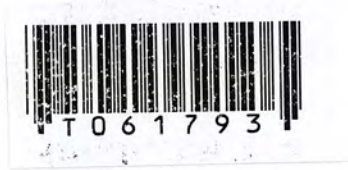


เครื่องทำน้ำอุ่นเหนียวนา

INDUCTION SHOWER



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 61793
วัน,เดือน,ปี. 2.1.ก.ค. 2549

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2547

เครื่องทำน้ำอุ่นเหนียวน้ำ

INDUCTION SHOWER



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ดร. วิจิตร

กนิษฐ

อ. ชัยทัต

มณีอินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ประจำปีการศึกษา 2547

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องทำน้ำอุ่นเหนี่ยวนำควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
Induction shower

ผู้จัดทำ

- | | | | |
|-------------------|------------|--------------|----------|
| 1. นาย ณรงค์ฤทธิ์ | วังคีรี | รหัสประจำตัว | 45015095 |
| 2. นาย สิทธิพร | จันทร์ | รหัสประจำตัว | 45015125 |
| 3. นาย อภิชาติ | คงเจริญ | รหัสประจำตัว | 45015131 |
| 4. นาย ชเนศ | ชัยไพบูลย์ | รหัสประจำตัว | 45015151 |



(Signature)

(รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(Signature)

(อ. ชัยทัต มณีอินทร์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องทำน้ำอุ่นเหนี่ยวนำ

นาย ณรงค์ฤทธิ์ วัังศิริ
 นาย สิทธิพร จันทร
 นาย อภิชาติ คงเจริญ
 นาย ธเนศ ชัดไพบูลย์
 รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ อาจารย์ที่ปรึกษา
 อ. ชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้นำหลักการและทฤษฎีเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำความถี่สูง โดยการสวิตซ์ ซึ่งที่ความถี่สูง ซึ่งเกิดจากการศึกษาหลักการของเตาเหนี่ยวนำความร้อน ที่ได้มีการทำไว้มาต่อยอด พัฒนาเป็นเครื่องทำน้ำอุ่น เครื่องทำน้ำอุ่นนี้ที่ออกแบบนี้เป็นเครื่องต้นแบบ ประกอบด้วย วงจรเรียงกระแสแสงจอร์อินเวอร์เตอร์ฮาร์ฟบริดจ์แบบ 1-เรโซแนนท์โดยใช้ไอจีบีทีเป็นอุปกรณ์ในการสวิตซ์ซิ่ง และ โทลครโซแนนท์ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของวงจรนี้ ซึ่งถูกออกแบบในเบื้องต้นให้ทำความร้อนได้อย่างสม่ำเสมอและรวดเร็ว เครื่องทำน้ำอุ่นนี้มีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม โดยใช้ PIC 18F458 ขนาด 8 บิต เครื่องทำน้ำอุ่นนี้ทำงานที่ความถี่เรโซแนนท์ 25 kHz มีพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 3.5kW ใช้วิธีการปรับกำลังไฟฟ้าด้วยความถี่ เป็นระบบลูปเปิด โดยมีการตรวจวัดอุณหภูมิ

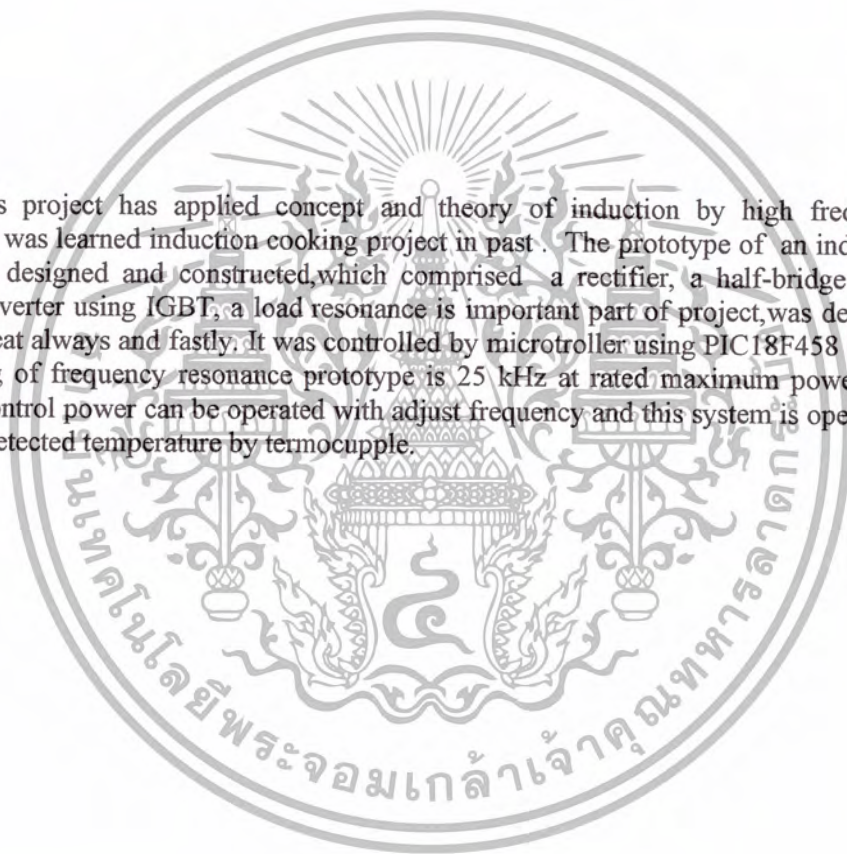
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INDUCTION SHOWER

Narongrit	Wangkiree
Sitiporn	Juntron
Apichad	Kongjaroun
Thaned	Chatpaiboon
Assc.Prof.Dr. Vijit	Kinares Advisor
Chaithut	Maneein Advisor

Abstract

This project has applied concept and theory of induction by high frequency switching. It was learned induction cooking project in past . The prototype of an induction shower was designed and constructed, which comprised a rectifier, a half-bridge series resonance inverter using IGBT, a load resonance is important part of project, was designed to making heat always and fastly. It was controlled by microtroller using PIC18F458 8 bit . The working of frequency resonance prototype is 25 kHz at rated maximum power 3.5 kW. This control power can be operated with adjust frequency and this system is open loop which was detected temperature by termocouple.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ วิจิตร กิณเรศ ที่ให้การแนะนำในการทำโครงการนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณพี่ทัต ที่ให้ความช่วยเหลือทุกอย่าง ทั้งคำแนะนำทั้งด้าน โปรแกรมและฮาร์ดแวร์ ทำให้โครงการนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณพี่หนูย ที่สอนการ โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ภาษาซี และขอบคุณพี่ๆ ป. โททุกท่านที่ทำให้กำลังใจ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งเป็นผู้อุปการะเลี้ยงดูมาจนเติบโตใหญ่

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง
คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการทำงาน	3
1.4 วิธีการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 หลักการรีโชนเนสซ์	4
2.1.1 รีโชนเนสซ์อนุกรม	4
2.1.2 รีโชนเนสซ์ขนาน	8
2.2 หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ	12
2.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับไอจีบีที	13
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องทำน้ำอุ่น	19
3.1 วงจรกำลัง	19
3.1.1 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง (Rectifier part)	20
3.1.2 วงจรกรองแรงดัน (C - filter)	21
3.1.3 วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter part)	21
3.1.4 โทลครีโชนเนสซ์	22
3.1.5 EMI Filter	27
3.2 ชุดควบคุม	27
3.2.1 วงจรควบคุมอินเวอร์เตอร์	27
3.2.2 วงจรขยายสัญญาณขับ IGBT	29
3.2.3 วงจรป้องกันกระแสเกิน	30

	หน้า
3.2.4 วงจรตรวจจับอุณหภูมิ	31
3.3 ชุดโปรแกรมควบคุมการทำงาน	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง	36
4.1 ผลการทดลองทางด้านอินพุต	36
4.2 ผลการทดลองทางด้านเอาต์พุต	37
4.3 ค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางไฟฟ้า	40
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	46
5.1 จุดเด่นของโครงการ	46
5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนา	46
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับ	47
ภาคผนวก	
เอกสารอ้างอิง	



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1-1 ผลการเปรียบเทียบเครื่องทำน้ำอุ่นระบบทั่วไประบบเหนี่ยวนำ	2
ตารางที่ 3-1 ลักษณะของอุปกรณ์รูปคลื่นและกระแสที่ใช้ในวงจรรีโซแนนซ์อนุกรม	21
ตารางที่ 3-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและอุณหภูมิ	33
ตารางที่ 4-1 ค่าที่ได้ทางไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำอุ่น	40



สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2-1	การพล็อตค่า $+jXL$ และ $-jXC$ กับ ความถี่วงจรอนุกรม RLC รีโซแนนซ์	4
รูปที่ 2-2	กราฟอิมพีแดนซ์ กระแสและมูฟเฟส กับความถี่และกระแสที่ไหลในรีโซแนนซ์ของ ($XL = XC$)	5
รูปที่ 2-3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า VR, VC และ VL กับความถี่	6
รูปที่ 2-4	รูปเฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันในวงจร LCR รีโซแนนซ์	7
รูปที่ 2-5	เฟสเซอร์ไดอะแกรมรูปคลื่นของกระแสที่จุดรีโซแนนซ์ของ RLC ขนาน	8
รูปที่ 2-6	วงจรปกติของการต่อแบบ RLC ขนาน	9
รูปที่ 2-7	กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์ และ กระแสต่อความถี่	10
รูปที่ 2-8	หลักการทำงานของการเหนี่ยวนำ	12
รูปที่ 2-9	สัญลักษณ์ไอจีบีที ในลักษณะของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์และมอสเฟต	13
รูปที่ 2-10	โครงสร้างของไอจีบีทีชนิดเอ็นแซลแนล	14
รูปที่ 2-11	กราฟลักษณะคุณสมบัติการถ่ายโอนของ ไอจีบีที	15
รูปที่ 2-12	รูปโครงสร้างที่ปรับปรุงเพื่อป้องกันการแลตใน ไอจีบีที	17
รูปที่ 3-1	วงจรกำลังของเครื่องทำน้ำอุ่น	19
รูปที่ 3-2	รูปวงจร Bridge Rectifier	20
รูปที่ 3-3	วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดฮาร์ฟบริดจ์	21
รูปที่ 3-4	ลักษณะของ โมดูล ไอจีบีที ที่ใช้ในโครงงานเครื่องทำน้ำอุ่น	22
รูปที่ 3-4	โพลครีโซแนนซ์แบบอนุกรม	22
รูปที่ 3-5	ลักษณะของขดลวดเหนี่ยวนำ	23
รูปที่ 3-6	ลักษณะของภาชนะที่บรรจุน้ำ	24
รูปที่ 3-7	ลักษณะของตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรรีโซแนนซ์	25
รูปที่ 3-8	รูปวงจร EMI FILTER	27
รูปที่ 3-9	วงจรชุดควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	28
รูปที่ 3-10	สัญญาณ PWM_A และ PWM_B	29
รูปที่ 3-11	วงจรขยายสัญญาณขับขาเกตไอจีบีที	30
รูปที่ 3-12	วงจรป้องกันกระแสทางด้านเอาต์พุต	31
รูปที่ 3-13	อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิและวงจร	32
รูปที่ 4-1	วงจรที่ใช้ในการทดลองวัดค่าต่าง ๆ	35
รูปที่ 4-2	รูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้านอินพุต	36
รูปที่ 4-3	รูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้านเอาต์พุต	37
รูปที่ 4-4	รูปคลื่นแรงดันและกระแส ทางด้านเอาต์พุต (ขยาย)	38

รูปที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับอุณหภูมิศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

39

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถเผยแพร่ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4-6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับกำลังไฟฟ้า	42
รูปที่ 4-7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง THDi กับกำลังไฟฟ้าอินพุท	42
รูปที่ 4-8	ผลการเปรียบเทียบฮาร์โมนิกส์ของกระแสอินพุทเมื่ออุณหภูมิเท่ากับ 32 °c	43
รูปที่ 4-9	ผลการเปรียบเทียบฮาร์โมนิกส์ของกระแสอินพุทเมื่ออุณหภูมิเท่ากับ 47 °c	43
รูปที่ 4-10	เปรียบเทียบระยะ gap ที่เปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิ	44
รูปที่ 4-11	กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าเอาต์พุทเมื่อเปรียบเทียบความถี่สวิทช์ที่ระยะ gap เท่ากับ 7 mm	45



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

เครื่องทำน้ำอุ่นที่มีขายทั่วไป ในปัจจุบัน มีหลักการทำงานโดยอาศัยขดลวดความร้อน ซึ่งขดลวดความร้อนเมื่อรับพลังงานมาจะมาสร้างความร้อนขึ้นที่ขดลวดก่อนแล้วจึงถ่ายเทความร้อนให้กับภาชนะที่บรรจุน้ำ ความร้อนที่ภาชนะก็จะถ่ายเทให้กับน้ำทำให้น้ำมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น วิธีนี้เป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน ดังนั้นจึงใช้วิธีการของการเหนี่ยวนำไฟฟ้าแทนจะทำให้เราประหยัดพลังงาน โดยขดลวดจะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาเกิดฟลักซ์แม่เหล็ก ฟลักซ์แม่เหล็กนี้จะตัดกับภาชนะที่บรรจุน้ำ เกิดแรงดันเหนี่ยวนำที่ภาชนะ ภาชนะที่บรรจุน้ำนั้นเปรียบเสมือนถูกลัดวงจรทางไฟฟ้าไว้แล้วจะทำให้เกิดกระแสไหลวน ทำให้เกิดการสูญเสียกลายเป็นความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทให้กับน้ำทำให้น้ำมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น

ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ฟลักซ์แม่เหล็กที่ตัดกับภาชนะบรรจุน้ำ ฟลักซ์แม่เหล็กจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับกระแสที่ป้อนให้กับขดลวด จึงใช้หลักการของอินเวอร์เตอร์ โดยที่แรงดันเป็นแสควเวฟส่วนกระแสจะเป็นไซน์ และโหลดขดลวดเป็นโหลดรีโซแนนซ์เมื่อวงจรอยู่ในสถานะรีโซแนนซ์ อิมพีแดนซ์ในวงจรจะเหลือเพียงความต้านทานอย่างเดียวทำให้แรงดันและกระแสอินเฟสกัน เพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ได้จะมีค่าคือค่าความถี่คือความถี่รีโซแนนซ์ หากปรับเปลี่ยนความถี่กระแสก็จะลดลงฟลักซ์แม่เหล็กก็จะมีค่าลดลง ในชุดของวงจรอินเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่ที่สูง จึงใช้อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งเป็น IGBT จึงจะเหมาะสมในการใช้งาน ส่วนในชุดคอนโทรลจะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมและสร้างสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์ในการสวิตซ์

เครื่องทำน้ำอุ่นแบบเหนี่ยวนำจะใช้หลักการเหนี่ยวนำความถี่สูง ดังนั้นภาชนะที่บรรจุน้ำจึงควรเลือกเป็นภาชนะที่ทำด้วยสาร ferro - magnetic ที่มีความซึมซาบแม่เหล็กสูง

ตามตารางที่ 1 - 1 ด้านล่างแสดงให้เห็นการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องทำน้ำอุ่นแบบระบบทั่วไปที่ใช้ขดลวดความร้อน กับเครื่องทำน้ำอุ่นระบบเหนี่ยวนำ

ตารางที่ 1-1 ผลการเปรียบเทียบเครื่องทำน้ำอุ่นระบบทั่วไปกับระบบเหนี่ยวนำ

	แบบทั่วไป	แบบเหนี่ยวนำ
หลักการทำงาน	ไม่ซับซ้อน	ซับซ้อน
การให้ความร้อน	ทางอ้อมจึงทำให้ร้อนช้า	โดยตรงจึงทำให้ร้อนเร็ว
ขนาด	เล็ก	ยังมีขนาดใหญ่ (เพราะเป็นเครื่องดันแบบ)
ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า	75 %	95 %
มลภาวะ	ไม่สร้างปัญหา	ไม่สร้างปัญหา
ภาชนะที่ใช้	ทำด้วยทองแดง	ทำด้วยสแตนเลสสตีล
ผลกระทบทางไฟฟ้า	ไม่สร้าง	มีฮาร์โมนิกเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

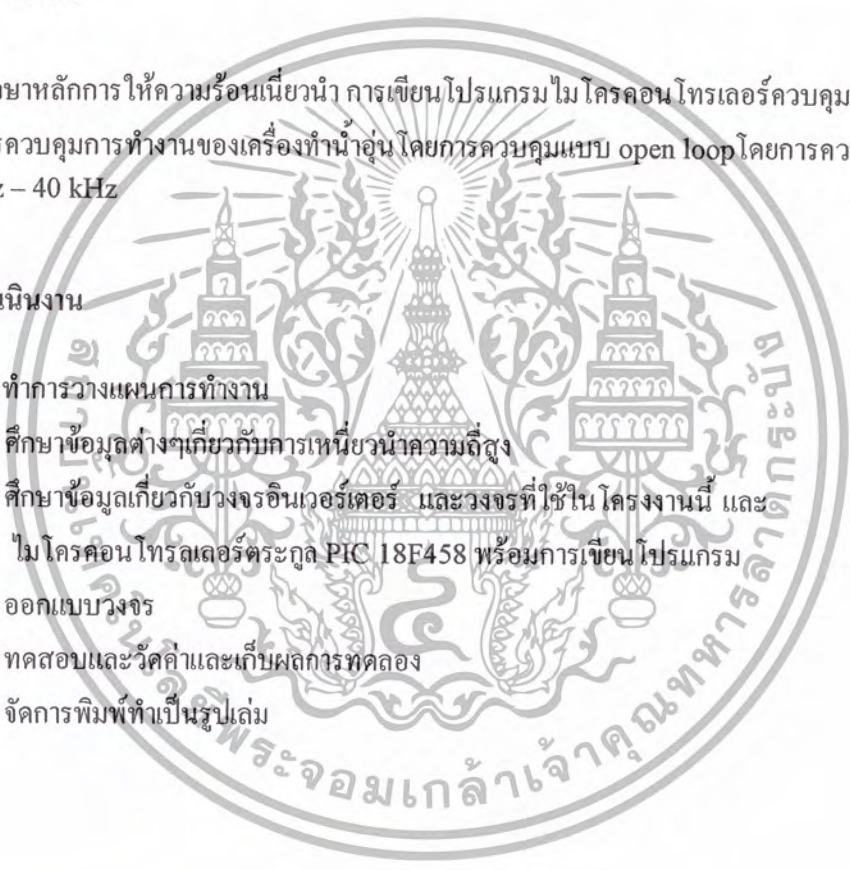
- 1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำความถี่สูง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับเครื่องทำน้ำอุ่นแบบขดลวดความร้อน
- 1.2.3 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆในวงจรรีโซแนนซ์อนุกรม เช่น อิมพีแดนซ์ กำลังไฟฟ้า
- 1.2.4 เพื่อศึกษาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC 18F458 และหลักการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน

1.3 ขอบเขตของงาน

ศึกษาหลักการให้ความร้อนเหนี่ยวนำ การเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงาน และการควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำอุ่น โดยการควบคุมแบบ open loop โดยการควบคุมความถี่ที่ 25 kHz – 40 kHz

1.4 วิธีการดำเนินงาน

- 1.4.1 ทำการวางแผนการทำงาน
- 1.4.2 ศึกษาข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำความถี่สูง
- 1.4.3 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวงจรอินเวอร์เตอร์ และวงจรที่ใช้ในโครงงานนี้ และไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC 18F458 พร้อมการเขียนโปรแกรม
- 1.4.4 ออกแบบวงจร
- 1.4.5 ทดสอบและวัดค่าและเก็บผลการทดลอง
- 1.4.6 จัดการพิมพ์ทำเป็นรูปเล่ม



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1. หลักการรีโซแนนซ์

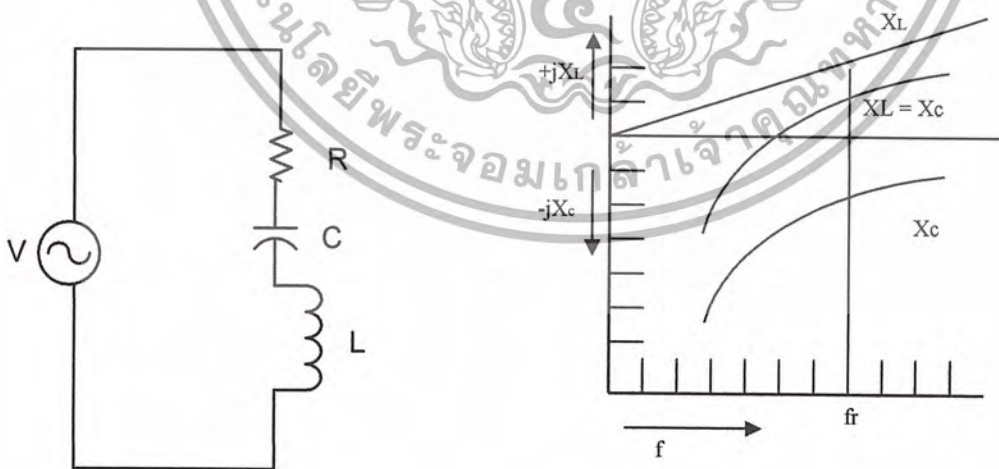
เมื่อเราปรับความถี่ที่ป้อนให้กับวงจรอนุกรม RLC จะพบว่าที่ความถี่ค่าหนึ่ง ค่า X_L จะเท่ากับ X_C เป็นผลให้ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของวงจร RLC มีค่าต่ำที่สุด นั่นคือ $Z = R$ ในสถานะเช่นนี้ เราเรียกว่าอยู่ในสถานะรีโซแนนซ์ ค่าความถี่ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ความถี่รีโซแนนซ์ (Resonance Frequency) เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำสุด กระแสที่ไหลในวงจรจึงมีค่ามากที่สุดและเป็นผลให้แรงดันที่ตกคร่อม L และ C มีค่าเพิ่มขึ้น

วงจรขนาน RLC ก็สามารถที่จะทำให้อยู่ในสถานะรีโซแนนซ์ได้เช่นกัน และ X_L จะเท่ากับ X_C ในขณะ เช่นนี้ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรจะมีค่ามากที่สุด และส่งผลให้กระแสมีค่าน้อยที่สุด แต่กระแสที่ไหลวนในรูป (LOOP) ของ L และ C จะมีค่ามากขึ้น วงจรสามารถปรับให้รีโซแนนซ์ได้โดยการปรับค่า L และ C

2.1.1 รีโซแนนซ์อนุกรม

ผลของความถี่ที่มีต่ออิมพีแดนซ์ของวงจรอนุกรม RLC จะแสดงค่าดังนี้

$$Z = R + j(X_L - X_C)$$



ก) วงจรอนุกรม RLC

ข) X_L , X_C เมื่อพล็อตกับความถี่

รูปที่ 2-1 กราฟพล็อตค่า $+jX_L$ และ $-jX_C$ กับความถี่สำหรับวงจรอนุกรม RLC รีโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากค่า $X_L = 2\pi fL$ และ $X_C = 1/(2\pi fc)$ ดังนั้นค่าของอิมพีแดนซ์จึงขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ ดังรูปที่ 1 ข.) จะพบว่า เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า X_L เพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น (Linear) ในทางกลับกัน X_C จะลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น แต่ค่า X_C จะไม่มีทางเท่ากับศูนย์ ผลรวมของรีแอกแตนซ์คือ $X_L - X_C$ ดังแสดงไว้เป็นเส้นประในกราฟของรูปที่ 2 - 1 ข.) ที่ความถี่ค่า X_L จะมีค่าน้อยกว่าค่า X_C ดังนั้นผลรวมของรีแอกแตนซ์จะเป็นค่าของ X_C ที่ความถี่สูง $X_L = X_C$ คือค่าที่ความถี่รีโซแนนซ์

$$Z = R + j(0)$$

$$Z = R$$

เมื่อ $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ นำมาเขียนเป็นกราฟที่แปรผันตามความถี่ จะได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 - 2 กราฟอิมพีแดนซ์กระแสและมุมเฟสกับความถี่และกระแสที่ไหลเมื่อรีโซแนนซ์ ($X_L = X_C$)

$$I = \frac{V}{R}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2 จะพบว่ากราฟจะมีค่าต่ำเมื่อความถี่ในวงจรไม่อยู่ที่จตุรีโซแนนซ์ ที่มีความถี่รีโซแนนซ์

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$X_L = 2\pi fL$$

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}$$

ดังนั้น เมื่อ L มีหน่วยเป็นเฮนรี่ (henrys)

C มีหน่วยเป็นฟาร์ัด (farads)

F มีหน่วยเป็นเฮิร์ตซ์ (Hertz)

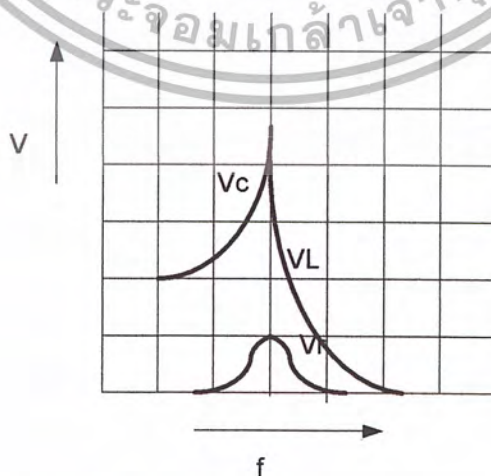
แรงดันที่จตุรีโซแนนซ์

แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานในวงจร RLC (รูปที่ 2-1.ก.) จะมีค่าเท่ากับ $I \times R$ และที่จตุรีโซแนนซ์ แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานจะมีค่าเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่าย ส่วนแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าดังนี้

$$V_C = IX_C$$

$$V_L = IX_L$$

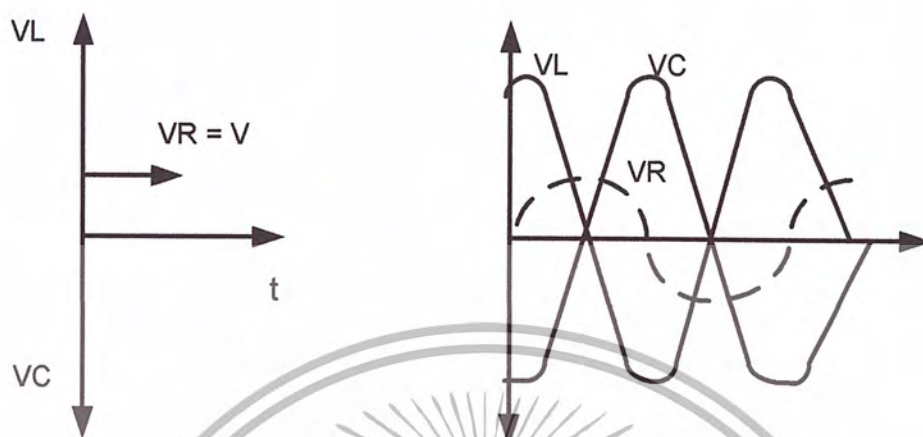
เมื่อนำค่า V_R , V_C และ V_L มาพล็อตกราฟกับค่าความถี่ จะพบว่ามิตถึขณะคล้ายกับกราฟของกระแสกับค่าความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า V_R , V_C และ V_L กับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานที่ส่งผ่านระหว่าง L และ C



ก) รูปเฟสเซอร์ไดอะแกรม

ข) รูปคลื่นแรงดัน V_R , V_C และ V_L

ของวงจร RLC รีโซแนนซ์

ที่จูลรีโซแนนซ์

รูปที่ 2 - 4 รูปเฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันในวงจร RLC รีโซแนนซ์

เมื่อเรานำรูปคลื่นของ V_R , V_C และ V_L ที่จูลรีโซแนนซ์มาพล็อต ดังรูปที่ 2 - 4 ก.) จะพบว่า V_L จะกลับเฟสกัน 180 องศา ส่วน V_R จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ V_C และ V_L มีค่าเท่ากับศูนย์ จากที่กล่าวมานี้ แสดงให้เห็นว่าจะมีการส่งผ่านพลังงานระหว่าง L กับ C กลับไปมา เมื่ออยู่ในสภาวะรีโซแนนซ์อย่างไรก็ตาม ที่จูลรีโซแนนซ์จะไม่มีการสะสมพลังงาน

Q แฟกเตอร์ของวงจรอนุกรม RLC

พิจารณาสมการ I , V_C , V_L ที่จูลรีโซแนนซ์

$$I = \frac{V}{R}$$

$$V_L = IX_L$$

ดังนั้น

$$V_L = \frac{V \times X_L}{R}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

