สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เตาหลอมโลหะแบบเหนี่ยวนำโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดัน
VOLTAGE SOURCE INDUCTION FURNACE

โดย

นาย ดิตถดนัย จำเนียรไวย
นาย ธนิต สีภา
นาย ธีรพงศ์ ปัญญาคำ
นาย ธีรพล เกียรติขจรไพศาล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72639
วัน,เดือน,ปี 21 มิ.ย. 2550

b 11770673
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2549

เตาหลอมโลหะแบบเหนี่ยวนำโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดัน
VOLTAGE SOURCE INDUCTION FURNACE

โดย

นาย ดิดถดนัย จำเนียรไวย
นาย ธนิต สีภา
นาย ธีรพงศ์ ปัญญาคำ
นาย ธีรพล เกียรติขจรไพศาล

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. สมภพ ผลไม้
ผศ.ดร. สุพัฒน์ กิดดิรัตน์สัจจา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เตาหลอมโลหะแบบเหนี่ยวนำโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดัน

ผู้จัดทำ

1. นาย ดิดถดนัย จำเนียรไวย
2. นาย ธนิต สีภา
3. นาย ธีรพงศ์ ปัญญาคำ
4. นาย ธีรพล เกียรดิขจรไพศาล

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. สมภพ ผลไม้)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาหลอมโลหะแบบเหนี่ยวนำโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดัน

นาย คิดถดนัย จำเนียรไวย
นาย ธนิต สีภา
นาย ธีรพงค์ ปัญญาคำ
นาย ธีรพล เกียรติขจรไพศาล
ดร. สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร. สุพัฒน์ กิตดิรัดน์สัจจา อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการวิเคราะห์ การออกแบบและสร้างเตาหลอมโลหะแบบเหนี่ยวนำชนิดแหล่งจ่ายแรงดันความถี่สูง ที่มีการควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยการปรับความถี่ทำงานที่พิกัดความถี่ประมาณ 15 กิโลเฮิร์ท และใช้มอสเฟตเป็นอุปกรณ์สวิตชิ่ง ในการทดลองได้ออกแบบที่พิกัดกำลังไฟฟ้าประมาณ 1 กิโลวัตต์แล้วทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของพิกัดกำลังที่ได้ออกมาจากชุดอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VOLTAGE SOURCE INDUCTION FURNACE

Dithadanai Jamnienwai
Tanit Sripa
Teerapong Panyakam
Teerapol Kiatkajornpaisan
Dr. Sompob Polmai Advisor
Asst. Prof. Dr. Supat Kittiratcatcha Advisor
2005

ABSTRACT

This thesis presents the analysis, design and construction of a high frequency voltage source induction furnace. The power output is controlled by mean of frequency adjustment. The rated switching frequency is designed for 15 kHz and MOSFETs are used as switching devices in the inverter. The experiment of the prototype inverter at the rated power of 1kW has been carried out and the experimental result is evaluated for the efficiency of the system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดา มารดาอันเป็นผู้มีพระคุณยิ่งที่ให้ความสนับสนุนและโอกาสในทุกๆสิ่งแก่คณะผู้จัดทำดลอดเสมอมา ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สมภพ ผลไม้ และ รศ.ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา ในการประสิทประสาทวิชาความรู้ คอยให้คำปรึกษาคำแนะนำเกี่ยวกับโครงงานเสมอมา ดลอดจนคำอบรมสั่งสอนที่มีคุณค่ายิ่ง ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และสิ่งต่างๆที่ดีแก่คณะผู้จัดทำขอขอบคุณบุคลากรภายในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่คอยช่วยอำนวยความสะดวกเอื้อเฟื้ออุปกรณ์การทดลองต่างๆขอบคุณพี่ๆนักศึกษาปริญญาโทที่คอยให้คำแนะนำและเอาใจใส่ด้วยดีตลอดมา ขอบคุณเพื่อนๆทุกคนในห้องแล็ปที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในทุกๆอย่าง จนสามารถลุล่วงโครงงานและทำเป็นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้อย่างสมบูรณ์

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....I

ABSTRACT.....II

สารบัญรูป.....III

สารบัญตาราง.....IV

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....1

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย.....2

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....2

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 พื้นฐานการเกิดความร้อนโดยการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า.....3

2.2 การให้ความร้อนแบบเหนี่ยนำกับเบ้าหลอม.....5

2.3 ทฤษฎีพื้นฐานของวงจรเรโซแนนซ์.....5

2.3.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม.....6

2.3.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน.....9

2.4 อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม.....13

2.4.1 หลักการทำงานเบื้องต้น.....13

2.4.2 การสูญเสียจากการสวิตชิ่ง.....14

2.4.3 การทำงานที่ความถี่ต่ำกว่าความถี่เรโซแนนซ์.....15

2.4.4 การทำงานที่ความถี่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์.....15

2.5 เพาเวอร์มอสเฟส.....15

2.5.1 กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของเพาเวอร์มอสเฟต.....16

2.5.2 เงื่อนไขของวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟต.....18

2.5.3 ค่าความจุไฟฟ้าด้านอินพุทของมอสเฟต.....18

2.5.4 การกำหนดเวลาในการเปลี่ยนแปลงสถานะ.....20

2.6 ทฤษฎีและวิธีการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง.....21

2.6.1 หม้อแปลงสวิตชิ่ง.....21

2.6.2 ทฤษฎีหม้อแปลง.....22

2.6.3 ส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิตชิ่ง.....23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.4 แกนเฟอไรต์และการเลือกใช้.....24
2.6.5 ลักษณะสมบัติของเนื้อสารที่ใช้ทำแกนเฟอไรต์.....24
2.6.6 เส้นโคงฮิสเตอร์รีซิส.....24
2.6.7 ค่าสูญเสียในแกนเฟอไรต์.....26
2.6.8 การออกแบบหม้อแปลง.....26
2.6.9 สมการที่ใช้ในการออกแบบ.....26
2.6.10 ตัวเก็บประจุบล็อกกิ้งเพื่อป้องกันการไม่สมมาตรฟลักซ์แม่เหล็ก.....32

บทที่ 3 วงจรที่เกี่ยวข้อง.....34
3.1 วงจรเรียงกระแสและวงจรแรงดัน.....34
3.1.1 วงจรเรียงกระแส.....34
3.1.2 วงจรกรองแรงดัน.....35
3.2 อินเวอร์เตอร์.....37
3.2.1 ลักษณะการทำงานของวงจร.....37
3.2.2 วงจรขับเกต.....38
3.2.3 เดดไทม์.....39
3.2.4 วงจร Drive-isolated.....41
3.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง.....42

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....43
4.1 การทดสอบชุดวงจรสัญญาณขับเกต.....43
4.2 การทดลองชุดแยกทางแสง.....44
4.3 การทดสอบการปรับค่า Duty Ratio.....46
4.4 การหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเมื่อเทียบกับเวลา.....48
4.5 การทดลองหาค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์.....49

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ลักษณะการไหลวนของกระแสไฟฟ้าและเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดและชิ้นงาน....4

2.2 วงจรเสมือนของขดลวดให้ความร้อน....4

2.3 (ก) วงจร RLC แบบอนุกรม....7

(ข) ความสัมพันธ์ของ X_L และ X_C ต่อความถี่สำหรับวงจร RLCแบบอนุกรม....7

2.4 อิมพีแดนซ์รวมและกระแสที่ไหลในวงจร RLC แบบอนุกรมที่ความถี่ต่าง ๆ....8

2.5 (ก) วงจร RLC แบบขนาน....9

(ข) ความสัมพันธ์ของ X_L และ X_C ต่อความถี่สำหรับวงจร RLC แบบขนาน....9

2.6 อิมพีแดนซ์รวมและกระแสที่ไหลในวงจร RLC แบบขนานที่ความถี่ต่าง ๆ....10

2.7 วงจรแทงค์....12

2.8 วงจร RLC แบบขนาน....12

2.9 ลักษณะของกระแสและแรงดันคร่อมมอสเฟตเมื่อเริ่มนำกระแสและหยุดนำกระแส....17

2.10 ตัวเก็บประจุแฝงที่ต่ออยู่ที่ขาต่าง ๆภายในตัวเพาเวอร์มอสเฟต....18

2.11 แรงดันและกระแสขาเกตขณะเพาเวอร์มอสเฟตถูกไบอัสให้เหนี่ยวนำกระแส....19

2.12 Gate Charge Chart....20

2.13 การชาร์จประจุที่ขาเกทตามเวลามีผลต่อการเริ่มนำกระแส....21

2.14 แสดงเส้นโค้งฮิสเตอริซิสของแกนเฟอร์ไรต์....25

2.15 แสดงลักษณะที่สมบูรณ์ของเส้นโค้งฮิสเตอริซิสซึ่งมีลักษณะสมมาตร....25

3.1 วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์....34

3.2 แสดงแรงดันขาขึ้นและขาออกวงจรเรคติไฟเออร์....35

3.3 การใส่ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์....36

3.4 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์....38

3.5 วงจรไอซี 74LS14....39

3.6 (ก) วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์หนึ่งกิ่ง....40

(ข) แรงดันควบคุมเกตในอุดมคติ....41

(ค) แรงดันควบคุมเกตของสวิตซ์ที่ได้ชดเชยผลของเดดไทม์....41

3.7 วงจรแยกทางแสง....41

3.8 วงจรจ่ายไฟกระแสตรง +15 โวลต์....42

3.9 วงจรจ่ายไฟกระแสตรง +5 โวลต์....42

4.1 รูปวงจรกำลัง....43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.2 วงจรสัญญาณเดดไทม์....43

4.3 วงจรสัญญาณเดดไทม์....44

4.4 คลื่นสัญญาณที่ได้จากเดดไทม์....44

4.5 วงจรแยกทางแสง....45

4.6 สัญญาณที่ได้จากการแยกทางแสง....46

4.7 รูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากมอสเฟต....47

4.8 สัญญาณแสดงช่วงเวลาเดดไทม์....47

4.9 กราฟแสดงอุณหภูมิเมื่อเปรียบเทียบกับเวลา....49

4.10 แสดงจุดวัดแรงดันและกระแส....50

4.10 สัญญาณแรงดันและกระแสอินพุทของอินเวอร์เตอร์ขณะทำงาน....51

4.11 สัญญาณแรงดันและกระแสเอาท์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่ 15 kHz....51

4.12 สัญญาณแรงดันและกระแสเอาท์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่ 15.5 kHz....51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 แสดงค่าเวลาและอุณหภูมิในการหลอมตะกั่ว 50 กรัม.....48
4.2 ตารางแสดงประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์.....51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพลังงานนับได้ว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งในชีวิตประจำวัน ที่ต้องมีการบริหารจัดการ หรือนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าที่ได้กลายเป็นพลังงานหลักที่เข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยมีการนำเอาทฤษฎีต่าง ๆ ทางด้านไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดสิ่งประดิษฐ์ใหม่ ๆ ที่มีคุณประโยชน์

เครื่องหลอมโดยอาศัยการเหนี่ยวนำนั้น เป็นการใช้หลักการของการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานจนถึงจุดที่สามารถที่จะทำให้ชิ้นงานหลอมได้ โดยจะมีรูปพลังงานเข้ามาเกี่ยวข้องกับเตาหลอม 3 รูป คือ เริ่มต้นจากพลังงานในรูปไฟฟ้า พลังงานในรูปสนามแม่เหล็ก และสุดท้ายพลังงานความร้อนที่จะส่งถ่ายไปสู่ชิ้นงานเพื่อนำไปสู่การหลอม ในเบื้องต้นของเตาหลอมโดยอาศัยการเหนี่ยวนำนั้นจะรับพลังงานไฟฟ้ามาเป็นอันดับแรก คือเริ่มป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่วงจรเรคติไฟเออร์ (Rectifier) และฟิลเตอร์ (Filter) เพื่อกรองสัญญาณรบกวนและแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อควบคุมให้มีกระแสไหลคงที่และป้อนให้กับวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ (Full-Bridge Inverter) ทำการสวิทช์ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับกลับออกมาและสามารถควบคุมความถี่ได้ ซึ่งมีลักษณะคลื่นเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีความถี่สูง ๆใกล้เคียงกับความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant Frequency) เนื่องจากที่ความถี่เรโซแนนซ์จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด หลังจากนั้นก็จะนำไปเป็นอินพุทให้กับหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรด์ที่แปลงแรงดันให้ต่ำลงและเพิ่มกระแสที่ไหลไปยังโหลดที่เป็นโหลดเรโซแนนซ์แบบอนุกรม การเพิ่มกระแสให้มีค่าสูงขึ้น เพื่อไปทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กให้มากที่สุดเพื่อทำให้เกิดกระแสไหลวนในตัวเบ้าหลอมซึ่งก็คือการแปรเป็นพลังงานในรูปสนามแม่เหล็ก และหลังจากนั้นก็จะเข้าสู่ในรูปของพลังงานความร้อนซึ่งเกิดขึ้นที่เบ้าหลอม จากนั้นความร้อนจึงถ่ายเทจากเบ้าหลอมไปสู่ชิ้นงานที่เป็นตะกั่วเพื่อให้เกิดการหลอมขึ้น

เนื่องจากเตาหลอมโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำนั้น เป็นเครื่องหลอมที่ค่อนข้างประหยัดพลังงาน มีการสูญเสียพลังงานน้อย ใช้เวลาในการหลอมเร็ว ใช้พื้นที่ในการทำงานน้อย เงียบ ปลอดภัยเพราะไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงซึ่งเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นส่วนที่ทำให้ส่วนประกอบของชิ้นงานหลังการหลอมเกิดการเปลี่ยนแปลง จึงทำให้เห็นได้ชัดว่าเตาหลอมโลหะโดยอาศัยการเหนี่ยวนำมีความน่าสนใจที่จะนำมาศึกษาและพัฒนา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการทำงานของเตาหลอมแบบเหนี่ยวนำชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน
2. ศึกษาและพัฒนาชุดอินเวอร์เตอร์แบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ ในวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม เช่น อิมพิแดนซ์ มุมต่างเฟสระหว่างแรงดันและกระแส ตัวประกอบคุณภาพ (Quality Factor) และกำลังไฟฟ้า ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์โดยตรงเมื่อความถี่เกิดการเปลี่ยนแปลง

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างชุดอินเวอเตอร์แบบอนุกรมเรโซแนนซ์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายกำลังให้กับชุดเบ้าหลอม
2. ออกแบบและสร้างชุดสำหรับขับอินเวอร์เตอร์

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาและทำความเข้าใจในทฤษฎีเบื้องต้นที่ใช้ในการทำโครงงาน
2. ดำเนินการทดลองและทดสอบทฤษฎีที่ต้องใช้ในการทำโครงงาน
3. ทำการออกแบบวงจรที่จะนำไปใช้ในโครงงาน
4. ทำการออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ขับวงจร
5. ทำการจำลองและสร้างเตาหลอมเหนี่ยวนำและทดสอบ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

สามารถนำเครื่องต้นแบบที่ได้จากการทำปริญญานิพนธ์มาพัฒนาเพื่อใช้ในโรงานอุตสาหกรรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 พื้นฐานการเกิดความร้อนโดยการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า

การให้ความร้อนหรือการหลอมชิ้นงานโดยอาศัยการเหนี่ยวนำ เป็นการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานที่ต้องการจะหลอมโดยการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเข้าไปในขดลวด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กในขดลวด ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและเกิดกระแสไหลวนเป็นวงปิดรอบชิ้นงาน และเนื่องจากเป็นการไหลของไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นจึงเกิดผลของ Skin Effect ซึ่งจะทำให้กระแสไหลเฉพาะบริเวณผิวด้านนอกของตัวชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยมีความลึกของกระแสที่ไหลภายในชิ้นงานนี้ ขึ้นอยู่กับความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลซึ่งจะเป็นความถี่เดียวกับความถี่ที่ป้อนเข้าไปในขดลวดที่พันรอบ ดังแสดงในสมการที่ (2.1) โดยเราสามารถพิจารณาการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนขึ้นทั้งระบบเป็นหม้อแปลง 1ชุด โดยขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กจะเป็นเสมือนขดปฐมภูมิของหม้อแปลง ที่มีจำนวนรอบเท่ากับจำนวนรอบของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก ส่วนเบ้าหลอมจะเปรียบเสมือนขดทุติยภูมิของหม้อแปลง ที่มีจำนวนรอบหนึ่งรอบดังแสดงในรูปที่ 2.2 ดังนั้นกระแสที่ไหลในชิ้นงานจะมีค่าเท่ากับปริมาณกระแสในขดลวด Working coil คูณกับจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมินั่นเอง โดยสามารถหาค่ากำลังที่เกิดขึ้นที่ชิ้นงานได้ ดังแสดงในสมการที่ (2.3)

ผลของ Skin Effect สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับความลึกของการไหลของกระแสได้โดยสมการที่ (2.1)

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \mu f}} \tag{2.1}$$

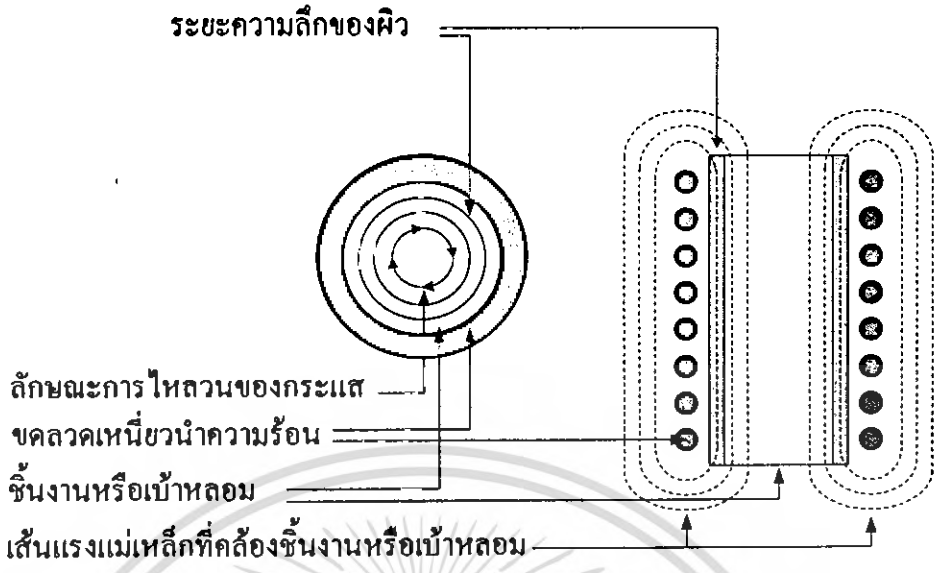
จากสมการที่ (2.1) สามารถหาค่าความถี่ได้ดังสมการที่ (2.2)

$$f = \frac{\rho}{\pi \mu \delta^2} \tag{2.2}$$

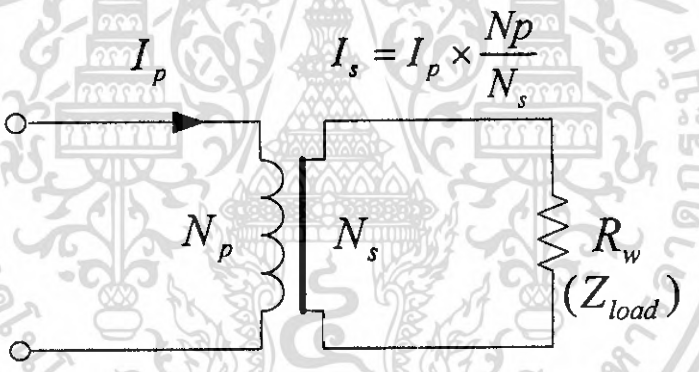
โดยที่

- δ คือความลึกของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในชิ้นงาน (m)
- μ คือสภาพความซึมซาบสนามแม่เหล็ก (H/m)
- ρ คือสภาพความต้านทานจำเพาะของชิ้นงาน $(\Omega \cdot m)$
- f คือความถี่ (Hz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ลักษณะการไหลวนของกระแสไฟฟ้าและเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดและชิ้นงาน



รูปที่ 2.2 วงจรเสมือนของขดลวดให้ความร้อน

โดยค่าของ N_s มีค่าเท่ากับ 1 รอบ ดังนั้นจะทำให้ได้

$$I_s = I_p N_p$$

จะทำให้ได้

$$P_w = I_p^2 N_p^2 R_w \qquad (2.3)$$

โดยที่

P_w คือกำลังที่ชิ้นงาน (W)

R_w คือความต้านทานสมมูลของชิ้นงาน (Ω)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน จะมีผลทำให้ค่าความซึมซาบสนามแม่เหล็กมีขนาดลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จนเมื่ออุณภูมิสูงจนถึง Curie Point (ประมาณ750 °C) จะทำให้ค่าความซึมซาบสนามแม่เหล็กนี้ลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าความซึมซาบสนามแม่เหล็กเกือบเท่ากับอากาศ ที่จุดอุณภูมิดังกล่าวจะมีผลให้สารนั้นหมดสภาพความเป็นสารแม่เหล็ก จะมีผลทำให้ค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance : L) ของชิ้นงานลดลงอย่างมาก จากสมการที่ (2.1) คุณสมบัติทางไฟฟ้าของชิ้นงานก็จะเปลี่ยนไปด้วย โดยค่าความด้านทานสมมูลของชิ้นงานจะลดลง เนื่องจากกระแสไหลวนจะไหลลึกลงไปในชิ้นงานได้มากขึ้น แต่ในส่วนของค่าสภาพความด้านทานไฟฟ้าจะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามอุณหภูมิ แต่หลังจากถึงจุด Curie Point แล้วก็จะเริ่มคงที่ จากสาเหตุนี้จะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์เกิดการเปลี่ยนแปลงไป โดยก่อนถึงจุด Curie Point จะมีความถี่เรโซแนนซ์ค่าหนึ่ง หลังถึงจุด Curie Point ก็จะมีความถี่เรโซแนนซ์ค่าหนึ่ง

2.2 การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำกับเบ้าหลอม

หลักการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

2.2.1 การให้พลังงานความร้อนทางอ้อม

โดยอาศัยการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) คือเมื่อขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กคล้องผ่าน ชิ้นงานและเบ้าหลอมซึ่งทำมาจากแกรไฟต์ ซึ่งเป็นสารแม่เหล็ก (Ferromagnetic) ถ้าชิ้นงานที่ต้องการหลอมไม่เป็นแม่เหล็ก (Non-Ferromagnetic) การหลอมจะอาศัยการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจากเบ้าหลอมเพียงอย่างเดียว

2.2.2 การให้พลังงานความร้อนทางตรง

โดยอาศัยกระแสไหลวน คือในกรณีชิ้นงานเป็นสารแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กที่เกิดจากการเหนี่ยวนำจะคล้องผ่านชิ้นงานและเบ้าหลอม ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสไหลวนในชิ้นงานด้วย ทฤษฎีการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำสามารถอธิบายได้ในรูปของทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับเบ้าหลอมที่มีลักษณะอุดมคติที่เรียกว่า Semi-Infinite Slab

2.3 ทฤษฎีพื้นฐานของวงจรเรโซแนนซ์

วงจรไฟสลับที่เกิดสภาวะเรโซแนนซ์หมายถึงวงจรที่มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของวงจรเท่ากับหนึ่ง นั่นคือกระแสที่ไหลในวงจรจะมีเฟสตรงกันกับแรงดันที่จ่ายให้แก่วงจร และค่าอิมพิแดนซ์เทียบเท่าภายในวงจรจะเหลือแต่ค่าความด้านทานเพียงอย่างเดียวเท่านั้น เพราะค่าอินดัคทีฟ รีแอคแดนซ์และค่าคาปาซิทีฟ รีแอคแดนซ์จะหักล้างกันหมดไป ในขั้นพื้นฐานจะสามารถแยกพิจารณาออกเป็น 2 ลักษณะคือ วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม และวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม (Series Resonant Circuit)

