

เตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง
โดยใช้ฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม 2
HIGH FREQUENCY INDUCTION COOKING USING HALF BRIDGE
SERIES RESONANT INVERTER 2

นายพงศกร	ทองยัง	รหัส	42362525
นางสาวสิริมา	วิสิทธิ์	รหัส	42362665
นายเกียรติก้อง	คำแก้ว	รหัส	42362723

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2545

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 25 / พ.ค. 2553
เลขทะเบียน..... 5607318
เลขเรียกหนังสือ..... นท.....
มหาวิทยาลัยนเรศวร พ 11201

2545



ใบรับรองโครงการงานวิจัย

หัวข้อโครงการ	เคาหุงต้มเหนียวนำความถี่สูง โดยใช้ฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์		
	แบบอนุกรม 2		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายพงศกร	ทองซัง	รหัส 42362525
	นางสาวสิริมา	วิสิทธิ์	รหัส 42362665
	นายเกียรติ์ก้อง	คำแก้ว	รหัส 42362723
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุพรรณนิกา	ยังอยู่	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ศุภวรรณ	คำคงศักดิ์	
สาขา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2545		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะกรรมการสอบ โครงการงานวิจัย

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ยงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง)
.....กรรมการ
(อาจารย์สุพรรณนิกา ยังอยู่)
.....กรรมการ
(อาจารย์ศุภวรรณ คำคงศักดิ์)
.....กรรมการ
(อาจารย์พรพิศุทธิ์ วรจิรันตน)
.....กรรมการ
(อาจารย์นิพัทธ์ จันทรมินทร์)

หัวข้อโครงการ	เตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง โดยใช้ฮอลล์ฟริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม 2		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายพงศกร	ทองยัง รหัส	42362525
	นางสาวสิริมา	วิสิทธิ์ รหัส	42362665
	นายเกียรติก้อง	คำแก้ว รหัส	42362723
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุพรรณนิภา	ยังอยู่	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์สุภวรรณ	คำคงศักดิ์	
สาขา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2545		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและพัฒนา เตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง โดยใช้ฮอลล์ฟริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม การพัฒนาทำโดยการใช้ Soft Start ซึ่งประกอบด้วย รีเลย์ตัวต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ เพื่อป้องกันการเกิดกระแสช๊อตขณะเริ่มต้นการทำงาน นอกจากนี้ยังได้ศึกษาวิธีการปรับปรุงสัญญาณเพื่อให้ชิ้นงานมีเสถียรภาพมากขึ้น

ผลที่ได้จากโครงการนี้ คือ เตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงที่ให้ความร้อนได้เร็วขึ้นกว่าเดิม มีอายุการใช้งานสูง ขึ้น และมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย

Project Title HIGH FREQUENCY INDUCTION COOKING USING HALF
BRIDGE SERIES RESONANT INVERTER 2

Name Mr. Pongsakorn Tongyoung ID. 42362525
Miss Sirima Wisit ID. 42362665
Mr. Kiatkong khamkaew ID. 42362723

Project Advisor Miss Supannika Youngyou

Co-Project Advisor Miss Supawan Khamkhongsak

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic Year 2002

Abstract

This project is high frequency induction cooking study and development, using half bridge series resonant inverter. It is developed by soft start circuit which has relay, R and L ; for protected inrush current. Moreover we studied signal application method which made it is stable.

Target of this project is a induction cooking that is boiled fast and have long life.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และคณะอาจารย์
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่กรุณาแนะนำให้คำปรึกษา ขอบคุณอาจารย์สุชาติ เข้มแน่น
และครูช่าง ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ทั้งคำปรึกษา สถานที่และอุปกรณ์ในการทำงาน
ขอขอบคุณที่หนึ่ง คณะวิทยาศาสตร์และขอขอบคุณที่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ชาวไฟฟ้าที่คอยให้กำลังใจ
ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นายพงศกร ทองยัง
นางสาวสิริมา วิสิทธิ์
นายเกียรติก้อง คำแก้ว



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 หลักการและเหตุผล	1
1.3 ขอบข่ายงาน	1
1.4 กิจกรรมดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 งบประมาณ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นและหลักการควบคุม	
2.1 วงจรซอฟต์แวร์	3
2.2 วงจรเรียงกระแส	3
2.3 วงจรอินเวอร์เตอร์	12
2.4 หลักการเรโซแนนซ์	18
2.5 หลักการพื้นฐานของวงจร	21
2.6 เส้นใยของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์	24
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแม่เหล็กและไฟฟ้า	25

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบ	
3.1 ซอฟต์แวร์	30
3.2 วงจรเรียงกระแส	33
3.3 Inverter & Resonant Circuit	33
3.4 Matching Transformer	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 ผลการทดลอง	41
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	57
4.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	58
ภาคผนวก	
เอกสารอ้างอิง	
ประวัติผู้เขียนโครงการ	



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 เปรียบเทียบระยะเวลาในการเคี้ยวและอุณหภูมิของหม้อแต่ละชนิด	33
3.2 แกนเฟอร์ไรต์ของบริษัทต่างๆ	37
3.3 แสดงแผ่นข้อมูลของสายที่ใช้พันหม้อแปลง	37
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการคัมน้ำใช้แรงคั้นและความถี่ต่างกัน	43
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการคัมน้ำโดยใช้ความถี่ต่างกัน	44
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการคัมน้ำโดยใช้ความถี่ต่างกัน	46
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการคัมน้ำโดยใช้ความถี่ที่ 22 kHz	47



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	วงจรแปลงผัน AC เป็น DC แบบครึ่งคลื่นเฟสเดียว	4
2.2a	วงจรแปลงผันแบบกึ่งเฟสเดียว	5
2.2b	รูปคลื่นวงจรการแปลงผันไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรงแบบกึ่งเฟสเดียว	6
2.3	วงจรแปลงผันแบบเต็มคลื่น	8
2.4	วงจรแปลงผันแบบเต็มคลื่น 2 วงจร	10
2.5	วงจรอินเวอร์เตอร์พื้นฐานที่ต่อกับโหลดความต้านทาน	13
2.6	การกำเนิดสัญญาณทรigger ที่เกทและแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เฟสเดียว	14
2.7	สัญญาณทรigger ที่เกท	16
2.8	สัญญาณทรigger ที่เกทซึ่งเกิดจากการเปรียบเทียบของสัญญาณอ้างอิง	16
2.9	กราฟแสดงลักษณะการตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรเรโซแนนซ์	18
2.10	วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม	19
2.11	กราฟความสัมพันธ์ของเส้นโค้งกับความถี่	21
2.12	วงจรรวมของวงจรร้อยย	22
2.13	วงจรซอฟต์แวร์	22
2.14	ภาพขามอสเฟต	23
2.15	กราฟค่าความจุของตัวเก็บประจุในตัวมอสเฟต	23
2.16	กระแสไฟฟ้าในวงแหวน	25
2.17	แรงดันไฟฟ้าสร้างกระแสในวงจรไฟฟ้า	25
2.18	สนามแม่เหล็กของลวดค้ำนำ	26
2.19	ความสัมพันธ์ของระหว่างทิศทางของกระแสและเส้นแรงแม่เหล็ก	27
2.20	ลักษณะกระแสเหนี่ยวนำ	27
2.21	ขดลวดที่พันเพิ่มขาของแกนอีกข้างหนึ่ง	29

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1	รูปการทำงานของวงจร	30
3.2	วงจร soft start	30
3.3	วงจรเรียงกระแส	31
3.4	DC Supply	31
3.5	วงจรสร้างพัลส์	32
3.6	วงจรเคคไทม์	32
3.7	วงจรขับเคลื่อนโดยใช้ IR 2110	32
3.8	วงจรกำลัง โดยใช้ IRF 460	34
4.1	กราฟจากการทดลอง	38
4.2	แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรถ่ายพัลส์	39
4.3	สัญญาณที่ได้จากวงจรถ่ายเคคไทม์	40
4.4	สัญญาณวงจรถ่ายขับเคลื่อน	41
4.5	กราฟแสดงการทำงานของหม้อต้มที่สภาวะต่างๆ	44
4.6	กราฟแสดงการทำงานของหม้อต้มที่ความถี่ต่างๆ	45
4.7	กราฟแสดงการทำงานของเตาหุงต้มในช่วงความถี่ 22 kHz - 25 kHz	47
4.8	แสดงการทำงานของเตาหุงต้มที่ความถี่ 22 kHz	48

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบัน การผลิตอุปกรณ์เครื่องใช้ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ได้เกิดขึ้นอย่างมากมาย เพื่อสนองความต้องการของผู้บริโภค โดยมีหลักสำคัญ คือ ความสะดวก ปลอดภัย ขนาดเล็กกะทัดรัด ราคาถูก และมีประสิทธิภาพสูงก็เป็นอีกสิ่งหนึ่ง ที่ได้พัฒนาอย่างต่อเนื่อง เตาหุงต้มโดยวิธีการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็ก เป็นสิ่งหนึ่งที่ได้รับการนิยมน้อยแต่แพร่หลายในนานาประเทศ เพราะสามารถให้ความร้อนโดยไม่มีเปลวไฟ คว้นไฟ ใช้งานและมีคุณภาพ โครงการฉบับนี้นำเสนอ เตาหุงต้มเหนี่ยวนำซึ่งใช้วงจรฮาร์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ควบคู่ไปกับหม้อแปลง MATCHING ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกำลังความถี่สูง เพื่อให้เตาหุงต้มมีอุณหภูมิสูงอย่างรวดเร็ว และสามารถลดการสูญเสียเนื่องจากหม้อแปลง MATCHING อีกด้วย

1.2 หลักการและเหตุผล

เตาหุงต้มเหนี่ยวนำ เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนชนิดหนึ่ง สามารถใช้หลักการสร้างความร้อนแบบเหนี่ยวนำความถี่สูงได้ โดยใช้อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม

เพื่อเป็นการพัฒนาให้เตาหุงต้มเหนี่ยวนำมีความเหมาะสมตรงตามความต้องการของผู้ใช้ให้ได้มากที่สุดเราจึงนำอินเวอร์เตอร์มาใช้ร่วมกับหม้อแปลง MATCHING เพื่อเพิ่มกระแส ความถี่ และความเข้มของสนามแม่เหล็ก แล้วนำมาต่อเข้ากับขดลวดเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดความร้อน

ดังนั้น จึงได้ออกแบบเตาหุงต้มเหนี่ยวนำที่สามารถปรับความถี่ เพื่อให้ได้อุณหภูมิตามความต้องการ ในระยะเวลาที่สั้น โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำของขดลวดเหนี่ยวนำนี้ซึ่งเป็นการเปลี่ยน พลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อน

1.3 ขอบข่ายงาน

1. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง วงจรควบคุม วงจรเรโซแนนซ์ หม้อแปลง MATCHING การพันขดลวดเหนี่ยวนำ ทฤษฎีสานแม่เหล็กไฟฟ้า การสูญเสียพลังงานภายในขดลวด

2. สร้างวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง วงจรควบคุม หม้อแปลง MATCHING และขดลวดเหนี่ยวนำที่มีประสิทธิภาพสูง

3. เตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงสามารถปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นได้ตามความต้องการ

1.4 กิจกรรมดำเนินงาน

กิจกรรม	วัน เดือน ปี										
	พ.ย. 44	ธ.ค. 44	ม.ค. 45	ก.พ. 45	มี.ค. 45	เม.ย. 45	พ.ค. 45	มิ.ย. 45	ก.ค. 45	ส.ค. 45	ก.ย. 45
1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูล	←→										
2. ออกแบบวงจร		←→									
3. ต่อวงจร				←→							
4. วิเคราะห์ผล					←→						
5. ตรวจสอบจุดบกพร่อง						←→					
6. แก้ไข							←→				
7. พัฒนาให้ดีขึ้น								←→			
8. สรุปและทำ paper											←→

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สร้างเตาหุงต้มเหนียวนำความถี่สูงได้
2. เป็นแนวทางในการพัฒนาเตาหุงต้มเหนียวนำความถี่สูงให้ดียิ่งขึ้น
3. ให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง โดยใช้วงจรเรโซแนนซ์ RLC หม้อแปลง MATCHING การพันขดลวดเหนียวนำทฤษฎีเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า การสูญเสียพลังงานในขดลวดเหนียวนำ

1.6 งบประมาณ

ค่าอุปกรณ์การสร้างเตาหุงต้มเหนียวนำรวม

3,000 บาท

บทที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้นและหลักการควบคุม

2.1 วงจรซอฟต์แวร์

เนื่องจาก การป้อนไฟเข้าไปในวงจร อาจมีกระแสไหลเข้าไปในวงจรมาก ในขณะที่เริ่มเปิดใช้งานซึ่งอาจทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในเสียหายได้ จึงต้องมีการป้องกันในส่วนนี้เพื่อลดกระแสขณะทำการสับสวิทช์ โดยการ Close circuit breaker โดยกระแสจะผ่านตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำจะเกิดการจำกัดกระแสเกิดขึ้น เนื่องจากตัวเหนี่ยวนำไม่สามารถเปลี่ยนแปลงกระแสทันทีทันใดได้และใช้ Delay Timer Contact เพื่อที่จะให้วงจร Shot circuit ที่ตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำเพื่อที่จะให้กระแสไหลผ่านได้ตามปรกติ ซึ่งช่วยลดปัญหาไฟกระชากได้ระดับหนึ่ง แต่กระแสที่ได้ อาจมีค่าน้อยกว่าปรกติในระยะหนึ่งเนื่องจากกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ทันทีทันใด

2.2 วงจรเรียงกระแส

การแปลงผันไฟกระแสสลับเป็น ไฟกระแสตรงเป็นการเรียงกระแสที่ถูกควบคุม (Controlled rectifiers) คือ การควบคุมแรงดันเอาต์พุตด้วยการควบคุมมุมทริกเกอร์หรือมุมจุดฉนวน (α) ของ SCR แบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามแหล่งจ่ายอินพุต คือ เฟสเดียวและ 3 เฟสทั้ง 2 ประเภท ยังแบ่งย่อยออกเป็น 4 แบบ

1. การแปลงผันแบบครึ่งคลื่น
2. การแปลงผันแบบกึ่ง
3. การแปลงผันแบบเต็มคลื่น
4. การแปลงผันแบบคู่

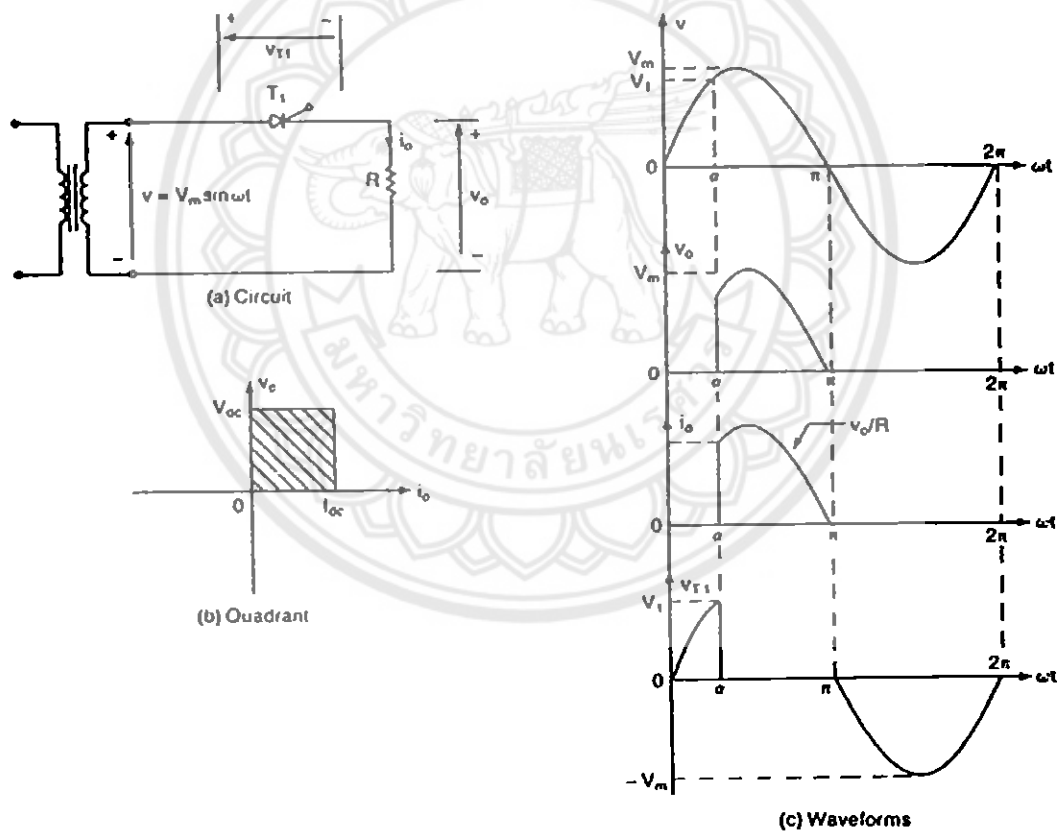
การอธิบายค่าพารามิเตอร์แสดงสมรรถภาพของการแปลงผันไฟกระแสสลับเป็น ไฟกระแสตรง คล้ายกับค่าพารามิเตอร์แสดงสมรรถภาพของการเรียงกระแสด้วยไดโอดที่มีโหลด R-L แต่เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นในที่นี้จึงสมมุติค่าอินดักแตนซ์ของ โหลดมีค่าสูงพอที่จะจ่ายกระแส(เกิดจากพลังงานสะสมในตัวเอง) ให้กับโหลดจนทำให้กระแสที่โหลดมีความต่อเนื่อง หรือกระแสที่โหลดไหลอย่างต่อเนื่อง

2.2.1 การแปลงผันแบบครึ่งคลื่นเฟสเดียว (Single phase half wave converter)

การแปลงผันไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรง แบบครึ่งคลื่น เป็นการควบคุมช่วงคลื่นด้านบวกของรูปคลื่นแรงดัน อินพุตให้เป็นแรงดันเอาต์พุต

รูปที่ 2.1a แสดงวงจรแปลงไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรง แบบครึ่งคลื่นเฟสเดียว ที่ต่อกับโหลดความต้านทาน

จากรูปที่ 2.1a ระหว่างครึ่งไซเคิลด้านบวกของแรงดันอินพุต SCR(T_1)ได้รับการไบอัสตรง และนำกระแสที่ $\omega t = \alpha$ (มุมทริกเกอร์) ทำให้แรงดันอินพุตส่วนนี้เป็นแรงดันเอาต์พุตตลอดครึ่งคลื่นเมื่อแรงดันอินพุตเริ่มเปลี่ยนเป็นลบที่ $\omega t = \pi$ SCR(T_1)ได้รับไบอัสกลับ T_1 จึงปิด



รูปที่ 2.1 วงจรการแปลงผันไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรงแบบครึ่งคลื่น

รูปที่ 2.1b แสดงคุณลักษณะ V-I ของโหลดสังเกตุได้ว่าการแปลงผันแบบครึ่งคลื่นเฟสเดียว จะทำงานได้ควอแตรนทีเดียว นั่นคือจะให้แรงดันเอาต์พุต (v_o) และกระแสเอาต์พุต (i_o) เป็นบวก ส่วนรูปที่ 2.1c แสดงรูปคลื่นของแรงดันอินพุต (v),แรงดันเอาต์พุต (v_o),กระแสเอาต์พุต (i_o) หรือ กระแสที่โหลดและแรงดันที่ SCR (v_{T1})

จำไว้ว่า : การแปลงผันประเภทนี้ไม่เหมาะที่จะใช้ในอุตสาหกรรม เพราะรูปคลื่นเอาต์พุตที่ได้มีริปเปิล (Ripple) ปนอยู่มาก

ถ้า v_m เป็นแรงดันอินพุตพิก หรือค่าพิกของแรงดันอินพุต หาค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตได้

ดังนี้

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{V_m}{2\pi} \left[-\cos \omega t \right]_{\alpha}^{\pi} \\ &= \frac{V_m}{2\pi} [1 + \cos \alpha] \end{aligned} \quad (2-1)$$

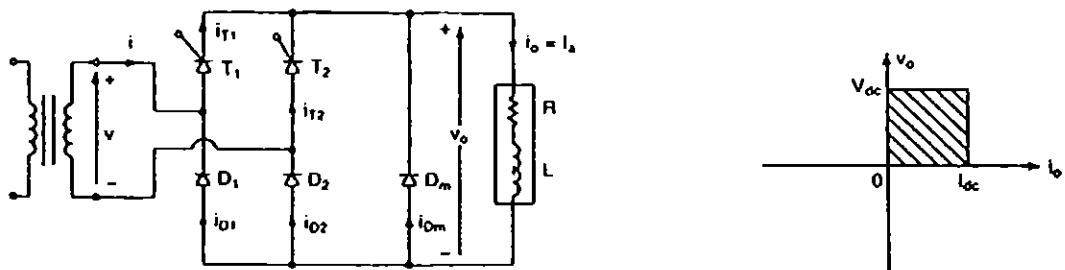
หาค่า rms ของแรงดันเอาต์พุตได้จาก

$$\begin{aligned} V_{rms} &= \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{V_m^2}{4\pi} \int_{\alpha}^{\pi} [1 - \cos 2\omega t] d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{V_m}{2} \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (2-2)$$

