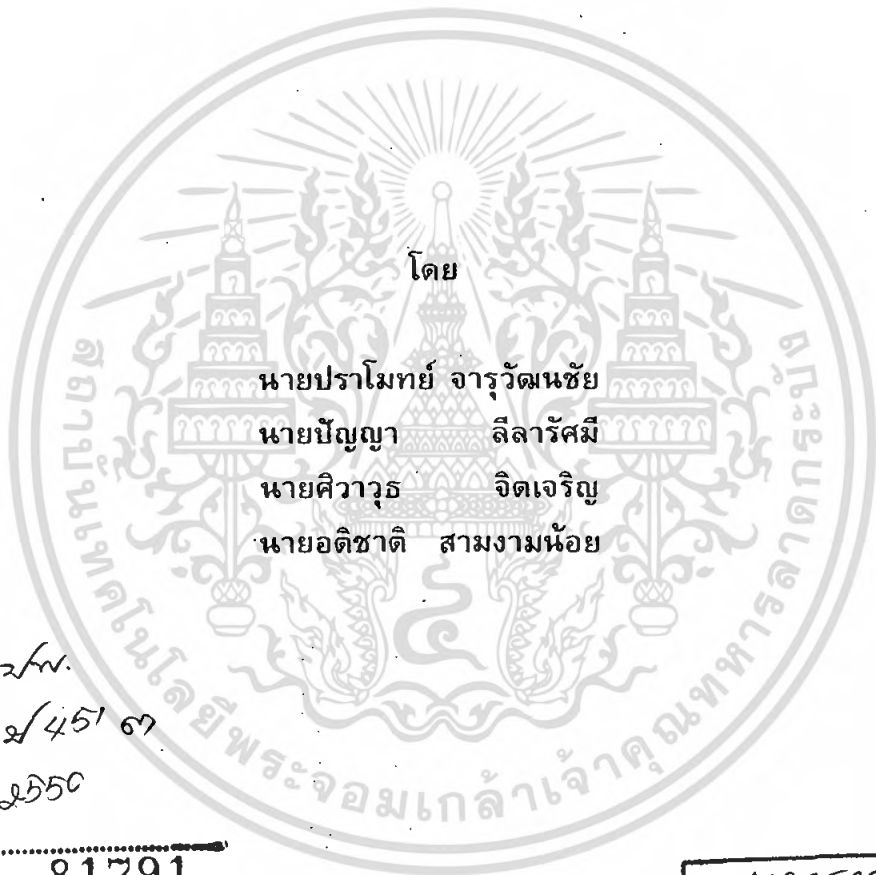


**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

เตาเหนี่ยวนำไฟฟ้า 2 หัว

TWO - OUTPUT INDUCTION COOKER



โดย

นายปราโมทย์ จารุวัฒนชัย

นายปัญญา ลีลารัศมี

นายศิวาวุธ จิตเจริญ

นายอดิชาติ สามงามน้อย

รฟ.

ร/451 ๗

๒๕๕๐

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 81791  
วัน,เดือน,ปี 24 ส.ย. 2551

b. 11935996  
i. ....

ปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาเหนียวนำไฟฟ้าสองหัว  
TWO-OUTPUT INDUCTION COOKER



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เตาเหนี่ยวนำไฟฟ้าสองหัว

ผู้จัดทำ

1. นายปราโมทย์ จารุวัฒน์ชัย
2. นายปัญญา ลีสารศรี
3. นายศิวารุช จิตเจริญ
4. นายอติชาติ สามงามน้อย



.....*อนวัจน์ จางวนิชเลิศ*.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนวัจน์ จางวนิชเลิศ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เตาไฟฟ้าเหนียวหน้าสองหัว

ปราโมทย์	จารุวัฒน์ชัย	
ปัญญา	ลีลารัตน์	
ศิวาวุธ	จิตเจริญ	
อติชาติ	สามงามน้อย	
ผศ.ดร.อนุวัฒน์	จางวนิชเลิศ	อาจารย์ที่ปรึกษา

### บทคัดย่อ

ปัญญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการให้ความร้อนเตาหุงต้มอาหารโดยอาศัยหลักการเหนียวหน้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และนำเสนอการควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยการปรับดิโอดีไอเคิลของอุปกรณ์สวิตชิงในชุดอินเวอร์เตอร์สำหรับเตาหุงต้มเหนียวหน้าความถี่สูงขนาด 2 เคา โดยใช้ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ 2 ชุด ซึ่งใช้กิ่งหนึ่งของสวิตช์ร่วมกันแล้วสามารถจ่ายโหลดเตาหุงต้มเหนียวหน้าทั้ง 2 เคาที่ความถี่สูงซึ่งแยกอิสระจากกัน แล้วใช้แรงดันขาออกของชุดอินเวอร์เตอร์ที่เป็นแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยมตามดิโอดีไอเคิลเพื่อจ่ายให้กับชุดโหลดเรโซแนนซ์แบบอนุกรม และคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าขาออก รวมถึงหาค่ากำลังไฟฟ้าขาเข้าจากแหล่งจ่าย โดยการแตกองค์ประกอบฮาร์มอนิกส์ของแรงดันและกระแส และคำนวณประสิทธิภาพของเตาไฟฟ้าเหนียวหน้าสองหัว

## Two-output Induction Cooker

Pramote Jaruwattanachai  
Panya Leelarasamee  
Siwawut Jitcharoen  
Atichat Samngamnoi  
Asst. Prof. Dr. Anuwat Jangwanitlert Supervisor

### Abstract

This project presents the two output full bridge inverter on induction cooking by magnetic fields. Using 2 full bridge inverter ,one branch of switch share can feed both of load induction cooking and independent each load separately. The output voltage of inverter is ac square wave which is followed by duty cycle to feed the series resonant circuit. Using harmonics voltage and current to calculate the electric power and efficiency of induction cooking is presented.

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการนี้ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำต่างๆในการปรับปรุงพัฒนาโครงการขึ้นนี้ ตลอดจนอาจารย์และรุ่นพี่ในภาควิชาที่คอยให้คำปรึกษาแก่ผู้จัดทำในครั้งนี้ ถ้าปราศจากท่านโครงการนี้ก็อาจไม่สำเร็จก็เป็นได้

นอกจากนี้ผู้จัดทำต้องขอขอบคุณเพื่อนๆร่วมห้องปฏิบัติการและห้องข้างเคียงที่คอยเคียงข้างไม่ทำให้รู้สึกเหงา มีสีสัน เสียงหัวเราะอยู่ตลอด คอยแบ่งปันประสบการณ์แลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันอยู่เสมอ เอาใจใส่คอยถามไถ่กันบ่อยๆ

ท้ายที่สุดนี้ คณะผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา วงศาคณาญาติที่คอยเลี้ยงดูอุปถัมภ์เลี้ยงดูเสียเงินทอง ให้ผู้จัดทำได้ศึกษาเล่าเรียนพากเพียรจนมีวันนี้



ปราโมทย์	จารุวัฒน์ชัย
ปัญญา	ลีลารัมย์
ศิวาวุธ	จิตเจริญ
อดิชาติ	สามงามน้อย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1	บทนำ.....1
1.1	ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....1
1.2	วัตถุประสงค์ของโครงการ.....1
1.3	ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....1
1.4	วิธีการที่ใช้ในโครงการ.....2
1.5	แผนการดำเนินโครงการ.....2
1.6	ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....2
1.7	การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์.....3
บทที่ 2	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2.1	หลักการให้ความร้อนและการเหนี่ยวนำความถี่สูง.....4
2.2	หลักการสร้างกระแสความถี่สูงเพื่อการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน.....11
2.3	หลักการของวงจรเรียงกระแส.....11
2.4	หลักการของวงจรอินเวอร์เตอร์.....14
2.5	หลักการของโหลดเรโซแนนท์.....16
2.6	การสร้างสัญญาณขับมอสเฟตด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์.....24
2.7	วงจรขับมอสเฟต.....26
บทที่ 3	การออกแบบการทดลอง.....30
3.1	การออกแบบชุดวงจรกำลัง.....30

	3.1.1	วงจรเรียงกระแส.....	30
	3.1.2	วงจรอินเวอร์เตอร์.....	32
	3.1.3	โหลดเรโซแนนท์.....	33
	3.2	การออกแบบชุดวงจรควบคุม.....	35
	3.2.1	ชุดคำสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์.....	35
	3.2.2	วงจรขับมอสเฟต.....	38
บทที่	4	ผลการทดลอง.....	42
	4.1	การทดสอบสัญญาณที่ออกจากชุดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	42
	4.2	การทดสอบสัญญาณที่ออกจากชุดขับมอสเฟต Onto-Coupler.....	44
	4.3	การทดสอบแรงดันและกระแสเมื่อทำงานเตาเดียว.....	46
	4.4	การทดสอบแรงดันและกระแสอินพุทในกรณีต่างๆ.....	48
	4.5	การทดสอบแรงดันและกระแสเมื่อทำงานสองเตา.....	52
	4.6	ค่าประสิทธิภาพของเตาในลักษณะการทำงานต่างๆ.....	56
บทที่	5	บทสรุปและแนวทางที่จะดำเนินการ.....	58
	5.1	บทสรุป.....	58
	5.2	ปัญหาที่พบและแนวทางการพัฒนา.....	58
เอกสารอ้างอิง.....			60
ภาคผนวก.....			61
ประวัติผู้เขียน			

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	กระแสไหลวนในภาชนะหุงต้ม.....4
2.2	หลักการให้ความร้อนของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง.....5
2.3	วงจรเตาหุงต้มเหนี่ยวนำกับภาชนะหุงต้ม เทียบเท่าวงจรหม้อแปลง.....5
2.4	วงจรเทียบเท่าวงจรของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำกับภาชนะหุงต้ม.....6
2.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแส.....9
2.6	เส้นกราฟแสดงการหาค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของภาชนะหุงต้มจากตารางที่ 2.1.....10
2.7	บล็อกไดอะแกรมแสดงโครงสร้างของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำ.....11
2.8	แสดงรูปวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มบริดจ์แบบไดโอดพร้อมตัวกรองความถี่ด้วยตัวเก็บประจุ กรณีโหลดตัวต้านทาน.....12
2.9	แสดงรูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสอินพุทของวงจรเรียงกระแส พร้อมตัวกรองความถี่ด้วยตัวเก็บประจุ กรณีโหลดตัวต้านทาน.....13
2.10	แสดงรูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสเอาต์พุทของวงจรเรียงกระแสพร้อมตัวกรองความถี่ด้วยตัวเก็บประจุ กรณีโหลดตัวต้านทาน.....13
2.11	แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดฮาร์ลฟบริดจ์และซิงฟูลบริดจ์.....15
2.12	แสดงคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุทของวงจรอินเวอร์เตอร์ฮาร์ลฟบริดจ์และฟูลบริดจ์.....15
2.13	แสดงรูปวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม.....19
2.14	แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุทของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม.....20
2.15	แสดงรูปวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรมของโหลดที่ 1.....21
2.16	แสดงรูปวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรมของโหลดที่ 2.....21
2.17	แสดงลำดับการทำงานสวิตช์ และรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุท กระแสเอาต์พุทของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ของแต่ละโหลดเตา.....23
2.18	แสดงลำดับการทำงานสวิตช์ และรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุท กระแสเอาต์พุทของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาดสองเตารวมในวงจรเดียวกันโดยอาศัยกึ่งร่วม 1 กิ่ง.....24
2.19	ไมโครคอนโทรลเลอร์PIC16F877A.....25
2.20	แสดงภาพโครงสร้างสถาปัตยกรรมของ PIC16F877A.....26

2.21(ก)	แสดงวงจรขับด้วยไอซี TTL ที่มีเอาต์พุตเป็นแบบคอลเล็กเตอร์เปิดการต่อพูล็อพรีซิสเตอร์เข้าช่วยเพื่อให้มีแรงดันสูงพอที่จะขับมอสเฟตให้การทำงานและการหยุดนำกระแสมอสเฟตเป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้นแต่ความเร็วขณะเริ่มนำกระแสยังมีค่าจำกัดอยู่เนื่องจากกระแสนิ่งถูกจำกัดด้วยพูล็อพรีซิสเตอร์.....	27
2.21(ข)	ทรานซิสเตอร์จะช่วยในการจ่ายกระแสได้มากขึ้นทำให้ความเร็วในการนำกระแสของมอสเฟตดีขึ้นและลดกำลังสูญเสียในตัว ไอซี TTL ด้วยและวงจรขับจะเพิ่มทรานซิสเตอร์เข้ามาอีกหนึ่งตัวเพื่อนำการคายประจุที่ขาเกตเป็นไปอย่างรวดเร็วและทำให้ความเร็วขณะเริ่มหยุดนำกระแสเป็นไปได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น.....	27
2.22	แสดงการขับมอสเฟต ด้วยไอซีCMOS.....	28
2.23	แสดงวงจรขับมอสเฟตด้วยหม้อแปลง.....	28
3.1	แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรถูกำลัง.....	30
3.2	แสดงการออกแบบขนาดของวงจรเรียงกระแส.....	32
3.3	มอสเฟตรุ่น IRFP460.....	32
3.4	แสดงการออกแบบขนาดของวงจรอินเวอร์เตอร์.....	33
3.5	แสดงภาพขนาดของขดลวดเตาแต่ละหัว.....	34
3.6	แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุม.....	35
3.7	ไอซีเบอร์ 7805.....	35
3.8	วงจรชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877ที่ใช้ในการทดลอง.....	37
3.9	วงจรขับมอสเฟต Opto-Coupler ที่ใช้ในการทดลอง.....	38
3.10	แสดงวงจรเรียงกระแส.....	39
3.11	แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์.....	39
3.12	แสดงชุดโหลดเรโซแนนท์.....	40
3.13	แสดงวงจรขับมอสเฟต.....	40
3.14	วงจรทั้งหมดของเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้า 2 หัว.....	41
4.1	แสดงสัญญาณที่ออกจากขาสัญญาณ 2.....	42
4.2	แสดงสัญญาณที่ออกจากขาสัญญาณ 3.....	43
4.3	แสดงสัญญาณที่ออกจากขาสัญญาณ 4.....	43
4.4	แสดงสัญญาณขับมอสเฟตของกึ่งที่ 1 ( กึ่งร่วม ) .....	44
4.5	แสดงสัญญาณขับมอสเฟตของกึ่งที่ 2 (เตา1) เมื่อเปิด Low.....	44

4.6	แสดงสัญญาณขั้วมอสเฟตของกึ่งที่ 2 (เตา 1) เมื่อเปิด High.....	45
4.7	แสดงสัญญาณขั้วมอสเฟตของกึ่งที่ 3 (เตา 2) เมื่อเปิด Low.....	45
4.8	แสดงสัญญาณขั้วมอสเฟตของกึ่งที่ 3 (เตา 2) เมื่อเปิด High.....	46
4.9	แสดงแรงดันและกระแสที่เตา 1 เมื่อเปิด Low.....	46
4.10	แสดงแรงดันและกระแสที่เตา 1 เมื่อเปิด High.....	47
4.11	แสดงแรงดันและกระแสที่เตา 2 เมื่อเปิด Low.....	47
4.12	แสดงแรงดันและกระแสที่เตา 2 เมื่อเปิด High.....	48
4.13	เมื่อเปิดเตา 1 Low.....	48
4.14	เมื่อเปิดเตา 1 High.....	49
4.15	เมื่อเปิดเตา 2 Low.....	49
4.16	เมื่อเปิดเตา 2 High.....	50
4.17	เมื่อเปิดเตา 1 Low เตา 2 Low.....	50
4.18	เมื่อเปิดเตา 1 Low เตา 2 High.....	51
4.19	เมื่อเปิดเตา 1 High เตา 2 Low.....	51
4.20	เมื่อเปิดเตา 1 High เตา 2 High.....	52
4.21	แสดงแรงดันและกระแสที่เตา 1 เมื่อเปิดเตา 1 Low และเตา 2 Low.....	52
4.22	แสดงแรงดันและกระแสที่เตา 2 เมื่อเปิดเตา 1 Low และเตา 2 Low.....	53
4.23	แสดงแรงดันและกระแสที่เตา 1 เมื่อเปิดเตา 1 Low และเตา 2 High.....	53
4.24	แสดงแรงดันและกระแสที่เตา 2 เมื่อเปิดเตา 1 Low และเตา 2 High.....	54
4.25	แสดงแรงดันและกระแสที่เตา 1 เมื่อเปิดเตา 1 High และเตา 2 Low.....	54
4.26	แสดงแรงดันและกระแสที่เตา 2 เมื่อเปิดเตา 1 High และเตา 2 Low.....	55
4.27	แสดงแรงดันและกระแสที่เตา 1 เมื่อเปิดเตา 1 High และเตา 2 High.....	55
4.28	แสดงแรงดันและกระแสที่เตา 2 เมื่อเปิดเตา 1 High และเตา 2 High.....	56

## VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้เป็นภาชนะหุงต้มที่ความถี่ 30 kHz.....9
2.2	แสดงการเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างและรายละเอียดของวงจรอินเวอร์เตอร์ เรโซแนนท์แบบอนุกรม และแบบขนาน.....17
3.1	ตาราง Skin depth และ surface resistivity.....34



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำ เป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้เกิดความร้อนในตัวชิ้นงานที่เป็นโลหะโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นหลักการที่พบในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มอเตอร์ และหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งจะพบว่ามี การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในวงจรทางขดลวดปฐมภูมิ และจะก่อให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นทางด้านขดลวดทุติยภูมิถ้าขดลวดทุติยภูมิเป็นวงจรปิด กระแสเหนี่ยวนำจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ กระแสที่เกิดการเหนี่ยวนำนี้จะก่อให้เกิดความสูญเสียในรูปความร้อน ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการในเครื่องจักรกลไฟฟ้า แต่กระแสเหนี่ยวนำที่ก่อให้เกิดความร้อนนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น การให้ความร้อนแก่ภาชนะหุงต้มเพื่อการประกอบอาหาร กระแสเหนี่ยวนำดังกล่าวจะทำให้เกิดความร้อนที่ภาชนะหุงต้ม โดยไม่มีการสัมผัสกันทางไฟฟ้าระหว่างขดลวดเหนี่ยวนำกับภาชนะหุงต้ม ทำให้ปลอดภัยต่อการใช้งาน เตาหุงต้มเหนี่ยวนำนี้จะมีประสิทธิภาพสูงหุงต้มเดือดในเวลาอันรวดเร็วเนื่องจากความร้อนจะเกิดขึ้นโดยตรงที่ภาชนะหุงต้ม

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจ หลักการทำงานของ การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ ความถี่สูง รวมถึงหลักการสร้างกระแสความถี่สูงเพื่อใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน

1.2.2 สามารถออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำได้

1.2.3 สามารถจำลองการทำงานของวงจรที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆในวงจรได้

1.2.4 สามารถออกแบบวงจรเรียงกระแส วงจรอินเวอร์เตอร์ และวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ที่ใช้ขับมอสเฟตได้

1.2.5 สามารถควบคุมการทำงานของมอสเฟตด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

1.2.6 สามารถสร้างเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาด 2 เตา ที่สามารถปรับกำลังไฟฟ้าได้อิสระต่อกันตามขนาดกำลังไฟฟ้าที่ต้องการได้

#### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

การศึกษาค้นคว้าหลักการสร้างกระแสความถี่สูงเพื่อใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนเพื่อใช้ในการหุงต้มอาหาร ในส่วนของวงจรกำลังซึ่งประกอบด้วยวงจรเรียงกระแส วงจร

อินเวอร์เตอร์ โหลดเรโซแนนซ์ในลักษณะต่างๆ ในส่วนของวงจรควบคุมซึ่งเป็นการเรียนรู้ถึงการใช้อยู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรแยกกราวด์ และออกแบบพัฒนาให้ได้วงจรที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจากรุ่นพี่ที่เคยทำไว้

#### 1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

ศึกษาข้อมูลจากตำราและปริญาานิพนธ์เรื่องเตาเหนี่ยวนำในแบบต่างๆ ทดสอบและใช้งาน แล้วออกแบบวงจรที่จะทดลอง ทำการเลือกรุ่นไมโครคอนโทรลเลอร์ ภาษาที่จะใช้ ทราานซิสเตอร์ และขดลวดเตา ประกอบวงจรแล้วทดสอบการทำงานตามลำดับ

#### 1.5 แผนการดำเนินโครงการ

1.5.1 ศึกษาหลักการพื้นฐานของการเกิดความร้อน โดยอาศัยการเหนี่ยวนำความถี่สูง รวมถึงหลักการสร้างกระแสความถี่สูงเพื่อใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน

1.5.2 ออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำ และทำการพันขดลวดให้ได้ตามที่ต้องการ

1.5.3 ทำการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดเหนี่ยวนำและภาชนะหุงต้ม เพื่อที่จะนำค่าไปจำลองการทำงานของวงจรเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาด 2 เตา

1.5.4 วิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆในวงจร

1.5.5 จำลองการทำงานของวงจรเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาด 1 เตา โดยอาศัยหลักการ ทำงานด้วยวิธีเดียวกันกับการวิจัย

1.5.6 ออกแบบและสร้างส่วนประกอบของวงจรเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาด 2 เตา ซึ่งประกอบด้วยวงจรเรียงกระแส วงจรกรองแรงดัน วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ จ่ายให้กับขดลวดเหนี่ยวนำและภาชนะหุงต้ม 2 ชุด ยังรวมถึงชุดสร้างสัญญาณขับสวิตช์มอสเฟตและชุดควบคุมการทำงานของมอสเฟตด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

1.5.7 สร้างเครื่องต้นแบบเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาด 2 เตา ที่สามารถรับกำลังไฟฟ้าของแต่ละเตาได้อิสระต่อกัน

1.5.8 รวบรวมข้อมูลจัดพิมพ์ปริญาานิพนธ์

#### 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.6.1 เข้าใจหลักการการทำงานของวงจรเรียงกระแส วงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรเรโซแนนซ์ มากขึ้นจากการศึกษาในตำรา มีความรู้เรื่องการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆในวงจรมากขึ้นได้ทดลองการสร้างสัญญาณขับเกด

1.6.2 สามารถสร้างเตาหุงต้มอาหารโดยการเหนี่ยวนำขนาด 2 เต้า โดยใช้วงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่ความถี่ 40 kHz และสามารถปรับขนาดกำลังไฟฟ้าของแต่ละเต้าได้อิสระต่อกันตามที่ต้องการ ด้วยการควบคุมด้วยสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์

## 1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์

แบ่งออกเป็น 5 บท ได้ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ ประกอบด้วย

- วัตถุประสงค์ของโครงการ
- ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ
- ขั้นตอนและวิธีการดำเนินโครงการ
- ฝั่งเวลาการดำเนินงาน

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย

- หลักการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำความถี่สูง
- แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสกับความลึกจากผิวของภาชนะหุงต้ม
- แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้เป็นภาชนะหุงต้ม

บทที่ 3 การออกแบบ ประกอบด้วย

- การออกแบบวงจรกำลัง ประกอบด้วย ชุดวงจรเรียงกระแส ชุดอินเวอร์เตอร์ โหลดเรโซแนนท์
- ชุดวงจรควบคุม ซึ่งประกอบด้วย ชุดคำสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรขับมอสเฟต

บทที่ 4 การทดลอง และ ผลการทดลอง

แสดงกราฟของสัญญาณขับมอสเฟตและการทำงานในลักษณะต่างๆ

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและแนวทางที่จะดำเนินงาน

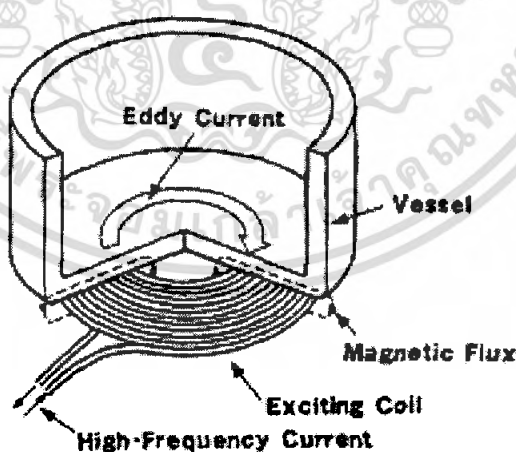
มีส่วนของการสรุปการทดลอง ลักษณะปัญหาที่พบ แนวทางการแก้ไข

## บทที่ 2

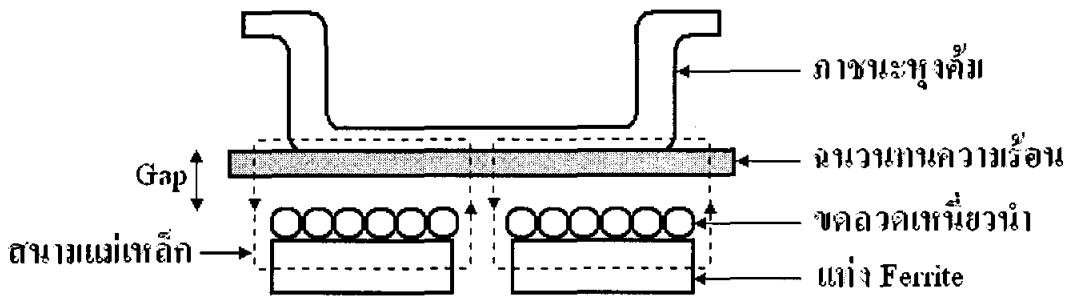
### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 หลักการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำความถี่สูง

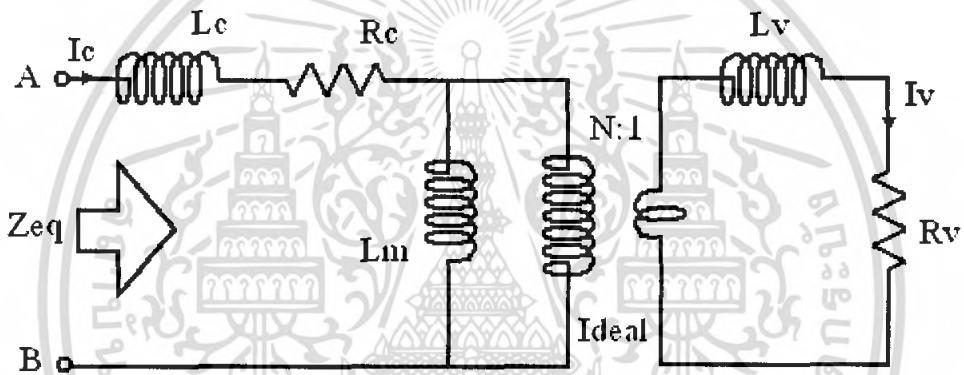
การให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำความถี่สูงนั้น เป็นการทำให้ความร้อนเกิดขึ้นที่ภาชนะโดยตรง โดยอาศัยกระแสไหลวนในภาชนะหุงต้มทำให้หุงต้มเดือดในเวลาอันรวดเร็ว โดยมีหลักการพิจารณาเหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อหาค่าอินดักแตนซ์เทียบเท่าและค่าความต้านทานเทียบเท่าของวงจรเทียบเท่าของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำกับภาชนะหุงต้ม ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้เป็นภาชนะหุงต้มในแต่ละชนิด เมื่อป้อนกระแสสลับความถี่สูงให้กับขดลวดเหนี่ยวนำที่อยู่ใต้ภาชนะหุงต้ม กระแสที่ไหลในขดลวดเหนี่ยวนำจะสร้างสนามแม่เหล็กเกี่ยวคล้อง (magnetic flux) กับภาชนะหุงต้ม ถ้าภาชนะหุงต้มเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติเป็นสาร Ferro-magnetic สนามแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องกับภาชนะ จะทำให้เกิดกระแสไหลวน (Eddy current) ในภาชนะหุงต้มเป็นเส้นทางปิด ทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนเป็นผลให้เกิดความร้อนขึ้นที่ภาชนะหุงต้ม และจะถ่ายเทไปยังน้ำที่อยู่ในภาชนะทำให้น้ำเดือดในที่สุด กล่าวคือกระแสไหลวนดังกล่าวจะทำให้เกิดความร้อนที่ภาชนะหุงต้ม โดยไม่มีการสัมผัสกันทางไฟฟ้าระหว่างขดลวดเหนี่ยวนำกับภาชนะหุงต้ม ทำให้ปลอดภัยต่อการใช้งานและเตาหุงต้มเหนี่ยวนำนี้จะมีประสิทธิภาพในการหุงต้มสูง



รูปที่ 2.1 แสดงกระแสไหลวนในภาชนะหุงต้ม



รูปที่ 2.2 หลักการให้ความร้อนของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง



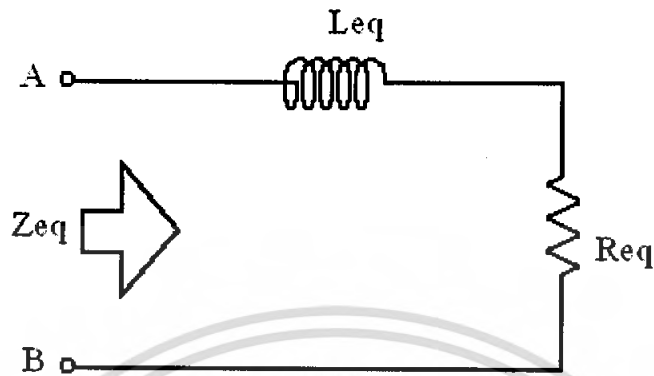
รูปที่ 2.3 วงจรเตาหุงต้มเหนี่ยวนำกับภาชนะหุ้มฉนวน เทียบเท่ากับวงจรหม้อแปลง

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของขดลวดเหนี่ยวนำและภาชนะหุ้มฉนวนจะมีเส้นแรงแม่เหล็กคล้องผ่านซึ่งกันและกันซึ่งมีลักษณะคล้ายกับหม้อแปลง โดยสามารถเขียนเป็นวงจรเทียบเท่าหม้อแปลงได้ดังรูปที่ 2.3