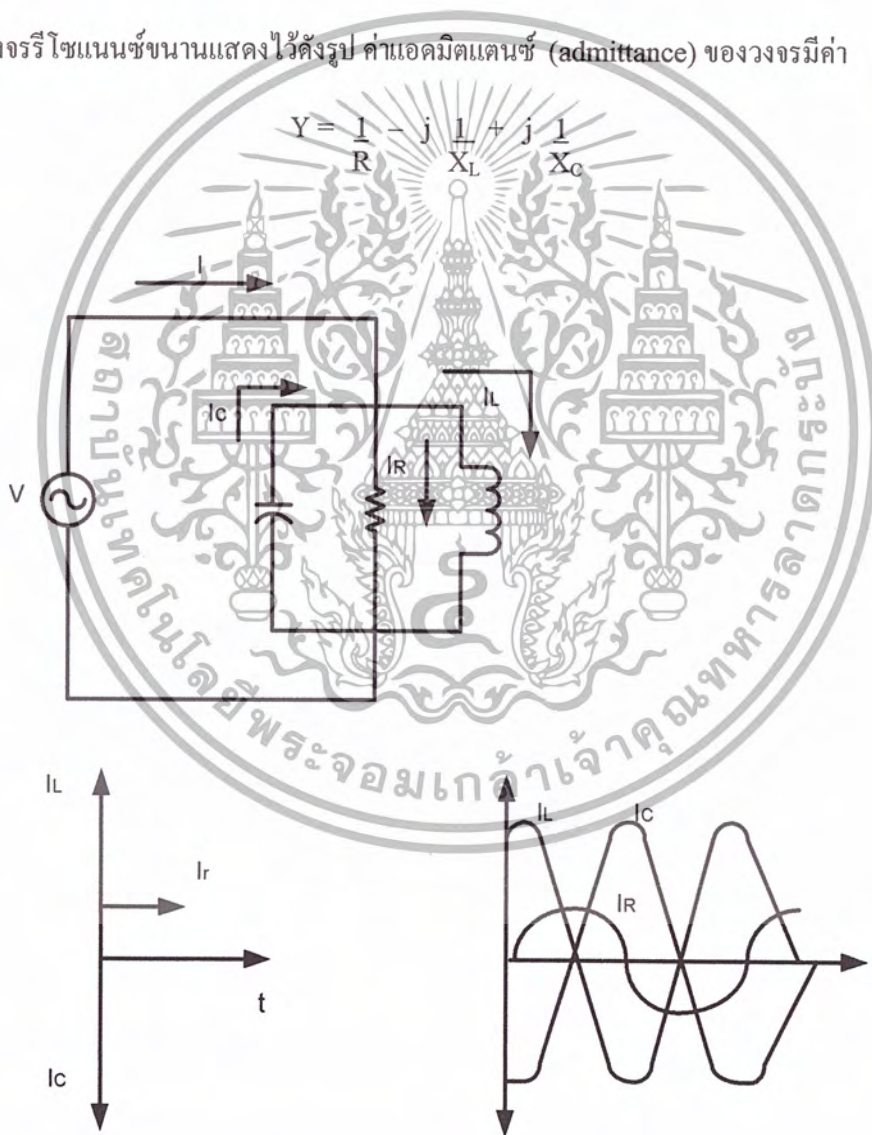
$$\frac{V_L}{V} = \frac{X_L}{R}$$

อัตราส่วน $\frac{V_L}{V}$ และ $\frac{V_C}{V}$ คือค่าควอลิตี้ (Quality) ของวงจรรีโซแนนซ์หรือค่า Q แฟกเตอร์นั่นเอง

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{\omega CR}$$

2.1.2 รีโซแนนซ์ขนาน

วงจรรีโซแนนซ์ขนานแสดงไว้ดังรูป ค่าแอดมิตแตนซ์ (admittance) ของวงจรมีค่า



Phase diagram for parallel

Waveform of I_c I_r and I_L

รูปที่ 2 - 5 เฟสเซอร์ไดอะแกรมรูปคลื่นของกระแสที่จุดรีโซแนนซ์ของวงจร RLC ขนาน

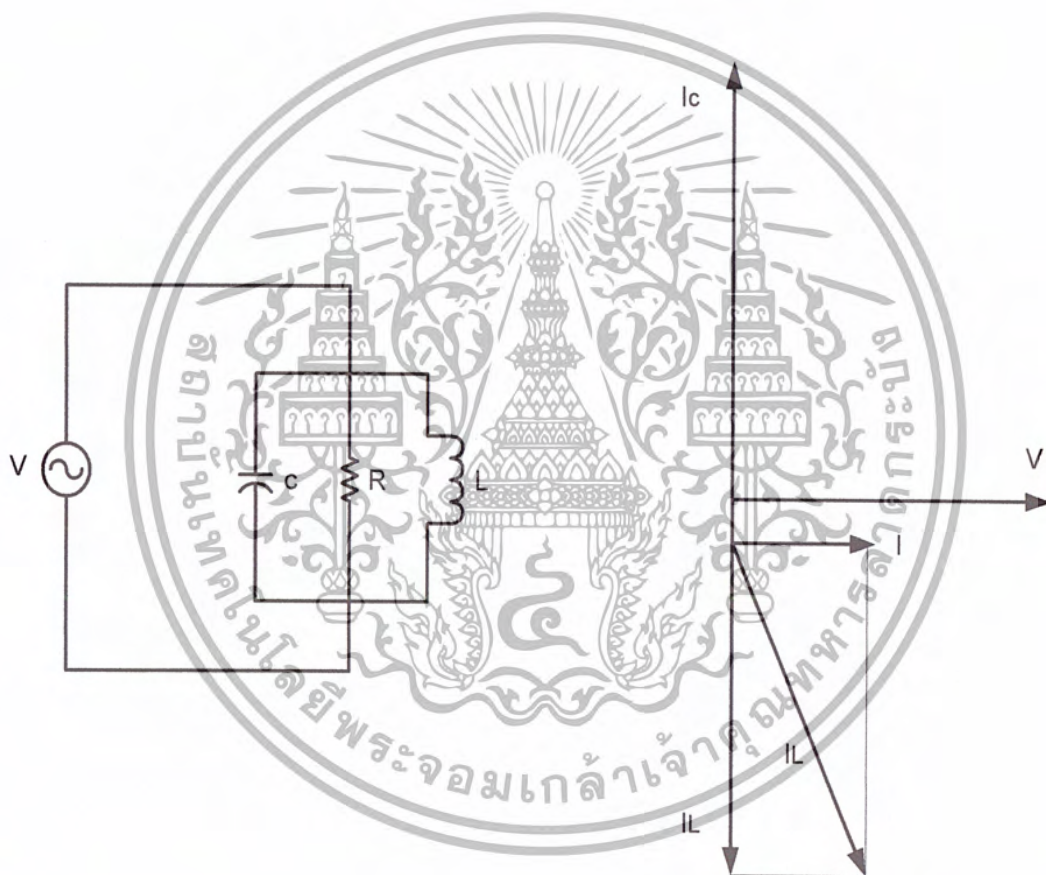
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าปรับความถี่ของแหล่งจ่ายไปจนกระทั่ง X_L และ X_C มีค่าเท่ากัน ค่าแอดมิตแตนซ์ จะมีค่า

$$Y = \frac{1}{R_p}$$

และค่าอิมพีแดนซ์มีค่า $Z = R_p$ กระแสจากแหล่งจ่ายมีค่า

$$I = \frac{V}{R_p}$$



รูปที่ 2 - 6 วงจรปกติของการต่อแบบ RLC ขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

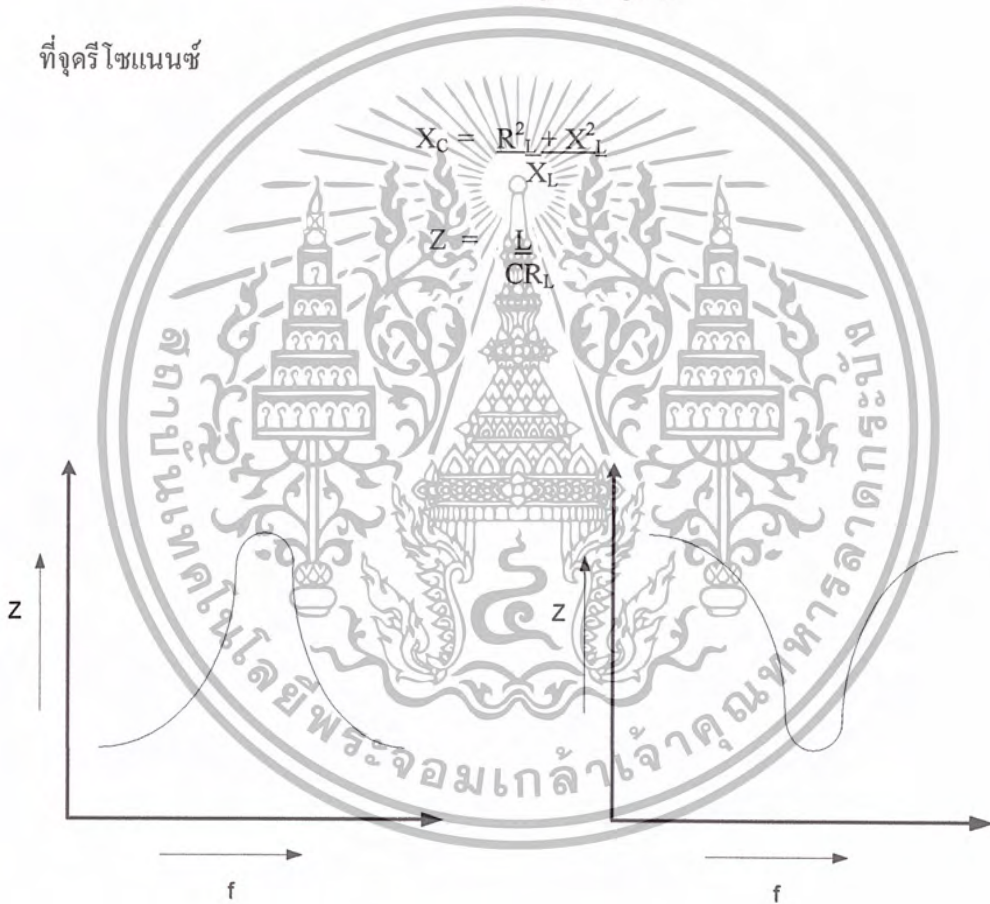
กระแสที่ไหลผ่าน R จะมีมุมอินเฟสกับแรงดันของแหล่งจ่าย กระแสที่ไหลผ่าน L จะล้าหลังแรงดันไป 90 องศา ส่วนกระแสที่ไหลผ่าน C จะนำหน้าแรงดันอยู่ 90 องศา ดังแสดงไว้ในรูป คือ มีการส่งผ่านพลังงานกลับไปมาระหว่างตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ

เนื่องจากในความเป็นจริงในตัวเหนี่ยวนำ จะมีค่าความต้านทานรวมอยู่ด้วย โดยทั่วไปที่ตัวเก็บประจุมีความต้านทานอยู่น้อยมาก จึงเขียนเป็นวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 2 - 6

ค่าแอดมิตแตนซ์ของวงจรสมมูลมีค่า

$$Y = \frac{1}{R_L + jX_L} + \frac{1}{jX_C}$$

ที่จุกรีโซแนนซ์



ก) ค่าอิมพีแดนซ์กับความถี่

ข) ค่ากระแสกับความถี่

รูปที่ 2 - 7 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์และกระแสต่อค่าความถี่

จากกราฟรูปที่ 2 - 7 จะพบว่าวงจรขนาน LC จะมีค่าอิมพีแดนซ์สูงสุดที่ความถี่รีโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q แฟกเตอร์ของวงจรขนาน RLC

จากรูปที่ 2 - 5 จะพบว่าความของกระแสที่ไหลในวงจร (I) จากแหล่งจ่ายที่ความถี่รีโซแนนซ์นั้น จะอินเฟสกับแรงดันของแหล่งจ่าย (V) I จะมีค่าน้อยกว่า IC และ IL หลายเท่า ดังนั้นในวงจรขนานรีโซแนนซ์ LC จะมีค่าการขยายกระแส ค่า Q แฟกเตอร์คือค่าอัตราส่วนของ IL หรือ IC ต่อค่ากระแสจากแหล่งจ่าย (I)

ความถี่ที่จตุรีโซแนนซ์ จากค่า

$$X_C = \frac{R_L^2 + X_L^2}{X_L}$$

ดังนั้น

$$X_C \approx X_L$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

ซึ่งค่าความถี่ที่จตุรีโซแนนซ์ สำหรับวงจรขนาน LC เมื่อ $Q > 10$ คือ
ในกรณีที่ $Q < 10$ ความถี่ที่จตุรีโซแนนซ์จะมีค่า

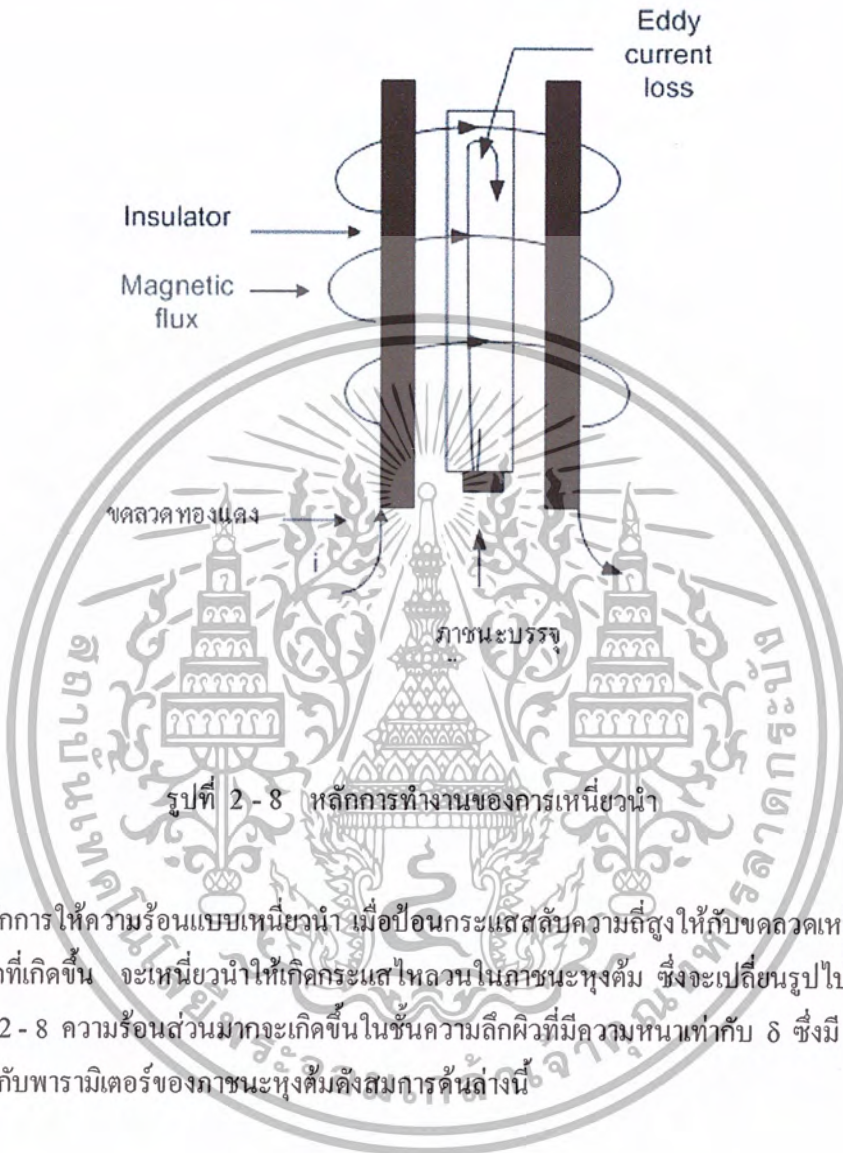
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{CR_L^2}{L}}$$

จากรูปที่ 2 - 7 จะพบว่าวงจรรีโซแนนซ์แบบขนานทางปฏิบัติ นั้น จะมีค่าอิมพีแดนซ์สูงสุดและกระแสมีค่าสูงสุดที่ความถี่รีโซแนนซ์

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่า การทำงานที่จตุรีโซแนนซ์จะให้ค่ากำลังที่สูงที่สุด (P_{max}) เนื่องจากว่าจะให้ค่ากระแสที่ไหลในขดลวดเหนี่ยวนำได้สูงสุด ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวนในที่บริเวณกันหม้อ เพื่อทำให้เกิดความร้อนให้ได้มากที่สุด จนสามารถต้มน้ำโดยใช้เวลาในการต้มให้น้อยที่สุด ซึ่งสามารถทำได้ โดยการทำให้ความถี่ของวงจรอินเวอร์เตอร์ และความถี่ของวงจรตรงส่วนโพลมีค่าตรงกัน โดยที่ค่าความต้านทานและค่าความเหนี่ยวนำในวงจร จะมาจากผลของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก และกันหม้อ ส่วนตัวเก็บประจุที่ใส่เพิ่มเข้าไปก็เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของวงจรให้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2. หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ



หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ เมื่อป้อนกระแสสลับความถี่สูงให้กับขดลวดเหนี่ยวนำก็คือสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น จะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวนในภาชนะหุงต้ม ซึ่งจะเปลี่ยนรูปไปเป็นความร้อน ดังรูปที่ 2-8 ความร้อนส่วนมากจะเกิดขึ้นในชั้นความลึกผิวที่มีความหนาเท่ากับ δ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ของภาชนะหุงต้มดังสมการด้านล่างนี้

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{4\pi \times 10^{-7}}} \times \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}}$$

โดยที่ μ_r = ค่าความซึมซาบสนามแม่เหล็ก
 ρ = สภาพความต้านทานของภาชนะ
 f = เป็นความถี่กระแสไฟฟ้าสลับที่ป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ IGBT

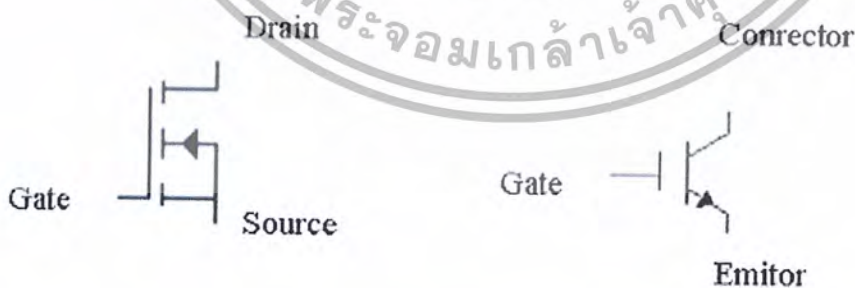
อุปกรณ์เพอร์เวอร์อิเล็กทรอนิกส์คอนโทรล ได้แก่ SCR TRIAC BJT และ MOSFET โดยเฉพาะไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์และมอสเฟต ที่มีจุดพัฒนาการของอุปกรณ์ทั้งสองชนิดก็มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป

ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ขณะอยู่ในสถานะนำกระแสจะมีอัตราการสูญเสียกำลังงานต่ำ มีอัตราทนแรงดันและขยายกระแสได้สูง แต่ความเร็วในการสวิตช์ทำงานยังต่ำอยู่ โดยเฉพาะช่วงหยุดนำกระแสจะมีช่วงเวลาที่ยาวกว่าซึ่งจะมีคุณสมบัติที่ตรงข้ามกับมอสเฟต ที่มีความเร็วในการสวิตช์ซึ่งเร็วกว่า แต่มีอัตราการสูญเสียกำลังงานสูงมาก

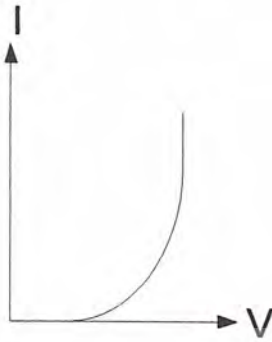
จากสาเหตุดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ประเภทนี้ จนสามารถได้อุปกรณ์เพอร์เวอร์อิเล็กทรอนิกส์ใหม่ขึ้นมา โดยคุณสมบัติต่างๆรวมเอาข้อได้เปรียบของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ และมอสเฟตเข้ามารวมไว้ในอุปกรณ์ชนิดใหม่ขึ้นมาโดยใช้ชื่อเรียกว่า IGBT (Insulate Gate Bipolar Transistor)

2.3.1 สัญลักษณ์และโครงสร้างของไอจีบีที

ไอจีบีทีมีสัญลักษณ์ที่ใช้แทนมี 2 ชนิด คือ แบบเอ็นแชนเนล (N-Channel IGBT Type) และแบบพีแชนเนล (P-Channel IGBT Type) นอกจากนี้ยังเขียนสัญลักษณ์เป็นแบบของลักษณะไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์และมอสเฟตได้ ดังแสดงในรูปที่ 2 - 9 เป็นลักษณะของ ไอจีบีทีชนิดเอ็นแชนเนลที่นิยมใช้งานทั่วไป



รูปที่ 2 - 9 สัญลักษณ์ไอจีบีทีในลักษณะของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์และมอสเฟต



รูปที่ 2.11 กราฟลักษณะคุณสมบัติการถ่ายโอนของไอจีบีที

2.3.2 สถานะการนำกระแส

เมื่อขาเดรนได้รับแรงดันไบอัสตรง คือ เป็นบวกเมื่อเทียบกับซอร์ส และแรงดันระหว่างขาเกตกับซอร์สมีค่าเกินค่า $V_{GS(th)}$ ประจุไฟฟ้าบวกที่เกิดจากขาคเกตจะดึงอิเล็กตรอนให้มารวมกันอยู่บริเวณภายใต้เกตทำให้บอดี้ตรงส่วนใต้เกตแปรสภาพเป็น n ทำให้เกิดการต่อกันเป็นบริเวณ n^- เข้ากับบริเวณ n^+ ซึ่งลักษณะเช่นนี้เหมือนกับการทำงานของมอสเฟต กระแสอิเล็กตรอนที่ไหลจากขาซอร์สผ่านบริเวณใต้เกตมายังบริเวณรอยเลื่อน n จะรวมกับ โฮลที่เป็นพาหะข้างน้อยที่ถูกฉีดมาจากอินเจกต์ติ้ง p^+ เพราะรอยต่อ j ได้รับแรงดันไบอัสตรง ทำให้ไอจีบีทีอยู่ในสถานะนำกระแสเกิดกระแสไหลของกระแสไฟฟ้าเดรนไปซอร์สได้ การรวมกันของโฮลและอิเล็กตรอนภายในบริเวณ n^- เรียกว่า การมอดูเลตสภาพนำ

ผลของการมอดูเลตนี้จะทำให้ความต้านทานของบริเวณ n^- มีค่าต่ำ เป็นการเพิ่มความสามารถในการข้ามผ่านกระแสได้สูงขึ้น ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนกับทรานซิสเตอร์กำลัง

2.3.3 สถานะหยุดนำกระแส

เมื่อแรงดันระหว่างเกตและซอร์สลดลงต่ำกว่าค่าแรงดัน $V_{GS(th)}$ จะทำให้แรงดันไม่เพียงพอสำหรับการแปรสภาพชั้นบอดี้ p เป็น n ได้ ทำให้บริเวณ n^- ไม่ต่อกับบริเวณซอร์ส n^+ ไอจีบีทีในสถานะนี้รอยต่อ J_2 ที่ได้รับแรงดันไบอัสกลับจะทำให้เกิดกระแสรั่วไหลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะนี้จะขยายบริเวณกว้างขึ้นจนเกินบริเวณเข้ามายังบริเวณ n^- มากกว่าที่จะขยายไปยังบริเวณชั้นบอดี้ p ทั้งนี้เพราะชั้นบริเวณบอดี้ p มีความหนาแน่นในการได้ปสารมากกว่าถ้าความหนาแน่นของสารที่ได้ปในบริเวณรอยเลื่อน n^- มากเพียงพอ ก็จะทำให้การขยายบริเวณปลอดพาหะไม่สามารถแตะกับชั้นอินเจกต์ติ้ง p^+ ได้ ชั้นบัพเฟอร์ก็ไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดขึ้นหรือไม่จำเป็นต้องได้ปสาร

การลดความหนาบริเวณ n - ลงแต่ยังคงความสามารถของอัตรานแรงดันไหลตรงไว้สามารถทำได้โดยเพิ่มชั้นบัฟเฟอร์ $n+$ เข้าไป เพื่อป้องกันการแตกกันของบริเวณปลอดพาหะกับบริเวณอินเจ็กต์ $p+$ ซึ่งจะเรียกชนิดนี้ว่า ไอจีบีทีแบบไม่สมมาตร และจากการลดความหนาของบริเวณลอยเลื่อน n - ลงช่วยส่งผลให้เกิดข้อดีสองประการ คือ

- ทำให้แรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำลง เป็นผลให้การสูญเสียกำลังงานลดน้อยลงด้วย
- ช่วยลดช่วงเวลาหยุดนำกระแสให้สั้นลงได้

แต่ข้อเสียของการเพิ่มชั้นบัฟเฟอร์ $n+$ ก็มี คือ จุดลดความสามารถของอัตรานแรงดันย้อนกลับให้น้อยลงเหลือเพียงไม่กี่สิบ โวลต์ ทั้งนี้เพราะเมื่อไอจีบีทีได้รับแรงดันไบอัสกลับที่ขาแตรนรอยต่อ $J1$ ซึ่งทั้งสองมีความหนาแน่นในการโด๊ปของสารมาก จะไม่สามารถทนแรงดันย้อนกลับได้สูง ดังนั้น ไอจีบีทีชนิดนี้จึงไม่เหมาะกับการนำไปใช้ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

2.3.4 การแลตซ์ในไอจีบีที

นอกจากโฮลส่วนใหญ่ที่รวมกับอิเล็กตรอนภายในบริเวณ n - แล้วยังมีโฮลบางส่วนที่ไหลข้ามบริเวณชั้นบอดี p โดยตรงผลของกระแสโฮลนี้ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมความต้านทานข้างเคียง ถ้าแรงดันมีค่ามากพอประมาณ 0.7 V จะทำให้รอยต่อ $J2$ ได้รับไบอัสตรงทำให้อิเล็กตรอนบริเวณ $n+$ ถูกฉีดเข้าไปในชั้นบอดี p

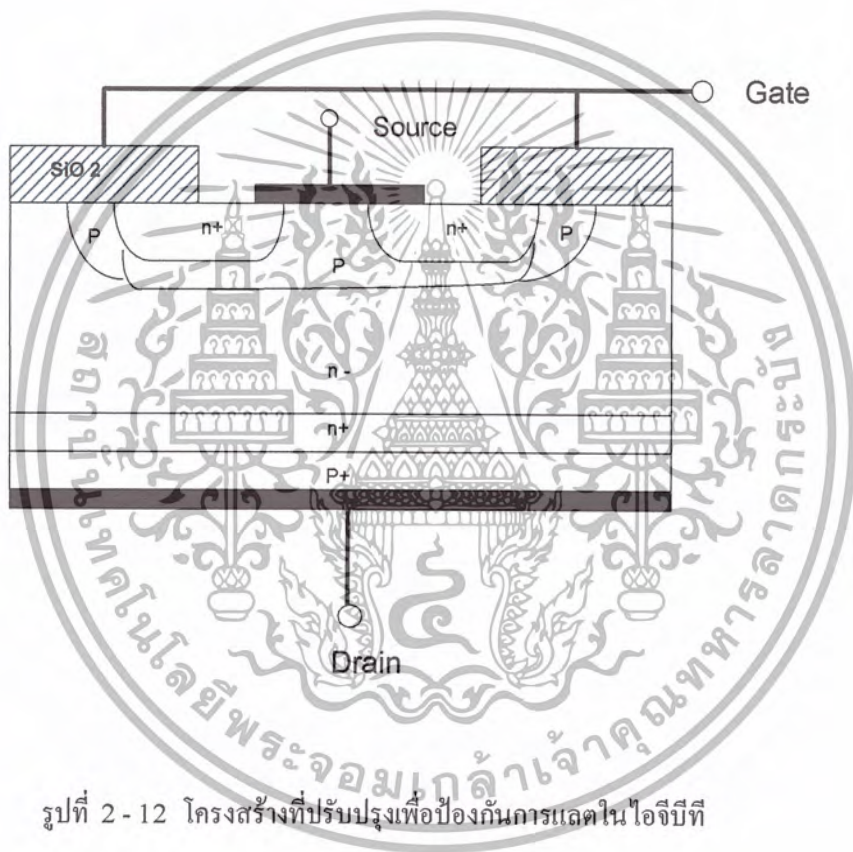
ส่วนใหญ่ผู้ผลิตมักจะบอกค่ากระแสแตรนสูงสุด ที่สามารถไหลผ่านไอจีบีทีได้โดยยังไม่มีกระแสแลตซ์ขึ้น แต่เนื่องจากกระแสแตรนถูกกำหนดหรือควบคุมโดยแรงดันระหว่างขาแตรนและขาซอร์ส บางครั้งคู่มือจึงบอกค่าแรงดันระหว่างแตรนและซอร์สสูงสุดที่จะไม่เกิดการแลตซ์ แทนการบอกค่ากระแสแตรนสูงสุด (I_{DB})

ผลที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดบริเวณพาหะขยายบริเวณชั้นบอดี p โดยเฉพาะขยายเข้าบริเวณ n - มากกว่าเพราะมีความหนาแน่นของการโด๊ปต่ำกว่าการขยายพาหะอย่างรวดเร็ว จะทำให้โฮลที่ค้างอยู่ในบริเวณ n - ขณะนำกระแสและยังไม่ได้รวมกับอิเล็กตรอนหลุดรอดจากการขัดขวางของบริเวณปลอดพาหะเข้าไปสะสมอยู่ในบริเวณรอยต่อ $J2$ เป็นการเพิ่มกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานข้างเคียงให้สูงขึ้น ทำให้ไทรสเตอร์ภายในไอจีบีทีเกิดการแลตซ์ขึ้นได้ นอกจากนี้การแลตซ์ยังสามารถเกิดขึ้นได้อีกเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่รอยต่อในขณะที่กระแสแตรนยังมีค่าต่ำกว่า I_{DM} เช่นกัน

2.3.5 การป้องกันการแลตซ์

การหลีกเลี่ยงการแลตซ์ของ IGBT สามารถทำได้โดยทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้งานเอง ผู้ผลิตอาจจะ ออกแบบ โครงสร้างในส่วนบริเวณขอดี p ให้มีความต้านทานข้างเคียงต่ำสุด เพื่อจะได้เพิ่มค่าจิง I_{DM} ให้มีค่ามากที่สุดซึ่งเป็นการลดการแลตซ์ได้

วิธีแรกอาจทำได้โดยลดความกว้างของบริเวณซอร์ส $n+$ ลงนั่นคือลดค่า L_s ลงนั่นเอง ส่วน วิธีที่สองเป็นการแบ่งระดับความหนาแน่นในการโด๊ปสารของบริเวณขอดี p



รูปที่ 2 - 12 โครงสร้างที่ปรับปรุงเพื่อป้องกันการแลตซ์ในไอจีบีที

สำหรับผู้ใช้งานก็สามารถป้องกันการแลตซ์ใน โหมดสแตตคิลลงได้ โดยออกแบบไม่ให้กระแสที่ไหลใน โทลด์เกินค่ากระแส I_{DM} โดยหน่วงเวลาขณะหยุดนำกระแสให้ยาวนานขึ้น เพื่อให้โซลข้างอยู่ บริเวณ n- มีเวลาพอที่จะรวมกับอิเล็กตรอน เป็นการลดกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานข้างเคียงให้น้อยลงได้ การหน่วงเวลาขณะหยุดนำกระแสให้ยาวนานขึ้น ทำได้โดยการเพิ่มความต้านทานภายนอกอนุกรม เข้ากับขาเกตของไอจีบีที

