

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**เรโซแนนท์อินเวอร์เตอร์ที่มีการควบคุมแรงดันแบบไม่สมมาตร
และมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ใกล้เคียง 1
Asymmetrical Voltage Control Inverter
With Unity Power Factor**



โดย
นาย ณรงค์ฤทธิ์ สว่าง
นาย ศุภชัย เอียรวิวัฒน์
นาย สนธิจิตต์ เชื้อชานา

รฟ.
๘๒๙๙๖
๒๕๕๐

เลขหมู่.....**82994**
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี 30 ก.ค. 2551

b. 119 ๖๘๔๔๓
i.

**ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2550

เรโซแนนท์อินเวอร์เตอร์ที่มีการควบคุมแรงดันแบบไม่สมมาตร
และมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ใกล้เคียง 1
Asymmetrical Voltage Control Inverter
With Unity Power Factor



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

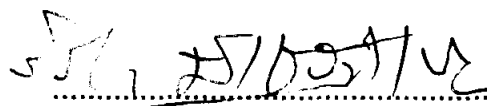
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เรโซแนนท์อินเวอร์เตอร์ที่มีการควบคุมแรงดันแบบไม่สมมาตร
และมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ใกล้เคียง 1

Asymmetrical Voltage Control Inverter With Unity Power Factor

ผู้จัดทำ

- 1) นาย ณรงค์ฤทธิ์ สว่าง รหัส 48015105
- 2) นาย ศุภชัย เขียววิวัฒน์ รหัส 48015132
- 3) นาย สนธิจิตต์ เชื้อชานา รหัส 48015135

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรโซแนนท์อินเวอร์เตอร์ที่มีการควบคุมแรงดันแบบไม่สมมาตร และมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ใกล้เคียง 1

นาย ณรงค์ฤทธิ์ สว่าง รหัส 48015105
 นาย ศุภชัย เขียรวิวัฒน์ รหัส 48015132
 นาย สนธิจิตต์ เชื้อชานา รหัส 48015135
 รศ.ดร.วิริยะ พิเชษฐจำเริญ อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

โครงการเรโซแนนท์อินเวอร์เตอร์ที่มีการควบคุมแรงดันแบบไม่สมมาตรและมีค่า เพาเวอร์แฟคเตอร์ ใกล้เคียง 1 นี้เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์ที่มีโหลดเรโซแนนท์อนุกรมโดยมีการควบคุมกำลังไฟฟ้าแบบการเงื่อนไขแรงดันทางด้านเอาต์พุทแบบไม่สมมาตร โดยมีโหลดเป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูง และยังได้ทำการปรับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่แหล่งจ่ายให้ใกล้เคียง 1 โดยการนำกระแสดีซีซึ่งประกอบขึ้นจากองค์ประกอบความถี่สูงซึ่งได้จากกระแสฟันดาเมนมอลของโหลดนี้ผ่านวงจรฟิลเตอร์ เพื่อทำให้กระแสที่ดึงจากแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50-Hz เป็นกระแสไซน์บริสุทธิ์ ที่อินเฟสกับแรงดันการไฟฟ้า 50-Hz และยังสามารถนำไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า P_o ด้านเอซีเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์ ตลอดจนค่ากำลังไฟฟ้า P_m ด้านแหล่งจ่ายอินพุทการไฟฟ้า ซึ่งปรากฏว่าได้ผลใกล้เคียงกันในระดับหนึ่ง

Asymmetrical Voltage Control Inverter With Unity Power Factor

Narongrit

Swang

Suppachai

Thenwiwat

Sontijit

Chuechowna

Assoc. Prof. Dr. Viriya

Pichetjamroen Advisor

2008

Abstract

This project presents an full-bridge series resonant inverter for output power control, using the principle of asymmetrical voltage-cancellation control for the application of induction heating and a utility ac input power factor by filtering the DC current of high-frequency component waveform which is determined from this load fundamental current to obtain a pure sinusoidal inphase current drawn from 50-Hz utility supply can also lead to the calculation of AC output P_o of the inverter and also the input power P_{in} of the 50-Hz utility supply and the two results are in very good agreement.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำทั้งทางด้าน ทฤษฎีและปฏิบัติตลอดจนคำปรึกษาในด้านต่างๆเกี่ยวกับการดำเนินงาน จากท่านอาจารย์ รศ. ดร. วิริยะ พิเศษจำเริญ ซึ่งท่านได้ให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ยงยุทธ นาราชภรต์ อาจารย์ประจำภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยสยาม, นาย เกียรติศักดิ์ ผาสุขมูล รุ่นพี่ปริญญาโท และ ขอขอบคุณเพื่อนๆที่ทุกๆคนที่ได้เสียสละทั้งแรงกาย แรงใจจนงานโปรเจกต์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบคุณค่า ต่างๆเหล่านี้แด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญาานิพนธ์เล่มนี้จะเป็น ประโยชน์แก่ผู้ที่ได้ทำการศึกษาเพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานวิจัยในด้านต่าง ๆ และสามารถ พัฒนาประเทศชาติได้ต่อไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหาและเสนอแนะแนวทางแก้ไขปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการดำเนินงาน.....	4
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการดำเนินงาน.....	4
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	4
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการดำเนินงาน.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของวงจรพูลบริดจ์เรโซแนนท์แบบอนุกรม	6
2.1 ทฤษฎีที่ใช้ในการแก้ปัญหา.....	6
2.2 หลักการพื้นฐานเหนี่ยวนำความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูง	7
2.3 ทฤษฎีวงจรสมมูลของขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน.....	9
2.4 หลักการสร้างแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าความถี่สูงเพื่อใช้ในการเหนี่ยวนำให้ เกิดความร้อนกับชิ้นงาน	12
2.5 ภาคแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50- Hz และ วงจรฟิลเตอร์.....	14
2.6 ภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7 ภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง	15
2.8 ภาคหม้อแปลงความถี่สูงและขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน	16
2.8.1 คาปาซิเตอร์ (Cb) ป้องกันแรงดันกระแสตรงเข้าสู่หม้อแปลง	17
2.8.2 หม้อแปลงส่งผ่านกำลังความถี่สูง (High Frequency Transformer)... ..	17
2.8.3 การเลือกใช้ขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน.....	18
2.9 การควบคุมกำลังไฟฟ้าของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดอนุกรม	20
2.9.1 หลักการรีโซแนนซ์	20
2.9.1.1 วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม (Series Resonant Circuit)	20
2.10 โหมดการทำงานของวงจรฟูลบริดจ์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม	22
2.10.1 หลักการทำงานของโหมด 1 Regenerative mode.....	23
2.10.2 หลักการทำงานของโหมด 2 Powering mode	23
2.10.3 หลักการทำงานของโหมด 3 Freewheeling mode	24
2.10.4 หลักการทำงานของโหมด 4 Regenerative mode.....	24
2.10.5 หลักการทำงานของโหมด 5 Powering mode	25
บทที่ 3 การออกแบบ.....	26
3.1 การพิจารณาออกแบบหม้อแปลงสำหรับงานด้านการเหนี่ยวนำความร้อน	
ความถี่สูง.....	26
3.2 พื้นฐานหม้อแปลงสำหรับแหล่งจ่ายแบบอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง.....	27

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.3 ขั้นตอนการพิจารณาการออกแบบหม้อแปลงแหล่งจ่ายให้ความร้อนด้วยการ เหนี่ยวนำความถี่ที่สูง.....	28
3.4 การพิจารณาการออกแบบและเลือกใช้ขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน.....	29
3.5 แนวทางพื้นฐานการเลือกพิจารณาเลือกขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน.....	29
3.6 การพิจารณาเลือกขนาดมอสเฟสของชุดอินเวอร์เตอร์.....	31
3.7 วงจรสร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์ (Control signal generator).....	31
3.8 วงจรสร้างสัญญาณชุดเงื่อนไขแรงดัน.....	32
3.9 วงจรขับเคลื่อน (Gate drive circuit).....	33
3.9.1 หน้าที่ในส่วนของวงจรขับเคลื่อนจะมีหน้าที่สองอย่างดังนี้.....	33
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	35
4.1 วงจร TL 494.....	35
4.2 วงจรขับเคลื่อน.....	36
4.3 ผลการทดลองที่ได้จากการ Simulation เปรียบเทียบกับการทดลอง.....	37
4.4 ด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้า.....	38
4.5 ด้านอินพุตอินเวอร์เตอร์.....	39
4.6 ด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์.....	40
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าทางด้าน out put และ in put กับ มุมเงื่อนไข.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Power Factor กับมุมเฟส.....	42
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับมุมเฟส.....	43
บทที่ 5 สรุป.....	44
บรรณานุกรม.....	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ส่วนประกอบต่างๆของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่มีแรงดันทางด้านอินพุท เป็นคลื่นแรงดันดีซีตรงเรียบ.....	2
1.2 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้าเป็นคลื่นแรงดันดีซีตรงเรียบที่ ได้จากการทดลอง.....	2
1.3 ส่วนประกอบต่างๆของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่มีแรงดันทางด้านอินพุท เป็นคลื่นแรงดันดีซีเรกติไฟาย 100 Hz.....	3
1.4 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้าเป็นคลื่นแรงดันดีซีเรกติไฟาย 100 Hz ที่ได้จากการทดลอง.....	3
2.1 บล็อกไดอะแกรมโดยรวมของอุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูง (Induction Heating).....	6
2.2 ลักษณะของการไหลวนของกระแสไฟฟ้าสลับความถี่สูงที่ชิ้นงาน.....	7
2.3 วงจรสมมูลของขดลวดเหนี่ยวนำซึ่งพันรอบแท่งโลหะที่ชิ้นงานเมื่อนำมาพิจารณา ในลักษณะเดียวกับหลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	10
2.4 วงจรสมมูลของขดลวดเหนี่ยวนำซึ่งพันรอบแท่งโลหะที่บรรจุชิ้นงานโดยพิจารณา จากด้านปฐมภูมิ.....	10
2.5 โครงสร้างแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าความถี่สูงที่ทำให้เกิดความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำ ความถี่สูง.....	13

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.6 ส่วนประกอบต่างๆ ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่มีแรงดันทางด้านอินพุทเป็น คลื่นแรงดันสี่เหลี่ยมรีกติฟาย 100 Hz.....	13
2.7 ภาคแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50-Hz และวงจร LC ฟิลเตอร์.....	14
2.8 ภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง.....	14
2.9 วงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดฟูลบริดจ์.....	15
2.10 คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุทอินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์.....	15
2.11 ชุดเครื่องเหนี่ยวนำความถี่สูงเพื่อให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน.....	16
2.12 การต่อขานคาปาซิเตอร์ C b เพื่อป้องกันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไหลย้อน กลับเข้าหม้อแปลง.....	17
2.13 ชุดหม้อแปลงความถี่สูงใช้แกนเฟอร์ไรต์.....	18
2.14 ขดลวดการให้ความร้อนแก่ชิ้นเหล็กและการระบายความร้อน.....	19
2.15 วงจรรีโซแนนซ์อนุกรม.....	20
2.16 คลื่นแรงดันและกระแสทางด้านเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์กรณีที่มีการเงื่อนไข แรงดันแบบไม่สมมาตรที่มุม ϕ ต่างๆ.....	21
2.17 กำลังไฟฟ้าเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์ที่มีการเงื่อนไขแรงดันแบบไม่สมมาตร ที่มุม ϕ ต่างๆ.....	22
2.18 โหมดการทำงานของวงจรฟูลบริดจ์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม.....	22
2.19 โหมด 1Regenerative mode.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.20 โหมด 2 Powering mode.....	23
2.21 โหมด 3 Freewheeling mode.....	24
2.22 โหมด 4 Regenerative mode.....	24
2.23 โหมด 5 Powering mode.....	25
3.1 ชุดอินเวอร์เตอร์.....	31
3.2 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ควบคุมสวิตช์.....	32
3.3 วงจรสร้างสัญญาณเงื่อนไขแรงดันควบคุมสวิตช์ S_4 วงจร full bridge inverter.....	33
3.4 วงจรขับเกาทำหน้าที่แยกกราวด์ระหว่างภาคกำลังและภาคควบคุม.....	34
4.1 วงจร TL 494.....	35
4.2 สัญญาณ Saw tooth ที่ขา 5 และ V_{CC} ที่ขา 4 ของ TL 494.....	35
4.3 สัญญาณ Output ที่ขา 9, ขา10 ของ TL 494.....	36
4.4 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรขับเกา จะนำไปขับ MOSFET เพื่อนำสัญญาณป้อน ให้กับชุดโหลดต่อไป.....	36
4.5 ภาพแสดงการเปรียบเทียบSimulation เปรียบเทียบกับการทดลอง.....	37
4.6 ภาพแสดงการเปรียบเทียบด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้า.....	38
4.7 ภาพแสดงการเปรียบเทียบด้านอินพุตอินเวอร์เตอร์.....	39
4.8 ภาพแสดงการเปรียบเทียบด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์.....	40

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.9 รูปคลื่นเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมแรงดันทางด้านเอาต์พุทที่มุม	
เงื่อนไข $\phi = 0^\circ$	41
4.10 รูปคลื่นเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์ที่มีการควบคุมแรงดันทางด้านเอาต์พุทที่มุม	
เงื่อนไข $\phi = 60^\circ$	41
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าทางด้าน out put และ in put กับมุม	
เงื่อนไข	42
4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Power Factor กับมุมเงื่อนไข	42
4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับมุมเงื่อนไข	43
5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับมุมเงื่อนไข	44

บทที่ 1

บทนำ

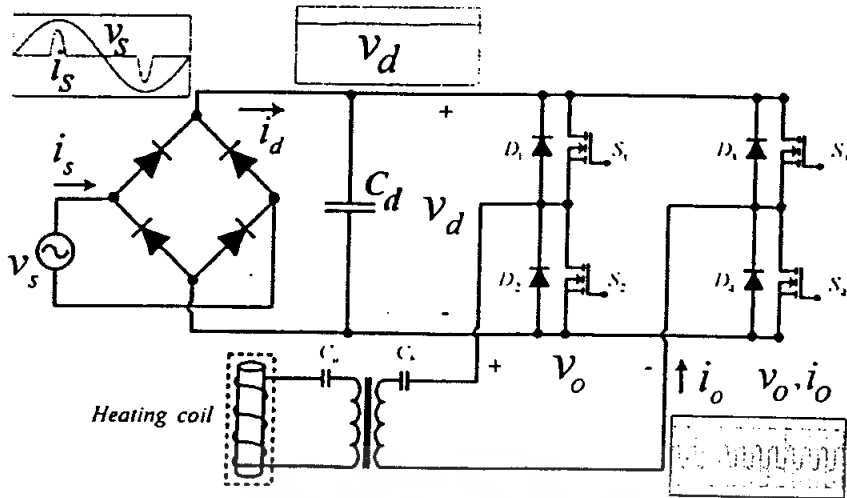
1.1 ความสำคัญของปัญหาและเสนอแนะแนวทางแก้ไขปัญหา

อุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำชนิดไม่สมมาตร ได้มีการนำมาใช้เป็นเวลานานแล้ว แต่หลักการที่ใช้โดยทั่วไปนั้นคือ การเปลี่ยนแรงดันไฟสลับที่ได้จากแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50-Hz ผ่านวงจรเรกติฟายและใช้ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ทำให้ได้คลื่นแรงดันดีซีตรงเรียบที่มีค่าระลอกคลื่นแรงดันน้อยที่สุดซึ่งเรียกต่อไปนี้ว่า คลื่นแรงดันดีซีตรงเรียบ แล้วใช้วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ เพื่อเปลี่ยนแรงดันดีซีตรงเรียบที่ได้เป็นคลื่นแรงดันเอซีสแควร์ซึ่งมีความถี่เท่ากับความถี่สวิทซ์ซิ่ง แล้วทำการป้อนให้กับวงจรเรโซแนนท์อนุกรม RLC ของโหลด แต่การใช้ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่จะส่งผลทำให้กระแสทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50-Hz มีลักษณะคลื่นกระแสไม่เป็นคลื่นไซน์ มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำประมาณ 0.5-0.6 ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบรวมของแหล่งจ่ายการไฟฟ้าในที่สุด

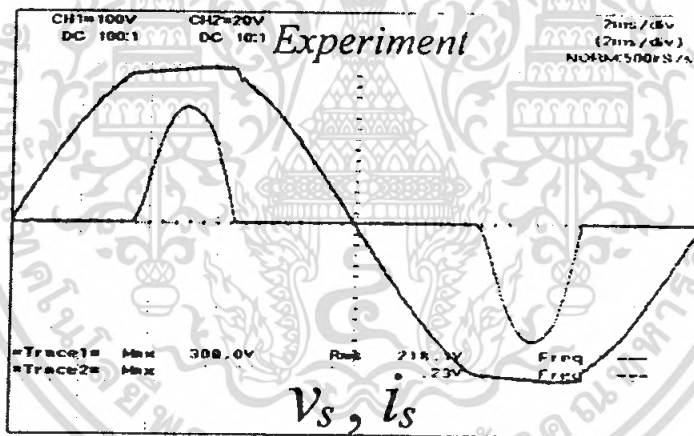
เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงได้นำเสนอแนะแนวทางแก้ไขเพื่อปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้ค่าสูงขึ้น โดยการปลดตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่จากด้านเอาต์พุตของวงจรเรกติฟายออก ทำให้ได้คลื่นแรงดันเรกติฟาย 100 Hz ป้อนให้กับอินพุตของอินเวอร์เตอร์ แทนคลื่นแรงดันดีซีตรงเรียบในแบบเก่า เมื่อนำไปผ่านวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์เพื่อเปลี่ยนคลื่นแรงดันดีซีเรกติฟาย 100 Hz ที่ได้ เป็นคลื่นแรงดันเอซีสแควร์ทางด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามระดับแรงดันดีซีเรกติฟายทางด้านอินพุตของอินเวอร์เตอร์ แล้วนำแรงดันที่ได้ป้อนเป็นแรงดันอินพุตให้กับวงจรเรโซแนนท์อนุกรม RLC ของโหลด

ซึ่งจะอธิบายหลักการเดิมและหลักการใหม่ได้เป็นดังนี้

หลักการเดิม จากหลักการเดิมนั้น ทางด้านหลังของวงจรเรกติฟาย ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่มีโหลดอุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูง จะมีตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่ต่ออยู่ เพื่อให้ได้คลื่นแรงดันดีซีตรงเรียบป้อนให้กับวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ดังภาพที่ 2.1 และผลจากตัวเก็บประจุดังกล่าวจะทำให้คลื่นแรงดันทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้าและกระแสทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้ามีลักษณะคลื่นไม่เป็นไซน์ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการทดลอง ที่ความถี่สวิทซ์ซิ่งของอินเวอร์เตอร์ 70 kHz อุณหภูมิชิ้นงาน 400 °C ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่ได้นี้มีค่าต่ำเนื่องจากกระแสไม่เป็นไซน์ ดังนั้นอุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำชนิดไม่สมมาตร ซึ่งหลักการดังกล่าวนี้จึงยังไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน



ภาพที่ 1.1 ส่วนประกอบต่างๆของวงจรพูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่มีโหลดเป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำชนิดไม่สมมาตรกรณีที่แรงดันด้านอินพุทของอินเวอร์เตอร์มีลักษณะเป็นคลื่นแรงดันตีสี่ตรงเรียบ

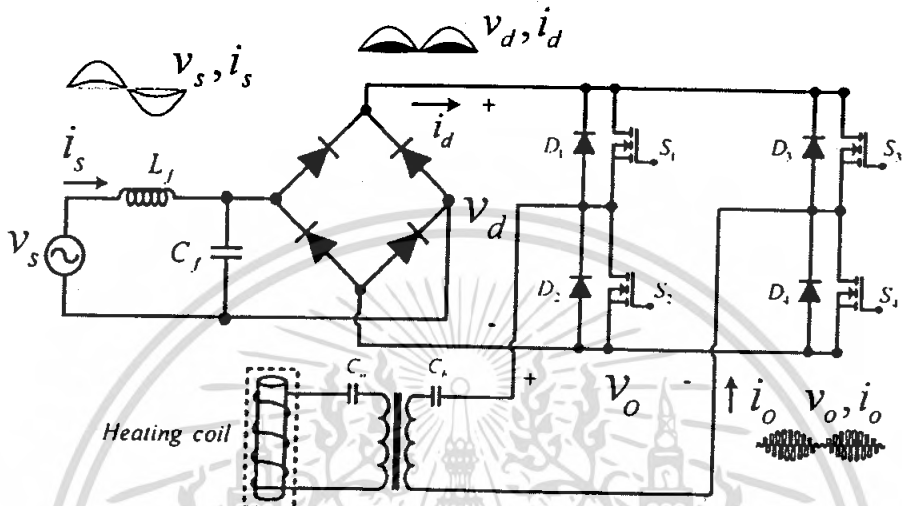


ภาพที่ 1.2 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้าและคลื่นกระแสทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้าในกรณีที่อินพุทของอินเวอร์เตอร์เป็นคลื่นแรงดันตีสี่ตรงเรียบที่ได้จากการทดลอง(x:2ms/div)

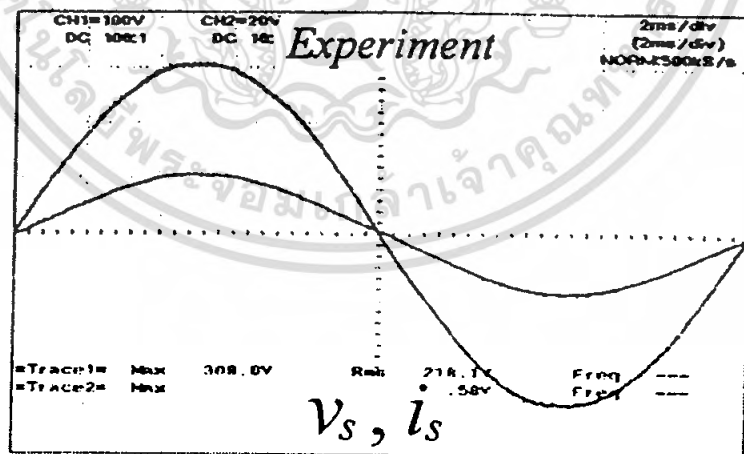
ดังนั้นเพื่อต้องการให้อุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยเหนี่ยวนำชนิดไม่สมมาตรนี้เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้อย่างดี จะต้องทำการปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้าให้มีค่าสูงขึ้น ดังนั้นจึงได้นำเสนอแนวทางแก้ไขเพื่อการปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้มีค่าใกล้เคียง 1 ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการใหม่ หลักการใหม่จะเป็นการนำตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่ที่อยู่ทางด้านหลังของวงจรเรกติฟาย์ออกและทำการเพิ่มวงจร LC ฟิลเตอร์เข้าไปทางด้านหน้าของวงจรเรกติฟาย์ ดังรูปที่ 2.3 ทำให้ได้คลื่นแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ที่มีลักษณะเป็นคลื่นแรงดันตีสี่เรกติฟาย์ 100 Hz ซึ่งจะมีลักษณะและการวิเคราะห์ต่างจากหลักการเดิมที่เป็นแรงดันตีสี่ตรงเรียบ



ภาพที่ 1.3 ส่วนประกอบต่างๆของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่มีโหลดเป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำชนิดไม่สมมาตรที่แรงดันทางด้านอินพุทของอินเวอร์เตอร์เป็นคลื่นแรงดันตีสี่เรกติฟาย์ 100 Hz



ภาพที่ 1.4 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้าและคลื่นกระแสทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้าในกรณีที่อินพุทของอินเวอร์เตอร์เป็นคลื่นแรงดันตีสี่เรกติฟาย์ 100 Hz ที่ได้จากการทดลอง (x: 2ms/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากได้คลื่นแรงดันดีซีเร็กติไฟาย 100Hz ทางด้านอินพุทอินเวอร์เตอร์แทนคลื่นแรงดันดีซีตรงเรียบในแบบเก่า เมื่อนำไปผ่านวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์เพื่อเปลี่ยนคลื่นแรงดันดีซีเร็กติไฟาย 100 Hz ที่ได้เป็นคลื่นแรงดันเอซีสแควร์ทางด้านเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามระดับแรงดันดีซีเร็กติไฟายทางด้านอินพุทของอินเวอร์เตอร์ แล้วนำแรงดันที่ได้ป้อนเป็นแรงดันอินพุทให้กับวงจรเรโซแนนท์อนุกรม RLC ของโหลด

1.2 วัตถุประสงค์ของการดำเนินงาน

1. เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการ การทำงานของอุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำชนิดไม่สมมาตร
2. เพื่อวิเคราะห์ และวัดกำลังทางไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์
3. เพื่อต้องการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้าให้มีค่าใกล้เคียงหนึ่ง

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการดำเนินงาน

สร้างชุดทดลองในส่วนต่างๆ ของชุด Induction Heating

1. สร้างชุด LC FILTER
2. สร้างชุดอินเวอร์เตอร์
3. สร้างชุดคอนโทรล
4. สร้างชุดโหลด
5. สร้างชุด Rectifier

หลังจากนั้นนำชุดต่างๆมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นชุดทดลอง เพื่อที่จะทำการทดลองการควบคุมกำลังไฟฟ้าทางด้าน Output ของ Inverter โดยการควบคุมแรงดันแบบไม่สมมาตร ที่มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ด้านเข้าไฟสลับใกล้เคียง 1

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ความสำคัญของปัญหาและเสนอแนะแนวทางแก้ไขปัญหา
2. ศึกษาองค์ประกอบของโครงการ และศึกษาในรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆ ในด้านหลักการทำงาน หน้าที่ของตัวอุปกรณ์
3. การออกแบบ
4. ทำการทดลอง
5. สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการดำเนินงาน

สามารถนำเครื่องต้นแบบของอุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำชนิดไม่สมมาตร ที่มีค่าเพาเวอร์แพลคเตอร์ด้านเข้าไฟสลับใกล้เคียง 1 นี้ไปพัฒนาและประยุกต์ในงานอุตสาหกรรม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำไปสู่การค้นคว้าและวิจัยในงานวิจัยด้านอื่น ๆ รวมถึงไปถึงงานวิจัยด้านอุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำชนิดไม่สมมาตร ที่มีค่าเพาเวอร์แพลคเตอร์ด้านเข้าไฟสลับใกล้เคียง 1 ได้ในอนาคตต่อไป



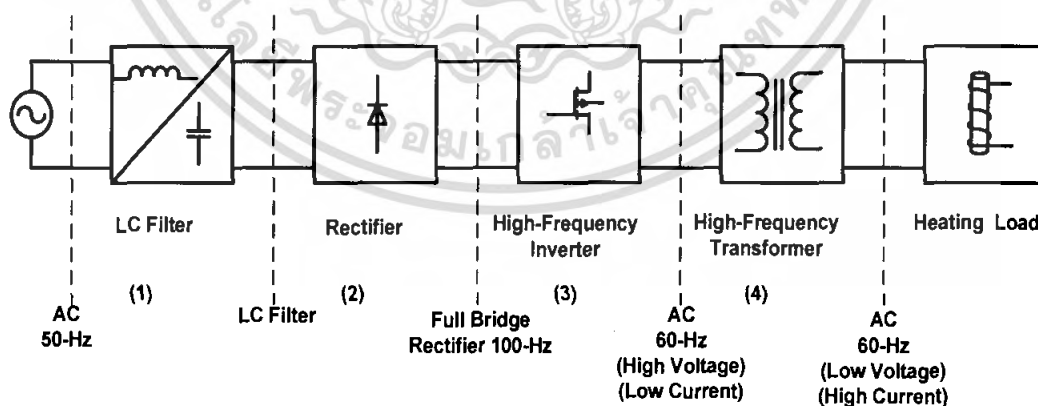
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของ วงจรฟูลบริดจ์เรโซแนนท์แบบอนุกรม

2.1 ทฤษฎีที่ใช้ในการแก้ปัญหา

ในโปรเจกต์นี้ได้ออกแบบทำกับอุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูง (Induction Heating) ที่ได้ทำการแก้ไขเพื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้มีค่าใกล้เคียง 1 ทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50-Hz ซึ่งจะต้องอาศัยหลักการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่สูงในระดับ kHz เพื่อให้เกิดกระแสไหลวนที่ผิวชิ้นงานด้วยความลึกระดับหนึ่ง (Skin Depth) เนื่องจากความต้องการในการให้ความร้อนกับชิ้นงานนั้นจะให้ความร้อนกับชิ้นงานเฉพาะบริเวณที่ต้องการจึงทำให้ขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนมีจำนวนรอบต่ำ ในขณะที่ปริมาณกระแสและความถี่นั้นจะต้องมีค่าที่สูงมากดังนั้นในการสร้างชุดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สามารถกำเนิดกระแสความถี่สูง แรงดันต่ำเพื่อเป็นแหล่งจ่ายป้อนให้กับขดลวดที่พันอยู่รอบชิ้นงานที่ต้องการให้ความร้อนนั้น อุปกรณ์ไฟฟ้างกล่าวนี้จะประกอบไปด้วย วงจรเรโซแนนท์ความถี่สูงในระดับ kHz รวมเข้ากับชุดหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรท์ชนิด Step-Down เพื่อจ่ายเอาต์พุตที่มีแรงดันกระแส และความถี่ในระดับที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น โดยที่แหล่งจ่ายดีซีข้างด้านอินพุทของอินเวอร์เตอร์นี้จะมีลักษณะเป็นคลื่นแรงดันดีซีเรกติไฟาย 100-Hz ที่ได้มาจากวงจรเรกติไฟาย ซึ่งได้รับแรงดันมาจากแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50-Hz สามารถแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมคร่าวๆได้ดังนี้