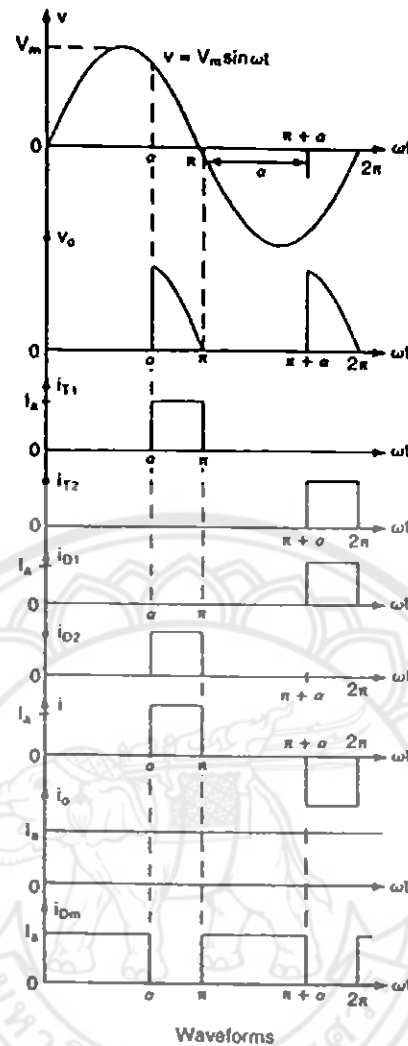
2.2.2 การแปลงผันแบบกึ่งเฟสเดียว (Single Phase Semiconverters)

การแปลงผันแบบกึ่งเฟสเดียว เป็นการควบคุมในช่วงครึ่งคลื่นด้านบวก ผสมกับครึ่งคลื่นด้านลบของแรงดันอินพุตให้เป็นแรงดันเอาต์พุต

การแปลงผันแบบกึ่งเฟสเดียว มีลักษณะดังรูปที่ 2.2a



รูปที่ 2.2a วงจรแปลงผันแบบกึ่งเฟสเดียว



รูปที่ 2.2b รูปคลื่นวงจรการแปลงผันไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรงแบบกึ่งเฟสเดียว

จากรูป 2.2 ระหว่างครึ่งไซเคิลด้านบวกของรูปคลื่นแรงดันอินพุต T_1 ได้รับไบอัสตรง และนำกระแสที่ $\omega t = \alpha$ โหลดจึงได้รับแรงดันอินพุต โดยผ่าน T_1 และ D_2 ระหว่างช่วงเวลา $\alpha \leq \omega t \leq \pi$ ระหว่างครึ่งไซเคิลด้านลบของแรงดันพรีวิลถึงไดโอด (D_m) ได้รับไบอัสตรงที่ $\pi \leq \omega t \leq (\pi + \alpha)$ จึงนำกระแส แล้วสร้างกระแสต่อเนื่องไปยังโหลด ดังนั้น กระแสที่โหลดจึงได้รับการถ่ายโอนจาก T_1 และ D_2 มายัง D_m (ขณะที่ T_1 กับ D_2 ปิด) หลังจากนั้น T_2 จะได้รับไบอัสตรง และนำกระแสที่ $\omega t = \pi + \alpha$ ซึ่งจะไบอัสกลับ D_m ให้ปิดส่งผลให้โหลดได้รับแรงดันอินพุต โดยผ่าน T_1 และ D_1

รูป 2.2b แสดงคุณลักษณะ V-I ของโหลด สังเกตว่าการแปลงผันแบบกึ่งเฟสจะทำงานได้ควอแครนท์เดียว นั่นคือ แรงดันเอาต์พุต และกระแสเอาต์พุตเป็นบวก ส่วนรูป 2.2c แสดงรูปคลื่นของแรงดันอินพุต, แรงดันเอาต์พุต, กระแสเอาต์พุต และกระแสที่ไหลผ่าน T_1 , T_2 , D_1 และ D_2

การแปลงผันประเภทนี้มี Power Factor ต่ำกว่า รูป 2.1 เนื่องจาก D_m จะทำให้กระแสที่โหลดไหลอย่างค่อเนื่อง และใช้ได้กับงานที่มีกำลังไฟฟ้าสูงประมาณ 15 kW

หาค่าแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยได้จาก

$$v_{dc} = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2V_m}{2\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\pi}$$

$$= \frac{V_m}{\pi} [1 + \cos \alpha] \quad (2-3)$$

นอกจากนี้

$$V_{rms} = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t d(\omega t) \right]^{1/2} = \left[\frac{V_m^2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (1 - \cos 2\omega t) d(\omega t) \right]^{1/2}$$

$$= \frac{V_m}{\sqrt{2}} \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{1/2} \quad (2-4)$$

กระแสของรูปคลื่นองค้ประกอบพื้นฐาน (I_1) มีค่าเป็น

$$I_1 = \frac{2\sqrt{2}I_m}{\pi} \cos \frac{\alpha}{2} \quad (2-5)$$

เมื่อ I_1 เป็นกระแสที่โหลด เราจะได้กระแสอินพุต rms มีค่าเป็น

$$I_i = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_1^2 d(\omega t) \right]^{1/2} = I_1 \left(1 - \frac{\alpha}{\pi} \right)^{1/2} \quad (2-6)$$

จากสมการ HF = $\left[(I_i / I_1)^2 - 1 \right]^{1/2}$ หรือ

$$HF = \left[\frac{\pi(\pi - \alpha)}{4(1 + \cos \alpha)} - 1 \right]^{1/2} \quad (2-7)$$

จากสมการ

$$DF = \cos \phi_i = \cos \left(-\frac{\alpha}{2} \right) \quad (2-8)$$

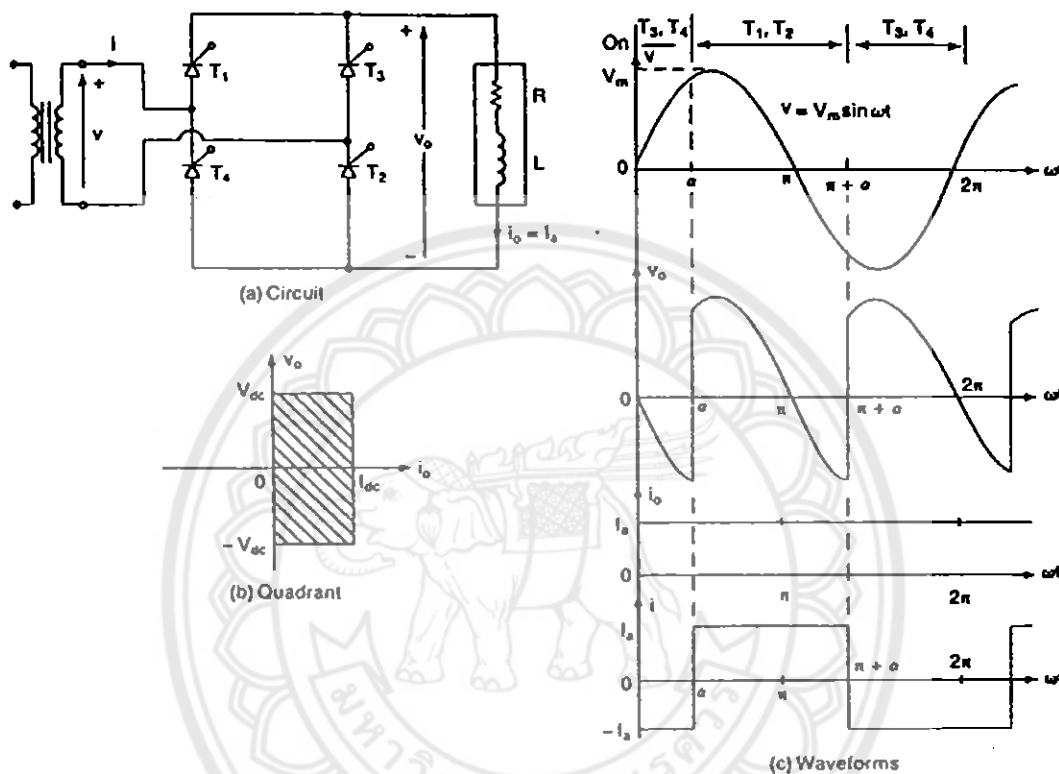
จากสมการ

$$PF = \frac{I_1}{I_i} \cos \frac{\alpha}{2} = \frac{\sqrt{2}(1 + \cos \alpha)}{[\pi(\pi - \alpha)]^{1/2}} \quad (2-9)$$

2.2.3 การแปลงผันแบบเต็มคลื่นเฟสเดียว (Single Phase Full Converters)

การแปลงผันแบบเต็มคลื่นเฟสเดียว เป็นการควบคุมทั้งช่วงด้านบวกและช่วงด้านลบของแรงดันอินพุตให้เป็นแรงดันเอาต์พุต

รูปที่ 2.3a แสดงวงจรแปลงผันแบบเต็มคลื่น ซึ่งใช้กับงานที่มีกำลังไฟฟ้าสูงถึง 15 kW



รูปที่ 2.3 วงจรแปลงผันแบบเต็มคลื่น

ระหว่างครึ่งไซเคิลด้านบวกของรูปคลื่นแรงดันอินพุต T_1 และ T_2 ได้รับไบอัสตรง จึงนำกระแสที่ $\omega t = \alpha$ เป็นผลให้โหลดต่อกับแหล่งจ่ายอินพุตผ่าน T_1 และ T_2 เนื่องจากโหลดเป็นอินดักทีฟ T_1 และ T_2 จึงสามารถนำกระแสอย่างต่อเนื่องภายใน $\omega t = \pi$ แม้ว่าแรงดันอินพุตจะเป็นลบ

ระหว่างครึ่งไซเคิลที่ด้านลบ T_1 และ T_2 ได้รับไบอัสกลับจึงปิดส่วน T_1 และ T_2 ได้รับไบอัสตรง จึงนำกระแส ดังนั้น กระแสที่โหลดถูกถ่ายโอนจาก T_1 และ T_2 ไปยัง T_3 และ T_4

รูปที่ 2.3b แสดงคุณลักษณะ V - i ของโหลดสังเกตว่าการแปลงผันแบบนี้จะทำงานได้ 2 ควอดแรนท์ นั่นคือ แรงดันเอาต์พุตอาจเป็นบวกหรือลบก็ได้ขึ้นอยู่กับค่า α แต่กระแสเอาต์พุตต้องเป็นบวกเท่านั้น

รูปที่ 2.3c แสดงรูปคลื่นแรงดันอินพุต (v), แรงดันเอาต์พุต (v_o), กระแสเอาต์พุต (i_o) และกระแสอินพุต (i)

ช่วงเวลาดังแต่ α ถึง π แรงดันอินพุต (v) และ i เป็นบวก วงจรแปลงผันจะสร้างกำลังไฟฟ้าไหลจากแหล่งจ่ายไปยังโหลดเราเรียกการแปลงผันทำงานที่ โหมดการเรียงกระแส (Rectification Mode)

ช่วงเวลาดังแต่ π ถึง $\pi + \alpha$ แรงดันอินพุต v เป็นลบและ i เป็นบวกกำลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับจากโหลดไปยังแหล่งจ่าย เราเรียกการแปลงผันทำงานที่ โหมดการย้อนกลับ (Inversion Mode)

หาค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตได้จาก

$$V_u = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2V_m}{2\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\pi+\alpha} = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha \quad (2-10)$$

$$V_m = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m^2 \sin^2 \omega t d(\omega t) \right]^{1/2} = \left[\frac{V_m^2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} (1 - \cos 2\omega t) d(\omega t) \right]^{1/2} \quad (2-11)$$

$$= \frac{V_m}{\sqrt{2}} = V_s$$

จากรูปที่ 2.3

$$I_s = \frac{2\sqrt{2}I_1}{\pi} \quad (2-12)$$

I_s หาได้โดยตรงจาก

$$I_s = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} I_1^2 d(\omega t) \right]^{1/2} = I_1 \quad (2-13)$$

จากสมการ

$$HF = \left[\left(\frac{I_s}{I_1} \right)^2 - 1 \right]^{1/2} \quad (2-14)$$

จากสมการ

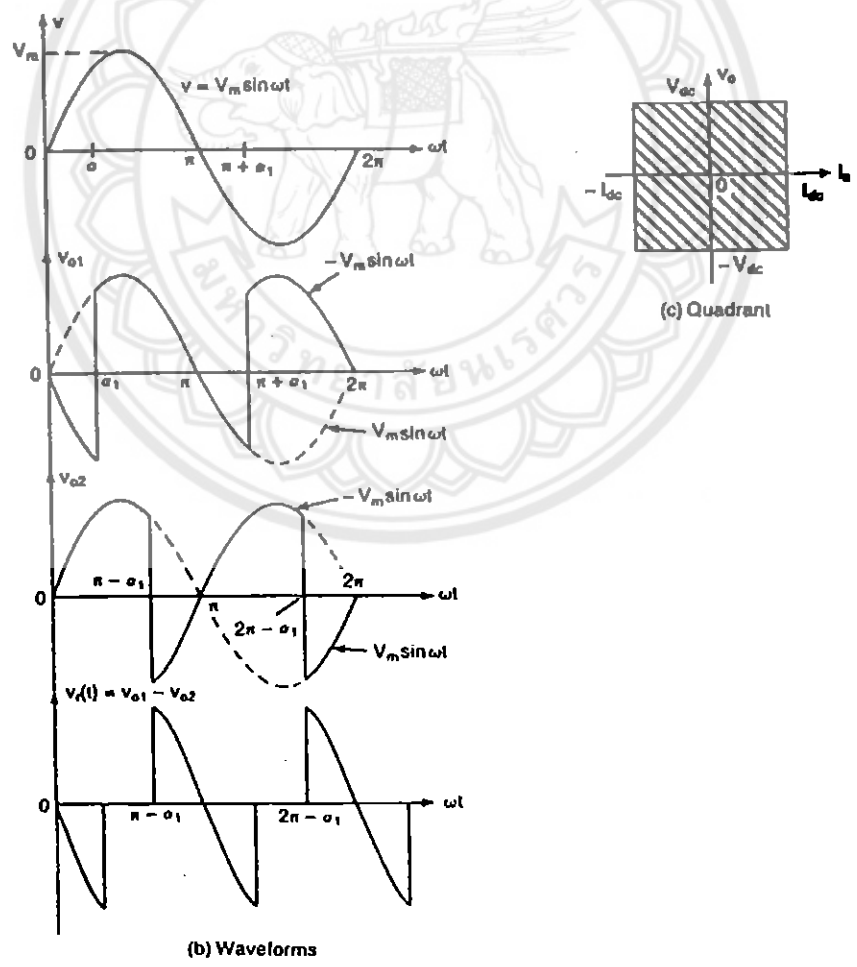
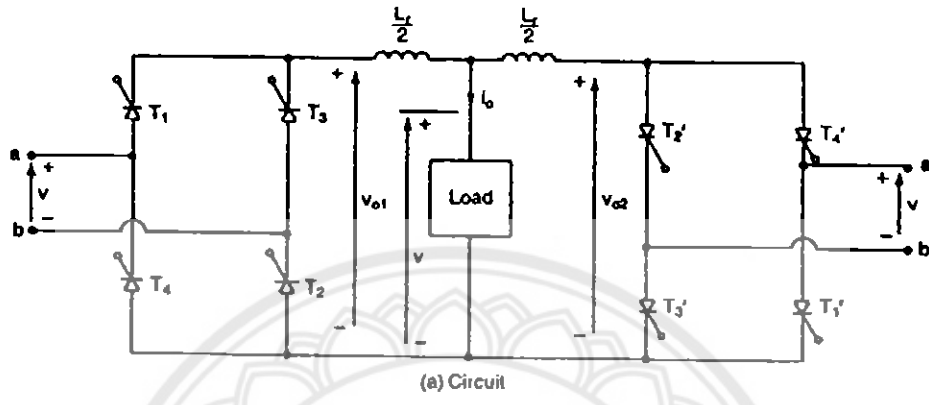
$$DF = \cos \phi_1 = \cos -\alpha \quad (2-15)$$

จากสมการ

$$PF = \frac{I_1}{I_s} \cos -\alpha = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cos \alpha \quad (2-16)$$

2.2.4 การแปลงผันแบบคู่เฟสเดียว (Single Phase Dual Converters)

ถ้าเราต่อวงจรแปลงผันแบบเต็มคลื่น 2 วงจร ในลักษณะหันส่วนหลังของวงจรเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 2.4a ได้การแปลงผันที่ทำงานได้ทั้ง 4 ควอดแรนท์ซึ่งเรียกว่าการแปลงผันแบบคู่เฟสเดียว การแปลงผันแบบนี้เหมาะกับการงานขับเคลื่อนความเร็วที่เปลี่ยนแปลงได้และมีกำลังไฟฟ้าสูงกว่า 15 kW



รูปที่ 2.4 วงจรแปลงผันแบบเต็มคลื่น 2 วงจร

กำหนดให้ α_1 และ α_2 เป็นมุมทริกเกอร์ของวงจรแปลงผัน 1 และ 2 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตที่สอดคล้องกันคือ v_{dc1} และ v_{dc2} เราสามารถควบคุม α_1 และ α_2 เพื่อให้วงจรแปลงผันวงจรหนึ่งทำงานเป็นการเรียงกระแส ส่วนอีกวงจรหนึ่งทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์

รูปที่ 2.4b แสดงรูปคลื่นเอาต์พุตของวงจรแปลงผันทั้งสอง สังเกตว่า แรงดันเอาต์พุตทั้งสองมีค่าเท่ากัน ส่วนรูปที่ 2.4c แสดงควอแตรนต์ของการทำงาน

จากสมการ

$$V_{dc1} = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha_1 \quad (2-17)$$

และ

$$V_{dc2} = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha_2 \quad (2-18)$$

เราทราบว่า วงจรแปลงผันวงจรหนึ่งทำงานเป็น การเรียงกระแส ส่วนอีกวงจรหนึ่งเป็นอินเวอร์เตอร์ จึงทำให้ $V_{dc1} = V_{dc2}$ หรือ $\cos \alpha_2 = -\cos \alpha_1$

$$\text{ดังนั้น} \quad \alpha_2 = \pi - \alpha_1$$

เนื่องจากค่าชั่วขณะของแรงดันเอาต์พุตของวงจรแปลงผันทั้งสอง (v_{o1} และ v_{o2}) ต่างเฟสกัน 180° องศา (out of phase) และมักมีค่าไม่เท่ากัน จึงมีผลให้เกิดกระแสหมุนวน (Circulating Current ; i_c) ระหว่างวงจร กระแสหมุนวนนี้จะไม่ไหลผ่านโหลดและขึ้นอยู่กับรีแอคแตนซ์ของกระแสหมุนวน [Circulating Current Reactance ; L_c ซึ่งเกิดจากรีแอคเตอร์ระหว่างกลุ่ม (Intergroup Reactor)] ดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} i_c &= \frac{1}{\omega L_c} \int_{2\pi-\alpha_1}^{\omega t} v_1 d(\omega t) - \frac{1}{\omega L_c} \int_{2\pi-\alpha_1}^{\omega t} (v_{o1} - v_{o2}) d(\omega t) \\ &= \frac{V_m}{\omega L_c} \left[\int_{2\pi-\alpha_1}^{\omega t} -\sin \omega t d(\omega t) - \int_{2\pi-\alpha_1}^{\omega t} \sin \omega t d(\omega t) \right] \\ &= \frac{2V_m}{\omega L_c} (\cos \omega t - \cos \alpha_1) \end{aligned} \quad (2-19)$$

ค่าพีคของกระแสหมุนวน ($I_c(\max)$) เกิดขึ้นเมื่อ $\cos \omega t = 1$ จึงมีค่าเป็น

$$I_c(\max) = \frac{2V_m}{\omega L_c} (1 - \cos \alpha_1) \quad (2-20)$$

จำไว้ว่า : ถ้า V_{o1} และ V_{o2} ซึ่งเป็นแรงดันเอาต์พุตชั่วขณะของวงจรแปลงผัน 1 และ 2 ตามลำดับมีค่าเท่ากัน จะเป็นผลให้ $i_r = 0$

กระแสหมวนวนมีผลต่อวงจรแปลงผันแบบคู่ ดังนี้คือ

1. กระแสหมวนวนทำให้การนำกระแสของวงจรแปลงผันทั้งสองมีลักษณะต่อเนื่องโดยไม่ขึ้นกับโหลด
2. เนื่องจาก วงจรแปลงผันวงจรหนึ่งทำงานเป็นวงจรเรียงกระแส ส่วนอีกวงจรหนึ่งทำหน้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์จึงทำให้เกิดการไหลของกำลังไฟฟ้าในทิศทางใดทิศทางหนึ่งที่เวลาใดเวลาหนึ่งได้
3. เนื่องจากวงจรแปลงผันทั้งสองมีการนำกระแสอย่างต่อเนื่องการตอบสนองขณะเปลี่ยนแปลงจากการทำงานในควอดแรนต์หนึ่งมาเป็นอีกควอดแรนต์หนึ่งย่อมเร็วขึ้น

2.3 วงจรอินเวอร์เตอร์

วงจรอินเวอร์เตอร์แบ่งกว้างๆ ได้ 2 ประเภท คือ

1. การอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว
2. การอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