จากวงจรเตาหุงต้มเหนี่ยวนำกับภาชนะหุ้มฉนวนเทียบเท่ากับวงจรหม้อแปลง โดยมีภาชนะหุ้มฉนวนทำหน้าที่เป็นขดลวดทุติยภูมิที่มีจำนวนขดลวดเพียง 1 รอบ โดยมี leakage inductance ของภาชนะหุ้มฉนวน  $L_v$  และความต้านทานของภาชนะหุ้มฉนวน  $R_v$  ส่วนขดลวดทางด้านปฐมภูมิแทนด้วยขดลวดเหนี่ยวนำ โดยมี leakage inductance ของขดลวดเหนี่ยวนำ  $L_c$  ความต้านทานของขดลวดเหนี่ยวนำ  $R_c$  และ magnetizing inductance  $L_m$  ซึ่งมีค่าน้อย

และเมื่อทำการยุบรวมอิมพีแดนซ์ทางด้านปฐมภูมิและทางด้านทุติยภูมิเข้าด้วยกันแล้ว จะได้อิมพีแดนซ์รวม  $Z_{eq}$  ซึ่งประกอบด้วย  $R_{eq}$  และ  $L_{eq}$  ดังนั้นวงจรของขดลวดเหนี่ยวนำและภาชนะ

หุ้งค์มจะสมรภนเขียนแทนด้วยวงจรเทียบเท่ำได้ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งจะประกอบไปด้วยอินตักแดนทซ์เทียบเท่ำ  $L_{eq}$  และควมด้นทหนเทียบเท่ำ  $R_{eq}$



รูปที่ 2.4 วงจรเทียบเท่ำของเดอหุ้งค์มเหน็ยวนำกัภภษณะหุ้งค์ม

โดยค้ำควมสัมพันธ์ของพารมเตอร์ต่งๆ สมรภนหำได้ตั้งสมการต่อไปนี้

$$R_{eq} = R_c + R_{vp} \quad (2.1)$$

$$R_{vp} = N^2 R_v \quad (2.2)$$

$$R_{eq} = R_c + N^2 R_v \quad (2.3)$$

โดยที่  $N$  คือจ้นนวนรอบของขดลวดเหน็ยวนำหรือขดลวดปฐมภูมิ  
 $R_c$  คือค้ำควมด้นทหนของขดลวดเหน็ยวนำหรือขดลวดปฐมภูมิ  
 $R_v$  คือค้ำควมด้นทหนของภษณะหุ้งค์มหรือขดลวดทุติยภูมิ  
 $R_{vp}$  คือค้ำควมด้นทหนเทียบเท่ำของภษณะหุ้งค์มทงด้นปฐมภูมิ  
 $R_{eq}$  คือค้ำควมด้นทหนเทียบเท่ำของวงจรเดอหุ้งค์มเหน็ยวนำกัภภษณะหุ้งค์ม

$$L_{eq} = L_c + L_{vp} \quad (2.4)$$

$$L_{vp} = N^2 L_v \quad (2.5)$$

$$L_{eq} = L_c + N^2 L_v \quad (2.6)$$

เอกสรนั้เป็นเอกสรนั้ที่สงวนไว้ส่ำหรับการใช้งำนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ นำไปใช้ประโยชน์ด้นการค้ำ  
 ไม่วำกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อิกทั้งหำมมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้ำอิงถึงเจ้ำของเอกสรนั้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่	$L_c$	คือค่า leakage inductance ของขดลวดเหนี่ยวนำหรือทางด้านปฐมภูมิ
	$L_v$	คือค่า leakage inductance ของภาชนะหุ้มฉนวนหรือทางด้านทุติยภูมิ
	$L_{vp}$	คือค่า leakage inductance เทียบเท่า ของภาชนะหุ้มฉนวนทางด้านปฐมภูมิ
	$L_{eq}$	คือค่าอินดักแตนซ์เทียบเท่าของวงจรเตาหุ้มฉนวนเหนี่ยวนำกับภาชนะหุ้มฉนวน

$$P_c = I_c^2 R_c \quad (2.7)$$

$$P_v = I_v^2 R_v \quad (2.8)$$

$$P_v = I_c^2 R_{vp} \quad (2.9)$$

$$I_v = N I_c \quad (2.10)$$

โดยที่	$P_c$	คือกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดเหนี่ยวนำหรือทางด้านปฐมภูมิ
	$P_v$	คือกำลังไฟฟ้าสูญเสียในภาชนะหุ้มฉนวนหรือทางด้านทุติยภูมิ
	$I_c$	คือกระแสในขดลวดเหนี่ยวนำหรือทางด้านปฐมภูมิ
	$I_v$	คือกระแสในภาชนะหุ้มฉนวนหรือทางด้านทุติยภูมิ
ดังนั้น	จะสามารถคำนวณหาประสิทธิภาพได้ดังสมการ	

$$\eta = \frac{P_v}{P_v + P_c} \quad (2.11)$$

$$= \frac{I_v^2 R_v}{I_v^2 R_v + I_c^2 R_c} \quad (2.12)$$

$$= \frac{I_v^2 R_v}{\left[ \frac{I_v^2}{N^2} \right] [R_v N^2] + I_c^2 R_c} \quad (2.13)$$

$$= \frac{I_c^2 R_{vp}}{I_c^2 R_{vp} + I_c^2 R_c} \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{R_{vp}}{R_{vp} + R_c} \quad (2.15)$$

$$= \frac{1}{1 + R_c / R_{vp}} \quad (2.16)$$

ความร้อนเหนี่ยวนำจะเกิดขึ้นโดยกระแสไหลวนที่ไหลในภาชนะหุงต้ม ที่บริเวณผิวชั้นนอกของภาชนะหุงต้มที่ความลึกเท่ากับ  $\delta$  ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{4\pi^2 \times 10^{-7}} \cdot \frac{\rho}{\mu_r f}} \quad (2.17)$$

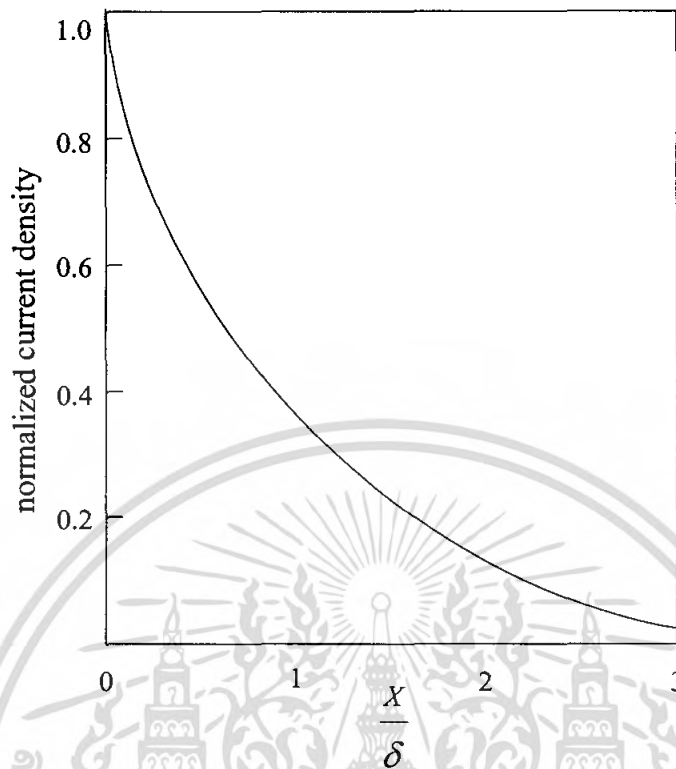
โดยที่  $\delta$  คือความลึกผิวชั้นนอกของภาชนะหุงต้ม (Skin depth)  
 $\rho$  คือสภาพความต้านทานทางไฟฟ้าของภาชนะหุงต้ม (Ohm-m)  
 $\mu_r$  คือความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ของภาชนะหุงต้ม  
 $f$  คือความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อน (Hz)

ดังนั้น ค่าความต้านทานของภาชนะหุงต้มในย่านความถี่สูง  $R_v$  มีค่าดังนี้

$$R_v = \frac{\rho}{\delta} = \sqrt{4\pi^2 \times 10^{-7}} \cdot \sqrt{\rho \mu_r f} \quad (2.18)$$

จากสมการ (2.18) จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานของภาชนะหุงต้ม  $R_v$  จะแปรผันโดยตรงกับสภาพความต้านทานทางไฟฟ้าของภาชนะหุงต้ม  $\rho$ , ความซึมซาบแม่เหล็ก  $\mu_r$  และความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับ  $f$  ที่ป้อนจากอินเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 2.5 ในหน้าถัดไปจะเห็นได้ว่ากระแสจะมีความหนาแน่นสูงสุดที่ผิวด้านนอกของภาชนะ และความหนาแน่นกระแสจะลดลงเมื่อระยะความลึกจากผิวของภาชนะมากขึ้น

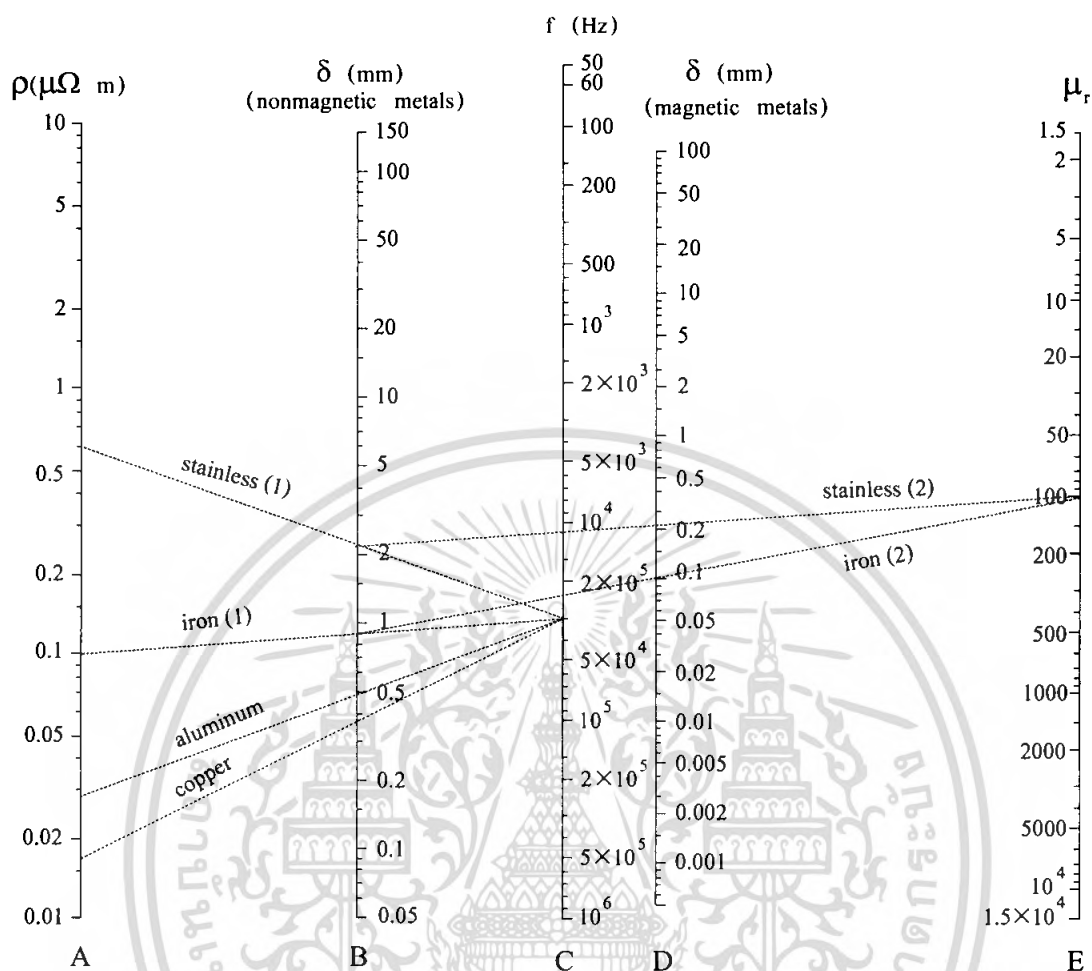


รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแส  
กับความลึกจากผิวของภาชนะหุงต้ม

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้เป็นภาชนะหุงต้มที่ความถี่ 30 KHz

material	iron	stainless	aluminum	copper
Resistivity (ohm-m): $\rho$	$9.8 \times 10^{-8}$	$60 \times 10^{-8}$	$2.8 \times 10^{-8}$	$1.7 \times 10^{-8}$
relative permeability: $\mu_r$	100	100	1	1
skin depth (mm): $\delta$	0.909	0.225	0.486	0.378
surface resistivity (ohm): $R_s$	$11 \times 10^{-4}$	$27 \times 10^{-4}$	$0.575 \times 10^{-4}$	$0.448 \times 10^{-4}$

จากตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของภาชนะหุงต้ม จะเห็นได้ว่า ภาชนะหุงต้มที่เป็นสาร Non Ferro-magnetic เช่น อลูมิเนียม ทองแดง จะมีสภาพความต้านทานทางไฟฟ้า  $\rho$  และความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์  $\mu_r$  ที่ต่ำมาก เมื่อเทียบกับภาชนะหุงต้มที่เป็นสาร Ferro-magnetic เช่น เหล็ก สแตนเลส



รูปที่ 2.6 เส้นกราฟแสดงการหาค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของภาชนะหุ้มตัวจากตารางที่ 2.1

กรณีที่ใช้วัสดุภาชนะหุ้มตัวที่เป็นสาร Non Ferro-magnetic

ลากเส้นจากตำแหน่งบนสเกล  $\rho$  : A ไปยังตำแหน่งบนสเกล  $f$  : C และอ่านค่าที่ได้บนสเกล  $\delta$  : B นั่นคือค่าระยะความลึกจากผิว (skin depth) ของภาชนะหุ้มตัวที่เป็นสาร Non Ferro-magnetic

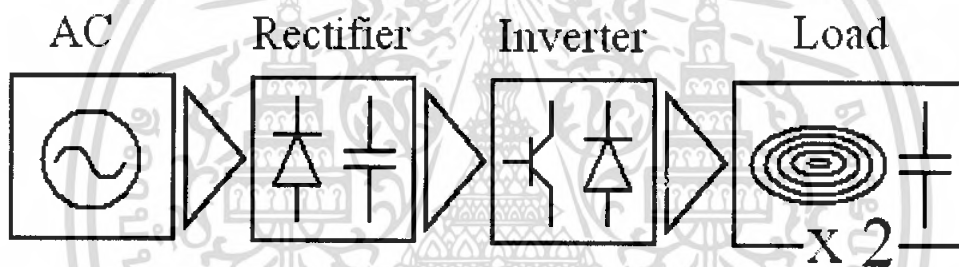
กรณีที่ใช้วัสดุภาชนะหุ้มตัวที่เป็นสาร Ferro-magnetic

ลากเส้นจากตำแหน่งบนสเกล  $\rho$  : A ไปยังตำแหน่งบนสเกล  $f$  : C จะได้จุดตัดบนสเกล  $\delta$  : B จากนั้นลากเส้นจากตำแหน่งบนสเกล  $\delta$  : B ที่ได้ ไปยังตำแหน่งบนสเกล  $\mu_r$  : E จะได้จุดตัดใหม่บนสเกล  $\delta$  : D นั่นคือค่าระยะความลึกจากผิว (skin depth) ของภาชนะหุ้มตัวที่เป็นสาร ferro-magnetic

## 2.2 หลักการสร้างกระแสความถี่สูงเพื่อการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน

โครงสร้างของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง ได้ถูกแบ่งลักษณะการทำงานออกเป็นบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.7

จากรูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต ป้อนให้กับวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเพื่อที่จะแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ผ่านตัวเก็บประจุรองความถี่ทางด้านเอาต์พุตโดยใช้ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่เพื่อกรองแรงดันและกระแสให้เรียบมากขึ้น แล้วจ่ายต่อไปให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์แปลงแรงดันไฟฟ้าจากกระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง โดยอาศัยการทำงานสวิตช์ซึ่งความถี่สูงของสวิตช์มอสเฟตที่มีความถี่สวิตช์ซึ่งสูงกว่าความถี่เรโซแนนท์เล็กน้อย แล้วจึงจ่ายให้กับชุดโหลดเรโซแนนท์ต่อ เพื่อเหนี่ยวนำภาชนะหุงต้มที่เป็นสาร Ferro-magnetic ให้เกิดความร้อนโดยตรงจากภาชนะต่อไป



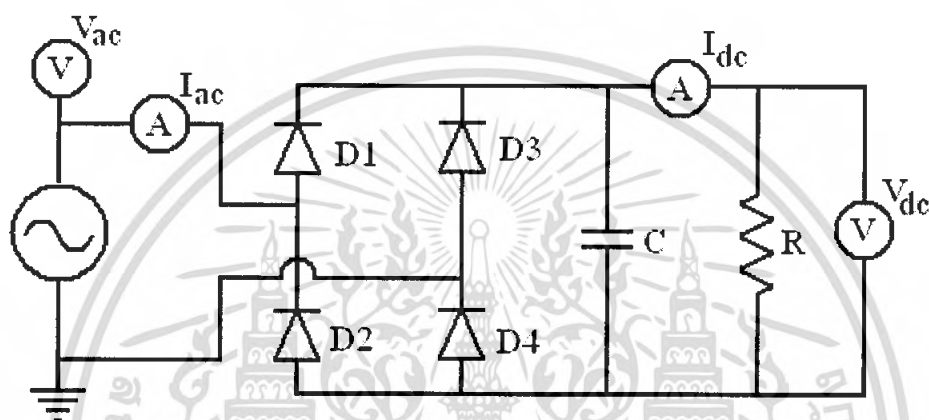
รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมแสดงโครงสร้างของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำ

## 2.3 หลักการของวงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแส มีวัตถุประสงค์เพื่อแปลงผันกำลังไฟฟ้าที่มีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียวเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยต้องการให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีความไฟฟ้ากระแสตรงมากที่สุด และวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวมักจะใช้กับโหลดที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าไม่มากเกินไป วงจรเรียงกระแสมีทั้งที่เป็นแบบครึ่งคลื่นและแบบเต็มคลื่น แบบครึ่งคลื่นมักจะใช้กับพิกัดกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีค่าต่ำ อีกทั้งวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจะมีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยด้านเข้าไม่เพียงพอทำให้เกิดปัญหาที่หม้อแปลงอิมตัวได้ง่าย และแบบเต็มคลื่นมักจะนำไปใช้กับพิกัดกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีค่าสูง กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ทำให้เกิดการอิมตัวของหม้อแปลงที่ต่อกับวงจรด้านเข้าอิมตัวยากกว่าแบบครึ่งคลื่น

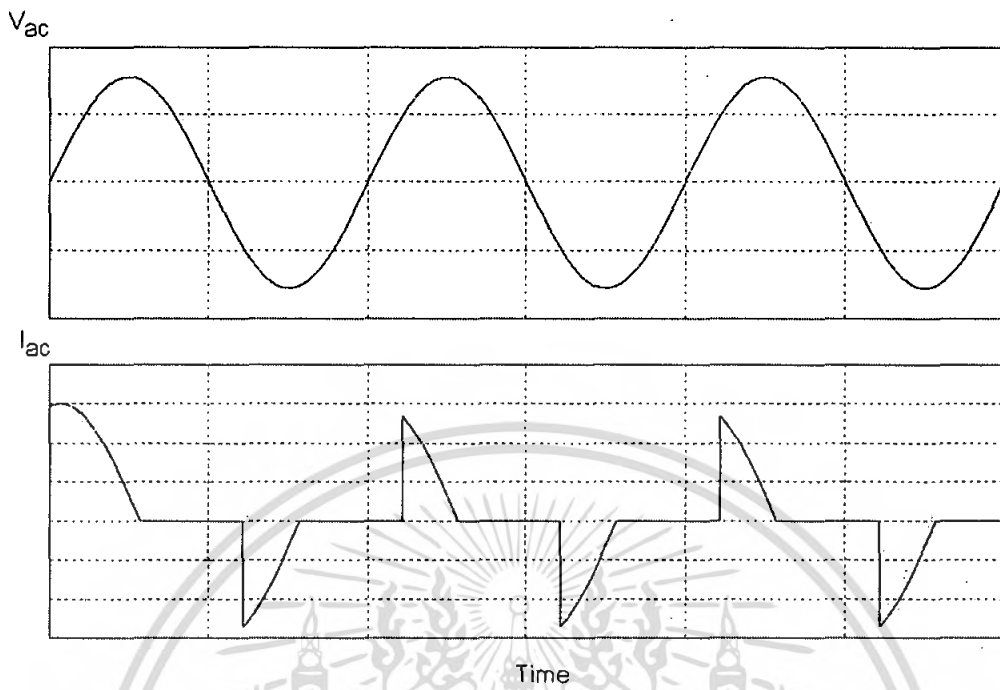
ในการศึกษาโครงงานชิ้นนี้ ผู้ทดลองได้ใช้วงจรเรียงกระแสแบบเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ไดโอด เนื่องจากโหลดที่ใช้เป็นโหลดที่มีค่ามาก จึงเหมาะกับประสิทธิภาพของชิ้นงานมากกว่าแบบครึ่งคลื่น

วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ไดโอด พร้อมตัวกรองความถี่ด้วยตัวเก็บประจุ จะสามารถทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าแรงดันไฟฟ้าใกล้เคียงกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ และ ช่วงเวลาการคายประจุของตัวเก็บประจุจะมีช่วงเวลาที่สั้นกว่ากรณีวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่น ค่าระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้าด้านออกของวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ไดโอด จะมีค่าลดลงครึ่งหนึ่งของกรณีวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่น นอกจากนี้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดด้านออกจะมีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่น อันเป็นผลมาจากแรงดันตกคร่อมไดโอดที่ทำงานพร้อมกันที่ละสองตัว

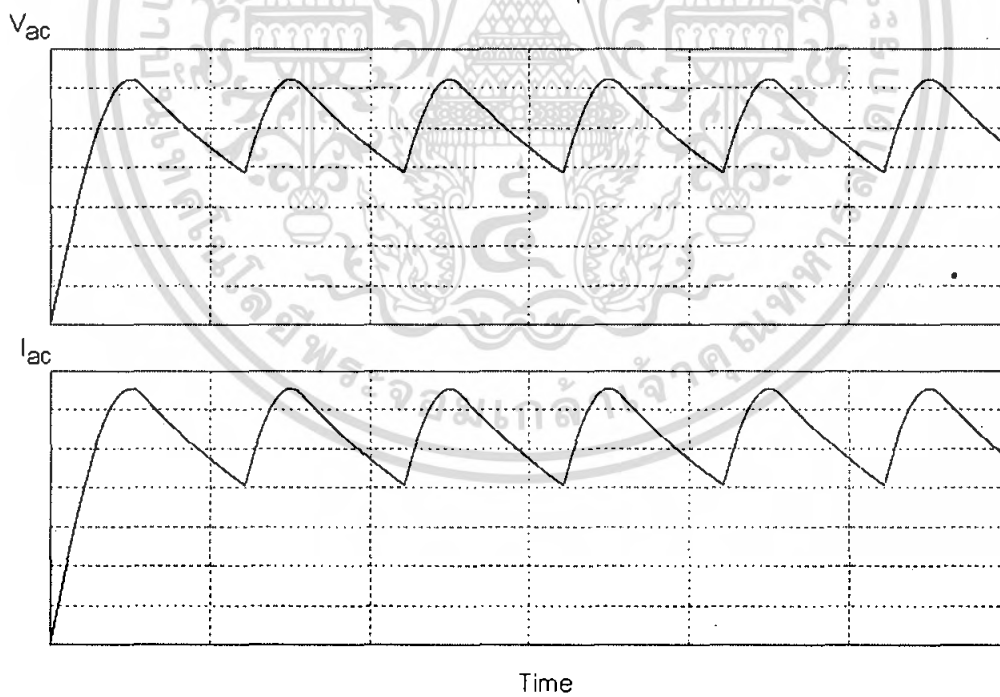


รูปที่ 2.8 แสดงรูปวงจรรีเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มบริดจ์แบบไดโอดพร้อมตัวกรองความถี่ด้วยตัวเก็บประจุ กรณีโหลดตัวต้านทาน

จากรูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10 จะเห็นได้ว่ารูปคลื่นของกระแสจากแหล่งจ่ายการไฟฟ้าจะมีช่วงไดโอดนำกระแสและหยุดนำกระแส โดยจะเริ่มนำกระแสเมื่อแรงดันการไฟฟ้า  $V_{ac}$  มีค่ามากกว่า  $V_{dc}$  และจะหยุดนำกระแสเมื่อ  $V_{ac}$  มีค่าต่ำกว่า  $V_{dc}$  ในช่วงที่ไดโอดนำกระแสนั้นจะมีการสะสมประจุในตัวเก็บประจุ การทำหน้าที่ของตัวเก็บประจุจะทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกที่ได้มีค่าใกล้เคียงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.9 แสดงรูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสอินพุทของวงจรเรียงกระแส พร้อมตัวกรองความถี่ด้วยตัวเก็บประจุ กรณีโหลดตัวต้านทาน



รูปที่ 2.10 แสดงรูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสเอาต์พุทของวงจรเรียงกระแส พร้อมตัวกรองความถี่ด้วยตัวเก็บประจุ กรณีโหลดตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

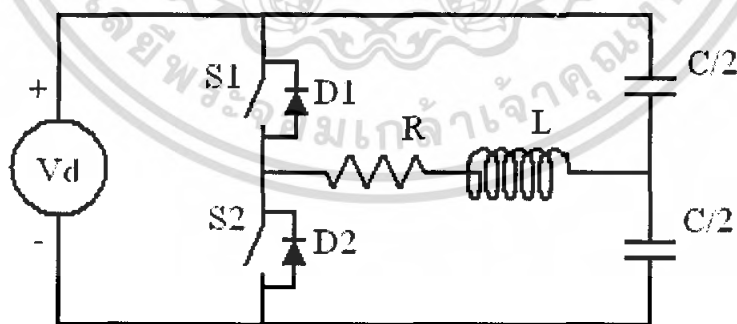
สามารถประมาณค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ออกได้จากสมการ

$$\Delta V_o \approx \frac{V_m}{2fRC} \quad (2.19)$$

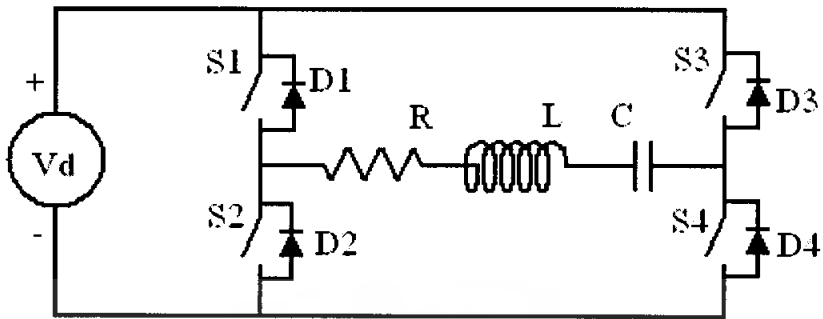
โดยที่  $V_m$  แทนด้วยค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดทางด้านเอาต์พุต  
 $f$  แทนด้วยความถี่ของการไฟฟ้า  
 $R$  แทนด้วยค่าความต้านทานของโหลด  
 $C$  แทนด้วยค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ

## 2.4 หลักการของวงจรอินเวอร์เตอร์

วงจรอินเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่ทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้า จากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเข้าเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านออก วงจรอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวจะแบ่งออกเป็นสองชนิด คือแบบฮาล์ฟบริดจ์ (half-bridge) และแบบฟูลบริดจ์ (full-bridge) ในแบบฮาล์ฟบริดจ์จะมีตัวเก็บประจุสองตัวต่อลำดับกันอยู่ระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และหากกำหนดให้ค่าตัวเก็บประจุสองตัวมีค่าเท่ากันจะทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีค่าเท่ากันคือ  $V_d/2$  จุดกึ่งกลางแรงดันไฟฟ้า  $V_{s2}$  ในรูปที่ 2.11 (ก) จะมีค่าคงที่เมื่อเทียบกับบัสลบ ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์เฟสเดียวจะประกอบไปด้วยสองกึ่งคือกึ่ง A และกึ่ง B ในรูปที่ 2.11 (ข) โดยแบบฟูลบริดจ์จะมีกำลังไฟฟ้าสูงกว่าแบบฮาล์ฟบริดจ์ (ดังแสดงในรูปที่ 2.12) จึงเหมาะที่จะเลือกใช้เมื่อต้องการจ่ายกำลังไฟฟ้าโหลดสูงสุด

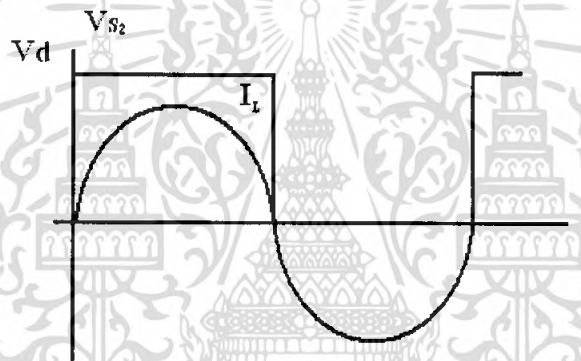


(ก) อินเวอร์เตอร์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์

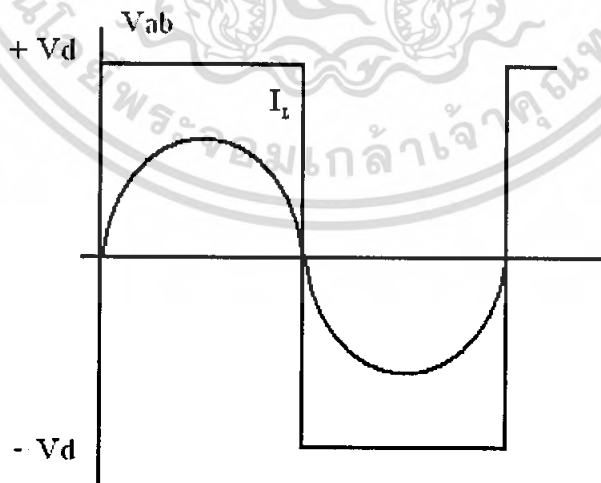


(ข) อินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์

รูปที่ 2.11 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์และชนิดฟูลบริดจ์