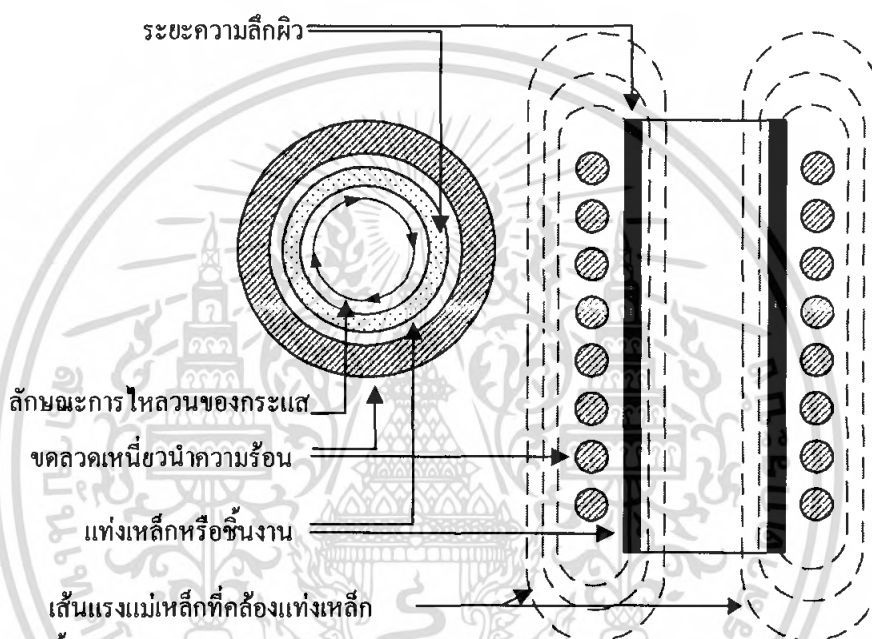


ภาพที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมโดยรวมของอุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูง(Induction Heating)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการพื้นฐานเหนี่ยวนำความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูง

การให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูง คือกระบวนการทำให้เกิดความร้อนขึ้นโดยตรงในชิ้นงานที่เป็นวัสดุแม่เหล็ก (Ferromagnetic Material) โดยทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นมาจากการป้อนกระแสสูงและความถี่สูงให้กับขดลวดเหนี่ยวนำ ขดลวดเหนี่ยวนำนี้จะสร้างฟลักซ์แม่เหล็กความถี่สูงคล่องผ่านชิ้นงานทำให้เกิดมีการเหนี่ยวนำทำให้มีกระแสไหลวน (Eddy Current) ที่ผิวของชิ้นงานซึ่งมีค่าความต้านทานทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่บริเวณที่มีกระแสไหลผ่าน



ภาพที่ 2.2 ลักษณะของการไหลวนของกระแสไฟฟ้าสลับความถี่สูงที่ชิ้นงาน

ความลึกของกระแสไฟฟ้าที่ไหลภายในตัวชิ้นงานนี้จะขึ้นอยู่กับความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ไหล ซึ่งเป็นความถี่เดียวกับความถี่ที่ป้อนเข้าไปในขดลวดเหนี่ยวนำที่พันอยู่รอบชิ้นงาน ดังนั้นปริมาณกระแสที่ไหลในแท่งเหล็กจะเท่ากับปริมาณกระแสที่ไหลในขดลวดเหนี่ยวนำ

สำหรับองค์ประกอบของการเกิดความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูงนี้ จะประกอบไปด้วยความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ คือ ความถี่ (Frequency : f) สภาพความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity : ρ) และค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (Permeability : μ) ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์กับค่าความลึกของการไหลวนของกระแส (Skin Depth : δ) ได้โดยสมการดังต่อไปนี้

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\mu_0 \mu_r f \pi}} \quad (2.1)$$

δ = ค่าความลึก(m)

ρ = สภาพความต้านทานไฟฟ้าของชิ้นงาน(Ω/m)

(f) = ความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อน(Hz)

μ_r = ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ของชิ้นงาน

$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$ (H/m)

จาก สมการที่ (2.1) จะเห็นได้ว่าเมื่อความถี่นั้นมีค่าสูงขึ้นจะส่งผลให้กระแสไหลวนไหลลึกลงไปจากบริเวณผิวชิ้นงานได้น้อยลงทั้งนี้เนื่องจากค่าความลึกของการไหลวนของกระแสไหลวนมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของความถี่

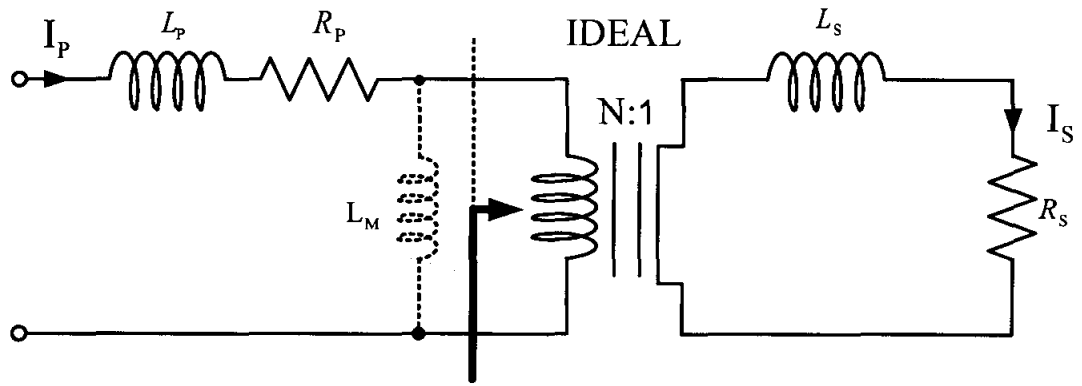
การให้ความร้อนกับชิ้นงานในงานอุตสาหกรรมทั่วไปนั้น จะเป็นการให้ความร้อนกับชิ้นงานบริเวณสั้นๆ ดังนั้นจำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนที่พันรอบชิ้นงาน จึงมีจำนวนรอบน้อย อีกทั้งยังเป็นการลดขนาดของเครื่องลง เนื่องจากจำนวนรอบน้อยกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการให้ความร้อนกับชิ้นงานก็น้อยลง ซึ่งในการให้ความร้อนกับชิ้นงานในลักษณะนี้ เนื่องจากจำนวนของเหนี่ยวนำความร้อนน้อย จำทำให้แรงดันที่ขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนมีค่าต่ำ ยกตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูงประเภท Induction Heating ขนาด 3 kW จะเห็นได้ว่าจำนวนขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนจะมีจำนวนลวดเพียง 3 รอบ ดังนั้นจึงต้องการกระแสที่มีปริมาณสูง ประมาณ 100 A ขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนที่จะนำมาใช้นี้จึงจำเป็นต้องมีขนาดใหญ่พอสมควร เพื่อที่จะสามารถรองรับปริมาณกระแสที่มีค่าสูงได้ และขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนนี้ จะต้องสามารถระบายความร้อนได้ เพื่อป้องกันไม่ให้ขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนในบริเวณที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงานนั้นได้รับความเสียหายจากการให้ความร้อนกับชิ้นงาน ดังนั้นจะต้องใช้ขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนซึ่งภายในของขดลวดมีลักษณะกลวง เพื่อที่จะสามารถระบายความร้อนได้ โดยการใช้น้ำไหลผ่านภายในของขดลวด

ดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น ในการให้ความร้อนกับชิ้นงานจะต้องทำการสร้างอุปกรณ์ที่สร้างแรงดันต่ำ กระแสสูง และความถี่สูง เนื่องจากการให้ความร้อนกับชิ้นงานด้วยการเหนี่ยวนำนี้จะต้องอาศัยความถี่สูง ซึ่งแหล่งจ่ายที่สามารถสร้างความถี่สูงได้นั้นโดยหลักจะต้องได้มาจากวงจรอินเวอร์เตอร์ เนื่องจากอุปกรณ์สวิตช์นั้นสามารถทำงานที่ความถี่สูงได้ โดยใช้ MOSFET และเพื่อให้ทนกระแสได้มากยิ่งขึ้น จึงได้ทำการขนาน MOSFET เข้าไปอีก 1 ตัว คือใน 1 สวิตช์จะมี MOSFET สวิตช์ละ 2 ตัว เพื่อทนกระแสได้มากยิ่งขึ้น ในขณะที่เดียวกันแรงดันที่ได้จากอินเวอร์เตอร์นั้นยังมีปริมาณที่สูงมาก คือประมาณ ± 310 V ดังนั้นระหว่างวงจร

อินเวอร์เตอร์กับขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนจะต้องมีหม้อแปลง Step-down ความถี่สูงนี้จำทำ หน้าที่ลดแรงดันจากทางด้านเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์ ขณะเดียวกันเดียวกัน หม้อแปลง Step-down ความถี่สูงนี้ยังทำการเพิ่มกระแสให้มีค่าสูงขึ้น ขดลวดที่นำมาใช้ในการ พันทางด้านขดลวดของหม้อแปลง Step-down ความถี่สูงนี้จะเป็นขดลวดกลวงเช่นเดียวกับ ขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน ทำให้สามารถระบายความร้อนให้กับขดลวดได้เช่นเดียวกับขดลวด เหนี่ยวนำความร้อนที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงาน ในส่วนของขดลวดด้านปฐมภูมินั้น จะใช้ลวดตีเกลียว เพื่อที่จะสามารถรองรับกระแสสูงและความถี่สูงทางด้านเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์ได้ ซึ่ง ขดลวดที่นำมาพันด้านปฐมภูมินี้จะใช้ลวดทองแดงเบอร์ 28 S.W.G. นำมาตีเกลียว 23 เส้น เพื่อ ต้องการให้กระแสและความถี่สูงที่ได้รับจากวงจรอินเวอร์เตอร์นั้นสามารถไหลในขดลวดตีเกลียว ได้จนเต็มเนื้อที่ของขดลวด ในส่วนของแรงดันความถี่สูงนั้น จะใช้แรงดันเอซิสแควร์โดยได้มา จากอินเวอร์เตอร์ชนิดฟูลบริดจ์ซึ่งมีสวิตช์ทั้งหมด 4 ตัว นั่นคือสวิตช์ S_1, S_2, S_3 และ S_4 โดยจะมี ลักษณะการทำงานดังนี้ คู่สวิตช์ S_1, S_4 และ S_2, S_3 จะทำงาน ON-OFF สลับกันไปเพื่อแปลง แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ถ้าหากนำแรงดันที่ได้นี้ป้อนเป็น แรงดันอินพุทให้กับโหลดที่เป็นวงจร RLC อนุกรม ก็จะทำให้กระแสทางด้านเอาต์พุทของ อินเวอร์เตอร์มีลักษณะใกล้เคียงไซน์

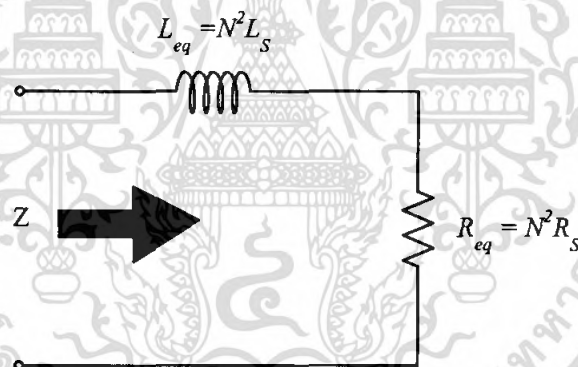
2.3 ทฤษฎีวงจรสมมูลของขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน

เนื่องจากขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนมีหลักการใกล้เคียงกับหลักการในหม้อแปลงไฟฟ้าโดยมีขดลวดเหนี่ยวนำเป็นขดปฐมภูมิและชิ้นงานซึ่งถูกเกี่ยวคล้องด้วยเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดปฐมภูมิจะมีลักษณะเหมือนเป็นขดทุติยภูมิ ที่มีจำนวนรอบเพียง 1 รอบ โดยมีค่าอินดักแตนซ์ L_s และค่าความต้านทาน R_s เป็นค่าความเหนี่ยวนำและความต้านทานของ ชิ้นงานและมีค่าอินดักแตนซ์ L_p และค่าความต้านทาน R_p เป็นค่าความเหนี่ยวนำและค่าความต้านทานของขดลวดเหนี่ยวนำด้านปฐมภูมิซึ่งเมื่อเขียนแสดงด้วยวงจรจะได้ดังรูปที่ 2.3 โดยที่ วงจรสมมูลที่ได้นี้ อยู่ภายในเงื่อนไขว่า กระแสแมกนีโตซิ่ง I_M ซึ่งไหลผ่านแมกนีโตซิ่งอินดักแตนซ์ L_M มีค่าน้อยมากจนไม่นำมาพิจารณาในวงจร



ภาพที่ 2.3 วงจรสมมูลของขดลวดเหนี่ยวนำซึ่งพันรอบแท่งโลหะที่ขึ้นงานเมื่อนำมาพิจารณาในลักษณะเดียวกับหลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า

จาก ภาพที่ 2.3 เมื่อย้ายค่าพารามิเตอร์ต่างๆทางด้านทุติยภูมิไปรวมกับทางด้านปฐมภูมิสามารถเขียนวงจรสมมูลของขดลวดเหนี่ยวนำที่พันรอบแท่งโลหะที่บรรจุชิ้นงานได้ใหม่ดังรูปที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 วงจรสมมูลของขดลวดเหนี่ยวนำซึ่งพันรอบแท่งโลหะที่บรรจุชิ้นงานโดยพิจารณาจากด้านปฐมภูมิ

จาก ภาพที่ 2.4 แสดงวงจรสมมูลของขดลวดเหนี่ยวนำที่พันรอบแท่งโลหะซึ่งบรรจุชิ้นงานซึ่งประกอบด้วย ค่าอินดักแตนซ์สมมูล L_{eq} และค่าความต้านทานสมมูล R_{eq} สามารถหาค่าได้ดังนี้

$$R_{eq} = R_p + N^2 R_s \quad (2.2)$$

$$L_{eq} = L_p + N^2 L_s \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า $R'_p = N^2 R_s$ และ $L'_p = N^2 L_s$ จะได้

$$R_{oq} = R_p + R'_p \quad (2.4)$$

$$L_{oq} = L_p + L'_p \quad (2.5)$$

N คือ จำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำที่พันรอบแท่งโลหะ

R_p, R_s คือ ความต้านทานของขดลวดเหนี่ยวนำและของไหลตขั้่นงานตามลำดับ

L_p, L_s คือ ค่าความเหนี่ยวนำรั้วไหลขดลวดเหนี่ยวนำและของไหลตขั้่นงานตามลำดับ

R'_p คือ ค่าความต้านทานของไหลตขั้่นงานซึ่งพิจารณาจากด้านปฐมภูมิ

L'_p คือ ค่าความเหนี่ยวนำของโลหะขั้่นงานซึ่งพิจารณาจากด้านปฐมภูมิ

จากรูปที่ 2.4 สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดเหนี่ยวนำได้ดังสมการที่ 2.6

$$P_p = I_p^2 R_p \quad (2.6)$$

ในทำนองเดียวกันก็จะสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ไหลตขั้่นงาน

ดัง สมการ 2.7

$$P_s = I_s^2 R_s \quad (2.7)$$

และเมื่อพิจารณาจากด้านปฐมภูมิโดยที่ $I_s = N I_p$ จะได้

$$P_s = I_p^2 R'_p \quad (2.8)$$

เมื่อ I_p คือ กระแสในขดลวดเหนี่ยวนำ

I_s คือ กระแสในไหลตขั้่นงาน

จาก สมการที่ (2.6) - (2.8) สามารถหาค่าประสิทธิภาพของไหลตขั้่นงานได้ดังนี้

$$\eta = \frac{P_s}{P_s + P_p} \quad (2.9)$$

แทนสมการ (2.6) และ (2.8) ในสมการที่ (2.9) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\eta = \frac{I_p^2 R'_p}{I_p^2 R'_p + I_p^2 R_p} \quad (2.10)$$

$$\eta = \frac{R'_p}{R'_p + R_p} \quad (2.11)$$

$$\eta = \frac{1}{1 + (R_p / R'_p)} \quad (2.12)$$

เนื่องจากผลของ Skin Depth การไหลวนของกระแสจะเกิดเฉพาะที่บริเวณผิวของขดลวดเหนี่ยวนำและที่บริเวณผิวของชิ้นงาน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยมีความลึกเท่ากับ δ ดังนั้นในการหาค่าความต้านทาน R_p และ R_s ที่บริเวณผิวสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$R_p = \frac{\rho_p}{\delta_p} = \sqrt{\rho_p \mu_0 \mu_{rp} f \pi} \quad (2.13)$$

และ

$$R_s = \frac{\rho_s}{\delta_s} = \sqrt{\rho_s \mu_0 \mu_{rs} f \pi} \quad (2.14)$$

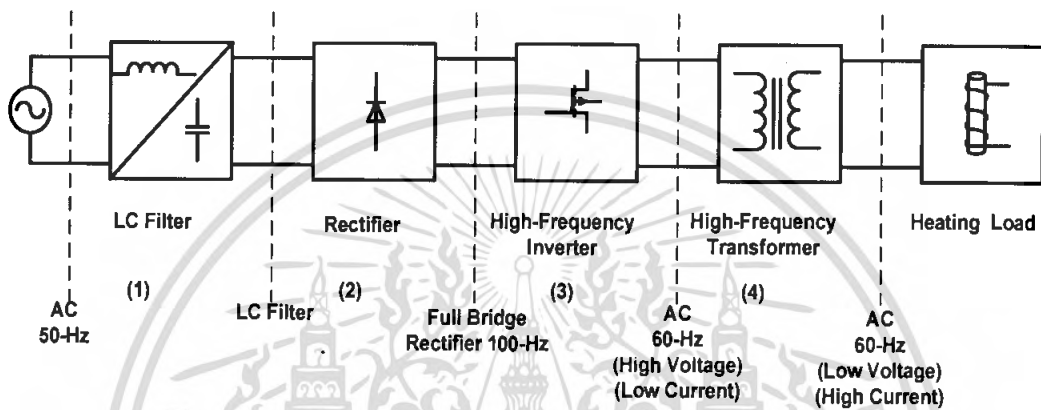
เมื่อ δ_p คือ ความลึกผิวของขดลวดเหนี่ยวนำ
 δ_s คือ ความลึกผิวของชิ้นงาน
 ρ_p คือ สภาพต้านทานไฟฟ้าของขดลวดเหนี่ยวนำ
 ρ_s คือ สภาพต้านทานไฟฟ้าของชิ้นงาน

2.4 หลักการสร้างแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าความถี่สูงเพื่อใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนกับชิ้นงาน

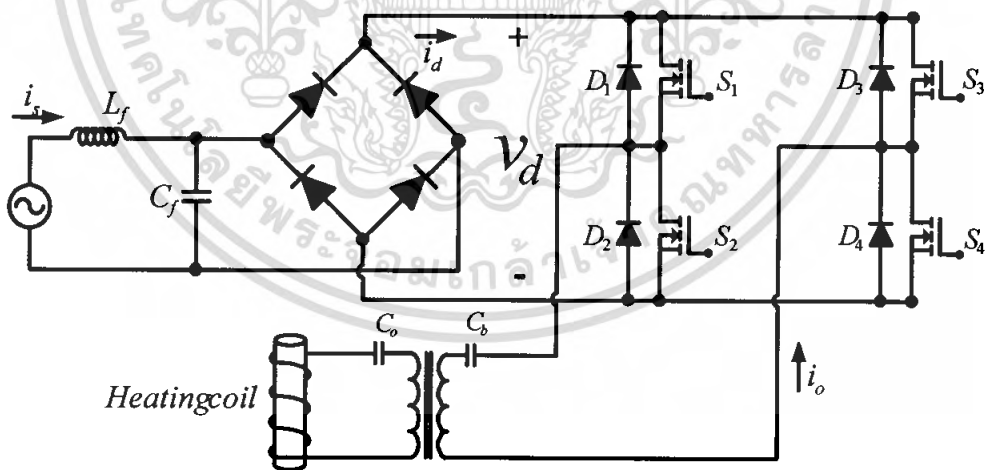
ในปัจจุบันการให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูงนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี และได้มีการพัฒนามาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยในส่วนของหลักการที่นำมาเสนอนี้จะอาศัยหลักการเหนี่ยวนำความถี่สูงโดยใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างคลื่นแรงดันและกระแสความถี่สูงนี้เพื่อนำไปใช้ในการเหนี่ยวนำเพื่อทำให้เกิดความร้อนกับชิ้นงาน ซึ่งโครงสร้างของแหล่งจ่ายกำลังความถี่สูงเพื่อใช้ในการเหนี่ยวนำทำให้เกิดความร้อนสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.5 โดยจะมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ภาคแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50-Hz และวงจร LC ฟิลเตอร์
- 2) ภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
- 3) ภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง
- 4) ภาคหม้อแปลงความถี่สูงและขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าความถี่สูงที่ทำให้เกิดความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูง

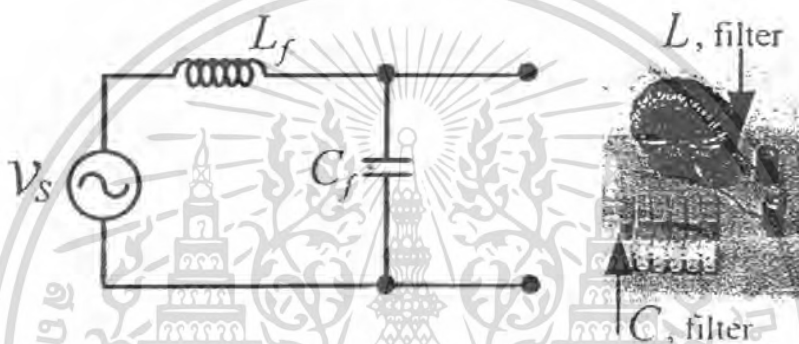


ภาพที่ 2.6 ส่วนประกอบต่างๆ ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่มีโหลดเป็นอุปกรณให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูง (Induction Heating) กรณีที่แรงดันทางด้านอินพุทของอินเวอร์เตอร์เป็นคลื่นแรงดันสี่เหลี่ยมรีกิตไฟาย 100 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ภาคแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50- Hz และ วงจรฟิลเตอร์

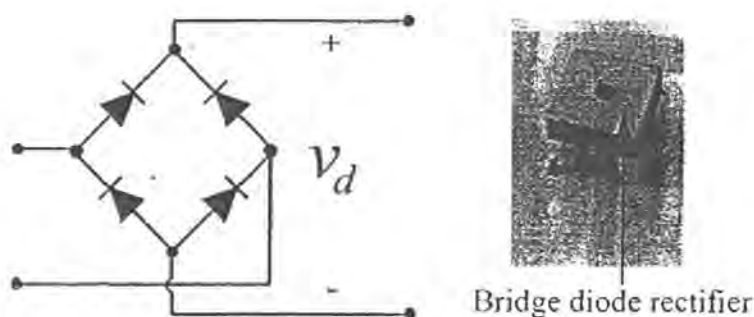
ในส่วนนี้จะป็นวงจรภาคกำลังความถี่ต่ำซึ่งจะเป็นส่วนแรกของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าความถี่สูงที่ใช้ในการเหนี่ยวนำทำให้เกิดความร้อนโดยจะประกอบด้วยแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50- Hz จากแหล่งจ่ายการไฟฟ้าและ LC ฟิลเตอร์โดยจะรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50- Hz จากแหล่งจ่ายการไฟฟ้าและทำการต่อวงจร LC ฟิลเตอร์ เพื่อกรององค์ประกอบความถี่สูง ซึ่งมีวงจรดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ภาคแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50-Hz และวงจร LC ฟิลเตอร์

2.6 ภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

ภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะประกอบด้วยวงจรเรกติไฟายที่ได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50- Hz จากแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50- Hz ผ่านวงจร LC ฟิลเตอร์ และเมื่อนำมาผ่านวงจรเรกติไฟายเพื่อทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยวงจรเรกติไฟายนี้จะมีคุณสมบัติ คือ ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังโหลดเพียงทิศทางเดียว เพื่อให้ได้คลื่นแรงดันดีซีเรกติไฟาย 100- Hz ป้อนให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์

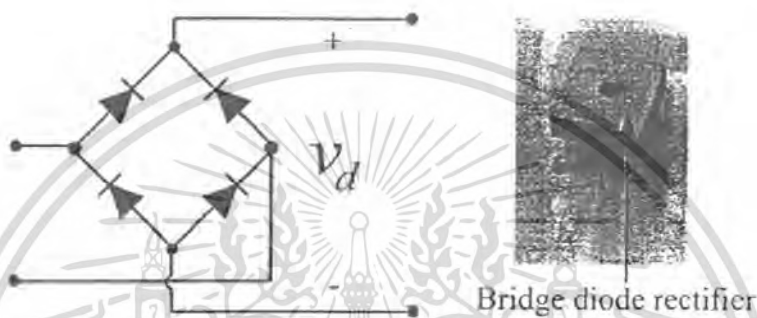


ภาพที่ 2.8 ภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

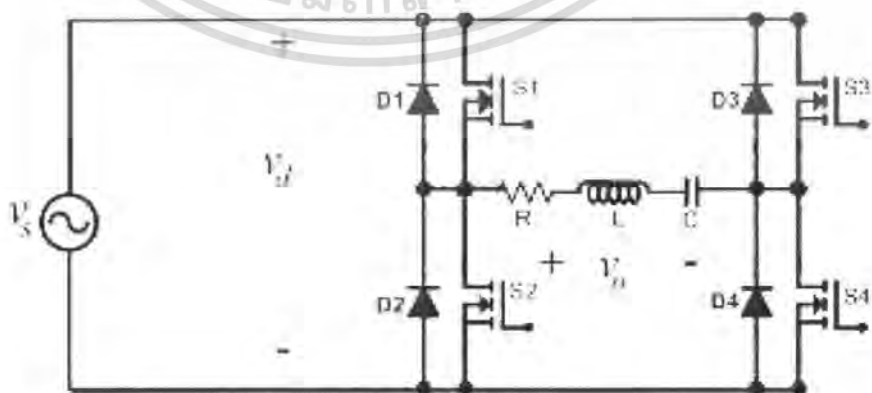
ภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะประกอบด้วยวงจรเรกติฟายที่ได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50- Hz จากแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50- Hz ผ่านวงจร LC ฟิวเตอร์ และเมื่อนำมาผ่านวงจรเรกติฟายเพื่อทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยวงจรเรกติฟายนี้จะมีคุณสมบัติ คือ ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังโหลดเพียงทิศทางเดียว เพื่อให้ได้คลื่นแรงดันดีซีเรกติฟาย 100- Hz ป้อนให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์



ภาพที่ 2.8 ภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

2.7ภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง

ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์ซึ่งมีหน้าที่หลัก คือ จ่ายกำลังไฟฟ้าความถี่สูงให้แก่โหลดทางด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ ซึ่งแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์นั้นจะมีลักษณะเป็นคลื่นแรงดันดีซีเรกติฟาย ที่ได้มาจากภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และเมื่อนำมาผ่านวงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่แปลงไฟกระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ดัง ภาพที่ 2.9



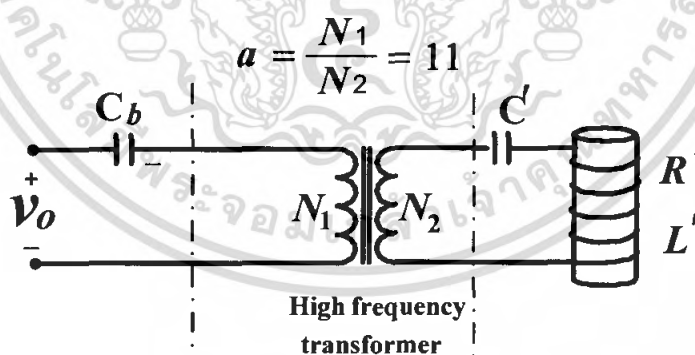
ภาพที่ 2.9 วงจรอินเวอร์เตอร์เวซันท์ชนิดฟูลบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์ยังประกอบไปด้วยวงจรควบคุม ซึ่งจะทำหน้าที่ในการให้กำเนิดสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยม ซึ่งสัญญาณนี้จะได้มาจาก ไอซีเบอร์ TL 494 ซึ่งจะนำสัญญาณพัลส์ที่ได้มาทำการเงื่อนไขแรงดันโดยใช้ ไอซีเบอร์ CD 4070 และ CD 4081 และนำสัญญาณพัลส์ที่ได้มาต่อเข้าวงจรขับสัญญาณ และใช้ Opto เพื่อแยกกราวด์ของสัญญาณทั้งหมด และนำสัญญาณที่ได้นี้ป้อนให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อนำไปขับวงจรถาเกตต่อไป

2.8 ภาคหม้อแปลงความถี่สูงและขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน

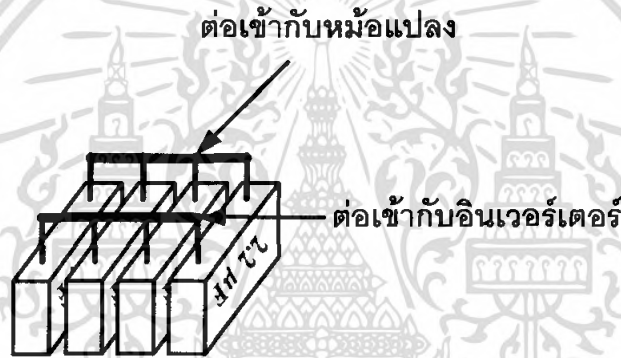
ชุดโพลิตให้ความร้อนด้วยความถี่สูง ซึ่งมองวงจรเสมือนโพลิตเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ เป็น RLC อนุกรมแบบเรโซแนนท์ ซึ่งเป็นชุดโพลิตที่รับแรงดันความถี่สูงจากอินเวอร์เตอร์ แต่การที่จะทำให้เหล็กร้อนแดงได้ต้องมีกระแสสูงมาก เพื่อให้อินเวอร์เตอร์ทำงานได้ จึงใช้หม้อแปลงความถี่สูงโดยอาศัย Turn ratio ของหม้อแปลงเพื่อลดกระแสทางด้านปฐมภูมิให้มีขนาดพิกัดที่อินเวอร์เตอร์ที่ได้ออกแบบไว้ที่เหมาะสม การที่ได้กำลังงานไฟฟ้าสูงสุดจึงจำเป็นต้องใช้คาปาซิเตอร์มาต่ออนุกรมกับโพลิต เพื่อที่โพลิตดอนสภาวะเรโซแนนท์ รีแอกแตนซ์ของตัวเหนี่ยวนำหักล้างกับรีแอกแตนซ์ที่เกิดจากคาปาซิเตอร์หมด ซึ่งทำให้อิมพีแดนซ์ของโพลิตเหลือเฉพาะค่าของตัวต้านทาน ซึ่งเป็นสภาวะที่อิมพีแดนซ์น้อยที่สุดจึงทำให้กระแสไหลในสภาวะนี้ไหลมากที่สุด และส่วนประกอบของโพลิตแบ่งเป็น 3 ส่วน