นอกจากนี้อินเวอร์เตอร์ยังแบ่งตามลักษณะ โครงสร้าง การนำไปใช้งานได้ 2 ประเภทคือ

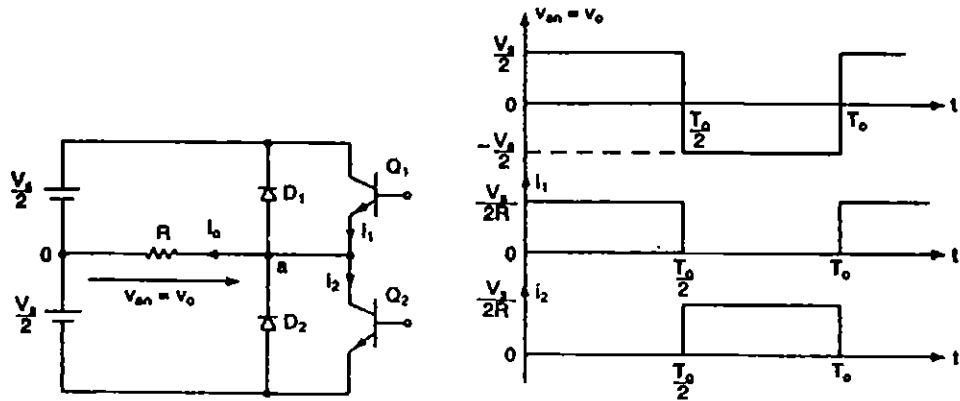
1. การอินเวอร์เตอร์แบบป้อนแรงดัน (Voltage Source Inverters :VSI)
2. การอินเวอร์เตอร์แบบป้อนกระแส (Current Source Inverters :CSI)

2.3.1 หลักการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์

เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ จะใช้ทรานซิสเตอร์กำลัง(Power Transister) ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ของอินเวอร์เตอร์ ทั้งนี้เพราะการหยุดนำกระแสหรือการปิดทรานซิสเตอร์ทำได้โดยหยุดจ่ายกระแสที่ขั้วเบสเท่านั้น

วงจรอินเวอร์เตอร์พื้นฐานที่ต่อกับโหลดความต้านทานมีลักษณะดัง รูปที่ 2.5a สังเกตว่าอินเวอร์เตอร์นี้ประกอบไปด้วยขอปเปอร์ 2 ตัว

จากรูปที่ 2.5a ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ได้รับการออกแบบให้ทำงานที่เวลาต่างกัน นั่นคือเมื่อ Q_1 เปิดที่เวลา $t = 0$ และปิดที่ $t = T_0$ ทำให้แรงดันชั่วขณะคคร่อมโหลด $v_o = \frac{V}{2}$ และเมื่อ Q_2 เปิดที่เวลา $t = T_0/2$ และปิดที่ $t = T_0$ ทำให้แรงดันชั่วขณะคคร่อม $V_o = -\frac{V}{2}$ ดังรูป



รูปที่ 2.5 วงจรอินเวอร์เตอร์พื้นฐานที่ต่อกับ โหลดความต้านทาน

จากรูปที่ 2.5a ขณะทรานซิสเตอร์แต่ละตัวปิด จะเกิดแรงดันย้อนกลับมีค่าเป็น $\frac{V_s}{2}$ แทนที่จะเป็น V_s เราจึงเรียกอินเวอร์เตอร์นี้ว่า อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ครึ่ง (Half Bridge Inverters)

จากรูป 2.5b หาค่า rms ของแรงดันเอาต์พุตได้จาก

$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} \int_0^{T_o/2} \frac{V_s^2}{4} dt \right)^{1/2} = \frac{V_s}{2} \tag{2-21}$$

กรณีวงจรในรูปที่ 2.5a ต่อกับ โหลดอินดักทีฟ กระแสที่ไหลไม่สามารถเปลี่ยนแปลงตามแรงดันเอาต์พุตได้ทันที(ขึ้นอยู่กับ power factor ของ โหลด) นั่นคือ

ถ้า Q_1 ปิดที่เวลา $t = T_o/2$ กระแสที่ไหลจะไม่เป็นศูนย์ และยังคงไหลผ่านไดโอด D_2 , โหลดและแหล่งจ่าย dc ด้านล่าง (จนกระทั่งกระแสตกลงเป็นศูนย์)

ในทำนองเดียวกัน เมื่อ Q_2 ปิดที่เวลา $t = T_o$ กระแสที่ไหลยังคงไหลผ่านไดโอด D_1 , โหลดและแหล่งจ่าย dc ด้านบน อาจกล่าวได้ว่าขณะไดโอด D_1 หรือ D_2 นำกระแสมีการป้อนพลังงานที่เก็บไว้ใน L ของโหลดกลับไปยังแหล่งจ่าย dc เราจึงเรียกไดโอดเหล่านี้ว่า ไดโอดป้อนกลับ (Feedback Diode)

2.3.2 การควบคุมแรงดันของอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว(voltage control of single phase inverter)

การใช้งานอินเวอร์เตอร์ในอุตสาหกรรมหลายๆ ประเภทจำเป็นต้องควบคุมแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ด้วยเหตุผลดังนี้

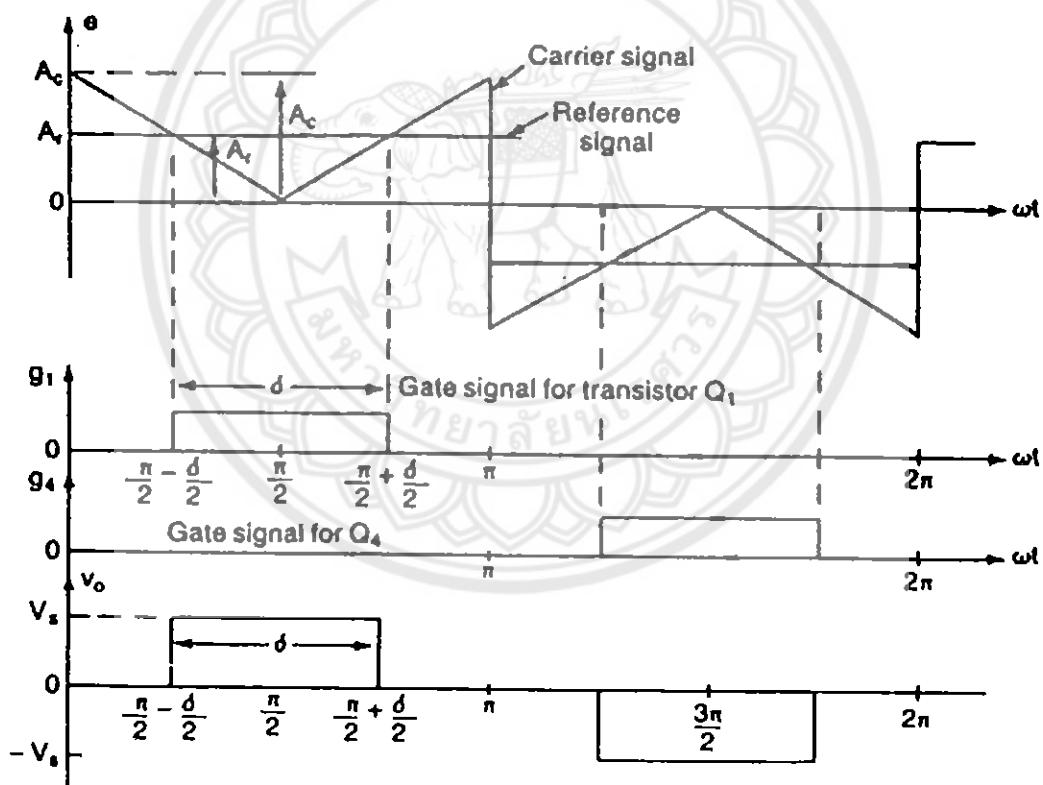
1. เพื่อเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุตกระแสตรงให้เป็นไปตามความต้องการ
2. เพื่อปรับแต่งแรงดันของอินเวอร์เตอร์

3. เพื่อให้แรงดันคงที่ตามความต้องการขณะควบคุมความถี่
วิธีการหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์คือการควบคุมการมอดูเลตตามความกว้างของแรงดันเอาต์พุต ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึง

- (1) การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบเดี่ยว
- (2) การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบหลายพัลส์
- (3) การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบไซน์

1. การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบเดี่ยว (single pulse width modulation)

การควบคุมการมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบเดี่ยวเป็นการควบคุมความกว้างของพัลส์แรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จำนวน 1 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล



รูปที่ 2.6 การกำเนิดสัญญาณทรานซิสเตอร์ที่เกทและแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เฟสเดี่ยว

รูปที่ 2.6 แสดงการกำเนิดสัญญาณทริกเกอร์ที่เกท และแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เฟสเดียว ตั้งแต่ว่า สัญญาณทริกเกอร์ที่เกทเหล่านี้ เกิดจากบริเวณจุดตัดกัน (ที่เกิดจากการเปรียบเทียบ) ระหว่างสัญญาณอ้างอิง (Reference Signal) รูปสี่เหลี่ยมขนาด A_r กับสัญญาณพาหะ (Carrier Signal) รูปสามเหลี่ยมขนาด A_c (การเปรียบเทียบของสัญญาณนี้อาศัยไอซี หรือวงจรสำหรับทำหน้าที่เป็นวงจรเปรียบเทียบ) โดยมีความถี่ของรูปคลื่นพาหะเป็นตัวกำหนดความถี่ของแรงดันเอาต์พุต

การปรับ A_r จาก 0 ถึง A_c ทำให้ความกว้างของพัลส์ (δ) เปลี่ยนแปลงจาก 0 ถึง 180° สำหรับอัตราส่วน A_r ต่อ A_c เป็นตัวแปรควบคุมที่เรียกว่ามีอดคูลชัน อินเด็กซ์ (Modulation Index; M) เขียนเป็นสมการได้เป็น

$$M = \frac{A_r}{A_c} \quad (2-22)$$

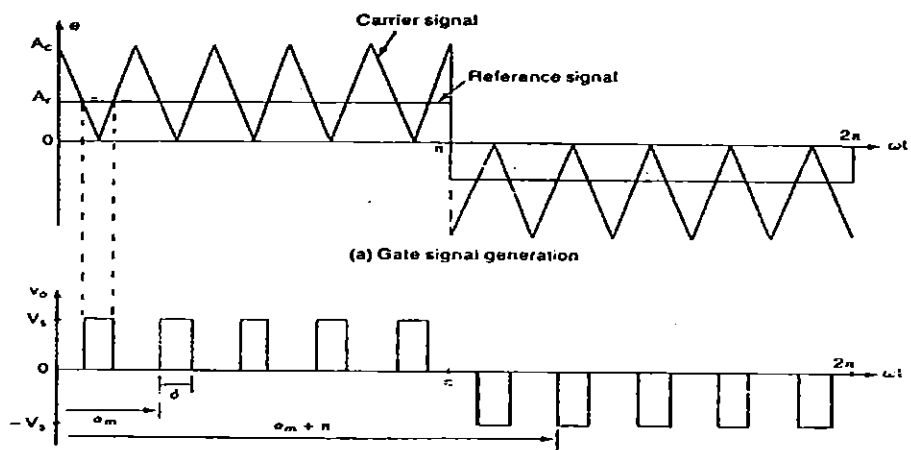
ค่า rms ของแรงดันเอาต์พุต หาได้จาก

$$V_o = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{(\pi-\delta)/2}^{(\pi+\delta)/2} V_c^2 d(\omega t) \right]^{1/2} = V_c \sqrt{\frac{\delta}{\pi}} \quad (2-23)$$

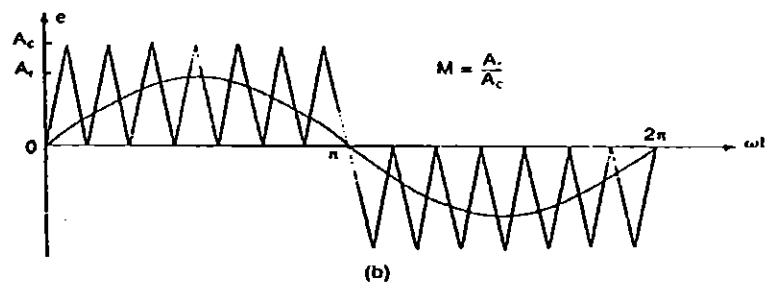
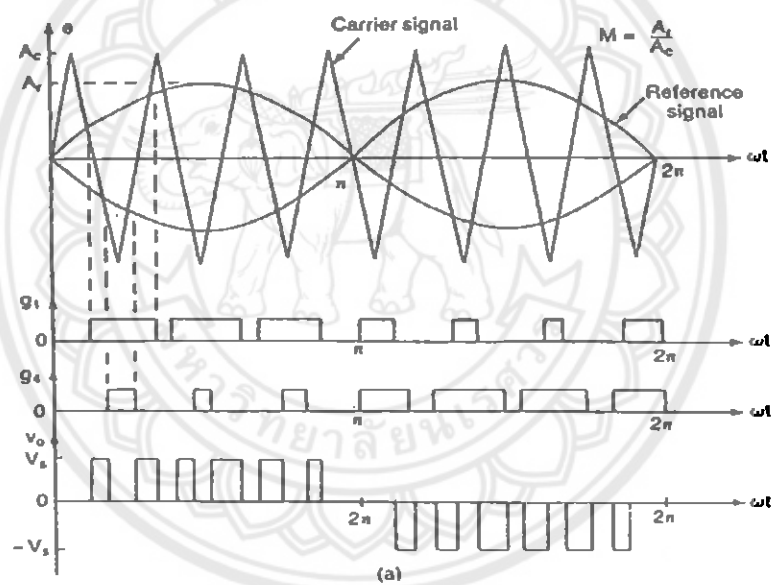
2. การมีอดคูลตามความกว้างพัลส์แบบหลายพัลส์ (Multiple Pulse Width Modulation)

การมีอดคูลตามความกว้างของพัลส์แบบหลายพัลส์ หรือ UPWM (Uniform Pulse Width Modulation) เป็นการทำให้จำนวนพัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิลของรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตมีจำนวนมากขึ้นกว่าเดิมและลดองค์ประกอบฮาร์โมนิกในรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุต

สัญญาณทริกเกอร์ที่เกท สำหรับใช้ในการเปิด และปิดทรานซิสเตอร์ของการมีอดคูลประเภทนี้เกิดจากบริเวณจุดตัดระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณพาหะ (ในอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เฟสเดียว) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 สัญญาณทริกเกอร์ที่เกต



รูปที่ 2.8 สัญญาณทริกเกอร์ที่เกตซึ่งเกิดจากการเปรียบเทียบของสัญญาณอ้างอิง

หาจำนวนพัลส์ต่อครึ่งไซเคิล (ρ) ได้จาก

$$\rho = \frac{f_c}{2f_o} \quad (2-24)$$

เมื่อ

f_c = ความถี่ของสัญญาณพาหะ

f_o = ความถี่ของเอาต์พุต

นอกจากนี้มีมอดูเลชัน อินเด็กซ์ (M) ยังเป็นตัวควบคุมแรงดันเอาต์พุต กล่าวคือ การเปลี่ยนของ M จาก 0 เป็น 1 ทำให้ความกว้างของพัลส์เปลี่ยนจาก 0 เป็น $\frac{\pi}{\rho}$ และแรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนจาก 0 ถึง V_o ถ้า δ เป็นความกว้างของแต่ละพัลส์ หาค่า rms ของแรงดันเอาต์พุตได้จาก

$$V_o = \left[\frac{2\rho}{2\pi} \int_{(\frac{\pi}{\rho}-\delta)/2}^{(\frac{\pi}{\rho}+\delta)/2} V_o^2 d(\omega t) \right]^{1/2} = V_o \sqrt{\frac{\rho\delta}{\pi}} \quad (2-25)$$

3. การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบไซน์ (Sinusoidal pulse width modulation ; SPWM)

สัญญาณทริกเกอร์ที่เกทซึ่งเกิดจากการเปรียบเทียบของสัญญาณอ้างอิง (รูปคลื่นไซน์) กับสัญญาณพาหะ (สามเหลี่ยม)

จากรูปที่ 2.8a สังเกตว่า สัญญาณอ้างอิงมี 2 สัญญาณ และมีมุมต่างเฟสกัน 180 องศา เป็นการยืนยันหลักการที่ว่า ทรานซิสเตอร์ที่อยู่ในสาขาเดียวกันนั้น ไม่สามารถนำกระแสในเวลาเดียวกันได้ นอกจากนั้นยังแสดงให้เห็นว่าสัญญาณทริกเกอร์ที่เกทและรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตได้อย่างไร

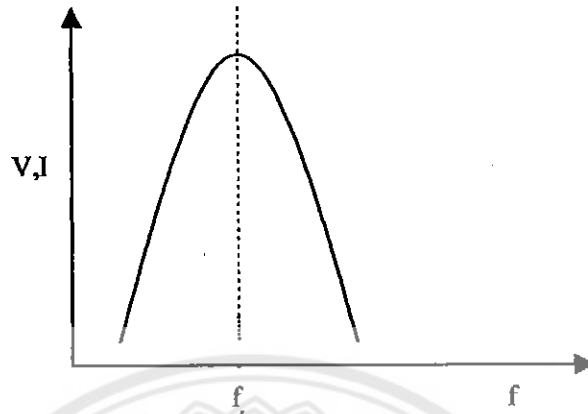
สำหรับรูปที่ 2.8b แสดงให้เห็นสัญญาณทริกเกอร์ที่เกิดจากสัญญาณพาหะทิศทางเดียวซึ่งจะสร้างสัญญาณทริกเกอร์ที่เกทและแรงดันเอาต์พุตคล้ายกับรูปที่ 2.7

ค่า rms ของแรงดันเอาต์พุตแปรค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง V_o โดยการปรับค่า M จาก 0 ถึง 1 นอกจากนี้ถ้ากำหนดให้ δ_m เป็นความกว้างของพัลส์ลำดับที่ m ก็จะสามารถหาค่า rms ของแรงดันเอาต์พุต ได้จาก

$$V_o = V_o \left(\sum_{m=1}^{\rho} \frac{\delta_m}{\pi} \right)^{1/2} \quad (2-26)$$

2.4 หลักการเรโซแนนซ์

วงจรเรโซแนนซ์ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่เป็น R,L,C โดยมีคุณลักษณะการตอบสนองเชิงความถี่



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงลักษณะการตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรเรโซแนนซ์

จากรูปจะเห็นได้ว่ามี การตอบสนองสูงสุดที่ความถี่ f_0 และจะมีการตอบสนองลดลงเมื่อความถี่เปลี่ยนไปทางซ้ายหรือขวาของความถี่นี้ เครื่องรับวิทยุหรือโทรทัศน์จะมีเส้นโค้งการตอบสนองสัญญาณแต่ละสถานี ที่ส่งสัญญาณตามที่ระบุในรูป เมื่อเครื่องรับตั้งหรือจูนวงจรเรโซแนนซ์ให้มีความถี่ตรงกับสถานีที่ส่งนั้นคือการจูนวงจรเรโซแนนซ์ของเครื่องรับให้มีความถี่ตรงกันใกล้เคียงกับความถี่ f_0 ของรูปกระบวนการจูนความถี่ที่ได้กล่าวมานี้จึงมีคำศัพท์เกี่ยวกับวงจรจูน (tuned circuit) เกิดขึ้น เมื่อมีการจูนความถี่จนทำให้มีการตอบสนองความถี่จนทำให้มีการตอบสนองสัญญาณสูงสุดที่ความถี่ f_0 เราจะเรียกความถี่ f_0 ว่า ความถี่เรโซแนนซ์

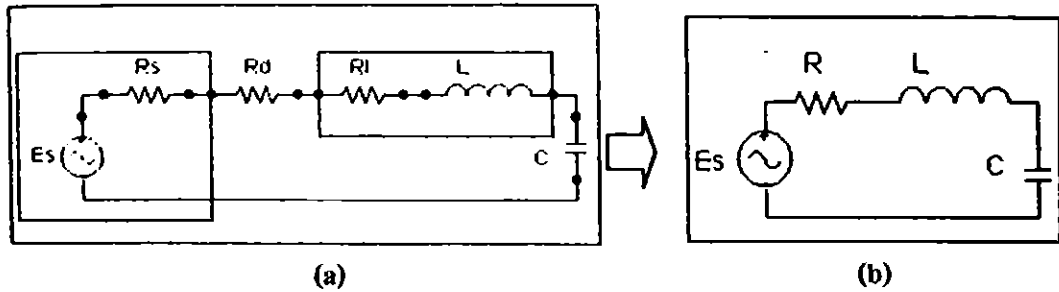
เรโซแนนซ์ของวงจรไฟฟ้าต้องประกอบด้วย อินдукแตนซ์และคาปาซิแตนซ์ นอกจากนี้จะปรากฏความต้านทานอยู่ด้วยเสมอเนื่องจากไม่สามารถสร้างอินдукแตนซ์และคาปาซิแตนซ์ให้เป็นองค์ประกอบที่บริสุทธิ์ได้ หรือเพิ่มความต้านทานเข้าไปในวงจรเพื่อวัตถุประสงค์ในการควบคุมรูปร่างของเส้นโค้งเรโซแนนซ์

วงจรเรโซแนนซ์มีอยู่ 2 ชนิดได้แก่ วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม และวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน ซึ่งเราจะเสนอวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมเฉพาะที่เราใช้เท่านั้น

วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม (Series Resonance Circuit)

