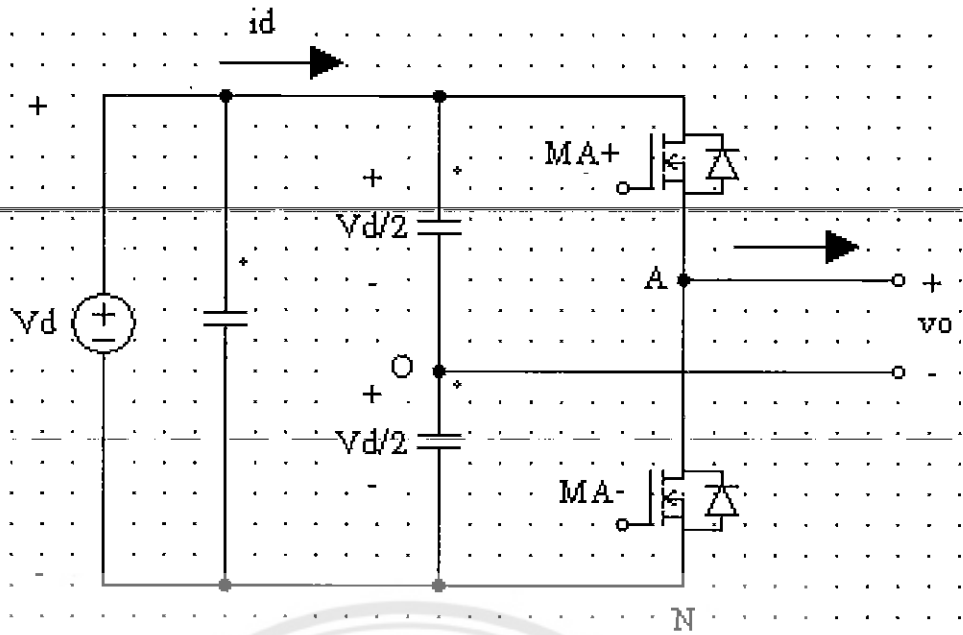
ค่าแรงดันไฟฟ้าผิคเพี้ยนจะเท่ากับแรงดันไฟฟ้าในอุดมคคิลบด้วยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริง เช่นที่เกิดขึ้นในรูปที่ 2.18 และมีค่าดังสมการที่ 2.10 และ 2.11 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าถ้าค่าเดดไทม์มากมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ผิคเพี้ยนไป

$$v_e = (v_{Ao})_{ident} - (v_{Ao})_{actual} \quad (2.10)$$

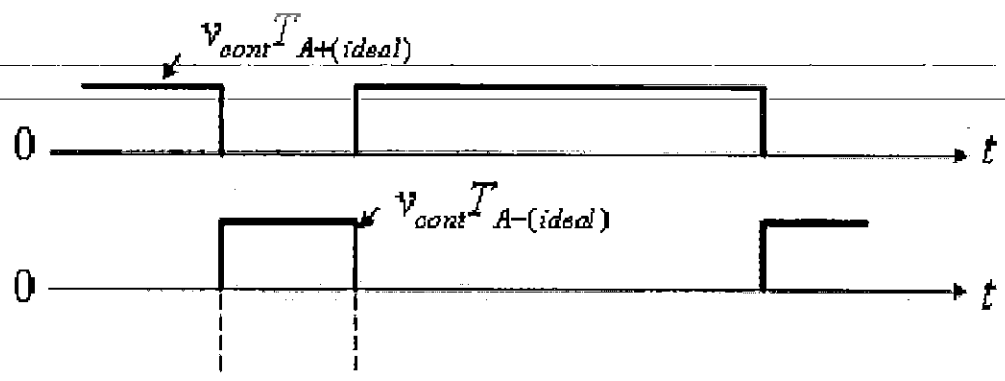
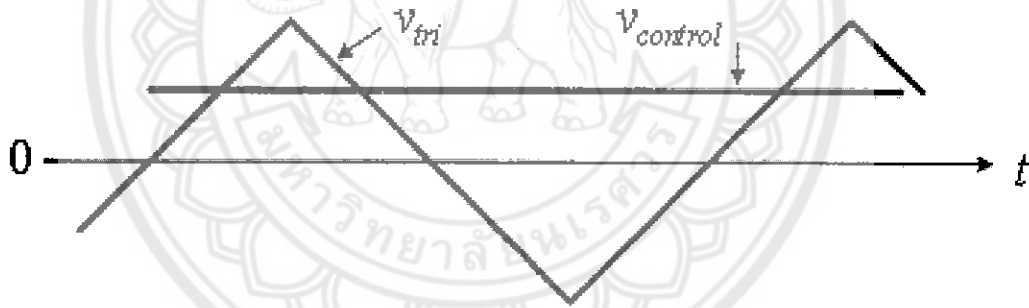
$$v_e = \pm \frac{2 \cdot (\text{deadtime})}{T_s} \cdot V_d \quad (2.11)$$

ข้อคคของเดดไทม์คือการทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรระหว่างบัสบวกกับบัสลบ แต่หากมีค่าเดดไทม์มากเกินไป ก็จะมีผลต่อรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุต โดยขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลคของกระแสไหลค

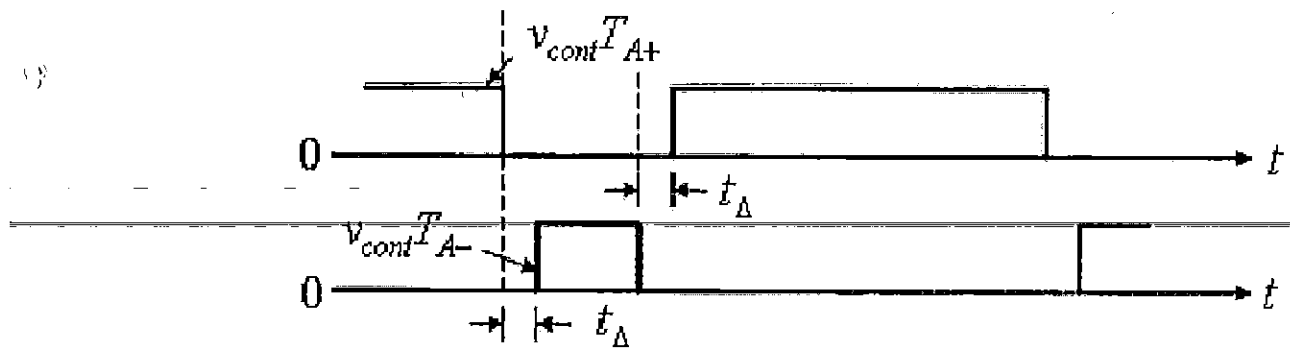
จึงสามารถสรุปข้อเสยของเดดไทม์ได้คือการเกิดฮาร์โมนคคที่ความถี่รอบข้างความถี่สวิตซคคและเกด ความถี่ฮาร์โมนคคที่ความถี่ต่ำ ๆ อันจะเป็นผลเสยต่อสมรรถนะของอินเวอร์เตอร์



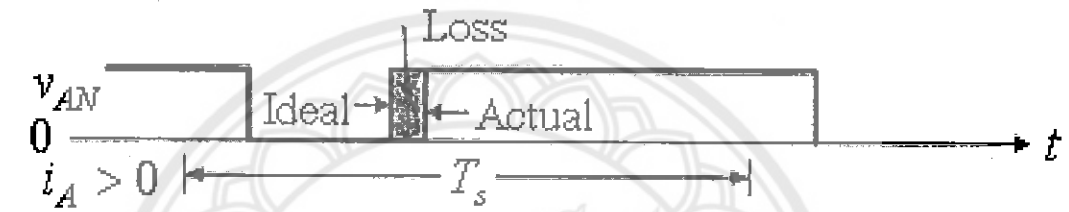
(n)



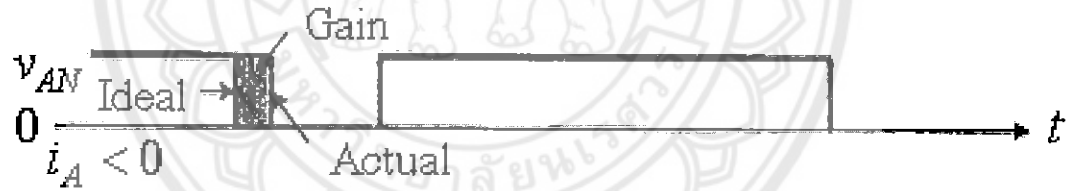
(v)



(ก)

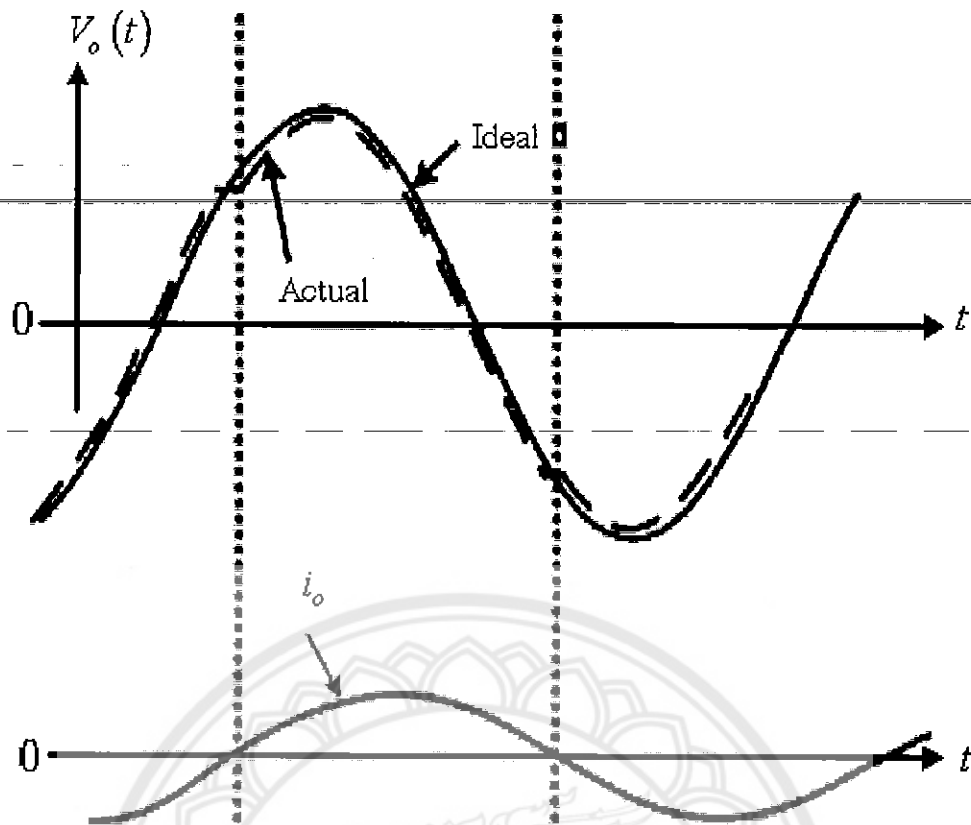


(ง)



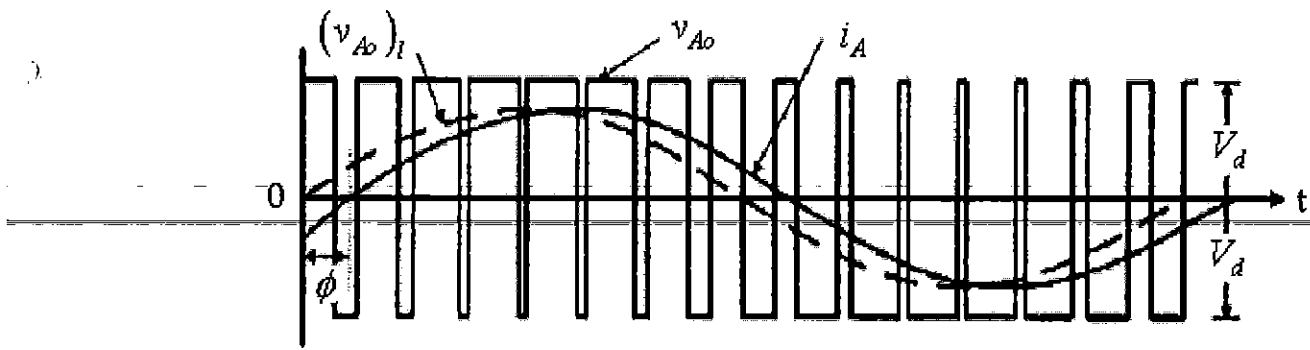
(จ)

รูปที่ 2.17 ผลของเดดไทม์ที่มีต่อแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์

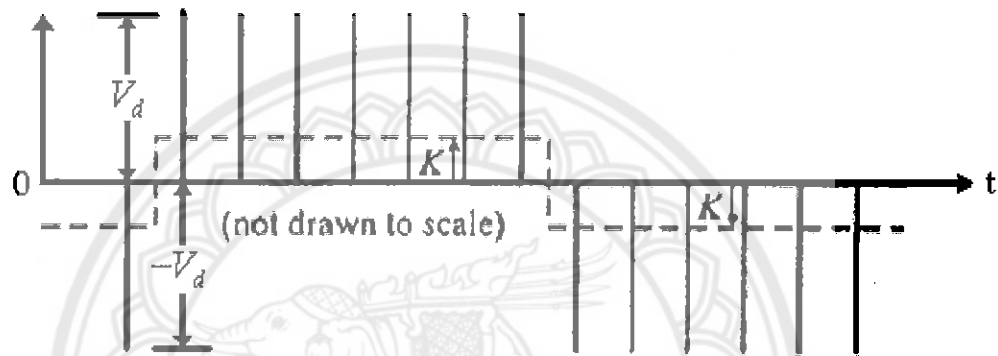


รูปที่ 2.18 ผลของเดดไทม์ต่อแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตรูปไซน์

เมื่อคลื่นรูปไซน์ในอุดมคติจะเป็นเส้นทึบและคลื่นรูปไซน์ในทางปฏิบัติจะเป็นเส้นประ ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาที่กระแสเป็นบวกดังแสดงในรูปที่ 2.19 (ก) คลื่นรูปไซน์เส้นประจะลดลงจากเส้นทึบ ในขณะที่ช่วงเวลาที่กระแสเป็นลบ รูปคลื่นไซน์เส้นประจะมากกว่าเส้นทึบ เปรียบเหมือนการนำค่าเฉลี่ยรูปคลื่นสี่เหลี่ยมมาลบออกจากรูปคลื่นในอุดมคติเมื่อกระแสเป็นบวก และเหมือนการนำค่าเฉลี่ยรูปคลื่นสี่เหลี่ยมมาบวกเพิ่มเข้าไปในรูปคลื่นในอุดมคติเมื่อกระแสเป็นลบ ค่าแรงดันไฟฟ้าผิดเพี้ยนจะเท่ากับแรงดันไฟฟ้าในอุดมคติลบด้วยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงดังที่เกิดขึ้นในรูปที่ 2.19 (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.19 ค่าแรงดันไฟฟ้าผิดเพี้ยนเฉลี่ยจากผลของเคดไทม์

2.8 มอสเฟตกำลัง (Metal – Oxide Semiconductor Field – Effect Transistor)

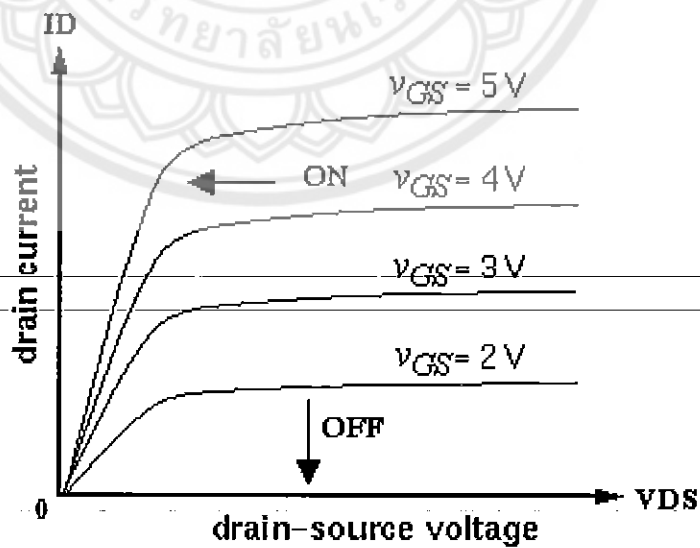
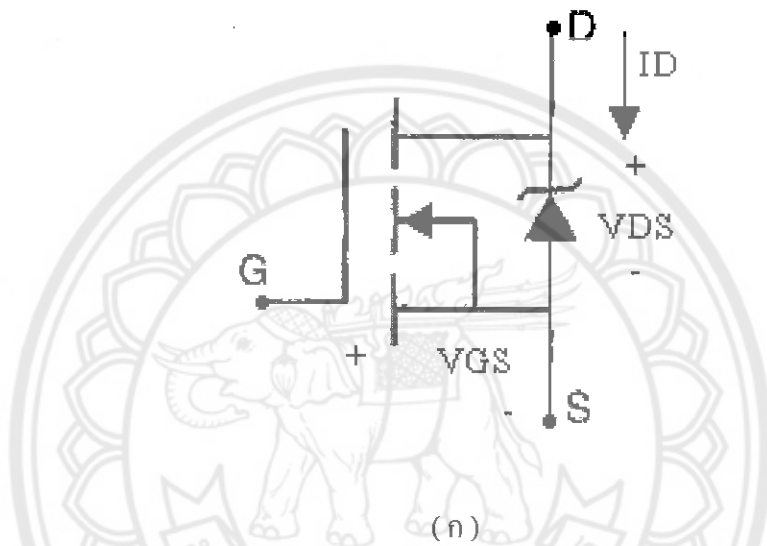
มอสเฟตกำลัง (Metal – Oxide Semiconductor Field – Effect Transistor : MOSFET) ที่ใช้กันในอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ครอบคลุมมอสเฟตกำลังชนิดเอ็นชาแนล (N - channel) จากรูปที่ 2.20 ก-ค แสดงถึงสัญลักษณ์ของมอสเฟตกำลัง คุณลักษณะของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าขณะสถานะอยู่ตัว และคุณลักษณะของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในอุดมคติตามลำดับ

เมื่อต้องการให้มอสเฟตกำลังนำกระแสอย่างต่อเนื่อง จะต้องทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าระหว่างขาเกตกับขาซอส (v_{GS}) อย่างต่อเนื่อง ช่วงเวลาการสวิตช์ของมอสเฟตกำลังจะมีค่าอยู่ระหว่างหลักสิบของนาโนวินาทีถึงร้อยนาโนวินาทีซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดพิกัดของมอสเฟตกำลัง

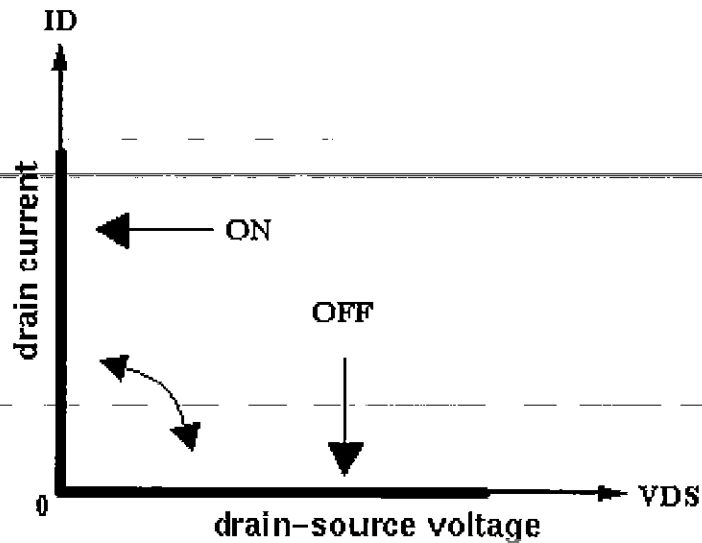
ความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอส $R_{DS(on)}$ จะขึ้นอยู่กับพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้าหากทนแรงดันไฟฟ้าได้สูงก็ยิ่งทำให้ค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอสมีค่ามากขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการนำกระแส (condition losses) เช่น มอสเฟตกำลังมีค่า

พิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้า 1,000 โวลต์ จะมีค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอส มากกว่ามอสเฟตกำลังมีค่าพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ ดังนั้นการสูญเสียจากการนำกระแสของมอสเฟตกำลังที่ทนได้ 1,000 โวลต์ จะมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากการนำกระแส มากกว่าของมอสเฟตกำลังที่ทนแรงดันไฟฟ้าได้ 200 โวลต์

ความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอสของมอสเฟตกำลัง จะมีค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ เป็นบวก คือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความต้านทานก็จะมากขึ้น มอสเฟตกำลังสามารถนำมาต่อขนานกันได้ ง่ายหากต้องการใช้งานที่ต้องการกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น ทั้งนี้มอสเฟตกำลังจะต้องมีคุณสมบัติต่าง ๆ เหมือนกันมากที่สุดจึงจะสามารถนำมาต่อขนานกันได้



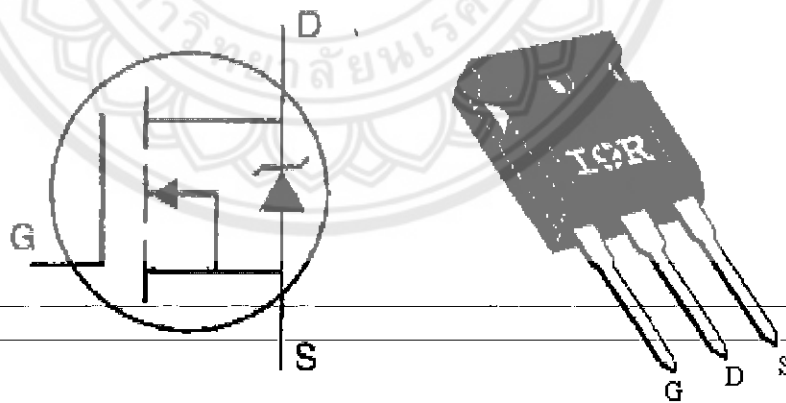
(ข)



(ค)

รูปที่ 2.20 มอสเฟตกำลัง (ก) สัญลักษณ์ (ข) คุณลักษณะของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าขณะ
สภาวะอยู่ตัว (ค) คุณลักษณะของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในอุดมคติ

ในปัจจุบันมอสเฟตกำลังมีค่าพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่า 1,000 โวลต์ แต่มีพิกัดกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 100 แอมแปร์ แต่จุดเด่นของมอสเฟตกำลังคือความถี่ของการสวิตช์มีค่ามากถึงหลักหลายร้อยกิโลเฮิรตซ์ สำหรับรูปร่างโดยทั่วไปของมอสเฟตกำลังแสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ภาพสัญลักษณ์ของ MOSFET แบบ N-Channel

บทที่ 3

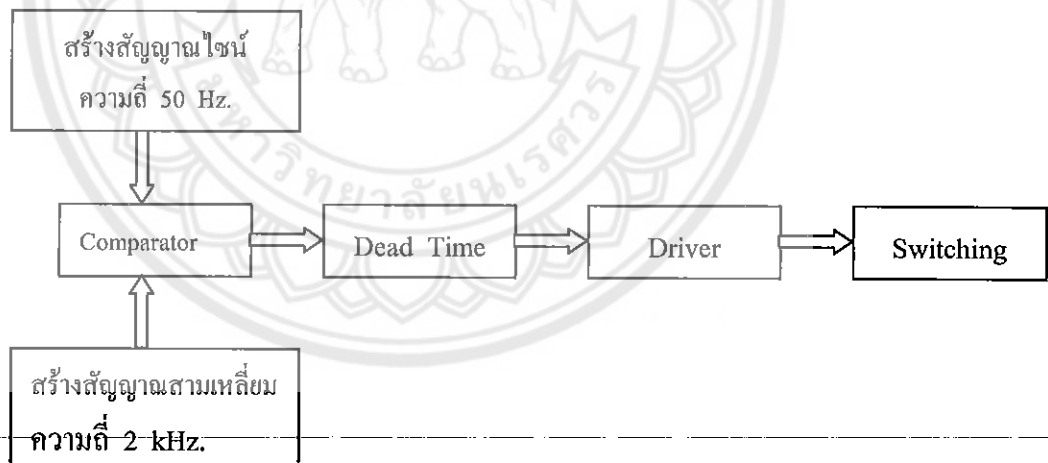
ขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์สัญญาณ