ภาพที่ 2.11 ชุดเครื่องเหนี่ยวนำความถี่สูงเพื่อให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน

2.8.1. คาปาซิเตอร์(Cb) ป้องกันแรงดันกระแสตรงเข้าสู่หม้อแปลง

การนำคาปาซิเตอร์มาอนุกรมกับหม้อแปลงดังแสดงใน ภาพที่ 2.11 ทางด้านปฐมภูมิ ซึ่งแรงดันเอาต์พุทของงานวิจัยนี้เป็นการควบคุมเนื้อแรงดันแบบไม่สมมาตร ซึ่งทำให้แรงดันที่มาจากอินเวอร์เตอร์ไม่สมมาตรเมื่อทำการเชื่อมเนื้อ ทำให้มีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงรวมอยู่ด้วย และเพื่อป้องกันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไหลเข้าสู่หม้อแปลง ซึ่งจะทำให้หม้อแปลงเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องต่อคาปาซิเตอร์(Cb)อนุกรมกับหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิ และปลายอีกด้านต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้ทนต่อกระแสสูงที่ไหลผ่านและต้องการค่าของคาปาซิเตอร์ให้มีค่ามากกว่าค่าคาปาซิเตอร์ที่ทำให้เกิดเรโซแนนซ์มากๆ เพื่อไม่ให้ค่าคาปาซิเตอร์(Cb)ส่งผลต่อค่าคาปาซิเตอร์ที่ทำให้เกิดเรโซแนนซ์ จึงจำเป็นต้องนำคาปาซิเตอร์(Cb) มาต่อขนานกัน ดังแสดงใน ภาพที่ 2.12

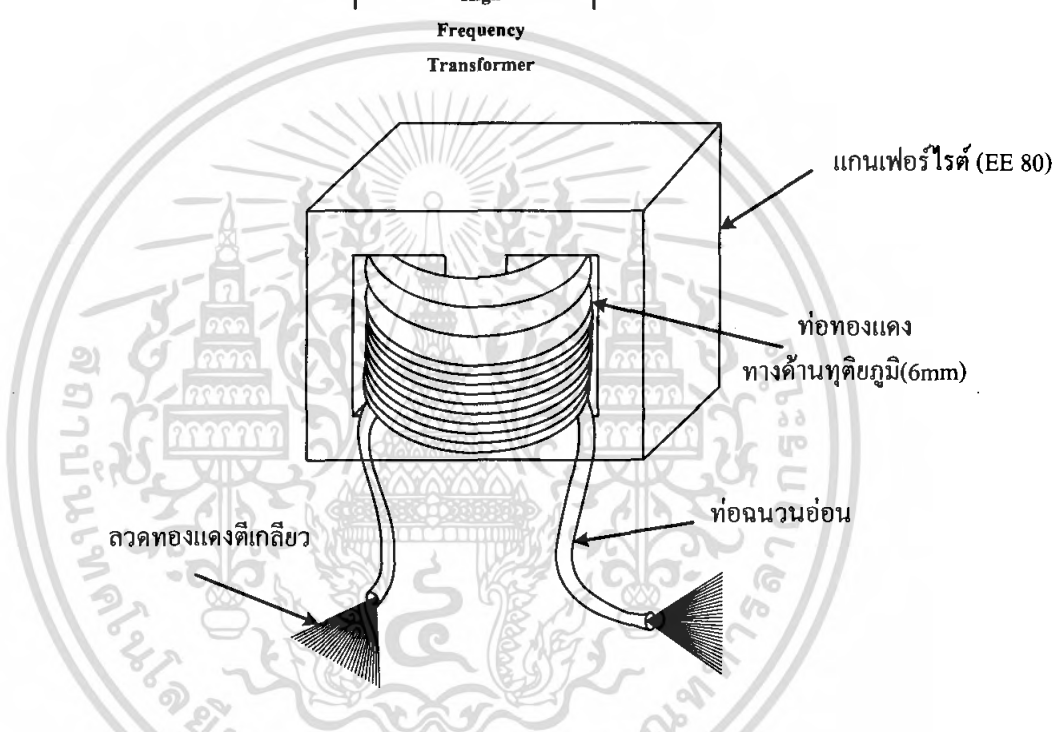
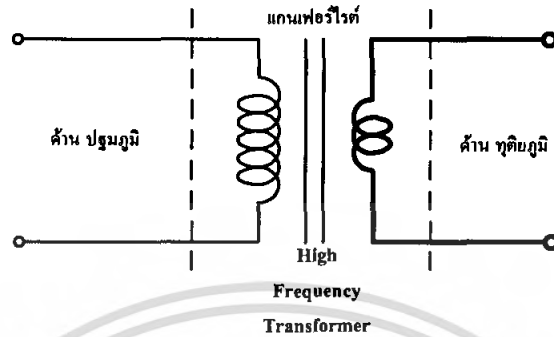


ภาพที่ 2.12 การต่อขนานคาปาซิเตอร์ C b เพื่อป้องกันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไหลย้อนกลับเข้าหม้อแปลง

2.8.2. หม้อแปลงส่งผ่านกำลังความถี่สูง(High Frequency Transformer)

จากผลการวัดและการคำนวณทางทฤษฎีจะเห็นได้ว่า ค่าความต้านทาน และค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดเหนี่ยวนำที่มีชิ้นงานมีค่าต่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงเพื่อปรับระดับแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ให้มีความเหมาะสมกับแรงดันของโหลด นอกจากนี้ยังทำหน้าที่แยกโหลดขดลวดเหนี่ยวนำที่มีชิ้นงานออกจากสายส่งไฟฟ้า ชุดหม้อแปลงความถี่สูงจะเลือกใช้ “แกนเฟอร์ไรต์” เพราะว่ามีจุดอิ่มตัวของฟลักซ์แม่เหล็กสูงเกิดการสูญเสียต่ำที่ความถี่สูงทำหน้าที่ส่งผ่านพลังงานจาก ชุดอินเวอร์เตอร์ไปยังโหลด ซึ่งภายในจะประกอบไปด้วยจำนวนขดลวดทองแดงทีเกลียวจะอยู่ทางด้านปฐมภูมิ และทางด้านทุติยภูมิจะใช้ท่อทองแดงเป็นตัวนำเพื่อที่จะสามารถระบายความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.13โดยใช้น้ำไหลเข้าไปในท่อทองแดงเนื่องจากทางด้านทุติยภูมิจะมีกระแสสูงดังนั้นเราจึงใช้น้ำเป็นตัวระบายความร้อนซึ่งกระแสที่ไหล

จะไหลเฉพาะแต่ที่ผิวของท่อทองแดงเท่านั้น ซึ่งจะทำให้ขดลวดมีประสิทธิภาพสูงและอายุการใช้งานได้นาน

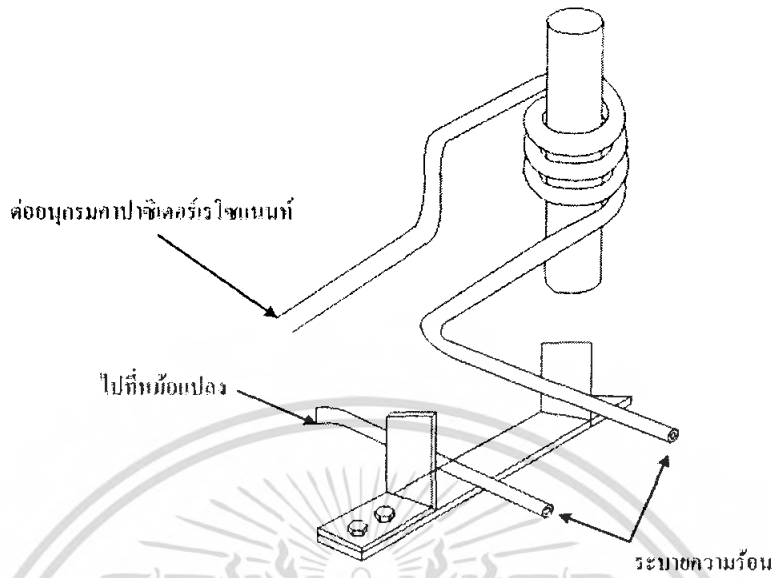


ภาพที่ 2.13 ชุดหม้อแปลงความถี่สูงใช้แกนเฟอร์ไรต์

2.8.3 การเลือกใช้ขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน

ขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนเป็นส่วนประกอบสำคัญที่สุดส่วนหนึ่งของการให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูง เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งผ่านกำลังงานไฟฟ้าเพื่อแปลงรูปพลังงานให้อยู่ในรูปแบบกำลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง เพื่อจะใช้เส้นแรงแม่เหล็กนี้ทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ชิ้นงานซึ่งปกติจะเป็นวัสดุที่มีลักษณะเป็นสารแม่เหล็กเช่น เหล็ก เป็นต้นในการเลือกขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนที่ใช้งานโดยในโปรเจกต์นี้ ได้เลือกใช้การให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำโดยทั่วไป ดังแสดงรูปที่ 2.14 จากพิกัดต่างๆและจุดประสงค์และลักษณะการนำไปใช้งาน กระแสที่ผ่านขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.14 ขดลวดการให้ความร้อนแก่อินเหนียวและระบายความร้อน

ในการออกแบบแหล่งจ่ายให้ความร้อนเหนียวนำความร้อนต้นแบบได้เลือกที่จะใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์อนุกรม ชนิดจ่ายแรงดันเป็นแหล่งจ่ายกำลัง ซึ่งจะมีแรงดัน DC เท่ากับ 310 โวลต์ดังนั้นโดยปกติขดลวดเหนียวนำความร้อนที่ใช้ทั่วไปจะมีจำนวนรอบน้อยมาก ซึ่งจะไม่สามารถรับแรงดันที่สูงได้ดังนั้นจึง จำเป็นต้องลดระดับแรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดเหนียวนำความร้อนลงในระดับที่ขดลวดและแหล่งจ่ายความถี่สูงสามารถเข้ากันได้ ซึ่งทำได้โดยใช้หม้อแปลงลดระดับแรงดันลง ซึ่งก็จะทำให้กระแสด้านทุติยภูมิจะมีกระแสสูง ดังนั้นในการออกแบบขดลวดจึงจำเป็นต้องให้สามารถรับปริมาณกระแสที่สูงได้ประมาณ 190 แอมแปร์ และเนื่องจากการใช้งานที่ความถี่สูงซึ่งมีผลของ Skin effect ทำให้ กระแสส่วนใหญ่ไหลเฉพาะที่บริเวณผิวของตัวนำดังนั้นขดลวดเหนียวนำจำเป็นต้องมีพื้นที่ผิวมากพอเพื่อลดกำลังงานสูญเสียจากค่าความต้านทานของตัวนำ ของลวดจึงต้องมีพื้นที่เพียงพอในการให้กระแสไหลได้อย่างเพียงพอการระบายความร้อนและอายุการใช้งาน เนื่องจากขดลวดเหนียวนำความร้อนมีกระแสไฟฟ้าความถี่สูงและปริมาณมากไหลผ่านจึงทำให้เกิดความร้อนเนื่องจากกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้น และขดลวดนี้ยังวางอยู่ใกล้แท่งเหล็กชิ้นงาน ซึ่งมีอุณหภูมิสูงมากทำให้ขดลวดได้รับความร้อนมากขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการระบายความร้อนให้กับขดลวด ซึ่งจากลักษณะของขดลวดซึ่งได้เลือกใช้เป็นท่อทองแดงซึ่งง่ายต่อการขุดและการพันดังนั้นจึงเลือกการระบายความร้อนโดยใช้ปั๊มน้ำไหลวนผ่านภายในขดลวดอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้ขดลวดมีประสิทธิภาพสูงและอายุการใช้งานนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

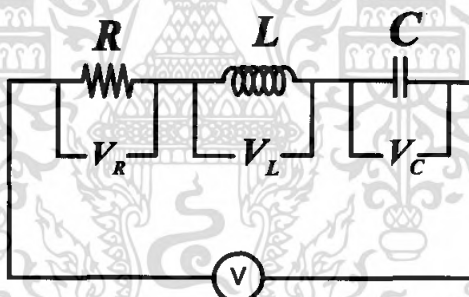
2.9 การควบคุมกำลังไฟฟ้าของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดอนุกรม

2.9.1 หลักการเรโซแนนซ์

เมื่อเราปรับความถี่ที่ป้อนให้กับวงจรอนุกรม RLC จะพบว่าที่ค่าความถี่ค่าหนึ่ง ค่า X_L จะเท่ากับ X_C เป็นผลให้ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของวงจร RLC มีค่าต่ำที่สุดนั่นคือ $Z=R$ ในสภาวะเช่นนี้เราเรียกว่าอยู่ในสภาวะเรโซแนนซ์ ค่าความถี่ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance Frequency) เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำสุด กระแสที่ไหลในวงจรจึงมีค่ามากที่สุด และเป็นผลให้แรงดันตกคร่อม L และ C มีค่าเพิ่มขึ้นลักษณะวงจรต้านเอาท์พุท จะเป็นวงจร RLC เรโซแนนซ์ซึ่งโปรเจกต์นี้ได้ใช้วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมโดยจะมีพฤติกรรมทางไฟฟ้าดังนี้

2.9.1.1. วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม (Series Resonant Circuit) จาก ภาพที่ 2.15

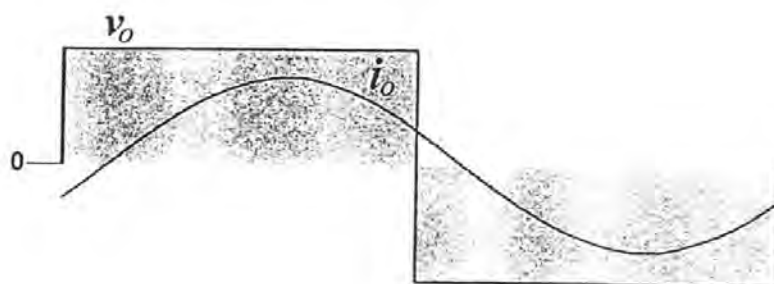
ลักษณะพฤติกรรมทางไฟฟ้าของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม จะมีอิมพีแดนซ์ที่ตำแหน่งเรโซแนนซ์ต่ำที่สุด ดังนั้นจะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าที่ไหลใน R มีค่าสูงสุด การควบคุมกำลังไฟฟ้าทำได้โดยการลดแรงดันที่ป้อนให้วงจรหรือเลื่อนความถี่การใช้งานให้สูงกว่าตำแหน่งเรโซแนนซ์



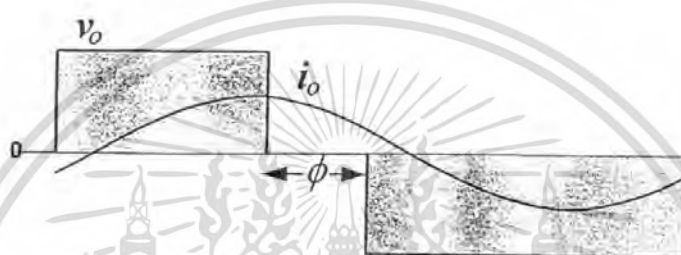
ภาพที่ 2.15 วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม

การควบคุมกำลังไฟฟ้าของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมสามารถทำได้หลายวิธี แต่ในโปรเจกต์นี้ได้เลือกทำการปรับควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการ Asymmetrical Voltage Controlled และยังได้ทำการปรับปรุง Power Factor อีกด้วยโดยหลักการควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการนี้สามารถอธิบายได้ดังนี้

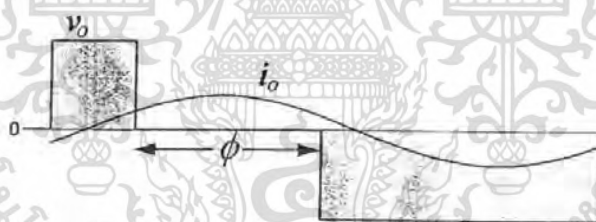
รูปแบบลักษณะคลื่นแรงดันแบบไม่สมมาตรทางด้านเอาท์พุทของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมความถี่สูง เพื่อใช้สำหรับการควบคุมกำลังไฟฟ้า โดยจะใช้หลักการควบคุมแรงดันแบบไม่สมมาตรที่มีการสวิตช์ขณะแรงดันเท่ากับศูนย์



a) การเจือปนแรงดันแบบไม่สมมาตรที่มุม $\phi = 0^\circ$



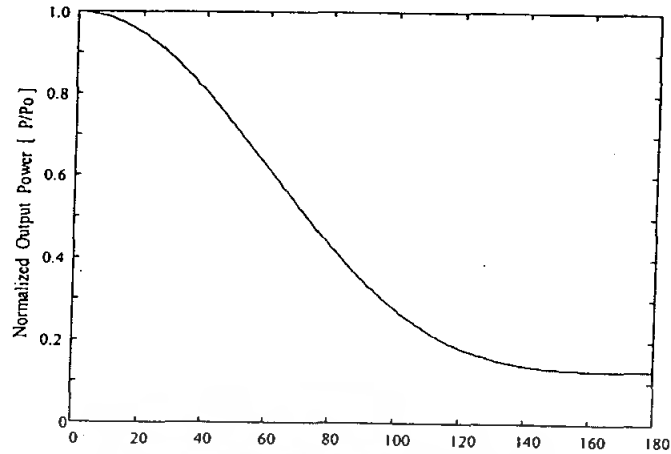
b) การเจือปนแรงดันแบบไม่สมมาตรที่มุม $\phi = 60^\circ$



c) การเจือปนแรงดันแบบไม่สมมาตรที่มุม $\phi = 120^\circ$

ภาพที่ 2.16 คลื่นแรงดันและกระแสทางด้านเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์กรณีที่มีการเจือปนแรงดันแบบไม่สมมาตรที่มุม ϕ ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

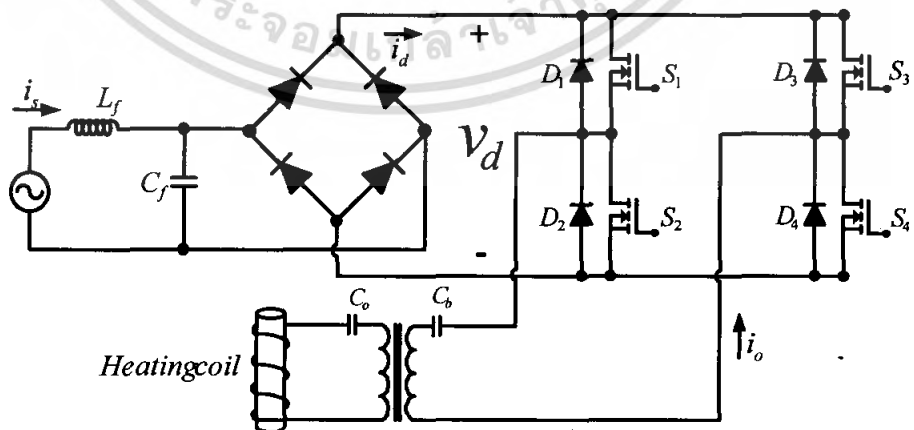


ภาพที่ 2.17 กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ที่มีการเงื่อนไขแรงดันแบบไม่สมมาตรที่มุม ϕ ต่างๆ

จาก ภาพที่ 2.17 จะพบว่าเมื่อทำการเงื่อนไขแรงดันมากขึ้นกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จะลดลงเรื่อยๆ การควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการ Asymmetry Voltage ซึ่งถือว่ามีข้อดีอย่างหนึ่ง แต่ก็จะมีข้อจำกัดอยู่คือ เมื่อทำการเงื่อนไขแรงดันมากขึ้นจะมีผลทำให้กระแสจ่ายไหลลดทางด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ผิดเพี้ยนไปจากคลื่นไซน์มากขึ้น

2.10 โหมดการทำงานของวงจรฟูลบริดจ์เรโซแนนท์แบบอนุกรม

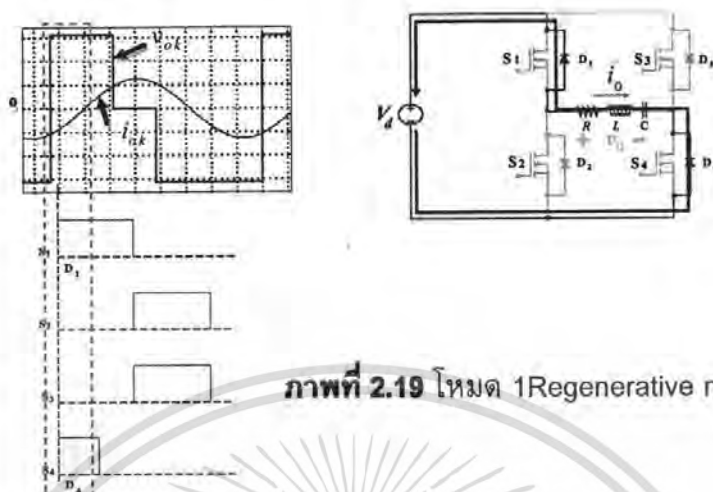
จาก ภาพที่ 2.18 จะเห็นได้ว่าวงจรประกอบไปด้วยสวิตช์ทั้งหมด 4 ตัว นั่นคือ สวิตช์ S_1, S_2, S_3 และ S_4 โดยจะมีลักษณะการทำงานดังนี้คือ คู่สวิตช์ S_1, S_4 และ S_2, S_3 จะทำงาน ON-OFF สลับกันไป สามารถแบ่งออกเป็น 5 โหมดการทำงานได้ดังนี้



ภาพที่ 2.18 โหมดการทำงานของวงจรฟูลบริดจ์เรโซแนนท์แบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

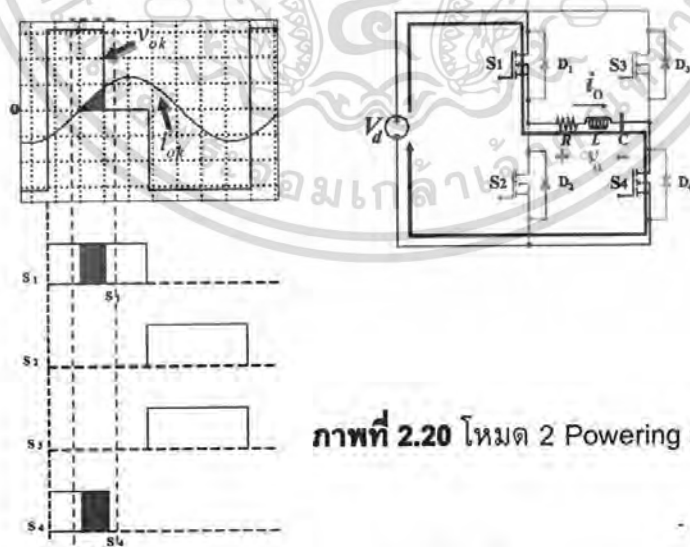
2.10.1 หลักการทำงานของโหมด 1 Regenerative mode



ภาพที่ 2.19 โหมด 1 Regenerative mode

โหมด I (Regenerating Mode) : เป็นโหมดกำลังไฟฟ้าที่สะสมไว้ในโหลดเอชซี จะถูกป้อนคืนสู่แหล่งจ่ายดีซีผ่านไดโอด D_1 และ D_4 ในโหมดการทำงานนี้แรงดันเอาต์พุต v_o จะเป็นบวกแต่กระแสเอาต์พุต i_o ยังคงเป็นลบ ซึ่งโหมดทำงานนี้มีทิศทางกระแสไหลผ่านไดโอด D_1 และ D_4

2.10.2 หลักการทำงานของโหมด 2 Powering mode

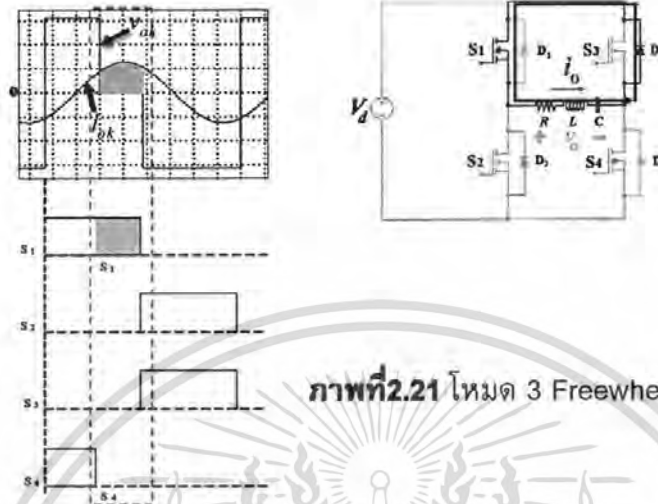


ภาพที่ 2.20 โหมด 2 Powering mode

โหมด II (Powering Mode) : กำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายดีซีจะจ่ายไปยังโหลดผ่านสวิตช์ S_1 และ S_2 ในโหมดการทำงานนี้ทั้งแรงดันและกระแสเอาต์พุต v_o , i_o จะเป็นบวก ซึ่งโหมดทำงานนี้มีทิศทางกระแสไหลผ่านสวิตช์ S_1 และ S_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

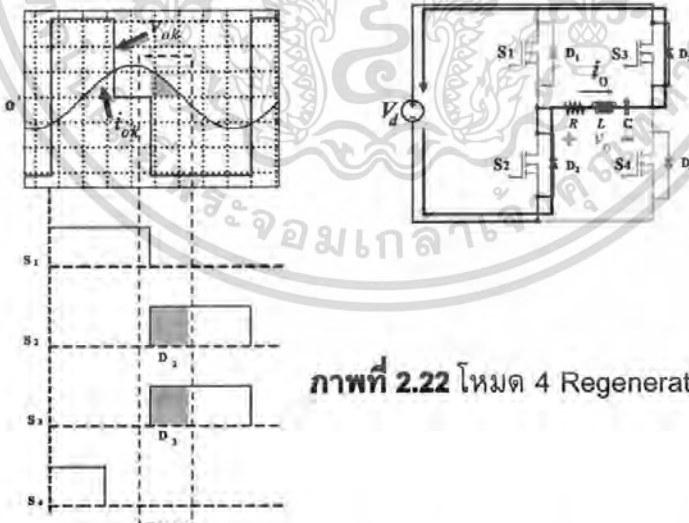
2.10.3 หลักการทำงานของโหมด 3 Freewheeling mode



ภาพที่ 2.21 โหมด 3 Freewheeling mode

โหมด III (Freewheeling Mode) : ไม่มีการขนถ่ายกำลังไฟฟ้าระหว่างแหล่งจ่ายดีซีและโหลดเอซี แต่พลังงานที่สะสมไว้ในโหลดเอซีจะถูกสลายโดยกระแสไหลวนผ่านความต้านทานของวงจร ซึ่งแบบไม่สมมาตรกระแสนี้จะไหลผ่านสวิตช์ S_1 และไดโอด D_3

2.10.4 หลักการทำงานของโหมด 4 Regenerative mode

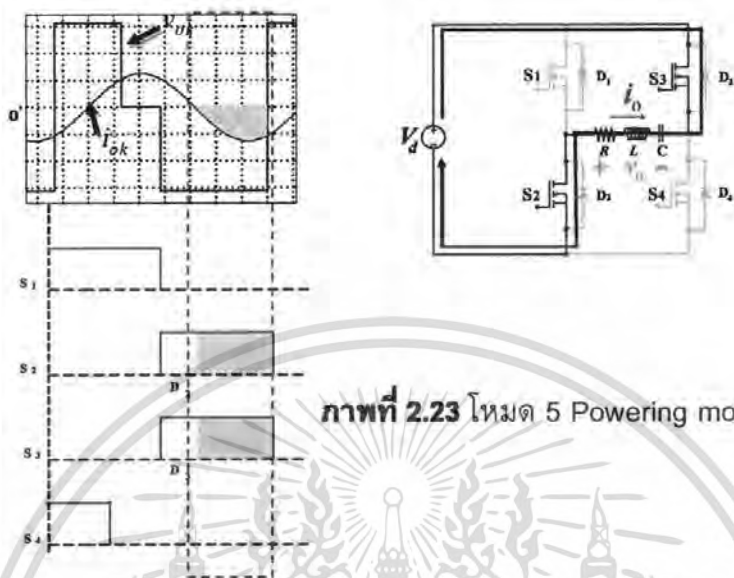


ภาพที่ 2.22 โหมด 4 Regenerative mode

โหมด IV (Regenerating Mode) : กำลังไฟฟ้าที่สะสมไว้ที่เอซีโหลดจะถูกป้อนคืนสู่แหล่งจ่ายดีซีผ่านไดโอด D_2 และ D_3 ในโหมดการทำงานนี้แรงดันเอาต์พุต v_o จะเป็นลบแต่กระแสเอาต์พุต i_o ยังคงเป็นบวก ซึ่งโหมดการทำงานนี้มีทิศทางกระแสไหลผ่านไดโอด D_2 และ D_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.5 หลักการทำงานของโหมด 5 Powering mode



ภาพที่ 2.23 โหมด 5 Powering mode

โหมด V (Powering Mode) : กำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายดีซีจะจ่ายไปยังโหลดผ่านสวิตช์ S_2 และ S_3 ในโหมดการทำงานนี้ทั้งแรงดันและกระแสเอาต์พุต v_o , i_o จะเป็นลบ ซึ่งโหมดทำงานนี้มีทิศทางกระแสไหลผ่านสวิตช์ S_2 และ S_3

บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 การพิจารณาออกแบบหม้อแปลงสำหรับงานด้านการเหนี่ยวนำความถี่สูง

ในการพิจารณาออกแบบใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับส่งผ่านกำลังทำงานที่ความถี่สูงนั้น ลักษณะและโครงสร้างของหม้อแปลงที่ใช้สำหรับงานย่านความถี่สูงจะมีความแตกต่างกับหม้อแปลงที่ทำงานในย่านความถี่ต่ำ และสำหรับการพิจารณาออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงซึ่งทำงานกับโหลดซึ่งเป็นวงจรเรโซแนนท์อนุกรมจะพบว่าค่าความต้านทานของขดลวดและค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลของหม้อแปลง (Leakage inductance) จะเป็นตัวแปรที่มีผลต่อค่าความต้านทานและค่าความเหนี่ยวนำของวงจรเรโซแนนท์อนุกรมด้วย โดยเฉพาะลักษณะโหลดของแหล่งจ่ายให้ความร้อนซึ่งมีลักษณะเป็นวงจรเรโซแนนท์อนุกรมที่มีค่าความต้านทานและค่าความเหนี่ยวนำต่ำมาก รวมทั้งยังต้องพิจารณาถึงระบบการระบายความร้อนให้กับขดลวดทุกขดขั้วที่มีต้องมีความสามารถระบายได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากการไหลของกระแสไฟฟ้าความถี่สูงปริมาณมาก ดังนั้นแนวทางในการพิจารณาออกแบบหม้อแปลงทำงานที่ความถี่สูงในสภาวะเรโซแนนท์จึงมีลักษณะการพิจารณาโดยการรวบรวมเงื่อนไขที่เป็นข้อจำกัดและพิกัดต่างๆที่กำหนดไว้เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาออกแบบหม้อแปลงให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ดังมีรายละเอียดดังนี้

1. ไม่สามารถรู้ค่า R และ L ของโหลดในตอนแรกได้เนื่องจากต้องทดสอบหาค่าได้ขณะใช้งานจริงที่พิกัด ทำให้ไม่สามารถกำหนด Ratio ของหม้อแปลงได้ในตอนแรก แต่สามารถทดสอบหาค่า R_{eq} และ L_{eq} ได้ซึ่งเป็นค่า R และ L ของทั้งวงจรเรโซแนนท์ซึ่งเป็นการรวบรวมค่า R และ L ของหม้อแปลงกับขดลวดตัวนำเข้าไปด้วย
2. กระแสด้านขดขั้วขั้วมีค่าสูงมากทำให้เกิดกำลังสูญเสียและเกิดความร้อนที่ขดลวดขดขั้วสูงมาก
3. แรงดันเป็นสแควร์มีฮาร์โมนิกส์และกระแสมีลักษณะเป็นคลื่นชานีย์
4. จำนวนรอบด้านขดขั้วขั้วมีจำนวนรอบที่จำกัดเนื่องจากขนาดของตัวนำที่มีขนาดใหญ่ดังนั้นต้องออกแบบก่อนขดลวดด้านปฐมภูมิและขดลวดด้านทุติยภูมิต้องดีเกลียวจำนวนหลายเส้นเพื่อให้ได้พื้นที่ผิวรวมเพียงพอในการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้
5. แกนเฟอร์ไรต์ที่มีขนาดใหญ่มีให้เลือกใช้ไม่มาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกแกนก่อนและเพิ่มกำลังหม้อแปลงโดยขนานแกน
6. ระบายความร้อนด้วยน้ำให้ขดลวดตัวนำด้านทุติยภูมิได้เนื่องจากใช้ท่อทองแดงเป็นขดลวดขดขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. แกนเฟอร์ไรต์มีลักษณะรูปทรงเป็นแท่งที่มีขนาดคงที่ทำให้การเพิ่มกำลังทำได้ โดยการขนานแกนแต่ทำให้ปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า แต่ได้กำลังที่สูงขึ้นไม่มาก ดังนั้นการเพิ่มกำลังไม่มากแต่ต้องเพิ่มขนาดถึงเท่าตัว ทำให้ราคาของแกนสูงขึ้นมาก

3.2 พื้นฐานหม้อแปลงสำหรับแหล่งจ่ายแบบอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง

ลักษณะหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ซึ่งเหมาะสำหรับนำมาใช้งานความถี่สูงนั้นก็เนื่องจาก ที่ความถี่สูงนั้นหม้อแปลงโดยทั่วไปจะเกิดกำลังสูญเสียเพิ่มขึ้นเมื่อทำงานที่ความถี่สูง ดังแสดงในสมการ (3.1)

$$P_{loss} = P_0 f^a B^b \quad (3.1)$$

ตัวแปร a และ b นั้นจะมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของแกนที่นำมาใช้งาน สำหรับแกนเฟอร์ไรต์ นั้นจะมีตัวแปรทั้ง 2 จะมีค่าน้อยมาก โดยปกติผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนด loss ในรูปแบบ watt ต่อ ปริมาตรหรือ watt ต่อน้ำหนักสำหรับที่มีค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กและความถี่สูง ย่านความถี่การใช้งานของแกนเฟอร์ไรต์โดยปกติจะอยู่ในช่วง 10 kHz ถึง 1 MHz ตามวัสดุที่ใช้ทำแกน ในการใช้งานแกนเฟอร์ไรต์จะมีข้อดีตรง รูปทรงประกอบง่ายเนื่องจากมี 2 ชั้นประกบกัน มีขนาดเล็กน้ำหนักเบาเนื่องจากทำงานที่ความถี่สูง ใช้จำนวนรอบต่ำเนื่องจากทำงานที่ความถี่สูงดังแสดงในสมการ (3.11)

$$B_{max} = \frac{V \cdot 10^8}{k \cdot N \cdot A_e \cdot f_{sw}} \quad (3.2)$$

B_{max} = Maximum flux Density (Gauss)

V = Input Voltage (Volt)

k = constant

A_e = effective Area (c.m.)

f_{sw} = Switching Frequency (Hz)

ลักษณะแกนเฟอร์ไรต์ที่มีใช้กันโดยทั่วไป คือ EE, EI, ETD, ER, CC, UU, RM, EEL, CI, RM, POT แต่แกนที่มีขนาดใหญ่ในการให้กำลังได้เป็นกิโลวัตต์มักใช้เป็นแกนชนิด EE ซึ่งมีขายโดยทั่วไปจะมีให้เลือก 2 ขนาด คือแกนขนาด EE 55 กับแกนขนาด EE 80 ซึ่งแกนขนาด EE 80 จะมีขนาดใหญ่กว่าแกนขนาด EE 55 ดังนั้นเมื่อเลือกใช้แกนขนาด EE 55 จึงต้องใช้การขนานกันของแกนมากกว่า 1 คู่ แต่เนื่องจากพื้นที่ในการพันขดลวดของแกนขนาด EE 55 มีขนาดเล็กซึ่งไม่เหมาะที่จะใช้พันขดลวดที่ต้องการระบายความร้อน ดังนั้นจึงต้องพิจารณาที่จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกใช้แกนขนาด EE 80 ซึ่งมีการพันขดลวดใหญ่กว่าและสามารถจ่ายกำลังได้มากกว่า ส่วนจุดด้อยของการนำแกนเฟอร์ไรต์มาใช้งาน คือ เฟอร์ไรต์แตกหักง่าย ใช้ที่ความถี่ต่ำกว่า 20 kHz ไม่ได้ เนื่องจากจะอึดตัวได้ง่าย เมื่อถูกนำมาใช้งานที่พิกัดกำลังสูงมีขนาดให้เลือกไม่มาก การเพิ่มกำลังโดยการขนานทำได้โดยต้องเพิ่มจำนวนแกนครึ่งละ 1 คู่ ขึ้นไปซึ่งอาจเกินความจำเป็นได้รูปทรงและชนิดของเนื้อสารของแกนเฟอร์ไรต์โดยทั่วไปจะถูกหล่อมาตามขนาดที่กำหนดมาแล้วจากผู้ผลิต เช่น Philips, Ferroxe Cube, Tomita เป็นต้น

3.3 ขั้นตอนการพิจารณาการออกแบบหม้อแปลงแหล่งจ่ายให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำที่ความถี่สูง

จากเงื่อนไขและข้อจำกัดที่กล่าวมาแล้วสามารถนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบหม้อแปลงที่ใช้ได้ดังนี้

3.3.1. เลือกขนาดและชนิดของแกนหม้อแปลง ในการเลือกชนิดเนื้อสารของแกนจะพิจารณาจากความถี่สำหรับย่านการใช้งานซึ่งมีการใช้งานในย่านความถี่ 60 kHz ถึง 80 kHz ซึ่งแกนเฟอร์ไรต์ที่มีขายตามทั่วไปก็สามารถทำงานในย่านความถี่นี้ได้ สำหรับการเลือกใช้ขนาดแกนจะพิจารณาจากแนวทางดังนี้

3.3.1.1 เลือกแกนที่สามารถจ่ายกำลังที่พิกัดได้โดยจะเลือกแกนที่สามารถจ่ายได้สูงกว่าพิกัดใช้งานแต่เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของแกนเฟอร์ไรต์ที่มีขายกันโดยทั่วไป จะถูกหล่อมาเป็นคู่ ซึ่งในการใช้งานเมื่อต้องการเพิ่มกำลังสามารถทำได้โดยการขนานแกนเพิ่มเข้าไป โดยจะสามารถเพิ่มได้เป็นคู่ๆ ดังนั้นการเพิ่มขนาดแกนเป็น 2 คู่ จะทำให้พื้นที่หน้าตัดของแกนเป็น 2 เท่า ซึ่งก็สามารถลดจำนวนรอบของขดลวดลงได้ทำให้มีพื้นที่ในการระบายความร้อนให้กับแกนและขดลวดได้มากขึ้น

3.3.1.2 เลือกขนาดแกนที่สามารถระบายความร้อนให้ตัวนำได้สะดวก ดังนั้นแกนที่เลือกจะต้องมีช่องพันขดลวดที่ใหญ่เพียงพอ เนื่องจากได้เลือกใช้ท่อทองแดงเป็นขดลวดทุติยภูมิ เพื่อที่จะสามารถระบายความร้อนได้โดยสะดวก ดังนั้นช่องพันขดลวดของหม้อแปลงจำเป็นต้องมีความกว้างเพียงพอที่จะสามารถตัดแล้วพันรอบแกนเฟอร์ไรต์ได้

3.3.2. การเลือกพิจารณาเลือกใช้ขดลวดตัวนำ ลวดตัวนำที่ใช้เป็นขดลวดด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิที่พิจารณาเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมของการใช้งาน เนื่องจากหม้อแปลงถูกใช้งานที่ความถี่สูงทำให้กระแสไฟฟ้าจะไหลอยู่บริเวณผิวเนื่องจากผลของ Skin Effect ดังนั้นจึงต้องการเฉพาะพื้นที่ผิวของตัวนำในการให้กระแสไหลเท่านั้น โดยขดลวดด้านทุติยภูมิเลือกใช้ลวดตัวนำขนาดเล็กทีเกลียวขนานกันจำนวนหลายเส้นเพื่อให้มีพื้นที่ผิวรวมกันมากเพียงพอในการรับกระแสด้านปฐมภูมิไหลได้ ขนาดเส้นลวดที่ใช้ในการตีเกลียวเลือกใช้ขนาดลวดทองแดงที่ไม่เล็กจนเกินไปเนื่องจากเมื่อถูกตีเกลียวจะไม่ขาดง่าย สำหรับด้านทุติยภูมิเลือกใช้ท่อทองแดงกลวงขด เพื่อที่จะสามารถระบายความร้อนด้วยน้ำให้ขดลวดทุติยภูมิร่วมกับขดลวดเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนได้ เนื่องจากข้อหนึ่งของขดลวดทฤษฎีของหม้อแปลง ต่ออยู่กับด้านหนึ่งของขดลวด เหนี่ยวนำความร้อน ดังนั้นจึงสามารถใช้ระบายความร้อนร่วมกันได้ ขนาดท่อทองแดงที่ใช้จะพิจารณาจากขนาดที่ใหญ่มากที่สุด เพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุดแต่ต้องเป็นท่อทองแดงที่สามารถตัดให้พันรอบแกนหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ได้โดยไม่บวมไม่แบน ซึ่งขนาดท่อทองแดงที่เลือกใช้มีขนาด 6 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถพันขดทฤษฎีชั้นหนึ่งได้ 6 รอบ ซึ่งลักษณะในการใช้ท่อทองแดงเป็นขดทฤษฎีก็จะสะดวกในการพันแบบชั้นเดียว ซึ่งเป็นชั้นนอกสุดของการพันขดลวดสำหรับหม้อแปลงด้วย

3.3.3. การพิจารณากำหนดจำนวนรอบและอัตราส่วนหม้อแปลง $N_1 : N_2$ เนื่องจากลักษณะโหลดของแหล่งจ่ายให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำเป็นขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน ซึ่งโดยปกติไม่สามารถหาค่า R และ L ได้ด้วยเครื่องวัดค่า R และ L ทั่วไป ดังนั้นในการออกแบบหม้อแปลงเพื่อใช้กับโหลดชนิดนี้ จึงเป็นการออกแบบโดยอาศัยการทดลองโดยเริ่มจากการกำหนดจำนวนรอบสูงสุดทางด้านทฤษฎีที่สามารถพันได้ จากนั้นพันลวดทางด้านปฐมภูมิเพื่อให้ได้กระแสจ่ายไปยังโหลดได้ที่พิกัด ซึ่งในการพันขดลวดปฐมภูมินี้ถ้าจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนรอบมากขึ้นแต่พื้นที่ไม่เพียงพอ ต้องทำการลดรอบทางด้านทฤษฎีลง ครั้งละ 1 รอบ จนสามารถพันขดลวดที่พิกัดกระแสสูงที่ต้องการได้ ซึ่งก็จะทำให้ได้อัตราส่วนแรงดัน $N_1 : N_2$ หลังจากได้อัตราส่วนที่ต้องการ ก็สามารถประมาณค่า R และ L ของโหลดได้ จากนั้นนำจำนวนรอบที่คำนวณและข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาความหนาแน่นสนามแม่เหล็กซึ่งเลือกค่าใช้งานอยู่ที่ไม่เกิน 1600 เกาส์ ถ้าเกินกว่าที่กำหนดไม่มากและสามารถพันจำนวนรอบปฐมภูมิได้มากขึ้นได้ก็จะพิจารณาเพิ่มจำนวนรอบด้านปฐมภูมิเป็นอย่างแรก แต่ถ้าค่าความหนาแน่นสูงกว่า 2000 เกาส์ จะพิจารณานานแกนเพิ่มเข้าไปอีก แล้วเริ่มทดสอบหาขดลวดปฐมภูมิใหม่ต่อไป แต่กรณีที่มีความหนาแน่นที่คำนวณได้มีค่าน้อยมาก 1000 เกาส์ ก็จะพิจารณาลดจำนวนรอบและเพิ่มจำนวนเส้นลวดตีเกลียวด้านปฐมภูมิเพื่อลดกำลังงานสูญเสียในตัวนำ

3.4 การพิจารณาการออกแบบและเลือกใช้ขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน

ขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนเป็นส่วนประกอบสำคัญที่สุด ส่วนหนึ่งของงานการให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูง เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเพื่อแปลงรูปพลังงานให้อยู่ในรูปแบบกำลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยความถี่สูง เพื่อจะใช้เส้นแรงแม่เหล็กนี้ทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ชิ้นงานปกติจะเป็นวัสดุที่มีลักษณะเป็นสารแม่เหล็ก เช่น เหล็ก เป็นต้น

3.5 แนวทางพื้นฐานการเลือกพิจารณาเลือกขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน

ในการออกแบบและพิจารณาเลือกขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนที่ใช้งานนี้ได้อาศัยแนวทางการศึกษาจากข้อมูลของขดลวดเหนี่ยวนำที่ใช้กันในอุตสาหกรรมการให้ความเอ็กสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนด้วยการเหนี่ยวนำโดยทั่วไปประกอบด้วยลักษณะพิกัดต่างๆ จุดประสงค์และลักษณะการนำไปใช้งานโดยมีแนวทาง 5 ประการดังต่อไปนี้

3.5.1 กระแสที่ผ่านขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน ในการออกแบบแหล่งจ่ายให้ความร้อนเหนี่ยวนำความร้อนต้นแบบได้เลือกที่จะใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์อนุกรม ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันเป็นแหล่งจ่ายกำลัง ซึ่งจะมีแรงดัน DC เท่ากับ 310 โวลท์ ดังนั้นโดยปกติขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนที่มีใช้กันโดยทั่วไปจะมีรอบน้อยมาก ซึ่งก็จะไม่รับแรงดันที่สูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดระดับแรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนลงในระดับที่ขดลวดและแหล่งจ่ายความถี่สูงสามารถเข้ากันได้ ซึ่งทำโดยใช้หม้อแปลงลดระดับแรงดันลง ซึ่งก็จะทำให้กระแสด้านทุติยภูมิจะมีกระแสสูง ดังนั้นในการออกแบบขดลวดจึงจำเป็นต้องให้สามารถรับปริมาณกระแสที่สูงได้ไม่เกินประมาณ 150 แอมป์ และเนื่องจากการใช้งานที่ความถี่สูงซึ่งมีผลของ Skin effect ทำให้กระแสส่วนใหญ่ไหลเฉพาะที่บริเวณผิวของตัวนำ ดังนั้นขดลวดเหนี่ยวนำจำเป็นต้องมีพื้นที่ผิวมากพอเพื่อลดกำลังงานสูญเสียจากค่าความต้านทานของตัวนำ ขดลวดจึงต้องมีพื้นที่ผิวมากพอเพื่อลดกำลังงานสูญเสียจากค่าความต้านทานของตัวนำ ขดลวดจึงต้องมีพื้นที่เพียงพอในการให้กระแสไหลได้อย่างเพียงพอ

3.5.2 ลักษณะรูปทรงขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน จากลักษณะไหลที่ใช้นี้ จะเลือกใช้เบ้าเตาหลอมที่ทำจากกราไฟต์ โดยจะทำการพันท่อทองแดงอยู่รอบเตาหลอมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยที่สุดเท่าที่เบ้าเตาหลอมจะใส่ได้ เพื่อให้ท่อทองแดงสามารถเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กไปยังเตาหลอมให้มากที่สุด

3.5.3 กำลังงานที่ขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน โดยได้กำหนดพิกัดกำลังไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 3 KVA ดังนั้นขนาดกำลังไฟฟ้าของเครื่อง ขนาดของชิ้นงานและพื้นที่การให้ความร้อนจะมีความสัมพันธ์กับขนาดและจำนวนรอบของขดลวด รวมทั้งความเร็วของช่วงเวลาในการให้ความร้อนด้วย

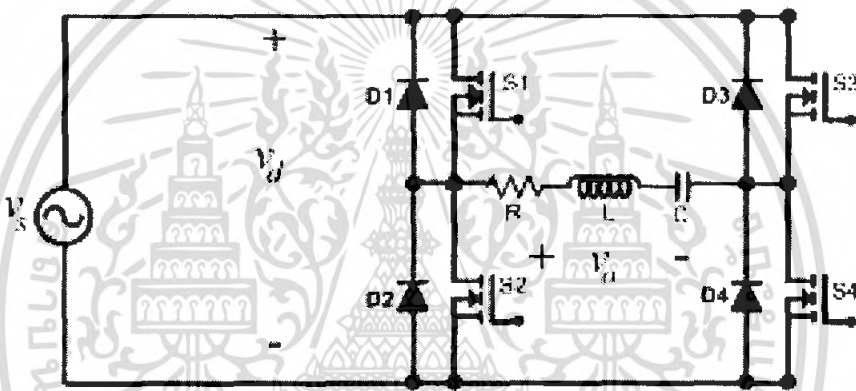
3.5.4 ความเหมาะสมในการออกแบบ ในการเลือกใช้วัสดุในการทำขดลวด ได้เลือกใช้ท่อทองแดงซึ่งนิยมใช้ในการทำท่อหน้าของตู้เย็นและแอร์โดยทั่วไป ซึ่งหาง่ายและมีราคาถูก และมีความเหมาะสมเนื่องจากสามารถออกแบบและพันได้ง่าย ทั้งยังสามารถระบายความร้อนได้สะดวกอีกด้วย

3.5.5 การระบายความร้อนและอายุการใช้งาน เนื่องจากขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนมีกระแสไฟฟ้าความถี่สูงและปริมาณมากไหลผ่านจึงทำให้เกิดความร้อนเนื่องจากกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นและขดลวดนี้ยังวางอยู่ใกล้เบ้าเตาหลอม ซึ่งมีอุณหภูมิสูงทำให้ขดลวดได้รับความร้อนมากจึงจำเป็นต้องมีการระบายความร้อนให้กับขดลวด ซึ่งจากลักษณะของขดลวดซึ่งได้เลือกใช้เป็นท่อทองแดงที่ง่ายต่อการขุดและการพัน ดังนั้นจึงเลือกการระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยใช้ปั๊มน้ำไหลวนผ่านในขดลวดอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้ขดลวดมีประสิทธิภาพและอายุการใช้งานนาน

3.6 การพิจารณาเลือกขนาดมอสเฟตของชุดอินเวอร์เตอร์

โดยจะพิจารณาเลือกใช้จากขนาดของกระแสและแรงดันที่ใช้ในชุดทดลอง จากชุดทดลองจะใช้แรงดันประมาณ 310 โวลต์ และกระแสประมาณ 15 แอมป์ จากข้อมูลดังกล่าวนี้ เราจึงสามารถเลือกใช้มอสเฟตเบอร์ IRFP 460 ซึ่งสามารถทนแรงดันได้ 600 โวลต์ และทนกระแสได้ 20 แอมป์ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส แต่จะทนกระแสได้ต่ำลงถ้าอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น ซึ่งจะทนกระแสได้เพียง 13 แอมป์ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เพราะฉะนั้นในการเลือกใช้งานจริงจึงนำมอสเฟส 2 ตัวมาขนานกันเพื่อให้ทนต่อค่ากระแสดังกล่าวได้ เมื่อชุดอินเวอร์เตอร์ทำงานแล้วมีความร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากการทำงาน

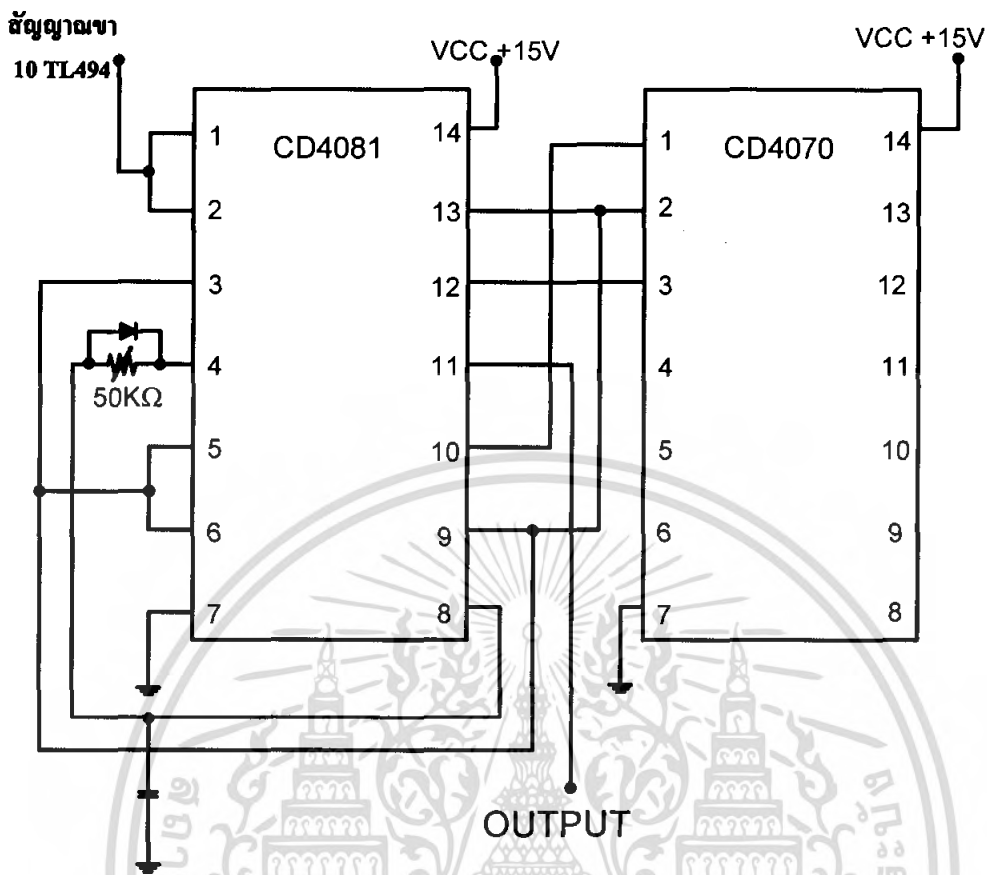


ภาพที่ 3.1 ชุดอินเวอร์เตอร์

3.7 วงจรสร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์ (Control signal generator)

วงจรสร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์จะทำหน้าที่ในการกำเนิดสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) ได้ตั้งสัญญาณที่ใช้ควบคุมอินเวอร์เตอร์ ซึ่งสัญญาณนี้จะนำมาใช้ในการขับสัญญาณขาเกิดของวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยจะใช้ ไอซีเบอร์ TL 494 เป็นไอซีขนาด 16 ขา ในการสร้างสัญญาณ ซึ่งไอซีเบอร์นี้สามารถควบคุมได้ทั้งความถี่และปรับประวิงเวลา การควบคุมความถี่สามารถปรับได้โดยปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ที่ขา 6 และการปรับประวิงเวลา (Dead Time) สามารถทำได้โดยการปรับค่า ความต้านทานปรับค่าได้ที่ขา 4

เป็นส่วนของวงจรสร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์ S_1, S_2, S_3 และ S_4 ในวงจร full-bridge inverter ในโครงการนี้ใช้ IC เบอร์ TL 494 ซึ่งสามารถปรับความถี่ของสัญญาณตามที่ต้องการได้โดยการปรับ R_T และ C_T โดยความถี่ที่ปรับได้เป็นไปตามสมการ



ภาพที่ 3.3 วงจรสร้างสัญญาณเงื่อนไขแรงดันควบคุมสวิตช์ S_4 วงจร full bridge inverter

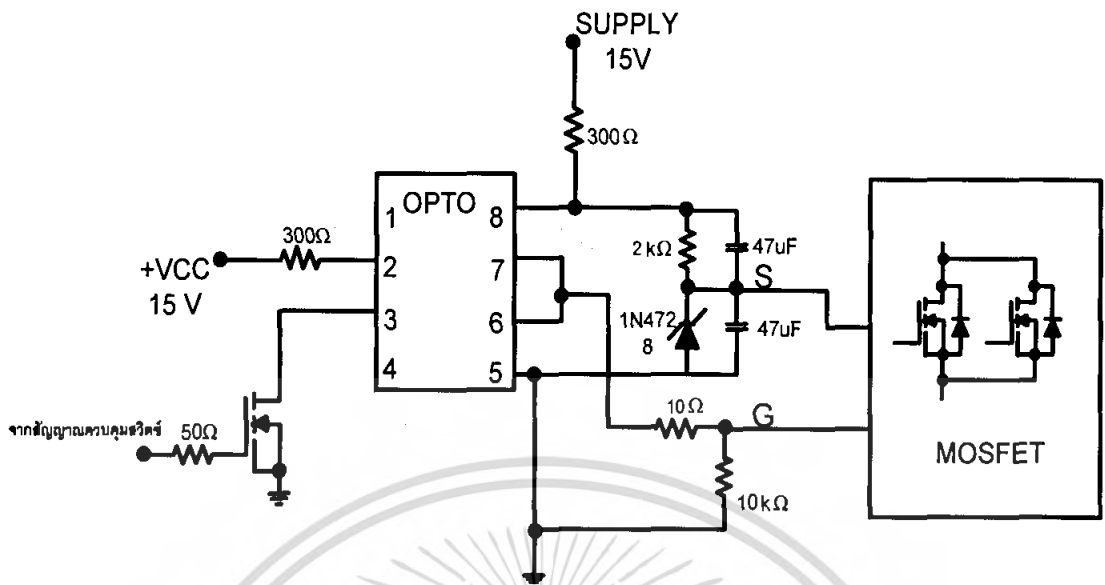
3.9 วงจรขับเกท (Gate drive circuit)

สัญญาณพัลส์ที่ได้จากชุดวงจรควบคุมจะนำมาต่อเข้ากับชุดวงจรขับขาเกต โดยชุดวงจรขับขาเกตนี้จะใช้ไอซีเบอร์ TLP250 ที่ทำงานเชื่อมต่อโดยแสงแยกกราวท์ เพื่อแยกกราวท์ของสัญญาณทั้งสี่สัญญาณจากชุดควบคุมให้เป็นอิสระต่อกัน ดังภาพที่ 3.4 ได้แสดงวงจรขับเกทสวิตช์เพียงตัวเดียว จากรูปจะมีซีเนอร์ไดโอดเพื่อตั้งแรงดันในช่วงลบ

3.9.1.หน้าที่ในส่วนของวงจรขับเกทจะมีหน้าที่สองอย่างดังนี้

3.9.1.1.ทำหน้าที่แยกทางไฟฟ้าระหว่างส่วนของวงจรกิจจและวงจรส่วนสร้างสัญญาณ

3.9.1.2.สร้างสัญญาณบวก กับ ลบ เพื่อ ON และ OFF power mosfet จากสัญญาณอินพุท บวก กับ ศูนย์



