

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องเชื่อมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง
HIGH FREQUENCY ELECTRONIC WELDER



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 49947
วัน,เดือน,ปี 2 เม.ย. 2547

b.....
1.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์ 2545

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องเชื่อมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง

HIGH FREQUENCY ELECTRONIC WELDER

ผู้จัดทำ

1. นายเชาวรินทร์ อธิธิญาโณ รหัสประจำตัว 43015113
2. นายสุนทร ทิพย์วัฒน์ รหัสประจำตัว 43015143
3. นายเอกไชย เสถียรพงษ์สุข รหัสประจำตัว 43015151



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.วิริยะ พิเชฐจำเริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องเชื่อมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง

นายเชาวรินทร์	อิทธิญา โณ	43015113
นายสุนทร	ทิพย์วัฒน์	43015143
นายเอกไชย	เสถียรพงษ์สุข	43015151
รศ.ดร.วิริยะ	พิเชษฐา เรือ อธิการ์ที่ปรึกษา	
ปีการศึกษา 2545		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาและสร้างเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงความถี่สูงโดยอาศัยหลักการ ฟูลบริดจ์ ดิซี - ดิซี คอนเวอร์เตอร์แบบซีรီးโซแนนท์ ใช้หลักการควบคุมแบบปรับความถี่ ที่แรงดันตกคร่อมสวิตช์เป็นศูนย์โดยส่วนประกอบของวงจรทั้งหมดนั้นประกอบด้วย วงจรเรียงกระแส วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ วงจรควบคุม ชุดวงจรซีโแนนท์(ประกอบด้วย ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ) หม้อแปลงความถี่สูง วงจรเรียงกระแส(ใช้ไดโอดแบบฟาสต์รีคัฟเวอร์รี) และชุดของโหลด ซึ่งหลักการทำงานพื้นฐานของวงจรเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง จะเป็นการนำวงจรอินเวอร์เตอร์มาควบคุมการจ่ายพลังงานให้กับโหลด และวงจรซีโแนนท์จะเป็นส่วนช่วยให้เกิดการส่งพลังงานให้แก่โหลดได้สูงสุด ซึ่งจะต้องให้ความถี่สวิตช์ซิงของอินเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่ซีโแนนท์หรือมากกว่าความถี่ซีโแนนท์เล็กน้อย โดยที่ความถี่สวิตช์ซิงจะถูกควบคุมด้วยวงจรควบคุมซึ่งสามารถปรับความถี่ได้ โดยที่ความถี่ที่ใช้งานจะอยู่ในช่วง 95 - 110 กิโลเฮิรท์ โดยมีพิกัดของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 30 โวลท์ กระแสเชื่อม 60 - 120 แอมแปร์ 3 กิโลวัตต์ ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้พัฒนาเครื่องเชื่อมกระแสตรงให้มีราคาต้นทุน ขนาดและน้ำหนักลดลง โดยมีวงจรซอฟต์แวร์ที่ทำให้การเชื่อมได้ที่แรงดันเริ่มต้น 220 โวลท์ทันทีและมีระบบป้องกันกลับไปยังชุดควบคุม ซึ่งใช้ป้องกันกระแสเกินทำให้เครื่องเชื่อมมีความปลอดภัยมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีตามวัตถุประสงค์ ทั้งนี้เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและร่วมมือจากหลายๆฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงคือ รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ที่มอบความเอาใจใส่และคำแนะนำดีๆ ตลอดระยะเวลา 1 ปีที่ทำการวิจัย

บิดา มารดา : บุคคลที่สำคัญที่สุดอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ที่มอบความรัก ความเอาใจใส่ และโอกาสทางการศึกษาแก่ผู้เขียนจวบจนปัจจุบัน ตลอดจนกำลังใจที่มีให้ในทุกๆเวลาตลอดมา ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณในพระคุณอันหาที่เปรียบมิได้

พี่ อาฉัต ถึงสาคร(พี่นัท) : พี่ชายที่ช่วยเหลือในทุกๆด้าน สำหรับคำแนะนำดีๆ ที่เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งที่ผลักดันพวกเราให้มาถึง ณ จุดนี้ ขอขอบคุณพี่มากจริงๆครับ

พี่ ศักดา พรหมเหมือน(พี่เทพ) : พี่ชายอีกคนที่ไม่เคยปฏิเสธที่จะให้ความช่วยเหลือแก่น้องๆในทุกๆเรื่อง