วงจรเรโซแนนซ์ทั้งแบบอนุกรมและแบบขนาน จะต้องมีองค์ประกอบที่เป็นอินдукทีฟและคาปาซิทีฟ ส่วนองค์ประกอบที่เป็นความต้านทานก็จะปรากฏอยู่ด้วย เนื่องจากความต้านทานของแหล่งจ่าย (R_s) ความต้านทานภายในของอินдукเตอร์ (R_L) หรือความต้านทานที่เพิ่มเข้าไปเพื่อใช้ในการควบคุมรูปร่างของเส้นโค้งตอบสนอง(R_{ext}) โดยรูปแบบพื้นฐานวงจรเรโซแนนซ์

แบบอนุกรมได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.10a ส่วนรูปที่ 2.10b ได้รวมความต้านทานทั้งหมดให้เป็นความต้านทานรวมค่าเดียว นั่นคือ



รูปที่ 2.10 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

$$R = R_s + R_l + R_d \quad (2-27)$$

อิมพีแดนซ์รวมของวงจรที่ความถี่ใด ๆ คือ

$$Z_T = R + jX_L - jX_C = R + j(X_L - X_C) \quad (2-28)$$

เรโซแนนซ์จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่ออิมพีแดนซ์รีแอกแตนซ์ มีค่าเท่ากับคาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์

หรือ

$$X_L = X_C \quad (2-29)$$

หรือกล่าวได้ว่า เทอมรีแอกแตนซ์ในสมการของอิมพีแดนซ์รวมมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นอิมพีแดนซ์รวมในขณะที่ยังคงเกิดเรโซแนนซ์จะมีค่าเป็น

$$Z_T = R \quad (2-30)$$

ซึ่งจะได้อิมพีแดนซ์ที่มีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับ Z_T ที่ความถี่ใด ๆ และตัวห้อย s เป็นการระบุว่าปฏิกิริยาของเรโซแนนซ์แบบอนุกรม สำหรับความถี่เรโซแนนซ์สามารถหาได้จากเทอมอิมพีแดนซ์รีแอกแตนซ์และคาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์ตามสมการ

$$\text{เมื่อ} \quad X_L = X_C \quad (2-31)$$

หรือ $\omega L = 1 / \omega C$ (2-32)

และ $\omega^2 = 1 / LC$ (2-33)

ดังนั้น $\omega_s = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ (2-34)

หรือ $f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ (2-35)

เมื่อ f_s มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz)

L มีหน่วยเป็นเฮนรี (H)

C มีหน่วยเป็นฟารัด (F)

กระแสที่ไหลผ่านในวงจรขณะเกิดเรโซแนนซ์คือ

$$I = E \angle 0^\circ / R \angle 0^\circ = \frac{E}{R} \angle 0^\circ \quad (2-36)$$

จะเห็นได้ว่าเป็นคือ กระแสสูงสุดเมื่อจ่ายแรงดัน E และ $Z_T = R$ ซึ่งมีค่าต่ำสุด นอกจากนี้แรงดันและกระแสในวงจรที่เกิดเรโซแนนซ์จะมีเฟสเดียวกันหรือมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับหนึ่ง เมื่อกระแสที่ไหลผ่าน อินดักเตอร์และคาปาซิเตอร์ มีค่าเท่ากัน ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมอินดักเตอร์และคาปาซิเตอร์ขณะที่เกิดเรโซแนนซ์จะมีขนาดเท่ากัน แรมีมุมเฟสต่างกัน 180° โดยที่

$$V_L = IX_L = (I \angle 0^\circ)(X_L \angle 90^\circ) = IX_L \angle 90^\circ \quad (2-37)$$

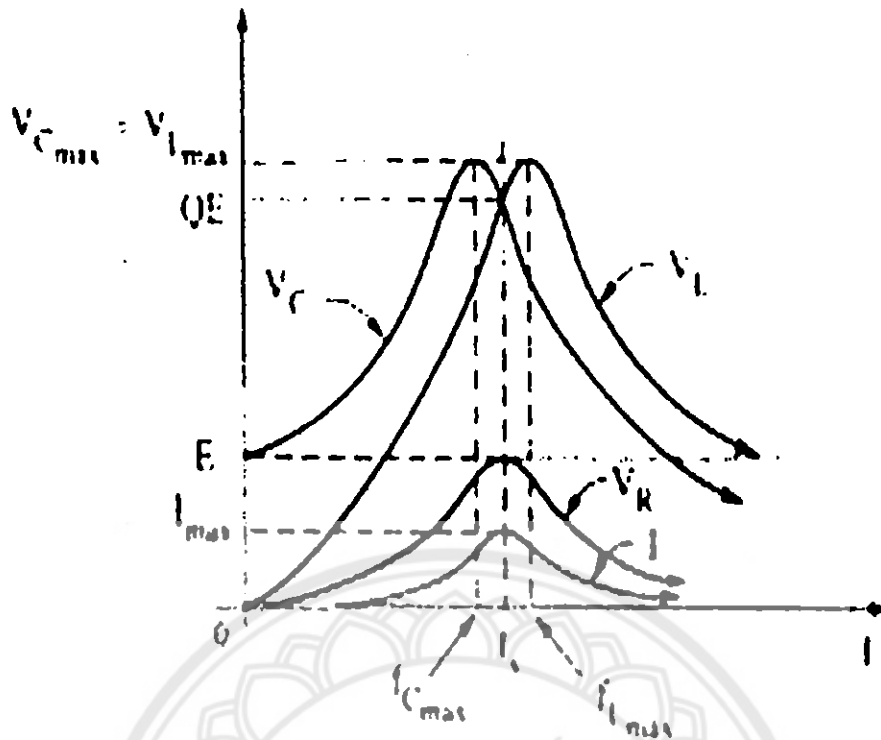
$$V_C = IX_C = (I \angle 0^\circ)(X_C \angle -90^\circ) = IX_C \angle -90^\circ \quad (2-38)$$

V_L กับ V_C มุมเฟสต่างกัน 180°

และเมื่อ $X_L = X_C$ ดังนั้น

$$V_L = V_C$$

แรงดัน V_R , V_L , V_C และ I สามารถพล็อตได้เส้นโค้งที่สัมพันธ์กับความถี่บนแกนเดียวกันได้ดังนี้



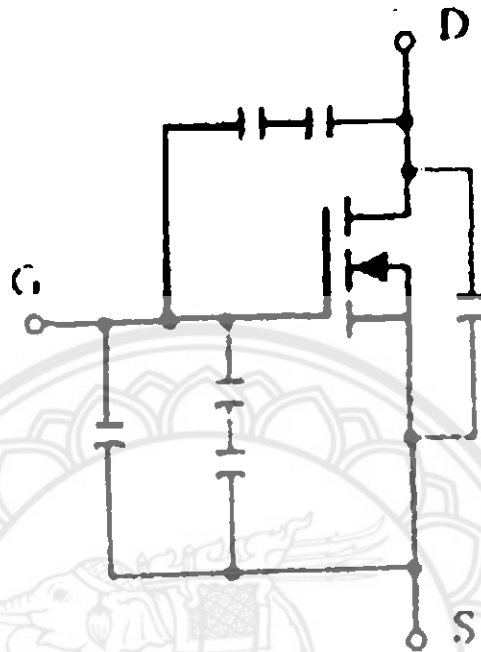
รูปที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ของเส้นโค้งกับความถี่

จากรูปที่ 2.11 จะเห็นได้ว่า เส้นโค้ง V_R จะมีรูปร่างเหมือนกับเส้นโค้ง I และค่าสูงสุดจะเท่ากับขนาดของแรงดันขาเข้า E ส่วนเส้นโค้ง V_C เริ่มเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จากค่าเท่ากับแรงดันขาเข้า เนื่องจากที่ความถี่เท่ากับศูนย์รีแอกแตนซ์ของคาปาซิเตอร์จะมีค่าเป็นอนันต์(เหมือนกับคาปาซิเตอร์เปิดวงจร) และที่ความถี่เดียวกันนี้รีแอกแตนซ์ของอินดักเตอร์มีค่าเท่ากับศูนย์ (ลัดวงจร) เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น เทอม $1/\omega C$ ของสมการ $V_C = IX_C = I(1/\omega C)$ ซึ่งจะมีค่าน้อยลง แต่กระแส I จะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่เร็วกว่าการลดลงของ $1/\omega C$ ด้วยเหตุนี้ V_C จึงมีค่าเพิ่มขึ้นและเพิ่มอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งใกล้กับความถี่เรโซแนนซ์ เมื่อสู่สภาวะเรโซแนนซ์ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสจะลดลง นอกจากนี้เทอม $1/\omega C$ ก็จะลดลงไปตามการเพิ่มขึ้นของความถี่ จึงเป็นจุดที่เริ่มต้นการลดขนาดลงทั้ง I และ V_C โดยค่ายอดของ V_C จะเกิดขึ้นที่ความถี่ก่อนความถี่เรโซแนนซ์หลังจากความถี่เรโซแนนซ์ทั้งขนาดของ I และ V_C จะลดเข้าใกล้ศูนย์ซึ่งสาเหตุที่เลือกใช้เรโซแนนซ์แบบอนุกรม ก็เพราะว่า วงจรอนุกรมที่สัญญาณจะผ่านได้สูงสุด ซึ่งถ้าเป็นวงจรมานสัญญาณจะผ่านได้ต่ำสุด

2.5 หลักการทำงานพื้นฐานของวงจร

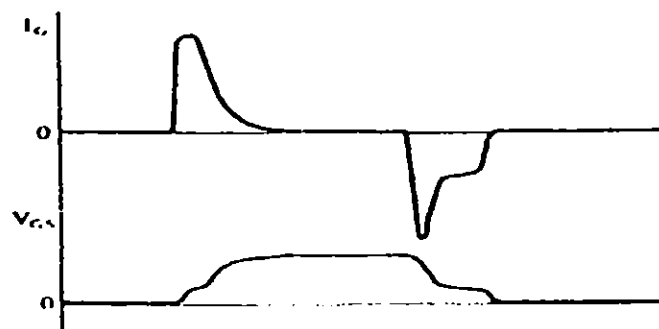
หลักการทำงานของวงจรฮาร์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ วงจรเรกติไฟเออร์ และวงจรควบคุมกระแสเริ่มต้น

เนื่องจากโหลดเป็นอินดักทีฟ จึงทำให้กระแสค่อย ๆ เพิ่มหรือลดลงการเปลี่ยนแปลงของกระแสนี้ จะเข้าไปในลักษณะเฟสตามของแรงดันอินพุท จากนั้นแรงดันกระแสกลับที่ปรับค่าได้ก็จะผ่าน วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ทำการแปลงแรงดันกระแสกลับ 220 Vrms เป็นแรงดันกระแสตรง 311 V



รูปที่ 2.14 ภาพขามอสเฟต

ตัวเก็บประจุเหล่านี้ บังคับให้พาวเวอร์มอสเฟตต้องชาร์จประจุเข้าไปที่ตัวเก็บประจุเสียก่อน เพื่อให้แรงดันตกคร่อมที่ขาเกต V_{gs} มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าแรงดันขีดเริ่ม พาวเวอร์มอสเฟตจึงเริ่มนำกระแส ในทางกลับกันการหยุดการนำกระแสของพาวเวอร์มอสเฟต จะต้องทำให้ตัวเก็บประจุคายประจุออกไปจนแรงดันตกคร่อมที่ขาเกต V_{gs} มีค่าลดลงกว่าค่าแรงดันขีดเริ่ม พาวเวอร์มอสเฟตจึงหยุดนำกระแส ลักษณะของกระแสและแรงดันที่ขาเกตจึงมีลักษณะดังรูปโดยทั่วไปแล้ว ค่าความจุของตัวเก็บประจุในตัวพาวเวอร์มอสเฟตนี้เองจะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการเปลี่ยนสถานะ



รูปที่ 2.15 กราฟค่าความจุของตัวเก็บประจุในตัวมอสเฟต

การกำหนดในการเปลี่ยนสถานะ ปกติแล้วผู้ผลิตมักจะให้กราฟของค่าแรงดัน V_{gs} ในขณะที่ค่าประจุสะสมที่ขาเกตเพิ่มขึ้น หรือที่เรียกว่า gate charge chart มาใน Data Sheet โดยมีตัวเก็บประจุที่เรียกว่า ฟิลาเตอร์เป็นตัวรักษาระดับแรงดันและกระแสให้ราบเรียบขึ้น ก่อนที่จะเข้าสู่ วงจรอินเวอร์เตอร์

วงจรรหัสฟบริคอินเวอร์เตอร์ที่ใช้จะสวิตซ์ความถี่สูงถึง 45 KHz ที่แรงดัน DC = 311 V มี DC Link = 155 V ดังนั้นการเลือกใช้มอสเฟตต้องเลือกมอสเฟตกำลังที่สามารถงานที่แรงดันสูง และใช้กับการสวิตซ์ที่ความถี่สูงได้การทำงานของวงจรรหัสฟบริคอินเวอร์เตอร์เริ่มโดยให้ สัญญาณสวิตซ์ความถี่ 45KHz ที่ขาเกตของมอสเฟตให้มอสเฟตสองตัวทำงานสลับกันฟรีวิล ไดโอด ที่อยู่ภายในมอสเฟต $C_r/2$ เป็นเรโซแนนซ์คาปาซิเตอร์ ส่วนอินดักแตนซ์และความต้านทานจะใช้ เขียนแทนขดลวดเหนี่ยวนำและภาชนะหุ้มคัม เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา Reverse Recovery ของไดโอด ขณะทำงานที่ความถี่สูงกระแสไหลจะล่าหลังแรงดันคร่อมสวิตซ์ที่มอสเฟตเป็นผลทำให้มอสเฟต สองตัวเกิดมีช่วงการทำงานที่พร้อมกันทำให้เกิดการลัดวงจรที่ DC Link หรือเกิดการช็อตพุ่งขึ้นนั้น (shot through) เพื่อป้องกันเหตุการณ์นี้ จะใช้หลักการให้สวิตซ์ที่นำกระแสอยู่ก่อนหน้าหยุดทำงาน ก่อนแล้วจึงให้ตัวใหม่เริ่มนำกระแส เรียกหลักการนี้ว่า วงจรเคลไทม์

2.6 เงื่อนไขของวงจรขับพาวเวอร์มอสเฟต

การขับพาวเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสที่แตกต่างจากการขับกระแสไบแอสไบโพลาร์ พาวเวอร์ทรานซิสเตอร์ เนื่องจากมีเงื่อนไขการไบแอสที่แตกต่างกัน สำหรับไบโพลาร์พาวเวอร์ ทรานซิสเตอร์กระแสไหลผ่านคอลเล็กเตอร์และอีมิเตอร์ได้ก็ต่อเมื่อ มีกระแสไบแอสไหลผ่าน ที่เบสและอีมิเตอร์ แต่พาวเวอร์มอสเฟตจะมีกระแสไหลผ่านเดรนและซอร์สได้ก็ต่อเมื่อ แรงดัน คร่อมที่ขาเกตและซอร์สมีค่าอย่างต่ำเท่ากับค่า แรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage) ของมัน แต่ใช้ กระแสต่ำ การขับพาวเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสจึงทำได้ง่าย และยุ่งยากน้อยกว่าไบโพลาร์พาวเวอร์ ทรานซิสเตอร์มาก

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้พาวเวอร์มอสเฟตทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงจำเป็นต้อง ศึกษาเงื่อนไขต่าง ๆ สำหรับการบังคับให้พาวเวอร์มอสเฟตนำกระแส เป็นอันดับแรกก่อนค่าความจุ ไฟฟ้าด้านอินพุต (Input Capacitance)

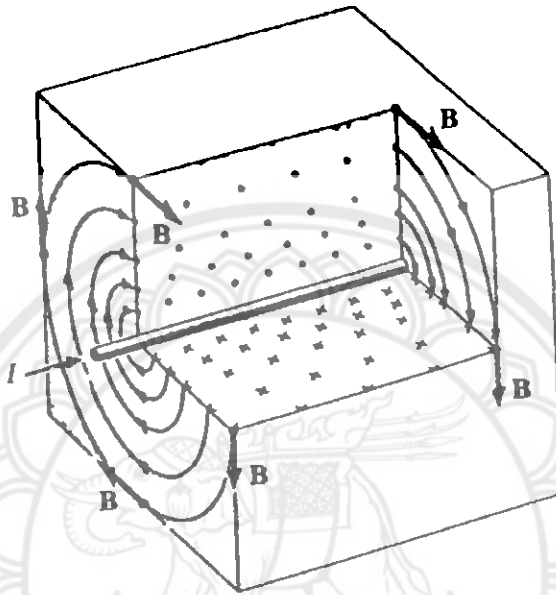
เนื่องจากโครงสร้างภายใน ตัวพาวเวอร์มอสเฟตจึงเหมือนกับมีตัวเก็บประจุต่ออยู่รอบ ๆ ขาต่าง ๆ ของมันดังรูปที่ 2.14

11.
พ1124
2545
C.3

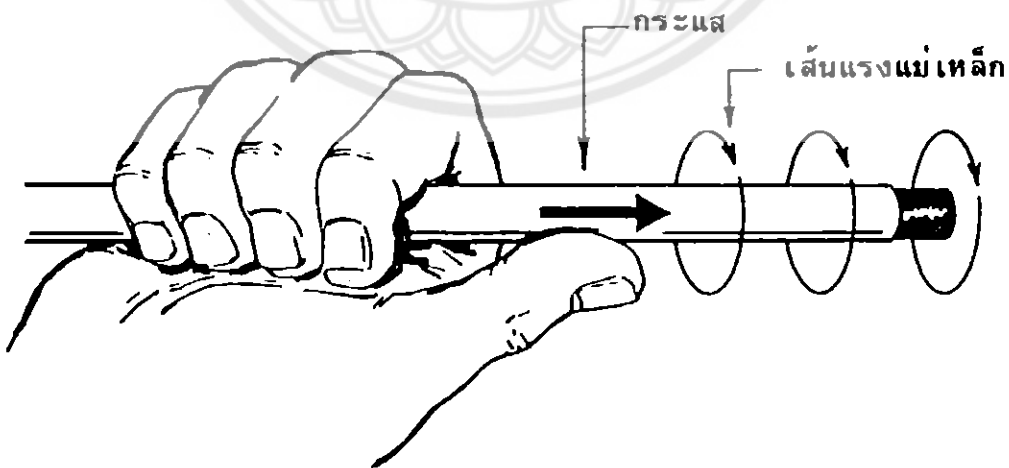
15007318.

