

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เตาหุงต้มอาหารโดยการเหนี่ยวนำ 2 หัว

TWO - OUTPUT INDUCTION COOKER



โดย

นาย อนุพงศ์ ศรีวรรณทกุล

นางสาว อารีวรรณ ขจรเดช

นาย เอกวิทย์ ชัยวัฒนลิขิต

นาย โอชาติ สุวรรณชาติ

เลขหมู่.....73002.....
เลขทะเบียน.....27 ส.ย. 2550.....
วัน,เดือน,ปี.....

b. 114.11.225
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาหุงต้มอาหารโดยการเหนี่ยวนำ 2 หัว
TWO - OUTPUT INDUCTION COOKER



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

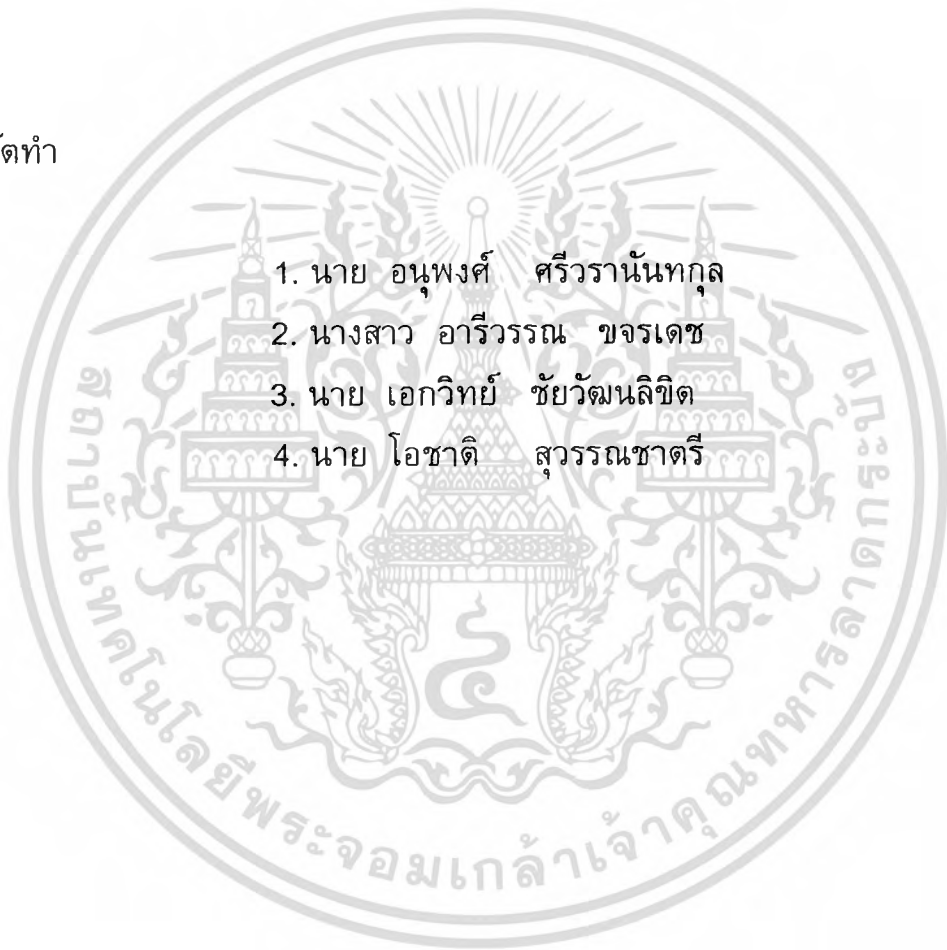
ปริญญาโทปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เตาหุงต้มอาหารโดยการเหนี่ยวนำ 2 หัว

ผู้จัดทำ



1. นาย อนุพงศ์ ศรีวรรณกุล
2. นางสาว อารีวรรณ ขจรเดช
3. นาย เอกวิทย์ ชัยวัฒนลิขิต
4. นาย โอชาติ สุวรรณชาติ

.....*อนุวัฒน์ จางวานิชเลิศ*.....อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุวัฒน์ จางวานิชเลิศ)
ใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาหุงต้มอาหารโดยการเหนี่ยวนำ 2 หัว

นายอนุพงศ์ ศรีวรรณทกุล
นางสาวอารีวรรณ ขจรเดช
นายเอกวิทย์ ชัยวัฒน์ลิขิต
นายโอชาติ สุวรรณชาติรี
ผศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

ปฏิญานินพจน์นี้ได้นำเสนอการควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยการปรับดิวตี้ไซเคิลของสวิตช์อินเวอร์เตอร์สำหรับเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงขนาด 2 เต้า โดยใช้ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ 2 ชุด ซึ่งใช้กิ่งหนึ่งของสวิตช์ร่วมกันแล้วสามารถจ่ายโหลดเตาหุงต้มเหนี่ยวนำทั้ง 2 เต้าที่ความถี่สูงซึ่งแยกอิสระจากกันทำให้แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่เป็นแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยมมีการลดเนื้อแรงดันตามการปรับดิวตี้ไซเคิลเพื่อนำไปจ่ายในวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงและหาค่าของกำลังไฟฟ้าของทั้งด้านขาออกและขาเข้าจากแหล่งจ่ายโดยการแตกองค์ประกอบของฮาร์มอนิกส์ของแรงดันและกระแส แล้วนำมาหาค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าระหว่างกำลังขาออกและกำลังขาเข้าด้านแหล่งจ่าย 50 Hz

TWO - OUTPUT INDUCTION COOKER

Anupong Sriwaranuntagun

Areewan Khajorndech

Ekkawit Chaiwattanalikit

Ochart Suwanchatree

Asst. Prof. Dr. Anuwat Jangwanitlert Advisor

2006

ABSTRACT

This project presents the power output control by adjusting duty cycle of a full bridge inverter switch in induction cooking high frequency. Using 2 full bridge inverter which is one branch of switch share that can feed both of load induction cooking and independently to each load so the output voltage of inverter are AC square which is reducing turn on voltage for feed to series resonant induction cooking high frequency. All this the voltage and current result at each part are also verified by using harmonics expansion for calculation the electrical efficiency between output inverter and source 50 Hz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการดำเนินงานจาก ผศ.ดร. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาสำหรับโครงการนี้ ทางผู้จัดทำโครงการมีความซาบซึ้งในความในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ อ. จิระศักดิ์ ส่งบุญแก้ว ผู้ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาอีกท่านหนึ่งที่ได้คอยให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆตั้งแต่เริ่มต้นทำโครงการขอบคุณพี่ธรรมฉัตร กงวิรัตน์ (พี่โหน่ง) ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทั้งทางด้านโปรแกรมและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ตลอดจนคำปรึกษาที่ดีเสมอมา ขอขอบคุณเพื่อนๆที่ทำโครงการในห้องเดียวกัน ณ ห้อง ECC 406 ที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆ ในการใช้อุปกรณ์ และคอยกำลังให้กำลังใจที่ดีเสมอมาจนโครงการนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ซึ่งคอยห่วงใยและเป็นแรงใจให้สามารถทำให้โครงการนี้สำเร็จได้สมดังความปรารถนาของทุกคน

คุณค่าและประโยชน์อันพึงได้รับจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ร่วมทำโครงการขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายอนุพงศ์ ศรีวรรณทกุล
นางสาวอารีวรรณ ขจรเดช
นายเอกวิทย์ ชัยวัฒน์ลิขิต
นายโอชาติ สุวรรณชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
สารบัญรูป.....	III
สารบัญตาราง.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย.....	3
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	4
บทที่ 2 การให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำความถี่สูง.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 หลักการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำความถี่สูง.....	5
2.3 สรุป.....	11
บทที่ 3 หลักการสร้างกระแสความถี่สูงเพื่อใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน.....	12
3.1 บทนำ.....	12
3.2 หลักการสร้างกระแสความถี่สูงเพื่อใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน.....	12
3.3 วงจรเรียงกระแส.....	13
3.3.1 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มบริดจ์ แบบไดโอดกรณีโพลิตตัวต้านทาน.....	13
3.3.1.1 แบบไม่มีตัวเก็บประจุรองความถี่.....	13
3.3.1.2 แบบมีตัวเก็บประจุรองความถี่.....	15
3.3.2 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มบริดจ์ แบบไดโอดกรณีโพลิตเดาหุงต้มเหนี่ยวนำ.....	17
3.4 วงจรอินเวอร์เตอร์.....	19
3.5 โหลดเรโซแนนท์.....	20
3.6 อินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์แบบอนุกรม.....	22
3.6.1 หลักการทำงาน.....	22
3.6.2 หลักการวิเคราะห์วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์แบบอนุกรม.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7	ซีโรโวลต์เจจสวิตชิง.....	26
3.7.1	หลักการพิจารณาความถี่สวิตชิงของวงจรอินเวอร์เตอร์.....	26
3.8	การควบคุมกำลังไฟฟ้าของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์แบบอนุกรม.....	26
3.9	สรุป.....	30
บทที่ 4	การออกแบบการทดลอง.....	32
4.1	ออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำ.....	32
4.2	วงจรกำลัง.....	33
4.2.1	วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์.....	34
4.2.1	วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์.....	35
4.3	ชุดคอนโทรล.....	36
4.3.1	ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	36
4.3.2	ซีพาทกราวด์.....	47
บทที่ 5	ผลการทดลอง.....	58
5.1	ทดสอบที่ดิวตี้ไซเคิล 45% และเปิดการทำงานสองเตา วัดสัญญาณเตา 1.....	59
5.2	ทดสอบที่ดิวตี้ไซเคิล 45% และเปิดการทำงานสองเตา วัดสัญญาณเตา 2.....	62
5.3	ทดสอบที่ดิวตี้ไซเคิล 45% และเปิดการทำงานเตาเดียว (เตา 1).....	66
5.4	ทดสอบที่ดิวตี้ไซเคิล 45% และเปิดการทำงานเตาเดียว (เตา 2).....	70
5.5	ทดสอบที่ดิวตี้ไซเคิล 16% และเปิดการทำงานสองเตา วัดสัญญาณเตา 1.....	74
5.6	ทดสอบที่ดิวตี้ไซเคิล 16% และเปิดการทำงานสองเตา วัดสัญญาณเตา 2.....	77
5.7	ทดสอบที่ดิวตี้ไซเคิล 16% และเปิดการทำงานเตาเดียว (เตา 1).....	81
5.8	ทดสอบที่ดิวตี้ไซเคิล 16% และเปิดการทำงานเตาเดียว (เตา 2).....	85
บทที่ 6	สรุปและบทวิจารณ์.....	94
6.1	สรุปผล.....	94
6.2	ปัญหาที่พบและแนวทางการพัฒนา.....	95
	เอกสารอ้างอิง.....	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก97

กิตติกรรมประกาศ..... 102



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	เตาหุงต้มแบบขดลวดให้ความร้อน 2
1.2	เตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง 2
2.1	แสดงกระแสไหลวนในภาชนะหุงต้ม 5
2.2	หลักการให้ความร้อนของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง 6
2.3	วงจรเตาหุงต้มเหนี่ยวนำกับภาชนะหุงต้ม เทียบเท่าวงจรหม้อแปลง 6
2.4	วงจรเทียบเท่าของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำกับภาชนะหุงต้ม 7
2.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสกับความลึกจากผิวของ ภาชนะหุงต้ม 9
2.6	เส้นกราฟแสดงการหาค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของภาชนะหุงต้ม กรณีที่ใช้วัสดุภาชนะหุงต้มที่เป็นสาร non ferro-magnetic 10
3.1	แสดงโครงสร้างของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำแบ่งออกเป็นบล็อกไดอะแกรม 12
3.2	แสดงรูปวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มบริดจ์แบบไดโอดไม่มีตัวกรองความถี่ กรณีโหลดตัวต้านทาน 13
3.3	แสดงรูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสอินพุทของวงจรเรียงกระแสไม่มีตัวกรอง ความถี่(ตัวเก็บประจุ) กรณีโหลดตัวต้านทาน 14
3.4	แสดงรูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสเอาต์พุทของวงจรเรียงกระแส ไม่มีตัวกรองความถี่(ตัวเก็บประจุ) กรณีโหลดตัวต้านทาน 15
3.5	แสดงรูปวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มบริดจ์แบบไดโอดพร้อมตัวกรองความถี่ ด้วยตัวเก็บประจุ กรณีโหลดตัวต้านทาน 15
3.6	แสดงรูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสอินพุทของวงจรเรียงกระแส พร้อมตัวกรองความถี่ด้วยตัวเก็บประจุ กรณีโหลดตัวต้านทาน 16
3.7	แสดงรูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสเอาต์พุทของวงจรเรียงกระแส พร้อมตัวกรองความถี่ด้วยตัวเก็บประจุ กรณีโหลดตัวต้านทาน 16
3.8	แสดงรูปวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มบริดจ์แบบไดโอด ไม่มีตัวกรองความถี่(ตัวเก็บประจุ) กรณีโหลดเตาหุงต้มเหนี่ยวนำ 17
3.9	แสดงรูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสอินพุทของวงจรเรียงกระแส ไม่มีตัวกรองความถี่(ตัวเก็บประจุ) กรณีโหลดเตาหุงต้มเหนี่ยวนำ 18
3.10	แสดงรูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสเอาต์พุทของวงจรเรียงกระแส ไม่มีตัวกรองความถี่(ตัวเก็บประจุ) กรณีเตาหุงต้มเหนี่ยวนำ 18
3.11	แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์และชนิดฟูลบริดจ์ 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.12 แสดงคลื่นแรงดันและกระแสเอาท์พุทของวงจรอินเวอร์เตอร์ ชนิดฮาล์ฟบริดจ์และชนิดฟูลบริดจ์.....	19
3.13 แสดงรูปวงจอินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์แบบอนุกรม.....	22
3.14 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสเอาท์พุทของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์แบบ อนุกรม.....	23
3.15 วงจรสมมูล R-L-C.....	23
3.16 แสดงค่าบรรทัดฐานของผลตอบสนองเชิงความถี่.....	24
3.17 ค่าบรรทัดฐานของผลตอบสนองเชิงความถี่.....	26
3.18 แสดงรูปวงจอินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์แบบอนุกรมของโหลดที่ 1.....	27
3.19 แสดงรูปวงจอินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์แบบอนุกรมของโหลดที่ 2.....	27
3.20 แสดงลำดับการทำงานสวิตช์ และรูปคลื่นแรงดันเอาท์พุท กระแสเอาท์พุท ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ของแต่ละโหลด.....	29
3.21 แสดงลำดับการทำงานสวิตช์ และรูปคลื่นแรงดันเอาท์พุท กระแสเอาท์พุท ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาดสองเตา.....	30
4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรกำลัง.....	33
4.2 รูปวงจอินเวอร์เตอร์.....	35
4.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุมการสร้างสัญญาณการสวิตซ์.....	36
4.4 แสดงสัญญาณพัลส์จากไมโครคอนโทรลเลอร์.....	37
4.5 แสดงรูปวงจ Pic.....	46
4.6 แสดงรูป Separate Ground	48
4.7 รูปสัญญาณเอาท์พุทเมื่อออกจากPic.....	49
4.8 รูปสัญญาณเอาท์พุทเมื่อออกจากPicเมื่อต่ออินเวอร์เตอร์.....	50
4.9 รูปสัญญาณที่วัดระหว่างเดนมและซอส.....	50
4.10 รูปสัญญาณด้านSecondaryของหม้อแปลง.....	51
4.11 รูปสัญญาณซันมอสเฟตIRF 460 สวิตช์ 1,4,6.....	51
4.12 รูปสัญญาณซันมอสเฟต IRF460สวิตช์ 2,3,5.....	52
4.13 รูปสัญญาณเอาท์พุทของสวิตช์1และ2เปรียบเทียบกัน.....	52
4.14 รูปสัญญาณเดดไทม์กึ่ง 1.....	53
4.15 รูปสัญญาณเดดไทม์กึ่ง 2.....	54
4.16 รูปสัญญาณเดดไทม์กึ่ง 3.....	54
4.17 รูปอุปกรณ์ตัวควบคุมในทางปฏิบัติ.....	55
4.18 รูปอุปกรณ์แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1	วงจรของเครื่องเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาดสองเตา.....	58
5.2	รูปคลื่นแรงดันและกระแสอินพุทที่ 110 โวลต์.....	59
5.3	รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่อินเวอร์เตอร์ขณะแรงดัน 110 โวลต์.....	60
5.4	รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ขดลวดขณะแรงดัน110 โวลต์.....	60
5.5	สเปคตรัมแรงดันเอาท์พุท.....	61
5.6	สเปคตรัมกระแสเอาท์พุท.....	61
5.7	รูปคลื่นแรงดันและกระแสอินพุทที่ 110 โวลต์.....	62
5.8	รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่อินเวอร์เตอร์ขณะแรงดัน 110 โวลต์.....	63
5.9	รูปแรงดันและกระแสที่ขดลวดเตาสองขนะแรงดัน 110 โวลต์.....	63
5.10	สเปคตรัมแรงดันเอาท์พุท.....	64
5.11	สเปคตรัมกระแสเอาท์พุท.....	65
5.12	กราฟประสิทธิภาพที่แรงดันต่าง.....	65
5.13	รูปคลื่นแรงดันและกระแสอินพุทที่ 110 โวลต์.....	66
5.14	รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่อินเวอร์เตอร์ขณะแรงดัน 110 โวลต์.....	67
5.15	รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ขดลวดขณะแรงดัน 110 โวลต์.....	67
5.16	สเปคตรัมแรงดันเอาท์พุท.....	68
5.17	สเปคตรัมกระแสเอาท์พุท.....	68
5.18	กราฟประสิทธิภาพที่แรงดันต่างๆ.....	69
5.19	รูปคลื่นแรงดันและกระแสอินพุทที่ 110 โวลต์.....	70
5.20	รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่อินเวอร์เตอร์ขณะแรงดัน110โวลต์.....	71
5.21	รูปแรงดันและกระแสที่ขดลวดขณะแรงดัน 110 โวลต์.....	71
5.22	สเปคตรัมแรงดันเอาท์พุท.....	72
5.23	สเปคตรัมกระแสเอาท์พุท.....	72
5.24	กราฟประสิทธิภาพที่แรงดันต่างๆ.....	73
5.25	รูปคลื่นแรงดันและกระแสอินพุทที่ 110 โวลต์.....	74
5.26	รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่อินเวอร์เตอร์ขณะแรงดัน110 โวลต์.....	75
5.27	รูปแรงดันและกระแสที่ขดลวดขณะแรงดัน 110 โวลต์.....	75
5.28	สเปคตรัมแรงดันเอาท์พุท.....	76
5.29	สเปคตรัมกระแสเอาท์พุท.....	76
5.30	รูปคลื่นแรงดันและกระแสอินพุทที่ 110 โวลต์.....	77
5.31	รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่อินเวอร์เตอร์ขณะแรงดัน 110 โวลต์.....	78
5.32	รูปแรงดันและกระแสที่ขดลวดเตาสองแรงดัน 110 โวลต์.....	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.33	สเปคตรัมแรงดันเอาท์พุท.....	79
5.34	สเปคตรัมกระแสเอาท์พุท.....	79
5.35	กราฟประสิทธิภาพที่แรงดันต่างๆ.....	80
5.36	รูปคลื่นแรงดันและกระแสอินพุทที่ 110 โวลต์.....	81
5.37	รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่อินเวอร์เตอร์ขณะแรงดัน110โวลต์.....	82
5.38	รูปแรงดันและกระแสที่ขดลวดขณะแรงดัน 110 โวลต์.....	82
5.39	สเปคตรัมแรงดันเอาท์พุท.....	83
5.40	สเปคตรัมกระแสเอาท์พุท.....	83
5.41	กราฟประสิทธิภาพที่แรงดันต่างๆ.....	84
5.42	รูปคลื่นแรงดันและกระแสอินพุทที่ 110 โวลต์.....	85
5.43	รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่อินเวอร์เตอร์ขณะแรงดัน110โวลต์.....	86
5.44	รูปแรงดันและกระแสที่ขดลวดขณะแรงดัน 110 โวลต์.....	86
5.45	สเปคตรัมแรงดันเอาท์พุท.....	87
5.46	สเปคตรัมกระแสเอาท์พุท.....	87
5.47	กราฟประสิทธิภาพที่แรงดันต่างๆ.....	88
5.48	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กับอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น.....	91
5.49	รูปวงจรเรกติฟาย	91
5.50	รูปวงจรอินเวอร์เตอร์.....	92
5.51	รูปขดลวด.....	92
5.52	รูปรวมของโครงการทั้งหมด.....	93

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้เป็นภาชนะหุ้มดัมที่ความถี่ 30 kHz	10
3.1 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างและรายละเอียดของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม และแบบขนาน	21
4.1 ค่า skin depth และ ค่า surface resistivity ที่ค่าความถี่ต่างๆ	32
5.1 ตารางแสดงค่าประสิทธิภาพของเตาเหนี่ยวนำสองเตา	65
5.2 ตารางแสดงค่าประสิทธิภาพของเตาเหนี่ยวนำสองเตาขณะเตา 1 ทำงาน	69
5.3 ตารางแสดงค่าประสิทธิภาพของเตาเหนี่ยวนำสองเตาขณะเตา 2 ทำงาน	73
5.4 ตารางแสดงค่าประสิทธิภาพของเตาเหนี่ยวนำสองเตา	80
5.5 ตารางแสดงค่าประสิทธิภาพของเตาเหนี่ยวนำ	84
5.6 ตารางแสดงค่าประสิทธิภาพของเตาเหนี่ยวนำสองเตาขณะเตา 1 ทำงาน	88
5.7 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของเตา 1	90
5.8 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของเตา 2	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำ เป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้เกิดความร้อนในตัวชิ้นงานที่เป็นโลหะโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นหลักการที่พบในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มอเตอร์ และหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งจะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในวงจรทางขดลวดปฐมภูมิ และจะก่อให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นทางด้านขดลวดทุติยภูมิถ้าขดลวดทุติยภูมิเป็นวงจรปิด กระแสเหนี่ยวนำจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ กระแสที่เกิดการเหนี่ยวนำนี้จะก่อให้เกิดความสูญเสียในรูปความร้อน ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการในเครื่องจักรกลไฟฟ้า แต่กระแสเหนี่ยวนำที่ก่อให้เกิดความร้อนนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น การให้ความร้อนแก่ภาชนะหุงต้มเพื่อการประกอบอาหาร กระแสเหนี่ยวนำดังกล่าวจะทำให้เกิดความร้อนที่ภาชนะหุงต้ม โดยไม่มีการสัมผัสกันทางไฟฟ้าระหว่างขดลวดเหนี่ยวนำกับภาชนะหุงต้มทำให้ปลอดภัยต่อการใช้งาน เตาหุงต้มเหนี่ยวนำนี้จะมีประสิทธิภาพสูงหุงต้มเดือดในเวลาอันรวดเร็วเนื่องจากความร้อนจะเกิดขึ้นโดยตรงที่ภาชนะหุงต้ม

วงจรของเตาหุงต้มอาหารโดยการเหนี่ยวนำประกอบด้วยวงจรเรียงกระแส วงจรกรองแรงดัน วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่ใช้มอสเฟตสวิตซ์ซึ่งที่ความถี่สูงส่งผ่านพลังงานไปยังขดลวดเหนี่ยวนำและภาชนะหุงต้ม และวงจรควบคุมการทำงานของมอสเฟตเป็นแบบพัลส์วิดมอดูเลชัน

และได้มีการพัฒนาวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์เป็นแบบสวิตซ์สามกึ่ง โดยการอาศัยการให้สัญญาณการทำงานของสวิตซ์กึ่งหนึ่งร่วมกัน ส่วนในการควบคุมการปรับขนาดกำลังไฟฟ้าของ แต่ละเตาให้ได้ตามที่ต้องการ จะอาศัยการให้สัญญาณการทำงานของสวิตซ์อีกสองกึ่งที่เหลือซึ่งสามารถปรับขนาดกำลังไฟฟ้าได้อิสระต่อกัน

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจ หลักการทำงานของการทำงานให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำความถี่สูง รวมถึงหลักการสร้างกระแสความถี่สูงเพื่อใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน

1.2.2 สามารถออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำได้

1.2.3 สามารถจำลองการทำงานของวงจรที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆในวงจรได้

1.2.4 สามารถออกแบบวงจรเรียงกระแส วงจรอินเวอร์เตอร์ และวงจรสร้าง

สัญญาณพัลส์ที่ใช้ขับมอสเฟตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.5 สามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

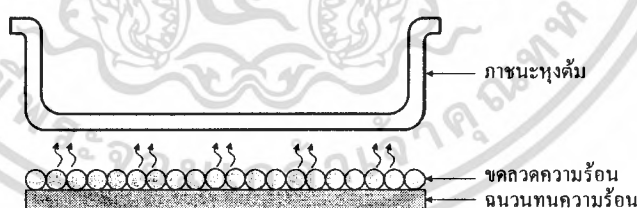
1.2.6 สามารถสร้างเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาด 2 เตา ที่สามารถปรับกำลังไฟฟ้าได้อิสระต่อกันตามขนาดกำลังไฟฟ้าที่ต้องการได้

1.3 แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

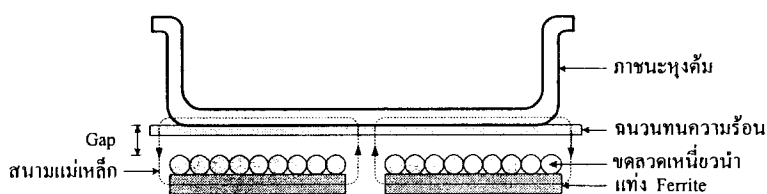
โดยทั่วไปแล้วเตาหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือนจะเป็นชนิดลวดให้ความร้อน ซึ่งมีหลักการทำงานดังรูปที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าความร้อนที่เกิดขึ้นที่ภาชนะหุงต้มจะเกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากขดลวดความร้อนผ่านชั้นอากาศไปยังภาชนะหุงต้ม ความร้อนที่เกิดขึ้นที่ภาชนะหุงต้มในลักษณะนี้จะเป็นการให้ความร้อนโดยวิธีอ้อมซึ่งจะทำให้การหุงต้มเดือดช้า และเมื่อใช้งานเสร็จสิ้นแล้วขดลวดความร้อนจะมีช่วงเวลานานกว่าจะเย็นลง ซึ่งระหว่างนั้นอาจจะเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ได้

สำหรับเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงจะมีหลักการทำงานดังรูปที่ 1.2 จะเห็นว่าความร้อนที่เกิดขึ้นที่ภาชนะหุงต้มเกิดจากสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำกับภาชนะหุงต้มทำให้เกิดความร้อนโดยตรงที่บริเวณภาชนะหุงต้มเป็นผลทำให้หุงต้มเดือดในเวลารวดเร็ว และเมื่อใช้งานเสร็จสิ้นแล้วเตาหุงต้มเหนี่ยวนำนี้จะไม่ร้อนทำให้ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้

จากเตาหุงต้มอาหารโดยการเหนี่ยวนำ ที่มีความปลอดภัยและประสิทธิภาพสูงแล้วยังไม่เพียงพอสำหรับการนำไปใช้ในครัวเรือน เนื่องจากในการหุงต้มอาหารมีความจำเป็นที่ต้องใช้เตาหุงต้มเพื่อประกอบอาหารหลายอย่างในเวลาเดียวกัน จึงได้มีการพัฒนาเตาหุงต้มอาหารโดยการเหนี่ยวนำขนาด 2 เตาขึ้น ทั้งนี้เพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนในการผลิต ลดพื้นที่ใช้สอย และที่สำคัญสามารถปรับขนาดกำลังไฟฟ้าของเตาหุงต้มทั้งสองได้อย่างอิสระต่อกัน



รูปที่ 1.1 เตาหุงต้มแบบขดลวดให้ความร้อน



รูปที่ 1.2 เตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

เตาหุงต้มอาหารโดยการเหนี่ยวนำขนาด 2 เต่า ใช้วงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่ความถี่ 50 KHz ให้กำลังไฟฟ้าเตาละ 500 วัตต์ อาศัยหลักการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำโดยมีกระแสไหลวนเกิดขึ้นที่ภาชนะหุงต้มที่เป็นสแตนเลสสตีลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร เตาหุงต้มอาหารยังสามารถปรับกำลังไฟฟ้าของแต่ละเตาได้อิสระต่อกันตามที่ต้องการ ด้วยการควบคุมของไมโครคอนโทรลเลอร์

วงจรของเตาหุงต้มอาหารโดยการเหนี่ยวนำ ประกอบด้วย วงจรเรียงกระแส วงจรกรองแรงดัน วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่ใช้มอสเฟตสวิตชิงที่ความถี่สูงส่งผ่านพลังงานไปยังขดลวดเหนี่ยวนำกับภาชนะหุงต้มและวงจรควบคุมการทำงานของมอสเฟตเป็นแบบพัลส์วิดมอดดูเลชัน

วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้เป็นแบบฟูลบริดจ์เฟสเดียว จะประกอบไปด้วยสวิตซ์สามกึ่ง โดยการอาศัยการให้สัญญาณการทำงานของสวิตซ์กึ่งหนึ่งร่วมกัน ส่วนในการควบคุมการปรับขนาดกำลังไฟฟ้าของแต่ละเตาให้ได้ตามที่ต้องการ จะอาศัยการให้สัญญาณการทำงานของสวิตซ์อีกสองกึ่งที่เหลือ ซึ่งสามารถปรับขนาดกำลังไฟฟ้าได้อิสระต่อกัน

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาหลักการพื้นฐานของการเกิดความร้อน โดยอาศัยการเหนี่ยวนำให้ความถี่สูง รวมถึงหลักการสร้างกระแสความถี่สูงเพื่อใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน

1.5.2 ออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำ และทำการพันขดลวดให้ได้ตามที่ต้องการ

1.5.3 ทำการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดเหนี่ยวนำและภาชนะหุงต้ม เพื่อที่จะนำค่าไปจำลองการทำงานของวงจรเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาด 2 เต่าด้วยโปรแกรม PSIM

1.5.4 วิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆในวงจร

1.5.5 จำลองการทำงานของวงจรเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาด 1 เต่า โดยอาศัยหลักการทำงานด้วยวิธีเดียวกันกับการวิจัย

1.5.6 ออกแบบและสร้างส่วนประกอบของวงจรเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาด 2 เต่า ซึ่งประกอบด้วยวงจรเรียงกระแส วงจรกรองแรงดัน วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ จ่ายให้กับขดลวดเหนี่ยวนำและภาชนะหุงต้ม 2 ชุด ยังรวมถึงชุดสร้างสัญญาณพัลส์วิดมอดดูเลชันที่ใช้ขับสวิตซ์มอสเฟตและชุดควบคุมการทำงานของมอสเฟตด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

1.5.7 สร้างเครื่องต้นแบบเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาด 2 เต่า ที่สามารถปรับกำลังไฟฟ้าของแต่ละเตาได้อิสระต่อกัน

1.5.8 รวบรวมข้อมูลจัดพิมพ์ปริญญาานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

สามารถสร้างเครื่องต้นแบบเตาหุงต้มอาหารโดยการเหนี่ยวนำขนาด 2 เตา โดยใช้ วงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่ความถี่ 50 kHz ที่สามารถให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเตาละ 500 วัตต์ และสามารถปรับขนาดกำลังไฟฟ้าของแต่ละเตาได้อิสระต่อกันตามที่ต้องการ ด้วยการควบคุมของไมโครคอนโทรลเลอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

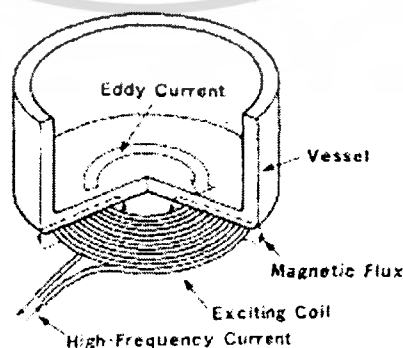
การให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำความถี่สูง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำความถี่สูง โดยจะพิจารณาวงจรเทียบเท่าของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำกับภาชนะหุงต้มในลักษณะของหม้อแปลง เพื่อสามารถวิเคราะห์ได้ง่ายขึ้น สำหรับภาชนะหุงต้มที่ใช้วัสดุต่างชนิดกันก็จะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการเลือกวัสดุที่ใช้เป็นภาชนะหุงต้มจึงมีความสำคัญในการพิจารณา และยังรวมไปถึงการออกแบบลักษณะการพันขดลวดเหนี่ยวนำ เพื่อให้มีความเหมาะสมกับภาชนะหุงต้มที่เลือกใช้ต่อไป

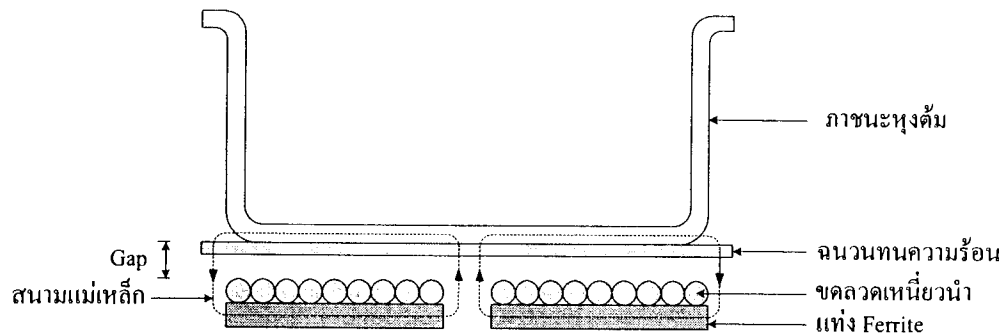
2.2 หลักการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำความถี่สูง

การให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำความถี่สูง เป็นการทำให้ความร้อนเกิดขึ้นที่ภาชนะโดยตรง โดยอาศัยกระแสไหลวนในภาชนะหุงต้มทำให้หุงต้มเดือดในเวลาอันรวดเร็ว โดยมีหลักการพิจารณาเหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อหาค่าอินดักแตนซ์เทียบเท่าและค่าความต้านทานเทียบเท่าของวงจรเทียบเท่าของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำกับภาชนะหุงต้ม ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้เป็นภาชนะหุงต้มในแต่ละชนิด เป็นก้อนกระแสสลับความถี่สูงให้กับขดลวดเหนี่ยวนำที่อยู่ใต้ภาชนะหุงต้ม กระแสที่ไหลในขดลวดเหนี่ยวนำจะสร้างสนามแม่เหล็กเกี่ยวคล้อง (magnetic flux) กับภาชนะหุงต้ม ถ้าภาชนะหุงต้มเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติเป็นสาร Ferro-magnetic สนามแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องกับภาชนะจะทำให้เกิดกระแสไหลวน (Eddy current) ในภาชนะหุงต้มเป็นเส้นทางปิด ทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนเป็นผลให้เกิดความร้อนขึ้นที่ภาชนะหุงต้ม และจะถ่ายเทไปยังน้ำที่อยู่ในภาชนะทำให้น้ำเดือดในที่สุด กล่าวคือกระแสไหลวนดังกล่าวจะทำให้เกิดความร้อนที่ภาชนะหุงต้ม โดยไม่มีการสัมผัสกันทางไฟฟ้าระหว่างขดลวดเหนี่ยวนำกับภาชนะหุงต้ม ทำให้ปลอดภัยต่อการใช้งานและเตาหุงต้มเหนี่ยวนำนี้จะมีประสิทธิภาพในการหุงต้มสูง เนื่องจากความร้อนจะเกิดขึ้นที่ตัวภาชนะโดยตรง

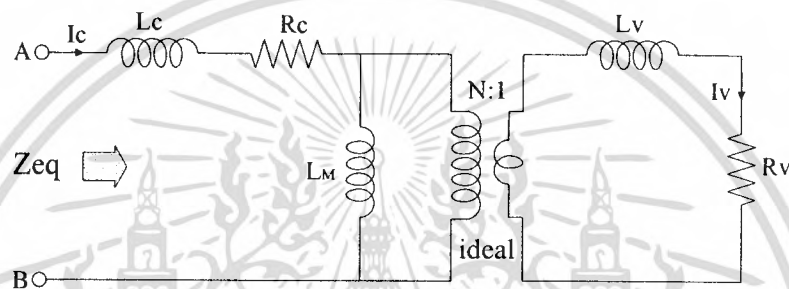


รูปที่ 2.1 แสดงกระแสไหลวนในภาชนะหุงต้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 หลักการให้ความร้อนของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง

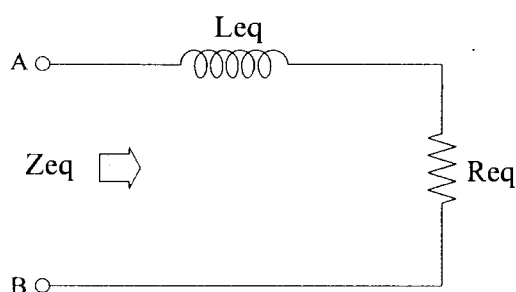


รูปที่ 2.3 วงจรเตาหุงต้มเหนี่ยวนำกับภาชนะหุงต้ม เทียบเท่าวงจรหม้อแปลง

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของขดลวดเหนี่ยวนำและภาชนะหุงต้มจะมีเส้นแรงแม่เหล็กคล้องผ่านซึ่งกันและกันซึ่งมีลักษณะคล้ายกับหม้อแปลง โดยสามารถเขียนเป็นวงจรเทียบเท่าหม้อแปลงได้ดังรูปที่ 2.3

จากวงจรเตาหุงต้มเหนี่ยวนำกับภาชนะหุงต้มเทียบเท่าวงจรหม้อแปลง โดยมีภาชนะหุงต้มทำหน้าที่เป็นขดลวดทุติยภูมิที่มีจำนวนขดลวดเพียง 1 รอบ โดยมี leakage inductance ของภาชนะหุงต้ม L_v และความต้านทานของภาชนะหุงต้ม 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} ดังนั้นวงจรของขดลวดเหนี่ยวนำและภาชนะหุงต้มจะสามารถเขียนแทนด้วยวงจรเทียบเท่าได้ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งจะประกอบไปด้วยอินดักแตนซ์เทียบเท่า L_{eq} และความต้านทานเทียบเท่า R_{eq}



รูปที่ 2.4 วงจรเทียบเท่าของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำกับภาชนะหุงต้ม

โดยค่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถหาได้ดังสมการต่อไปนี้

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

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

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

โดยที่ N คือจำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำหรือขดลวดปฐมภูมิ
 R_c คือค่าความต้านทานของขดลวดเหนี่ยวนำหรือขดลวดปฐมภูมิ
 R_v คือค่าความต้านทานของภาชนะหุงต้มหรือขดลวดทุติยภูมิ
 R_{vp} คือค่าความต้านทานเทียบเท่าของภาชนะหุงต้มทางด้านปฐมภูมิ
 R_{eq} คือค่าความต้านทานเทียบเท่าของวงจรเตาหุงต้มเหนี่ยวนำกับภาชนะหุงต้ม

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

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

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

โดยที่ L_c คือค่า leakage inductance ของขดลวดเหนี่ยวนำหรือทางด้านปฐมภูมิ
 L_v คือค่า leakage inductance ของภาชนะหุงต้มหรือทางด้านทุติยภูมิ
 L_{vp} คือค่า leakage inductance เทียบเท่า ของภาชนะหุงต้มทางด้านปฐมภูมิ
 L_{eq} คือค่าอินดักแตนซ์เทียบเท่าของวงจรเตาหุงต้มเหนี่ยวนำกับภาชนะหุงต้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

โดยที่ P_c คือกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดเหนี่ยวนำหรือทางด้านปฐมภูมิ
 P_v คือกำลังไฟฟ้าสูญเสียในภาชนะหุ้มฉนวนหรือทางด้านทุติยภูมิ
 I_c คือกระแสในขดลวดเหนี่ยวนำหรือทางด้านปฐมภูมิ
 I_v คือกระแสในภาชนะหุ้มฉนวนหรือทางด้านทุติยภูมิ

ดังนั้น จะสามารถคำนวณหาประสิทธิภาพได้ดังสมการ

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

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

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

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

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

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

ความร้อนเหนี่ยวนำจะเกิดขึ้นโดยกระแสไหลวนที่ไหลในภาชนะหุ้มฉนวน ที่บริเวณผิว
 ชั้นนอกของภาชนะหุ้มฉนวนที่ความลึกเท่ากับ δ ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

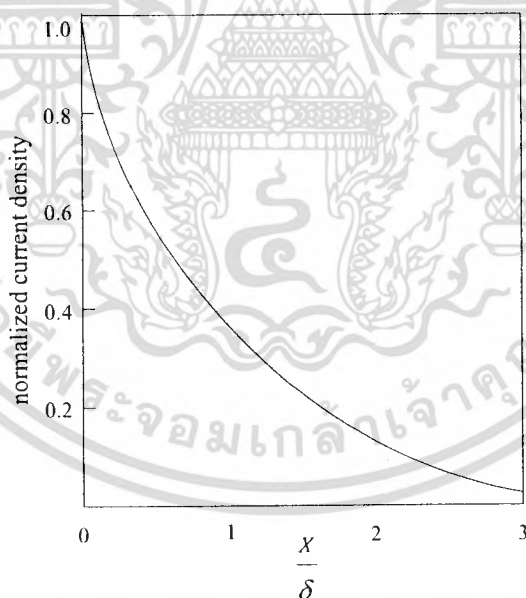
$$\delta = \sqrt{\frac{1}{4\pi^2 \times 10^{-7}} \cdot \frac{\rho}{\mu_r f}} \quad (2.17)$$

- โดยที่ δ คือความลึกผิวชั้นนอกของกันภาชนะหุ้มต้ม (Skin depth)
 ρ คือสภาพความต้านทานทางไฟฟ้าของภาชนะหุ้มต้ม (Ohm-m)
 μ_r คือความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ของภาชนะหุ้มต้ม
 f คือความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อน (Hz)

ดังนั้น ค่าความต้านทานของภาชนะหุ้มต้มในย่านความถี่สูง 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) จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานของภาชนะหุ้มต้ม R_v จะแปรผันโดยตรงกับสภาพความต้านทานทางไฟฟ้าของภาชนะหุ้มต้ม ρ , ความซึมซาบแม่เหล็ก μ_r และความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับ f ที่ป้อนจากอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสกับความลึกจากผิวของภาชนะหุ้มต้ม

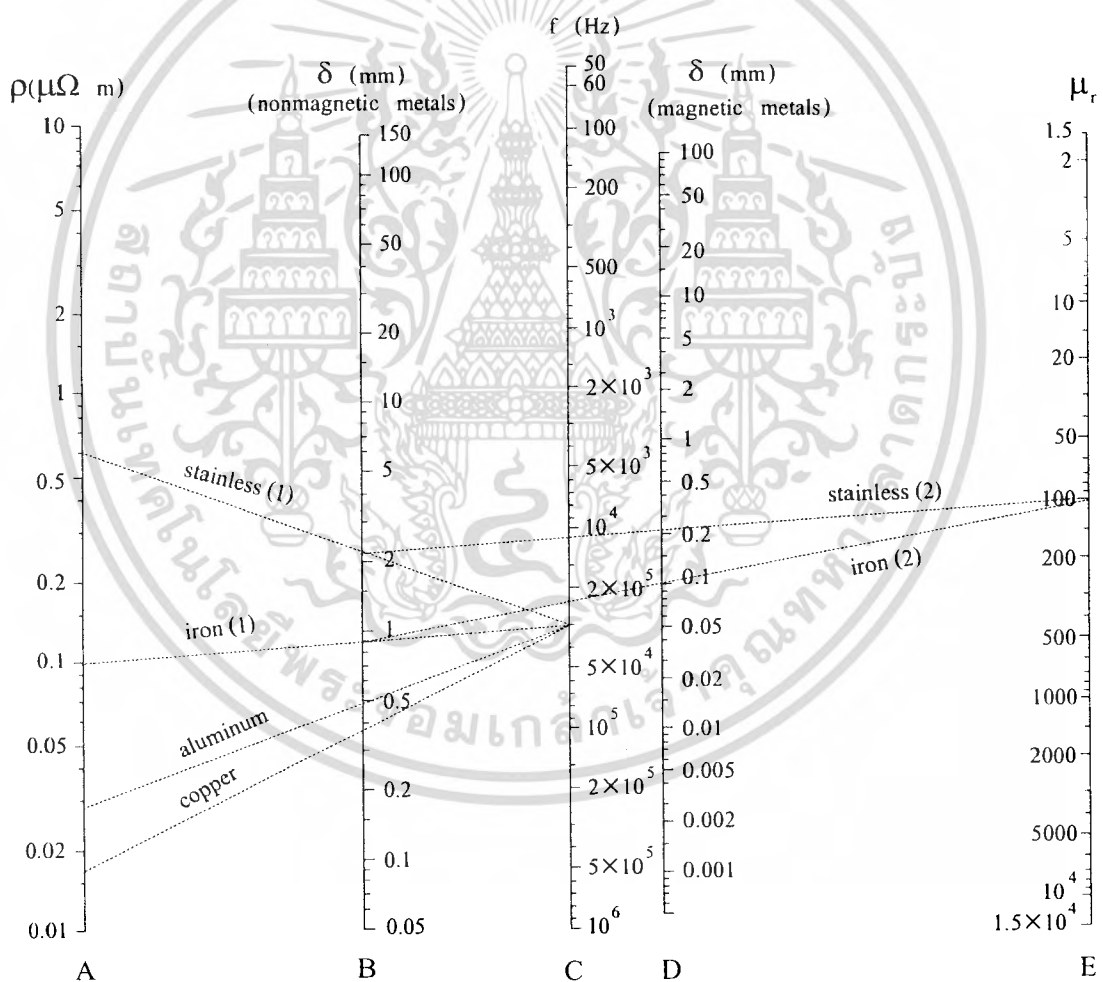
จากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่ากระแสจะมีความหนาแน่นสูงสุดที่ผิวด้านนอกของภาชนะและความหนาแน่นกระแสจะลดลงเมื่อระยะความลึกจากผิวของภาชนะมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้เป็นภาชนะหุงต้มที่ความถี่ 30 kHz