2.3.6 พื้นที่การทำงานที่ปลอดภัย

ไอจีบีที่มีพื้นที่ในการทำงานที่ปลอดภัยทั้งในระหว่างการนำกระแสและหยุดนำกระแส โดยพื้นที่การทำงานในขณะไบแอสตรง ที่กว้างมากเปรียบได้กับกรอบสี่เหลี่ยม สำหรับเวลาในการสวิตช์สั้นๆ แต่จะแคบลงเมื่อเวลาในการสวิตช์ยาวนานขึ้น



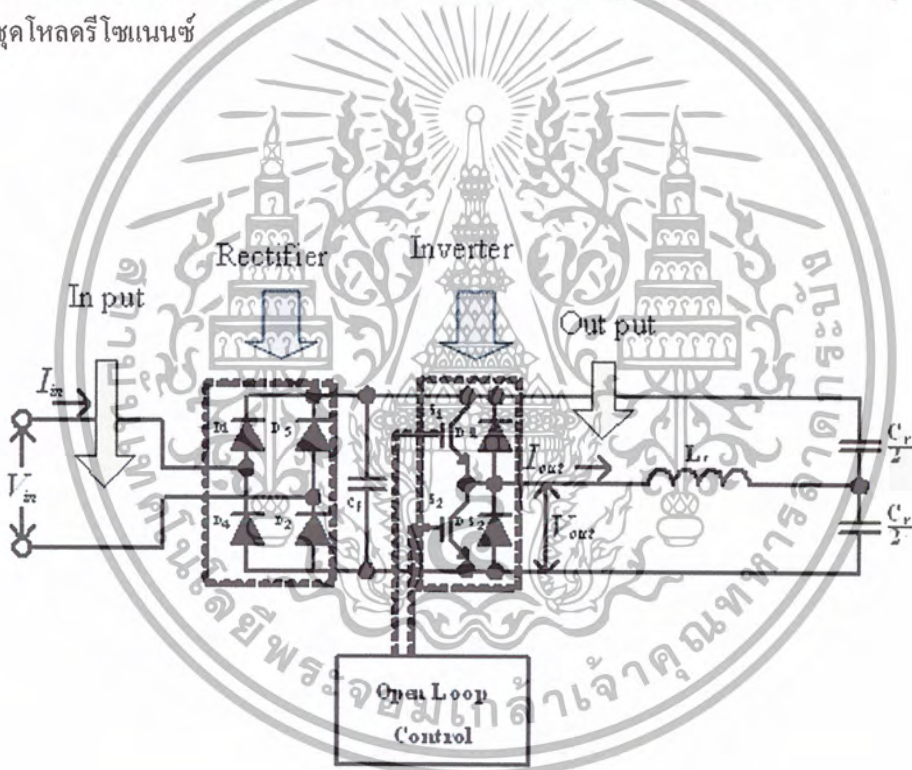
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างเครื่องทำน้ำอุ่น

3.1 วงจรกำลัง

ในส่วนของ โครงสร้างของเครื่องทำน้ำอุ่นแบบเหนี่ยวนำนี้จะมีโครงสร้างดังรูปด้านล่าง ซึ่งมีการควบคุมการทำงานในส่วนนี้จะ เป็นแบบ open loop โดยการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งใน ส่วนของอุปกรณ์และวงจรของเครื่องทำน้ำอุ่นจะประกอบไปด้วย ส่วนของแรงดัน ไฟเข้าซึ่งรับไฟ 220 V ชุดเร็คติไฟเออร์สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ชุดอินเวอร์เตอร์ และที่สำคัญอีก อย่างคือชุดโหลดรีโซแนนซ์

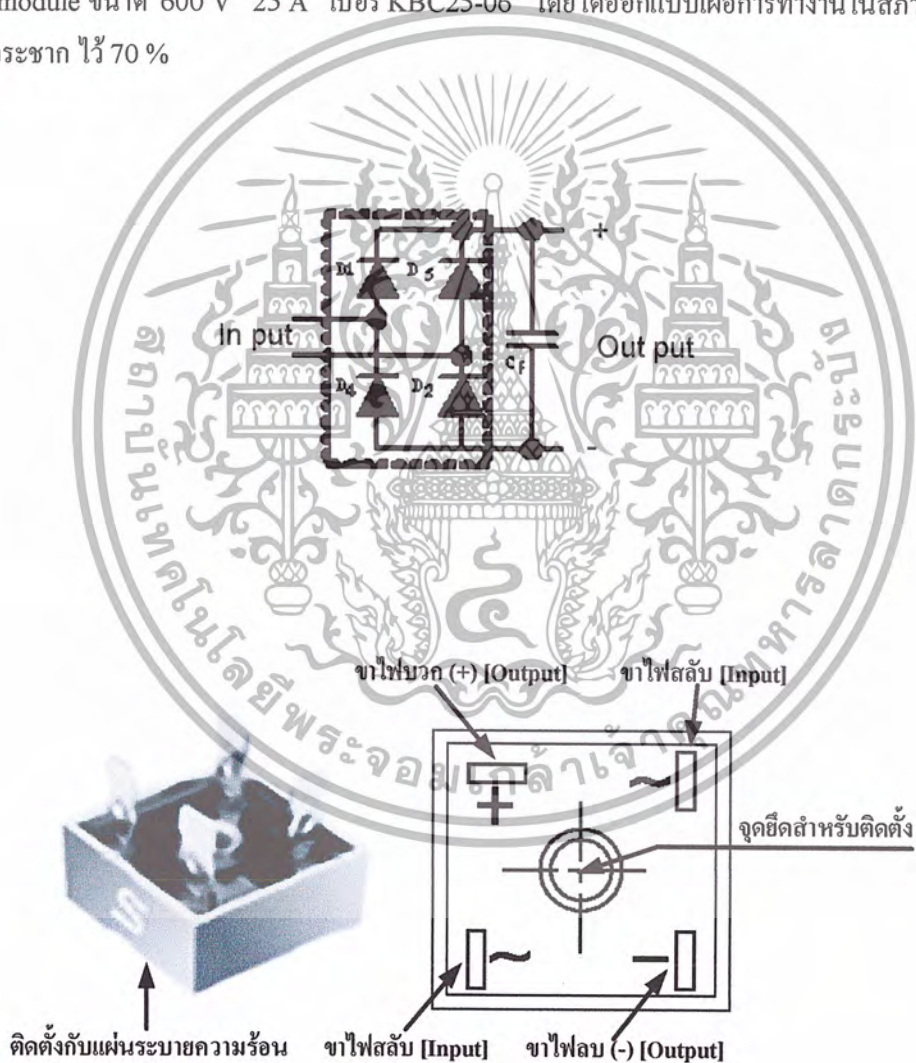


รูปที่ 3-1 วงจรกำลังของเครื่องทำน้ำอุ่น

ในส่วนของวงจรที่ใช้ในเครื่องทำน้ำอุ่นตามรูปที่ 3-1 นั้น ประกอบด้วยส่วนวงจรที่สำคัญและหลักการทำงานในแต่ละวงจรมีดังนี้

3.1.1 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Rectifier part)

ในโครงการนี้ใช้การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงหรือ Rectifier ใช้วงจร Rectifier แบบ Full Bridge เพราะต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ราบเรียบ มีค่า Ripple น้อยๆ ในส่วนของชุด Inverter มีหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โครงการนี้เลือกใช้ชุด Rectifier เป็นแบบ Bridge module ขนาด 600 V 25 A เบอร์ KBC25-06 โดยได้ออกแบบเพื่อการทำงานในสถานะที่เกิดกระแสกระชาก ไว้ 70 %



รูปที่ 3-2 รูปวงจร Bridge Rectifier

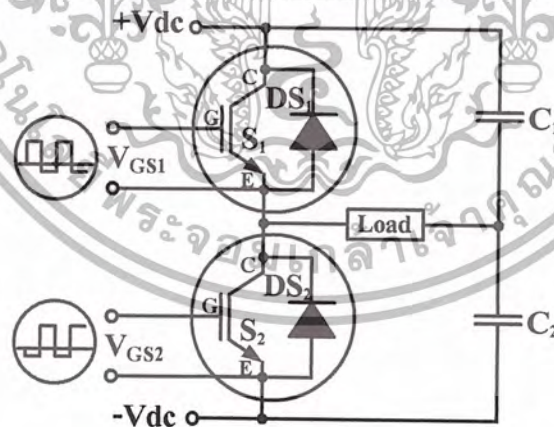
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 วงจรกรองแรงดัน (C – Filter)

ในส่วนของวงจรกรองแรงดันส่วนนี้ จะใช้เป็นคาปาซิเตอร์ในการกรองแรงดันที่ออกมาจากชุดเร็คติไฟเออร์ เพื่อจะได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ราบเรียบนำไปใช้งาน คาปาซิเตอร์ที่ใช้เป็นแบบอิเล็กโทรไลต์กริก ต้องค่าที่มากเพื่อให้แรงดันเรียบและมีพิคที่ทนแรงในวงจรได้โดยไม่พัง แต่ในส่วนองแรงดันที่อินเวอร์เตอร์ในโครงการนี้ต้องการไม่ต้องกรองแรงดันเรียบมาก เพราะจะทำให้เพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านอินพุตต่ำลง

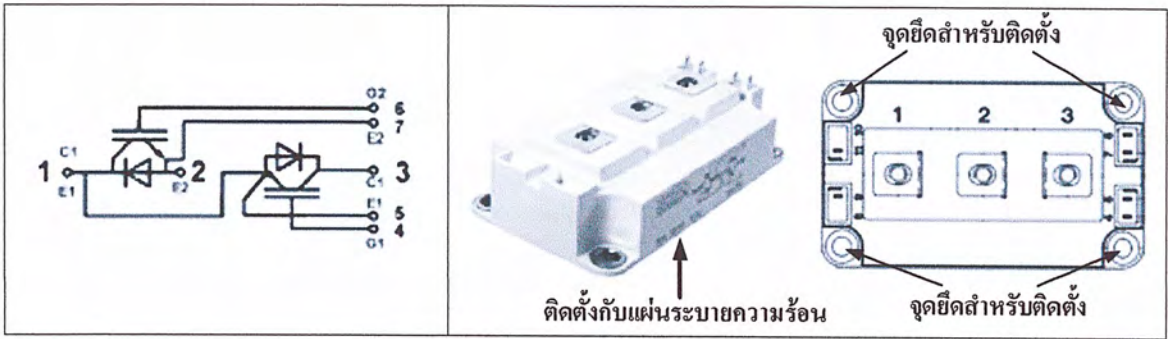
3.1.3 วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter Part)

วงจรอินเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับ ที่สามารถปรับเปลี่ยนแรงดันและความถี่ได้ ในโครงการนี้ใช้ชุดอินเวอร์เตอร์เป็นแบบชนิดฮาร์ฟบริดจ์ โดยใช้ IGBT เป็นอุปกรณ์ในการสวิตซ์ซึ่งโดย S1 และ S2 จะทำงานสลับกันจะไม่ทำงานพร้อมกัน เพราะจะทำให้เกิดการ Short blance ที่อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งจะมีไดโอดค้อยู่เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของกระแส ไม่ให้อุปกรณ์สวิตซ์พังเพราะโหลดที่ใช้เป็นขดลวด IGBT ที่ใช้ในโครงการนี้ใช้เป็นแบบ Module พิกัด 150 A 600 V เบอร์ 150gb063d เป็นของบริษัท SEMIKRON ซึ่งสามารถทนกระแสที่ใช้ในวงจรได้โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหาย



รูปที่ 3-3 วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดฮาร์ฟบริดจ์

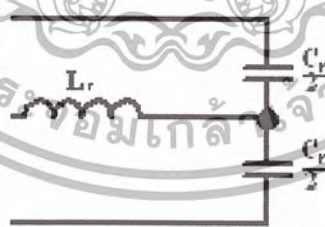
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-4 ลักษณะของโมดูล ไอจีบีทีที่ใช้ในโครงงานเครื่องทำน้ำอุ่น

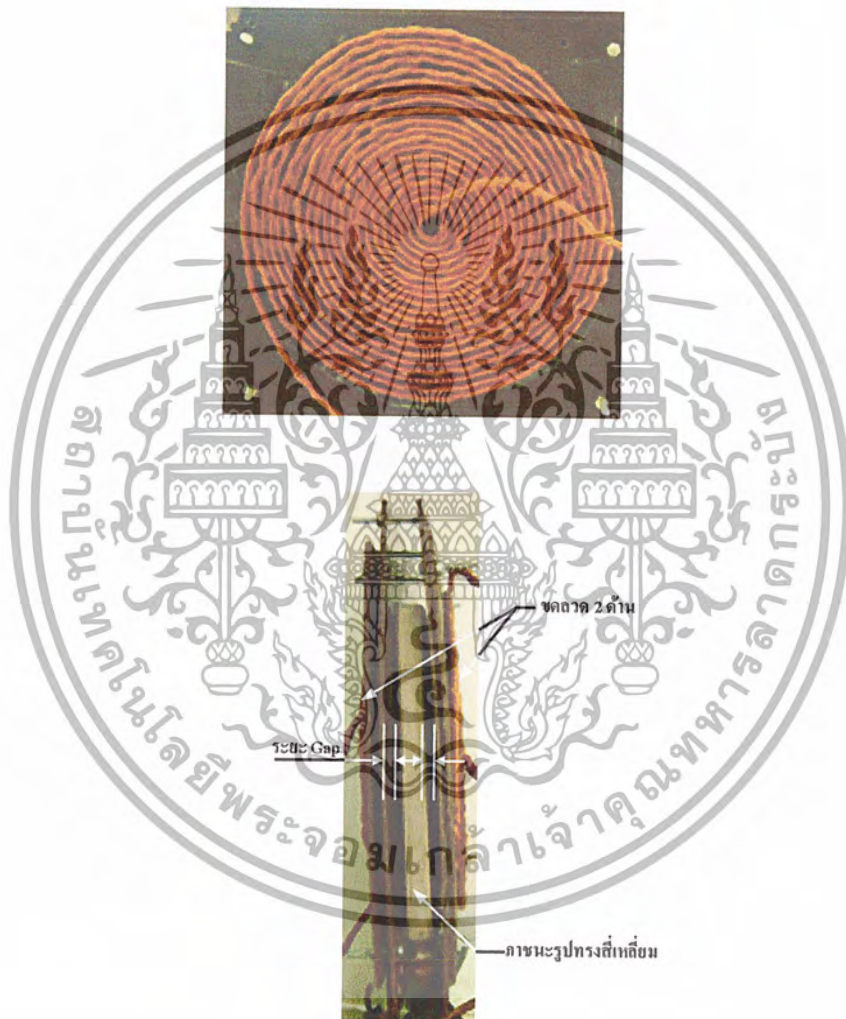
3.1.4 โหลดรีโซแนนซ์

สำหรับโหลดรีโซแนนซ์ที่ใช้ในเครื่องทำน้ำอุ่นนี้ ใช้เป็นโหลดแบบ RLC อนุกรม ซึ่งจะเป็ นขดลวดเบอร์ 28 ดีเกิลียว 50 เส้น เพื่อลด Skin Effect ที่เกิดขึ้นในขดขดลวดที่มีกระแสจำนวนมาก ดังนั้นขดลวดจึงต้องดีเกิลียวให้มีขนาดใหญ่ และสามารถรับกำลังไฟฟ้ามากที่เกิดขึ้นได้ ในส่วนของขดโหลดจะมีคาปาซิเตอร์ต่ออนุกรมอยู่เพื่อให้เกิดสภาวะรีโซแนนซ์ในวงจร



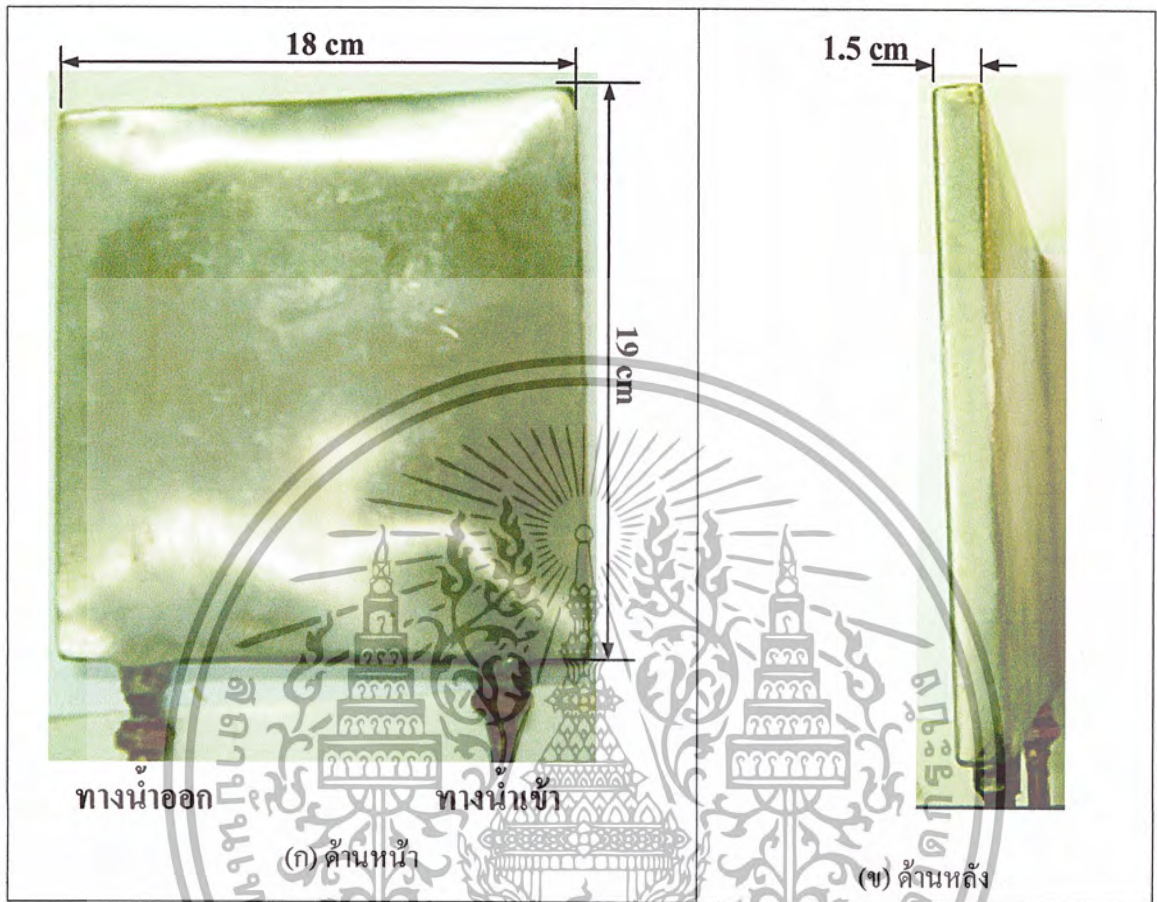
รูปที่ 3-5 โหลดรีโซแนนซ์แบบอนุกรม

ตัวเก็บประจุที่ใส่เข้าไปเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่ใช้งานที่ความถี่สูงได้ดี และทนแรงสูงได้โดยตัวเก็บประจุจะต่ออนุกรมคั้งรูป ชุดโพลคริโอแซนซ์ที่ใช้ในโครงการนี้ จะเป็นโพลคริโอแซนซ์แบบอนุกรม ลักษณะคลื่นแรงดันจะเป็นรูปสแควร์ และกระแสจะเป็นรูปคลื่นไซน์ ในชุดอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ นี้จะเป็นอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันขั้วดี คือ โครงสร้างง่าย กำลังไฟฟ้าที่จ่ายสามารถควบคุมได้โดยการปรับความถี่ที่วงจรมอเตอร์ ข้อยเสีย คือ ไม่สามารถทนการลัดวงจรที่โหลดได้ เมื่อปรับความถี่ให้ห่างจากความถี่รีโซแนนซ์จะทำให้กระแสไม่ค้อยเป็นไซน์ ซึ่งมีผลให้เกิดฮาร์โมนิกเกิดขึ้นตามมา



รูปที่ 3 – 6 ลักษณะของขดลวดเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



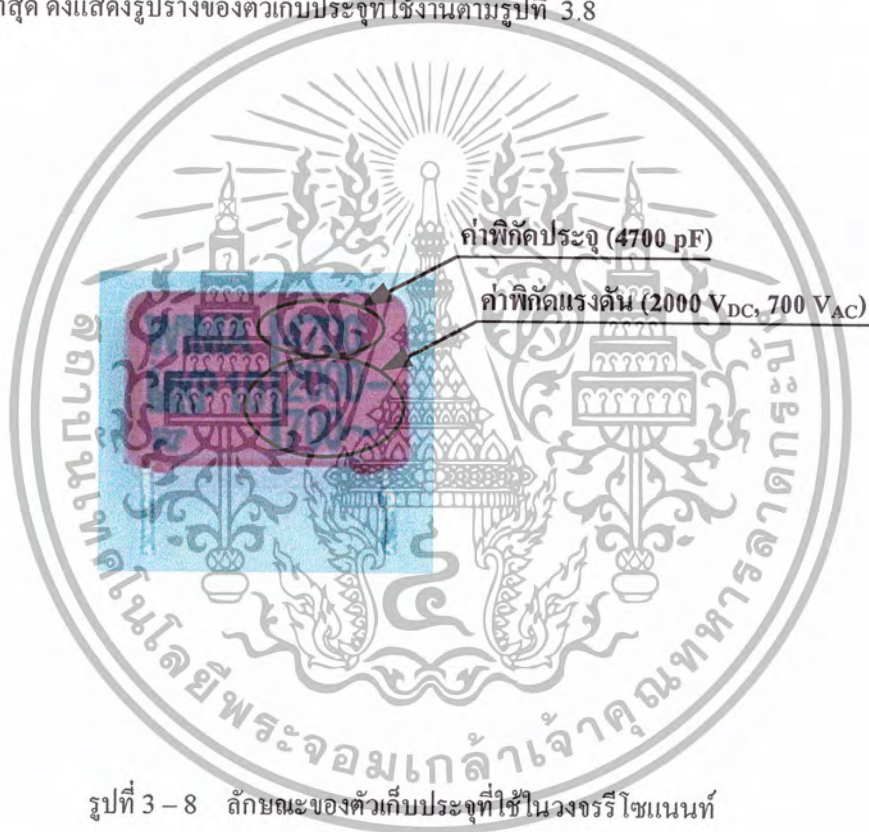
รูปที่ 3 - 7 ลักษณะของภาชนะที่บรรจุน้ำ

ในส่วนของภาชนะที่บรรจุน้ำนี้เป็นส่วนสำคัญที่น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยน้ำที่อยู่ในภาชนะจะได้รับความร้อนที่ถ่ายเทมาจากภาชนะโดยตรง คือ ชุดขดลวดจะสร้างสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำภาชนะบรรจุน้ำเกิดการสูญเสีย กลายเป็นค่าการสูญเสียในรูปของความร้อน เกิดความร้อนที่ภาชนะถ่ายเทให้น้ำในภาชนะ สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีค่ามากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ในการสวิทซ์ซึ่งเพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้า ในการสร้างสนามแม่เหล็กที่ชุดขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

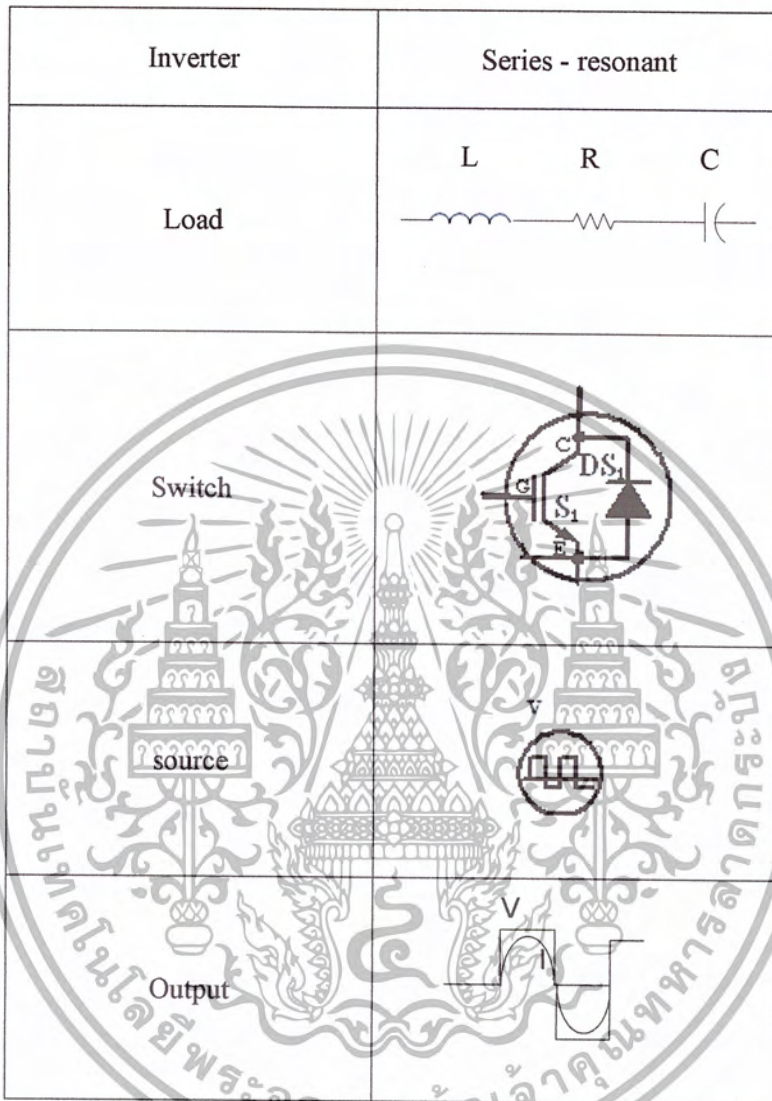
จากขดลวดเหนี่ยวนำ จะนำไปตรวจสอบหาค่าความเหนี่ยวนำด้วยเครื่องมือวัด และจะนำค่าที่ได้ดังกล่าวไปหาค่าตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ เมื่อกำหนดให้ความถี่เรโซแนนซ์มีค่าเท่ากับ 25 kHz ดังนั้นเราก็จะได้ค่าตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ ที่จะนำไปทดสอบการทำงานต่อไป

โดยจะใช้ตัวเก็บประจุชนิดโพลีโพรไพลีน ฟิล์ม (Polypropylene film) ขนาด 2000 V_{DC} หลายๆ ตัวต่อขนานกัน เพื่อลดค่าความต้านทานอนุกรมสมมูล (ESR : Equivalent Series Resistant) ที่อยู่ในตัวเก็บประจุให้น้อยลง เพราะเนื่องจากค่าความต้านทานดังกล่าวจะทำให้ตัวเก็บประจุมีความสูญเสียมากขึ้น ขณะทำงานที่กระแสและความถี่สูงๆ ส่งผลให้ตัวเก็บประจุนั้นเกิดความเครียดทางไฟฟ้าและทำให้เสียหายได้ในที่สุด ดังแสดงรูปร่างของตัวเก็บประจุที่ใช้งานตามรูปที่ 3.8



รูปที่ 3-8 ลักษณะของตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรรีโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางที่ 3-1 ลักษณะของอุปกรณ์รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์รีโซแนนซ์อนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงการเครื่องทำน้ำอุ่นนี้ เป็นโครงการที่ใช้อินเวอร์เตอร์เป็นงานที่ใช้ความถี่สูง เพื่อป้องกันความถี่ออกไปกวนระบบของภายนอกและ ป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอกมารบกวนอุปกรณ์ เพราะในโครงการนี้ใช้ชุดควบคุมเป็นพวกไมโครคอนโทรลเลอร์ จะได้ไม่เกิดการผิดพลาดในการควบคุม



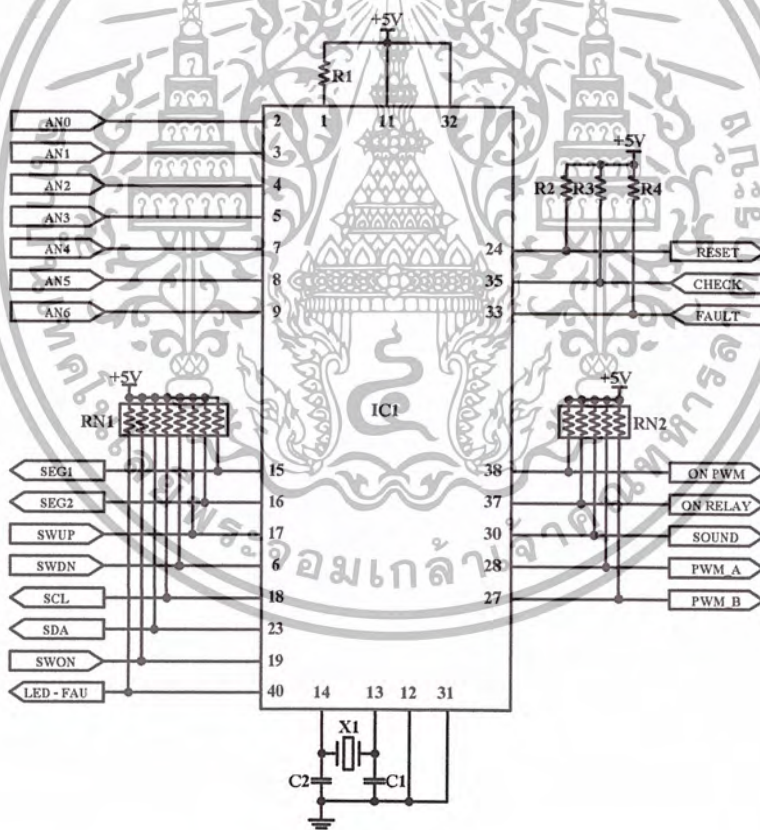
3.2 ชุดควบคุม

3.2.1 วงจรควบคุมอินเวอร์เตอร์

วงจรควบคุมส่วนนี้จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ไปใช้ขับขาเกตของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งคือ IGBT ในชุดคอนโทรลใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F458 เป็นตัวสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมในการขับขาเกตโดยได้มาจากการโปรแกรม และยังเป็นส่วนของคอยตรวงจับ และป้องกันการเสียหายในวงจรที่เกิดจากแรงดันเกิน กระแสสูงเกิน แรงคั้นน้ำไม่พอ เป็นต้น

โดยในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมนี้ใช้ PIC 18F458 โดยใช้โมดูล ECCP ซึ่งมีรีจิสเตอร์ 16 บิต คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC18F458 ที่ใช้ในส่วนของคุณควบคุมนี้มีคุณสมบัติดังนี้

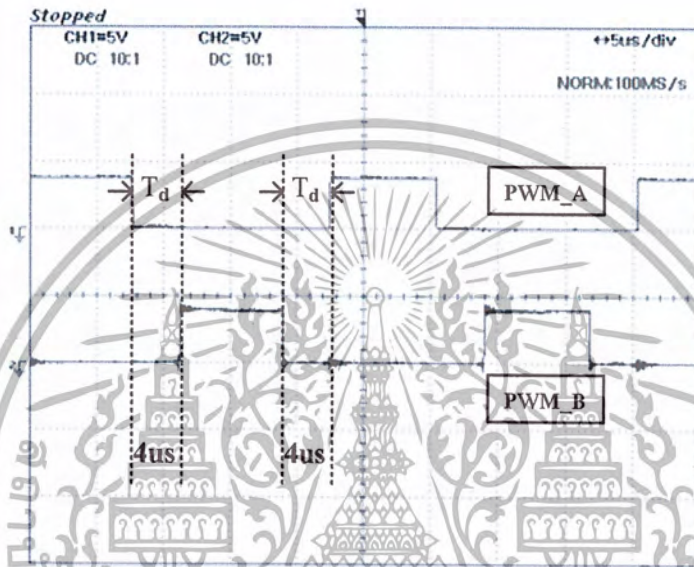
1. มีไทเมอร์/เคาน์เตอร์ (Timer/Counter) ขนาด 8/16 บิต
2. มีส่วนสร้างสัญญาณ PWM ที่สามารถควบคุมวงจรถิณเวอร์เตอร์ชนิด 1 เฟส แบบฮาล์ฟบริดจ์ หรือฟูลบริดจ์ (Full Bridge) ได้
3. มีส่วนสร้างสัญญาณประวิงเวลา (Dead Time) สำหรับ PWM ที่สามารถโปรแกรมเวลาที่จะประวิงไปได้
4. สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกที่ทำงานแบบ I²C ได้
5. มีหน่วยความจำโปรแกรมชนิดแฟลช (Flash) ขนาด 32 Kbytes
6. มีวงจรแปลงผันจากสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล 8 ช่อง



รูปที่ 3 - 10 วงจรชุดควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

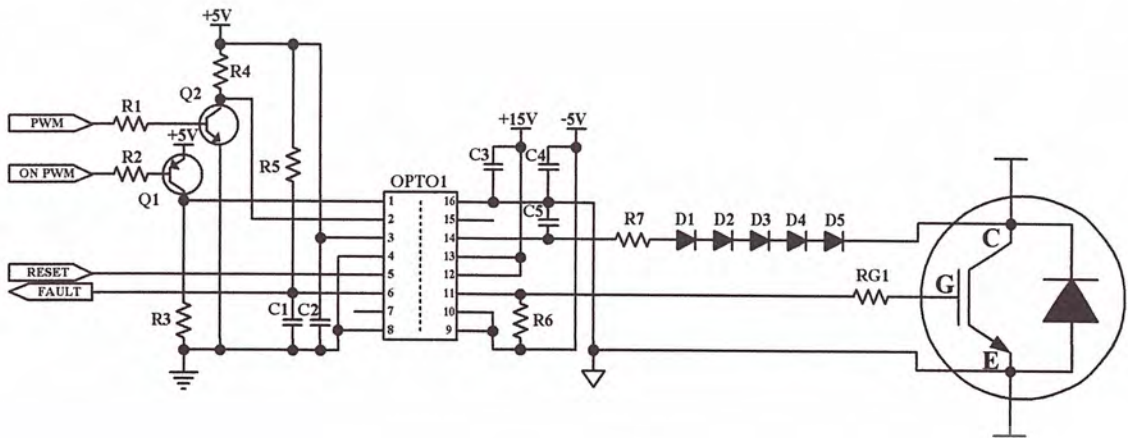
ในส่วนของคุณควบคุมใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์โดยที่พอร์ท A จะเป็นการรับค่าอะนาล็อกมาทำการประมวลผลในส่วนของโปรแกรม และสร้างพัลส์ไปควบคุมการทำงานของ IGBT ออกมา ที่ขา 27 และที่ขา 28 เพราะเครื่องทำน้ำอุ่นใช้อินเวอร์เตอร์แบบฮาร์ฟบริดจ์ จึงใช้พัลส์ควบคุมขาเกดของไอจีบีทีทั้งสอง โดยมีช่วงเวลา dead time ที่ $4 \mu\text{s}$ เพื่อป้องกันการลัดวงจรในกิ่ง



รูปที่ 3 - 11 สัญญาณ PWM_A และ PWM_B

3.2.2 วงจรขยายสัญญาณขับ IGBT

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณ ที่ออกมาจากชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อขยายสัญญาณ ไปควบคุม IGBT ในส่วนนี้ใช้ IC Drive HPCL 316 ซึ่งทำหน้าที่เป็นไอซีไดร และแยกกราวนด์ได้ด้วยทำให้เกิดความปลอดภัยกับอุปกรณ์สวิทซ์ซึ่งมากยิ่งขึ้น



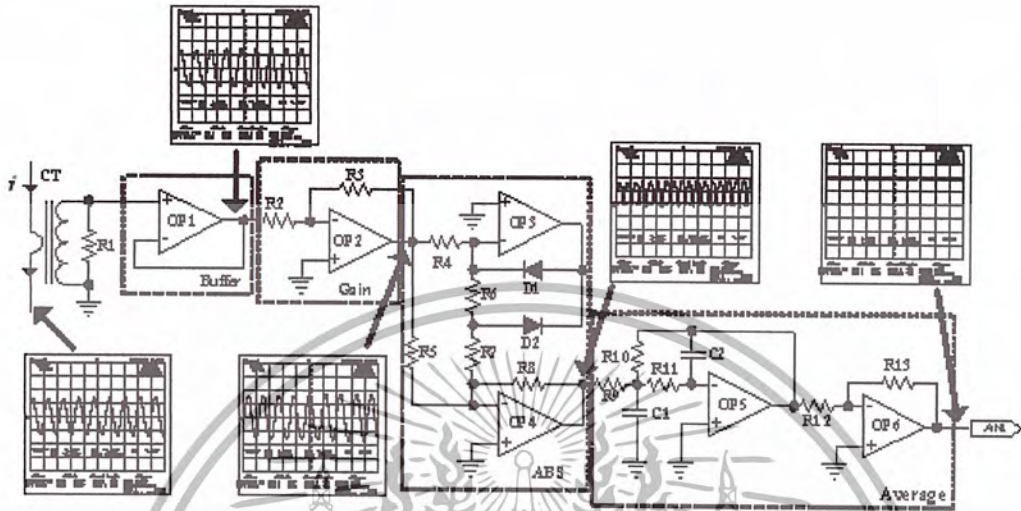
รูปที่ 3-12 วงจรขยายสัญญาณขับเคลื่อน IGBT

ในส่วนของไอซีใดที่ใช้จะรวมคุณสมบัติของการแยกกราวด์ และการขับไอจีบีที รวมไว้ในตัวเดียวกัน ทำให้ไม่ต้องยุ่งยากในการมีวงจรเข้ามาเกี่ยวข้องอีก คุณสมบัติของไอซีตัวนี้มีดังนี้

1. สามารถขับ ไอจีบีที ได้ที่กักสูงสุดที่ 150 A , 1200 V
2. มีวงจรป้องกันภายใน และส่งสัญญาณสถานะผิดปกติออกมาภายนอก คือ
3. วงจรป้องกัน ไฟเลี้ยงตก
4. วงจรตรวจจับการลัดวงจรของ ไอจีบีที
5. ผู้ใช้สามารถกำหนดได้ว่า เมื่อเกิดสถานะผิดปกติกับ ไอจีบีที ให้มีการหยุดหรือไม่หยุดทำงานแบบอัตโนมัติได้ (Auto-Shutdown) และให้เริ่มหรือไม่เริ่มการทำงานใหม่แบบอัตโนมัติได้ (Auto-Reset)

3.2.3 วงจรป้องกันกระแสเกิน

วงจรป้องกันส่วนนี้เป็นวงจรป้องกันกระแสเอาพุทสูงเกิน 150 A เพื่อป้องกันการเสียหายของ วงจรกำลังหากกระแสสูงเกิน

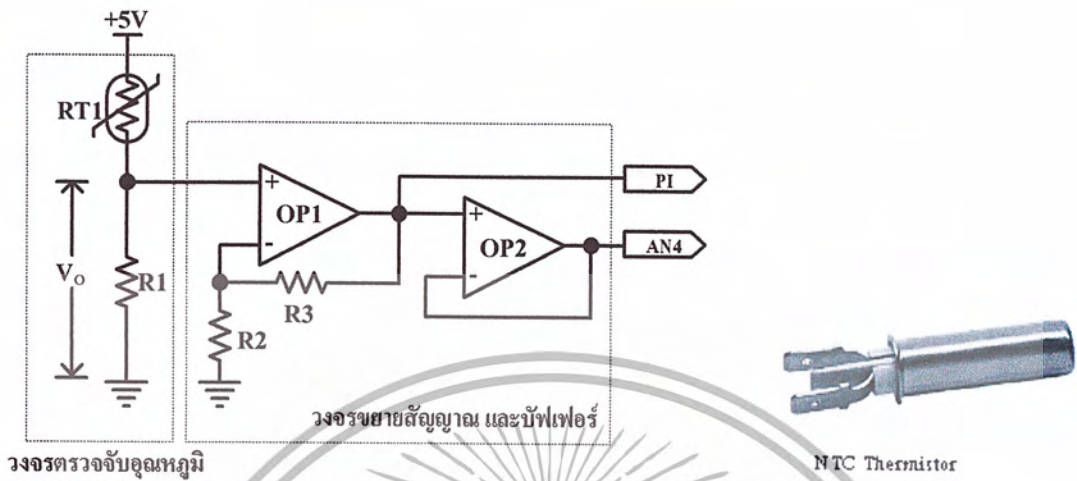


รูปที่ 3-13 วงจรป้องกันกระแสทางด้านเอาพุท

ในส่วนของวงจรป้องกันจะตรวจจับกระแสเกินแล้วส่งสัญญาณไปที่ ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผล ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผล จะทำการแปลงสัญญาณแอนะล็อกที่รับมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงาน

3.2.4 วงจรตรวจจับอุณหภูมิ

ในวงจรส่วนนี้จะเป็นส่วนการทำงานที่ตรวจจับอุณหภูมิในการทำงาน เพื่อนำกลับไปประมวลผลที่ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์อีกครั้งเพื่อปรับอุณหภูมิของน้ำ อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับอุณหภูมิใช้เทอร์มิสเตอร์ NTC (NTC THERMISTOR) ในการออกแบบส่วนนี้จะทำการออกแบบควบคุมอุณหภูมิของน้ำให้อยู่ที่อุณหภูมิ 32 – 48 °C ที่อุณหภูมิ 32 °C มีค่าเท่ากับ 0.495 V



รูปที่ 3 – 14 อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิและวงจร

ส่วนของตัวตรวจจับอุณหภูมิจะเป็นตัวตรวจจับอุณหภูมิของน้ำ โดยส่วนนี้จะเป็นการออกแบบไว้ ส่วนของการควบคุมแบบสลับปิด โดยจะทำการควบคุมอุณหภูมิที่ตัววัดอุณหภูมิ คือ ตัววัดอุณหภูมิจะตรวจจับอุณหภูมิ เพื่อส่งสัญญาณ ไปที่ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผล

ตารางที่ 3-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิ

CURVE 9 R/T CONVERSION TABLE R_t/R_{25}							
TEMP. °C	R_t / R_{25}	TEMP. °C	R_t / R_{25}	TEMP. °C	R_t / R_{25}	TEMP. °C	R_t / R_{25}
-55	60.751	6	2.243	67	0.2191	128	0.03951
-54	56.933	7	2.145	68	0.2122	129	0.03856
-53	53.379	8	2.052	69	0.2056	130	0.03764
-52	50.067	9	1.963	70	0.1990	131	0.03674
-51	46.980	10	1.879	71	0.1928	132	0.03587
-50	44.102	11	1.798	72	0.1868	133	0.03503
-49	41.418	12	1.722	73	0.1810	134	0.03420
-48	38.913	13	1.649	74	0.1754	135	0.03340
-47	36.574	14	1.579	75	0.1700	136	0.03263
-46	34.389	15	1.513	76	0.1648	137	0.03187
-45	32.348	16	1.450	77	0.1598	138	0.03113
-44	30.440	17	1.390	78	0.1549	139	0.03042
-43	28.655	18	1.333	79	0.1503	140	0.02972
-42	26.986	19	1.279	80	0.1458	141	0.02904
-41	25.423	20	1.226	81	0.1414	142	0.02838
-40	23.960	21	1.177	82	0.1372	143	0.02774
-39	22.590	22	1.129	83	0.1332	144	0.02712
-38	21.306	23	1.084	84	0.1293	145	0.02651
-37	20.103	24	1.041	85	0.1256	146	0.02592
-36	18.974	25	1.000	86	0.1218	147	0.02534
-35	17.916	26	0.9606	87	0.1183	148	0.02478
-34	16.921	27	0.9227	88	0.1149	149	0.02423
-33	15.980	28	0.8867	89	0.1116	150	0.02370
-32	15.113	29	0.8523	90	0.1084		
-31	14.289	30	0.8194	91	0.1053		
-30	13.516	31	0.7880	92	0.1023		
-29	12.789	32	0.7579	93	0.09942		
-28	12.106	33	0.7291	94	0.09663		
-27	11.461	34	0.7015	95	0.09392		
-26	10.855	35	0.6752	96	0.09132		
-25	10.286	36	0.6500	97	0.08879		
-24	9.748	37	0.6258	98	0.08634		
-23	9.242	38	0.6026	99	0.08397		
-22	8.765	39	0.5805	100	0.08168		
-21	8.315	40	0.5592	101	0.07946		
-20	7.891	41	0.5389	102	0.07731		
-19	7.491	42	0.5193	103	0.07523		
-18	7.113	43	0.5005	104	0.07321		
-17	6.757	44	0.4827	105	0.07126		
-16	6.420	45	0.4655	106	0.06936		
-15	6.102	46	0.4489	107	0.06752		
-14	5.802	47	0.4331	108	0.06575		
-13	5.518	48	0.4179	109	0.06403		
-12	5.249	49	0.4033	110	0.06235		
-11	4.995	50	0.3893	111	0.06073		
-10	4.755	51	0.3758	112	0.05916		
-9	4.527	52	0.3629	113	0.05764		
-8	4.312	53	0.3504	114	0.05616		
-7	4.108	54	0.3385	115	0.05473		
-6	3.915	55	0.3270	116	0.05334		
-5	3.732	56	0.3160	117	0.05199		
-4	3.558	57	0.3054	118	0.05068		
-3	3.394	58	0.2952	119	0.04941		
-2	3.238	59	0.2854	120	0.04818		
-1	3.090	60	0.2760	121	0.04698		
0	2.949	61	0.2669	122	0.04582		
1	2.815	62	0.2582	123	0.04469		
2	2.689	63	0.2497	124	0.04359		
3	2.569	64	0.2417	125	0.04253		
4	2.455	65	0.2339	126	0.04149		
5	2.346	66	0.2264	127	0.04049		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ชุดโปรแกรมควบคุมการทำงาน

ในส่วนของคุณคอนโทรลนี้ใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458 โปรแกรมภาษา C โดยมีตัวคอมไพเลอร์เป็นโปรแกรม MPLAB C 18 เป็นซีคอมไพเลอร์ที่ออกแบบมาสำหรับการเขียนโปรแกรมภาษาซีในการควบคุมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC 18Fxxx ของไมโครชิพซึ่งเป็นตัวคอมไพเลอร์ที่ง่ายในการทำความเข้าใจและการใช้งาน ภาษาซีมีข้อดีดังนี้

1. เป็นภาษาที่มีความเร็วในการทำงาน เป็นความเร็วของโปรแกรมที่ทำงาน ซึ่งถือว่าใกล้เคียงกับภาษาแอสเซมบลี
2. เป็นภาษาที่มีลักษณะที่เป็นโครงสร้างการโปรแกรมจึงต้องมีฟังก์ชันที่ชัดเจน
3. เป็นภาษาที่มี Source Code สั้นลงเมื่อเทียบกับภาษาแอสเซมบลี



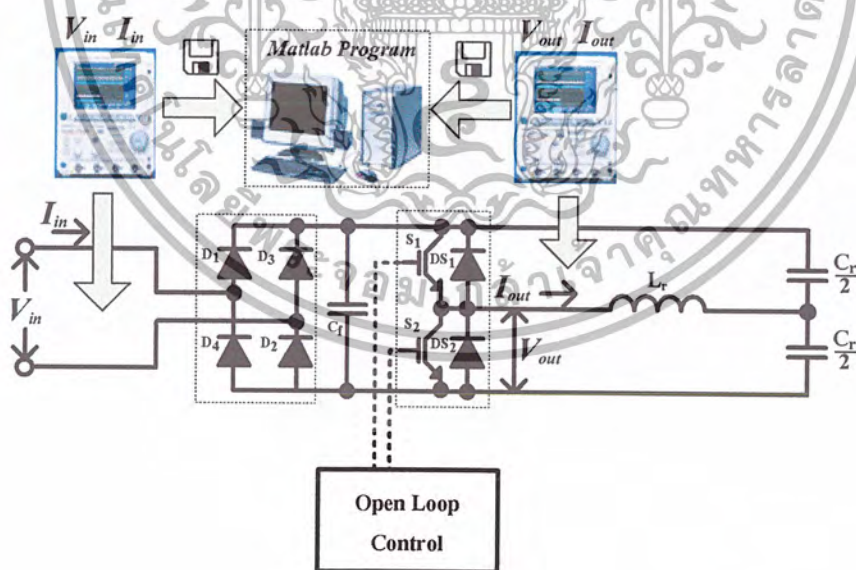
บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการทดลองโดยทำการทดลองวัดค่าทางด้านอินพุตและทางด้านเอาต์พุต โดยกำหนดความถี่รีโซแนนซ์ที่ 25 kHz ผลการทดลองทั้งด้านอินพุตและเอาต์พุต จะได้ผลการทดลองดังนี้

ความถี่รีโซแนนซ์	25	KHz
ค่าความเหนี่ยวนำรีโซแนนซ์	0.87	mH
<i>*หมายเหตุ*</i> ค่าความเหนี่ยวนำรวมของขดลวดทั้ง 2 อนุกรมกัน		
ระยะ gap	7	m.m.
ตัวเก็บประจุรีโซแนนซ์	0.98	μ F

วิธีการทดสอบและผลการทดสอบการทำงานของเครื่องทำน้ำอุ่นที่ได้ออกแบบและสร้างเป็นเครื่องต้นแบบจริง ซึ่งการทดสอบจะเป็นการตรวจสอบค่าต่างๆ ในการทำงานของเครื่องขึ้นต้น เช่น การตรวจสอบค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้า, ประสิทธิภาพรวม และค่าความผิดเพี้ยนของกระแสอินพุต เป็นต้น รูปที่ 4 - 1 เป็นลักษณะของวงจรที่ใช้ในการวัดค่าต่างๆ ในวงจรสำหรับนำมาวิเคราะห์การทำงานของเครื่องทำน้ำอุ่น

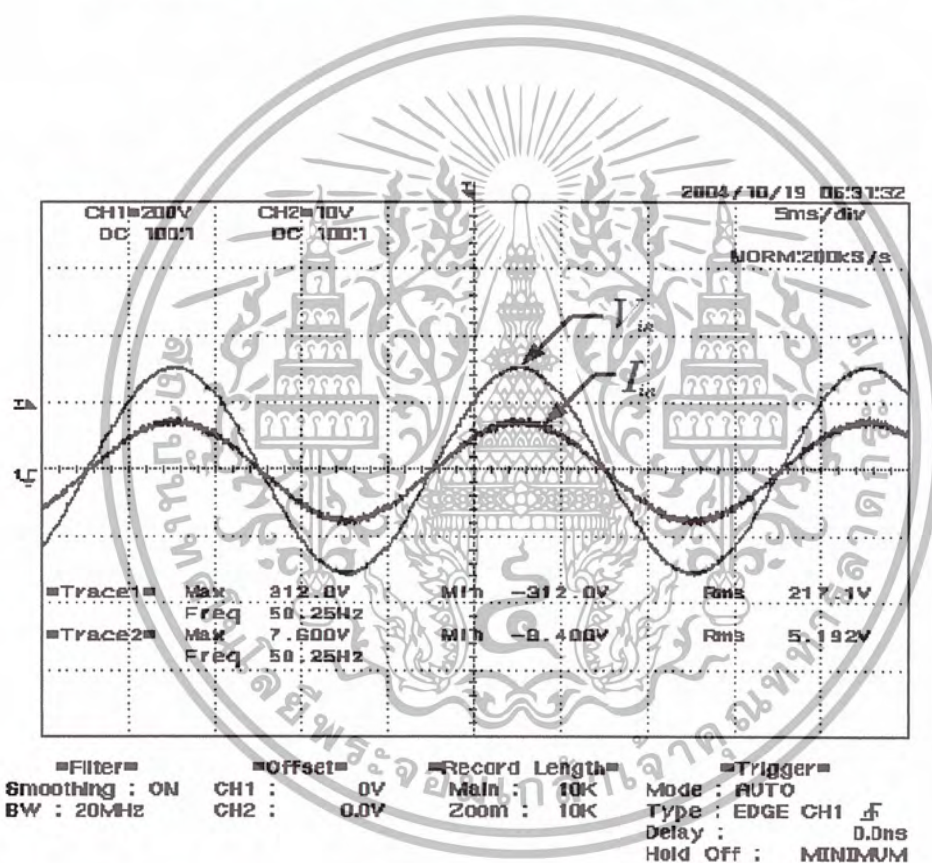


รูปที่ 4-1 วงจรที่ใช้ในการทดลองวัดค่าต่างๆ

ในการทดลองวัดค่าต่างๆ เช่น ค่ากระแส แรงดัน ทางด้านอินพุตและเอาต์พุต โดยการทดสอบควบคุมการทำงานแบบรูปเปิด เราจะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลในวงจร เช่น ระยะ gap ซึ่งจะมีผลกับค่า L ในวงจร และการปรับค่า C โดยเราทำการทดลองปรับความถี่ตั้งแต่ 25 kHz – 40 kHz

4.1 ผลการทดลองทางด้านอินพุต

เมื่อทำการวัดค่าแรงดันและกระแสทางด้านอินพุต ค่าที่ได้แสดงดังรูป 4 - 1

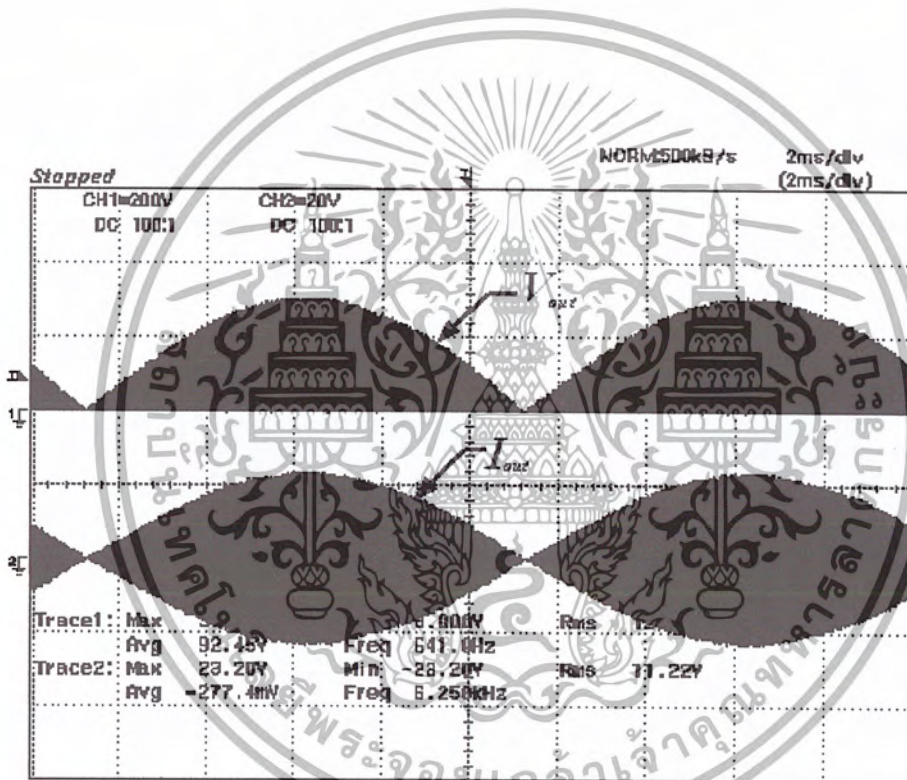


รูปที่ 4-2 รูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้านอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

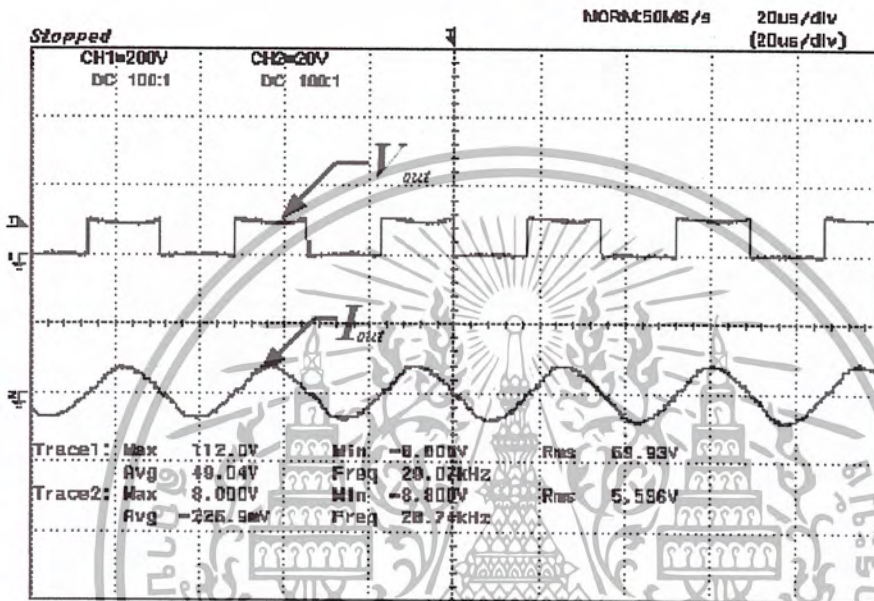
4.2 ผลการทดลองทางด้านเอาท์พุท

เมื่อทำการวัดแรงดันและกระแสทางด้านเอาท์พุท ที่อุปกรณ์เสวิตซ์ซึ่งแรงดันและกระแสจะได้ดังรูป 4.2 จะเห็นว่ารูปคลื่นที่ได้จะมีความถี่สูง จะดูลักษณะรูปคลื่นที่ขยายเพื่อให้เห็น ได้ชัดเจนอีกทีได้โดยดูที่รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่รูปที่ 4 - 3



รูปที่ 4 - 3 รูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้านเอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

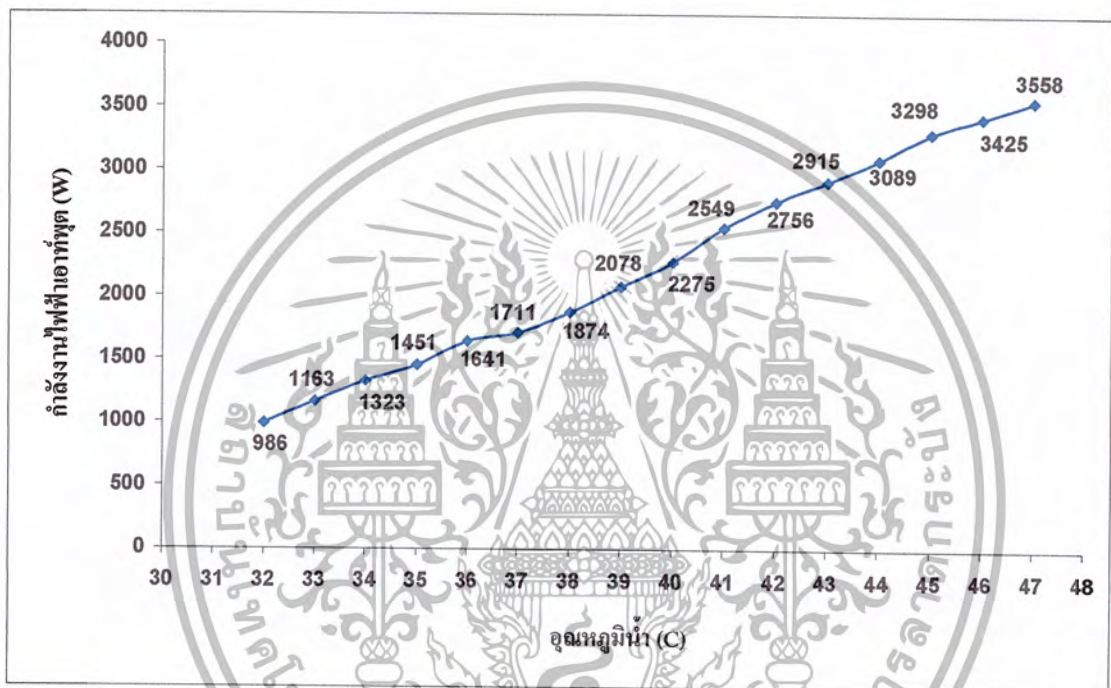


รูปที่ 4-4 รูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้านเอาต์พุต (ขยาย)

รูปที่ 4-4 เป็นรูปคลื่นเอาต์พุตกระแสและแรงดันที่ขยายเพื่อดูลักษณะรูปคลื่น จะเห็นได้ว่าจากค่าที่ได้จากการทดลอง รูปคลื่นของแรงดันที่ได้จะเป็นสแควเวฟส่วนกระแสที่เกิดขึ้นจะเป็นรูปคลื่นไซน์