ลักษณะพฤติกรรมทางไฟฟ้า ของวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมจะมีอิมพิแดนซ์ที่ตำแหน่งเรโซแนนซ์ต่ำที่สุด ดังนั้นจะทำให้กระแสไหลผ่านวงจรได้มากที่สุดจึงทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีค่าสูงสุด วิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าทำได้โดยการลดแรงดันที่จ่ายให้วงจรหรือเลื่อนความถี่การใช้งานให้ต่ำหรือสูงกว่าตำแหน่งเรโซแนนซ์ เมื่อพิจารณาในรูปที่ 2.3 ก) ค่าอิมพิแดนซ์ของวงจร RLC ที่ต่อแบบอนุกรมจะมีค่าดังสมการที่ (2.4)

$$Z = R + j(X_L - X_c) \tag{2.4}$$

สภาวะเรโซแนนซ์จะสามารถหาค่าความถี่ได้ดังสมการที่ (2.5)

$$X_L = X_C$$

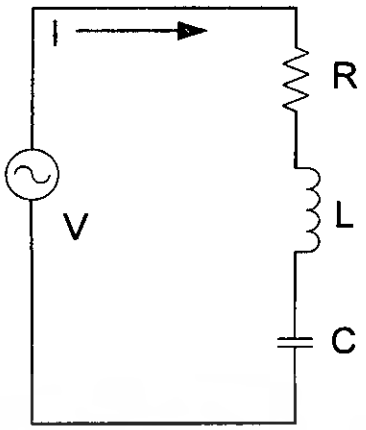
$$2\pi f_r L = \frac{1}{2\pi f_r C}$$

$$f_r^2 = \frac{1}{(2\pi)^2 LC}$$

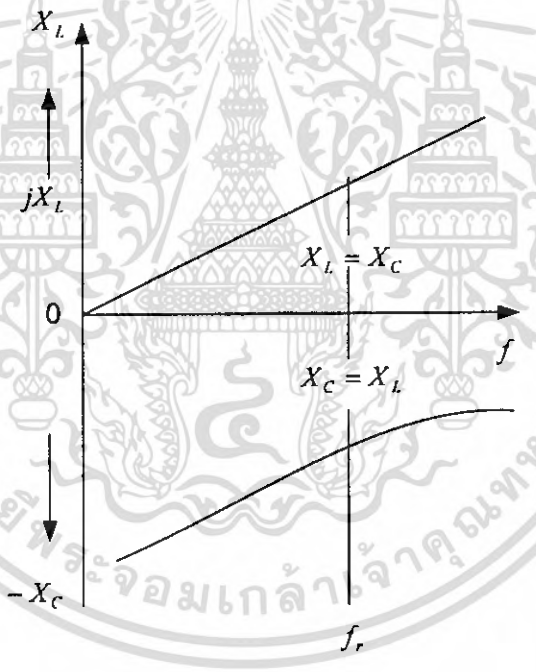
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{2.5}$$

จากสมการ (2.4) จะพบว่าค่าอิมพิแดนซ์จะขึ้นอยู่กับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ เนื่องจากค่า $X_L = 2\pi fL$ และค่า $X_c = 1/2\pi fC$ จากรูปที่ 2.3 ข) จะเห็นว่าเมื่อความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น ค่า X_L จะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าของ X_c จะมีค่าลดลงอย่างเป็นเชิงเส้นด้วย โดยที่ผลรวมของค่ารีแอคแดนซ์จะมีค่าเท่ากับ $(X_L - X_c)$ ดังนั้นถ้าหากความถี่ของแหล่งจ่ายไฟมีค่าเท่ากับความถี่เรโซแนนซ์ ดังสมการที่ (2.5) ก็จะมีผลทำให้ค่ารีแอคแดนซ์รวมมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นอิมพิแดนซ์รวมของวงจรจะมีค่าเท่ากับค่าความต้านทาน (Z=R)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 (ก) วงจร RLC อนุกรม



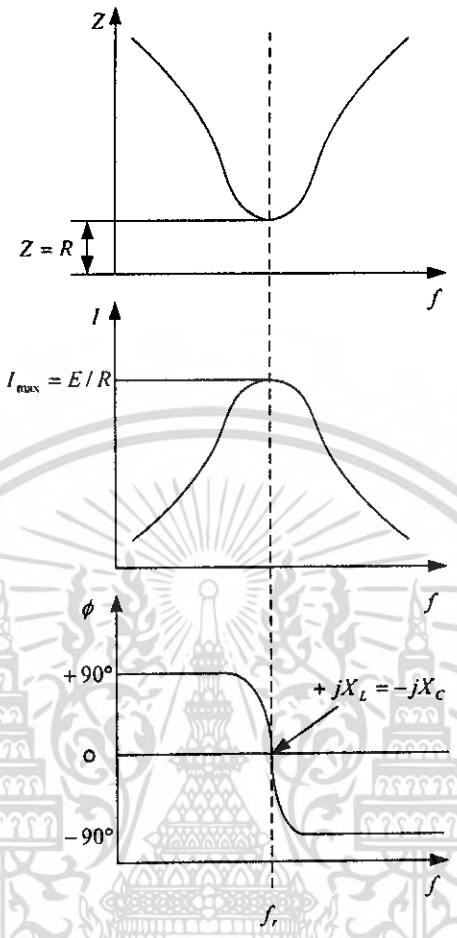
รูปที่ 2.3 (ข) ความสัมพันธ์ของ X_L และ X_C ต่อความถี่สำหรับวงจร RLC แบบอนุกรม

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \tag{2.6}$$

$$I = V / Z \tag{2.7}$$

จากสมการที่ (2.6) และสมการที่ (2.7) นำค่าอิมพิแดนซ์รวมและกระแสที่ไหลในวงจรที่ความถี่ใดๆ มาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 อิมพิแดนซ์รวม และกระแสที่ไหลในวงจร RLC แบบอนุกรม ที่ความถี่ต่างๆ

ค่าของแรงดันที่ดกคร่อมตัวด้านทาน ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่ความถี่ใดๆ ดังแสดงในสมการที่ (2.8) ที่ความถี่เรโซแนนซ์จะพบว่าแรงดัน V_L และ V_C จะกลับเฟสกันอยู่ 180 องศา และแรงดัน V_R จะมีค่ามากที่สุด (แรงดัน V_L และ V_C หักล้างกันมีค่าเป็นศูนย์) แสดงว่าที่สภาวะเรโซแนนซ์จะไม่มีพลังงานสะสม

$$V_R = IR; \qquad V_L = IX_L; \qquad V_C = IX_C \tag{2.8}$$

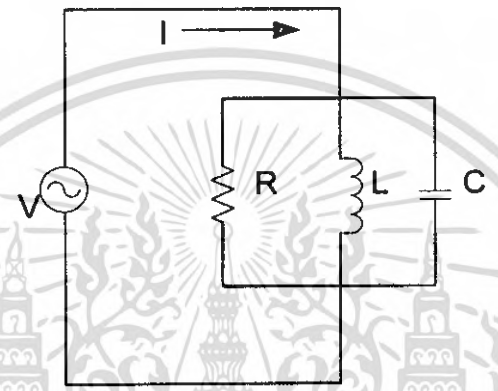
ตัวประกอบคุณภาพ (Quality Factor : Q) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ถูกเก็บเอาไว้ต่อพลังงานที่ถูกใช้ไป สำหรับในวงจร RLC อนุกรมพลังงานถูกเก็บเอาไว้ที่ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ จะสลับกันไปมาตลอดเวลา เพราะฉะนั้นในขณะเกิดสภาวะเรโซแนนซ์ค่าของ Q จะมีค่าเท่ากับ อัตราส่วนของค่ารีแอคแตนซ์ทั้งสองต่อค่าของความต้านทาน ดังแสดงในสมการที่ (2.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

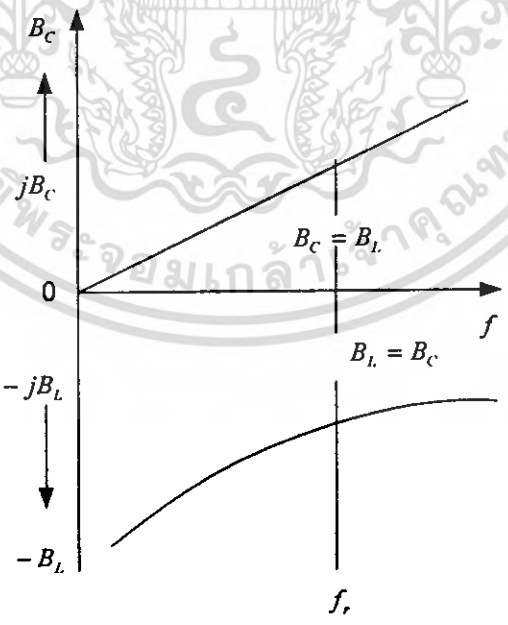
$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{X_C}{R} \tag{2.9}$$

2.3.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน (Parallel Resonant Circuit)

เมื่อพิจารณาในรูปที่ 2.5 จะพบว่า เมื่อวงจรเกิดสภาวะเรโซแนนซ์ได้ก็ต่อเมื่ออินดัคดีพซัซเซฟแดนซ์มีค่าเท่ากับคาปาซิดีฟ ซัซเซฟแดนซ์ หรือ $B_L = B_C$ ดังนั้นค่าแอดมิดแดนซ์ของวงจรจะน้อยที่สุด หรือกล่าวได้ว่ามีค่าเท่ากับความนำเท่านั้น ดังแสดงในสมการที่ (2.11)



รูปที่ 2.5 (ก) วงจร RLC แบบขนาน



รูปที่ 2.5 (ข) ความสัมพันธ์ของ X_L และ X_C ต่อความถี่สำหรับวงจร RLC แบบขนาน

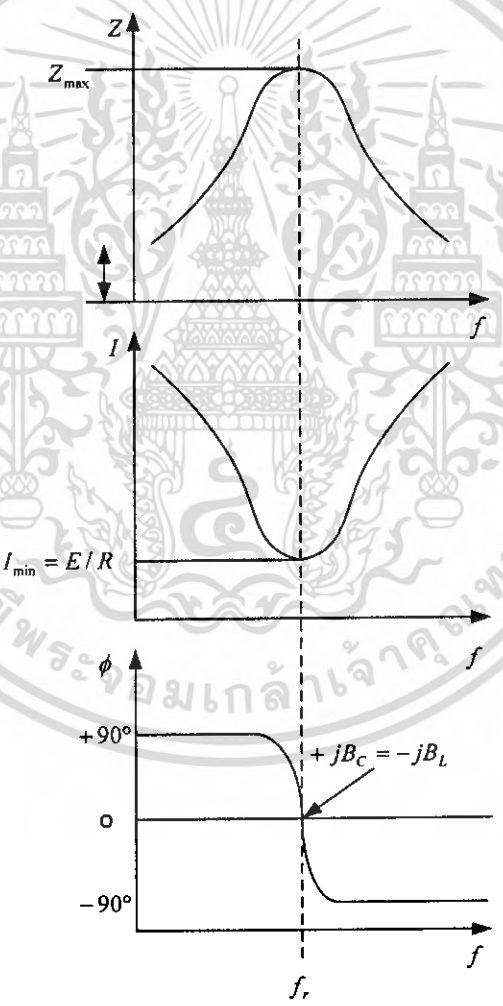
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y = G + j(B_c - B_L) \tag{2.10}$$

เมื่อ $B_L = B_C$ $(f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}})$ จะได้

$$Y = G = \frac{1}{R} \tag{2.11}$$

เมื่อนำค่าอิมพิแดนซ์รวมและกระแสที่ไหลในวงจร RLC แบบขนานที่ความถี่ใดๆ มาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 อิมพิแดนซ์รวม และกระแสที่ไหลในวงจร RLC แบบขนาน ที่ความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเกิดสภาวะเรโซแนนซ์ขึ้นในวงจร RLC แบบขนาน กระแสทั้งหมดที่ไหลในวงจรจะมีค่าเท่ากับกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานเพียงอย่างเดียว ส่วนกระแสที่ไหลผ่านคาปาซิเตอร์และตัวเหนี่ยวนำจะหักล้างกันหมดไป ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและตัวคาปาซิเตอร์จะมีค่ามากกว่ากระแสที่ไหลในวงจรมากกี่เท่าก็ย่อมเป็นไปได้ แต่ผลสุดท้ายค่ากระแสที่ไหลในวงจรก็จะเท่ากับกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานนั่นเอง ส่วนค่าของ Q ของวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะมีค่าเท่ากับ อัตราส่วนระหว่างค่าซัซเซฟแดนซ์ทั้งสองต่อค่าความนำของวงจร ดังสมการที่ (2.12)

$$Q_r = \frac{B_C}{G} = \frac{B_L}{G} \tag{2.12}$$

โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของกระแสได้ดังสมการที่ (2.13)

$$Q_r = \frac{I_C}{I_R} = \frac{I_L}{I_R} \tag{2.13}$$

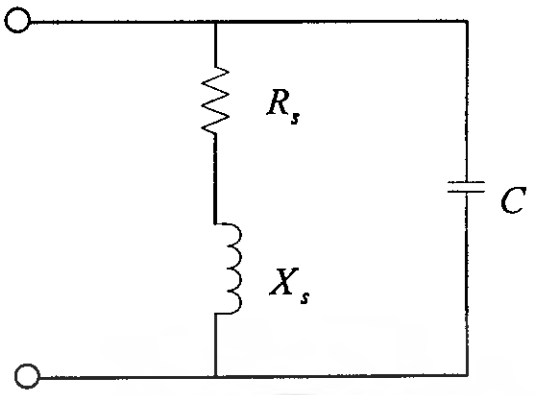
โดยที่

Q_r คือค่า Q ในขณะเกิดสภาวะเรโซแนนซ์
B_C คือค่า คาปาซิติฟ ซัซเซฟแดนซ์ในขณะเกิดสภาวะเรโซแนนซ์
B_L คือค่า อินดัคติฟ ซัซเซฟแดนซ์ในขณะเกิดสภาวะเรโซแนนซ์
G คือค่า ความนำของวงจร

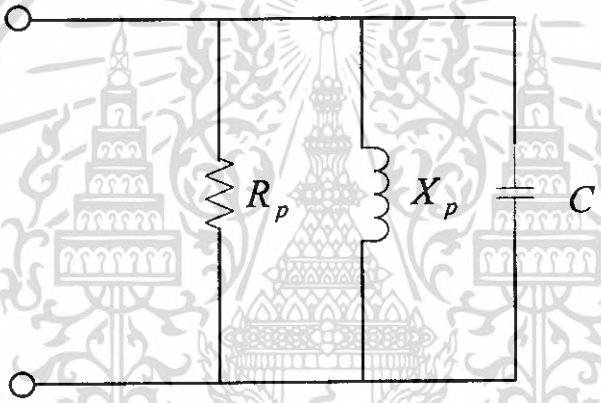
สำหรับในรูปที่ 2.7 เป็นวงจรเสมือนของโหลดของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบขนาน ซึ่งโดยทั่วไปจะเรียกว่าวงจรแทงค์ โดยเมื่ออยู่ที่สภาวะเรโซแนนซ์ค่าอิมพิแดนซ์รวมของวงจรสามารถหาค่าได้ดังสมการที่ (2.14)

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} \tag{2.14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 วงจรแทงค์



รูปที่ 2.8 วงจร RLC แบบขนาน

เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์หาค่าอิมพิแดนซ์ของวงจรแทงค์ที่แสดงในรูปที่ 2.7 เราสามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของวงจร RLC แบบขนาน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยสามารถหาค่าอิมพิแดนซ์รวมของวงจรดังแสดงในสมการที่ (2.15)

$$Z(f) = \frac{R_p}{1 + jQ_p\left(\frac{f}{f_o} - \frac{f_o}{f}\right)} \tag{2.15}$$

โดยที่

$$R_p = \frac{x_s^2}{R_s} \tag{2.16}$$

$$X_p = X_s \tag{2.17}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_p = \frac{\omega L}{R} \tag{2.18}$$

R_p คือค่าความต้านทานสมมูลของวงจรแทงค์ที่แหล่งจ่ายมองเห็น

Q_p คือค่า Quality Factor ของวงจรแทงค์

f_o คือค่า Natural resonant frequency ของวงจรแทงค์

เมื่อพิจารณาสมการที่ (2.16) จะพบว่า R_p มีค่าแปรผกผันกับค่า R_s ดังนั้นเมื่อมีการใส่ชิ้นงานลงไปในขดลวดเหนี่ยวนำจะมีผลทำให้ค่า R_p มีค่าลดลงและค่า X_p มีค่าสูงขึ้นจึงมีผลทำให้ความถี่เรโซแนนซ์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม มีผลทำให้กำลังที่ด้านขาออกมีค่าลดลง

2.4 อินเวอร์เตอร์รีโซแนนซ์แบบอนุกรม

2.4.1 หลักการทำงานเบื้องต้น

อินเวอร์เตอร์รีโซแนนซ์แบบอนุกรม ก็คือคอนเวอร์เตอร์ที่แปลงกำลังไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ ซึ่งจะเรียกว่าเป็นวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรม เพราะมีตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุอนุกรมกันกับโหลดความต้านทาน การสวิตช์จะทำให้เกิดแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยม โดยที่ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุจะทำให้เกิดความถี่รีโซแนนซ์ซึ่งจะมีค่าเท่ากับความถี่สวิตชิ่ง

ขั้นตอนการวิเคราะห์มีดังนี้

1 พิจารณาผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจร R-L-C จะได้ อัตราขยายแรงดันของวงจรซึ่งมีความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \tag{2.19}$$

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

2 ความถี่รีโซแนนซ์จะมีค่าเท่ากับ

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \tag{2.22}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ที่ความถี่รีโซแนนซ์ ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุจะหักล้างกัน มองเห็นเป็นโหลดมีค่าเฉพาะความต้านทานเท่านั้น

เมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านออกเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ความถี่ f_0 ผลของ L-C จะทำหน้าที่คล้ายเป็นตัวกรองความถี่ คือ ทำให้ความถี่หลักมูลผ่านไป และลดขนาดสัญญาณของฮาร์มอนิกส์ลำดับต่างๆ ทำให้รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมความต้านทานเป็นรูปคลื่นสัญญาณไซน์ที่มีความถี่เดียวกันกับความถี่ของรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

3 ขนาดของแรงดันความถี่หลักมูลของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม $\pm V_{dc}$ จะมีขนาดเท่ากับ

$$V_1 = \frac{4V_{dc}}{\pi} \quad (2.24)$$

4 ผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรกรองความถี่จะแสดงในพจน์ของแบนวิธด์ แสดงในรูปของตัวประกอบคุณภาพ (Quality Factor) ดังนี้

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC} \quad (2.25)$$

5 อัตราขยายแรงดันในสมการ (ข้อ 1.) สามารถแสดงในพจน์ของ ω_0 และ Q ดังนี้

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{1}{\sqrt{1+Q^2\left(\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}} \quad (2.26)$$

6 อัตราขยายแรงดันของผลตอบสนองเชิงความถี่บรรทัดฐาน (Normalized Frequency ; f_s/f_0) ที่ค่า Q ต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานจะลดลงเมื่อค่า Q สูงขึ้น ขณะที่การเพิ่มค่า L และลดค่า C จะมีผลทำให้ Q มีค่าสูงขึ้น เช่นกัน

2.4.2 การสูญเสียจากการสวิตชิ่ง

จุดเด่นของอินเวอร์เตอร์รีโซแนนซ์ คือ การลดการสูญเสียของสวิตช์เมื่อเทียบกับอินเวอร์เตอร์ทั่วไป หากความถี่รีโซแนนซ์และค่า Q ของวงจรมีค่าสูงขึ้น สวิตช์จะทำงานเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสโหลดมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ทำให้อุปกรณ์สวิตช์มีการสูญเสียต่ำ วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้จึงมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง

2.4.3 การทำงานที่ความถี่ต่ำกว่าความถี่เรโซแนนซ์

การทำงานที่ความถี่ต่ำกว่าความถี่เรโซแนนซ์จะทำให้โหลดมีสภาพเป็นอินดัคทีฟโหลด โดยมีรูปคลื่นของแรงดันกับกระแสที่โหลด และสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน สวิตช์ตัวนำที่นำกระแสอยู่จะหยุดนำกระแสได้เมื่อหยุดป้อนแรงดันที่เกต และสวิตช์ที่เปิดวงจรอยู่จะนำกระแสได้ก็ต่อเมื่อสวิตช์อีกตัวหยุดนำกระแสไปแล้ว ซึ่งช่วงดังกล่าวอาจทำให้เกิดการทำงานที่ไม่ต่อเนื่องกันของสวิตช์ ทำให้เกิดแรงดันยอดสูง (Spike Voltage) ขึ้นที่สวิตช์ อาจทำให้สวิตช์เสียหายได้ สำหรับการปิดกั้นแรงดันของสวิตช์นั้นในช่วงที่แรงดันตกคร่อมสวิตช์เป็นบวก มอสเฟตจะปิดกั้นแรงดันไว้และเมื่อแรงดันเป็นลบไดโอดจะทำหน้าที่ปิดกั้นแรงดันแทน

2.4.4 การทำงานที่ความถี่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์

การทำงานที่ความถี่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์จะทำให้โหลดมีสภาพเป็นคาปาซิทีฟโหลด โดยมีรูปคลื่นของแรงดันกับกระแสที่โหลดและสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน การสั่งให้สวิตช์ตัวที่เปิดวงจรอยู่ให้นำกระแสจะทำให้สวิตช์ตัวที่นำกระแสอยู่ได้รับแรงดันรีเวอร์สไบอัสจึงหยุดนำกระแส ดังนั้นการทำงานของสวิตช์จะเป็นไปอย่างต่อเนื่องกันหรือเรียกว่าเป็นแบบคู่ประกอบกัน (Complementary Switch) สำหรับการปิดกั้นแรงดันของสวิตช์นั้นในช่วงที่แรงดันตกคร่อมสวิตช์เป็นบวกมอสเฟตจะปิดกั้นแรงดันไว้ และเมื่อแรงดันเป็นลบไดโอดจะทำหน้าที่ปิดกั้นแรงดันแทน

2.5 เพาเวอร์มอสเฟต

เพาเวอร์มอสเฟต (Power Mosfet) สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูง ขนาดตั้งแต่ 10 กิโลเฮิร์ต ไปจนถึงประมาณ 200-400 กิโลเฮิร์ต เนื่องจากมันใช้เวลาในการเปลี่ยนแปลงสถานะค่อนข้างสั้น และการพัฒนาในปัจจุบัน มีแนวโน้มว่าจะทำให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงานได้ที่ความถี่สูงขึ้นไปอีก ซึ่งจะทำให้เป็นผลดีในการลดขนาดอินเวอเดอร์ ในส่วนวงจรขับของเพาเวอร์มอสเฟตนั้นสามารถทำได้ง่าย โดยอาจขับเพาเวอร์มอสเฟตให้ทำงานได้จากไอซีควบคุม เช่น ไอซี TL494 โดยตรง เพาเวอร์มอสเฟตจึงเข้ามาแทนที่ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์อย่างรวดเร็วในการผลิตสวิสต์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายในตลาดอุตสาหกรรมปัจจุบัน

โครงสร้างของเพาเวอร์มอสเฟตจะเป็นไปได้ทั้งในลักษณะ N-channel และ P-channel อย่างไรก็ตามจะขอกล่าวถึงชนิด N-channel เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของเพาเวอร์มอสเฟต

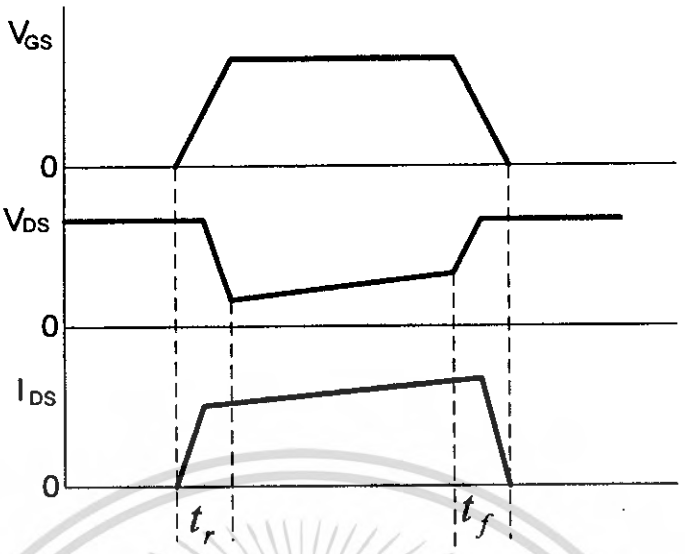
กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงานนั้นจะเป็นไปได้ใน 2 ลักษณะ เช่นเดียวกันกับไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ คือ กำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนแปลงสถานะ และกำลังงานสูญเสียขณะนำกระแส แต่เพาเวอร์มอสเฟตนั้นจะมีช่วงเวลาเริ่มนำกระแสและหยุดนำกระแสสั้นกว่าไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก เพราะตามโครงสร้างของเพาเวอร์มอสเฟต จะไม่มีประจุสะสมเกิดขึ้น จึงไม่มีปัญหาอย่างในลักษณะของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ อย่างไรก็ตาม เพาเวอร์มอสเฟตจะมีค่าความต้านทานขณะที่นำกระแสค่อนข้างสูง การสูญเสียของเพาเวอร์มอสเฟตขณะมันนำกระแสจึงสูงกว่า ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะการตอบสนองของเพาเวอร์มอสเฟตเมื่อทำงานเป็นสวิตช์