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

จากตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของภาชนะหุงต้ม จะเห็นได้ว่าภาชนะหุงต้มที่เป็นสาร Non Ferro-magnetic เช่น อลูมิเนียม ทองแดง จะมีสภาพความต้านทานทางไฟฟ้า ρ และความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ μ_r ที่ต่ำมาก เมื่อเทียบกับภาชนะหุงต้มที่เป็นสาร Ferro-magnetic เช่น เหล็ก สแตนเลส



รูปที่ 2.6 เส้นกราฟแสดงการหาค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของภาชนะหุงต้มจากตารางที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2.3 สรุป

จากหลักการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำด้วยความถี่สูงดังที่กล่าวข้างต้น สามารถสรุปได้ดังนี้

2.3.1 จากคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุต่างๆที่ใช้เป็นภาชนะหุ้มตัว จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานของภาชนะหุ้มตัว R_v และค่าความลึกผิวชั้นนอกของภาชนะหุ้มตัว δ จะขึ้นอยู่กับสภาพความต้านทานทางไฟฟ้า ρ , ความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ μ_r ของวัสดุที่ใช้เป็นภาชนะหุ้มตัว และความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับ f ที่ป้อนจากอินเวอร์เตอร์ แล้วยังมีความต้านทานของภาชนะหุ้มตัว R_v กับจำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำ N จะส่งผลต่อค่าความต้านทานเทียบเท่าของวงจรเตาหุ้มตัวเหนี่ยวนำกับภาชนะหุ้มตัว R_{eq} และในทำนองเดียวกันจำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำ N ก็ส่งผลต่อค่าอินดักแตนซ์เทียบเท่าของวงจรเตาหุ้มตัวเหนี่ยวนำกับภาชนะหุ้มตัว L_{eq} ด้วยเช่นกัน โดยที่ภาชนะหุ้มตัวที่เป็นสาร Non Ferro-magnetic เช่น อลูมิเนียม ทองแดง จะมีค่าความต้านทานของภาชนะหุ้มตัว R_v ที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับภาชนะหุ้มตัวที่เป็นสาร Ferro-magnetic เช่น เหล็ก สแตนเลส

2.3.2 ถ้าเลือกใช้ภาชนะหุ้มตัวที่เป็นสาร Non Ferro-magnetic จะทำให้มีกระแสไหลมากเกินไปเป็นผลให้ชุดอินเวอร์เตอร์เสียหายได้ ดังนั้นจึงเลือกใช้ภาชนะหุ้มตัวที่เป็นสาร Ferro-magnetic เนื่องจากจะสามารถลดขนาดกระแสความถี่สูงจากวงจรอินเวอร์เตอร์ได้มาก

บทที่ 3

หลักการสร้างกระแสความถี่สูงเพื่อใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน

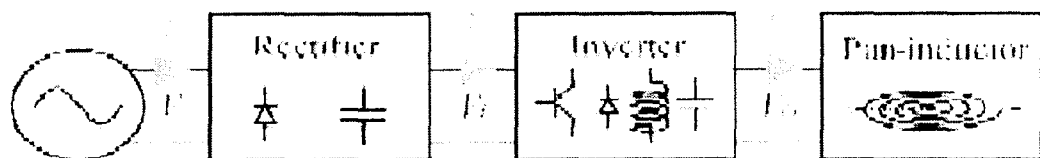
3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง การพิจารณาหลักการสร้างกระแสความถี่สูงเพื่อใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน โดยจะพิจารณาในส่วนของโครงสร้างของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำ ซึ่งจะประกอบไปด้วย การวิเคราะห์วงจรเรียงกระแส หลักการทำงานของวงจร การจำลองการทำงานของวงจรเรียงกระแสในแต่ละแบบ การพิจารณาการเลือกใช้วงจรเรียงกระแสในแบบที่เหมาะสมกับเตาหุงต้มเหนี่ยวนำ การวิเคราะห์วงจรอินเวอร์เตอร์ หลักการทำงานของวงจร เปรียบเทียบวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์และแบบฟูลบริดจ์ การเลือกใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ในแบบที่เหมาะสม เปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างและรายละเอียดของโหลด เรโซแนนท์แบบอนุกรมและแบบขนาน การพิจารณาเลือกใช้โหลดเรโซแนนท์ในแบบที่เหมาะสม วิเคราะห์หลักการการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโหลด เรโซแนนท์ในแบบที่เลือกใช้ การพิจารณาแบบซีโรโวลต์เดจสวิตชิง หลักการพิจารณาความถี่สวิตชิงของวงจรอินเวอร์เตอร์ และยังรวมถึงวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าของวงจรเตาหุงต้มอาหารโดยการเหนี่ยวนำขนาดสองเตาอีกด้วย

3.2 หลักการสร้างกระแสความถี่สูงเพื่อใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน

โครงสร้างของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูง ได้ถูกแบ่งลักษณะการทำงานออกเป็นบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.1

จากรูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 110 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ ป้อนให้กับวงจรเรียงกระแสเพื่อที่จะแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ผ่านตัวเก็บประจุกรองความถี่ทางด้านเอาต์พุตโดยใช้ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่เพื่อกรองแรงดันและกระแสให้เรียบมากขึ้น แล้วจ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง โดยอาศัยการสวิตชิงความถี่สูงของสวิตช์มอสเฟตที่ความถี่สวิตชิงที่สูงกว่าความถี่เรโซแนนท์เล็กน้อย แล้วจ่ายให้กับชุดโหลดเรโซแนนท์ต่อไป



รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำแบ่งออกเป็นบล็อกไดอะแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรเรียงกระแส

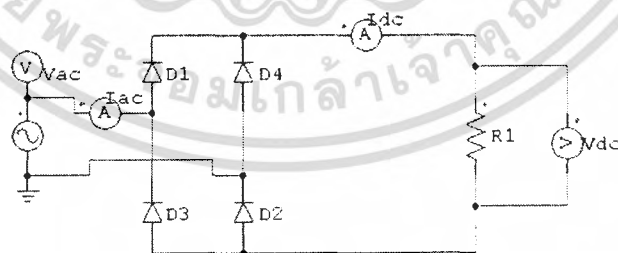
วงจรเรียงกระแสเฟสเดียว มีวัตถุประสงค์เพื่อแปลงผันกำลังไฟฟ้าที่มีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียวเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยต้องการให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีความไฟฟ้ากระแสตรงมากที่สุด และวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวมักจะใช้กับโหลดที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าไม่มากเกินไป วงจรเรียงกระแสมีทั้งที่เป็นแบบครึ่งคลื่นและแบบเต็มคลื่น แบบครึ่งคลื่นมักจะใช้กับพิกัดกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีค่าต่ำ อีกทั้งวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจะมีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยต้านเข้าไม่เป็นศูนย์ทำให้เกิดปัญหาที่หม้อแปลงอิมตัวได้ง่าย และแบบเต็มคลื่นมักจะนำไปใช้กับพิกัดกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีค่าสูง กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ทำให้เกิดการอิมตัวของหม้อแปลงที่ต่อกับวงจรต้านเข้าอิมตัวยากกว่าแบบครึ่งคลื่น

ในการวิเคราะห์วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มบริดจ์แบบบริดจ์ไดโอด จะทำการเปรียบเทียบกันระหว่างแบบมีตัวเก็บประจุรองความถี่ และแบบไม่มีตัวเก็บประจุรองความถี่ ซึ่งจะส่งผลให้รูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสเปลี่ยนแปลงไป และยังทำการจำลองการทำงานของวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มบริดจ์แบบบริดจ์ไดโอดด้วยโหลดเตาหุงต้ม เหนี่ยวนำเปรียบเทียบกับกรณีโหลดเป็นตัวต้านทาน

3.3.1 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มบริดจ์แบบไดโอดกรณีโหลดตัวต้านทาน

วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่น จะมีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยต้านเข้าหรือต้านแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าเป็นศูนย์ซึ่งเป็นผลดีต่อหม้อแปลงไฟฟ้าและยังจะมีค่าตัวประกอบระลอกคลื่น (Ripple factor) ต่ำกว่าแบบวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่น ทำให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าด้านออกสูงกว่าวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่น

3.3.1.1 แบบไม่มีตัวเก็บประจุรองความถี่



รูปที่ 3.2 แสดงรูปวงจรรีเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มบริดจ์แบบไดโอดไม่มีตัวกรองความถี่ (ตัวเก็บประจุ) กรณีโหลดตัวต้านทาน

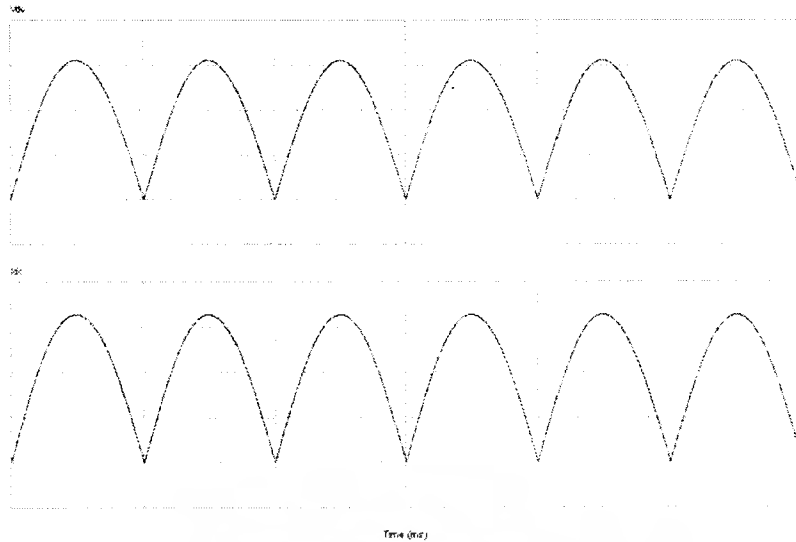
หลักการทํางาน

- การทํางานของไดโอดจะนํากระแสเป็นคู่โดยไดโอด D_1 และ D_2 ทํางานคู่กัน และไดโอด D_3 และ D_4 จะทํางานคู่กัน เป็นผลทำให้กระแสไฟฟ้าไหลดจะเป็นบวกหรือศูนย์ ไม่มีโอกาสเป็นลบ
- เมื่อไดโอด D_1 และ D_2 นํากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าดกคร่อมไหลดจะเท่ากับ แรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย เมื่อไดโอด D_3 และ D_4 นํากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าดกคร่อมไหลดจะตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายคือเท่ากับ $-V_{sc}$
- ค่าแรงดันไฟฟ้าไบอัสย้อนกลับสูงสุดที่ตกคร่อมไดโอด จะเท่ากับคํายอดของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย กล่าวคือเมื่อไดโอด D_1 นํากระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าดกคร่อมไดโอด D_4 จะตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย
- ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายเข้าไปในวงจรมิตติจ้ไดโอด คือ $i_{D1}-i_{D3}$ ทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าแหล่งจ่ายเฉลี่ยจะเป็นศูนย์
- คํารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย จะเท่ากับคํารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสไหลด
- ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าด้านนอกเป็นสองเท่าของความถี่ของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย โดยที่แรงดันไฟฟ้าฮาร์โมนิกส้จะประกอบไปด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและฮาร์โมนิกส้ลำดับคู่



รูปที่ 3.3 แสดงรูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสอินพุทของวงจรมิตติจ้กระแสไม่มีตัวกรองความถี่(ตัวเก็บประจุ) กรณีไหลดตัวด้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

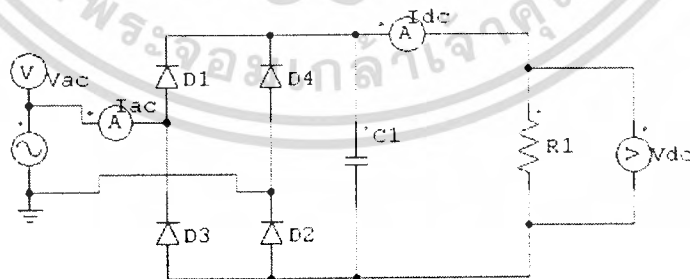


รูปที่ 3.4 แสดงรูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสเอาต์พุทของวงจรเรียงกระแส
ไม่มีตัวกรองความถี่(ตัวเก็บประจุ) กรณีโหลดตัวต้านทาน

จากรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4 รูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสจะอินเฟสกัน
เนื่องจากพิจารณาเฉพาะโหลดความต้านทานเพียงอย่างเดียว

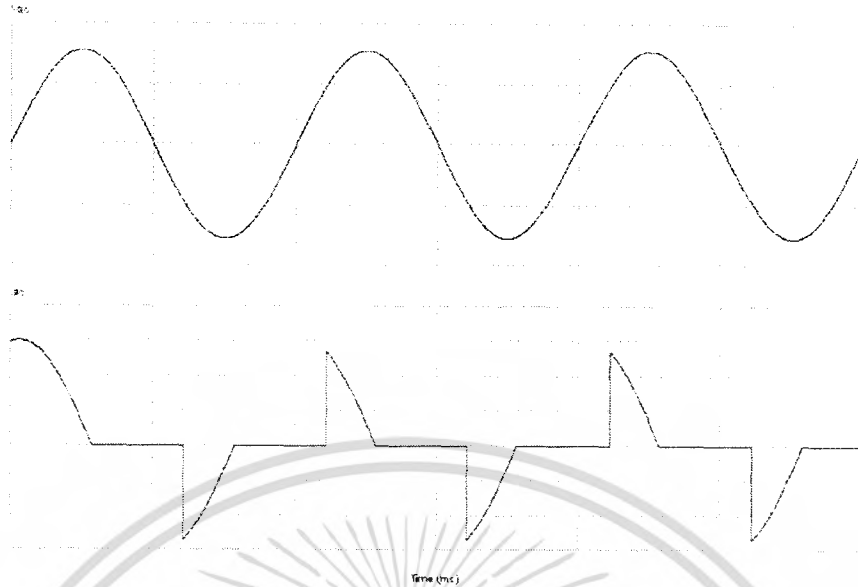
3.3.1.2 แบบมีตัวเก็บประจุกรองความถี่

วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ไดโอด พร้อมตัวกรองความถี่ด้วยตัว
เก็บประจุจะสามารถทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าแรงดันไฟฟ้าใกล้เคียงกับแรงดันไฟฟ้า
กระแสตรงได้ และช่วงเวลาการคายประจุของตัวเก็บประจุจะมีเวลาที่สั้นกว่ากรณีวงจร
เรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่น ค่าระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้าด้านออกของวงจรเรียงกระแสเฟส
เดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ไดโอดจะมีคาลดลงครึ่งหนึ่งของกรณีวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่ง
คลื่น นอกจากนี้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดด้านออกจะมีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับวงจรเรียงกระแส
เฟสเดียวครึ่งคลื่น อันเป็นผลมาจากแรงดันตกคร่อมไดโอดที่ทำงานพร้อมกันที่ละสองตัว



รูปที่ 3.5 แสดงรูปวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มบริดจ์แบบไดโอดพร้อมตัวกรองความถี่
ด้วยตัวเก็บประจุ กรณีโหลดตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงรูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสอินพุทของวงจรเรียงกระแส พร้อมตัวกรองความถี่ด้วยตัวเก็บประจุ กรณีโหลดตัวต้านทาน



รูปที่ 3.7 แสดงรูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสเอาต์พุทของวงจรเรียงกระแส พร้อมตัวกรองความถี่ด้วยตัวเก็บประจุ กรณีโหลดตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

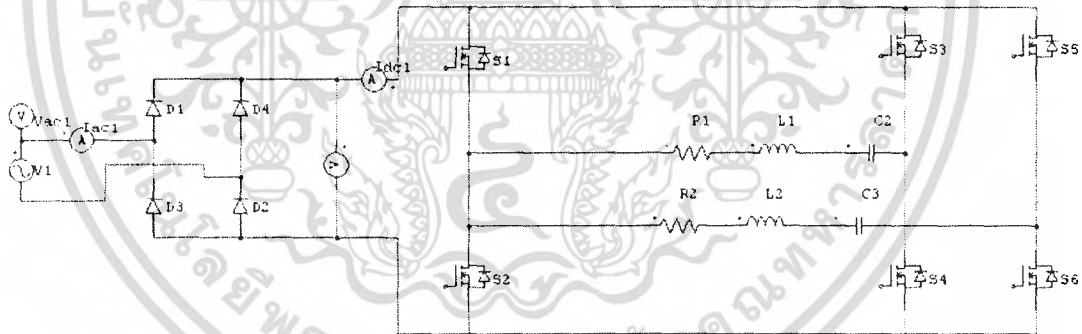
จากรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7 จะเห็นได้ว่ารูปคลื่นของกระแสจากแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า จะมีช่วงไดโอดนำกระแสและหยุดนำกระแส โดยจะเริ่มนำกระแสเมื่อแรงดันการไฟฟ้า V_{ac} มีค่ามากกว่า V_{dc} และจะหยุดนำกระแสเมื่อ V_{ac} มีค่าต่ำกว่า V_{dc} ในช่วงที่ไดโอดนำกระแส นั้น จะมีการสะสมประจุในตัวเก็บประจุ การทำหน้าที่ของตัวเก็บประจุจะทำให้แรงดันไฟฟ้าด้าน ออกที่ได้มีค่าใกล้เคียงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงมากยิ่งขึ้น

สามารถประมาณค่าระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้าด้านออกได้จากสมการ

$$\Delta V_o \approx \frac{V_m}{2fRC} \tag{3.1}$$

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

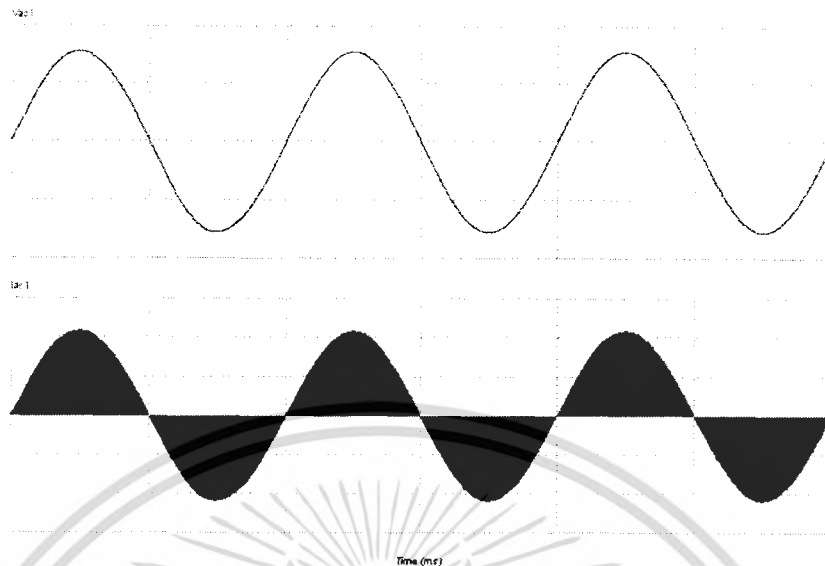
วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มบริดจ์แบบไดโอดกรณีโหลดเตาหุงต้มเหนี่ยวนำ



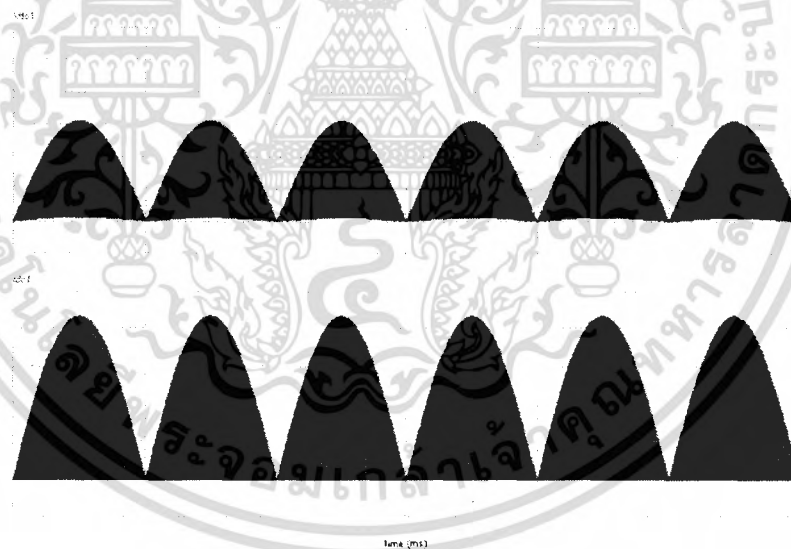
รูปที่ 3.8 แสดงรูปวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มบริดจ์แบบไดโอด ไม่มีตัวกรองความถี่(ตัวเก็บประจุ) กรณีโหลดเตาหุงต้มเหนี่ยวนำ

73002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงรูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสอินพุทของวงจรเรียงกระแส
ไม่มีตัวกรองความถี่(ตัวเก็บประจุ) กรณีโหลดเตาหุงต้มเหนี่ยวนำ



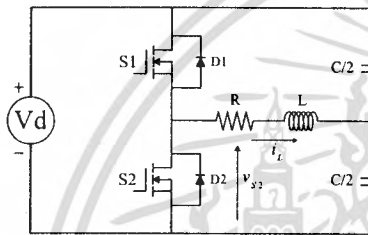
รูปที่ 3.10 แสดงรูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสเอาต์พุทของวงจรเรียงกระแส
ไม่มีตัวกรองความถี่(ตัวเก็บประจุ) กรณีเตาหุงต้มเหนี่ยวนำ

จะเห็นได้ว่า รูปคลื่นแรงดันและรูปคลื่นกระแสทางต้านอินพุทและเอาต์พุทของวงจร
เรียงกระแส ในกรณีโหลดเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาดสองเตาจะมีความคล้ายคลึงกับโหลดตัว
ต้านทาน เนื่องจากโหลดเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาดสองเตาเป็นโหลดรีโซแนนท์นั่นเอง

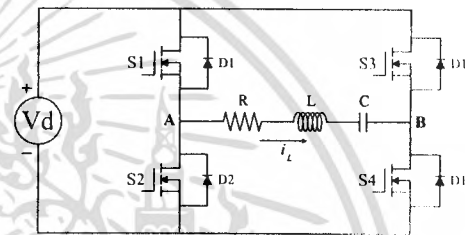
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้า จากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางเข้า เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านออก วงจรอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวจะแบ่งออกเป็นสองชนิด คือแบบฮาล์ฟบริดจ์ (half-bridge) และแบบฟูลบริดจ์ (full-bridge) ในแบบฮาล์ฟบริดจ์จะมีตัวเก็บประจุสองตัวต่อลำดับกันอยู่ระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และหากกำหนดให้ค่าตัวเก็บประจุสองตัวมีค่าเท่ากันจะทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีค่าเท่ากันคือ $V_d/2$ จุดกึ่งกลางแรงดันไฟฟ้า V_{S2} ในรูปที่ 3.11 (ก) จะมีค่าคงที่เมื่อเทียบกับบัสลบ ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์เฟสเดียวจะประกอบไปด้วยสองกิ่งคือกิ่ง A และกิ่ง B ในรูปที่ 3.11 (ข) โดยแบบฟูลบริดจ์จะมีกำลังไฟฟ้าสูงกว่าแบบฮาล์ฟบริดจ์ (ดังแสดงในรูปที่ 3.12) จึงเหมาะที่จะเลือกใช้เมื่อต้องการจ่ายกำลังไฟฟ้าโหลดสูงสุด

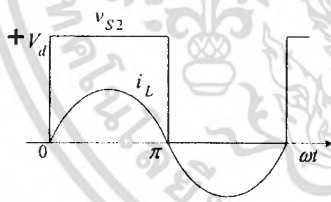


(ก) อินเวอร์เตอร์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์

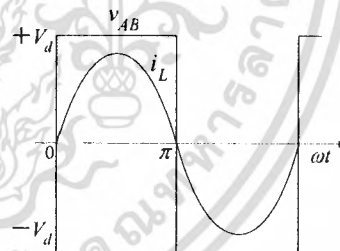


(ข) อินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์

รูปที่ 3.11 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์และชนิดฟูลบริดจ์



(ก) อินเวอร์เตอร์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์



(ข) อินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์

รูปที่ 3.12 แสดงคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุทของวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดฮาล์ฟบริดจ์และชนิดฟูลบริดจ์

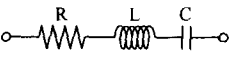
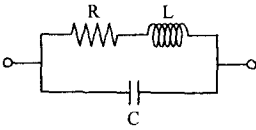

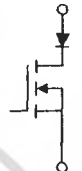


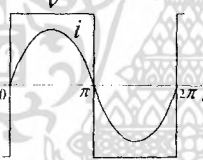
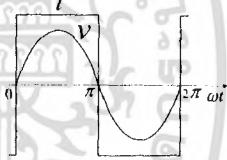
เงื่อนไขสำคัญที่อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฮาล์ฟบริดจ์และแบบฟูลบริดจ์ เป็นการ ทำงานของสวิตช์ S_1 และ S_2 ต้องทำงานไม่พร้อมกันในทุกช่วงเวลา มิฉะนั้นแล้วจะเกิดการ ลัดวงจรระหว่างบัสบวกกับบัสลบ ในอุดมคติเวลาการสวิตช์ของสวิตช์ S_1 และ S_2 จะตรง ซ้ำมกัน แต่ในทางปฏิบัติจะต้องการช่วงเวลาเวลาที่สวิตช์ทั้งคู่ไม่นำกระแส ซึ่งจะเรียกว่าเดดไทม์ (dead time) โดยเดดไทม์จะอยู่ในช่วงเวลาก่อนจะเปลี่ยนสถานะการสวิตช์จากนำกระแส เป็นไม่นำกระแส หรือจากไม่นำกระแสเป็นนำกระแส

จะเห็นได้ว่า วงจรฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์จะมีแรงดันตกคร่อมโหลดและกระแส โหลดผ่านโหลดเป็นครึ่งหนึ่งของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าวงจรฟูลบริดจ์ อินเวอร์เตอร์จะมากกว่าวงจรฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์เป็นสี่เท่า ดังนั้นวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ เหมาะสมกับเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาดสองเตาจะเป็นฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ เนื่องจาก ต้องการกำลังไฟฟ้าที่มากกว่าเพื่อที่จะจ่ายให้กับเตาหุงต้มเหนี่ยวนำทั้งสองเตา

3.5 โหลดเรโซแนนท์

สำหรับโหลดเรโซแนนท์ที่ใช้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงโดยทั่วไป เช่น เครื่อง ชุบแข็งผิวโลหะ เครื่องหลอมโลหะ เตาหุงต้มเหนี่ยวนำ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ และเครื่อง เชื่อมความถี่สูงจะมีข้อได้เปรียบที่สำคัญ คือลดการสูญเสียในการสวิตช์ เมื่อสวิตช์มีการตัด วงจรที่กระแสศูนย์ (Zero Current Switch: ZCS) หรือสวิตช์ต่อวงจรที่แรงดันศูนย์ (Zero Voltage Switch: ZVS) แต่ข้อเสียเปรียบที่สำคัญของวงจรเรโซแนนท์ คือที่ตำแหน่งใกล้จุด ความถี่เรโซแนนท์กระแสในวงจรมีค่ามากส่งผลให้แรงดันตกคร่อมวงจรมีค่ามากด้วย ดังนั้น สวิตช์ที่เลือกใช้จะต้องสามารถทนแรงดันตกคร่อมขณะ OFF ได้สูง และ LC ในวงจรเร โซแนนท์ที่เลือกใช้ก็เช่นกัน จะต้องมีความถี่ใหญ่เพื่อที่จะสามารถเก็บพลังงานได้มาก

ตารางที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างและรายละเอียดของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม และแบบขนาน

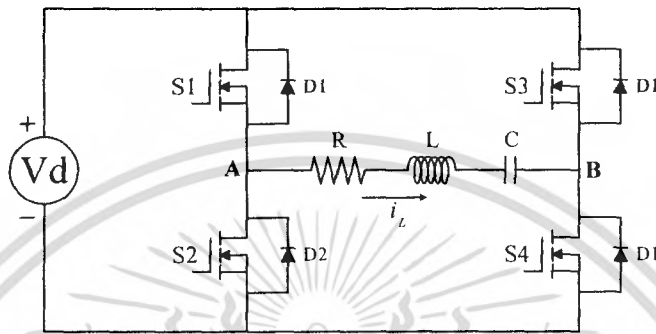
วงจรอินเวอร์เตอร์	เรโซแนนซ์แบบอนุกรม	เรโซแนนซ์แบบขนาน
โหลดเรโซแนนซ์		
สวิตช์		
แหล่งจ่าย		
รูปคลื่นแรงดันและกระแส		

อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์โดยทั่วไปจะมีด้วยกัน 2 ชนิด คืออินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม และแบบขนาน โดยมีโครงสร้างและรายละเอียดที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3.1 และจากตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่า อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรมจะใช้แหล่งจ่ายชนิดแรงดันคงที่ (Constant Voltage Source) เนื่องจากต้องใช้ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่เพื่อกรองแรงดันให้เรียบแล้วจ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ สำหรับรูปคลื่นแรงดันจะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม และรูปคลื่นกระแสจะเป็นรูปคลื่นไซน์ ส่วนอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบขนานจะมีลักษณะตรงข้ามกันคือจะใช้แหล่งจ่ายชนิดกระแสคงที่ (Constant Current Source) เนื่องจากต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำขนาดใหญ่เพื่อกรองกระแสให้เรียบแล้วจ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ สำหรับรูปคลื่นแรงดันจะเป็นไซน์และรูปคลื่นกระแสจะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม กรณีเตาหุงต้มเหนี่ยวนำเหมาะที่จะใช้วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดอนุกรม เนื่องจากสามารถรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากวงจรเรกติฟายเออร์และวงจรกรองแรงดันได้โดยตรง วงจรควบคุมไม่ซับซ้อน และมีขนาดเล็กเหมาะที่จะใช้เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม

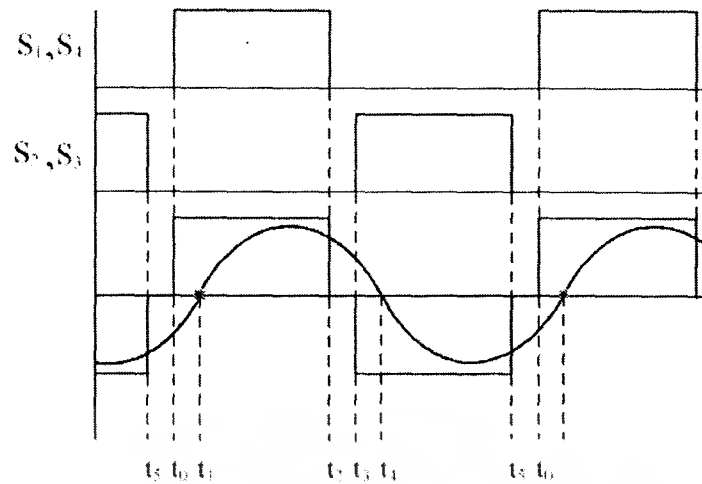
อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม ก็คือคอนเวอร์เตอร์ที่แปลงกำลังไฟฟ้า กระแสตรงเป็นกระแสสลับ ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ซึ่งจะเรียกว่าเป็นวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมเพราะมีตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกับโหลดความต้านทาน การสวิตช์ จะทำให้เกิดแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยม โดยที่ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุจะทำให้เกิด ความถี่เรโซแนนซ์ซึ่งจะมีค่าเท่ากับความถี่สวิตช์



รูปที่ 3.13 แสดงรูปวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม

3.6.1 หลักการทำงาน

ณ ช่วงเวลาที่กระแสไหลผ่านสวิตช์ S_2, S_3 (ช่วงเวลา t_4-t_5) จะมีการชาร์จประจุ เก็บไว้ที่ตัวเก็บประจุของสวิตช์ S_1, S_4 และเมื่อสวิตช์ S_2, S_3 หยุดทำงาน (ที่เวลา t_5) ตัวเก็บประจุของสวิตช์ S_1, S_4 จะทำการคายประจุในช่วงเวลาเดดไทม์ (ช่วงเวลา t_5-t_0) จนเป็น ศูนย์ เพื่อที่จะรอให้สวิตช์ S_1, S_4 ทำงานต่อไป (ที่เวลา t_0) ในช่วงเวลาต่อมา (ช่วงเวลา t_0-t_1) จะเกิดการ ทำงานของฟรีวิลริงไดโอดของสวิตช์ S_1, S_4 นั่นคือกระแสจะไหลผ่านไดโอด D_1, D_4 เพื่อรักษาความต่อเนื่องของกระแสเนื่องจากกระแสในตัวเหนี่ยวนำของโหลด จนกระทั่งกระแสเป็นศูนย์ (ที่เวลา t_1) จากนั้นกระแสจึงไหลผ่านสวิตช์ S_1, S_4 ต่อไป (ช่วงเวลา t_1-t_2)

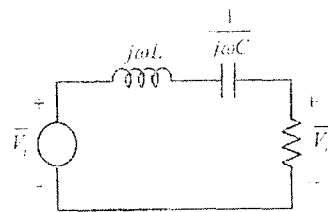


รูปที่ 3.14 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม

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) จะเกิดการดำเนินงานของฟรีวิลริงไดโอดของสวิตช์ S_2, S_3 นั่นคือกระแสจะไหลผ่านไดโอด D_2, D_3 เพื่อรักษาความต่อเนื่องของกระแสเนื่องจากในตัวยุทหนึ่ยวนำของโหลดจนกระทั่งเป็นศูนย์ (ที่เวลา t_4) จากนั้นกระแสจึงไหลผ่านสวิตช์ S_2, S_3 ต่อไป (ช่วงเวลา t_4-t_5)

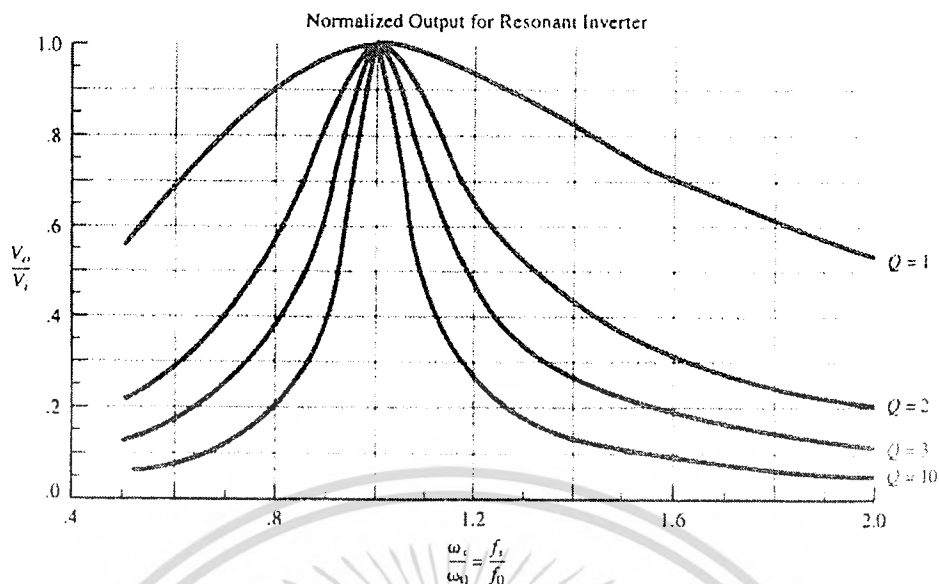
3.6.2 หลักการวิเคราะห์ห้วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม

โดยปกติสวิตช์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ตัดต่อวงจรจะเกิดกำลังสูญเสียที่สวิตช์อยู่ค่าหนึ่ง เนื่องจากในการทำงานจะมีกำลังสูญเสียเท่ากับ ผลคูณของกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์กับแรงดันที่คร่อมสวิตช์ ถ้าความถี่สวิตซ์ของอินเวอร์เตอร์นั้นทำงานที่ความถี่เรโซแนนซ์ จะได้มุมต่างเฟสระหว่างแรงดันและกระแสเป็นศูนย์เป็นผลทำให้กำลังสูญเสียที่สวิตช์มีค่าเป็นศูนย์ เรียกว่า ซอฟสวิตซ์ (Soft Switching)



รูปที่ 3.15 วงจรสมมูล R-L-C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงค่าบรรทัดฐานของผลตอบสนองเชิงความถี่

โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังนี้

3.6.2.1 พิจารณาผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจร R-L-C (จากรูปที่ 3.15) จะได้อัตราขยายแรงดันของวงจรซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (3.2)$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega L}{R} - \frac{1}{\omega RC}\right)^2}} \quad (3.3)$$

3.6.2.2 ความถี่เรโซแนนซ์จะมีค่าเท่ากับ

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3.4)$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.5)$$

ที่ความถี่เรโซแนนซ์ ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุจะหักล้างกัน

จึงมองเห็นโหลดมีค่าเฉพาะความต้านทานเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านนอกเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ความถี่ f_o ผลของ L-C จะทำหน้าที่คล้ายเป็นตัวกรองความถี่คือทำให้ความถี่หลักมูลผ่านไป และจะลดขนาดสัญญาณของฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ ทำให้รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมความต้านทานเป็นรูปไซน์ที่มีความถี่เดียวกันกับความถี่ของรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

3.6.2.3 ขนาดของแรงดันความถี่หลักมูลของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม $\pm V_{dc}$ จะมีขนาดเท่ากับ

$$V_1 = \frac{4V_{dc}}{\pi} \quad (3.6)$$

3.6.2.4 ผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรกรองความถี่ จะแสดงในพจน์ของแบนด์วิดท์โดยแสดงในรูปตัวประกอบคุณภาพ (quality factor: Q) ได้ดังนี้

$$Q = \frac{\omega_o L}{R} = \frac{1}{\omega_o RC} \quad (3.7)$$

3.6.2.5 อัตราขยายแรงดันในสมการที่ (3.2) สามารถแสดงในพจน์ของ ω และ Q ได้ดังนี้

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega} \right)^2}} \quad (3.8)$$

3.6.2.6 ผลตอบสนองเชิงความถี่ จากอัตราขยายแรงดันของผลตอบสนองเชิงความถี่บรรทัดฐาน (Normalized frequency: f_s/f_o) ที่ค่า Q ต่างๆจะเห็นได้ว่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานจะลดลงเมื่อค่า Q มีค่าสูงขึ้น ขณะที่การเพิ่มค่า L และลดค่า C จะมีผลทำให้ Q มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน

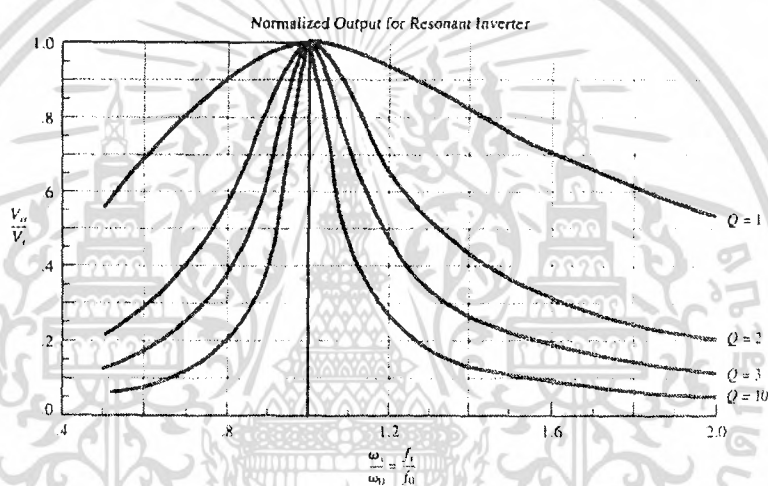
จุดเด่นของอินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์ คือการลดการสูญเสียของสวิทช์เมื่อเทียบกับวงจรอินเวอร์เตอร์ทั่วไป หากความถี่เรโซแนนท์และค่า Q ของวงจรมีค่าสูง สวิทช์จะทำงานเมื่อกระแสไหลตมมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ทำให้อุปกรณ์สวิทช์มีการสูญเสียต่ำ วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้จึงมีประสิทธิภาพสูง

3.7 ซีโรโวลต์เจจสวิตชิง

การนำวงจรอินเวอร์เตอร์มาควบคุมการจ่ายพลังงานให้กับโหลด และวงจรเรโซแนนซ์จะเป็นส่วนช่วยให้เกิดการส่งผ่านพลังงานให้กับโหลดได้สูงสุด

3.7.1 หลักการพิจารณาความถี่สวิตชิงของวงจรอินเวอร์เตอร์

หลักในการพิจารณาความถี่สวิตชิงของวงจรอินเวอร์เตอร์ สามารถพิจารณาได้จากกราฟแสดงค่าบรรทัดฐานของผลตอบสนองเชิงความถี่ โดยจากความสัมพันธ์ของความถี่สวิตชิงของวงจรอินเวอร์เตอร์กับความถี่เรโซแนนซ์นั้นจะได้จุดตัดแกนแนวนอน และจากผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรกรองความถี่ซึ่งแสดงในรูปตัวประกอบคุณภาพ Q จะได้เส้นกราฟที่พิจารณา จากนั้นจะสามารถหาขนาดแรงดันมูลฐานได้ และยังสามารถดูแนวโน้มสเปกตรัมของแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานได้ด้วย



รูปที่ 3.17 ค่าบรรทัดฐานของผลตอบสนองเชิงความถี่

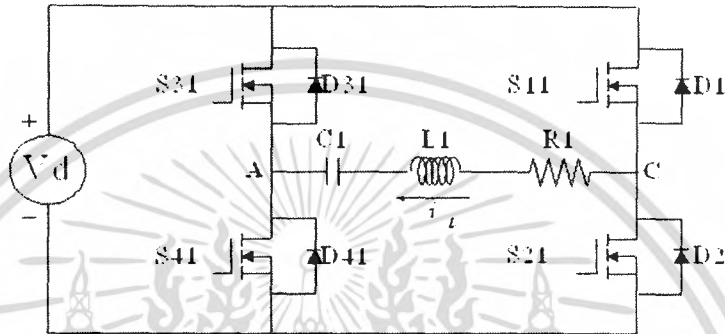
ถ้าความถี่สวิตชิงของอินเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่เรโซแนนซ์ จากการพิจารณากราฟแสดงค่าบรรทัดฐานของผลตอบสนองเชิงความถี่ จะได้ขนาดแรงดันมูลฐานสูงที่สุดเมื่อเทียบกับความถี่สวิตชิงของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่มากกว่าหรือน้อยกว่าความถี่เรโซแนนซ์

และจากการพิจารณากราฟแสดงค่าบรรทัดฐานของผลตอบสนองเชิงความถี่ จะได้แนวโน้มสเปกตรัมของแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานที่แตกต่างกัน เมื่อเปลี่ยนความถี่สวิตชิงของอินเวอร์เตอร์ นั่นคือที่ความถี่สวิตชิงของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่เท่ากับหรือมากกว่าความถี่เรโซแนนซ์จะได้แนวโน้มสเปกตรัมของแรงดันที่ลดลง เมื่อลำดับฮาร์โมนิกส์เพิ่มมากขึ้น นั่นคือจะได้แรงดันที่จ่ายให้กับโหลดเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม แต่ในกรณีความถี่สวิตชิงของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่น้อยกว่าความถี่เรโซแนนซ์ จะพบว่าแนวโน้มสเปกตรัมของแรงดันจะมีฮาร์โมนิกส์ลำดับที่สามมีค่ามากกว่าค่าแรงดันมูลฐาน

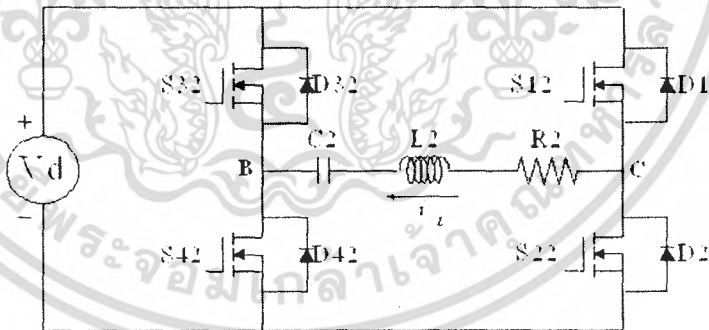
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การควบคุมกำลังไฟฟ้าของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม

ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม จะใช้วิธีการปรับขนาดแรงดันอาร์เอ็มเอสที่จ่ายให้กับโหลด ทั้งนี้ในการปรับขนาดแรงดันอาร์เอ็มเอสนั้นจะส่งผลให้ขนาดกระแสที่จ่ายโหลดมีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย นั่นคือจะส่งผลทำให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าเปลี่ยนไป ในการปรับขนาดแรงดันที่จ่ายให้กับโหลดนั้นจะทำโดยการปรับค่าตัวดีไอซีเคิลในช่วงการเปิดปิดวงจรของสวิตช์ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3.18 แสดงรูปวงจรงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรมของโหลดที่ 1



รูปที่ 3.19 แสดงรูปวงจรงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรมของโหลดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทํางาน

กำหนดให้โหลดทั้งสองเดารับกำลังไฟฟ้าจากวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ โดยที่ใช้สวิตช์กึ่งหนึ่งร่วมกันอยู่ นั่นคือกึ่ง C (ประกอบด้วยสวิตช์ S_1, S_2) จะเป็นกึ่งรวมของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่จ่ายให้กับโหลดทั้งสองเดา

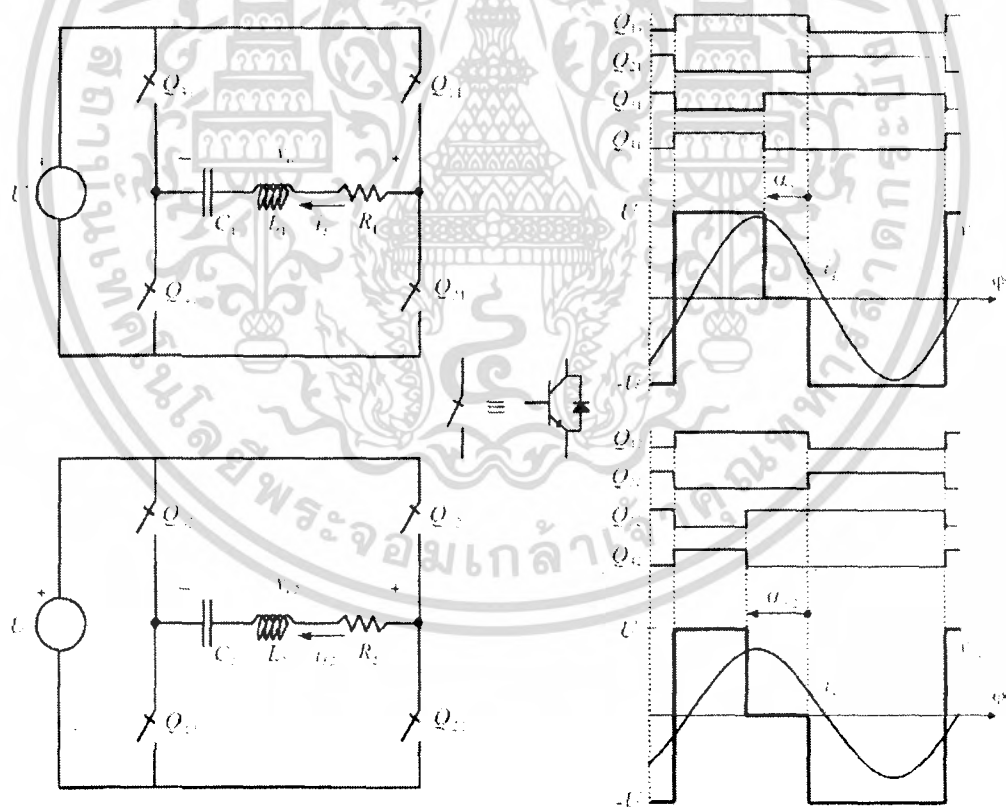
พิจารณาวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ของโหลดที่ 1 สวิตช์ S_{11} ทํางานพร้อมกับสวิตช์ S_{41} และสวิตช์ S_{21} ทํางานพร้อมกับสวิตช์ S_{31} จะทำการปรับค่าดิวตี้ไซเคิลในช่วงการเปิดปิดวงจรของสวิตช์ S_{31}, S_{41} เมื่อต้องการปรับเปลี่ยนค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดที่ 1 โดยที่คงสถานะการเปิดปิดวงจรของสวิตช์ S_{11}, 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 จะได้รับคลื่นแรงดันเอาต์พุตด้านบวกบริเวณด้านหลังที่มีส่วนของเนื้อพัลส์หายไป เนื่องจากการนำสัญญาณพัลส์ของสวิตช์ S_{11}, S_{21} มาอินเตอร์เซกชันกันส่วนของรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตด้านลบจะได้รับคลื่นที่มีเนื้อพัลส์เต็ม

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 จะได้รับคลื่นแรงดันเอาต์พุตด้านบวกบริเวณด้านหลังที่มีส่วนของเนื้อพัลส์หายไป เนื่องจากการนำสัญญาณพัลส์ของสวิตช์ S_{12}, S_{22} มาอินเตอร์เซกชันกัน ส่วนของรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตด้านลบจะได้รับคลื่นที่มีเนื้อพัลส์เต็ม

และเมื่อพิจารณารูปคลื่นของกระแสเอาต์พุตนั้น จะพบว่าผลของการปรับค่ากำลังไฟฟ้าที่ลดลงนั้นส่งผลให้กระแสมีขนาดลดลงตามขนาดแรงดันอาร์เอ็มเอสที่ลดลงไปด้วย และจากความสัมพันธ์ข้างต้นสามารถพิจารณากำลังไฟฟ้าได้จากสมการ

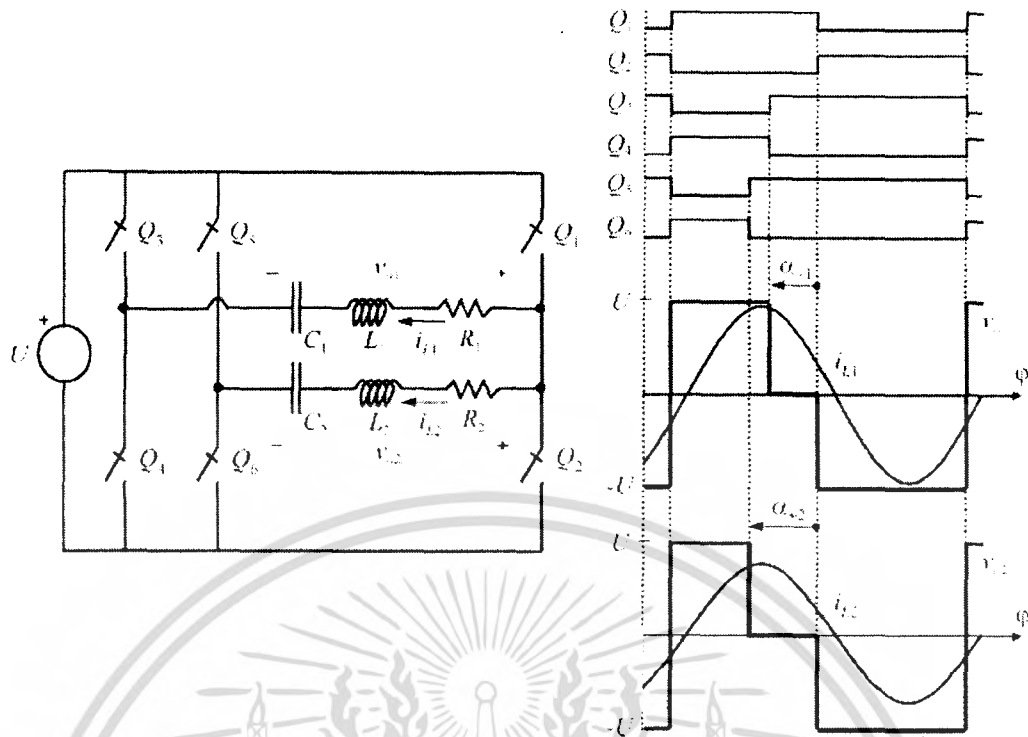
$$P = VI \cos \phi \quad (3.9)$$

- โดยที่ P แทนด้วยกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียในภาชนะหุงต้มเนื่องจากกระแสไหลวน
- V แทนด้วยแรงดันอาร์เอ็มเอสที่จ่ายให้กับโหลด
- I แทนด้วยกระแสอาร์เอ็มเอสที่จ่ายให้กับโหลด ซึ่งเป็นกระแสกระตุ้นที่ไหลในขดลวดเหนี่ยวนำ
- ϕ แทนด้วยมุมที่รูปคลื่นกระแสตามหลังรูปแรงดัน



รูปที่ 3.20 แสดงลำดับการทำงานสวิตช์ และรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุต กระแสเอาต์พุตของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ของแต่ละโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 แสดงลำดับการทำงานสวิตช์ และรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุต กระแสเอาต์พุต ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาดสองเตา

3.9 สรุป

3.9.1 เตาหุงต้มเหนี่ยวนำเหมาะที่จะใช้วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดอนุกรม เนื่องจากสามารถรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จากวงจรเรียงกระแสที่มีตัวเก็บประจุรองความถี่ได้โดยตรง วงจรควบคุมไม่ซับซ้อน และมีขนาดเล็กเหมาะที่จะใช้เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน

3.9.2 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวที่เหมาะสมกับเตาหุงต้มเหนี่ยวนำจะเป็นวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบไดโอด เนื่องจากจะมีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยต้านเข้าหรือต้านแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นผลดีต่อหม้อแปลงไฟฟ้าและยังจะมีค่าตัวประกอบระลอกคลื่น (ripple factor) ที่ต่ำกว่าแบบวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่น ทำให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้านำออกสูงกว่าวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวครึ่งคลื่น

3.9.3 ชุดอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมที่เหมาะสมกับเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาดสองเตาจะเป็นอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบฟูลบริดจ์ เนื่องจากต้องการกำลังไฟฟ้าที่มากกว่าเพื่อที่จะจ่ายให้กับเตาหุงต้มเหนี่ยวนำทั้งสองเตา

3.9.4 จุดเด่นของอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ คือการลดการสูญเสียของสวิตช์เมื่อเทียบกับวงจรอินเวอร์เตอร์ทั่วไป หากความถี่เรโซแนนซ์และค่า Q ของวงจรมีค่าสูง สวิตช์จะทำงานเมื่อกระแสไหลตมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ทำให้อุปกรณ์สวิตช์มีการสูญเสียต่ำ วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้จึงมีประสิทธิภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.5 สำหรับการควบคุมกำลังไฟฟ้าจะเลือกใช้วิธีการปรับขนาดของแรงดันอาร์เอ็มเอส ที่จ่ายให้กับโหลดโดยการปรับค่าตัวรีไซเคิลในช่วงการเปิดปิดวงจรของสวิตช์ที่แตกต่างกัน และในการปรับขนาดแรงดันอาร์เอ็มเอสนั้น จะส่งผลให้ขนาดกระแสอาร์เอ็มเอสที่จ่ายให้กับโหลดมีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบการทดลอง

ในโครงการงานเตาหุงต้มเหนียวขนาดสองเตาจะทำการออกแบบการทดลองแบ่งเป็นส่วนต่างๆโดยจะแบ่งได้

1. ขดลวด
2. ชุดวงจรกำลัง
3. ชุดคอนโทล

4.1 ออกแบบขดลวดเหนียวนำ

วัสดุที่เลือกใช้เป็นภาชนะหุงต้มคือ สเตนเลสสตีล กั้นภาชนะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ซึ่งมีสภาพความต้านทานทางไฟฟ้า ρ เท่ากับ 60×10^{-8} โอห์ม-เมตร และมีค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ μ_r เท่ากับ 100 และพิจารณาที่ความถี่สูงจากวงจรอินเวอร์เตอร์ที่จะเลือกใช้งานได้ดังนี้

ตาราง 4.1 ตาราง Skin depth และ surface resistivity

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

ความถี่สูงจากวงจรอินเวอร์เตอร์เลือกใช้งานที่ f เท่ากับ 50 กิโลเฮิร์ต เนื่องจากจะให้ค่าความต้านทานของภาชนะหุงต้ม R_s ที่สูง ซึ่งจะช่วยลดขนาดกระแสความถี่สูงจากวงจรอินเวอร์เตอร์ได้

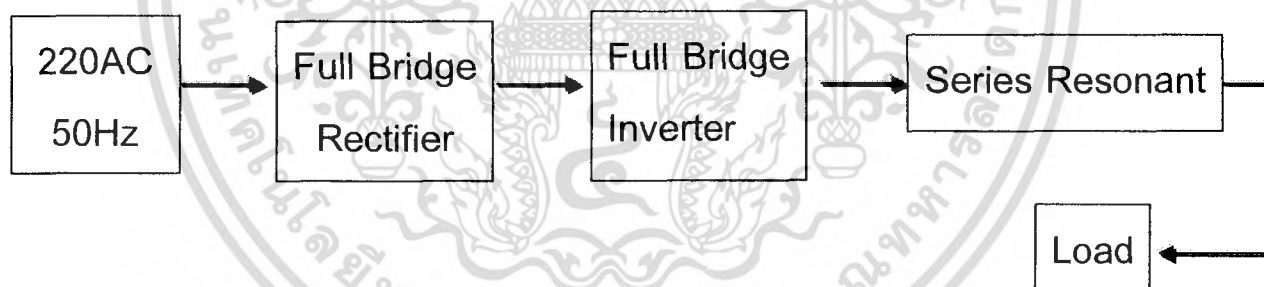
เป้าหมายในการออกแบบขดลวดเหนียวนำ ต้องการให้ขดลวดเหนียวนำมีจำนวนรอบ N มากเพื่อให้ได้กำลังงานสูงๆ $P_c = (NI_c)^2 R_s$ โดยที่มียุทธศาสตร์จากความต้านทานของขดลวดเหนียวนำต่ำๆ $P_c = I_c^2 R_c$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

4.2 วงจรกำลัง

วงจรกำลังเป็นวงจรที่มีกระแสและแรงดันสูงทำหน้าที่ถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าจากด้านอินพุต 110 V(AC) 50Hz ไปยังโหลดหลักการพื้นฐานคือรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 110 V(AC) 50 Hz แปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรฟลูบริดจ์เรกติไฟร์ นำแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนี้จ่ายให้กับอินพุตฟลูบริดจ์อินเวอร์เตอร์สำหรับฟลูบริดจ์อินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่เป็นสวิทช์ที่ความถี่สูง จะใช้เพาเวอร์มอสเฟตเพราะทำหน้าที่เป็นสวิทช์ที่ความถี่สูงได้ดี เมื่อผ่านวงจรฟลูบริดจ์อินเวอร์เตอร์แล้วสัญญาณที่ได้ทางด้านเอาท์พุทเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม ส่วนสัญญาณกระแสจะเป็นรูปไซน์ จากนั้นนำแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าผ่านวงจรรีโซแนนท์ที่ประกอบด้วยตัวคาปาซิเตอร์และตัวอินดักเตอร์ซึ่งประกอบอยู่ในโหลดขดลวดที่โหลด



รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรกำลัง

ส่วนประกอบของวงจรกำลัง

- 1) วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier)
- 2) วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ (Full-Bridge Inverter)

4.2.1 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier)

วงจรเรียงกระแสจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือบริดจ์ไดโอดและตัวเก็บประจุกรองแรงดัน โดยบริดจ์ไดโอดที่เลือกใช้นั้นมีพิกัด 35A, 800V ส่วนค่าพิกัดของตัวเก็บประจุกรองแรงดันที่ใช้สามารถคำนวณได้ โดยกำหนดให้กำลังไฟฟ้าของเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาด 2 เตา มีกำลังไฟฟ้าต้านเอาต์พุต (P_{out}) ของแต่ละเตา เท่ากับ 500 วัตต์ รวมเป็น 1000 วัตต์ โดยมีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับต้านอินพุต 110 V ที่ความถี่ 50 Hz และให้ประสิทธิภาพ (η) = 80 % ทำการคำนวณกำลังไฟฟ้าอินพุต (P_{in}) ได้จาก

$$\begin{aligned} P_{in} &= \frac{P_{out}}{\eta} \\ &= \frac{2000}{0.8} \\ &= 2500 \text{ W} \end{aligned} \quad (4.1)$$

จากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับต้านอินพุตเท่ากับ 110 V เมื่อผ่านวงจรกรองแรงดันจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{in}) ขนาดประมาณ 150 V ดังนั้นกระแสไฟตรงเฉลี่ย (I_{dc}) จึงเท่ากับ

$$\begin{aligned} I_{dc} &= \frac{P_{in}}{V_{in}} \\ &= \frac{2500}{150} \\ &= 16.67 \text{ A} \end{aligned} \quad (4.2)$$

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

$$\begin{aligned} C &= \frac{I_{dc} \Delta t}{\Delta V_{r(p-p)}} \\ &= \frac{I_{dc} T / 2}{0.1 V_m} \\ &= \frac{16.67 \times 10 \times 10^{-3}}{0.1 \times 150 \times 2} \end{aligned} \quad (4.3)$$

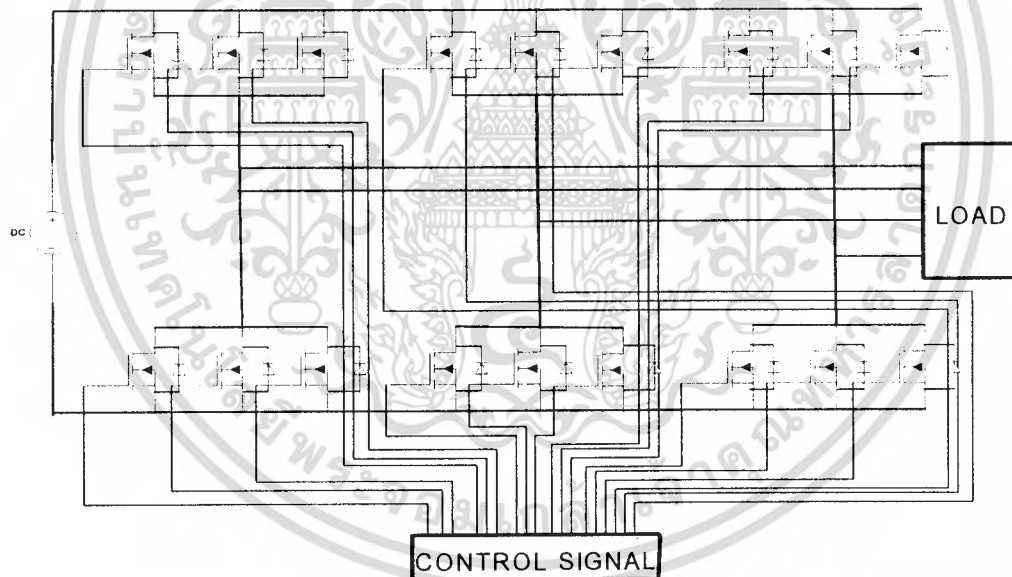
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 5567 \mu\text{F}$$

ค่าของตัวเก็บประจุกรองแรงดันที่ได้จะต้องมีค่าความจุ 5567 μF ทนแรงดันได้มากกว่า 250 V ทั้งนี้ในการใช้งานจริงนั้นจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมด้วย

4.2.2 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ (Full-Bridge Inverter)

การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาด 2 เตา นั้นจะเป็นแบบฟูลบริดจ์ (full-bridge) มีจำนวน 3 กิ่ง โดยมีกิ่งแรกเป็นกิ่งร่วม ซึ่งจะรับกระแสมากที่สุด เนื่องจากต้องรองรับกระแสจากทำงานของกิ่งที่ 2 และกิ่งที่ 3 ดังนั้นในการออกแบบ จึงต้องใช้ MOSFET เบอร์ IRFP460 ซึ่งมีพิกัด 20A, 500V ขนาดกันจำนวน 3 ตัว สามารถทนกระแสได้ 60A และเป็นกำบังกันความเสียหายที่อาจเกิดกับวงจรถัดเนื่องจากผลของการรบกวนทางไฟฟ้าและความร้อนที่เกิดขึ้นภายในวงจรซึ่งทำให้ MOSFET ทนกระแสได้น้อยลงด้วย โดยแสดงวงจรการออกแบบดังรูป

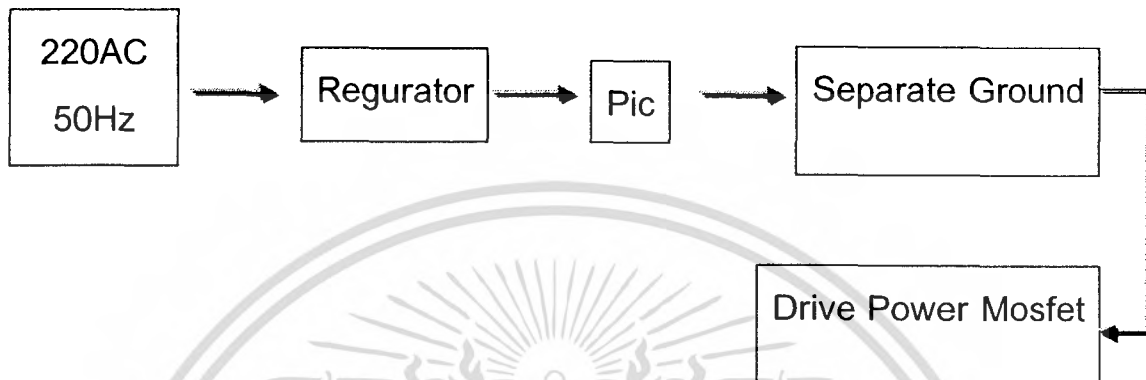


รูปที่ 4.2 รูปวงจรอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ชุดคอนโทรล

ระบบคอนโทรลคือส่วนของระบบที่ใช้สร้างสัญญาณเพื่อนำไปใช้ขับมอสเฟตให้เกิดการสวิตซ์ซึ่งเพื่อให้มอสเฟตนำกระแสและสามารถทำการปรับค่าดิวตี้ไซเคิลเพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าของฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ได้



รูปที่ 4.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุมการสร้างสัญญาณการสวิตซ์

แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

- 1 Microcontroller
- 2 Separate Ground

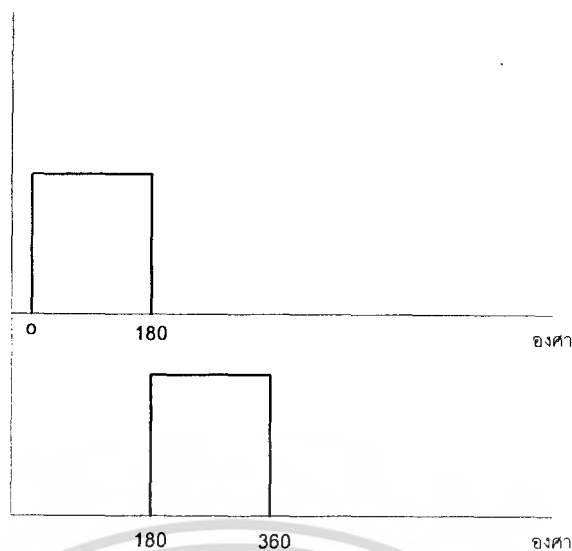
หลักการทำงาน

1. เขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณขับให้กับมอสเฟตเบิร์นลงในPIC
2. สร้างวงจรPIC
3. สร้างวงจร Separate Ground
4. เช็คสัญญาณขับมอสเฟต

4.3.1 Microcontroller

ใช้ทำหน้าที่สร้างสัญญาณขับมอสเฟตซึ่งมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยมโดยมีแรงดัน 5 โวลต์ โดยสัญญาณเอาต์พุตนั้นจะมีสี่สัญญาณซึ่งจะมีลักษณะที่เหมือนกันแต่มีค่าของคาบเวลาการทำงานไม่เหมือนกัน โดยเอาต์พุตจะมีสี่ขาของ PIC คือขาที่ 6, 7, 8, 9 ซึ่งขาที่ 6 และขา 8, 9 จะมีสัญญาณที่เหมือนกันแต่ขา 8, 9 จะสามารถปรับค่าของดิวตี้ไซเคิลได้ ส่วนขาที่ 7 นั้นจะมีลักษณะของสัญญาณที่ต่างกับ 6, 8, 9 คือ จะมีการเริ่มต้นของสัญญาณห่างจากขา 6, 8, 9 เป็น 180 องศา ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณพัลส์จากไมโครคอนโทรลเลอร์

ในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ นั้นจะใช้ระบบ PIC มาเป็นอุปกรณ์สร้างสัญญาณซึ่ง PIC ที่ใช้นั้นจะพิจารณาเลือกใช้เบอร์ 16F628A เพราะมีคุณสมบัติในการทำงานที่เหมาะสม โดยมีรีจิสเตอร์ในการทำงานที่ไม่มากและน้อยจนเกินไปและสามารถเขียนโปรแกรมที่ง่ายต่อการทำงาน และมีราคาถูก

คุณสมบัติของ 16F628A

1. ซีพียูเป็นแบบ RISC (Reduce Instruction-Set Computer) มีคำสั่งใช้เพียง 35 คำสั่ง
2. ความถี่สัญญาณนาฬิกา ตั้งแต่ไฟตรงถึง 20 MHz
3. ขนาดหน่วยความจำโปรแกรม 2 กิโลเวิร์ด
4. หน่วยความจำแรมข้อมูล 224 ไบต์
5. หน่วยความจำข้อมูลอ้อีพรอม 128 ไบต์
6. ดอปสนองแหล่งกำเนิดอินเตอรัปต์ได้ 10 แหล่ง
7. มีสแต็ก 8 ระดับ
8. มีวงจรเพาเวอร์อนรีเซท (POR), เพาเวอร์อัปไทเมอร์ (PWRT) และ ออสซิลเลเตอร์สตาร์ทอัปไทเมอร์ (OST)
9. มีวอตช์ด็อกไทเมอร์ (WDT) ที่มีวงจรออสซิลเลเตอร์ในตัว ทำให้มีความน่าเชื่อถือในการทำงานสูง
10. เลือกป้องกันข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล และเลือกระดับการป้องกันได้
11. เลือกใช้วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาได้ 6 หลัก

11.1 โหมด EC ใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.2 โหมด ER ใช้ตัวต้านทานภายนอก

11.3 โหมด INTRC ใช้วงจร RC ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ มี 2 ความถี่ให้

เลือก

11.4 โหมด LP ใช้คริสตอลพลังงานต่ำ ความถี่สูงสุดไม่เกิน 200 kHz

11.5 โหมด XT ใช้คริสตอล ความถี่ตั้งแต่ 100 kHz สูงสุดไม่เกิน 4 MHz

11.6 โหมด HS ใช้คริสตอลความถี่สูง สูงสุดไม่เกิน 20 MHz

12. สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5 โวลต์ได้

13. ไฟเลี้ยง +3 ถึง +5.5 โวลต์

14. ขาพอร์ตปกติ 15 บิต สูงสุด 16 บิต เมื่อทำงานในโหมด INTRC และกำหนดให้

MCLR เป็นพอร์ตอินพุต

15. ไทเมอร์ 3 ตัว (ไทเมอร์ 0, ไทเมอร์ 1, ไทเมอร์ 2)

16. มีโมดูลเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อก 2 ชุด

17. มีโมดูลเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อก 2 ชุด

18. มีโมดูลแรงดันอ้างอิง

19. มีโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม USART

20. มีวงจรตรวจจ็กระดับแรงดันไฟเลี้ยงหรือบราวเอาต์ดีเท็กชัน เพื่อสร้างสัญญาณรีเซ็ตที่พียูเรียกว่า บราวเอาต์รีเซ็ต

21. การใช้พลังงานไฟฟ้า ในกรณีไม่ขับโหลด

น้อยกว่า 2 mA ที่ +5 V และสัญญาณนาฬิกา 4 MHz, 15 uA ที่ +3 โวลต์ และสัญญาณนาฬิกา 32 kHz

น้อยกว่า 1 uA ในโหมดประหยัดพลังงานหรือสแตนด์บายที่ไฟเลี้ยง +3 โวลต์

รูปแบบโปรแกรม

ในการเขียนโปรแกรมนั้นจะสามารถใช้ได้ทั้งภาษาซีและภาษาแอสเซมบลีแต่ในการทำโครงการนี้จะใช้ภาษาแอสเซมบลีเขียนซึ่งตัวโปรแกรมนั้นจะใช้โปรแกรม MPLAB ในการเขียน โดยชุดคำสั่งของโปรแกรมนั้นจะมีการเขียนดังนี้

LIST P=16F628, W=-302

TMR0	EQU	0x01	;Bank0
PORTA	EQU	0x05	
PORTB	EQU	0x06	
INTCON	EQU	0x0B	
CMCON	EQU	0x1F	
OPTION_REG	EQU	0x81	;Bank1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

TRISA      EQU      0x85
TRISB      EQU      0x86
RB4        EQU      4
RB5        EQU      5
RB6        EQU      6
RB7        EQU      7
T0IF       EQU      2
RBPU       EQU      7
__CONFIG   0x3F61

                ORG      0x0000
MAIN_PROG   MOVLW     B'00000111'
MOVWF      CMCON      ; RA0-RA3 as digital I/O
BANKSEL    TRISA
MOVLW     B'11110000'
MOVWF     TRISA      ; RA0-RA3 as Output 'LED'
BANKSEL    PORT
MOVLW     0x0F
MOVWF     PORTA
INIT_PORTB CLRf      TMR0
CLRf      PORTB
BANKSEL    TRISB
MOVLW     B'11110000' ;RB0-RB3 as Output (Pulse)
MOVWF     TRISB      ;RB4-RB7 as Input (Switch)
TMR0_SETUP MOVLW     B'11001000'
MOVWF     OPTION_REG ; Use Postscaler 1:1
BANKSEL    PORTB

MOVLW     B'00000000' ; RB4-RB7 (Switch ON ='0')
MOVWF     PORTB
LOOP      BTFSS      PORTB, RB4
GOTO     H1
BTFSS    PORTB, RB5
GOTO     L1
BTFSS    PORTB, RB6

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

GOTO          H1_H2
BTFSS        PORTB, RB7
GOTO          H1_L2

H1_H2        MOVLW      B'00001101' ; Step1
MOVWF        PORTB
MOVLW        B'11110101' ; RA0-RA3 Show LED
MOVWF        PORTA
BANKSEL      INTCON
BCF          INTCON, T0IF
BANKSEL      TMR0
MOVLW        .228
MOVWF        TMR0
BTFSS        INTCON, T0IF
GOTO          $-1
NOP
NOP
MOVLW        B'11110000' ; Dead time
MOVWF        PORTB
NOP
NOP
NOP
MOVLW        B'11110010' ; Step3
MOVWF        PORTB
BANKSEL      INTCON
BCF          INTCON, T0IF
BANKSEL      TMR0
MOVLW        .232
MOVWF        TMR0
BTFSS        INTCON, T0IF
GOTO          $-1
BTFSS        PORTB, RB4
GOTO          H1_H2
BTFSS        PORTB, RB5

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

GOTO          L1_H2
BTFSS        PORTB, RB6
GOTO          H1_H2
BTFSS        PORTB, RB7
GOTO          H1_L2
CLRF         PORTB          ; Dead time
NOP
GOTO          H1_H2

BTFSS        PORTB, RB7
GOTO          H1_L2
GOTO          H1_H2
BTFSS        PORTB, RB7
GOTO          L1_L2
GOTO          L1_H2

L1_L2        MOVLW        B'00001101' ; Step1
MOVWF        PORTB
MOVLW        B'11110101' ; RA0-RA3 Show LED
MOVWF        PORTA
BANKSEL      INTCON
BCF          INTCON, T0IF
BANKSEL      TMR0
MOVLW        .255
MOVWF        TMR0
BTFSS        INTCON, T0IF
GOTO          $-1
MOVLW        B'11110001' ; Step2
MOVWF        PORTB
BANKSEL      INTCON
BCF          INTCON, T0IF
BANKSEL      TMR0
MOVLW        .241
MOVWF        TMR0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BTFSS          INTCON, T0IF
GOTO           $-1
MOVLW         B'11110000' ; Dead time
MOVWF        PORTB
NOP
NOP
NOP
MOVLW         B'11110010' ; Step3
MOVWF        PORTB
BANKSEL      INTCON
BCF          INTCON, T0IF
BANKSEL      TMR0
MOVLW        .232
MOVWF        TMR0
BTFSS        INTCON, T0IF
GOTO         $-1
BTFSS        PORTB, RB4
GOTO         H1_L2
BTFSS        PORTB, RB5
GOTO         L1_L2
BTFSS        PORTB, RB6
GOTO         L1_H2
BTFSS        PORTB, RB7
GOTO         L1_L2
CLRF         PORTB ; Dead time
NOP
GOTO         L1_L2
MOVLW         B'00001101' ; Step1
MOVWF        PORTB
MOVLW         B'11110101' ; RA0-RA3 Show LED
MOVWF        PORTA
BANKSEL      INTCON
BCF          INTCON, T0IF
BANKSEL      TMR0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVLW      .255
MOVWF      TMR0
BTFSS      INTCON, T0IF
GOTO       $-1
MOVLW      B'11110101' ; Step2
MOVWF      PORTB
BANKSEL    INTCON
BCF        INTCON, T0IF
BANKSEL    TMR0
MOVLW      .241
MOVWF      TMR0
BTFSS      INTCON, T0IF
GOTO       $-1
MOVLW      B'11110000' ; Dead time
MOVWF      PORTB
NOP
NOP
NOP
MOVLW      B'11110010' ; Step3
MOVWF      PORTB
BANKSEL    INTCON
BCF        INTCON, T0IF
BANKSEL    TMR0
MOVLW      .232
MOVWF      TMR0
BTFSS      INTCON, T0IF
GOTO       $-1
BTFSS      PORTB, RB4
GOTO       H1_L2
BTFSS      PORTB, RB5
GOTO       L1_L2
BTFSS      PORTB, RB6
GOTO       H1_H2
BTFSS      PORTB, RB7

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

GOTO          H1_L2
CLRFB        PORTB          ; Dead time
NOP
GOTO          H1_L2

MOVLW        B'00001101'    ; Step1
MOVWF        PORTB
MOVLW        B'11110101'    ; RA0-RA3
MOVWF        PORTA
BANKSEL      INTCON
BCF          INTCON, T0IF
BANKSEL      TMR0
MOVLW        .255
MOVWF        TMR0
BTFSS        INTCON, T0IF
GOTO         $-1
MOVLW        B'11111001'    ; Step2
MOVWF        PORTB
BANKSEL      INTCON
BCF          INTCON, T0IF
BANKSEL      TMR0
MOVLW        .241
MOVWF        TMR0
BTFSS        INTCON, T0IF
GOTO         $-1
MOVLW        B'11110000'    ; Dead time
MOVWF        PORTB
NOP
NOP
NOP