2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแม่เหล็กและไฟฟ้า

เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำ จะก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ ดังรูปที่ 2.16 โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของกระแสและเส้นแรงแม่เหล็กดังรูปที่ 2.17ซึ่งเป็นไปตามกฎมือขวา



รูปที่ 2.16 กระแสไฟฟ้าในวงแหวน

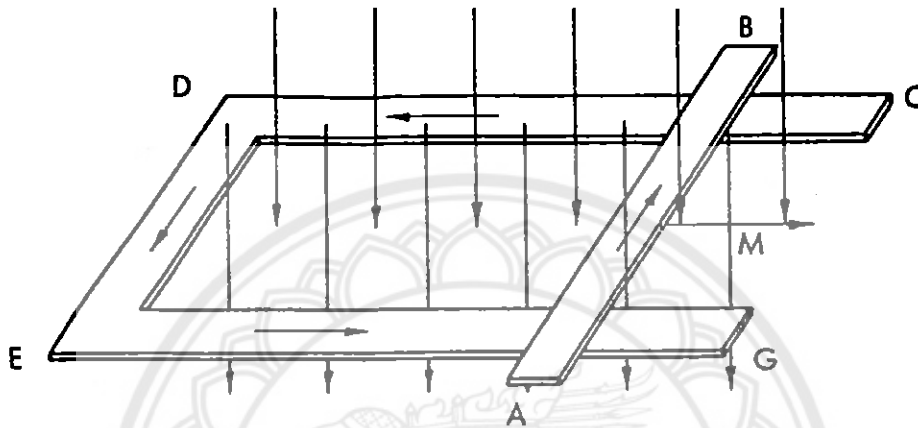


รูปที่ 2.17 แรงดันไฟฟ้าสร้างกระแสในวงจรไฟฟ้า

2.7.1 การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

1.1 การเหนี่ยวนำแม่เหล็ก(Magnetic Induction) คือปรากฏการณ์ของการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กเนื่องจากมีกระแสไหลผ่าน ดังรูป 2.16

1.2 กระแสเหนี่ยวนำ(Induced Current) มีลักษณะตรงกันข้ามกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก คือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก จะสร้างกระแสไฟฟ้า ดังรูป 2.18



รูปที่ 2.18 สนามแม่เหล็กของลวดตัวนำ

ปรากฏการณ์ทั้งสองชนิด ดังกล่าวทำให้สรุป ได้ว่าเมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดที่พันรอบแกนเหล็ก (IRON CORE) จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นภายในแกน (CORE) และถ้ามีขดลวดอีกขดหนึ่งพันรอบแกนนั้นหรือขาของแกนอีกข้างหนึ่ง ดังรูป 2.17 ถ้ากระแสในขดลวดแรกเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเส้นแรงแม่เหล็กภายในแกนจะเปลี่ยนแปลงทิศทางตามไปด้วยเป็นผลทำให้มีกระแสไหลในขดลวดที่สอง และสร้างแรงดันไฟฟ้า(Voltage) ขึ้นดังสมการ

$$v_2 = M \frac{di_1}{dt} \quad (2-39)$$

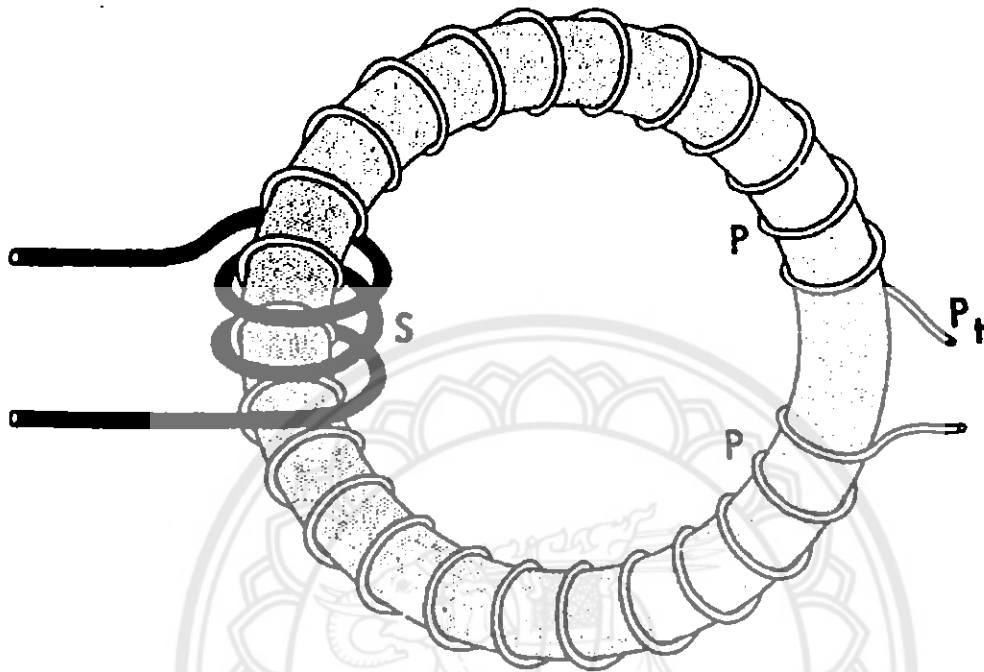
เมื่อ

M คือ ค่าคงที่ซึ่งเรียกว่าการเหนี่ยวนำร่วม ระหว่างขดลวดสองขด (Mutual Inductance) ระหว่างขดลวดสองขด

v_2 คือ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ(Induced Voltage) ที่ถูกเหนี่ยวนำอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็ก

i_1 คือ กระแสในขดลวดที่สร้างสนามแม่เหล็ก

วิธีการดังกล่าวในสมการที่ (2-39) นี้เรียกว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Induction)

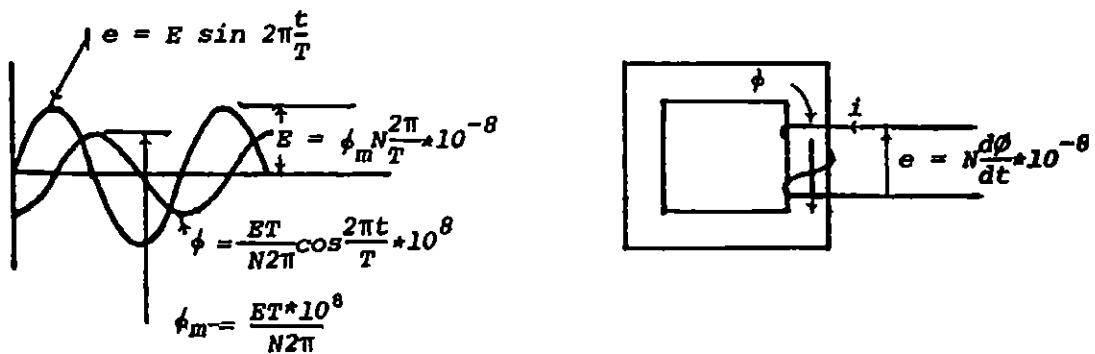


รูปที่ 2.19 ความสัมพันธ์ของระหว่างทิศทางของกระแสและเส้นแรงแม่เหล็ก

2.7.2 กฎของเลนซ์

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กที่เชื่อมโยง (Linkage Flux) ซึ่งพยายามสร้างกระแสในทิศทางที่ตรงข้ามกับการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็ก

ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและเส้นแรงแม่เหล็กนี้ได้แสดงไว้แล้วในรูป 2.20 และสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



รูปที่ 2.20 ลักษณะกระแสเหนี่ยวนำ

$$V = N \frac{d\phi}{dt} \quad (2-40)$$

เมื่อ

- ϕ คือ เส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็นเวเบอร์ (Webber)
 t คือ เวลา มีหน่วยเป็นวินาที
 N คือ จำนวนรอบของขดลวดที่กำลังพิจารณามีหน่วยเป็นรอบ

เส้นแรงแม่เหล็ก ดังในสมการที่ (2-40) นั้น เป็นเส้นแรงแม่เหล็กเชื่อม โขง เส้นแรงแม่เหล็กที่รั่ว (Leakage Flux) นั้น ไม่รวมอยู่ในสมการที่ (2-40)

ความสัมพันธ์ระหว่าง เส้นแรงแม่เหล็กและความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก เขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$\phi = BA \quad (2-41)$$

เมื่อ

- B คือ ความแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็นเวเบอร์/ม² (Webber/Meter)
 A คือ พื้นที่ที่ตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็นเมตร² (Meter)
 อย่างไรก็ตาม โดยทางปฏิบัติแล้ว ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กจะกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอ สมการที่ (2-41) จึงเขียนใหม่ได้เป็น

$$\phi = \int BdA \quad (2-42)$$

หรือ
$$B = \frac{d\phi}{dA} \quad (2-43)$$

ค่าเฉลี่ยของสมการที่ (2-43) จึงเขียนใหม่ได้เป็น

$$B = \frac{\phi}{A} \quad (2-44)$$

2.7.3 แรงเคลื่อนแม่เหล็ก

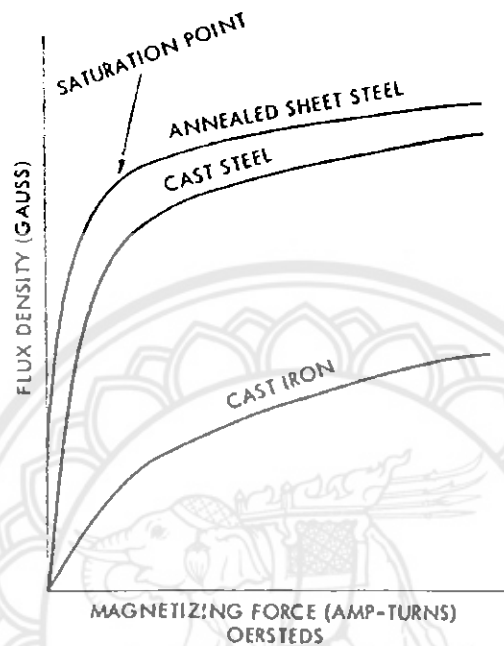
เช่นเดียวกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สร้างกระแสในวงจรไฟฟ้า แรงเคลื่อนแม่เหล็กเป็นตัวสร้างเส้นแรงแม่เหล็กในวงจรแม่เหล็ก ดังสมการ

$$F = NI \quad (2-45)$$

เมื่อ

- F คือ แรงเคลื่อนแม่เหล็กมีหน่วยเป็นแอมแปร์-รอบ

แรงเคลื่อนแม่เหล็กแม่จะเป็นตัวสร้างเส้นแรงแม่เหล็กก็ตาม แต่ก็มิจัดความสามารถในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กเช่นกัน อันเนื่องจากคุณสมบัติของสารแม่เหล็ก ฉะนั้นแม้ว่าจะเพิ่มแรงเคลื่อนแม่เหล็กมากเพียงใดก็ตาม เส้นแรงแม่เหล็กก็ไม่เพิ่มขึ้นหรือเพิ่มขึ้นก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น จิตความสามารถนี้ เรียกว่าจุดอิ่มตัว (Saturation Point) ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ขดลวดที่พันเพิ่มขางของแกนอีกข้างหนึ่ง

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) กับความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Intensity) แทนด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก (\oint) กับแรงเคลื่อนแม่เหล็ก (F) แทนได้ด้วยสมการ

$$F = \oint H \cdot dl \quad (2-46)$$

ความชันของเส้นโค้ง (Curve) ในรูปที่ 2.21 คือความเข้มได้ของสนามแม่เหล็ก ซึ่งเขียนแทนได้ด้วยสมการ

$$u = \frac{B}{H} \quad (2-47)$$

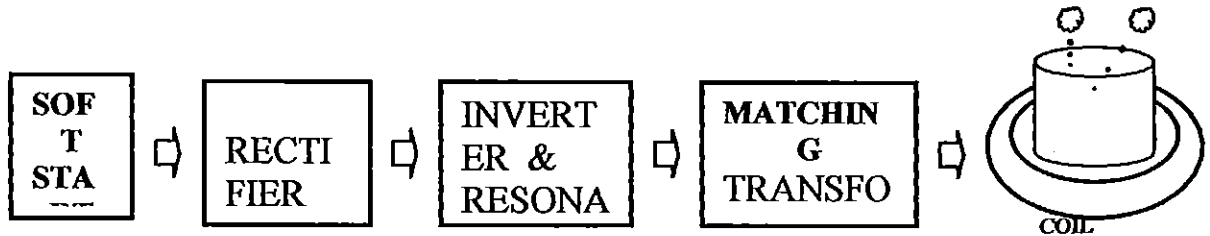
เมื่อ

U คือ ความเข้มได้ของสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเกาส์/เออสเต็ด (Gauss/Oersted)

ค่าความเข้มได้ของสนามแม่เหล็กในสุญญากาศและในอากาศมีค่าเกือบเท่ากัน คือ เกาส์/เออสเต็ด

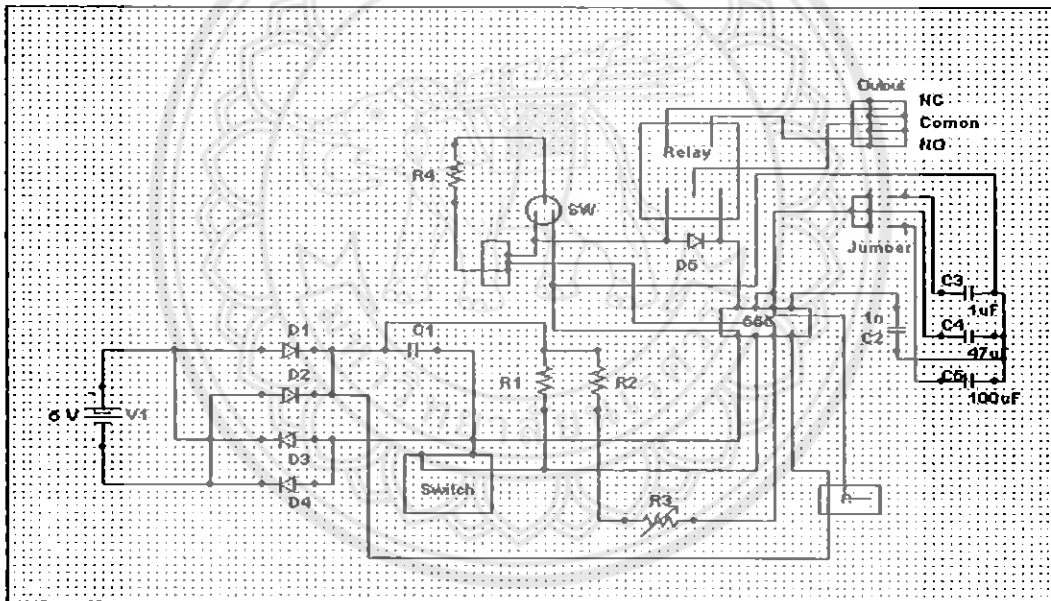
บทที่ 3

การออกแบบ



รูปที่ 3.1 รูปการทำงานวงจร

3.1 Soft Start

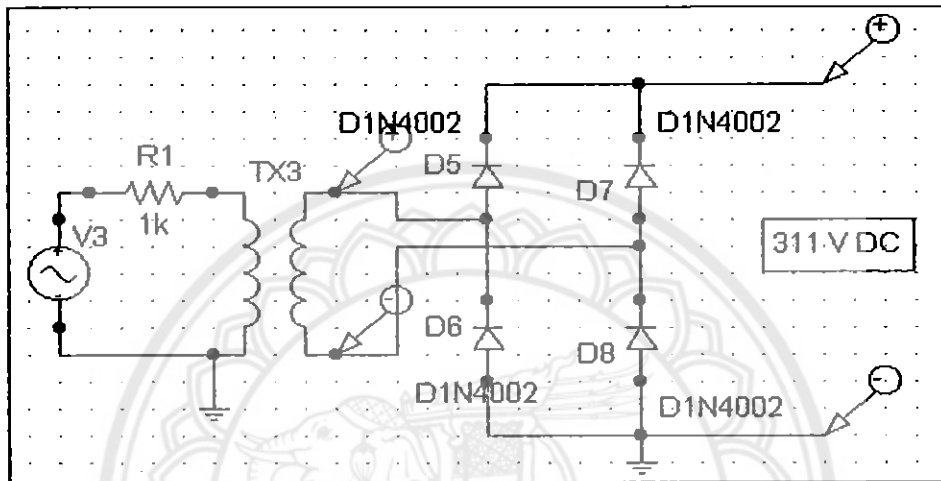


รูปที่ 3.2 รูปวงจร Soft Start

วงจรนี้เป็นวงจรที่ช่วยในการลดการกระชากของกระแสตอนที่เริ่มทำงาน โดยที่ Soft Start จะประกอบด้วย รีเลย์ ,Timer 555, R , L และสวิตช์กดคียบ่อยดับ ซึ่งรีเลย์จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์เลือกเปิดทางให้กระแสไหลผ่าน โดยช่วงแรกจะให้กระแสไหลผ่าน R และ L ก่อน เพื่อดึงกระแส จากนั้นก็จะเปิด ให้กระแสให้ไหลผ่านไปอีกทางหนึ่ง เป็นตัวป้องกันอุปกรณ์ภายในไม่ให้ได้รับความเสียหายขณะเริ่มทำงาน

3.2 Rectifier

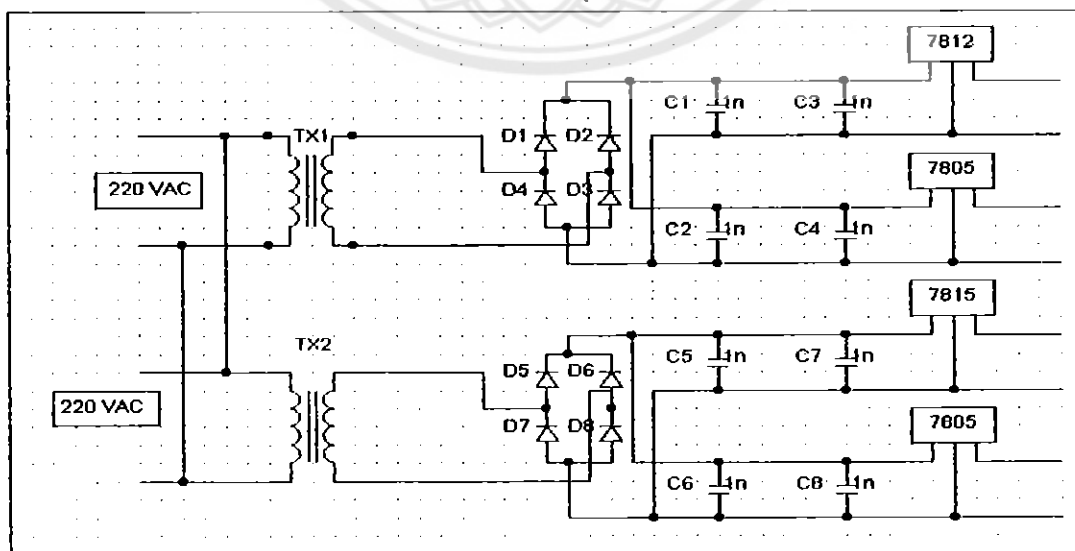
เป็นวงจร Converter ที่แปลงแรงดันจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (AC to DC) แล้วต่อเข้ากับ ไอซี Timer LM 555 เพื่อเพิ่มความถี่ให้กับวงจร ในโครงงานนี้เราจะเลือก ใช้การแปลงผันแบบเต็มคลื่นเฟสเดียว



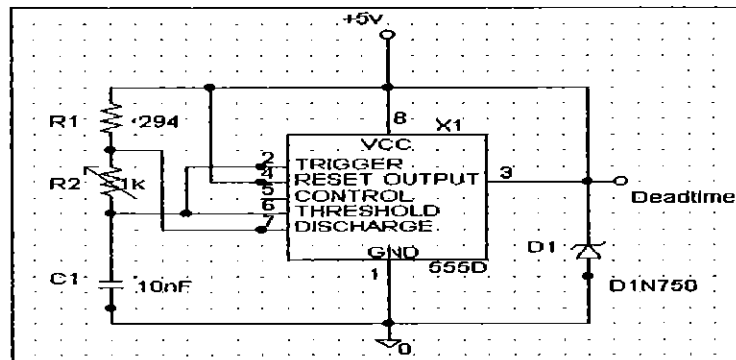
รูปที่ 3.3 วงจร Rectifier

3.3 Inverter & Resonant Circuit

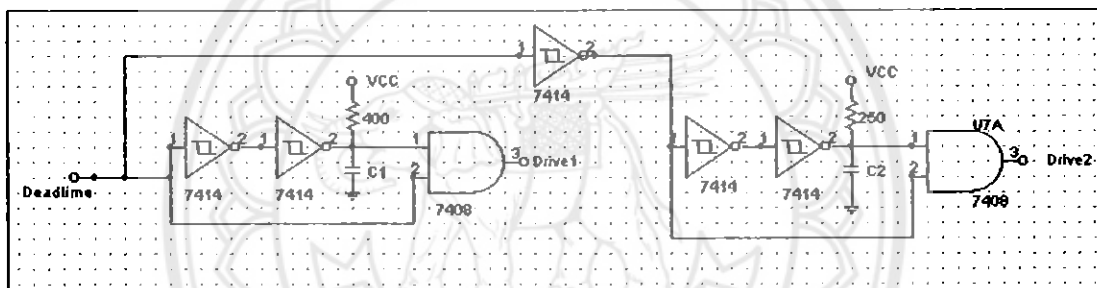
เป็นวงจรที่แปลงแรงดันจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับและต่อกับวงจรเรโซแนนซ์ เพื่อให้ทำงานในย่านความถี่ที่เหมาะสม (ขณะที่เกิดกระแสและแรงดันสูงสุด) ในโครงงานนี้เราจะเลือกใช้อินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์เรโซแนนซ์อนุกรม



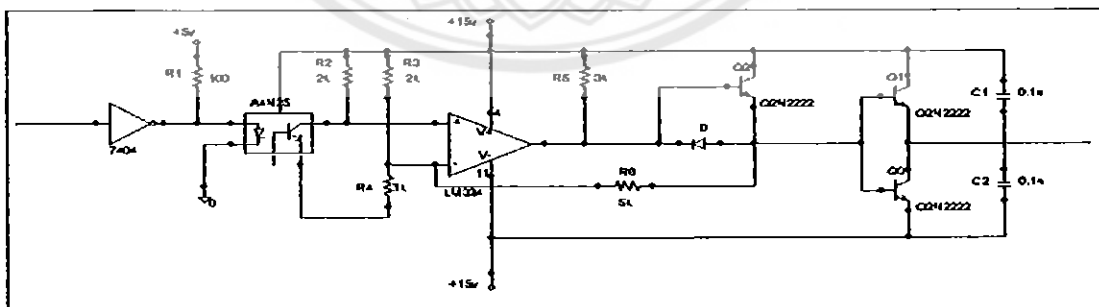
รูปที่ 3.4 DC Supply



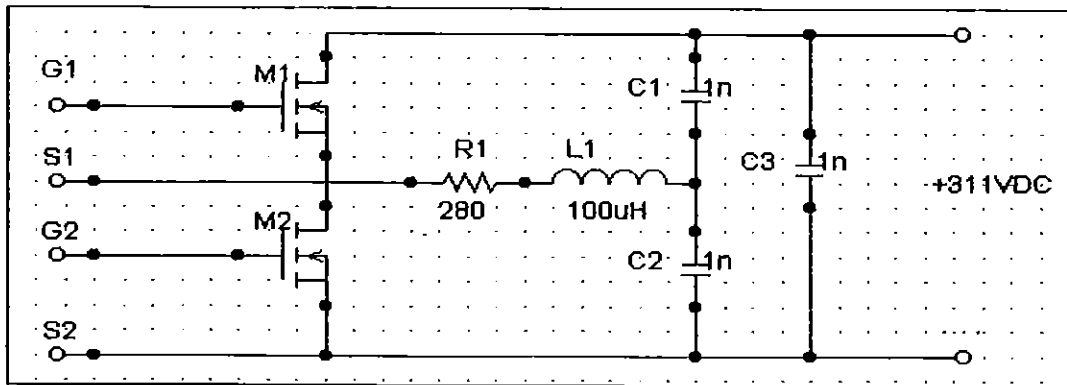
รูปที่ 3.5 วงจรสร้างพัลส์



รูปที่ 3.6 วงจรเคล็ทไม



รูปที่ 3.7 วงจรขั้บเกท



รูปที่ 3.8 วงจรกำลัง โดยใช้ IRF 460

3.4 Matching Transformer

คือหม้อแปลงที่ต่อเข้ากับขดลวดสำหรับลดค่าแรงดันลงและหม้อแปลงที่ออกแบบนี้จะสัมพันธ์กับโหลดซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียที่หม้อแปลงน้อยลงแต่จะไปเกิดการสูญเสียที่ขดลวดแทนทำให้ขดลวดได้รับกระแสได้เต็มที่ ซึ่งจากการที่มีผู้ศึกษาคุณสมบัติของ โหลดดังนี้