ถึงแม้ว่าช่วงเวลาเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแสของ เพาเวอร์มอสเฟตจะค่อนข้างสั้น แต่โดยทั่วไปเพาเวอร์มอสเฟตจะถูกใช้ในงานความถี่สูง ในการใช้งานที่ความถี่สูงกว่า 50 กิโลเฮิร์ด การคิดค่ากำลังงานสูญเสียขณะทำงานจำเป็นต้องนำค่ากำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนแปลงสถานะมาคิดด้วย และเนื่องจากช่วงเวลาที่เริ่มหยุดนำกระแส (turn off time) และช่วงเวลาเริ่มนำกระแส (turn on time) ของเพาเวอร์มอสเฟตมีค่าใกล้เคียงกันจึงต้องนำมาคิดทั้งสองช่วงเวลาด้วย เพราะฉะนั้นกำลังงานที่สูญเสียของเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน P_D จะมีค่าเท่ากับ

$$P_D = P_{sw(on)} + P_{sw(off)} + P_c \tag{2.27}$$

$$P_{sw(off)} = \frac{0.51_{pk}(on)V_{in} * t_f}{T} \tag{2.28}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ลักษณะของกระแสและแรงดันคร่อมเพาเวอร์มอสเฟตเมื่อเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส

$$P_c = I^2_{Drms} * R_{Dson}(T_j) \qquad (2.29)$$

เมื่อ $P_{sw(on)}$ คือ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

$P_{sw(off)}$ คือ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

P_c คือ กำลังงานสูญเสียขณะนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

$I_{pk(on)}$ คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มนำกระแส

$I_{pk(off)}$ คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มหยุดนำกระแส

I_{Drms} คือ ค่ากระแส rms ที่ไหลผ่านเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน

$R_{Dson}(Tj)$ คือ ค่าความต้านทานระหว่างเดรนและซอร์ส ที่อุณหภูมิรอยต่อสูงสุดขณะ ทำงานของเพาเวอร์มอสเฟต

t_r คือ ช่วงเวลาเริ่มนำกระแสของพาเวอร์มอสเฟต

t_f คือ ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

หมายเหตุ สำหรับเพาเวอร์มอสเฟตโดยทั่วไป ช่วงขณะเริ่มนำกระแสและหยุดนำกระแสใน data sheet ของผู้ผลิตส่วนใหญ่มักระบุเป็นค่า t_r (current rise time) และ t_f (current fall time) ตามลำดับ ในที่นี้จึงใช้สัญลักษณ์เป็น t_r และ t_f แทน t_{on} และ t_e เมื่อเปรียบเทียบกับไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

72639
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

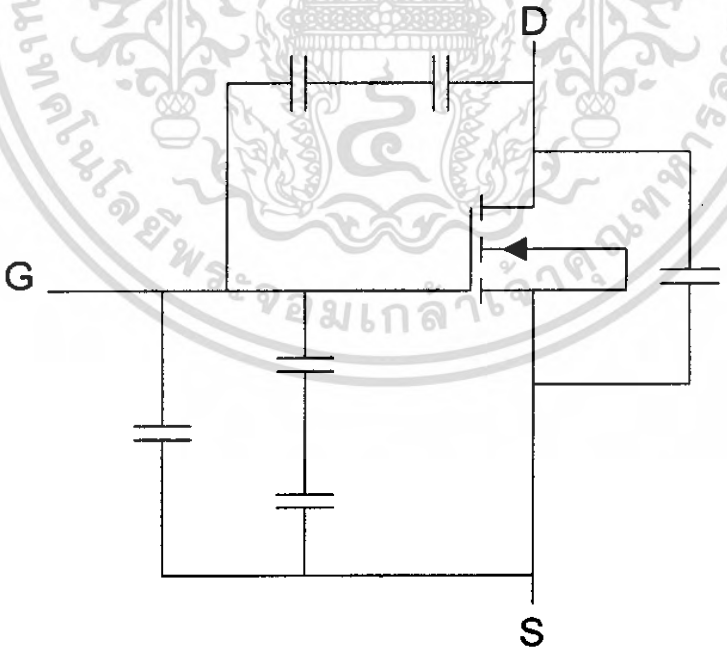
2.5.2 เงื่อนไขของวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟต

การขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสนั้น แตกต่างจากการขับกระแสไบแอสในไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เนื่องจากมีเงื่อนไขที่แตกต่างกัน สำหรับไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์กระแสจะสามารถไหลผ่านคอลเลกเตอร์และอิมิตเตอร์ได้ก็ต่อเมื่อมีกระแสไหลผ่านที่เบสและอิมิตเตอร์ แต่สำหรับเพาเวอร์มอสเฟต จะมีกระแสไหลผ่านเดรนและซอร์สได้ก็ต่อเมื่อ แรงดันที่ตกคร่อมที่ขาเกทและซอร์ส มีค่าอย่างต่ำเท่ากับแรงดันขีดเริ่ม + (threshold voltage) ของมัน แต่จะใช้กระแสต่ำ การขับเพาเวอร์มอสเฟตจึงทำได้ง่ายและยุ่งยากน้อยกว่าไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงจำเป็นต้องศึกษาเงื่อนไขต่างๆ สำหรับการบังคับให้เพาเวอร์มอสเฟตนำกระแสเป็นอันดับแรกเสียก่อน

2.5.3 ค่าความจุไฟฟ้าด้านอินพุทของมอสเฟต (Input Capacitance)

เนื่องจากโครงสร้างภายในเพาเวอร์มอสเฟตเหมือนมีตัวเก็บประจุต่ออยู่รอบๆ ขาต่างๆ ของมัน ดังรูปที่ 2.10

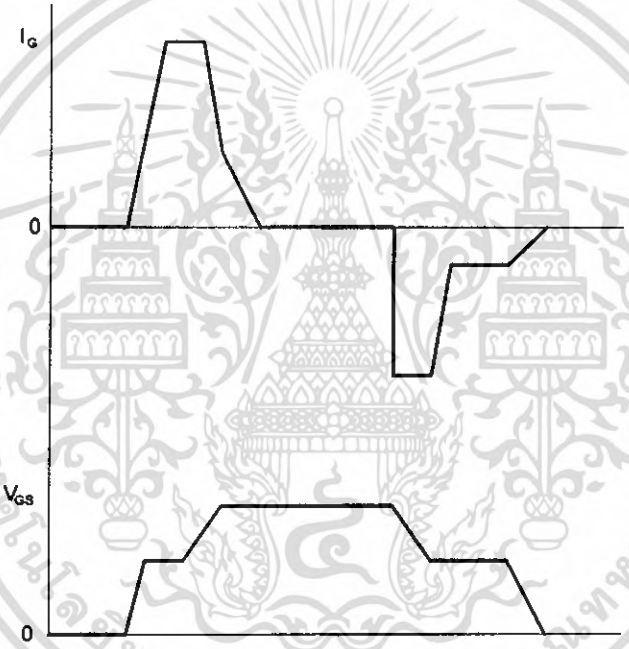


รูปที่ 2.10 ตัวเก็บประจุแฝงที่ต่ออยู่ที่ขาต่างๆภายในตัวเพาเวอร์มอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตัวเก็บประจุเหล่านี้จะบังคับให้เพาเวอร์มอสเฟตต้องชาร์จประจุเข้าไปที่ตัวเก็บประจุเสียก่อนเพื่อให้แรงดันตกคร่อมที่ขาเกท V_{GS} มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าแรงดันขีดเริ่ม เพาเวอร์มอสเฟตจึงจะเริ่มนำกระแสซึ่งในทางกลับกันการหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตจะทำให้ตัวเก็บประจุคายประจุออกไป จนแรงดันที่ตกคร่อมที่ขา V_{GS} มีค่าลดลงต่ำกว่าค่าแรงดันขีดเริ่ม เพาเวอร์มอสเฟตจึงหยุดนำกระแส ลักษณะของกระแสและแรงดันที่ขาเกทจึงมีลักษณะ ดังรูปที่ 2.11

โดยทั่วไปแล้วค่าความจุในตัวเพาเวอร์มอสเฟตนี้เอง จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการเปลี่ยนแปลงสถานะของมัน

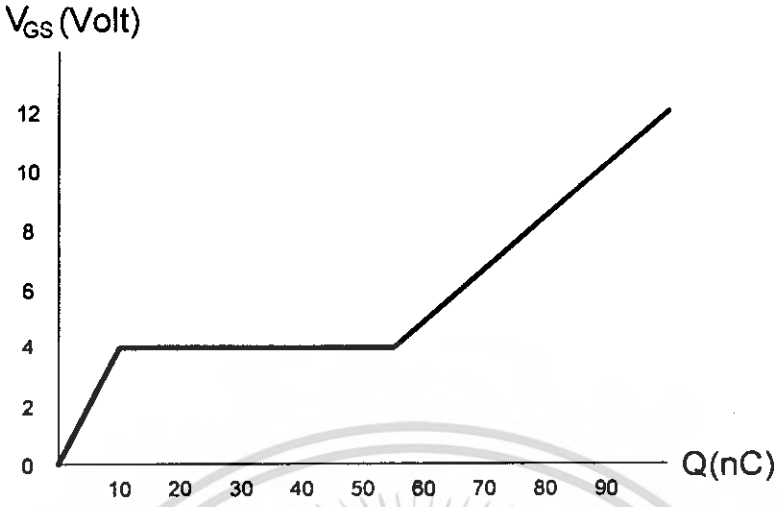


รูปที่ 2.11 แรงดันและกระแสขาเกทขณะเพาเวอร์มอสเฟตถูกไบอัสให้เหนี่ยวนำกระแส

2.5.4 การกำหนดเวลาในการเปลี่ยนแปลงสถานะ

ปกติแล้วผู้ผลิตจะให้กราฟของค่าแรงดัน V_{GS} ที่เพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าประจุสะสมที่ขาเกทเพิ่มขึ้นหรือที่เรียกว่า Gate Charge Chart มาใน Data Sheet ด้วย กราฟนี้มีประโยชน์มากในการคำนวณหาค่ากระแสไบอัสเกทและเวลาในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟต

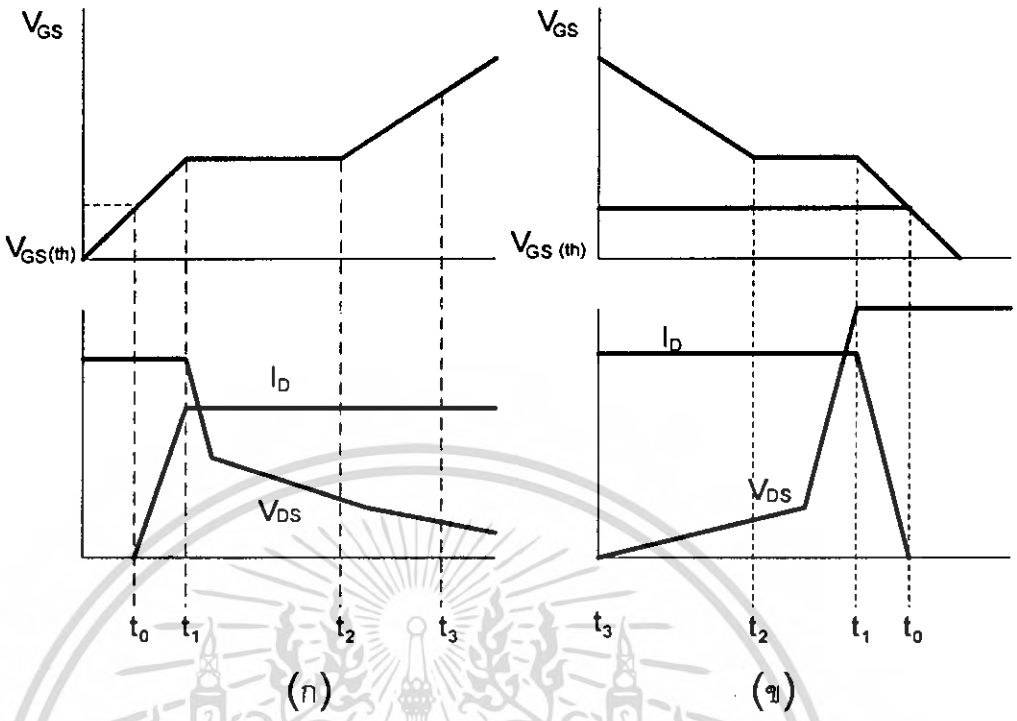
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 Gate Charge Chart

เมื่อเพาเวอร์มอสเฟตเริ่มชาร์จประจุที่ขาเกทนั้นจนกระทั่งพ้นช่วงเวลาหน่วงก่อนเริ่มนำกระแสเมื่อแรงดันที่ขาเกทมากกว่าแรงดันขีดเริ่ม $V_{GS(th)}$ จึงจะเริ่มมีกระแสไหลผ่านเดรนและซอร์ส ที่เวลา t_0 ค่าของแรงดันจะยังไม่ลดลงจนกว่าจะผ่านเวลาเท่ากับ t_1 แรงดันดกคร่อมเดรนและซอร์ส V_{Gs} จึงจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจากค่าแรงดันที่ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ จนเหลือเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าแรงดันดกคร่อม V_{GS} สูงสุด เพาเวอร์มอสเฟตจะเริ่มนำกระแสได้อย่างเต็มที่ในช่วงเวลาที่เริ่มนำกระแส t_1 ถึง t_2 นี้เอง และแรงดันที่ดกคร่อมที่ขาเกท V_{GS} จะคงที่ จนกว่าเพาเวอร์มอสเฟตจะนำกระแสได้อย่างเต็มที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ในช่วงเวลาสะสมประจุส่วนเกิน ค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนและซอร์สจะมีค่าลดลงได้เรื่อยๆ หากปล่อยให้มีการสะสมประจุต่อไป ในช่วงเวลา t_2 ถึง t_3 แต่ประจุสะสมที่เพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดการหน่วงขณะเริ่มหยุดนำกระแส เนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟตจะต้องใช้เวลามากในการคายประจุส่วนเกินนี้ทิ้งไป ดังนั้นการขับเพาเวอร์มอสเฟตที่ขาเกทด้วยแรงดันสูงเกินความจำเป็นจะทำให้ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลเสียได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การชาร์จประจุที่ขาเกทตามเวลามีผลต่อการเริ่มนำกระแส (ก) และผลเมื่อเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต (ข)

เนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟตไม่เกิดประจุสะสมขึ้นขณะนำกระแส การหยุดการนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตจึงทำได้ง่าย ๆ ได้ด้วยการคายประจุที่ขาเกททิ้งไปเช่นเดียวกับขณะเริ่มนำกระแส แต่ถ้าขนาดของกระแสเพื่อชาร์จประจุและคายประจุมีค่าเท่ากัน ช่วงเวลาเริ่มนำกระแสซึ่งจะช่วยเวลาเริ่มหยุดนำกระแสจะมีค่าเท่ากันด้วย ยกเว้นหากมีประจุสะสมมากในช่วงเวลา t_2 ถึง t_3 การหยุดนำกระแสจะมีช่วงเวลาหน่วงเพิ่มขึ้นด้วยเนื่องจากต้องใช้เวลาส่วนหนึ่งในการคายประจุส่วนเกินทิ้งไป

2.6 ทฤษฎีและวิธีการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง

2.6.1 หม้อแปลงสวิตชิ่ง

หม้อแปลงความถี่สูงจัดเป็นอุปกรณ์สำหรับสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ผู้ออกแบบสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายจึงจำเป็นต้องศึกษารูปแบบที่เป็นไปได้ในลักษณะต่าง ๆของหม้อแปลงความถี่สูงความเหมาะสมในการใช้งาน การคำนวณขนาดแกนเฟอไรต์และขนาดขดลวดทองแดงรวมทั้งการกำหนดความปลอดภัยทางด้านไฟฟ้า เพื่อความปลอดภัยและลดกำลังงานสูญเสียในหม้อแปลงความถี่สูงขณะทำงาน หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานทั่วไปที่ใช้เพิ่มหรือลดแรงดัน วิธีการออกแบบไม่ยุ่งยากเหมือนกับหม้อแปลงความถี่สูง เนื่องจากหม้อแปลงความถี่สูงรูปคลื่นเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบสี่เหลี่ยม (Square Wave) ที่มีความถี่สูงและยังให้กำลังไฟฟ้าสูงด้วย สำหรับสิ่งที่กล่าวต่อไปนี้เป็นทฤษฎีเบื้องต้นของหม้อแปลง และส่วนประกอบต่างๆของหม้อแปลงความถี่สูง

2.6.2 ทฤษฎีหม้อแปลง

เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดที่พันรอบแกนปิดจะเกิดฟลักซ์เหนี่ยวนำในแกน ถ้ากระแสที่จ่ายให้มีการเปลี่ยนแปลงไปมา ฟลักซ์จะเปลี่ยนแปลงไปมาด้วย ถ้าเรานำขดลวดอีกขดมาพันรอบแกนๆนี้จะเกิดแรงดันและกระแสเหนี่ยวนำเรียกว่า หม้อแปลง

ความสัมพันธ์ของจำนวนรอบของขดลวดและแรงดันจะมีอัตราส่วนคงที่คือ

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} \tag{2.30}$$

เมื่อ N_p คือ จำนวนรอบขดลวดทางด้านปฐมภูมิ

N_s คือ จำนวนรอบขดลวดทางด้านทุติยภูมิ

V_p คือ แรงดันทางด้านปฐมภูมิ

V_s คือ แรงดันทางด้านทุติยภูมิ

แรงดันเหนี่ยวนำจะเป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของฟลักซ์ ถ้าให้ B อยู่ในช่วงเส้นตรงจะได้

$$B_{\max} = \frac{(V_p \times 10^8)}{K \times f \times N_p \times A_c} \tag{2.31}$$

เมื่อ $B_{\max}$ คือ ความหนาแน่นของฟลักซ์สูงสุด

V_p คือ แรงดันด้านปฐมภูมิ มีหน่วยเป็นโวลต์

f คือ ความถี่หน่วยเป็น เฮิรตซ์

N_p คือ จำนวนรอบขดลวดด้านปฐมภูมิ

A_c คือ พื้นที่หน้าตัดของแกน มีหน่วยเป็น ตารางเซนติเมตร

K คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 4.44 สำหรับแรงดันรูปซายน์ และ 4.0 สำหรับแรงดันรูปสี่เหลี่ยม

ปกติค่า $B_{\max}$ จะเลือกค่าที่มี $\frac{B_{sat}}{2}$ เพื่อให้แน่ใจว่าทำงานในช่วงที่เป็นเส้นตรงดัว ประกอบที่สำคัญอีกสิ่งหนึ่งก็คือ พื้นที่สำหรับการวางเส้นลวดตัวนำซึ่งปกติจะพันอยู่บนตัวบอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิ้น ค่าตัวนี้จะต้องเลือกให้เหมาะสมด้วย สำหรับความสามารถในการจ่ายกำลังของแกนเหล็กคำนวณได้จาก

$$P_{out} = (1.16 \times B_{\max} \times f \times d \times A_c \times A_c) \times 10^{-9} \quad (2.32)$$

เมื่อ P_{out} คือ กำลังที่จ่ายให้มีหน่วยเป็นวัตต์

d คือ ความหนาแน่นของกระแสในขดลวดตัวนำมีหน่วยเป็นแอมป์ต่อตารางเมตร

A_c คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนมีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร

A_c คือ พื้นที่สำหรับพันขดลวดบนบอบบิ้นมีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร

2.6.3 ส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิตชิ่ง

หม้อแปลงสวิตชิ่งมีหน้าที่หลักในการลดทอนแรงดันไปให้ต่ำลงที่เอาท์พุต และทำให้เกิดการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างแรงดันด้านอินพุตที่ได้ เพื่อป้องกันอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูด ส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อแปลงสวิตชิ่งมีดังนี้

2.6.3.1 แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core)

แกนเฟอไรต์เป็นวัสดุประเภท เฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic material) การเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนแกนอากาศมาก แกนเฟอร์ไรต์มีค่าจุอิ่มตัวฟลักซ์แม่เหล็กค่อนข้างสูงประมาณในช่วง 3000 ถึง 4000 เกาส์ และเกิดการสูญเสียในตัวมันต่ำที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นหม้อแปลงสวิตชิ่งจึงนิยมใช้แกนเฟอร์ไรต์มากที่สุด เฟอร์ไรต์ที่นำมาใช้ทำแกนของหม้อแปลงจะมีรูปร่างแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับการใช้งานและมาตรฐานในการออกแบบ

2.6.3.2 บอบบิ้น (Bobbin)

บอบบิ้นหรือแบบรองพัน ปกติจะทำจากพลาสติกที่ทนความร้อนได้สูงและไม่ติดไฟบอบบิ้นจะช่วยในการพันขดลวดบนแกนเฟอร์ไรต์ได้สะดวกขึ้น และป้องกันปัญหาการลัดวงจรระหว่างขดลวดกับแกนเฟอร์ไรต์ได้ บอบบิ้นจะมีขนาดมาตรฐานตามมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์

2.6.3.3 ลวดทองแดงอาบน้ำยา (Enameled Copper Wire)

การพันขดลวดทั้งไพรมารี่และเซคั่นดารี่ของหม้อแปลงสวิตชิ่งที่กำลังไม่สูงมากนัก ปกติจะใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาพันบนบอบบิ้น เพื่อให้ได้จำนวนรอบตามต้องการ ขนาดของลวดทองแดงที่ใช้พันนั้นขึ้นอยู่กับค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านขดลวด ความถี่และผลข้างเคียงอื่นๆ

2.6.3.4 เทปฉนวน (Insulation Tape)

เทปฉนวนใช้พันสำหรับตัวรองระหว่างชั้นของขดลวดในหม้อแปลงสวิตชิ่ง และมีหน้าที่สำคัญในการแยกส่วนทางไฟฟ้าระหว่างขดลวดไพรมารี่ และ ขดเซคั่นดารี่ ตัวรัสดุที่ใช้ทำเทปฉนวนอาจเป็นพวกไมลาร์ โพลีเอสเตอร์ ที่มีความหนาอยู่ในช่วง 0.05-0.1 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบและค่าความปลอดภัยที่ต้องการจากหม้อแปลงสวิตชิ่งเป็นหลัก

2.6.4 แกนเฟอร์ไรต์และการเลือกใช้

แกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงสวิตชิ่ง โดยทั่วไปจะถูกผลิตออกมาที่ขนาดและรูปทรงต่างๆตามมาตรฐานเดียวกัน เช่น แกนแบบ EI EE ETD หรือแกนแบบ POT เป็นต้น ปกติผู้ผลิตจะทำแกนเฟอร์ไรต์ออกมาในลักษณะของคู่ประกบ เพื่อความสะดวกในการประกอบเข้ากับบอบบิ้น การประกบแกนเฟอร์ไรต์บนบอบบิ้นจะทำให้ทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ออกมาในลักษณะเป็นวงจรบรรจบได้

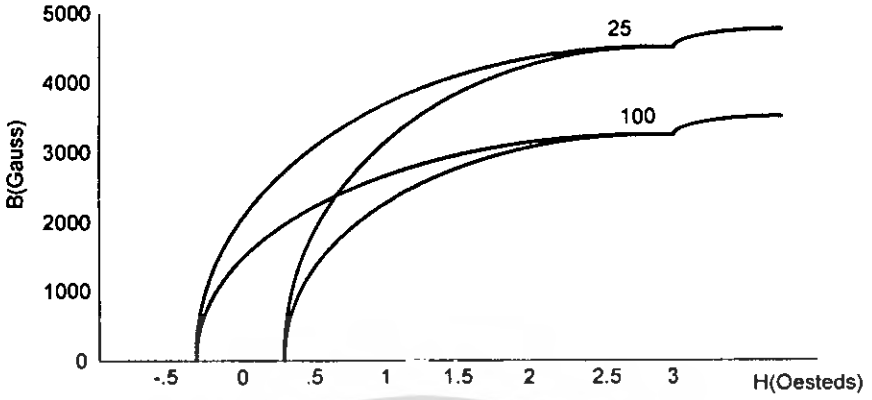
2.6.5 ลักษณะสมบัติของเนื้อสารที่ใช้ทำแกนเฟอร์ไรต์

ชนิดของเนื้อสารแกนเฟอร์ไรต์ที่แตกต่างกันจะให้คุณสมบัติทางแม่เหล็กของแกนเฟอร์ไรต์แตกต่างกันด้วยถึงแม้จะมีขนาดเท่ากันทุกประการก็ตาม ในแผ่นข้อมูลเนื้อสารที่ให้มากับแกนเฟอร์ไรต์นั้นจะต้องมีรายละเอียดคุณสมบัติเนื้อสารแสดงไว้เสมอ ข้อมูลที่สำคัญที่ควรจะทำความเข้าใจและศึกษาไว้ก็คือเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส (Hyteresis Curve) และค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ (Core Loss)

2.6.6 เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส (Hyteresis Curve)

เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความด้านหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (B) ที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์กับความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H) ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของขดลวดที่พันบนแกนในรูปที่ 2.14 (a) และ 2.14 (b) จะแสดงลักษณะของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของเนื้อสารชนิด 3C8 และ 3C6A ตามลำดับ จากรูปจะเห็นว่าค่าความหนาแน่นฟลักซ์ B มีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก แม้ว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของสนามแม่เหล็ก H ก็ตาม จากจุดดังกล่าวเราจะเรียกว่าแกนเริ่มอิ่มตัวของฟลักซ์แม่เหล็ก (Saturation) โดยปกติผู้ผลิตจะแสดงกราฟเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสเพียงครึ่งเดียว เนื่องจากอีกครึ่งหนึ่งของเส้นจะมีลักษณะเหมือนกันดังแสดงในรูปที่ 2.15

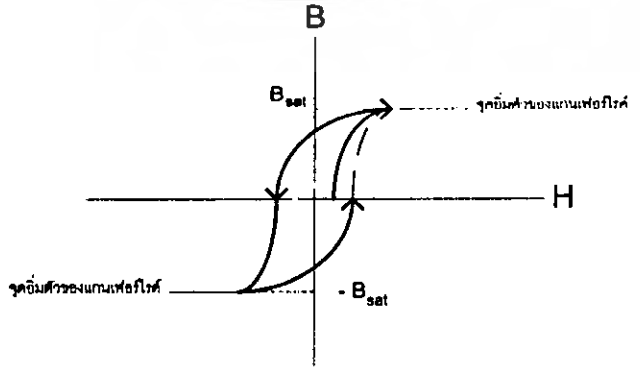
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของแกนเฟอร์ไรต์เนื้อสาร 3C8

(b) เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของแกนเฟอร์ไรต์เนื้อสาร 3C6A

รูปที่ 2.14 แสดงเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของแกนเฟอร์ไรต์



รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะที่สมบูรณ์ของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสซึ่งมีลักษณะสมมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.7 ค่าสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ (Core Loss)

การสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์จะทำให้แกนเฟอร์ไรต์ร้อน ซึ่งมีสาเหตุหลัก 2 ประการ คือ การสูญเสียที่เกิดจากลักษณะฮิสเตอร์ไรซิสของแกน และการสูญเสียจากการเกิดกระแสไหลวนในแกนเฟอร์ไรต์ที่ความถี่ต่ำกว่า 100 กิโลเฮิร์ต การสูญเสียเกิดจากการเกิดกระแสไหลวนในแกนจะมีค่าน้อยสำหรับแกนที่มีขนาดไม่ใหญ่ ดังนั้นการสูญเสียที่ก่อให้เกิดความร้อนในอกนอาจพิจารณาได้จากการสูญเสียทางฮิสเตอร์รีซิสเพียงอย่างเดียว

2.6.8 การออกแบบหม้อแปลง

มีสิ่งที่ต้องคำนึงดังนี้

1 การเลือกอุปกรณ์พิจารณาดังนี้

1.1 ชนิดลักษณะโครงสร้าง และขนาดของแกนเหล็ก

1.2 ชนิดรูปร่างขนาด และจำนวนรอบที่ใช้ในการพัน

1.3 ชนิดและลักษณะของฉนวน

1.4 ลักษณะโครงสร้างของ case ตลอดจนการระบายความร้อน

1.5 คุณสมบัติทางไฟฟ้าและเชิงกลต่างๆ

2 ข้อกำหนดต้องพิจารณาถึง

2.1 ขนาดกำลังขาออก

2.2 ขนาดและรูปร่าง รวมทั้งความถี่ของกระแสและแรงดัน

2.3 กำลังสูญเสีย ประสิทธิภาพ อุณหภูมิ

2.4 Voltage Regulation

3 ขีดจำกัด

3.1 การอิ่มตัวของแกนเหล็ก

3.2 กำลังสูญเสียในลวดทองแดงและในแกนเหล็ก

2.6.9 สมการที่ใช้ในการออกแบบ

จากขีดจำกัดของแกนเหล็ก (Saturation or Core Loss)

- เมื่อแรงดันเป็น Square Wave

จาก
$$V = N\frac{d\phi}{dt} \tag{2.33}$$

$$\phi = \int_0^{T/2} \frac{V}{N} dt \tag{2.34}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{V\frac{T}{2}}{N} = nB_{\max}S \tag{2.35}$$

โดยที่ n = 1 เมื่อมี dc magnetizing current

n = 2 เมื่อไม่มี dc magnetizing current

คำนวณหาจำนวนรอบขดลวดทั้งสองได้

$$N_1 = \frac{V_1}{2nB_{\max}Sf} \tag{2.36}$$

- เมื่อแรงดันเป็น Sine Wave

$$N_1 = \frac{V_{1rms}}{4.44B_{\max}Sf} \tag{2.37}$$

$$N_2 = \frac{V_{2rms}}{4.44B_{\max}Sf} \tag{2.38}$$

$$kW = N_1A_{W1} + N_2A_{w2} \tag{2.39}$$

จากขีดจำกัดของขดลวดทองแดงโดยคำนึงถึงการสูญเสีย (P_{cu})

$$P_{cu} = I_{rms}^2R_1 + I_{rms}^2R_2 \tag{2.40}$$

$$R = \frac{\rho l}{A_w}, J = \frac{I_{rms}}{A_w} \tag{2.41}$$

จากคุณสมบัติของวงจรแม่เหล็ก

$$L = N^2\rho_m = \frac{N^2}{R_m} \tag{2.42}$$

$$L_{11} = N_1^2\rho_{11}, L_{12} = N_2^2\rho_{12}, \rho_m = \frac{\mu_m S_m}{l_m} \tag{2.43}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ ρ เป็นสภาพความต้านทานของทองแดงมีค่า $1.72\times10^{-8}\Omega$

R_1 เป็นความต้านทานรวมของขดลวดทองแดงด้านเข้าของหม้อแปลง

R_2 เป็นความต้านทานรวมของขดลวดทองแดงด้านออกของหม้อแปลง

L_1 เป็นความเหนี่ยวนำที่ต้องการออกแบบทางด้านเข้าหม้อแปลง

L_2 เป็นความเหนี่ยวนำที่ต้องการออกแบบทางด้านออกหม้อแปลง

V_{1rms} เป็นแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านเข้าหม้อแปลง

V_{2rms} เป็นแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดด้านออกหม้อแปลง

I_{1rms} เป็นค่ากระแสที่ไหลผ่านขดลวดด้านเข้าหม้อแปลง

I_{2rms} เป็นค่ากระแสที่ไหลผ่านขดลวดด้านออกหม้อแปลง

k เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของช่องหน้าต่างมีค่า 0.1-0.6

B_{max} เป็นค่าสนามแม่เหล็กสูงสุดที่ยอมรับได้ สำหรับแกนเฟอร์ไรต์มีค่าไม่เกิน 0.6 T

P_{cu} เป็นกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในขดลวดทองแดง

P_{in} เป็นกำลังด้านเข้าหม้อแปลง

P_{out} เป็นกำลังด้านออกหม้อแปลง

W เป็นพื้นที่ช่องหน้าต่าง (m^2)

S เป็นพื้นที่หน้าตัดของแกนแม่เหล็กที่ขดลวดทองแดงพันอยู่โดยรอบ (m^2)

l เป็นความยาวเฉลี่ยของขดลวดที่ต้องการใช้ในการพันรอบแกนเหล็ก

t เป็นความยาวเฉลี่ยของขดลวดที่พันรอบแกนแม่เหล็ก 1 รอบ

A_{W1} เป็นหน้าตัดของขดลวดทองแดงด้านเข้าหม้อแปลง

A_{W2} เป็นหน้าตัดของขดลวดทองแดงด้านออกหม้อแปลง

N_1 เป็นจำนวนรอบที่พันรอบแกนแม่เหล็กของขดลวดด้านเข้าหม้อแปลง

N_2 เป็นจำนวนรอบที่พันรอบแกนแม่เหล็กของขดลวดด้านออกหม้อแปลง

f เป็นความถี่ที่ใช้ในการออกแบบ

การเลือกหรือกำหนดแกนแม่เหล็กมีวิธีคำนวณ 2 วิธี

1. A_p Approach การออกแบบใช้ค่าของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นซึ่งขึ้นอยู่ในรูปของความหนาแน่นของกระแส สำหรับ Square Wave ที่ไม่มี dc magnetizing current

$$N_1 = \frac{V_1}{4B_{max}Sf} \tag{2.44}$$

$$N_2 = \frac{V_2}{4B_{max}Sf} \tag{2.45}$$

$$kW = N_1A_{W1} + N_2A_{w2} \tag{2.46}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$kW = \frac{N_1 I_{1rms}}{J} + \frac{N_2 I_{2rms}}{J} \tag{2.47}$$

แทนค่า N_1 และ N_2 ได้

$$kW = \frac{V_1 I_{1rms}}{4B_{\max} SfJ} + \frac{V_2 I_{2rms}}{4B_{\max} SfJ} \tag{2.48}$$

$$kW = \frac{V_1 I_{1rms} + V_2 I_{2rms}}{4B_{\max} SfJ} \tag{2.49}$$

จัดกลุ่มตัวแปรเพื่อกำหนดขนาดของหม้อแปลง

$$A_p = WS = \frac{V_1 I_{1rms} + V_2 I_{2rms}}{4kB_{\max} fJ} \tag{2.50}$$

โดยทั่วไป $V_1 I_{1rms} = V_2 I_{2rms} = P_{out}$

$$\therefore A_p = WS = \frac{2P_{out}}{4kB_{\max} fJ} \tag{2.51}$$

สรุปขั้นตอนในการออกแบบตามวิธี A_p Approach

1. จากข้อกำหนดและขีดจำกัด หาค่า A_p
2. $A_p = \frac{V_1 I_{1rms} + V_2 I_{2rms}}{4kB_{\max} fJ}$
3. เลือกขนาดแกนให้ A_p มากกว่าค่าที่คำนวณได้จากข้อ 1
4. คำนวณหาจำนวนรอบขดลวดตัวนำ (N_1 และ N_2)
5. คำนวณหาขนาดของลวดตัวนำ A_w เมื่อ $N_1 A_{W1} = N_2 A_{w2}$
6. เลือกเบอร์ของขดลวดทองแดงให้มี A_w ใหญ่กว่า A_w ที่ได้จากข้อ 4 โดยเลือกรัศมีของขดลวดเล็กกว่าความลึกผิวของทองแดง (Skin Dept) ที่ความถี่ใช้งานสูงสุด $\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu\omega}}$
7. การคำนวณหาค่า $P_{cu} = I_{1rms}^2 R_1 + I_{2rms}^2 R_2$
8. ปรับค่า J เริ่มต้นตั้งแต่ 1-6 ใหม่จนได้ P_{cu} ที่เหมาะสม
9. คำนวณหาค่า L_m จาก $L_m = \frac{N^2 \mu_m S_m}{I_m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. คำนวณค่า $i_m = i_1 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right) i_2$

โดยที่ L_p คือค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลทาง

L_s คือค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลทาง

L_m คือค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่อ้างอิงมาด้าน

n คืออัตราส่วนแรงดัน

พิจารณาค่าดังต่อไปนี้

วัดทางด้านขด primary ในขณะที่เปิดใช้งานทางด้าน secondary กำหนดให้เป็น L_{11}

วัดทางด้านขด primary ในขณะที่เปิดใช้งานทางด้าน secondary กำหนดให้เป็น L_{22}

วัดทางด้านขด primary ในขณะที่ลัดวงจรทางด้าน secondary กำหนดให้เป็น L_{11},s

วัดทางด้าน secondary ในขณะที่ลัดวงจรทางด้าน primary กำหนดให้เป็น $L_{22,s}$ โดยที่

$$L_{11} = L_p + L_M \tag{2.52}$$

$$L_{22} = L_S + \frac{L_M}{n^2} \tag{2.53}$$

$$L_{11,s} = L_P + \frac{L_M n^2 L_S}{L_M + n^2 L_S} \tag{2.54}$$

$$L_{22,s} = L_S + \left[\frac{L_M L_P}{L_M + L_P}\right]\frac{1}{n^2} \tag{2.55}$$

$$n = \sqrt{\frac{L_{11}}{L_{22}}} \tag{2.56}$$

1. การออกแบบโดยใช้วิธี Core Geometry k_g Approach

วิธีนี้เป็นการออกแบบโดยใช้กำลังสูญเสียของลวดทองแดง

$$N_1 = \frac{V_1}{4B_{max}Sf} \tag{2.57}$$

$$N_2 = \frac{V_2}{4B_{max}Sf} \tag{2.58}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N_1 A_{W1} = N_2 A_{W2} = k\frac{W}{2} \tag{2.59}$$

จาก
$$R = \frac{\rho l}{A_W} \tag{2.60}$$

เนื่องจาก
$$l = Nt \text{ และ } A_W = \frac{kW}{2N}$$

ได้

$$R_1 = \frac{\rho N_1 t}{\frac{(kW)}{2N_1}} = \frac{2\rho t N_1^2}{kW} \tag{2.61}$$

$$R_2 = \frac{2\rho t N_2^2}{kW} \tag{2.62}$$

$$P_{cu} = I_{1rms}^2 R_1 + I_{2rms}^2 R_2 \tag{2.63}$$

แทนค่า R_1 และ R_2 จะได้

$$P_{cu} = \frac{2\rho t\left(V_1^2 I_{1rms}^2 + V_2^2 I_{2rms}^2\right)}{kW\left(4B_{\max} Sf\right)^2} \tag{2.64}$$

เนื่องจาก
$$V_1 I_{1rms} = V_2 I_{2rms} = P_{out} \tag{2.65}$$

แทนค่าจะได้

$$P_{cu} = \frac{\rho t P_{out}^2}{4kWB_{\max}^2 S^2 f^2} \tag{2.66}$$

จัดกลุ่มตัวแปรเพื่อกำหนดขนาดหม้อแปลง k_g

$$k_g = \frac{WS^2}{t} = \frac{\rho P_{out}^2}{4kB_{\max}^2 f^2 S^2 P_{cu}} \tag{2.67}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปขั้นตอนการออกแบบตามวิธี

1. จากข้อกำหนดและขีดจำกัด คำนวณหาค่า k_g
2. เลือกขนาดของแกนให้ k_g มากกว่า k_g จากข้อ 1
3. คำนวณหาจำนวนรอบของขดลวดตัวนำ (N_1, N_2)
4. คำนวณหาขนาดของลวดตัวนำ (A_{W1}, A_{W2})
5. เลือกเบอร์ลวดให้ A_W มากกว่า A_W ในข้อ 4
6. เลือกรัศมีของลวดทองแดงเล็กกว่าความลึกผิวของทองแดงที่ความถี่ใช้งานสูงสุด

   $$\delta(m)=\sqrt{\frac{2\rho}{\mu\omega}}$$

7. รวมค่ากำลังสูญเสียที่เกิดในแกน ($P_{coreloss}$) และลวดทองแดง (P_{cu}) Core Loss = $P_w = 9.5623\times10^{-6} B_{\max}^{2.22} f^{1.192}$ watt/gram
8. คำนวณหาค่า L_m และ I_m

2.6.10 ตัวเก็บประจุบล็อกกิ้ง Cb เพื่อป้องกันการไม่สมมาตรฟลักซ์แม่เหล็ก

ตัวเก็บประจุบล็อกกิ้ง (Blocking Capacitor) Cb ที่ต่อเพิ่มเข้ามาในวงจรนั้น มีหน้าที่หลักคือ ป้องกันการเกิดไม่สมมาตรฟลักซ์ขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ขณะวงจรทำงาน โดยการต่อตัวเก็บประจุบล็อกกิ้ง Cb คั่นเข้ามาในวงจร จะทำให้ Cb มีการเก็บประจุและคายประจุสลับกันไปตามทิศทางของกระแสที่ไหลในเขดไพรมารี่ Np ถ้าผลของการเกิดประจุสะสมทำให้ Q1 และ Q4 และ Q2 กับ Q3 มีช่วงเวลานำกระแสไม่เท่ากัน ก็จะทำให้การเก็บประจุและคายประจุของ Cb ใช้เวลาไม่เท่ากัน นั่นคือ หากเพาเวอร์มอสเฟตอีกตัวมีค่าช่วงเวลานำกระแสมากกว่า ในกรณีนี้ค่ากระแสสูงสุดจะมีค่ามากขึ้นตามช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามก็จะทำให้มีประจุเหลือค้างใน Cb ดังนั้นเมื่อเพาเวอร์มอสเฟตอีกตัวเริ่มนำกระแส แรงดันตกค้างใน Cb จะช่วยเพิ่มค่าแรงดันตกคร่อมขดลวดไพรมารี่ให้มีค่ามากขึ้น ค่าของกระแสสูงสุดจะมีค่าเท่ากันได้และไม่เกิดการไม่สมมาตร ฟลักซ์ขึ้น

อย่างไรก็ตามการต่อตัวเก็บประจุบล็อคกิ้ง Cb คั่นเข้า มาในวงจรจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมขดไพรมารี่มีค่าลดลงตามเวลาหรือเกิดความลาด ขึ้นบนแรงดัน(droop) เนื่องจากแรงดันส่วนหนึ่งไปตกคร่อม Cb นั่นเอง และจะมีผลต่อแรงทางด้านเซคคั่นดารี่ทำให้เกิดการกระเพื่อมของแรงดันที่เอาต์พุตซึ่งไม่เป็นที่ต้องการเช่นกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำหนดค่า Cb ให้มีค่าเหมาะสม เพื่อให้เกิดความลาดบนแรงดันที่ขดไพรมารี่ต่ำที่สุด การกำหนดค่าของ Cb อาจทำได้ดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_b = \frac{I_{p(pk)}}{\Delta V}(0.4T) \qquad (2.68)$$

เมื่อ $I_{p(pk)}$ คือ ค่ากระแสสูงสุดที่ขดไพรมารี่

ΔV คือ ค่าของความลาดแรงดันสูงสุดที่ยอมได้ ไม่เกิน

T คือ ค่าคาบเวลาการทำงานของคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

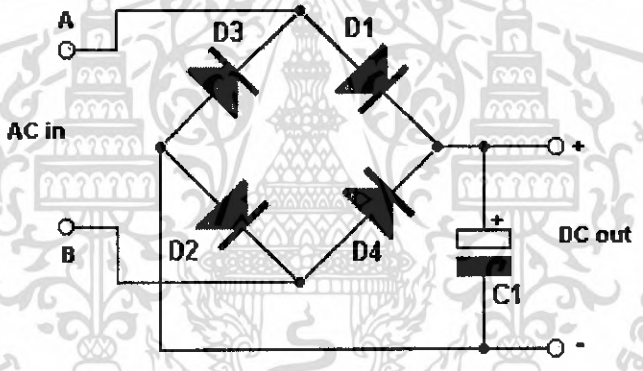
บทที่ 3
วงจรที่เกี่ยวข้อง

3.1 วงจรเรียกระแส (Rectifier) และ วงจรกรองแรงดัน(Filter)

3.1.1 วงจรเรียงกระแส หรือ วงจรเรคติไฟเออร์(Rectifier)

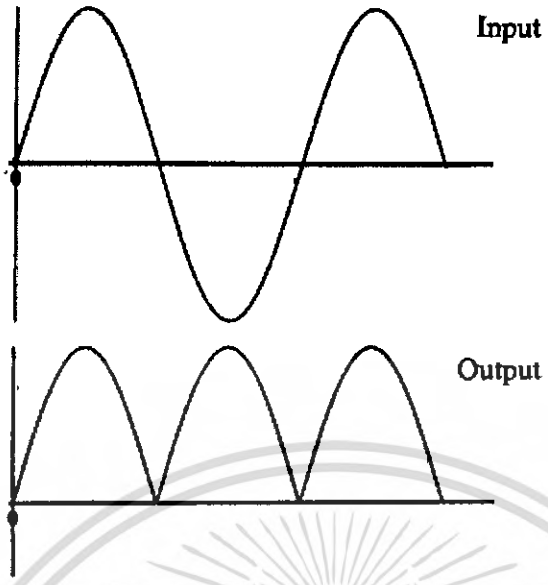
วงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง หรือยอมให้กระสไฟฟ้าไหลผ่านในทิศทางเดียวเท่านั้น อุปกรณ์ทั่วไปที่ใช้ในวงจรได้แก่ ไดโอด

วงจรบริดจ์แรคติไฟเออร์ (Bridge Rectifier)
วงจรเรียงกระแสในโครงงานเป็นวงจรบริดจ์เรคติไฟเออร์หรือบริดจ์ไดโอด ดังรูป ที่3.1



รูปที่ 3.1 วงจรบริดจ์เรคติไฟเออร์ (Bridge Rectifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงแรงดัน ขาเข้า และ ขาออก วงจรเรคติไฟเออร์

การทำงานบริดจ์เรคติไฟเออร์จะมีทิศทางการกำหนดตามลักษณะของลูกศร นั่นคือ เมื่อVs เพิ่มขึ้นทางบวก ไดโอด D2และ D3 จะนำกระแส และเมื่อแรงดันVs ลงไปในทางลบ ไดโอด D1 และD4 จะนำกระแสเป็นผลทำให้กระแสไหลผ่านโหลด ในทิศทางเดียวเท่านั้น

3.1.1.1 ค่ากระแสกระชาก กระแสกระชากสูงสุดที่ผ่านบริดจ์ไดโอดขณะเปิดเครื่อง เมื่อตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ยังไม่มีประจุสะสมอยู่ ดังนั้นการเลือกบริดจ์ไดโอดจะต้องให้มีคาอัตราทนกระแสกระชากประมาณ 20 ถึง 30 เท่าของพิกัดกระแสเฉลี่ยขณะไบแอสตรง

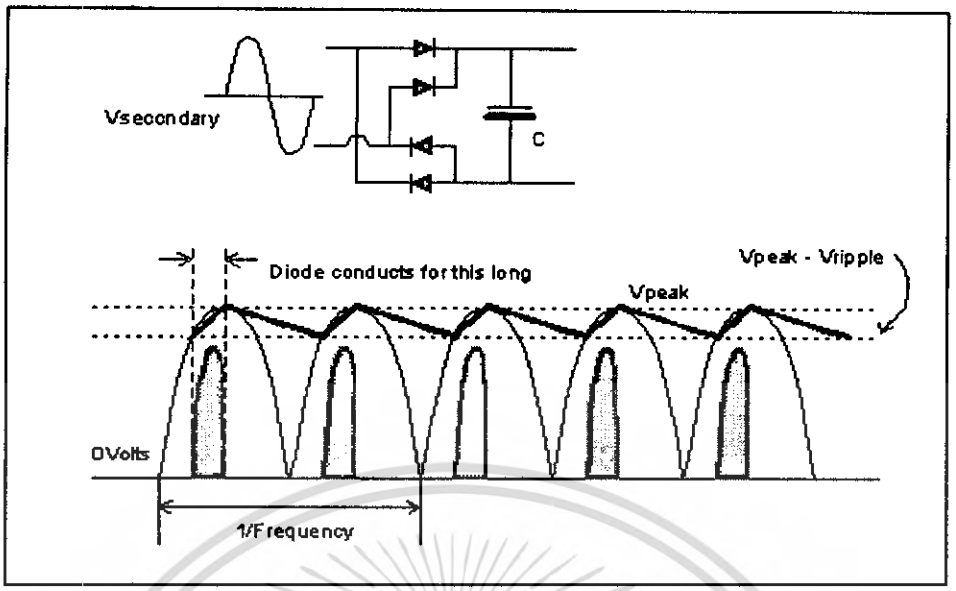
3.1.1.2 ค่ากระแสเฉลี่ยขณะถูกไบแอสตรง ค่ากระแสเฉลี่ยที่บริดจ์ไดโอดขณะทำงาน ควรมีการเผื่อค่าไว้ประมาณ 1.5ถึง 2เท่าจากที่คำนวณได้ในวงจร เพื่อความปลอดภัยและยืดอายุการใช้งาน

3.1.1.3 อัตราแรงดันไบแอสกลับสูงสุด อัตราแรงดันไบแอสกลับสูงสุดไดโอดจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าแรงดันยอดสูงสุด ของแรงดันไฟสลับทางด้านอินพุท และต้องมีการเผื่อค่าให้มากกว่าแรงดันยอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับด้วยเพื่อป้องกันทรานเซียนท์ในไฟสลับ

3.1.2 วงจรกรองแรงดัน (Filter)

แรงดันที่ผ่านวงจรเรคริไฟเออร์มาแล้วนั้น ถ้าพิจารณากันอย่างละเอียดแล้วจะเห็นว่าลักษณะแรงดันที่ได้มานั้นไม่ราบเรียบ จำเป็นจะต้องมีวงจรช่วยทำให้ลักษณะกระแสและแรงดันนั้นราบเรียบขึ้น นั่นก็คือใช้วงจรฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การใส่ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ (Filter)

แรงดันไฟฟ้าที่ได้ที่โหลดนั้น ต้องการให้เป็นไฟตรงที่เรียบขึ้น จึงใช้วิธีการใส่ตัวเก็บประจุ ทั้งนี้เพราะตัวเก็บประจุทำหน้าที่สำคัญคือ การสะสมประจุไว้ในตัวมัน เมื่อใดที่จะต้องจ่ายโหลดน้อย มันก็จะแบ่งสะสมไว้ซึ่งก็คือการชาร์จประจุ ซึ่งจะช่วยให้ลดผลของแรงดันกระเพื่อม(Ripple Voltage) ซึ่งสามารถหาค่าของตัวเก็บประให้เหมาะสมได้ดังนี้

$$C_{filter} = \frac{I_o t_{on(\max)}}{V_r} \qquad (3.1)$$

โดย

Io คือ ค่ากระแสประสิทธิผลของวงจรเรียงกระแส(แอมแปร์).