MOVLW        B'11110010'    ; Step3
MOVWF        PORTB
BANKSEL      INTCON
BCF          INTCON, T0IF

```

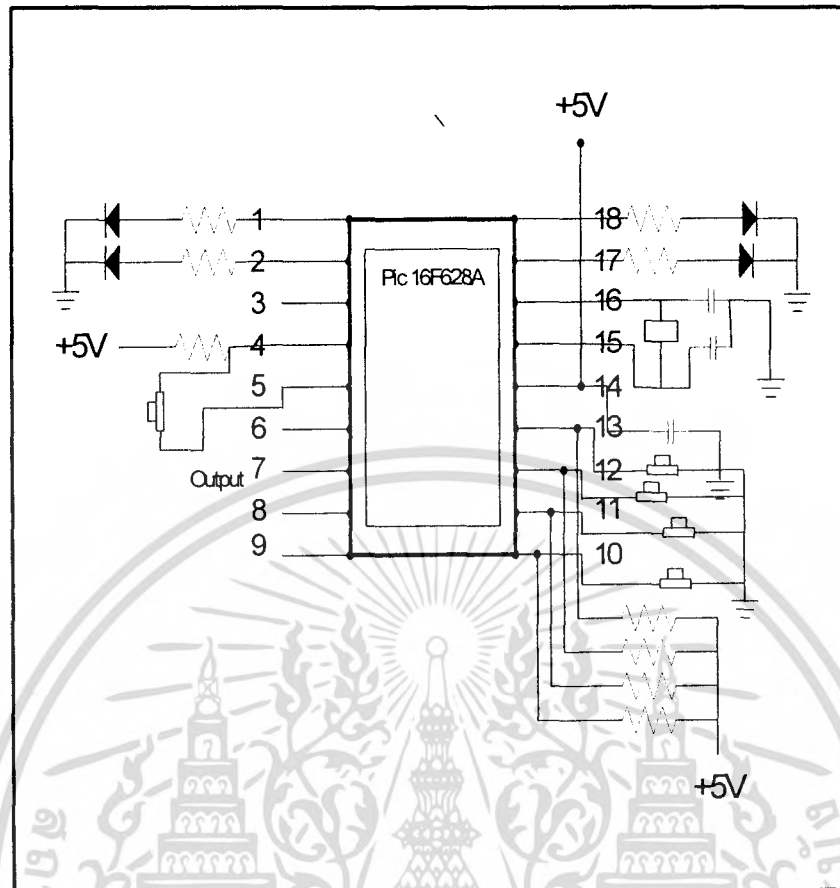
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BANKSEL      TMR0
MOVLW       .232
MOVWF       TMR0
BTFSS      INTCON, T0IF
GOTO       $-1
BTFSS      PORTB, RB4
GOTO       H1_H2
BTFSS      PORTB, RB5
GOTO       L1_H2
BTFSS      PORTB, RB6
GOTO       L1_H2
BTFSS      PORTB, RB7
GOTO       L1_L2
CLRF       PORTB ; Dead time
NOP
GOTO       L1_H2
END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 รูปวงจร PIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบของวงจร

- 1.PIC 16F628A
- 2.คาปาซิเตอร์ 0.1/50 โวลต์
- 3.คาปาซิเตอร์ 33 pF
- 4.คริสตัล 20 MHz
- 5.ความต้านทาน 4.7 kโอห์ม
- 6.หลอด LED
- 7.Push Button Switch
- 8.ความต้านทาน 10k โอห์ม
- 9.ความต้านทาน 510 โอห์ม

4.3.2 Separate Ground

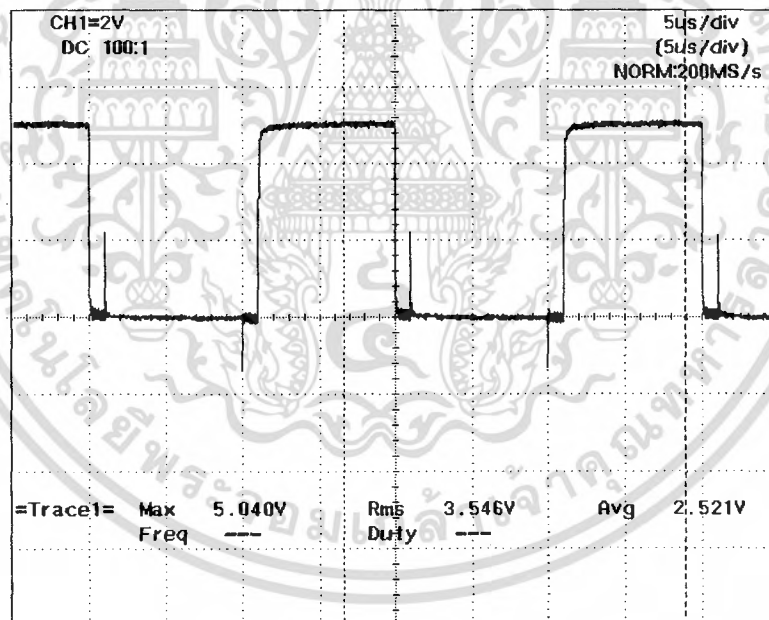
วงจร Separate Ground นั้นจะทำหน้าที่ในการแยกกราวด์ด้าน PIC คือด้านหน้า หม้อแปลงแยกกราวด์กับด้านหลังของหม้อแปลงแยกกราวด์จุดประสงค์เพื่อป้องกันอุปกรณ์ ด้าน PIC เสียในขณะที่มีแรงดันและกระแสย้อนกลับจากชุดวงจรพาวเวอร์เสียหายและหน้าที่อีกด้านคือช่วยเพิ่มค่าแรงดันของสัญญาณขั้วมอสเฟตที่มาจาก PIC ให้สามารถนำไป ขั้วมอสเฟตได้โดยในการทดลองนี้มีค่าเป็น 11 โวลต์

ในวงจรของ Separate Ground จะมีทั้งหมด 6 ชุดเพราะมีจำนวนของสวิตช์ทั้งหมด 6 ชุด ซึ่งแต่ละชุดนั้นจะ ทำการต่อมอสเฟตขนานกัน 3 ตัวเพื่อให้สามารถทนกระแสตามที่คำนวณไว้ ดังนั้นสัญญาณที่ออกจาก Separate Ground แต่ละชุดนั้นจะมี 3 สัญญาณเกทและ 1 สัญญาณซอส รวมทั้งหมด 24 สัญญาณ

องค์ประกอบของวงจร

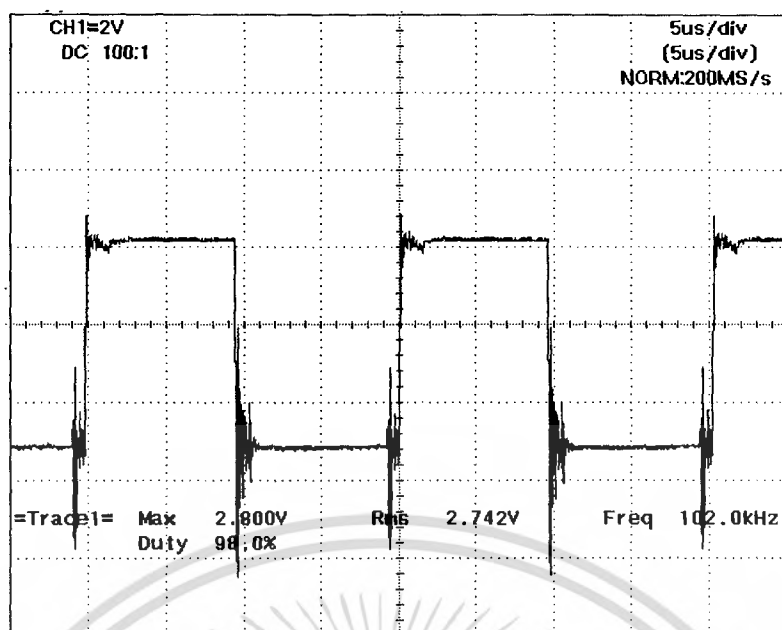
1. IRF 510
2. คาปาซิเตอร์ 4.7 μF
3. IN4148
4. IN4728
5. IN4742
6. ความต้านทาน 100 โอห์ม
7. ความต้านทาน 10 โอห์ม
8. ความต้านทาน 10 kโอห์ม

รูปสัญญาณบริเวณ ณ จุดต่างๆของชุดควบคุม

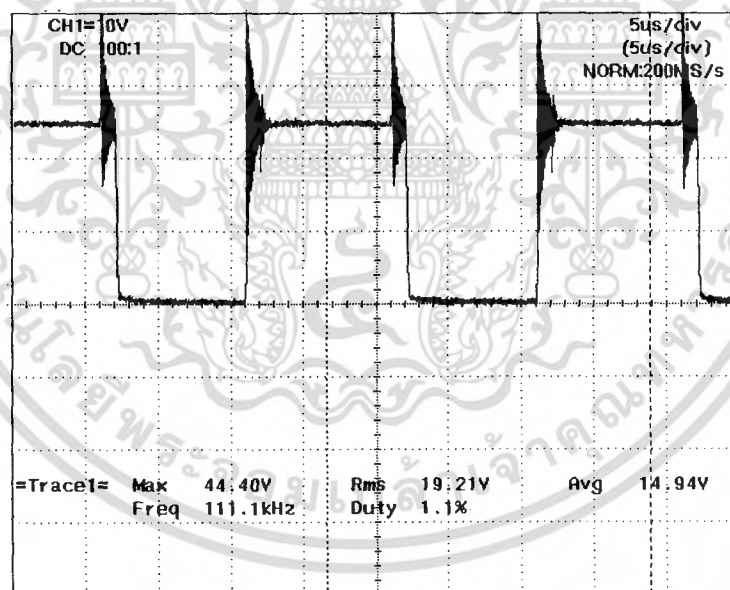


รูปที่ 4.7 รูปสัญญาณเอาต์พุทเมื่อออกจากPIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

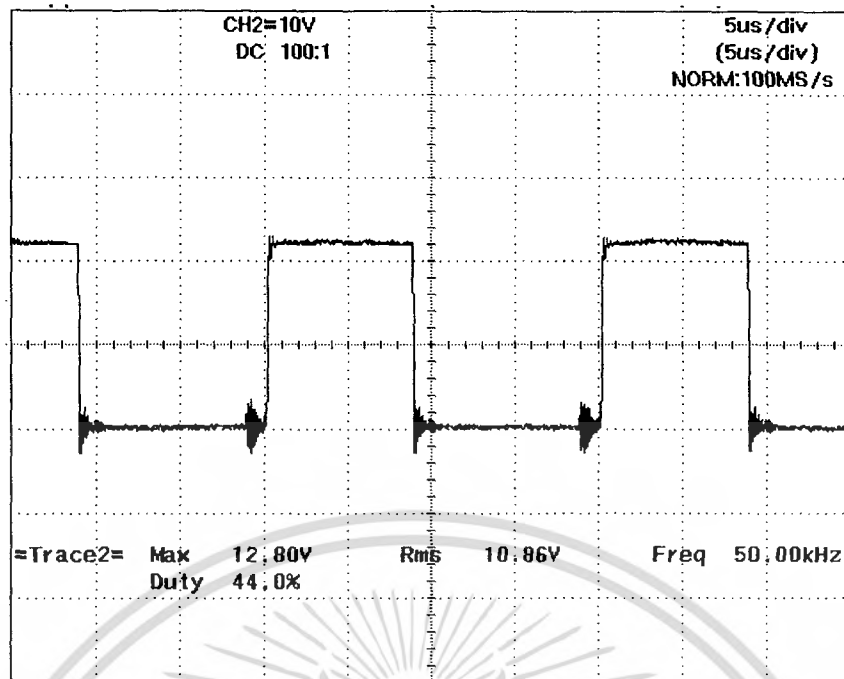


รูปที่ 4.8 รูปสัญญาณเอาต์พุตเมื่อออกจาก PIC เมื่อต่ออินเวอร์เตอร์

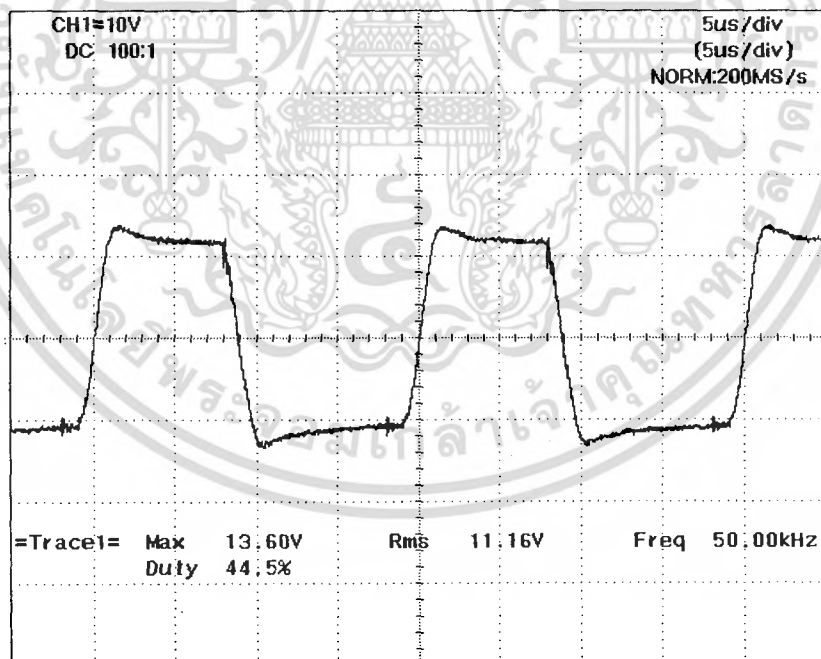


รูปที่ 4.9 รูปสัญญาณที่วัดระหว่างเดนและซอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

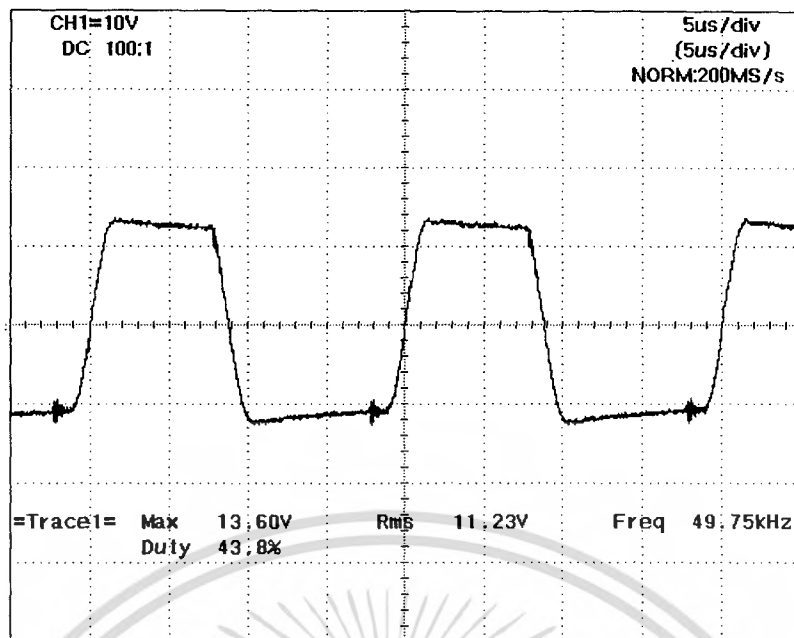


รูปที่ 4.10 รูปสัญญาณด้าน Secondary ของหม้อแปลง

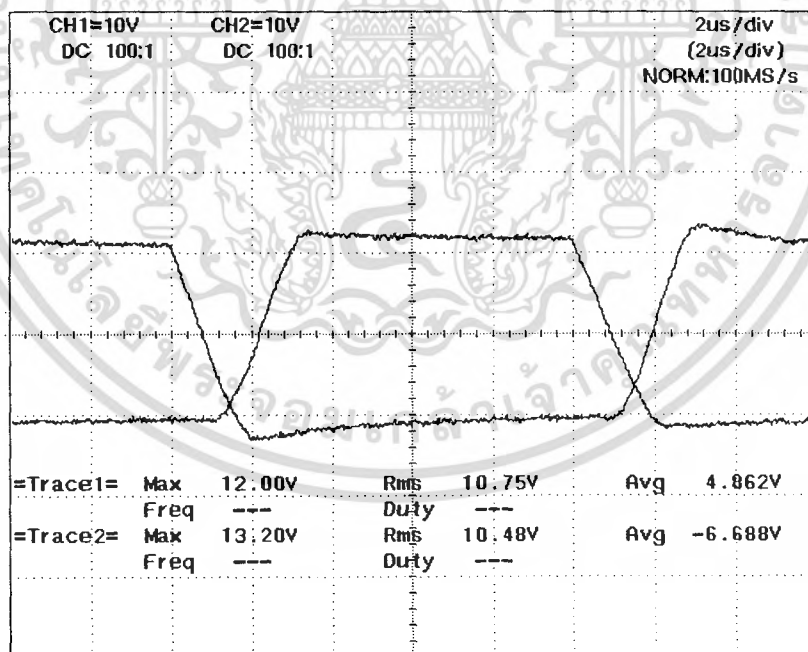


รูปที่ 4.11 รูปสัญญาณขับมอสเฟต IRFP 460 สวิตช์ 1, 4, 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



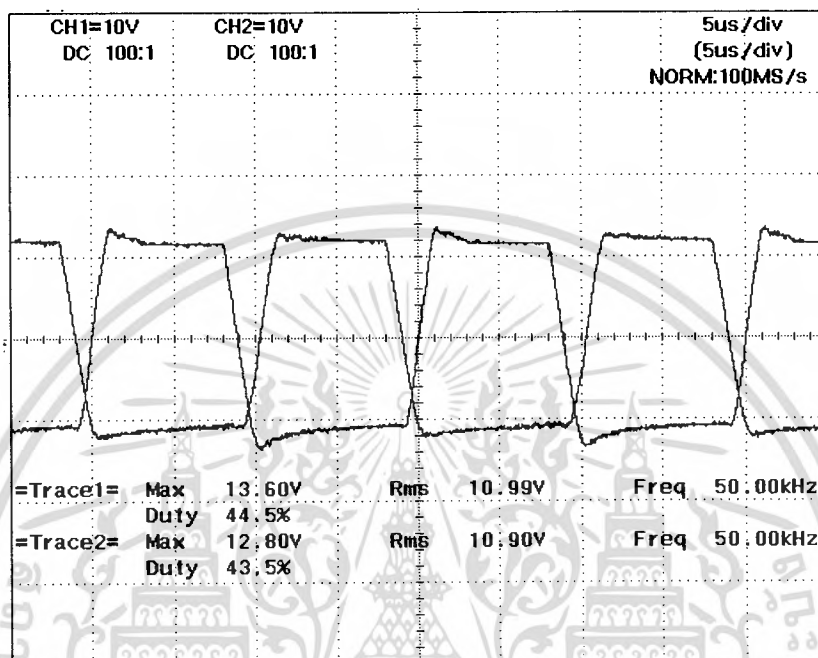
รูปที่ 4.12 รูปสัญญาณขั้วมอสเฟต IRF460 สวิตซ์ 2, 3, 5



รูปที่ 4.13 รูปสัญญาณเอาต์พุตของสวิตซ์ 1 และ 2 เปรียบเทียบกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสร้างสัญญาณขับมอสเฟตแล้วนั้นเราจะต้องเช็คค่าเดดไทม์ในกึ่งเดี่ยวก่อนที่จะมีค่าที่เหมาะสมที่ป้องกันไม่ให้เกิดการชอตบรานซ์โดยในการทำโครงการนี้มีการวัดค่าเดดไทม์ของแต่ละกึ่งดังนี้



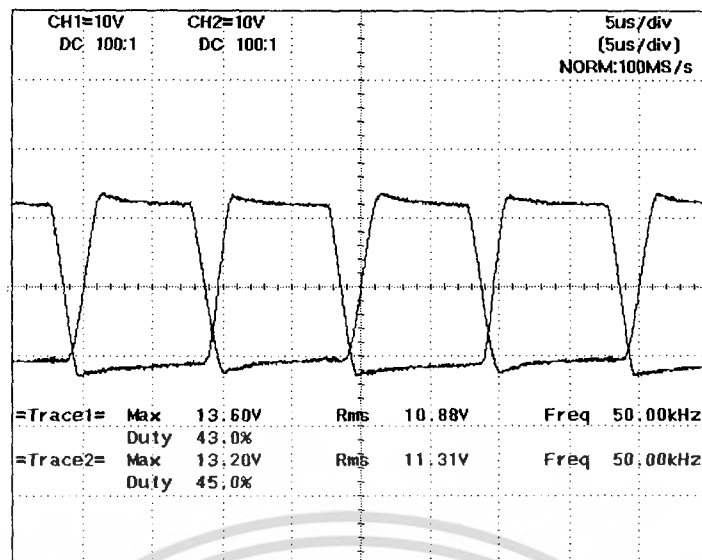
รูปที่ 4.14 รูปสัญญาณเดดไทม์กึ่ง 1

กึ่ง 1

ค่าเดดไทม์ขาขึ้น = 1.46 us

ค่าเดดไทม์ขาลง = 1 us

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

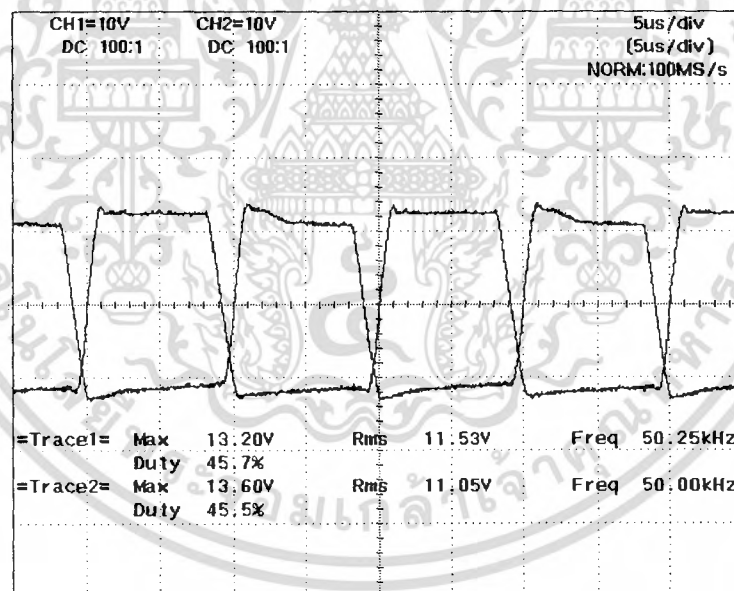


รูปที่ 4.15 รูปสัญญาณเดดไทม์กึ่ง 2

กึ่ง 2

ค่าเดดไทม์ขาขึ้น = 1.46 us

ค่าเดดไทม์ขาลง = 1 us



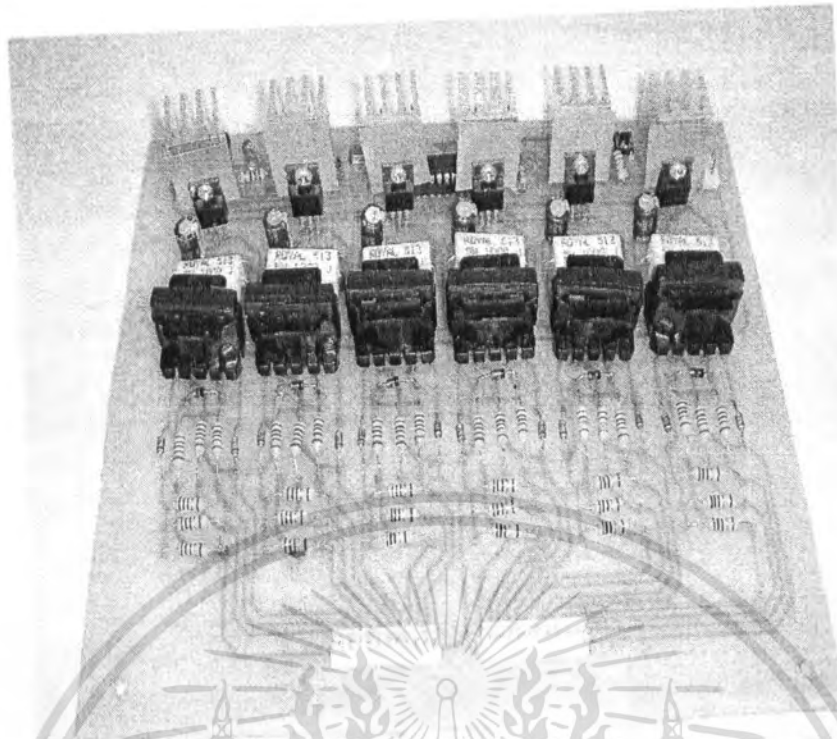
รูปที่ 4.16 รูปสัญญาณเดดไทม์กึ่ง 3

กึ่ง 3

ค่าเดดไทม์ขาขึ้น = 940 ns

ค่าเดดไทม์ขาลง = 980 ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 รูปอุปกรณ์ตัวควบคุมในทางปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า

แบ่งเป็นสามชุด

- 1.ชุดหม้อแปลงจ่าย Pic
- 2.ชุดหม้อแปลงจ่ายSeparate Ground
- 3.ชุดหม้อแปลงจ่ายพัลลวมและรีเลย์ควบคุมเตา

1.ชุดหม้อแปลงจ่าย PIC

องค์ประกอบคือ

- 1.1 หม้อแปลง 220/12 โวลต์, 2A
- 1.2 IN4002
- 1.3 คาปาซิเตอร์ 1000 uF
- 1.4 คาปาซิเตอร์ 100 uF

2.ชุดหม้อแปลงจ่ายSeparate Ground

องค์ประกอบคือ

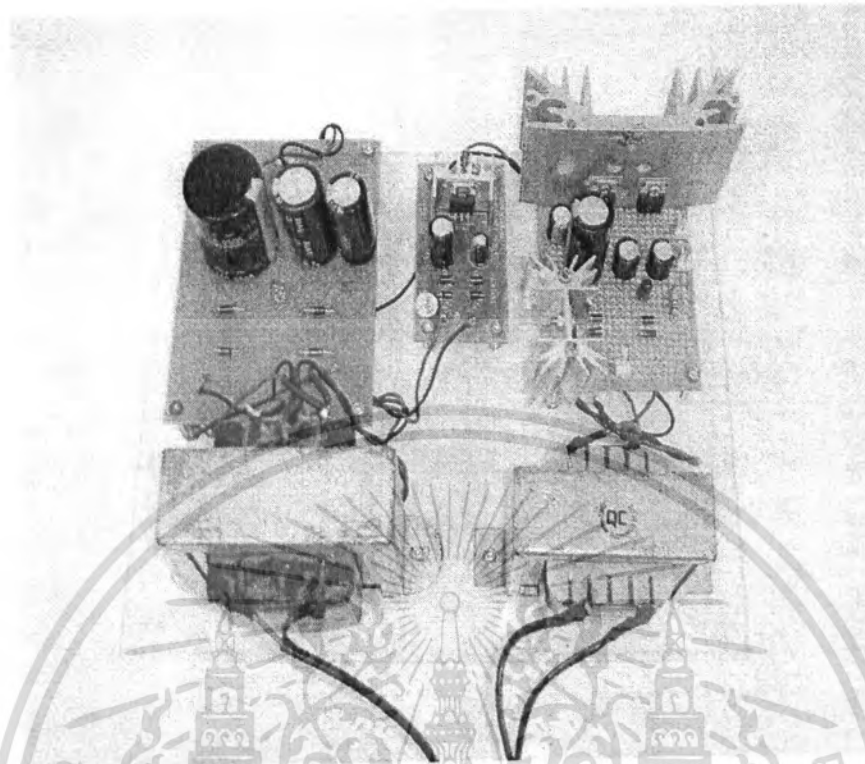
- 2.1 หม้อแปลง 220/12 โวลต์, 2A
- 2.2 IN4002
- 2.3 คาปาซิเตอร์ 10200 uF

3.ชุดหม้อแปลงจ่าย พัลลวมและรีเลย์ควบคุมเตา

องค์ประกอบคือ

- 3.1 หม้อแปลง 220/18 โวลต์, 1 A
- 3.2 Bridge Rectify
- 3.3 คาปาซิเตอร์ 220 uF
- 3.4 คาปาซิเตอร์2200 uF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 รูปอุปกรณ์แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

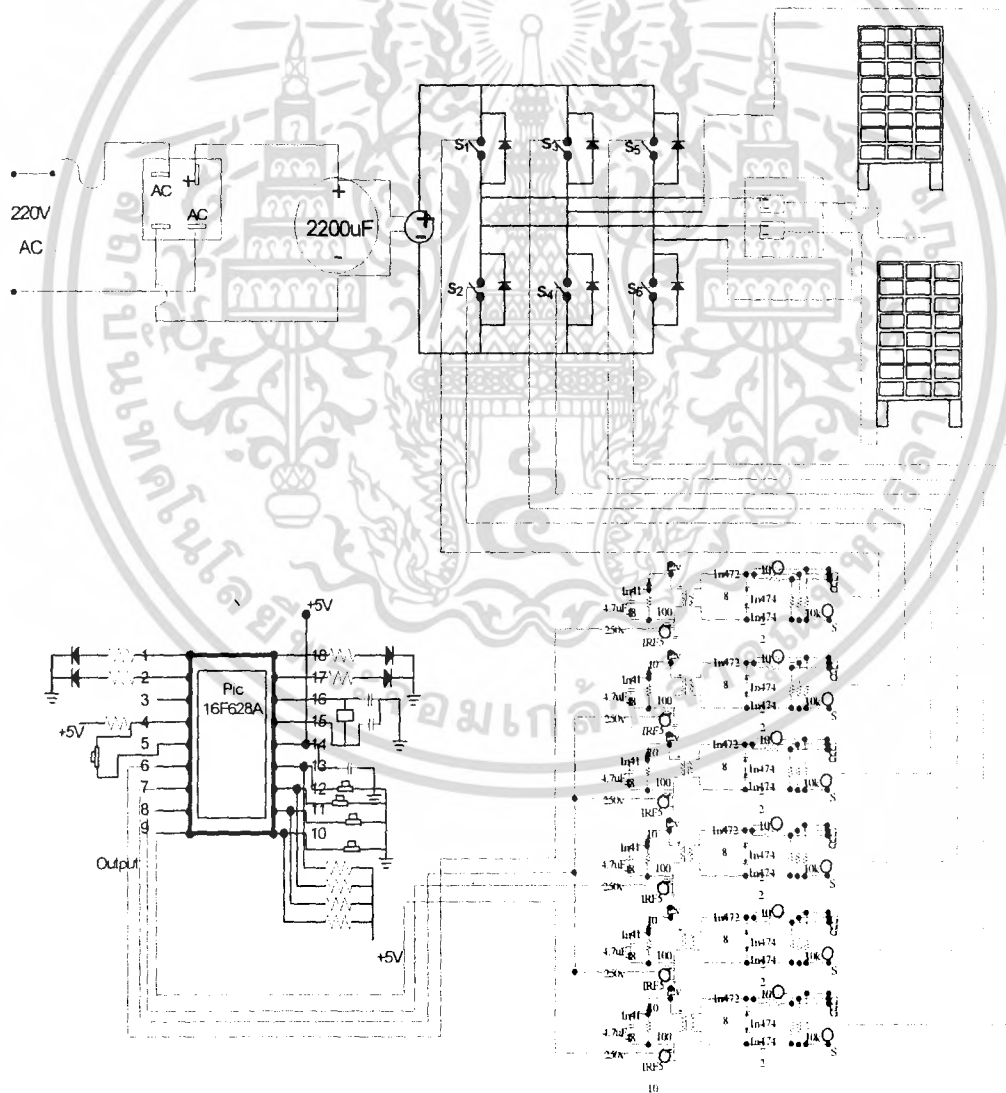
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

จากทฤษฎีและหลักการที่นำเสนอในข้างต้น ได้วิจัยและออกแบบเป็นเตาหุงต้มเหนียวน้ำหนักสองเตาซึ่งประกอบไปด้วยวงจรในภาคต่างๆ ในบทนี้จะทำการวัดค่าที่จุดต่างๆและทดสอบการทำงานพร้อมทั้งคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ โดยมีอุปกรณ์การทดสอบดังนี้

- | | |
|---------------------------|-----------|
| 1) Storage scope yagokawa | 1 เครื่อง |
| 2) สาย probe 1×10 | 1 เส้น |
| 3) สาย probe 1×100 | 1 เส้น |



รูปที่ 5.1 วงจรของเครื่องเตาหุงต้มเหนียวน้ำหนักสองเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบการทำงานนั้นจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 รูปแบบคือทดสอบโดยพิจารณาค่าความสัมพันธ์ของดิวิตตี้ไซเคิลทั้งสองรูปแบบและพิจารณาค่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาและในแต่ละการทดสอบจะแยกทำการทดสอบเป็นแบบทำงานสองเตาพร้อมกันและแบบแยกเตาทำงาน

การทดสอบที่พิจารณาค่าดิวิตตี้ไซเคิลจะแบ่งเป็นสองรูปแบบคือ

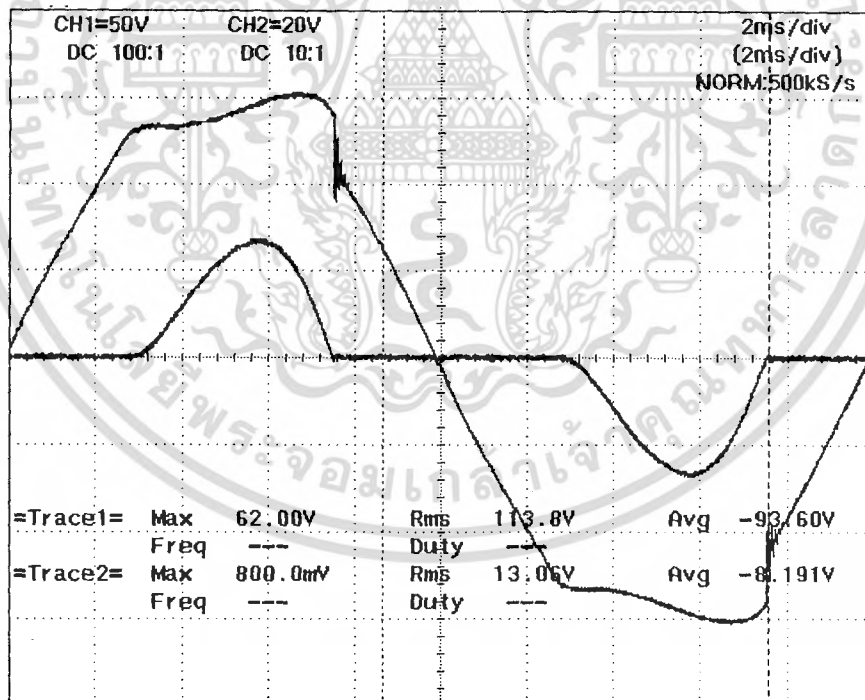
1. ค่าดิวิตตี้ไซเคิล 45%
2. ค่าดิวิตตี้ไซเคิล 16%

5.1 ทดสอบที่ดิวิตตี้ไซเคิล 45% และเปิดการทำงานสองเตาวัตต์สัญญาณที่เตา 1

ผลการทดสอบจะทำการตรวจวัดสัญญาณ 2 จุด คือ

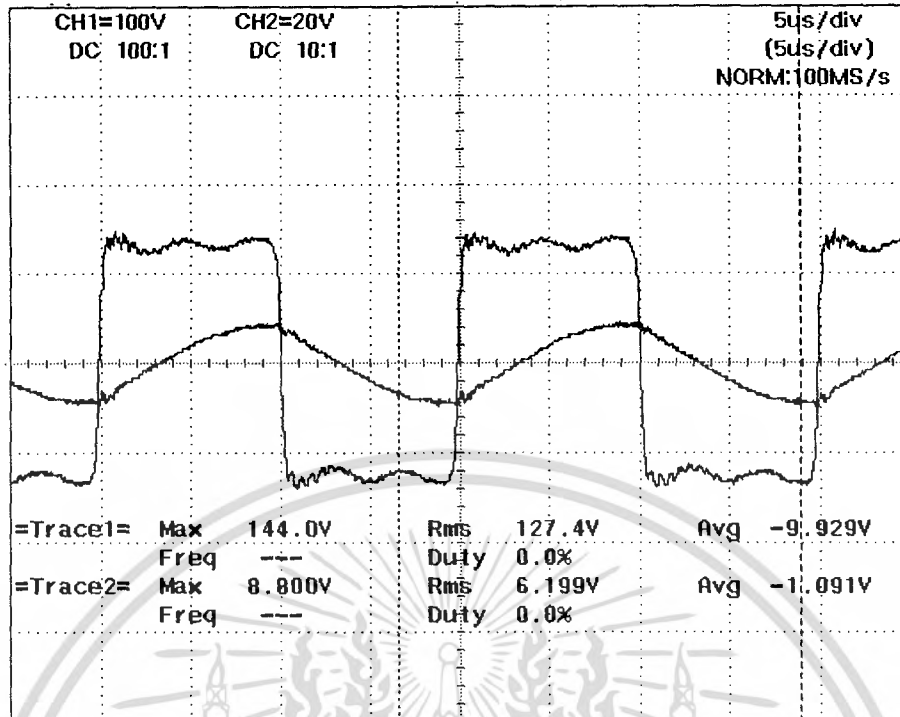
1. สัญญาณอินพุท
2. สัญญาณเอาต์พุทจาก Inverter

โดยจากการทดสอบเราจะได้รูปสัญญาณที่แรงดันต่าง ๆ ดังนี้

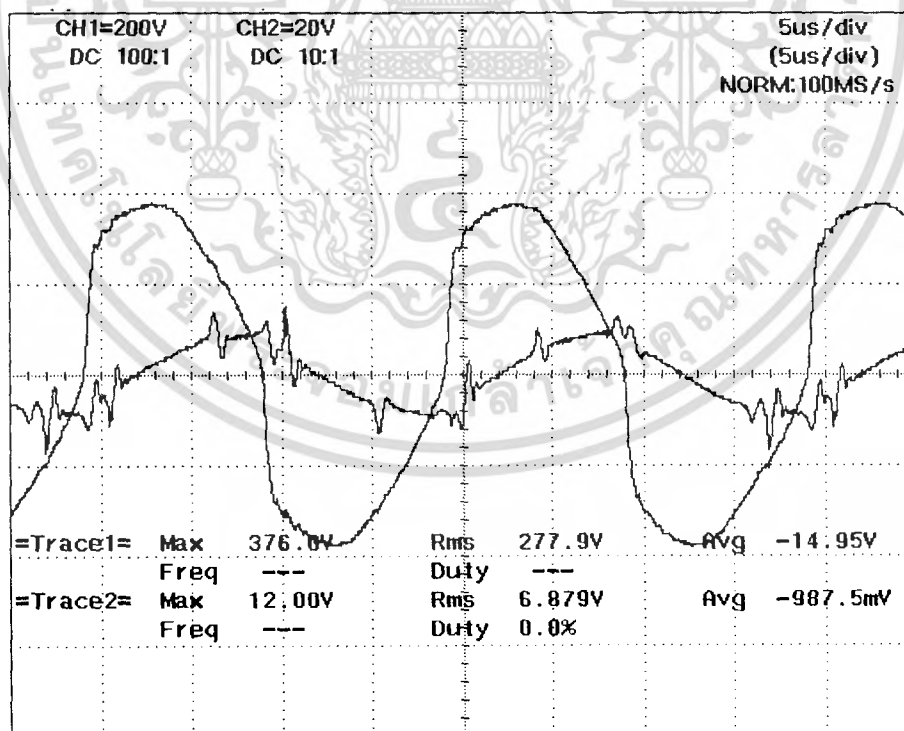


รูปที่ 5.2 รูปคลื่นแรงดันและกระแสอินพุทที่ 110 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

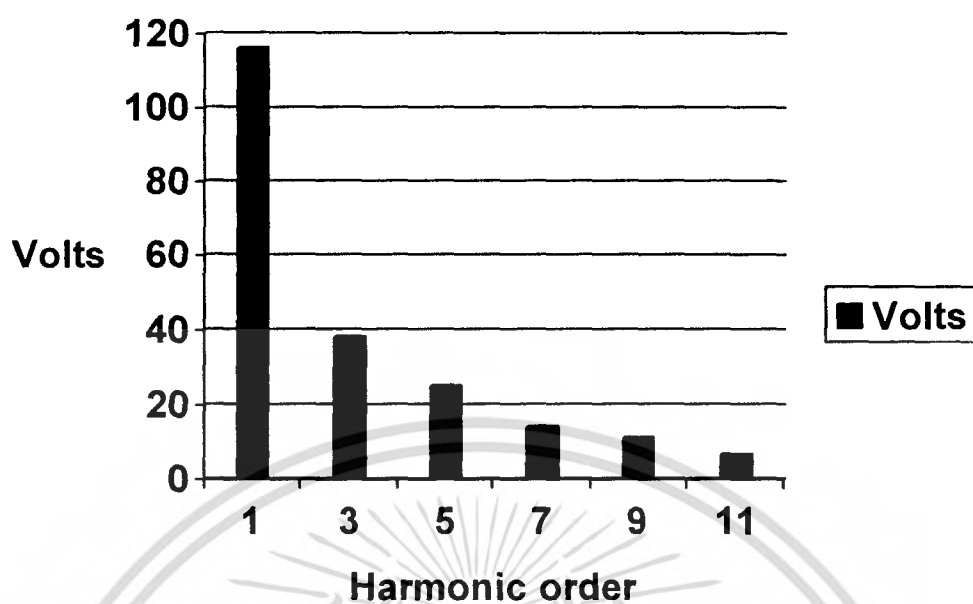


รูปที่ 5.3 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่อินเวอร์เตอร์ขณะแรงดัน 110 โวลต์

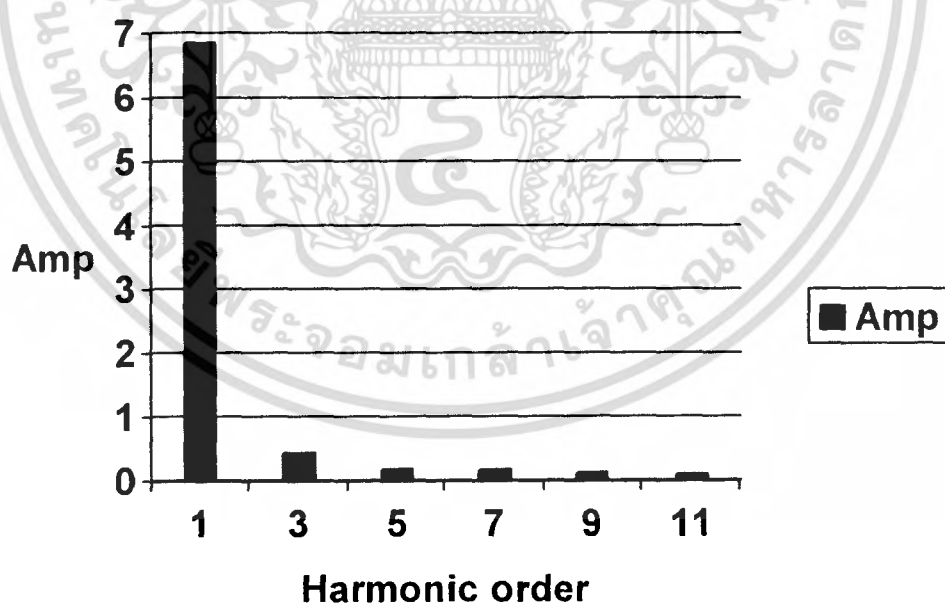


รูปที่ 5.4 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ขดลวดขณะแรงดัน 110 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 สเปกตรัมแรงดันเอาต์พุต



รูปที่ 5.6 สเปกตรัมกระแสเอาต์พุต

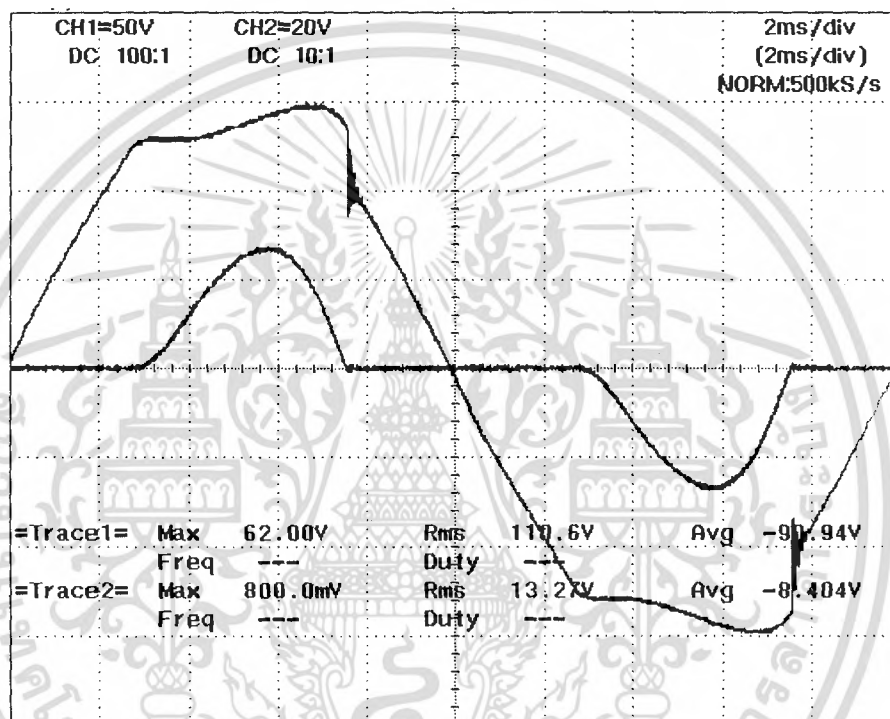
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ทดสอบที่ดิวตี้ไซเคิล 45% และเปิดการทำงานสองเตาวัตต์สัญญาณเตา 2

ผลการทดสอบจะทำการตรวจวัดสัญญาณ 2 จุด คือ

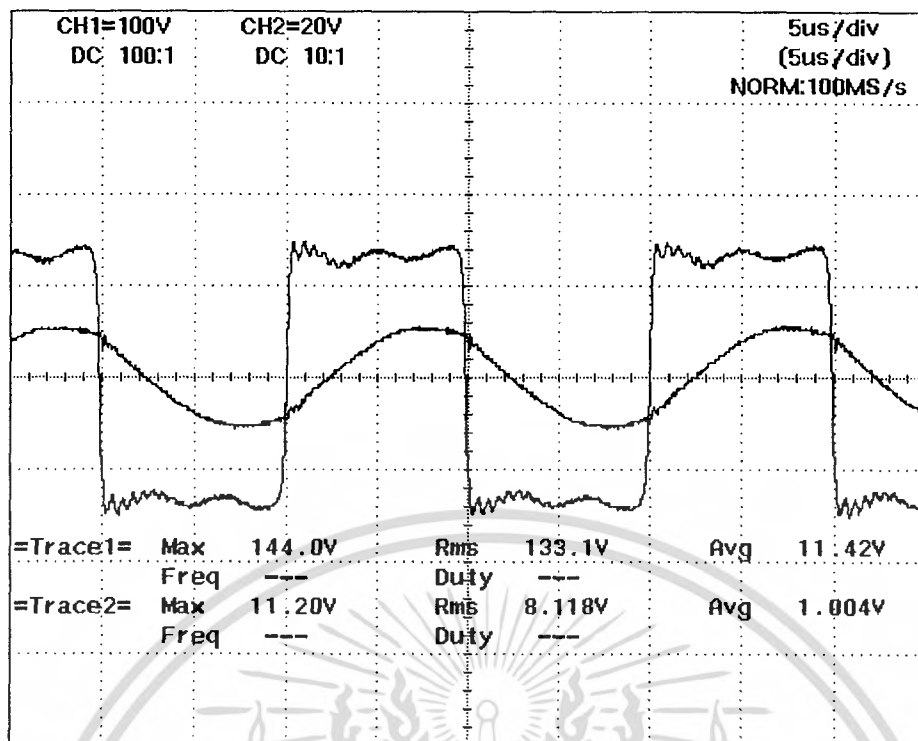
1. สัญญาณอินพุท
2. สัญญาณเอาต์พุทจากInverter

โดยจากการทดสอบเราจะได้รูปสัญญาณที่แรงดันต่าง ๆ ดังนี้

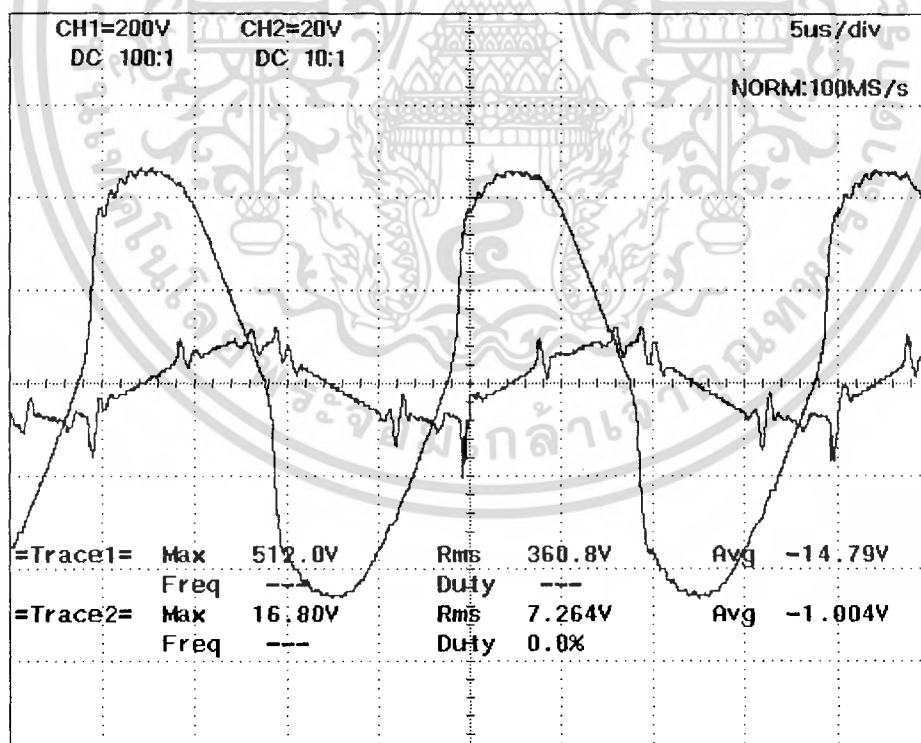


รูปที่ 5.7 รูปคลื่นแรงดันและกระแสอินพุทที่ 110 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

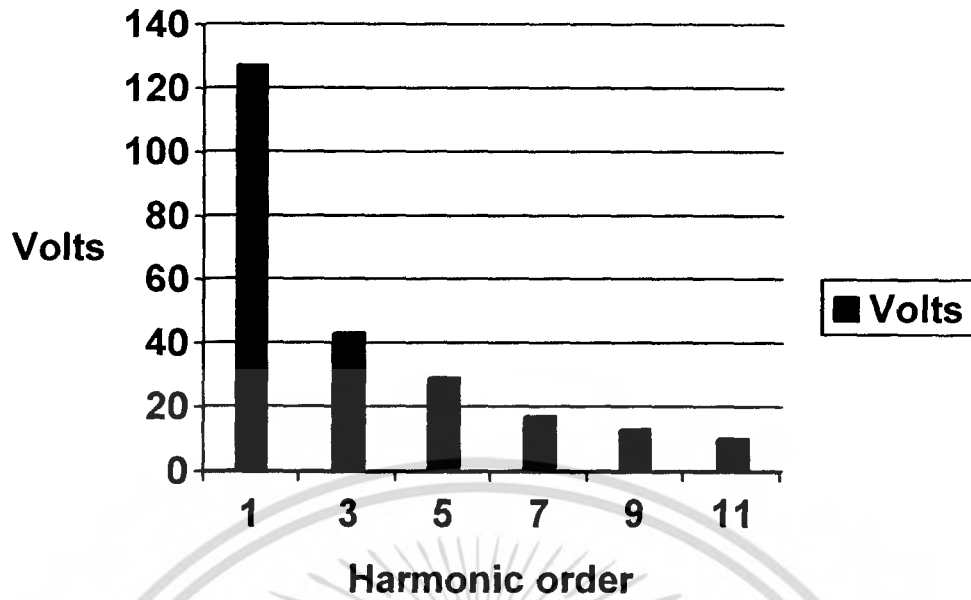


รูปที่ 5.8 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่อินเวอร์เตอร์ขณะแรงดัน 110 โวลต์

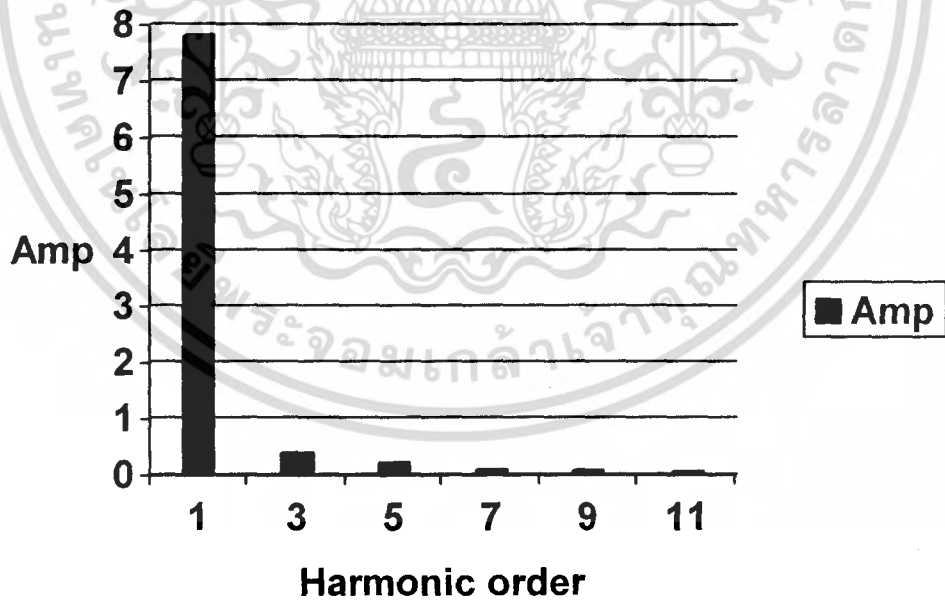


รูปที่ 5.9 รูปแรงดันและกระแสที่ขดลวดเดาสองขณะแรงดัน 110 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 สเปกตรัมแรงดันอาร์คฟุท

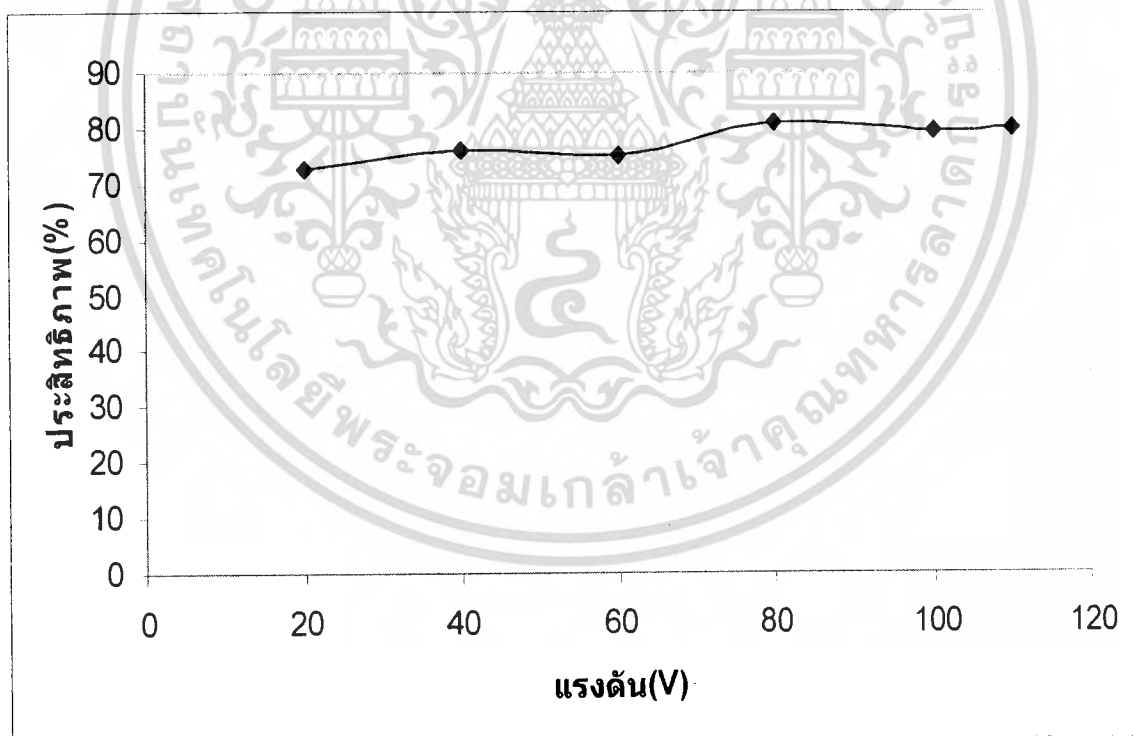


รูปที่ 5.11 สเปกตรัมกระแสอาร์คฟุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 5.1 ตารางแสดงค่าประสิทธิภาพของเตาเหนี่ยวนำสองเตา

		เตา 1	เตา 2		
แรงดัน (V)	กำลังไฟฟ้า ด้านเข้า(W)	กำลังไฟฟ้า ด้านออก(W)	กำลังไฟฟ้า ด้านออก(W)	กำลังไฟฟ้า รวม(W)	ประสิทธิภาพ(%)
20	42.94	13.75	17.42	31.17	72.58
40	171.93	62.06	68.53	130.59	75.95
60	348.96	124.10	138.59	262.69	75.27
80	629.31	212.80	296.26	509.06	80.80
100	997.29	304.98	487.72	792.70	79.48
110	1168.43	388.14	543.78	931.92	79.75



รูปที่ 5.12 กราฟประสิทธิภาพที่แรงดันต่างๆ

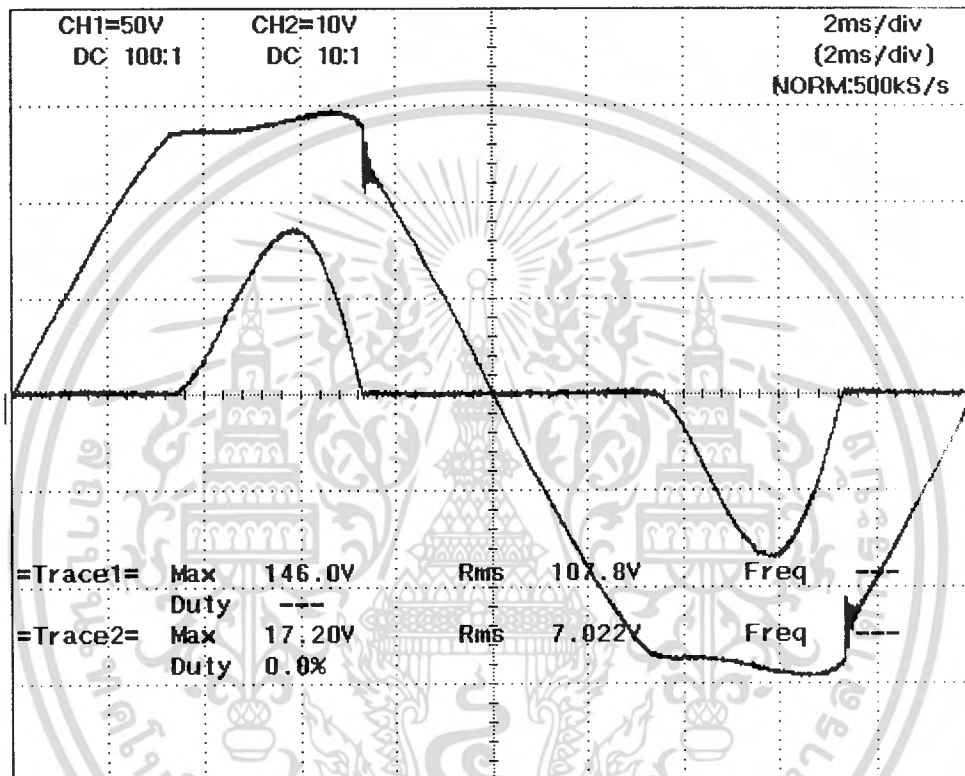
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ทดสอบที่ดิวตี้ไซเคิล 45% และเปิดการทำงานเตาเดียวคือเตา 1

ผลการทดสอบจะทำการตรวจวัดสัญญาณ 2 จุด คือ

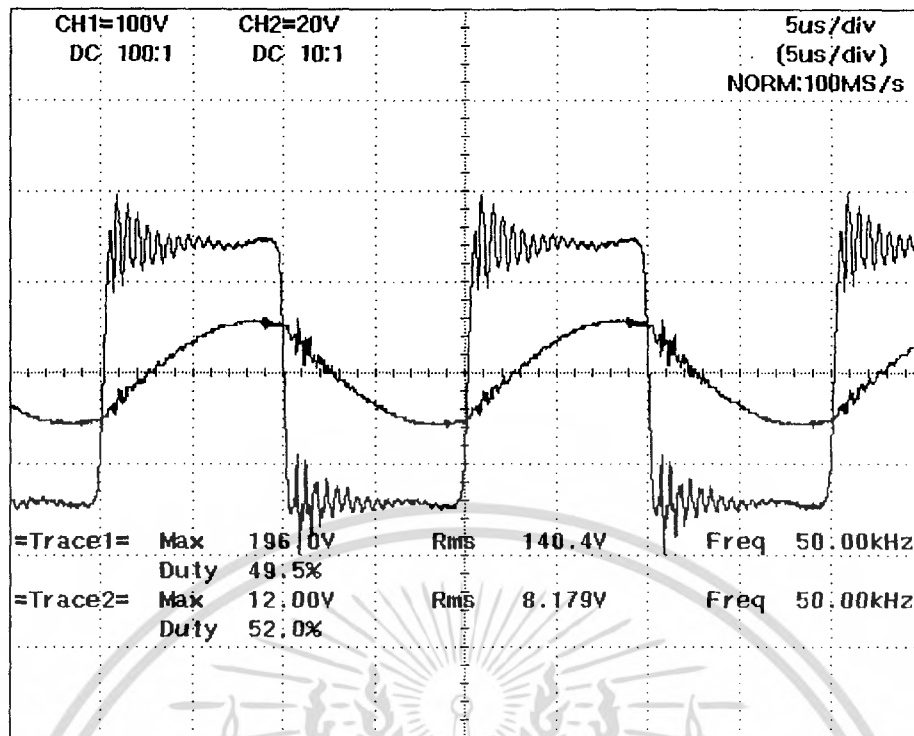
1. สัญญาณอินพุท
2. สัญญาณเอาต์พุทจากInverter

โดยจากการทดสอบเราจะได้รูปสัญญาณที่แรงดันต่างๆดังนี้

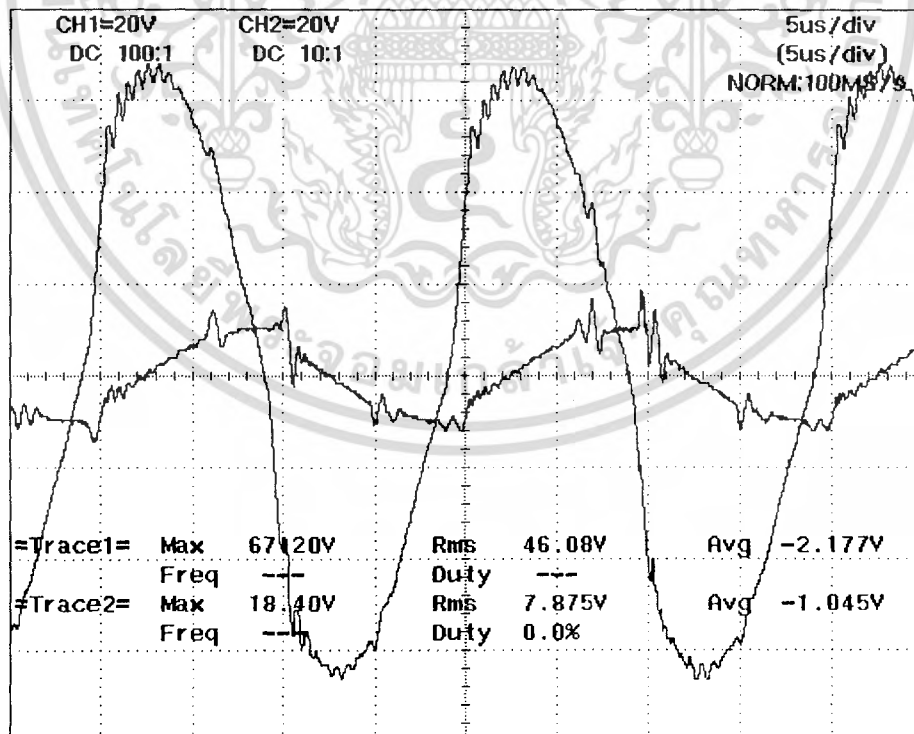


รูปที่ 5.13 รูปคลื่นแรงดันและกระแสอินพุทที่ 110 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

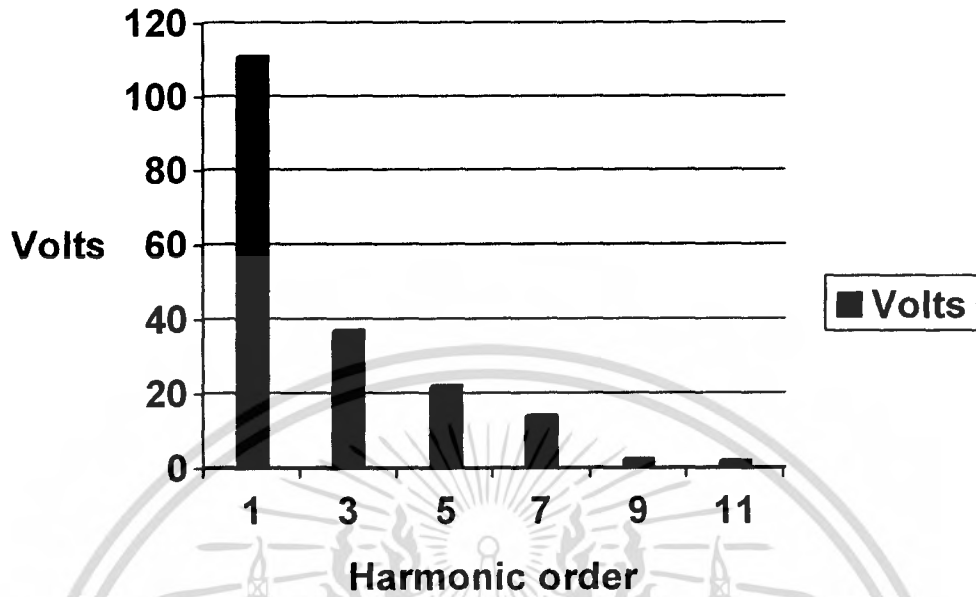


รูปที่ 5.14 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่อินเวอร์เตอร์ขณะแรงดัน 110 โวลต์

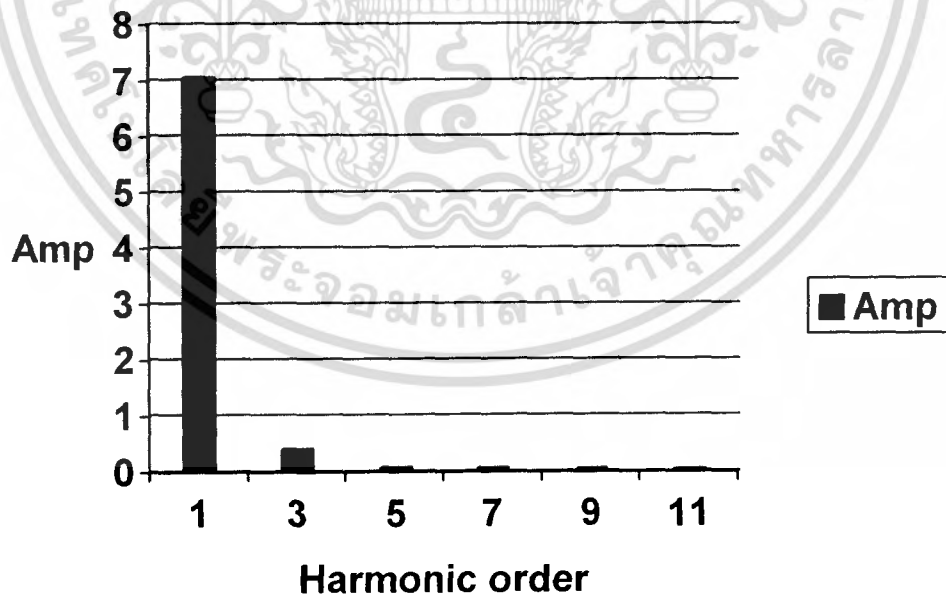


รูปที่ 5.15 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ขดลวดขณะแรงดัน 110 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 สเปกตรัมแรงดันอาร์คฟุท

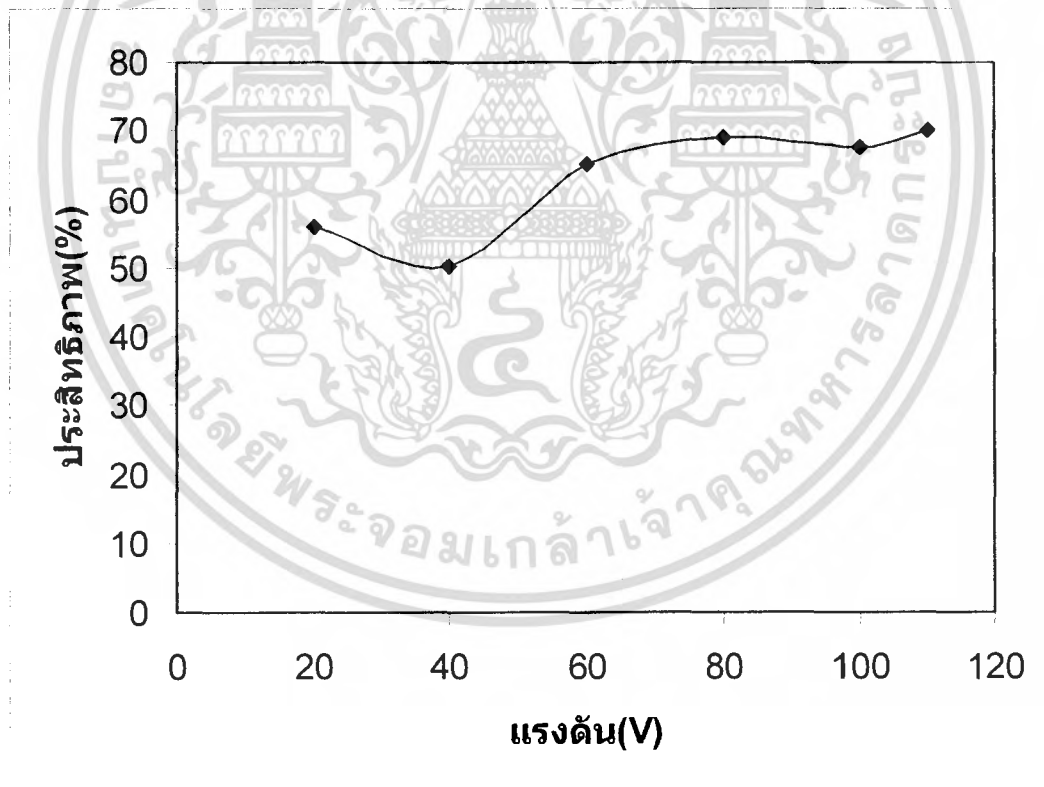


รูปที่ 5.17 สเปกตรัมกระแสอาร์คฟุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 5.2 ตารางแสดงค่าประสิทธิภาพของเตาเหนี่ยวนำสองเตาขณะเตา 1 ทำงาน

แรงดัน(V)	กำลังไฟฟ้าด้านเข้า (W)	กำลังไฟฟ้าด้านออก (W)	ประสิทธิภาพ(%)
20	20.418	11.40	55.80
40	78.315	39.24	50.10
60	171.92	111.82	65.00
80	302.54	208.31	68.85
100	474.16	321.00	67.78
110	564.05	394.83	70.12



รูปที่ 5.18 กราฟประสิทธิภาพที่แรงดันต่างๆ

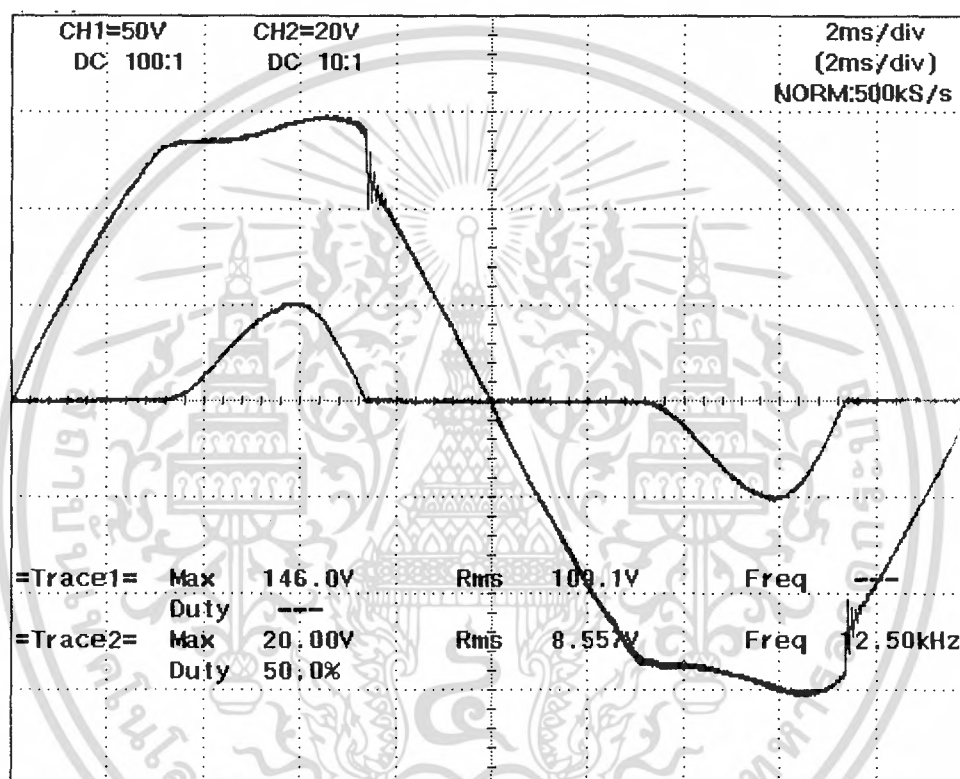
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ทดสอบที่ดิวตี้ไซเคิลไซเคิล 45% และเปิดการทำงานเตาเดียวคือเตา 2

ผลการทดสอบจะทำการตรวจวัดสัญญาณ 2 จุด คือ

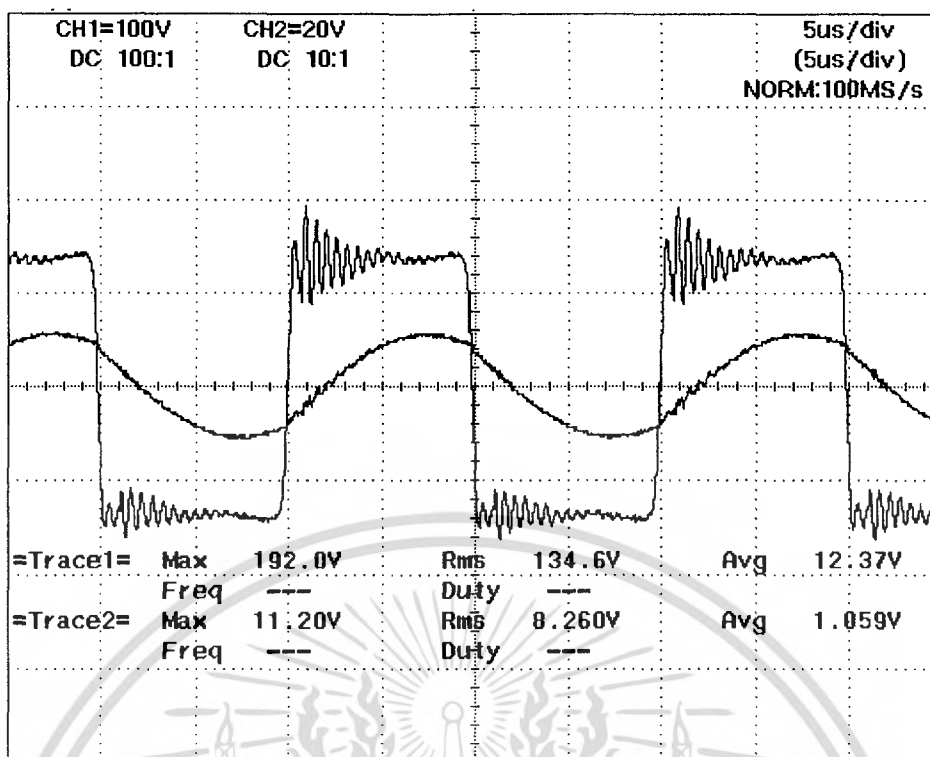
- 1.สัญญาณอินพุท
- 2.สัญญาณเอาต์พุทจากInverter

โดยจากการทดสอบเราจะได้รูปสัญญาณที่แรงดันต่างๆดังนี้

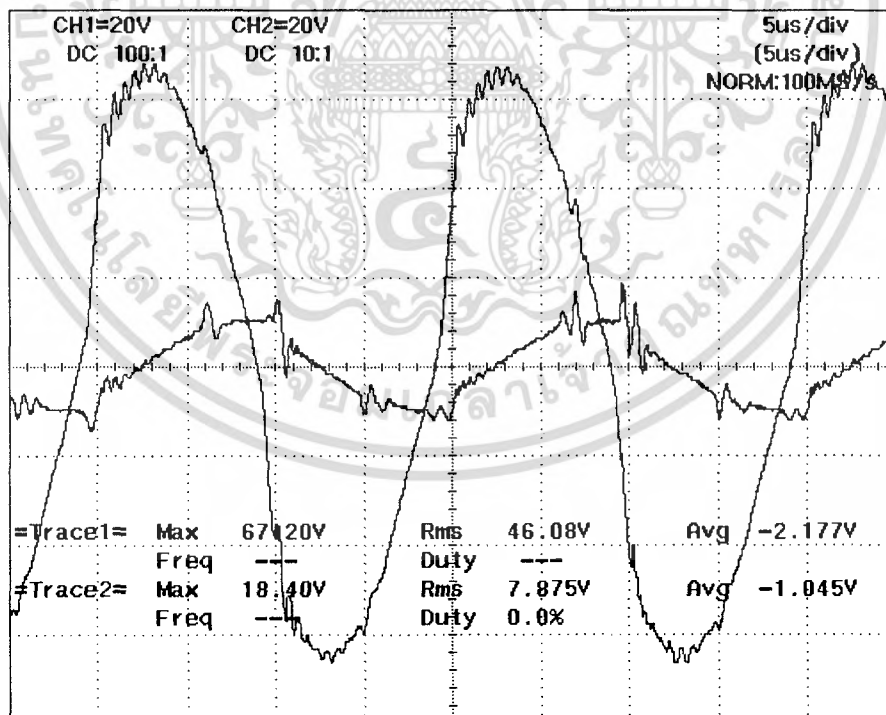


รูปที่ 5.19 รูปคลื่นแรงดันและกระแสอินพุทที่ 110 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

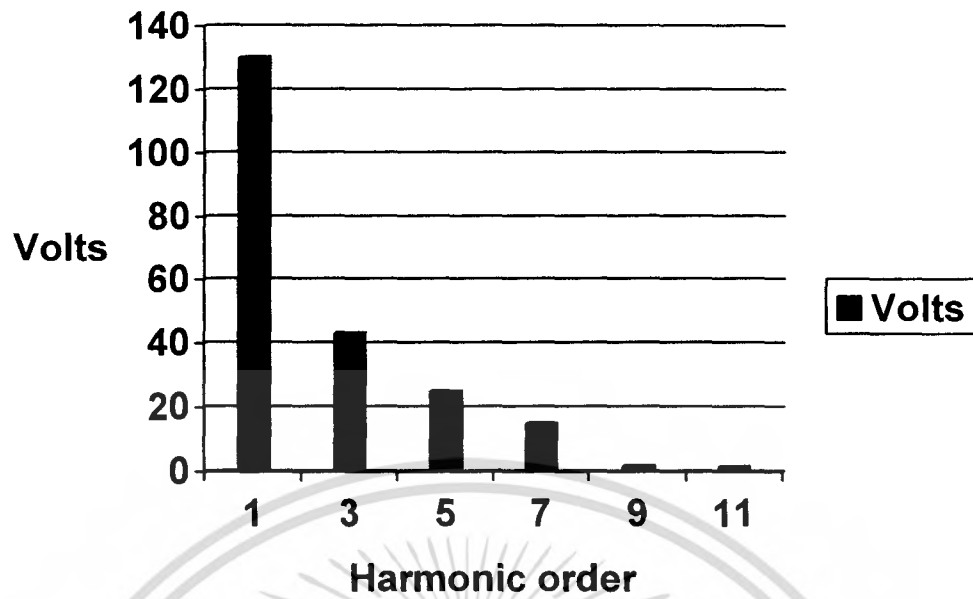


รูปที่ 5.20 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่อินเวอร์เตอร์ขณะแรงดัน 110 โวลต์

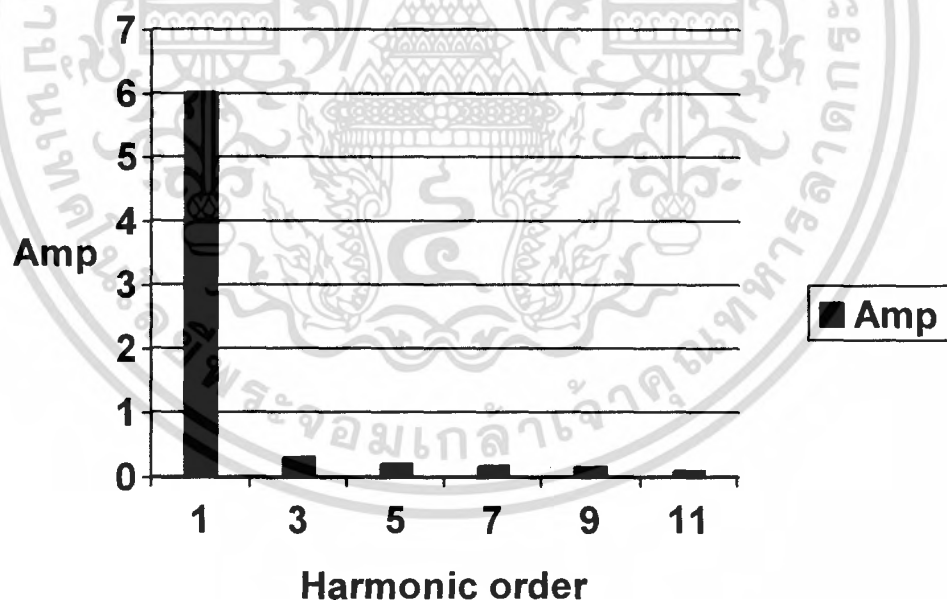


รูปที่ 5.21 รูปแรงดันและกระแสที่ขดลวดขณะแรงดัน 110 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 สเปคตรัมแรงดันเอาต์พุต

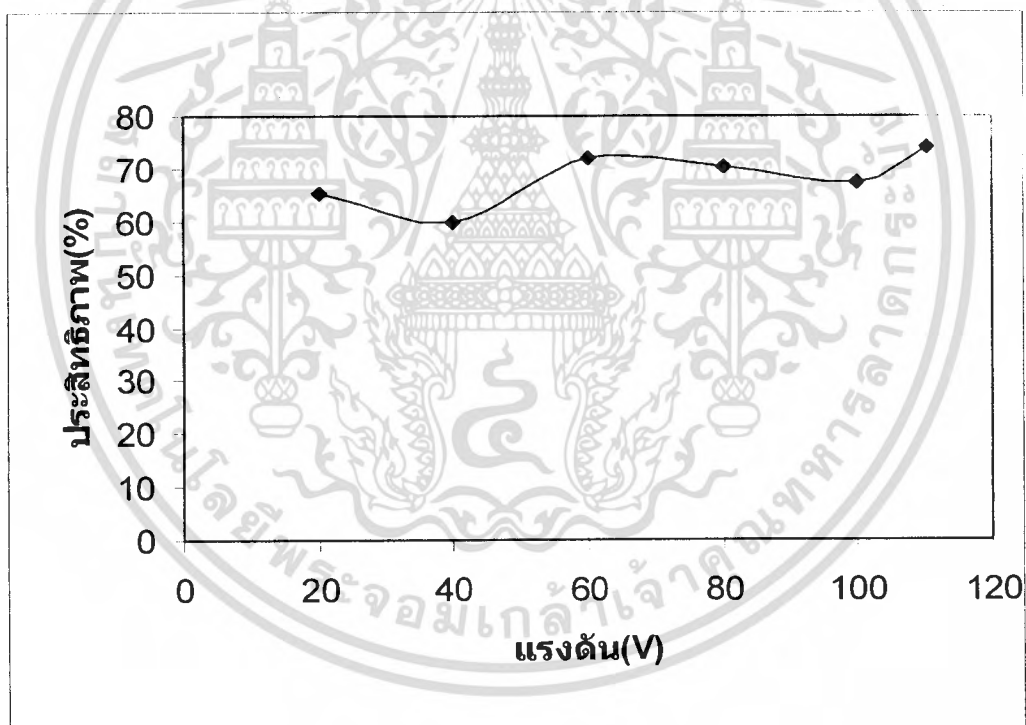


รูปที่ 5.23 สเปคตรัมกระแสเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 5.3 ตารางแสดงค่าประสิทธิภาพของเตาเหนี่ยวนำสองเตาขณะเตา 2 ทำงาน

แรงดัน(V)	กำลังไฟฟ้าด้านเข้า (W)	กำลังไฟฟ้าด้านออก (W)	ประสิทธิภาพ(%)
20	25.85	16.83	65.2
40	97.88	58.70	59.97
60	210.91	151.70	71.9
80	379.61	267.67	70.5
100	584.70	394.97	67.5
110	671.29	497.10	74.05



รูปที่ 5.24 กราฟประสิทธิภาพที่แรงดันต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

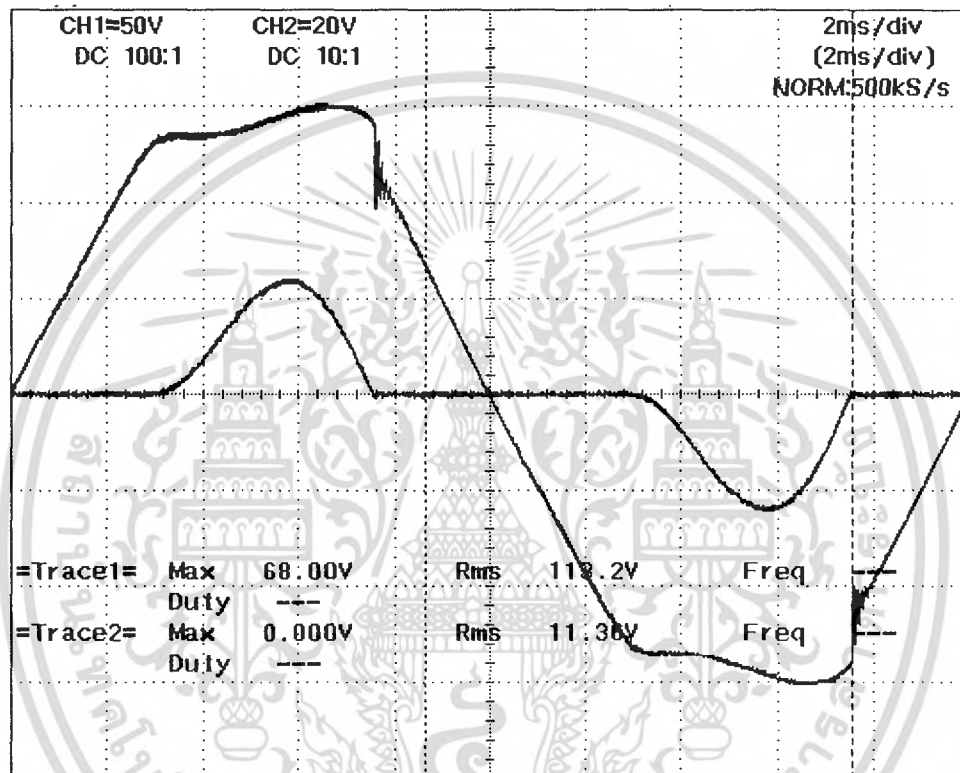
5.5 ทดสอบที่ค่าดีวีทีไอเคิลไอเคิล 16% เปิดการทำงานสองเตาวัตสัญญาณที่เตา1