เพื่อนๆห้อง w ทุกคนที่คอยให้คำปรึกษา ให้กำลังใจและเครื่องมือในการวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณสถาบันและท่านอาจารย์อันเป็นที่เคารพรักยิ่งทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์แก่ตัวข้าพเจ้ามาตั้งแต่เล็กจวบจนปัจจุบัน ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

เขารินทร์ อธิญา โณ
สุนทร ทิพย์วัฒน์
เอกไชย เสถียรพงษ์สุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 ขอบเขตของงานที่ทำการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ประโยชน์ของการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 ทฤษฎีเครื่องเชื่อมอาร์คไฟฟ้า	4
2.2 หลักการรีโซแนนซ์	10
2.3 ซีโรโวลต์เตจสวิทซ์ซิ่ง(ZVS)	16
2.4 การควบคุมแบบป้อนกลับ	19
2.5 หม้อแปลงสวิตซ์ซิ่ง	20
2.5.1 ส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิตซ์ซิ่ง	20
2.5.2 แกนเฟอร์ไรต์และการเลือกใช้	21
2.5.2.1 ลักษณะและขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์	21
2.5.2.2 ลักษณะสมบัติของเนื้อสารที่ใช้ทำแกนเฟอร์ไรต์	22
2.5.2.3 การกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดในแกนหม้อแปลง	24
2.5.2.4 การเลือกขนาดแกนเฟอร์ไรต์ที่เหมาะสม	27
2.5.2.5 ช่องอากาศคั่นทางเดินแม่เหล็กในแกนเฟอร์ไรต์(Air Gap)	28
บทที่ 3 หลักการ	29
3.1 การใช้งานฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ในเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง	29
3.2 ซีโรโวลต์เตจสวิทซ์ซิ่ง (ZVS) ในวงจรเครื่องเชื่อมกระแสตรง	30
3.3 กำลังสูญเสียในรูปความร้อนของไดโอด	31
3.4 วงจรสับเบอร์	32
3.5 วงจรควบคุมป้อนกลับป้องกันกระแสเกิน	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ส่วนประกอบของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง	38
4.1 ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์	38
4.2 วงจรกำลัง	38
4.3 ส่วนประกอบของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง	39
4.3.1 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์(Bridge Rectifier)	39
4.3.2 วงจรอินเวอร์เตอร์(Inverter)	40
4.3.3 ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์(Control Inverter)	40
4.3.3.1 วงจรเรกกูเรเตอร์(Regulator Circuit)	40
4.3.3.2 วงจรควบคุม(Control Circuit)	40
4.3.3.3 วงจรขับ(Drive Circuit)	41
4.3.4 ชุดรีโซแนนท์(Resonant Tank)	42
4.3.5 หม้อแปลงความถี่สูง(High Frequency Transformer)	43
4.3.6 วงจรเรียงกระแสแบบฟูลเวฟที่ความถี่สูง(High Frequency Full-Wave Rectifier)	43
4.3.7 วงจรควบคุมป้องกันประกบกันกระแสเกิน	43
บทที่ 5 การทดสอบและผลการทดสอบ	45
5.1 การวัดค่าสัญญาณที่จุดต่างๆของเครื่องเชื่อม	46
5.2 การเปลี่ยนความถี่ในการเชื่อม	52
5.2.1 การวัดค่าสัญญาณอินพุตของเครื่องเชื่อมขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ต่างๆ	52
5.2.2 การวัดค่าสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ต่างๆ เทียบกับการวิเคราะห์ที่ใช้โปรแกรม Orcad	54
5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ต่างๆที่ได้จากการทดสอบเครื่องเชื่อมไฟฟ้า	58
5.4 การทดสอบเชื่อมชิ้นงาน	61
สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ	73