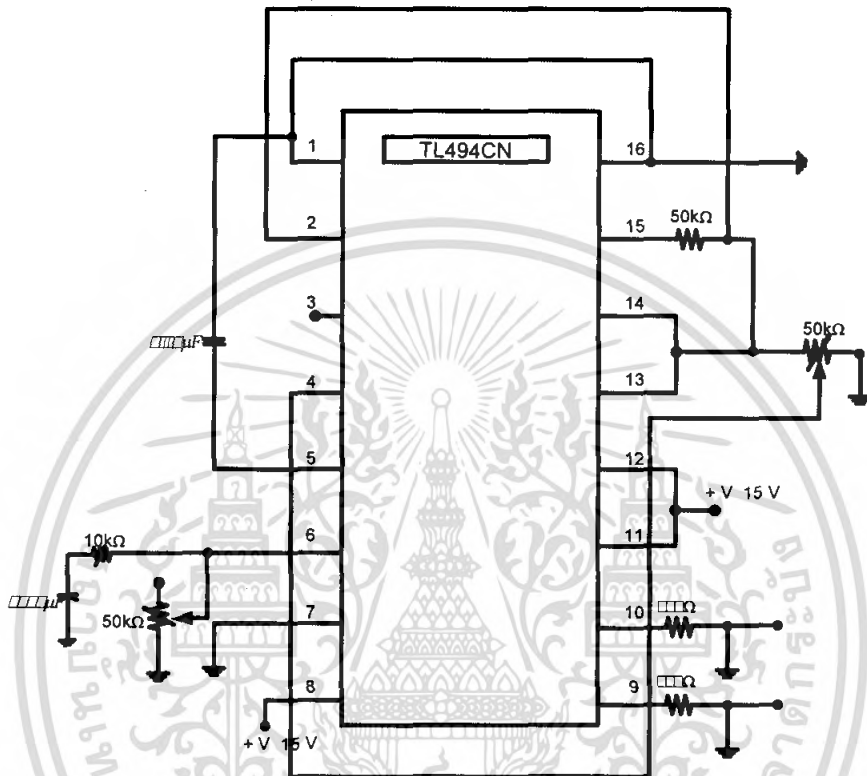
ภาพที่ 3.4 วงจรขับเกททำหน้าที่แยกกราวด์ระหว่างภาคกำลังและภาคควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

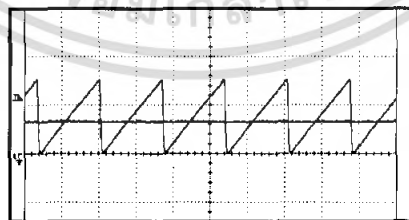
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 วงจร TL 494

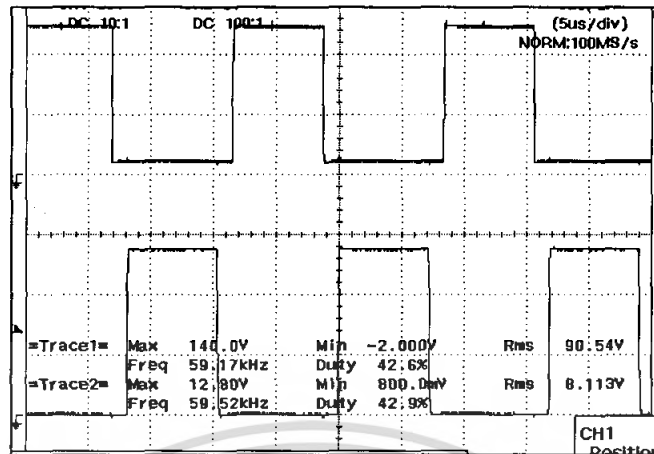


ภาพที่ 4.1 วงจร TL 494



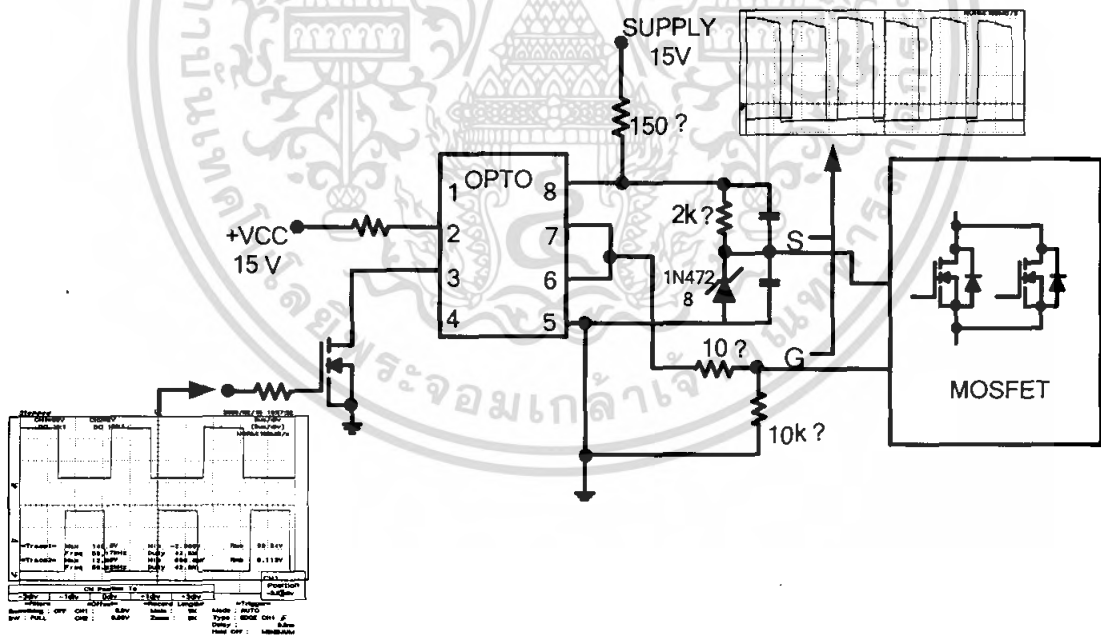
ภาพที่ 4.2 สัญญาณ Saw tooth ที่ขา 5 และ V_{CC} ที่ขา 4 ของ TL 494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 สัญญาณ Output ที่ขา 9, ขา10 ของ TL 494

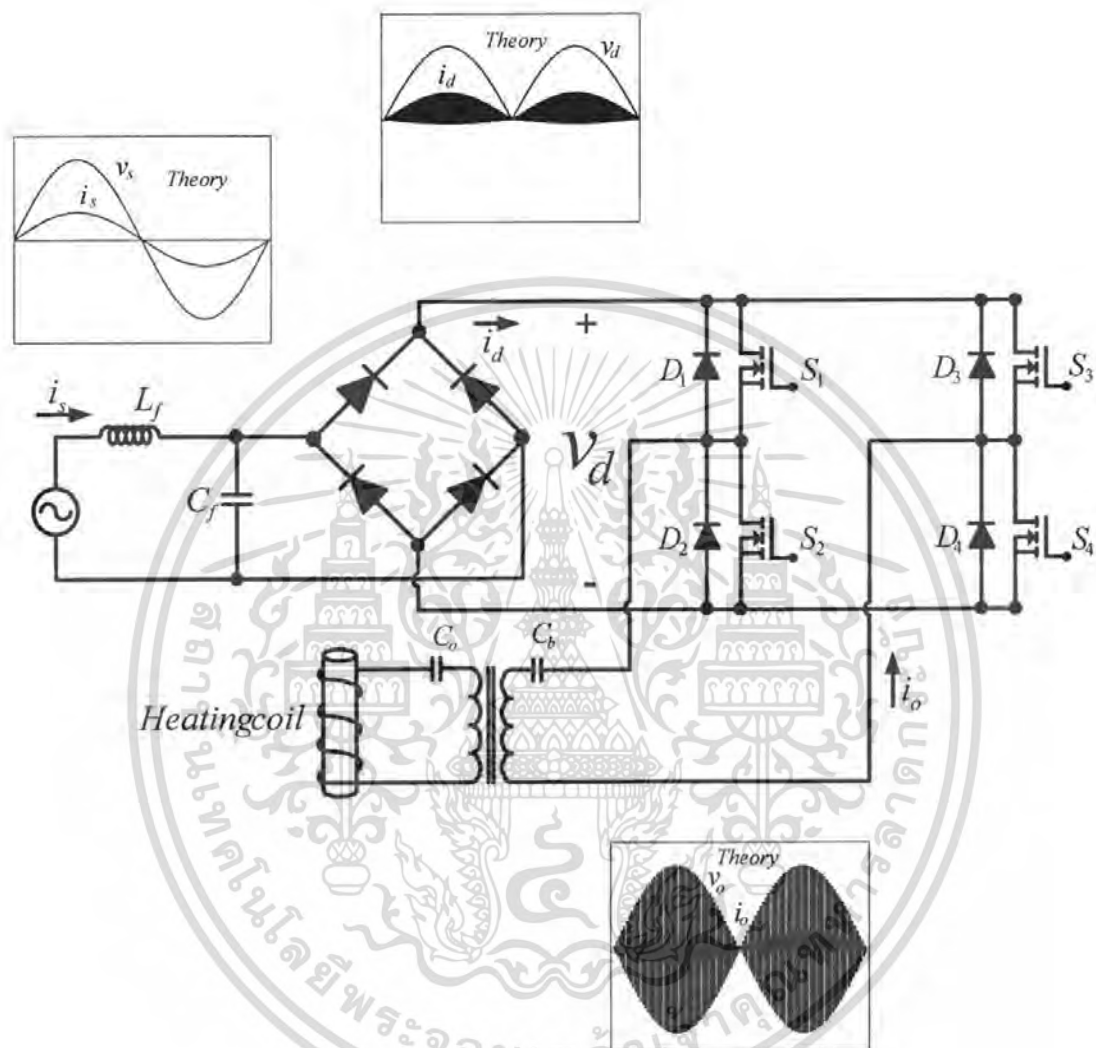
4.2 วงจรขับเกท



ภาพที่ 4.4 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรขับเกท จะนำไปขับ MOSFET เพื่อนำสัญญาณป้อนให้กับชุดโหลดต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

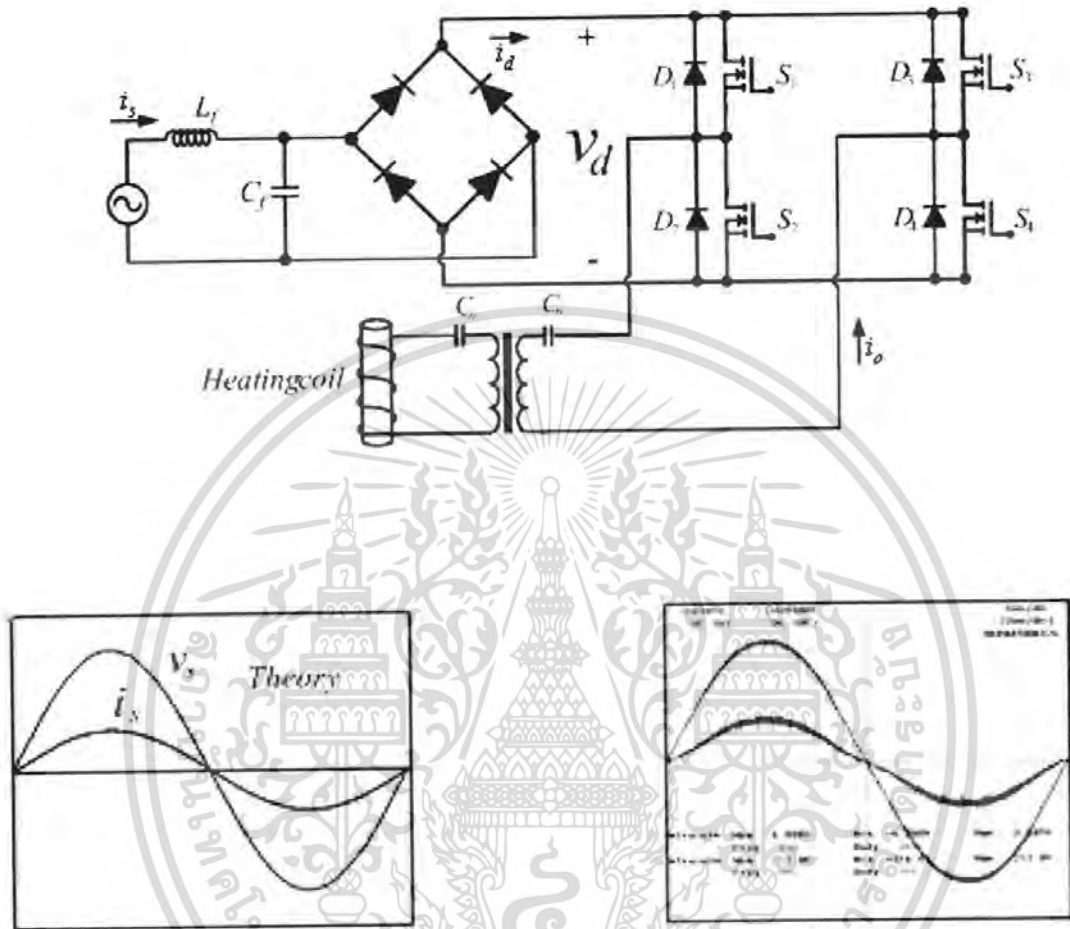
4.3 ผลการทดลองที่ได้จากการ Simulation เปรียบเทียบกับการทดลอง



ภาพที่ 4.5 ภาพแสดงการเปรียบเทียบSimulation เปรียบเทียบกับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

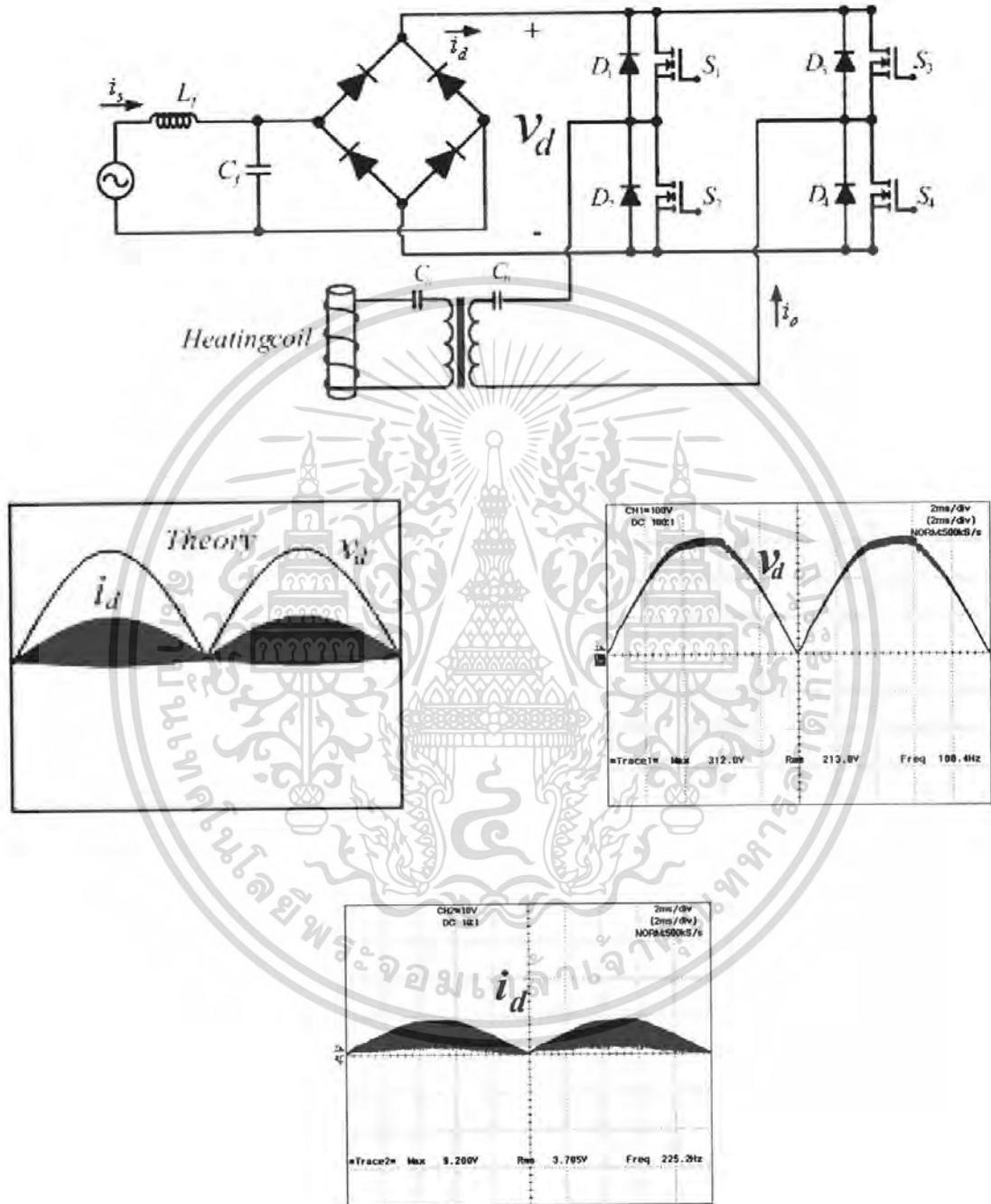
4.4 ด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้า



ภาพที่ 4.6 ภาพแสดงการเปรียบเทียบด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

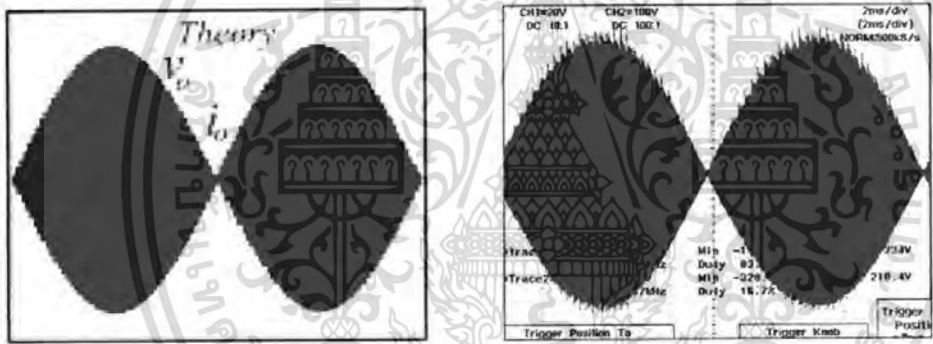
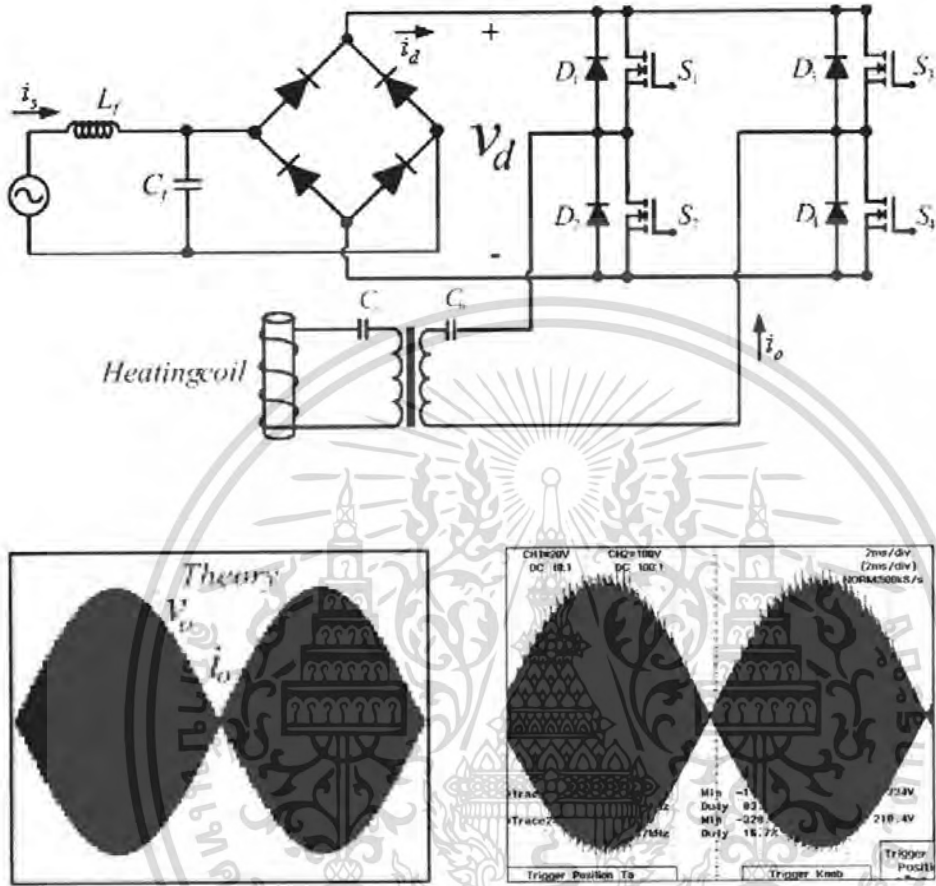
4.5 ด้านอินพุทอินเวอร์เตอร์



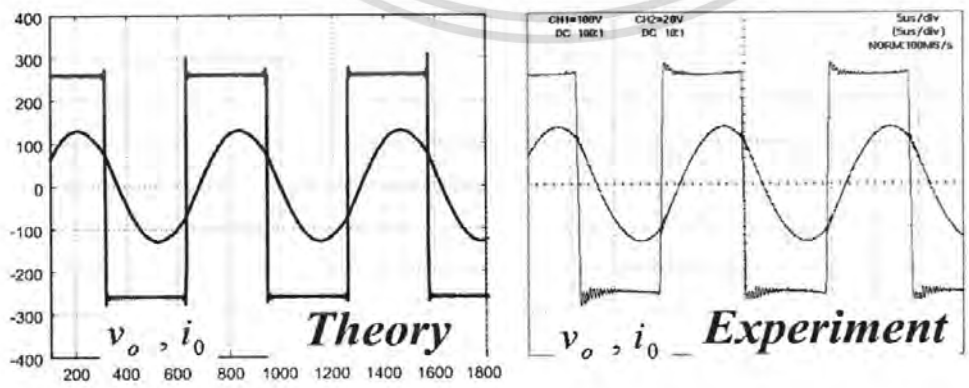
ภาพที่ 4.7 ภาพแสดงการเปรียบเทียบด้านอินพุทอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์

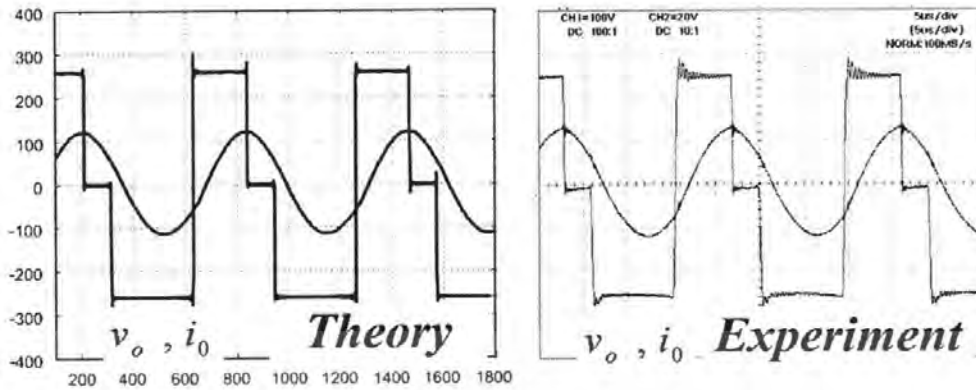


ภาพที่ 4.8 ภาพแสดงการเปรียบเทียบด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์

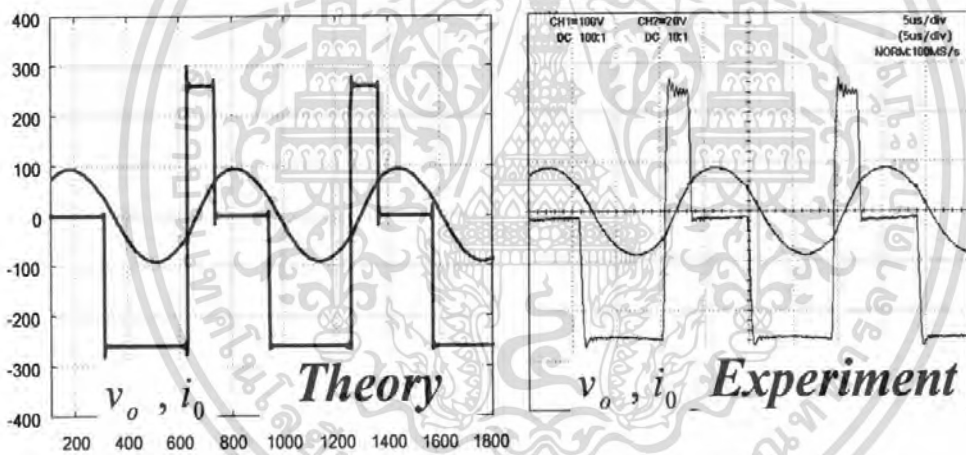


ภาพที่ 4.9 รูปคลื่นเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมแรงดันทางด้านเอาต์พุตที่มุม

เอกสารเงื่อนไข $\phi = 0^\circ$ ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



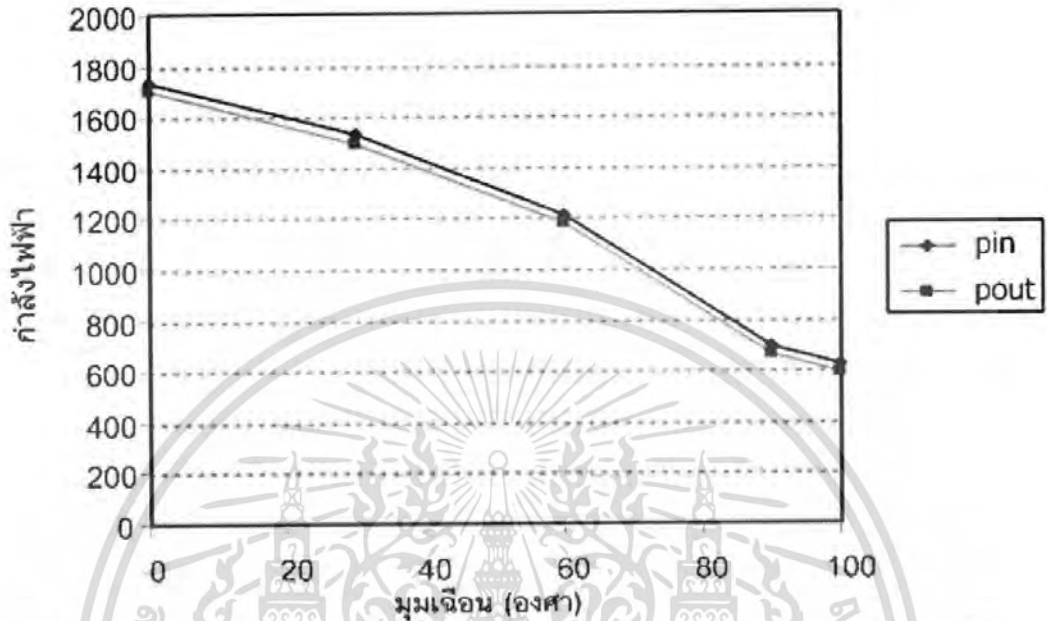
ภาพที่ 4.10 รูปคลื่นเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ที่มีการควบคุมแรงดันทางด้านเอาต์พุตที่มุม
เงื่อนไข $\phi = 60^\circ$



ภาพที่ 4.11 รูปคลื่นเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ที่มีการควบคุมแรงดันทางด้านเอาต์พุตที่มุม
เงื่อนไข $\phi = 90^\circ$

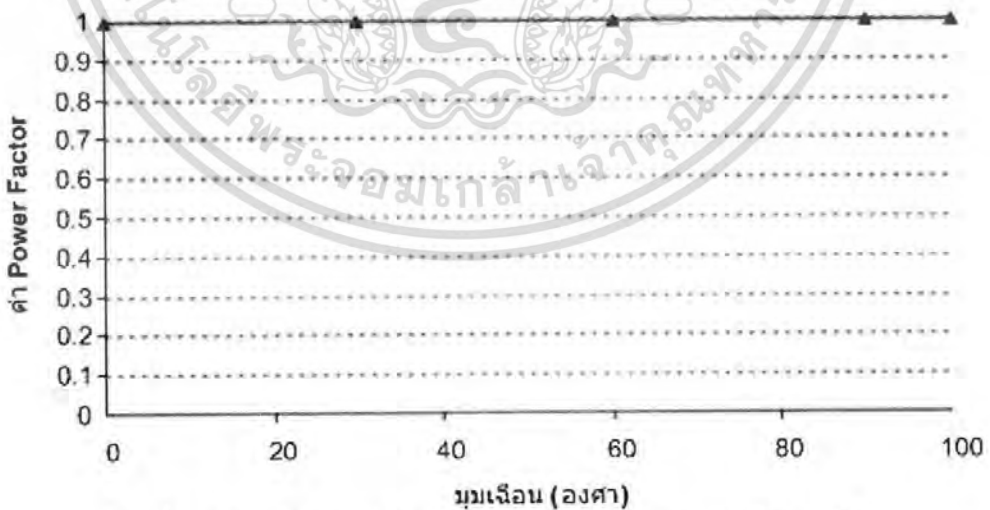
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าทางด้าน out put และ in put กับมุมเฉือน



ภาพที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าทางด้าน out put และ in put กับมุมเฉือน

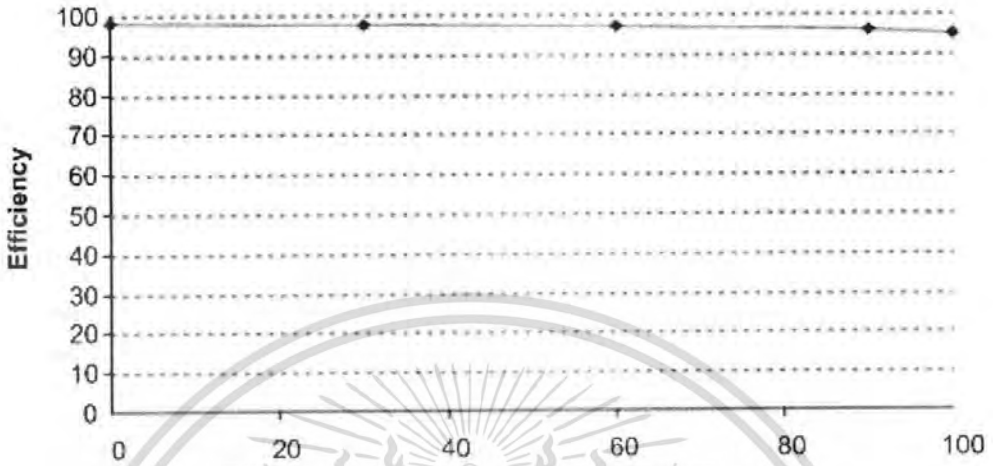
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Power Factor กับมุมเฉือน



ภาพที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Power Factor กับมุมเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับมุมเดือน



ภาพที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับมุมเดือน

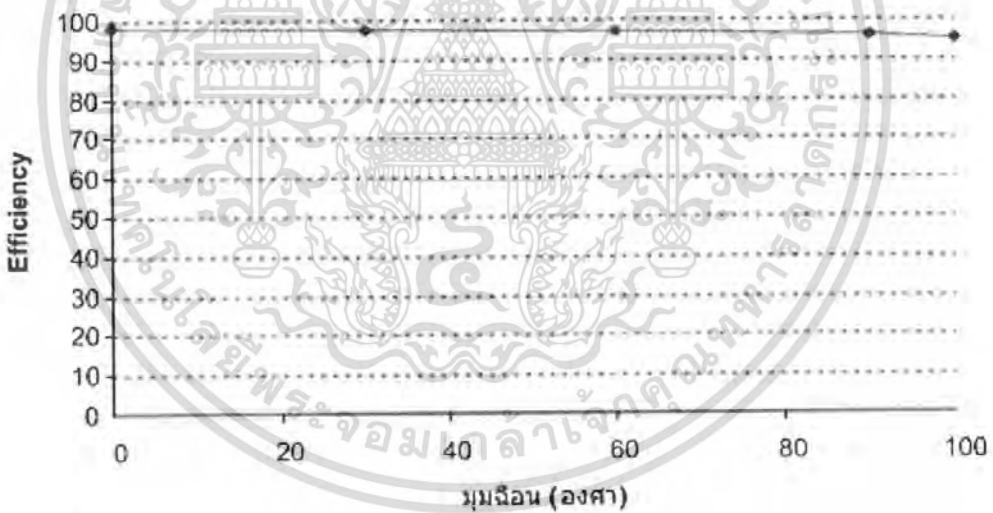
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุป

จากโครงการทั้งในเชิงทฤษฎีและปฏิบัติเกี่ยวกับเครื่องให้ความร้อนซึ่งใช้หลักการเหนี่ยวนำด้วยความถี่สูงที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตโดยวิธีการเงื่อนไขแรงดันทางด้านซีกบวกแบบไม่สมมาตรและมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ โกล์เคียง 1 สามารถสรุปประเด็นสำคัญๆได้ดังนี้

- 1) การควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยการควบคุม Asymmetrical Voltage Control (AVC) ที่นำเสนอในโปรเจกต์นี้สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าในย่าน 500 - 1700 วัตต์
- 2) ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์มีค่าประมาณในช่วง 95-98 เปอร์เซ็นต์ และสามารถปรับปรุงกำลังทางดาร์หลังจ่ายการไฟฟ้าให้มีค่าสูงขึ้นจนเกือบเท่ากับ



ภาพที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับมมจ็อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] นาย ชรรณฉัตร กงวิรัตน์ "การวิเคราะห์ให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูงที่มีค่าเพาเวอร์แอฟฟิเคเตอร์ด้านเข้าไฟสลับเป็น1" ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ 2550
- [2] นายเกียรติศักดิ์ ผาสุกมุล "การวิเคราะห์เรโซแนนท์อินเวอร์เตอร์เต็มบริดจ์ควบคุมแรงดันแบบไม่สมมาตรเพื่อใช้งานในความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูง" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ 2551



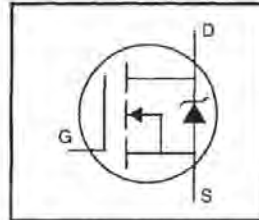
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HEXFET® Power MOSFET

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

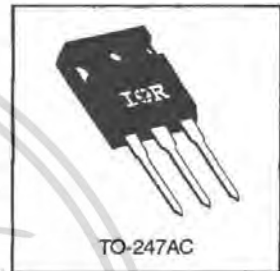


$V_{DSS} = 500V$
$R_{DS(on)} = 0.27\Omega$
$I_D = 20A$

Description

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

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



DATA SHEETS

Absolute Maximum Ratings


Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	20	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	13	
I_{DM}	80	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	280	W
	2.2	W/°C
V_{GS}	±20	V
E_{AS}	960	mJ
I_{AR}	20	A
E_{AR}	28	mJ
dv/dt	3.5	V/ns
T_J	-55 to +150	°C
T_{STG}		
Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1 N·m)	

Thermal Resistance


Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	—	—	0.45	°C/W
$R_{\theta CS}$	—	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	—	—	40	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

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

Source-Drain Ratings and Characteristics

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

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)
- ② V_{DD}=50V, starting T_J=25°C, L=4.3mH, R_G=25Ω, I_{AS}=20A (See Figure 12)
- ③ I_{SD}≤20A, di/dts160A/μs, V_{DD}≤V_{(BR)DSS}, T_J≤150°C
- ④ Pulse width ≤ 300 μs; duty cycle ≤2%.