ในการออกแบบวงจรนั้น เราได้ทำการทดลองในบอร์ดทดลองก่อนเพื่อดูผลของสัญญาณต่างๆ ก่อนที่จะนำอุปกรณ์ในส่วนต่างๆมาทำประกอบลงบนแผ่น PCB เพื่อทำการทดลองจริง

3.1 ขั้นตอนในการดำเนินงานออกแบบวงจร

- ศึกษาและทำการออกแบบวงจรสร้างรูปคลื่นสามเหลี่ยม ที่สามารถปรับความถี่ได้ 20 Hz -20 kHz
- ศึกษาและทำการออกแบบวงจรสร้างรูปคลื่นไซน์ความถี่ 50 Hz. สามารถปรับค่าแอมป์ริจูดได้
- ศึกษาและทำการออกแบบวงจร Comparator
- ศึกษาและทำการออกแบบวงจร Dead Time
- ศึกษาและทำการออกแบบวงจร Driver
- ศึกษาและทำการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟ

3.2 บล็อกไดอะแกรมและการทำงานของวงจรควบคุม



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์

จากบล็อกไดอะแกรมเราจะทำการสร้างสัญญาณควบคุม PWM โดยใช้สัญญาณรูปคลื่นไซน์ มาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นสามเหลี่ยม โดยสัญญาณที่ได้สามารถปรับค่าความถี่และแอมป์ริจูดได้ หลังจากนั้นจะนำสัญญาณที่ได้ไปเข้าวงจรเดดไทม์เพื่อหน่วงเวลาการทำงานไม่ให้เกิดการช็อตของ

มอสเฟตในกิ่งเดียวกัน หลังจากนั้นจะนำสัญญาณไปเข้าวงจรขับเกต เพราะสัญญาณที่ออกจากวงจร เดคใหม่ไม่สามารถที่จะขับมอสเฟตได้โดยตรง เราจึงต้องนำสัญญาณจากวงจรเดคใหม่ไปเข้าวงจรขับ เกตก่อนที่จะนำสัญญาณควบคุมไปทำการสวิตช์มอสเฟต

3.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและคุณภาพของรูปคลื่นสัญญาณ

การวิเคราะห์ในเรื่องของดัชนีที่ใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตทั้งแรงดัน และกระแสที่ใช้ใน โครงงานนี้จะใช้ทฤษฎีของอนุกรมฟูเรียร์ซึ่งเป็นอนุกรมที่สามารถใช้วิเคราะห์รูป คลื่นสัญญาณที่ไม่ใช่รูปคลื่นสัญญาณไซน์ได้

ซึ่งจะสามารถเขียนให้อยู่ในอนุกรมฟูเรียร์ได้ดังนี้

โดยฟังก์ชัน $f(t)$ ทั่วไปสามารถเขียนอธิบายได้ในรูปการกระจายของความสัมพันธ์ของ ฟังก์ชันให้เข้าใจได้อย่างง่ายขึ้นดังนี้

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t)] \quad (3.1)$$

$$v_0(t) = V_0(t+T)$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

$$v_0(\omega_0 t) = V_0(\omega_0 t + 2\pi)$$

$$v_0(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1,2,\dots}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t)$$

เมื่อ

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) dt$$

หรือ

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} V_0(\omega_0 t) d(\omega_0 t)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cos(n\omega_0 t) d\omega_0 t$$

หรือ

$$a_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{2\pi} V_0(\omega_0 t) \cos(n\omega_0 t) d\omega_0 t$$

หรือ

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \sin(n\omega_0 t) dt$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} V_0(\omega_0 t) \sin(n\omega_0 t) d\omega_0 t$$

ในส่วนของค่า a_n และ b_n จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์ขององค์ประกอบไซน์และโคไซน์ตามลำดับซึ่งจากการรวมสมการทางคณิตศาสตร์ จะสามารถเขียนเป็นสมการได้อีกรูปแบบหนึ่งดังสมการ

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [c_n \cos(n\omega_0 t + \theta_n)] \quad (3.3)$$

$$a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t = \sqrt{(a_n^2 + b_n^2)} \left[\frac{a_n}{\sqrt{(a_n^2 + b_n^2)}} \cos n\omega_0 t + \frac{b_n}{\sqrt{(a_n^2 + b_n^2)}} \sin n\omega_0 t \right]$$

$$a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t = \sqrt{(a_n^2 + b_n^2)} [\sin \phi_n \cos n\omega_0 t + \cos \phi_n \sin n\omega_0 t] = \sqrt{(a_n^2 + b_n^2)} \sin(n\omega_0 t + \phi_n)$$

$$C_n = \sqrt{(a_n^2 + b_n^2)} \quad (3.4)$$

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

เมื่อเรานำสมการข้างต้นไปวิเคราะห์ห้รูปคลื่นสัญญาณจะได้ค่าค่านิต่าง ๆ ซึ่งได้แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 นิยามดัชนีและค่าปริมาณที่กำหนดคุณสมบัติและคุณภาพของรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุต

ค่า	ดัชนี
THD_v	$100 \times \frac{\sqrt{\left(\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2\right)}}{V_1}$
THD_i	$100 \times \frac{\sqrt{\left(\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2\right)}}{I_1}$
V_{1rms}	$\frac{V_{peak}}{\sqrt{2}}$
V_{2rms}	$\sqrt{\left(\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2\right)}$
I_{1rms}	$\frac{I_{peak}}{\sqrt{2}}$
I_{2rms}	$\sqrt{\left(\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2\right)}$
DF_1	$100 \times \frac{\sqrt{\left(\sum_{n=1}^{\infty} \frac{V_n^2}{n^2}\right)}}{V_1}$
DF_2	$100 \times \frac{\sqrt{\left(\sum_{n=1}^{\infty} \frac{I_n^2}{n^4}\right)}}{I_1}$

เมื่อ V_n^2 คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่มีลำดับฮาร์โมนิกลำดับที่ n (r.m.s.)

I_n^2 คือ ขนาดของกระแสไฟฟ้าที่มีลำดับฮาร์โมนิกลำดับที่ n (r.m.s.)

THD_v คือ ค่า Total Harmonic distortion ของแรงดันไฟฟ้า

THD_i คือ ค่า Total Harmonic distortion ของกระแสไฟฟ้า

DF_1 คือ ค่า Distortion Factor ด้านกระแสสลับของฟิลเตอร์ลำดับที่ 1

DF_2 คือ ค่า Distortion Factor ด้านกระแสสลับของฟิลเตอร์ลำดับที่ 2

3.4 ค่า Total Harmonic Distortion (THD)

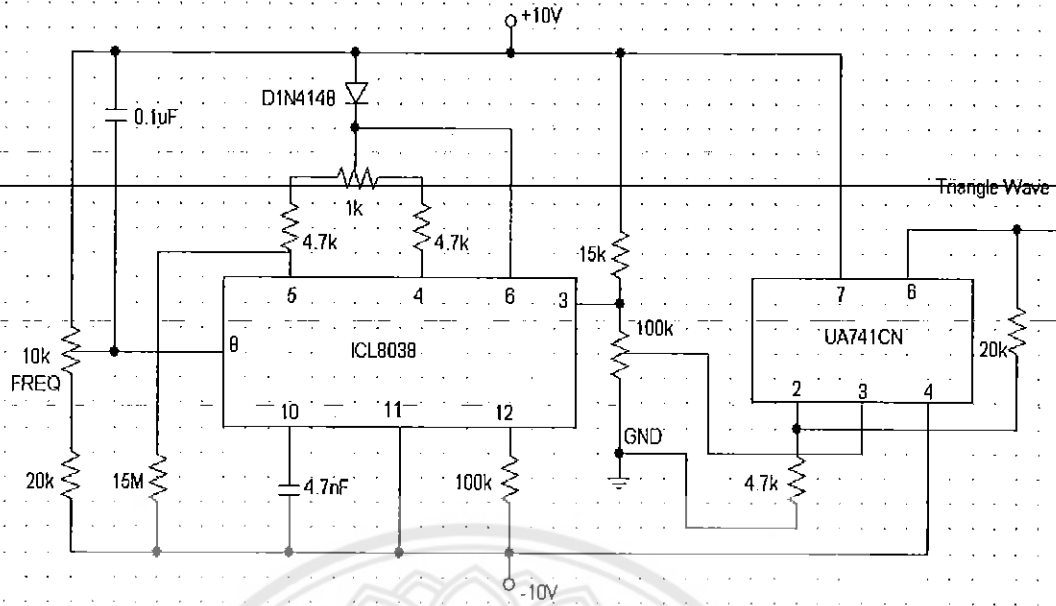
ค่า THD ของทั้งแรงดันไฟฟ้า (THD_v) และของกระแสไฟฟ้า (THD_i) เป็นดัชนีที่ใช้ในการบ่งชี้คุณภาพของความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตที่แตกต่างจากองค์ประกอบของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ความถี่หลักมูลซึ่งในการหาค่า THD นี้จะต้องอาศัยการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีฟูเรียร์ เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของความถี่หลักมูลและฮาร์มอนิกของรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุต จึงจะสามารถนำไปแทนค่าในสมการและคำนวณหาค่าออกมาได้เป็นเปอร์เซ็นต์ THD ซึ่งหาค่าที่คำนวณออกมาได้นี้มีค่ามากแสดงว่ารูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตมีความผิดเพี้ยนมาก

3.5 ค่า r.m.s. ขององค์ประกอบของความถี่หลักมูล

ค่า r.m.s. ขององค์ประกอบของความถี่หลักมูลทั้งของแรงดันไฟฟ้า (V_{rms}) และของกระแสไฟฟ้า (I_{rms}) เป็นค่าระดับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า r.m.s. ที่ความถี่หลักมูลซึ่งเป็นการใช้พลังงานของอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์ ซึ่งองค์ประกอบนี้จะเป็นองค์ประกอบที่สร้างกำลังไฟฟ้าและเป็นองค์ประกอบที่ต้องการใช้งาน โดยที่ค่า r.m.s. ของแรงดันไฟฟ้า (V_{rms}) และกระแสไฟฟ้า (I_{rms}) เอาต์พุตเป็นค่าระดับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า r.m.s. ของสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งเป็นผลรวมขององค์ประกอบทุกตัวทั้งความถี่หลักมูลและฮาร์มอนิก

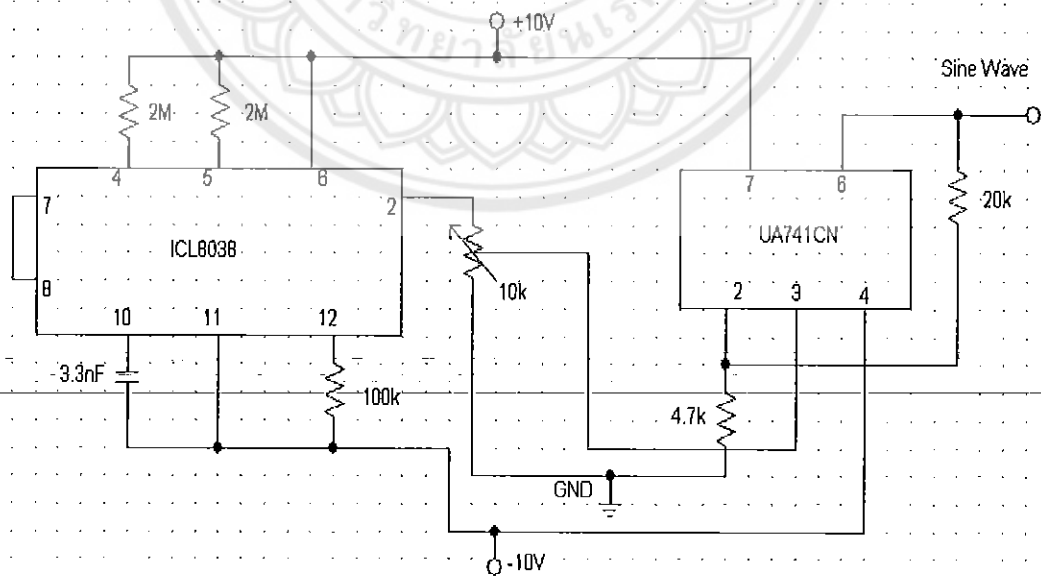
3.6 ค่า Distortion Factor (DF)

สำหรับค่า DF_2 ที่ได้นิยามในโครงการนี้เป็นค่า Distortion Factor ที่มีตัวลดทอนสัญญาณขนาดเท่ากับ h^2 เมื่อ h เป็นลำดับของฮาร์มอนิก โดยที่ค่านี้จะใช้ในการวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นสัญญาณเมื่อต่อโหลดใช้งานชนิดฟิลเตอร์ลำดับที่ 2 (Second – order Filter) ตัวอย่างเช่นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง (UPS) ส่วนมากมักมีการต่อวงจรฟิลเตอร์ LC ลำดับที่ 2 อยู่ระหว่างชุดอินเวอร์เตอร์กับโหลด ซึ่งฟิลเตอร์ดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อลดทอนฮาร์มอนิกโดยจะแปรผันตามกำลังสองของลำดับฮาร์มอนิก (h) ในทำนองเดียวกันสำหรับโหลดชนิดฟิลเตอร์ลำดับที่ 1 เช่นมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับซึ่งจะมีอินดักแตนซ์ที่ตัวอาร์เมเจอร์และลิกเกจ อินดักแตนซ์เหล่านี้เปรียบเสมือนกับการลดทอนสัญญาณฮาร์มอนิกโดยแปรผันตามลำดับของฮาร์มอนิก (h) ดังนั้นในการวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นสัญญาณจึงใช้ค่า DF_1



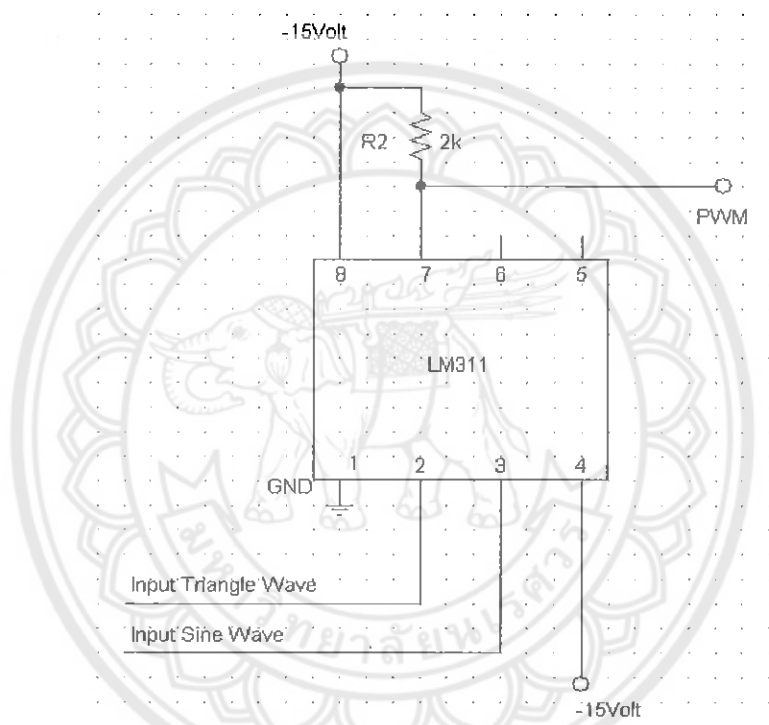
รูปที่ 3.2 วงจรที่ใช้ในการสร้างรูปคลื่นสามเหลี่ยม

จากรูปที่ 3.2 ICL8038 ทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม โดยมีค่าความต้านทาน $10\text{ k}\Omega$ ที่ใช้ในการปรับความถี่ สัญญาณ Output จะออกจากขา 3 ของ ICL8038 ก่อนจะทำการแปลงสัญญาณพัลส์ให้เป็นแบบ AC โดยใช้ op-amp เมอร์ UA741CN



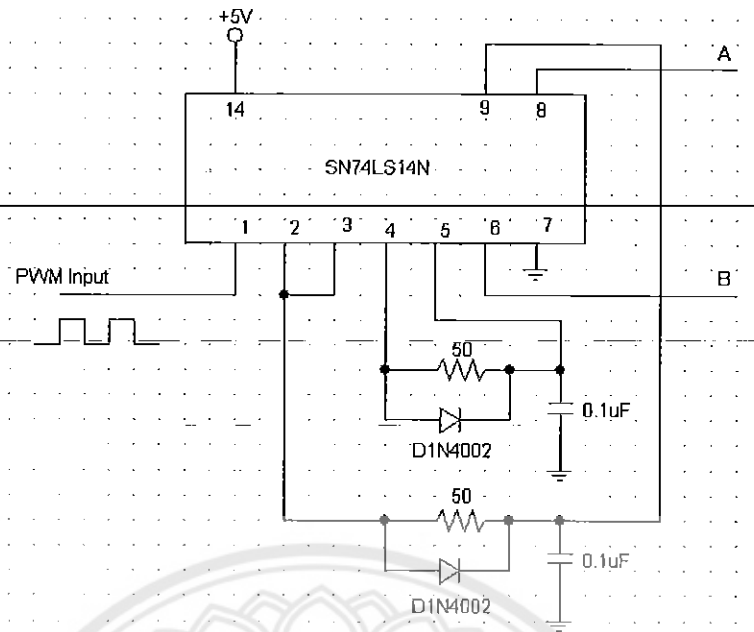
รูปที่ 3.3 วงจรที่ใช้ในการสร้างรูปคลื่นไซน์

จากรูปที่ 3.3 ICL8038 ทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณรูปคลื่นไซน์ โดยที่ความถี่ของสัญญาณสามารถคำนวณจาก $f = \frac{0.33}{RC}$ โดยที่ R คือค่าความต้านทานขา 4 และ 5 ส่วน C คือ ค่าตัวเก็บประจุที่ขา 10 จากรูปเราทำการต่อความต้านทานขนาด $2M\Omega$ และ ตัวเก็บประจุขนาด 3.3 nF เมื่อแทนค่าในสูตรจะได้ความถี่ไซน์เท่ากับ $\frac{0.33}{2 \times 10^6 \times 3.3 \times 10^{-9}} = 50\text{Hz}$. ก่อนจะนำสัญญาณที่ได้ไปเข้า Op-Amp เบอร์ UA741CN เพื่อให้สัญญาณ Output เป็นพัลส์แบบ AC และสามารถปรับค่าแอมป์ริจูดได้



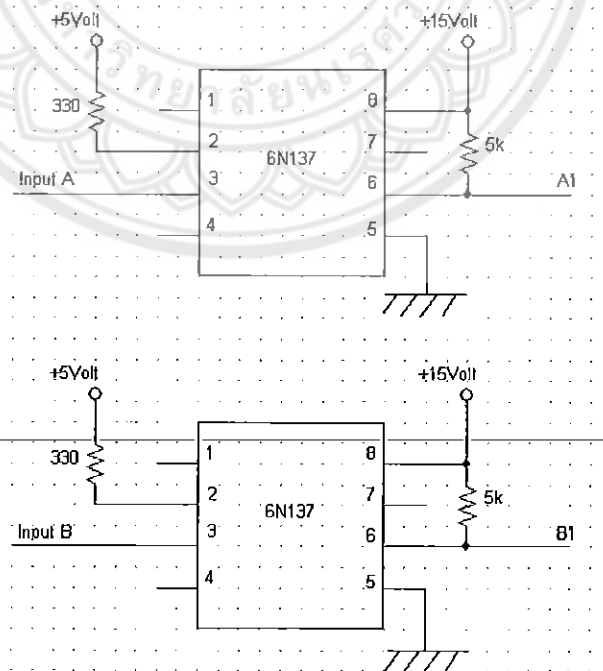
รูปที่ 3.4 วงจรที่ใช้ในการสร้างสัญญาณ PWM

จากรูปที่ 3.4 เมื่อได้สัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมและไซน์แล้ว เราจะนำสัญญาณทั้งสองมาทำการเปรียบเทียบกัน ซึ่งใช้ LM311 ในการเปรียบเทียบสัญญาณทั้งสอง ซึ่งจะได้ Output ที่ออกมาในลักษณะของพัลส์แบบ DC ที่สามารถปรับค่าความถี่และ Duty Cycle ได้ตามสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมและไซน์ โดยที่สัญญาณ Output จะมีค่าสูงสุดประมาณ 15 Volt.

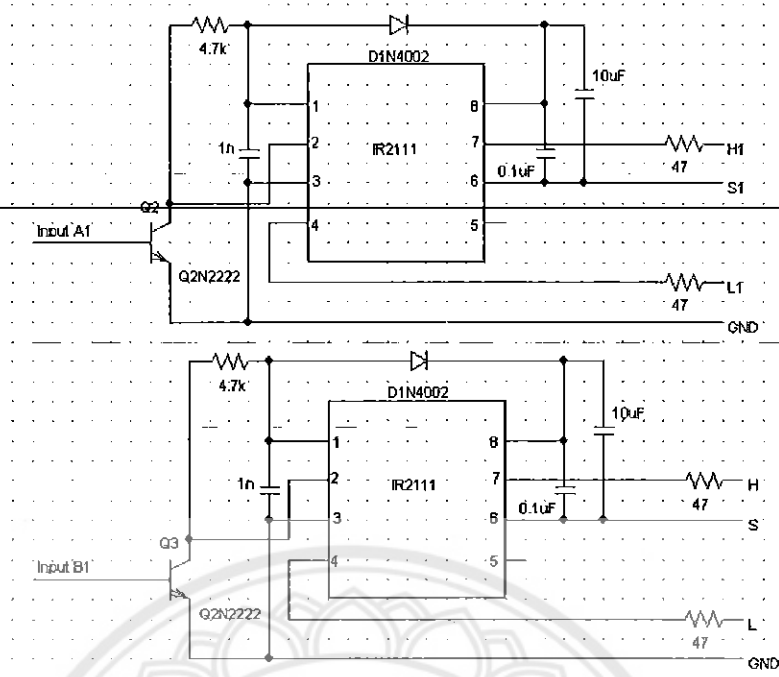


รูปที่ 3.5 วงจรที่ใช้ในการสร้างสัญญาณแคดโทม

จากรูปที่ 3.5 ไอซีเบอร์ 7414 หน้าที่เป็นน็อทเกต คือ เมื่อสัญญาณ Input มีลอจิกเป็น 1 สัญญาณ Output จะมีลอจิกเป็น 0 และช่วงเวลาแคดโทมสามารถคำนวณได้จากสูตร $T = RC$ จากวงจรเราทำการห้วงเวลาที่ $T = 50 \times 0.1 \times 10^{-6} = 5 \mu s$

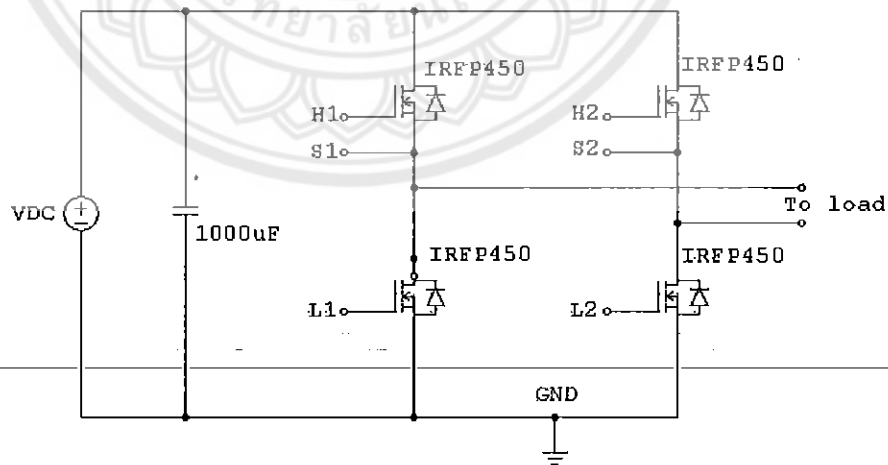


รูปที่ 3.6 วงจรที่ใช้ในการแยกกราวด์ในส่วนของวงจรควบคุมและวงจรถ้าตั้ง



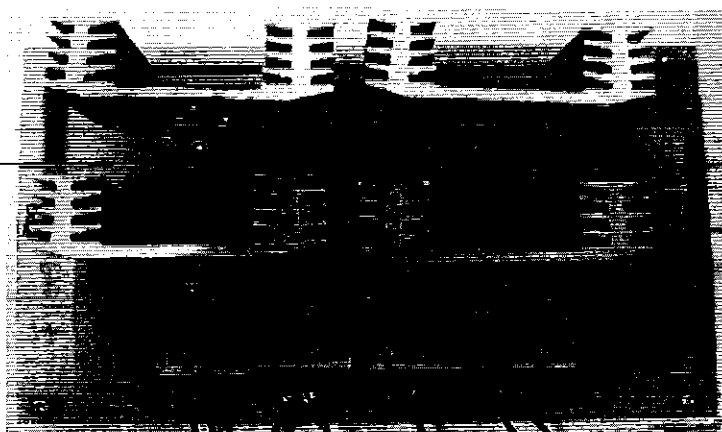
รูปที่ 3.7 วงจรที่ใช้ในจับมอสเฟต

จากรูปที่ 3.7 IR2111 ทำหน้าที่ในการจับเกตซึ่งลักษณะการทำงานของ IR2111 จะมีสัญญาณ Output 2 สัญญาณ คือ เมื่อ Input มีลอจิกเป็น “0” IR2111 จะมีสัญญาณ Output ในฝั่งขา Low (ขา 4) และเมื่อ Input มีลอจิกเป็น “1” IR2111 จะมีสัญญาณ Output ในฝั่งขา High (ขา 7)