(ก) อินเวอร์เตอร์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์



(ข) อินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์

รูปที่ 2.12 แสดงคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ฮาล์ฟบริดจ์และฟูลบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขสำคัญที่อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฮาร์ฟบริดจ์และแบบฟูลบริดจ์ คือการทำงานของสวิตช์  $S_1$  และ  $S_2$  ต้องทำงานไม่พร้อมกันในทุกช่วงเวลา มิฉะนั้นแล้วจะเกิดการลัดวงจรระหว่างบัสบวกกับบัสลบ ในอุดมคติเวลาการสวิตช์ของสวิตช์  $S_1$  และ  $S_2$  จะตรงข้ามกัน แต่ในทางปฏิบัติ จะต้องการช่วงเวลาเวลาที่สวิตช์ทั้งคู่ไม่นำกระแส ซึ่งจะเรียกว่าเดดไทม์ (dead time) โดยเดดไทม์จะอยู่ในช่วงเวลาก่อนจะเปลี่ยนสถานะการสวิตช์จากนำกระแสเป็นไม่นำกระแส หรือจากไม่นำกระแสเป็นนำกระแส

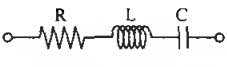
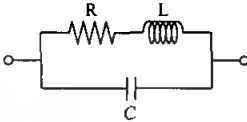
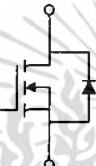

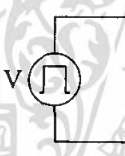

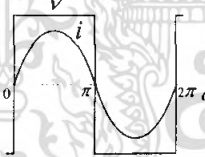
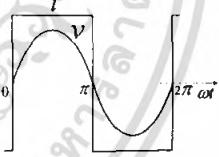
จะเห็นได้ว่า วงจรฮาร์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์จะมีแรงดันตกคร่อมโหลดและกระแสไหลผ่านโหลดเป็นครึ่งหนึ่งของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์จะมากกว่าวงจรฮาร์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์เป็นสี่เท่า ดังนั้นวงจรอินเวอร์เตอร์ที่เหมาะสมกับเตาหุงต้มเหนียวขนาดสองเตาจะเป็นฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ เนื่องจากต้องการกำลังไฟฟ้าที่มากกว่าเพื่อที่จะจ่ายให้กับเตาหุงต้มเหนียวทั้งสองเตา

## 2.5 หลักการของโหลดเรโซแนนท์

สำหรับโหลดเรโซแนนท์ที่ใช้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงโดยทั่วไป เช่น เครื่องชุบแข็ง ผิวโลหะ เครื่องหลอมโลหะ เตาหุงต้มเหนียวนำ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องเชื่อมความถี่สูง จะมีข้อได้เปรียบที่สำคัญ คือลดการสูญเสียในการสวิตช์ เมื่อสวิตช์มีการตัดวงจรที่กระแสศูนย์ (Zero Current Switch: ZCS) หรือสวิตช์ต่อวงจรที่แรงดันศูนย์ (Zero Voltage Switch: ZVS) แต่ข้อเสียเปรียบที่สำคัญของวงจรเรโซแนนท์ คือที่ตำแหน่งใกล้จุดความถี่เรโซแนนท์กระแสในวงจรมีค่ามากส่งผลให้แรงดันตกคร่อมวงจรมีค่ามากด้วย ดังนั้น สวิตช์ที่เลือกใช้จะต้องสามารถทนแรงดันตกคร่อมขณะ OFF ได้สูง และ LC ในวงจรเรโซแนนท์ที่เลือกใช้ก็เช่นกัน จะต้องมีความถี่ใหญ่เพื่อที่จะสามารถเก็บพลังงานได้มาก

จุดเด่นของอินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์คือ การลดการสูญเสียของสวิตช์เมื่อเทียบกับอินเวอร์เตอร์ทั่วไป หากความถี่เรโซแนนท์และค่า  $Q$  ของวงจรมีค่าสูงขึ้น สวิตช์จะทำงานเมื่อกระแสโหลดมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ทำให้อุปกรณ์สวิตช์มีการสูญเสียต่ำ วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้จึงมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างและรายละเอียดของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม และแบบขนาน

วงจรอินเวอร์เตอร์	เรโซแนนซ์แบบอนุกรม	เรโซแนนซ์แบบขนาน
โหลดเรโซแนนซ์		
สวิตช์		
แหล่งจ่าย		
รูปคลื่นแรงดันและกระแส		

อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์โดยทั่วไปจะมีด้วยกัน 2 ชนิด คืออินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม และแบบขนาน โดยมีโครงสร้างและรายละเอียดที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.2 จะเห็นได้ว่า อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรมจะใช้แหล่งจ่ายชนิดแรงดันคงที่ (Constant Voltage Source) เนื่องจากต้องใช้ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่เพื่อกรองแรงดันให้เรียบแล้วจ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ สำหรับรูปคลื่นแรงดันจะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม และรูปคลื่นกระแสจะเป็นรูปคลื่นไซน์ ส่วนอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบขนานจะมีลักษณะตรงข้ามกันคือจะใช้แหล่งจ่ายชนิดกระแสคงที่ (Constant Current Source) เนื่องจากต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำขนาดใหญ่เพื่อกรองกระแสให้เรียบแล้วจ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ สำหรับรูปคลื่นแรงดันจะเป็นไซน์และรูปคลื่นกระแสจะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม กรณีเตาหุงต้มเหนี่ยวนำเหมาะที่จะใช้วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดอนุกรม เนื่องจาก

สามารถรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากวงจรเร็กติไฟเออร์และวงจรกรองแรงดันได้โดยตรง วงจรควบคุมไม่ซับซ้อน และมีขนาดเล็กเหมาะที่จะใช้เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน

### 2.5.1 อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม

อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม ก็คือคอนเวอร์เตอร์ที่แปลงกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ซึ่งจะเรียกว่าเป็นวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมเพราะมีตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกับโหลดความต้านทาน การสวิตช์จะทำให้เกิดแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยม โดยที่ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุจะทำให้เกิดความถี่เรโซแนนซ์ซึ่งจะมีค่าเท่ากับความถี่สวิตช์

สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์มีดังนี้

1. พิจารณาผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจร R-L-C ดังแสดงในรูปที่ 2.13 จะได้อัตราการขยายแรงดันของวงจรซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (2.20)$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega L}{R} - \frac{1}{\omega RC}\right)^2}} \quad (2.21)$$

2. ความถี่เรโซแนนซ์ จะมีค่าเท่ากับ

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.22)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.23)$$

ที่ความถี่เรโซแนนซ์ ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุจะหักล้างกัน จึงมองเห็นเป็น โหลดมีค่าเฉพาะความต้านทานเท่านั้น

เมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านออกเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ความถี่  $f_0$  ผลของ L-C จะทำหน้าที่คล้ายเป็นตัวกรองความถี่ คือทำให้ความถี่หลักมูลผ่านไป และจะลดขนาดสัญญาณ

ของฮาร์มอนิกลำดับต่าง ๆ ทำให้รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมความต้านทานเป็นรูปคลื่นสัญญาณไซน์ ที่มีความถี่เดียวกันกับความถี่ของรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

3. ขนาดของแรงดันความถี่หลักมูลของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม  $\pm V_{dc}$  จะมีขนาดเท่ากับ

$$V_1 = \frac{4V_{dc}}{\pi} \tag{2.24}$$

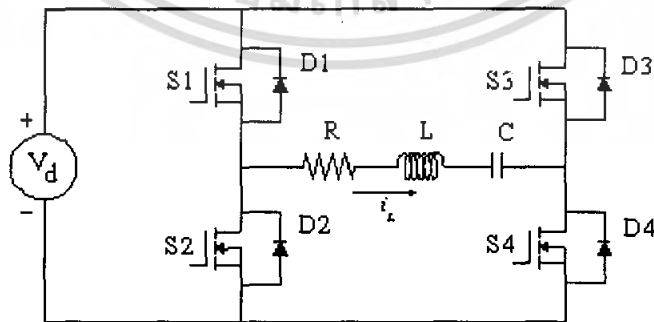
4. ผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรองความถี่จะแสดงในพจน์ของแบนด์วิดท์ โดยแสดงใน รูปตัวประกอบคุณภาพ (quality nfactor ; Q) ดังนี้

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC} \tag{2.25}$$

5. อัตราขยายแรงดันในสมการที่(9.41) สามารถ แสดงในพจน์ของ  $\omega_0$  และ Q ดังนี้

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{\sqrt{1+Q^2\left(\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}} \tag{2.26}$$

6. ผลตอบสนองเชิงความถี่แสดงในรูปที่ 9.10 ค) อัตราขยายแรงดันของผลตอบสนองเชิงความถี่บรรทัดฐาน(Normalized frequency:  $f_s / f_0$ ) ที่ค่า Q ต่าง ๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานจะลดลงเมื่อค่า Q มีค่าสูงขึ้น ขณะที่การเพ่งค่า L และลดค่า C จะมีผลทำให้ Q มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน

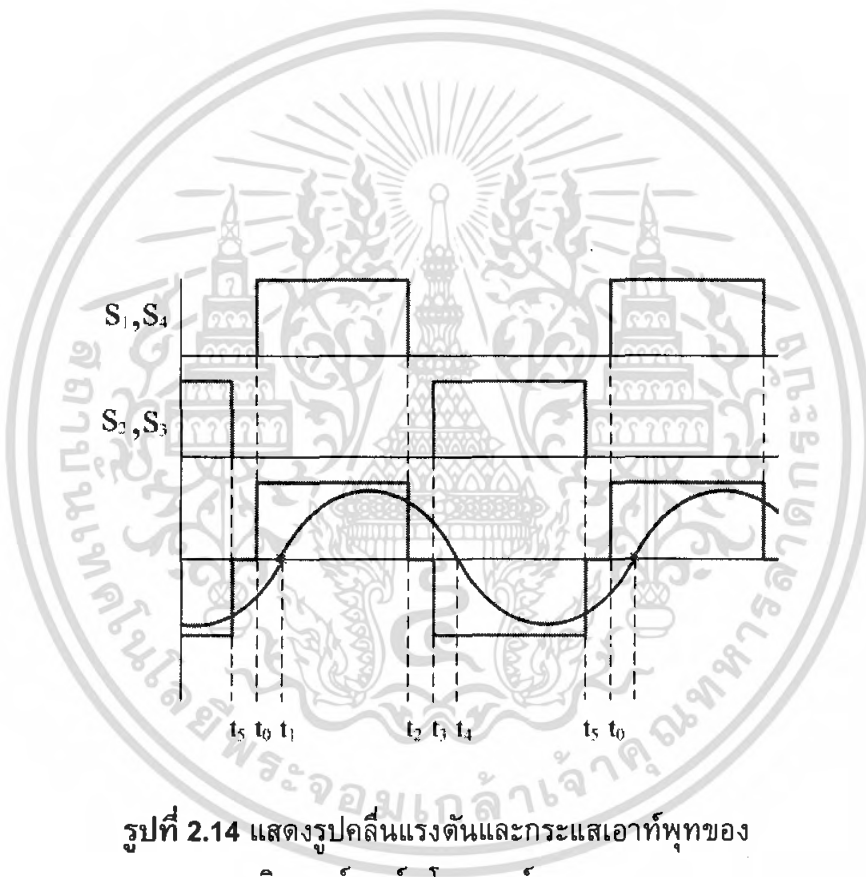


รูปที่ 2.13 แสดงรูปวงจรอินเวอร์เตอร์โชนันท์แบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### หลักการทํางาน

ณ ช่วงเวลาที่กระแสไหลผ่านสวิตช์  $S_2, S_3$  (ช่วงเวลา  $t_4-t_5$ ) จะมีการชาร์จประจุเก็บไว้ที่ตัวเก็บประจุของสวิตช์  $S_1, S_4$  และเมื่อสวิตช์  $S_2, S_3$  หยุดทํางาน (ที่เวลา  $t_5$ ) ตัวเก็บประจุของสวิตช์  $S_1, S_4$  จะทำการคายประจุในช่วงเวลาเดดไทม์ (ช่วงเวลา  $t_5-t_0$ ) จนเป็นศูนย์ เพื่อที่จะรอให้สวิตช์  $S_1, S_4$  ทํางานต่อไป (ที่เวลา  $t_0$ ) ในช่วงเวลาต่อมา (ช่วงเวลา  $t_0-t_1$ ) จะเกิดการทํางานของฟรีวีลริงไดโอดของสวิตช์  $S_1, S_4$  นั่นคือกระแสจะไหลผ่านไดโอด  $D_1, D_4$  เพื่อรักษาความต่อเนื่องของกระแสเนื่องจากกระแสในตัวเหนี่ยวนำของโหลดจนกระทั่งกระแสเป็นศูนย์ (ที่เวลา  $t_1$ ) จากนั้นกระแสจึงไหลผ่านสวิตช์  $S_1, S_4$  ต่อไป (ช่วงเวลา  $t_1-t_2$ )



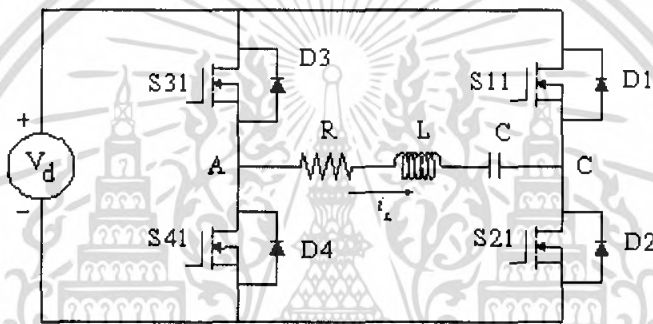
รูปที่ 2.14 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตของ  
วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม

ในทำนองเดียวกัน ณ ช่วงเวลาที่กระแสไหลสวิตช์  $S_1, S_4$  (ช่วงเวลา  $t_1-t_2$ ) ก็จะมีการชาร์จประจุเก็บไว้ที่ตัวเก็บประจุของสวิตช์  $S_2, S_3$  และเมื่อสวิตช์  $S_1, S_4$  หยุดทํางาน (ที่เวลา  $t_2$ ) ตัวเก็บประจุของสวิตช์  $S_2, S_3$  จะทำการคายประจุในช่วงเวลาเดดไทม์ (ช่วงเวลา  $t_2-t_3$ ) จนเป็นศูนย์ เพื่อที่จะรอให้สวิตช์  $S_2, S_3$  ทํางานต่อไป (ที่เวลา  $t_3$ ) ในช่วงเวลาต่อมา (ช่วงเวลา  $t_3-t_4$ ) จะเกิดการทํางานของฟรีวีลริงไดโอดของสวิตช์  $S_2, S_3$  นั่นคือกระแสจะไหลผ่านไดโอด  $D_2, D_3$  เพื่อรักษาความ

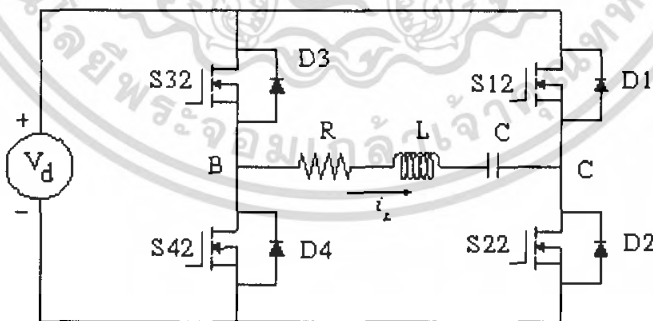
ต่อเนื่องของกระแสเนื่องจากในตัวเหนี่ยวนำของโหลด จนกระทั่งเป็นศูนย์ (ที่เวลา  $t_4$ ) จากนั้นกระแสจึงไหลผ่านสวิตช์  $S_2, S_3$  ต่อไป (ช่วงเวลา  $t_4-t_5$ )

### 2.5.2 การควบคุมกำลังไฟฟ้าของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม

ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม จะใช้วิธีการปรับขนาดแรงดันอาร์เอ็มเอสที่จ่ายให้กับโหลด ทั้งนี้ในการปรับขนาดแรงดันอาร์เอ็มเอสนั้นจะส่งผลให้ขนาดกระแสที่จ่ายไหลลดมีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย นั่นคือจะส่งผลทำให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าเปลี่ยนไป ในการปรับขนาดแรงดันที่จ่ายให้กับโหลดนั้นจะทำได้โดยการปรับค่าตัวดีไอซีเคิลในช่วงการเปิดปิดวงจรของสวิตช์ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.15 แสดงรูปวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรมของโหลดที่ 1



รูปที่ 2.16 แสดงรูปวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรมของโหลดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### หลักการทํางาน

กำหนดให้โหลดทั้งสองเตารับกำลังไฟฟ้าจากวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ โดยใช้สวิตช์กึ่งหนึ่งร่วมกันอยู่ นั่นคือกึ่ง C (ประกอบด้วยสวิตช์  $S_1, S_2$ ) จะเป็นกึ่งรวมของวงจร ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่จ่ายให้กับโหลดทั้งสองเตา

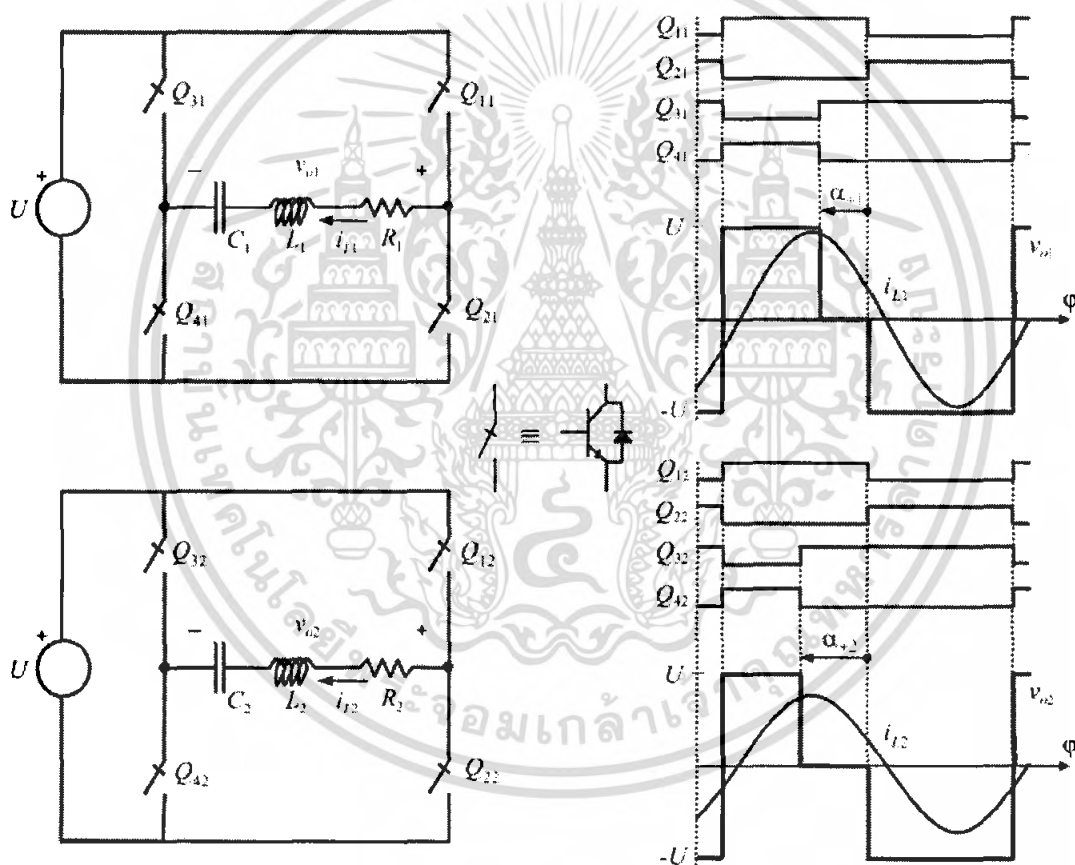
พิจารณาวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ของโหลดที่ 1 สวิตช์  $S_{11}$  ทํางานพร้อมกับสวิตช์  $S_{41}$  และสวิตช์  $S_{21}$  ทํางานพร้อมกับสวิตช์  $S_{31}$  จะทําการปรับค่าดิวตี้ไซเคิลในช่วงการเปิดปิดวงจรของสวิตช์  $S_{31}, S_{41}$  เมื่อต้องการปรับเปลี่ยนค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดที่ 1 โดยที่คงสถานะการเปิดปิดวงจรของสวิตช์  $S_{11}, S_{21}$  ไว้ที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.5 เนื่องจากสวิตช์  $S_{11}, S_{21}$  เป็นสวิตช์ที่ใช้ร่วมกันระหว่างวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดที่ 1 และโหลดที่ 2 วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ของโหลดที่ 1 สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดที่ค่าดิวตี้ไซเคิลของสวิตช์  $S_{31}, S_{41}$  เท่ากับ 0.5 และในการปรับค่ากำลังไฟฟ้าที่ลดลงจะทําการปรับค่าดิวตี้ไซเคิลของสวิตช์  $S_{31}$  มากกว่า 0.5 และค่าดิวตี้ไซเคิลของสวิตช์  $S_{41}$  น้อยกว่า 0.5 (ทั้งนี้ในการปรับค่าดิวตี้ไซเคิลในช่วงการเปิดปิดวงจรของสวิตช์  $S_{31}, S_{41}$  นั้นจะรวมกันได้เท่ากับ 1) จากการปรับค่าดิวตี้ไซเคิลของสวิตช์  $S_{31}, S_{41}$  เพื่อปรับลดค่ากำลังไฟฟ้านั้น จะได้รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตด้านบวกบริเวณด้านหลังที่มีส่วนของเนื้อพัลส์หายไป เนื่องจากการนำสัญญาณพัลส์ของสวิตช์  $S_{11}, S_{41}$  มาอินเตอร์เซกชันกัน ส่วนของรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตด้านลบจะได้รูปคลื่นที่มีเนื้อพัลส์เต็ม

ในทำนองเดียวกันพิจารณาวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ของโหลดที่ 2 สวิตช์  $S_{12}$  ทํางานพร้อมกับสวิตช์  $S_{42}$  และสวิตช์  $S_{22}$  ทํางานพร้อมกับสวิตช์  $S_{32}$  จะทําการปรับค่าดิวตี้ไซเคิลในช่วงการเปิดปิดวงจรของสวิตช์  $S_{32}, S_{42}$  เมื่อต้องการปรับเปลี่ยนค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดที่ 2 โดยที่คงสถานะการเปิดปิดวงจรของสวิตช์  $S_{12}, S_{22}$  ไว้ที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 0.5 เนื่องจากสวิตช์  $S_{12}, S_{22}$  เป็นสวิตช์ที่ใช้ร่วมกันระหว่างวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดที่ 1 และโหลดที่ 2 วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ของโหลดที่ 2 สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดที่ค่าดิวตี้ไซเคิลของสวิตช์  $S_{32}, S_{42}$  เท่ากับ 0.5 และในการปรับค่ากำลังไฟฟ้าที่ลดลงจะทําการปรับค่าดิวตี้ไซเคิลของสวิตช์  $S_{32}$  มากกว่า 0.5 และค่าดิวตี้ไซเคิลของสวิตช์  $S_{42}$  น้อยกว่า 0.5 (ทั้งนี้ในการปรับค่าดิวตี้ไซเคิลในช่วงการเปิดปิดวงจรของสวิตช์  $S_{32}, S_{42}$  นั้นจะรวมกันได้เท่ากับ 1) จากการปรับค่าดิวตี้ไซเคิลของสวิตช์  $S_{32}, S_{42}$  เพื่อปรับลดค่ากำลังไฟฟ้านั้น จะได้รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตด้านบวกบริเวณด้านหลังที่มีส่วนของเนื้อพัลส์หายไป เนื่องจากการนำสัญญาณพัลส์ของสวิตช์  $S_{12}, S_{42}$  มาอินเตอร์เซกชันกัน ส่วนของรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตด้านลบจะได้รูปคลื่นที่มีเนื้อพัลส์เต็ม

และเมื่อพิจารณารูปคลื่นของกระแสเอาต์พุตนั้น จะพบว่าผลของการปรับค่ากำลังไฟฟ้าที่ลดลงนั้นส่งผลให้กระแสมีขนาดลดลงตามขนาดแรงดันอาร์เอ็มเอสที่ลดลงไปด้วย และจากความสัมพันธ์ข้างต้นสามารถพิจารณากำลังไฟฟ้าได้จากสมการ

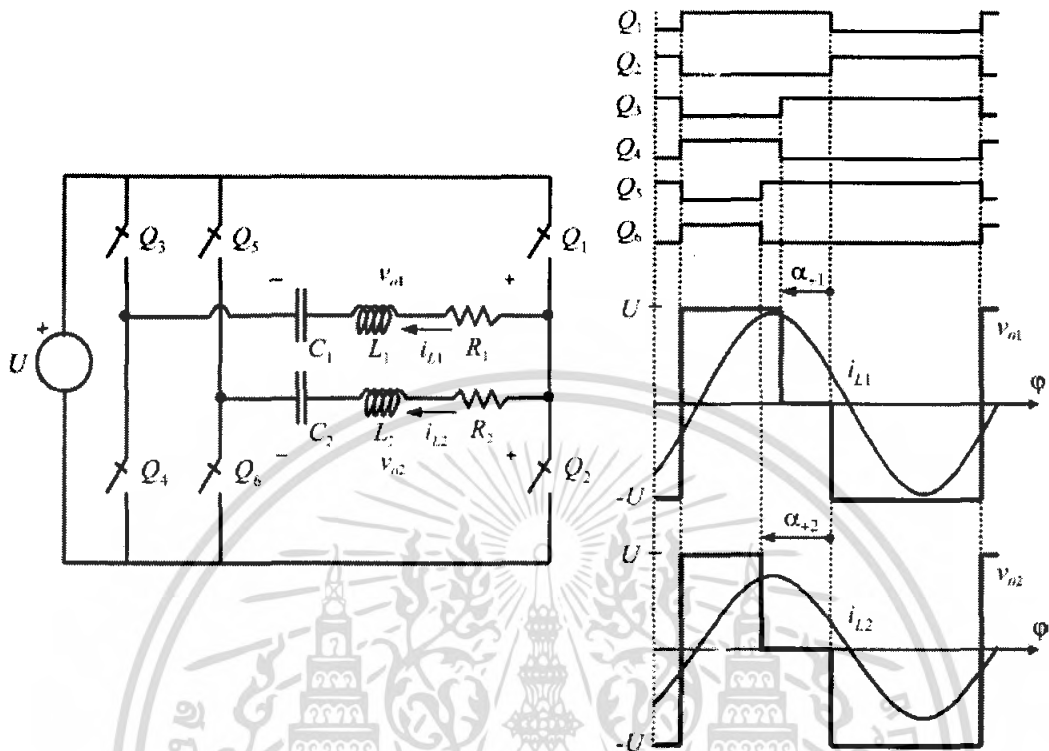
$$P = VI \cos \phi \tag{2.20}$$

โดยที่  $P$  แทนด้วยกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียในภาชนะ  
 หุงต้มเนื่องจากกระแสไหลวน  
 $V$  แทนด้วยแรงดันอาร์เอ็มเอสที่จ่ายให้กับโหลด  
 $I$  แทนด้วยกระแสอาร์เอ็มเอสที่จ่ายให้กับโหลด ซึ่งเป็นกระแสกระตุ้นที่ไหล  
 ในขดลวดเหนี่ยวนำ  
 $\phi$  แทนด้วยมุมที่รูปคลื่นกระแสตามหลังรูปแรงดัน



รูปที่ 2.17 แสดงลำดับการทำงานสวิตช์ และรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุต กระแสเอาต์พุต  
 ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ของแต่ละโหลดเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 แสดงลำดับการทำงานสวิตช์ และรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุต กระแสเอาต์พุต ของวงจรพูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในเดาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาดสองเตารวม ในวงจรเดียวกันโดยอาศัยกึ่งร่วม 1 กิ่ง

## 2.6 การสร้างสัญญาณขับมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

การสร้างสัญญาณที่ใช้ในการขับเคลื่อนของมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้เราเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รุ่น PIC16F877A ซึ่งมีฟังก์ชันของการสร้างสัญญาณพัลส์สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมได้ตามที่ต้องการ มีวงจรการใช้งานที่ไม่ยุ่งยาก มีการศึกษาหาข้อมูลได้ไม่ยากนักและมีสถาปัตยกรรมที่เข้าใจง่าย