4.3 ผลการทดลองอุณหภูมิน้ำ

การทดลองวัดอุณหภูมิของน้ำของเครื่องทำน้ำอุ่นนี้ ทำการวัดอุณหภูมิที่น้ำไหลอุณหภูมิของน้ำจากวงจรสามารถควบคุมได้ที่ 32 – 48 °C โดยการควบคุมที่เอาพุที่ได้จากการควบคุมความถี่ในการสวิตซ์ซึ่ง



รูปที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้กับอุณหภูมิน้ำ

จากกราฟจะเห็นว่าอุณหภูมิของน้ำที่ได้นั้น จะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นเมื่อกำลังไฟฟ้เอาพุที่มีค่าเพิ่มขึ้น การทำงานของวงจรจะควบคุมอุณหภูมิของน้ำในช่วง 32 - 48 °C จะเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน หากอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะใช้งาน ได้ยาก เพราะอุณหภูมิจะสูงไปสำหรับการใช้งานปกติ

4.4 ค่ากำลังงานไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางไฟฟ้า

4.4.1 ผลการทดลองวัดค่าอุณหภูมิน้ำ

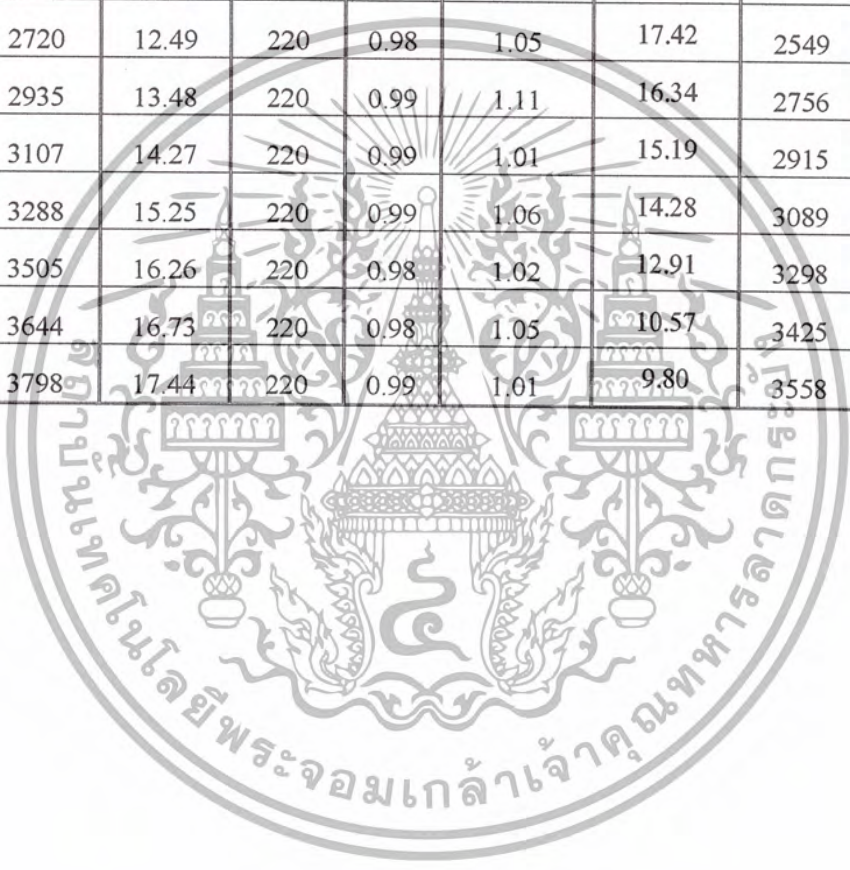
การทดลองวัดอุณหภูมิของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ และค่ากำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุตและเอาต์พุต แรงดัน และกระแสที่เกิดขึ้น เพาเวอร์แฟกเตอร์ และประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นจะเห็นได้ว่าในส่วนของประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำอุ่นนี้จะมีประสิทธิภาพที่สูงมากเมื่อเทียบกับระบบแบบเดิม

ตารางที่ 4 – 1 ค่าที่ได้ทางไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำอุ่น

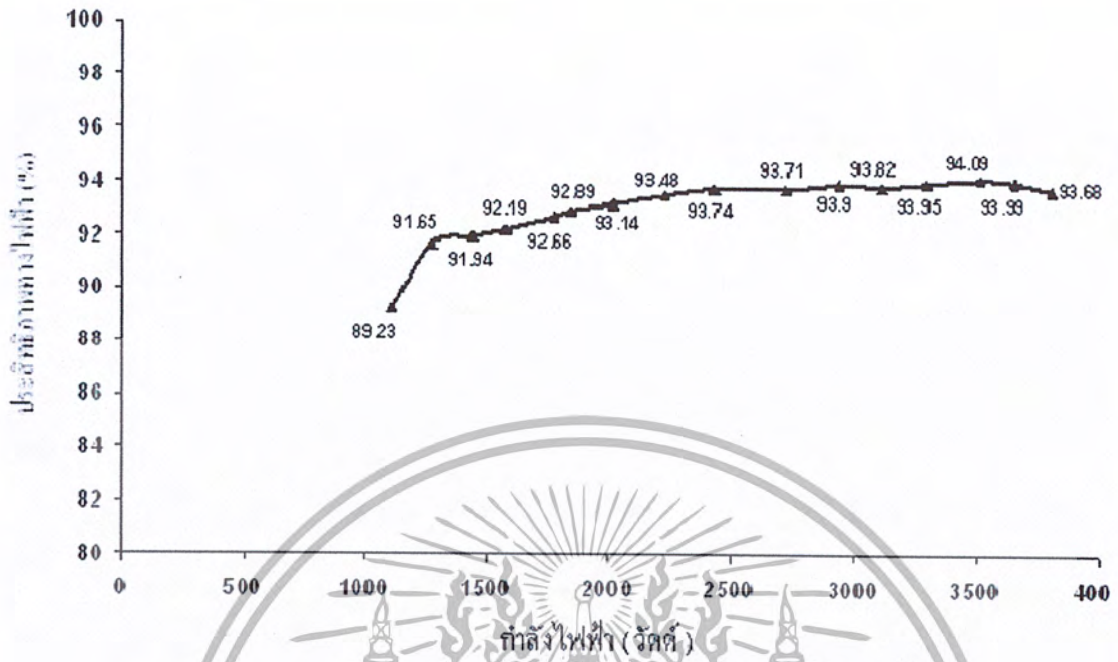
อุณหภูมิน้ำ (C)	P_{in} (W)	I_{in} (A)	V_{in} (V)	PF	THD _v (%)	THD _i (%)	P_{out} (W)	% η_{elec}
39	2223	10.21	220	0.99	1.11	19.14	2078	93.14
40	2427	11.26	220	0.99	1.01	18.63	2275	93.48
41	2720	12.49	220	0.98	1.05	17.42	2549	93.74
42	2935	13.48	220	0.99	1.11	16.34	2756	93.71
43	3107	14.27	220	0.99	1.01	15.19	2915	93.90
44	3288	15.25	220	0.99	1.06	14.28	3089	93.82
45	3505	16.26	220	0.98	1.02	12.91	3298	93.95
46	3644	16.73	220	0.98	1.05	10.57	3425	94.09
47	3798	17.44	220	0.99	1.01	9.80	3558	93.99

ตารางที่ 4 – 1 (ต่อ)

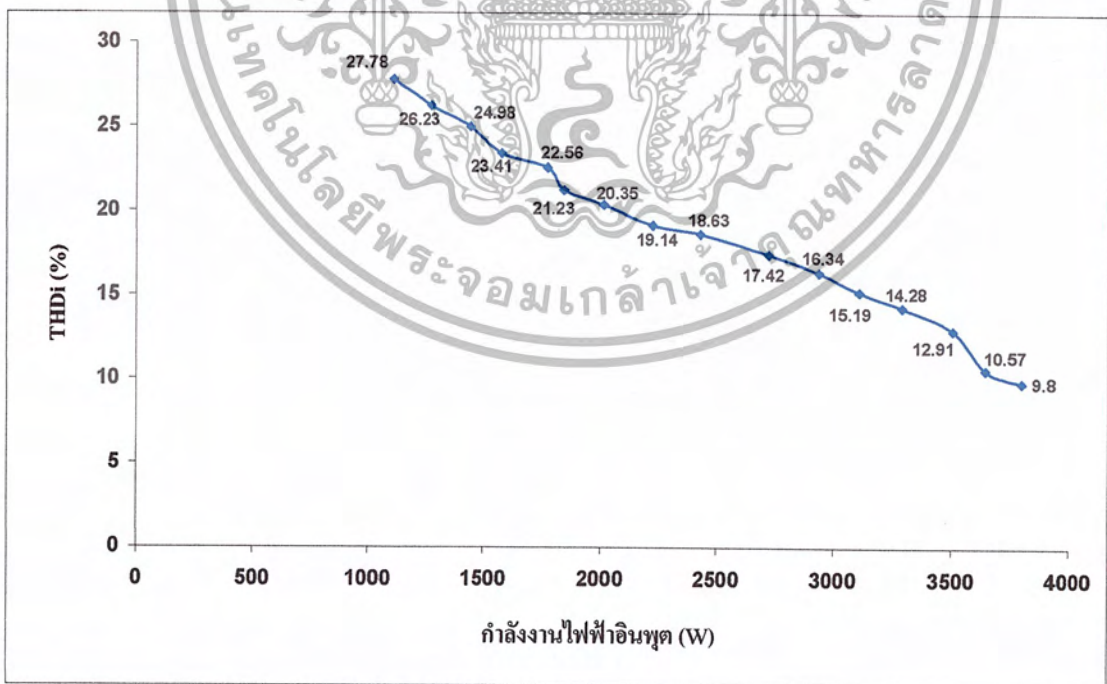
อุณหภูมิน้ำ (C)	P_{in} (W)	I_{in} (A)	V_{in} (V)	PF	THD _v (%)	THD _i (%)	P_{out} (W)	$\% \eta_{elec}$
39	2223	10.21	220	0.99	1.11	19.14	2078	93.14
40	2427	11.26	220	0.99	1.01	18.63	2275	93.48
41	2720	12.49	220	0.98	1.05	17.42	2549	93.74
42	2935	13.48	220	0.99	1.11	16.34	2756	93.71
43	3107	14.27	220	0.99	1.01	15.19	2915	93.90
44	3288	15.25	220	0.99	1.06	14.28	3089	93.82
45	3505	16.26	220	0.98	1.02	12.91	3298	93.95
46	3644	16.73	220	0.98	1.05	10.57	3425	94.09
47	3798	17.44	220	0.99	1.01	9.80	3558	93.99



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

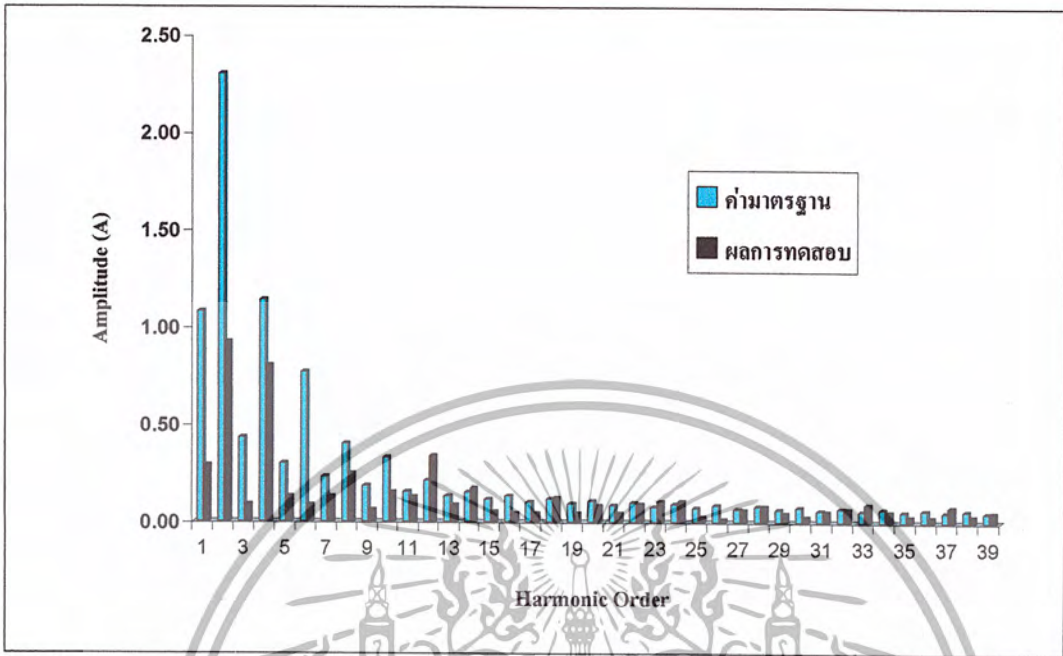


รูปที่ 4-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพกับกำลังไฟฟ้า

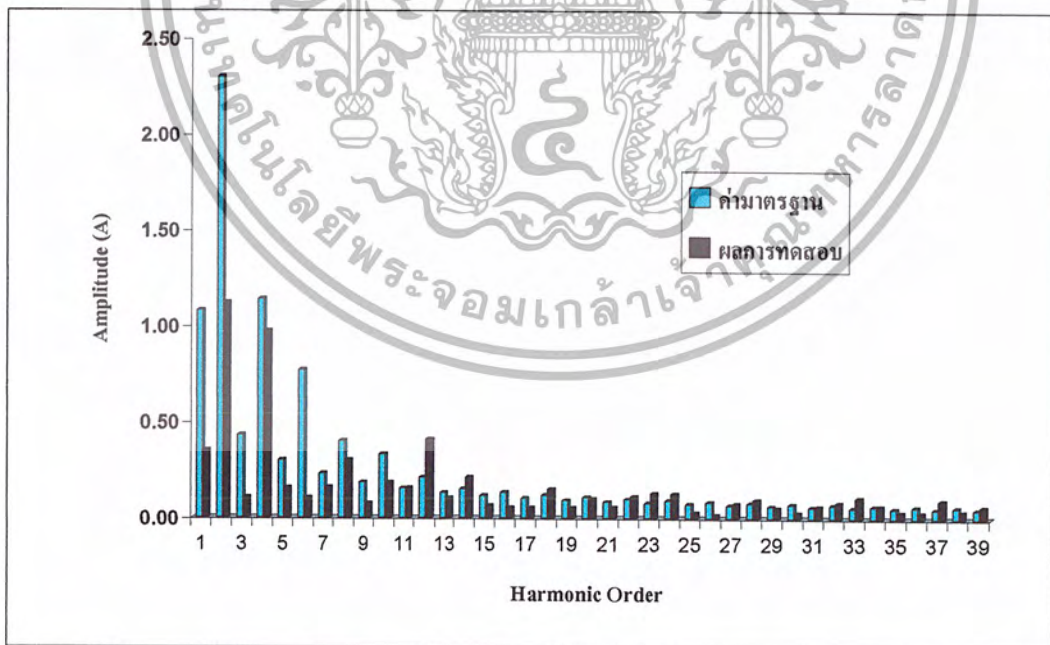


รูปที่ 4-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง THDi ; กับกำลังงานอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 – 8 ผลการเปรียบเทียบค่าฮาร์มอนิกส์ของกระแสในพุด เมื่ออุณหภูมิน้ำเท่ากับ 32 ° C

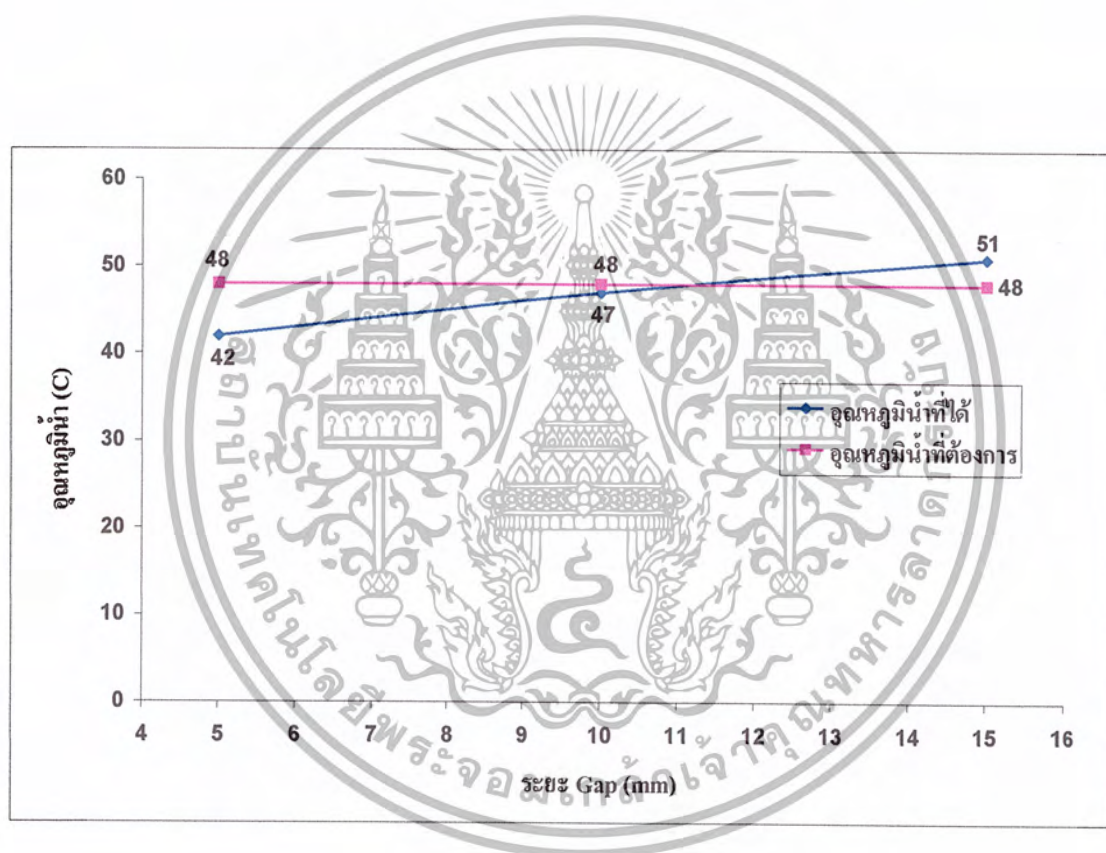


รูปที่ 4 – 9 ผลการเปรียบเทียบค่าฮาร์มอนิกส์ของกระแสในพุด เมื่ออุณหภูมิน้ำเท่ากับ 47 ° C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

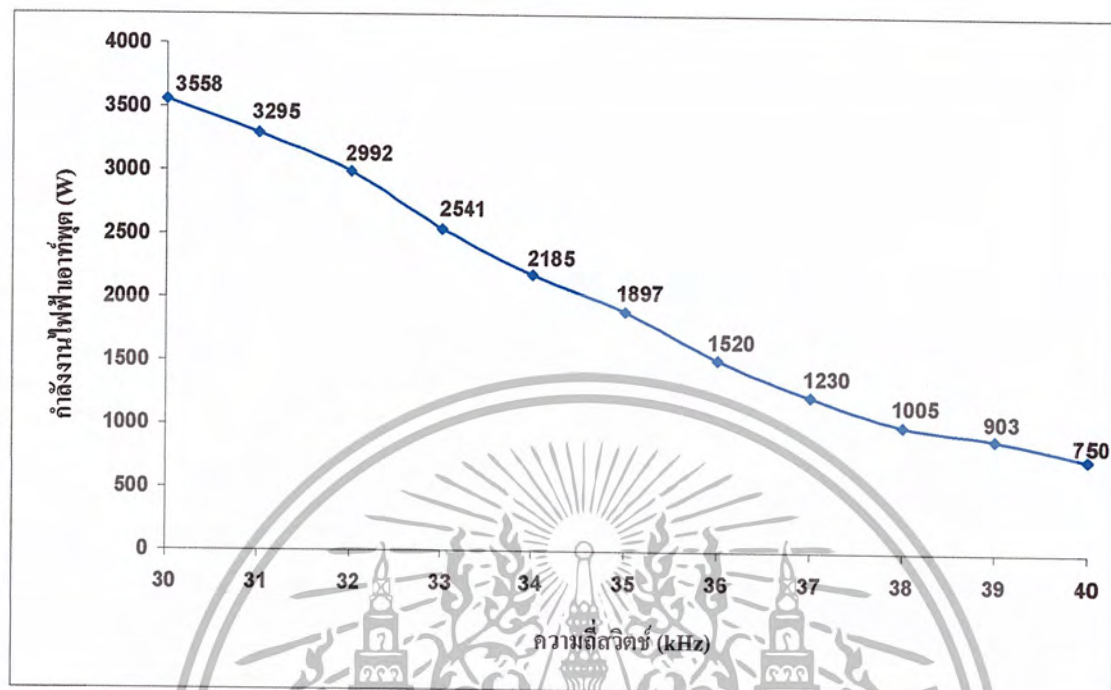
4.4.2 เมื่อระยะ gap เปลี่ยนแปลง

เมื่อทำการทดลองโดยการปรับระยะ gap ค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนไปตามระยะ gap โดยที่ระยะ gap จะมีผลกับอุณหภูมิของน้ำ ในการทดลองหาระยะที่เหมาะสมเราจะปรับระยะไปเรื่อย และให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม



รูปที่ 4 – 10 เปรียบเทียบระยะ gap ที่เปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-11 กราฟแสดงกำลังงานไฟฟ้าเอาต์พุต เมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่สวิตช์ ที่ระยะ Gap เท่ากับ 7 m.m.

จากกราฟเมื่อเราทำการทดลองปรับพารามิเตอร์ได้แล้ว จากกราฟที่ 4-11 จะเป็นการปรับความถี่ เพื่อทดสอบกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่เกิดขึ้น จะเห็นว่าเมื่อความถี่มากขึ้นเกินความถี่รีโซแนนซ์ ค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดลง ที่จุดรีโซแนนซ์จะให้กำลังไฟฟ้าที่สูงสุด การควบคุมความถี่ควรควบคุมในช่วง lagging เพราะถ้าควบคุมในช่วง leading จะเกิดอาร์โมนิกมาก ค่า C ในวงจรจะมีขนาดใหญ่

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

จากโครงการเครื่องทำน้ำอุ่นนี้ เป็นเครื่องต้นแบบ โดยการทำงานของโครงการนี้ยังเป็นแบบ open loop ทำงานที่ความถี่รีโซแนนซ์ที่ 25 kHz โดยรับแรงดันอินพุต 220 V ขนาดกำลัง 3.5 กิโลวัตต์ โดยใช้หลอดทองแดงเบอร์ 28 จำนวน 50 เส้นตีเกลียว ในการทดสอบใช้การทดสอบเป็นแบบปรับความถี่ 25 kHz – 40 kHz และทำการวัดค่ารูปคลื่นกระแสและแรงดัน อุณหภูมิ และพล็อตค่ากราฟของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อการทำงาน

5.1 จุดเด่นของโครงการ

1. มีการสูญเสียพลังงานต่ำ เพราะความร้อนที่เกิดขึ้นเกิดที่ภาชนะใส่น้ำโดยตรง ซึ่งต่างจากระบบฮีตเตอร์ความร้อนแบบเก่า
2. มีเพาเวอร์แฟคเตอร์สูง
3. ประหยัดพลังงาน

5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะในการปรับปรุง

1. ปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนจากสนามแม่เหล็กที่เกิดที่ขดลวดรับกวนการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้ต้องระวังในการจัดวางชุดขดลวด
2. ปรับปรุงลักษณะของโครงสร้างเครื่อง ให้มีขนาดที่เล็กลง เพราะเครื่องทำน้ำอุ่นที่ทำการทดลองนี้เป็นเครื่องต้นแบบขนาด และรูปร่าง จึงมีขนาดใหญ่
3. ปรับปรุงการออกแบบชุดกำลังของเครื่องทำน้ำอุ่น ให้มีความร้อนน้อยลง หรือระบบการระบายความร้อนที่ดีขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ
4. ในโครงการนี้ใช้หลักการของการเหนี่ยวนำความถี่สูง ความถี่ที่สูงนี้จะส่งผลกระทบต่อระบบภายนอก ไปกวนอุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอกได้ ดังนั้นจึงต้องมีระบบ EMI FILTER ที่ดีเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ภายนอก จากความถี่สูง และไม่ให้ความถี่อื่นจากภายนอกมารบกวนระบบภายในระบบ
5. ปัญหาเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่หาซื้อยาก เช่น ตัววัดอุณหภูมิ ต้องทำการสั่งซื้อระยะเวลาที่ได้นั้นนาน
6. ปัญหาของภาชนะที่ใช้ในการบรรจุน้ำ ที่นำมาทดลอง ในตอนแรกใช้แบบ ทรงกระบอกอุณหภูมิ ที่ได้ไม่ได้ผลตามต้องการ จึงเปลี่ยนเป็นแบบกล่องสี่เหลี่ยมอุณหภูมิที่ได้เหมาะกับงาน
7. ปัญหาเกี่ยวกับระยะ gap ที่ต้องทำการทดลองและในการติดตั้งจริงต้องยึดให้แข็งแรงและมีความสม่ำเสมอของระยะ gap เพื่อเกิดการเหนี่ยวนำที่ภาชนะใส่น้ำได้สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถนำหลักการเหนี่ยวนำความถี่สูงนี้ไปประยุกต์ใช้งานในระบบอื่น หรืองานอื่นๆ ได้
2. สามารถนำความรู้เกี่ยวกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมงานในระบบอื่นได้
3. ทำให้เข้าใจการทำงานเป็นหมู่คณะ เป็นการฝึกฝนตัวเองในการทำงาน
4. ทำให้รู้จักค้นคว้าหาความรู้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

www.microchip.com

ธารากร เนยเขียว,พิจิตร พอกแก้ว,สุชาติ เก่งขุนทด, “เตาหุงต้ม โดยใช้ฮาร์ดพริคจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม”,ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สมศักดิ์ รุ่งเรือง,วิศิษฐ์ ชูรัชนี,สมจิต แดงเอียด, “ชุดอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบไบโพลาร์”,ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

กิตติพงษ์ สุทธิมูล,ณรงค์ชัย ทศพร,บุญมี นิ่มนวล,พินิจ หยกส่องแสง, “เตาหุงต้มเหนี่ยวนำ”, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

“โครงการวิจัยเครื่องทำน้ำอุ่นเหนี่ยวนำที่มีการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์”ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประภาพร ช่างไม้, “คู่มือการเขียนโปรแกรมภาษา C”, พิมพ์ครั้งที่1.2545

“เรียนรู้และเข้าใจสถาปัตยกรรมไมโครคอนโทรลเลอร์PIC16F877”บริษัท อีทีที จำกัด, พิมพ์ครั้งที่1.2537 มงคล ทองสงคราม, “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง”, 2546



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน

```
#include <p18f458.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <math.h>

//-----

/*PORTB*/

#define RESET_F      PORTBbits.RB1    //<34> output
#define VALVE_INT    PORTBbits.RB2    //<35> input
#define ON_FAN       PORTBbits.RB3    //<36> output
#define ON_RELAY1    PORTBbits.RB4    //<37> output
#define ON_OPTO      PORTBbits.RB5    //<38> output
#define SW_SC1       PORTBbits.RB7    //<40> input

/*PORTD*/

#define LED_PAUSE    PORTDbits.RD0    //<19> output
#define VALVE_ON     PORTDbits.RD2    //<21> output
#define LED_ON       PORTDbits.RD3    //<22> output
#define PWM_A        PORTDbits.RD4    //<27> output
#define PWM_B        PORTDbits.RD5    //<28> output
#define SW_ON_OFF    PORTDbits.RD7    //<29> output
#define SOUND        PORTDbits.RD7    //<30> output

/*PORTC*/

#define DIG1          PORTCbits.RC0    //<15> output
#define DIG2          PORTCbits.RC1    //<16> output
#define DIG3          PORTCbits.RC2    //<17> output
#define SCL           PORTCbits.RC3    //<18> output
#define SDA           PORTCbits.RC4    //<23> output
#define ON 1
#define OFF 0
#define max 179 //PR2 50k
#define min 255 //PR2 27k
#define deadband 388 //((max+4)*2;
#define deadtime 28
#define TMR0H_H 0xFF //c3
#define TMR0L_L 0xFE //50
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****/
//      CONSTANTS
/*****/
#define PCF8574A_ID 0x70
unsigned char num_led[11]={0x3f,0x06,0x5b,      //0,1,2
                          0x4f,0x66,0x6d,      //3,4,5
                          0x7d,0x07,0x7f,      //6,7,8
                          0x6f};              //9
static unsigned char
c1=0
,c2=0
,c3=0
,test=0
,sw=0
,temp_sw_pause=1
,DUTY_H=0
,DUTY_L=0
,have_soft=0
,F_set=0
,D1=0
,D2=0
,D3=0
,F_OFF=0
,ADC_Channel=0;
unsigned char
ADRESH_H0
,ADRESL_L0
,ADRESH_H1
,ADRESL_L1
,ADRESH_H2
,ADRESL_L2
,ADRESH_H3
,ADRESL_L3
,ADRESH_H4
,ADRESL_L4
,ADRESH_H5
,ADRESL_L5
,ADRESH_H6
,ADRESL_L6;
static unsigned int pr2=190;

/*****/
void main(void);
void InterruptHandlerHigh(void);
void InterruptHandlerLow(void);

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void I2C_delay(void);
void I2C_high(void);
void I2C_low(void);
void I2C_start(void);
void I2C_stop(void);
unsigned char I2C_wrbyte(unsigned char dat);
void PCF8574A_Write(unsigned char dat);
void delay(unsigned char count);
void DspLED7seg(unsigned char c1,unsigned char c2);
void DspLED7seg1(void);