ภาคผนวก

บรรณานุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องเชื่อมแต่ละชนิด	9
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดสอบการเชื่อมชิ้นงาน	61
ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดสอบการเชื่อมชิ้นงาน	62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 2.1 การเชื่อมอาร์คไฟฟ้าแบบหลอมเหลวโดยใช้ลวดเชื่อมโลหะ	4
รูปที่ 2.2 กราฟคุณลักษณะของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบกระแสคงที่	5
รูปที่ 2.3 กราฟแสดงคุณลักษณะของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบแรงดันคงที่	6
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับการละลายของลวดเชื่อม	6
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบเยเนอร์เรเตอร์	7
รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบหม้อแปลงไฟฟ้า	8
รูปที่ 2.7 แสดงวงจรเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่ต่ำ	8
รูปที่ 2.8 การพล็อตค่า $+jX_L$ กับ $-jX_C$ กับความถี่สำหรับวงจรอนุกรม RLC รีโซแนนท์	10
รูปที่ 2.9 แสดงกราฟอิมพีแดนซ์ กระแส และมุมเฟสกับความถี่	11
รูปที่ 2.10 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันในวงจร RLC รีโซแนนท์	13
รูปที่ 2.11 วงจรรีโซแนนท์แบบอนุกรม	14
รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะสัญญาณแรงดันและกระแสด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์	15
รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_o/V_s กับ f_o/f_s	16
รูปที่ 2.14 รูปวงจรซีโรโวลต์เตจสวิตซ์ซิ่ง	16
รูปที่ 2.15 สัญญาณในวงจรซีโรโวลต์เตจสวิตซ์ซิ่ง	17
รูปที่ 2.16(ก) ลักษณะระบบควบคุมแบบเปิด	19
รูปที่ 2.16(ข) ลักษณะระบบควบคุมแบบปิด	19
รูปที่ 2.17 แสดงส่วนประกอบหลักของหม้อแปลงสวิตซ์ซิ่ง	20
รูปที่ 2.18 แสดงตัวอย่างขนาดของแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE	21
รูปที่ 2.19 แสดงเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของแกนเฟอร์ไรต์ที่เป็นเนื้อสารชนิด 3C8(ก) และ 3C6A(ข)	23
รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะที่สมบูรณ์ของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส	23
รูปที่ 2.21(ก) การเลือกขนาดแกนเฟอร์ไรต์	25
รูปที่ 2.21(ข) การเลือกขนาดแกนเฟอร์ไรต์	26
รูปที่ 2.21(ค) การเลือกขนาดแกนเฟอร์ไรต์	26
รูปที่ 2.22 แสดงการกำหนดช่องอากาศกัน I_g ที่แกนกลาง (ก) และการกันช่องอากาศ I_g ระหว่างคู่ประกบของแกนเฟอร์ไรต์ (ข)	28
รูปที่ 3.1 ลักษณะวงจรที่ใช้ในงานวิจัย	29
รูปที่ 3.2 แสดงรูปคลื่นกระแสและแรงดัน	30
รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะเริ่มหยุดนำกระแส	32
รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะการลดลงของกระแสและการกระเพื่อมขึ้นของแรงดันของอุปกรณ์สวิตซ์ซิ่งขณะเริ่มหยุดนำกระแส	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5	แสดงการต่อวงจรสับเบอรัช่วยหยุดนำกระแสเพื่อหน่วงแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์ สวิตซ์ซึ่งให้เพื่อขึ้นอย่างช้า ๆ	34
รูปที่ 3.6	แสดงการต่อสับเบอรัป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินเพื่อจำกัดค่ากระแสสูงสุดที่ตกคร่อม อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งขณะเริ่มหยุดนำกระแส	35
รูปที่ 3.7	แสดงรูปวงจรควบคุมป้องกันย้อนกลับป้องกันกระแสเกิน	35
รูปที่ 3.8	แสดงลักษณะสัญญาณแรงดันและกระแสของวงจรควบคุมป้องกันย้อนกลับป้องกันกระแสเกิน	36
รูปที่ 4.1	แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุมการจุดชนวนของมอเตอร์	38
รูปที่ 4.2	แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรกำลัง	39
รูปที่ 4.3	วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองแรงดัน	39
รูปที่ 4.4	วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์	40
รูปที่ 4.5	ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์	41
รูปที่ 4.6	ชุดวงจรรีโซแนนท์	42
รูปที่ 4.7	ขนาดของแกนเฟอร์ไรต์ที่ใช้ทำอินดักเตอร์	42
รูปที่ 4.8	ขนาดแกนเฟอร์ไรต์ที่ใช้ทำหม้อแปลงความถี่สูง	43
รูปที่ 4.9	วงจรรวมของเครื่องเชื่อมอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง	44
รูปที่ 5.1	วงจรของเครื่องเชื่อมไฟฟ้า	45
รูปที่ 5.2	แสดงสัญญาณแรงดันไฟตรงที่จ่ายให้กับวงจรควบคุม	46
รูปที่ 5.3	แสดงสัญญาณเอาต์พุตของไอซี TL 494	46
รูปที่ 5.4	แสดงรูปสัญญาณอินเฟสที่วัดที่ขาเกตและชอร์ท (Q1Q4 กับ Q2Q3)	46
รูปที่ 5.5	แสดงรูปสัญญาณเอาต์ออฟเฟสที่วัดที่ขาเกตและชอร์ท (Q1Q4 กับ Q2Q3)	47
รูปที่ 5.6	แสดงรูปสัญญาณแคทโทดของสัญญาณขับเกต	47
รูปที่ 5.7	แสดงสัญญาณแรงดันเอาต์พุตของชุดเรกติไฟร์	47
รูปที่ 5.8	แสดงสัญญาณแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะเปิดวงจร	48
รูปที่ 5.9	แสดงสัญญาณกระแสเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะเปิดวงจร	48
รูปที่ 5.10	แสดงสัญญาณของ PT	48
รูปที่ 5.11	แสดงสัญญาณของ CT	49
รูปที่ 5.12	แสดงสัญญาณของ PT และ CT เมื่อผ่านวงจรซีโรครอสซิง	49
รูปที่ 5.13	แสดงสัญญาณของ PT และ CT ขณะนำมาเปรียบเทียบกัน	49