โดยที่คุณสมบัติของ PIC16F877A มีดังต่อไปนี้

1. มีคำสั่งให้ใช้งาน 35 คำสั่ง
2. คำสั่งหนึ่งๆใช้เวลาทำงาน 1 ถึง 2 Cycle
3. ทำงานได้สูงสุดที่ 20MHz
4. ทำงานแบบ Pipe-line ทำให้ ณ เวลาหนึ่งทำงาน 2 อย่างพร้อมๆกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบ Flash มีขนาด 8KWord (1 word=14 บิต)
6. มี RAM ขนาด 368 ไบต์ ให้เราใช้งาน
7. มี EEPROM ขนาด 256 ไบต์
8. ตอบสนองกับอินเตอร์รัพต์ทั้งหมด 14 แหล่ง
9. มี Stack ให้ใช้ได้สูงสุด 8 ระดับ
10. มีระบบ Power On Reset, Power Up Timer, Oscillator Start-up timer
11. Watchdog timer
12. มีระบบ Code Protection
13. มีโหมดประหยัดเงิน (ประหยัดพลังงาน ก็ประหยัดเงินไปด้วย)
14. สัญญาณนาฬิกามีหลายโหมดให้เลือกใช้งาน คือ อาจจะใช้ XTAL หรือ วงจร RC ก็ได้
15. สามารถโปรแกรมด้วยไฟ +5VDC ได้
16. ใช้การโปรแกรมแบบ In-Circuit Serial Programming
17. ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2VDC ถึง 5.5VDC
18. Current Sink และ Current Source อยู่ที่ 25mA
19. มี Timer/Counter 3 ตัว
20. มีโมดูล Capture/Compare/PWM อีก 2 ชุด
21. มี A-TO-D Converter แบบ 10 บิต จำนวน 8 ช่องนำเข้าไปในตัวเอง
22. มีระบบ USART สำหรับต่อกับ การสื่อสารแบบ RS232 หรือดีกว่า
23. มีระบบตรวจระดับไปเลี้ยง (Brown-out reset)
24. มี I/O พอร์ตทั้งหมด 5 พอร์ต

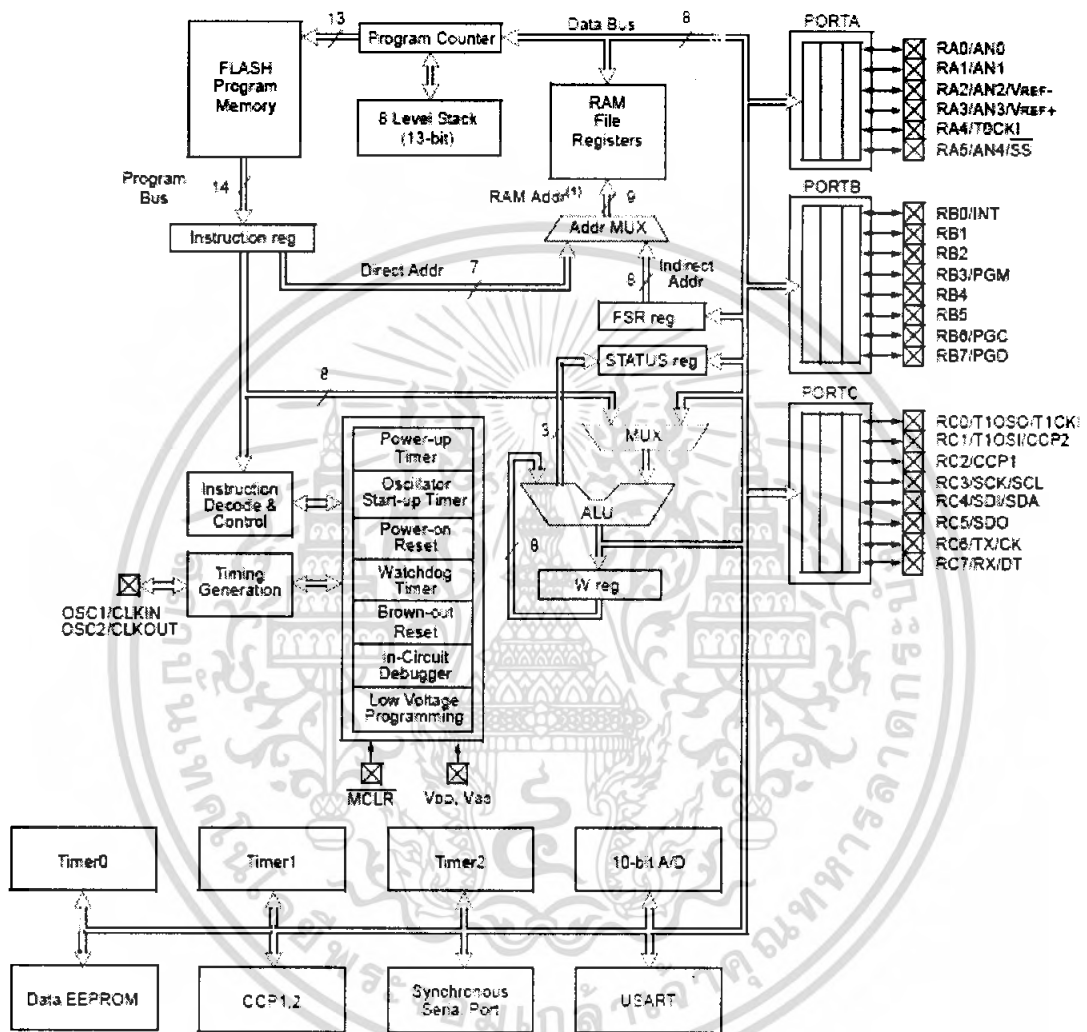


รูปที่ 2.19 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

จากฝั่งจะมี Register สำคัญๆ คือ W ซึ่งเป็น Register ที่ใช้ในการทำเป็น Input ให้กับ ALU และเป็นตัวเก็บผลลัพธ์จากการทำงานของ ALU, STATUS เป็น Register ที่ใช้เก็บสถานะ การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานของคำสั่ง ว่าเมื่อคำสั่งทำงานเสร็จแล้วเกิดอะไรขึ้นมาบ้าง ซึ่งมีประโยชน์ในการเขียนโปรแกรมแบบมีเงื่อนไข, PC หรือ Program Counter เป็น Register อีกตัวหนึ่งที่มีความสำคัญเนื่องจากใช้สำหรับเป็นตัวชี้ว่า คำสั่งที่จะนำมาประมวลผลนั้นอยู่ ณ ตำแหน่งใดในหน่วยความจำ



Note 1: Higher order bits are from the STATUS register.

รูปที่ 2.20 แสดงภาพโครงสร้างสถาปัตยกรรมของ PIC16F877A

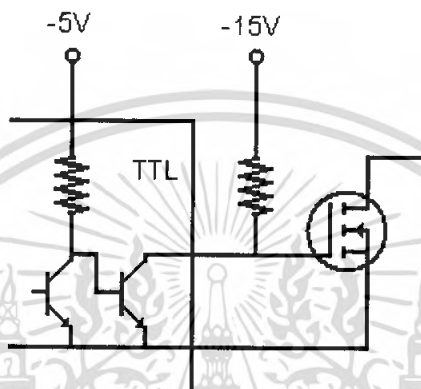
### 2.7 วงจรขั้วมอสเฟต

ในการขั้วมอสเฟต ให้นำกระแสที่แตกต่างจากขั้วกระแสไบแอส ในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ สำหรับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์กระแสจะไหลผ่านคอลเล็กเตอร์และอีมิเตอร์ได้ก็ต่อเมื่อมีกระแสไบแอสไหลผ่านที่เบสและอีมิเตอร์ แต่มอสเฟตจะมีกระแสไหลผ่านเดรนและซอร์สได้ก็ต่อเมื่อแรงดันดกคร่อมที่ขาเกตและซอร์สมีค่าอย่างต่ำเท่ากับค่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage)

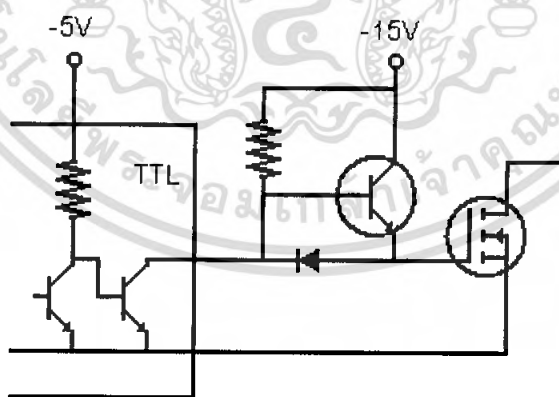
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ใช้กระแสต่ำ การขับมอสเฟต ให้นำกระแสจึงทำได้ง่ายและยุ่งยากน้อยกว่าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก

การขับมอสเฟตด้วย ไอซี TTL โดยตรงนั้นสามารถทำได้แต่ไอซี TTL มีขีดจำกัดในการจ่ายกระแสและรับกระแสที่เอาต์พุต ซึ่งมีผลต่อความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของไอจีบีทีและทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียสูงได้ การต่อวงจรขับชนิดนี้จึงจำเป็นต้องเพิ่มตัวอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อช่วยในการเปลี่ยนสถานะของมอสเฟตเป็นไปอย่างรวดเร็ว

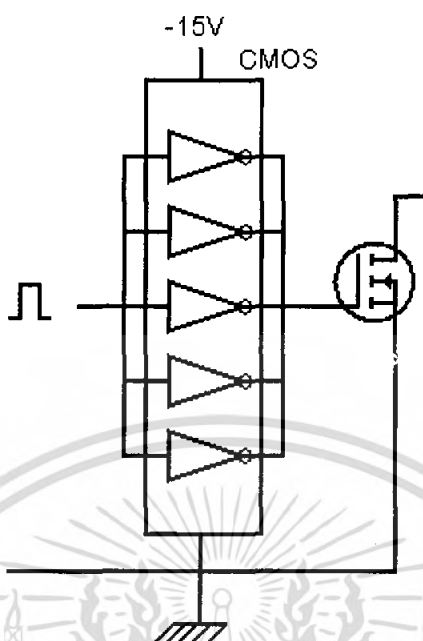


รูปที่ 2.21(ก) แสดงวงจรขับด้วยไอซี TTL ที่มีเอาต์พุตเป็นแบบคอลเล็กเตอร์เปิดการต่อพูล์อัฟฟริซิสเตอร์เข้าช่วยเพื่อให้มีแรงดันสูงพอที่จะขับมอสเฟตให้การทำงานและการหยุดนำกระแสมอสเฟตเป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้นแต่ความเร็วขณะเริ่มนำกระแสมักมีค่าจำกัดอยู่ เนื่องจากกระแสมักถูกจำกัดด้วยพูล์อัฟฟริซิสเตอร์



รูปที่ 2.21(ข) ทรานซิสเตอร์จะช่วยให้การจ่ายกระแสได้มากขึ้นทำให้ความเร็วในการนำกระแสของมอสเฟตดีขึ้นและลดกำลังสูญเสียในตัว ไอซี TTL ด้วยและวงจรขับจะเพิ่มทรานซิสเตอร์เข้ามาอีกหนึ่งตัวเพื่อนำการคายประจุที่ขาเกตเป็นไปอย่างรวดเร็วและทำให้ความเร็วขณะเริ่มหยุดนำกระแสเป็นไปได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น

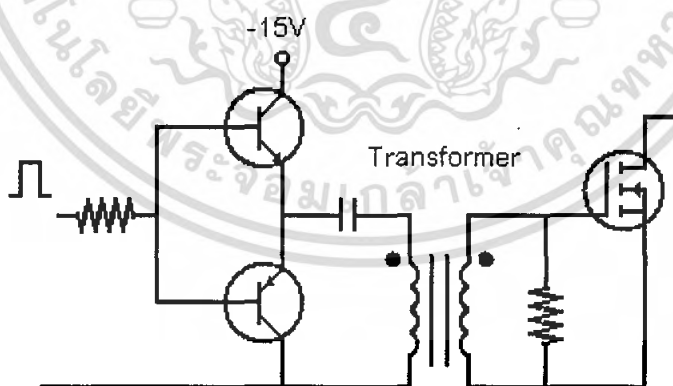
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 แสดงการขับมอสเฟต ด้วยไอซี CMOS

มอสเฟตสามารถต่อโดยตรงเข้ากับไอซี CMOS ได้ในส่วนของเอาต์พุตของไอซี CMOS จะเป็นเฟสต่อกันในลักษณะคอมพลีเม้นตารี ซึ่งสามารถทำงานได้ที่แรงดันไฟเลี้ยงตั้งแต่ 3 – 8 โวลต์ โดยทั่วไปแล้วจะใช้ 12 – 15 โวลต์ เพื่อให้เหมาะกับการขับมอสเฟต

สำหรับการขับมอสเฟตที่ต้องนำกระแสสูงๆ การต่อ CMOS ในลักษณะขนานกัน จะสามารถเพิ่มกระแสที่ขาเกต และทำให้ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของมอสเฟต เป็นไปได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.23 แสดงวงจรขับมอสเฟตด้วยหม้อแปลง

ในกรณีของคอนเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์และฟูลบริดจ์ วงจรขับ มอสเฟตตัวบนตัวล่าง จะต้องมีการแยกกราวด์ ออกจากกัน จึงจำเป็นต้องให้หม้อแปลงหรือในกรณีที่ต้องการขับมอสเฟต มากกว่า 1 ตัว พร้อมกันก็จะต้องใช้หม้อแปลงช่วย

การต่อหม้อแปลงพัลส์เข้ากับขาเกตและวงจรถบคุมโดยตรงอาจเกิดปัญหาการเลื่อนระดับของแรงดันเอาต์พุตที่หม้อแปลง และอาจมีปัญหาในการทำงานของมอสเฟตได้ การต่อวงจรขับมอสเฟตด้วยหม้อแปลงจึงควรทำในลักษณะดังรูป ที่ 2.23



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การออกแบบการทดลอง

#### 3.1 การออกแบบชุดวงจรกำลัง

วงจรกำลังนั้นเป็นวงจรที่มีกระแสและแรงดันสูงซึ่งทำหน้าที่ถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าจากทางด้านอินพุทไปยังโหลดโดยมีหลักการพื้นฐานคือรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V(AC) 50Hz แปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น แล้วนำแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนี้จ่ายให้กับวงจรฟลูบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ซึ่งสำหรับฟลูบริดจ์อินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์ที่ความถี่สูงจะใช้เพาเวอร์มอสเฟตเพราะทำหน้าที่เป็นสวิตช์ที่ความถี่สูงได้ดี เมื่อผ่านวงจรฟลูบริดจ์อินเวอร์เตอร์แล้วสัญญาณที่ได้ทางด้านเอาท์พุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม ส่วนสัญญาณกระแสจะเป็นรูปไซน์ จากนั้นนำแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าผ่านวงจรรีโซแนนซ์ที่ประกอบด้วยตัวคาปาซิเตอร์และตัวอินดักเตอร์ซึ่งประกอบอยู่ในโหลดขดลวดที่โหลด



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรกำลัง

ส่วนประกอบหลักของวงจรกำลัง

- 1) วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier)
- 2) วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟลูบริดจ์ (Full-Bridge Inverter)
- 3) ชุดโหลดรีโซแนนซ์แบบอนุกรม (Series Resonant Load)

#### 3.1.1 วงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแสที่ใช้ในการทดลองจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือบริดจ์ไดโอดและตัวเก็บประจุกรองแรงดัน โดยบริดจ์ไดโอดที่เลือกใช้นั้นมีพิกัด 35A, 800V ส่วนค่าพิกัดของตัวเก็บประจุกรองแรงดันที่ใช้สามารถคำนวณได้ โดยกำหนดให้กำลังไฟฟ้าของเตาทุ้งต้มเหี่ยวขนาด 2 เตา มีกำลังไฟฟ้านำเอาท์พุท ( $P_{out}$ ) ของแต่ละเตา เท่ากับ 1000 วัตต์ รวมเป็น 2000 วัตต์

โดยมีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านอินพุต 150 V ที่ความถี่ 50 Hz และให้ประสิทธิภาพ( $\eta$ ) = 80 %  
ทำการคำนวณกำลังไฟฟ้าอินพุต( $P_{in}$ )ได้จาก

$$\begin{aligned} P_{in} &= \frac{P_{out}}{\eta} \\ &= \frac{2000}{0.8} \\ &= 2500 \quad \text{W} \end{aligned} \quad (3.1)$$

จากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านอินพุตเท่ากับ 150 V เมื่อผ่านวงจรกรองแรงดันจะทำให้เกิด  
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง( $V_{in}$ )ขนาดประมาณ 212 V ดังนั้นกระแสไฟตรงเฉลี่ย( $I_{dc}$ )จึงเท่ากับ

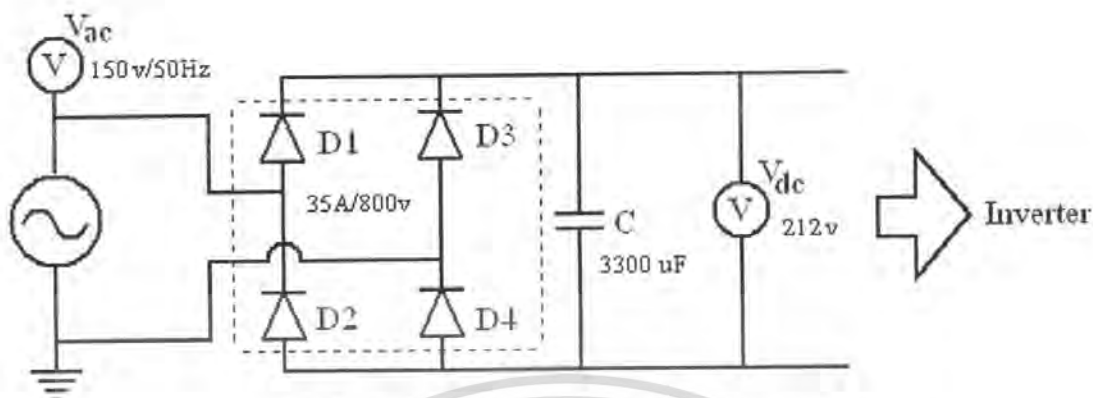
$$\begin{aligned} I_{dc} &= \frac{P_{in}}{V_{in}} \\ &= \frac{2500}{212} \\ &= 11.8 \quad \text{A} \end{aligned} \quad (3.2)$$

คำนวณหาค่าความเก็บประจุในการกรองแรงดัน โดยกำหนดให้แรงดันกระเพื่อม  
( $\Delta V_{ripple}$ )มีค่าประมาณ 10% ที่ความถี่เท่ากับ 50 Hz จะได้  $T = 20 \text{ ms}$

$$\begin{aligned} C &= \frac{I_{dc} \Delta t}{\Delta V_{r(p-p)}} \\ &= \frac{I_{dc} T / 2}{0.1 V_{in}} \\ &= \frac{11.8 \times 10 \times 10^{-3}}{0.1 \times 212 \times 2} \\ &= 2783 \quad \mu\text{F} \end{aligned} \quad (3.3)$$

ค่าของตัวเก็บประจุกรองแรงดันที่ได้จะต้องมีค่าความจุ 2783  $\mu\text{F}$  ทนแรงดันได้มากกว่า  
212 V ทั้งนี้ในการใช้งานจริงนั้นจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมด้วย

ในการทดลองนี้ใช้ค่าของตัวเก็บประจุเท่ากับ 3300  $\mu\text{F}$  450 V แบบอิเล็กทรอนิกส์ต่อ  
พร้อมกับบริดจ์ไดโอด



รูปที่ 3.2 แสดงการออกแบบขนาดของวงจรเรียงกระแส

อุปกรณ์ในวงจรเรียงกระแสที่ใช้ในการทดลอง

- |                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| 1. บริดจ์ไดโอดเบอร์ KBPC5008      | 1 ตัว |
| 2. ตัวเก็บประจุ 3300 $\mu$ F 450V | 1 ตัว |
| 3. Heat Sink ขนาด 3" x 4"         | 1 ตัว |

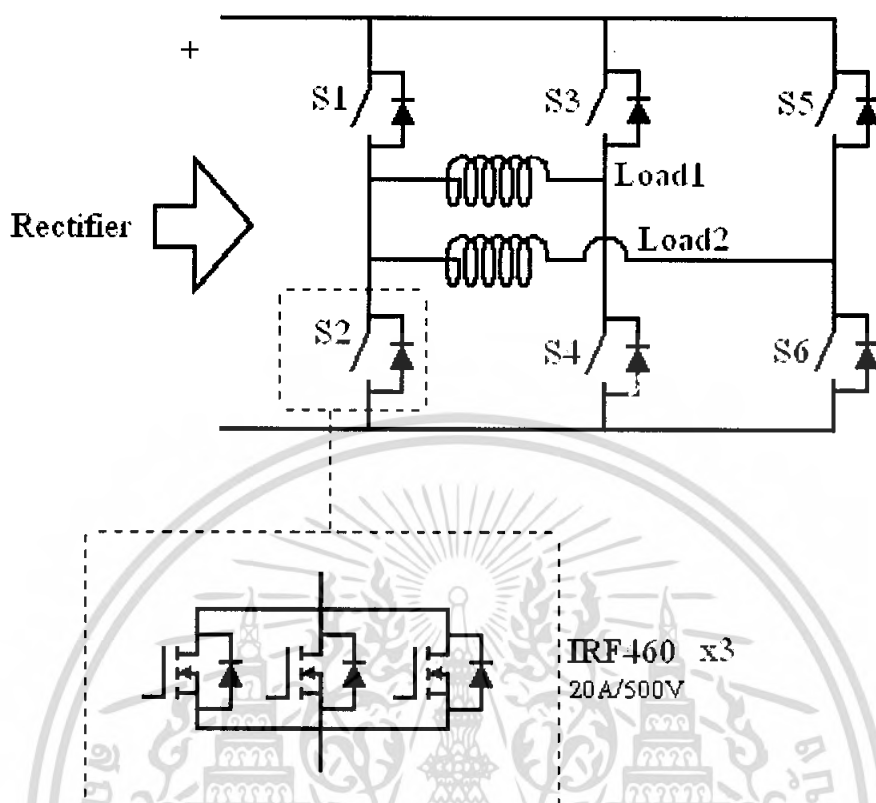
### 3.1.2 วงจรอินเวอร์เตอร์

การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในเตาหุงต้มเหนียวขนาด 2 เตานั้นจะเป็นแบบฟูลบริดจ์ (full-bridge Inverter) มีจำนวน 3 กิ่ง โดยมีกิ่งแรกเป็นกิ่งร่วม ซึ่งจะรับกระแสมากที่สุด เนื่องจากต้องรองรับกระแสจากทำงานของกิ่งที่ 2 และกิ่งที่ 3 ดังนั้นในการออกแบบการทดลองนี้ใช้ MOSFET เบอร์ IRFP460 ซึ่งมีพิกัด 20A, 500V ขนาดกันจำนวน 3 ตัว แทนสวิตช์ 1 ตัว ซึ่งสามารถทนกระแสได้ประมาณ 60A ที่ 25 องศาเซลเซียส ทนได้ 14A ที่ 100 องศาเซลเซียสและเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับวงจรได้เนื่องจากผลของการรบกวนทางไฟฟ้าและความร้อนที่เกิดขึ้นภายในวงจรซึ่งทำให้ MOSFET ทนกระแสได้น้อยลงด้วย โดยแสดงวงจรดังรูป



รูปที่ 3.3 MOSFET รุ่น IRFP460

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงการออกแบบขนาดของวงจรอินเวอร์เตอร์

อุปกรณ์ในวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มอสเฟตรุ่น IRFP460	18	ตัว
2. ตัวเก็บประจุ WIMA 1uF 630Vdc	1	ตัว
3. ตัวเก็บประจุ WIMA 1uF 630Vdc	36	ตัว
4. Heat Sink	2	ตัว
5. Connector 12 ขา	2	คู่

### 3.1.3 โหลดเรโซแนนท์

วัสดุที่เลือกใช้เป็นภาชนะหุ้มตั้มคือ สแตนเลสสตีล กั้นภาชนะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ซึ่งมีสภาพความต้านทานทางไฟฟ้า  $\rho$  เท่ากับ  $60 \times 10^{-8}$  โอห์ม-เมตร และมีค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์  $\mu_r$  เท่ากับ 100 และพิจารณาที่ความถี่สูงจากวงจรอินเวอร์เตอร์ที่จะเลือกใช้งานได้ดังนี้

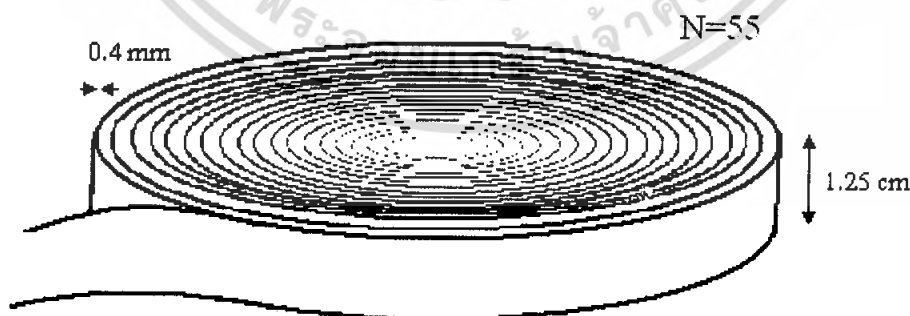
ตาราง 3.1 ตาราง Skin depth และ surface resistivity

f (kHz)	skin depth (mm) : $\delta$	surface resistivity (ohm) : $R_s$
30	0.225	$2.666 \times 10^{-3}$
35	0.208	$2.879 \times 10^{-3}$
40	0.195	$3.078 \times 10^{-3}$
45	0.184	$3.265 \times 10^{-3}$
50	0.174	$3.441 \times 10^{-3}$

ความถี่สูงจากวงจรอินเวอร์เตอร์เลือกใช้งานที่  $f$  เท่ากับ 50 กิโลเฮิร์ต เนื่องจากจะให้ค่าความต้านทานของภาชนะหุ้มต้ม  $R_s$  ที่สูง ซึ่งจะช่วยลดขนาดกระแสความถี่สูงจากวงจรอินเวอร์เตอร์ได้

เป้าหมายในการออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำ ต้องการให้ขดลวดเหนี่ยวนำมีจำนวนรอบ  $N$  มากเพื่อให้ได้กำลังงานสูงๆ  $P_v = (NI_c)^2 R_s$  โดยที่ มีความสูญเสียจากค่าความต้านทานของขดลวดเหนี่ยวนำต่ำๆ  $P_c = I_c^2 R_c$

เพื่อให้ได้จำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำ  $N$  มาก จึงเลือกใช้ขดลวดเหนี่ยวนำเป็นแบบแผ่นทองแดงที่มีความหนา 0.4 มิลลิเมตร และออกแบบให้แผ่นทองแดงสูง 1.25 เซนติเมตร โดยที่ชั้นระหว่างรอบด้วยฉนวนกระดาษที่มีความหนา 0.1 มิลลิเมตร จะได้ขดลวดเหนี่ยวนำที่มีจำนวนรอบ  $N$  ประมาณ 55 รอบ ทั้งนี้ในการออกแบบนั้นต้องคำนึงถึงค่าความหนาแน่นของกระแสในขดลวดเหนี่ยวนำด้วย เพื่อไม่ให้ขดลวดเหนี่ยวนำร้อนเกินไป



รูปที่ 3.5 แสดงภาพขนาดของขดลวดเตาแต่ละหัว

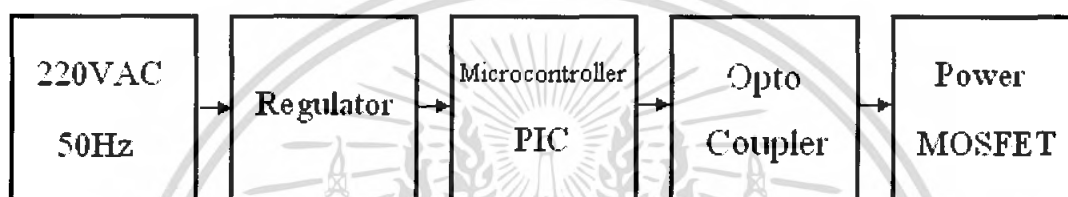
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ในโหลดเรโซแนนซ์ที่ใช้ในการทดลอง

- |                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| 1. ขดลวดแบนพัน 55 รอบ             | 2 ชุด  |
| 2. ตัวเก็บประจุแบบWIMA 1uF 250Vac | 60 ตัว |

### 3.2 การออกแบบชุดวงจรควบคุม

ระบบวงจรควบคุมคือส่วนของระบบที่ใช้สร้างสัญญาณเพื่อนำไปใช้ขับมอสเฟตให้เกิดการสวิตช์ซึ่งเพื่อให้มอสเฟตนำกระแสและสามารถทำการปรับค่าดีวีไอเซ็ลเพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าของฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ได้



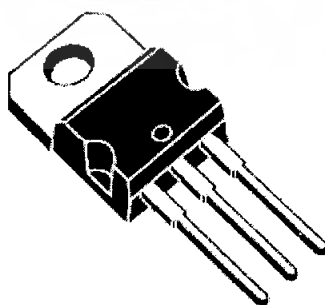
รูปที่ 3.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุม

ส่วนประกอบหลักของวงจรควบคุม

- 1) ชุดคำสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC (Microcontroller PIC)
- 2) ชุดวงจรอปโตคอปเลอร์ (Opto Coupler)