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบระยะเวลาในการเคี้ยวและอุณหภูมิของหม้อแต่ละชนิด

TIME (SECOND)	หม้อตราหัวม้าลาย ขนาด 16 cm	หม้อตราพระอาทิตย์ ขนาด 16 cm	หม้อตราพระอาทิตย์ ขนาด 20 cm
0	26	26	26
15	26	26	26.5
30	29	28	29.5
45	33	30	33
60	38	33	37.5
75	42	37	42.5
90	48	40	47
105	54	42	55
135	63	52	63
150	67	55	67
165	70	59	70
180	77	62	74
195	81	65	77

TIME (SECOND)	หม้อตราหัวม้าลาย ขนาด 16 cm	หม้อตราพระอาทิตย์ ขนาด 16 cm	หม้อตราพระอาทิตย์ ขนาด 20 cm
210	83	71	80
225	88	73	82.5
240	90	75	83
255	91	80	84
270	93.5	83	86
285	95	86	90
300	96	89	92
315	96.5	90	95
330	97	92	96
345	97.5	94	97
360	100	95	98
375	100	97	99.5
390	100	98	100
405	100	98	100
420	100	99	100
435	100	100	100
450	100	100	100
465	100	100	100
480	100	100	100
495	100	100	100
510	100	100	100
525	100	100	100
540	100	100	100

เปรียบเทียบอุณหภูมิ ของน้ำแล้วทำให้ผู้ทดลอง สามารถทราบได้ว่าภาชนะตราหัวม้าลาย ขนาด 16 cm สามารถทำให้อุณหภูมิของน้ำถึงจุดเดือดเร็วที่สุดจึงใช้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของ ภาชนะตราหัวม้าลายขนาด 16 cm เป็นหลักในการออกแบบ

การทดลองปรับอุณหภูมิมีการปรับได้ 2 แบบ คือปรับที่แรงดันและปรับด้วยความถี่ เลือกการปรับที่ความถี่เนื่องจากควบคุมง่ายและ Saturate แต่การลดอุณหภูมินั้นวงจรที่ได้ออกแบบมานั้นต้องเพิ่มความถี่เพราะจะได้เพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรทำให้กระแสและ Flux ลดลง

ดังนั้นการใช้ความถี่ในการสวิตซ์ซึ่งเดิมที่ 45KHz แล้วต้องเพิ่มความถี่ขึ้นไปอีกจะเป็นผลเสียต่อมอเตอร์เนื่องจากสวิตซ์ซึ่งที่ความถี่ที่มากเกินไป จึงออกแบบความถี่ที่ใช้ในการสวิตซ์ใหม่โดยได้คำนึงถึงกระแสที่จะไหลผ่านวงจรและขดลวดนั้น มอเตอร์และขดลวดทนได้หรือไม่ความถี่ที่ออกแบบมาใหม่คือ 26 KHz ใช้ Resonance 300 nF ซึ่งได้มาจากการคำนวณต่อไปนี้

การทดลอง โดยใช้ความถี่ 26-45 KHz ใช้ Resonance 300 nF ที่แรงดัน 311 V กระแสจะมีค่าประมาณ 5 A ที่ 26 KHz แต่ทดลองออกแบบระบบป้องกัน Over Current ที่ 5 A เท่านั้นอีกทั้งจะทำให้มอเตอร์มีความร้อนเกินไปอาจจะทนไม่ไหวเมื่อใช้เวลาดำเนินาน ๆ จึงต้องเพิ่มความถี่ขึ้นเป็น 30-45 KHz ใช้ Resonance 300 nF ที่แรงดัน 311 V กระแสจะมีค่าประมาณ 3 A ที่ 30 KHz มอเตอร์ไม่ร้อนเกินไปและทนกับความร้อนไหวเมื่อใช้เวลาดำเนินาน ๆ

แรงดันที่ตกคร่อมโหลดและกระแสไหลครบเปรียบเทียบกับการนำค่าที่วัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ แล้วนำไป Simulate จากโปรแกรม PSPICE โดยใช้ห้พารามิเตอร์ต่าง ๆ มีดังนี้ที่ใช้ความถี่ 30 KHz ในการคำนวณ การทดลองวัดอุณหภูมิของน้ำที่ได้จากการใช้หม้อหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงโดยใช้ความถี่ที่ 30 KHz ต้มน้ำ 0.5 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 26 C° อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 26 C° ที่แรงดัน 300 vdc กระแส 3 A

ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางศึกษาจึงเลือกใช้โหลดที่ดีที่สุดคือภาชนะตราห้วม้าลายขนาด 16 cm เพื่อใช้ในการศึกษา

3.5 การออกแบบหม้อแปลง MATCHING

ขั้นตอนการออกแบบ

1. เลือกลักษณะแกนเฟอร์ไรต์
2. เลือก B_{max} จากข้อมูลคุณสมบัติของแกนเฟอร์ไรต์ โดยเลือก B_{max} ที่แรงดันไฟสลับต่ำสุด เพื่อให้แน่ใจว่า หม้อแปลงจะยังไม่ถึงจุดอิ่มตัว
3. คำนวณหากระแสสูงสุดของหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ ขณะที่แรงดันไฟสลับต่ำสุด
4. เลือกขนาดแกนและบ็อบบิ้นจากสมการ

$$\frac{(1.47fB_{max}A_c A_p) \times 10^{-3}}{D}$$

เมื่อ

f คือ ความถี่ เป็นเฮิรตซ์

B_{max} คือ ความหนาแน่นของฟลักซ์สูงสุด

A_c คือ พื้นที่หน้าตัดของแกน เป็นตารางเซนติเมตร

- A_c คือ พื้นที่สำหรับพันขดลวดบนบ็อบบิ้น เป็นตารางเซนติเมตร
 D คือ ความหนาแน่นของกระแสในสายใช้หน่วยเซอร์คูลาร์มิลล์

ต่อแอมป์ (c.m./A) โดย $d = \frac{1.27 \times 10^6}{D}$ เมื่อ d คือความหนาแน่นของ
 กระแสไฟในลวดตัวนำ เป็นแอมป์ต่อตารางเมตร

การเลือกพื้นที่หน้าตัดของแกนและพื้นที่หน้าตัดบ็อบบิ้น ปกติจะให้สูงกว่าค่าที่
 คำนวณไว้อย่างน้อย 50%

5. เลือกขนาดของสายและจำนวนรอบขดลวดปฐมภูมิ

- เลือกขนาดของสาย จากค่าความหนาแน่นของกระแสในสาย
- จำนวนรอบขดลวด คำนวณจำนวนรอบขดลวด ที่แรงดันไฟสลับต่ำสุดทางด้านปฐมภูมิ
 และ ให้แรงดันกระแสเพิ่มหลังจากกรองแล้ว 20 โวลต์ ดังนี้

$$V_p \text{ ต่ำสุด} = (V_{in} \times 1.414) - 20$$

แล้วใช้สมการ

$$N_p = \frac{V_p \times 10^8}{kfB_{max} A_c}$$

เมื่อ N_p คือ จำนวนรอบขดลวดปฐมภูมิ

V_p คือ แรงดันค่านปฐมภูมิ เป็น โวลต์

K คือ ค่าคงที่มีค่า 4.44 สำหรับแรงดันรูปไซน์ และ 4.0 สำหรับ
 แรงดันรูสี่เหลี่ยม

คำนวณหาจำนวนรอบ

6. คำนวณหาค่า B_{max} ที่ V_{in} สูงสุด โดย $V_p \text{ สูงสุด} = (V_{in} \times 1.414) + 120$

สมการ
$$B_{max} = \frac{V_p \times 10^8}{kfN_p A_c}$$

ให้ค่าที่ได้ต่ำกว่าค่าที่ระบุไว้ในแผ่นข้อมูลของแกนเฟอร์ไรต์ จึงจะใช้ได้

7. คำนวณหาจำนวนรอบขดลวดทุติยภูมิ จากสมการ

$$N_s = \frac{N_p V_p}{V_s}$$

เมื่อ N_s คือ จำนวนรอบขดลวดด้านทุติยภูมิ

V_s คือ แรงดันค่านทุติยภูมิ เป็น โวลต์

- 8. คำนวณหาขนาดของสายด้านทุติยภูมิ จากความหนาแน่นของกระแสในสาย
- 9. ตรวจสอบความแน่นพอดี ของการพันขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ โดยคิดจากความกว้าง
 ของบ็อบบิ้นหารด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางของสายเพื่อหาจำนวนชั้นของขดลวด

ตารางที่ 3.2 แกนเฟอร์ไรต์ของบริษัทต่างๆ

Material	Manufacturer
3C8	Ferroxcube
24B	Stackpole
77	Fair-Rite Products
F, T	Magnetics, Inc.
H7C1	TDK
N27	Siemens

ตารางที่ 3.3 แสดงแผ่นข้อมูลของสายที่ใช้พันหม้อแปลง

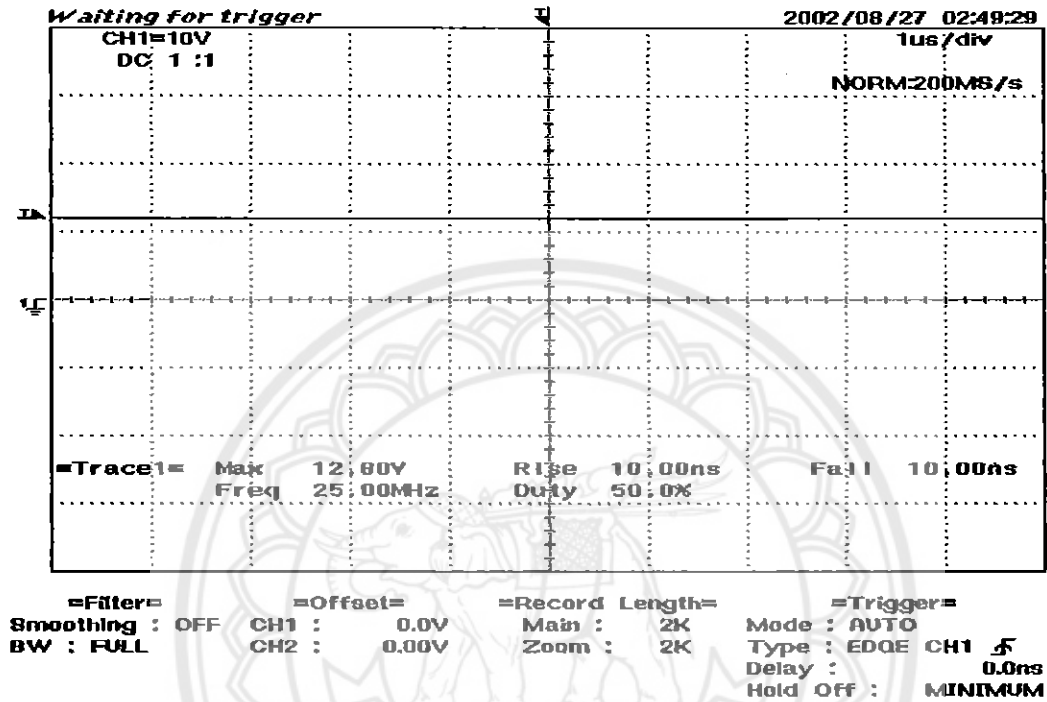
AWG	Diameter over Insulation (inch)		Nominal circular mil area	Resistance per 1000 ft	Current capacity in mA. based on 1000 c.m./A
	Min	Max			
8	0.130	0.133	16510	0.6281	16510
9	0.116	0.119	13090	0.7925	13090
10	0.104	0.106	10380	0.9985	10380
11	0.0928	0.0948	8230	1.261	8226
12	0.0829	0.0847	6530	1.588	6529
13	0.0741	0.0757	5180	2.001	5184
14	0.0667	0.0682	4110	2.524	4109
15	0.0595	0.0609	3260	3.181	3260
16	0.0532	0.0545	2580	4.020	2581
17	0.0476	0.0488	2050	5.054	2052
18	0.0425	0.0437	1620	6.386	1624
19	0.0380	0.0391	1290	8.046	1289
20	0.0340	0.0351	1020	10.13	1024
21	0.0302	0.0314	812	12.77	812.3
22	0.0271	0.0281	640	16.20	640.1
23	0.0244	0.0253	511	20.30	510.8
24	0.0218	0.0227	404	25.67	404
25	0.0195	0.0203	320	32.37	320.4
26	0.0174	0.0182	253	41.02	252.8
27	0.0157	0.0164	202	51.44	201.6
28	0.0141	0.0147	159	65.31	158.8
29	0.0127	0.0133	128	81.21	127.7
30	0.0113	0.0119	100	103.7	100
31	0.0101	0.0108	79.2	130.9	79.21
32	0.0091	0.0098	64	162	64
33	0.0081	0.0088	50.4	205.7	50.41
34	0.0072	0.0078	39.7	261.3	39.69
35	0.0064	0.0070	31.4	330.7	31.36

จากการคำนวณเราเลือกใช้หม้อแปลงขนาด 7 : 1 เพื่อลดแรงดันลง ให้มีกระแสไหลผ่านคอยล์มากขึ้น การเลือกใช้อุปกรณ์สำหรับทำหม้อแปลง matching นี้ คือ แกนเฟอร์ไรต์ E80 , ลวดทองแดงเบอร์ 14 S.W.G. และ 23 S.W.G. โดยทางด้าน Primary ใช้ 23 S.W.G. พัน 35 รอบ และ Secondary ใช้ 14 S.W.G. พัน 5 รอบ

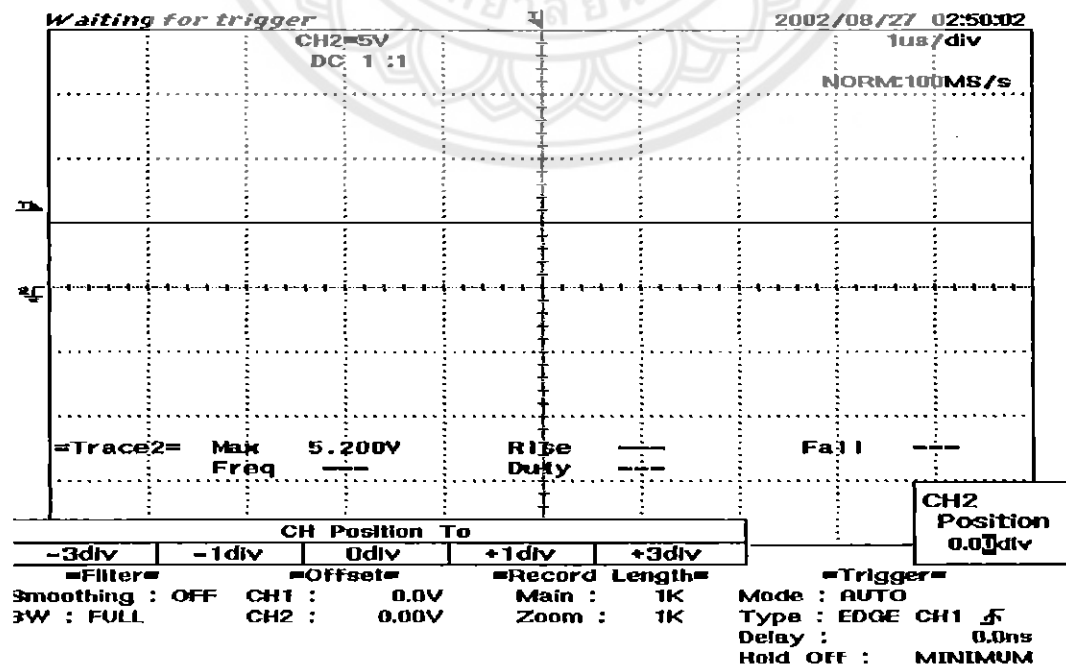
บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

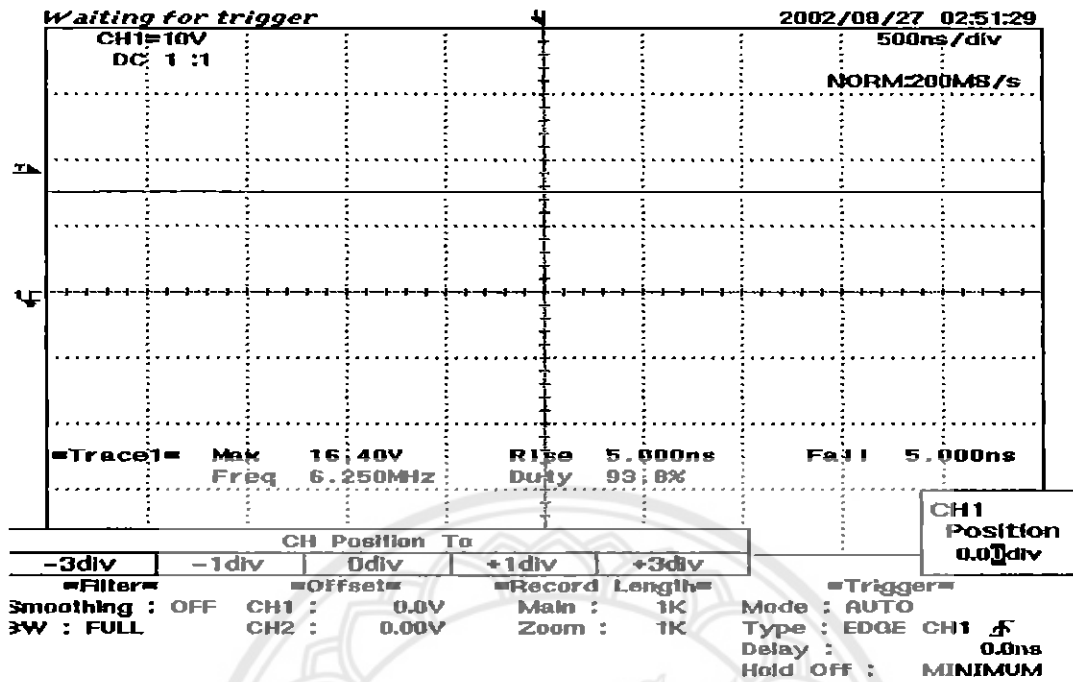
4.1 ผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 ก



รูปที่ 4.1 ข

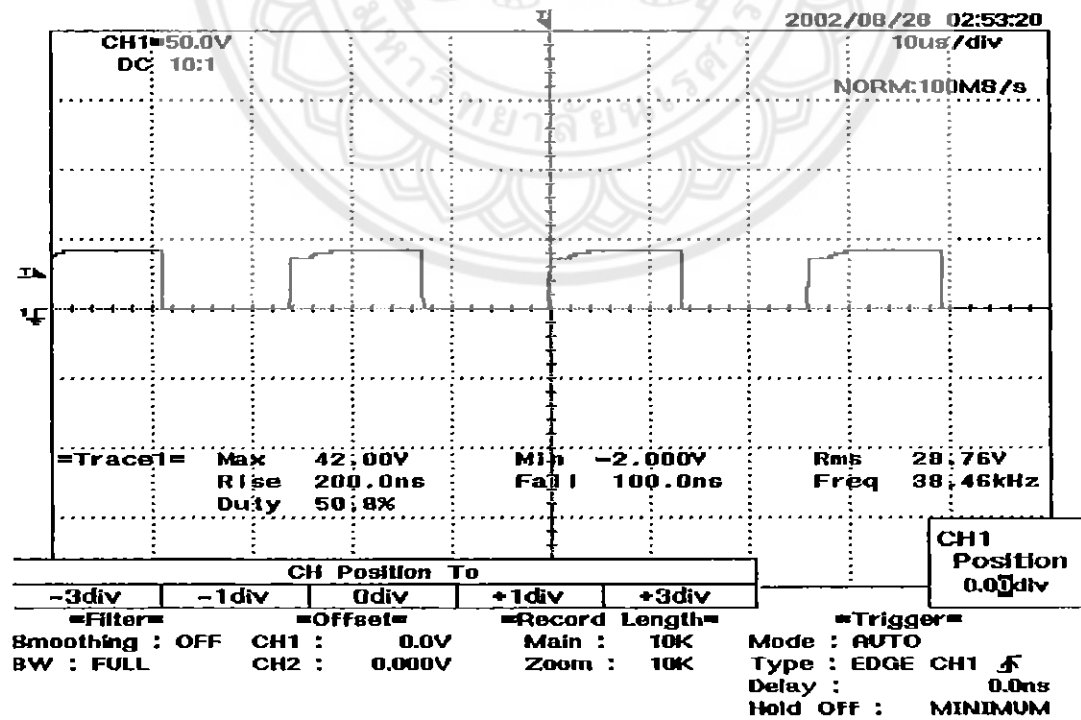


รูปที่ 4.1 ค

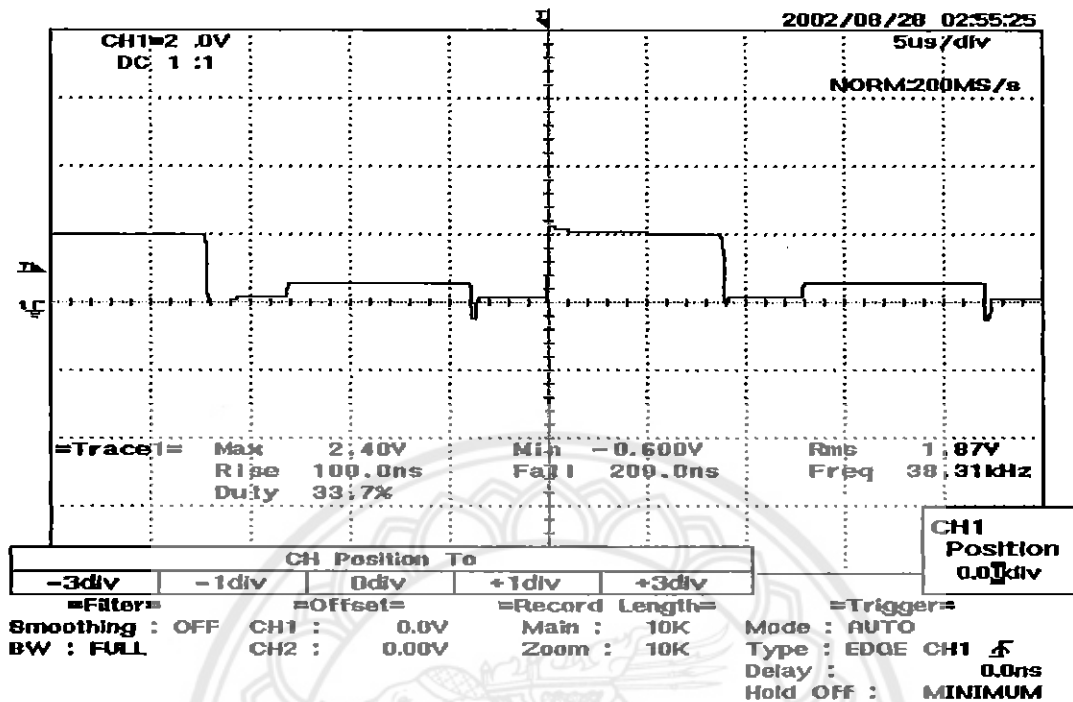
รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณที่ออกจาก DC Supply โดย