```

```

/*****
// I2C FUNCTION
*****/

void I2C_delay(void)
{
    char i;
    for(i=0;i<30;i++);
}

void I2C_high(void)
{
    SCL = 1;
    I2C_delay();
}

void I2C_low(void)
{
    SCL = 0;
    I2C_delay();
}

void I2C_start(void)
{
    SDA = 1;
    I2C_high();
    SDA = 0;
    I2C_delay();
    I2C_low();
    SDA = 1;
}

void I2C_stop(void)
{

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SDA = 0;
I2C_high();
SDA = 1;
}

unsigned char I2C_wrbyte(unsigned char dat)
{
  unsigned char i,outbit;
  for(i=1;i<=8;i++)
  {
    outbit = dat&0x80;
    if(outbit==0x80)
      SDA = 1;
    else SDA = 0;
    dat = dat<<1;
    I2C_high();
    I2C_low();
  }
  SDA = 1;
  I2C_high();
  outbit = SDA;
  I2C_low();
  return(outbit);
}

void PCF8574A_Write(unsigned char dat)
{
  I2C_start();
  if(I2C_wrbyte(PCF8574A_ID))
  I2C_stop();
  I2C_wrbyte(dat);
  I2C_stop();
}

/***** Setup Port *****/

void setup_TRIS(void) {
  RCONbits.IPEN = 1;
  INTCONbits.GIEH = 1;
  INTCONbits.GIEL = 1;

  /* interrupt INT0 */
  INTCONbits.INT0IF = 0;
  INTCON2bits.INTEDG0 = 0;
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

INTCONbits.INT0IE = 1;

/* PWM ECCP */
ECCP1CON = 0b10001100;
PIR1bits.TMR2IF = 0;
PIE1bits.TMR2IE = 1;
IPR1bits.TMR2IP = 1;
ECCPR1L = DUTY_H;
ECCP1CON |= DUTY_L;
ECCP1DEL = deadband;

/* ADC */
ADCON0 = 0b11000001;
ADCON1 = 0b00000000;

/* USART */
TXSTA = 0b00100000;
SPBRG = 45;
RCSTAbits.SPEN = 1;

/* Setup PORT I/O */

/* PORTA */
PORTA = 0;
LATA = 0;
ADCON1 = 0X07;
TRISA = 0b11111111;

/* PORTB */
PORTB = 0;
LATB = 0;
TRISB = 0b11000101;

/* PORTC */
PORTC = 0;
LATC = 0;
TRISC = 0b01100000;

/* PORTD */
CMCON = 0X07;
PORTD = 0;
LATD = 0;
TRISD = 0b01000000;

/* SET STAUST */
DIG1 = 0;

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DIG2 = 0;
DIG3 = 0;
PWM_A = 0;
PWM_B = 0;
ON_OPTO = 1;
SOUND = 1;
LED_ON = 1;
LED_PAUSE = 1;
ON_RELAY1 = 1;
ON_FAN = 1;
RESET_F = 1;
VALVE_ON = 1; }

```

```

/***** Delay *****/

```

```

void delay(unsigned char count) {
    unsigned char i,j;
    for(i=1;i<=count;i++)
        for(j=1;j<255;j++);
}

```

```

void delay1(unsigned char count) {
    unsigned char i,j;
    for(i=1;i<=count;i++)
        {
            if((F_set==1)&&(SW_ON_OFF==0)) F_OFF=1;
            DspLED7seg1();
        }
}

```

```

void delay_7(unsigned char count) {
    unsigned char i;
    for(i=0;i<count;i++)
        {
            if(SW_ON_OFF == 0) F_OFF=1;
            DspLED7seg1();
        }
}

```

```

/***** Sound *****/

```

```

void sound(unsigned int freq,int time)
{
    unsigned int i;
    while (time>0)
    {

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        SOUND = 0;
        for(i=1;i<freq;i++)
            time--;
        SOUND = 1;
        for(i=1;i<freq;i++)
            time--;
    }
}

/***** SET DUTY AND PR2 *****/

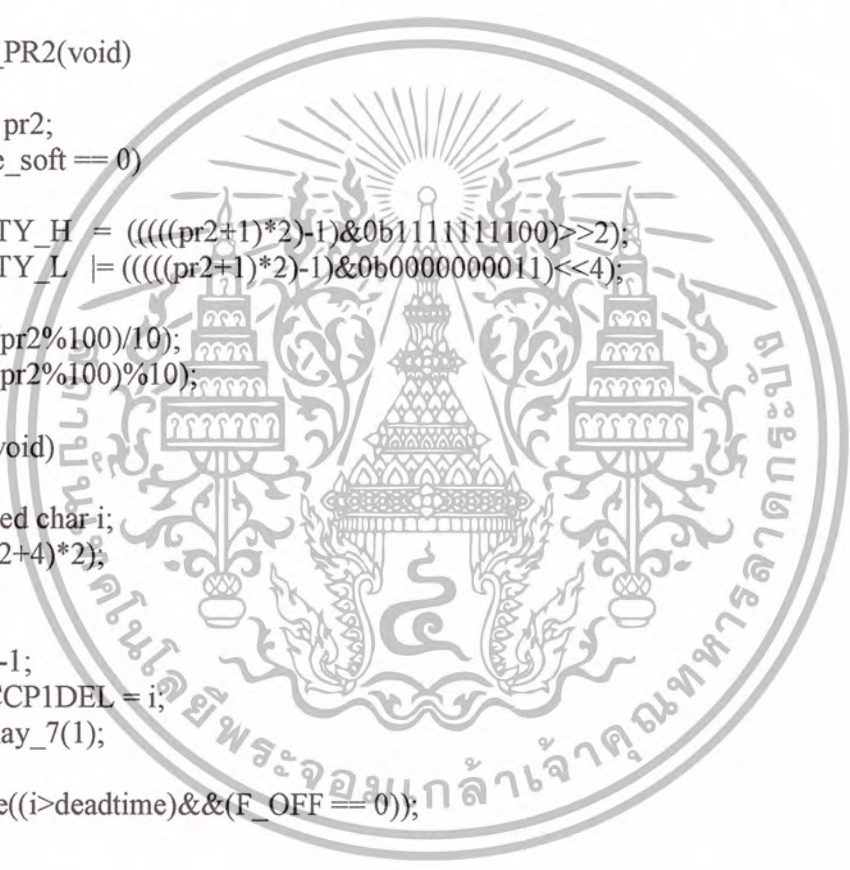
void duty_PR2(void)
{
    PR2 = pr2;
    if(have_soft == 0)
    {
        DUTY_H = (((pr2+1)*2)-1)&0b111111100)>>2);
        DUTY_L |= (((pr2+1)*2)-1)&0b000000011)<<4);
    }
    c1 = ((pr2%100)/10);
    c2 = ((pr2%100)%10);
}

void soft(void)
{
    unsigned char i;
    i=((pr2+4)*2);
    do
    {
        i=i-1;
        ECCP1DEL = i;
        delay_7(1);
    }
    while((i>deadtime)&&(F_OFF == 0));
}

/***** DspLED7seg *****/

void DspLED7seg(unsigned char c1,unsigned char c2/*unsigned char c3*/)
{
    unsigned char i,j;
    PCF8574A_Write(num_led[c3]);
    DIG3 = 1;
    for(i=1;i<=10;i++)
        for(j=1;j<255;j++);
    if(SW_SC1 == 0)

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

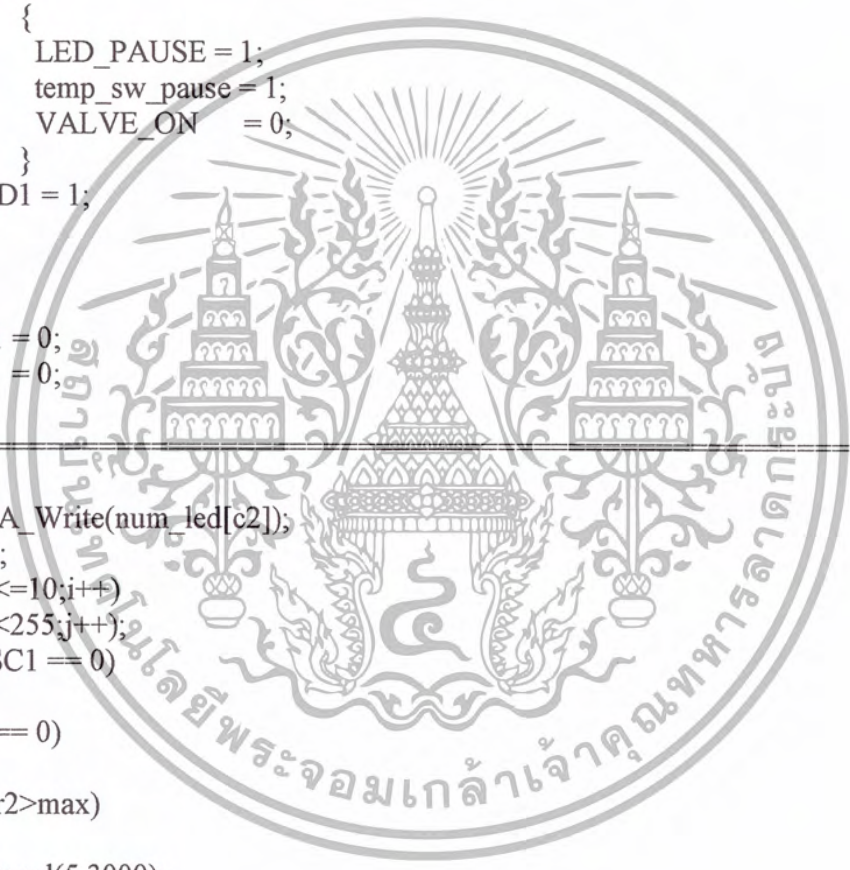
{
  if(D1==0)
  {
    sound(5,300);
    if(temp_sw_pause == 1)
    {
      temp_sw_pause = 0;
      LED_PAUSE = 0;
      VALVE_ON = 1;
    }
    else
    {
      LED_PAUSE = 1;
      temp_sw_pause = 1;
      VALVE_ON = 0;
    }
    D1 = 1;
  }
}

else D1 = 0;
DIG3 = 0;

//=====

PCF8574A_Write(num_led[c2]);
DIG2 = 1;
for(i=1;i<=10;i++)
for(j=1;j<255;j++);
if(SW_SC1 == 0)
{
  if(D2 == 0)
  {
    if(pr2>max)
    {
      sound(5,3000);
      pr2=pr2-1;
      duty_PR2();
    }
    D2=1;
  }
}
else D2 = 0;
DIG2 = 0;

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//=====
```

```
PCF8574A_Write(num_led[c1]);  
DIG1 = 1;  
for(i=1;i<=10;i++)  
for(j=1;j<255;j++)  
if(SW_SC1 == 0)  
{  
  if(D3 == 0)  
  {  
    if(pr2<min)  
    {  
      sound(5,3000);  
      pr2=pr2+1;  
      duty_PR2();  
    }  
    D3=1;  
  }  
  else D3 =0;  
  DIG1 = 0;  
}
```

```
/*=====*/
```

```
void DspLED7seg1(void)  
{  
  PCF8574A_Write(num_led[c3]);  
  DIG3 = 1;  
  delay(5);  
  DIG3 = 0;
```

```
PCF8574A_Write(num_led[c2]);  
DIG3 = 1;  
delay(5);  
DIG3 = 0;
```

```
PCF8574A_Write(num_led[c1]);  
DIG3 = 1;  
delay(5);  
DIG3 = 0;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

/***** ON/OFF power *****/

void Check_power_ON(void)
{
    sw = 1;
    while(SW_ON_OFF == 1);
    VALVE_ON = 0;
    sound(5,3000);
    ON_FAN = 0;
    ON_RELAY1 = 0;
    LED_ON = 0;
    RESET_F = 1;
    delay(100);
    duty_PR2();
    T2CONbits.TMR2ON = 1;
    delay(10);
    ON_OPTO = 0;
    while(SW_ON_OFF == 0);
    delay(200);
}

void Check_power_OFF(void)
{
    ON_OPTO = 1;
    delay(10);
    ON_RELAY1 = 1;
    delay(10);
    T2CONbits.TMR2ON = 0;
    ECCP1DEL = deadband;
    DUTY_H = 0;
    DUTY_L = 0;
    PWM_A = 0;
    PWM_B = 0;
    pr2=max;
    sound(5,300);
    LED_PAUSE = 1;
    LED_ON = 1;
    DIG3 = 0;
    DIG2 = 0;
    DIG1 = 0;
    temp_sw_pause = 1;
    delay(200);
    while(SW_ON_OFF == 0);
    delay(200);
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

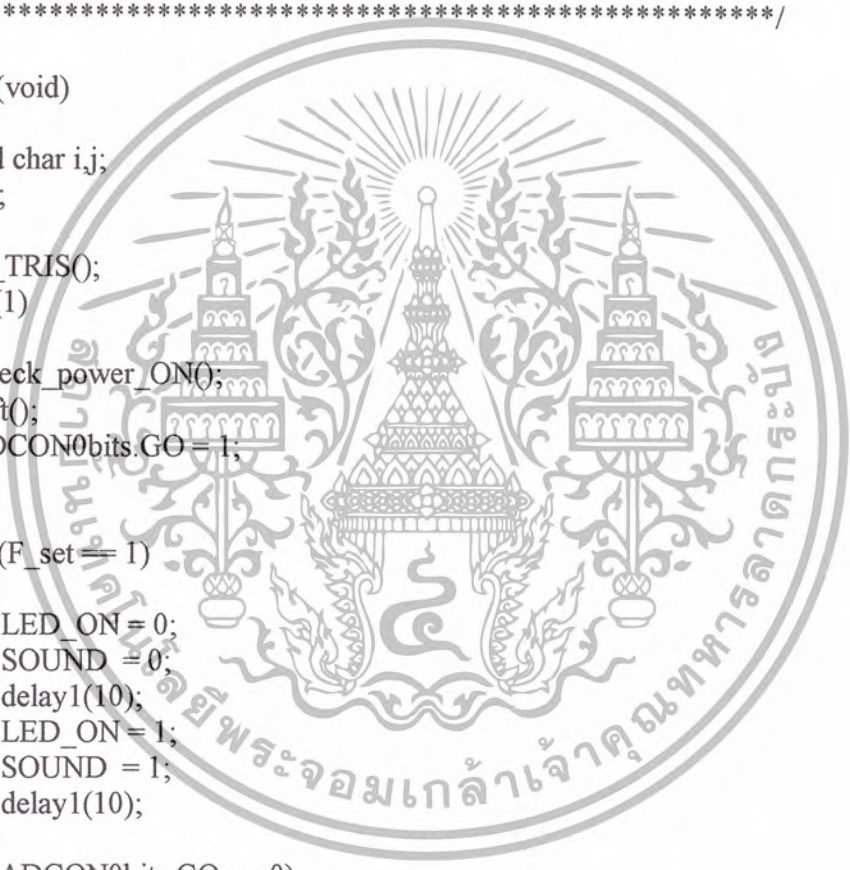
```

ON_FAN = 1;
F_OFF=0;
F_set=0;
sw=0;
RESET_F = 0;
VALVE_ON = 1;
ADCON0bits.ADON =0;
}

/*****
/***** MAIN Program *****/
/*****/

void main(void)
{
  unsigned char i,j;
  while(1);
  {
    setup_TRIS();
    while(1)
    {
      Check_power_ON();
      soft();
      ADCON0bits.GO = 1;
    do
    {
      if(F_set == 1)
      {
        LED_ON = 0;
        SOUND = 0;
        delay1(10);
        LED_ON = 1;
        SOUND = 1;
        delay1(10);
      }
    }
    if(ADCON0bits.GO == 0)
    {
      switch(ADC_Channel)
      {
        case 0:  ADCON0bits.ADON = 0;
                  ADRESH_H0      = ADRESH;
                  ADRESL_L0      = ADRESL;
                  ADCON0          = 0b11001001;
                  DspLED7seg1();
                  ADCON0bits.GO = 1;
                  ADC_Channel    = 1;

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

break;

case 1: ADCON0bits.ADON = 0;
        ADRESH_H1      = ADRESH;
        ADRESL_L1      = ADRESL;
        ADCON0         = 0b11010001;
        DspLED7seg1();
        ADCON0bits.GO = 1;
        ADC_Channel    = 2;
        break;

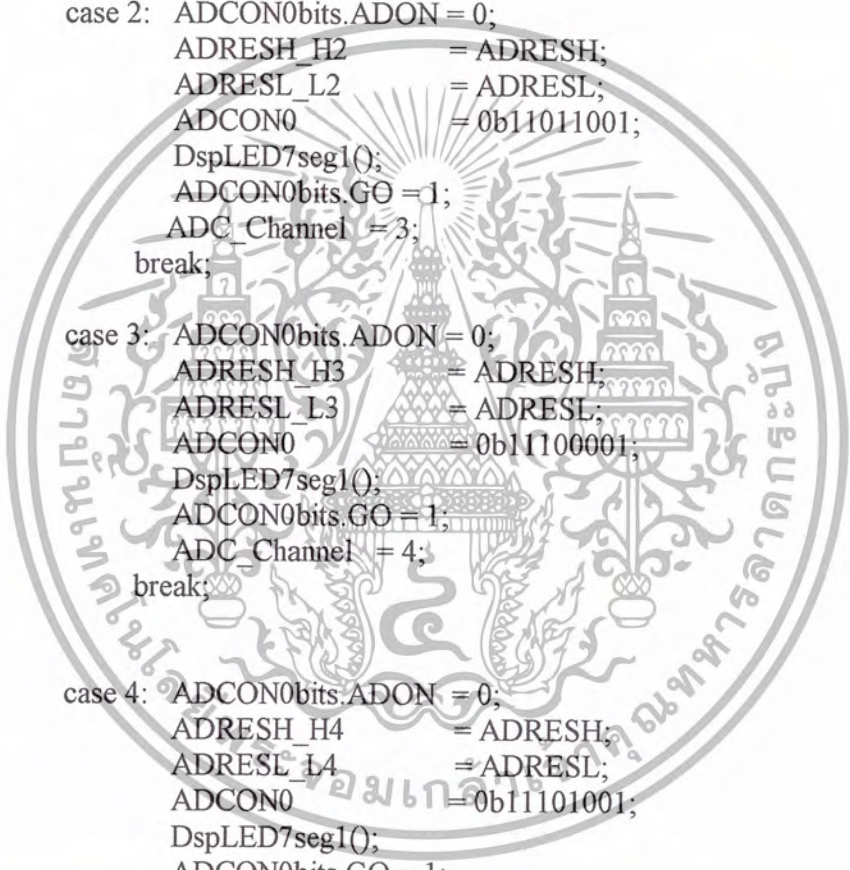
case 2: ADCON0bits.ADON = 0;
        ADRESH_H2      = ADRESH;
        ADRESL_L2      = ADRESL;
        ADCON0         = 0b11011001;
        DspLED7seg1();
        ADCON0bits.GO = 1;
        ADC_Channel    = 3;
        break;

case 3: ADCON0bits.ADON = 0;
        ADRESH_H3      = ADRESH;
        ADRESL_L3      = ADRESL;
        ADCON0         = 0b11100001;
        DspLED7seg1();
        ADCON0bits.GO = 1;
        ADC_Channel    = 4;
        break;

case 4: ADCON0bits.ADON = 0;
        ADRESH_H4      = ADRESH;
        ADRESL_L4      = ADRESL;
        ADCON0         = 0b11101001;
        DspLED7seg1();
        ADCON0bits.GO = 1;
        ADC_Channel    = 5;
        break;

case 5: ADCON0bits.ADON = 0;
        ADRESH_H5      = ADRESH;
        ADRESL_L5      = ADRESL;
        ADCON0         = 0b11110001;
        DspLED7seg1();
        ADCON0bits.GO = 1;
        ADC_Channel    = 6;

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        break;

    case 6:  ADCON0bits.ADON = 0;
            ADRESH_H6      = ADRESH;
            ADRESL_L6      = ADRESL;
            ADCON0         = 0b11000001;
            DspLED7seg1();
            ADCON0bits.GO = 1;
            ADC_Channel    = 0;
            break;

    default:
        break;
}
if(TXSTAbits.TRMT==1)
{
    RCSTAbits.SPEN = 0;
    DspLED7seg(c1,c2);
    TXREG =ADRESH_H4;
    RCSTAbits.SPEN = 1;
}
}
DspLED7seg(c1,c2);
}

while ((SW_ON_OFF == 1)&&(F_OFF==0));
Check_power_OFF();
}
}
}
//-----

#pragma code InterruptVectorHigh = 0x08

void InterruptVectorhigh(void)
{
    _asm
    goto InterruptHandlerHigh
    _endasm
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//-----
```

```
#pragma code
#pragma interrupt InterruptHandlerHigh save =PROD,TBLPTR,TABLAT
void InterruptHandlerHigh()
{
    if (INTCONbits.INT0IF)
    {
        INTCONbits.INT0IF = 0;
        ON_OPTO      = 1;
        ON_RELAY1    = 1;
        delay(5);
        T2CONbits.TMR2ON = 0;
        F_set        = 1;
        VALVE_ON     = 1;
    }
    if(PIR1bits.TMR2IF)
    {
        PIR1bits.TMR2IF = 0;
        ECCP1CON &= 0b11001111;
        ECCP1CON |= DUTY_L;
        ECCPRIL  = DUTY_H;
    }
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High Performance, 28/40-Pin Enhanced FLASH Microcontrollers with CAN

High Performance RISC CPU:

- Linear program memory addressing up to 2 Mbytes
- Linear data memory addressing to 4 Kbytes
- Up to 10 MIPS operation
- DC - 40 MHz clock input
- 4 MHz - 10 MHz osc./clock input with PLL active
- 16-bit wide instructions, 8-bit wide data path
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single Cycle Hardware Multiplier

Peripheral Features:

- High current sink/source 25 mA/25 mA
- Three external interrupt pins
- Timer0 module: 8-bit/16-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Timer1 module: 16-bit timer/counter
- Timer2 module: 8-bit timer/counter with 8-bit period register (time-base for PWM)
- Timer3 module: 16-bit timer/counter
- Secondary oscillator clock option - Timer1/Timer3
- Capture/Compare/PWM (CCP) modules CCP pins can be configured as:
 - Capture input: 16-bit, max resolution 6.25 ns
 - Compare: 16-bit, max resolution 100 ns (T_{cy})
 - PWM output: PWM resolution is 1- to 10-bit
Max. PWM freq. @:8-bit resolution = 156 kHz
10-bit resolution = 39 kHz
- Enhanced CCP module which has all the features of the standard CCP module, but also has the following features for advanced motor control:
 - 1, 2, or 4 PWM outputs
 - Selectable PWM polarity
 - Programmable PWM deadtime
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) with two modes of operation:
 - 3-wire SPI™ (Supports all 4 SPI modes)
 - I²C™ Master and Slave mode
- Addressable USART module: Supports Interrupt on Address bit

Advanced Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital Converter module (A/D) with:
 - Conversion available during SLEEP
 - Up to 8 channels available
- Analog Comparator Module:
 - Programmable input and output multiplexing
- Comparator Voltage Reference Module
- Programmable Low Voltage Detection (LVD) module
 - Supports interrupt on low voltage detection
- Programmable Brown-out Reset (BOR)

CAN bus Module Features:

- Message bit rates up to 1 Mbps
- Conforms to CAN 2.0B ACTIVE Spec with:
 - 29-bit Identifier Fields
 - 8-byte message length
 - 3 Transmit Message Buffers with prioritization
 - 2 Receive Message Buffers
 - 6 full 29-bit Acceptance Filters
 - Prioritization of Acceptance Filters
 - Multiple Receive Buffers for High Priority Messages to prevent loss due to overflow
 - Advanced Error Management Features

Special Microcontroller Features:

- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT), and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options, including:
 - 4X Phase Lock Loop (of primary oscillator)
 - Secondary Oscillator (32 kHz) clock input
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins

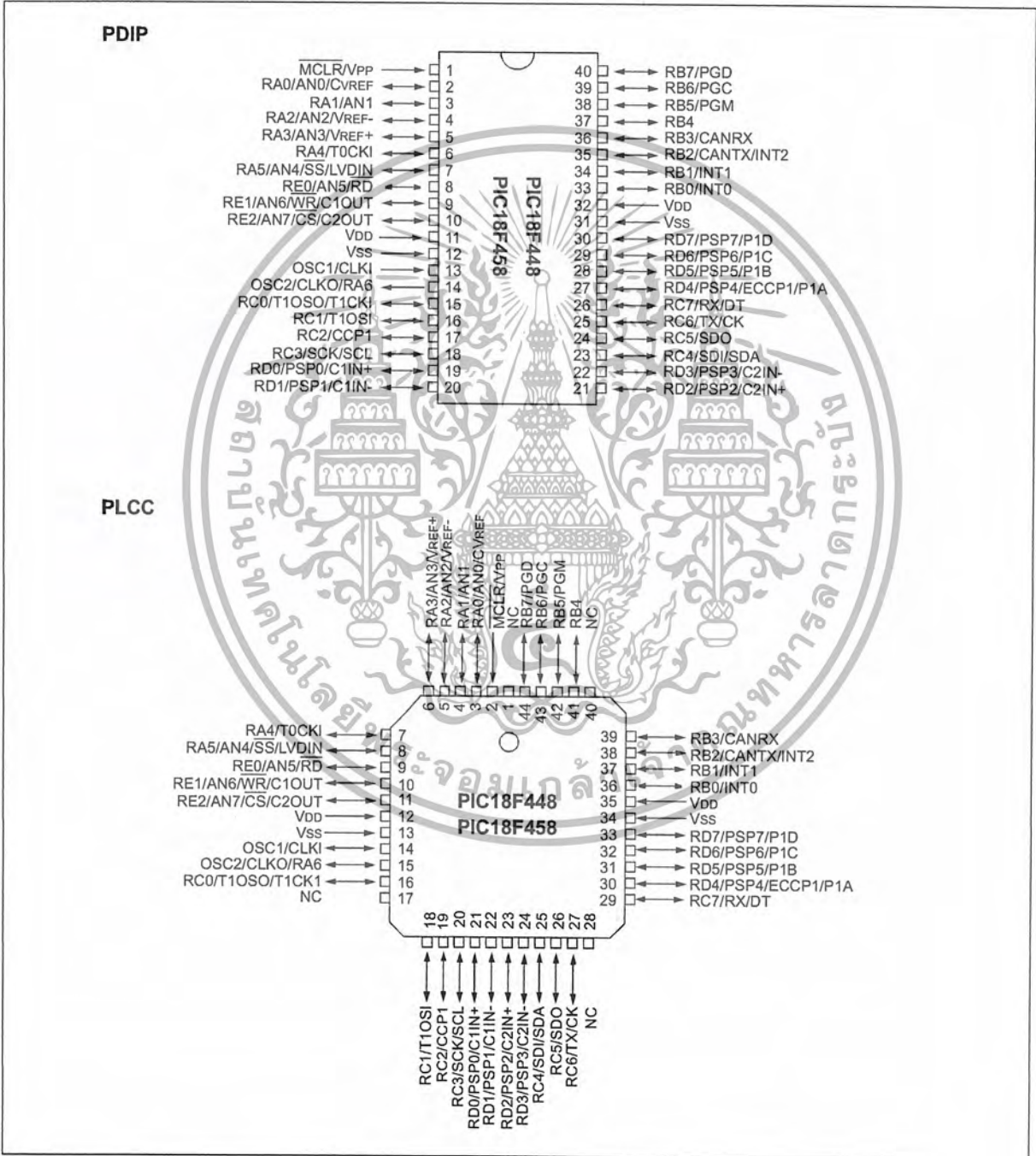
FLASH Technology:

- Low power, high speed Enhanced FLASH technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Industrial and Extended temperature ranges

PIC18FXX8

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-bit A/D (ch)	Comparators	CCP/ ECCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit
	FLASH (bytes)	# Single Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI	Master i ² C		
PIC18F248	16K	8192	768	256	22	5	—	1/0	Y	Y	Y	1/3
PIC18F258	32K	16384	1536	256	22	5	—	1/0	Y	Y	Y	1/3
PIC18F448	16K	8192	768	256	33	8	2	1/1	Y	Y	Y	1/3
PIC18F458	32K	16384	1536	256	33	8	2	1/1	Y	Y	Y	1/3

Pin Diagrams



1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information for the following devices:

1. PIC18F248
2. PIC18F258
3. PIC18F448
4. PIC18F458

These devices are available in 28-pin, 40-pin and 44-pin packages. They are differentiated from each other in four ways:

1. PIC18FX58 devices have twice the FLASH program memory and data RAM of PIC18FX48 devices (32 Kbytes and 1536 bytes vs. 16 Kbytes and 768 bytes, respectively).

2. PIC18F2X8 devices implement 5 A/D channels, as opposed to 8 for PIC18F4X8 devices.
3. PIC18F2X8 devices implement 3 I/O ports, while PIC18F4X8 devices implement 5.
4. Only PIC18F4X8 devices implement the Enhanced CCP module, analog comparators and the Parallel Slave Port.

All other features for devices in the PIC18FXX8 family, including the serial communications modules, are identical. These are summarized in Table 1-1.

Block diagrams of the PIC18F2X8 and PIC18F4X8 devices are provided in Figure 1-1 and Figure 1-2, respectively. The pinouts for these device families are listed in Table 1-2.