#### 3.2.1 ชุดคำสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์

ชุดคำสั่งที่ใช้สร้างสัญญาณขับมอสเฟตของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A ในการทดลองนี้เขียนด้วยภาษาซี เนื่องจากเป็นภาษาที่เข้าใจง่ายและสั้นกว่าในรูปแบบภาษาแอสเซมบลี โดยมีไอซีรุ่น 7805 เป็นวงจรเรกกูเรเตอร์รับแรงดันจากหม้อแปลงผ่านบริดจ์ไดโอดแปลงเป็นไฟเลี้ยงแรงดัน 5 V เข้าสู่ PIC ชุดคำสั่ง PIC16F877A ที่ใช้ในการทดลองนี้มีดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.7 ไอซีเบอร์ 7805

```

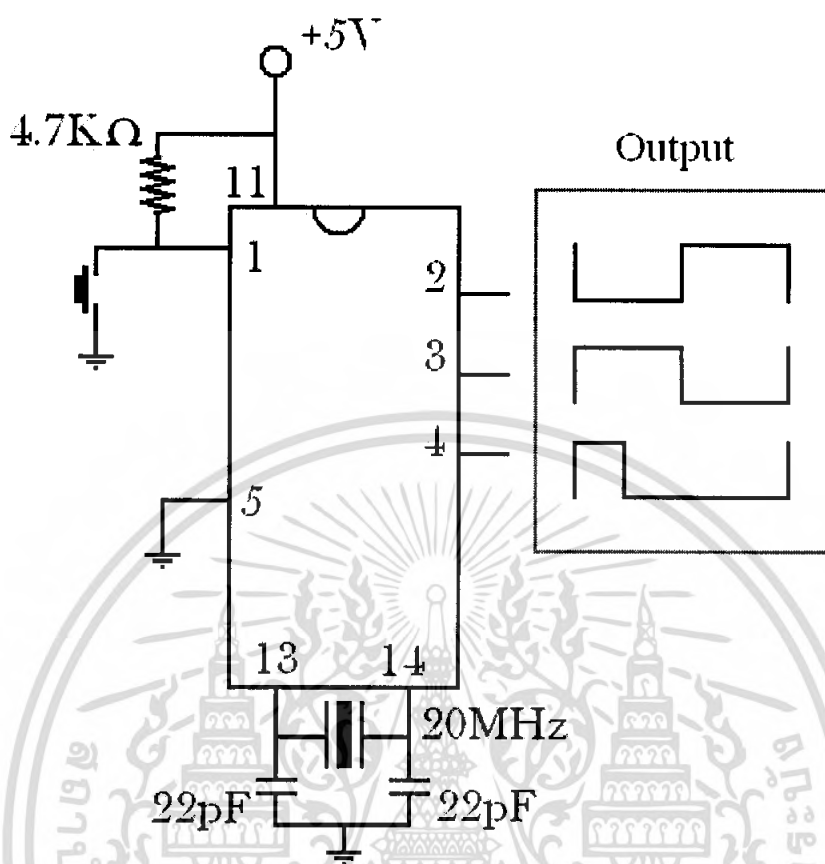
/*****
* Workfile   : LAB0304.c
* Purpose    : 2-output Induction Cooker
* Copyright  : appsofttech co.,ltd.
* Author     : Panya Leelerasamee
* Email      : ya_chum@hotmail.com
* Compiler   : CCS C Compiler
* Target     : PIC16F
* Other Files :
* Ref       :
*****/

/***** Includes *****/
#include <16F877A.h> // header file for PIC16F877A
/***** Setting configuration fuses *****/
#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP // Configuration word
#use delay(clock=20000000) // Change OSC here (default 20MHz)
/***** Main Functions *****/
void main(void)
{
    set_tris_a(0x00); // Set port RA all input
    while (1) {
        output_high(PIN_A1);
        output_high(PIN_A2);
        delay_us(5);
        output_low(PIN_A2);
        delay_us(5);
        output_low(PIN_A1);
        output_high(PIN_A0);
        delay_us(10);
        output_low(PIN_A0);
    }
}

/***** End of $Workfile: $ *****/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วงจรชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877ที่ใช้ในการทดลอง

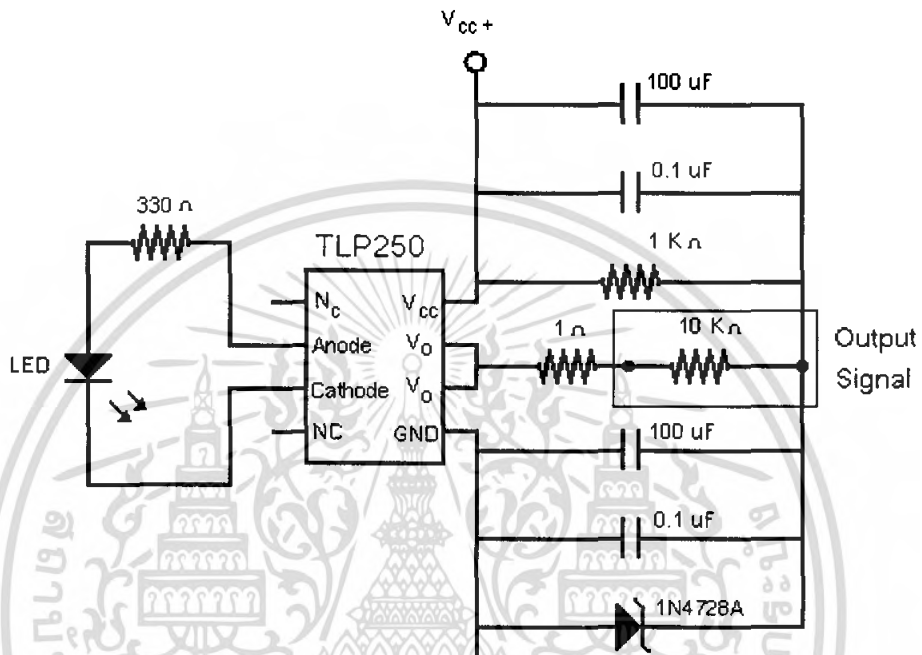
อุปกรณ์ในวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ที่ใช้ในการทดลอง

1. PIC รุ่น 16F877A	1	ตัว
2. คริสตัล 20 MHz	1	ตัว
3. ตัวเก็บประจุ 22 pF	2	ตัว
4. ตัวต้านทาน 4.7 Ko	1	ตัว
5. Connector 12 ขา	1	คู่
6. Connector 4 ขา	1	คู่
7. Connector 2 ขา	3	คู่
8. IC 7805	1	ตัว
9. บริดจ์ไดโอด	1	ตัว
10. Heat Sink	1	ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 วงจรขับมอสเฟต

วงจรที่ใช้ในการทดลองนี้ใช้เป็นวงจรขับมอสเฟตชนิด Opto-coupler โดยใช้ TLP250 เพื่อแยกส่วนการทำงานของวงจรกำลังและวงจรควบคุมให้ปลอดภัยมากขึ้น ป้องกันไม่ให้เกิดจากวงจรกำลังไหลย้อนเข้าสู่วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

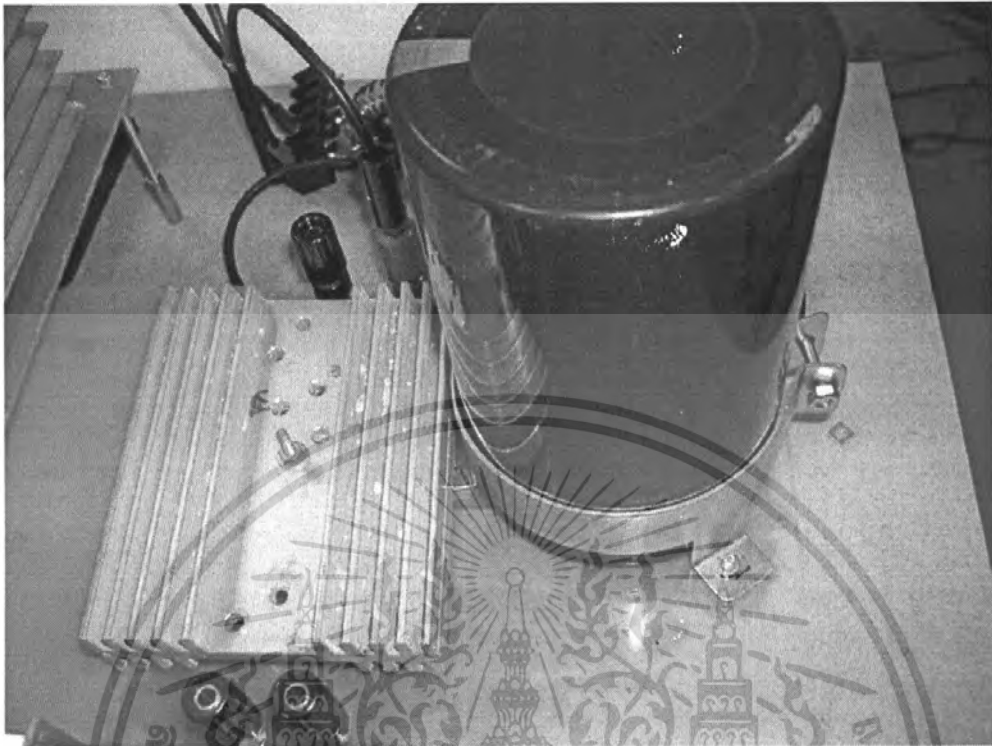


รูปที่ 3.9 แสดงวงจรขับมอสเฟต Opto-Coupler ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ในวงจร Opto-Coupler ที่ใช้ในการทดลอง

1. TLP250	6	ตัว
2. 1N4728A	6	ตัว
3. ตัวเก็บประจุ 100 uF	12	ตัว
4. ตัวเก็บประจุ 1 KF	12	ตัว
5. ตัวต้านทาน 330 Ko	6	ตัว
6. ตัวต้านทาน 0.1 Ko	6	ตัว
7. บริดจ์ไดโอด	6	ตัว
8. ตัวเก็บประจุ 220 uF	6	ตัว
9. Connector 12 ขา	2	คู่
10. LED	6	ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงวงจรเรียงกระแส

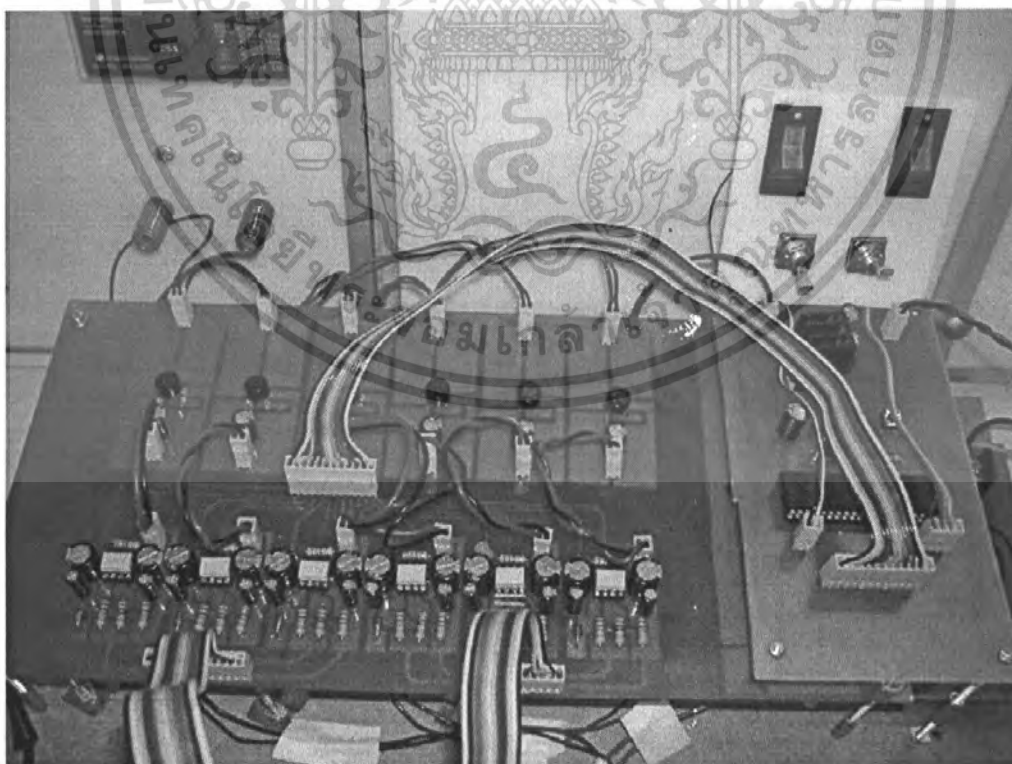


รูปที่ 3.11 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

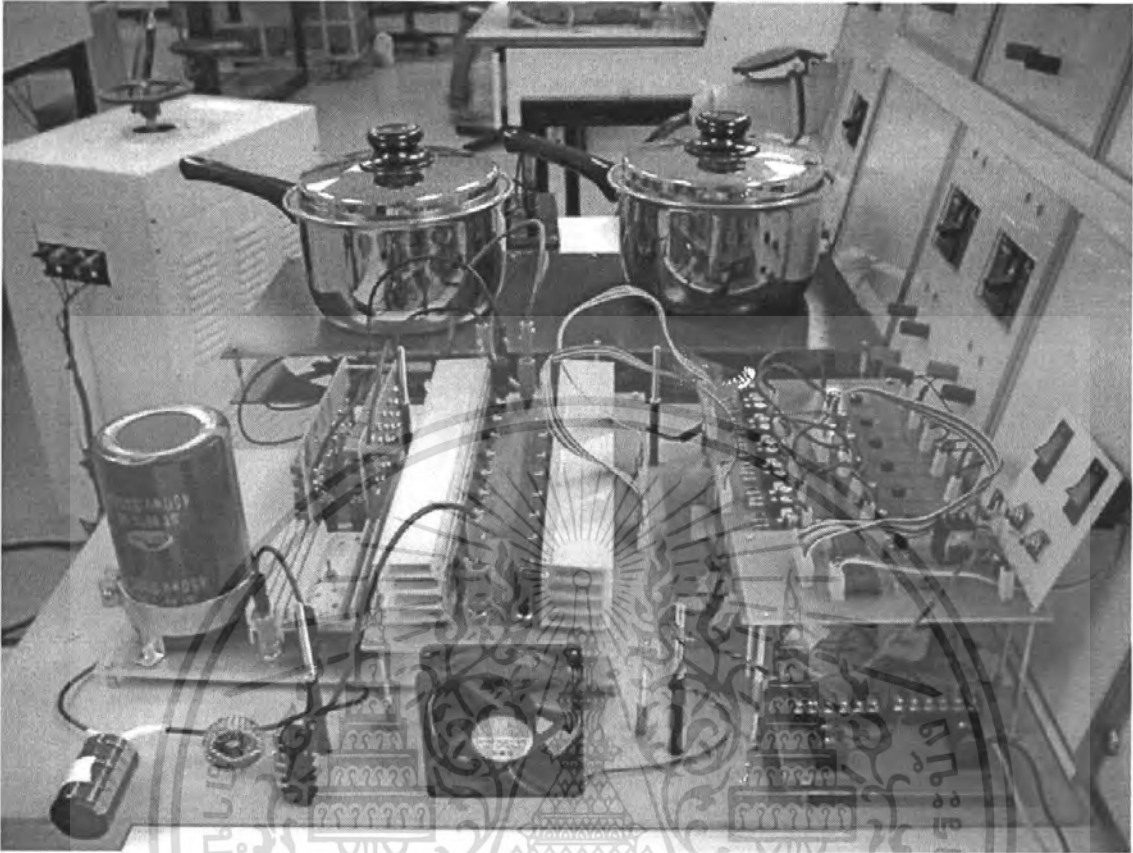


รูปที่ 3.12 แสดงชุดโพลดิเรโซแนนท์



รูปที่ 3.13 แสดงวงจรขับมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรทั้งหมดของเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้า 2 หัว

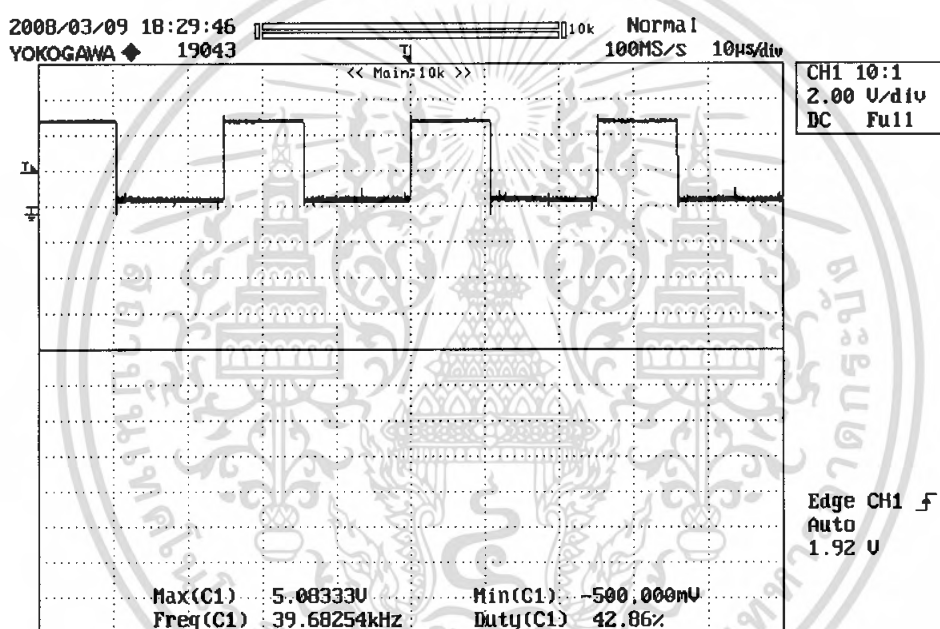
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

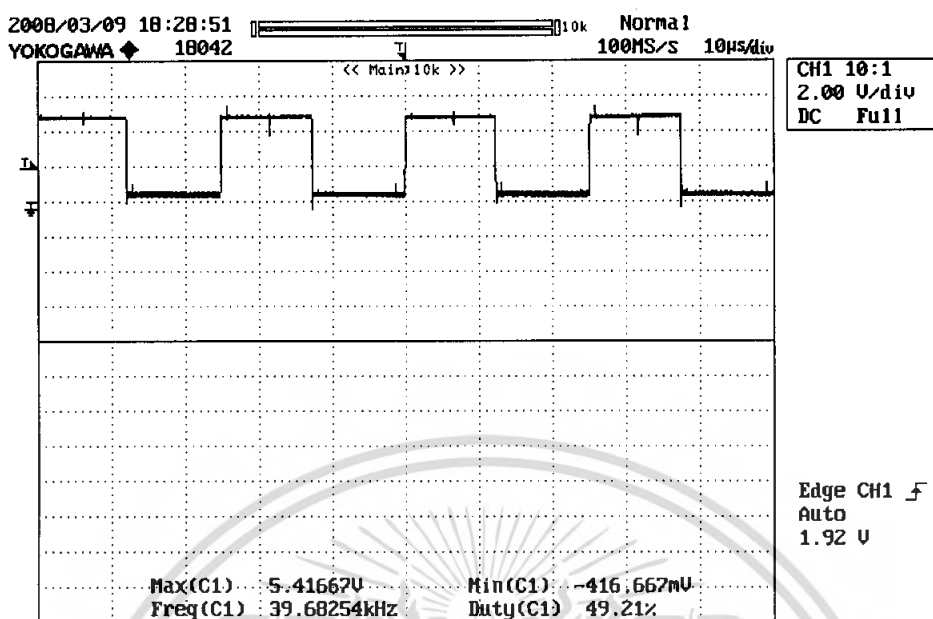
ในส่วนนี้จะเป็นการแสดงผลของการทดลองในการวัดค่าสัญญาณพัลส์ความถี่สูงที่สร้างจากชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ในลักษณะต่างๆของการทำงานในการขับมอเตอร์ในวงจรอินเวอร์เตอร์

#### 4.1 การทดสอบสัญญาณที่ออกจากชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

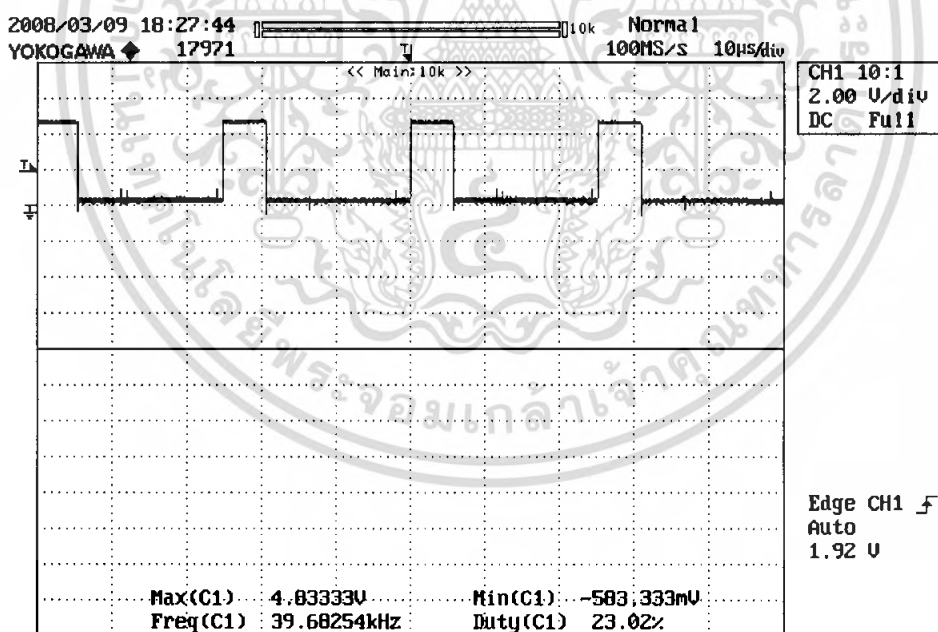


รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณที่ออกจากขาสัญญาณ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



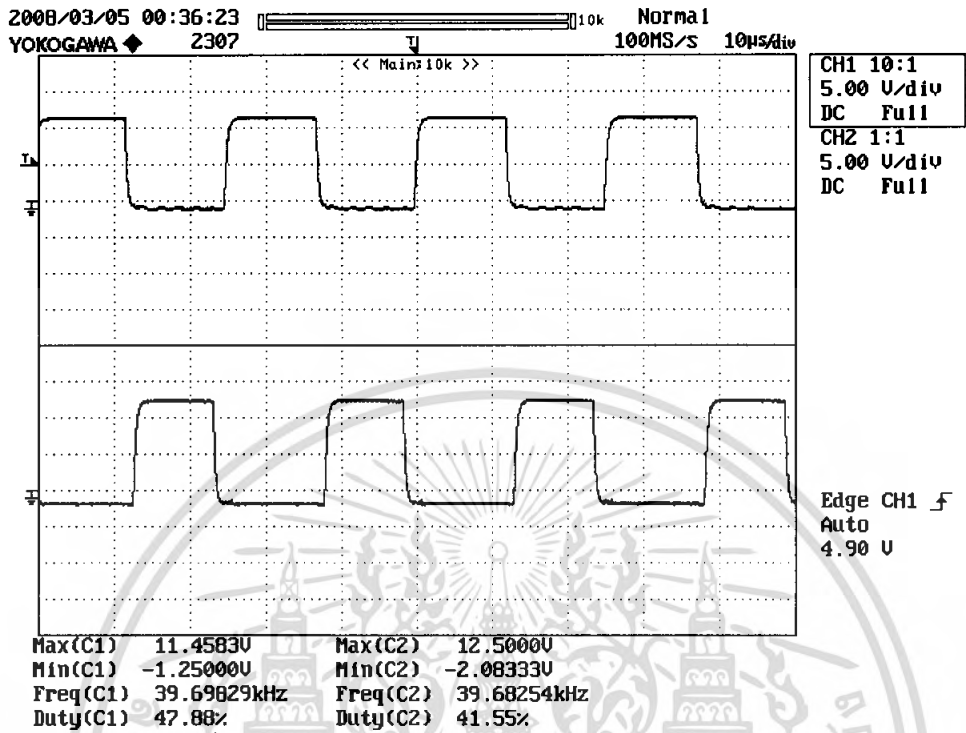
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่ออกจากขาสัญญาณ 3



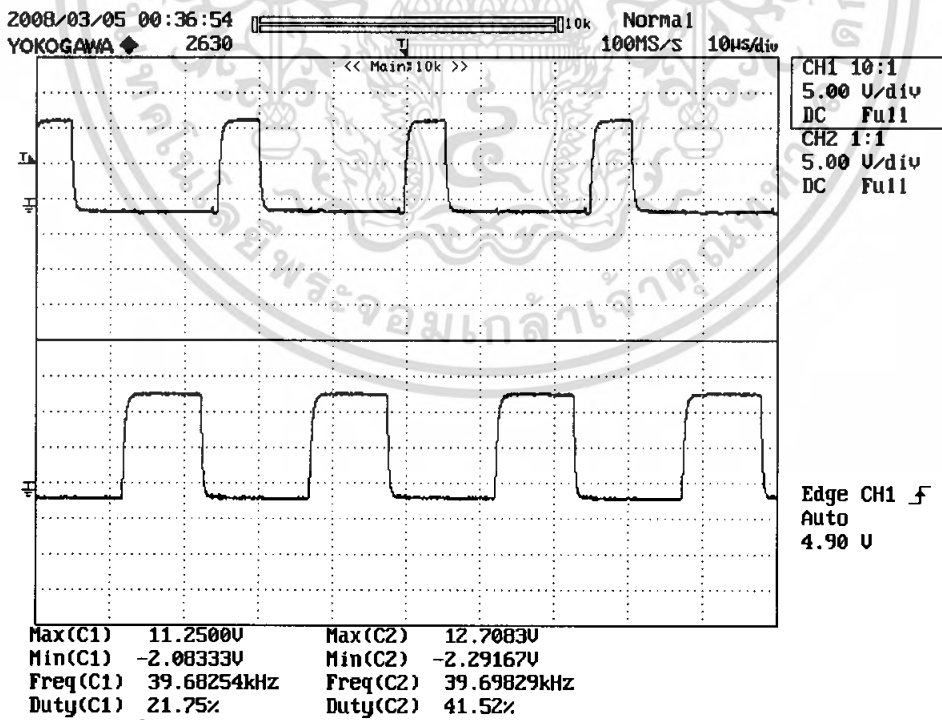
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณที่ออกจากขาสัญญาณ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2 การทดสอบสัญญาณที่ผ่านจากชุดขับมอเตอร์ Opto-Coupler

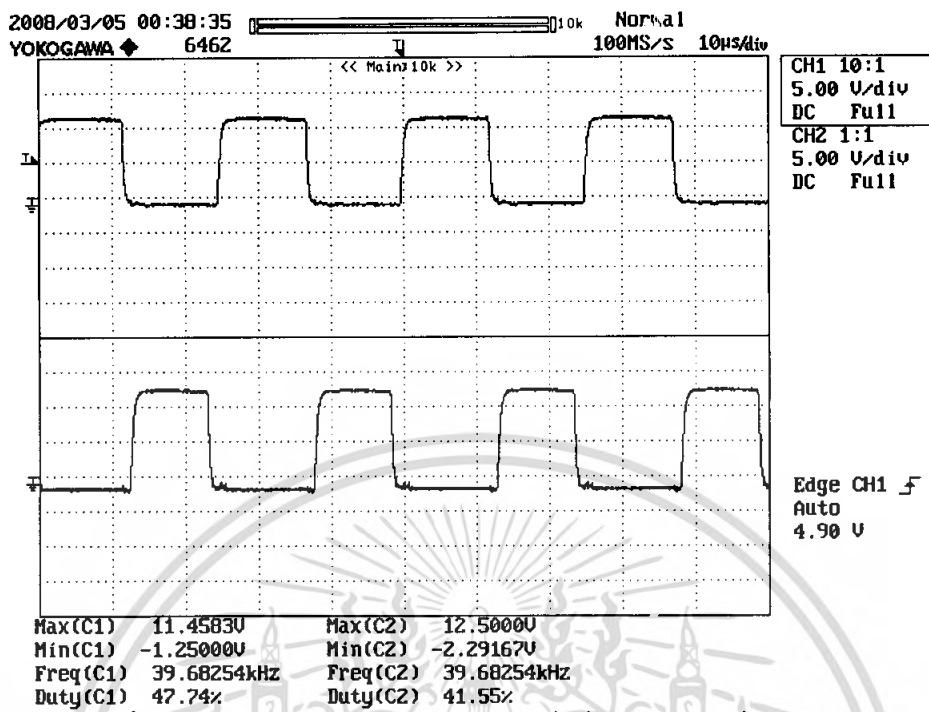


รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณขับมอเตอร์ของกิ้งที่ 1 ( กิ่งร่วม )

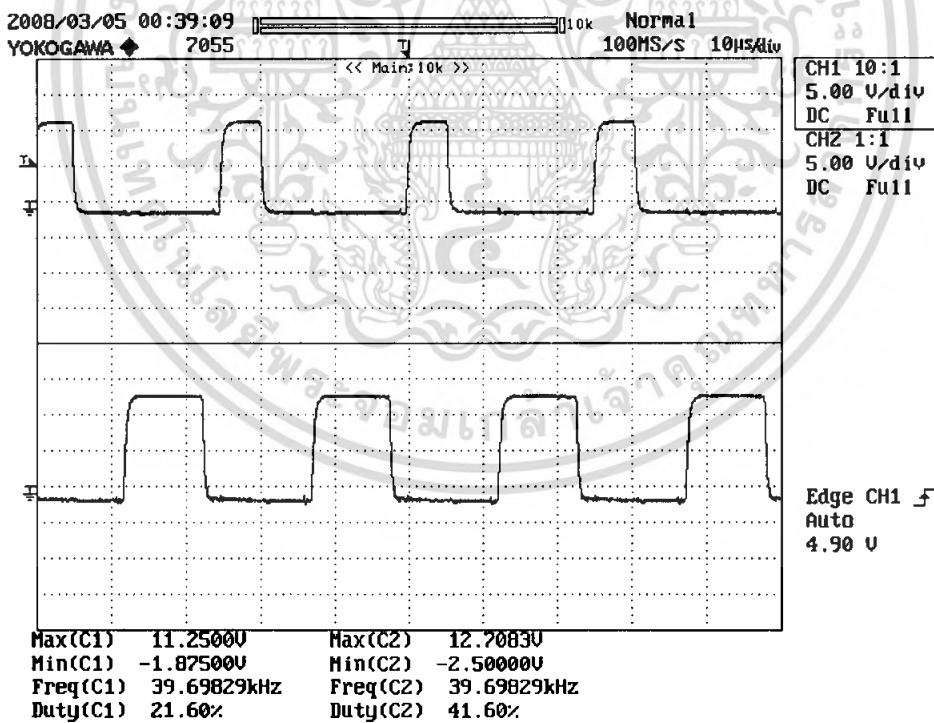


รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณขับมอเตอร์ของกิ้งที่ 2 (เตา1) เมื่อเปิด Low

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

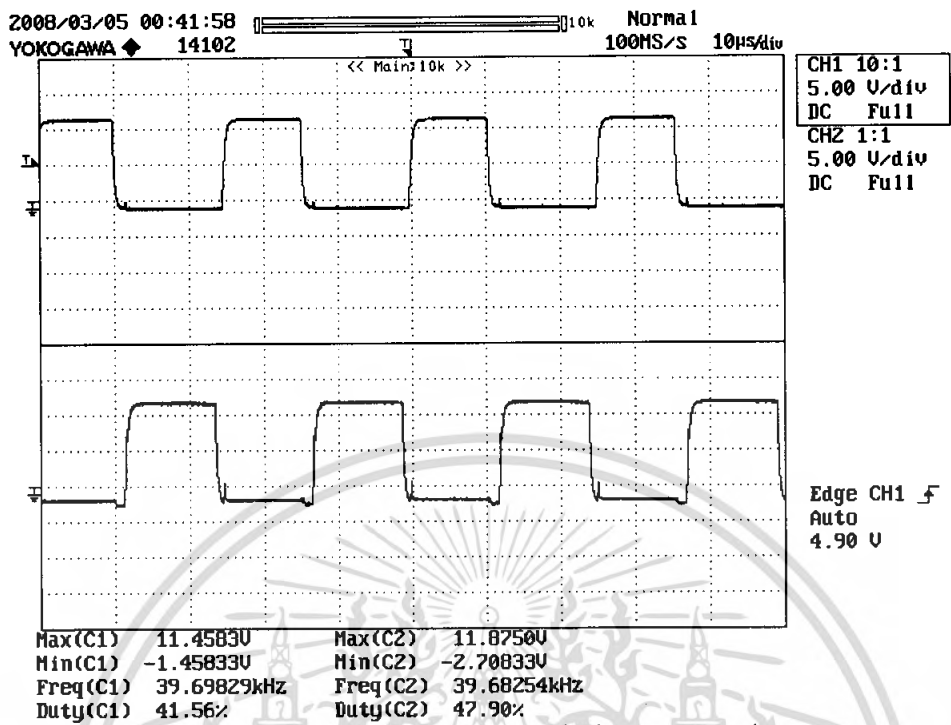


รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณขั้วมอสเฟตของกิ้งที่ 2 (เตา 1) เมื่อเปิด High



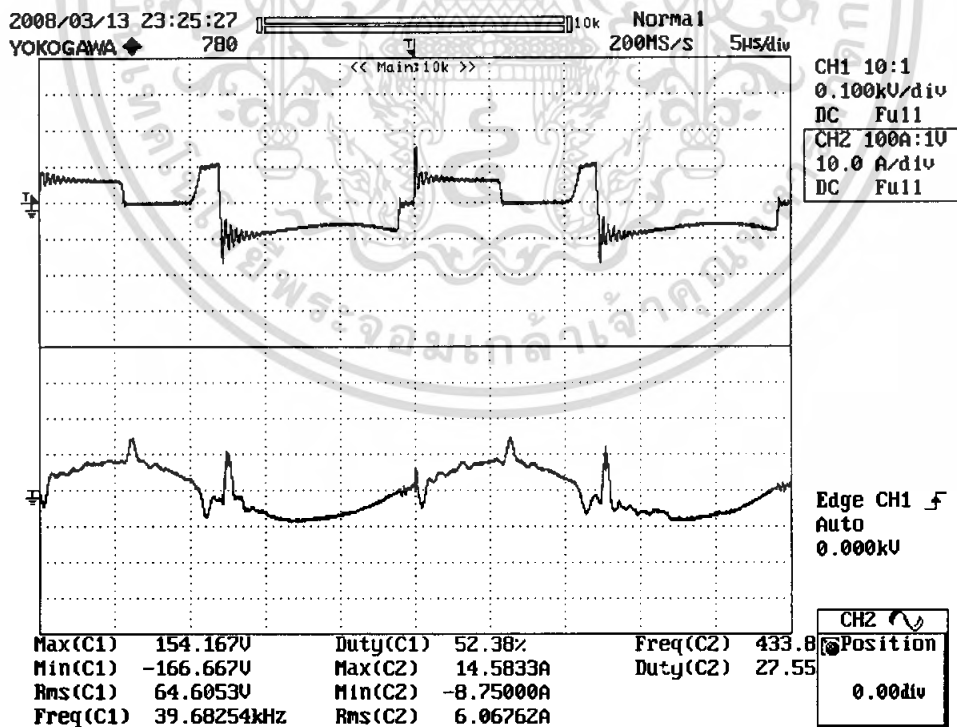
รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณขั้วมอสเฟตของกิ้งที่ 3 (เตา 2) เมื่อเปิด Low

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



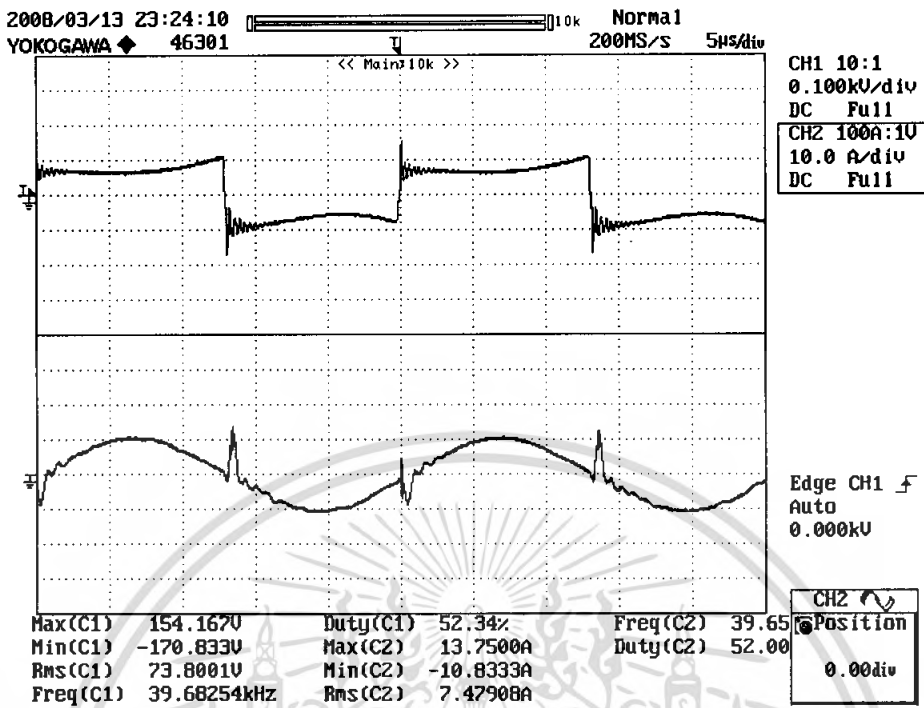
รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณขั้วมอสเฟตของกิ่งที่ 3 (เตา 2) เมื่อเปิด High

#### 4.3 การทดสอบแรงดันและกระแสเมื่อทำงานเตาเดียว

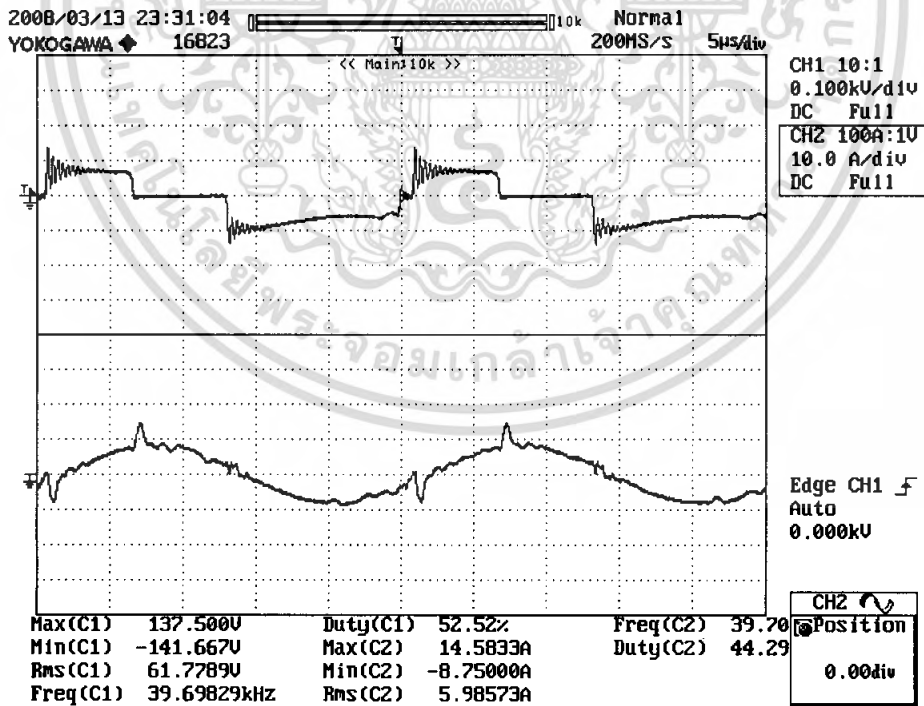


รูปที่ 4.9 แสดงแรงดันและกระแสที่เตา 1 เมื่อเปิด Low

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

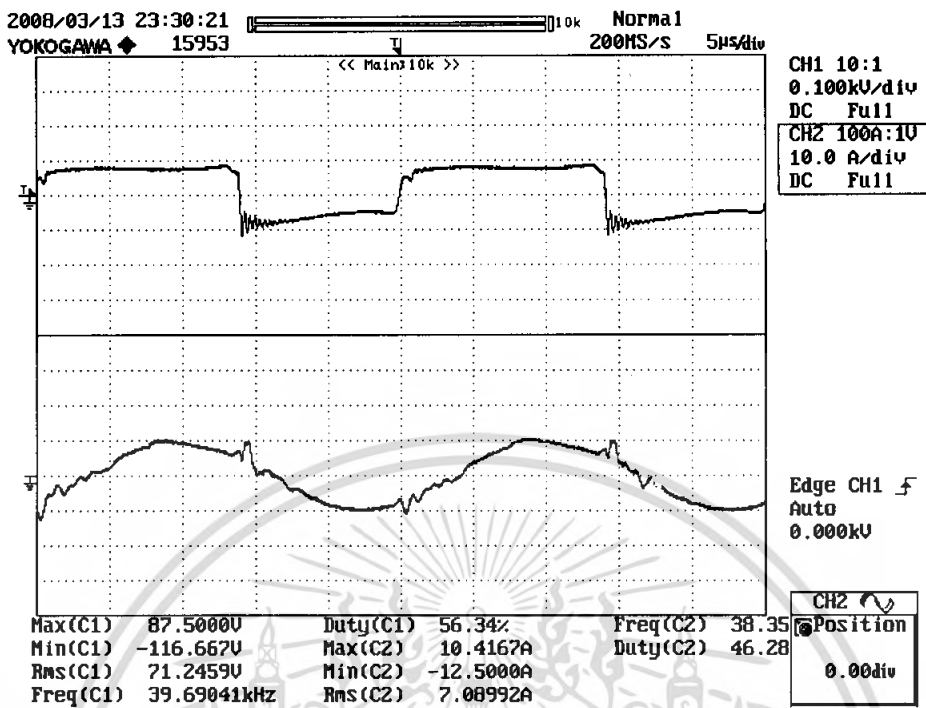


รูปที่ 4.10 แสดงแรงดันและกระแสที่เดา 1 เมื่อเปิด High



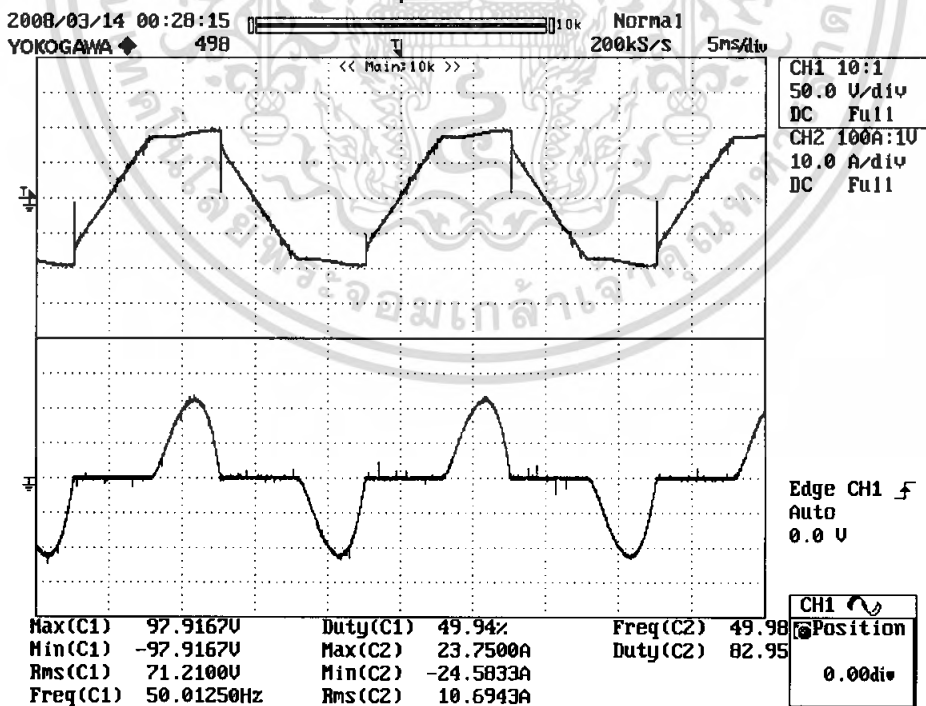
รูปที่ 4.11 แสดงแรงดันและกระแสที่เดา 2 เมื่อเปิด Low

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



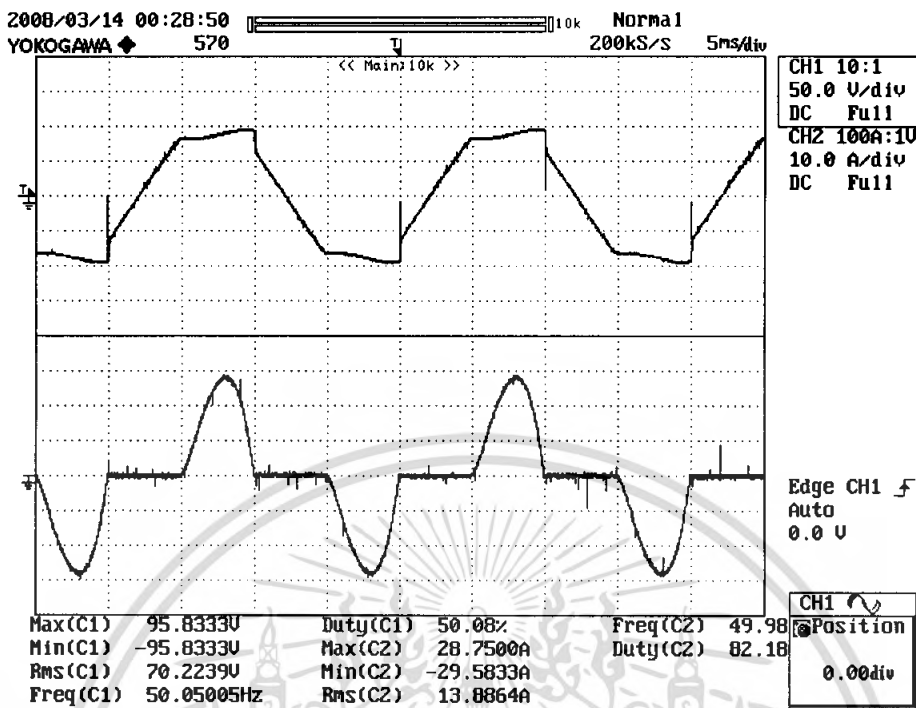
รูปที่ 4.12 แสดงแรงดันและกระแสที่เดา 2 เมื่อเปิด High

#### 4.4 การทดสอบแรงดันและกระแสอินพุทในกรณีต่างๆ

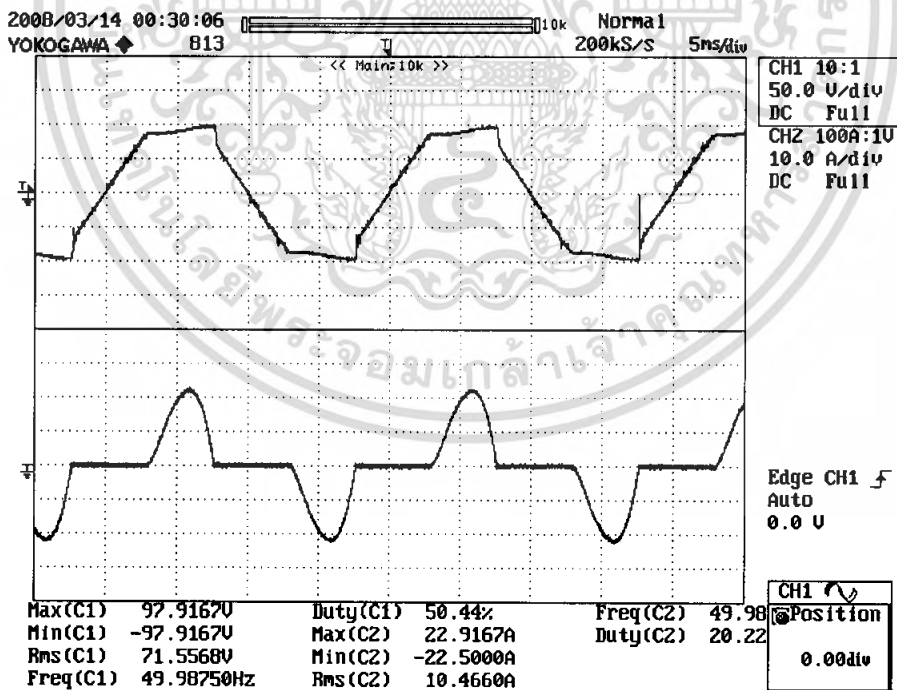


รูปที่ 4.13 เมื่อเปิดเดา 1 Low

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

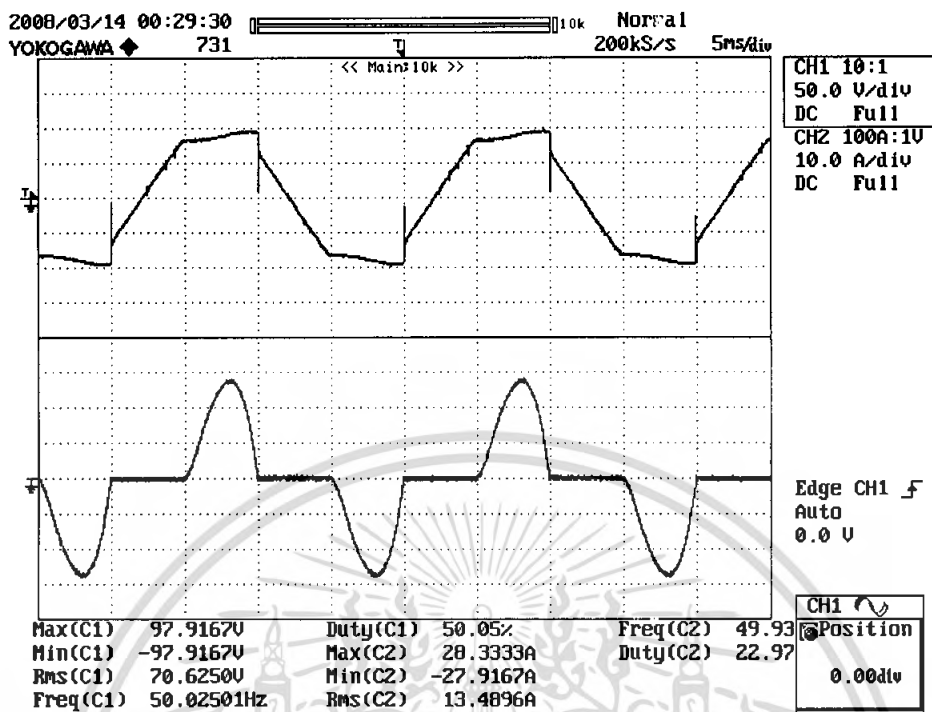


รูปที่ 4.14 เมื่อเปิดเตา 1 High

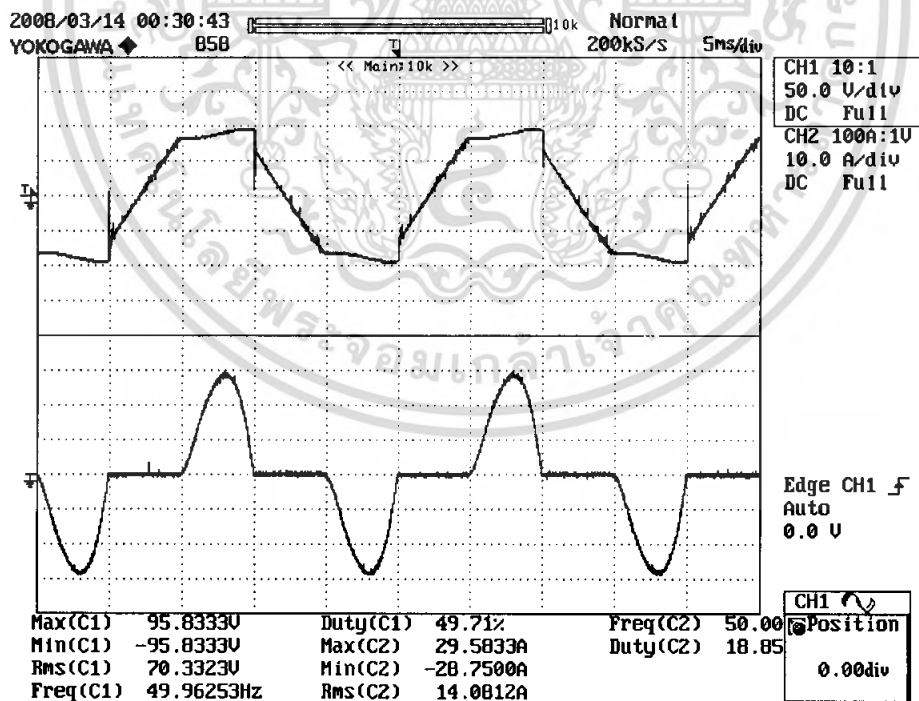


รูปที่ 4.15 เมื่อเปิดเตา 2 Low

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

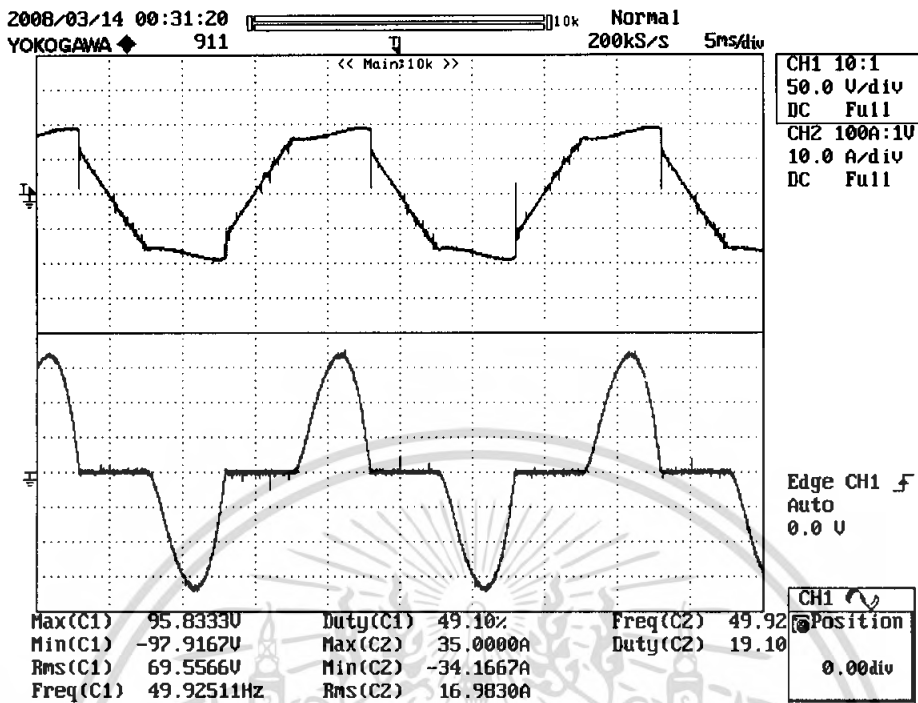


รูปที่ 4.16 เมื่อเปิดเตา 2 High

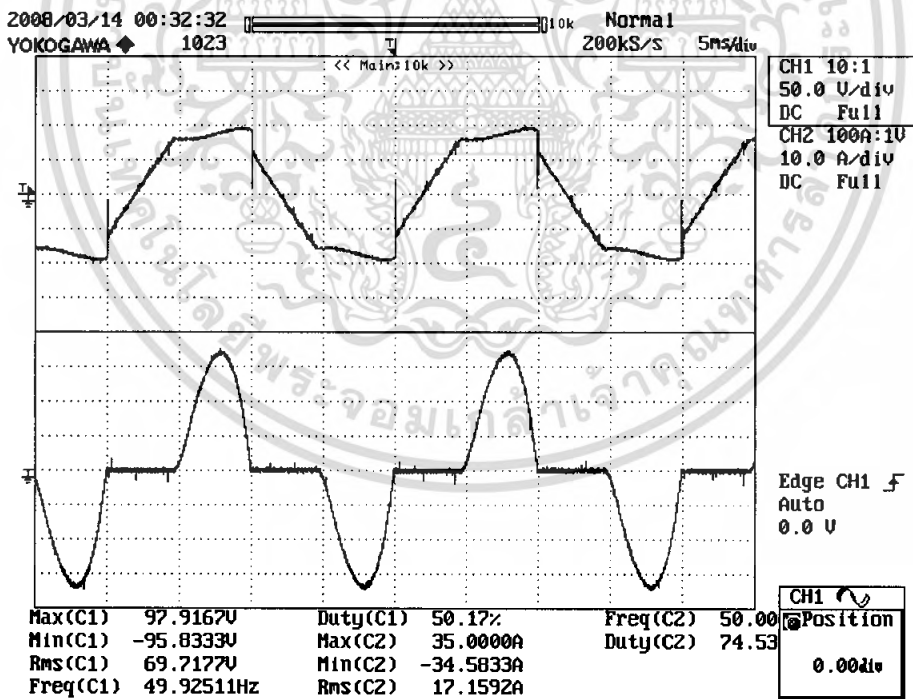


รูปที่ 4.17 เมื่อเปิดเตา 1 Low เตา 2 Low

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

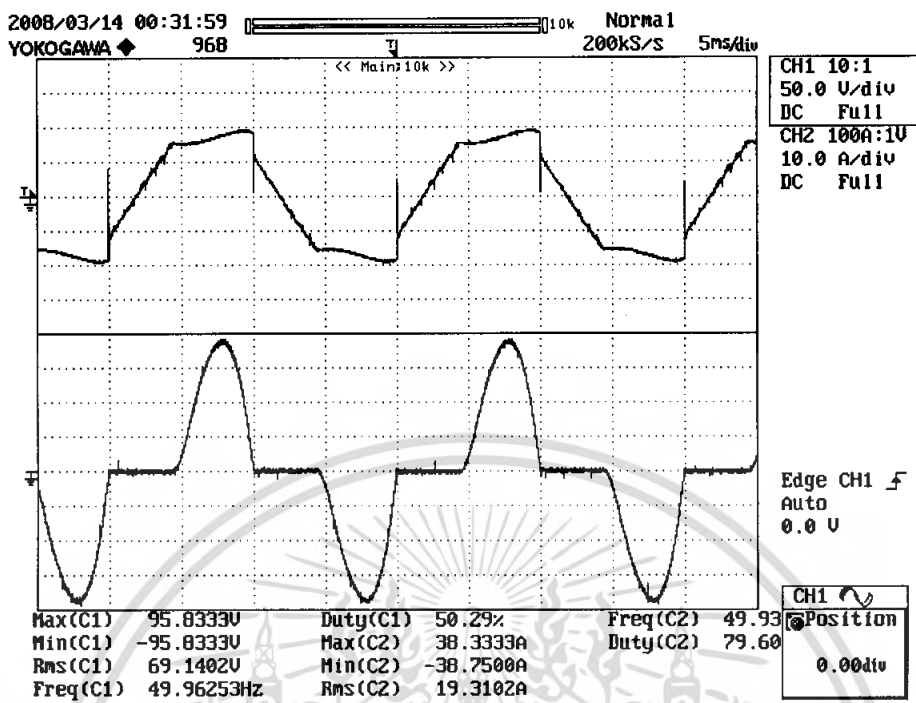


รูปที่ 4.18 เมื่อเปิดเตา 1 Low เตา 2 High



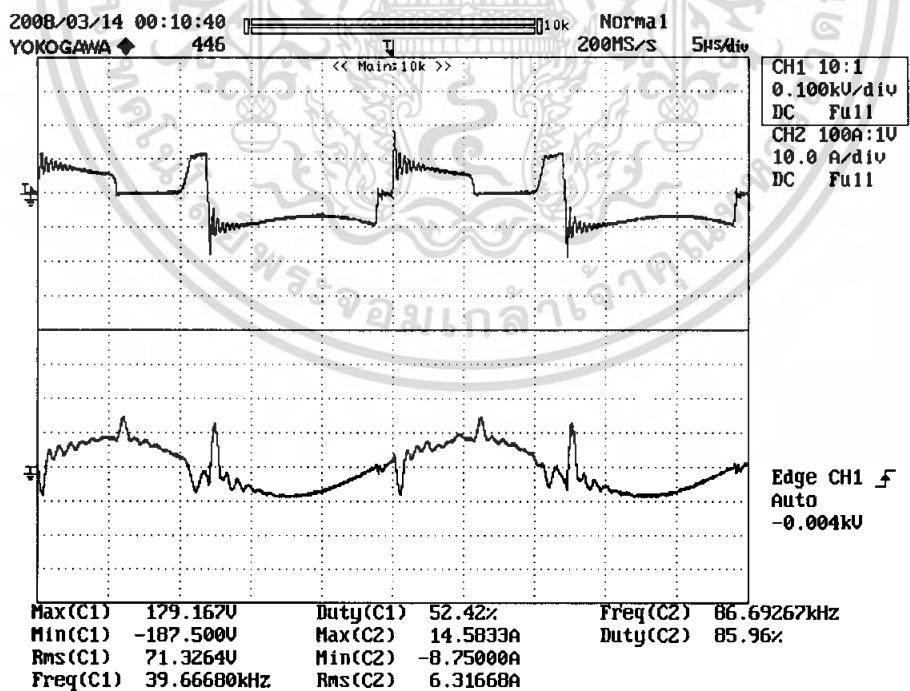
รูปที่ 4.19 เมื่อเปิดเตา 1 High เตา 2 Low

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



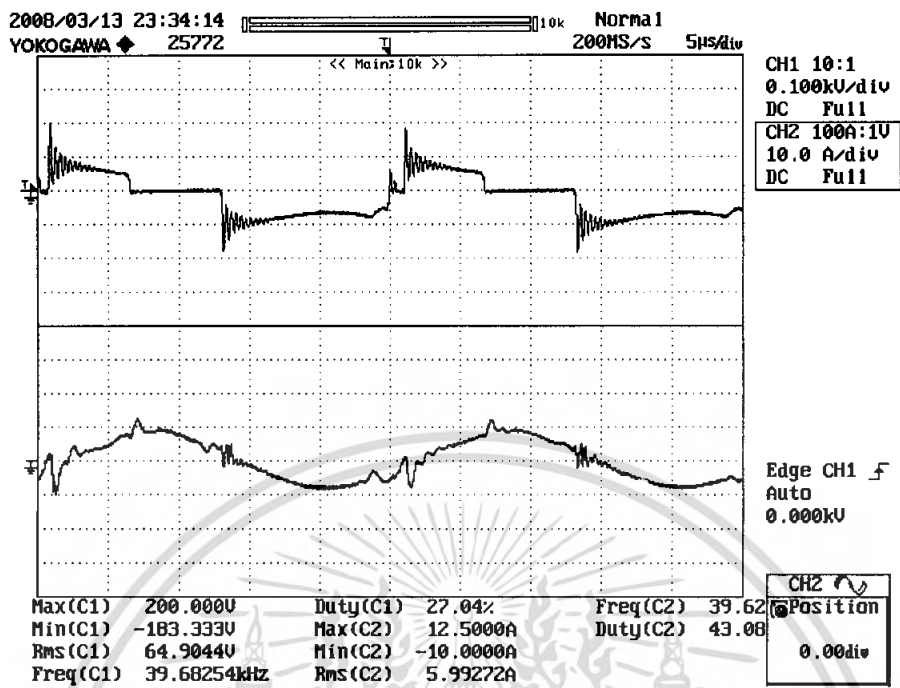
รูปที่ 4.20 เมื่อเปิดเตา 1 High เตา 2 High

#### 4.5 การทดสอบแรงดันและกระแสเมื่อทำงานสองเตา

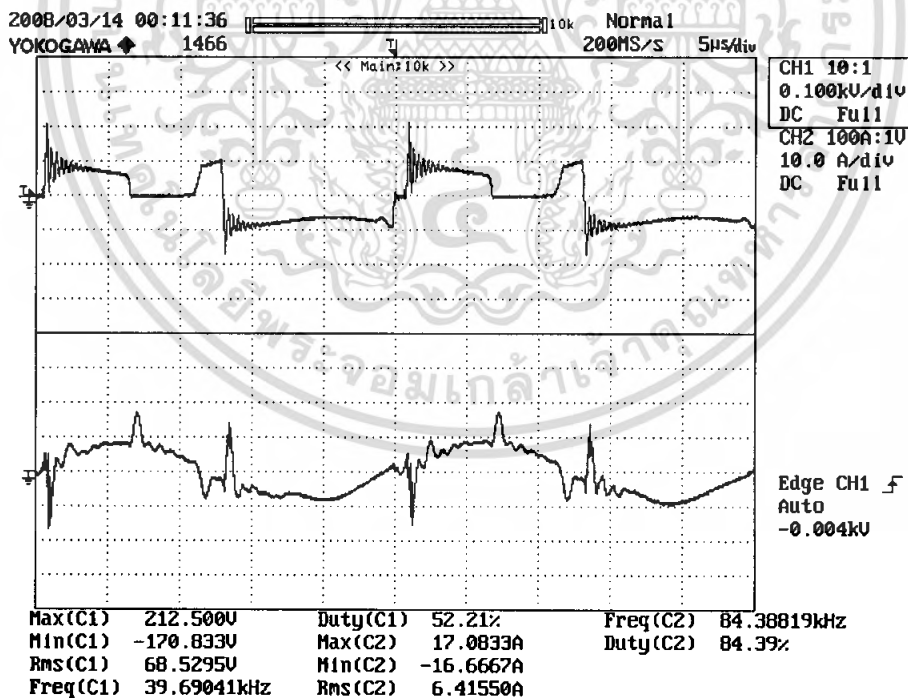


รูปที่ 4.21 แสดงแรงดันและกระแสที่เตา 1 เมื่อเปิดเตา 1 Low และเตา 2 Low

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

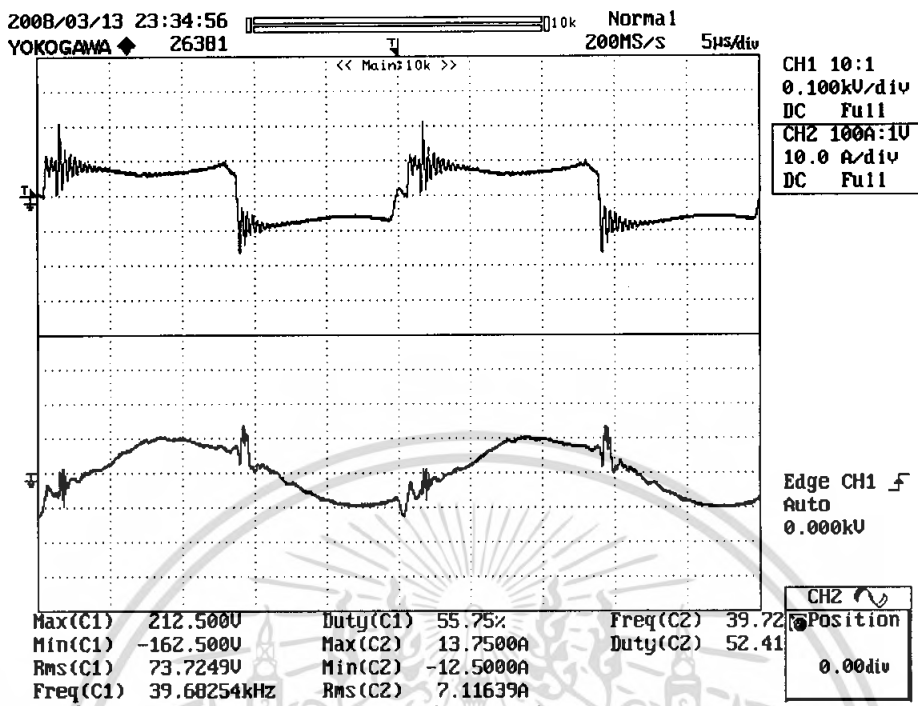


รูปที่ 4.22 แสดงแรงดันและกระแสที่เตา 2 เมื่อเปิดเตา 1 Low และเตา 2 Low

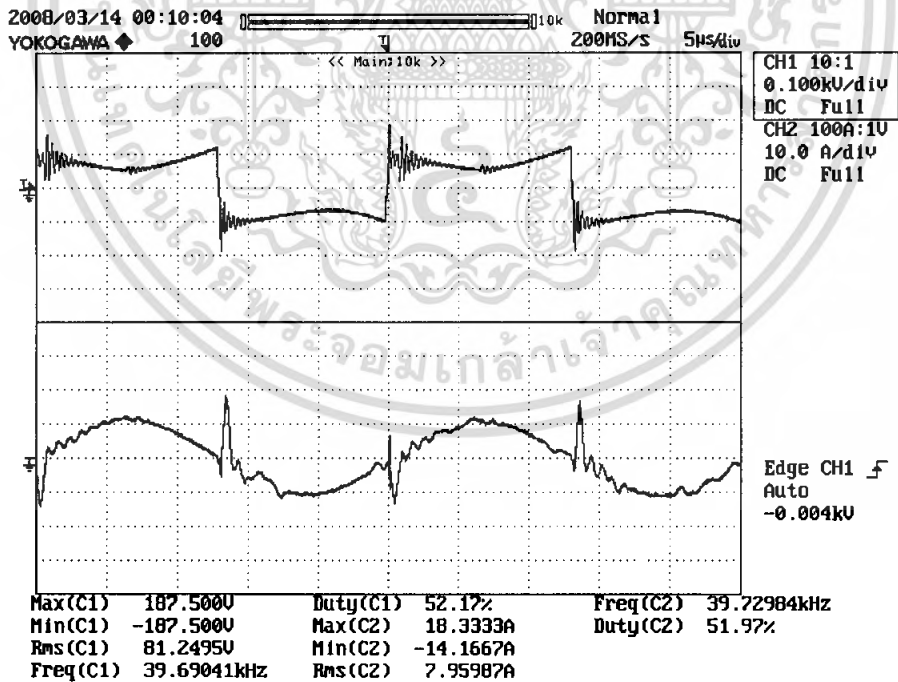


รูปที่ 4.23 แสดงแรงดันและกระแสที่เตา 1 เมื่อเปิดเตา 1 Low และเตา 2 High

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

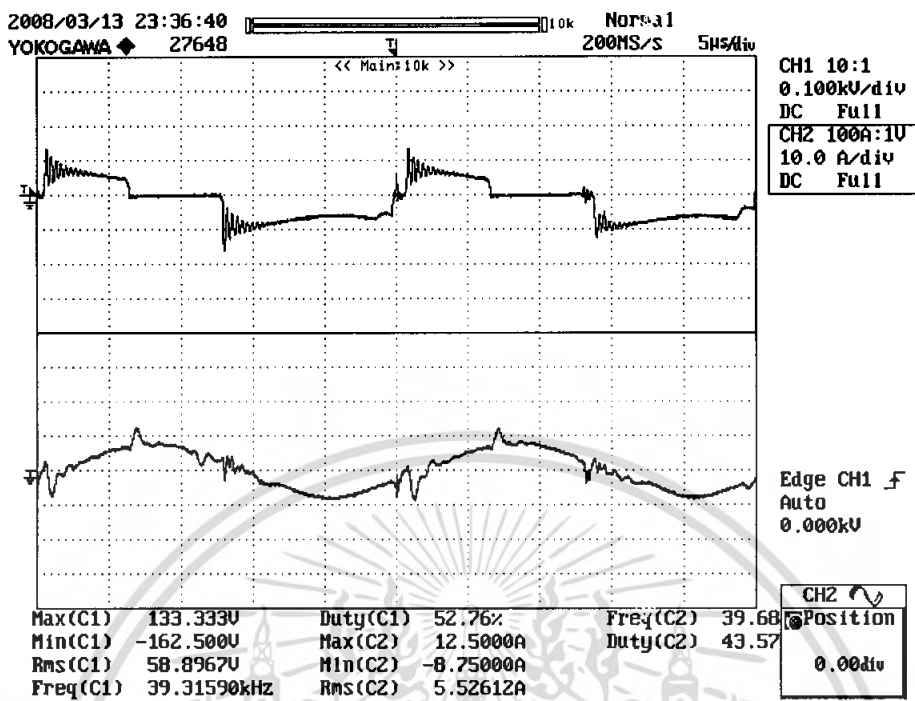


รูปที่ 4.24 แสดงแรงดันและกระแสที่เตา 2 เมื่อเปิดเตา 1 Low และเตา 2 High

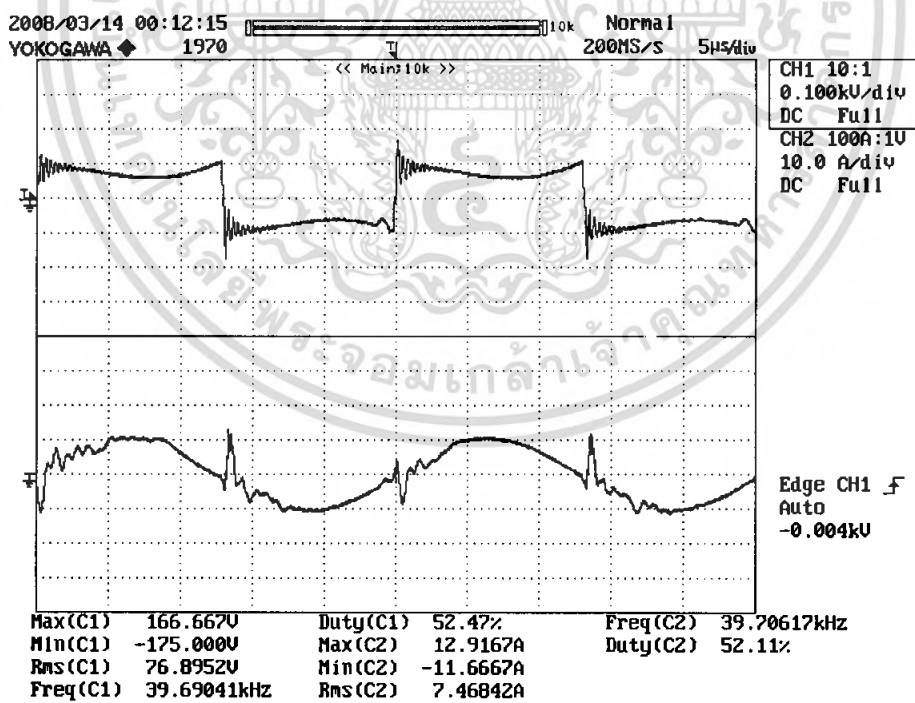


รูปที่ 4.25 แสดงแรงดันและกระแสที่เตา 1 เมื่อเปิดเตา 1 High และเตา 2 Low

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

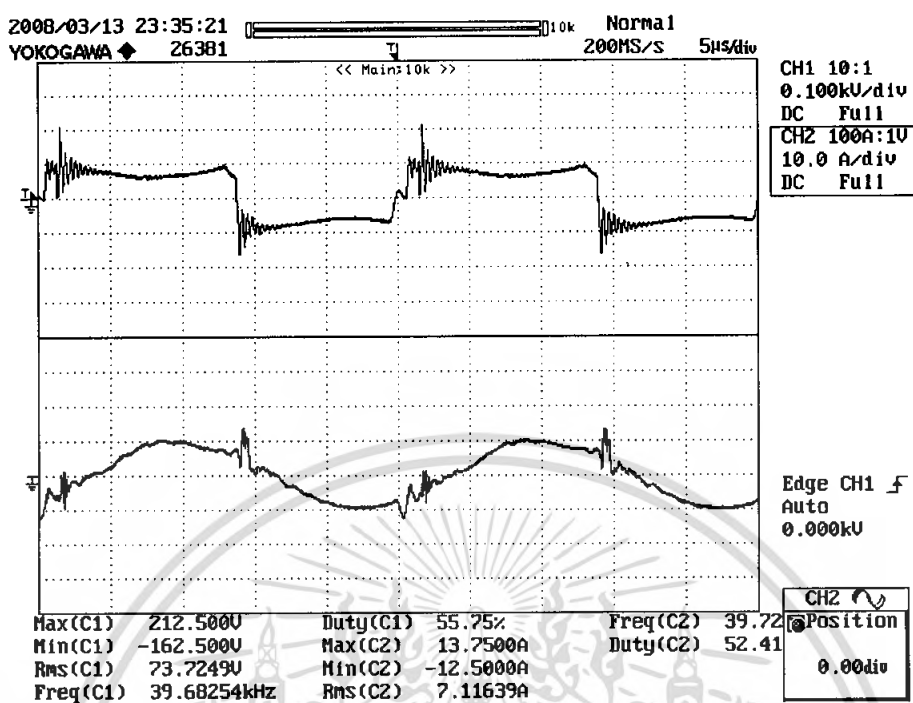


รูปที่ 4.26 แสดงแรงดันและกระแสที่เตา 2 เมื่อเปิดเตา 1 High และเตา 2 Low



รูปที่ 4.27 แสดงแรงดันและกระแสที่เตา 1 เมื่อเปิดเตา 1 High และเตา 2 High

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 แสดงแรงดันและกระแสที่เดา 2 เมื่อเปิดเดา 1 High และเดา 2 High

#### 4.6 ค่าประสิทธิภาพของเตาในลักษณะการทำงานต่าง ๆ

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพนั้น จะทำการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าด้านอินพุตและกำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุต ซึ่งหาค่าต่าง ๆ ได้จากกราฟที่ผ่านมาโดยคำนวณได้จากสูตร