รูปที่ 5.14	แสดงสัญญาณเอาต์พุตของหม้อแปลง	50
รูปที่ 5.15	แสดงสัญญาณเอาต์พุตของหม้อแปลงขณะที่วัดแต่ละจุดเทียบกับเซ็นเซอร์แท็บ	50
รูปที่ 5.16	แสดงสัญญาณแรงดันตกคร่อมไดโอดแต่ละตัว	50
รูปที่ 5.17	แสดงสัญญาณแรงดันตกคร่อมไดโอดในขณะที่ทำงานไม่พร้อมกัน	51
รูปที่ 5.18	แสดงสัญญาณแรงดันที่หัวเชื่อมขณะเปิดวงจร	51
รูปที่ 5.19	แสดงสัญญาณแรงดันที่หัวเชื่อมขณะทำการเชื่อม	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.20	แสดงสัญญาณอินพุตของเครื่องเชื่อมขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 105 kHz	52
รูปที่ 5.21	แสดงสัญญาณอินพุตของเครื่องเชื่อมขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 104 kHz	52
รูปที่ 5.22	แสดงสัญญาณอินพุตของเครื่องเชื่อมขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 103 kHz	53
รูปที่ 5.23	แสดงสัญญาณอินพุตของเครื่องเชื่อมขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 102 kHz	53
รูปที่ 5.24	แสดงสัญญาณอินพุตของเครื่องเชื่อมขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 101 kHz	53
รูปที่ 5.25	แสดงสัญญาณอินพุตของเครื่องเชื่อมขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 100 kHz	54
รูปที่ 5.26	แสดงสัญญาณอินพุตของเครื่องเชื่อมขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 99 kHz	54
รูปที่ 5.27	แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 105 kHz	54
รูปที่ 5.28	แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 104 kHz	55
รูปที่ 5.29	แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 103 kHz	55
รูปที่ 5.30	แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 102 kHz	55
รูปที่ 5.31	แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 101 kHz	56
รูปที่ 5.32	แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 100 kHz	56
รูปที่ 5.33	แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 99 kHz	56
รูปที่ 5.34	แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 97 kHz	57
รูปที่ 5.35	แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 95 kHz	57
รูปที่ 5.36	แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 94 kHz	57
รูปที่ 5.37	แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 93 kHz	58
รูปที่ 5.38	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสและแรงดันของเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์	58
รูปที่ 5.39	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมเฟสที่แรงดันเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์	59
รูปที่ 5.40	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับกระแสเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์	59
รูปที่ 5.41	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับกำลังไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์	60
รูปที่ 5.42	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์	60
รูปที่ 5.43	ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์	63
รูปที่ 5.44	ชุดเร็คตีไฟร์	63
รูปที่ 5.45	ตัวเหนี่ยวนำรีโซแนนท์และหม้อแปลงความถี่สูง	64
รูปที่ 5.46	คาปาซิเตอร์รีโซแนนท์	64
รูปที่ 5.47	ชุดควบคุมป้อนกลับป้องกันกระแสเกิน	65
รูปที่ 5.48	หม้อแปลงกระแสของชุดควบคุมป้อนกลับ	65
รูปที่ 5.49	หม้อแปลงแรงดันของชุดควบคุมป้อนกลับ	66
รูปที่ 5.50	เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง (ด้านหน้า)	66
รูปที่ 5.51	เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง (ด้านบน)	67
รูปที่ 5.52	เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง (ด้านหลัง)	67
รูปที่ 5.53	แสดงรอยเชื่อมเหล็กหนา 2.5 มิลลิเมตรที่ความถี่ 101.0 kHz	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.54 แสดงรอยเชื่อมเหล็กหนา 3.0 มิลลิเมตรที่ความถี่ 100.0 kHz	68
รูปที่ 5.55 แสดงรอยเชื่อมเหล็กหนา 4.0 มิลลิเมตรที่ความถี่ 99.60 kHz	69
รูปที่ 5.56 แสดงรอยเชื่อมเหล็กหนา 4.0 มิลลิเมตรที่ความถี่ 99.60 kHz	69
รูปที่ 5.57 แสดงรอยเชื่อมเหล็กหนา 4.5 มิลลิเมตรที่ความถี่ 98.81 kHz	70
รูปที่ 5.58 แสดงรอยเชื่อมเหล็กหนา 4.5 มิลลิเมตรที่ความถี่ 98.81 kHz	70
รูปที่ 5.59 แสดงรอยเชื่อมเหล็กหนา 6.0 มิลลิเมตรที่ความถี่ 98.21 kHz	71
รูปที่ 5.60 แสดงรอยเชื่อมเหล็กหนา 6.0 มิลลิเมตรที่ความถี่ 98.21 kHz	71
รูปที่ 5.61 แสดงการเชื่อมเหล็กติดกันจำนวน 5 ชั้น	72
รูปที่ 5.62 แสดงการเชื่อมเหล็กติดกันแบบต่อจากเป็นรูปตัว ที	72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันงานเชื่อมโลหะมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับโลหะ เพราะผลิตภัณฑ์ที่ผ่านงานเชื่อมจะมีความมั่นคงแข็งแรง และเนื่องจากงานเชื่อมแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ทำให้ต้องใช้เครื่องเชื่อมที่มีลักษณะการเชื่อมที่แตกต่างกัน เช่น เครื่องเชื่อมโลหะแบบใช้ไฟฟ้า และเครื่องเชื่อมโลหะแบบใช้แก๊ส