TABLE 1-1: PIC18FXX8 DEVICE FEATURES

Features		PIC18F248	PIC18F258	PIC18F448	PIC18F458
Operating Frequency		DC - 40 MHz	DC - 40 MHz	DC - 40 MHz	DC - 40 MHz
Internal Program Memory	Bytes	16K	32K	16K	32K
	# of Single Word Instructions	8192	16384	8192	16384
Data Memory (Bytes)		768	1536	768	1536
Data EEPROM Memory (Bytes)		256	256	256	256
Interrupt Sources		17	17	21	21
I/O Ports		Ports A, B, C	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C, D, E
Timers		4	4	4	4
Capture/Compare/PWM Modules		1	1	1	1
Enhanced Capture/Compare/PWM Modules		—	—	1	1
Serial Communications		MSSP, CAN, Addressable USART	MSSP, CAN, Addressable USART	MSSP, CAN, Addressable USART	MSSP, CAN, Addressable USART
Parallel Communications (PSP)		No	No	Yes	Yes
10-bit Analog-to-Digital Converter		5 input channels	5 input channels	8 input channels	8 input channels
Analog Comparators		No	No	2	2
Analog Comparators VREF Output		N/A	N/A	Yes	Yes
RESETS (and Delays)		POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST)
Programmable Low Voltage Detect		Yes	Yes	Yes	Yes
Programmable Brown-out Reset		Yes	Yes	Yes	Yes
CAN Module		Yes	Yes	Yes	Yes
In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)		Yes	Yes	Yes	Yes
Instruction Set		75 Instructions	75 Instructions	75 Instructions	75 Instructions
Packages		28-pin SPDIP 28-pin SOIC	28-pin SPDIP 28-pin SOIC	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP

PIC18FXX8

TABLE 1-2: PIC18FXX8 PINOUT I/O DESCRIPTIONS

Pin Name	Pin Number				Pin Type	Buffer Type	Description
	PIC18F248/258	PIC18F448/458					
	SPDIP, SOIC	PDIP	TQFP	PLCC			
MCLR/VPP MCLR VPP	1	1	18	2	I P	ST —	Master Clear (input) or programming voltage (output). Master Clear (Reset) input. This pin is an active low RESET to the device. Programming voltage input.
NC	—	—	12, 13, 33, 34	1, 17, 28, 40	—	—	These pins should be left unconnected.
OSC1/CLKI OSC1 CLKI	9	13	30	14	I I	CMOS/ST CMOS	Oscillator crystal or external clock input. Oscillator crystal input or external clock source input. ST buffer when configured in RC mode. Otherwise CMOS. External clock source input. Always associated with pin function OSC1 (see OSC1/CLKI, OSC2/CLKO pins).
OSC2/CLKO/RA6 OSC2 CLKO RA6	10	14	31	15	O O I/O	— — TTL	Oscillator crystal or clock output. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKO, which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction cycle rate. General purpose I/O pin.

Legend: TTL = TTL compatible input CMOS = CMOS compatible input or output
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels Analog = Analog input
 I = Input O = Output
 P = Power QD = Open Drain (no P diode to VDD)

TABLE 1-2: PIC18FXX8 PINOUT I/O DESCRIPTIONS (CONTINUED)

Pin Name	Pin Number				Pin Type	Buffer Type	Description
	PIC18F248/258		PIC18F448/458				
	SPDIP, SOIC	PDIP	TQFP	PLCC			
RA0/AN0/CVREF RA0 AN0 CVREF	2	2	19	3	I/O I O	TTL Analog Analog	PORTA is a bi-directional I/O port. Digital I/O. Analog input 0. Comparator voltage reference output.
RA1/AN1 RA1 AN1	3	3	20	4	I/O I	TTL Analog	Digital I/O. Analog input 1.
RA2/AN2/VREF- RA2 AN2 VREF-	4	4	21	5	I/O I I	TTL Analog Analog	Digital I/O. Analog input 2. A/D reference voltage (Low) input.
RA3/AN3/VREF+ RA3 AN3 VREF+	5	5	22	6	I/O I I	TTL Analog Analog	Digital I/O. Analog input 3. A/D reference voltage (High) input.
RA4/T0CKI RA4 T0CKI	6	6	23	7	I/O I	TTL/OD ST	Digital I/O - open drain when configured as output. Timer0 external clock input.
RA5/AN4/SS/LVDIN RA5 AN4 SS LVDIN	7	7	24	8	I/O I I I	TTL Analog ST Analog	Digital I/O. Analog input 4. SPI slave select input. Low voltage detect input.
RA6							See the OSC2/CLKO/RA6 pin.

Legend: TTL = TTL compatible input
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels
 I = Input
 P = Power
 CMOS = CMOS compatible input or output
 Analog = Analog input
 O = Output
 OD = Open Drain (no P diode to VDD)

PIC18FXX8

TABLE 1-2: PIC18FXX8 PINOUT I/O DESCRIPTIONS (CONTINUED)

Pin Name	Pin Number				Pin Type	Buffer Type	Description
	PIC18F248/258	PIC18F448/458					
	SPDIP, SOIC	PDIP	TQFP	PLCC			
RB0/INT0 RB0 INT0	21	33	8	36	I/O I	TTL ST	PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs. Digital I/O. External interrupt 0.
RB1/INT1 RB1 INT1	22	34	9	37	I/O I	TTL ST	Digital I/O. External interrupt 1.
RB2/CANTX/INT2 RB2 CANTX INT2	23	35	10	38	I/O O I	TTL TTL ST	Digital I/O. Transmit signal for CAN bus. External interrupt 2.
RB3/CANRX RB3 CANRX	24	36	11	39	I/O I	TTL TTL	Digital I/O. Receive signal for CAN bus.
RB4	25	37	14	41	I/O	TTL	Digital I/O. Interrupt-on-change pin.
RB5/PGM RB5 PGM	26	38	15	42	I/O I	TTL ST	Digital I/O. Interrupt-on-change pin. Low voltage ICSP programming enable.
RB6/PGC RB6 PGC	27	39	16	43	I/O I	TTL ST	Digital I/O. In-Circuit Debugger pin. Interrupt-on-change pin. ICSP programming clock.
RB7/PGD RB7 PGD	28	40	17	44	I/O I/O	TTL ST	Digital I/O. In-Circuit Debugger pin. Interrupt-on-change pin. ICSP programming data.

Legend: TTL = TTL compatible input
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels
 I = Input
 P = Power
 CMOS = CMOS compatible input or output
 Analog = Analog input
 O = Output
 OD = Open Drain (no P diode to VDD)

TABLE 1-2: PIC18FXX8 PINOUT I/O DESCRIPTIONS (CONTINUED)

Pin Name	Pin Number				Pin Type	Buffer Type	Description
	PIC18F248/258	PIC18F448/458					
	SPDIP, SOIC	PDIP	TQFP	PLCC			
RC0/T1OSO/T1CKI RC0 T1OSO T1CKI	11	15	32	16	I/O O I	ST — ST	PORTC is a bi-directional I/O port. Digital I/O. Timer1 oscillator output. Timer1/Timer3 external clock input.
RC1/T1OSI RC1 T1OSI	12	16	35	18	I/O I	ST CMOS	Digital I/O. Timer1 oscillator input.
RC2/CCP1 RC2 CCP1	13	17	36	19	I/O I/O	ST ST	Digital I/O. Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.
RC3/SCK/SCL RC3 SCK SCL	14	18	37	20	I/O I/O I/O	ST ST ST	Digital I/O. Synchronous serial clock input/output for SPI mode. Synchronous serial clock input/output for I ² C mode.
RC4/SDI/SDA RC4 SDI SDA	15	23	42	25	I/O I I/O	ST ST ST	Digital I/O. SPI data in. I ² C data I/O.
RC5/SDO RC5 SDO	16	24	43	26	I/O O	ST —	Digital I/O. SPI data out.
RC6/TX/CK RC6 TX CK	17	25	44	27	I/O O I/O	ST — ST	Digital I/O. USART asynchronous transmit. USART synchronous clock (see RX/DT).
RC7/RX/DT RC7 RX DT	18	26	1	29	I/O I I/O	ST ST ST	Digital I/O. USART asynchronous receive. USART synchronous data (see TX/CK).

Legend: TTL = TTL compatible input CMOS = CMOS compatible input or output
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels Analog = Analog input
 I = Input O = Output
 P = Power OD = Open Drain (no P diode to VDD)

Absolute Maximum Ratings		Values	Units
Symbol	Conditions ¹⁾		
V _{CEs}		600	V
V _{CGR}	R _{GE} = 20 kΩ	600	V
I _C	T _{case} = 25/70 °C	200 / 150	A
I _{CM}	T _{case} = 25/70 °C; t _p = 1 ms	400 / 300	A
V _{GES}		± 20	V
P _{tot}	per IGBT, T _{case} = 25 °C	675	W
T _J , T _{stg}		-40 ... +150 (125)	°C
V _{isol}	AC, 1 min.	2500	V
humidity	DIN 40040	Class F	
climate	DIN IEC 68 T.1	40/125/56	
Inverse Diode			
I _F = -I _C	T _{case} = 25/80 °C	130 / 90	A
I _{FM} = -I _{CM}	T _{case} = 25/80 °C; t _p = 1 ms	400 / 300	A
I _{FSM}	t _p = 10 ms; sin.; T _J = 150 °C	880	A
I ² t	t _p = 10 ms; T _J = 150 °C	3800	A ² s

SEMITRANS® M
Superfast NPT-IGBT
Modules

SKM 150 GB 063 D



SEMITRANS 3



GB

Features

- N channel, homogeneous Silicon structure (NPT- Non punch-through IGBT)
- Low tail current with low temperature dependence
- High short circuit capability, self limiting if term. G is clamped to E
- Pos. temp.-coeff. of V_{CEsat}
- 50 % less turn off losses ⁹⁾
- 30 % less short circuit current ⁹⁾
- Very low C_{ies}, C_{oes}, C_{res} ⁹⁾
- Latch-up free
- Fast & soft inverse CAL diodes ⁸⁾
- Isolated copper baseplate using DCB Direct Copper Bonding Technology without hard mould
- Large clearance (13 mm) and creepage distances (20 mm)

Typical Applications

- Switching (not for linear use)
- Switched mode power supplies
- UPS
- AC inverter servo drives
- Pulse frequencies also above 10 kHz
- Welding inverters

¹⁾ T_{case} = 25 °C, unless otherwise specified
²⁾ I_F = - I_C, V_R = 300 V, -di_F/dt = 1500 A/μs, V_{GE} = 0 V
³⁾ Use V_{GEoff} = -5... -15 V
⁸⁾ CAL = Controlled Axial Lifetime Technology
⁹⁾ Compared to PT-IGBT

Characteristics		min.	typ.	max.	Units
Symbol	Conditions ¹⁾				
V _{(BR)CES}	V _{GE} = 0, I _C = 4 mA	≥ V _{CEs}	-	-	V
V _{GE(th)}	V _{GE} = V _{CE} , I _C = 1 mA	4,5	5,5	6,5	V
I _{CES}	V _{GE} = 0 } T _J = 25 °C V _{CE} = V _{CEs} } T _J = 125 °C	-	0,2	4	mA
I _{GES}	V _{GE} = 20 V, V _{CE} = 0	-	5	-	mA
V _{CEsat}	I _C = 100 A } V _{GE} = 15 V; I _C = 150 A } T _J = 25 (125) °C	-	1,8(2,0)	-	V
V _{CEsat}	I _C = 150 A } T _J = 25 (125) °C	-	2,1(2,4)	2,5(2,8)	V
g _{fs}	V _{CE} = 20 V, I _C = 150 A	50	-	-	S
C _{CHC}	per IGBT	-	-	700	pF
C _{ies}	V _{GE} = 0	-	8400	-	pF
C _{oes}	V _{CE} = 25 V	-	1000	-	pF
C _{res}	f = 1 MHz	-	600	-	pF
L _{CE}		-	-	20	nH
t _{d(on)}	V _{CC} = 300 V	-	130	-	ns
t _r	V _{GE} = -15 V / +15 V ³⁾	-	65	-	ns
t _{d(off)}	I _C = 150 A, ind. load	-	450	-	ns
t _f	R _{Gon} = R _{Goff} = 10 Ω	-	40	-	ns
E _{on}	T _J = 125 °C	-	8,5	-	mWs
E _{off}		-	5,5	-	mWs
Inverse Diode ⁸⁾					
V _F = V _{EC}	I _F = 100 A } V _{GE} = 0 V; I _F = 150 A } T _J = 25 (125) °C	-	1,45(1,35)	1,7	V
V _{TO}	T _J = 125 °C	-	1,55(1,55)	1,9	V
r _t	T _J = 125 °C	-	-	0,9	V
I _R RM	I _F = 150 A; T _J = 125 °C ²⁾	-	6	8	mΩ
Q _{rr}	I _F = 150 A; T _J = 125 °C ²⁾	-	53	-	A
Thermal characteristics					
R _{thjc}	per IGBT	-	-	0,18	°C/W
R _{thjc}	per diode	-	-	0,5	°C/W
R _{thch}	per module	-	-	0,038	°C/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

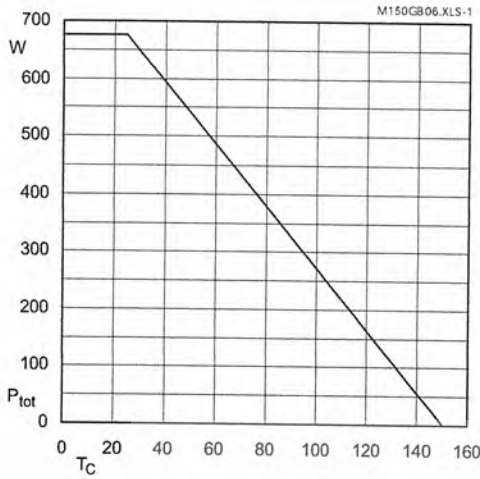


Fig. 1 Rated power dissipation $P_{tot} = f(T_C)$

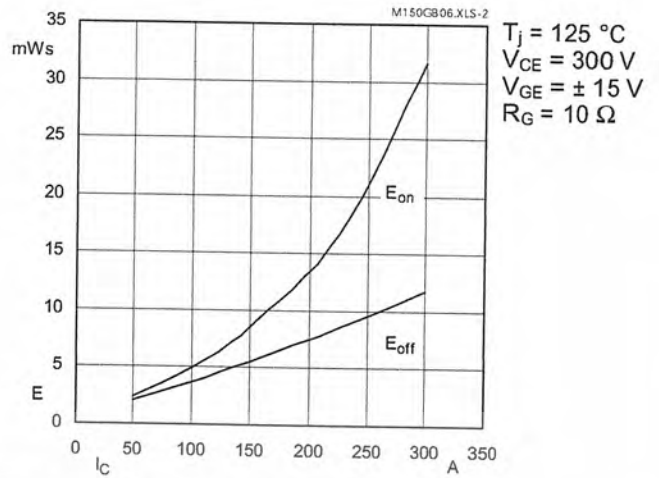


Fig. 2 Turn-on /-off energy $= f(I_C)$

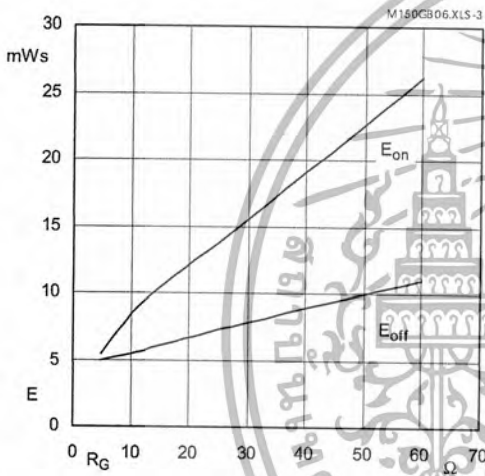


Fig. 3 Turn-on /-off energy $= f(R_G)$

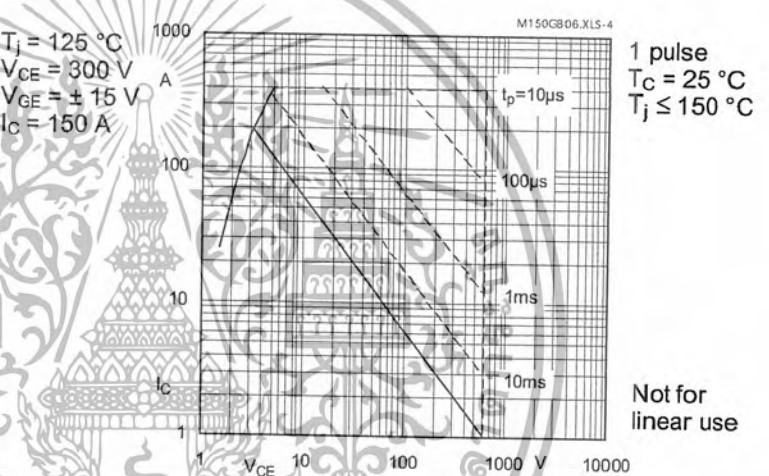


Fig. 4 Maximum safe operating area (SOA) $I_C = f(V_{CE})$

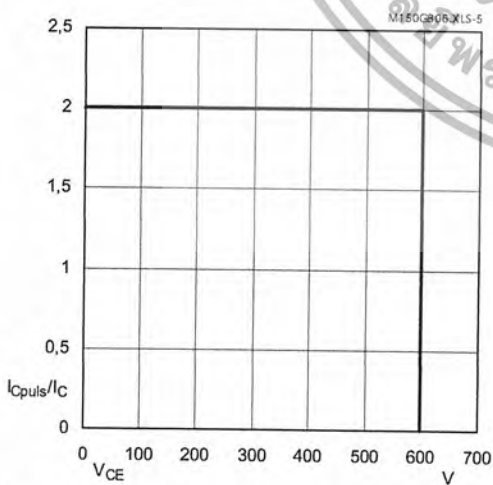


Fig. 5 Turn-off safe operating area (RBSOA)

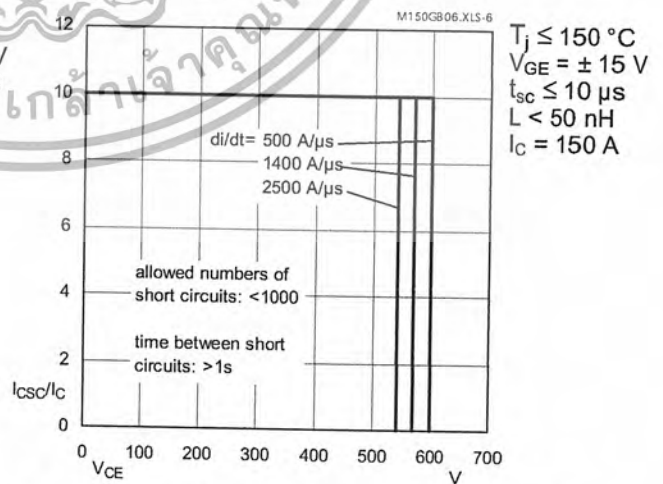


Fig. 6 Safe operating area at short circuit $I_{Csc} = f(V_{CE})$

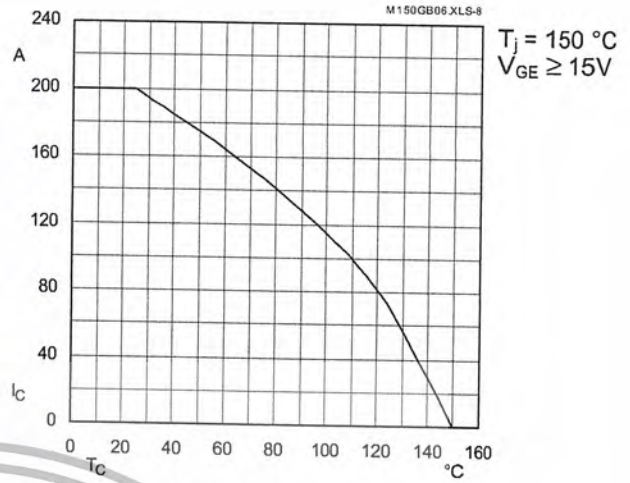


Fig. 8 Rated current vs. temperature $I_C = f(T_C)$

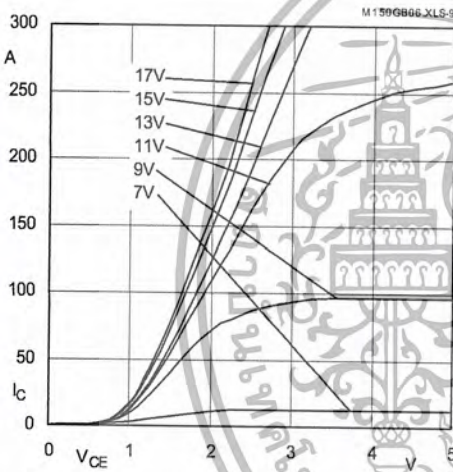


Fig. 9 Typ. output characteristic, $t_p = 250 \text{ } \mu\text{s}$; $T_j = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

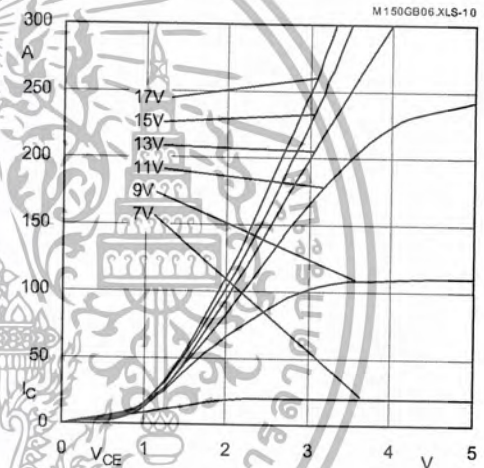


Fig. 10 Typ. output characteristic, $t_p = 250 \text{ } \mu\text{s}$; $T_j = 125 \text{ }^\circ\text{C}$

$$P_{cond(t)} = V_{CEsat(t)} \cdot I_{C(t)}$$

$$V_{CEsat(t)} = V_{CE(TO)(T_j)} + r_{CE(T_j)} \cdot I_{C(t)}$$

$$V_{CE(TO)(T_j)} \leq 1,2 - 0,001 (T_j - 25) \text{ [V]}$$

$$\text{typ.: } r_{CE(T_j)} = 0,006 + 0,000027 (T_j - 25) \text{ [\Omega]}$$

$$\text{max.: } r_{CE(T_j)} = 0,0087 + 0,000027 (T_j - 25) \text{ [\Omega]}$$

$$\text{valid for } V_{GE} = +15 \frac{+2}{-1} \text{ [V]; } I_C \geq 0,3 I_{Cn}$$

Fig. 11 Saturation characteristic (IGBT)
Calculation elements and equations

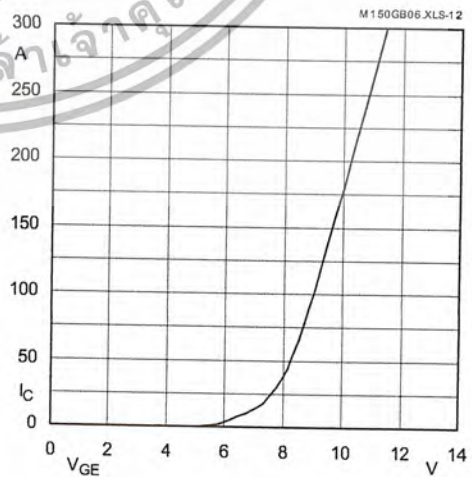


Fig. 12 Typ. transfer characteristic, $t_p = 250 \text{ } \mu\text{s}$; $V_{CE} = 20 \text{ V}$

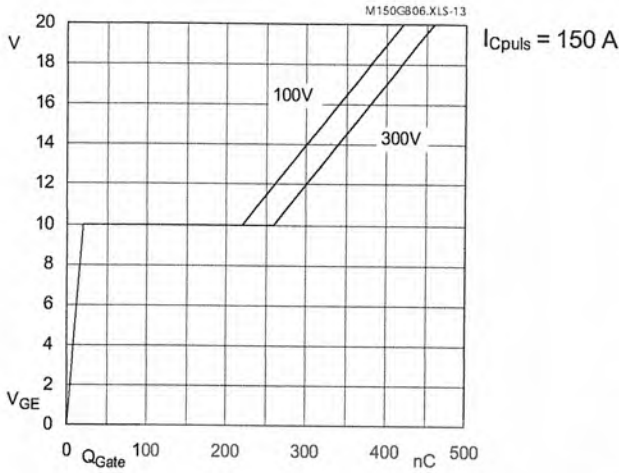


Fig. 13 Typ. gate charge characteristic

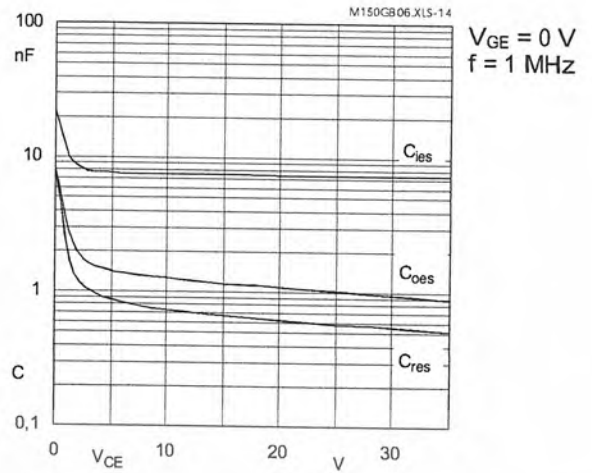


Fig. 14 Typ. capacitances vs. V_{CE}

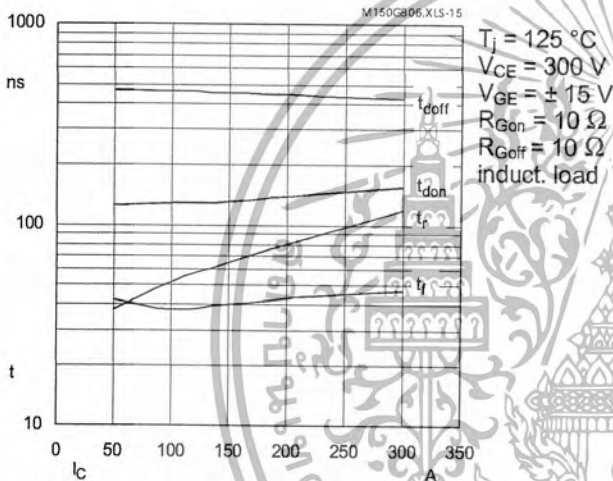


Fig. 15 Typ. switching times vs. I_c

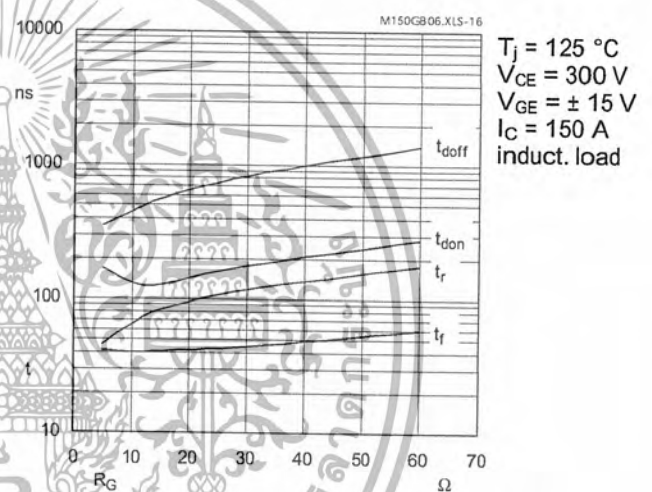


Fig. 16 Typ. switching times vs. gate resistor R_G

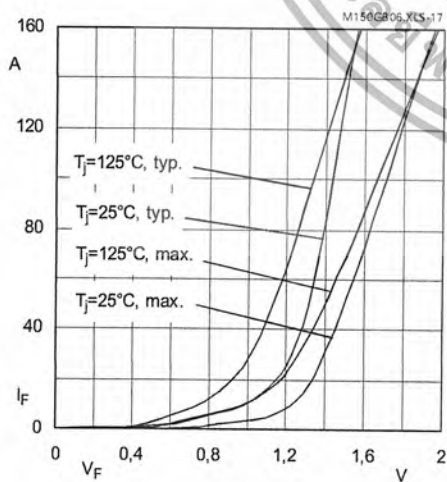


Fig. 17 Typ. CAL diode forward characteristic

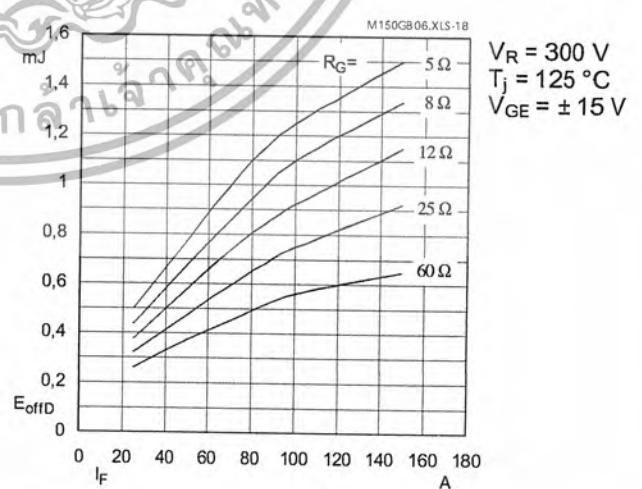


Fig. 18 Diode turn-off energy dissipation per pulse

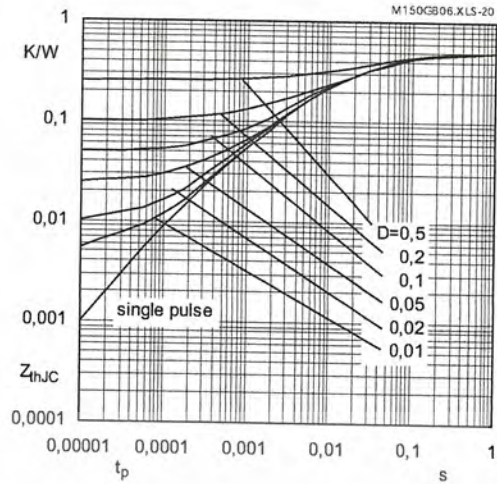
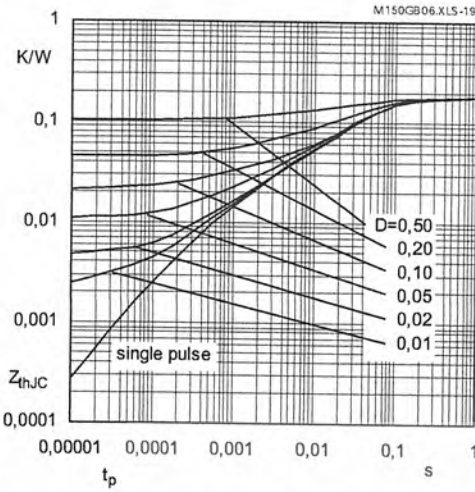


Fig. 19 Transient thermal impedance of IGBT $Z_{thJC} = f(t_p)$; $D = t_p / t_c = t_p \cdot f$

Fig. 20 Transient thermal impedance of inverse CAL diodes $Z_{thJC} = f(t_p)$; $D = t_p / t_c = t_p \cdot f$