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$$

(4.1)

##### 4.6.1 กรณีการทำงานหนึ่งเดา

เมื่อเดา1 ทำงานที่ Low ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ

$$392.0 \times 100 / 761.52 = 51.48 \%$$

เมื่อเดา1 ทำงานที่ High ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ

$$551.96 \times 100 / 975.15 = 56.60 \%$$

เมื่อเดา2 ทำงานที่ Low ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ

$$369.79 \times 100 / 748.91 = 49.38 \%$$

เมื่อเดา2 ทำงานที่ High ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ

$$505.13 \times 100 / 952.70 = 53.02 \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6.2 กรณีการทำงานสองเตา

เมื่อเตา 1 ทำงานที่ Low เตา 2 ทำงานที่ Low ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ

$$[450.55+384.70] \times 100 / 990.36 = 84.39 \%$$

เมื่อเตา 1 ทำงานที่ Low เตา 2 ทำงานที่ High ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ

$$[439.65+524.66] \times 100 / 1181.28 = 81.63 \%$$

เมื่อเตา 1 ทำงานที่ High เตา 2 ทำงานที่ Low ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ

$$[617.17+325.47] \times 100 / 1196.30 = 78.80 \%$$

เมื่อเตา 1 ทำงานที่ High เตา 2 ทำงานที่ High ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ

$$[574.29+524.66] \times 100 / 1335.11 = 82.31 \%$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุปและแนวทางที่จะดำเนินการ

#### 5.1 สรุปผล

1. โครงการงานชิ้นนี้ได้มีการพัฒนาจากเตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบหัวเดียว เพื่อการลดต้นทุนการผลิตโดยใช้ชุดวงจรเรียงกระแส วงจรอินเวอร์เตอร์ และชุดขับเพียงชุดเดียว

2. เตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาด 2 เตาต้องใช้ร่วมกับภาชนะที่ทำด้วยสาร Ferro-magnetic เนื่องจากมีค่าสภาพความต้านทานและค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์สูง ซึ่งทำให้ชุดขดลวดเหนี่ยวนำพร้อมภาชนะหุงต้มสามารถรับแรงดันที่ป้อนจากแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 110 V, 50 Hz ได้ โดยที่ค่ากระแสเอาท์พุทที่ชุดโหลดเรโซแนนท์แต่ละชุดไม่เกิน 10 A

3. การปรับขนาดกำลังไฟฟ้าของเตาหุงต้มทั้งสองเตา สามารถทำได้โดยการปรับค่า Duty Ratio ซึ่งเกิดจากการสั่งสั่งงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A ทำให้ควบคุมระดับความร้อนที่ต้องการได้ ซึ่งในโครงการนี้ได้ออกแบบให้มีการปรับค่า Duty Ratio เพียงสองค่า

4. ความถี่ในการสวิตซ์ซึ่งที่เลือกใช้เท่ากับ 40 KHz ซึ่งความถี่ในการสวิตซ์จะถูกกำหนดโดยความถี่เรโซแนนท์ของโหลด ซึ่งในที่นี้ได้การออกแบบให้จุดทำงานของความถี่ในการสวิตซ์มากกว่าความถี่เรโซแนนท์เล็กน้อยเพื่อต้องการที่จะลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการสวิตซ์

5. จากการทดลองเปิดใช้งานเตาหุงต้มพร้อมกันทั้งสองเตา ต้มน้ำ 1 ลิตร ผลปรากฏว่าเกิดกระแสสไปร์ททางด้านเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ จึงได้ทำการแก้ไขโดยนำซีสนับเบอร์แต่ละคร่อมกับขาเดรนและขาซอร์สของมอสเฟต IRF460 ทุกตัว ซึ่งทำให้กระแสสไปร์ทลดลงได้บ้าง

6. เมื่อทดลองใช้งานเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้า แล้วจะพบว่าค่ากำลังไฟฟ้านำเข้าด้านเอาท์พุทของเตาที่ 1 จะอยู่ในช่วงประมาณ 400-600 W และเตาที่ 2 จะอยู่ในช่วงประมาณ 360-575 W

#### 5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการพัฒนา

1. การเลือกใช้ตัวเก็บประจุแบบ WIMA ที่ต่ออนุกรมเข้ากับขดลวดเหนี่ยวนำนั้น ได้เลือกพิกัดของตัวเก็บประจุแต่ละตัวเท่ากับ 0.1  $\mu\text{F}$ , 600 V<sub>dc</sub> นำมาต่อขนานและอนุกรมกันจนได้ค่าความจุที่เหมาะสมเพื่อทำให้เกิดการเรโซแนนท์ แต่เมื่อทำการทดสอบโดยเปิดใช้งานเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาด 2 เตา ปรากฏว่าตัวเก็บประจุไม่สามารถทนกระแสได้ ดังนั้นจึงเปลี่ยนตัวเก็บประจุให้มีพิกัด 0.1  $\mu\text{F}$ , 250 V แต่สามารถทนได้ทั้งแรงดัน AC และ DC แทน

2. ในขณะที่เปิดใช้งานเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาด 2 เตาที่พิกัดแรงดันเกิน 70 V จะพบว่ากราฟแรงดันขาออกมี spike สูงและกราฟรีมมีการแกว่งมาก เพื่อความปลอดภัยจึงคงแรงดันไว้ที่ค่าดังกล่าวแม้ว่ากระแสขาเข้ายังไม่ถึงค่าพิกัดของมอสเฟต

4. เนื่องจากการเปิดใช้งานที่พิกัดแรงดันการไฟฟ้านั้นยังต้องอาศัยการปรับแรงดันโดยใช้ Variac ช่วยในการปรับระดับแรงดันเนื่องจากมีค่าตัวเก็บประจุอยู่ที่วงจรเรียงกระแส จึงต้องมีการพัฒนาต่อโดยให้สามารถใช้งานที่พิกัดแรงดันการไฟฟ้า 220 V, 50 Hz โดยไม่ต้องอาศัย Variac ปรับระดับแรงดัน

5. ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้งานงานเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาด 2 เตามีค่าน้อย จึงต้องมีการปรับปรุงให้เครื่องมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและควรออกแบบให้วงจรมีขนาดเล็กลงเพื่อเหมาะกับการใช้งานในครัวเรือน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] นาย อนุพงศ์ ศรีวรรณทกุล และคณะ, “เตาหุงต้มอาหารโดยการเหนี่ยวนำ 2 หัว,” **ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.**
- [2] ประสิทธิ์ รัชไพบูลย์ และคณะ, “เตาหุงต้มเหนี่ยวนำ,” **ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547.**
- [3] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ชาราชธีรเศรษฐ์, **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง, กรุงเทพ, สนพ.วี. เจ.พรนตัง, 2547**
- [4] เตชฤทธิ์ มณีธรรม และ สำเริง เต็มราม, **คัมภีร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC, 2549**
- [5] J.Acerro, J.I Artigas, J.M burdio L.A. barragan and S. Llorente, “ Power measuring in two-output resonant inverters for induction cooking appliances,” **in Proc. IEEE’2002,2002, pp. 1161-1166.**
- [6] Fernando Monterde, Pablo Hernandez, J.M burdio, Jose R. Garcia, and Abelardo Martinez, “ A new ZVS two-output series resonant inverter for induction cookers obtained by a synthesis Method”, **in Proc. IEEE’2000, 2000, pp. 13751380.**

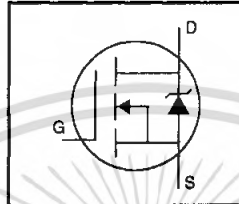
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**HEXFET® Power MOSFET**

- Dynamic dv/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements

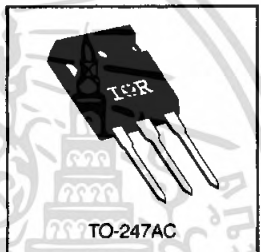


$V_{DSS} = 500V$
$R_{DS(on)} = 0.27\Omega$
$I_D = 20A$

**Description**

Third Generation HEXFETs from International Rectifier provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distance between pins to meet the requirements of most safety specifications.



DATA SHEETS

**Absolute Maximum Ratings**

	Parameter	Max.	Units
$I_D$ @ $T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	20	A
$I_D$ @ $T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	13	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current ①	80	
$P_D$ @ $T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	280	W
	Linear Derating Factor	2.2	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	±20	V
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy ②	960	mJ
$I_{AR}$	Avalanche Current ①	20	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy ①	28	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	3.5	V/ns
$T_J$	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +150	°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1 N·m)	


**Thermal Resistance**

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	—	0.45	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	—	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	—	40	


# IRFP460



## Electrical Characteristics @ T<sub>J</sub> = 25°C (unless otherwise specified)

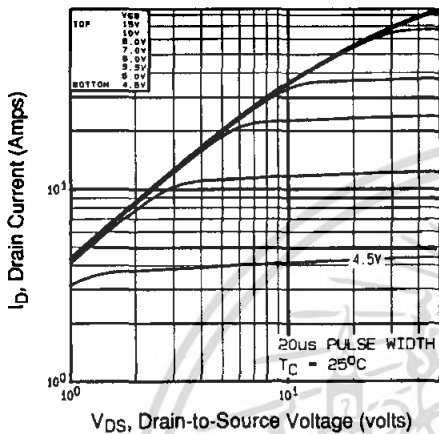
	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V <sub>(BR)DSS</sub>	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	V <sub>GS</sub> =0V, I <sub>D</sub> =250μA
ΔV <sub>(BR)DSS</sub> /ΔT <sub>J</sub>	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	V/°C	Reference to 25°C, I <sub>D</sub> =1mA
R <sub>DS(on)</sub>	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.27	Ω	V <sub>GS</sub> =10V, I <sub>D</sub> =12A ④