ผลการทดสอบจะทำการตรวจวัดสัญญาณ 2 จุด คือ

1.สัญญาณอินพุท

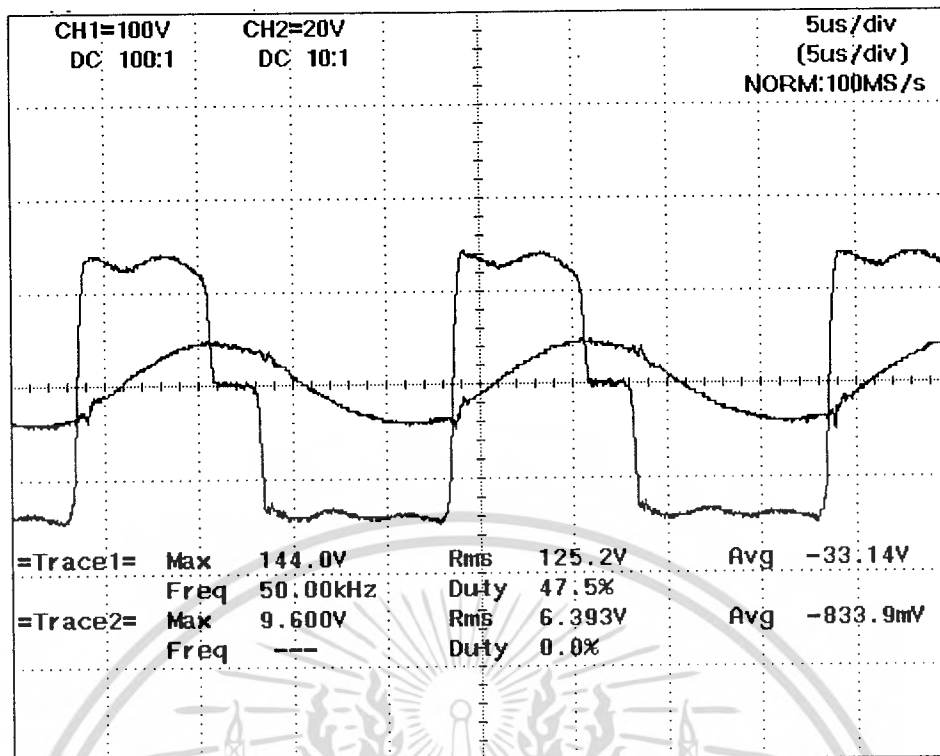
2.สัญญาณเอาต์พุทจากInverter

โดยจากการทดสอบเราจะได้รูปสัญญาณที่แรงดันต่าง ๆ ดังนี้

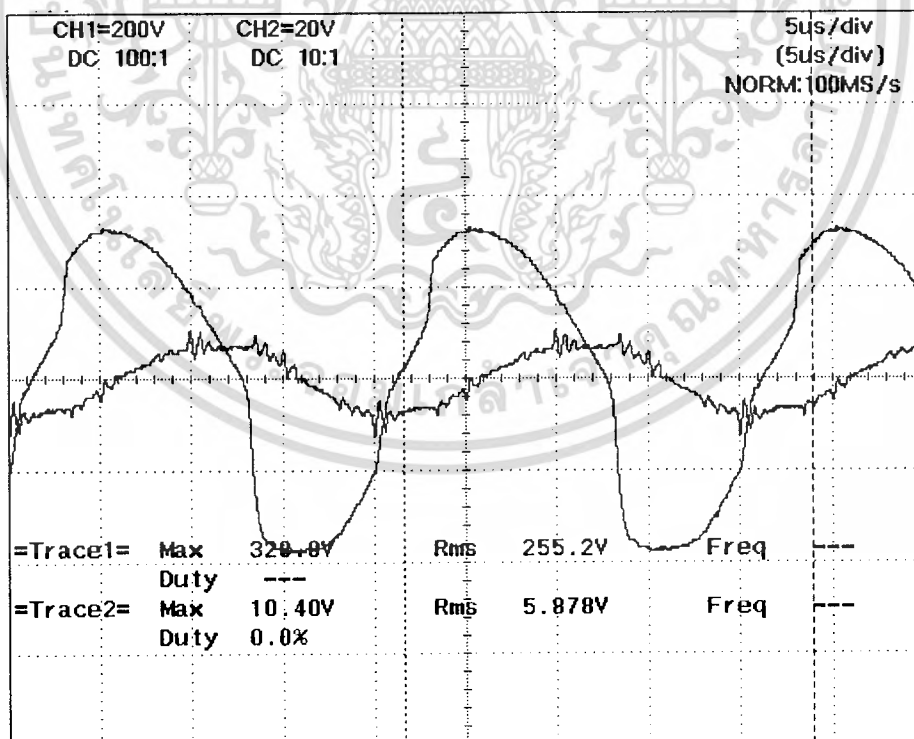


รูปที่ 5.25 รูปคลื่นแรงดันและกระแสอินพุทที่ 110 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

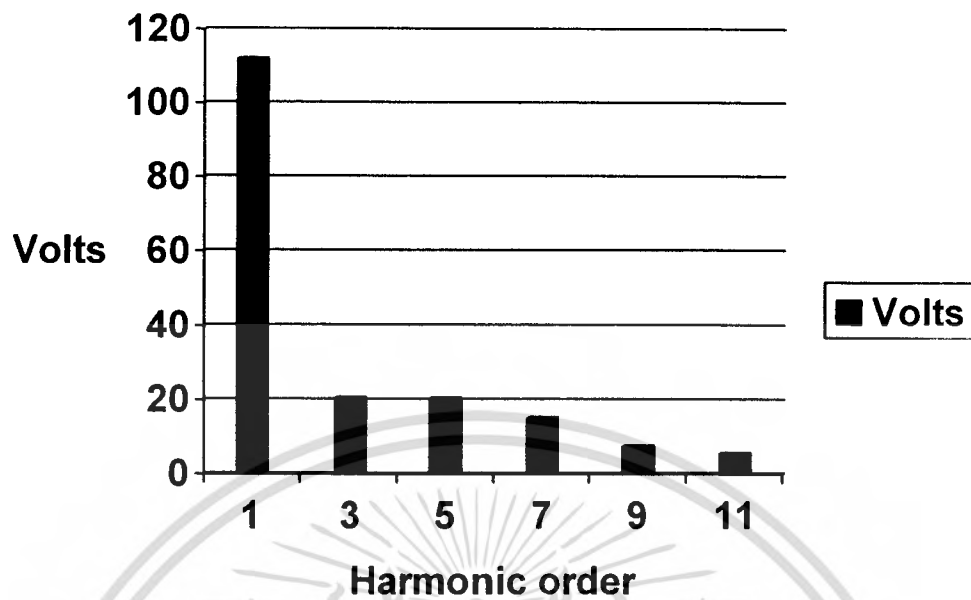


รูปที่ 5.26 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่อินเวอร์เตอร์ขณะแรงดัน 110 โวลต์

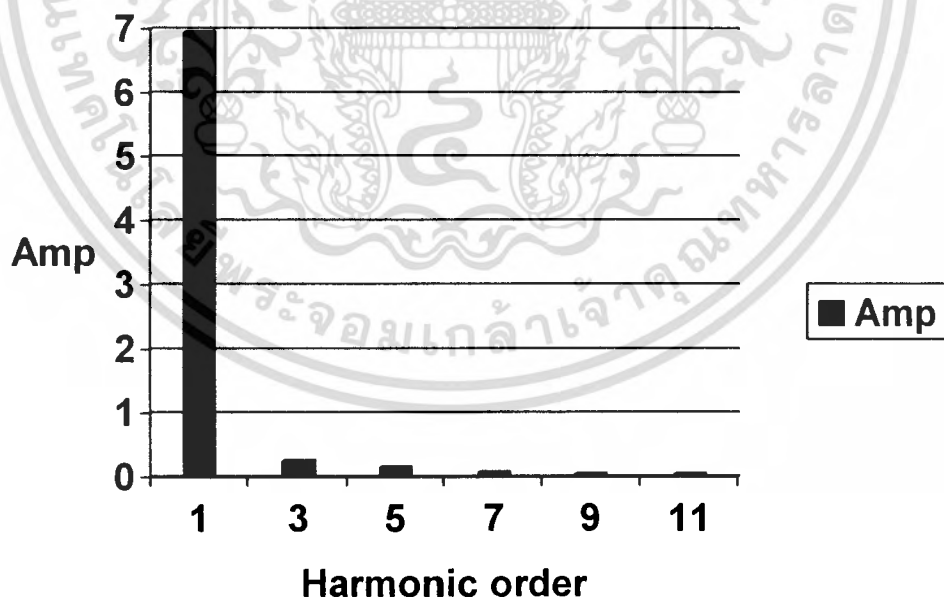


รูปที่ 5.27 รูปแรงดันและกระแสที่ขดลวดขณะแรงดัน 110 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.28 สเปกตรัมแรงดันเอาต์พุต



รูปที่ 5.28 สเปกตรัมกระแสเอาต์พุต

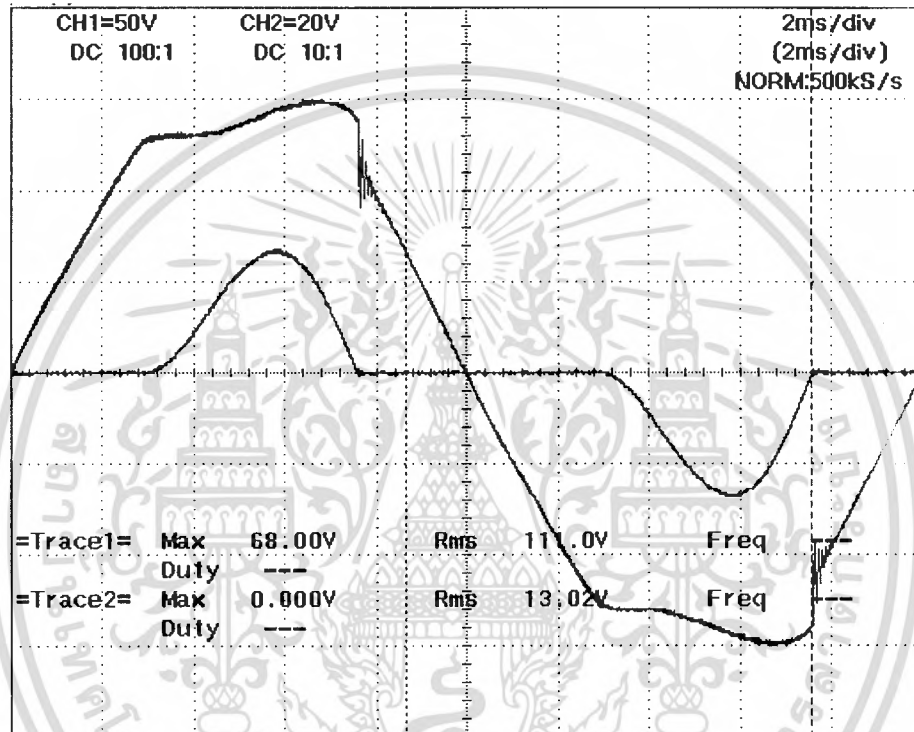
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 ทดสอบที่ดิวตี้ไซเคิล 16% เปิดการทำงานสองเตาวัตสัญญาณที่เดา 2

ผลการทดสอบจะทำการตรวจวัดสัญญาณ 2 จุด คือ

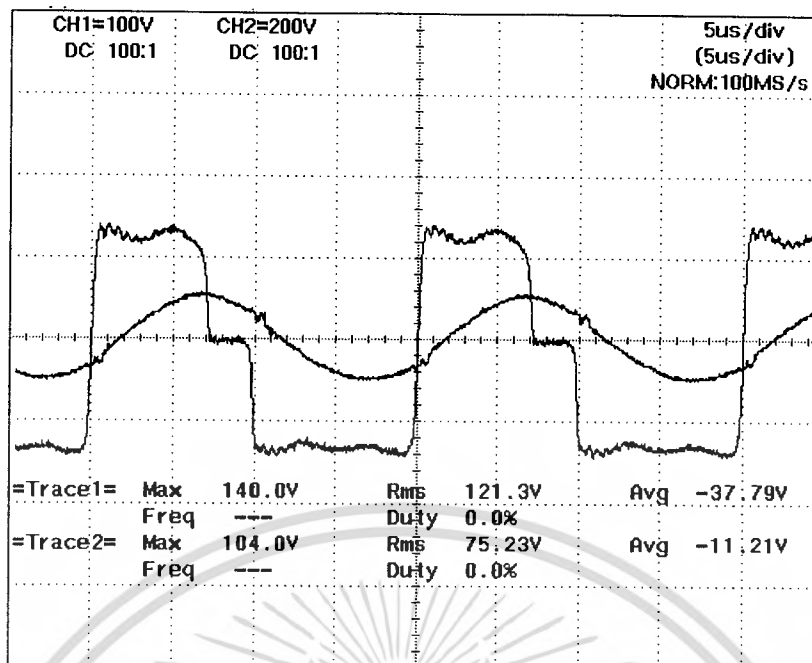
1. สัญญาณอินพุท
2. สัญญาณเอาต์พุทจาก Inverter

โดยจากการทดสอบเราจะได้รูปคลื่นแรงดันและกระแสดังนี้

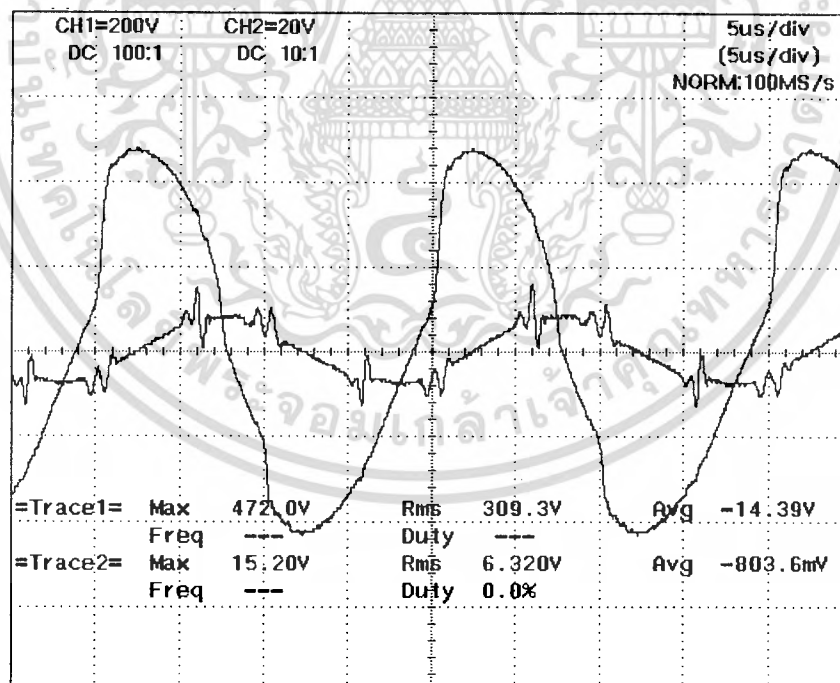


รูปที่ 5.30 รูปคลื่นแรงดันและกระแสอินพุทที่ 110 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

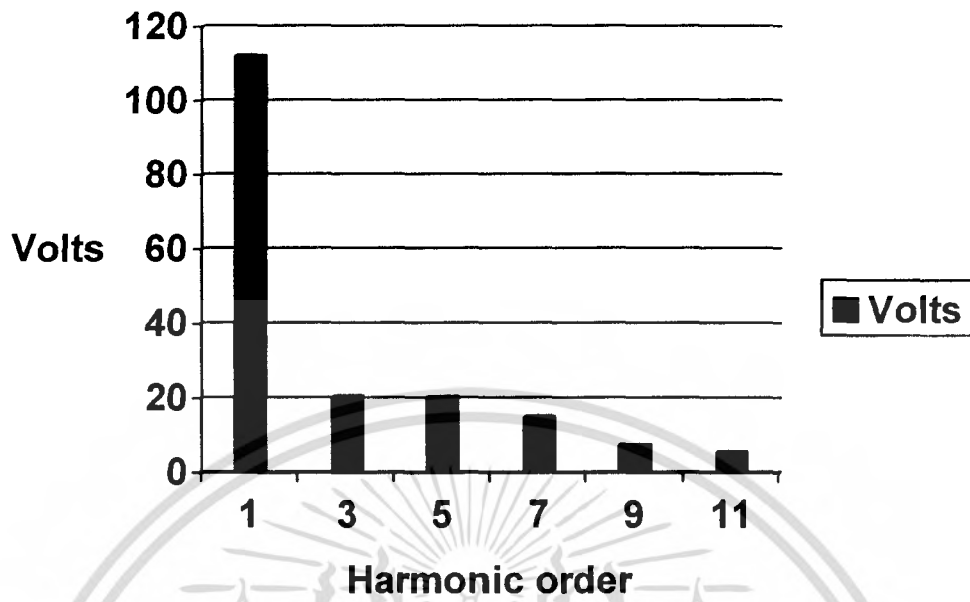


รูปที่ 5.31 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่อินเวอร์เตอร์ขณะแรงดัน 110 โวลต์

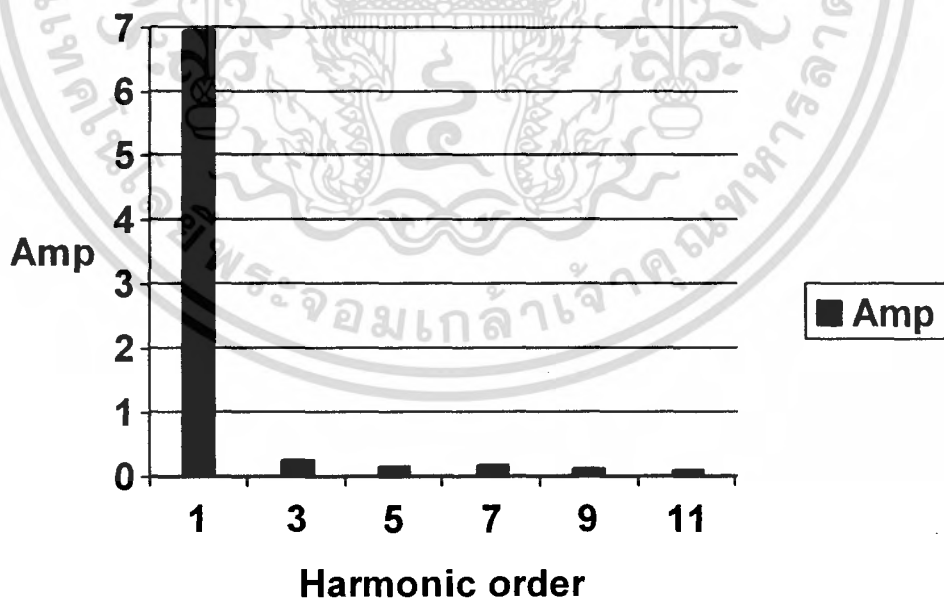


รูปที่ 5.32 รูปแรงดันและกระแสที่ขดลวดเตาสองแรงดัน 110 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.33 สเปกตรัมแรงดันเอาต์พุต

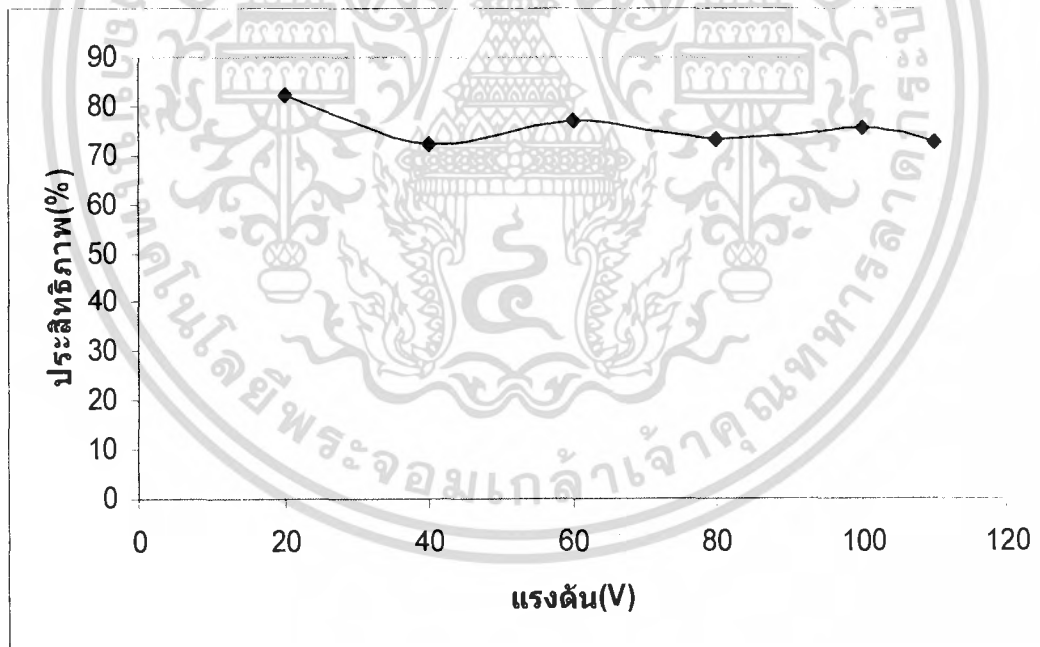


รูปที่ 5.34 สเปกตรัมกระแสเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 5.4 ตารางแสดงค่าประสิทธิภาพของเตาเหนี่ยวนำสองเตา

แรงดัน (V)	กำลังไฟฟ้า ด้านเข้า(W)	เตา 1	เตา 2	กำลังไฟฟ้า รวม(W)	ประสิทธิภาพ(%)
		กำลังไฟฟ้า ด้านออก(W)	กำลังไฟฟ้า ด้านออก(W)		
20	32.16	9.76	16.71	26.47	82.30
40	133.53	39.22	57.03	96.25	72.08
60	296.38	88.93	139.11	228.04	76.94
80	529.69	145.46	241.52	386.98	73.05
100	765.59	268.13	312.45	580.58	75.83
110	1055.52	320.57	445.21	765.78	72.55



รูปที่ 5.35 กราฟประสิทธิภาพที่แรงดันต่างๆ

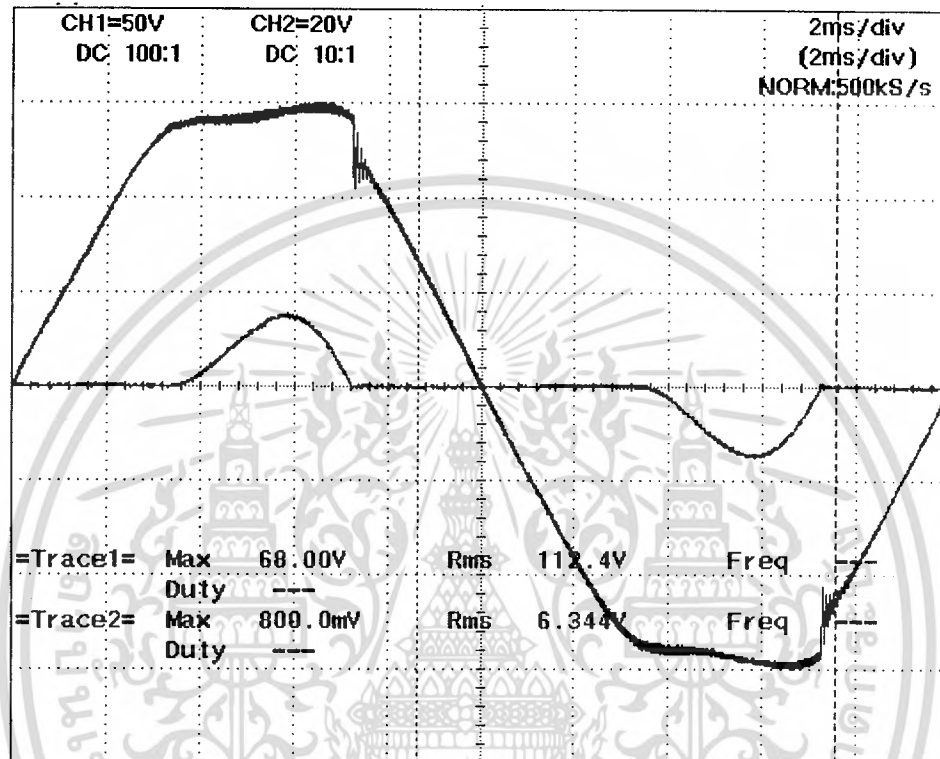
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 ทดสอบที่ดิวตี้ไซเคิลไซเคิล 16% และเปิดการทำงานเตาเดียวคือเตา 1

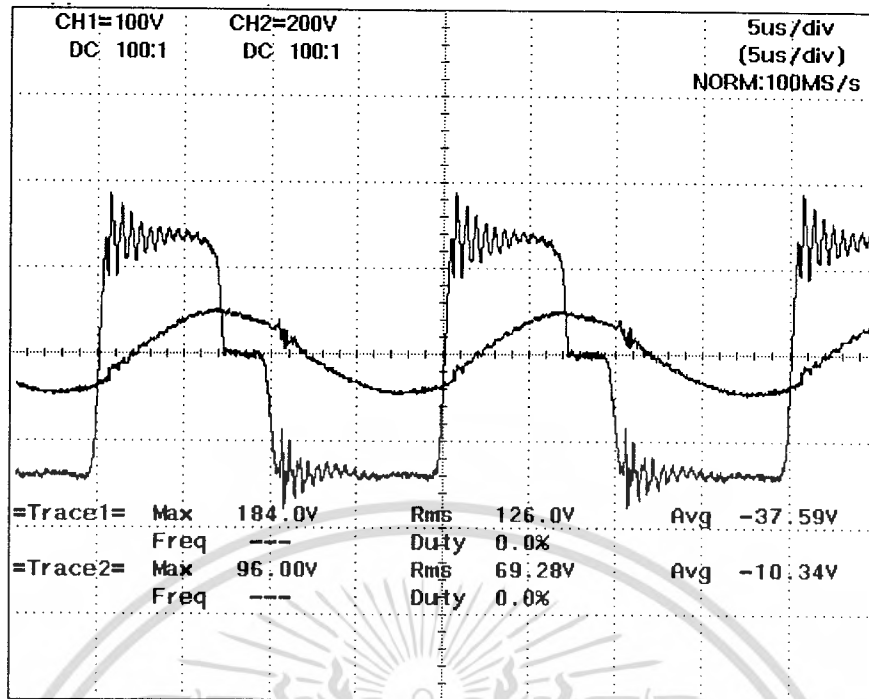
ผลการทดสอบจะทำการตรวจวัดสัญญาณ 2 จุด คือ

1. สัญญาณอินพุท
2. สัญญาณเอาต์พุทจาก Inverter

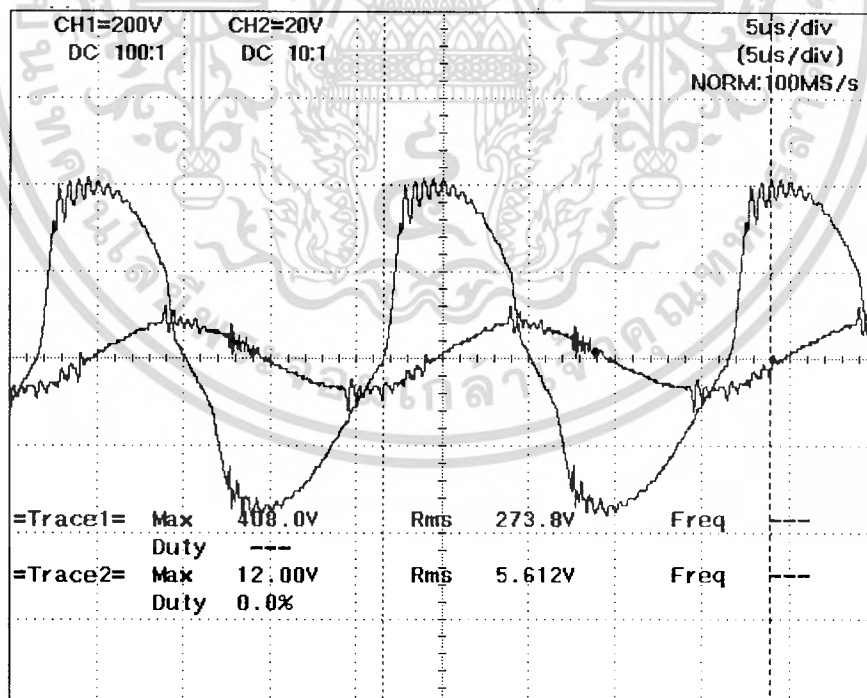
โดยจากการทดสอบเราจะได้รูปสัญญาณที่แรงดันต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 5.36 รูปคลื่นแรงดันและกระแสอินพุทที่ 110 โวลต์

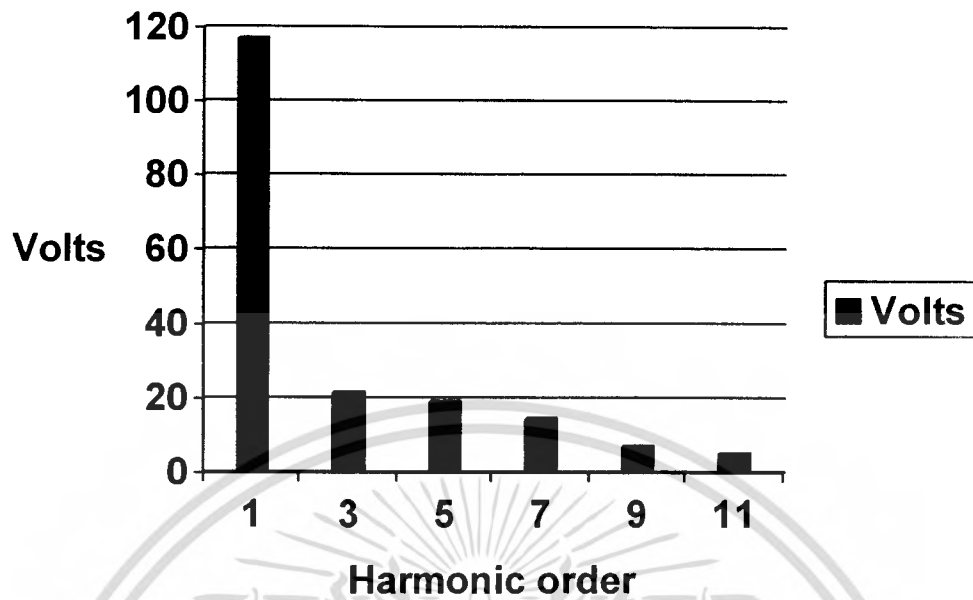


รูปที่ 5.37 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่อินเวอร์เตอร์ขณะแรงดัน 110 โวลต์

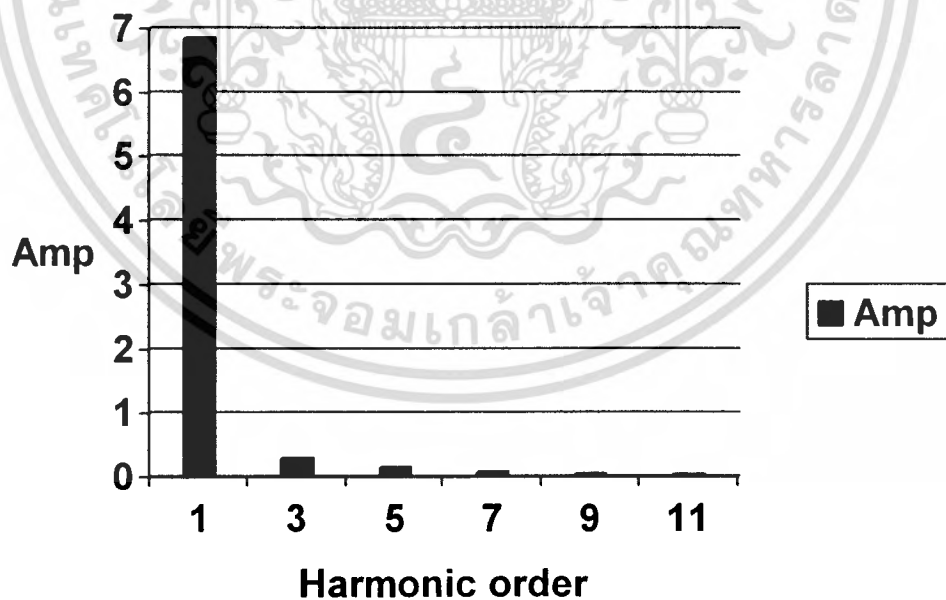


รูปที่ 5.38 รูปแรงดันและกระแสที่ขดลวดขณะแรงดัน 110 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.39 สเปกตรัมแรงดันอาร์คฟุ้ง

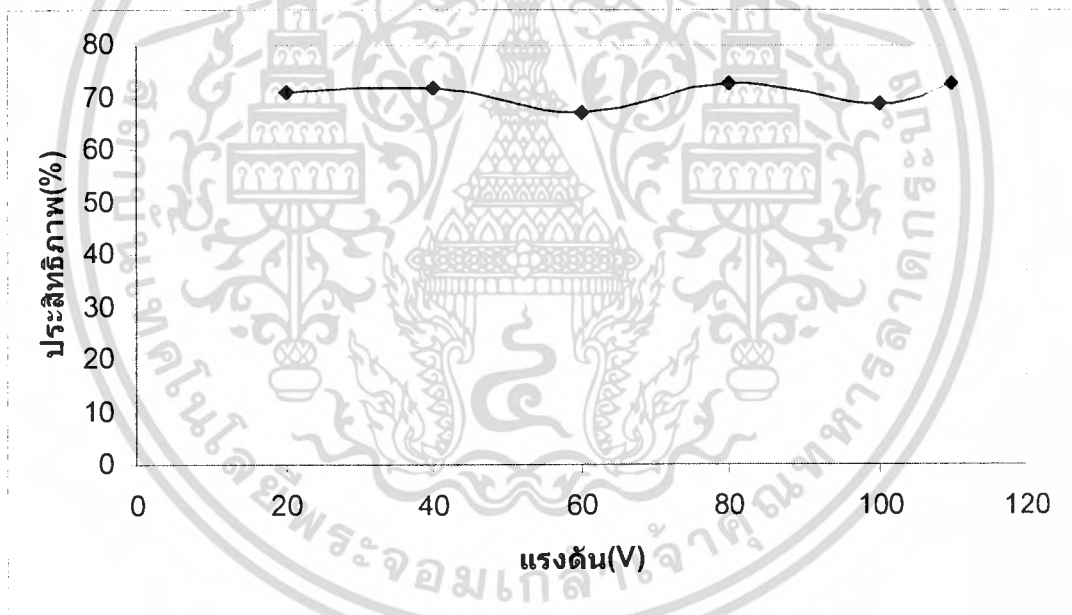


รูปที่ 5.40 สเปกตรัมกระแสอาร์คฟุ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 5.5 ตารางแสดงค่าประสิทธิภาพของเตาเหนียวน้ำ

แรงดัน(V)	กำลังไฟฟ้าด้านเข้า (W)	กำลังไฟฟ้าด้านออก (W)	ประสิทธิภาพ(%)
20	16.86	12.01	71.23
40	67.63	48.54	71.77
60	150.43	101.46	67.44
80	260.54	190.18	72.97
100	402.63	276.98	68.79
110	477.41	348.34	72.96



รูปที่ 5.41 กราฟประสิทธิภาพที่แรงดันต่างๆ

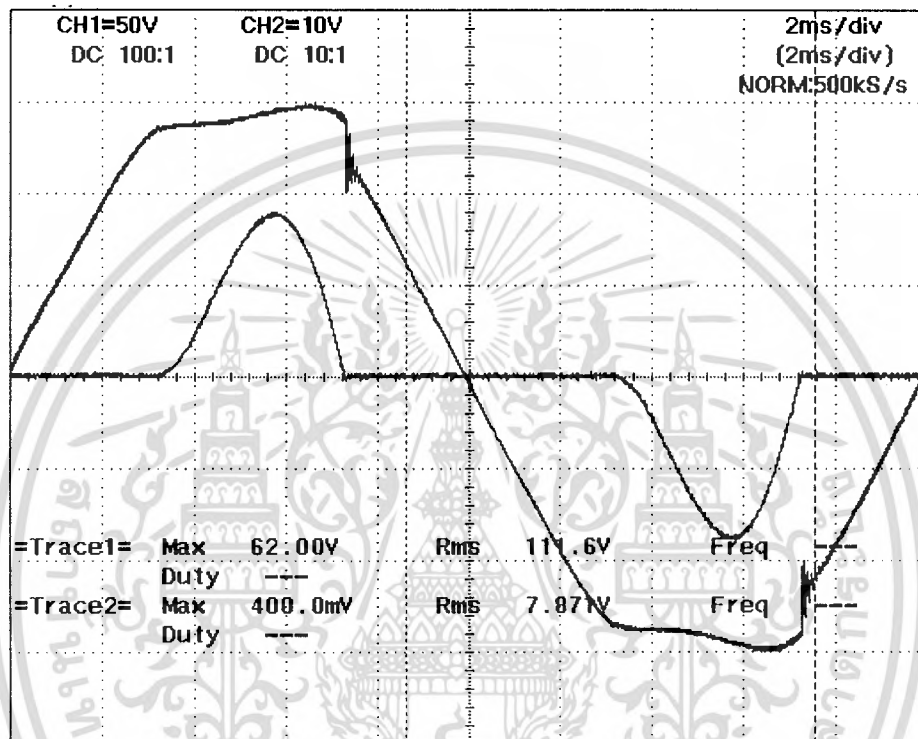
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ทดสอบที่ดิวตี้ไซเคิล 16% และเปิดการทำงานเตาเดี่ยวคือเตา 2

ผลการทดสอบจะทำการตรวจวัดสัญญาณ 2 จุด คือ

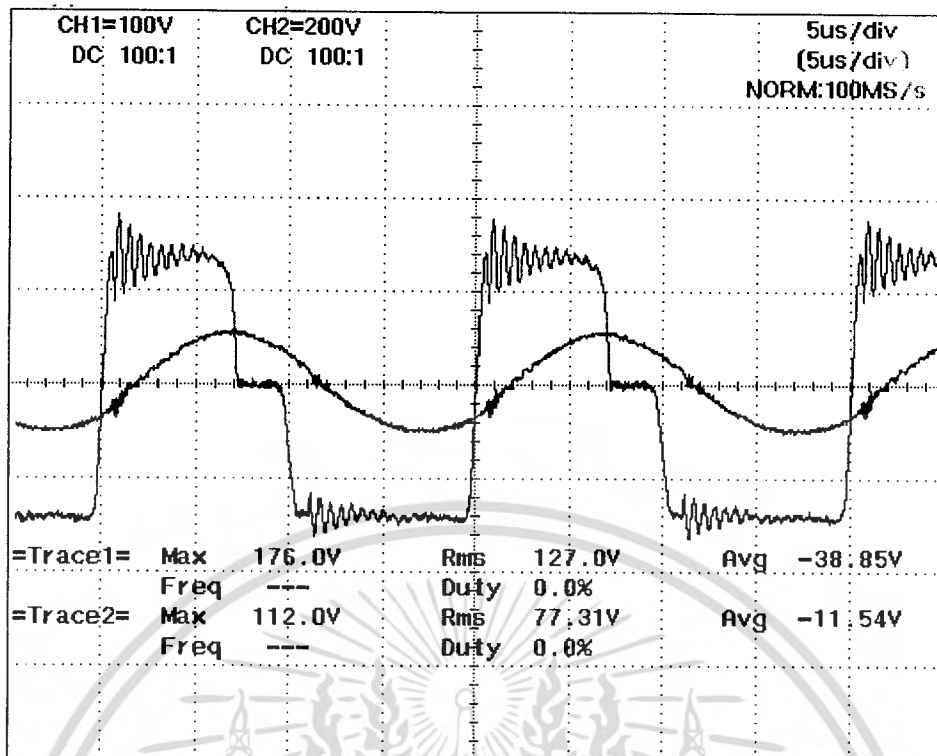
1. สัญญาณอินพุท
2. สัญญาณเอาต์พุทจาก Inverter

โดยจากการทดสอบเราจะได้รูปสัญญาณที่แรงดันต่างๆดังนี้

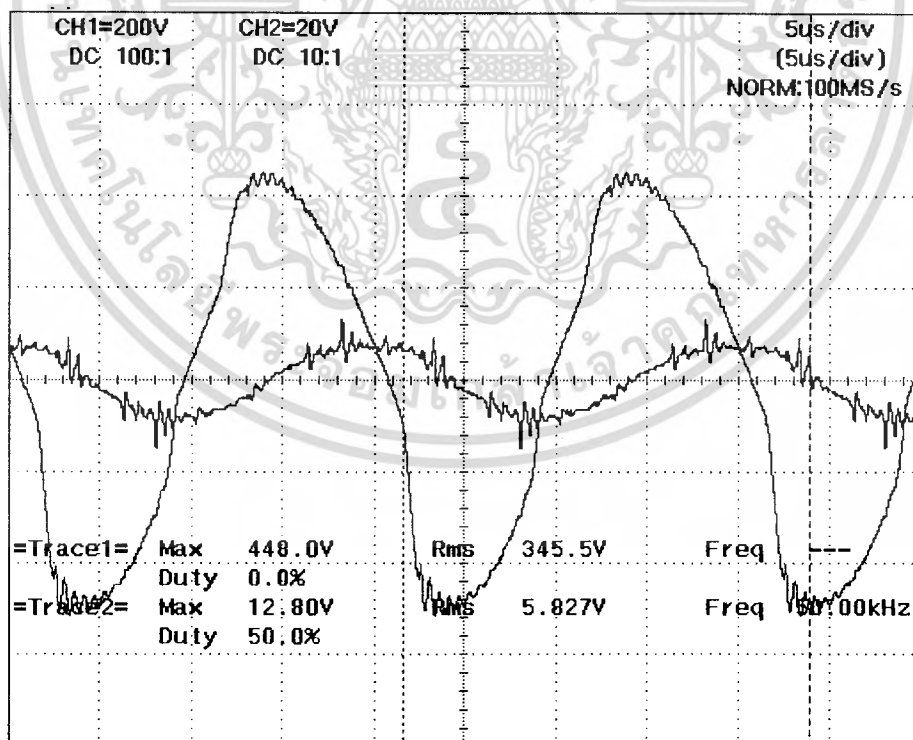


รูปที่ 5.42 รูปคลื่นแรงดันและกระแสอินพุทที่ 110 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

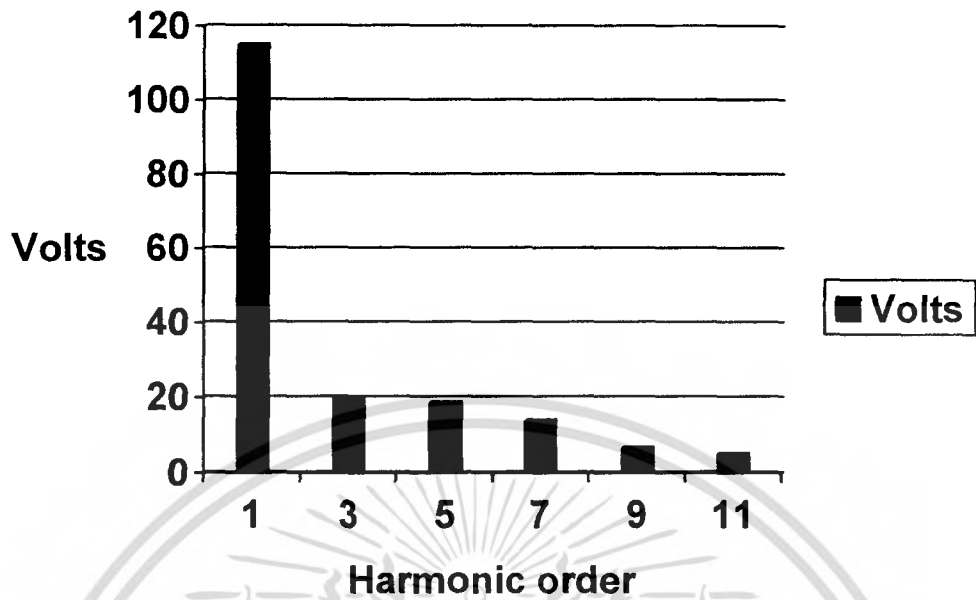


รูปที่ 5.43 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่อินเวอร์เตอร์ขณะแรงดัน 110 โวลต์

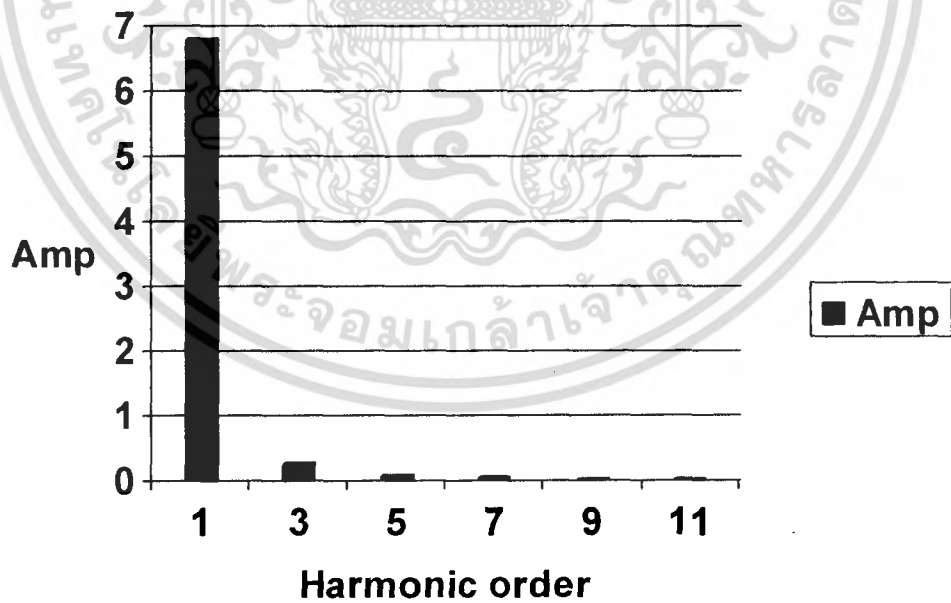


รูปที่ 5.44 รูปแรงดันและกระแสที่ขดลวดขณะแรงดัน 110 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.45 สเปคตรัมแรงดันเอาต์พุต

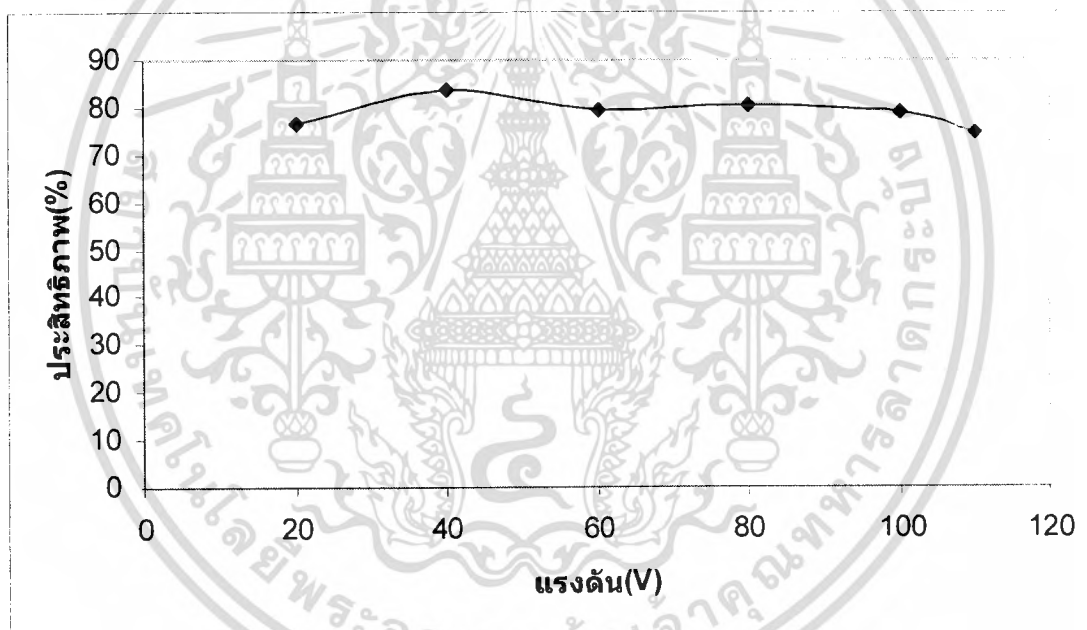


รูปที่ 5.46 สเปคตรัมกระแสเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 5.6 ตารางแสดงค่าประสิทธิภาพของเตาเหนียวหน้า

แรงดัน(V)	กำลังไฟฟ้าด้านเข้า (W)	กำลังไฟฟ้าด้านออก (W)	ประสิทธิภาพ(%)
20	20.95	16.05	76.66
40	82.91	69.37	83.67
60	187.12	148.72	79.48
80	320.61	257.97	80.46
100	508.30	402.51	79.18
110	604.42	452.80	74.91



รูปที่ 5.47 กราฟประสิทธิภาพที่แรงดันต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ประสิทธิภาพ

ในการทดสอบโครงการเตาหุงต้มเหนียวน้ำหนัก 2 เตา จะทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้า ด้านอินพุตและกำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุต ซึ่งจะได้ค่าของประสิทธิภาพตั้งข้อมูลที่ได้กล่าว มาแล้วข้างต้น ดังนั้นจะสรุปได้ดังนี้

ในการทำงานหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องเตาหุงต้มเหนียวน้ำหนักสอง เตาจะใช้สมการ

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (5.1)$$

ซึ่งเมื่อทำการทดลองจะได้ค่าต่างๆที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยคือเมื่อทำการจ่าย โหลด 2 เตาพร้อมกันขณะปรับค่าตัวตั้งไซเคิล 45% จะสังเกตได้ว่ามีค่าประสิทธิภาพ มากกว่าการจ่ายโหลดเตาเดียวทั้งเตา 1 และ เตา 2 ซึ่งค่าประสิทธิภาพจะมีค่าประมาณ 75% และในขณะเดียวกันเมื่อทำการจ่ายโหลด 2 เตาพร้อมกันขณะทำการปรับค่าตัวตั้งไซเคิลเป็น 16% จะเห็นได้ว่าค่าประสิทธิภาพยังคงมีค่าใกล้เคียงที่ 75% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เครื่องเตาหุงต้มเหนียวน้ำหนักสองเตานี้มีค่าประสิทธิภาพ 75%

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลา

ในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบในขณะที่ทำการเปิดโหลดสองเตาพร้อมกันโดยที่ใช้ น้ำ 1 ลิตร และพิจารณาที่ตัวดีไซเคิล 45% ซึ่งผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

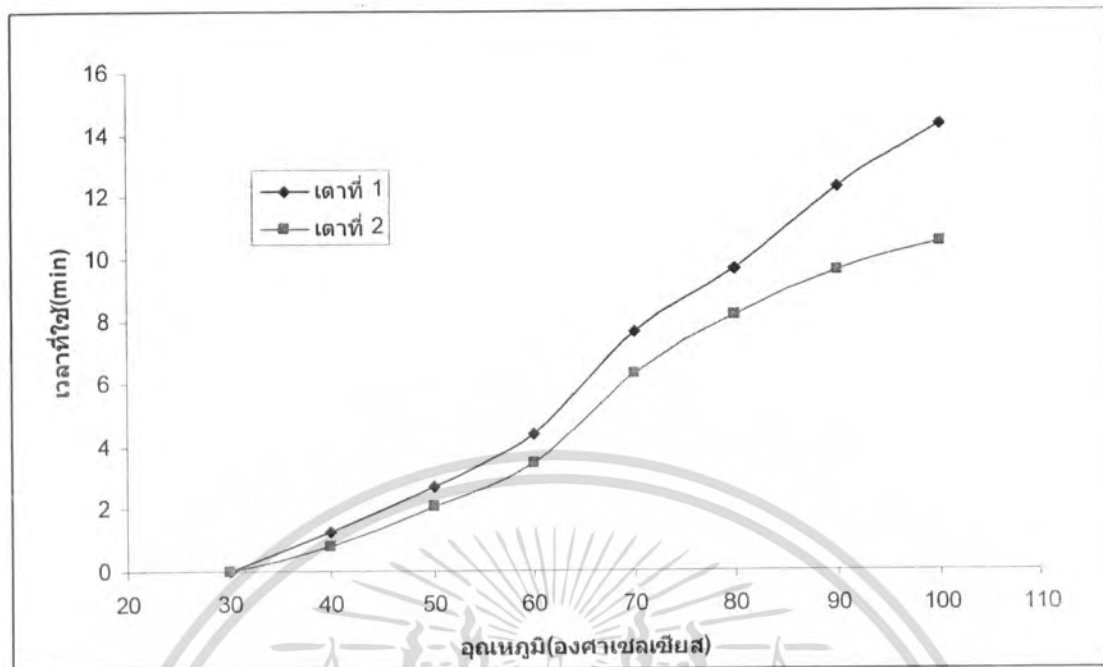
ตาราง 5.7 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของเตา 1

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)
30	0:00
40	1:15
50	2:44
60	4:23
70	7:39
80	9:38
90	12:20
100	14:21

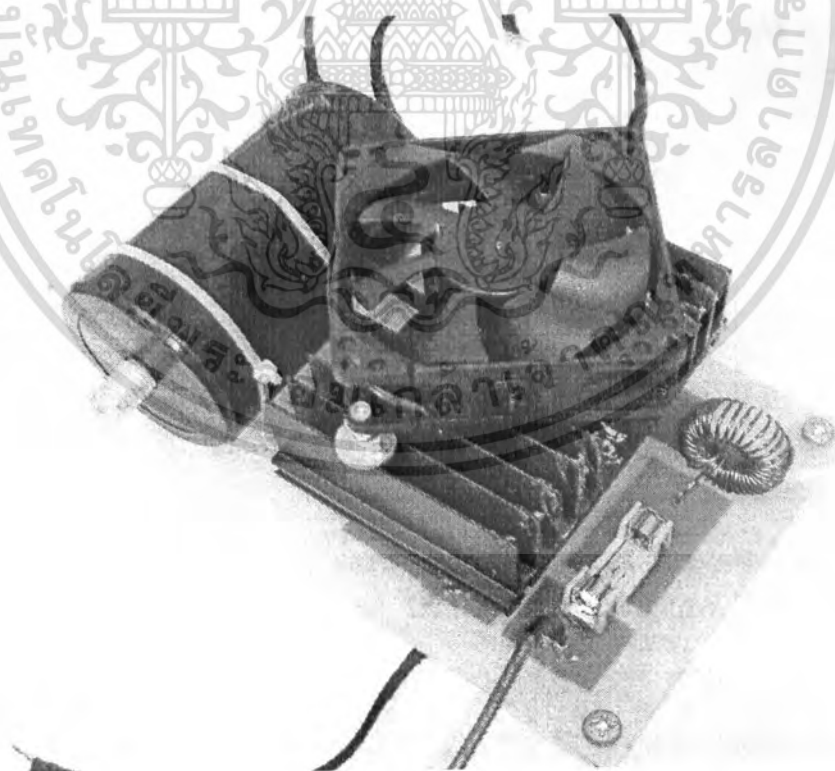
ตาราง 5.8 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของเตา 2

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)
30	0:00
40	0:50
50	2:06
60	3:25
70	6:18
80	8:10
90	9:35
100	10:32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กับอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.49 รูปวงจรเรกติฟาย

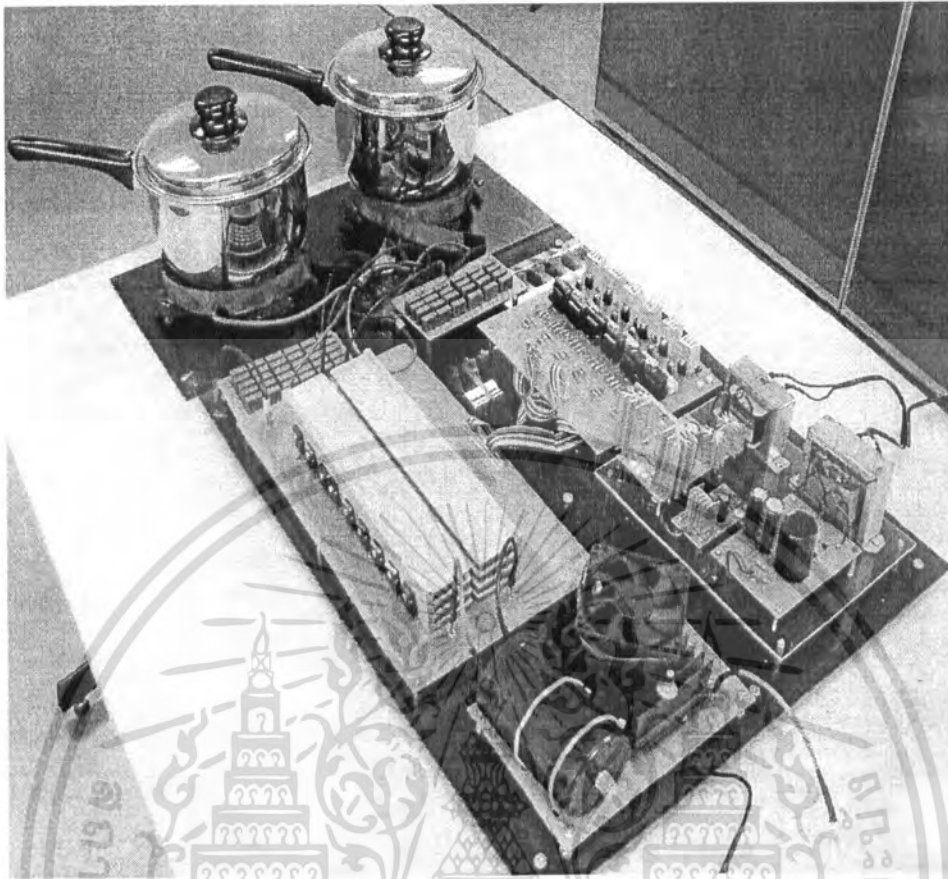
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.50 รูปวางจออินเวอร์เตอร์

รูปที่ 5.51 รูปขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.52 รูปรวมของโครงงานทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปและบทวิจารณ์

6.1 สรุปผล

1. เตาดูดัมเหนียวขนาด 2 เตาดูได้พัฒนามาจากเตาดูดัมเหนียวนำแบบเดิมซึ่งมีเพียงเตาเดียว โดยมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการประกอบอาหารได้หลายอย่างในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้เนื่องจากใช้ชุดอินเวอร์เตอร์ ชุดคอนโทรลเลอร์ และชุดเรียงกระแสเพียงชุดเดียว

2. เตาดูดัมเหนียวขนาด 2 เตาดูต้องใช้ร่วมกับภาชนะที่ทำด้วยสาร Ferro-magnetic เนื่องจากมีค่าสภาพความต้านทานและค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์สูง ซึ่งทำให้ชุดขดลวดเหนียวนำพร้อมภาชนะดูดัมสามารถรับแรงดันที่ป้อนจากแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 110 V, 50 Hz ได้ โดยที่ค่ากระแสเอาต์พุตที่ชุดโพลดิเรโซแนนท์แต่ละชุดไม่เกิน 10 A

3. เตาดูดัมเหนียวขนาด 2 เตาดู ซึ่งประกอบวงจรอินเวอร์เตอร์ฟลูบริดจ์ แบบสวิตช์สามกึ่งโดยมี 1 กึ่งทำงานร่วมกันเพื่อให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับด้วยโพลดิเรโซแนนท์ชนิดอนุกรมจำนวน 2 ชุด ได้

4. การปรับขนาดกำลังไฟฟ้าของเตาดูดัมทั้งสองเตาดู สามารถทำได้โดยการปรับค่า Duty Ratio ซึ่งเกิดจากการสั่งงานโดยไม่โครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628A ทำให้ควบคุมระดับความร้อนที่ต้องการได้ ซึ่งในโครงงานนี้ได้ออกแบบให้มีการปรับค่า Duty Ratio เพียงสองค่า

5. ความถี่ในการสวิตช์ซึ่งที่เลือกใช้เท่ากับ 50 Hz ซึ่งความถี่ในการสวิตช์จะถูกกำหนดโดยความถี่เรโซแนนท์ของโพลดิ ซึ่งในที่นี้ได้การออกแบบให้จุดทำงานของความถี่ในการสวิตช์มากกว่าความถี่เรโซแนนท์เล็กน้อยเพื่อต้องการที่จะลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการสวิตช์

6. จากการทดลองเปิดใช้งานเตาดูดัมพร้อมกันทั้งสองเตาดู ดัมน้ำ 1 ลิตร ผลปรากฏว่า เตาดูทั้งสองดัมน้ำได้เดือดไม่พร้อมกัน โดยเตาดูที่ 2 ใช้เวลาในการดัมน้ำเดือดเพียง 10 นาที แต่เตาดูที่ 1 ใช้เวลาถึง 14 นาที โดยสาเหตุนี้เกิดจากการที่ขดลวดเหนียวนำทั้งสองมีค่าความต้านทานต่างกัน ซึ่งก็ทำให้กำลังไฟฟ้านำเข้าเอาต์พุตของเตาดูทั้งสองแตกต่างกัน ส่วนค่าประสิทธิภาพที่ได้เมื่อเปิดใช้งานที่พิกัดจะมีค่า 80%

7. เมื่อใช้งานเตาดูดัมโดยการเลือกเปิดใช้งานเพียงเตาดูเดียว จะพบว่าค่ากำลังไฟฟ้านำเข้าเอาต์พุตของเตาดูที่ 1 และเตาดูที่ 2 จะอยู่ในช่วง 400-600 วัตต์ ส่วนค่าประสิทธิภาพมีค่าต่ำกว่าในกรณีที่เปิดใช้ 2 เตาดูพร้อมกัน

6.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการพัฒนา

1. จากการพันขดลวดในครั้งแรกซึ่งใช้ขดลวดเบอร์ 30 จำนวน 16 เส้นพันตีเกลียวรวมกัน แล้วทำการขดเป็นรูปก้นหอยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 cm. เมื่อทดสอบใช้งานปรากฏว่าไม่สามารถใช้งานที่พิกัด 110 V ได้ เนื่องจากกระแสมีค่าสูงมากเกินพิกัดที่ออกแบบไว้ ดังนั้นจึงมีการพันขดลวดใหม่โดยใช้ขดลวดชนิดแบน พันเป็นรูปก้นหอยในลักษณะเดิม จึงจะสามารถใช้งานได้จริงที่พิกัด

2. การเลือกใช้ตัวเก็บประจุแบบ WIMA ที่ต่ออนุกรมเข้ากับขดลวดเหนี่ยวนำนั้น ได้เลือกพิกัดของตัวเก็บประจุแต่ละตัวเท่ากับ 0.1 μF , 600 V_{dc} นำมาต่อขนานและอนุกรมกันจนได้ค่าความจุที่เหมาะสมเพื่อทำให้เกิดการเรโซแนนท์ แต่เมื่อทำการทดสอบโดยเปิดใช้งานเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาด 2 เต้า ปรากฏว่าตัวเก็บประจุไม่สามารถทนกระแสได้ ดังนั้นจึงเปลี่ยนตัวเก็บประจุให้มีพิกัด 0.1 μF , 250 V แต่สามารถทนได้ทั้งแรงดัน AC และ DC แทน

3. ในขณะที่เปิดใช้งานเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาด 2 เต้าที่พิกัดแรงดัน 110 V โดยให้ทำงานพร้อมกันทั้งสองเต้า จะไม่สามารถสั่งปิดการทำงานเตาใดเตาหนึ่งได้ทันที จะต้องปรับลดแรงดันด้านอินพุทให้มีค่าต่ำกว่าก่อน จึงจะสามารถปิดการทำงานได้ ดังนั้นแนวทางการพัฒนาในอนาคต จะต้องมีการปรับปรุงวงจรควบคุมให้ทั้งสองเต้าสามารถแยกกันเปิดและปิดอย่างแท้จริง