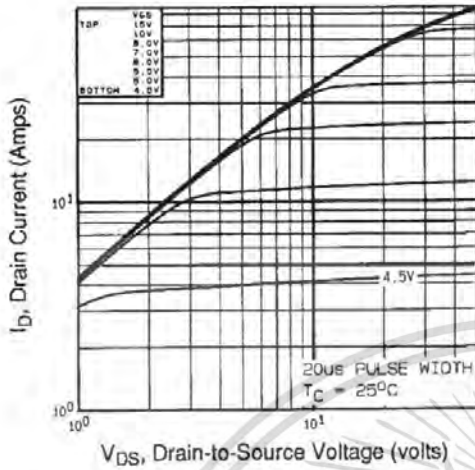


Fig 1. Typical Output Characteristics,
 $T_C=25^\circ\text{C}$

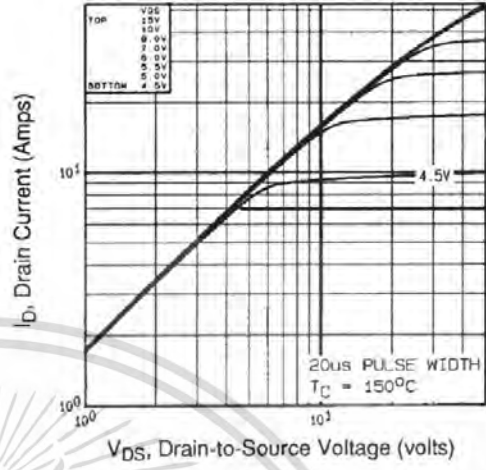


Fig 2. Typical Output Characteristics,
 $T_C=150^\circ\text{C}$

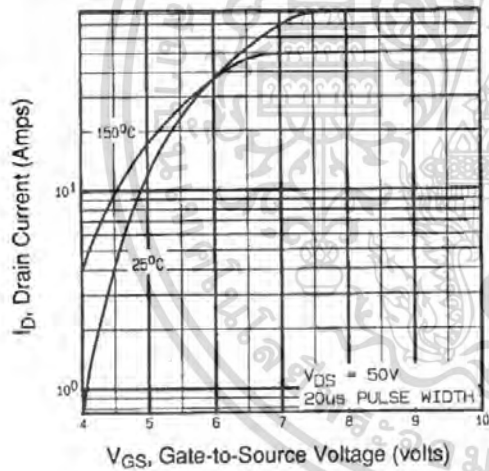


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

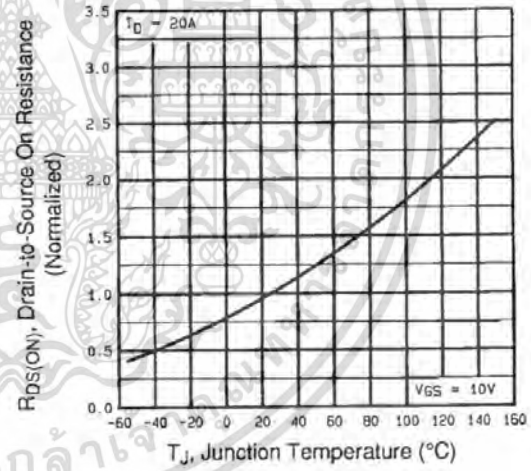


Fig 4. Normalized On-Resistance
Vs. Temperature

DATA SHEETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

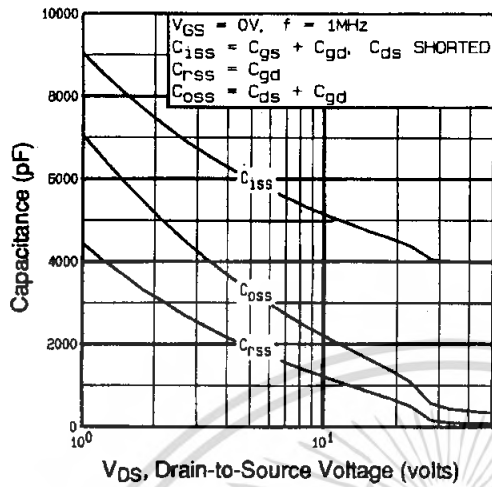


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

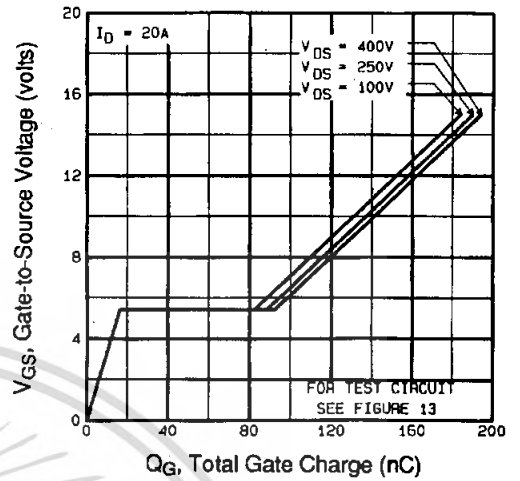


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

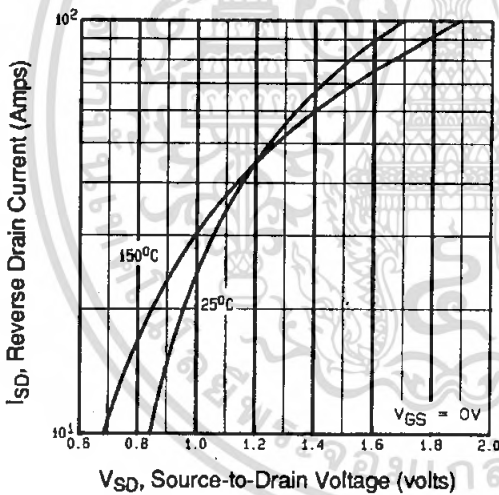


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

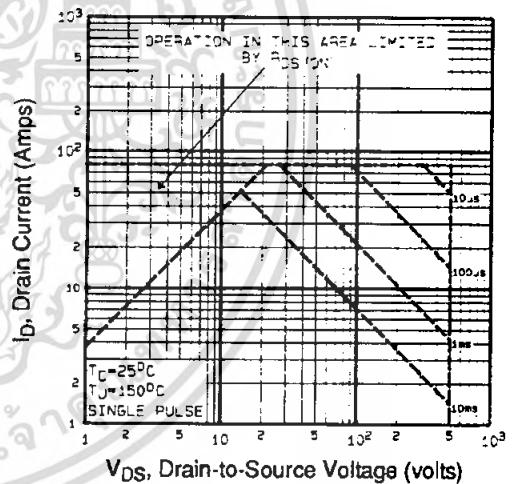


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

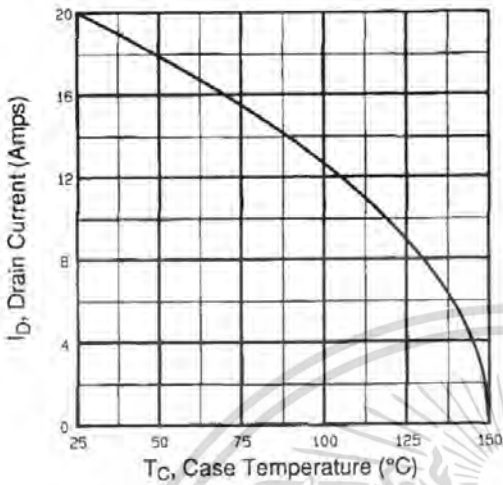


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

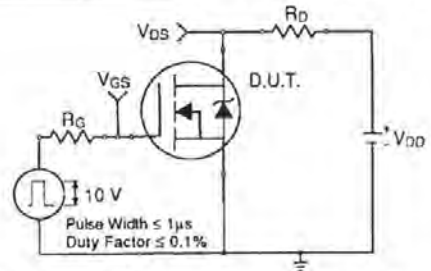


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

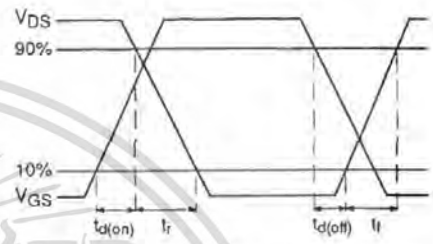


Fig 10b. Switching Time Waveforms

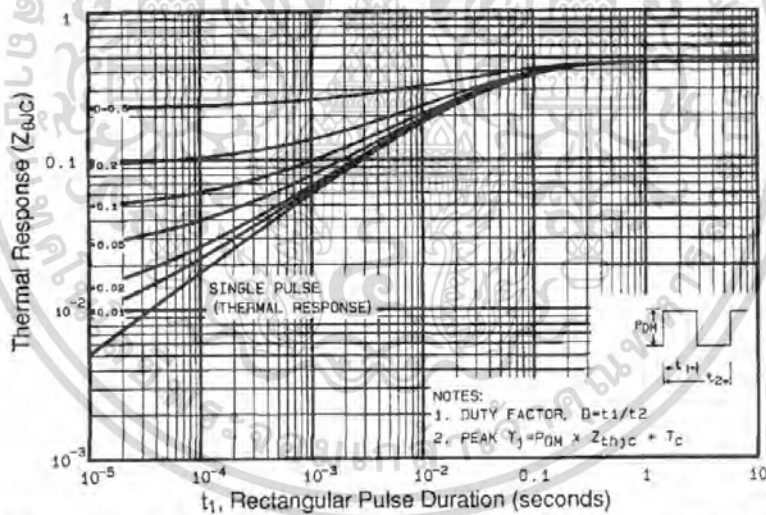


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

DATA SHEETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

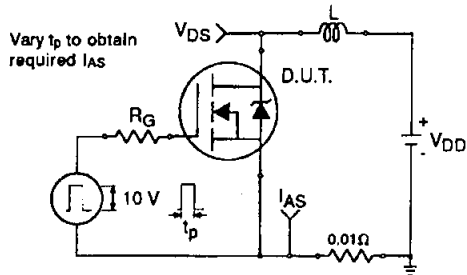


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

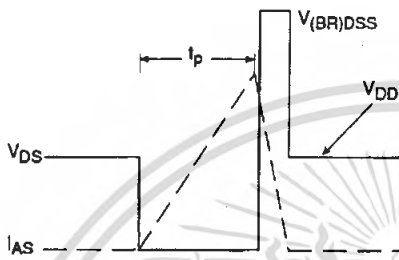


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

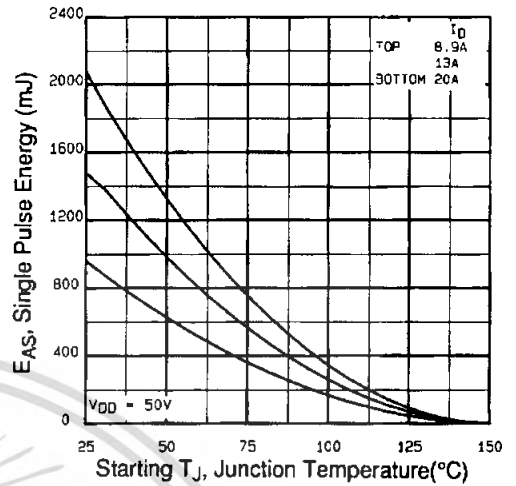


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

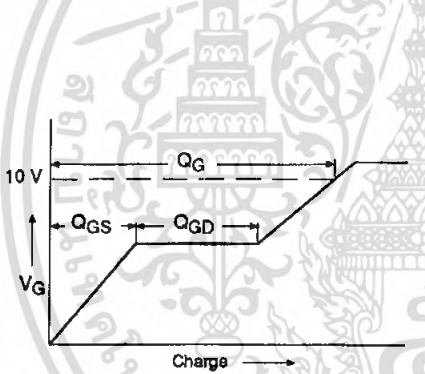


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

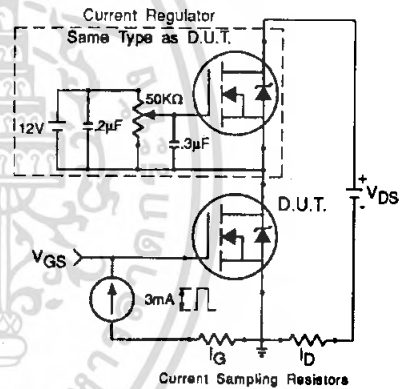


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Appendix A: Figure 14, Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit – See page 1505

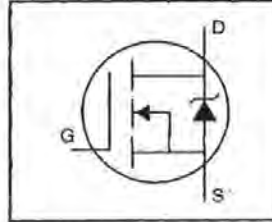
Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1511

Appendix C: Part Marking Information – See page 1517

International
IOR Rectifier

HEXFET® Power MOSFET

- Dynamic dv/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements

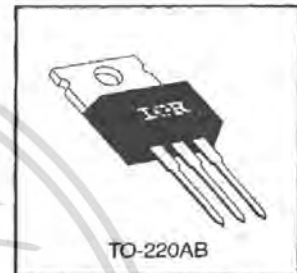


$V_{DSS} = 100V$
 $R_{DS(on)} = 0.54\Omega$
 $I_D = 5.6A$

Description

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

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-Industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



DATA SHEETS

Absolute Maximum Ratings


	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	5.6	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	4.0	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	20	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	43	W
	Linear Derating Factor	0.29	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	100	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ①	5.6	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	4.3	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	5.5	V/ns
T_J T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +175	°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1 N·m)	

Thermal Resistance

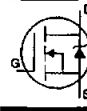
	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	—	3.5	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	—	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	—	62	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	$V_{GS}=0V, I_D=250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.12	—	$V^\circ\text{C}$	Reference to 25°C , $I_D=1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.54	Ω	$V_{GS}=10V, I_D=3.4A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS}=V_{GS}, I_D=250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	1.3	—	—	S	$V_{DS}=50V, I_D=3.4A$ ④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS}=100V, V_{GS}=0V$
		—	—	250		$V_{DS}=80V, V_{GS}=0V, T_J=150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS}=20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS}=-20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	8.3	nC	$I_D=5.6A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	2.3		$V_{DS}=80V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	3.8		$V_{GS}=10V$ See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	6.9	—	ns	$V_{DD}=50V$
t_r	Rise Time	—	16	—		$I_D=5.6A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	15	—		$R_G=24\Omega$
t_f	Fall Time	—	9.4	—		$R_D=8.4\Omega$ See Figure 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	180	—	pF	$V_{GS}=0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	81	—		$V_{DS}=25V$
C_{rbs}	Reverse Transfer Capacitance	—	15	—		$f=1.0\text{MHz}$ See Figure 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	5.6	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	20		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	2.5	V	$T_J=25^\circ\text{C}, I_S=5.6A, V_{GS}=0V$ ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	100	200	ns	$T_J=25^\circ\text{C}, I_F=5.6A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	0.44	0.88	μC	$di/dt=100A/\mu s$ ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)
- ② $V_{DD}=25V$, starting $T_J=25^\circ\text{C}$, $L=4.8\text{mH}$, $R_G=25\Omega$, $I_{AS}=5.6A$ (See Figure 12)
- ③ $I_{SD}\leq 5.6A$, $di/dt\leq 75A/\mu s$, $V_{DD}\leq V_{(BR)DSS}$, $T_J\leq 175^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width $\leq 300\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.

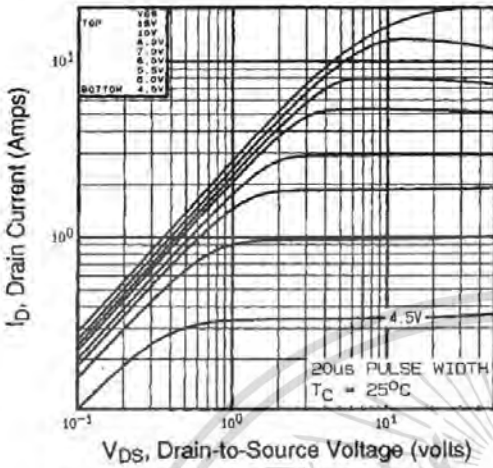


Fig 1. Typical Output Characteristics, $T_C=25^\circ\text{C}$

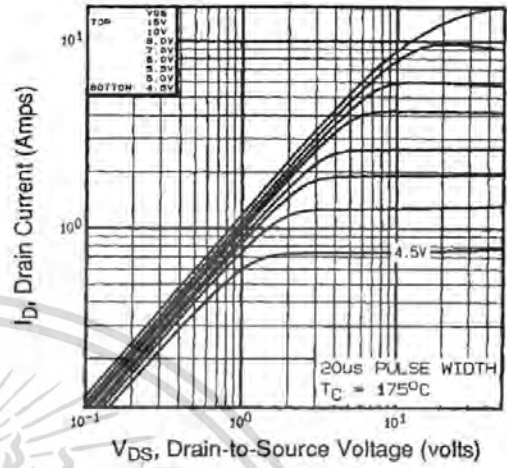


Fig 2. Typical Output Characteristics, $T_C=175^\circ\text{C}$

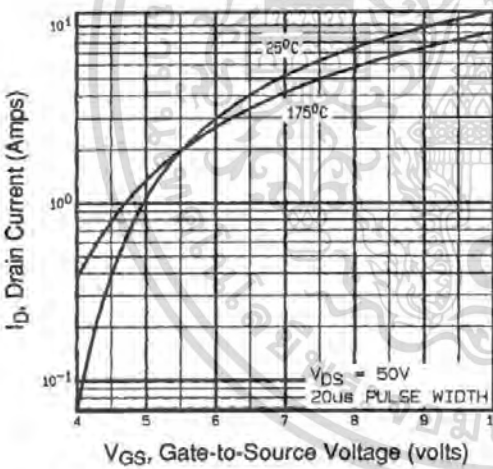


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

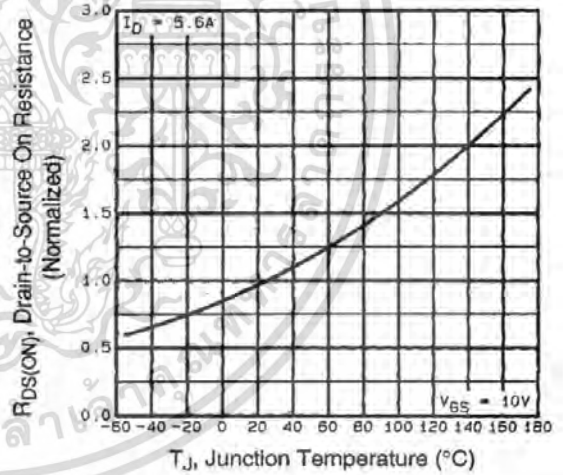


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

DATA SHEETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

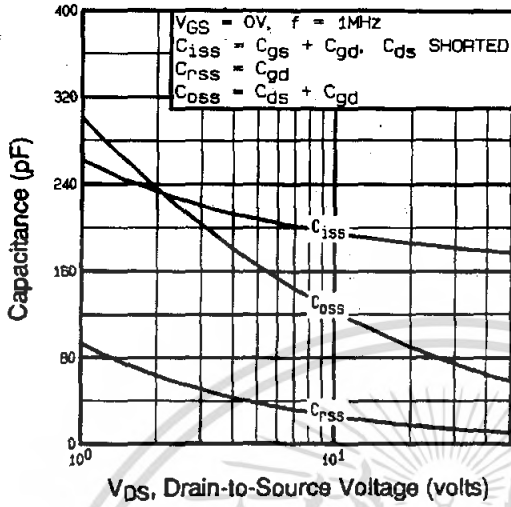


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

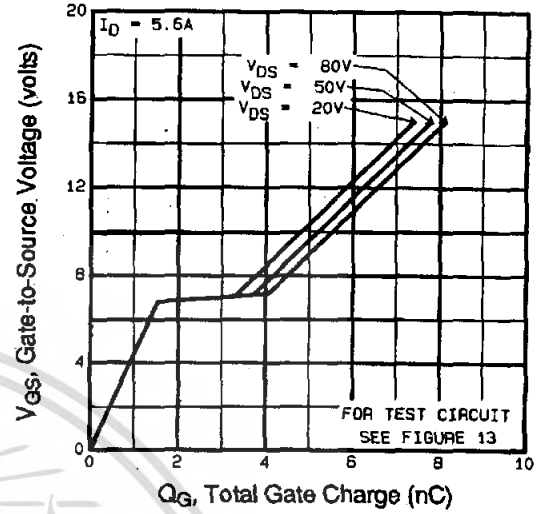


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

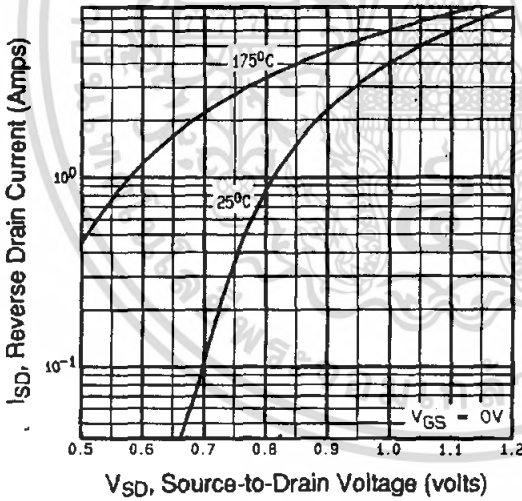


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

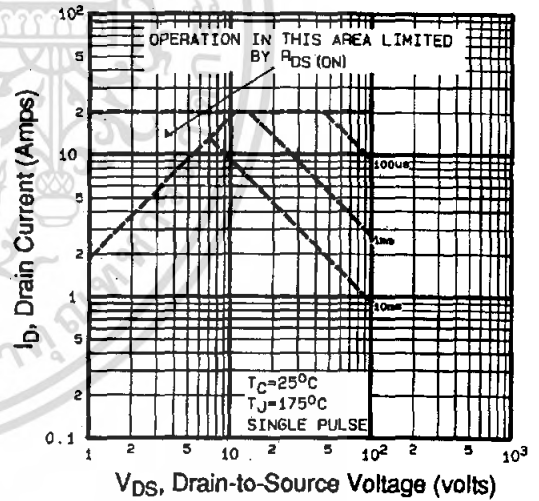


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

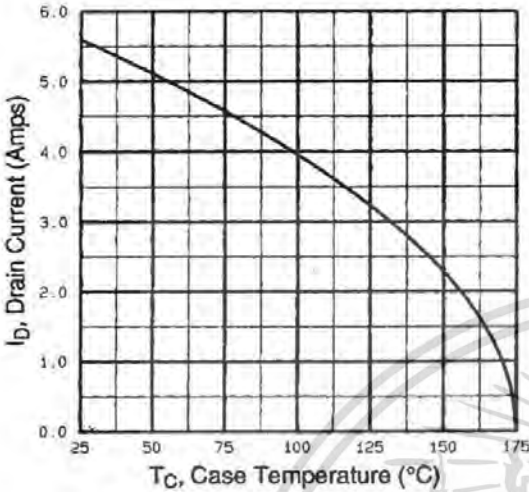


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

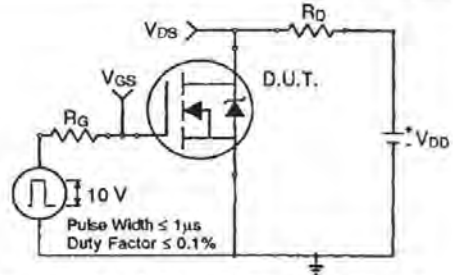


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

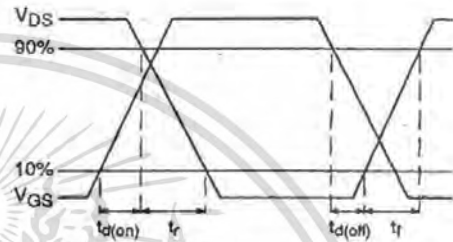


Fig 10b. Switching Time Waveforms

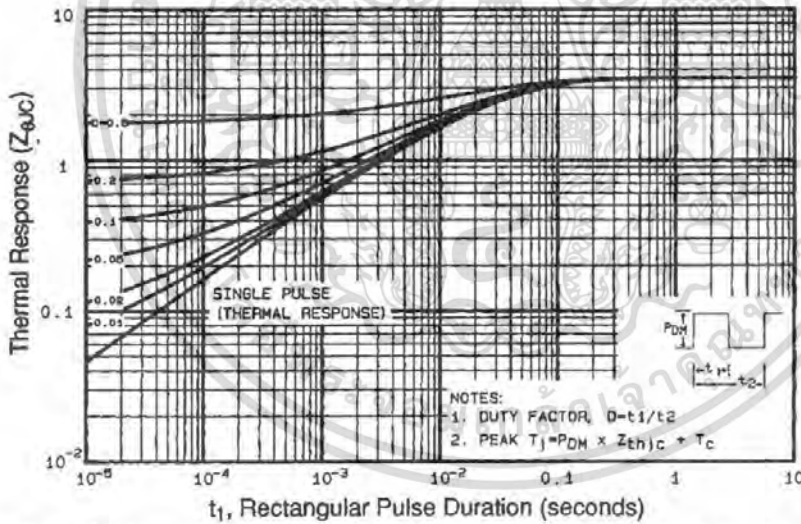


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

DATA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

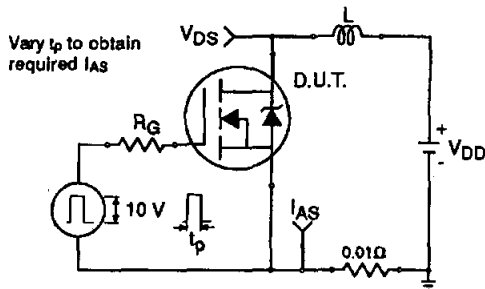


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

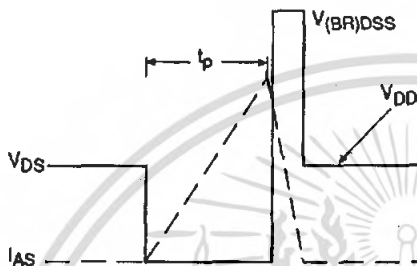


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

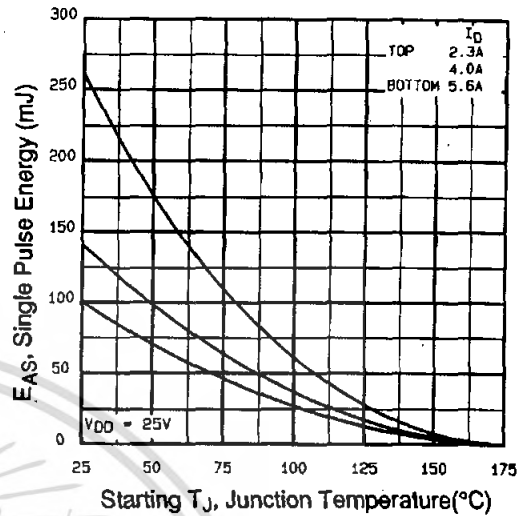


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

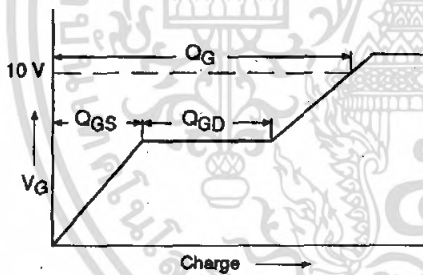


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

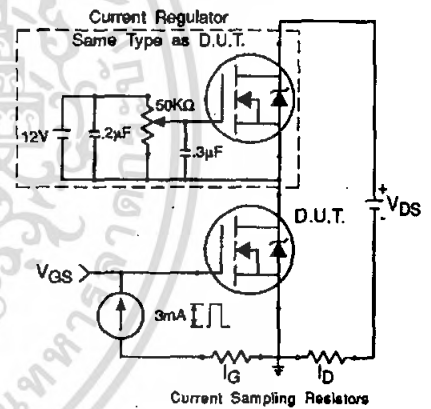


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Appendix A: Figure 14, Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit – See page 1505

Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1509

Appendix C: Part Marking Information – See page 1516

Appendix E: Optional Leadforms – See page 1525

**International
IRF Rectifier**

CD4070BM/CD4070BC
Quad 2-Input EXCLUSIVE-OR Gate
CD4077BM/CD4077BC
Quad 2-Input EXCLUSIVE-NOR Gate

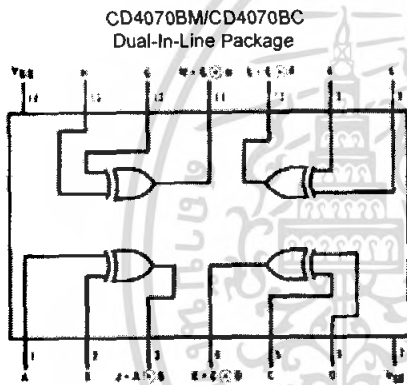
General Description

Employing complementary MOS (CMOS) transistors to achieve wide power supply operating range, low power consumption, and high noise margin, the CD4070BM/BC and CD4077BM/BC provide basic functions used in the implementation of digital integrated circuit systems. The N- and P-channel enhancement mode transistors provide a symmetrical circuit with output swing essentially equal to the supply voltage. No DC power other than that caused by leakage current is consumed during static condition. All inputs are protected from damage due to static discharge by diode clamps to V_{DD} and V_{SS} .