V <sub>GS(th)</sub>	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V <sub>DS</sub> =V <sub>GS</sub> , I <sub>D</sub> =250μA
g <sub>fs</sub>	Forward Transconductance	13	—	—	S	V <sub>DS</sub> =50V, I <sub>D</sub> =12A ④
I <sub>DSS</sub>	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	V <sub>DS</sub> =500V, V <sub>GS</sub> =0V
		—	—	250		V <sub>DS</sub> =400V, V <sub>GS</sub> =0V, T <sub>J</sub> =125°C
I <sub>GSS</sub>	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V <sub>GS</sub> =20V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		V <sub>GS</sub> =-20V
Q <sub>g</sub>	Total Gate Charge	—	—	210	nC	I <sub>D</sub> =20A
Q <sub>gs</sub>	Gate-to-Source Charge	—	—	29		V <sub>DS</sub> =400V
Q <sub>gd</sub>	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	110		V <sub>GS</sub> =10V See Fig. 6 and 13 ④
t <sub>d(on)</sub>	Turn-On Delay Time	—	18	—	ns	V <sub>DD</sub> =250V
t <sub>r</sub>	Rise Time	—	59	—		I <sub>D</sub> =20A
t <sub>d(off)</sub>	Turn-Off Delay Time	—	110	—		R <sub>G</sub> =4.3Ω
t <sub>f</sub>	Fall Time	—	58	—		R <sub>D</sub> =13Ω See Figure 10 ④
L <sub>D</sub>	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact 
L <sub>S</sub>	Internal Source Inductance	—	13	—		
C <sub>iss</sub>	Input Capacitance	—	4200	—	pF	V <sub>GS</sub> =0V
C <sub>oss</sub>	Output Capacitance	—	870	—		V <sub>DS</sub> =25V
C <sub>rss</sub>	Reverse Transfer Capacitance	—	350	—		f=1.0MHz See Figure 5

## Source-Drain Ratings and Characteristics

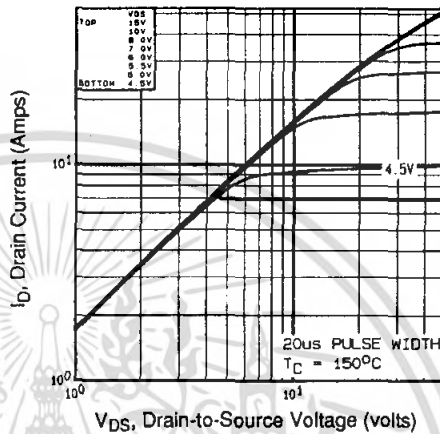
	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I <sub>S</sub>	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	20	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
I <sub>SM</sub>	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	80		
V <sub>SD</sub>	Diode Forward Voltage	—	—	1.8	V	T <sub>J</sub> =25°C, I <sub>S</sub> =20A, V <sub>GS</sub> =0V ④
t <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Time	—	570	860	ns	T <sub>J</sub> =25°C, I <sub>F</sub> =20A
Q <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Charge	—	5.7	8.6	μC	di/dt=100A/μs ④
t <sub>on</sub>	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L <sub>S</sub> +L <sub>D</sub> )				

### Notes:

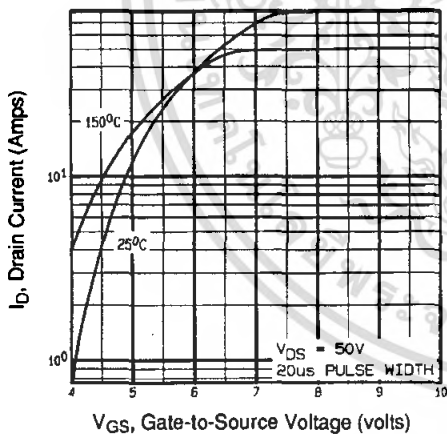
- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)
- ② V<sub>DD</sub>=50V, starting T<sub>J</sub>=25°C, L=4.3mH, R<sub>G</sub>=25Ω, I<sub>AS</sub>=20A (See Figure 12)
- ③ I<sub>SD</sub>≤20A, di/dt≤160A/μs, V<sub>OD</sub>≤V<sub>(BR)DSS</sub>, T<sub>J</sub>≤150°C
- ④ Pulse width ≤ 300 μs; duty cycle ≤2%.



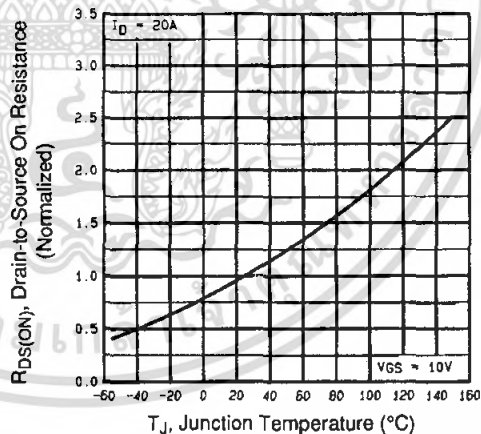
**Fig 1. Typical Output Characteristics,  $T_C=25^\circ\text{C}$**



**Fig 2. Typical Output Characteristics,  $T_C=150^\circ\text{C}$**



**Fig 3. Typical Transfer Characteristics**



**Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature**

DATA SHEETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

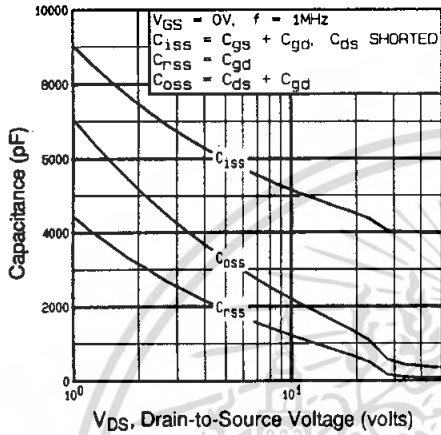


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

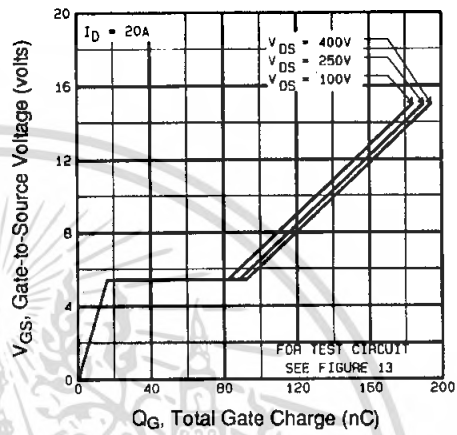


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

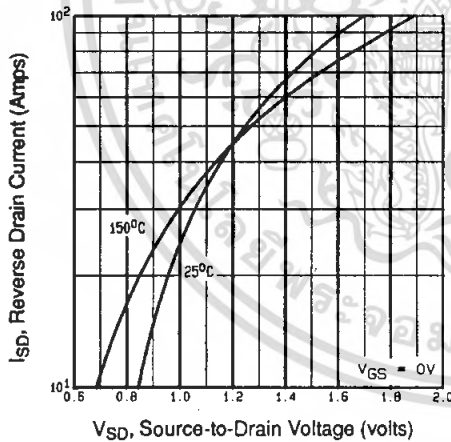


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

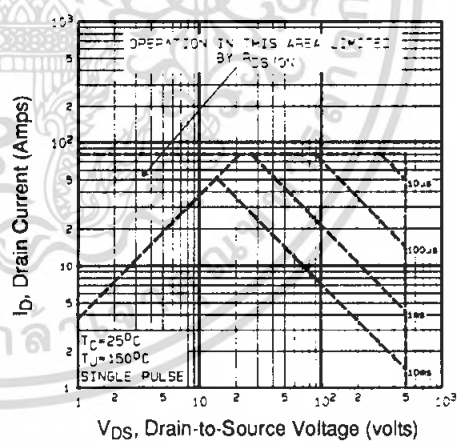


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

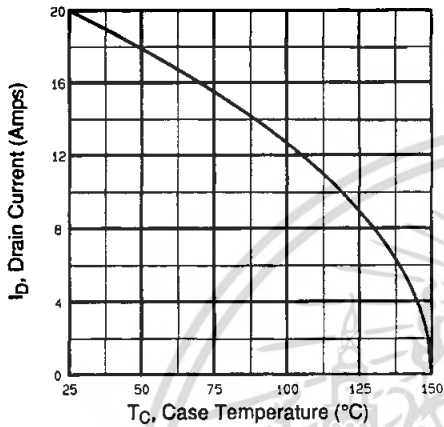


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

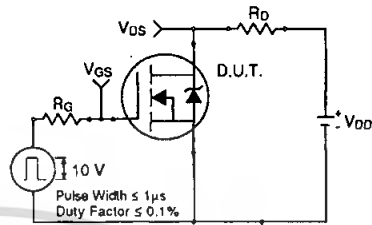


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

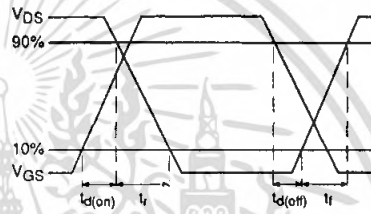


Fig 10b. Switching Time Waveforms

DATA SHEETS

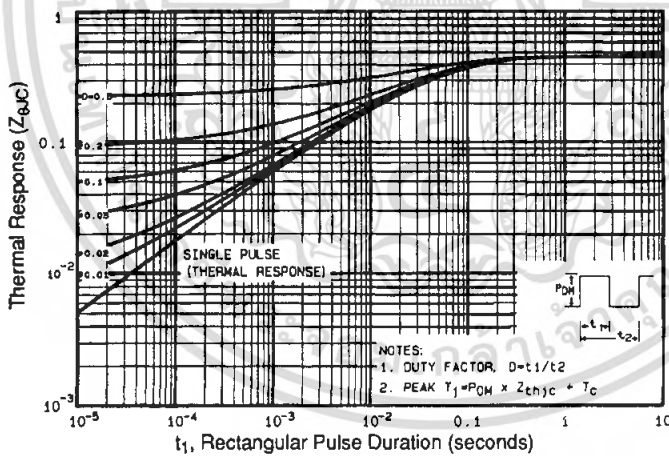


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

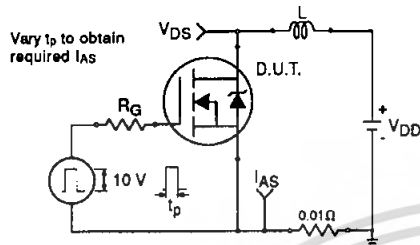


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

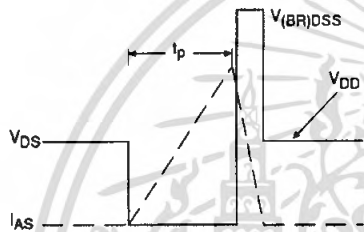


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

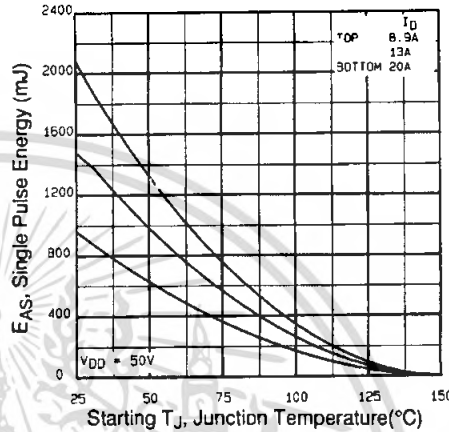


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

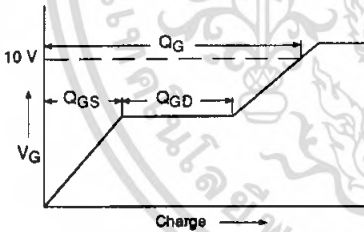


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

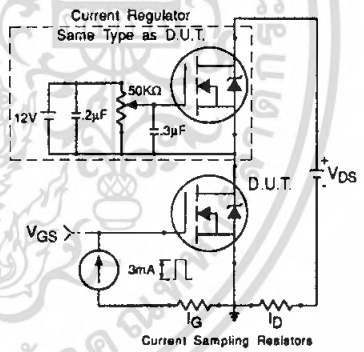


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

- Appendix A: Figure 14, Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit – See page 1505
- Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1511
- Appendix C: Part Marking Information – See page 1517

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TLP250

Transistor Inverter  
 Inverter For Air Conditionor  
 IGBT Gate Drive  
 Power MOS FET Gate Drive

The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.

This unit is 8-lead DIP package.

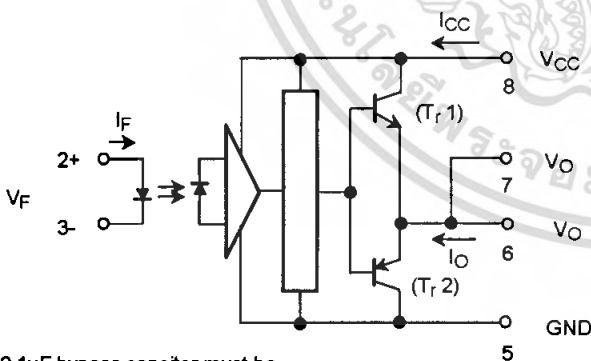
TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current:  $I_F=5\text{mA}(\text{max.})$
- Supply current ( $I_{CC}$ ):  $11\text{mA}(\text{max.})$
- Supply voltage ( $V_{CC}$ ):  $10\text{--}35\text{V}$
- Output current ( $I_O$ ):  $\pm 1.5\text{A}(\text{max.})$
- Switching time ( $t_{pLH}/t_{pHL}$ ):  $1.5\mu\text{s}(\text{max.})$
- Isolation voltage:  $2500\text{V}_{\text{rms}}(\text{min.})$
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option (D4) type  
 VDE approved: DIN VDE0884/06.92,certificate No.76823  
 Maximum operating insulation voltage:  $630\text{V}_{\text{PK}}$   
 Highest permissible over voltage:  $4000\text{V}_{\text{PK}}$

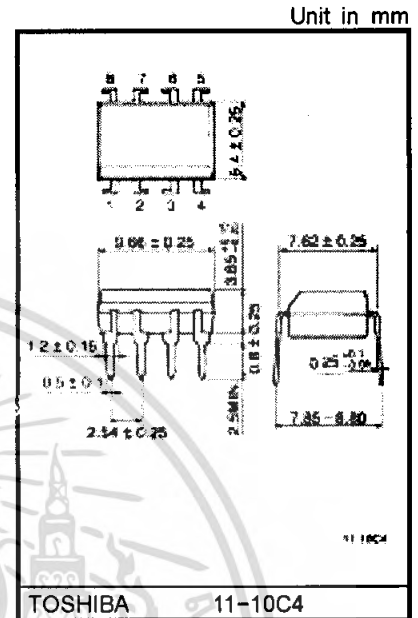
**(Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)"**

- Creepage distance:  $6.4\text{mm}(\text{min.})$
- Clearance:  $6.4\text{mm}(\text{min.})$

## Schematic



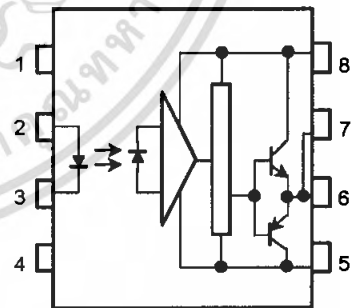
A  $0.1\mu\text{F}$  bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).



TOSHIBA 11-10C4

Weight: 0.54 g

## Pin Configuration (top view)



- 1 : N.C.
- 2 : Anode
- 3 : Cathode
- 4 : N.C.
- 5 : GND
- 6 :  $V_O$  (Output)
- 7 :  $V_O$
- 8 :  $V_{CC}$

## Truth Table

		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On

**Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)**

Characteristic		Symbol	Rating	Unit	
LED	Forward current	$I_F$	20	mA	
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta I_F / \Delta T_a$	-0.36	mA / °C	
	Peak transient forward current (Note 1)	$I_{FPT}$	1	A	
	Reverse voltage	$V_R$	5	V	
	Junction temperature	$T_j$	125	°C	
Detector	"H" peak output current ( $P_W \leq 2.5\mu s, f \leq 15kHz$ ) (Note 2)	$I_{OPH}$	-1.5	A	
	"L" peak output current ( $P_W \leq 2.5\mu s, f \leq 15kHz$ ) (Note 2)	$I_{OPL}$	+1.5	A	
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	$V_O$	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	$V_{CC}$	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_O / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Junction temperature	$T_j$	125	°C	
Operating frequency (Note 3)	$f$	25	kHz		
Operating temperature range	$T_{opr}$	-20~85	°C		
Storage temperature range	$T_{stg}$	-55~125	°C		
Lead soldering temperature (10 s) (Note 4)	$T_{sol}$	260	°C		
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H. ≤ 60%) (Note 5)	$BV_S$	2500	Vrms		

Note 1: Pulse width  $P_W \leq 1\mu s$ , 300pps

Note 2: Exponential waveform

Note 3: Exponential waveform,  $I_{OPH} \leq -1.0A (\leq 2.5\mu s)$ ,  $I_{OPL} \leq +1.0A (\leq 2.5\mu s)$

Note 4: It is 2 mm or more from a lead root.

Note 5: Device considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

Note 6: A ceramic capacitor(0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

**Recommended Operating Conditions**

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Input current, on (Note 7)	$I_{F(ON)}$	7	8	10	mA	