$t_{on(\max)}$ คือ ช่วงเวลาที่ คายประจุ(วินาที)

V_r คือ ค่ายอดถึงยอดของแรงดันกระเพื่อมที่เอาท์พุตของวงจรเรียงกระแส(Vp-p)

จากสมการพบว่าเมื่อตัวเก็บประจุ มีค่ามากขึ้นทำให้แรงดันกระเพื่อมมีค่าน้อยลง ดังนั้น ชนิดและขนาดของตัวเก็บประจุจึงมีผลกับแรงดันกระเพื่อม (Ripple voltage) ของแรงดันไฟตรงได้โดยปกติการออกแบบสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายจะยอมให้วงจรเรียงกระแสมีค่าแรงดันกระเพื่อมไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าแรงดันเอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อินเวอร์เตอร์ (Invertor)

3.2.1 ลักษณะการทำงานของวงจร

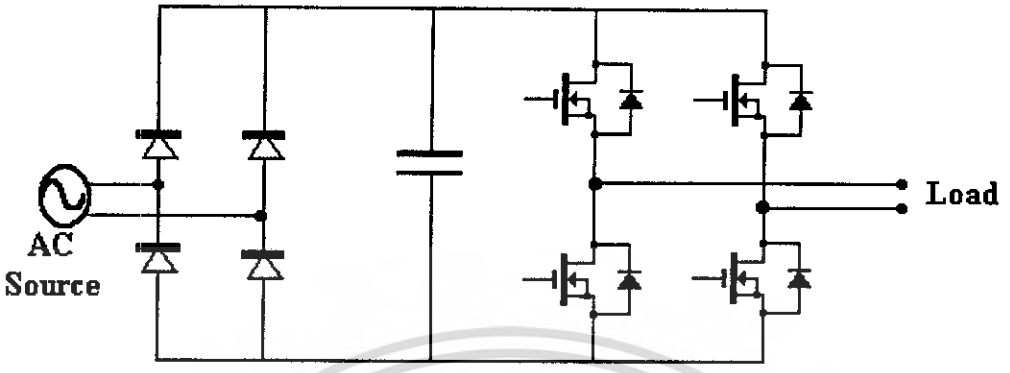
ในโครงงานใช้อินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ในการแปลงผันแรงดันไฟตรงให้เป็นแรงไฟสลับความถี่สูงโดยอาศัยการสวิตชิ่งของเพาเวอร์มอสเฟต ดังแสดงในรูปที่ 3.4

เราเลือกใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ ซึ่งเมื่อเราเปรียบเทียบกับแบบฮาล์ฟบริดจ์แล้วจะมีข้อดีกว่าตรงที่แรงดันเอาท์พุทที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ซึ่งเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมนั้น จะมีระดับแรงดันเท่ากับแรงดันอินพุทไฟตรง แต่แบบฮาล์ฟบริดจ์จะมีเพียงครึ่งหนึ่งของระดับแรงดันอินพุทเท่านั้น ดังนั้นถ้าระดับแรงดันอินพุทของอินเวอร์เตอร์ทั้งสองแบบเท่ากัน แบบฟูลบริดจ์จะสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงกว่าฮาล์ฟบริดจ์ถึง 2 เท่า โดยที่อินเวอร์เตอร์จะคอยจ่ายไฟกระแสสลับผ่านหม้อแปลงให้กับขดลวดเหนี่ยวนำ เพื่อใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนในเบ้าหลอมจนสามารถหลอมงานชิ้นนั้นได้ ซึ่งโครงการนี้ได้ใช้อินเวอร์เตอร์เปลี่ยนความถี่ให้เป็นความถี่สูงๆ ค่าหนึ่ง เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระแสไหลวนในเบ้าหลอมนั้นแปรตามความถี่ ตามสมการ นั่นเองจากรูป อินเวอร์เตอร์มีหลักการทำงานดังนี้คือ เพาเวอร์มอสเฟตทั้ง 4 ตัว จะทำงานโดยนำกระแสและหยุดนำกระแส ในแต่ละครึ่งคาบเวลา และ จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลา และเมื่อหยุดนำกระแสจะได้ และ นำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลาในที่เหลือ ซึ่งจะทำงานสลับกันอย่างนี้เรื่อยไป โดยได้แรงดันตกคร่อมขดไพรมารี่มีค่าเท่ากับ Vin-2Vce และแรงดันตกคร่อม Q1 และ Q4ขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ Vin-Vceq2 และ Vin-Vceq3 ตามลำดับ ส่วนแรงดันที่ตกคร่อม Q2 และQ3ขณะหยุดนำกระแสมีค่าเท่ากับ Vin-Vceq1 และ Vin-Vceq4 ตามลำดับ เช่นเดียวกัน ส่วนไดโอดทำหน้าที่เป็นคอมมิวติ้งไดโอด(Comutating Diode) ให้กับวงจรโดย

1.ป้องกันการเกิดแรงดันสไปค์ขณะที่เพาเวอร์มอสเฟตเริ่มหยุดนำกระแส เนื่องจากความเหนี่ยวนำแฝงในหม้อแปลง โดนพลังงานที่สะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำแฝงนี้จะถูกถ่ายทอดออกไปยังภาคอินพุทด้วยคอมมิวติ้งไดโอด จึงไม่ทำให้เกิดแรงดันสไปค์เมื่อพาวเวอร์มอสเฟตเริ่มหยุดนำกระแส

2.ในขณะที่เพาเวอร์มอสเฟต Q1 และ Q4 เริ่มหยุดนำกระแสขดลวดไพรมารี่ จะมีการกลับขั้วแรงดัน ถ้าไม่มีคอมมิวเตติ้งไดโอด Q2 และ Q3 จะได้รับแรงดันตกคร่อมที่เครนเป็นลบในขณะที่ Q1 และ Q4 ก็จะมีแรงดันตกคร่อมมากกว่าค่า Vin ในกรณีนี้ ไดโอดจะอยู่ในลักษณะไบแอสตรงจากแรงดันของขดไพรมารี่และลดค่าแรงดันนี้ลงไปเพื่อป้องกันเพาเวอร์มอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

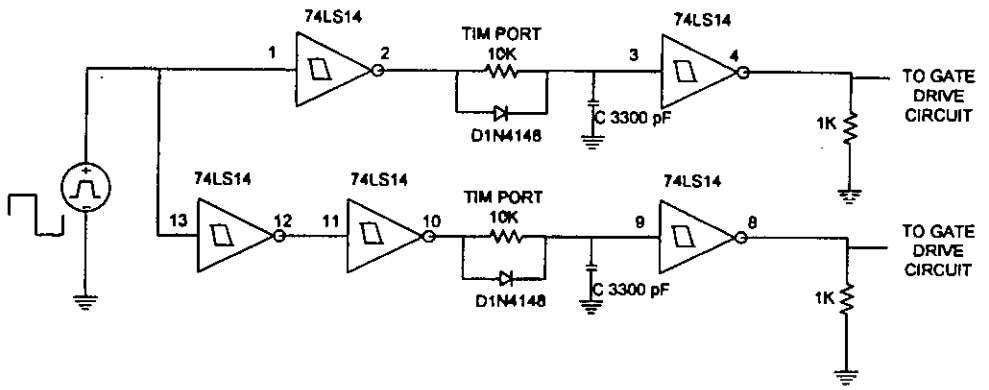


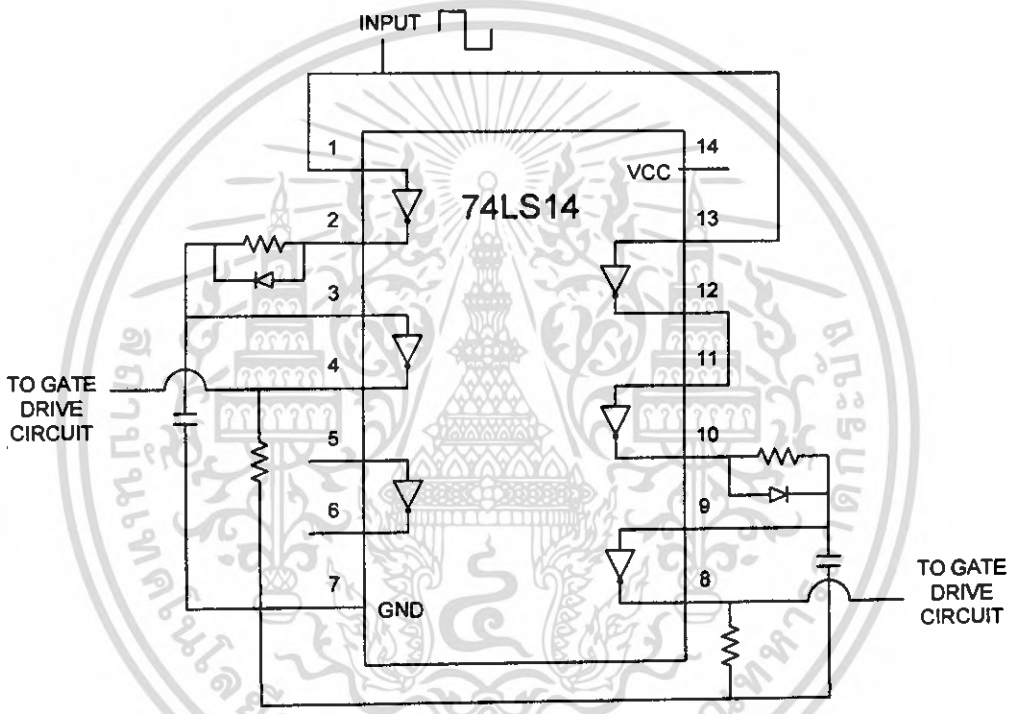
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์

3.2.2 วงจรขับเกต

วงจรขับเกตสำหรับมอสเฟตกำลัง มอสเฟตกำลังเป็นสวิตช์ที่ควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage-controlled) ทำให้ง่ายต่อการควบคุมให้เริ่มนำกระแสหรือเริ่มหยุดนำกระแส ซึ่งจะเป็นข้อดีที่เหนือกว่ากรณีของทรานซิสเตอร์กำลัง มอสเฟตกำลังจะนำกระแสก็ต่อเมื่อแรงดันตกคร่อมขาเกตเทียบกับขาซอส (V_{GS}) มีค่าสูงกว่าค่าแรงดันขีดเริ่มเปลี่ยน (threshold voltage) และเมื่อระดับแรงดัน V_{GS} สูงกว่าแรงดันขีดเริ่มเปลี่ยน จะเป็นผลทำให้มอสเฟตกำลังเข้าสู่การทำงานในโหมดโอห์มมิก (ohmic region) ซึ่งโดยทั่วไป แรงดัน V_{GS} เพื่อทำให้สวิตช์เริ่มนำกระแสจะมีค่าอยู่ระหว่าง 10 ถึง 20 โวลต์ และเพื่อให้สวิตช์ไม่นำกระแสสามารถกระทำได้โดยทำให้แรงดัน V_{GS} มีค่าต่ำกว่าแรงดันขีดเริ่มเปลี่ยน และในขณะที่สวิตช์นำกระแสและไม่นำกระแส กระแสที่ป้อนเข้าขาเกตจะมีค่าเท่ากับศูนย์ อย่างไรก็ตาม ความเร็วในการสวิตช์ จะสามารถหาได้จาก ความเร็วในการเก็บและคายประจุของค่าตัวเก็บประจุแฝงด้านขวาของมอสเฟตกำลัง (parasitic input capacitance) ซึ่งตัวเก็บประจุแฝงจะต้องทำการสะสมประจุเพื่อให้สวิตช์นำกระแส และจะต้องทำการคายประจุเพื่อทำให้สวิตช์ไม่นำกระแส วงจรขับเกตของมอสเฟตกำลังจะต้องสามารถจ่ายกระแส (sourcing) และดึงกระแส (sinking) ได้อย่างรวดเร็วเพื่อจะให้มอสเฟตกำลังสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูง สำหรับวงจรขับเกตที่ใช้คือชุดไอซี 74LS14 ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 3.5 วงจรไอซี 74LS14

3.2.3 เดทไทม์ (Dead Time)

เป็นวงจรที่ใช้สำหรับตั้งค่าเวลาที่ให้มอสเฟตสวิตช์ โดยในทางปฏิบัติ กิ่งใด ๆของอินเวอร์เตอร์ สวิตช์ตัวบนและตัวล่างต้องไม่นำกระแสพร้อมกันดังนั้นจึงต้องการช่วงเวลาที่สวิตช์ทั้งคู่หยุดนำกระแสก่อนที่สวิตช์จะเปลี่ยนสถานะ เพื่อป้องกันการลัดวงจรระหว่างบัสบวกกับบัสลบ ช่วงเวลานี้จะเรียกว่า เดตไทม์ ซึ่งเวลาเดตไทม์ดังกล่าวจะต้องมีความเหมาะสม คือ หากทีค่าน้อยเกินไปอาจทำให้มีโอกาสลัดวงจรได้ง่ายหรือถ้าหากมีค่ามากเกินไปก็อาจจะทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ผิดเพี้ยนไป

สวิตช์ที่มีความเร็วในการเปลี่ยนสถานะคือมีช่วงเวลาเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแสสั้น ๆ (เป็นหลักสิบของนาโนวินาที) เช่นสวิตช์ที่เป็นมอสเฟตจะมีค่าเดตไทม์น้อย ๆ

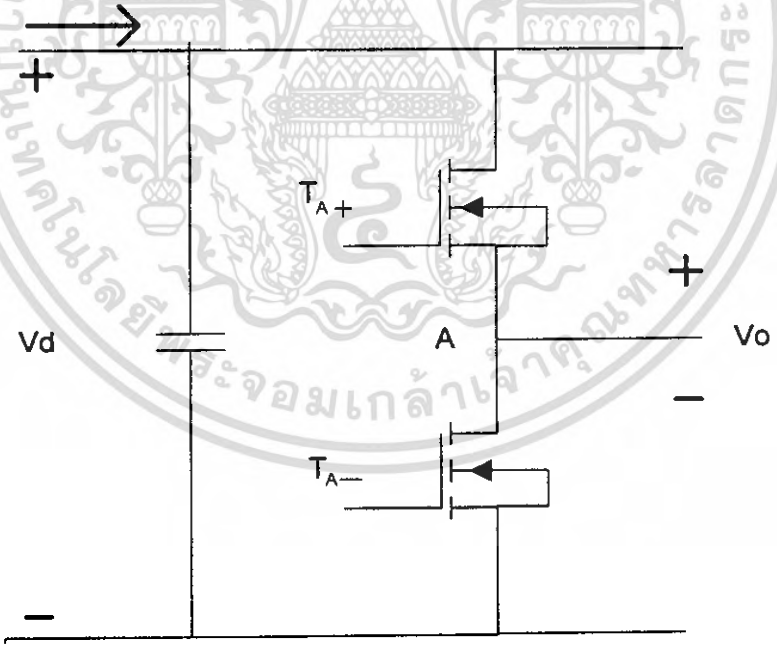
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น 1-2 ไมโครวินาที ส่วนที่เป็นไธริสเตอร์มักจะต้องการค่าเดดไทม์ที่มากกว่าทั้งนี้เพราะช่วงเวลาเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแสที่มากกว่า ดังนั้นเดดไทม์จะขึ้นอยู่กับชนิดของสวิตช์สารกึ่งตัวนำที่เลือกใช้

ผลของเดดไทม์ต่อแรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ ดังที่แสดงอยู่ในรูปที่ 3.6โดยรูปที่ 3.6(ก) เป็นวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์หนึ่งกิ่งและรูปที่ 3.6(ข) เป็นแรงดันควบคุมเกตในอุดมคติ รูปที่ 3.6(ค) คือแรงดันควบคุมเกตของสวิตช์ที่ได้ชดเชยผลของเดดไทม์แล้ว โดยมีหลักการง่าย ๆคือ ทุก ๆขาลงของแรงดันควบคุมเกตให้คงที่ และทุก ๆขาขึ้นให้หน่วงเวลาไปเท่ากับเดดไทม์ เพื่อไม่ให้สวิตช์ในกิ่งเดียวกันทำงานพร้อมกัน แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในช่วงเดดไทม์จะขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสโหลด

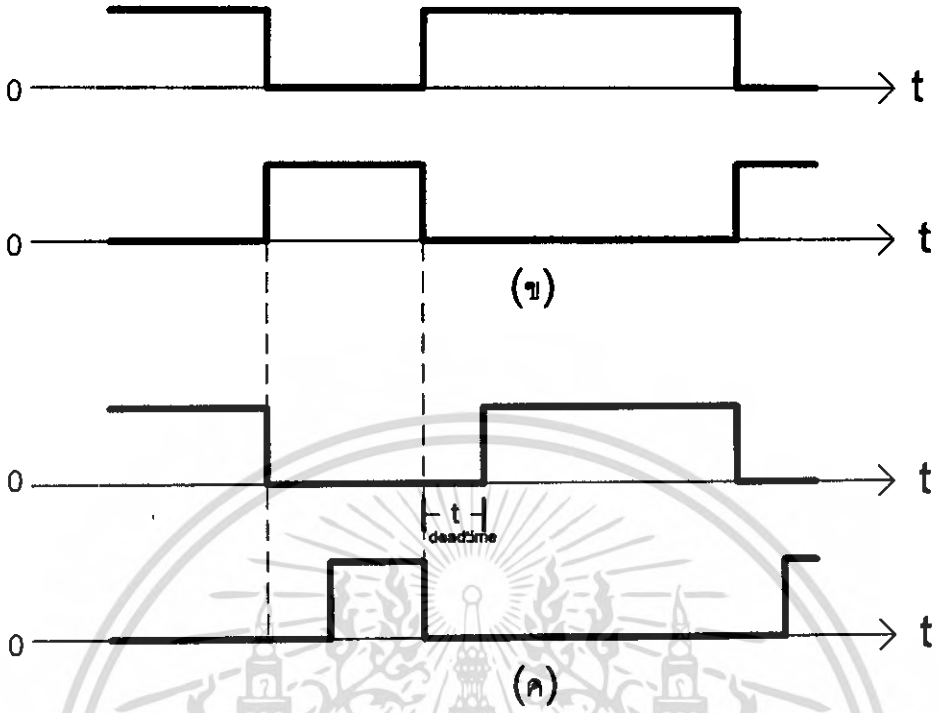
ข้อดีของเดดไทม์คือการทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรระหว่างบัสบวกกับบัสลบ แต่หากมีค่าเดดไทม์มากเกินไป ก็จะมีผลต่อรูปคลื่นสัญญาณทางด้านออก โดยขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสโหลด

จึงสรุปข้อเสียของเดดไทม์คือการเกิดฮาร์โมนิกที่ความถี่รอบข้างความถี่สวิตช์ชิ่งและเกดความถี่ที่ฮาร์โมนิกลำดับต่ำ ๆอันจะเป็นผลเสียต่อสมรรถนะของอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.6 (ก) วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์หนึ่งกิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

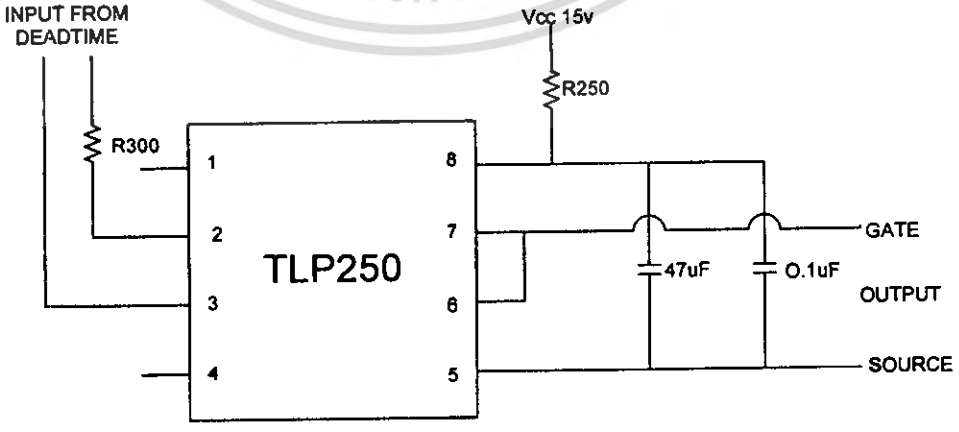


รูปที่ 3.6(ข) แรงดันควบคุมเกตในอุดมคติ

รูปที่ 3.6(ค) แรงดันควบคุมเกตของสวิตช์ที่ได้ชดเชยผลของเดดไทม์

3.2.4 วงจร Drive-Isolated

วงจรนี้จะมีหน้าที่รับสัญญาณพัลส์จากขา 4 และขา 8 ของ 74LS14 แล้วทำการ Isolate หรือแยกกราวน์ออกจากกัน จากนั้นจึงสร้างสัญญาณพัลส์เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจร Full Bridge Inverter ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดการลัดวงจรถึงกันของเพาเวอร์มอสเฟตในวงจร Inverter โดยที่วงจรนี้มีส่วนประกอบดังรูป 3.7



รูปที่ 3.7 วงจรแยกทางแสง

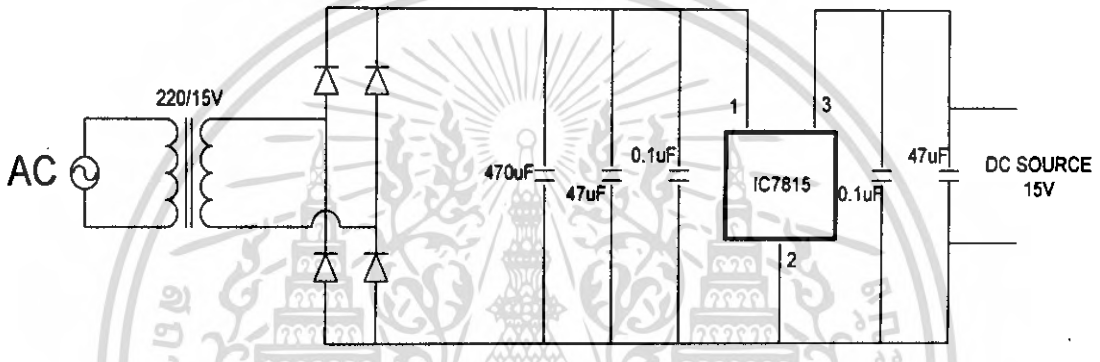
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (Voltage Regulator)

วงจรจ่ายไฟ +15 V_{DC}

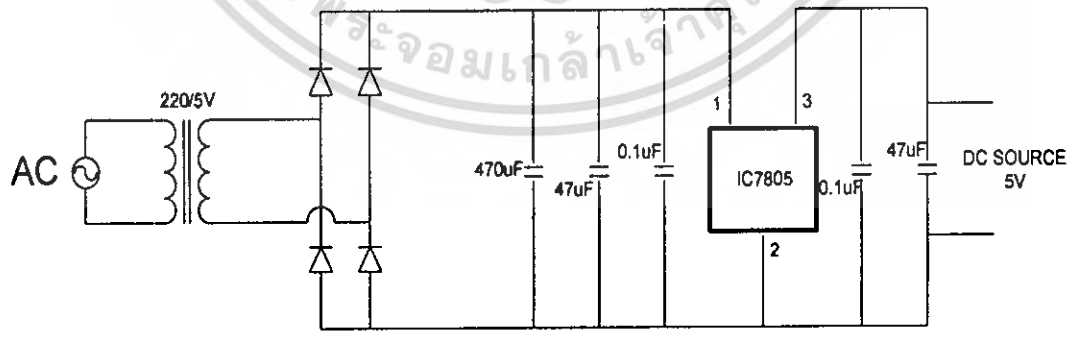
สำหรับโครงงานนี้ไฟกระแสตรงที่ใช้ในวงจรควบคุมต่าง ๆคือ +15 โวลต์ โดยออกแบบให้ใช้วงจรเรกกูเรเตอร์เป็นแหล่งจ่ายไฟเพราะทำง่าย

วงจรที่จ่ายแรงดันไฟตรงให้กับวงจร Drive-Isolated ซึ่งใช้ IC Regulator เบอร์ 7815 เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟตรงค่าบวกขนาด +15 โวลต์ให้คงที่ วงจรที่ใช้แสดงดังรูป