ในส่วนของเครื่องเชื่อมโลหะแบบใช้ไฟฟ้าแบ่งออกเป็นสองชนิดหลักๆ คือ ชนิดแรกให้แรงดันไฟฟ้าขาออกเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และ ชนิดที่สองให้แรงดันขาออกเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ชนิดให้แรงดันไฟฟ้าขาออกเป็นกระแสสลับนั้นนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากสร้างได้ง่าย โดยสามารถสร้างขึ้นเองในประเทศ และราคาถูก อย่างไรก็ตามเครื่องเชื่อมโลหะชนิดนี้ก็มีข้อเสียหลายประการคือ มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก อันเนื่องมาจากโดยทั่วไปใช้หลักการของแกนแม่เหล็กที่ถ่ายพลังงานที่ความถี่ต่ำ ด้วยเหตุนี้การเคลื่อนย้ายเพื่อนำไปใช้งานสถานที่ซึ่งทำได้ยาก อีกทั้งมีค่าตัวประกอบกำลังและประสิทธิภาพต่ำอีกด้วย สำหรับเครื่องเชื่อมชนิดให้แรงดันขาออกเป็นไฟฟ้ากระแสตรงนั้น ปัจจุบันมีการนำวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะการนำหลักการของวงจรแปลงผันไฟตรงแบบการสวิตช์ที่ความถี่สูง(High Frequency Switching Converters)มาประยุกต์ในการสร้างอย่างแพร่หลายทั้งในแง่ของผลิตภัณฑ์และงานวิจัย ข้อดีที่เห็นได้ชัดคือการทำให้เครื่องเชื่อมมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา และยังให้ประสิทธิภาพที่สูง