4. เนื่องจากการเปิดใช้งานที่พิกัดแรงดันการไฟฟ้า 110 V, 50 Hz นั้นยังต้องอาศัยการปรับแรงดันโดยใช้ Variac ช่วยในการปรับระดับแรงดัน จึงต้องมีการพัฒนาต่อโดยให้สามารถใช้งานที่พิกัดแรงดันการไฟฟ้า 220 V, 50 Hz โดยไม่ต้องอาศัย Variac ปรับระดับแรงดัน

5. ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้งานงานเตาหุงต้มเหนี่ยวนำขนาด 2 เต้ามีค่าน้อย จึงต้องมีการปรับปรุงให้เครื่องมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและควรออกแบบให้วงจรมีขนาดเล็กลงเพื่อเหมาะกับการใช้งานในครัวเรือน

เอกสารอ้างอิง

- [1] ประสิทธิ์ รัชชไพบุลย์ และคณะ, “เตาหุงต้มเหนี่ยวนำ,” **ปริญญาพันธวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547.
- [2] นฤชา ทวีพันธ์ และคณะ, “เตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงชนิดควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยความถี่พร้อมปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านอินพุท,” **ปริญญาพันธวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.
- [3] สุเมธ ศิริสันติสัมฤทธิ์ และคณะ, “เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ,” **ปริญญาพันธวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542.
- [4] วีระเชษฐ ชันเงิน และ วุฒิพล ชาราธิรเศรษฐ์, **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง**, กรุงเทพฯ, สนพ.วี.เจ.พรนติง, 2547
- [5] ณัฐพล วงศ์สุนทรชัย และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, **เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628**, 2542
- [6] 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.
- [7] 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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

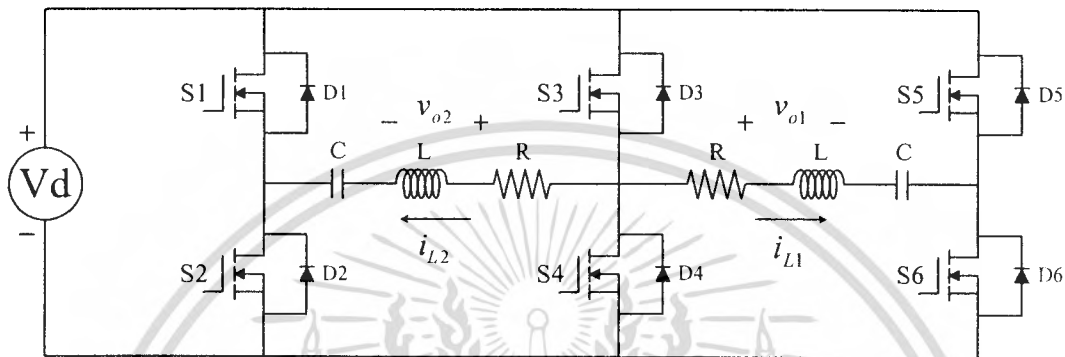


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

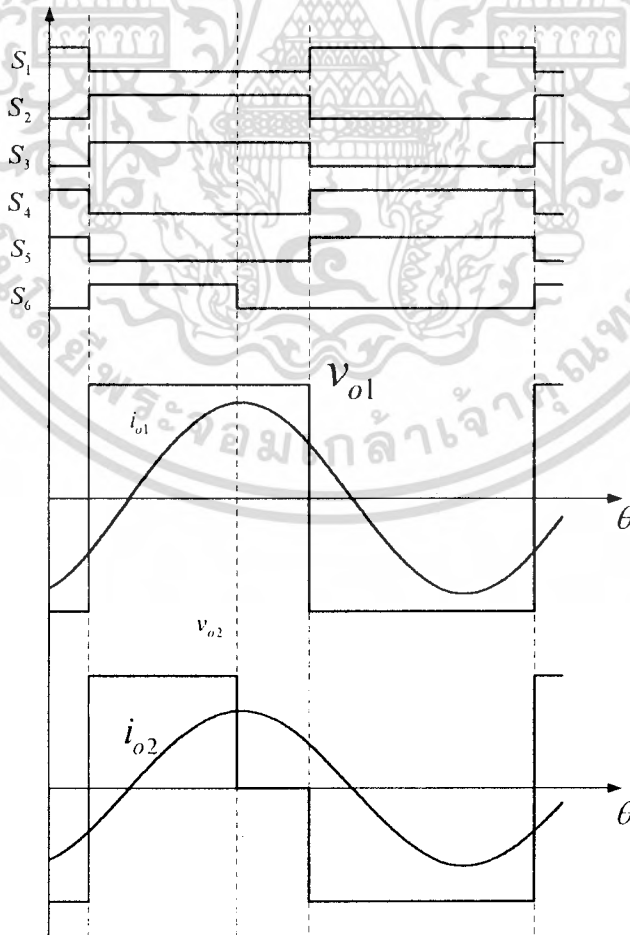
ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์โหมดการทำงาน

รูปวงจรถูกต่อตามอาหารโดยการเหนี่ยวนำ 2 หัว

(โดยกำหนดให้กิ่งตรงกลางเป็นกิ่งร่วมของโหลดทั้งสองเตา, กิ่งทางขวาเป็นกิ่งที่ปรับกำลังไฟฟ้าของเตาที่ 1 และกิ่งทางซ้ายเป็นกิ่งที่ปรับกำลังไฟฟ้าของเตาที่ 2)



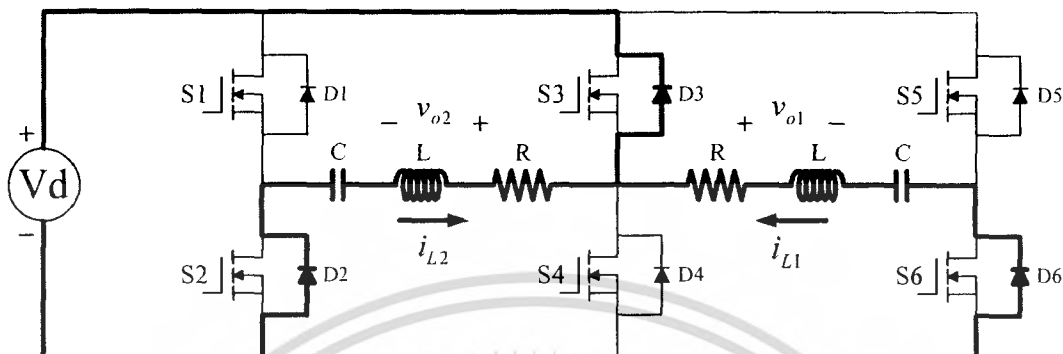
โดยมีตัวอย่างการทำงานดังรูปคลื่นดังนี้



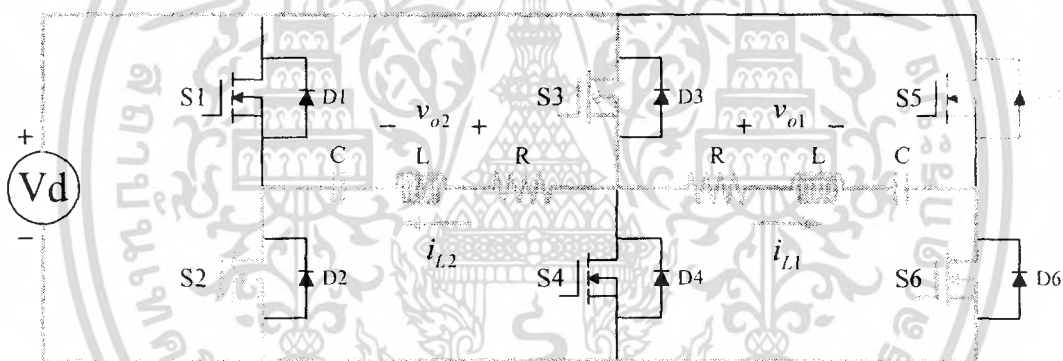
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถแบ่งโหมดการทำงานได้ดังนี้

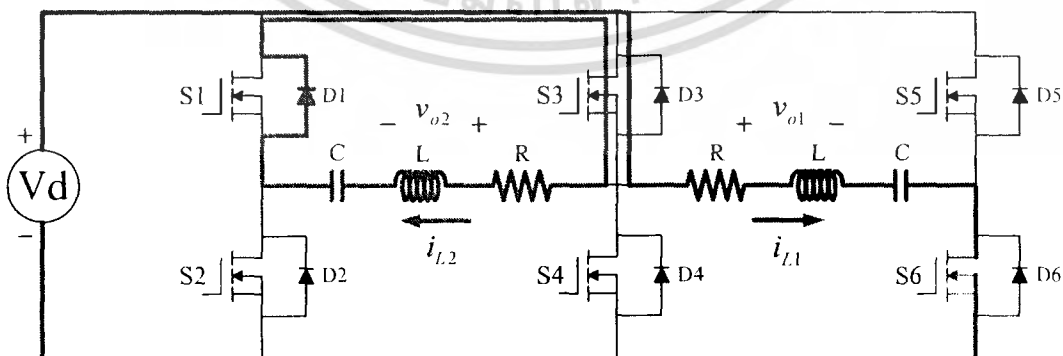
โหมดการทำงานที่ 1: Regenerative Mode



โหมดการทำงานที่ 2: Powering Mode

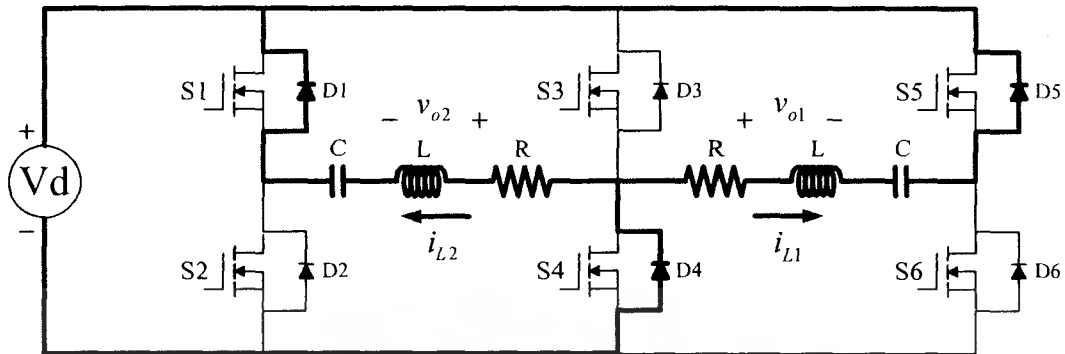


โหมดการทำงานที่ 3: Freewheeling Mode (ของเดาที่ 2)

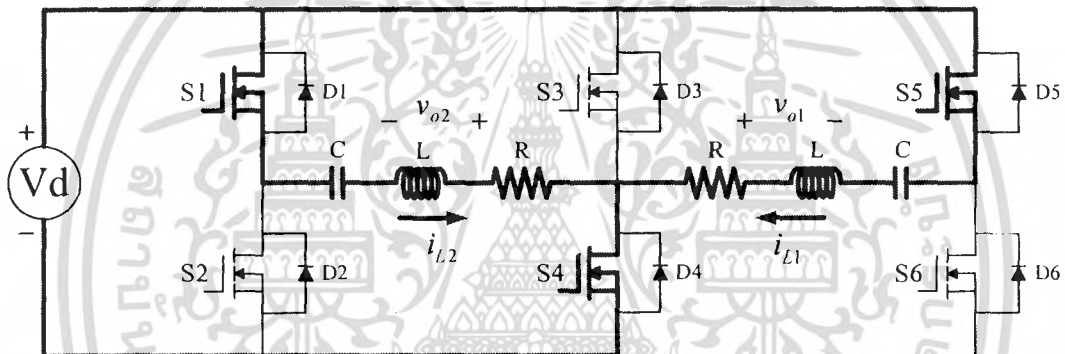


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมดการทำงานที่ 4: Regenerative Mode



โหมดการทำงานที่ 5: Powering Mode



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ข้อมูลอุปกรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Data Book Project

DatasheetArchive.com has launched an ambitious effort to digitize thousands of obsolete data books and technical manuals, making them searchable via the DatasheetArchive website.

Scroll down to see the scanned document.



Datasheet and Data Book Site: <http://www.datasheetarchive.com>

Development Site: <http://www.datasheets.org.uk>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 V VOLTAGE REGULATOR
12 V VOLTAGE REGULATOR
15 V VOLTAGE REGULATOR



GENERAL DESCRIPTION

This series of three terminal regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. One of these is local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow these regulators to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

This series will allow over 1.5A load current if adequate heat sinking is provided. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

FEATURES

- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit

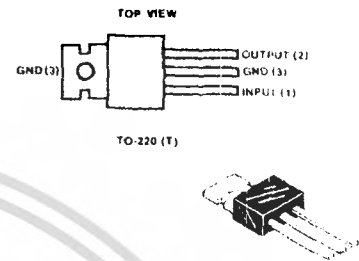
VOLTAGE RANGE

7805.....	5V
7812.....	12V
7815.....	15V

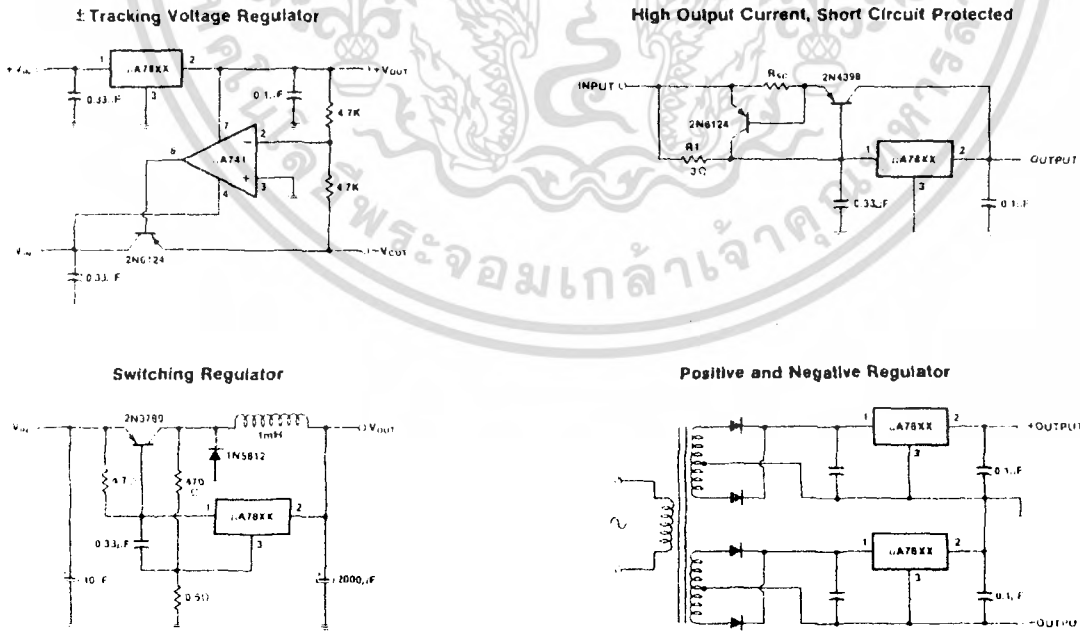
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Input Voltage	35V
(Output Voltage Options 5V through 18V)	35V
(Output Voltage Option 24V)	40V
Internal Power Dissipation	Internally Limited
Operating Temperature Range	0°C to +70°C
Maximum Junction Temperature	150°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

PIN CONNECTION



TYPICAL APPLICATIONS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DC COMPONENTS CO., LTD.
RECTIFIER SPECIALISTS

1N / RL
4001A / 101
THRU
1N / RL
4007A / 107

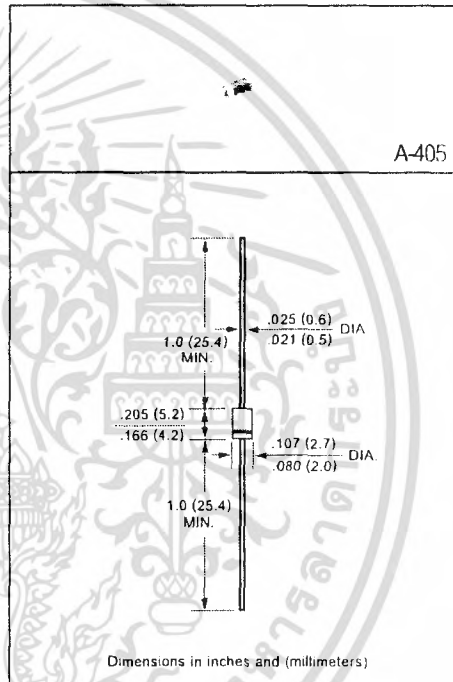
TECHNICAL SPECIFICATIONS OF SILICON RECTIFIER
VOLTAGE RANGE - 50 to 1000 Volts - CURRENT - 1.0 Ampere

FEATURES

- * High reliability
- * Low leakage
- * Low forward voltage drop
- * High current capability

MECHANICAL DATA

- * Case: Molded plastic
- * Epoxy: UL 94V-0 rate flame retardant
- * Lead: MIL-STD-202E, Method 208 guaranteed
- * Polarity: Color band denotes cathode end
- * Mounting position: Any
- * Weight: 0.22 gram



MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Ratings at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified.
Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

		1N4001A	1N4002A	1N4003A	1N4004A	1N4005A	1N4006A	1N4007A	
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	SYMBOL	RL101	RL102	RL103	RL104	RL105	RL106	RL107	UNITS
	V _{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum RMS Voltage	V _{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	Volts
Maximum DC Blocking Voltage	V _{OC}	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum Average Forward Rectified Current at T _A = 55°C	I _O	1.0							Amps
Peak Forward Surge Current, 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	I _{FSM}	30							Amps
Maximum Instantaneous Forward Voltage at 1.0A DC	V _F	1.1							Volts
Maximum DC Reverse Current at Rated DC Blocking Voltage	@ T _A = 25°C	5.0							uAmps
	@ T _A = 100°C	500							
Maximum Full Load Reverse Current Average, Full Cycle .375"(9.5mm) lead length at T _L = 75°C	I _R	30							uAmps
Typical Junction Capacitance (Note)	C _J	15							pF
Typical Thermal Resistance	R _{θJA}	50							C/W
Operating and Storage Temperature Range	T _J , T _{STG}	-65 to + 175							°C

NOTES : Measured at 1 MHz and applied reverse voltage of 4.0 volts



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RATING AND CHARACTERISTIC CURVES

(1N4001A THRU 1N4007A)
 RL101 THRU RL107

FIG. 1 - TYPICAL FORWARD CURRENT DERATING CURVE

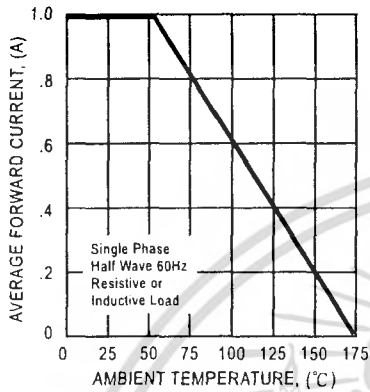


FIG. 2 - TYPICAL INSTANTANEOUS FORWARD CHARACTERISTICS

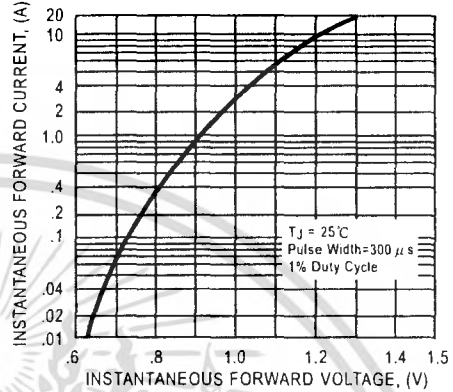


FIG. 3 - MAXIMUM NON-REPETITIVE FORWARD SURGE CURRENT

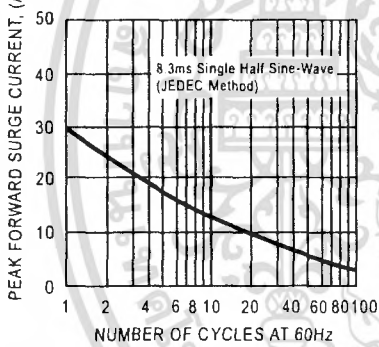


FIG. 4 - TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS

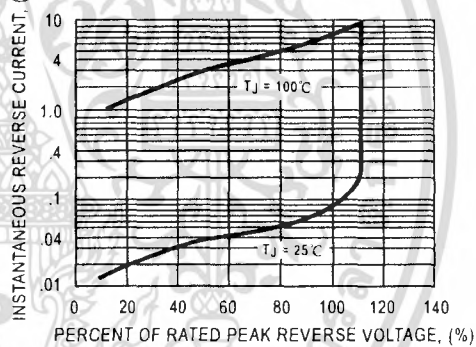
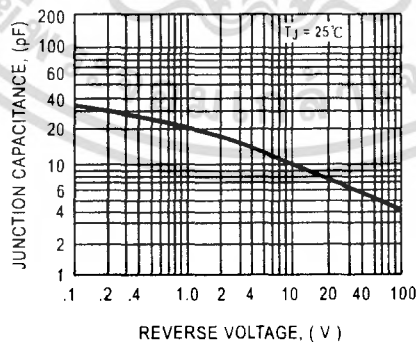


FIG. 5 - TYPICAL JUNCTION CAPACITANCE



—  DC COMPONENTS CO., LTD. —

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• 1N4148-1 AVAILABLE IN JAN, JANTX, AND JANTXV
PER MIL-PRF-19500/116

- SWITCHING DIODE
- HERMETICALLY SEALED
- METALLURGICALLY BONDED
- DOUBLE PLUG CONSTRUCTION

1N4148-1

MAXIMUM RATINGS

Operating Temperature: -65°C to +200°C
Storage Temperature: -65°C to +200°C
Operating Current: 200 mA @ $T_A = +25^\circ\text{C}$
Derating Factor: 1.14 mA/°C Above $T_A = +25^\circ\text{C}$
Surge Current A: 2A, sine wave, $P_W = 8.3\text{ms}$
Surge Current B: 1.41A, square wave, $P_W = 8.3\text{ms}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS @ 25°C, unless otherwise specified.

V_{BR} @100 μA	V_{RWM}	I_0	V_{f1} @ $I_F = 10\text{ mA}$	V_{f2} @ $I_F = 100\text{ mA}$	t_{rr}
Volts	Volts (pk)	mA	V dc	V dc	n sec
100	75	200	0.8	1.2	5

I_{R1} @ 20 V dc	I_{R2} @ 75 V dc	I_{R3} @ 20 V $T_A = 150^\circ\text{C}$	I_{R4} @ 75 V $T_A = 150^\circ\text{C}$	CAPACITANCE @ 0 V	CAPACITANCE @ 1.5 V
nA	μA	μA	μA	pF	pF
25	0.5	35	75	4.0	2.8

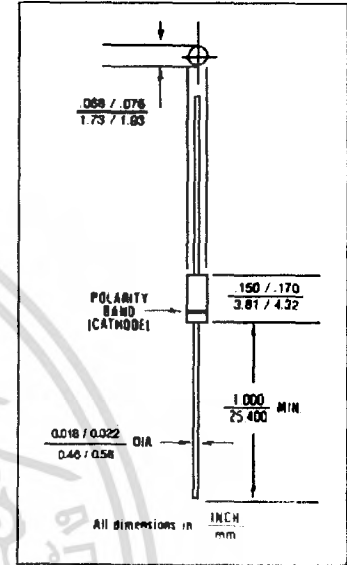


FIGURE 1

DESIGN DATA

CASE: Hermetically sealed glass case per MIL-S-19500/116 D0-35 outline

LEAD MATERIAL: Copper clad steel.

LEAD FINISH: Tin / Lead

THERMAL RESISTANCE: ($R_{\theta JL}$): 250 °C/W maximum at L = .375

THERMAL IMPEDANCE: ($Z_{\theta JX}$): 70 °C/W maximum

POLARITY: Cathode end is banded.

MOUNTING POSITION: Any.



COMPENSATED DEVICES INCORPORATED

22 COREY STREET, MELROSE, MASSACHUSETTS 02176

PHONE (781) 665-1071

FAX (781) 665-7379

WEBSITE: <http://www.cdi-diodes.com>

E-mail: mail@cdi-diodes.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้มาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IN4148-1

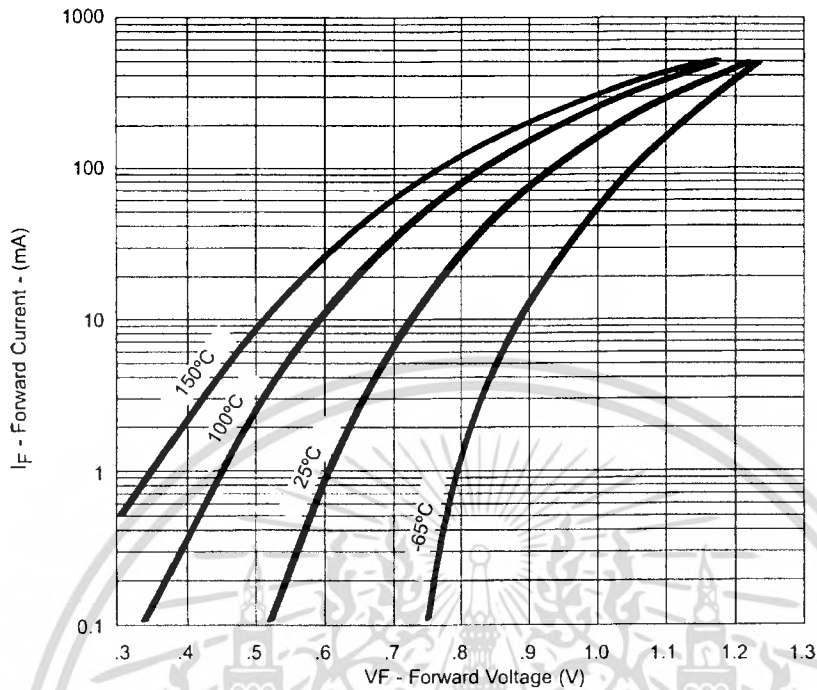
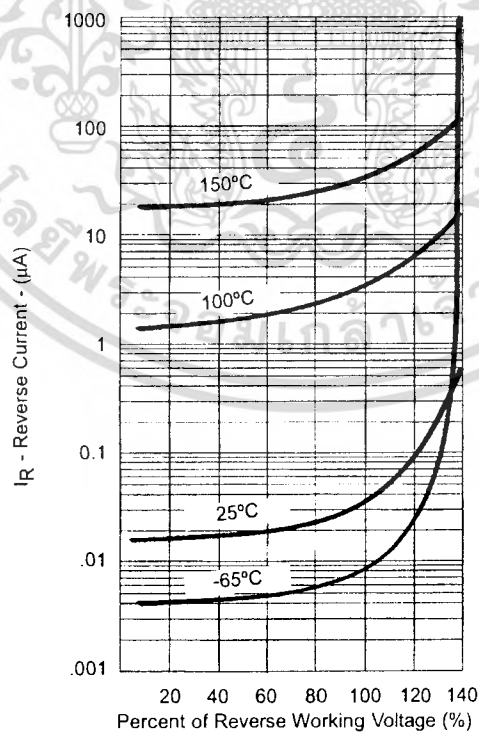


FIGURE 2
Typical Forward Current
vs Forward Voltage



NOTE : All temperatures shown on graphs are junction temperatures

FIGURE 3
Typical Reverse Current
vs Reverse Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1N4728A - 1N4764A

Zeners



DO-41 Glass case
COLOR BAND DENOTES CATHODE

Absolute Maximum Ratings * $T_a = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
P_D	Power Dissipation @ $T_L \leq 50^\circ\text{C}$, Lead Length = 3/8"	1.0	W
	Derate above 50°C	6.67	mW/°C
T_J, T_{STG}	Operating and Storage Temperature Range	-65 to +200	

* These ratings are limiting values above which the serviceability of the diode may be impaired.

Electrical Characteristics $T_a = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Device	V_Z (V) @ I_Z (Note 1)			Test Current I_Z (mA)	Max. Zener Impedance			Leakage Current	
	Min.	Typ.	Max.		Z_Z @ I_Z (Ω)	Z_{ZK} @ I_{ZK} (Ω)	I_{ZK} (mA)	I_R (μA)	V_R (V)
1N4728A	3.315	3.3	3.465	76	10	400	1	100	1
1N4729A	3.42	3.6	3.78	69	10	400	1	100	1
1N4730A	3.705	3.9	4.095	64	9	400	1	50	1
1N4731A	4.085	4.3	4.515	58	9	400	1	10	1
1N4732A	4.465	4.7	4.935	53	8	500	1	10	1
1N4733A	4.845	5.1	5.355	49	7	550	1	10	1
1N4734A	5.32	5.6	5.88	45	5	600	1	10	2
1N4735A	5.89	6.2	6.51	41	2	700	1	10	3
1N4736A	6.46	6.8	7.14	37	3.5	700	1	10	4
1N4737A	7.125	7.5	7.875	34	4	700	0.5	10	5
1N4738A	7.79	8.2	8.61	31	4.5	700	0.5	10	6
1N4739A	8.645	9.1	9.555	28	5	700	0.5	10	7
1N4740A	9.5	10	10.5	25	7	700	0.25	10	7.6
1N4741A	10.45	11	11.55	23	8	700	0.25	5	8.4