รูปที่ 3.8 วงจรจ่ายไฟกระแสตรง +15 โวลต์

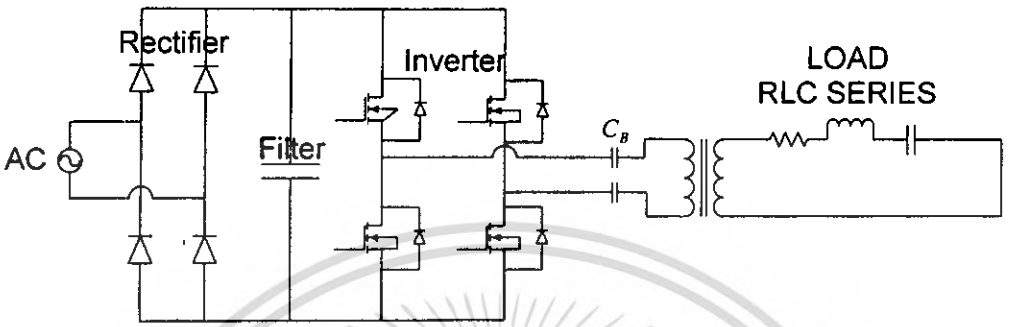
และวงจรที่จ่ายแรงดันไฟตรงให้กับวงจรขับเกต IC 74LS14 (เดดไทม์) IC Regulator เบอร์ 7805 เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟตรงค่าบวกขนาด +5 โวลต์ให้คงที่ วงจรที่ใช้แสดงดังรูป



รูปที่ 3.9 วงจรจ่ายไฟกระแสตรง +5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 แสดงวงจรกำลัง

จากรูปที่ 4.1 จะแสดงวงจรกำลังทั้งหมดที่ใช้ในการสร้างเตาหลอมในขั้นแรกคือรับกระแสไฟฟ้าสลับมาจากไฟบ้านและเข้าวงจรบริดจ์เรคติไฟล์เพื่อเปลี่ยนกระแสสลับให้เป็นกระแสตรงแล้วนำกระแสตรงที่ได้มาเข้าอินเวอร์เตอร์เพื่อเปลี่ยนกลับให้เป็นไฟกระแสสลับที่มีความถี่สูงเพื่อนำไปจ่ายให้เบ้าหลอมซึ่งก่อนเข้าเบ้าหลอมจะมีหม้อแปลงเฟอร์ไรต์อยู่เพื่อทำการลดระดับแรงดันก่อนเข้าเบ้าหลอม ทำการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะดังนี้

1 จะทำการทดลองดูการทำงานของชุดขับและชุดอินเวอร์เตอร์

2 จะทำการทดลองหาค่าพิกัดกำลังและประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์

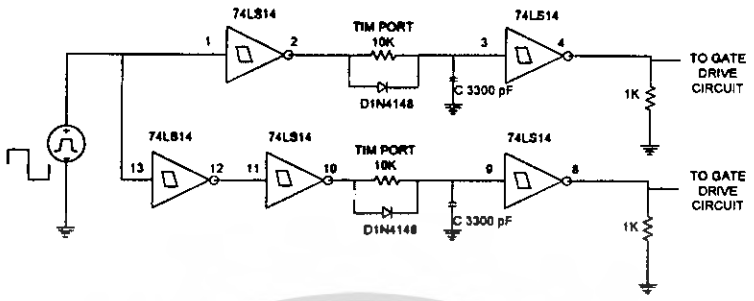
4.1 การทดสอบชุดวงจรสัญญาณขับเกท

ต้องสร้างวงจรขับเกทขึ้นมาทั้งหมด 4 ชุดโดยจะมี 2 สัญญาณที่มีเฟสตรงกันและอีก 2 ชุดที่มีเฟสตรงข้ามกัน เพื่อนำไปขับเกทของมอสเฟตให้สลับกันทำงานเป็นคู่ ซึ่งวงจรสร้างสัญญาณได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์(MCS51)แล้วนำไปผ่านวงจรเดดไทม์ (IC เบอร์ 74LS14)

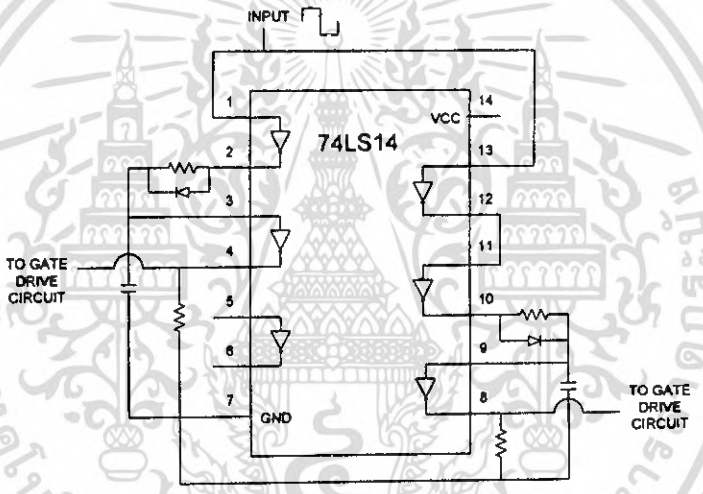
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 วงจรสัญญาณเดดไทม์

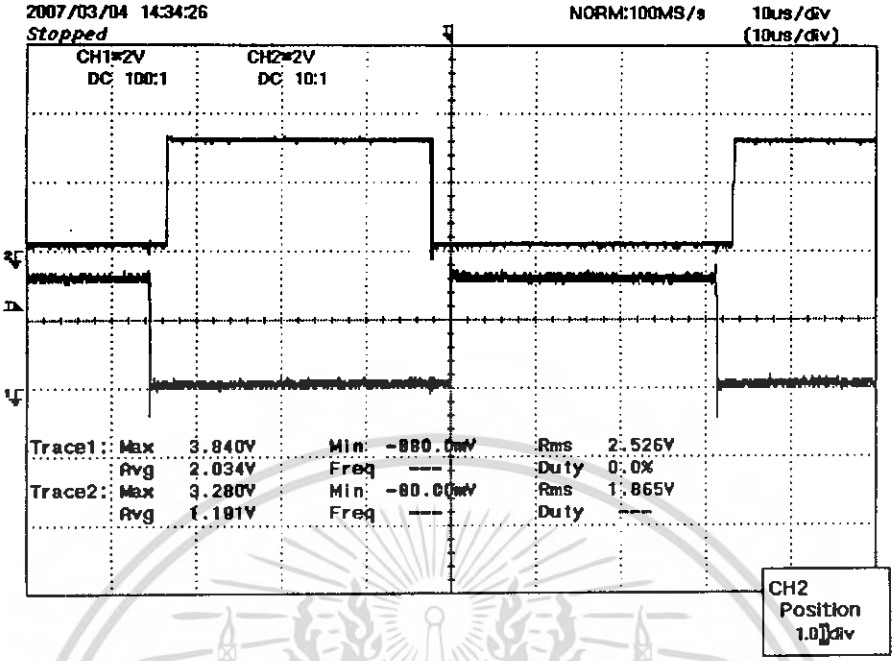


รูปที่ 4.3 การต่อวงจรสัญญาณเดดไทม์เข้ากับ IC74LS14

2. ใช้ออสซิโลสโคปวัดสัญญาณที่ออกจาก IC74LS14 โดยใช้ 2 สัญญาณ สัญญาณแรกจับที่ขา 4 กับขา 7 ส่วนอีกสัญญาณหนึ่งจับที่ขา 8 กับขา 7

3. บันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 คลื่นสัญญาณที่ได้จากเดดไทม์

จากการทดลองที่ 4.1 จะได้สัญญาณออกมาสองสัญญาณโดยสัญญาณทั้งสองจะมีการเหลื่อมล้ำกันซึ่งเป็นผลมาจากวงจรเดดไทม์และมีค่าแรงดันประมาณ 4 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

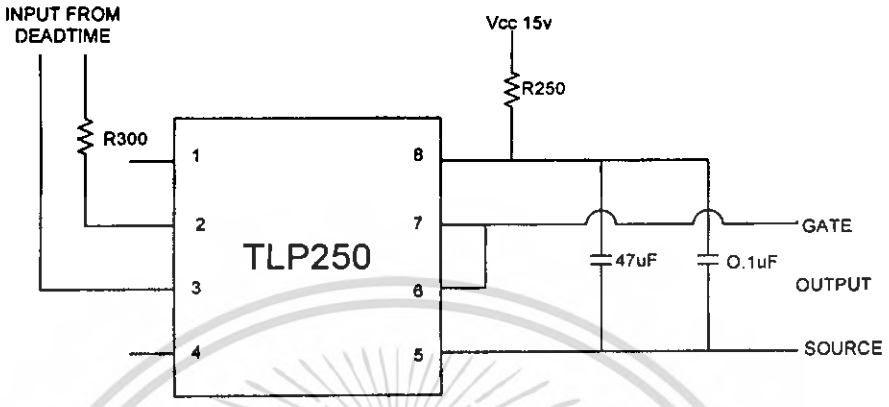
4.2 การทดลองชุดแยกทางแสง (Opto Isolation)

โดยวงจรดังกล่าวเป็นวงจรที่ใช้ในการแยกระบบกราวน์จากกันของวงจรควบคุมกับวงจรกำลัง โดยต่อหลังจากชุดขับเกท (IC 74LS14) ที่ได้สัญญาณออกมา 2 ชุด ชุดละ 2 สัญญาณ รวมเป็น 4 สัญญาณป้อนเข้าสู่วงจรแยกทางแสง 4 ชุด ก่อนที่จะต่อเข้าสู่ Full Bridge Inverter ที่ขา Gate กับขา Source ของมอสเฟตโดยไอซีที่ใช้คือ TLP250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

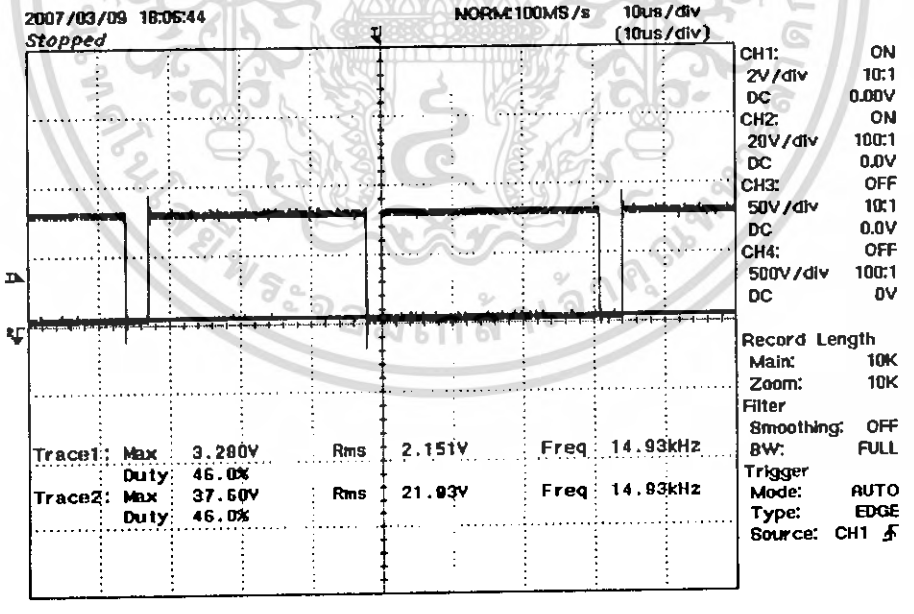
1.ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 วงจรแยกทางแสง

2. ใช้ออสซิโลสโคปวัดสัญญาณที่ออกจาก TLP250 โดยจับสัญญาณ 2 ชุดที่มีเฟสตรงข้ามกันที่ขา Gate กับขา Source ของมอสเฟตหรือชุดอินเวอร์เตอร์

3. บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 4.6 สัญญาณที่ได้จากการแยกทางแสง

จากรูปที่ 4.6 เมื่อเราทำการนำสัญญาณที่ได้จากวงจรขับเกตมาผ่านวงจรแยกทางแสง ผลที่ได้คือจะสามารถป้องกันการลัดถึงกันของมอสเฟตกำลังในอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบการปรับค่า Duty Ratio

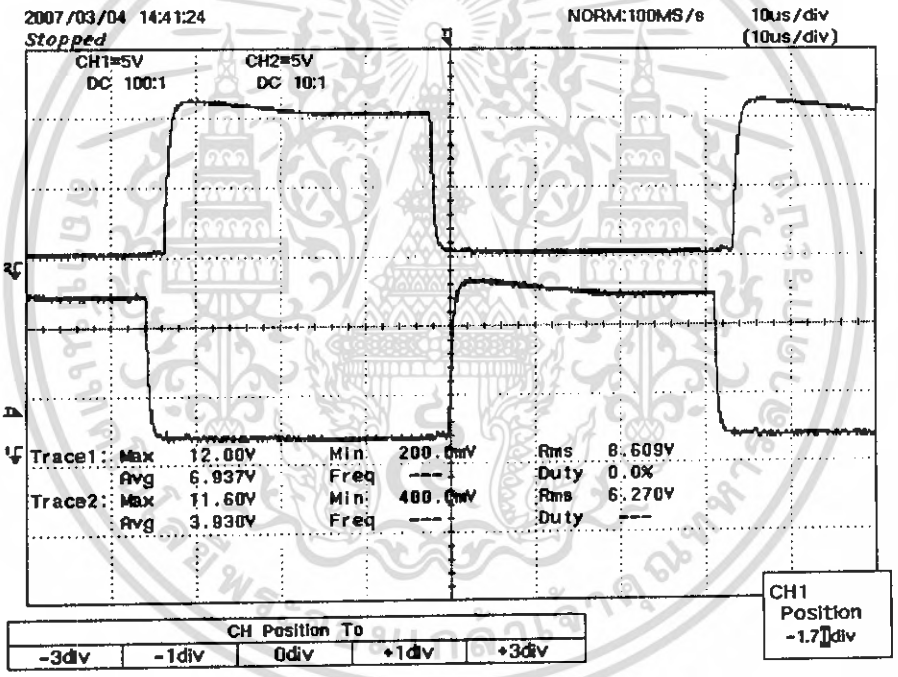
เป็นการปรับค่าเพื่อให้เกิดค่าความเหลื่อมล้ำของสัญญาณ ให้มีช่วงของสวิตช์ขาขึ้นกับขาลง คือให้สวิตช์คู่แรก on และ off ให้หมดก่อน และค่อยให้สวิตช์อีกคู่ on ตาม เพื่อป้องกันการเกิดการลัดวงจร หรือที่เรียกว่าการปรับค่า Deadtime

ขั้นตอนการทดลอง

1.ใช้ออสซิโลสโคปวัดสัญญาณที่ขา Gate กับขา Source ของมอสเฟตหรือชุดอินเวอร์เตอร์ 2 ชุดที่มีเฟสตรงข้ามกัน

2.ทำการปรับค่า Duty Ratio โดยหมุนที่ตัวความต้านทานปรับค่าได้ (Tim Port) ให้ได้ค่าเดดไทม์ที่เหมาะสม

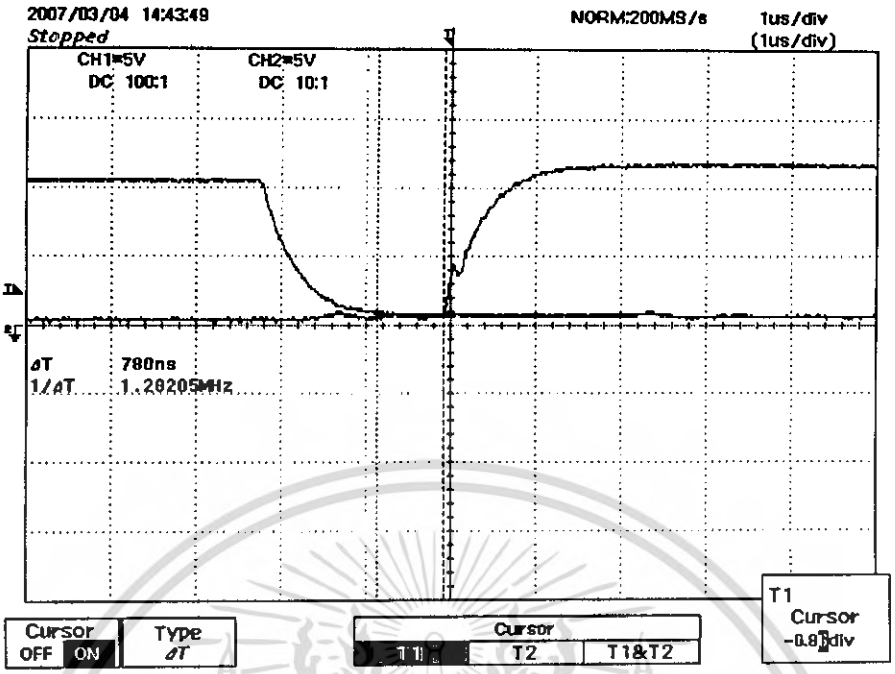
3.บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 4.7 รูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากมอสเฟต

เมื่อเรานำสัญญาณที่ได้จากเดดไทม์มาผ่านมอสเฟตจะได้รูปคลื่นสัญญาณออกมาเป็นลักษณะดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 สัญญาณแสดงช่วงเวลาเดดไทม์

จากรูปที่ 4.8 เมื่อเราทำการปรับค่า Duty Ratio ให้อยู่ที่ประมาณ 46% จะได้ช่วงเวลาที่สัญญาณทั้งสองไม่ทำงานพร้อมกันเป็นเวลาทั้งหมดประมาณ 800 ns

4.4 การหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเมื่อเทียบกับเวลา

วัตถุประสงค์

1 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นโดยเทียบกับเวลา

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1 Variac ปรับค่าได้ 0 ถึง 260 โวลต์

2 Oscilloscope

3 ตะกั่วขนาด 50 กรัม

4 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Infrarotthermometer)

5 นาฬิกาจับเวลา

ขั้นตอนการทดลอง

1 ปรับแรงดันอินพุทคงที่ 220 โวลต์ ที่ความถี่ 15 kHz โดยใช้ตะกั่วขนาด 50 กรัม

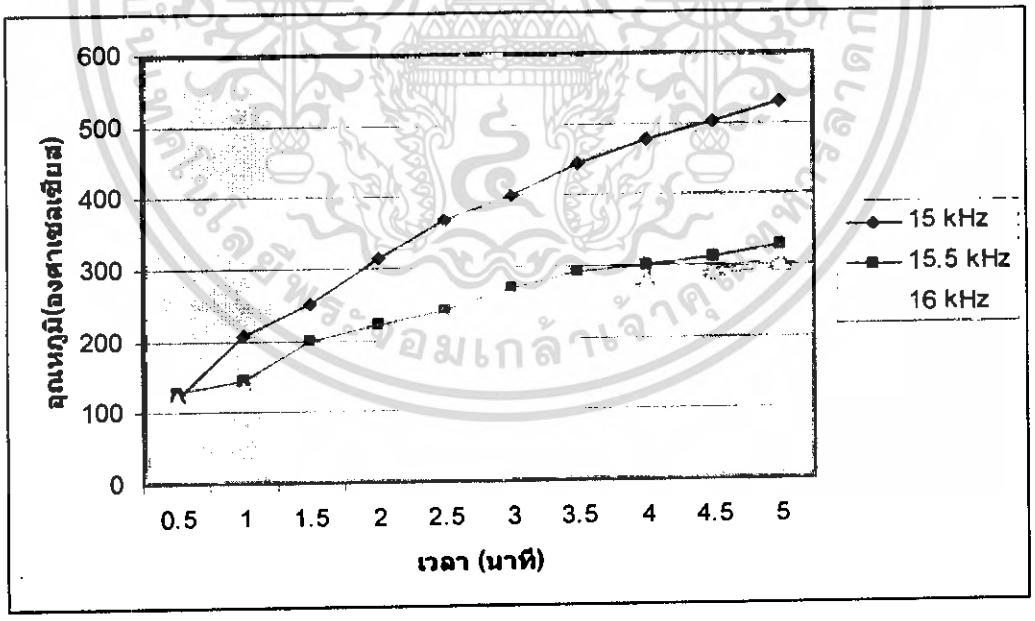
2 บันทึกอุณหภูมิทุกๆ 30 วินาที จนกระทั่งชิ้นงานหลอมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเวลาและอุณหภูมิในการหลอมตะกั่วขนาด 50 กรัม

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C) ที่ความถี่14KHz	อุณหภูมิ(°C) ที่ความถี่15.5 KHz	อุณหภูม(°C) ที่ความถี่16 KHz
0.50	120.2	128	121
1.00	206	144	135
1.50	251.5	198	176
2.00	314.3	222	197
2.50	367.4	240	214
3.00	399.7	270	251
3.50	445.5	291	261
4.00	477.7	300	279
4.50	501.3	310	288
5.00	530.2	326	300



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงอุณหภูมิเมื่อเปรียบเทียบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองกับขนาดชิ้นงานขนาด 50 กรัม ผลที่ได้จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในช่วงแต่ละเวลาจะไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในช่วงแรกจะมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเพราะโหลดจะซึมซาบพลังงานความร้อนอย่างรวดเร็วจากสภาวะอุณหภูมิปกติเริ่มต้นของโหลด เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิที่เกิดขึ้นกับโหลดจะมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยเนื่องจากพลังงานที่จ่ายเข้าไปเริ่มที่จะถึงจุดที่เรียกว่าเป็นจุดที่เกิดสมดุลทางพลังงาน แต่โหลดจะเริ่มหลอมในช่วงเวลาผ่านประมาณ 2นาที และจะหลอมหมดเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 4 นาที (ที่ความถี่ 15 KHz) ต่อมาทำการเปลี่ยนช่วงความถี่แล้วพิจารณาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะเห็นได้ว่าถ้าค่าความถี่ยิ่งออกห่างจากจุดเรโซแนนซ์ก็จะทำให้อุณหภูมิน้อยลงไปด้วย

4.5 การทดลองหาค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์

วัตถุประสงค์

1 เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ขณะทำงาน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1 Variac ปรับค่าได้

2 Oscilloscope

3 ตะกั่วขนาด 50 กรัม

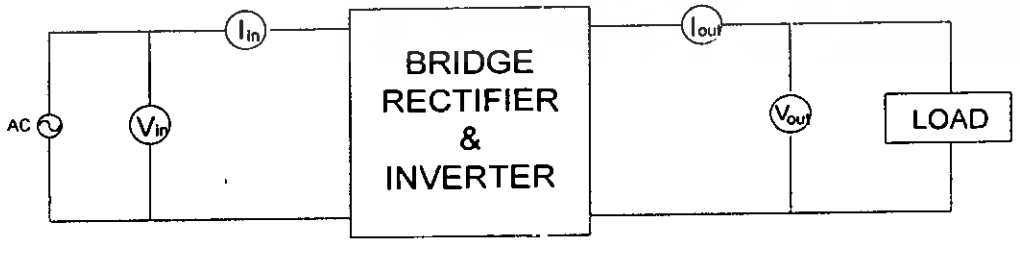
4 นาฬิกาจับเวลา

5 เครื่องวัดอุณหภูมิ

ขั้นตอนการทดลอง

1 ปรับแรงดันอินพุทคงที่ 220 โวลต์ที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ 15 กิโลเฮิร์ท

2 วัดสัญญาณแรงดันและกระแสทางด้านเอาท์พุตและอินพุตดังรูปที่ 4.10



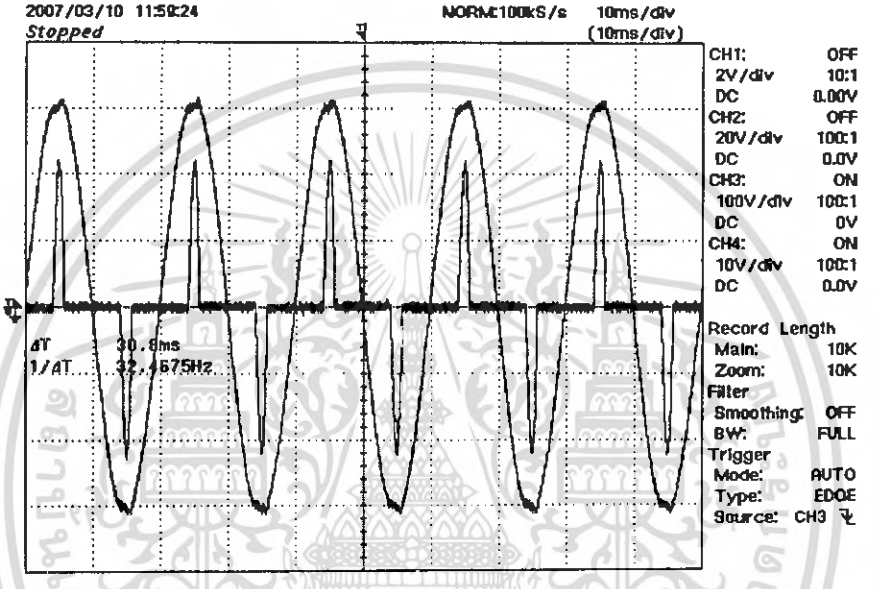
รูปที่ 4.10 แสดงจุดวัดสัญญาณของกระแสและแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