จากการศึกษาปริญญาโทเรื่องเครื่องเชื่อมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงปีการศึกษา 2543 จะอาศัยการประยุกต์ของวงจร ดิซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบซีวีวี โซแนนท์ โดยใช้วงจรเรกติไฟร์เรียงไฟสลับขนาด 220 V 50 เฮิรซ์ (AC) ไปเป็นไฟตรง (DC) แล้งส่งไปยังวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ ซึ่งใช้มอสเฟต เป็นสวิตช์ในการตัดต่อสัญญาณดีซีไปเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) ที่ความถี่สูง แล้วส่งผ่านไปยังหม้อแปลง ซึ่งก่อนสัญญาณจะเข้าหม้อแปลงจะมีชุดรีโซแนนท์ ซึ่งประกอบด้วย ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ จากนั้นสัญญาณไฟสลับความถี่สูงจากหม้อแปลงจะถูกแปลงให้กลายเป็นสัญญาณไฟตรง โดยใช้วงจรฟูลบริดจ์เรกติไฟร์ เพื่อจ่ายกระแสไปยังชิ้นงานที่นำมาทำการเชื่อม โดยไดโอดที่ใช้ในวงจรฟูลบริดจ์เรกติไฟร์เป็นไดโอดที่สามารถทำงานที่สัญญาณความถี่สูงได้ดี ส่วนวงจรควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ใช้ไอซีเบอร์ UC3879N ซึ่งมีข้อเสียคือหาซื้อได้ยากและมีราคาแพง วงจรควบคุมกับวงจรกำลังจะถูกแยกกราวด์ด้วยหม้อแปลงก่อนจ่ายสัญญาณไปขับมอสเฟตของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งเครื่องเชื่อมสามารถเชื่อมได้ แต่ยังคงมีขนาดที่ใหญ่และน้ำหนักมาก

จากการศึกษาปัญหาที่พบจากเครื่องเชื่อมในปริญญาโทปี 2543 พบว่า

1.) เครื่องเชื่อมมีน้ำหนักมาก เนื่องจากทางด้านทฤษฎีของหม้อแปลงใช้ไดโอดแบบฟูลบริดจ์

อินเวอร์เตอร์ทำให้เกิดความร้อนสูง ทำให้ต้องใช้แผ่นระบายความร้อนที่มีขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.) ใช้ขนาดของแกนเฟอร์ไรต์ที่ตัวเหนี่ยวนำและหม้อแปลงไม่คุ้มค่า เนื่องจากใช้แกนเฟอร์ไรต์ที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาดใหญ่ เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย
- 3.) ไม่มีวงจรถูกย้อนกลับเพื่อควบคุมขนาดกระแสตอนเริ่มเชื่อม และป้องกันกระแสเกิน ทำให้มีการเสี่ยงต่อการพังทลายของอุปกรณ์ขณะที่ทำการเชื่อมสูง

หลักการที่นำเสนอในปฏิญญาปี 2545 นี้

- 1.) ใช้ความถี่สวิตซ์ซึ่งที่สูงขึ้นเพื่อลดขนาดและน้ำหนักของเครื่องเชื่อม
- 2.) ใช้ไอซีเบอร์ TL494 ในการสร้างสัญญาณพัลส์เพื่อควบคุมอินเวอร์เตอร์
- 3.) สร้างวงจรควบคุมย้อนกลับป้องกันกระแสเกิน
- 4.) ใช้วงจรฟูลเวฟแบบเซนเตอร์แทปรีคตีไฟร์เพื่อลดจำนวนของเพาเวอร์ไดโอดและขนาดของแผ่นระบายความร้อนที่ใช้

1.2 ขอบเขตของงานที่ทำการวิจัย

สร้างเครื่องเชื่อมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่มีข้อกำหนดดังนี้

- แรงดันไฟฟ้าขาเข้า 220 โวลต์ 50 เฮิรซ์
- ความถี่การทำงานประมาณ 95 - 110 กิโลเฮิรซ์
- แรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกขณะเปิดวงจรประมาณ 80 โวลต์
- แรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกขณะทำการเชื่อมประมาณ 20 - 30 โวลต์
- กระแสเชื่อมสูงสุด 60 - 120 แอมป์ที่แรงดันทางด้านขาออก 20 - 30 โวลต์
- กำลังงานทางด้านขาออกสูงสุดประมาณ 3 กิโลวัตต์
- สร้างวงจรควบคุมย้อนกลับป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์