รูปที่ 3.8 วงจรกำลัง

จากรูปที่ 3.8 ใช้มอสเฟตเบอร์ IREFP450 เป็นสวิตช์เนื่องจากสามารถสวิตช์ที่ความถี่สูงได้และทนแรงดันได้สูงถึง 600 Vdc



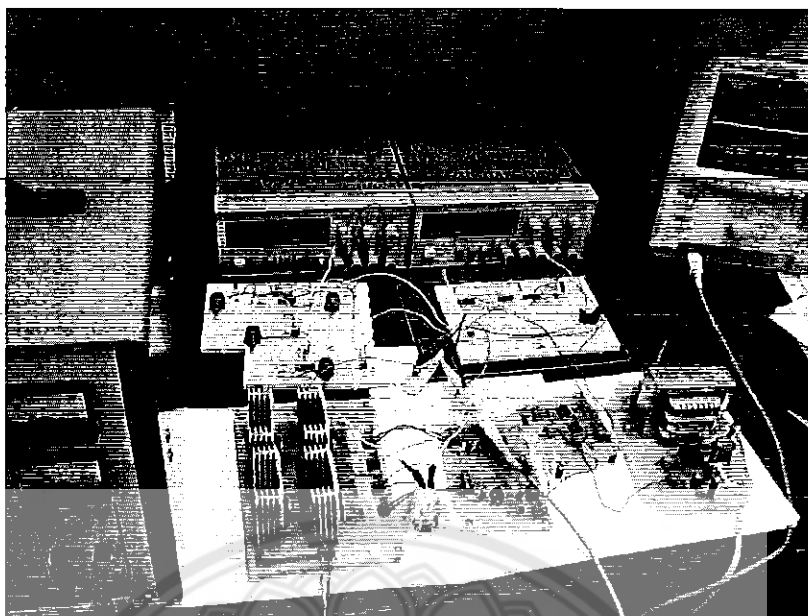
รูปที่ 3.9 วงจรกำลังจากการออกแบบจริง

รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของวงจรกำลังที่ได้จากการออกแบบจริง ซึ่งเป็นการต่อในลักษณะของ ฟูลบริจอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.10 วงจรขับเคลื่อนจากการออกแบบจริง

รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะของวงจรขับเคลื่อนจากการออกแบบจริง ซึ่งใช้ IR2111 ในการขับเคลื่อน โดยที่ IR2111 จำนวน 1 ตัว สามารถขับมอเตอร์ได้ 2 ตัว



รูปที่ 3.11 วงจรรวมขณะทำการทดลอง

รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะของวงจรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อวิเคราะห์รูปคลื่น ก่อนที่จะทำการออกแบบวงจรบนแผ่น PCB

บทที่ 4

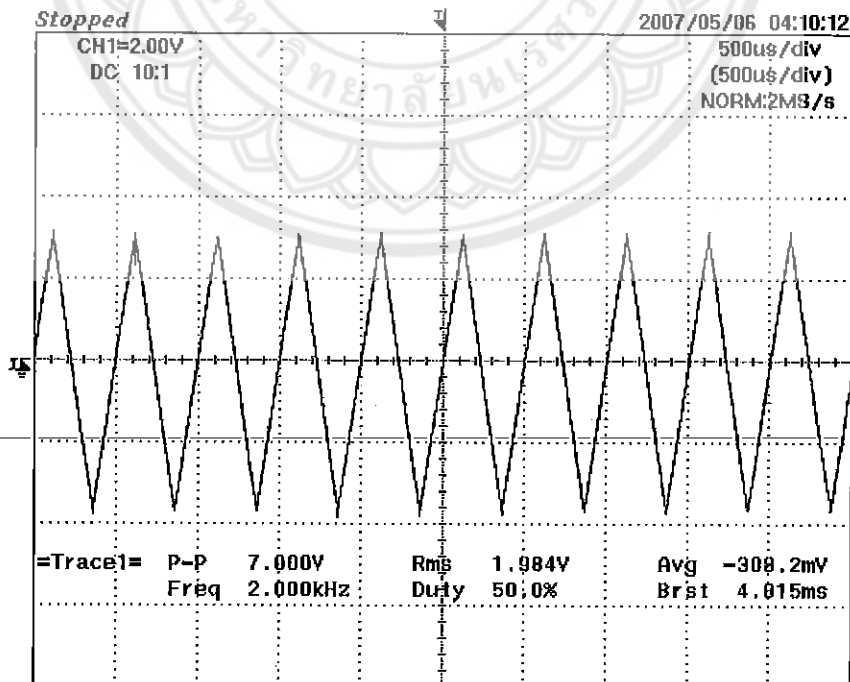
ผลการทดลองและการวิเคราะห์สัญญาณ

จากการทดลองได้ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตโดยใช้สโคปจากนั้นนำรูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้ไปทำการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกสเปกตรานอกจากนั้นยังทำการวิเคราะห์คุณภาพของสัญญาณที่วัดได้โดยการหาค่าดัชนีต่าง ๆ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

- ฮาร์มอนิกสเปกตรานของรูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า
- ค่า V_{rms}, I_{rms}
- ค่า THD_v, THD_i
- ค่า DF_i

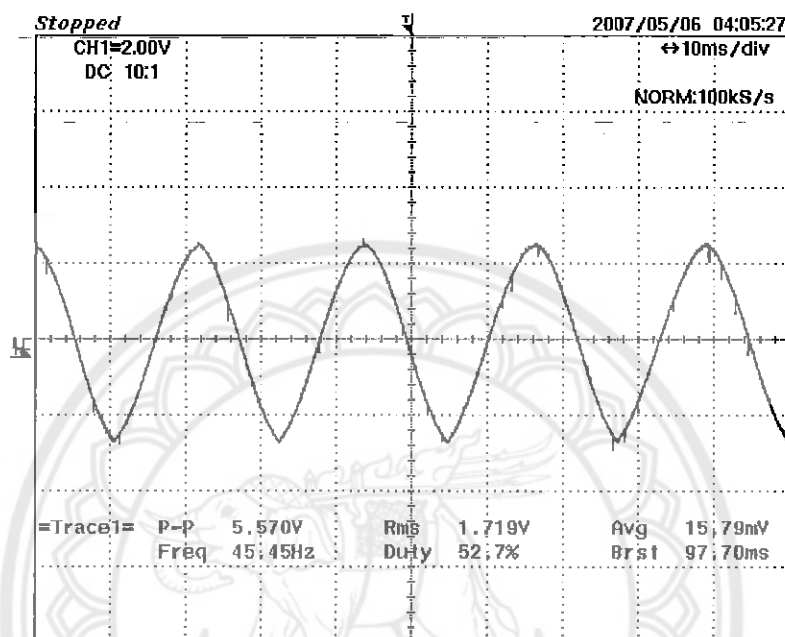
4.1 ผลการทดลอง

ดังที่แสดงในรูปที่ 4.1 เป็นรูปคลื่นสัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้จากการทดลอง ที่ความถี่ 2 kHz. $V_{p-p} = 7.0$ โวลต์ จากการทดลองออกแบบวงจร เราได้ทำการออกแบบให้สามารถปรับความถี่ของรูปคลื่นสัญญาณสามเหลี่ยมได้ในช่วง 20 Hz. – 20 kHz.

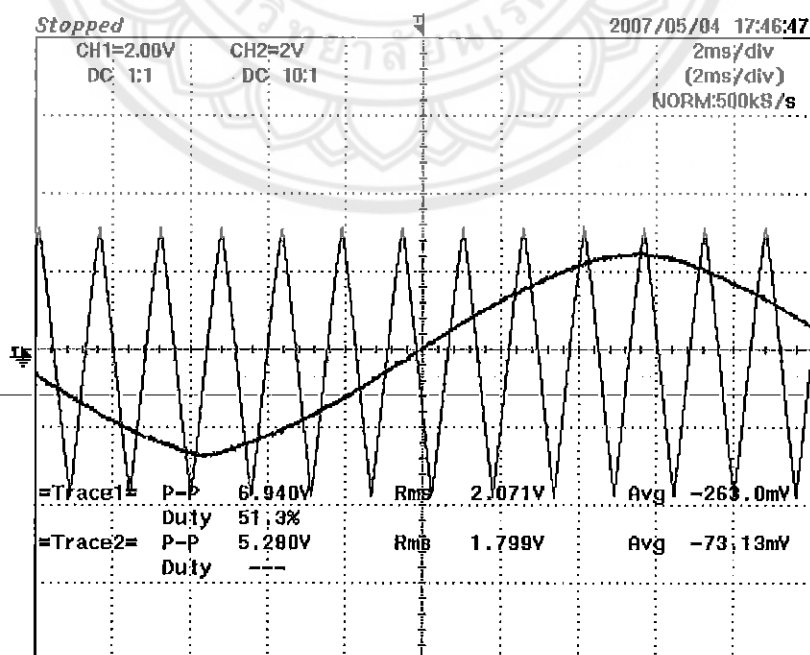


รูปที่ 4.1 แสดงรูปคลื่นสัญญาณสามเหลี่ยม

ในรูปที่ 4.2 เป็นรูปคลื่นสัญญาณไซน์ที่ได้จากการทดลอง ที่ความถี่ 50 Hz. จากการ
 ออกแบบวงจร เราทำการออกแบบให้สามารถปรับขนาดของแอมพลิจูดของสัญญาณได้ในช่วง 1-10
 โวลต์ แต่ในการปรับค่าแอมพลิจูดจะต้องรักษาอัตราการการมอดูเลตไม่ให้เกิน 1 นั่นหมายความว่า
 แอมพลิจูดสัญญาณไซน์จะต้องปรับได้ไม่เกิน 7 โวลต์ ถ้าปรับค่าเกินจะทำให้เกิดการโอเวอร์มอดูเลต
 ซึ่งจะมีผลกระทบจากฮาร์โมนิกส์เกิดขึ้น

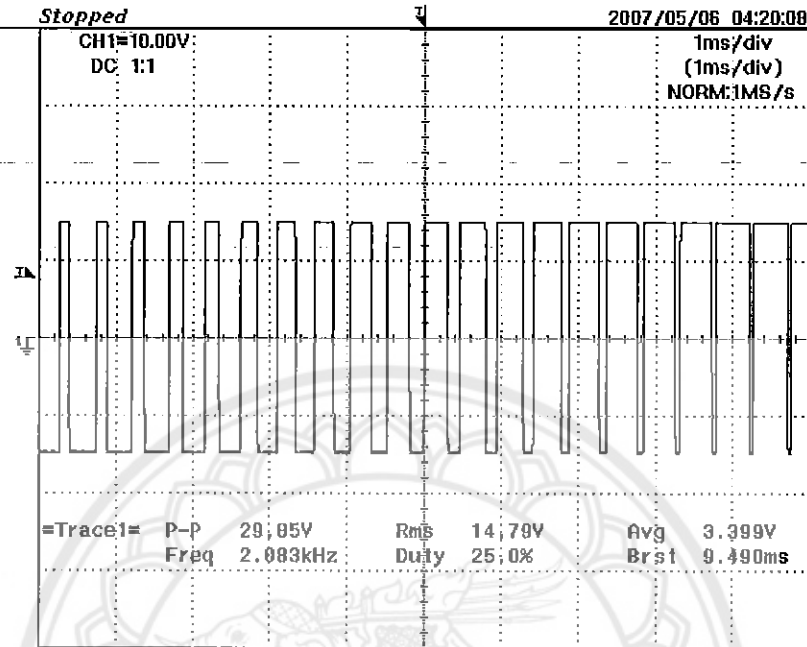


รูปที่ 4.2 แสดงรูปคลื่นสัญญาณไซน์

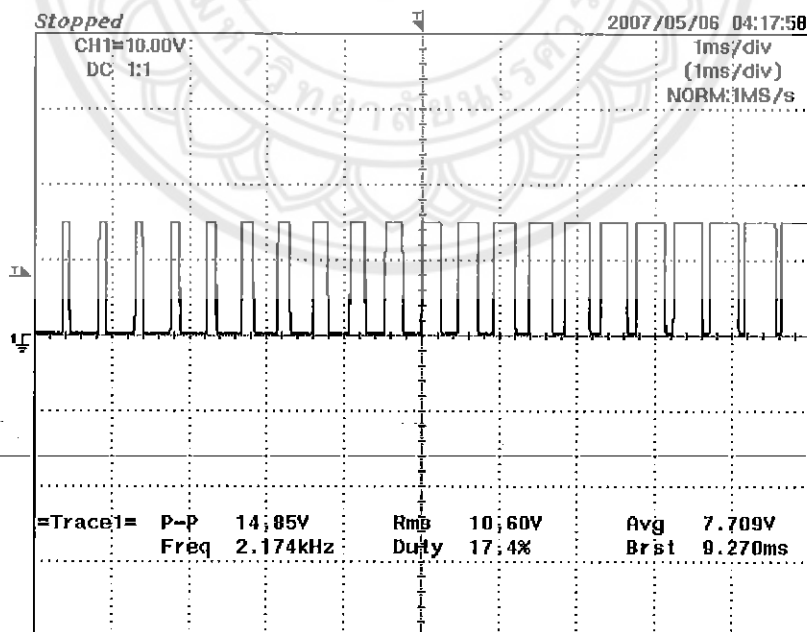


รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณรูปคลื่นไซน์กับสัญญาณคลื่นสามเหลี่ยม

จากรูปที่ 4.4 เมื่อนำสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่ 2 kHz. มาทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณรูปคลื่นไซน์ โดยใช้วงจร Comparater จะทำให้เกิดสัญญาณ Pulse Width Modulation ที่เป็นสัญญาณพัลส์แบบ AC

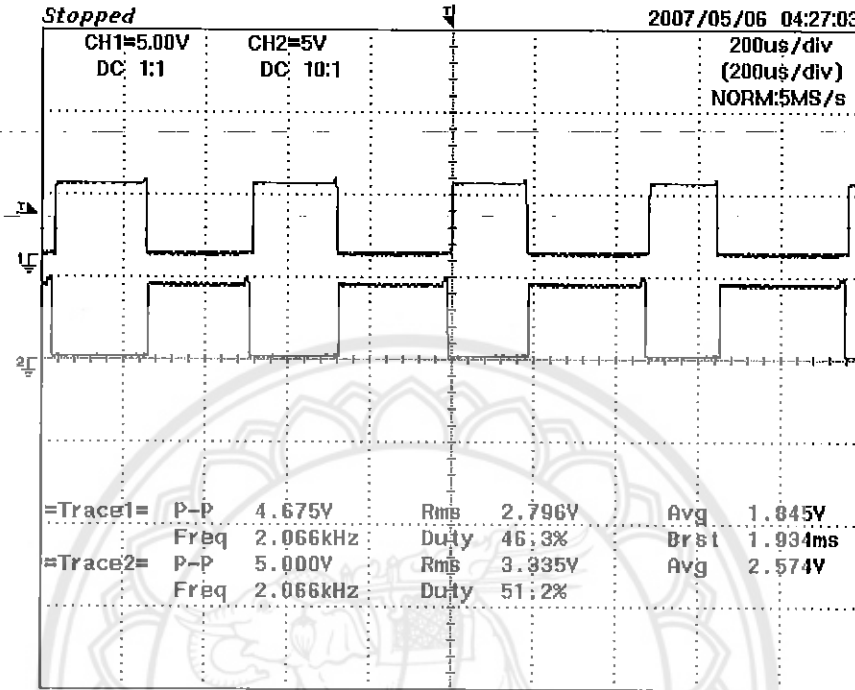


รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้า Pulse Width Modulation ที่ได้จากการ Compare

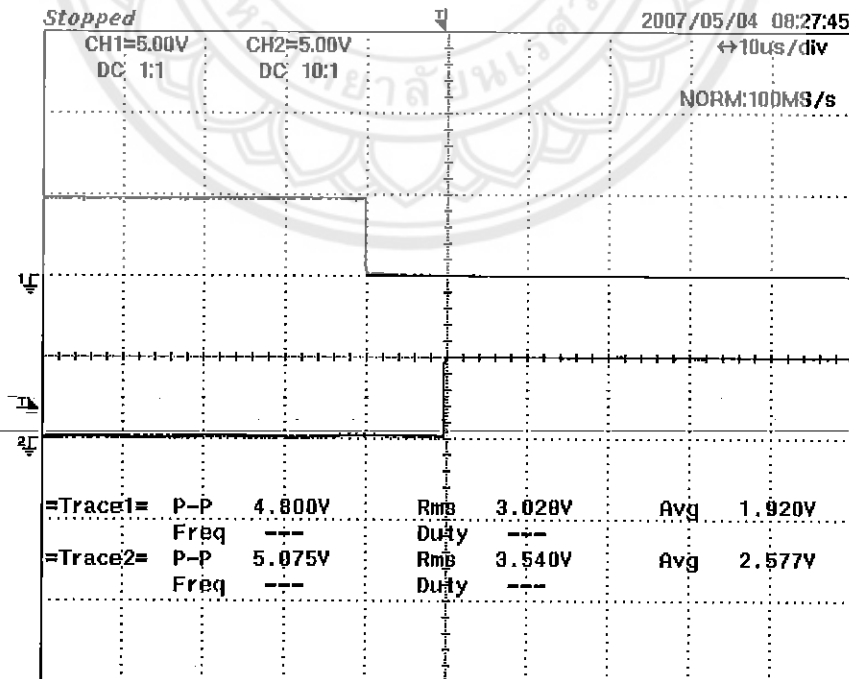


รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้า Pulse Width Modulation

เนื่องจากสัญญาณที่จะใช้ในการควบคุมจะต้องเป็นพัลส์แบบ DC ดังนั้นจึงต้องนำสัญญาณที่ได้มา Compare กับ Ground อีกหนึ่งรอบ ดังรูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณ Pulse Width Modulation ที่ผ่านการ Compare กับ Ground

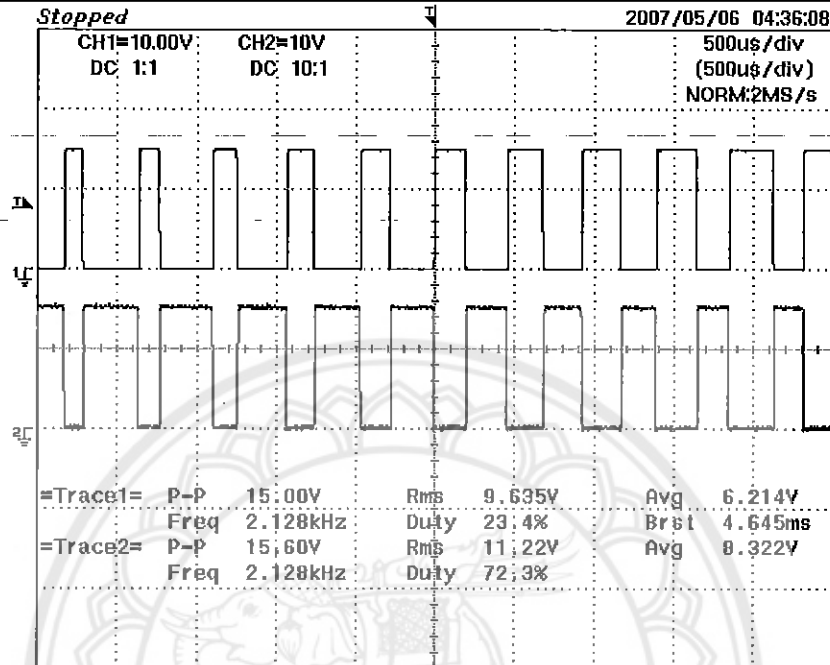


รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณ Dead Time ก่อนเข้าสู่วงจร Driver

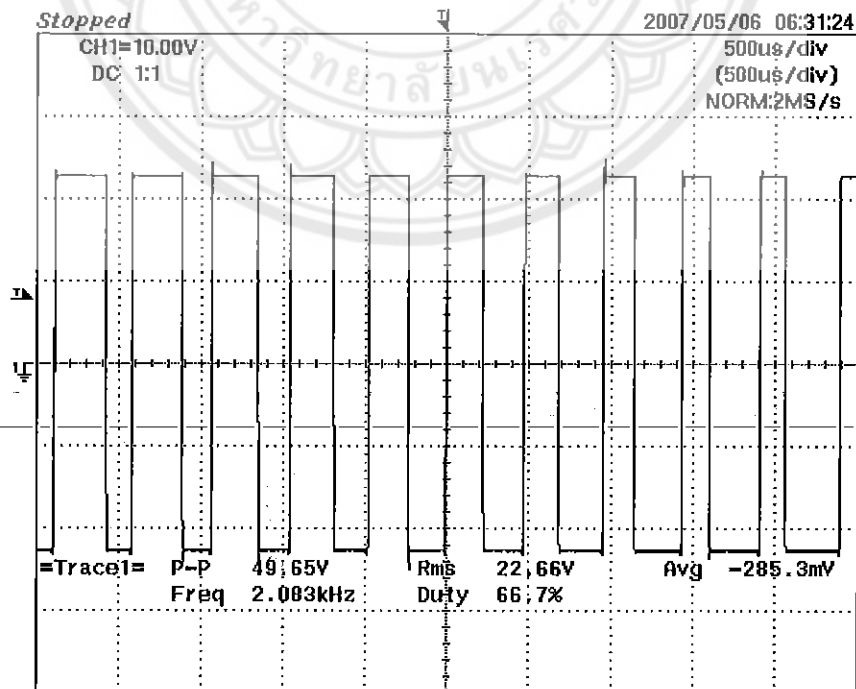


รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณ Dead Time ก่อนเข้าสู่วงจร Driver

จะเห็นได้ว่าสัญญาณทั้งสองจะต้องมีลอจิกที่ตรงข้ามกันและมีเวลาเดดไทม์อยู่ที่ 10 us. ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 เพื่อป้องกันการช้อตทรูของมอสเฟสในกิ่งเดียวกัน