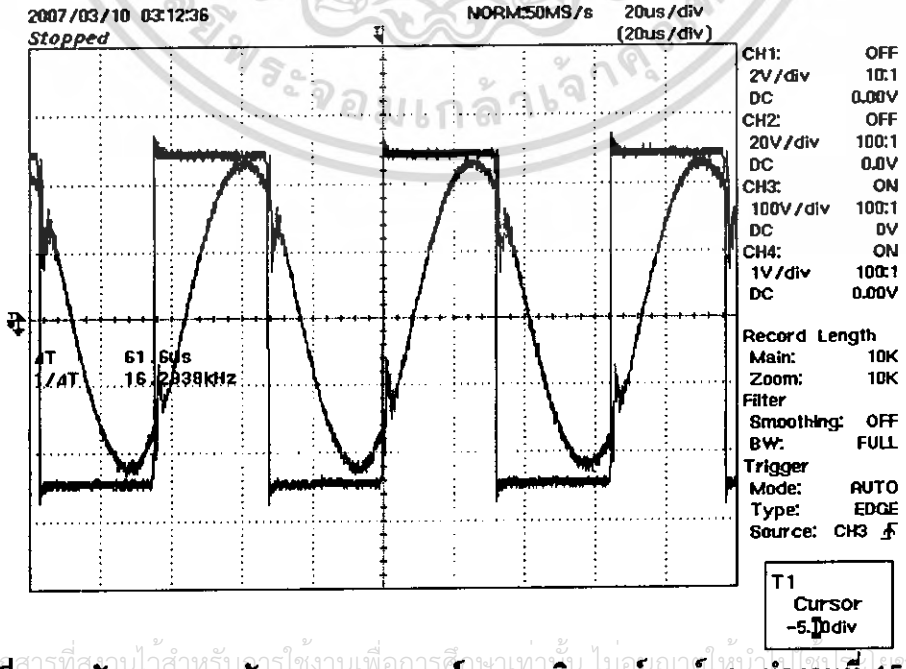
ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์

V_{in} (Volt)	I_{in} (Amp)	P_{in} (kW)	V_{out} (Volt)	I_{out} (Amp)	P_{out} (kW)	เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพ (%)
220	9	1.26	320	6.5	1.18	5	93.7

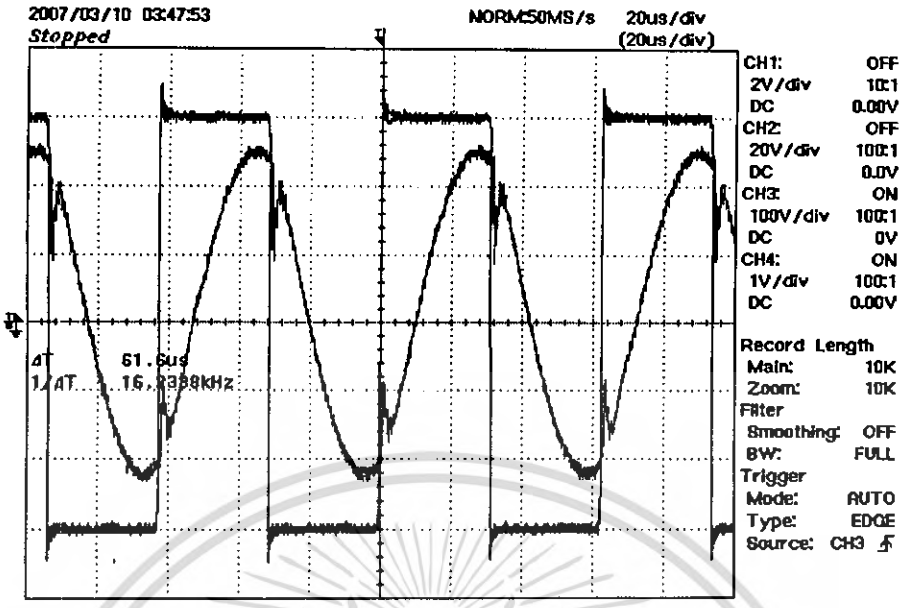


รูปที่ 4.11 สัญญาณแรงดันและกระแสอินพุทของอินเวอร์เตอร์ขณะทำงาน



รูปที่ 4.12 สัญญาณแรงดันและกระแสเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่ 15 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 สัญญาณแรงดันและกระแสเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่ 15.5 kHz

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่ากระแสจะมีฮาร์โมนิกรบกวนทำให้รูปคลื่นไม่เป็นสัญญาณรูปไซน์จึงทำให้เวลาหาพิกัดกำลังไฟฟ้าด้านเข้าต้องคิดกำลังไฟฟ้าในแต่ละจุดแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าสัญญาณของกระแสและแรงดันที่ได้จะมีลักษณะเป็นคลื่นไซน์และสี่เหลี่ยมตามลำดับเราจึงสามารถคำนวณหาค่าพิกัดกำลังได้ดามสมการ (4.1)

สรุปผลการทดลอง
กำลังไฟฟ้าทางด้านเอาท์พุดสามารถหาได้จาก

$$P = I_{rms} V_{rms} \cos\theta \tag{4.1}$$

ประสิทธิภาพสามารถหาได้จาก

$$\frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\,\% \tag{4.2}$$

ผลจากดารางการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าพิกัดกำลังที่ได้จากอินเวอร์เตอร์นั้นมีค่าน้อยกว่าค่าพิกัดกำลังด้านขาเข้าทั้งนี้อาจเป็นเพราะอินเวอร์เดอร์นั้นมีการสูญเสียเกิดขึ้นขณะทำงานแต่ค่าประสิทธิภาพที่ได้ก็ยังถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

หลักการของการเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กที่นำมาใช้ประยุกต์สำหรับเตาหลอม โดยอาศัยการเหนี่ยวนำจะให้ความร้อนแก่เบ้าหลอมอย่างรวดเร็ว

จากโครงการนี้ได้สร้างเตาหลอมที่ทำการออกแบบพิกัดกำลังประมาณ 1 กิโลวัตต์โดยใช้ Power Mosfet เบอร์ IRF460 มาเป็นตัวสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ เตาหลอมสามารถทำความร้อนได้ดีและเร็วที่ความถี่ในการสวิตชิ่ง 15 kHz Duty Ratio 49.8% สำหรับการทดลองเมื่อให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน เมื่อชิ้นงานมีความร้อนเพิ่มขึ้นจะทำให้คุณสมบัติทางแม่เหล็กและทางไฟฟ้าเปลี่ยนไปดังนั้นจะส่งผลให้ความถี่เรโซแนนซ์มีการเปลี่ยนแปลงทำให้กำลังที่ได้ออกมามีกำลังน้อยลง

เมื่อทำการปรับความถี่ให้มีค่าเพิ่มขึ้นพบว่ามุมของกระแสจะมีค่าล้าหลังแรงดันเพิ่มมากขึ้นจึงส่งผลให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์มีค่าน้อยลงจึงทำให้พิกัดกำลังที่ได้มีค่าน้อยลงตามไปด้วยซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับทฤษฎี

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทำโครงการวิจัยนี้ปัญหาที่พบก็คือ เมื่อให้แรงดันเข้าไปที่เตาพิกัดทำให้อุปกรณ์ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงเกิดความร้อนอย่างมากจากการที่ได้ทำการทดลองมาแล้วนั้นเมื่อเกิดความร้อนขึ้นเป็นเวลานานๆและความร้อนสูงมากๆ จะทำให้ฉนวนทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงเกิดการละลายและเกิดการลัดวงจรเกิดขึ้น แนวทางแก้ไขก็คืออาจจะต้องใช้วัตถุที่สามารถทนความร้อนได้ดีกว่าที่ใช้อยู่นี้

เมื่อชิ้นงานมีความร้อนเพิ่มขึ้นจะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์มีการเปลี่ยนแปลง ทำให้กำลังงานที่ได้ออกมามีค่าน้อยลงในส่วนนี้ถ้าต้องการจะให้เตาหลอมสามารถทำงานที่ความถี่เรโซแนนซ์ได้ตลอดอาจจะต้องมีการเพิ่มชุดควบคุมแบบป้อนกลับ เพื่อคอยควบคุมให้วงจรสามารถทำงานที่จุดเรโซแนนซ์ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] วีระเชษฐ์ ขันเงิน, วุฒิพล ธาราธีระเศรษฐ์, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง Power Electronics, กรุงเทพฯ วี.เจ.พริ้นติ้ง,2547.

[2] กัมพล ทองเรือง, การใช้งานโปรแกรม PSpice A/D : วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, ปทุมธานี : สกายบุ๊กส์, 2544.

[3] John Davies, Peter Simpson, Induction heating handbook, London : McGraw-Hill, c1979.

[4] ไพโรจน์ ทองประศรี, การควบคุมความถี่ของการสวิตซ์ที่ภาวะเรโซแนนซ์แบบอัตโนมัติโดยใช้เฟสล็อกลูปสำหรับเตาหลอมแบบเหนี่ยวนำ, วิทยานิพนธ์ (วศ.ม (ไฟฟ้า))--สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.

[5] วุฒิชัย บุญสังข์,วุฒิชัย ศรีธรรม, ศักดิ์ชัย เอกเฉลิมชัย, อำนาจ กรุพิมาย, ตู้อบเหนี่ยวนำความถี่สูง induction oven with high frequency, ปริญญานิพนธ์ (วศ.บ (ไฟฟ้า))--สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547.

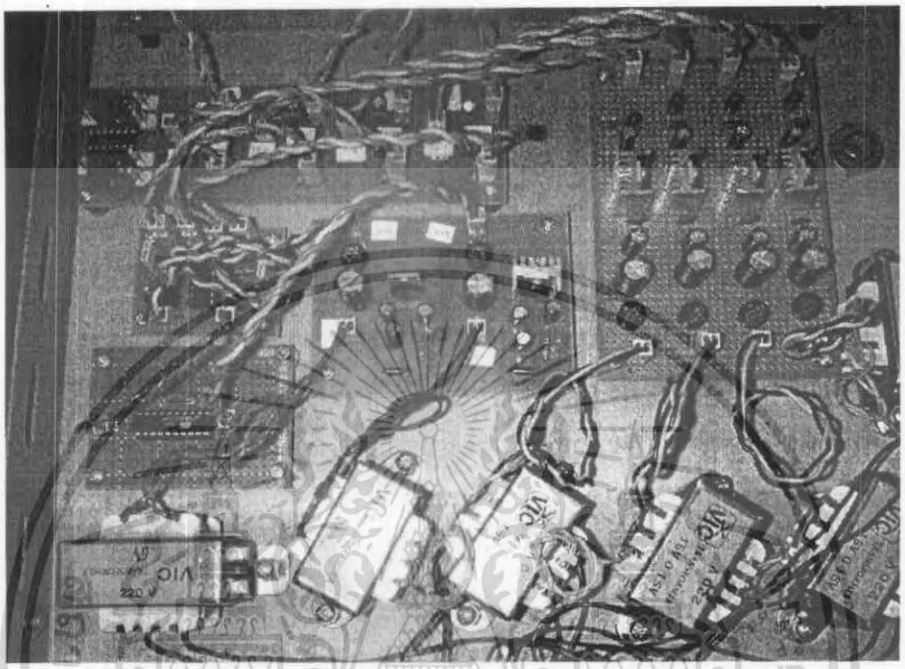
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

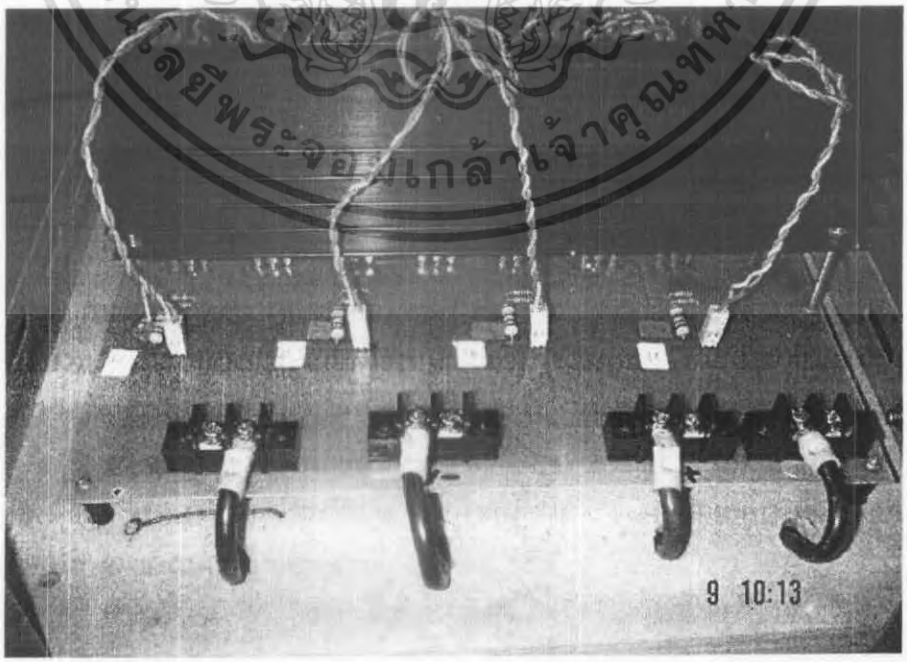
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1 แสดงรูปวงจรขับเกต

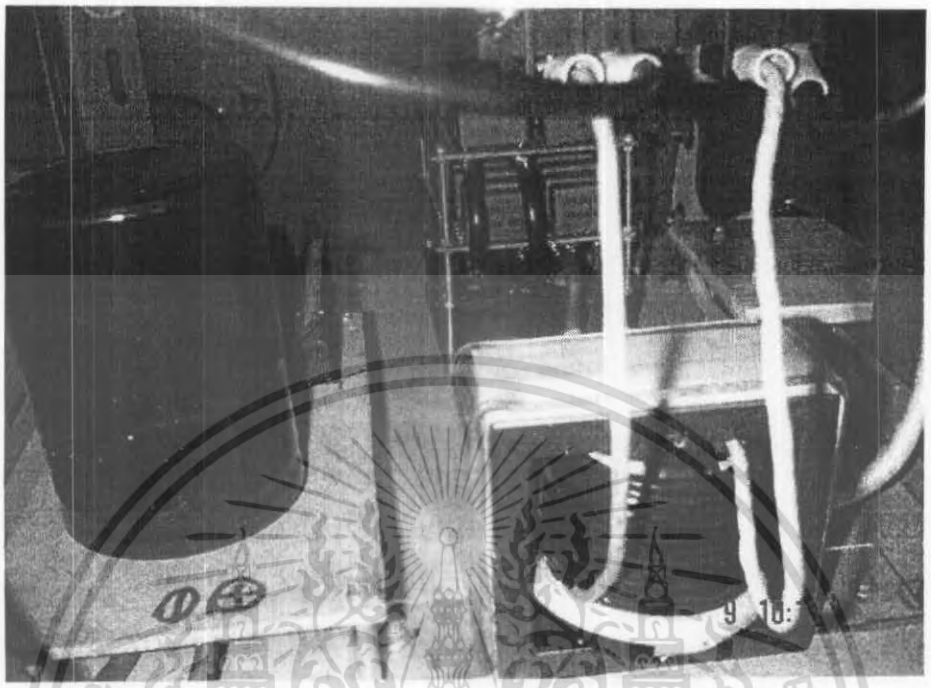


2 แสดงรูปอินเวอร์เตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

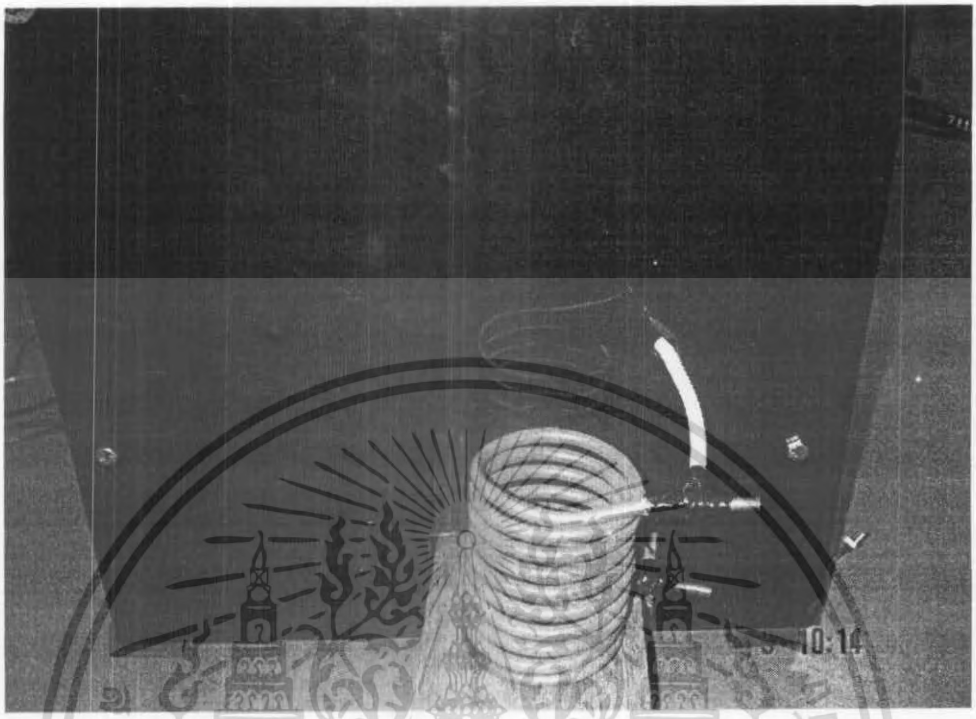
3 แสดงรูปหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์และตัวเก็บประจุ



4 แสดงอุปกรณ์บริดจ์เรคติไฟเออร์และตัวเก็บประจุทางด้านเซคคั่นดารี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 แสดงขดลวดทางด้านเซคคั่นดารี่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOSHIBA Photocoupler GaAlAs Ired & Photo-IC

TLP250

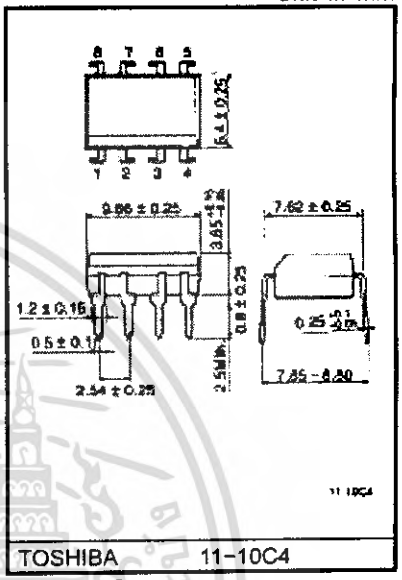
Transistor Inverter
Inverter For Air Conditionor
IGBT Gate Drive
Power MOS FET Gate Drive

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=5mA(max.)
- Supply current (I_{CC}): 11mA(max.)
- Supply voltage (V_{CC}): 10-35V
- Output current (I_O): ±1.5A (max.)
- Switching time (t_{pLH}/t_{pHL}): 1.5μs(max.)
- Isolation voltage: 2500V_{rms}(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}

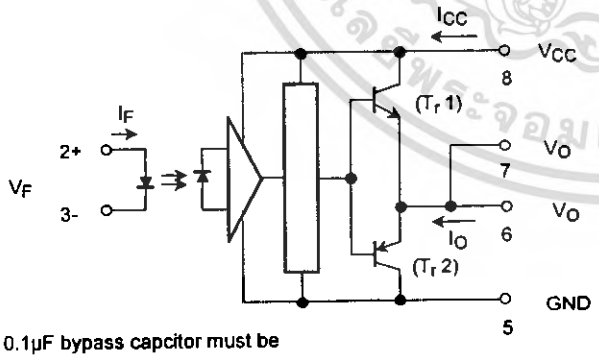
  (Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)"
- Creepage distance: 6.4mm(min.)
  Clearance: 6.4mm(min.)

Unit in mm



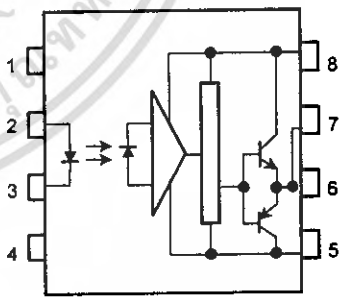
Weight: 0.54 g

Schmatic



A 0.1μF bypass capcitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).

Pin Configuration (top view)



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

Truth Table

		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

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

Note 1: Pulse width P_W ≤ 1μs, 300pps

Note 2: Exporenential wavefom

Note 3: Exporenential wavefom, I_{OPH} ≤ −1.0A(≤ 2.5μs), I_{OPL} ≤ +1.0A(≤ 2.5μs)

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

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

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

Recommended Operating Conditions

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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		$\Delta V_F / \Delta Ta$	—	I_F = 10 mA		—	−2.0	—	mV / °C
Input reverse current		I_R	—	V_R = 5V, Ta = 25°C			—	10	μA
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_{8-6} = 4V	−0.5	−1.5	—	A
	"L" level	I_{OPL}	2		I_F = 0 V_{6-5} = 2.5V	0.5	2	—	
Output voltage	"H" level	V_{OH}	4	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = −15V R_L = 200Ω, I_F = 5mA		11	12.8	—	V
	"L" level	V_{OL}	5	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = −15V R_L = 200Ω, 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 = 200Ω, V_O > 0V		—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	I_{FHL}	—	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = −15V R_L = 200Ω, 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%		1×10^{12}	10^{14}	—	Ω

* All typical values are at Ta = 25°C (*1): Duration of I_O time ≤ 50μs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

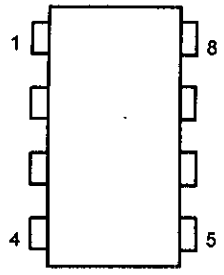
Characteristic		Symbol	Test Cir-cuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Propagation delay time	L→H	t_{pLH}	6	I_F = 8mA (Note 7) V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = −15V R_L = 200Ω	—	0.15	0.5	μs
	H→L	t_{pHL}			—	0.15	0.5	
Output rise time		t_r			—	—	—	
Output fall time		t_f			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output		C_{MH}	7	V_{CM} = 600V, I_F = 8mA V_{CC} = 30V, Ta = 25°C	−5000	—	—	V / μs
Common mode transient immunity at low level output		C_{ML}	7	V_{CM} = 600V, I_F = 0mA V_{CC} = 30V, Ta = 25°C	5000	—	—	V / μs

* All typical values are at Ta = 25°C

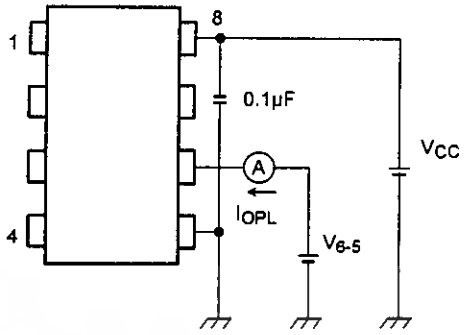
Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

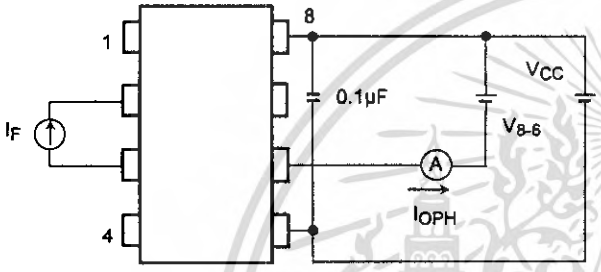
Test Circuit 1 :