1.3 ขอบเขตของปฏิญญาปี 2545

ประกอบด้วย ทฤษฎีพื้นฐานที่นำมาอ้างอิงในการทำงานวิจัยนี้ได้แก่ ทฤษฎีรีโซแนนซ์ , วงจรดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบซีรี่ยีโซแนนซ์ และซีโรโวลต์เทจสวิตซ์ชิ่ง , การควบคุมแบบย้อนกลับ และหลักการที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้จะเป็นการนำวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบซีรี่ยีโซแนนซ์ มาประยุกต์ใช้กับวงจรสวิตซ์ของอินเวอร์เตอร์ในเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงนี้ ซึ่งวงจรที่ใช้ทั้งหมดได้แก่ วงจรฟูลบริดจ์รีคตีไฟร์ที่ความถี่ 50 เฮิรซ์ และวงจรฟูลเวฟแบบเซนเตอร์แทปรีคตีไฟร์ที่ความถี่สูง วงจรควบคุมแบบซอฟต์แวร์ วงจรควบคุมการสวิตซ์แบบปรับความถี่ วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุรีโซแนนซ์ หม้อแปลงความถี่สูง และวงจรป้องกันกระแสเกินแบบย้อนกลับ โดยปฏิญญาปี 2545 นี้จะแสดงให้เห็นถึงรูปคลื่นสัญญาณที่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ค่าความถี่สวิตซ์ซึ่งต่างๆและรูปคลื่นสัญญาณที่ส่วนต่างๆของเครื่องเชื่อม รวมถึงรูปรอยเชื่อมที่ชิ้นงานขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ของการวิจัย

- 1.) เป็นการนำเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้งานให้เกิดประโยชน์ในการปรับปรุงเครื่องเชื่อมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ให้มีขนาดที่เล็ก ประสิทธิภาพสูง ศึกษารอบกวนน้อย ต้นทุนต่ำ
- 2.) เป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า เนื่องจากประสิทธิภาพที่สูงของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์
- 3.) มีความเป็นไปได้ที่นำไปสร้างเป็นเชิงพาณิชย์ เพื่อสร้างงานในประเทศและลดการนำเข้า



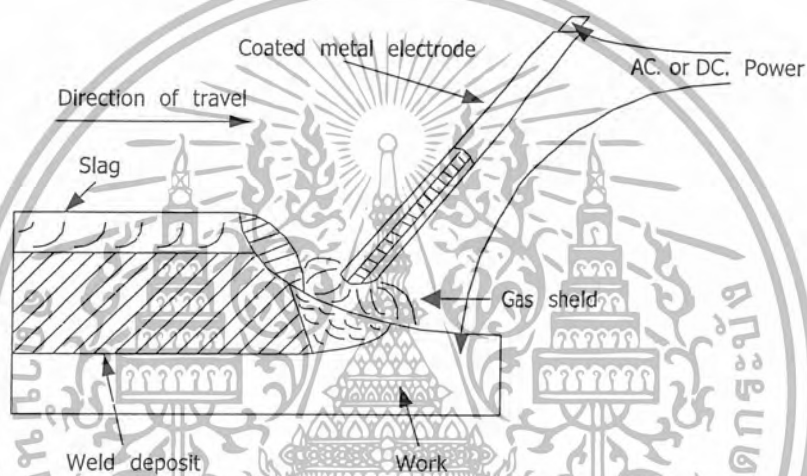
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีเครื่องเชื่อมอาร์คไฟฟ้า

การเชื่อมอาร์ค (Arc) ด้วยลวดเชื่อมโลหะ ผู้ค้นพบคือ สลาเวียนอฟฟ์ (Slavianoff) เป็นวิธีการเชื่อมที่นิยมและมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง วิธีการเชื่อมแบบนี้ใช้ลวดเชื่อมที่มีสารพอกหุ้มอยู่ขณะที่ลวดเชื่อมทำให้เกิดอาร์ค ตัวลวดเชื่อมเองจะทำหน้าที่หลอมละลายเติมเนื้อ โลหะให้แก่บ่อหลอมละลายทำให้เกิดแนวเชื่อม ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเชื่อมอาร์คไฟฟ้าแบบหลอมเหลวโดยใช้ลวดเชื่อมโลหะ

มันแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ของสารพอกหุ้มจะปกคลุมบริเวณแนวเชื่อมไว้เพื่อป้องกันอากาศภายนอกเข้ามาทำปฏิกิริยากับรอยเชื่อม ส่วนสารพอกหุ้มที่หลอมละลายปิดแนวเชื่อมเมื่อเย็นลงจะกลายเป็นตะกรันเชื่อม (Slag)