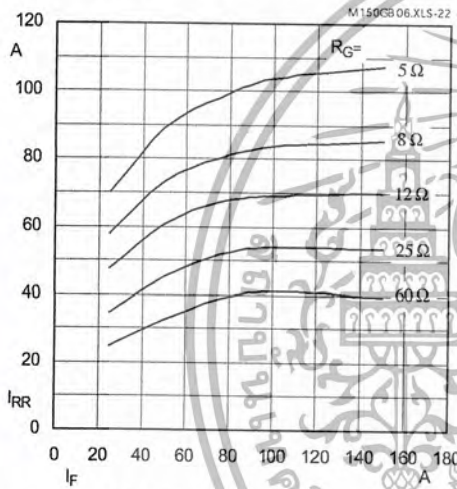
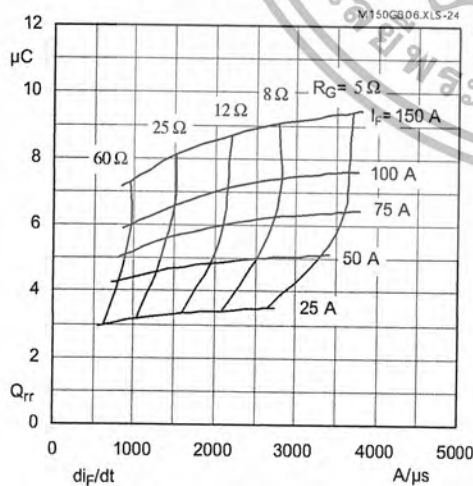


Fig. 22 Typ. CAL diode peak reverse recovery current $I_{RR} = f(I_F; R_G)$



Fig. 23 Typ. CAL diode peak reverse recovery current $I_{RR} = f(di/dt)$





2.0 Amp Gate Drive Optocoupler with Integrated (V_{CE}) Desaturation Detection and Fault Status Feedback

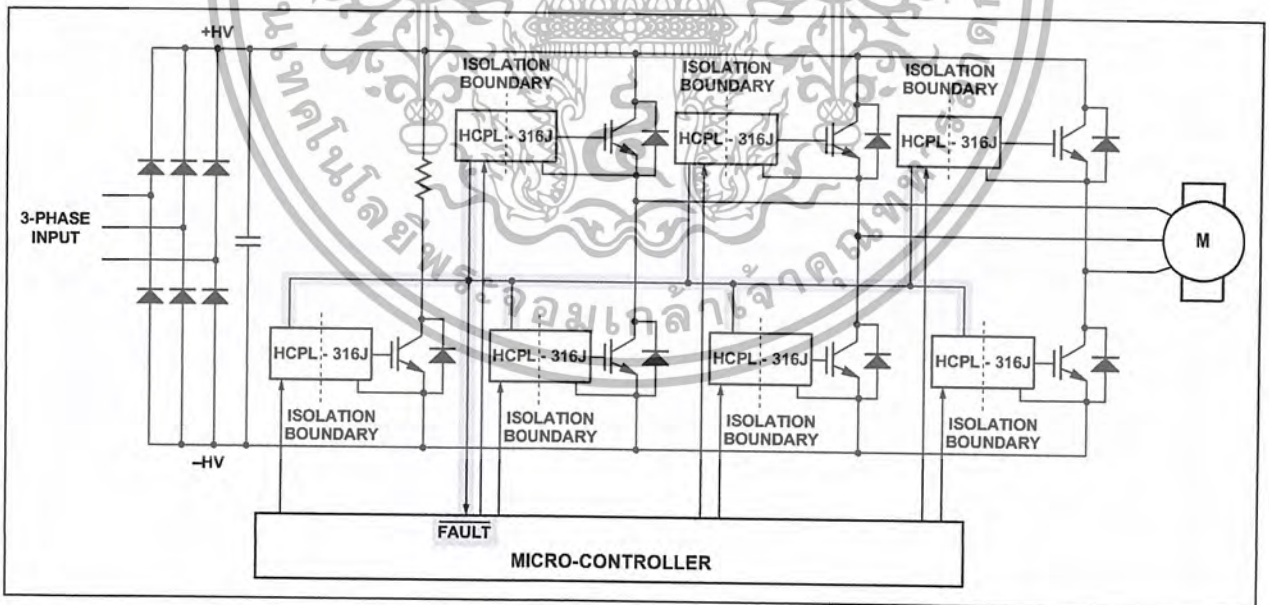
Technical Data

HCPL-316J

Features

- Drive IGBTs up to $I_C = 150\text{ A}$, $V_{CE} = 1200\text{ V}$
- Optically Isolated, **FAULT** Status Feedback
- SO-16 Package
- CMOS/TTL Compatible
- 500 ns Max. Switching Speeds
- “Soft” IGBT Turn-off
- Integrated Fail-Safe IGBT Protection
 - Desat (V_{CE}) Detection
 - Under Voltage Lock-Out Protection (UVLO) with Hysterisis
- User Configurable: Inverting, Non-inverting, Auto-Reset, Auto-Shutdown
- Wide Operating V_{CC} Range: 15 to 30 Volts
- -40°C to $+100^\circ\text{C}$ Operating Temperature Range
- 15 kV/ μs Min. Common Mode Rejection (CMR) at $V_{CM} = 1500\text{ V}$
- Regulatory Approvals: UL, CSA, VDE 0884 (891 Vpeak Working Voltage)

Fault Protected IGBT Gate Drive



Agilent's 2.0 Amp Gate Drive Optocoupler with Integrated Desaturation (V_{CE}) Detection and Fault Status Feedback *makes IGBT V_{CE} fault protection compact, affordable, and easy-to-implement* while satisfying worldwide safety and regulatory requirements.

CAUTION: It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of this component to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Fault Protected IGBT Gate Drive Circuit

The HCPL-316J is an easy-to-use, intelligent gate driver which makes IGBT V_{CE} fault protection compact, affordable, and easy-to-implement. Features such as user

configurable inputs, integrated V_{CE} detection, under voltage lockout (UVLO), "soft" IGBT turn-off and isolated fault feedback provide maximum design flexibility and circuit protection.

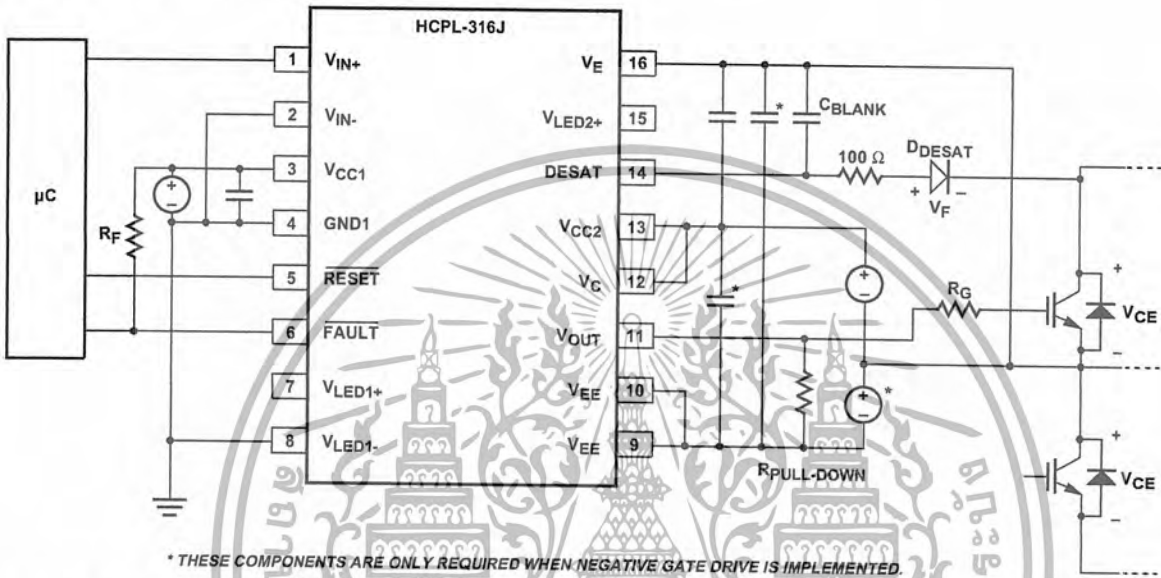


Figure 1. Typical Desaturation Protected Gate Drive Circuit, Non-Inverting.

Description of Operation during Fault Condition

1. DESAT terminal monitors the IGBT V_{CE} voltage through D_{DESAT} .
2. When the voltage on the DESAT terminal exceeds 7 volts, the IGBT gate voltage (V_{OUT}) is slowly lowered.
3. \overline{FAULT} output goes low, notifying the microcontroller of the fault condition.
4. Microcontroller takes appropriate action.

Output Control

The outputs (V_{OUT} and \overline{FAULT}) of the HCPL-316J are controlled by the combination of V_{IN} , UVLO and a detected IGBT Desat condition. As indicated in the below table, the HCPL-316J can

be configured as inverting or non-inverting using the V_{IN+} or V_{IN-} inputs respectively. When an inverting configuration is desired, V_{IN+} must be held high and V_{IN-} toggled. When a non-inverting configuration is desired, V_{IN-} must be held low and V_{IN+} toggled. Once UVLO is not active ($V_{CC2} - V_E > V_{UVLO}$), V_{OUT} is allowed to go high, and the

DESAT (pin 14) detection feature of the HCPL-316J will be the primary source of IGBT protection. UVLO is needed to ensure DESAT is functional. Once $V_{UVLO+} > 11.6$ V, DESAT will remain functional until $V_{UVLO-} < 12.4$ V. Thus, the DESAT detection and UVLO features of the HCPL-316J work in conjunction to ensure constant IGBT protection.

V_{IN+}	V_{IN-}	UVLO ($V_{CC2} - V_E$)	Desat Condition Detected on Pin 14	Pin 6 (\overline{FAULT}) Output	V_{OUT}
X	X	Active	X	X	Low
X	X	X	Yes	Low	Low
Low	X	X	X	X	Low
X	High	X	X	X	Low
High	Low	Not Active	No	High	High

Ordering Information

Specify Part Number followed by Option Number (if desired).

Example: **HCPL-316J#XXX**

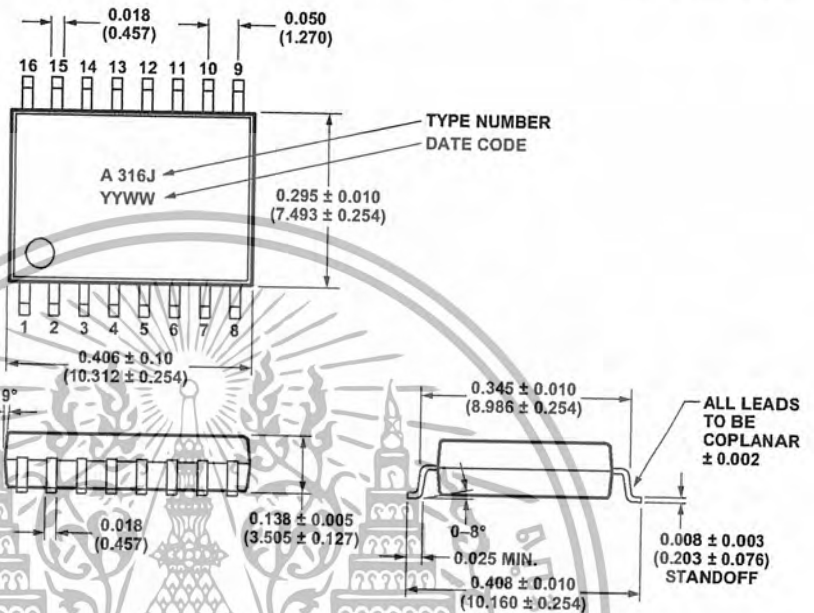
No Option = 16-Lead, Surface Mt. package, 45 per tube.
500 = Tape and Reel Packaging Option, 850 per reel.

Option data sheets available. Contact Agilent sales representative, authorized distributor, or visit our WEB site at www.hp.com/go/isolator.

Package Outline Drawings

16-Lead Surface Mount

dimensions in: inches
(millimeters)



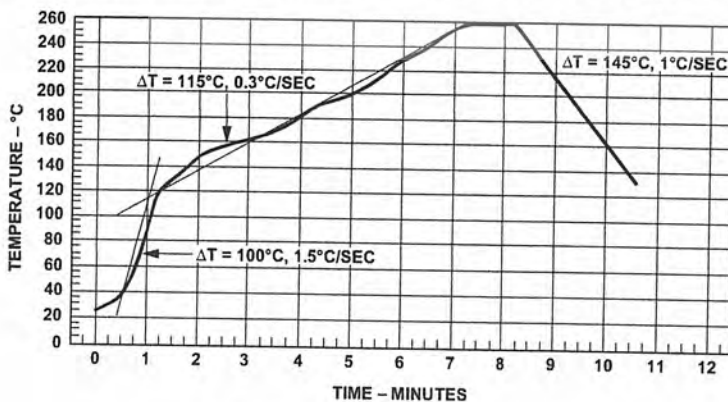
NOTE:
INITIAL AND CONTINUED VARIATION IN THE COLOR OF THE HCPL-316J's WHITE MOLD COMPOUND IS NORMAL AND DOES NOT AFFECT DEVICE PERFORMANCE OR RELIABILITY.

Package Characteristics

All specifications and figures are at the nominal (typical) operating conditions of $V_{CC1} = 5\text{ V}$, $V_{CC2} - V_{EE} = 30\text{ V}$, $V_E - V_{EE} = 0\text{ V}$, and $T_A = +25^\circ\text{C}$.

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions	Note
Input-Output Momentary Withstand Voltage	V_{ISO}	3750			Vrms	$RH < 50\%$, $t = 1\text{ min.}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	1, 2, 3
Resistance (Input - Output)	$R_{I/O}$		$> 10^9$		Ω	$V_{I/O} = 500\text{ Vdc}$	3
Capacitance (Input - Output)	$C_{I/O}$		1.3		pF	$f = 1\text{ MHz}$	
Output IC-to-Pins 9 & 10 Thermal Resistance	θ_{O9-10}		30		$^\circ\text{C/W}$	$T_A = 100^\circ\text{C}$	
Input IC-to-Pin 4 Thermal Resistance	θ_{I4}		60				

Maximum Solder Reflow Temperature Profile



(NOTE: USE OF NON-CHLORINE ACTIVATED FLUXES IS RECOMMENDED.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Regulatory Information

The HCPL-316J is pending approval by the following organizations:

VDE

Approved under VDE0884/06.92 with $V_{IORM} = 891$ Vpeak.

UL

Recognized under UL 1577, component recognition program, File E55361.

CSA

Approved under CSA Component Acceptance Notice #5, File CA 88324.

VDE 0884 Insulation Characteristics*

Description	Symbol	Characteristic	Unit
Installation classification per DIN VDE 0110/1.89, Table 1 for rated mains voltage ≤ 150 Vrms for rated mains voltage ≤ 300 Vrms for rated mains voltage ≤ 600 Vrms		I - IV I - III I - II	
Climatic Classification		55/100/21	
Pollution Degree (DIN VDE 0110/1.89)		2	
Maximum Working Insulation Voltage	V_{IORM}	891	VPEAK
Input to Output Test Voltage, Method b** $V_{IORM} \times 1.875 = V_{PR}$, 100% Production Test with $t_m = 1$ sec, Partial Discharge < 5 pC	V_{PR}	1670	VPEAK
Input to Output Test Voltage, Method a** $V_{IORM} \times 1.5 = V_{PR}$, Type and Sample Test, $t_m = 60$ sec, Partial Discharge ≤ 5 pC	V_{PR}	1336	VPEAK
Highest Allowable Overvoltage** (Transient Overvoltage $t_{ini} = 10$ sec)	V_{IOTM}	6000	VPEAK
Safety-limiting values - maximum values allowed in the event of a failure, also see Figure 2. Case Temperature Input Power Output Power	T_S $P_{S, INPUT}$ $P_{S, OUTPUT}$	175 400 1200	$^{\circ}C$ mW mW
Insulation Resistance at T_S , $V_{IO} = 500$ V	R_S	$> 10^9$	Ω

* Isolation characteristics are guaranteed only within the safety maximum ratings which must be ensured by protective circuits in application. Surface mount classification is class A in accordance with CECC00802.

** Refer to the optocoupler section of the Isolation and Control Components Designer's Catalog, under Product Safety Regulations section, (VDE 0884) for a detailed description of Method a and Method b partial discharge test profiles.

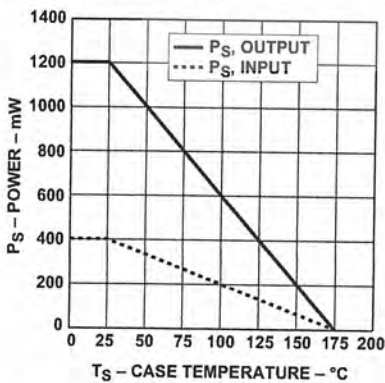


Figure 2. Dependence of Safety Limiting Values on Temperature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Insulation and Safety Related Specifications

Parameter	Symbol	Value	Units	Conditions
Minimum External Air Gap (Clearance)	L(101)	8.3	mm	Measured from input terminals to output terminals, shortest distance through air.
Minimum External Tracking (Creepage)	L(102)	8.3	mm	Measured from input terminals to output terminals, shortest distance path along body.
Minimum Internal Plastic Gap (Internal Clearance)		0.5	mm	Through insulation distance conductor to conductor, usually the straight line distance thickness between the emitter and detector.
Tracking Resistance (Comparative Tracking Index)	CTI	>175	Volts	DIN IEC 112/VDE 0303 Part 1
Isolation Group		IIIa		Material Group (DIN VDE 0110, 1/89, Table 1)

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Units	Note	
Storage Temperature	T_s	-55	125	°C		
Operating Temperature	T_A	-40	100			
Output IC Junction Temperature	T_J		125		4	
Peak Output Current	$ I_{O(peak)} $		2.5	A	5	
Fault Output Current	I_{FAULT}		8.0	mA		
Positive Input Supply Voltage	V_{CC1}	-0.5	5.5	Volts		
Input Pin Voltages	V_{IN+} , V_{IN-} and V_{RESET}	-0.5	V_{CC1}			
Total Output Supply Voltage	$(V_{CC2} - V_{EE})$	-0.5	35			
Negative Output Supply Voltage	$(V_E - V_{EE})$	-0.5	15		6	
Positive Output Supply Voltage	$(V_{CC2} - V_E)$	-0.5	$35 - (V_E - V_{EE})$			
Gate Drive Output Voltage	$V_{O(peak)}$	-0.5	V_{CC2}			
Collector Voltage	V_C	$V_{EE} + 5 V$	V_{CC2}			
DESAT Voltage	V_{DESAT}	V_E	$V_E + 10$			
Output IC Power Dissipation	P_O		600		mW	4
Input IC Power Dissipation	P_I		150			
Solder Reflow Temperature Profile	See Package Outline Drawings section					

Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Units	Note
Operating Temperature	T_A	-40	+100	°C	
Input Supply Voltage	V_{CC1}	4.5	5.5	Volts	28
Total Output Supply Voltage	$(V_{CC2} - V_{EE})$	15	30		9
Negative Output Supply Voltage	$(V_E - V_{EE})$	0	15		6
Positive Output Supply Voltage	$(V_{CC2} - V_E)$	15	$30 - (V_E - V_{EE})$		
Collector Voltage	V_C	$V_{EE} + 6$	V_{CC2}		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Specifications (DC)

Unless otherwise noted, all typical values at $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC1} = 5\text{ V}$, and $V_{CC2} - V_{EE} = 30\text{ V}$, $V_E - V_{EE} = 0\text{ V}$; all Minimum/Maximum specifications are at Recommended Operating Conditions.

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions	Fig.	Note
Logic Low Input Voltages	$V_{IN+L}, V_{IN-L}, V_{RESETL}$			0.8	V			
Logic High Input Voltages	$V_{IN+H}, V_{IN-H}, V_{RESETH}$	2.0						
Logic Low Input Currents	$I_{IN+L}, I_{IN-L}, I_{RESETL}$	-0.5	-0.4		mA	$V_{IN} = 0.4\text{ V}$		
FAULT Logic Low Output Current	I_{FAULTL}	5.0	12			$V_{FAULT} = 0.4\text{ V}$	30	
FAULT Logic High Output Current	I_{FAULTH}	-40			μA	$V_{FAULT} = V_{CC1}$	31	
High Level Output Current	I_{OH}	-0.5	-1.5		A	$V_{OUT} = V_{CC2} - 4\text{ V}$	3, 8,	7
		-2.0				$V_{OUT} = V_{CC2} - 15\text{ V}$	32	5
Low Level Output Current	I_{OL}	0.5	2.3			$V_{OUT} = V_{EE} + 2.5\text{ V}$	4, 9,	7
		2.0				$V_{OUT} = V_{EE} + 15\text{ V}$	33	5
Low Level Output Current during Fault Condition	I_{OLF}	90	160	230	mA	$V_{OUT} - V_{EE} = 14\text{ V}$	5, 34	8
High Level Output Voltage	V_{OH}	$V_C - 3.5$	$V_C - 2.5$	$V_C - 1.5$	V	$I_{OUT} = -100\text{ mA}$	6, 8,	9, 10,
		$V_C - 2.9$	$V_C - 2.0$	$V_C - 1.2$		$I_{OUT} = -650\text{ }\mu\text{A}$	35	11
				V_C		$I_{OUT} = 0$		
Low Level Output Voltage	V_{OL}		0.17	0.5		$I_{OUT} = 100\text{ mA}$	7, 9, 36	26
High Level Input Supply Current	I_{CC1H}		17	22	mA	$V_{IN+} = V_{CC1} = 5.5\text{ V}$, $V_{IN-} = 0\text{ V}$	10, 37,	
Low Level Input Supply Current	I_{CC1L}		6	11		$V_{IN+} = V_{IN-} = 0\text{ V}$, $V_{CC1} = 5.5\text{ V}$	38	
Output Supply Current	I_{CC2}		2.5	5		V_{OUT} open	11,12, 39,40	11
Low Level Collector Current	I_{CL}		0.3	1.0		$I_{OUT} = 0$	15, 59	27
High Level Collector Current	I_{CH}		0.3	1.3		$I_{OUT} = 0$	15, 58	27
			1.8	3.0		$I_{OUT} = -650\text{ }\mu\text{A}$	15, 57	
V_E Low Level Supply Current	I_{EL}	-0.7	-0.4	0			14, 61	
V_E High Level Supply Current	I_{EH}	-0.5	-0.14	0			14, 40	25
Blanking Capacitor Charging Current	I_{CHG}	-0.13	-0.25	-0.33		$V_{DESAT} = 0 - 6\text{ V}$	13,	11,
		-0.18	-0.25	-0.33		$V_{DESAT} = 0 - 6\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C}$	41	12
Blanking Capacitor Discharge Current	I_{DSCHG}	10	50			$V_{DESAT} = 7\text{ V}$	42	
UVLO Threshold	V_{UVLO+}	11.6	12.3	13.5	V	$V_{OUT} > 5\text{ V}$	43	9, 11, 13
	V_{UVLO-}		11.1	12.4		$V_{OUT} < 5\text{ V}$		9, 11, 14
UVLO Hysteresis	$(V_{UVLO+} - V_{UVLO-})$	0.4	1.2					
DESAT Threshold	V_{DESAT}	6.5	7.0	7.5		$V_{CC2} - V_E > V_{UVLO-}$	16, 44	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Switching Specifications (AC)

Unless otherwise noted, all typical values at $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC1} = 5\text{ V}$, and $V_{CC2} - V_{EE} = 30\text{ V}$, $V_E - V_{EE} = 0\text{ V}$; all Minimum/Maximum specifications are at Recommended Operating Conditions.

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions	Fig.	Note			
V_{IN} to High Level Output Propagation Delay Time	t_{PLH}	0.10	0.30	0.50	μs	$R_g = 10\ \Omega$ $C_g = 10\ \text{nF}$, $f = 10\ \text{kHz}$, Duty Cycle = 50%	17,18,19, 20,21,22, 45,54, 55	15			
V_{IN} to Low Level Output Propagation Delay Time	t_{PHL}	0.10	0.32	0.50							
Pulse Width Distortion	PWD	-0.30	0.02	0.30							16,17
Propagation Delay Difference Between Any Two Parts	$(t_{PHL} - t_{PLH})$ PDD	-0.35		0.35							17,18
10% to 90% Rise Time	t_r		0.1							45	
90% to 10% Fall Time	t_f		0.1								
DESAT Sense to 90% V_{OUT} Delay	$t_{DESAT(90\%)}$		0.3	0.5		$R_g = 10\ \Omega$, $C_g = 10\ \text{nF}$	23,56	19			
DESAT Sense to 10% V_{OUT} Delay	$t_{DESAT(10\%)}$		2.0	3.0		$V_{CC2} - V_{EE} = 30\text{ V}$	24,28, 46,56				
DESAT Sense to Low Level FAULT Signal Delay	$t_{DESAT(FAULT)}$		1.8	5			25,47, 56	20			
DESAT Sense to DESAT Low Propagation Delay	$t_{DESAT(LOW)}$		0.25				56	21			
$\overline{\text{RESET}}$ to High Level $\overline{\text{FAULT}}$ Signal Delay	$t_{\overline{\text{RESET}}(FAULT)}$	3	7	20			26,27, 56	22			
$\overline{\text{RESET}}$ Signal Pulse Width	$PW_{\overline{\text{RESET}}}$	0.1									
UVLO to V_{OUT} High Delay	$t_{UVLO\ ON}$		4.0			$V_{CC2} = 1.0\ \text{ms}$ ramp	49	13			
UVLO to V_{OUT} Low Delay	$t_{UVLO\ OFF}$		6.0					14			
Output High Level Common Mode Transient Immunity	$ C_{MH} $	15	30		$\text{kV}/\mu\text{s}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CM} = 1500\text{ V}$, $V_{CC2} = 30\text{ V}$	50,51, 52,53	23			
Output Low Level Common Mode Transient Immunity	$ C_{ML} $	15	30						$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CM} = 1500\text{ V}$, $V_{CC2} = 30\text{ V}$	24	

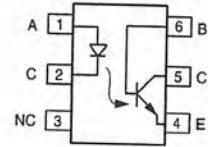
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Optocoupler, Phototransistor Output, With Base Connection

Features

- Isolation Test Voltage 5300 V_{RMS}
- Interfaces with Common Logic Families
- Input-output Coupling Capacitance < 0.5 pF
- Industry Standard Dual-in-line 6-pin Package



Agency Approvals

- UL File #E52744 System Code H or J
- DIN EN 60747-5-2(VDE0884)
- DIN EN 60747-5-5 pending
- Available with Option 1

Applications

- AC Mains Detection
- Reed relay driving
- Switch Mode Power Supply Feedback
- Telephone Ring Detection
- Logic Ground Isolation
- Logic Coupling with High Frequency Noise Rejection

The devices are also available in lead formed configuration suitable for surface mounting and are available either on tape and reel, or in standard tube shipping containers.

Note:
For additional design information see Application Note 45 Normalized Curves

Description

The 4N25 family is an Industry Standard Single Channel Phototransistor Coupler. This family includes the 4N25/ 4N26/ 4N27/ 4N28. Each optocoupler consists of gallium arsenide infrared LED and a silicon NPN phototransistor.

These couplers are Underwriters Laboratories (UL) listed to comply with a 5300 V_{RMS} isolation test voltage. This isolation performance is accomplished through special Vishay manufacturing process.

Compliance to DIN EN 60747-5-2(VDE0884)/ DIN EN 60747-5-5 pending partial discharge isolation specification is available by ordering option 1.

These isolation processes and the Vishay ISO9001 quality program results in the highest isolation performance available for a commercial plastic phototransistor optocoupler.

Order Information

Part	Remarks
4N25	CTR > 20 %, DIP-6
4N26	CTR > 20 %, DIP-6
4N27	CTR > 10 %, DIP-6
4N28	CTR > 10 %, DIP-6
4N25-X006	CTR > 20 %, DIP-6 400 mil (option 6)
4N25-X007	CTR > 20 %, SMD-6 (option 7)
4N25-X009	CTR > 20 %, SMD-6 (option 9)
4N26-X006	CTR > 20 %, DIP-6 400 mil (option 6)
4N26-X007	CTR > 20 %, SMD-6 (option 7)
4N26-X009	CTR > 20 %, SMD-6 (option 9)
4N27-X007	CTR > 10 %, SMD-6 (option 7)
4N27-X009	CTR > 10 %, SMD-6 (option 9)
4N28-X009	CTR > 10 %, SMD-6 (option 9)

For additional information on the available options refer to Option Information.



Absolute Maximum Ratings

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified

Stresses in excess of the absolute Maximum Ratings can cause permanent damage to the device. Functional operation of the device is not implied at these or any other conditions in excess of those given in the operational sections of this document. Exposure to absolute Maximum Rating for extended periods of the time can adversely affect reliability.

Input

Parameter	Test condition	Symbol	Value	Unit
Reverse voltage		V_R	6.0	V
Forward current		I_F	60	mA
Surge current	$t < 10\text{ }\mu\text{s}$	I_{FSM}	2.5	A
Power dissipation		P_{diss}	100	mW

Output

Parameter	Test condition	Symbol	Value	Unit
Collector-emitter breakdown voltage		V_{CEO}	70	V
Emitter-base breakdown voltage		V_{EBO}	7.0	V
Collector current		I_C	50	mA
Collector current	$t < 1.0\text{ ms}$	I_C	100	mA
Power dissipation		P_{diss}	150	mW

Coupler

Parameter	Test condition	Symbol	Value	Unit
Isolation test voltage		V_{iso}	5300	V_{RMS}
Creepage			≥ 7.0	mm
Clearance			≥ 7.0	mm
Isolation thickness between emitter and detector			≥ 0.4	mm
Comparative tracking index	DIN IEC 112/VDE0303, part 1		175	
Isolation resistance	$V_{IO} = 500\text{ V}, T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	R_{IO}	10^{12}	Ω
	$V_{IO} = 500\text{ V}, T_{amb} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	R_{IO}	10^{11}	Ω
Storage temperature		T_{stg}	-55 to +150	$^{\circ}\text{C}$
Operating temperature		T_{amb}	-55 to +100	$^{\circ}\text{C}$
Junction temperature		T_j	100	$^{\circ}\text{C}$
Soldering temperature	max. 10 s, dip soldering; distance to seating plane $\geq 1.5\text{ mm}$	T_{sld}	260	$^{\circ}\text{C}$