4.1 ก) ได้สัญญาณ DC +12 V 4.1 ข) ได้สัญญาณ DC +5 V

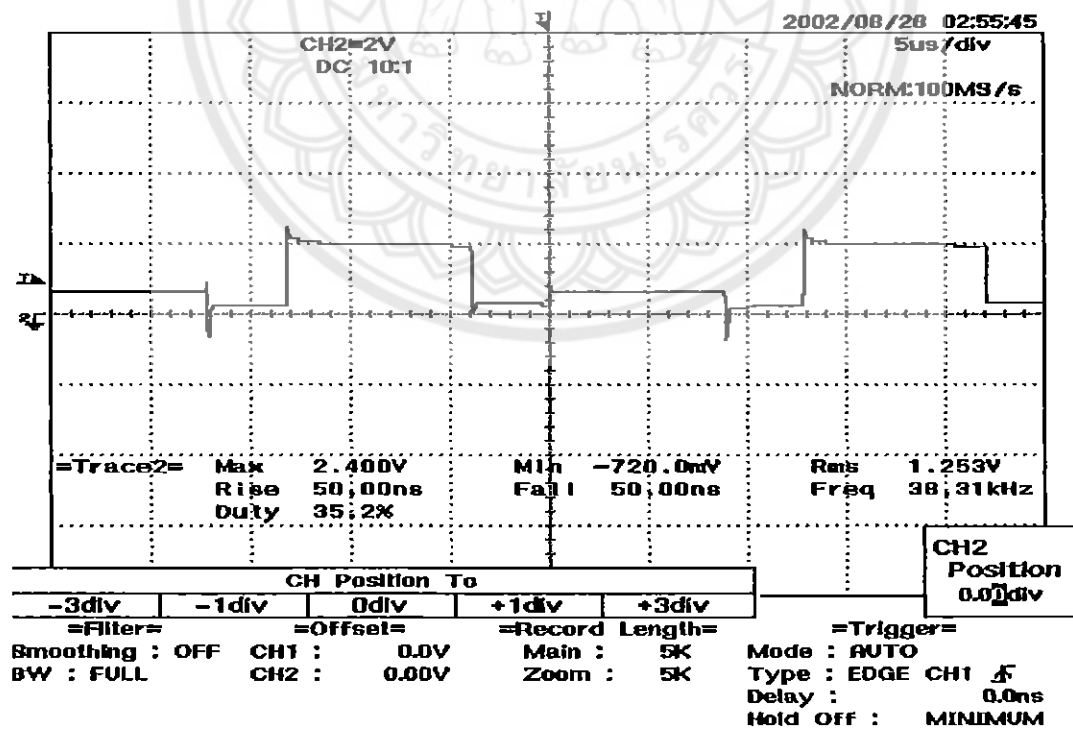
4.1 ค) ได้สัญญาณ DC +15 V



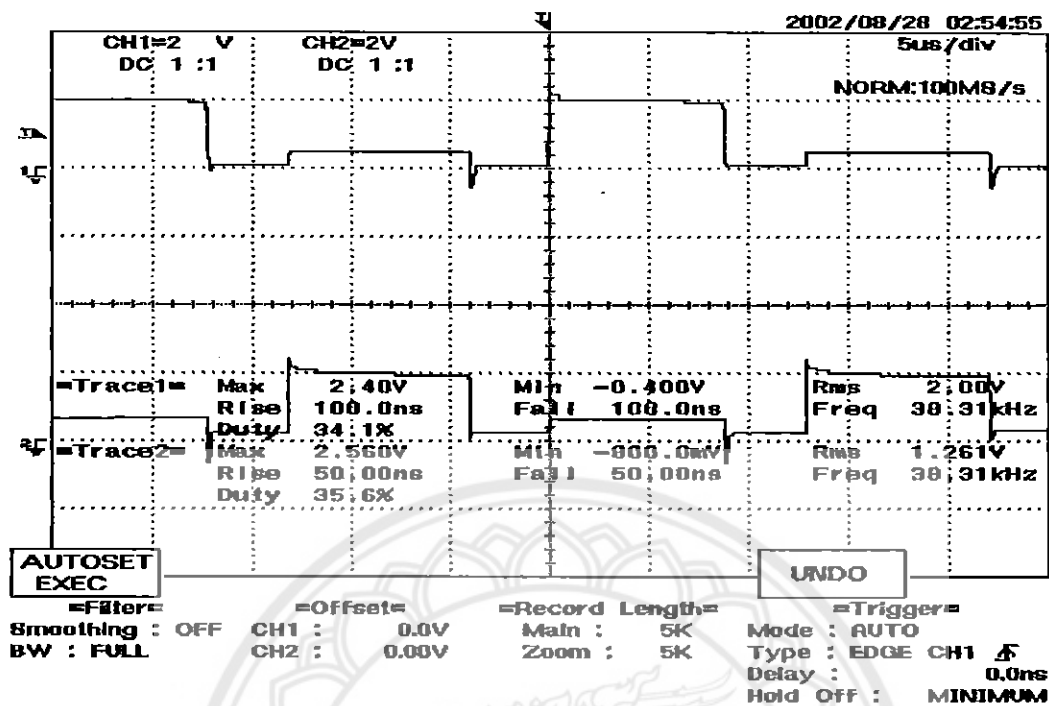
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรสร้างพัลส์



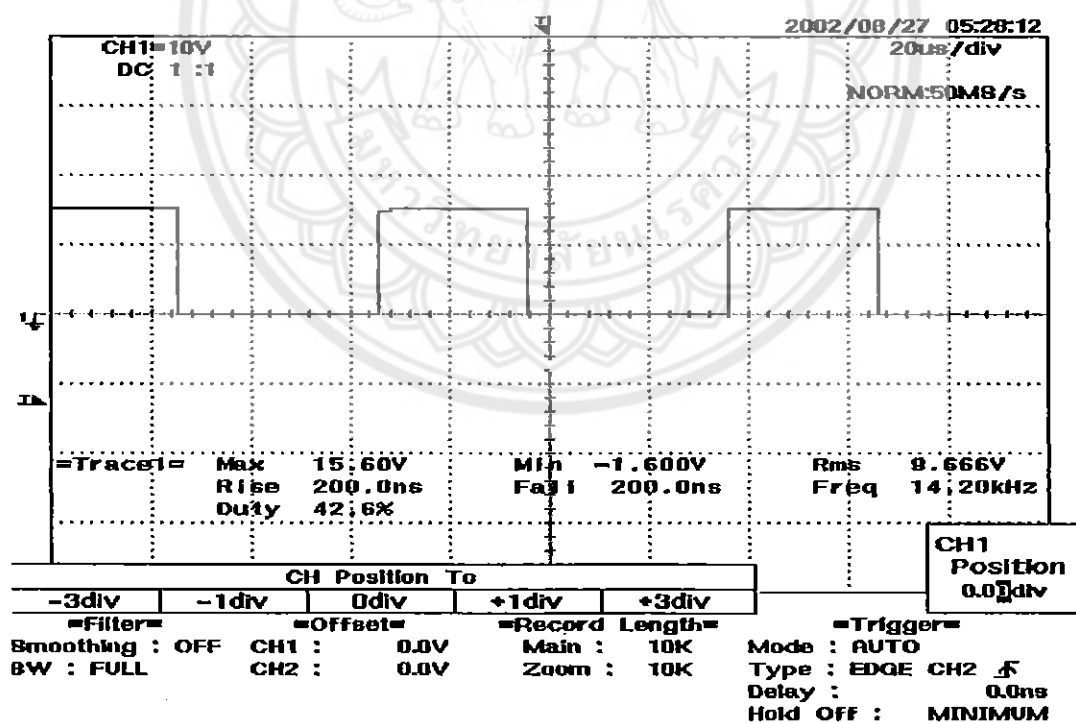
รูปที่ 4.3 ก สัญญาณที่ได้จากวงจรเคดใหม่ 1



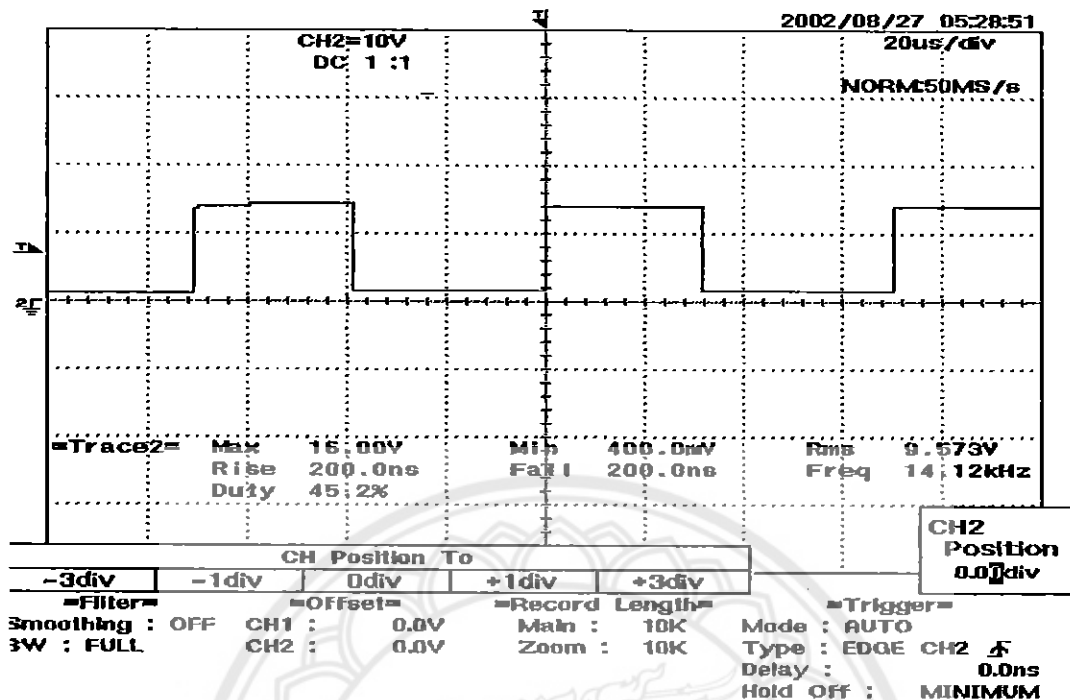
รูปที่ 4.3 ข สัญญาณที่ได้จากวงจรเคดใหม่ 2



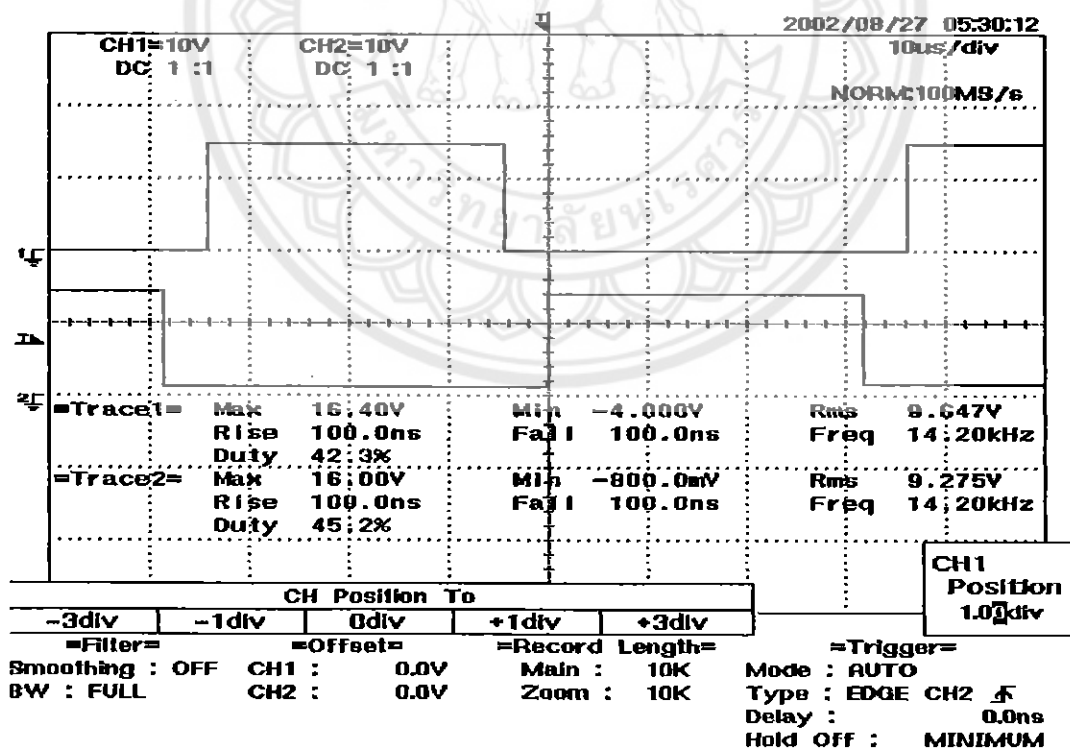
รูปที่ 4.3 ค แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรเคดไทย



รูปที่ 4.4 ก แสดงสัญญาณวงจรขับเกท I



รูปที่ 4.4 ข แสดงสัญญาณวงจรขั้วเกท 2



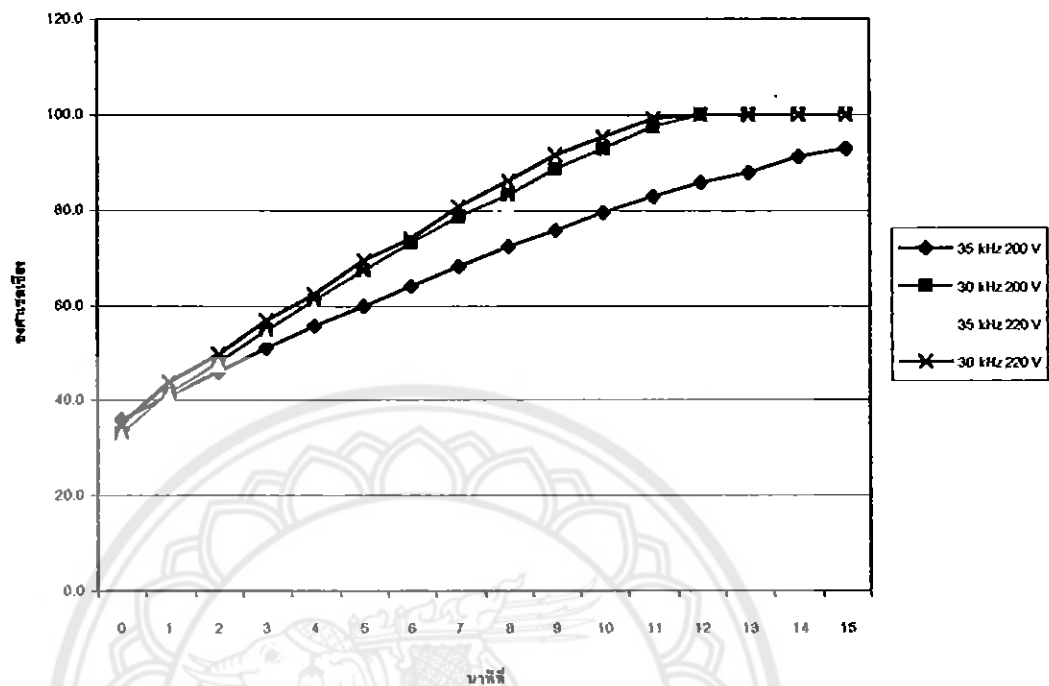
รูปที่ 4.4 ค แสดงสัญญาณวงจรขั้วเกท

4.1.1 การทดลองใช้เตาหุงต้มเหนียวน้ำ โดยให้ค่าความถี่และแรงดัน ที่ได้จากแหล่งจ่ายแรงดันปรับค่าได้ต่างกัน

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการต้มน้ำใช้แรงดันและความถี่ต่างกัน

นาที ที่	35 kHz C = 700 nF V = 200 V	30 kHz C = 700 nF V = 200 V	35 kHz C = 700 nF V = 220 V	35 kHz C = 700 nF V = 220 V
0	35.9	33.0	32.8	35.0
1	40.9	41.5	41.1	43.8
2	46.0	48.2	47.1	49.8
3	51.0	54.8	53.6	56.7
4	55.6	60.9	59.2	62.3
5	60.0	67.5	65.2	69.3
6	64.1	73.0	70.3	74.1
7	68.2	78.4	75.6	80.8
8	72.2	83.2	81.0	86.0
9	75.6	88.6	84.9	91.5
10	79.4	92.9	90.2	95.3
11	82.8	100.0	93.4	99.1
12	85.8	100.0	97.0	100.0
13	88.0	100.0	100.0	100.0
14	91.0	100.0	100.0	100.0
15	92.8	100.0	100.0	100.0

ภาพการทำงานของหม้อต้มที่สภาวะต่างๆ



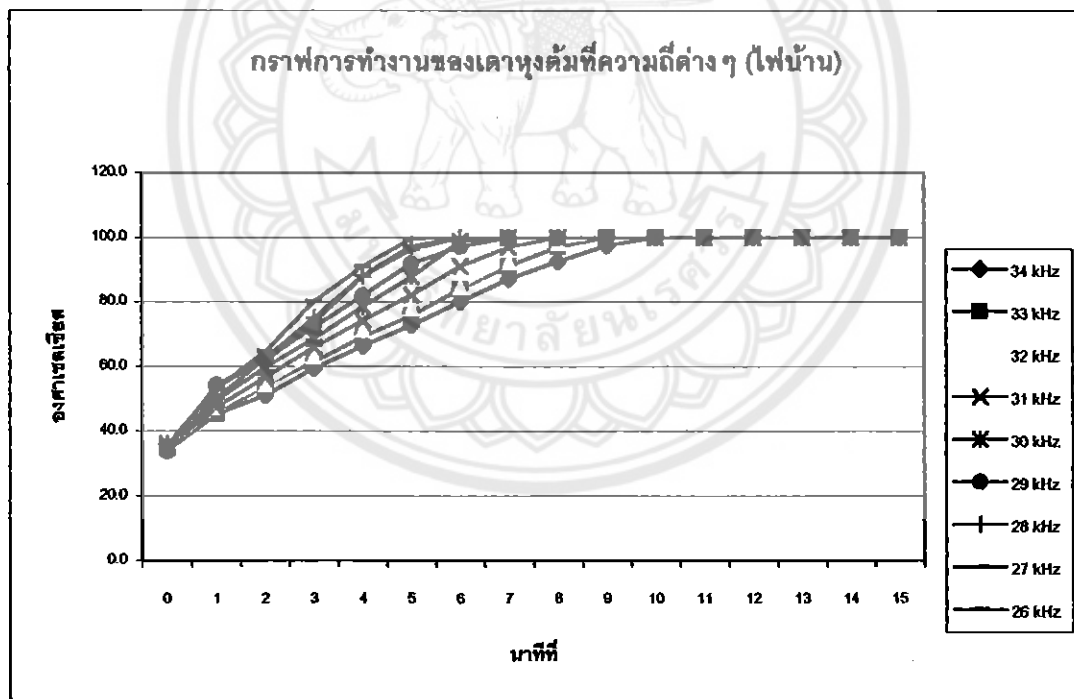
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการทำงานของหม้อต้มที่สภาวะต่างๆ