Features

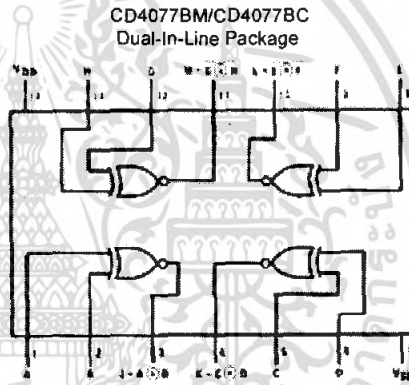
- ✓ Wide supply voltage range 3.0V to 15V
- ✓ High noise immunity 0.45 V_{DD} typ.
- ✓ Low power TTL compatibility Fan out of 2 driving 74L or 1 driving 74LS
- ✓ CD4070B=Pin compatible to CD4030A
 =Equivalent to MM54C86/MM74C86 and MC14070B
- ✓ CD4077B=Equivalent to MC14077B

Connection Diagram



Top View

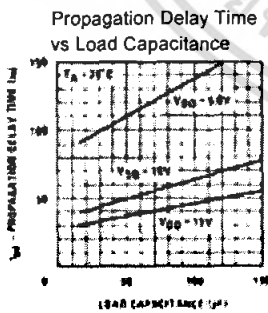
TLF/5976 - 1



Top View

TLF/5976 - 5

Typical Performance Characteristics



TLF/5976 - 2

Truth Tables

CD4070BM/CD4070BC

Inputs		Outputs
A	B	Y
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	L

CD4077BM/CD4077BC

Inputs		Outputs
A	B	Y
L	L	H
L	H	L
H	L	L
H	H	H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 and 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

DC Supply Voltage (V _{DD})	b0.5 to a 18 V _{DC}
Input Voltage (V _{IN})	b0.5 to V _{DD} a 0.5 V _{DC}
Storage Temperature Range (T _s)	b65°C to ^a 150°C
Power Dissipation (P _D)	
Dual-In-Line	700 mW
Small Outline	500 mW
Lead Temperature (T _L)	
(Soldering, 10 seconds)	260°C

Recommended Operating Conditions (Note 2)

DC Supply Voltage (V _{DD})	3V to 15 V _{DC}
Input Voltage (V _{IN})	0 to V _{DD} V _{DC}
Operating Temperature Range (T _A)	
CD4070BC/CD4077BC	b40°C to ^a 85°C
CD4070BM/CD4077BM	b55°C to ^a 125°C

DC Electrical Characteristics CD4070BM/CD4077BM (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	b55°C		a 25°C			a 125°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I _{DD}	Quiescent Device Current	V _{DD} ^a 5V, V _{IN} e V _{DD} or V _{SS}		0.25			0.25		7.5	mA
		V _{DD} ^a 10V, V _{IN} e V _{DD} or V _{SS}		0.5			0.5		15	mA
		V _{DD} ^a 15V, V _{IN} e V _{DD} or V _{SS}		1.0			1.0		30	mA
V _{OL}	Low Level Output Voltage	I _{OL} k 1 mA, V _{DD} ^a 5V		0.05		0	0.05		0.05	V
		V _{DD} ^a 10V		0.05		0	0.05		0.05	V
		V _{DD} ^a 15V		0.05		0	0.05		0.05	V
V _{OH}	High Level Output Voltage	I _{OL} k 1 mA, V _{DD} ^a 5V		4.95		5		4.95		V
		V _{DD} ^a 10V		9.95		10		9.95		V
		V _{DD} ^a 15V		14.95		15		14.95		V
V _{IL}	Low Level Input Voltage	V _{DD} ^a 5V, V _O ^a 4.5V or 0.5V		1.5			1.5		1.5	V
		V _{DD} ^a 10V, V _O ^a 9V or 1.0V		3.0			3.0		3.0	V
		V _{DD} ^a 15V, V _O ^a 13.5V or 1.5V		4.0			4.0		4.0	V
V _{IH}	High Level Input Voltage	I _{OL} k 1 mA, V _{DD} ^a 5V, V _O ^a 0.5V or 4.5V		3.5		3.5		3.5		V
		V _{DD} ^a 10V, V _O ^a 1.0V or 9.0V		7.0		7.0		7.0		V
		V _{DD} ^a 15V, V _O ^a 1.5V or 13.5V		11.0		11.0		11.0		V
I _{OL}	Low Level Output Current (Note 3)	V _{DD} ^a 5V, V _O ^a 0.4V		0.64		0.51	0.88		0.36	mA
		V _{DD} ^a 10V, V _O ^a 0.5V		1.6		1.3	2.25		0.9	mA
		V _{DD} ^a 15V, V _O ^a 1.5V		4.2		3.4	8.8		2.4	mA
I _{OH}	High Level Output Current (Note 3)	V _{DD} ^a 5V, V _O ^a 4.6V		b0.64		b0.51	b0.88		b0.36	mA
		V _{DD} ^a 10V, V _O ^a 9.5V		b1.6		b1.3	b2.25		b0.9	mA
		V _{DD} ^a 15V, V _O ^a 13.5V		b4.2		b3.4	b8.8		b2.4	mA
I _{IN}	Input Current	V _{DD} ^a 15V, V _{IN} ^a 0V								mA
		V _{DD} ^a 15V, V _{IN} ^a 15V		b0.1		b1.0 ^{b5}	b0.1		b1.0	mA
				0.1		10 ^{b5}	0.1		1.0	mA

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. They are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 2: V_{SS} e 0V unless otherwise specified.

Note 3: I_{OL} and I_{OH} are tested one output at a time.

DC Electrical Characteristics CD4070BC/CD4077BC (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	b40°C		a 25°C			a 85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I _{DD}	Quiescent Device Current	V _{DD} = 5V, V _{IN} = V _{DD} or V _{SS}		1.0			1.0		7.5	mA
		V _{DD} = 10V, V _{IN} = V _{DD} or V _{SS}		2.0		2.0		15	mA	
		V _{DD} = 15V, V _{IN} = V _{DD} or V _{SS}		4.0		4.0		30	mA	
V _{OL}	Low Level Output Voltage	V _{OL} = 1 mA V _{DD} = 5V		0.05		0	0.05		0.05	V
		V _{DD} = 10V		0.05		0	0.05		0.05	V
		V _{DD} = 15V		0.05		0	0.05		0.05	V
V _{OH}	High Level Output Voltage	V _{OL} = 1 mA V _{DD} = 5V	4.95		4.95	5		4.95		V
		V _{DD} = 10V	9.95		9.95	10		9.95		V
		V _{DD} = 15V	14.95		14.95	15		14.95		V
V _{IL}	Low Level Input Voltage	V _{OL} = 1 mA V _{DD} = 5V, V _O = 4.5V or 0.5V		1.5			1.5		1.5	V
		V _{DD} = 10V, V _O = 9V or 1.0V		3.0			3.0		3.0	V
		V _{DD} = 15V, V _O = 13.5V or 1.5V		4.0			4.0		4.0	V
V _{IH}	High Level Input Voltage	V _{OL} = 1 mA V _{DD} = 5V, V _O = 0.5V or 4.5V	3.5		3.5			3.5		V
		V _{DD} = 10V, V _O = 1V or 9.0V	7.0		7.0			7.0		V
		V _{DD} = 15V, V _O = 1.5V or 13.5V	11.0		11.0			11.0		V
I _{OL}	Low Level Output Current	V _{DD} = 5V, V _O = 0.4V	0.52		0.44	0.88		0.36		mA
		V _{DD} = 10V, V _O = 0.5V	1.3		1.1	2.25		0.9		mA
		V _{DD} = 15V, V _O = 1.5V	3.6		3.0	8.8		2.4		mA
I _{OH}	High Level Output Current	V _{DD} = 5V, V _O = 4.5V	b0.52		b0.44	b0.88		b0.36		mA
		V _{DD} = 10V, V _O = 9.5V	b1.3		b1.1	b2.25		b0.9		mA
		V _{DD} = 15V, V _O = 13.5V	b3.6		b3.0	b8.8		b2.4		mA
I _{IN}	Input Current	V _{DD} = 15V, V _{IN} = 0V		b0.3		b10 ^{b5}	b0.3		b1.0	mA
		V _{DD} = 15V, V _{IN} = 15V		0.3		10 ^{b5}	0.3		1.0	mA

AC Electrical Characteristics*

TA = 25°C, CL = 50 pF, RL = 200k, tr and tf = 20 ns, unless otherwise specified

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t _{PHL} or t _{PLH}	Propagation Delay Time	V _{DD} = 5V		110	185	ns
		V _{DD} = 10V		50	90	ns
		V _{DD} = 15V		40	75	ns
t _{THL} or t _{TLH}	Transition Time	V _{DD} = 5V		100	200	ns
		V _{DD} = 10V		50	100	ns
		V _{DD} = 15V		40	80	ns
C _{IN}	Average Input Capacitance	Any Input		5	7.5	pF
C _{PD}	Power Dissipation Capacitance	Any Input (Note 4)		20		pF

*AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. They are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

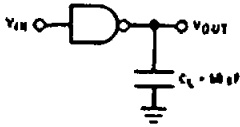
Note 2: V_{SS} = 0V unless otherwise specified.

Note 3: I_{OL} and I_{OH} are tested one output at a time.

Note 4: C_{PD} determines the no load AC power consumption of any CMOS device. For complete explanation, see 54C/74C Family Characteristics Application Note AN-90.

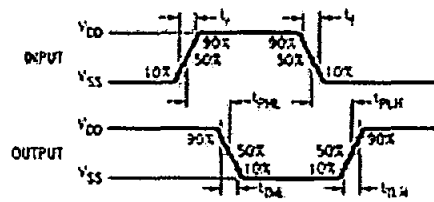
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Test Circuit and Switching Time Waveforms



TLF/5976 - 3

Note: Delays measured with input t_i , $t_i = 20$ ns.



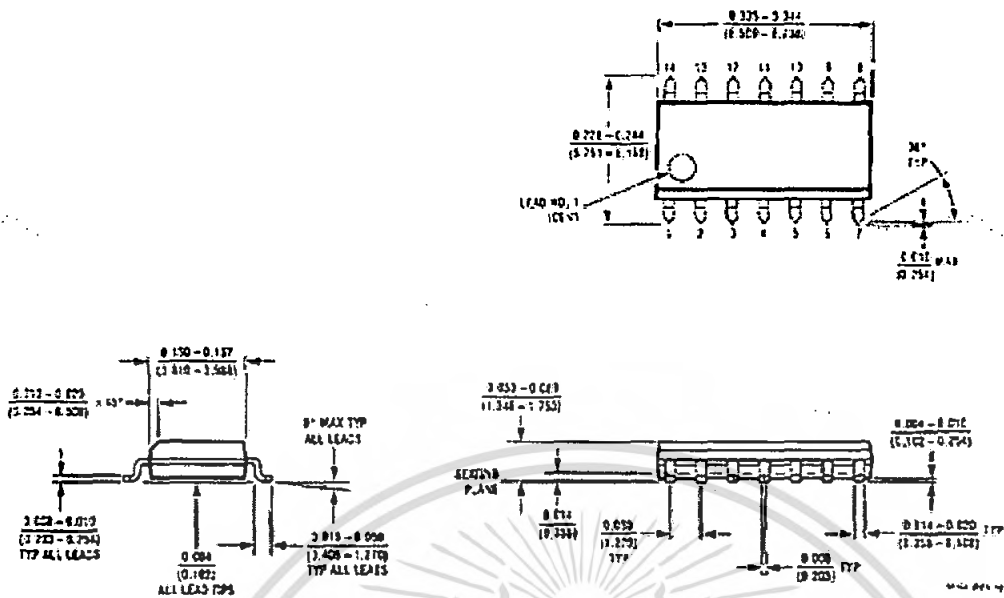
TLF/5976 - 4

$t_i = t_i = 20$ ns



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters)

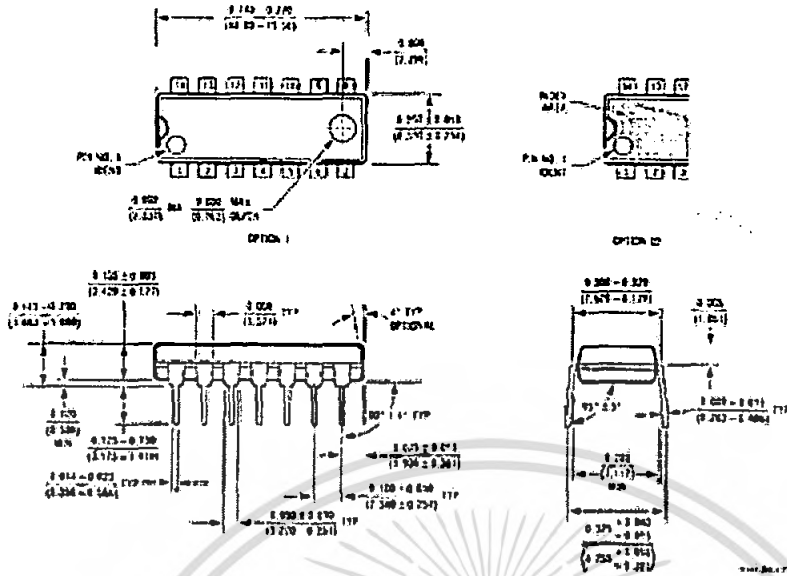


Molded Small Outline Package (M)
 Order Number CD4070BCM or CD4077BCM
 NS Package Number M14A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



Molded Dual-In-Line Package (N)
 Order Number CD4070BCN or CD4077BCN
 NS Package Number N14A

LIFE SUPPORT POLICY

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

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



National Semiconductor Corporation
 1111 West Bardin Road
 Arlington, TX 76017
 Tel: 1(800) 272-9959
 Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
 Fax: (e49) 0-180-530 85 88
 Email: cnjwge@levm2.nsc.com
 Deutsch Tel: (e49) 0-180-530 85 85
 English Tel: (e49) 0-180-532 78 32
 Français Tel: (e49) 0-180-532 93 58
 Italiano Tel: (e49) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
 13th Floor, Straight Block
 Ocean Centre, 5 Canton Rd.
 Tsimshatsui, Kowloon
 Hong Kong
 Tel: (852) 2737-1800
 Fax: (852) 2738-9960

National Semiconductor Japan Ltd.
 13th Floor, Straight Block
 Ocean Centre, 5 Canton Rd.
 Tel: 81-043-299-2309
 Fax: 81-043-299-2408

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data sheet acquired from Harris Semiconductor
SCHS057A - Revised March 2002

CMOS AND Gates

High-Voltage Types (20-Volt Rating)

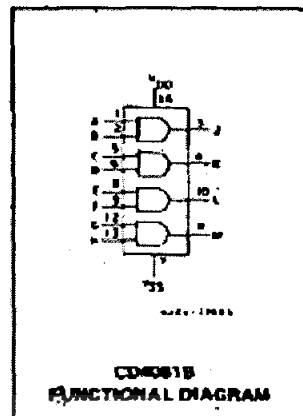
- CD4073B Triple 3-Input AND Gate
- CD4081B Quad 2-Input AND Gate
- CD4082B Dual 4-Input AND Gate

■ CD4073B, CD4081B and CD4082B AND gates provide the system designer with direct implementation of the AND function and supplement the existing family of CMOS gates.

The CD4073B, CD4081B and CD4082B types are supplied in 14-lead dual-in-line ceramic packages (D and F suffixes), 14-lead dual-in-line plastic packages (E suffix), 14-lead small-outline package (NSR suffix), and in chip form (H suffix).

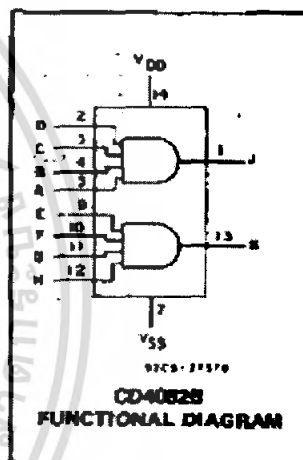
Features:

- Medium-Speed Operation – t_{PLH} , $t_{PHL} = 80$ ns (typ.) at $V_{DD} = 10$ V
- 100% tested for quiescent current at 20 V
- Maximum input current of 1 μ A at 18 V over full package-temperature range; 100 nA at 18 V and 25°C
- Noise margin (full package-temperature range) –
 - 1 V at $V_{DD} = 5$ V
 - 2 V at $V_{DD} = 10$ V
 - 2.5 V at $V_{DD} = 15$ V
- Standardized, symmetrical output characteristics
- 5-V, 10-V, and 15-V parametric ratings
- Meets all requirements of JEDEC Tentative Standard No. 73B, "Standard Specifications for Description of 'B' Series CMOS Devices"



MAXIMUM RATINGS, Absolute-Maximum Voltages:

DC SUPPLY-VOLTAGE RANGE, (V_{DD}) Voltages referenced to V_{SS} Terminal	-0.5V to +20V
INPUT VOLTAGE RANGE, ALL INPUTS Voltages referenced to V_{SS} Terminal	-0.5V to $V_{DD} + 0.5$ V
DC INPUT CURRENT, ANY ONE INPUT	± 10 mA
POWER DISSIPATION PER PACKAGE (P_{Dk})	
For $T_A = -65^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$	500 mW
For $T_A = +100^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$	Derate Linearly at 12 mW/ $^\circ\text{C}$ to 200 mW
DEVICE DISSIPATION PER OUTPUT TRANSISTOR FOR $T_A =$ FULL PACKAGE-TEMPERATURE RANGE (All Package Types)	100 mW
OPERATING-TEMPERATURE RANGE (T_A)	-55°C to $+125^\circ\text{C}$
STORAGE TEMPERATURE RANGE (T_{stg})	-65°C to $+150^\circ\text{C}$
LEAD TEMPERATURE (DURING SOLDERING): At distance 1/16 \pm 1/32 inch (1.58 \pm 0.76 mm) from case for 1 Ga melt	$+265^\circ\text{C}$



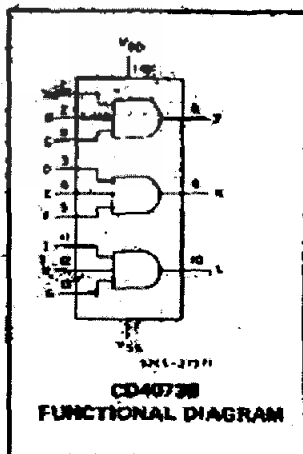
RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability, nominal operating conditions should be selected so that operation is always within the following ranges:

CHARACTERISTIC	LIMITS		UNITS
	MIN.	MAX.	
Supply-Voltage Range (For $T_A =$ Full Package Temperature Range)	3	18	V

DYNAMIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS at $T_A = 25^\circ\text{C}$, Input $t_1, t_f = 20$ ns, and $C_L = 50$ pF, $R_L = 200$ k Ω

CHARACTERISTIC	TEST CONDITIONS	ALL TYPES LIMITS		UNITS	
		V_{DD} Volts	TYP.		MAX.
Propagation Delay Time, t_{PHL} , t_{PLH}		5	125	250	ns
		10	60	120	
		15	45	90	
Transition Time, t_{THL} , t_{TLH}		5	100	200	ns
		10	50	100	
		15	40	60	
Input Capacitance, C_{iN}	Any Input	-	5	7.5	pF



TOSHIBA Photocoupler GaAlAs Ired & Photo-IC

TLP250

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

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

This unit is 8-lead DIP package.

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

- Input threshold current: $I_F=5\text{mA}(\text{max.})$
- Supply current (I_{CC}): $11\text{mA}(\text{max.})$
- Supply voltage (V_{CC}): $10\text{--}35\text{V}$
- Output current (I_O): $\approx 1.5\text{A}(\text{max.})$
- Switching time (t_{pLH}/t_{pHL}): $1.5\mu\text{s}(\text{max.})$
- Isolation voltage: $2500\text{V}_{\text{rms}}(\text{min.})$
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option (D4) type

VDE approved: DIN VDE0884/06.92,certificate No.76823

Maximum operating insulation voltage: 630V_{PK}

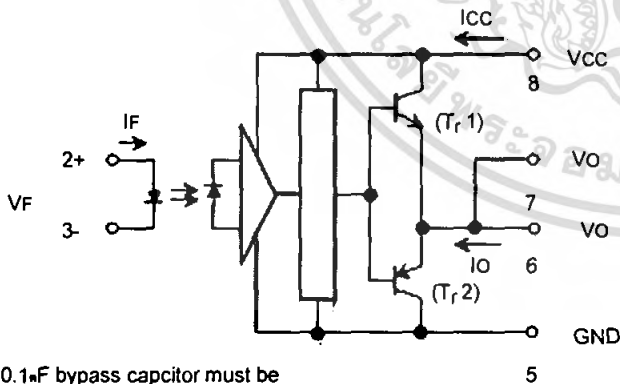
Highest permissible over voltage: 4000V_{PK}

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

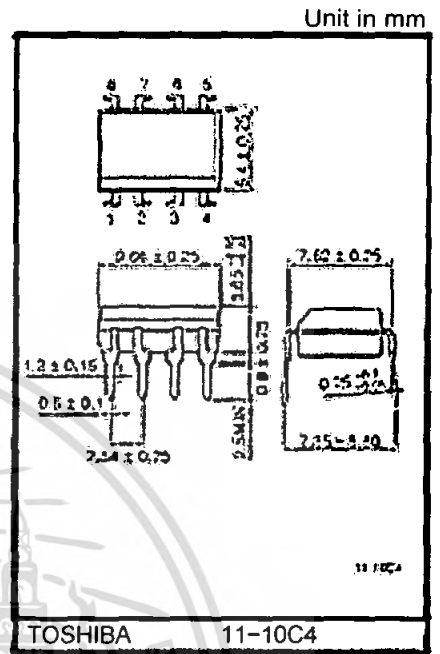
- Creepage distance: $6.4\text{mm}(\text{min.})$

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

Schematic

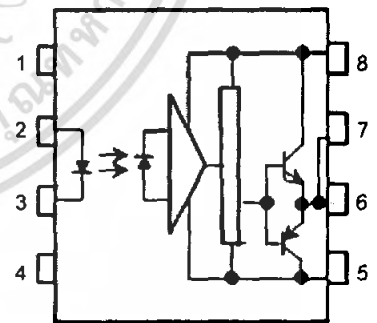


A $0.1\mu\text{F}$ bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).



Weight: 0.54 g

Pin Configuration (top view)



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

Truth Table

Input LED		Tr1	Tr2
On	On	On	Off
On	Off	Off	On

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic		Symbol	Rating	Unit	
LED	Forward current	IF	20	mA	
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta I_F / \Delta T_a$	0.36	mA / °C	
	Peak transient forward current (Note 1)	IFPT	1	A	
	Reverse voltage	VR	5	V	
	Junction temperature	TJ	125	°C	
Detector	H peak output current (PW ≤ 2.5ns, FS 15kHz) (Note 2)	IOPH	±1.5	A	
	L peak output current (PW ≤ 2.5ns, FS 15kHz) (Note 2)	IOPL	±1.5	A	
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	VO	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	VCC	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_O / \Delta T_a$	0.73	V / °C	
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	0.73	V / °C	
	Junction temperature	TJ	125	°C	
	Operating frequency (Note 3)	f	25	KHz	
Operating temperature range	Topr	0-85	°C		
Storage temperature range	Tstg	-55-125	°C		
Lead soldering temperature (10's)	Tsol	200	°C		
Isolation voltage (AC, 1 min., R.F. ≤ 60%) (Note 5)	BVS	2500	Vrms		

Note 1: Pulse width PW ≤ 1ns, 300pps

Note 2: Exponential waveform

Note 3: Exponential waveform, IOPH ≤ ±1.0A (≤ 2.5ns), IOPL ≤ ±1.0A (≤ 2.5ns)

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

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

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

Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Input current, on (Note 7)	IF(ON)	7	8	10	mA	
Input voltage, off	VF(OFF)	0	—	0.5	V	
Supply voltage	VCC	15	—	30	20	V
Peak output current	IOPH/IOPL	—	—	±0.5	A	
Operating temperature	Topr	0-20	25	70	85	°C

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

Electrical Characteristics (Ta = □20~70□C, unless otherwise specified)

Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Input forward voltage		V _F	—	I _F = 10 mA, Ta = 25□C		1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		ΔV _F / ΔTa	—	I _F = 10 mA	—	□2.0	—	mV / □C
Input reverse current		I _R	—	V _R = 5V, Ta = 25□C		—	10	□A
Input capacitance		C _T	—	V = 0, f = 1MHz, Ta = 25□C		45	250	pF
Output current	"H" level	I _{OPH}	3	V _{CC} = 30V (*1) I _F = 10 mA V _{BE6} = 4V	□0.5	□1.5	—	A
	"L" level	I _{OPL}	2		I _F = 0 V _{BE5} = 2.5V	0.5	2	
Output voltage	"H" level	V _{OH}	4	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = □15V R _L = 200□, I _F = 5mA	11	12.8	—	V
	"L" level	V _{OL}	5	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = □15V R _L = 200□, V _F = 0.8V	—	□14.2	□12.5	
Supply current	"H" level	I _{CCH}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 10mA Ta = 25□C	—	7	—	mA
				V _{CC} = 30V, I _F = 10mA	—	—	11	
	"L" level	I _{CCL}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 0mA Ta = 25□C		7.5		
				V _{CC} = 30V, I _F = 0mA	—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	I _{FLH}	—	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = □15V R _L = 200□, V _O > 0V	—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	I _{FHL}	—	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = □15V R _L = 200□, V _O < 0V	0.8	—	—	V
Supply voltage		V _{CC}	—		10	—	35	V
Capacitance (input□output)		C _S	—	V _S = 0, f = 1MHz Ta = 25 □	—	1.0	2.0	pF
Resistance(input□output)		R _S	—	V _S = 500V, Ta = 25□C R.H. ≤ 60%	110 ¹²	10 ¹⁴	—	□

* All typical values are at Ta = 25□C (*1): Duration of IO time ≤ 50□s

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

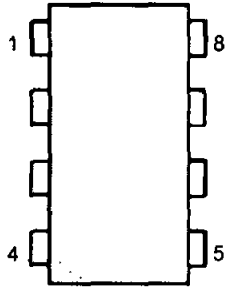
Characteristic	Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Propagation delay time	L→H	tpLH	IF = 8mA (Note 7) VCC1 = +15V, VEE1 = 0V RL = 200Ω	—	0.15	0.5	ns
	H→L	tpHL		—	0.15	0.5	
Output rise time	tr	6		—	—	—	
Output fall time	tf			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output	CMH	7	VCM = 600V, IF = 8mA VCC = 30V, Ta = 25°C	≥5000	—	—	V/ns
Common mode transient immunity at low level output	CML	7	VCM = 600V, IF = 0mA VCC = 30V, Ta = 25°C	5000	—	—	V/ns

* All typical values are at Ta = 25°C

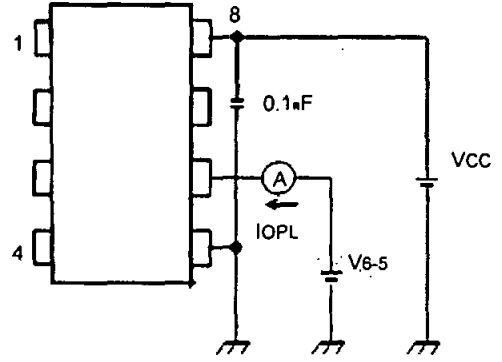
Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 ns.