Input voltage, off	$V_{F(OFF)}$	0	—	0.8	V	
Supply voltage	$V_{CC}$	15	—	30	V	
				20		
Peak output current	$I_{OPH}/I_{OPL}$	—	—	±0.5	A	
Operating temperature	$T_{opr}$	-20	25	70	85	°C

Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs.

**Electrical Characteristics (Ta = -20~70°C, unless otherwise specified)**

Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Input forward voltage		V <sub>F</sub>	—	I <sub>F</sub> = 10 mA, Ta = 25°C		1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		ΔV <sub>F</sub> / ΔTa	—	I <sub>F</sub> = 10 mA	—	-2.0	—	mV / °C
Input reverse current		I <sub>R</sub>	—	V <sub>R</sub> = 5V, Ta = 25°C		—	10	μA
Input capacitance		C <sub>T</sub>	—	V = 0, f = 1MHz, Ta = 25°C	—	45	250	pF
Output current	"H" level	I <sub>OPH</sub>	3	V <sub>CC</sub> = 30V (*1) I <sub>F</sub> = 10 mA V <sub>8-6</sub> = 4V	-0.5	-1.5	—	A
	"L" level	I <sub>OPL</sub>	2		I <sub>F</sub> = 0 V <sub>6-5</sub> = 2.5V	0.5	2	
Output voltage	"H" level	V <sub>OH</sub>	4	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, I <sub>F</sub> = 5mA	11	12.8	—	V
	"L" level	V <sub>OL</sub>	5	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>F</sub> = 0.8V	—	-14.2	-12.5	
Supply current	"H" level	I <sub>CCH</sub>	—	V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 10mA Ta = 25°C	—	7	—	mA
				V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 10mA	—	—	11	
	"L" level	I <sub>CCL</sub>	—	V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 0mA Ta = 25°C	—	7.5	—	
				V <sub>CC</sub> = 30V, I <sub>F</sub> = 0mA	—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	I <sub>FLH</sub>	—	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>O</sub> > 0V	—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	I <sub>FHL</sub>	—	V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω, V <sub>O</sub> < 0V	0.8	—	—	V
Supply voltage		V <sub>CC</sub>	—		10	—	35	V
Capacitance (input-output)		C <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> = 0, f = 1MHz Ta = 25°C	—	1.0	2.0	pF
Resistance(input-output)		R <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> = 500V, Ta = 25°C R.H. ≤ 60%	1×10 <sup>12</sup>	10 <sup>14</sup>	—	Ω

\* All typical values are at Ta = 25°C (\*1): Duration of I<sub>O</sub> time ≤ 50μs

**Switching Characteristics (Ta = -20~70°C , unless otherwise specified)**

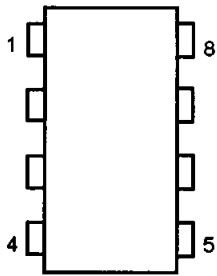
Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Propagation delay time	L→H	t <sub>pLH</sub>	6	I <sub>F</sub> = 8mA (Note 7) V <sub>CC1</sub> = +15V, V <sub>EE1</sub> = -15V R <sub>L</sub> = 200Ω	—	0.15	0.5	μs
	H→L	t <sub>pHL</sub>			—	0.15	0.5	
Output rise time		t <sub>r</sub>			—	—	—	
Output fall time		t <sub>f</sub>			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output		C <sub>MH</sub>	7	V <sub>CM</sub> = 600V, I <sub>F</sub> = 8mA V <sub>CC</sub> = 30V, Ta = 25°C	-5000	—	—	V / μs
Common mode transient immunity at low level output		C <sub>ML</sub>	7	V <sub>CM</sub> = 600V, I <sub>F</sub> = 0mA V <sub>CC</sub> = 30V, Ta = 25°C	5000	—	—	V / μs

\* All typical values are at Ta = 25°C

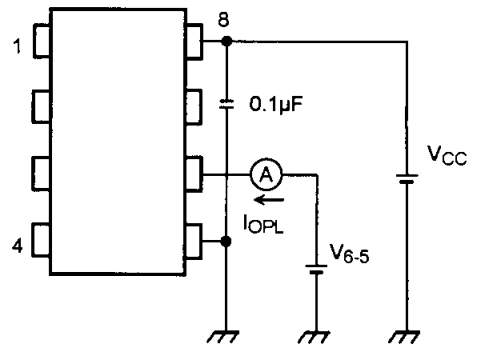
Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs.



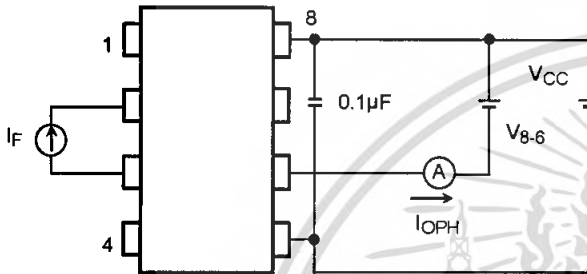
Test Circuit 1 :



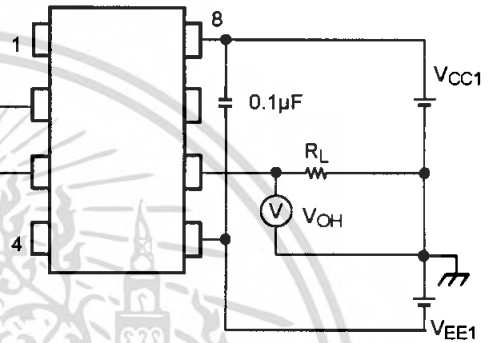
Test Circuit 2 : IOPL



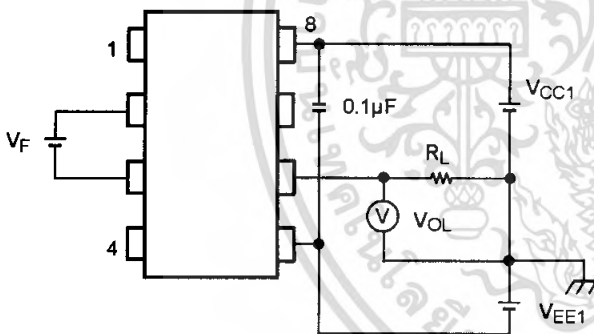
Test Circuit 3 : IOPH



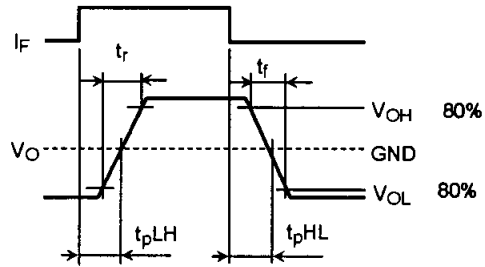
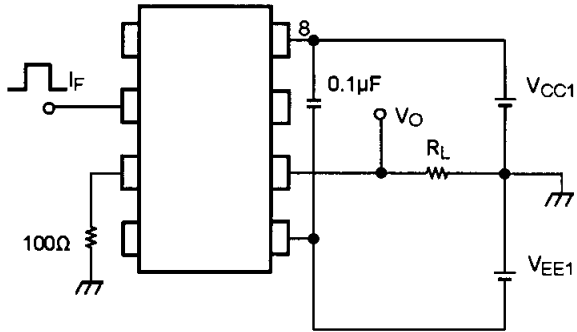
Test Circuit 4 : VOH



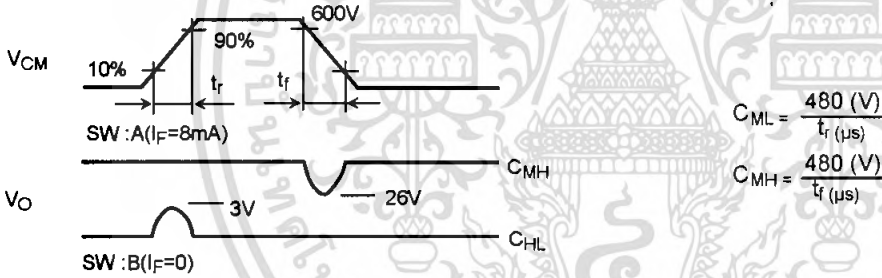
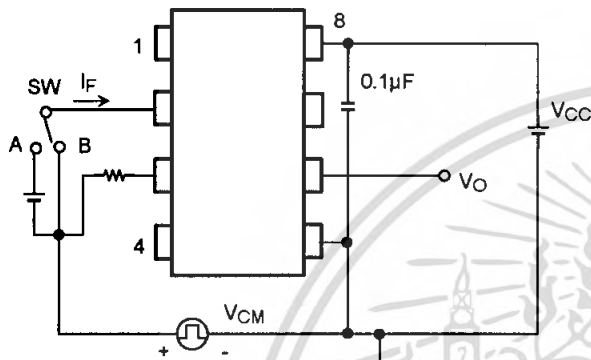
Test Circuit 5 : VOL



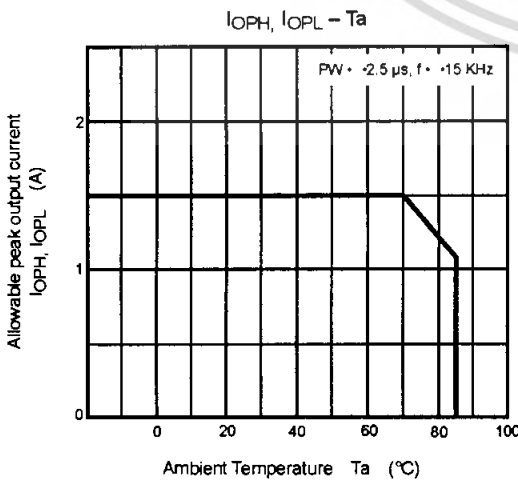
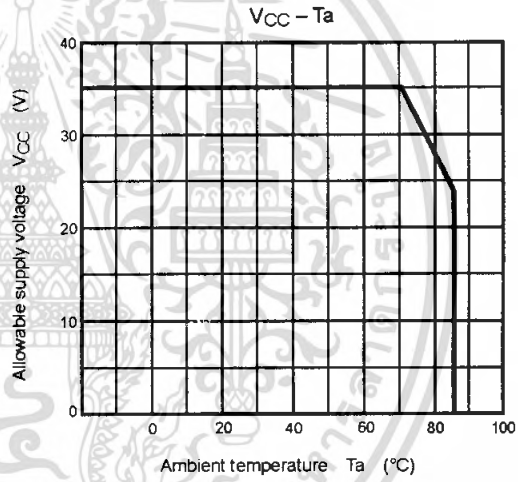
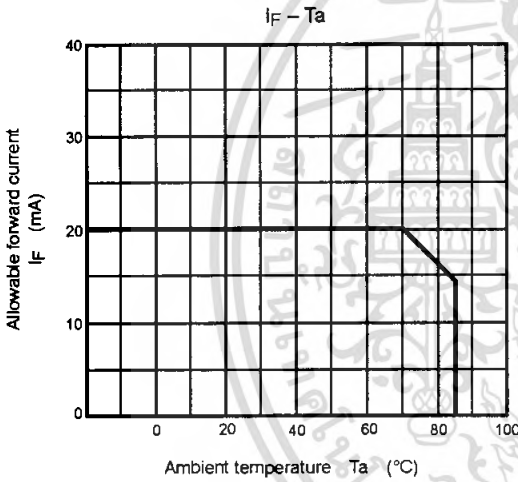
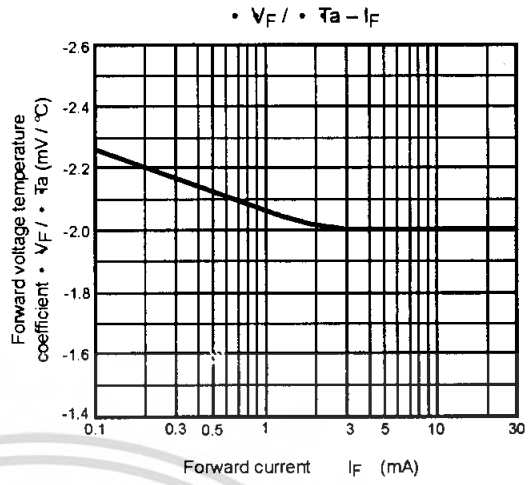
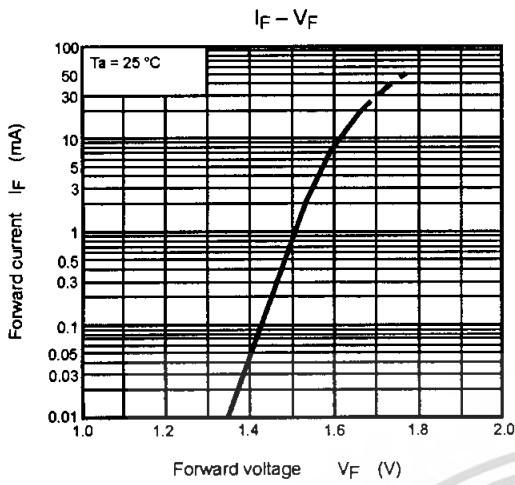
Test Circuit 6:  $t_{pLH}$ ,  $t_{pHL}$ ,  $t_r$ ,  $t_f$



Test Circuit 7:  $C_{MH}$ ,  $C_{ML}$



$C_{ML}(C_{MH})$  is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.



## RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

- The information contained herein is subject to change without notice.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA for any infringements of patents or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of TOSHIBA or others.
- TOSHIBA is continually working to improve the quality and reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to comply with the standards of safety in making a safe design for the entire system, and to avoid situations in which a malfunction or failure of such TOSHIBA products could cause loss of human life, bodily injury or damage to property.  
In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent TOSHIBA products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the "Handling Guide for Semiconductor Devices," or "TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook" etc..
- The TOSHIBA products listed in this document are intended for usage in general electronics applications (computer, personal equipment, office equipment, measuring equipment, industrial robotics, domestic appliances, etc.). These TOSHIBA products are neither intended nor warranted for usage in equipment that requires extraordinarily high quality and/or reliability or a malfunction or failure of which may cause loss of human life or bodily injury ("Unintended Usage"). Unintended Usage include atomic energy control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, combustion control instruments, medical instruments, all types of safety devices, etc.. Unintended Usage of TOSHIBA products listed in this document shall be made at the customer's own risk.
- The products described in this document are subject to the foreign exchange and foreign trade laws.
- TOSHIBA products should not be embedded to the downstream products which are prohibited to be produced and sold, under any law and regulations.
- GaAs(Gallium Arsenide) is used in this product. The dust or vapor is harmful to the human body. Do not break, cut, crush or dissolve chemically.

## ประวัติผู้เขียน



นาย ปราโมทย์ จารุวัฒน์ชัย เกิดวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2528 ที่จังหวัด นครปฐม เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ในปี พ.ศ. 2547 มีความสนใจและความถนัดในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าแขนงไฟฟ้ากำลัง ฝึกงานที่บริษัท เอบีบี จำกัด จำกัด ระหว่างวันที่ 2 เมษายน – 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2550



นาย ปัญญา ลีลาวัศม์ เกิดวันที่ 7 มิถุนายน พ.ศ. 2529 ที่จังหวัด กรุงเทพฯ เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2547 มีความสนใจและความถนัดในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าแขนงไฟฟ้ากำลัง ฝึกงานที่บริษัท จีเอ็มเอ็ม แกรมมี่ จำกัด ระหว่างวันที่ 2 เมษายน – 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2550



นาย ศิวาวุธ จิตเจริญ เกิดวันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดกาญจนบุรี เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ในปี พ.ศ. 2547 มีความสนใจและความถนัดในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าแขนงไฟฟ้ากำลัง ฝึกงานที่บริษัท เอบีบี จำกัด จำกัด ระหว่างวันที่ 2 เมษายน – 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2550



นาย อติชาติ สามงามน้อย เกิดวันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2528ที่จังหวัดนครปฐม เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ในปี พ.ศ. 2547 มีความสนใจและความถนัดในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าแขนงไฟฟ้ากำลัง ฝึกงานที่บริษัท CR Engineering and Technology จำกัด ระหว่างวันที่ 2 เมษายน – 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้