4.1.2 การทดลองใช้เตาหุงต้มเหนี่ยวนำ โดยใช้แรงดันจากไฟบ้าน (230 V) แล้วลดความถี่ลง (ช่วง 26 kHz - 34 kHz) $C = 700 \text{ nF}$

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการต้มน้ำโดยใช้ความถี่ต่างกัน

นาทีที่	34 kHz	33 kHz	32 kHz	31 kHz	30 kHz	29 kHz	28 kHz	27 kHz	26 kHz
0	34.1	35.2	34.6	35.2	36.0	33.8	36.0	35.8	33.0
1	45.3	45.1	47.2	47.5	49.5	54.3	50.2	53.3	53.3
2	51.0	54.1	54.2	56.7	59.7	62.1	62.5	62.9	64.7
3	59.5	61.4	63.0	66.0	68.6	72.3	75.1	73.7	80.2
4	66.4	69.2	71.2	74.2	78.5	82.0	88.1	88.0	91.1
5	72.7	75.7	77.8	82.2	87.7	91.8	97.3	96.3	99.6
6	80.0	84.0	84.6	91.1	98.8	97.2	100.0	100.0	100.0

นาฬิกาที่	34 kHz	33 kHz	32 kHz	31 kHz	30 kHz	29 kHz	28 kHz	27 kHz	26 kHz
7	87.0	91.0	92.1	97.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
8	92.5	97.0	98.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
9	97.4	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
10	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
11	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
12	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
13	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
14	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
15	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0



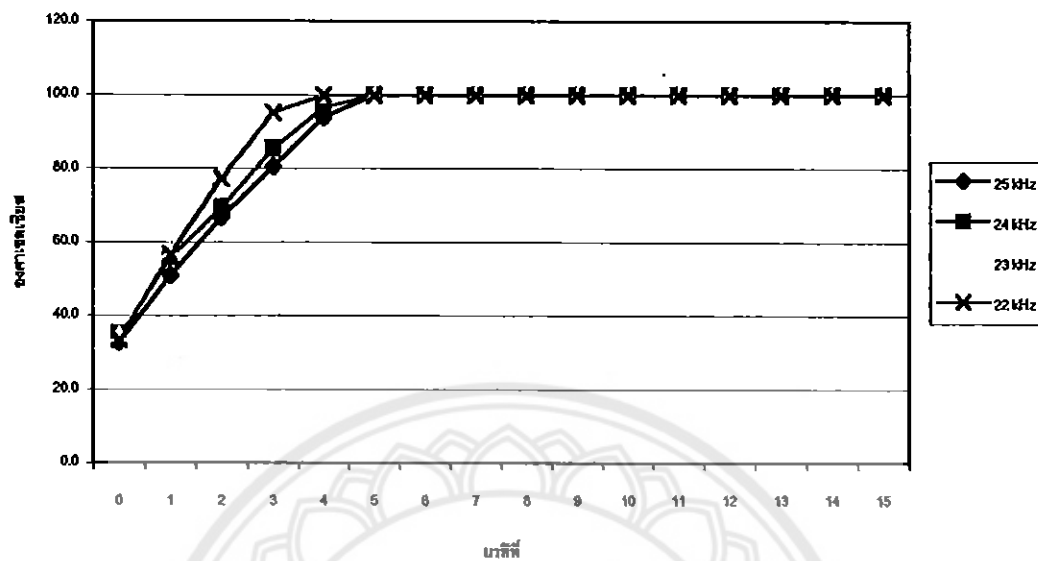
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการทำงานของเตาหุงต้มที่ความถี่ต่างๆ (ไฟบ้าน)

4.1.3 การทดลองใช้เตาหุงต้มเหนียวหน้าที่ช่วงความถี่ 22 kHz - 25 kHz แรงดันเท่ากับไฟบ้าน

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการต้มข้าวโดยใช้ความถี่ต่างกัน

นาทีที่	25 kHz	24 kHz	23 kHz	22 kHz
0	32.9	35.2	34.9	33.4
1	51.0	55.7	57.9	56.7
2	66.9	69.4	79.5	77.4
3	80.6	85.5	91.0	95.2
4	94.0	96.6	100.0	100.0
5	100.0	100.0	100.0	100.0
6	100.0	100.0	100.0	100.0
7	100.0	100.0	100.0	100.0
8	100.0	100.0	100.0	100.0
9	100.0	100.0	100.0	100.0
10	100.0	100.0	100.0	100.0
11	100.0	100.0	100.0	100.0
12	100.0	100.0	100.0	100.0
13	100.0	100.0	100.0	100.0
14	100.0	100.0	100.0	100.0
15	100.0	100.0	100.0	100.0

กราฟการทำงานของเตาหุงต้มในช่วงความถี่ 22 kHz - 25 kHz



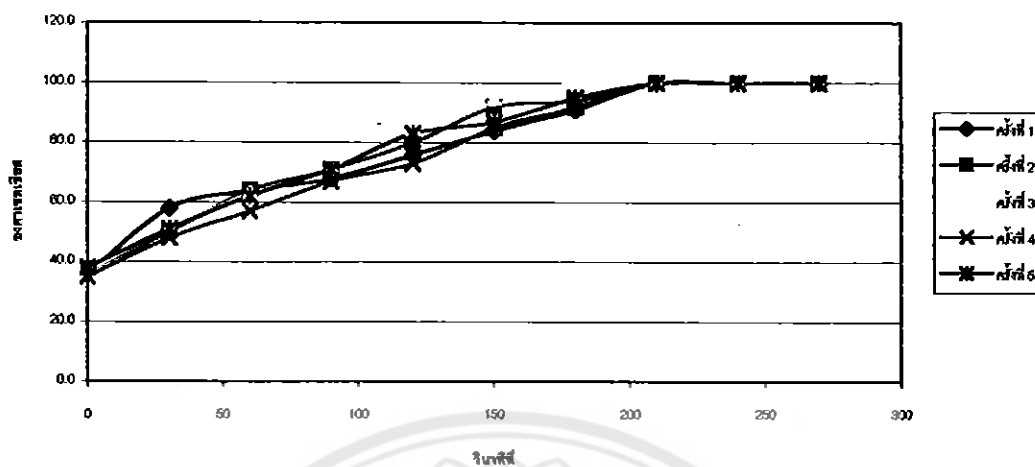
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการทำงานของเตาหุงต้มในช่วงความถี่ 22 kHz - 25 kHz

4.1.4 การทดลองใช้เตาหุงต้มเหนี่ยวนำที่ ความถี่ 22 kHz

ตารางที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการต้มโดยใช้ความถี่ที่ 22 kHz

วินาที	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
0	36.0	37.0	37.0	35.0	38.0
30	58.0	50.0	51.0	48.0	51.0
60	64.0	64.0	63.0	57.0	62.0
90	68.0	71.0	71.0	67.0	71.0
120	76.0	80.0	85.0	73.0	83.0
150	84.0	92.0	95.0	85.0	87.0
180	91.0	94.0	100.0	92.0	95.0
210	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
240	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

ภาพการทำงานของเตาหุงต้มที่ความถี่ 22 kHz



รูปที่ 4.8 แสดงการทำงานของเตาหุงต้มที่ความถี่ 22 kHz

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

โครงการนี้ได้มีการพัฒนาให้เตาหุงต้มเหนี่ยวนำ มีความสามารถให้ความร้อนได้เร็วยิ่งขึ้นโดยการใช้วงจร Soft Start และ หม้อแปลง matching มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพแต่เนื่องจากเมื่อใช้หม้อแปลง ต่อเข้ากับวงจรฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์แล้วพบว่า

1. หม้อแปลงไม่ทำการแปลงแรงดัน เนื่องจากโหลดของโครงการนี้ คือ L เมื่อต่อหม้อแปลงเข้าไปทำให้กระแสไหลผ่านแต่ทางด้าน Primary เพราะคิดว่าหม้อแปลงคือ โหลด
2. เตาหุงต้มเหนี่ยวนำไม่จำเป็นต้องใช้หม้อแปลงก็ได้ เนื่องจากต้องการกระแสไม่มาก
3. การใช้หม้อแปลง matching ทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น และยังส่งผลให้อุปกรณ์การผลิตเตาหุงต้มมีจำนวนมากเกินความจำเป็น

ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้ศึกษาหาวิธีการพัฒนาเตาหุงต้มเหนี่ยวนำให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยไม่ต้องใช้หม้อแปลง matching โดย

- เพิ่ม C Resonance จาก 300 nF เป็น 700 nF
- ลดความถี่ลงเพื่อเป็นการถนอมมอสเฟตให้ทำงานไม่หนักเกินไป แต่ก็ควรจะอยู่ในช่วงที่ทำงานได้ (เลือกที่ช่วง 22 kHz – 35 kHz)
- ปรับปรุงสัญญาณขับเคลื่อนโดยการต่อ R , C และ Diode ให้สัญญาณเรียบมากขึ้น
- ปรับปรุงการระบายความร้อนของมอสเฟต
- เปลี่ยน Soft Start เพื่อให้การทำงาน Smooth มากขึ้น
- ต่อ Line Filter เพื่อลดการกระชากของกระแส

และเมื่อทำการปรับปรุงวงจรเสร็จแล้วก็ได้มีการทดลองการทำงานของหม้อต้มเหนี่ยวนำเพื่อให้ได้ช่วงความถี่และแรงดันที่เหมาะสม โดยมีการทดลองดังนี้

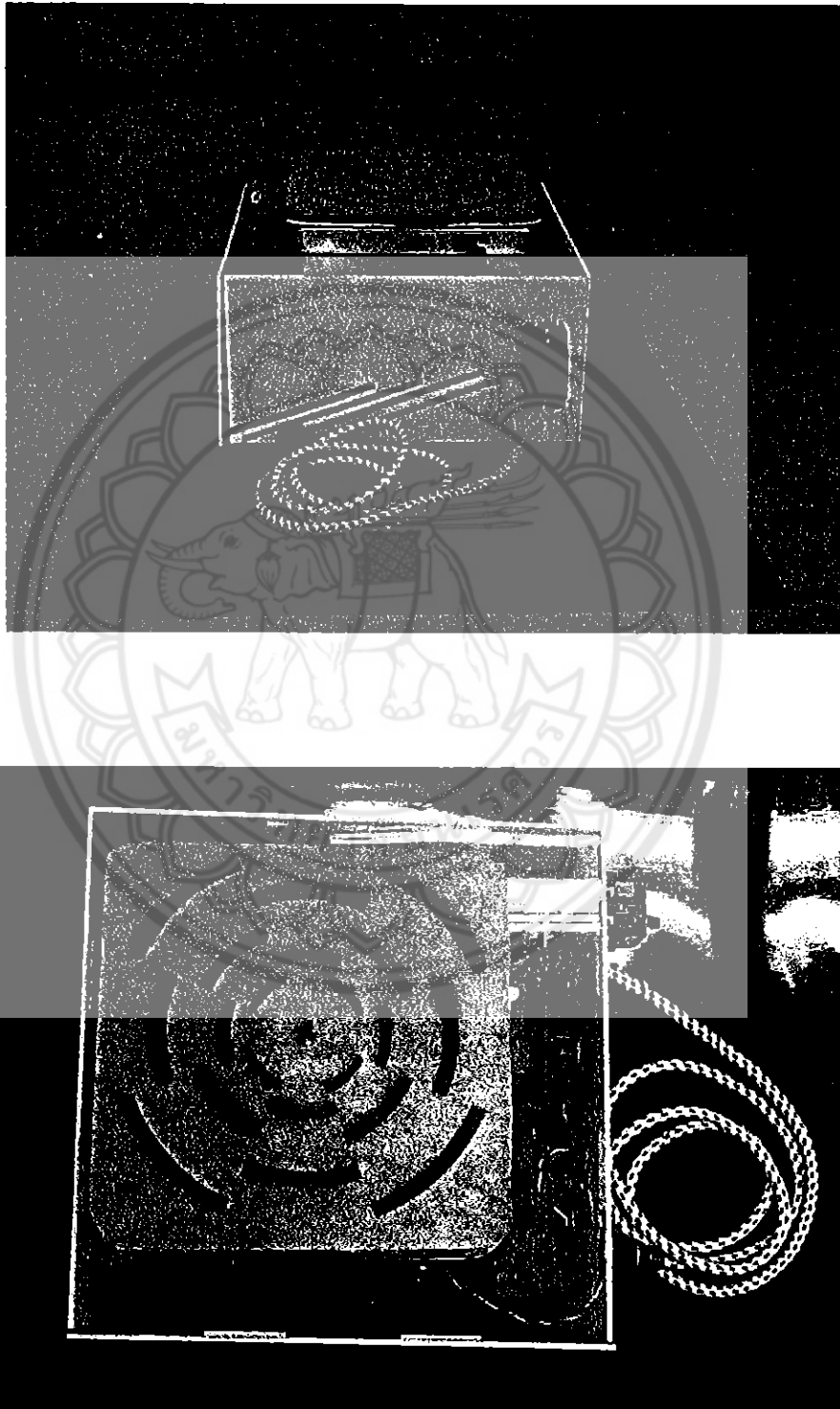
1. ทำการทดสอบการทำงานของวงจรต่าง ๆ โดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันปรับค่าได้ เลือกใช้ที่ค่าความถี่สูงๆ ไว้ก่อน เนื่องจากที่ความถี่สูงๆ จะทำให้มีกระแสในวงจรเพียงเล็กน้อย พบว่าสามารถทำงานที่แรงดันสูงได้ (220 V) แต่การทดสอบดังกล่าวยังให้ทราบอีกว่าจะมีการ Drop ของแรงดันเกิดขึ้น ขณะที่ทำการใช้เตา (Drop ประมาณ 10-25 V)
2. ทำการเปรียบเทียบการทำงานที่แรงดันคงที่ แต่มีการเปลี่ยนความถี่ และการทำงานที่ความถี่คงที่ แต่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดัน พบว่าสถานะที่เตาทำงานได้ดีที่สุด เมื่อ แรงดันมีค่ามากขึ้น และมีความถี่น้อยๆ (อยู่ในช่วง 22 kHz – 35 kHz)
3. ทดสอบใช้ไฟบ้าน โดยให้ความถี่สูง ๆ พบว่าสามารถทำงานได้ จากนั้นค่อยๆ ลดความถี่ลงเพื่อหาช่วงความถี่ที่สามารถทำงานได้ดี ทำให้ทราบอีกกว่าที่ 22 kHz เป็นความถี่ที่สามารถทำงานได้ดีที่สุด
4. ทดสอบการทำงานที่ 22 kHz หลาย ๆ ครั้ง เพื่อหาแนวโน้มการทำงาน และเพื่อทดสอบความเสถียรของวงจร

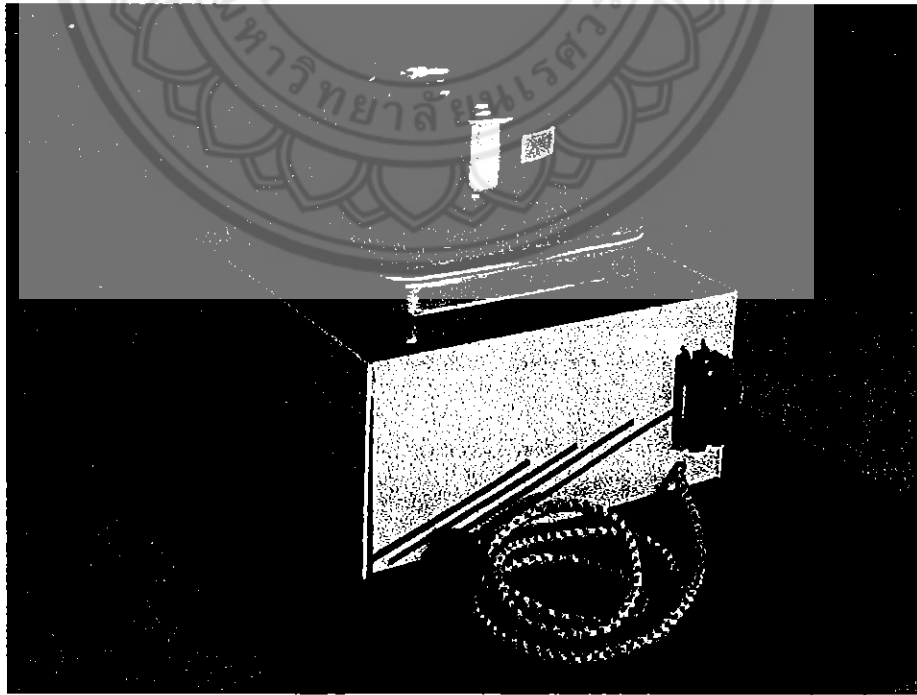
4.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

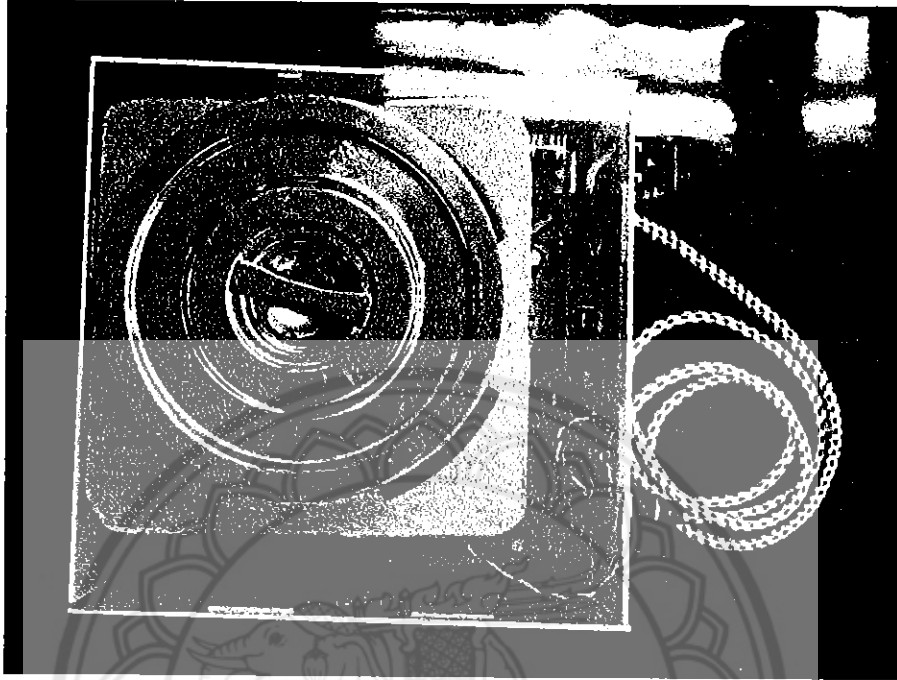
1. การเลือกใช้ Diode ต่อที่มอสเฟตให้ใช้ Diode ชนิด Ultra fast diode เพื่อให้มอสเฟตสามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูง
2. Soft Start ที่ใช้นี้ มีสวิทช์กดคิดปด้อยค้มเพื่อป้องกันการกระชากของกระแส ทำให้ยุ่งยากต่อการทำงานของเตาหุงต้มนี้ อาจทำการปรับปรุงวงจรนี้โดยใช้ Microprocessor เข้ามาควบคุมการทำงานแทน
3. การตั้งเวลาการทำงานของ Soft Start ไม่ควรมากหรือน้อยเกินไป เนื่องจากถ้าน้อยเกินไป อาจทำให้เกิดการกระชากของกระแส หรือถ้ามากเกินไปจะทำให้มีกระแสไหลผ่าน R และ L นานมากขึ้น ทำให้ R ร้อนถึงไหม้ได้
4. Regulator 7805 เมื่อใช้งานมาก ๆ อาจทำให้เสียได้ง่าย
5. เรายังสามารถลดความถี่ลงจาก 22 kHz ได้อีกเพียงเล็กน้อย เนื่องจากที่ความถี่ต่ำ ๆ จะทำให้มีกระแสไหลผ่านวงจรปริมาณมาก อาจทำให้มอสเฟตเสียได้

ภาคผนวก

รูปชิ้นงาน





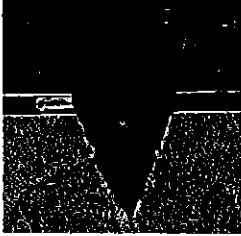


เอกสารอ้างอิง

- [1] เกลิมพล น้ำค้าง. ทฤษฎี สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์สื่อเสริม
กรุงเทพ. 2543.
- [2] ศศ.ศุภชัย เมฆมา. หม้อแปลงระบบไฟ 1 เฟส และ 3 เฟส. กรุงเทพมหานคร : 2535.
- [3] เอกชัย ใจกัน และคณะ. เตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงโดยใช้ฮาร์ดฟิวรีดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซ
แนนซ์แบบอนุกรม. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร. 2544.



ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ชื่อ นายพงศกร ทองยั้ง
ภูมิลำเนา 29/5 ม.1 ต.ไม้งาม อ.เมือง จ.ตาก
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนตากพิทยาคม
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- e-mail : pongsiam44@hotmail.com



ชื่อ นางสาวสิริมา วิลิทธิ
ภูมิลำเนา 120 ม.2 ต.ศาลเจ้าไก่ต่อ อ.ลาดยาว จ.นครสวรรค์
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนสตรีนครสวรรค์
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- e-mail : sirima_v@hotmail.com



ชื่อ นายเกียรติก้อง คำแก้ว
ภูมิลำเนา 40 ถ.วงศ์คำปาน อ.เมือง จ.มุกดาหาร
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนมุกดาหาร
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- e-mail : kiatkong_k@hotmail.com