1N4742A	11.4	12	12.6	21	9	700	0.25	5	9.1
1N4743A	12.35	13	13.65	19	10	700	0.25	5	9.9
1N4744A	14.25	15	15.75	17	14	700	0.25	5	11.4
1N4745A	15.2	16	16.8	15.5	16	700	0.25	5	12.2
1N4746A	17.1	18	18.9	14	20	750	0.25	5	13.7
1N4747A	19	20	21	12.5	22	750	0.25	5	15.2

www.DataSheet.in

1N4728A - 1N4764A Zeners

Electrical Characteristics $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Device	V_Z (V) @ I_Z (Note 1)			Test Current I_Z (mA)	Max. Zener Impedance			Leakage Current	
	Min.	Typ.	Max.		Z_Z @ I_Z (Ω)	Z_{ZK} @ I_{ZK} (Ω)	I_{ZK} (mA)	I_R (μA)	V_R (V)
1N4748A	20.9	22	23.1	11.5	23	750	0.25	5	16.7
1N4749A	22.8	24	25.2	10.5	25	750	0.25	5	18.2
1N4750A	25.65	27	28.35	9.5	35	750	0.25	5	20.6
1N4751A	28.5	30	31.5	8.5	40	1000	0.25	5	22.8
1N4752A	31.35	33	34.65	7.5	45	1000	0.25	5	25.1
1N4753A	34.2	36	37.8	7	50	1000	0.25	5	27.4
1N4754A	37.05	39	40.95	6.5	60	1000	0.25	5	29.7
1N4755A	40.85	43	45.15	6	70	1500	0.25	5	32.7
1N4756A	44.65	47	49.35	5.5	80	1500	0.25	5	35.8
1N4757A	48.45	51	53.55	5	95	1500	0.25	5	38.8
1N4758A	53.2	56	58.8	4.5	110	2000	0.25	5	42.6
1N4759A	58.9	62	65.1	4	125	2000	0.25	5	47.1
1N4760A	64.6	68	71.4	3.7	150	2000	0.25	5	51.7
1N4761A	71.25	75	78.75	3.3	175	2000	0.25	5	56
1N4762A	77.9	82	86.1	3	200	3000	0.25	5	62.2
1N4763A	86.45	91	95.55	2.8	250	3000	0.25	5	69.2
1N4764A	95	100	105	2.5	350	3000	0.25	5	76

Notes:

1. Zener Voltage (V_Z)

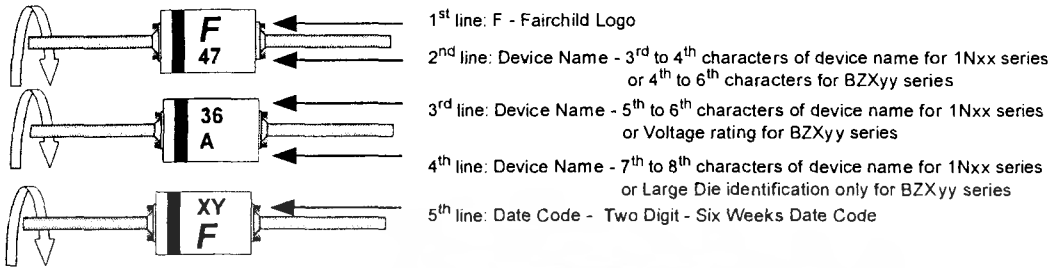
The zener voltage is measured with the device junction in the thermal equilibrium at the lead temperature (T_L) at $30^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ and 3/8" lead length.

www.DataSheet.in

Top Mark Information

Device	Line 1	Line 2	Line 3	Line 4	Line 5
1N4728A	LOGO	47	28	A	XY
1N4729A	LOGO	47	29	A	XY
1N4730A	LOGO	47	30	A	XY
1N4731A	LOGO	47	31	A	XY
1N4732A	LOGO	47	32	A	XY
1N4733A	LOGO	47	33	A	XY
1N4734A	LOGO	47	34	A	XY
1N4735A	LOGO	47	35	A	XY
1N4736A	LOGO	47	36	A	XY
1N4737A	LOGO	47	37	A	XY
1N4738A	LOGO	47	38	A	XY
1N4739A	LOGO	47	39	A	XY
1N4740A	LOGO	47	40	A	XY
1N4741A	LOGO	47	41	A	XY
1N4742A	LOGO	47	42	A	XY
1N4743A	LOGO	47	43	A	XY
1N4744A	LOGO	47	44	A	XY
1N4745A	LOGO	47	45	A	XY
1N4746A	LOGO	47	46	A	XY
1N4747A	LOGO	47	47	A	XY
1N4748A	LOGO	47	48	A	XY
1N4749A	LOGO	47	49	A	XY
1N4750A	LOGO	47	50	A	XY
1N4751A	LOGO	47	51	A	XY
1N4752A	LOGO	47	52	A	XY
1N4753A	LOGO	47	53	A	XY
1N4754A	LOGO	47	54	A	XY
1N4755A	LOGO	47	55	A	XY
1N4756A	LOGO	47	56	A	XY
1N4757A	LOGO	47	57	A	XY
1N4758A	LOGO	47	58	A	XY
1N4759A	LOGO	47	59	A	XY
1N4760A	LOGO	47	60	A	XY
1N4761A	LOGO	47	61	A	XY
1N4762A	LOGO	47	62	A	XY
1N4763A	LOGO	47	63	A	XY
1N4764A	LOGO	47	64	A	XY

Top Mark Information (Continued)



General Requirements:

1.0 Cathod Band

2.0 First Line: F - Fairchild Logo

3.0 Second Line: Device name - For 1Nxx series: 3rd to 4th characters of the device name.
 For BZxx series: 4th to 6th characters of the device name.

4.0 Third Line: Device name - For 1Nxx series: 5th to 6th characters of the device name.
 For BZXyy series: Voltage rating

5.0 Third Line: Device name - For 1Nxx series: 7th to 8th characters of the device name.
 (the 8th character is the large die identification)
 For BZXyy series: Large Die Identification character

6.0 Fourth Line: Date Code - Two Digit - Six Weeks Date Code
 Where: X represents the last digit of the calendar year
 Y represents the Six weeks numeric code

7.0 Devices shall be marked as required in the device specification (PID or FSC Test Spec).

8.0 Maximum no. of marking lines: 5

9.0 Maximum no. of digits per line: 3

10.0 FSC logo must be 20 % taller than the alphanumeric marking and should occupy the 2 characters of the specified line.

11.0 Marking Font: Arial (Except FSC Logo)

12.0 First character of each marking line must be aligned vertically

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACEx™	FAST®	IntelliMAX™	POP™	SPM™
ActiveArray™	FASTr™	ISOPLANAR™	Power247™	Stealth™
Bottomless™	FPS™	LittleFET™	PowerEdge™	SuperFET™
CoolFET™	FRFET™	MICROCOUPLER™	PowerSaver™	SuperSOT™-3
CROSSVOLT™	GlobalOptoisolator™	MicroFET™	PowerTrench®	SuperSOT™-6
DOME™	GTO™	MicroPak™	QFET®	SuperSOT™-8
EcoSPARK™	HiSeC™	MICROWIRE™	QS™	SyncFET™
E ² CMOS™	I ² C™	MSX™	QT Optoelectronics™	TinyLogic®
EnSigna™	i-Lo™	MSXPro™	Quiet Series™	TINYOPTO™
FACT™	ImpliedDisconnect™	OCX™	RapidConfigure™	TruTranslation™
FACT Quiet Series™		OCXPro™	RapidConnect™	UHC™
Across the board. Around the world.™		OPTOLOGIC®	µSerDes™	UltraFET®
The Power Franchise®		OPTOPLANAR™	SILENT SWITCHER®	UniFET™
Programmable Active Droop™		PACMAN™	SMART START™	VCX™

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

Rev. 115

REPETITIVE AVALANCHE AND dv/dt RATED HEXFET[®] TRANSISTORS THRU-HOLE (TO-204AA/AE)

IRF460 500V, N-CHANNEL

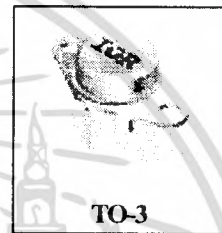
Product Summary

Part Number	BVDSS	RDS(on)	Id
IRF460	500V	0.27Ω	21

The HEXFET[®] technology is the key to International Rectifier's advanced line of power MOSFET transistors. The efficient geometry and unique processing of this latest "State of the Art" design achieves: very low on-state resistance combined with high transconductance; superior reverse energy and diode recovery dv/dt capability.

The HEXFET transistors also feature all of the well established advantages of MOSFETs such as voltage control, very fast switching, ease of paralleling and temperature stability of the electrical parameters.

They are well suited for applications such as switching power supplies, motor controls, inverters, choppers, audio amplifiers and high energy pulse circuits.



Features:

- Repetitive Avalanche Ratings
- Dynamic dv/dt Rating
- Hermetically Sealed
- Simple Drive Requirements
- Ease of Paralleling

Absolute Maximum Ratings

	Parameter		Units
I_D @ $V_{GS} = 0V, T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current	21	A
I_D @ $V_{GS} = 0V, T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current	14	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	84	
P_D @ $T_C = 25^\circ C$	Max. Power Dissipation	300	W
	Linear Derating Factor	2.4	W/ $^\circ C$
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
EAS	Single Pulse Avalanche Energy ②	1200	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ③	21	A
EAR	Repetitive Avalanche Energy ①	30	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	3.5	V/ns
T_J	Operating Junction	-55 to 150	$^\circ C$
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Lead Temperature	300 (0.063 in. (1.6mm) from case for 10s)	
	Weight	11.5 (typical)	g

For footnotes refer to the last page

www.irf.com

1
01/24/01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics @ T_j = 25°C (Unless Otherwise Specified)

	Parameter	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
BV _{DSS}	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	V _{GS} = 0V, I _D = 1.0mA
ΔBV _{DSS} /ΔT _J	Temperature Coefficient of Breakdown Voltage	—	0.78	—	V/°C	Reference to 25°C, I _D = 1.0mA
R _{DS(on)}	Static Drain-to-Source On-State Resistance	—	—	0.27	Ω	V _{GS} = 10V, I _D = 14A ④
		—	—	0.31		V _{GS} = 10V, I _D = 21A ④
V _{GS(th)}	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V _{DS} = V _{GS} , I _D = 250μA
g _{fs}	Forward Transconductance	13	—	—	S (Ω)	V _{DS} > 15V, I _{DS} = 14A ④
I _{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current	—	—	25	μA	V _{DS} = 400V, V _{GS} = 0V
		—	—	250		V _{DS} = 400V V _{GS} = 0V, T _J = 125°C
I _{GSS}	Gate-to-Source Leakage Forward	—	—	100	nA	V _{GS} = 20V
I _{GSS}	Gate-to-Source Leakage Reverse	—	—	-100	nA	V _{GS} = -20V
Q _g	Total Gate Charge	84	—	190	nC	V _{GS} = 10V, I _D = 21A
Q _{gs}	Gate-to-Source Charge	12	—	27		V _{DS} = 250V
Q _{gd}	Gate-to-Drain ('Miller') Charge	60	—	135		
t _{d(on)}	Turn-On Delay Time	—	—	35	ns	V _{DD} = 250V, I _D = 21A, R _G = 2.35Ω
t _r	Rise Time	—	—	120		
t _{d(off)}	Turn-Off Delay Time	—	—	130		
t _f	Fall Time	—	—	98		
LS + LD	Total Inductance	—	6.1	—	nH	Measured from drain lead (6mm lead package) to source lead (6mm lead package)
C _{iss}	Input Capacitance	—	4300	—	pF	V _{GS} = 0V, V _{DS} = 25V f = 1.0MHz
C _{oss}	Output Capacitance	—	1000	—		
C _{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	250	—		

Source-Drain Diode Ratings and Characteristics

	Parameter	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
I _S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	21	A	
I _{SM}	Pulse Source Current (Body Diode) ①	—	—	84		
V _{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.8	V	T _J = 25°C, I _S = 21A, V _{GS} = 0V ④
t _{rr}	Reverse Recovery Time	—	—	580	nS	T _J = 25°C, I _F = 21A, di/dt ≤ 100A/μs
Q _{RR}	Reverse Recovery Charge	—	—	8.1	μC	V _{DD} ≤ 50V ④
t _{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible. Turn-on speed is substantially controlled by LS + LD.				

Thermal Resistance

	Parameter	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
R _{thJC}	Junction to Case	—	—	0.42	°C/W	Typical socket mount
R _{thJA}	Junction to Ambient	—	—	30		

For footnotes refer to the last page

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

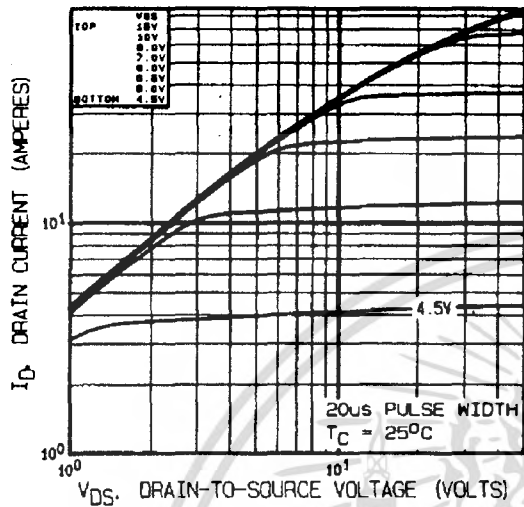


Fig 1. Typical Output Characteristics

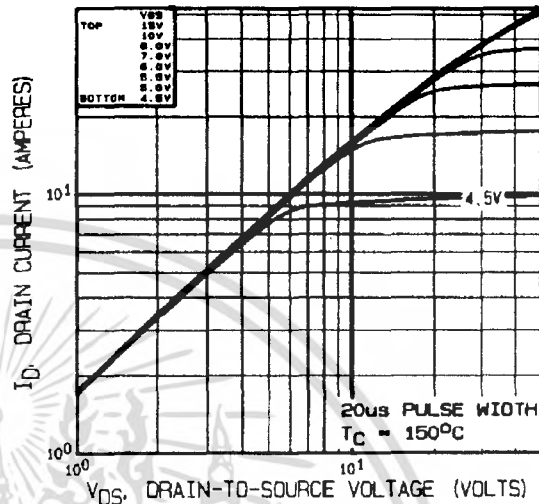


Fig 2. Typical Output Characteristics

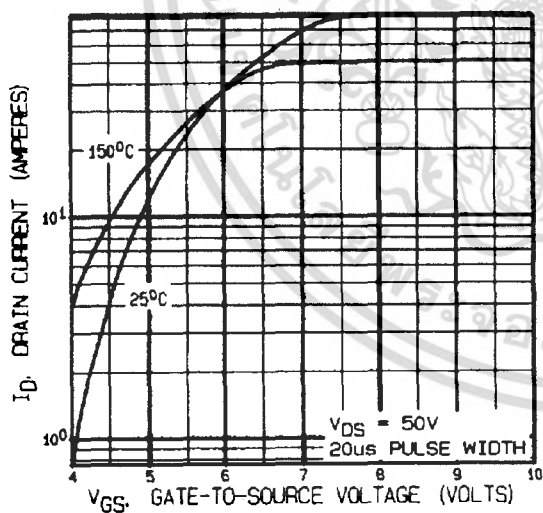


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

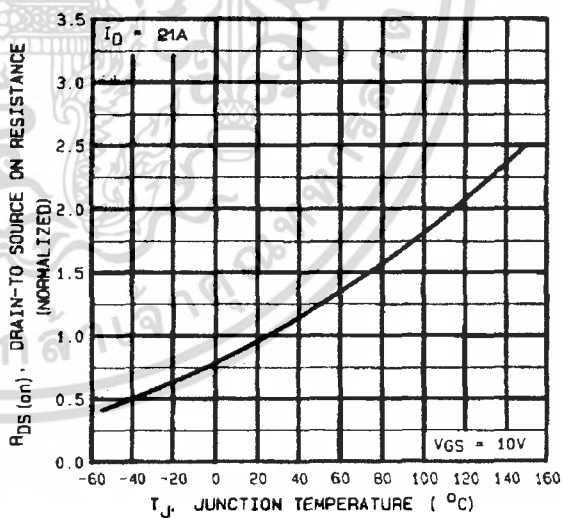


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

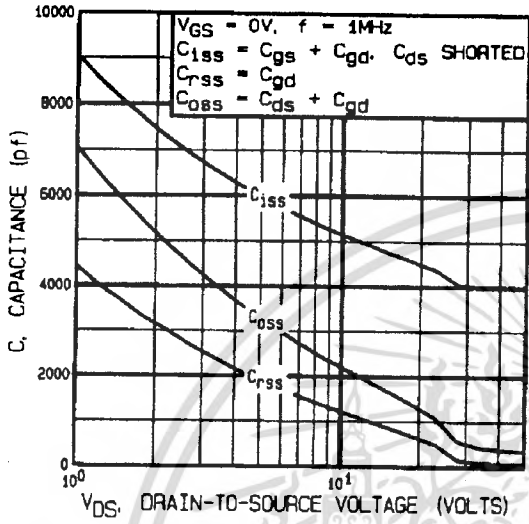


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

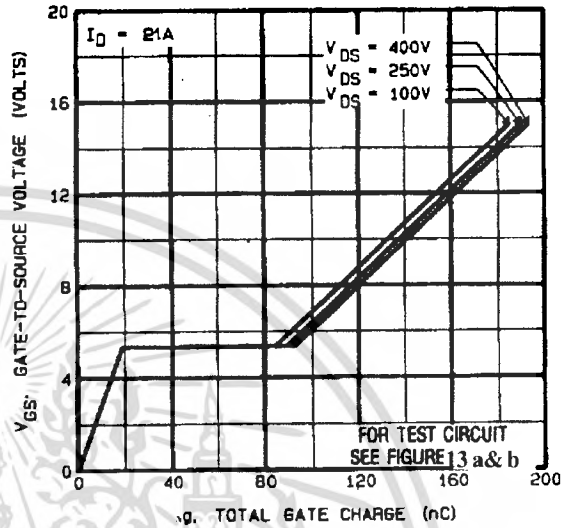


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

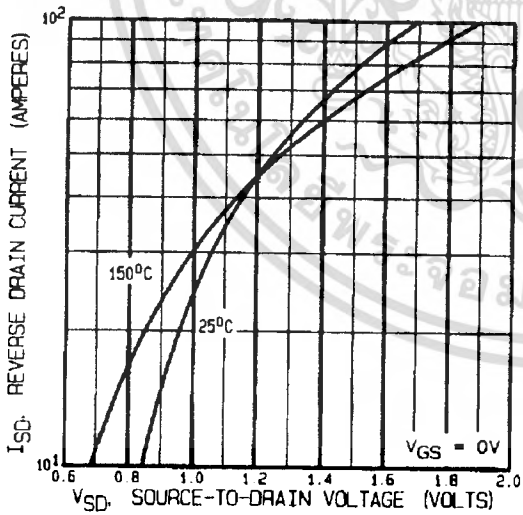


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

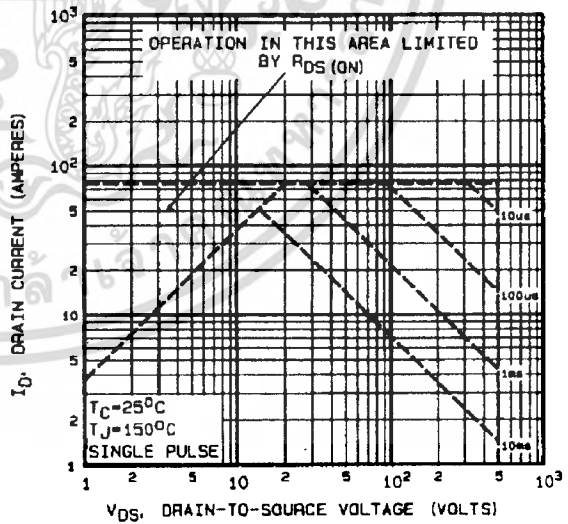


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

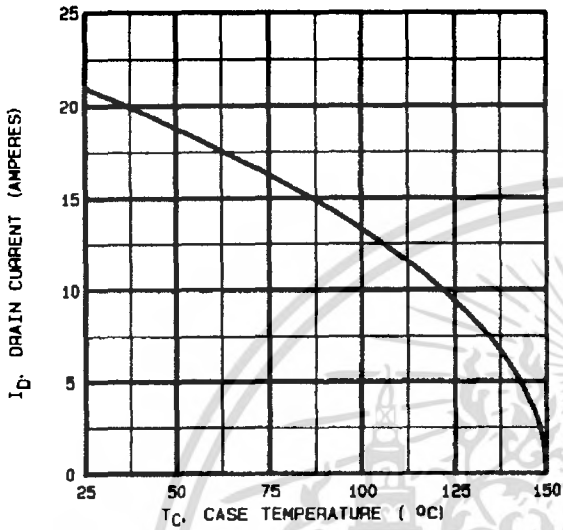


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

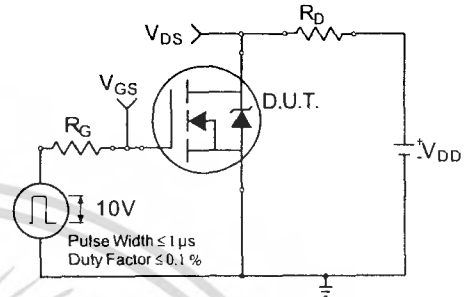


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