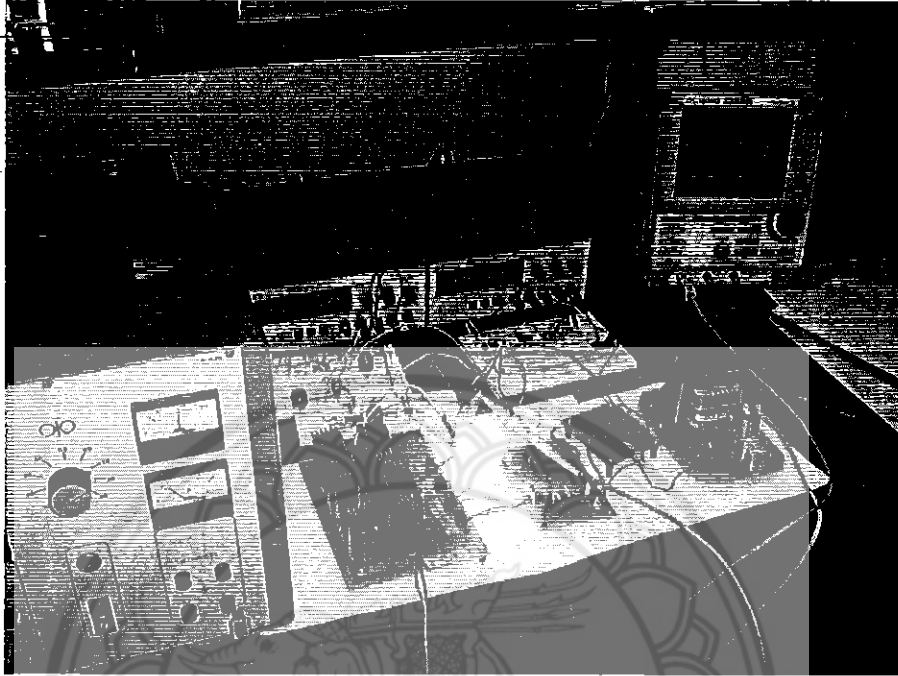


รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ออกจาก Driver

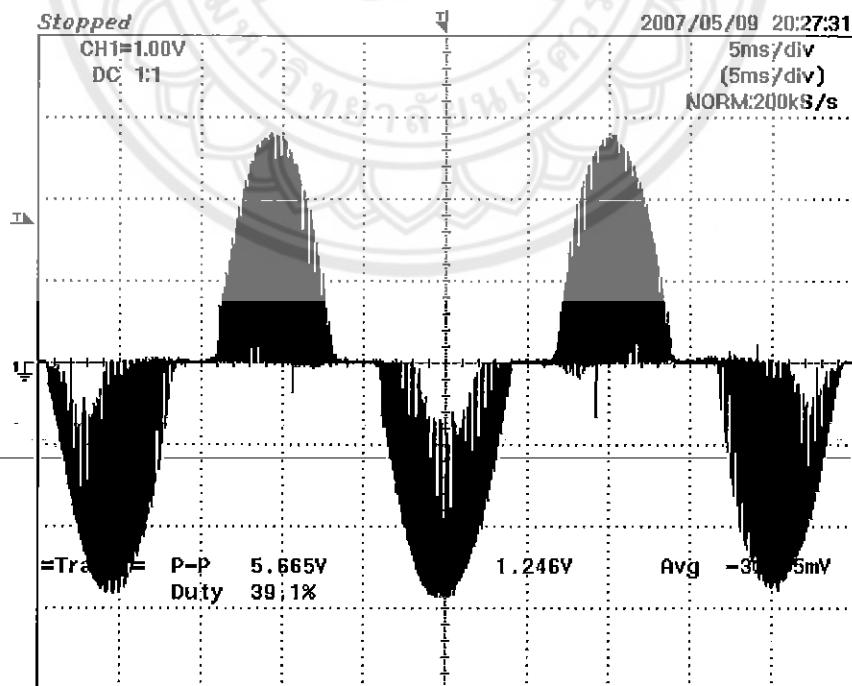


รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต

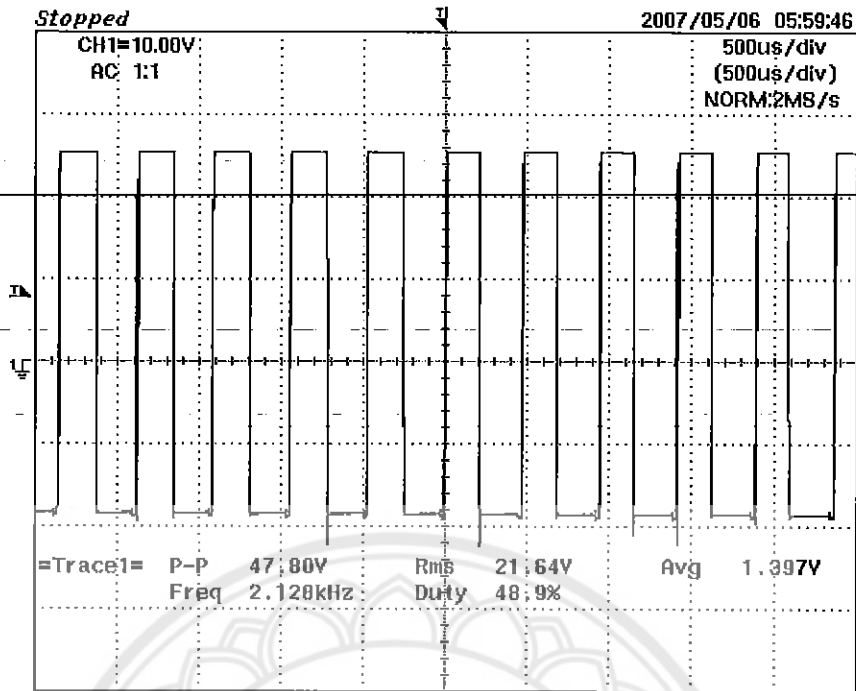
จากรูปที่ 4.9 เมื่อนำสัญญาณเอาต์พุตไปขับโหลดแสงสว่าง ที่พิกัด 50 วัตต์ สามารถขับโหลดให้สว่างได้ตามต้องการ โดยขนาดกระแสที่ไหลผ่านโหลดมีค่าประมาณ 3.7 แอมป์



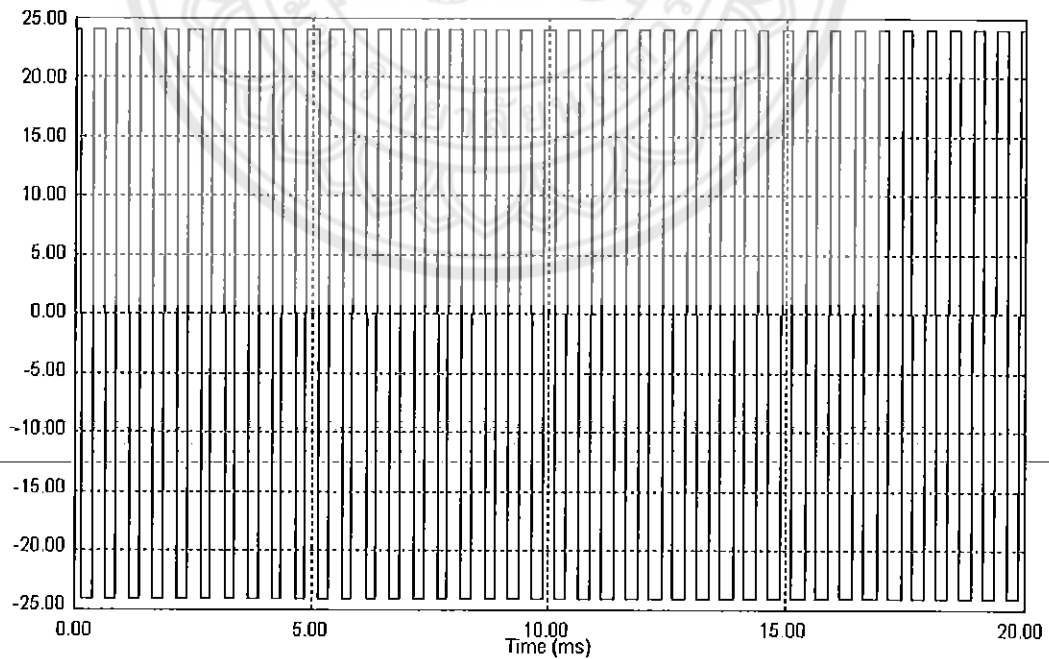
รูปที่ 4.10 วงจรขณะขับโหลดแสงสว่างที่แรงดัน 24 โวลต์



รูปที่ 4.11 แสดงรูปคลื่นกระแสจากการขับโหลดแสงสว่าง

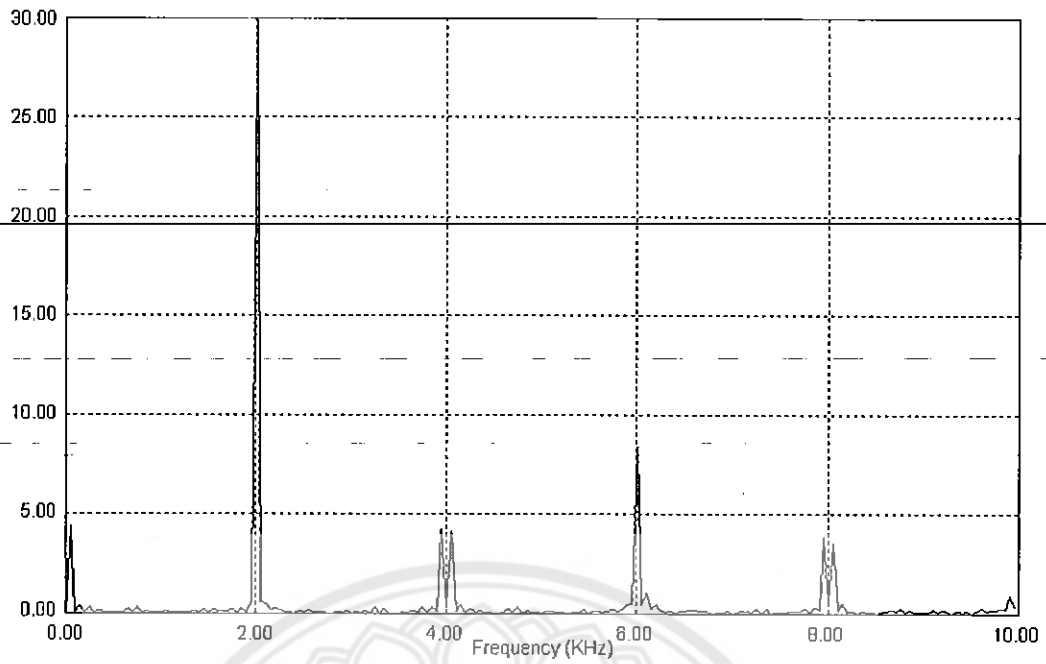


รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.2$

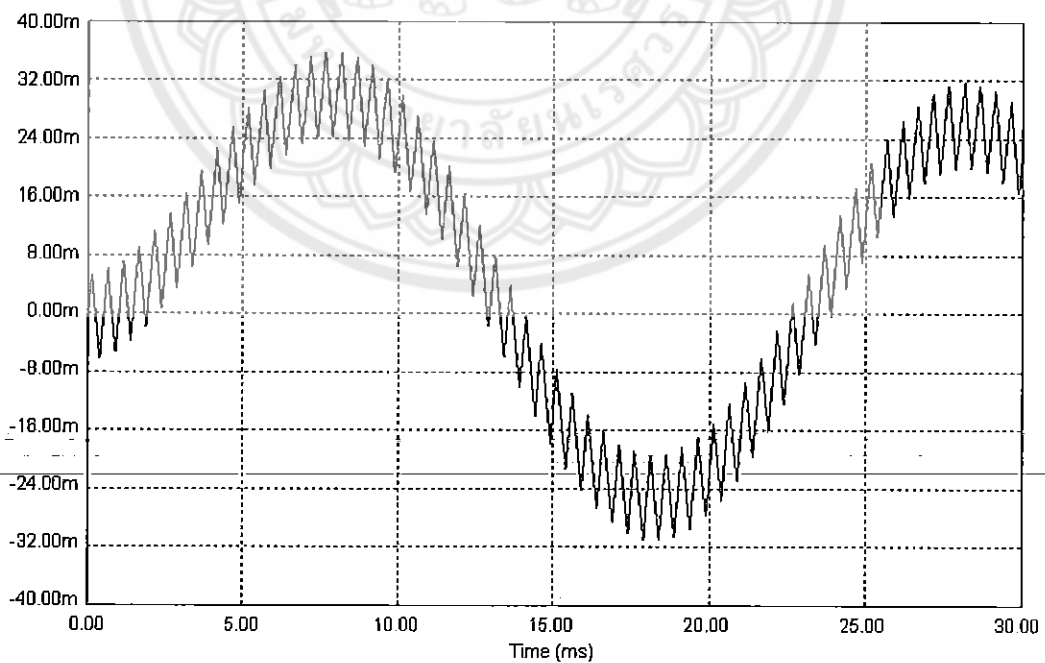


รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.2$ โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม

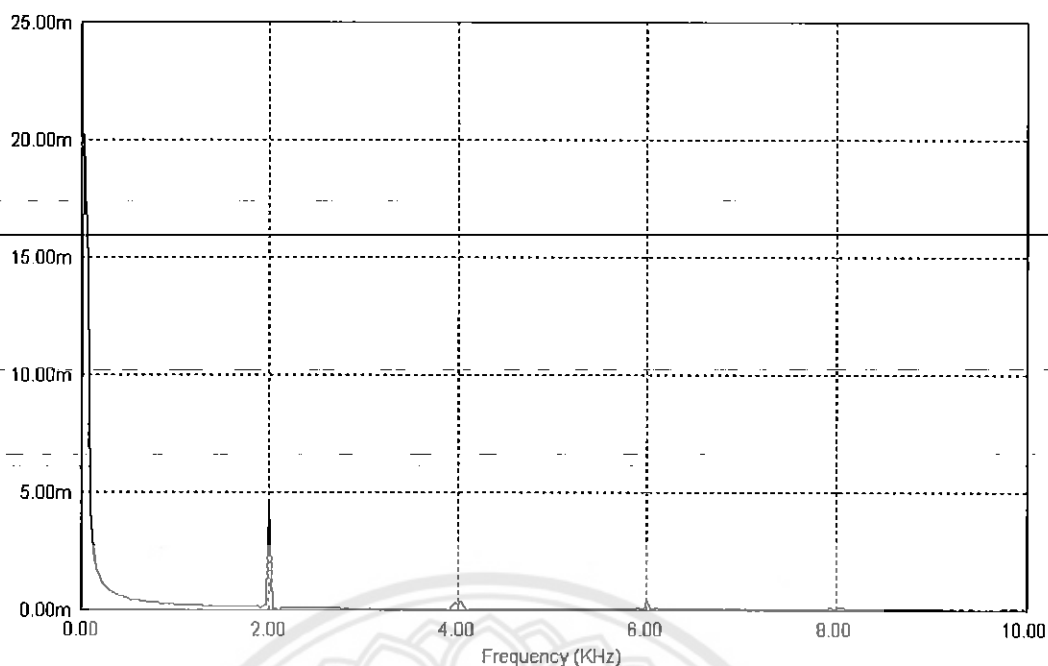
PSIM



รูปที่ 4.14 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.2$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 200 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



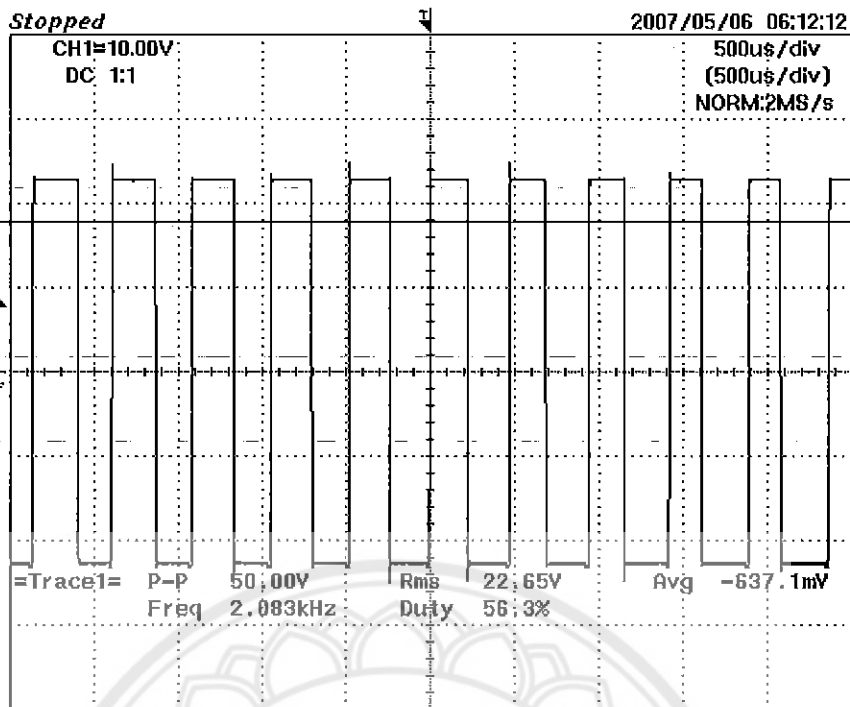
รูปที่ 4.15 แสดงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.2$ โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



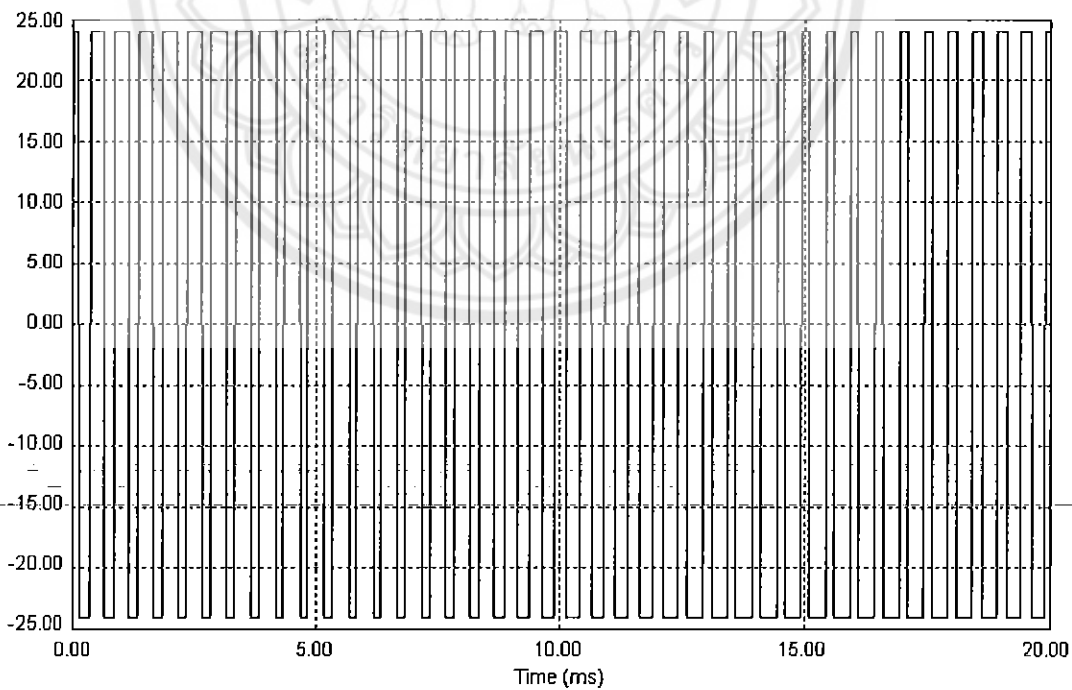
รูปที่ 4.16 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณกระแสต้นไฟฟ้าเอาต์พุทเมื่อ $m_a = 0.2$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 200 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM

จากรูปที่ 4.12 เป็นรูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทเมื่อ $m_a = 0.4$ ที่ความถี่ 50 Hz ซึ่งเป็นสัญญาณที่วัดได้จริงจากสโคปและรูปที่ 4.13 เป็นสัญญาณที่ได้จากการจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม PSIM ซึ่งเมื่อนำสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทไปวิเคราะห์ฮาร์มอนิกโดยใช้ Fast Fourier Transform ซึ่งได้ผลตามรูปที่ 4.14 จะเห็นว่าเกิดฮาร์มอนิกที่ความถี่มูลฐานและที่ความถี่ 2 kHz หรือลำดับที่ 40 ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

ในรูปที่ 4.15 เป็นรูปคลื่นสัญญาณกระแสไฟฟ้เอาต์พุทที่ได้จากการจำลองการทำงานจากโปรแกรม PSIM และรูปที่ 4.16 เป็นการนำสัญญาณเอาต์พุทไปวิเคราะห์ฮาร์มอนิกของกระแสโดยใช้ Fast Fourier Transform จะเห็นว่าฮาร์มอนิกเกิดที่ความถี่หลักมูลและลำดับที่ 40 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

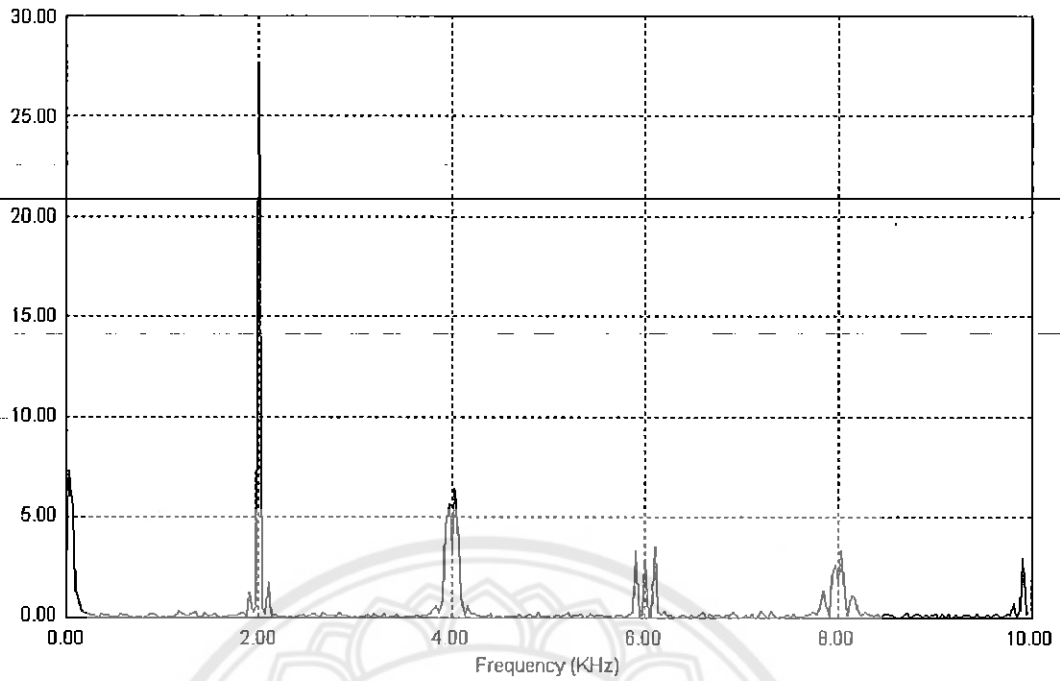


รูปที่ 4.17 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.4$

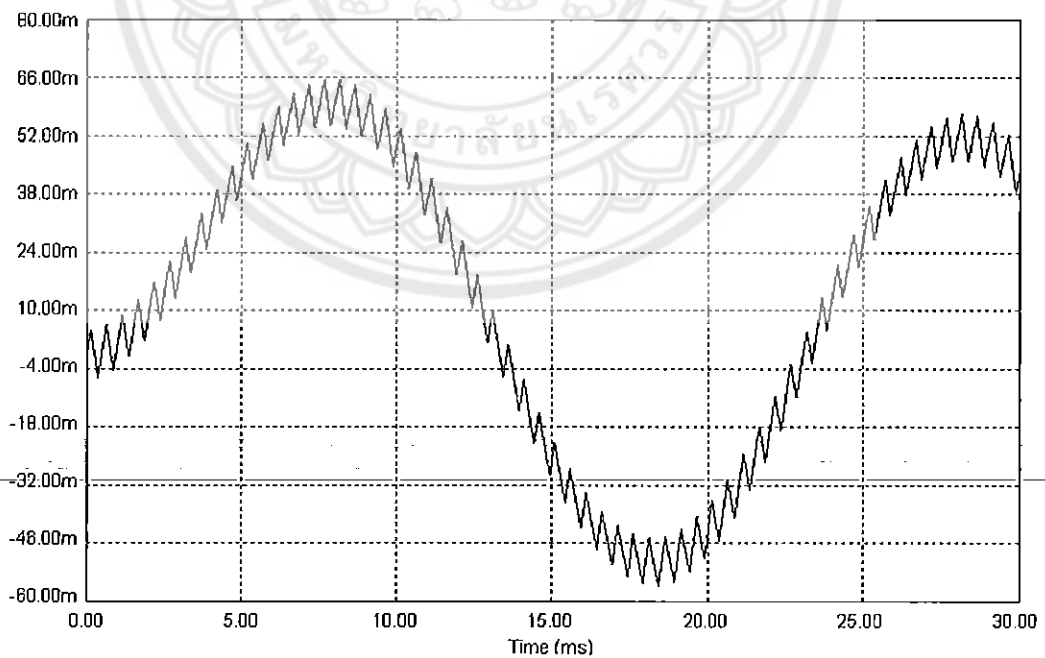


รูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.4$ โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม

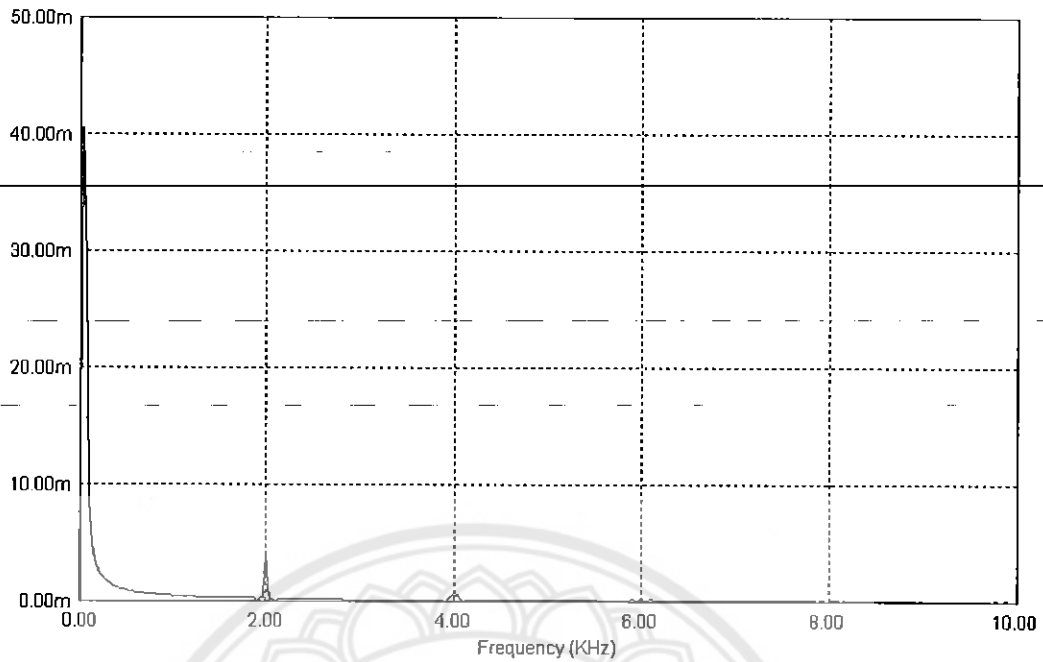
PSIM



รูปที่ 4.19 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.4$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 200 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



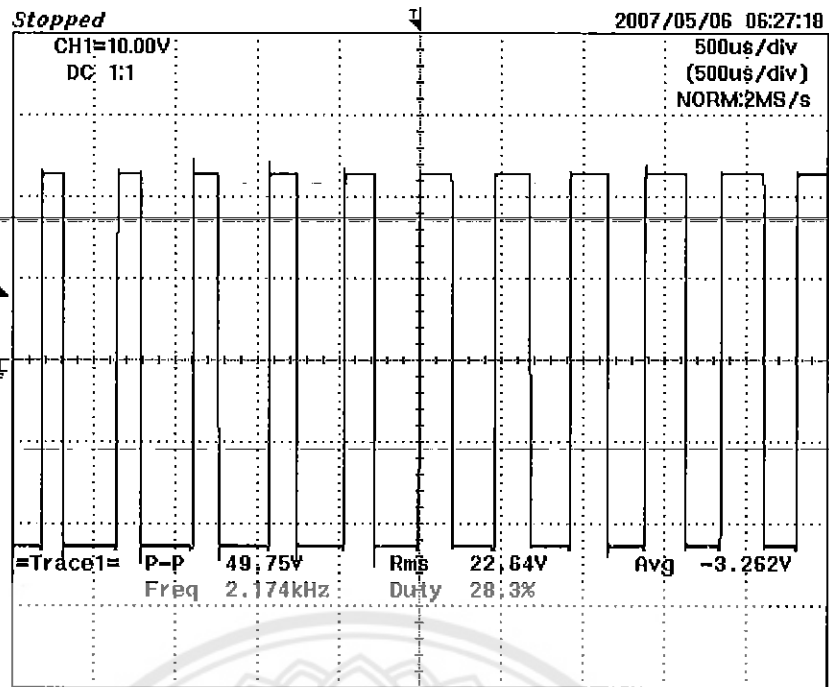
รูปที่ 4.20 แสดงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.4$ โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



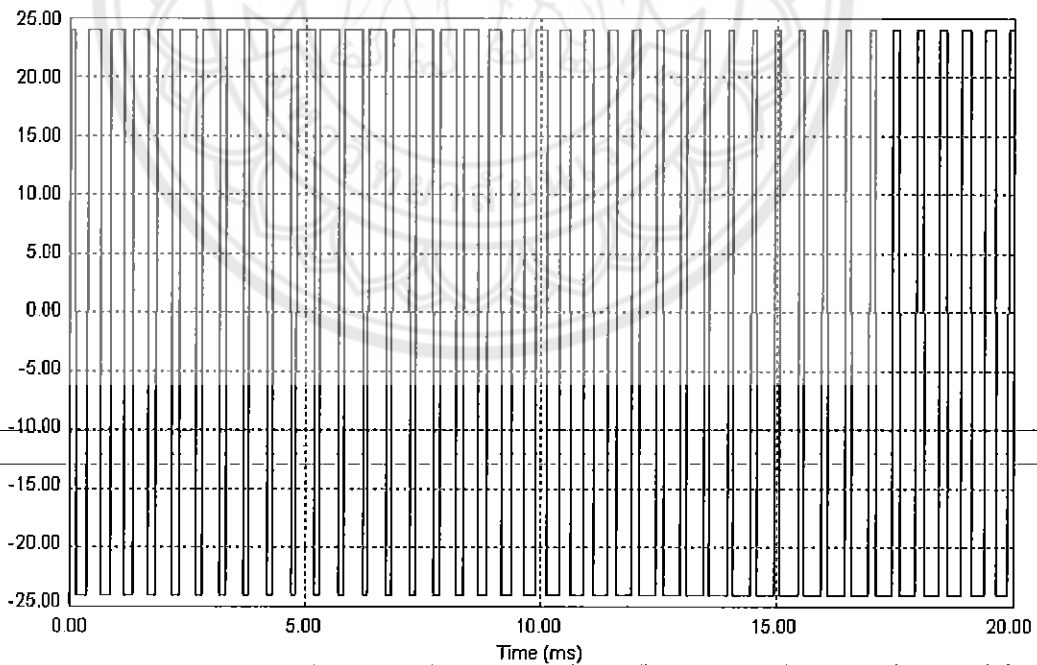
รูปที่ 4.21 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.4$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 200 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM

จากรูปที่ 4.17 เป็นรูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.4$ ที่ความถี่ 50 Hz ซึ่งเป็นสัญญาณที่วัดได้จริงจากสโคปและรูปที่ 4.18 เป็นสัญญาณที่ได้จากการจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม PSIM ซึ่งเมื่อนำสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตไปวิเคราะห์ฮาร์มอนิกโดยใช้ Fast Fourier Transform ซึ่งได้ผลตามรูปที่ 4.19 จะเห็นว่าเกิดฮาร์มอนิกที่ความถี่มูลฐานและที่ความถี่ 2 kHz หรือลำดับที่ 40 ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

ในรูปที่ 4.20 เป็นรูปคลื่นสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้จากการจำลองการทำงานจากโปรแกรม PSIM และรูปที่ 4.21 เป็นการนำสัญญาณเอาต์พุตไปวิเคราะห์ฮาร์มอนิกของกระแสโดยใช้ Fast Fourier Transform จะเห็นว่าฮาร์มอนิกเกิดที่ความถี่หลักมูลและลำดับที่ 40 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

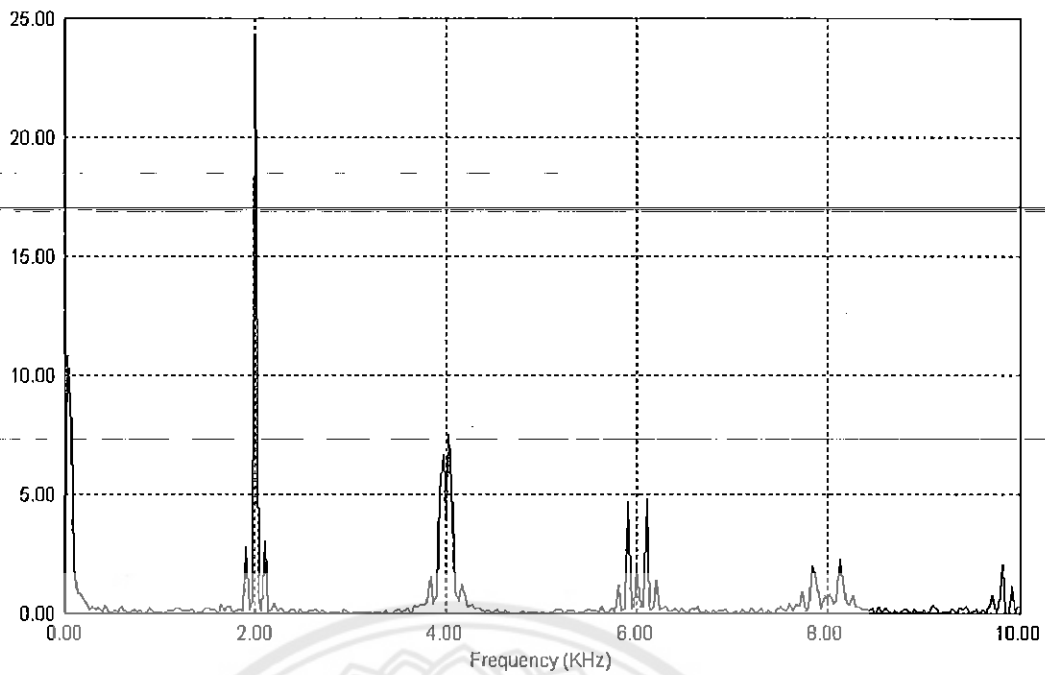


รูปที่ 4.22 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.6$

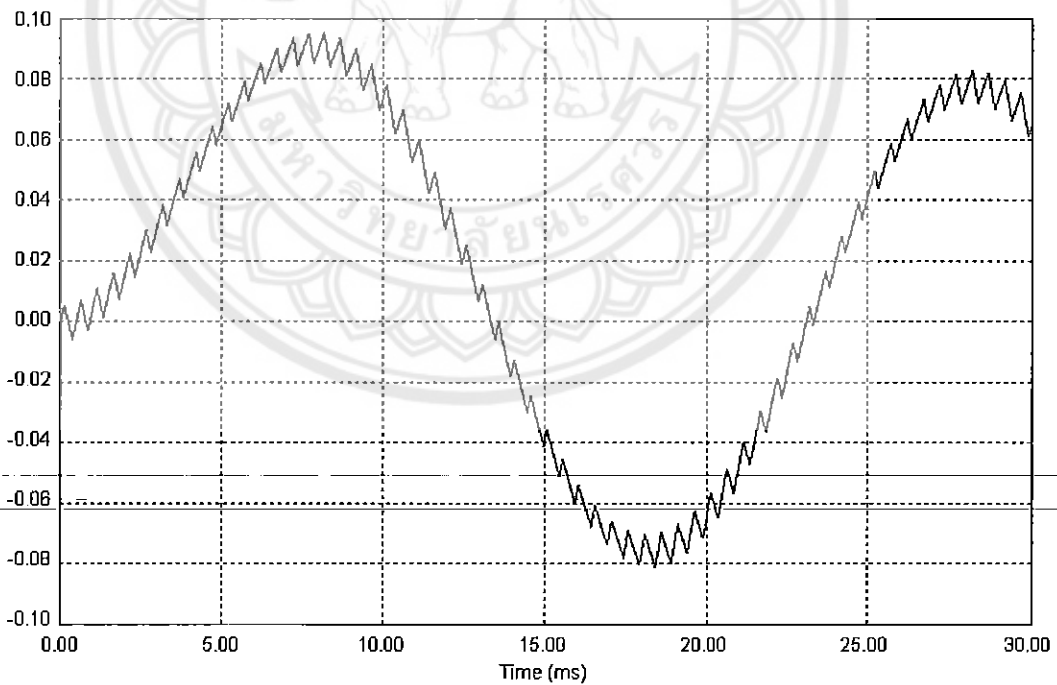


รูปที่ 4.23 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.6$ โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม

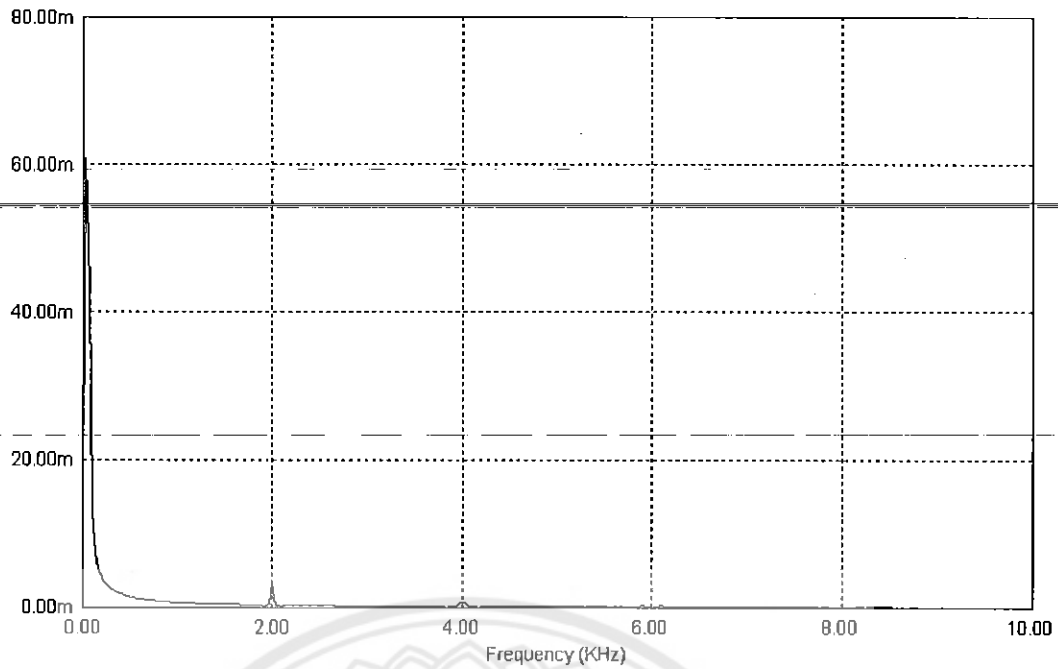
PSIM



รูปที่ 4.24 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.6$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 200 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



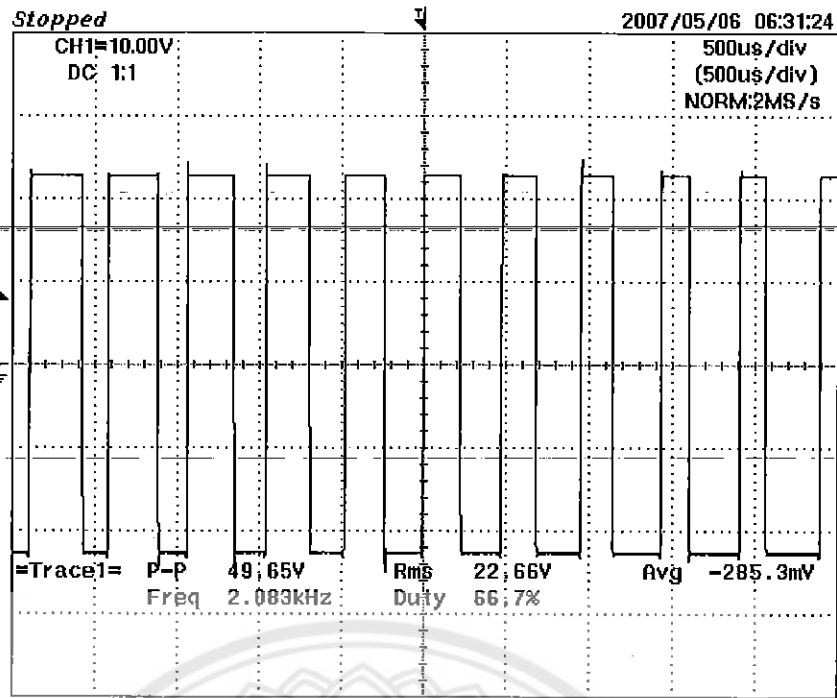
รูปที่ 4.25 แสดงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.6$ โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



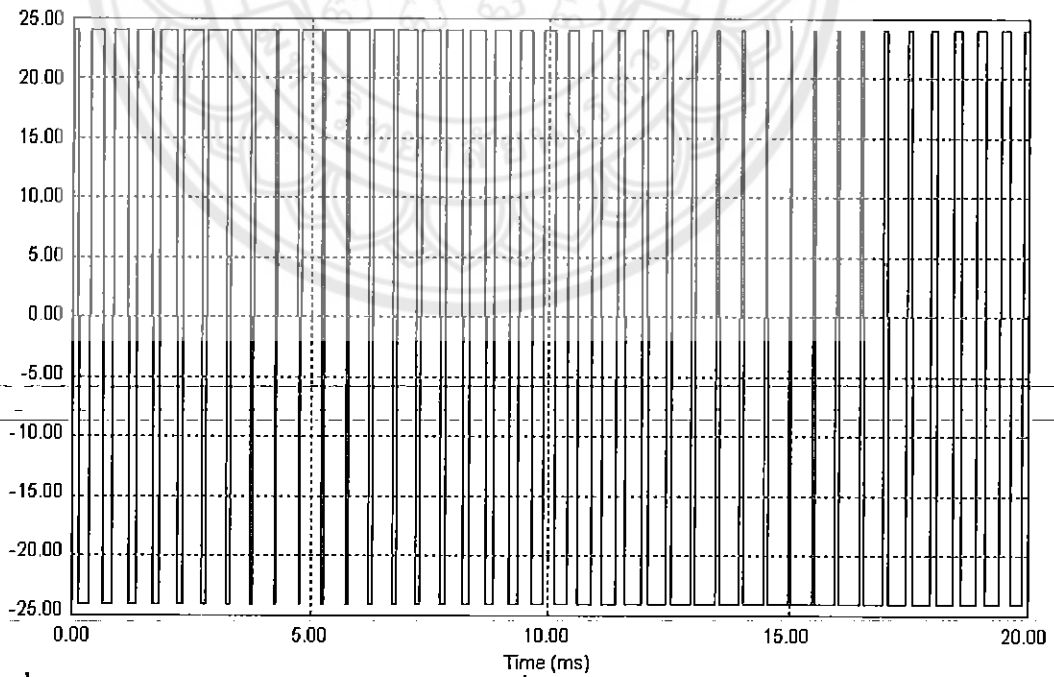
รูปที่ 4.26 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุทเมื่อ $m_a = 0.6$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 200 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM

จากรูปที่ 4.22 เป็นรูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทเมื่อ $m_a = 0.6$ ที่ความถี่ 50 Hz ซึ่งเป็นสัญญาณที่วัดได้จริงจากสโคปและรูปที่ 4.23 เป็นสัญญาณที่ได้จากการจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม PSIM ซึ่งเมื่อนำสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทไปวิเคราะห์ฮาร์มอนิกโดยใช้ Fast Fourier Transform ซึ่งได้ผลตามรูปที่ 4.24 จะเห็นว่าเกิดฮาร์มอนิกที่ความถี่มูลฐานและที่ความถี่ 2 kHz หรือลำดับที่ 40 ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

ในรูปที่ 4.25 เป็นรูปคลื่นสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุทที่ได้จากการจำลองการทำงานจากโปรแกรม PSIM และรูปที่ 4.26 เป็นการนำสัญญาณเอาต์พุทไปวิเคราะห์ฮาร์มอนิกของกระแสโดยใช้ Fast Fourier Transform จะเห็นว่าฮาร์มอนิกเกิดที่ความถี่หลักมูลและลำดับที่ 40 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

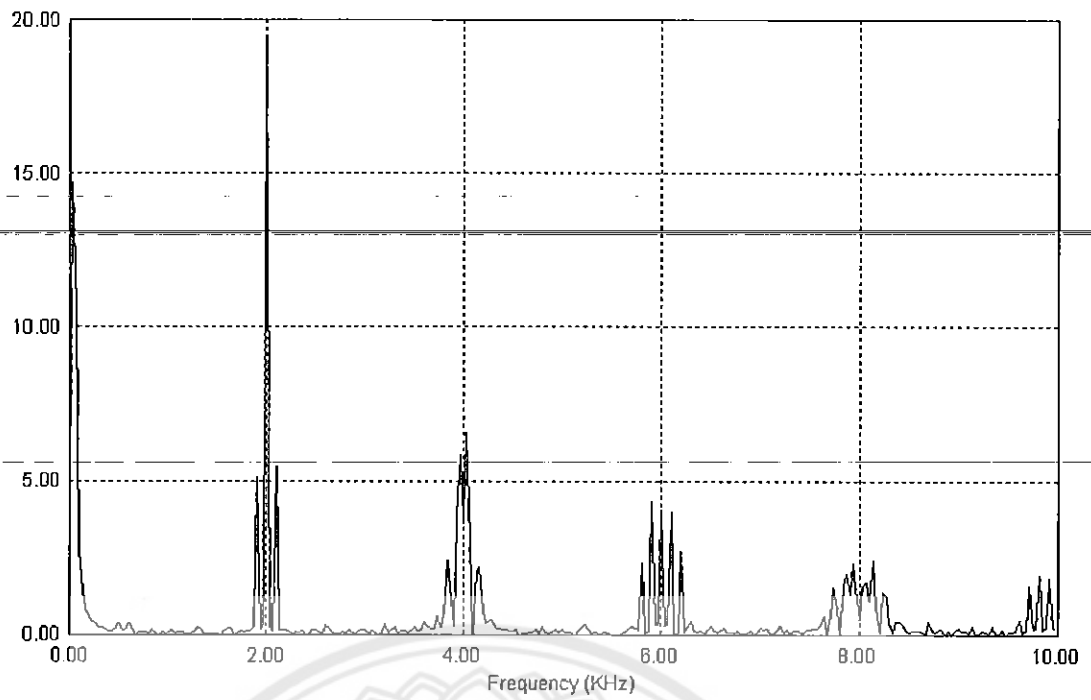


รูปที่ 4.27 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.8$

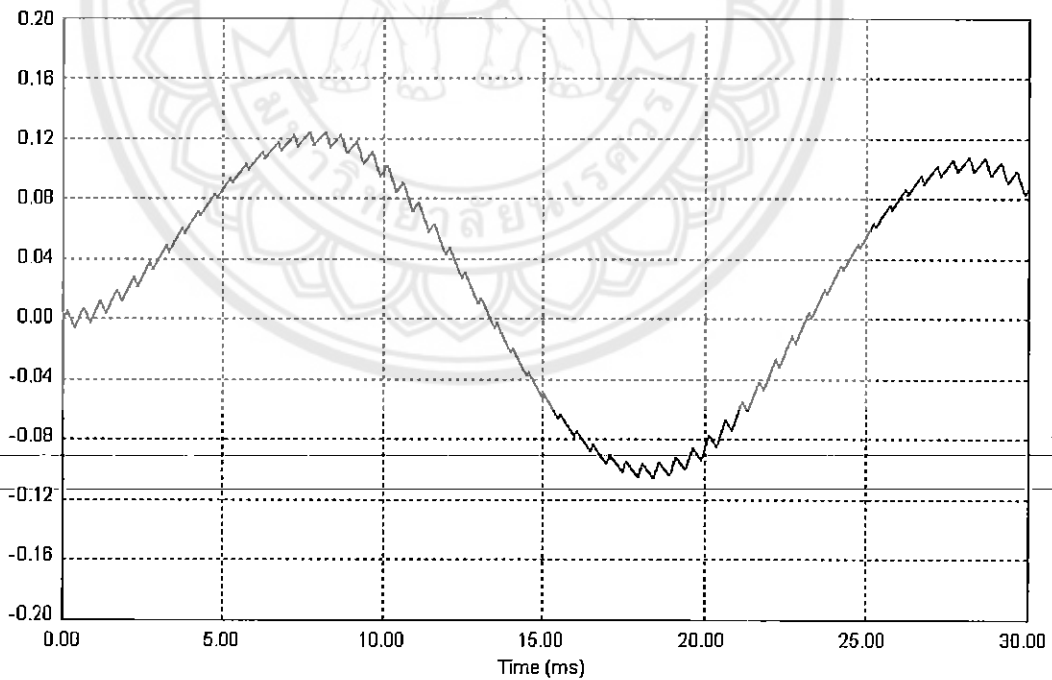


รูปที่ 4.28 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.8$ โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม

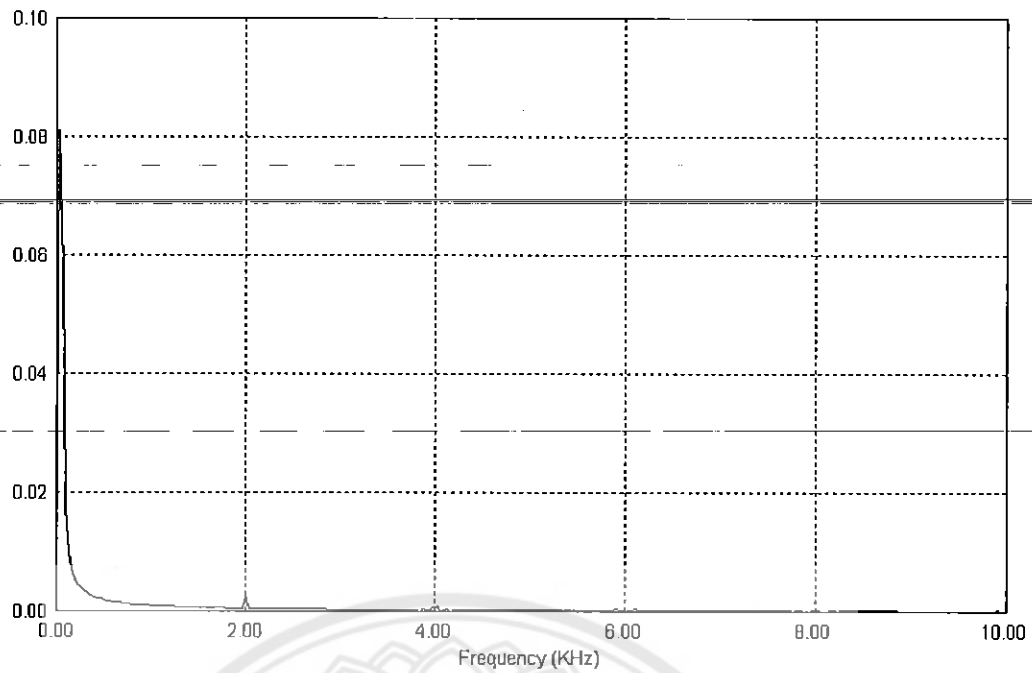
PSIM



รูปที่ 4.29 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.8$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 200 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



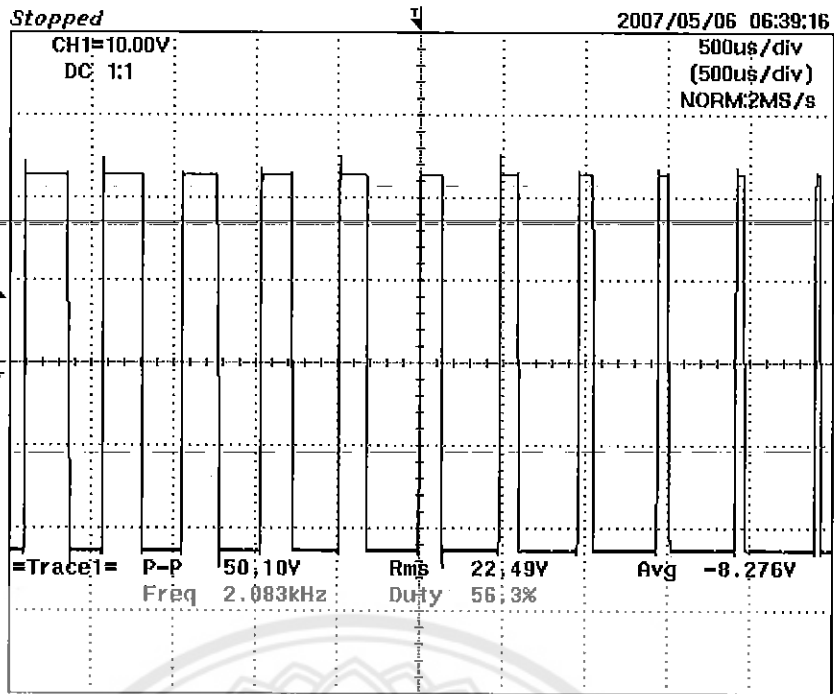
รูปที่ 4.30 แสดงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.8$ โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



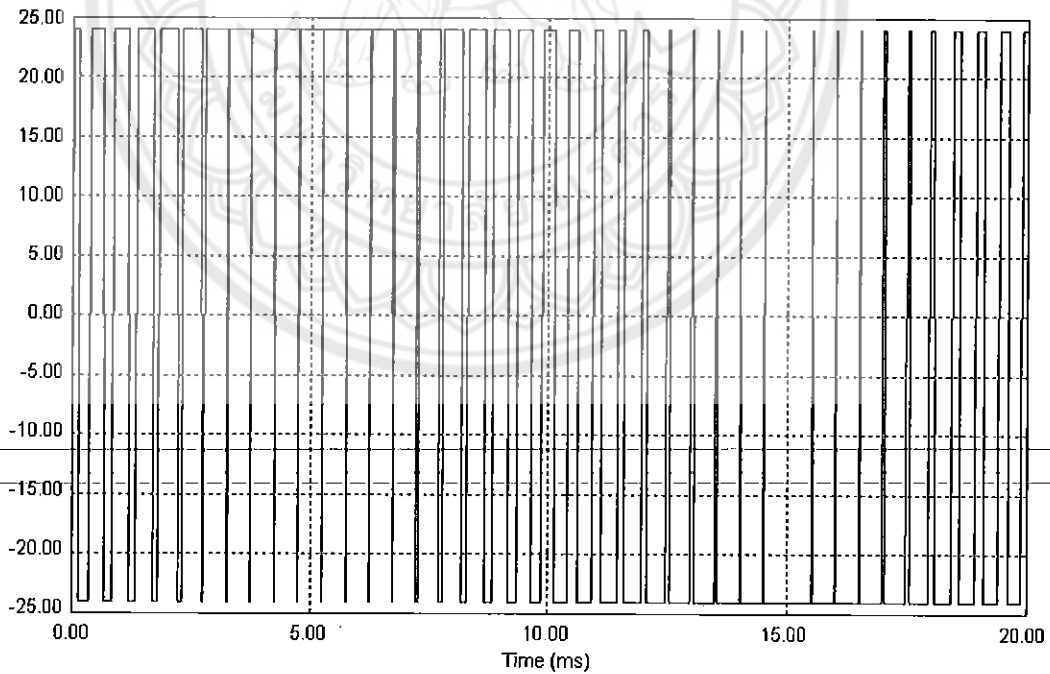
รูปที่ 4.31 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.8$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 200 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM

จากรูปที่ 4.27 เป็นรูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.8$ ที่ความถี่ 50 Hz ซึ่งเป็นสัญญาณที่วัดได้จริงจากสโคปและรูปที่ 4.28 เป็นสัญญาณที่ได้จากการจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม PSIM ซึ่งเมื่อนำสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตไปวิเคราะห์ฮาร์มอนิกโดยใช้ Fast Fourier Transform ซึ่งได้ผลตามรูปที่ 4.29 จะเห็นว่าเกิดฮาร์มอนิกที่ความถี่มูลฐานและที่ความถี่ 2 kHz หรือลำดับที่ 40 ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

ในรูปที่ 4.30 เป็นรูปคลื่นสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้จากการจำลองการทำงานจากโปรแกรม PSIM และรูปที่ 4.31 เป็นการนำสัญญาณเอาต์พุตไปวิเคราะห์ฮาร์มอนิกของกระแสโดยใช้ Fast Fourier Transform จะเห็นว่าฮาร์มอนิกเกิดที่ความถี่หลักมูลและลำดับที่ 40 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

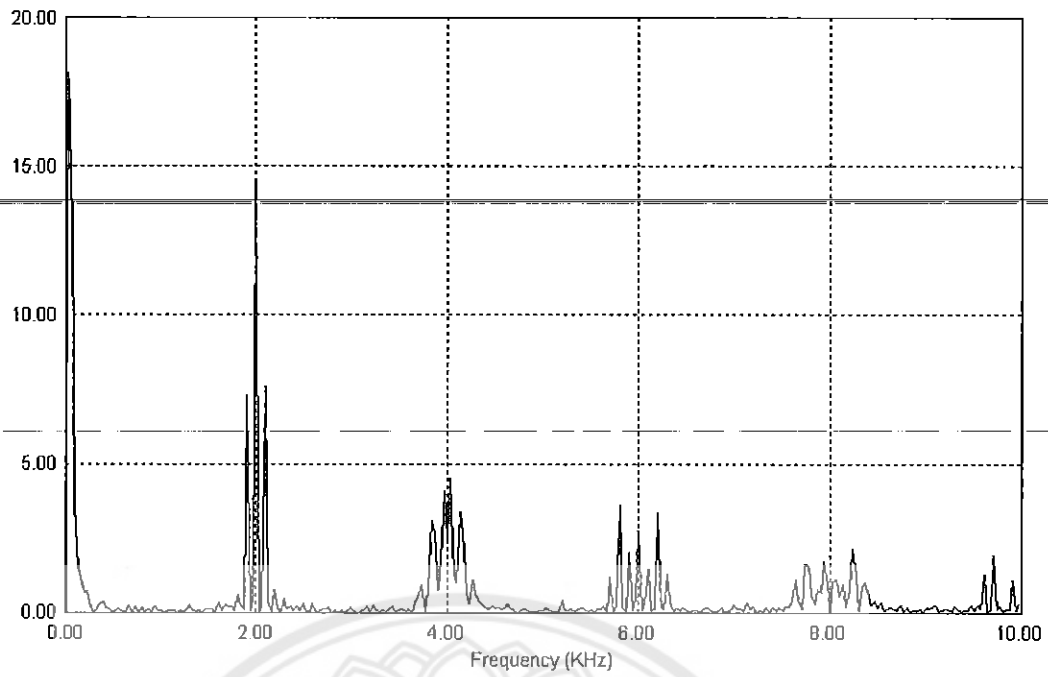


รูปที่ 4.32 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 1.0$

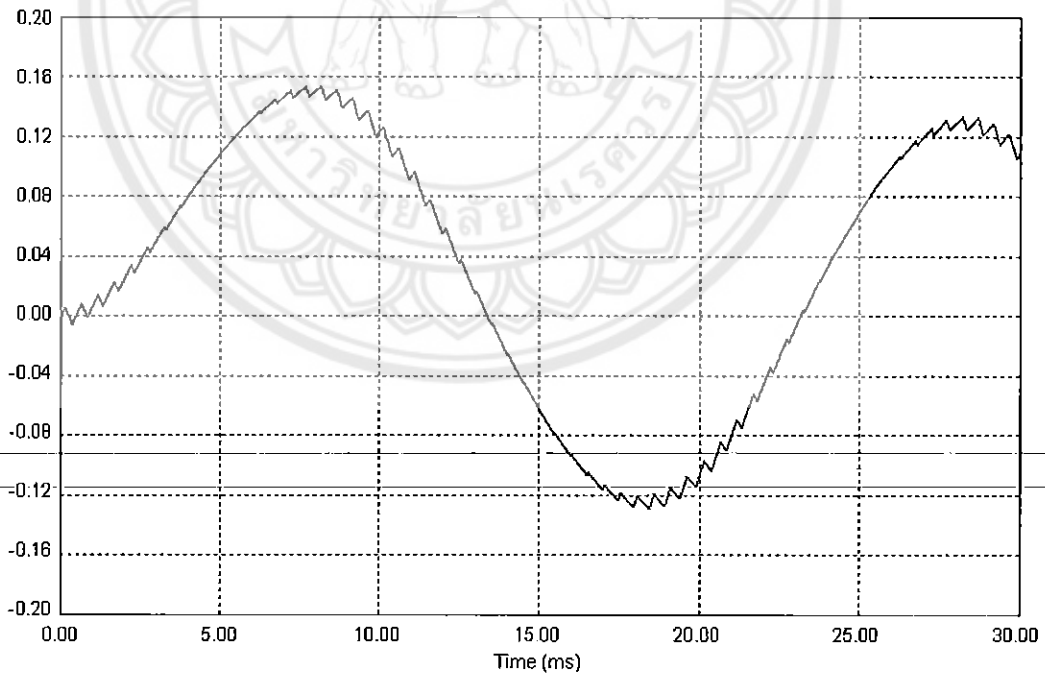


รูปที่ 4.33 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 1.0$ โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม

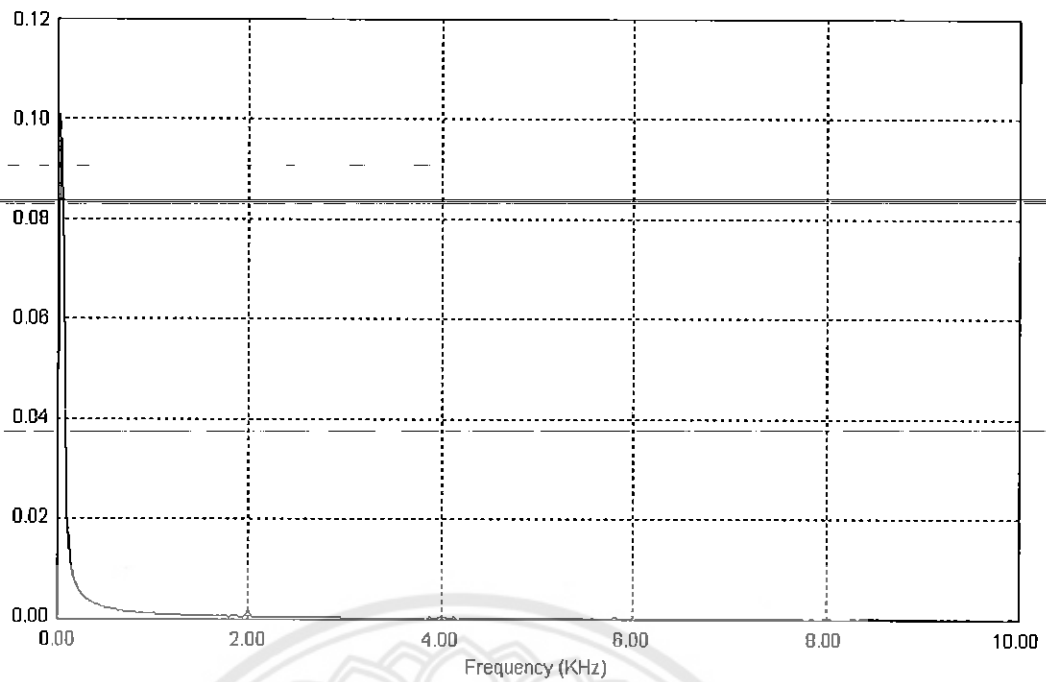
PSIM



รูปที่ 4.34 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 1.0$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 200 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



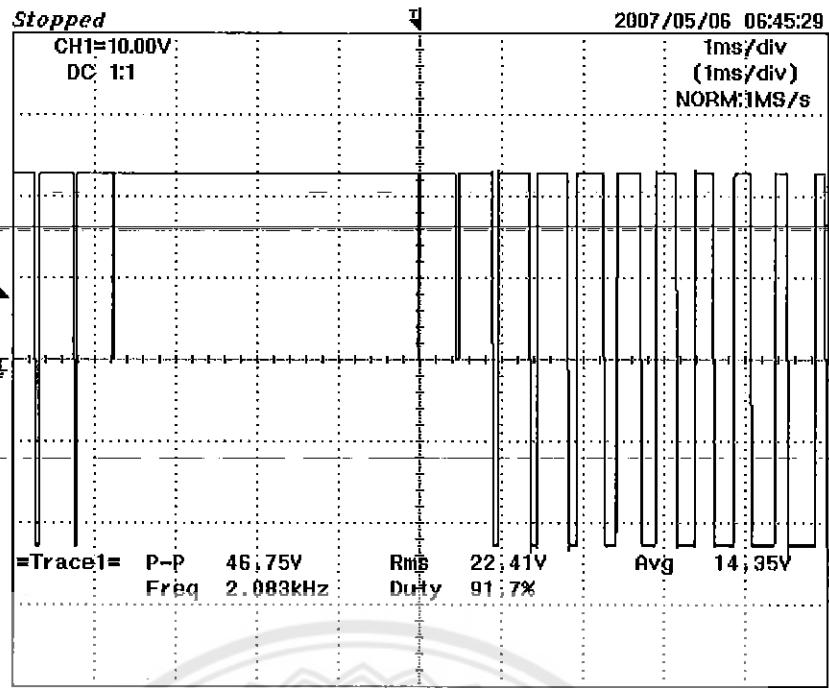
รูปที่ 4.35 แสดงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 1.0$ โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



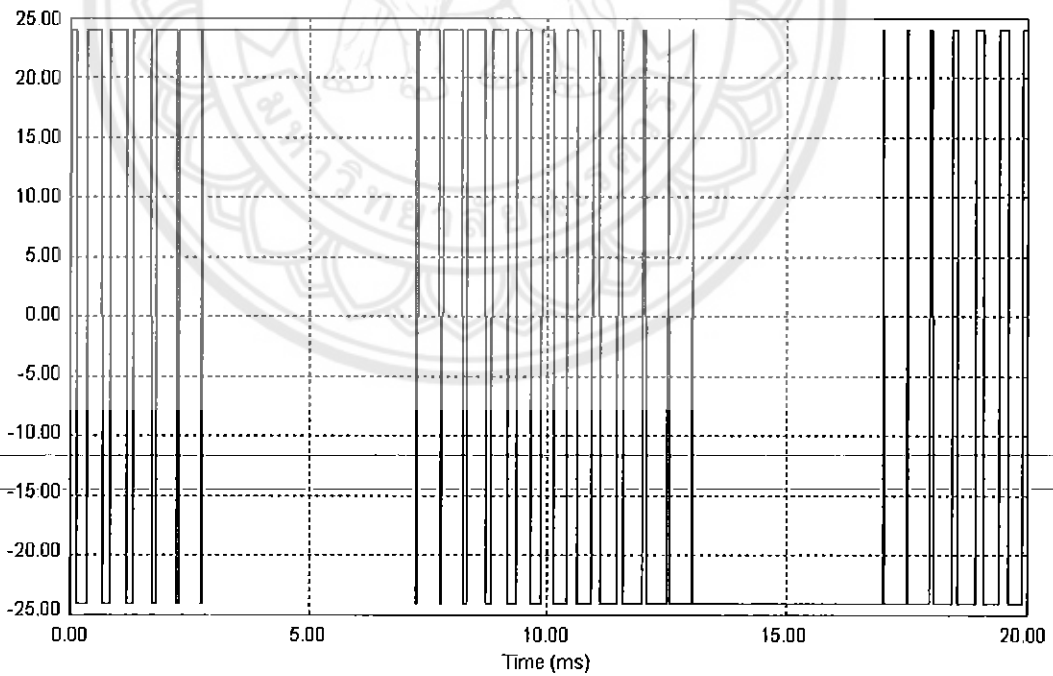
รูปที่ 4.36 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 1.0$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 200 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM

จากรูปที่ 4.32 เป็นรูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 1.0$ ที่ความถี่ 50 Hz ซึ่งเป็นสัญญาณที่วัดได้จริงจากสโคปและรูปที่ 4.33 เป็นสัญญาณที่ได้จากการจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม PSIM ซึ่งเมื่อนำสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตไปวิเคราะห์ฮาร์มอนิกโดยใช้ Fast Fourier Transform ซึ่งได้ผลตามรูปที่ 4.34 จะเห็นว่าเกิดฮาร์มอนิกที่ความถี่มูลฐานและที่ความถี่ 2 kHz หรือลำดับที่ 40 ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

ในรูปที่ 4.35 เป็นรูปคลื่นสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้จากการจำลองการทำงานจากโปรแกรม PSIM และรูปที่ 4.36 เป็นการนำสัญญาณเอาต์พุตไปวิเคราะห์ฮาร์มอนิกของกระแสโดยใช้ Fast Fourier Transform จะเห็นว่าฮาร์มอนิกเกิดที่ความถี่หลักมูลและลำดับที่ 40 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

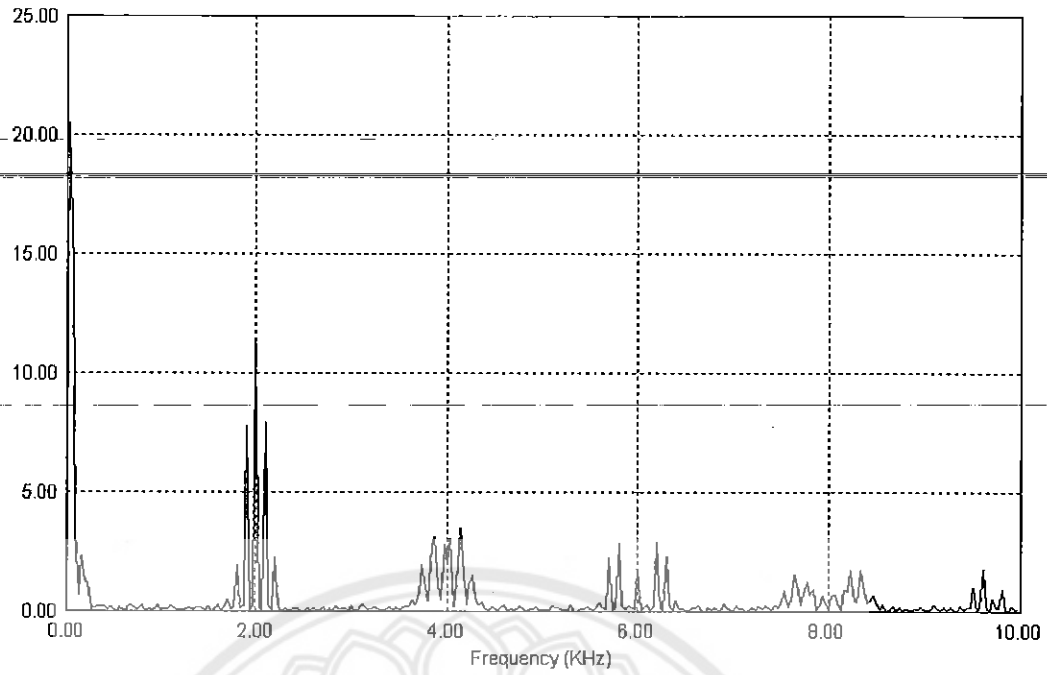


รูปที่ 4.37 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 1.2$

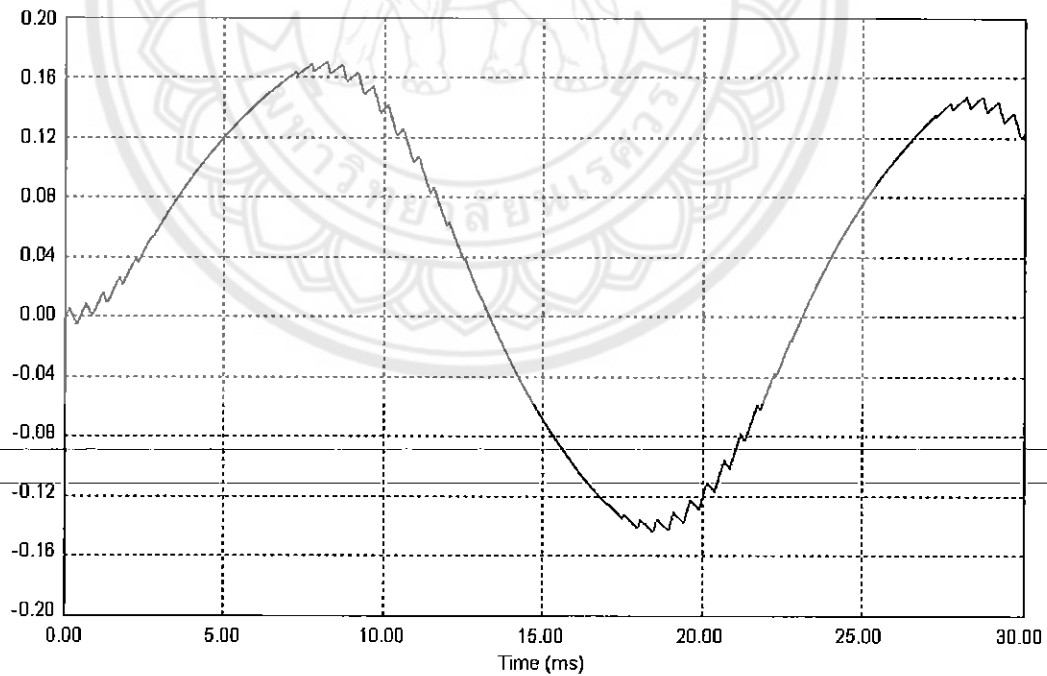


รูปที่ 4.38 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 1.2$ โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม

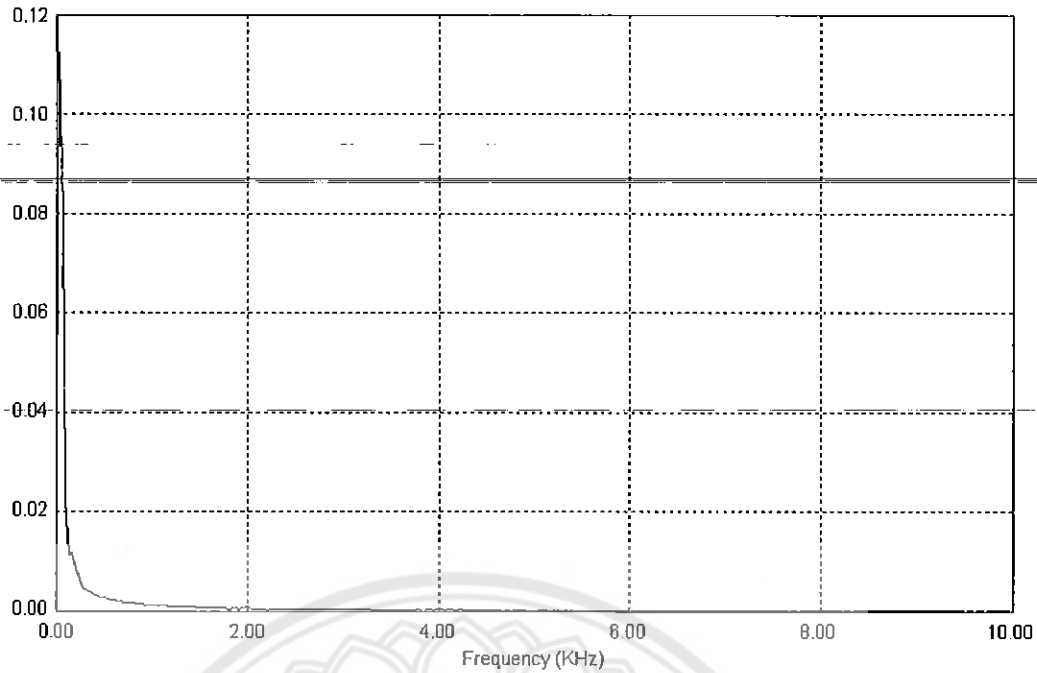
PSIM



รูปที่ 4.39 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 1.2$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 200 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



รูปที่ 4.40 แสดงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 1.2$ โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



รูปที่ 4.41 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 1.2$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 200 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM

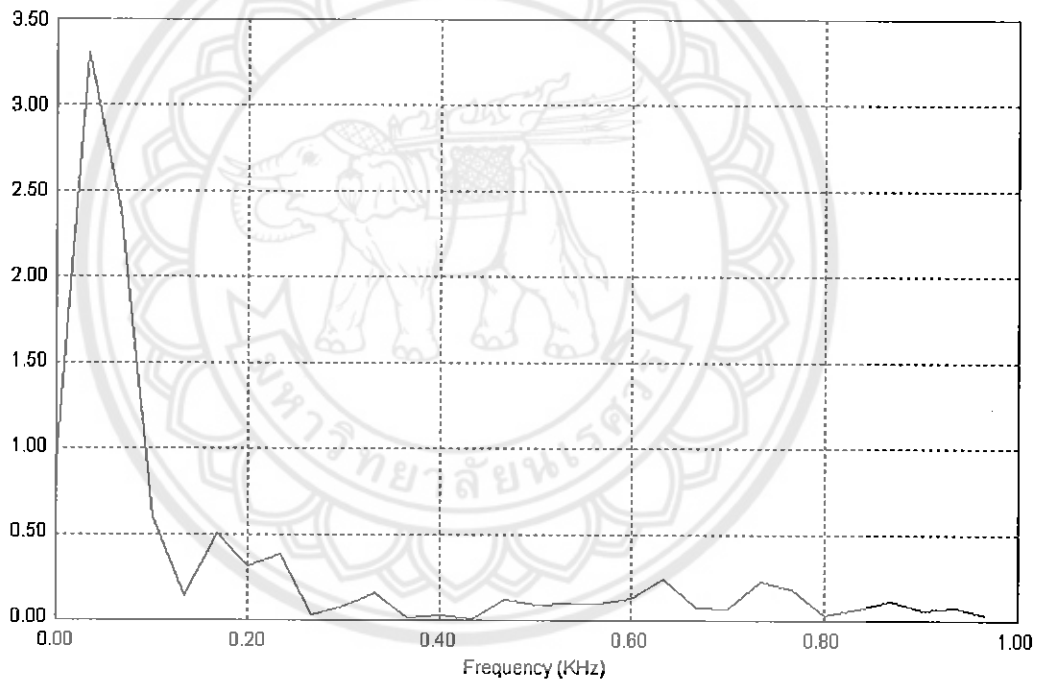
จากรูปที่ 4.37 เป็นรูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 1.2$ ที่ความถี่ 50 Hz ซึ่งเป็นสัญญาณที่วัดได้จริงจากสโคปและรูปที่ 4.38 เป็นสัญญาณที่ได้จากการจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม PSIM ซึ่งเมื่อนำสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตไปวิเคราะห์ฮาร์มอนิกโดยใช้ Fast Fourier Transform ซึ่งได้ผลตามรูปที่ 4.39 จะเห็นว่าเกิดฮาร์มอนิกที่ความถี่มูลฐานและที่ความถี่ 2 kHz หรือลำดับที่ 40 ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี

ในรูปที่ 4.40 เป็นรูปคลื่นสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้จากการจำลองการทำงานจากโปรแกรม PSIM และรูปที่ 4.41 เป็นการนำสัญญาณเอาต์พุตไปวิเคราะห์ฮาร์มอนิกของกระแสโดยใช้ Fast Fourier Transform จะเห็นว่าฮาร์มอนิกเกิดที่ความถี่หลักมูลและลำดับที่ 40 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

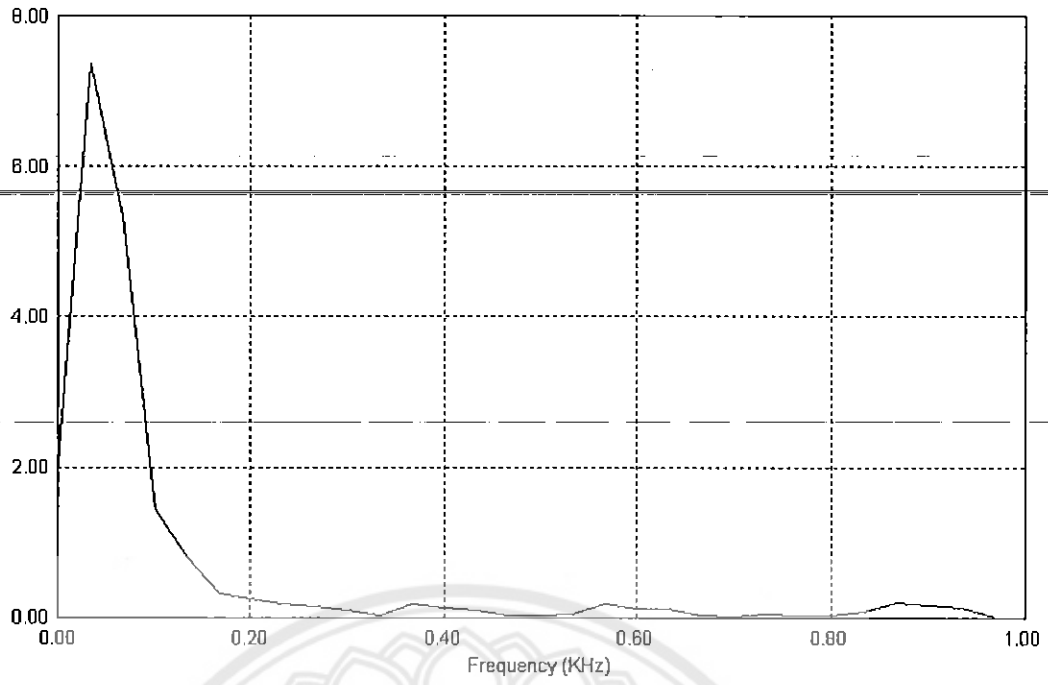
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.2.1 การวิเคราะห์รูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต

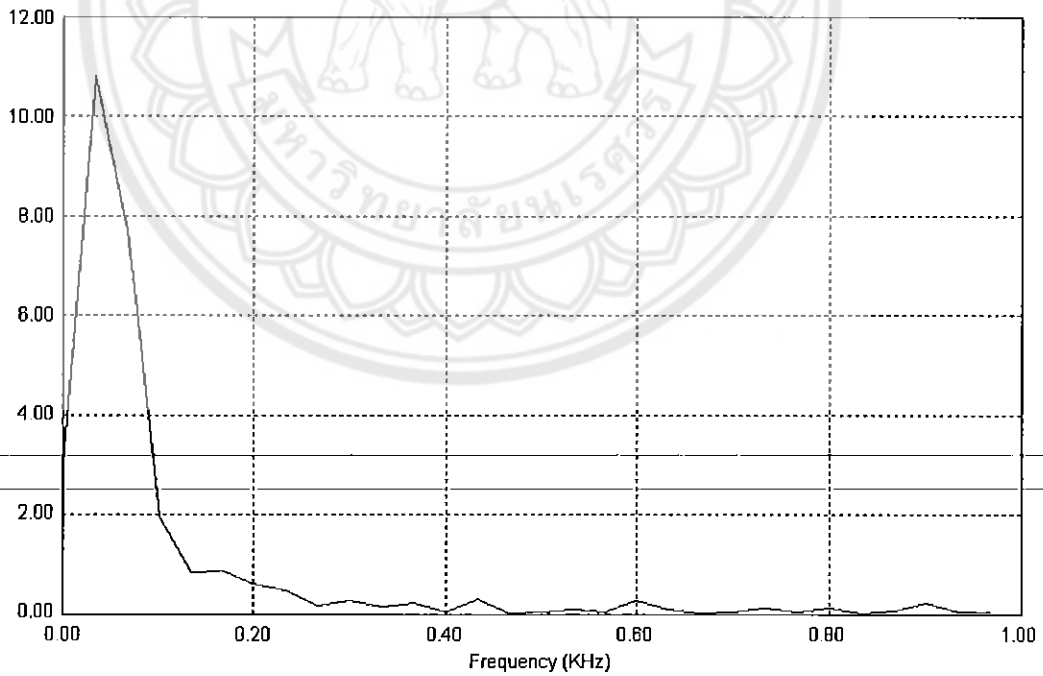
ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองในส่วนของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตโดยการนำรูปคลื่นสัญญาณในการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกที่ค่า m_a ตั้งแต่ 0.2 – 1.2 ดังแต่รูปที่ 4.42 – 4.47 มาเปรียบเทียบกับกันจะเห็นว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ความถี่หลักมูลจะมีค่าแปรผันตามค่า m_a ที่เพิ่มขึ้นแต่ในส่วนของฮาร์มอนิกที่ลำดับต่ำๆ จะมีค่าลดลงเมื่อค่า m_a เพิ่มขึ้นจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ m_a มีค่ามากกว่า 1 หรือในช่วงโอเวอร์มอดูเลชันซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี



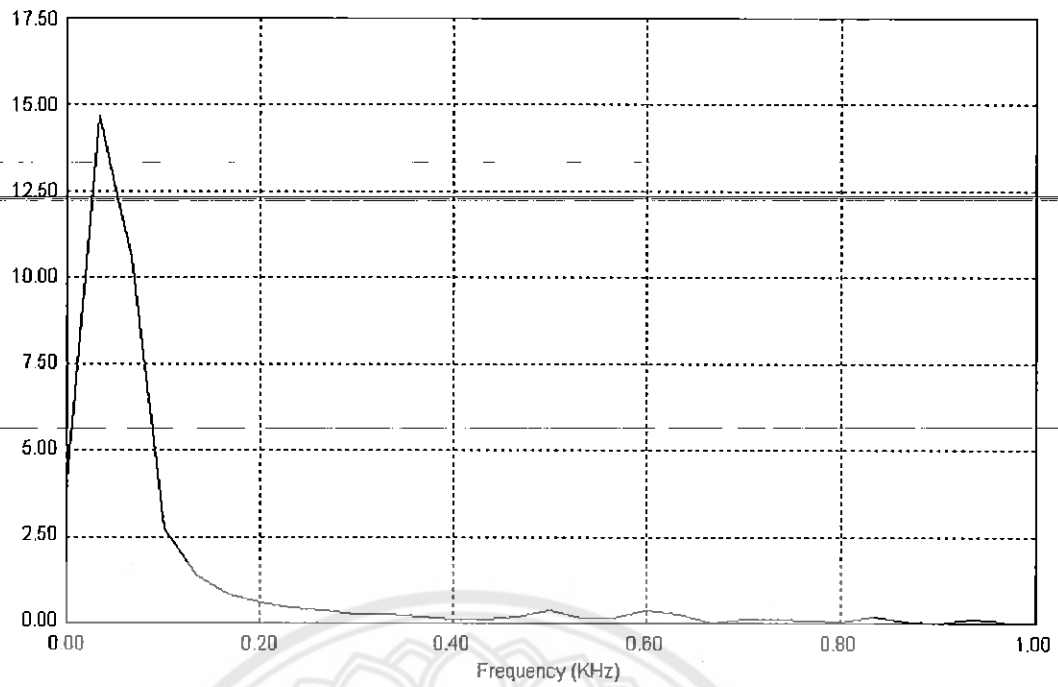
รูปที่ 4.42 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.2$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 20 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



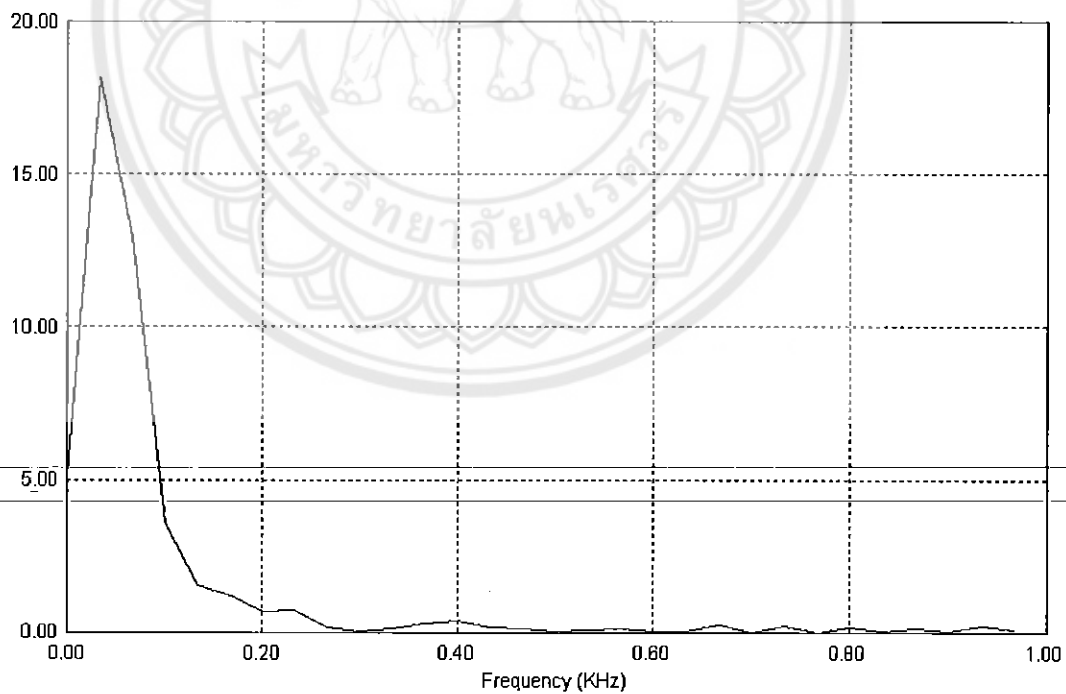
รูปที่ 4.43 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.4$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 20 โดยการใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



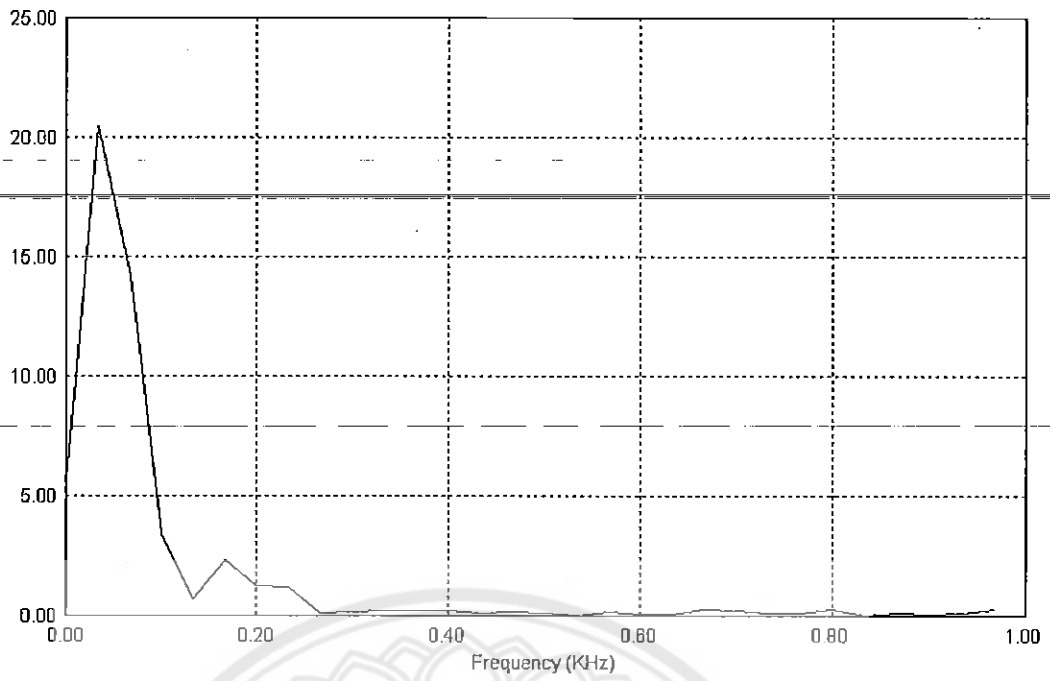
รูปที่ 4.44 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.6$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 20 โดยการใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



รูปที่ 4.45 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.8$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 20 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



รูปที่ 4.46 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 1.0$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 20 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM

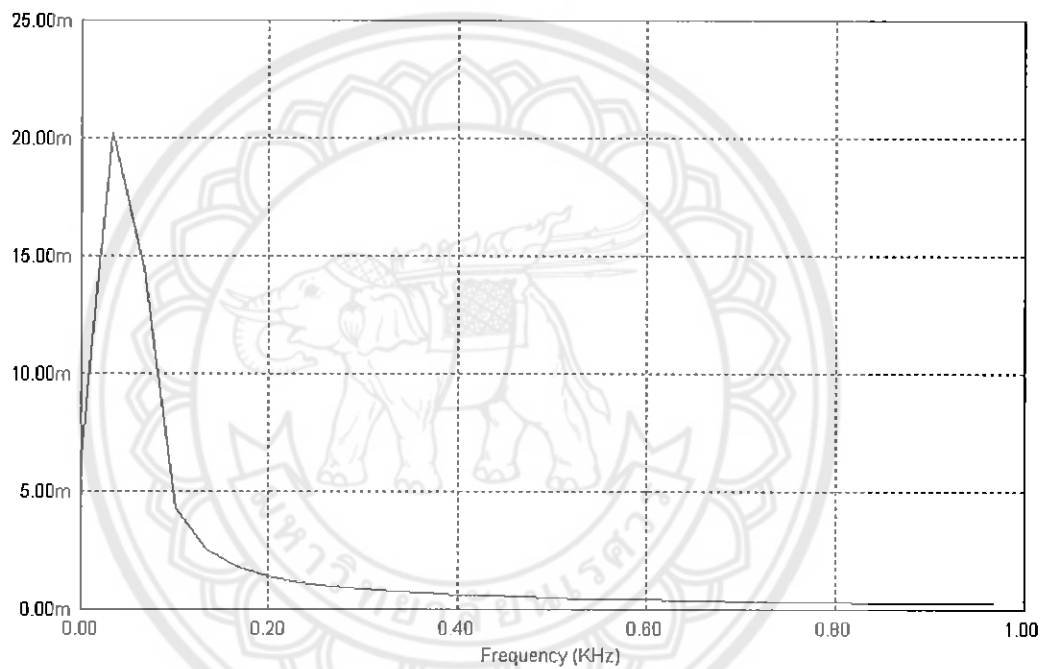


รูปที่ 4.47 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_d = 1.2$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 20 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM

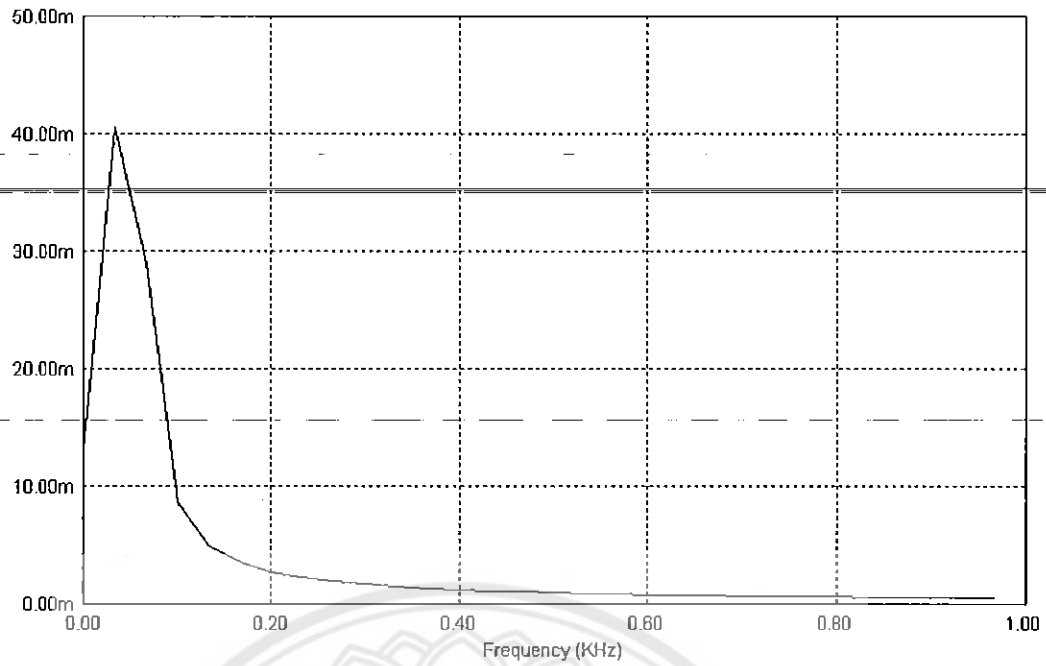


4.2.2 การวิเคราะห์รูปคลื่นสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต