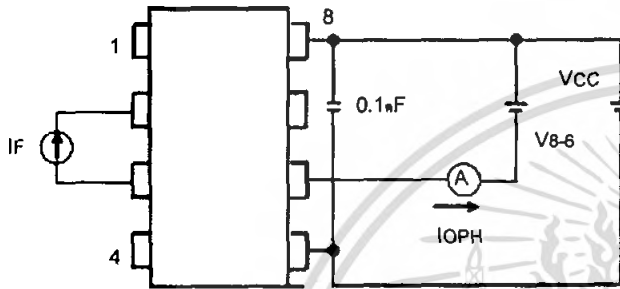
Test Circuit 1 :



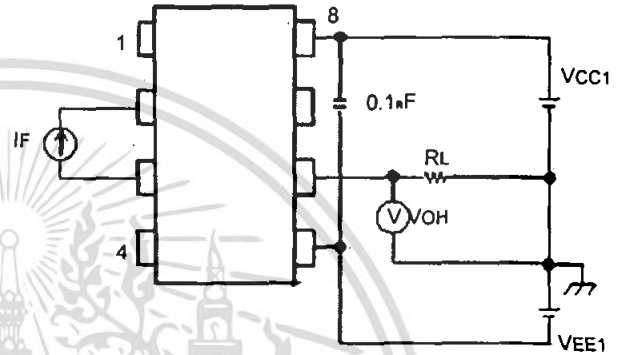
Test Circuit 2 : ICPL



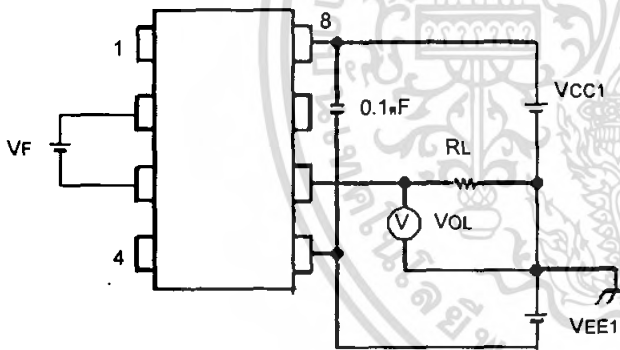
Test Circuit 3 : IOPH



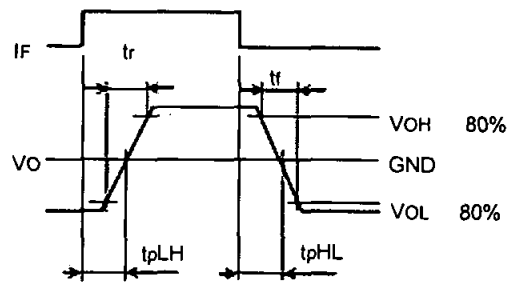
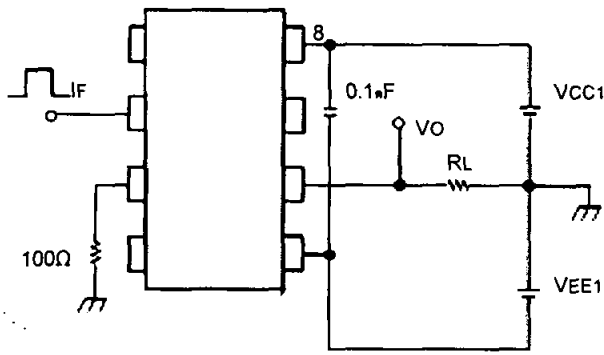
Test Circuit 4 : VOH



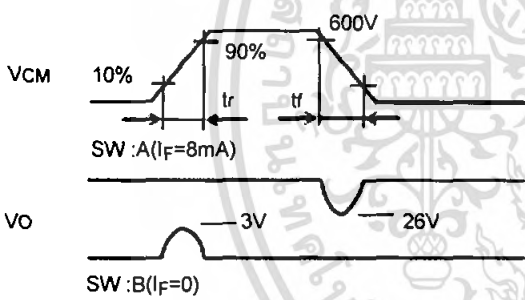
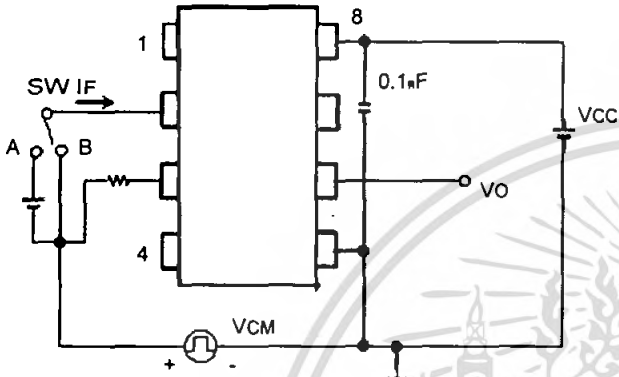
Test Circuit 5 : VOL



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



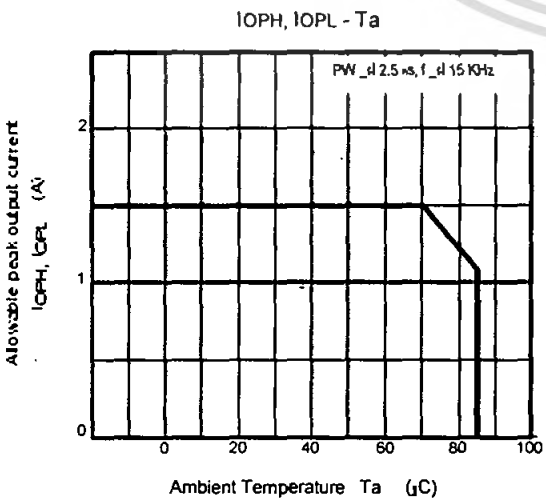
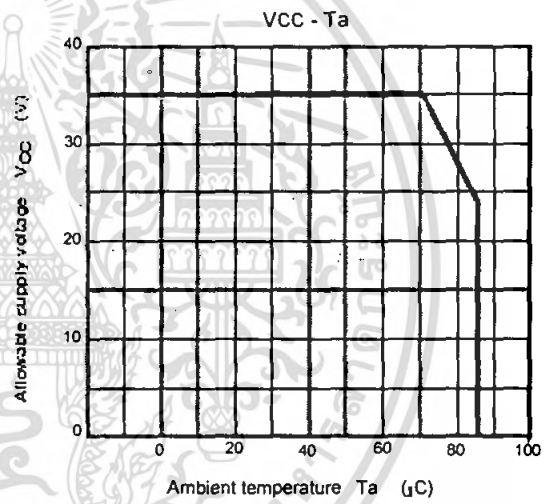
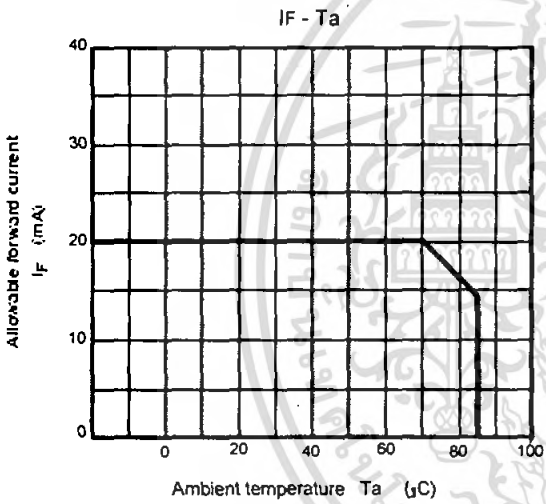
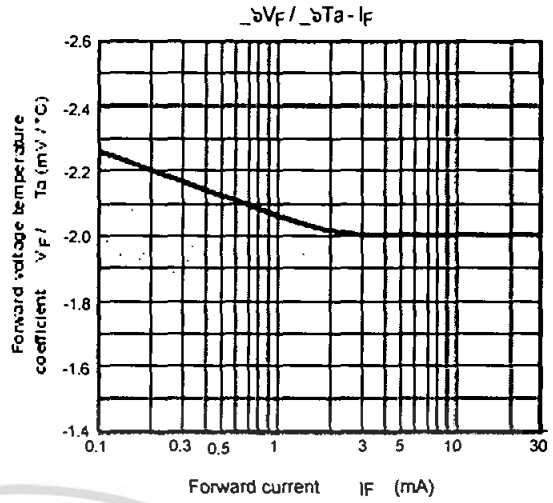
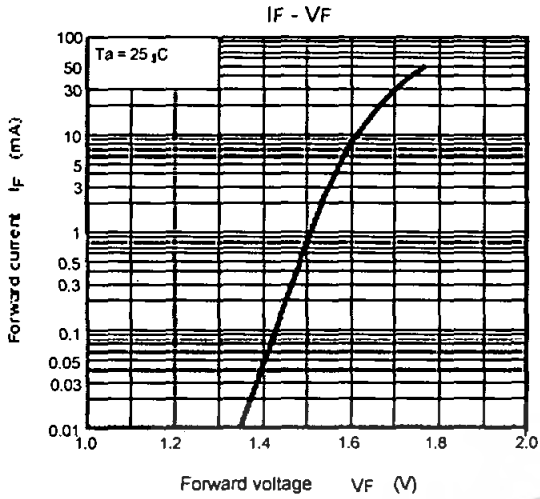
Test Circuit 7: C_{MH} , C_{ML}



$$C_{ML} = \frac{480 \text{ (V)}}{t_r \text{ (ns)}}$$

$$C_{MH} = \frac{480 \text{ (V)}}{t_f \text{ (ns)}}$$

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

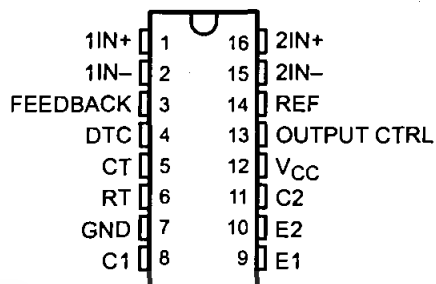
1. การแก้ไข | 2. การแก้ไข | 3. การแก้ไข | 4. การแก้ไข | 5. การแก้ไข | 6. การแก้ไข | 7. การแก้ไข | 8. การแก้ไข | 9. การแก้ไข | 10. การแก้ไข | 11. การแก้ไข | 12. การแก้ไข | 13. การแก้ไข | 14. การแก้ไข | 15. การแก้ไข | 16. การแก้ไข | 17. การแก้ไข | 18. การแก้ไข | 19. การแก้ไข | 20. การแก้ไข | 21. การแก้ไข | 22. การแก้ไข | 23. การแก้ไข | 24. การแก้ไข | 25. การแก้ไข | 26. การแก้ไข | 27. การแก้ไข | 28. การแก้ไข | 29. การแก้ไข | 30. การแก้ไข | 31. การแก้ไข | 32. การแก้ไข | 33. การแก้ไข | 34. การแก้ไข | 35. การแก้ไข | 36. การแก้ไข | 37. การแก้ไข | 38. การแก้ไข | 39. การแก้ไข | 40. การแก้ไข | 41. การแก้ไข | 42. การแก้ไข | 43. การแก้ไข | 44. การแก้ไข | 45. การแก้ไข | 46. การแก้ไข | 47. การแก้ไข | 48. การแก้ไข | 49. การแก้ไข | 50. การแก้ไข | 51. การแก้ไข | 52. การแก้ไข | 53. การแก้ไข | 54. การแก้ไข | 55. การแก้ไข | 56. การแก้ไข | 57. การแก้ไข | 58. การแก้ไข | 59. การแก้ไข | 60. การแก้ไข | 61. การแก้ไข | 62. การแก้ไข | 63. การแก้ไข | 64. การแก้ไข | 65. การแก้ไข | 66. การแก้ไข | 67. การแก้ไข | 68. การแก้ไข | 69. การแก้ไข | 70. การแก้ไข | 71. การแก้ไข | 72. การแก้ไข | 73. การแก้ไข | 74. การแก้ไข | 75. การแก้ไข | 76. การแก้ไข | 77. การแก้ไข | 78. การแก้ไข | 79. การแก้ไข | 80. การแก้ไข | 81. การแก้ไข | 82. การแก้ไข | 83. การแก้ไข | 84. การแก้ไข | 85. การแก้ไข | 86. การแก้ไข | 87. การแก้ไข | 88. การแก้ไข | 89. การแก้ไข | 90. การแก้ไข | 91. การแก้ไข | 92. การแก้ไข | 93. การแก้ไข | 94. การแก้ไข | 95. การแก้ไข | 96. การแก้ไข | 97. การแก้ไข | 98. การแก้ไข | 99. การแก้ไข | 100. การแก้ไข | 2004-06-25

TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074D – JANUARY 1983 – REVISED MAY 2002

- Complete PWM Power-Control Circuitry
- Uncommitted Outputs for 200-mA Sink or Source Current
- Output Control Selects Single-Ended or Push-Pull Operation
- Internal Circuitry Prohibits Double Pulse at Either Output
- Variable Dead Time Provides Control Over Total Range
- Internal Regulator Provides a Stable 5-V Reference Supply With 5% Tolerance
- Circuit Architecture Allows Easy Synchronization

D, DB, N, NS, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



description

The TL494 incorporates all the functions required in the construction of a pulse-width-modulation (PWM) control circuit on a single chip. Designed primarily for power-supply control, this device offers the flexibility to tailor the power-supply control circuitry to a specific application.

The TL494 contains two error amplifiers, an on-chip adjustable oscillator, a dead-time control (DTC) comparator, a pulse-steering control flip-flop, a 5-V, 5%-precision regulator, and output-control circuits.

The error amplifiers exhibit a common-mode voltage range from -0.3 V to $V_{CC} - 2\text{ V}$. The dead-time control comparator has a fixed offset that provides approximately 5% dead time. The on-chip oscillator can be bypassed by terminating RT to the reference output and providing a sawtooth input to CT, or it can drive the common circuits in synchronous multiple-rail power supplies.

The uncommitted output transistors provide either common-emitter or emitter-follower output capability. The TL494 provides for push-pull or single-ended output operation, which can be selected through the output-control function. The architecture of this device prohibits the possibility of either output being pulsed twice during push-pull operation.

The TL494C is characterized for operation from 0°C to 70°C . The TL494I is characterized for operation from -40°C to 85°C .

AVAILABLE OPTIONS

T _A	PACKAGED DEVICES				
	SMALL OUTLINE (D)	PLASTIC DIP (N)	SMALL OUTLINE (NS)	SHRINK SMALL OUTLINE (DB)	THIN SHRINK SMALL OUTLINE (PW)
0°C to 70°C	TL494CD	TL494CN	TL494CNS	TL494CDB	TL494CPW
-40°C to 85°C	TL494ID	TL494IN	—	—	—

The D, DB, NS, and PW packages are available taped and reeled. Add the suffix R to device type (e.g., TL494CDR).



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการค้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

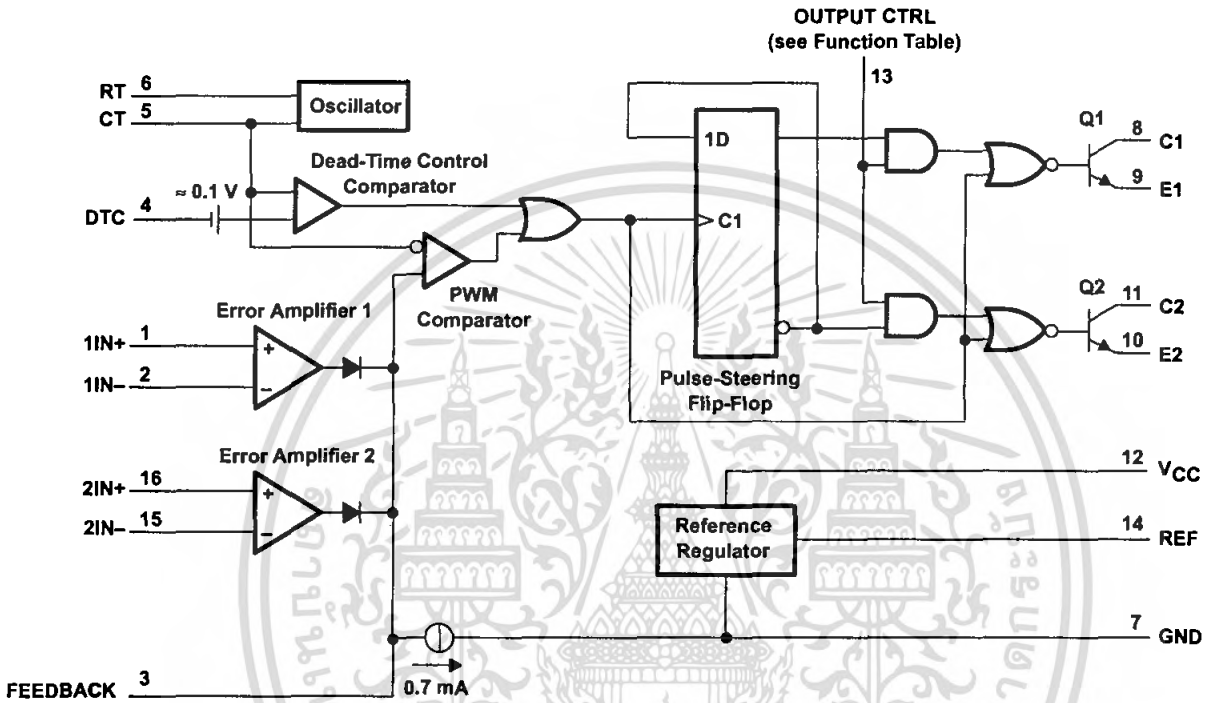
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074D – JANUARY 1983 – REVISED MAY 2002

FUNCTION TABLE

INPUT TO OUTPUT CTRL	OUTPUT FUNCTION
$V_I = \text{GND}$	Single-ended or parallel output
$V_I = V_{\text{ref}}$	Normal push-pull operation

functional block diagram



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074D – JANUARY 1983 – REVISED MAY 2002

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)	41 V
Amplifier input voltage, V_I	$V_{CC} + 0.3$ V
Collector output voltage, V_O	41 V
Collector output current, I_O	250 mA
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2 and 3): D package	73°C/W
DB package	82°C/W
N package	67°C/W
NS package	64°C/W
PW package	108°C/W
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C
Storage temperature range, T_{stg}	-65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES: 1. All voltage values are with respect to the network ground terminal.
 2. Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
 3. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

recommended operating conditions

		MIN	MAX	UNIT	
V_{CC}	Supply voltage	7	40	V	
V_I	Amplifier input voltage	-0.3	$V_{CC}-2$	V	
V_O	Collector output voltage		40	V	
	Collector output current (each transistor)		200	mA	
	Current into feedback terminal		0.3	mA	
f_{osc}	Oscillator frequency	1	300	kHz	
C_T	Timing capacitor	0.47	10000	nF	
R_T	Timing resistor	1.8	500	k Ω	
T_A	Operating free-air temperature	TL494C	0	70	°C
		TL494I	-40	85	



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074D – JANUARY 1983 – REVISED MAY 2002

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $f = 10\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

output section

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
Collector off-state current	$V_{CE} = 40\text{ V}$, $V_{CC} = 40\text{ V}$		2	100	μA
Emitter off-state current	$V_{CC} = V_C = 40\text{ V}$, $V_E = 0$			-100	μA
Collector-emitter saturation voltage	Common emitter $V_E = 0$, $I_C = 200\text{ mA}$		1.1	1.3	V
	Emitter follower $V_{O(C1\text{ or }C2)} = 15\text{ V}$, $I_E = -200\text{ mA}$		1.5	2.5	
Output control input current	$V_I = V_{ref}$			3.5	mA

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

dead-time control section (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
Input bias current (DEAD-TIME CTRL)	$V_I = 0\text{ to }5.25\text{ V}$		-2	-10	μA
Maximum duty cycle, each output	V_I (DEAD-TIME CTRL) = 0, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\text{ k}\Omega$		45%		
Input threshold voltage (DEAD-TIME CTRL)	Zero duty cycle		3	3.3	V
	Maximum duty cycle	0			

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

PWM comparator section (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
Input threshold voltage (FEEDBACK)	Zero duty cycle		4	4.5	V
Input sink current (FEEDBACK)	V (FEEDBACK) = 0.7 V	0.3	0.7		mA

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

total device

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
Standby supply current	$R_T = V_{ref}$, All other inputs and outputs open	$V_{CC} = 15\text{ V}$	6	10	mA
		$V_{CC} = 40\text{ V}$	9	15	
Average supply current	V_I (DEAD-TIME CTRL) = 2 V, See Figure 1		7.5		mA

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

switching characteristics, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
Rise time	Common-emitter configuration, See Figure 3		100	200	ns
Fall time			25	100	ns
Rise time	Emitter-follower configuration, See Figure 4		100	200	ns
Fall time			40	100	ns

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074D – JANUARY 1983 – REVISED MAY 2002

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

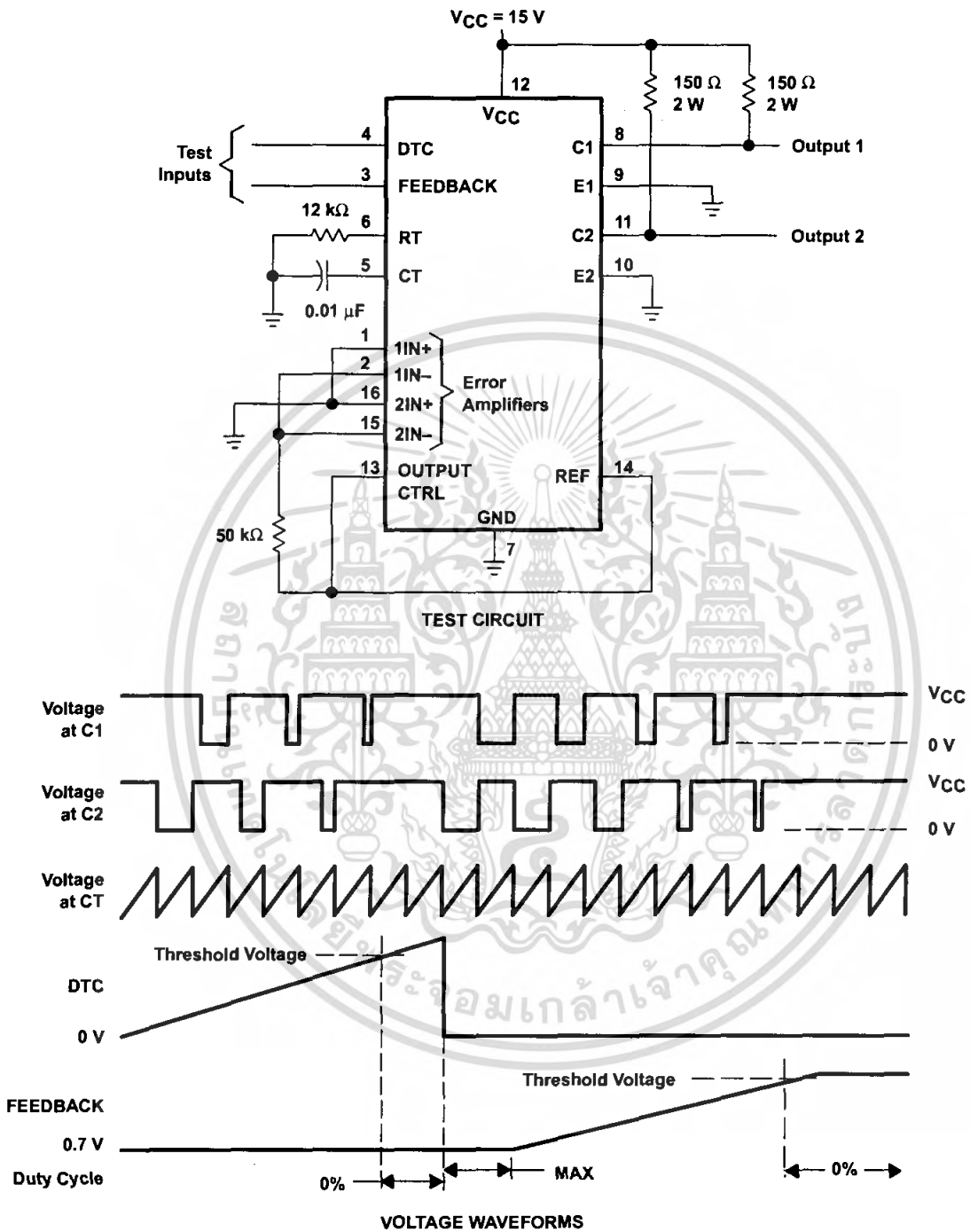


Figure 1. Operational Test Circuit and Waveforms



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

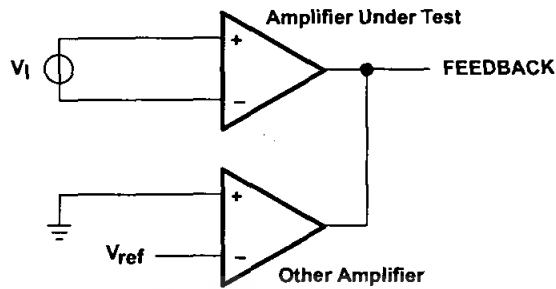
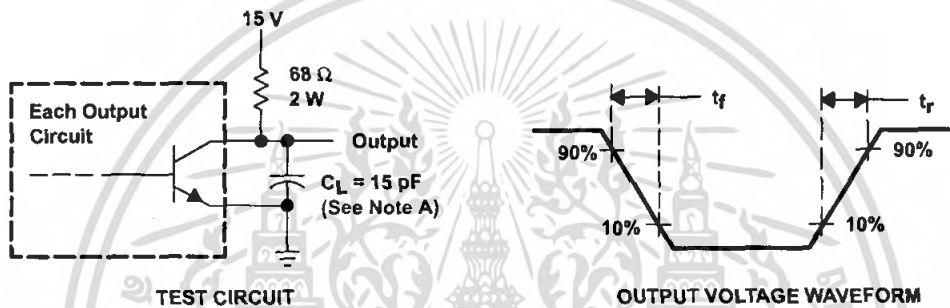
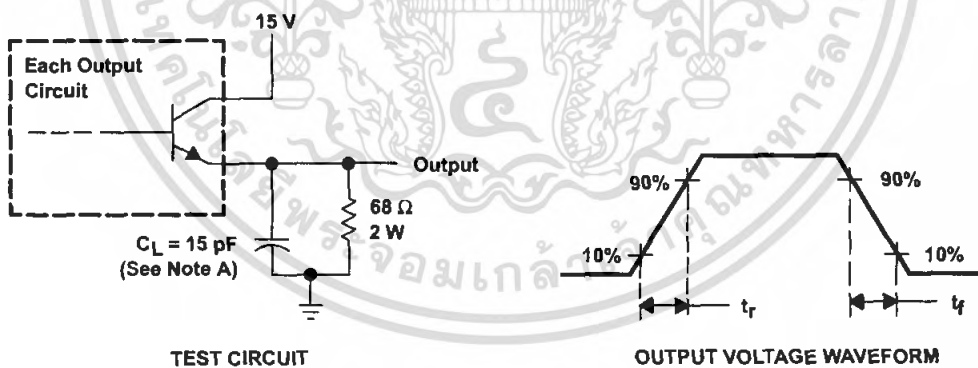


Figure 2. Amplifier Characteristics



NOTE A: C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 3. Common-Emitter Configuration



NOTE A: C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 4. Emitter-Follower Configuration



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

TL494
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074D - JANUARY 1983 - REVISED MAY 2002

TYPICAL CHARACTERISTICS

**OSCILLATOR FREQUENCY AND
 FREQUENCY VARIATION†**

vs

TIMING RESISTANCE

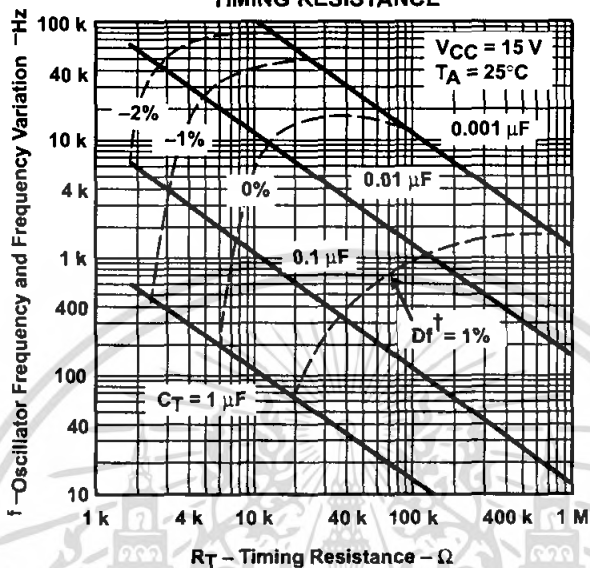


Figure 5

AMPLIFIER VOLTAGE AMPLIFICATION

vs

FREQUENCY

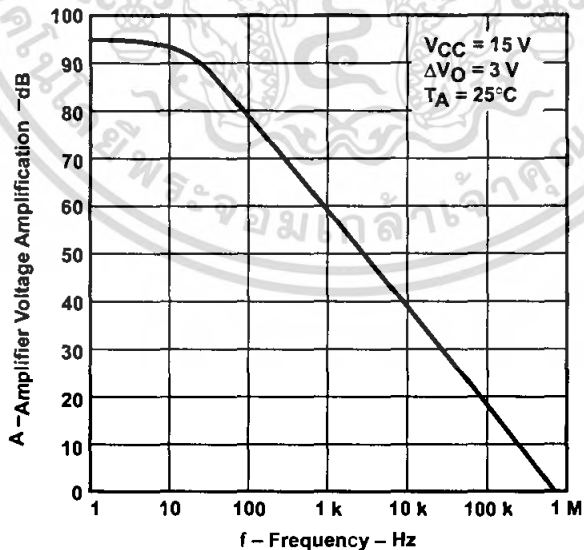


Figure 6



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265