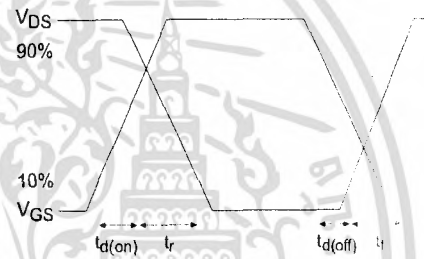


Fig 10b. Switching Time Waveforms

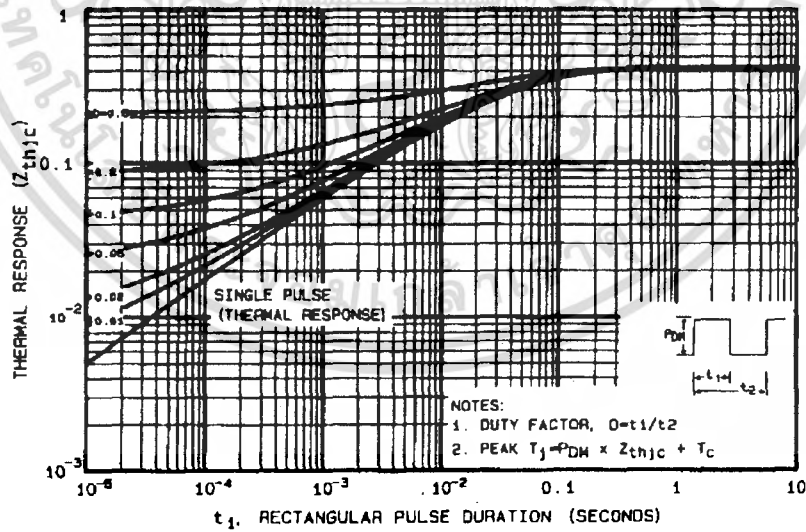


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

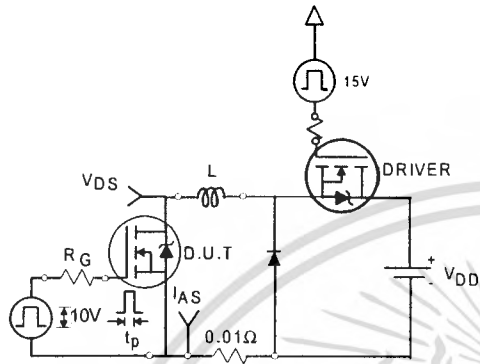


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

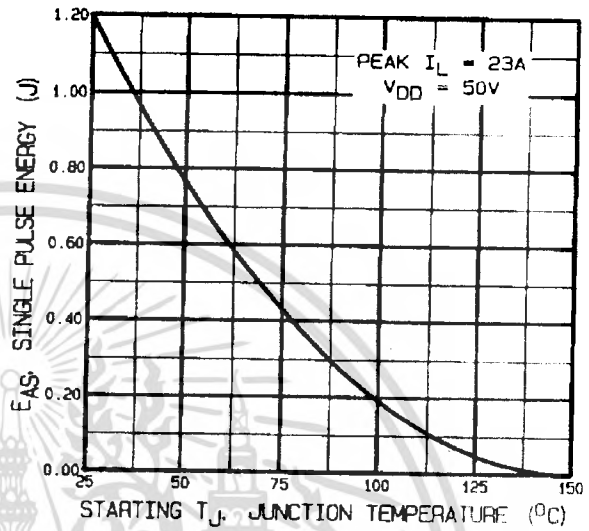


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

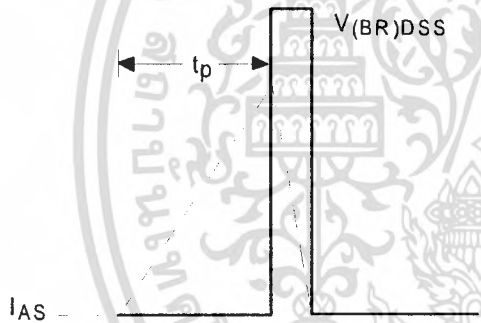


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

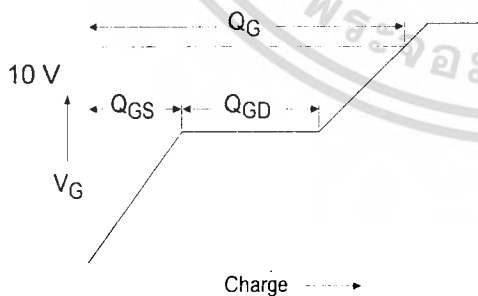


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

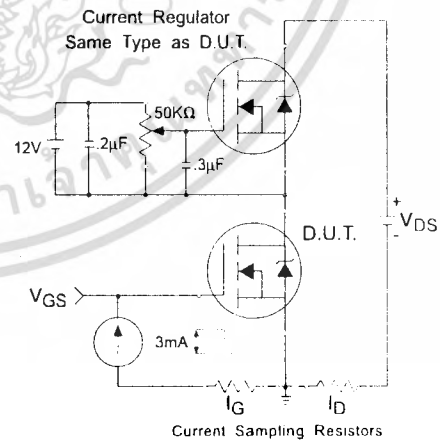
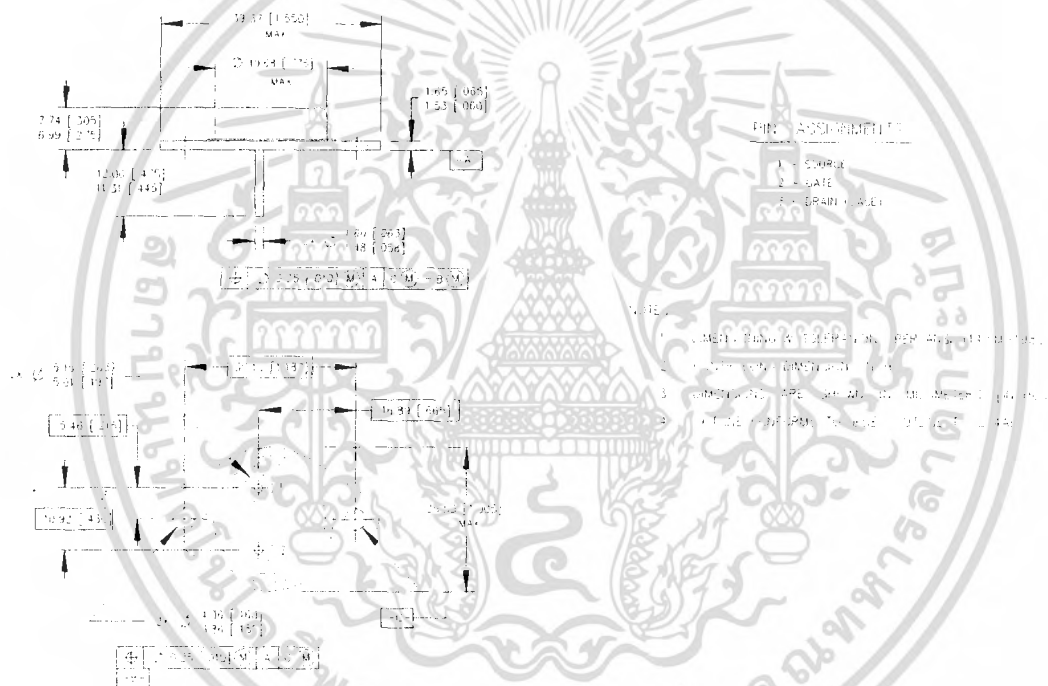


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Foot Notes:

- ① Repetitive Rating; Pulse width limited by maximum junction temperature.
- ② $V_{DD} = 50V$, starting $T_J = 25^{\circ}C$, Peak $I_L = 21A$,
- ③ $I_{SD} \leq 21A$, $di/dt \leq 160A/\mu s$, $V_{DD} \leq 500V$, $T_J \leq 150^{\circ}C$
Suggested $R_G = 2.35 \Omega$
- ④ Pulse width $\leq 300 \mu s$; Duty Cycle $\leq 2\%$

Case Outline and Dimensions—TO-204AE (Modified TO-3)



IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105
IR EUROPEAN REGIONAL CENTRE: 439/445 Godstone Rd, Whyteleafe, Surrey CR3 0BL, UK Tel: ++ 44 (0)20 8645 8000
IR CANADA: 15 Lincoln Court, Brampton, Ontario L6T 3Z2, Tel: (905) 453 2200
IR GERMANY: Saalburgstrasse 157, 61350 Bad Homburg Tel: ++ 49 (0) 6172 96590
IR ITALY: Via Liguria 49, 10071 Borgaro, Torino Tel: ++ 39 011 451 0111
IR JAPAN: K&H Bldg., 2F, 30-4 Nishi-Ikebukuro 3-Chome, Toshima-Ku, Tokyo 171 Tel: 81 (0)3 3983 0086
IR SOUTHEAST ASIA: 1 Kim Seng Promenade, Great World City West Tower, 13-11, Singapore 237994 Tel: ++ 65 (0)838 4630
IR TAIWAN: 16 Fl. Suite D, 207, Sec. 2, Tun Haw South Road, Taipei, 10673 Tel: 886-(0)2 2377 9936
Data and specifications subject to change without notice. I/O1

5.6A, 100V, 0.540 Ohm, N-Channel Power MOSFET

This N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistor is an advanced power MOSFET designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching convertors, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA17441.

Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRF510	TO-220AB	IRF510

NOTE: When ordering, include the entire part number.

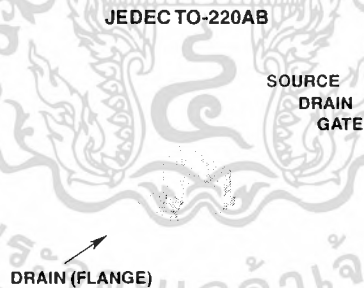
Features

- 5.6A, 100V
- $r_{DS(ON)} = 0.540\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
 - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

Symbol



Packaging



IRF510

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

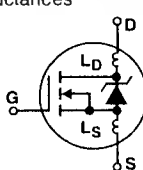
	IRF510	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1)	V_{DS}	100 V
Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20\text{k}\Omega$) (Note 1)	V_{DGR}	100 V
Continuous Drain Current	I_D	5.6 A
$T_C = 100^\circ\text{C}$	I_D	4 A
Pulsed Drain Current (Note 3)	I_{DM}	20 A
Gate to Source Voltage	V_{GS}	± 20 V
Maximum Power Dissipation	P_D	43 W
Linear Derating Factor		0.29 $\text{W}/^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4)	E_{AS}	19 mJ
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{STG}	-55 to 175 $^\circ\text{C}$
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s.	T_L	300 $^\circ\text{C}$
Package Body for 10s, See Techbrief 334	T_{pk}	260 $^\circ\text{C}$

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

- $T_J = 25^\circ\text{C}$ to 150°C .

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS		
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	$V_{GS} = 0\text{V}, I_D = 250\mu\text{A}$, (Figure 10)	100	-	-	V		
Gate to Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250\mu\text{A}$	2.0	-	4.0	V		
Zero-Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 95\text{V}, V_{GS} = 0\text{V}$ $V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0\text{V}, T_J = 150^\circ\text{C}$	-	-	-	μA		
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}, V_{GS} = 10\text{V}$ (Figure 7)	5.6	-	-	A		
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{V}$	-	-	± 100	nA		
Drain to Source On Resistance (Note 2)	$r_{DS(ON)}$	$V_{GS} = 10\text{V}, I_D = 3.4\text{A}$ (Figures 8, 9)	-	0.4	0.54	Ω		
Forward Transconductance (Note 2)	g_{fs}	$V_{GS} = 50\text{V}, I_D = 3.4\text{A}$ (Figure 12)	1.3	2.0	-	S		
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$I_D = 5.6\text{A}, R_{GS} = 24\Omega, V_{DD} = 50\text{V}, R_L = 9\Omega,$ $V_{DD} = 50\text{V}, V_{GS} = 10\text{V}$	-	8	12	ns		
Rise Time	t_r	MOSFET switching times are essentially independent of operating temperature	-	25	63	ns		
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	15	7	ns		
Fall Time	t_f		-	12	59	ns		
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain)	$Q_{g(TOT)}$	$V_{GS} = 10\text{V}, I_D = 5.6\text{A}, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS},$ $I_{G(REF)} = 1.5\text{mA}$ (Figure 14)	-	5.0	30	nC		
Gate to Source Charge	Q_{gs}	Gate charge is essentially independent of operating temperature.	-	2.0	-	nC		
Gate to Drain "Miller" Charge	Q_{gd}		-	3.0	-	nC		
Input Capacitance	C_{ISS}	$V_{GS} = 0\text{V}, V_{DS} = 25\text{V}, f = 1.0\text{MHz}$ (Figure 11)	-	135	-	pF		
Output Capacitance	C_{OSS}		-	80	-	pF		
Reverse-Transfer Capacitance	C_{RSS}		-	20	-	pF		
Internal Drain Inductance	L_D	Measured From the Contact Screw On Tab To Center of Die Measured From the Drain Lead, 6mm (0.25in) From Package to Center of Die	Modified MOSFET Symbol Showing the Internal Devices Inductances 		-	3.5	-	nH
Internal Source Inductance	L_S	Measured From The Source Lead, 6mm (0.25in) From Header to Source Bonding Pad			-	4.5	-	nH
Junction to Case	$R_{\theta JC}$		-	-	3.5	$^\circ\text{C}/\text{W}$		
Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Free air operation	-	-	80	$^\circ\text{C}/\text{W}$		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF510

Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	Test Conditions	MIN	TYP	MAX	UNITS
Continuous Source to Drain Current	I_{SD}	Modified MOSFET Symbol Showing the Integral Reverse P-N Junction Diode	-	-	5.6	A
Pulse Source to Drain Current (Note 3)	I_{SDM}		-	-	20	A
Source to Drain Diode Voltage (Note 2)	V_{SD}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 5.6\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 13)	-	-	2.5	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 5.6\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	4.6	96	200	ns
Reverse Recovered Charge	Q_{RR}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 5.6\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	0.17	0.4	0.83	μC

NOTES:

- Pulse test: pulse width $\leq 300\mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$.
- Repetitive rating: pulse width limited by max junction temperature. See Transient Thermal Impedance curve (Figure 3).
- $V_{DD} = 25\text{V}$, start $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 910\mu\text{H}$, $R_G = 25\Omega$, peak $I_{AS} = 5.6\text{A}$.

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

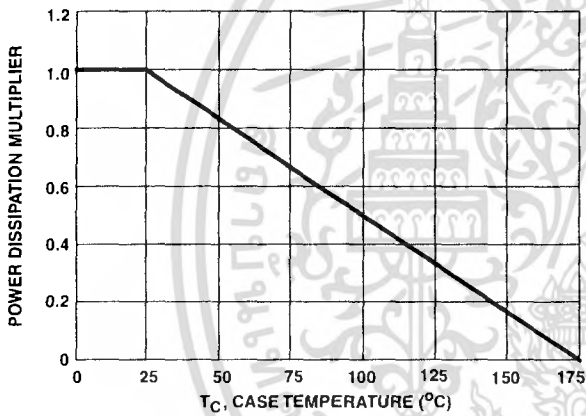


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

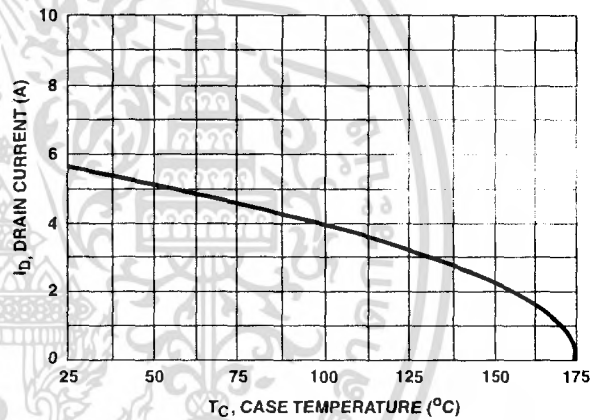


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

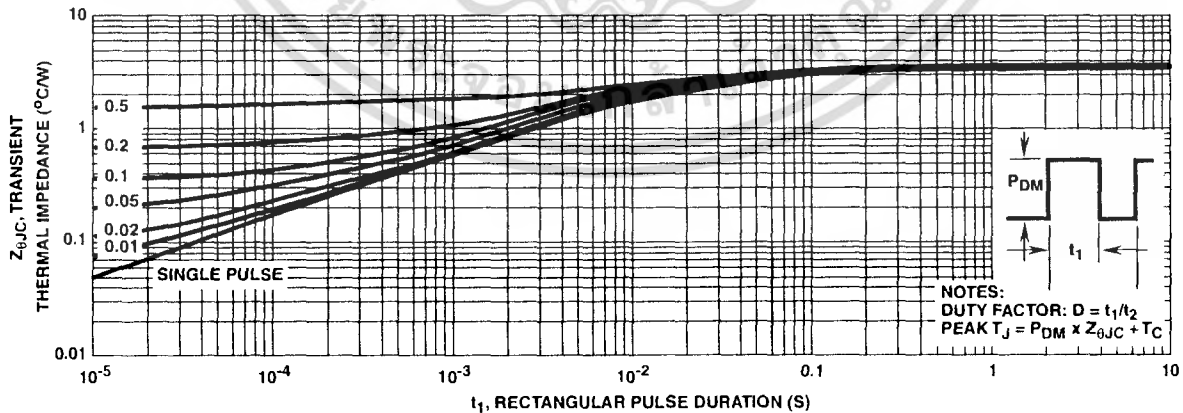


FIGURE 3. MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF510

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

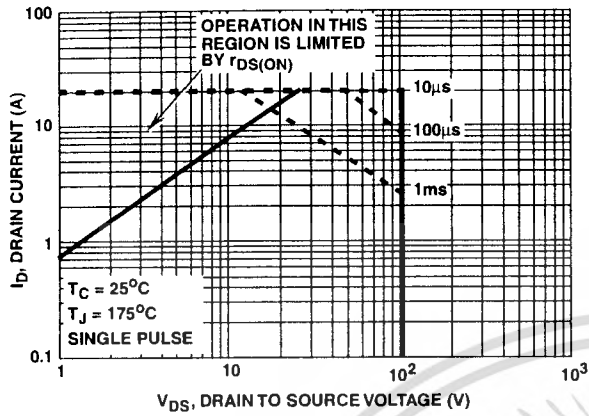


FIGURE 4. FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA

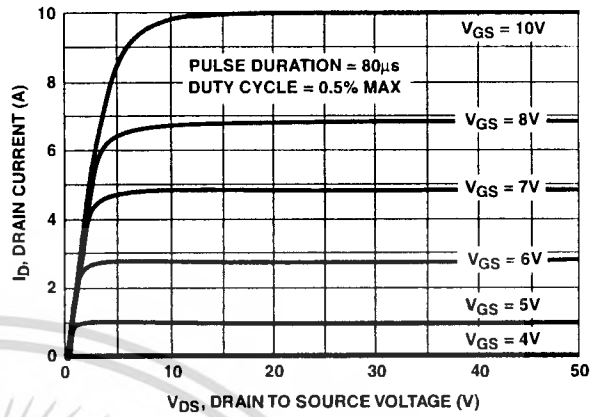


FIGURE 5. OUTPUT CHARACTERISTICS

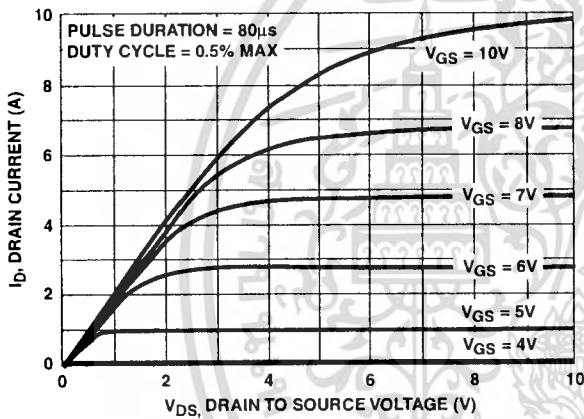


FIGURE 6. SATURATION CHARACTERISTICS

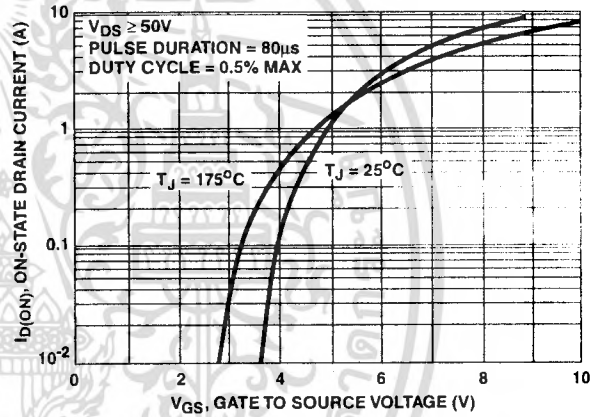


FIGURE 7. TRANSFER CHARACTERISTICS

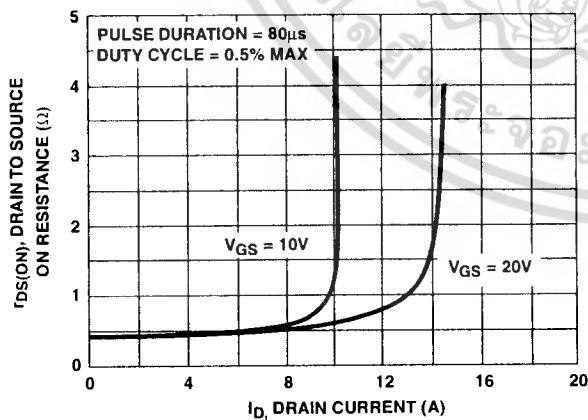


FIGURE 8. DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs. GATE VOLTAGE AND DRAIN CURRENT

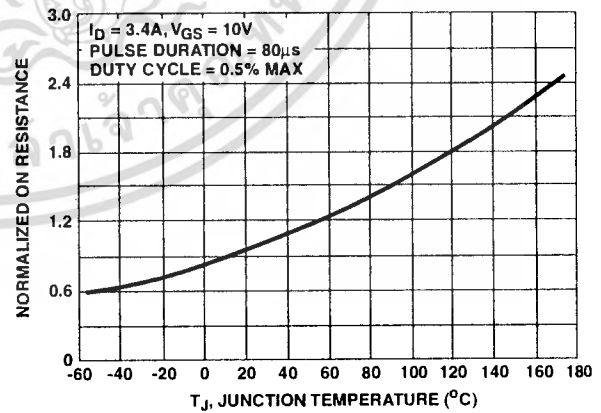


FIGURE 9. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs. JUNCTION TEMPERATURE

IRF510

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

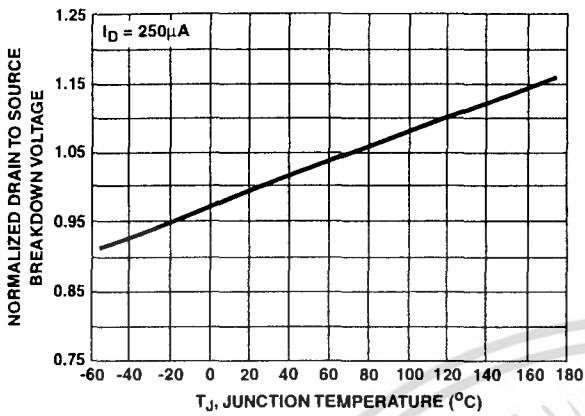


FIGURE 10. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE BREAKDOWN VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

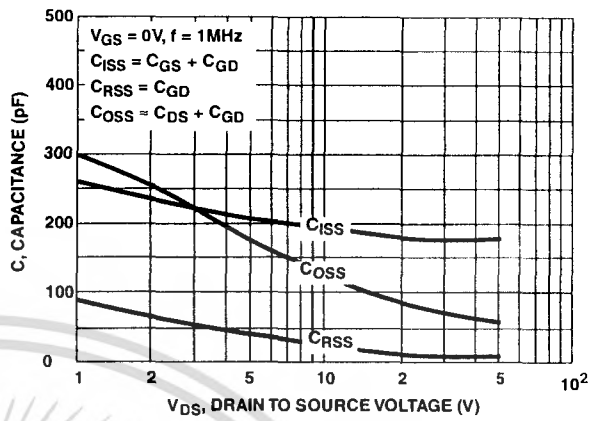


FIGURE 11. CAPACITANCE vs DRAIN TO SOURCE VOLTAGE

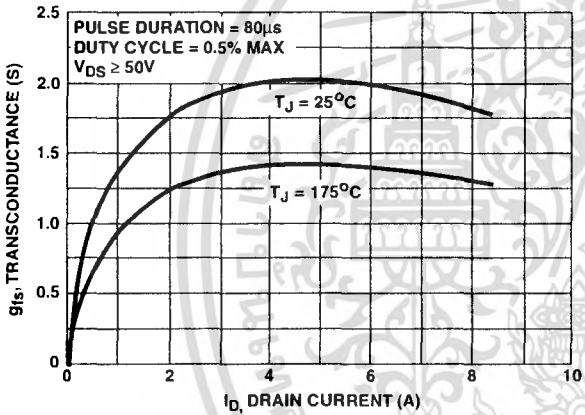


FIGURE 12. TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

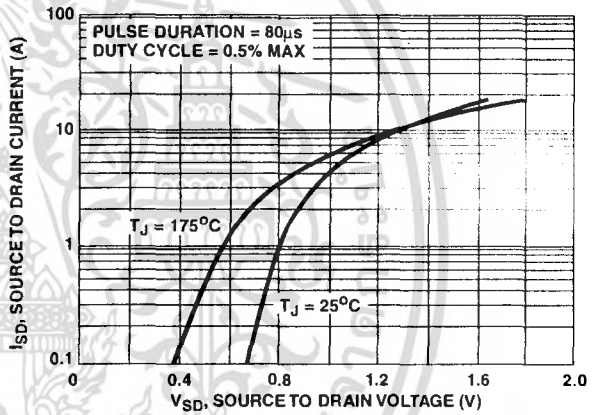


FIGURE 13. SOURCE TO DRAIN DIODE VOLTAGE

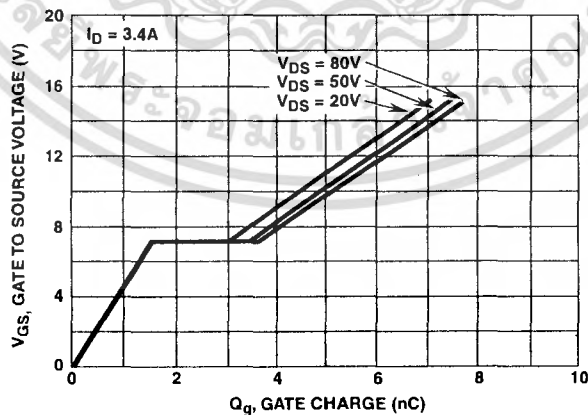


FIGURE 14. GATE TO SOURCE VOLTAGE vs GATE CHARGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test Circuits and Waveforms

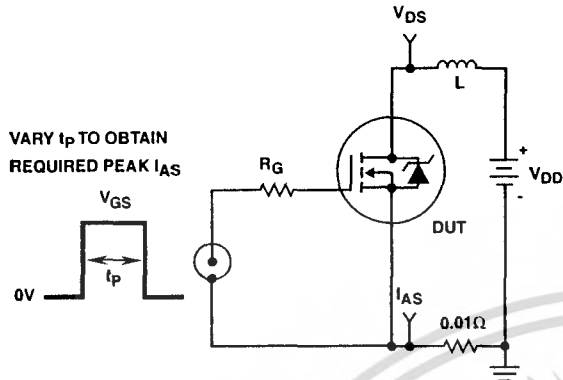


FIGURE 15. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

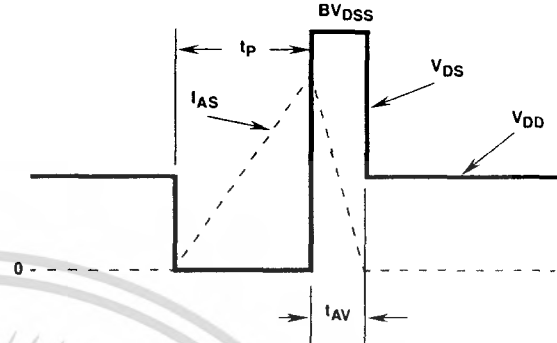


FIGURE 16. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

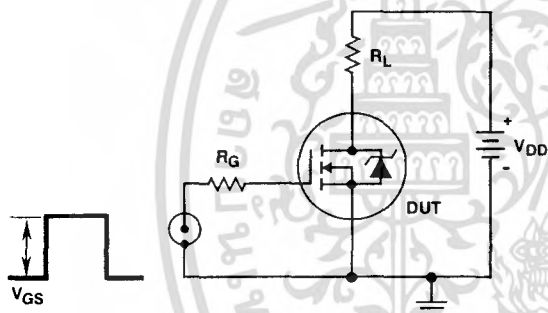


FIGURE 17. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

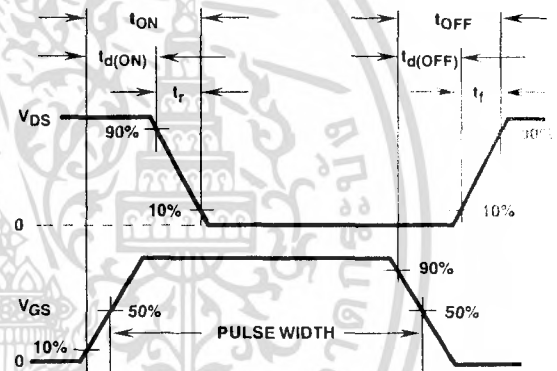


FIGURE 18. RESISTIVE SWITCHING WAVEFORMS

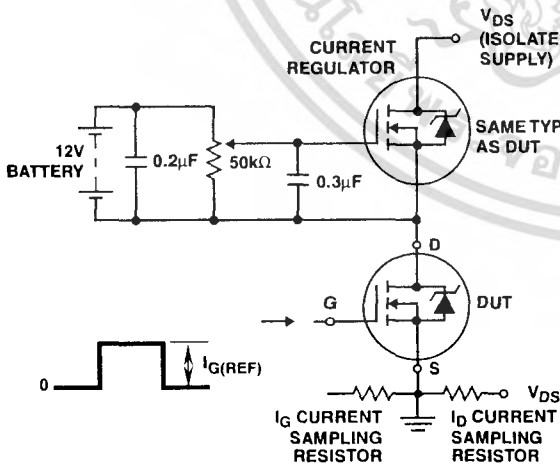


FIGURE 19. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

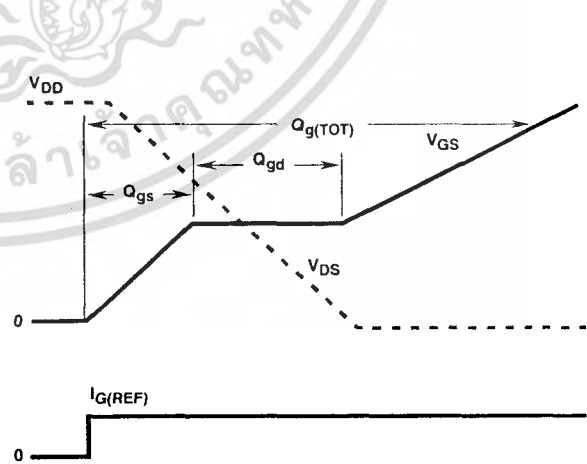


FIGURE 20. GATE CHARGE WAVEFORM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACEx™	FAST®	OPTOLOGIC™	SMART START™	VCX™
Bottomless™	FASTr™	OPTOPLANAR™	STAR*POWER™	
CoolFET™	FRFET™	PACMAN™	Stealth™	
CROSSVOLT™	GlobalOptoisolator™	POP™	SuperSOT™-3	
DenseTrench™	GTO™	Power247™	SuperSOT™-6	
DOME™	HiSeC™	PowerTrench®	SuperSOT™-8	
EcoSPARK™	ISOPLANAR™	QFET™	SyncFET™	
E ² CMOS™	LittleFET™	QS™	TinyLogic™	
EnSigna™	MicroFET™	QT Optoelectronics™	TruTranslation™	
FACT™	MicroPak™	Quiet Series™	UHC™	
FACT Quiet Series™	MICROWIRE™	SILENT SWITCHER®	UltraFET®	

STAR*POWER is used under license

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

Rev 114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้