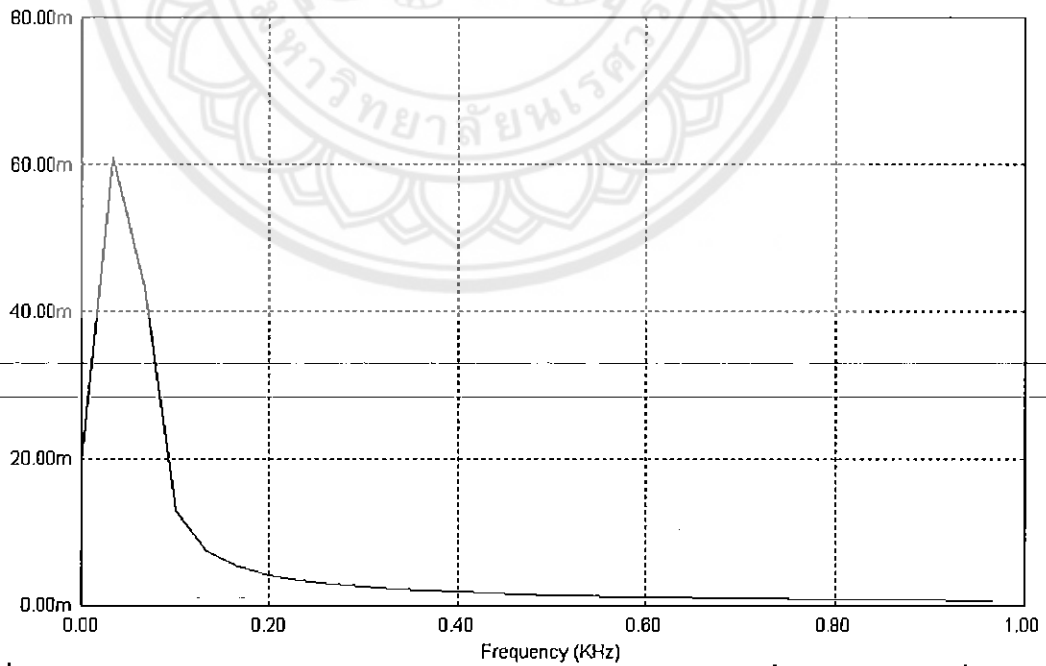
จากการเปรียบเทียบรูปคลื่นสัญญาณฮาร์มอนิกที่ค่า m_a ตั้งแต่ 0.2–1.2 ดังแต่รูปที่ 4.48–4.53 จะเห็นว่าค่ากระแสไฟฟ้าเอาต์พุตที่ค่า m_a ตั้งแต่ 0.2–1.2 จะเห็นว่าค่ากระแสไฟฟ้าเอาต์พุตที่ความถี่หลักมูลจะมีค่าแปรผันตรงกันกับค่า m_a ที่เพิ่มขึ้นแต่ในส่วนของฮาร์มอนิกที่ลำดับต่ำๆ จะมีค่าลดลงเมื่อค่า m_a เพิ่มขึ้นจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ m_a มีค่ามากกว่า 1 หรือในช่วงโอเวอร์มอดูเลชันซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี



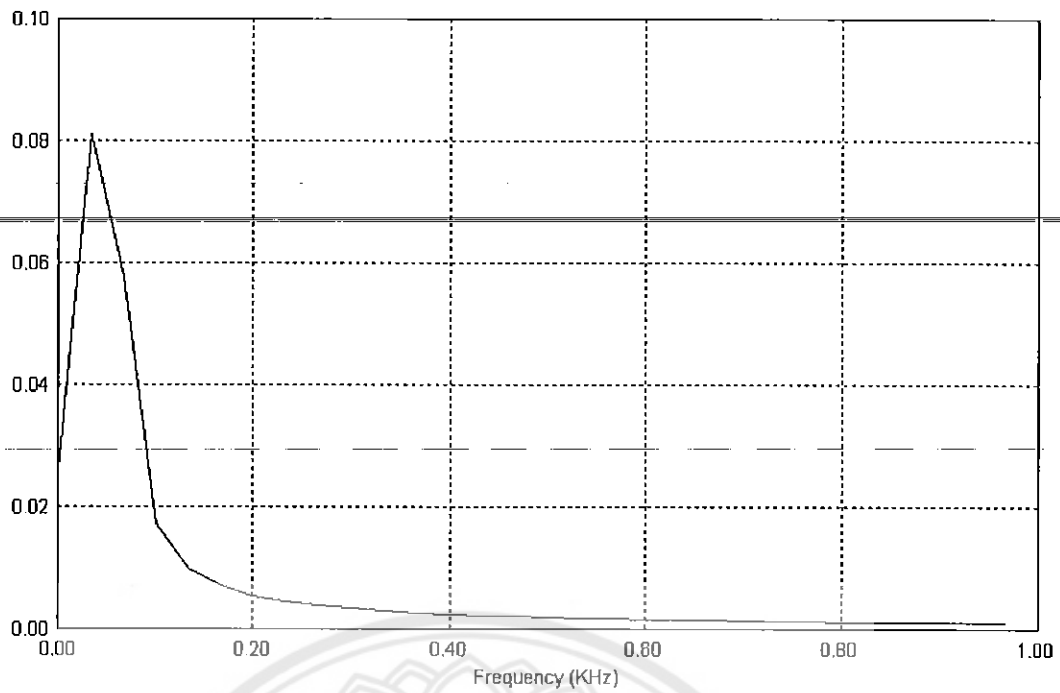
รูปที่ 4.48 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.2$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 20 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



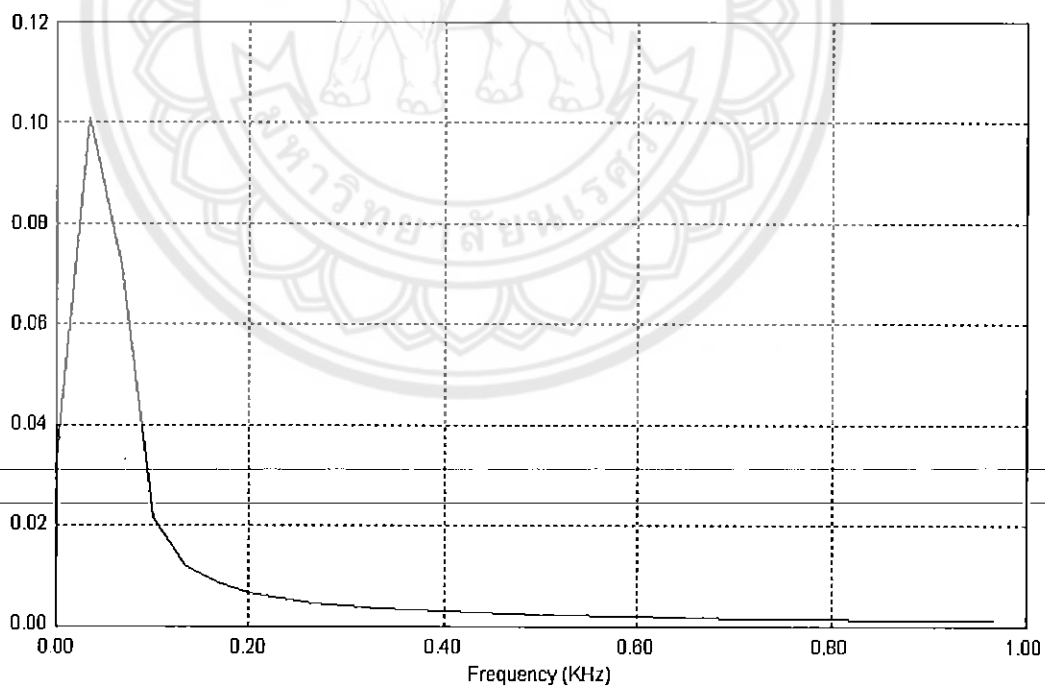
รูปที่ 4.49 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.4$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 20 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



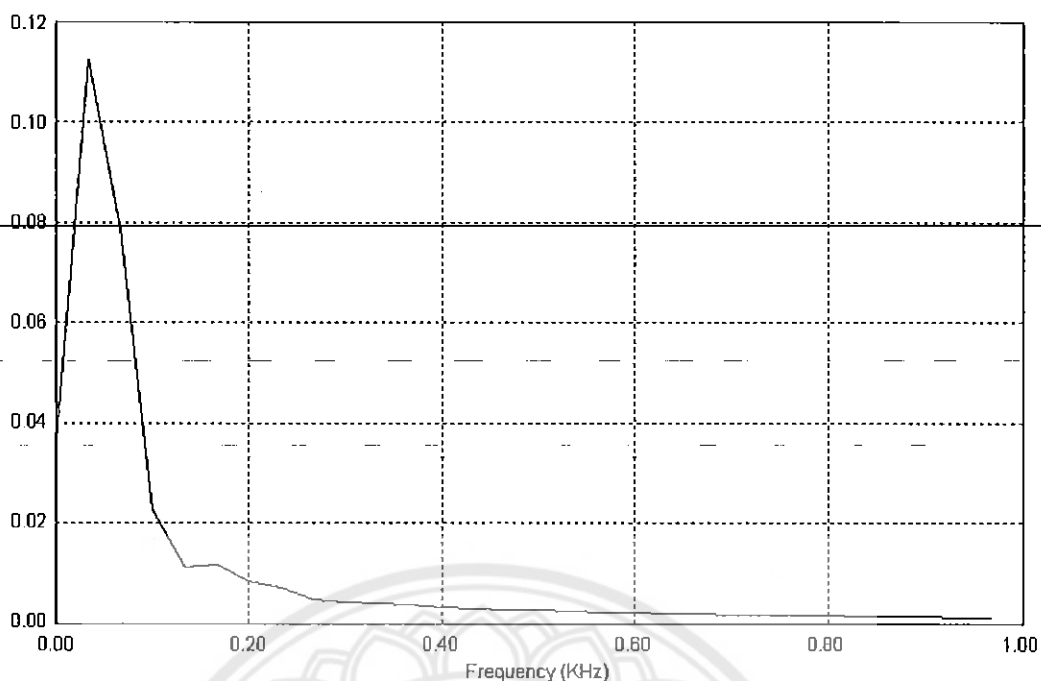
รูปที่ 4.50 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.6$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 20 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



รูปที่ 4.51 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 0.8$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 20 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



รูปที่ 4.52 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 1.0$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 20 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM



รูปที่ 4.53 แสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตเมื่อ $m_a = 1.2$ เมื่อพิจารณาฮาร์มอนิกถึงลำดับที่ 20 โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรม PSIM

ตารางเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพของรูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตและรูปคลื่นสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้จากจำลองการทำงานในการใช้เทคนิคการสวิตชิงแบบ SPWM เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่า m_a ตั้งแต่ 0.2 – 1.2

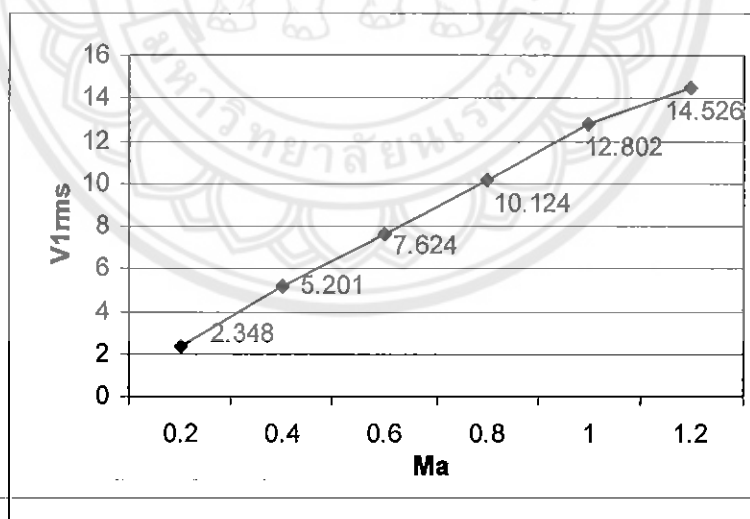
ตารางที่ 4.1 ค่าดัชนีคุณภาพของรูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจากการจำลองการทำงาน

เทคนิค	m_a	ค่าดัชนีคุณภาพของรูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต		
		$V_{rms} (V)$	THD_v	DF_1
SPWM	0.2	2.348	12.744	0.353
	0.4	5.201	5.311	0.199
	0.6	7.624	3.184	0.162
	0.8	10.124	1.973	0.159
	1.0	12.802	1.315	0.157
	1.2	14.526	1.613	0.160

ตารางที่ 4.2 ค่าดัชนีคุณภาพของรูปคลื่นสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตจากการจำลองการทำงาน

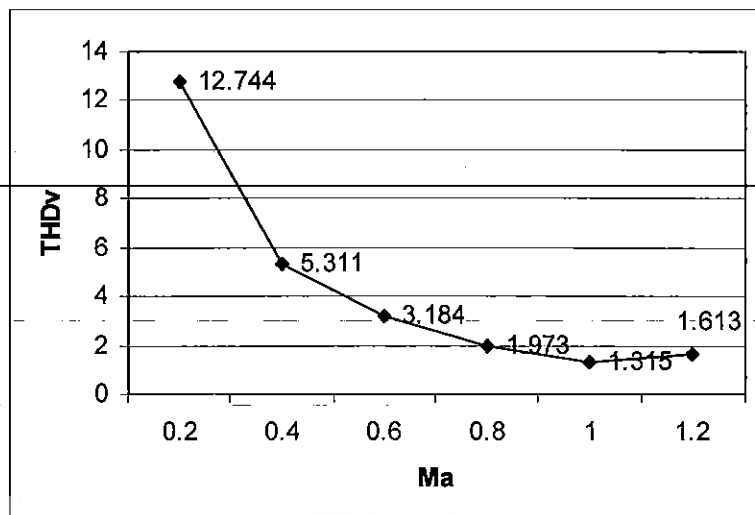
เทคนิค	m_a	ค่าดัชนีคุณภาพของรูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต	
		$I_{rms} (A)$	THD_v
SPWM	0.2	0.014	0.540
	0.4	0.029	0.407
	0.6	0.043	0.405
	0.8	0.059	0.383
	1.0	0.074	0.381
	1.2	0.081	0.388

รูปที่ 4.54 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ค่า m_a ตั้งแต่ 0.2 – 1.2 จะเห็นว่าผลที่ได้มีค่ามากขึ้นตามลำดับซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี



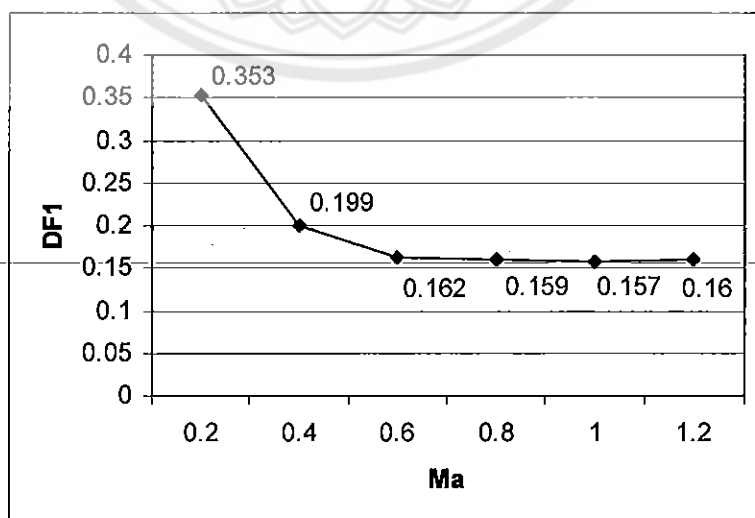
รูปที่ 4.54 แสดงการเปรียบเทียบค่า V_{rms} ที่ค่า m_a ตั้งแต่ 0.2 – 1.2

รูปที่ 4.55 แสดงความสัมพันธ์ของค่า THD_v และค่า m_a จากผลการทดลองค่า THD_v จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องและมีค่าต่ำที่สุดเมื่อค่า m_a มีค่าเท่ากับ 1.0 จากเมื่อค่า m_a มีค่ามากกว่า 1.0 นั้นค่า THD_v จะเพิ่มขึ้นซึ่งผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี



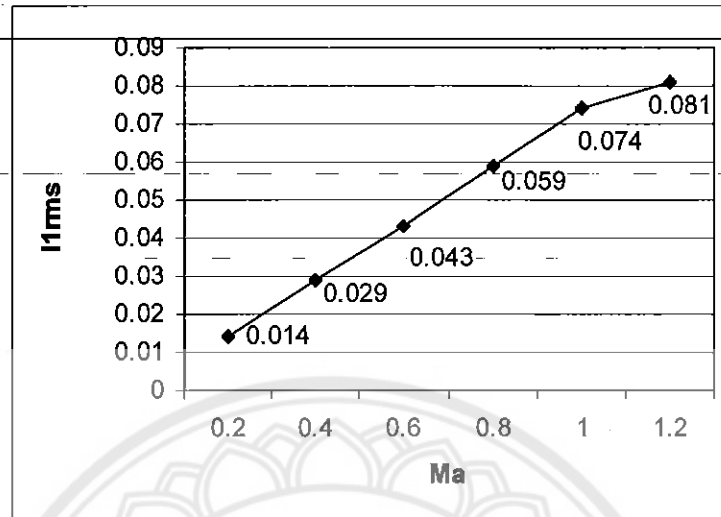
รูปที่ 4.55 แสดงการเปรียบเทียบค่า THD_v ที่ค่า m_a ตั้งแต่ 0.2 – 1.2

รูปที่ 4.56 แสดงความสัมพันธ์ของค่า DF_1 และค่า m_a จากผลการทดลองค่า DF_1 จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องและมีค่าต่ำที่สุดเมื่อค่า m_a มีค่าเท่ากับ 1.0 จากเมื่อค่า m_a มีค่ามากกว่า 1.0 นั้นค่า DF_1 จะเพิ่มขึ้นซึ่งผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี



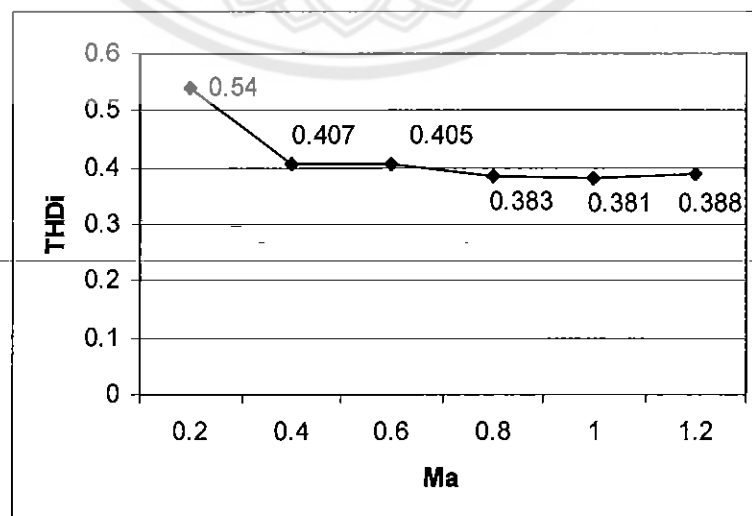
รูปที่ 4.56 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF_1 ที่ค่า m_a ตั้งแต่ 0.2 – 1.2

รูปที่ 4.57 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าเอาต์พุตที่ค่า m_a ตั้งแต่ 0.2–1.2 จะเห็นว่าผลที่ได้มีค่ามากขึ้นตามลำดับซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี



รูปที่ 4.57 แสดงการเปรียบเทียบค่า I_{rms} ที่ค่า m_a ตั้งแต่ 0.2–1.2

รูปที่ 4.58 แสดงความสัมพันธ์ของค่า THD_i และค่า m_a จากผลการทดลองค่า THD_i จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องและมีค่าต่ำที่สุดเมื่อค่า m_a มีค่าเท่ากับ 1.0 จากเมื่อค่า m_a มีค่ามากกว่า 1.0 นั้นค่า THD_i จะเพิ่มขึ้นซึ่งผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี



รูปที่ 4.58 แสดงการเปรียบเทียบค่า THD_i ที่ค่า m_a ตั้งแต่ 0.2–1.2

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์และทำการทดลองในโครงการเรื่องอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสนี้ ได้มีการวิเคราะห์รูปคลื่นสัญญาณด้วยโปรแกรม Mat lab และ PSIM เปรียบเทียบกับรูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากการทดลองจริง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ คือ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. สามารถออกแบบและสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ขนาดแรงดัน 24 โวลต์ ที่สามารถปรับความถี่และแรงดันเอาต์พุตได้ จากชุดควบคุม PWM และสามารถนำอินเวอร์เตอร์ไปจ่ายโหลดไฟฟ้ากระแสสลับได้
2. ผลการวิเคราะห์หาค่าดัชนีบิดซึ่งคุณภาพทางไฟฟ้า พบว่าเมื่อค่ามอดดูเลชันอินเด็กซ์เพิ่มขึ้น ค่า THD_V , THD_i , และ DF จะมีค่าลดลง ซึ่งผลจากการทดลองเป็นไปตามทฤษฎี
3. จากการวิเคราะห์โดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์ม พบว่ามีฮาร์โมนิกส์เกิดขึ้นในลำดับสูง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีของสัญญาณเอาต์พุต

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำโครงการ

1. รูปคลื่นสัญญาณของวงจรควบคุมที่ใช้ในการสร้าง PWM มีความผิดเพี้ยนเกิดขึ้นเนื่องอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีค่าคลาดเคลื่อน เช่น ตัวต้านทาน, แหล่งจ่ายไฟ เป็นต้น จึงทำให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น
2. วงจรที่ใช้ในการขับเคลื่อนไม่สามารถขับเคลื่อนได้ เนื่องจากแรงดันมีค่าไม่สูงพอ จึงควรศึกษาและเลือกใช้วงจรขับที่สามารถทำงานที่แรงดันสวิตซ์ซึ่งสูงๆ ได้

5.3 แนวทางการพัฒนาโครงการต่อไป

1. การทดลองในโครงการนี้สามารถขับแรงดันเอาต์พุตได้ 24 โวลต์ ดังนั้นหากจะนำไปใช้งานกับโหลดที่แรงดันสูงขึ้น จะต้องนำแรงดันเอาต์พุตไปผ่านหม้อแปลงแบบ Step - up เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ จึงจะสามารถใช้กับโหลดที่แรงดันสูงขึ้นได้
2. การทดลองในโครงการนี้ ได้ทำการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดใหญ่เกินไป จึงไม่สะดวกที่จะนำไปใช้งานจริง ดังนั้นหากต้องการนำไปใช้งานจริง จะต้องทำการออกแบบวงจรให้มีขนาดเล็กลง เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ned M., Undeland T.M. and Robbins W.P. **Power Electronics Converters, Applications, and Design.** 2nd Ed. New York : John Wiley & Sons. 1995.
- [2] มงคล ทองสงคราม. **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง.** กรุงเทพมหานคร : รามากรพิมพ์. 2541.
- [3] วีระเชษฐ ชันเงิน. วุฒิพล ชาราธิรเศรษฐ์. **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง.** กรุงเทพมหานคร : ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง. 2547.
- [4] Narong A., Sanjiva R.B. and Kittiphan T.. **“Implementation of a Single-phase Unipolar Inverter Using DSP TMS320F241.”** AU Journal of Technology. 4, 8, April 2005. pp. 191-195.



ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ชื่อ นายภาณุพันธุ์ อินทะสุระ
 ภูมิลำเนา 399/4 หมู่ 16 ถ. พุทธชาติ ต.ชุมแพ อ.ชุมแพ จ.ขอนแก่น
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนชุมแพศึกษา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : hoylot@hotmail.com



ชื่อ นายชนพล สันธิวัฒน์ตระกูล
 ภูมิลำเนา 120 หมู่ 1 ต.หนองบัว อ.ภูเรือ จ.เลย
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสวรรคค่อนันต์วิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : NoName_GearX@hotmail.com



ชื่อ นายมนู เกตุครุฑ
 ภูมิลำเนา 35 หมู่ 5 ต.ท่าเสา อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอุตรดิตถ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : pptt496@hotmail.com