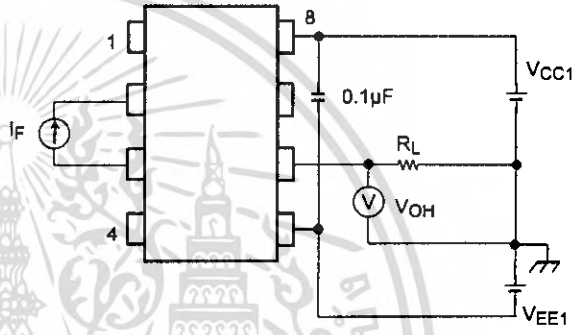
Test Circuit 2 : IOPL



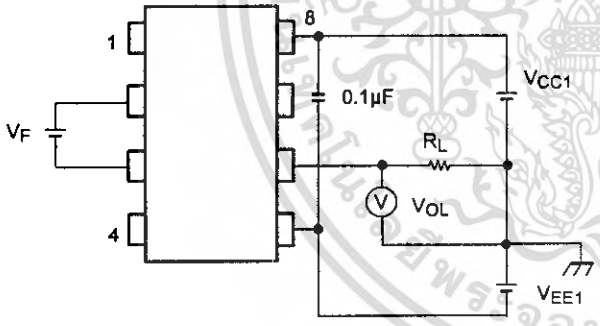
Test Circuit 3 : IOPH



Test Circuit 4 : VOH

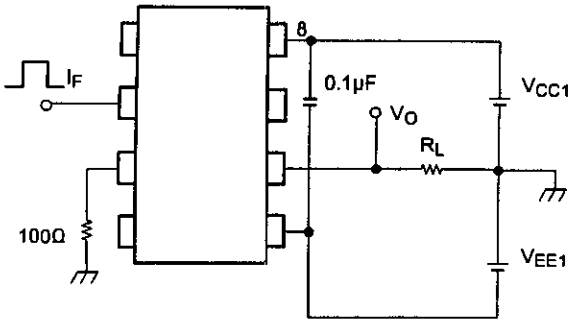


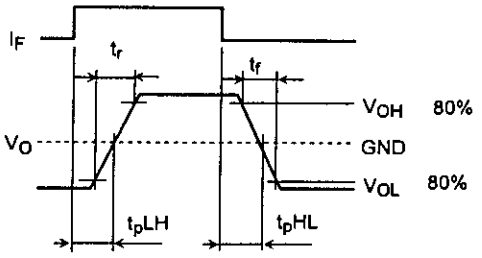
Test Circuit 5 : V_{OL}



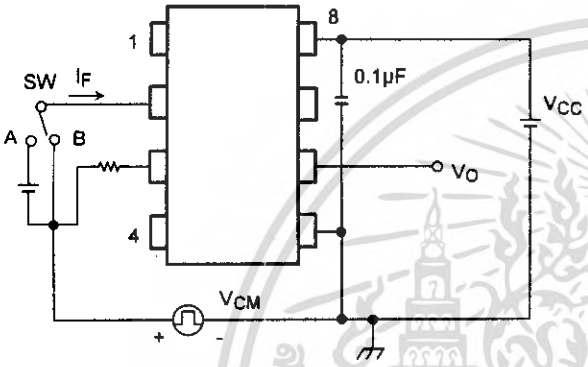
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

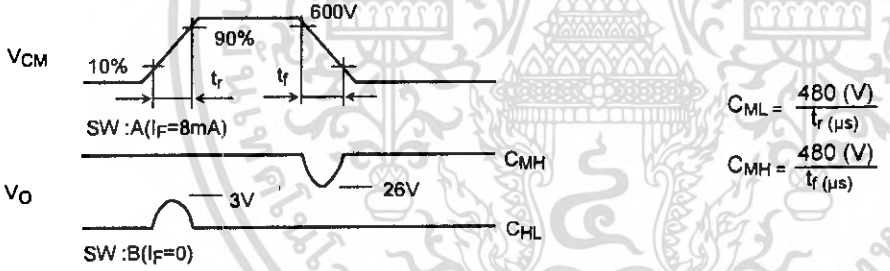
Test Circuit 6: t_{pLH}, t_{pHL}, t_r t_f





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

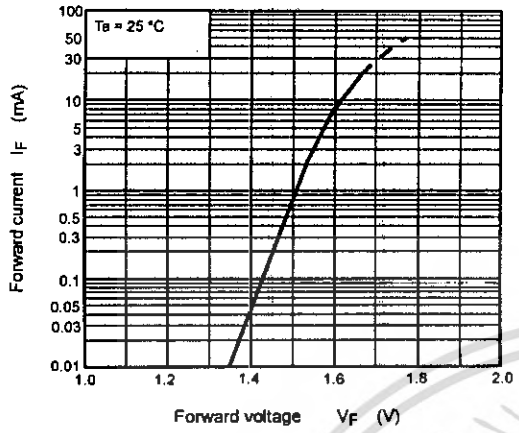




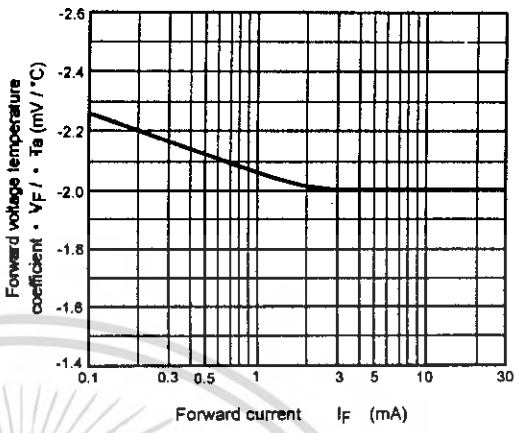
C_{ML}(C_{MH}) is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

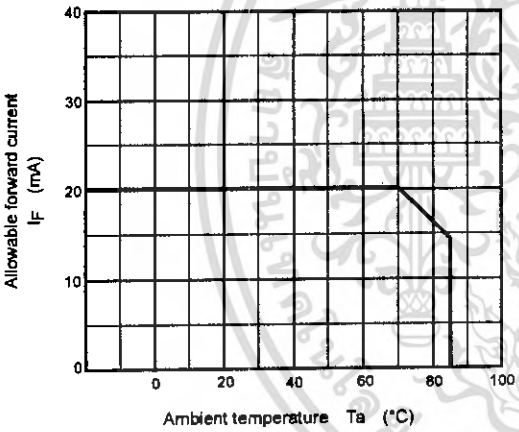
$I_F - V_F$



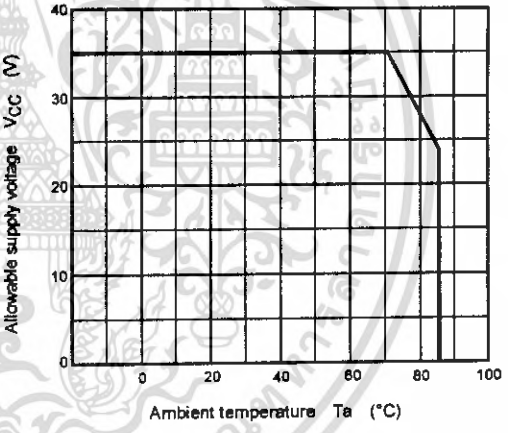
$\Delta V_F / \Delta Ta - I_F$



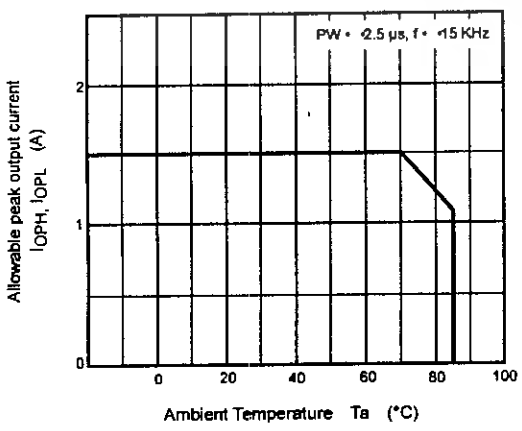
$I_F - Ta$



$V_{CC} - Ta$



$I_{OPH}, I_{OPL} - Ta$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

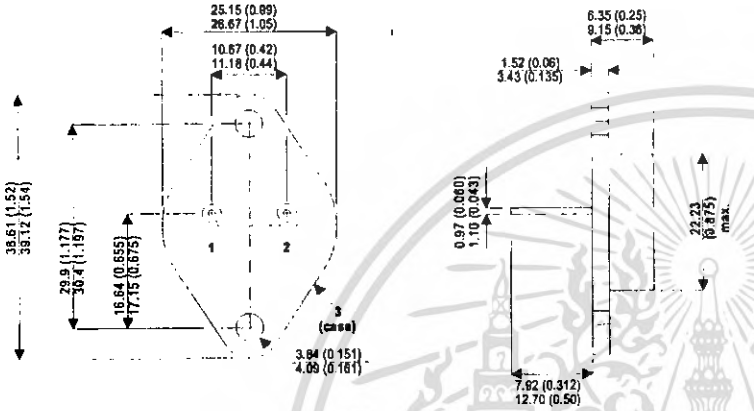
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SEME LAB

IRF460

TO–3 (TO–204AA) Package Outline.

Dimensions in mm (inches)



N–CHANNEL ENHANCEMENT MODE HIGH VOLTAGE POWER MOSFETS

V_{DSS}	500V
$I_{D(cont)}$	21A
$R_{DS(on)}$	0.27Ω

Pin 1 – Gate **Pin 2 – Source** **Case – Drain**

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T_{case} = 25°C unless otherwise stated)

V_{DSS}	Drain – Source Voltage	500	V
I_D	Continuous Drain Current	21	A
I_{DM}	Pulsed Drain Current [1]	84	A
V_{GS}	Gate – Source Voltage	±20	V
P_D	Total Power Dissipation @ T_{case} = 25°C	300	W
	Derate Linearly	2.4	W/°C
T_J , T_{STG}	Operating and Storage Junction Temperature Range	–55 to 150	°C
T_L	Lead Temperature : 0.063" from Case for 10 Sec.	300	

STATIC ELECTRICAL RATINGS (T_{case} = 25°C unless otherwise stated)

	Characteristic	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
BV_{DSS}	Drain – Source Breakdown Voltage	V_{GS} = 0V , I_D = 1mA	500			V
I_{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current (V_{GS} = 0V)	V_{DS} = V_{DSS}			25	µA
		V_{DS} = 0.8V_{DSS} , T_C = 125°C			250	
I_{GSS}	Gate – Source Leakage Current	V_{GS} = ±20V , V_{DS} = 0V			±100	nA
$V_{GS(TH)}$	Gate Threshold Voltage	V_{DS} = V_{GS} , I_D = 250µA	2		4	V
$I_{D(ON)}$	On State Drain Current [2]	V_{DS} > $I_{D(ON)}$ x $R_{DS(ON)}$ Max , V_{GS} = 10V	21			A
$R_{DS(ON)}$	Drain – Source On State Resistance [2]	V_{GS} = 10V , I_D = 13A			0.27	Ω
		V_{GS} = 10V , I_D = 21A			0.31	

1) Repetitive Rating: Pulse Width limited by maximum junction temperature.
2) Pulse Test: Pulse Width < 380µS , Duty Cycle < 2%

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Semelab plc. Telephone +44(0)1455 556565. Fax +44(0)1455 552612. e-mail sales@semelab.co.uk
Website http://www.semelab.co.uk

SEME LAB

IRF460

DYNAMIC CHARACTERISTICS

	Characteristic	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
C_{iss}	Input Capacitance	V_{GS} = 0V		2890		
C_{oss}	Output Capacitance	V_{DS} = 25V		590		pF
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	f = 1MHz		230		
Q_g	Total Gate Charge[3]	V_{GS} = 10V		140	190	
Q_{gs}	Gate – Source Charge	V_{DD} = 0.5 V_{DSS}		18	27	nC
Q_{gd}	Gate – Drain ("Miller") Charge	I_D = I_D [Cont.] @ 25°C		75	135	
$t_{d(on)}$	Turn–on Delay Time	V_{GS} = 15V		19	35	
t_r	Rise Time	V_{DD} = 0.5 V_{DSS}		43	120	ns
$t_{d(off)}$	Turn-off Delay Time	I_D = I_D [Cont.] @ 25°C		85	130	
t_f	Fall Time	R_G = 1.8Ω		56	98	

SOURCE – DRAIN DIODE RATINGS AND CHARACTERISTICS

	Characteristic	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_S	Continuous Source Current	(Body Diode)			21	A
I_{SM}	Pulsed Source Current[1]	(Body Diode)			84	
V_{SD}	Diode Forward Voltage[2]	V_{GS} = 0V , I_S = – I_D [Cont.]			1.8	V
t_{rr}	Reverse Recovery Time	I_S = – I_D [Cont.] , dI_s / dt = 100A/µs			580	ns
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	I_S = – I_D [Cont.] , dI_s / dt = 100A/µs			8.1	µC

THERMAL CHARACTERISTICS

	Characteristic	Min.	Typ.	Max.	Unit
$R_{\theta JC}$	Junction to Case			0.42	°C/W
$R_{\theta JA}$	Junction to Ambient			30	

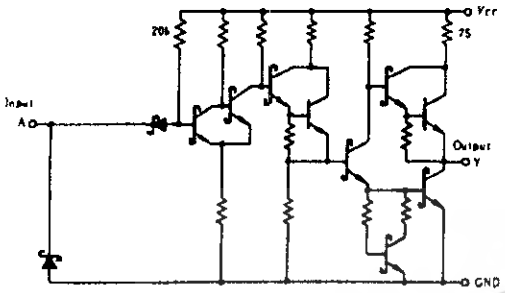
1) Repetitive Rating: Pulse Width limited by maximum junction temperature.
2) Pulse Test: Pulse Width < 380µS , Duty Cycle < 2%
3) See MIL–STD–750 Method 3471

CAUTION — Electrostatic Sensitive Devices. Anti-Static Procedures Must Be Followed.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

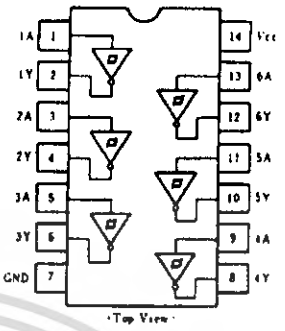
Semelab plc. Telephone +44(0)1455 556565. Fax +44(0)1455 552612. e-mail sales@semelab.co.uk
Website http://www.semelab.co.uk

HD74LS14 ●Hex Schmitt Trigger Inverters

■CIRCUIT SCHEMATIC(1/6)



■PIN ARRANGEMENT



■ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($Ta=-20\sim+75°C$)

Item	Symbol	Test Conditions		min	typ*	max	Unit
Input threshold voltage	V_{T^+}	$V_{CC}=5V$		1.4	1.6	1.9	V
	V_{T^-}	$V_{CC}=5V$		0.5	0.7	1.0	V
Hysteresis	$V_{T^+}-V_{T^-}$	$V_{CC}=5V$		0.4	0.9	–	V
Output voltage	V_{OH}	$V_{CC}=4.75V$, $V_I=0.5V$, $I_{OH}=-400\mu A$		2.7	–	–	V
	V_{OL}	$V_{CC}=4.75V$, $V_I=1.9V$	$I_{OL}=8mA$	–	–	0.50	V
			$I_{OL}=4mA$	–	–	0.40	
Input threshold current	I_{T^+}	$V_{CC}=5V$, $V_I=V_{T^+}$		–	−0.14	–	mA
	I_{T^-}	$V_{CC}=5V$, $V_I=V_{T^-}$		–	−0.18	–	mA
Input current	I_{IH}	$V_{CC}=5.25V$, $V_I=2.7V$		–	–	20	μA
	I_{IL}	$V_{CC}=5.25V$, $V_I=0.4V$		–	–	−0.4	mA
	I_I	$V_{CC}=5.25V$, $V_I=7V$		–	–	0.1	mA
Short-circuit output current	I_{OS}	$V_{CC}=5.25V$		−20	–	−100	mA
Supply current	I_{CCH}	$V_{CC}=5.25V$		–	8.6	16	mA
	I_{CCL}	$V_{CC}=5.25V$		–	12	21	mA
Input clamp voltage	V_{IK}	$V_{CC}=4.75V$, $I_{IN}=-18mA$		–	–	−1.5	V

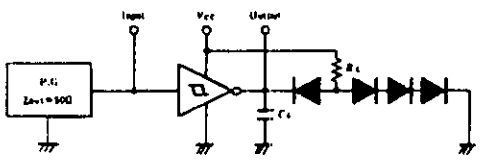
* $V_{CC}=5V$, $Ta=25°C$

■SWITCHING CHARACTERISTICS ($V_{CC}=5V$, $Ta=25°C$)

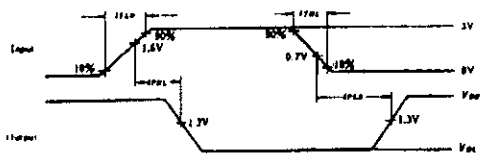
Item	Symbol	Test Conditions	min	typ	max	Unit
Propagation delay time	t_{PLH}	$C_L=15pF$, $R_L=2k\Omega$	–	15	22	ns
	t_{PHL}		–	15	22	ns

■TESTING METHOD

1. Test Circuit



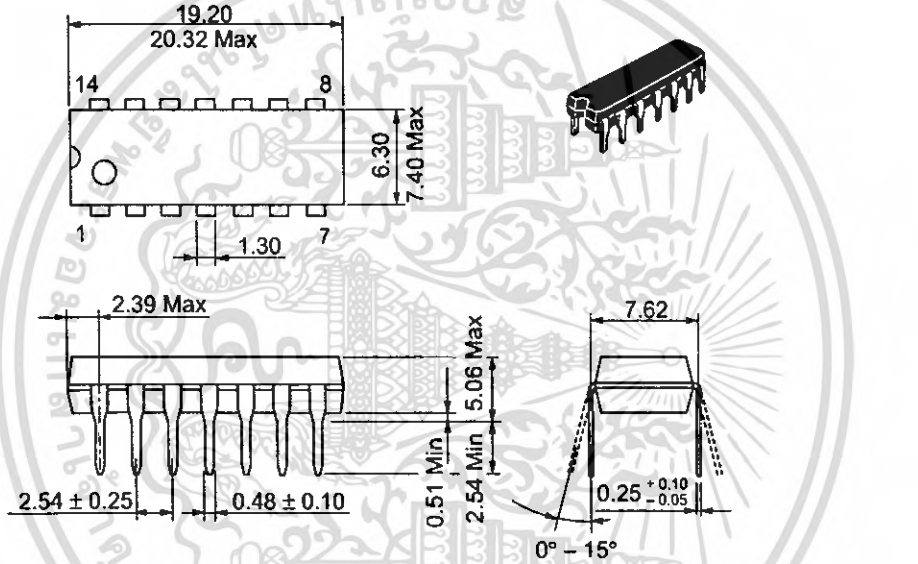
Waveform



Notes) 1. Input pulse; $t_{TLH}\leq 15ns$, $t_{THL}\leq 6ns$, $PRR=1MHz$, duty cycle=50%
2. C_L includes probe and jig capacitance.
3. All diodes are 1S2074 Ⓗ.

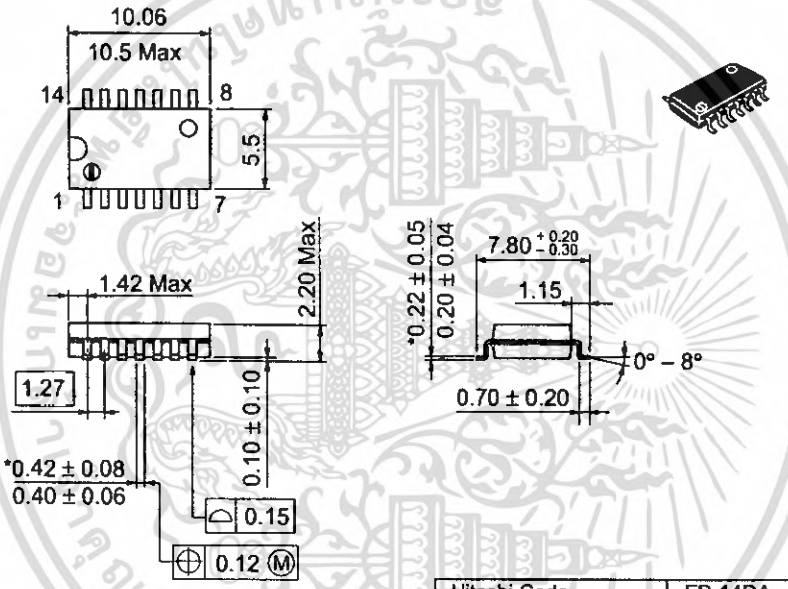
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Unit: mm



Hitachi Code	DP-14
JEDEC	Conforms
EIAJ	Conforms
Weight (reference value)	0.97 g

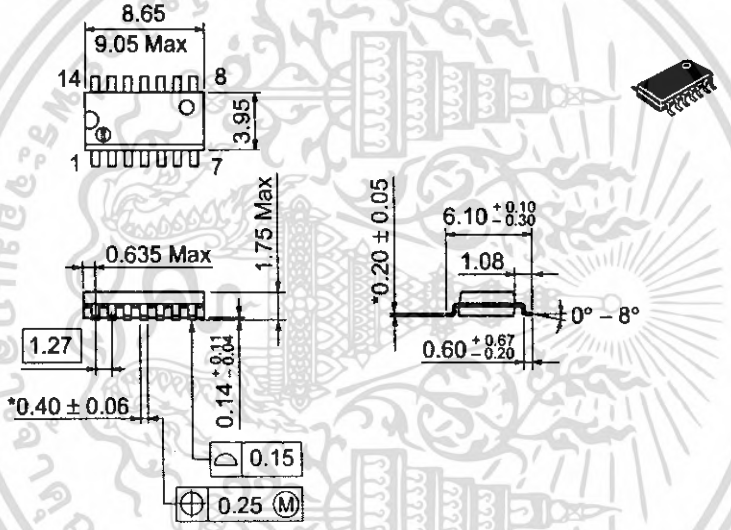
Unit: mm



*Dimension including the plating thickness
Base material dimension

Hitachi Code	FP-14DA
JEDEC	—
EIAJ	Conforms
Weight (reference value)	0.23 g

Unit: mm



Hitachi Code	FP-14DN
JEDEC	Conforms
EIAJ	Conforms
Weight (reference value)	0.13 g

*Pd plating

Cautions

1. Hitachi neither warrants nor grants licenses of any rights of Hitachi's or any third party's patent, copyright, trademark, or other intellectual property rights for information contained in this document. Hitachi bears no responsibility for problems that may arise with third party's rights, including intellectual property rights, in connection with use of the information contained in this document.
2. Products and product specifications may be subject to change without notice. Confirm that you have received the latest product standards or specifications before final design, purchase or use.
3. Hitachi makes every attempt to ensure that its products are of high quality and reliability. However, contact Hitachi's sales office before using the product in an application that demands especially high quality and reliability or where its failure or malfunction may directly threaten human life or cause risk of bodily injury, such as aerospace, aeronautics, nuclear power, combustion control, transportation, traffic, safety equipment or medical equipment for life support.
4. Design your application so that the product is used within the ranges guaranteed by Hitachi particularly for maximum rating, operating supply voltage range, heat radiation characteristics, installation conditions and other characteristics. Hitachi bears no responsibility for failure or damage when used beyond the guaranteed ranges. Even within the guaranteed ranges, consider normally foreseeable failure rates or failure modes in semiconductor devices and employ systemic measures such as fail-safes, so that the equipment incorporating Hitachi product does not cause bodily injury, fire or other consequential damage due to operation of the Hitachi product.
5. This product is not designed to be radiation resistant.
6. No one is permitted to reproduce or duplicate, in any form, the whole or part of this document without written approval from Hitachi.
7. Contact Hitachi's sales office for any questions regarding this document or Hitachi semiconductor products.

HITACHI

Hitachi, Ltd.
Semiconductor & Integrated Circuits.
Nippon Bldg., 2-6-2, Ohte-machi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-0004, Japan
Tel: Tokyo (03) 3270-2111 Fax: (03) 3270-5109

URL
NorthAmerica : http:semiconductor.hitachi.com/
Europe : http://www.hitachi-eu.com/hel/ecg
Asia (Singapore) : http://www.has.hitachi.com.sg/grp3/sicd/index.htm
Asia (Taiwan) : http://www.hitachi.com.tw/E/Product/SICD_Frame.htm
Asia (HongKong) : http://www.hitachi.com.hk/eng/bo/grp3/index.htm
Japan : http://www.hitachi.co.jp/Sicd/indx.htm

For further information write to:

Hitachi Semiconductor (America) Inc.
179 East Tasman Drive,
San Jose,CA 95134
Tel: <1> (408) 433-1990
Fax: <1>(408) 433-0223

Hitachi Europe GmbH
Electronic components Group
Dornacher Straße 3
D-85622 Feldkirchen, Munich
Germany
Tel: <49> (89) 9 9180-0
Fax: <49> (89) 9 29 30 00

Hitachi Europe Ltd.
Electronic Components Group.
Whitebrook Park
Lower Cookham Road
Maidenhead
Berkshire SL6 8YA, United Kingdom
Tel: <44> (1628) 585000
Fax: <44> (1628) 778322

Hitachi Asia Pte. Ltd.
16 Collyer Quay #20-00
Hitachi Tower
Singapore 049318
Tel: 535-2100
Fax: 535-1533

Hitachi Asia Ltd.
Taipei Branch Office
3F, Hung Kuo Building. No.167,
Tun-Hwa North Road, Taipei (105)
Tel: <886> (2) 2718-3666
Fax: <886> (2) 2718-8180

Hitachi Asia (Hong Kong) Ltd.
Group III (Electronic Components)
7/F., North Tower, World Finance Centre,
Harbour City, Canton Road, Tsim Sha Tsui,
Kowloon, Hong Kong
Tel: <852> (2) 735 9218
Fax: <852> (2) 730 0281
Telex: 40815 HITEC HX

Copyright ' Hitachi, Ltd., 1999. All rights reserved. Printed in Japan.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้