แหล่งจากพลังงานการเชื่อม

ขบวนการเชื่อมแต่ละแบบจะมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อใช้กับแหล่งจ่ายพลังงานที่เหมาะสมกับขบวนการนั้นๆ การเชื่อมอาร์คต้องการกระแสไฟฟ้าเพื่อต้องการให้ชิ้นงานและลวดเชื่อมหลอมเหลว และต้องการแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้เกิดการอาร์ค โดยจะต้องใช้แรงดันไฟฟ้าประมาณ 17 - 45 โวลต์ และกระแสไฟฟ้าประมาณ 100 - 500 แอมแปร์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของลวดเชื่อมกระแสไฟฟ้า อาจใช้ไฟฟ้ากระแสตรงหรือไฟฟ้าสลับก็ได้แต่ต้องมีแหล่งควบคุมเพื่อใช้งานในสภาวะต่างๆ

ทฤษฎีเครื่องเชื่อมไฟฟ้า

เครื่องเชื่อมไฟฟ้า คือ แหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีกระแสและแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เหมาะสมเพื่อทำให้เกิดประกายอาร์คในวงจรเชื่อม และให้ความร้อนแก่บ่อหลอมละลายอย่างเพียงพอ เครื่องเชื่อม

ไฟฟ้าที่มีใช้งานโดยทั่วไปจะแบ่งออกตามชนิดของลวดเชื่อมนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เอาต์พุตสโลป (Output Slop)

2. แหล่งพลังงาน

การเครื่องเชื่อมตามเอาต์พุตสโลป

สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

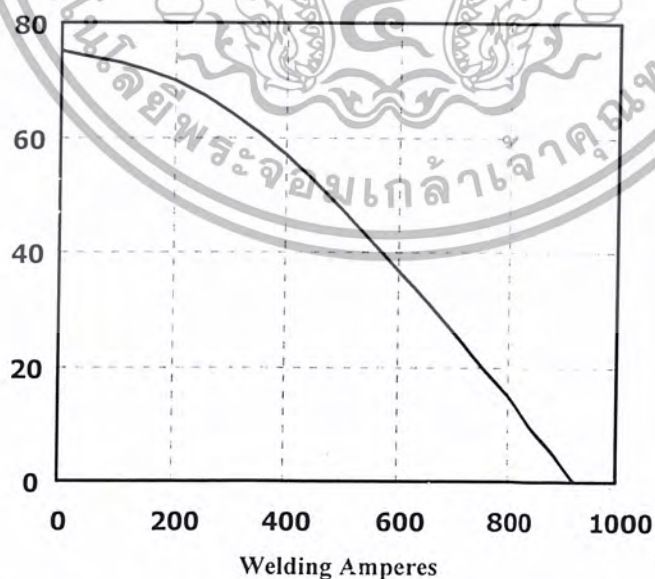
1. เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant Current)

2. เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Voltage)

ข้อแตกต่างของทั้ง 2 ชนิด คือ การที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โดยการต่อความต้านทานเปลี่ยนแปลงค่าได้ที่เอาต์พุตแล้วพล็อตกราฟที่ได้จากความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าระหว่างปลายขดลวด

เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบกระแสไฟฟ้าคงที่

เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบนี้จะให้ โวลท์ - แอมแปร์ (Volt - Ampere) ที่เอาต์พุตคงแสดงในรูปที่ 2.2 จากกราฟที่แสดงนี้จะเห็นว่าเครื่องเชื่อมชนิดนี้จะให้แรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตสูงสุดขณะไม่มีโหลดหรือขณะที่กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ และแรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่อมีโหลดเพิ่มขึ้นภายใต้สภาวะการเชื่อมปกติ แรงดันไฟฟ้าในวงจรจะอยู่ระหว่าง 20 - 40 โวลท์ และอยู่ระหว่าง 40 - 80 โวลท์ ขณะวงจรเปิดหรือไม่ได้ทำการเชื่อม เครื่องเชื่อมชนิดนี้จะมีทั้งเครื่องเชื่อมกระแสตรงและกระแสกลับ แรงดันไฟฟ้าอาร์คจะสัมพันธ์โดยตรงกับระยะห่างของกรออาร์คถ้าระยะห่างเพิ่มขึ้นแรงดันไฟฟ้าอาร์คจะเพิ่มขึ้นตาม ถ้าระยะห่างลดลงแรงดันไฟฟ้าอาร์คก็จะลดลง จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าขณะที่แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าจะลดลงและเมื่อแรงดันไฟฟ้าลดลงกระแสไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้น ฉะนั้นผู้เชื่อมสามารถเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าขณะเชื่อมได้โดยไม่ต้องตั้งกระแสที่เครื่องแต่เปลี่ยนแปลงระยะห่างของกรออาร์คเท่านั้น

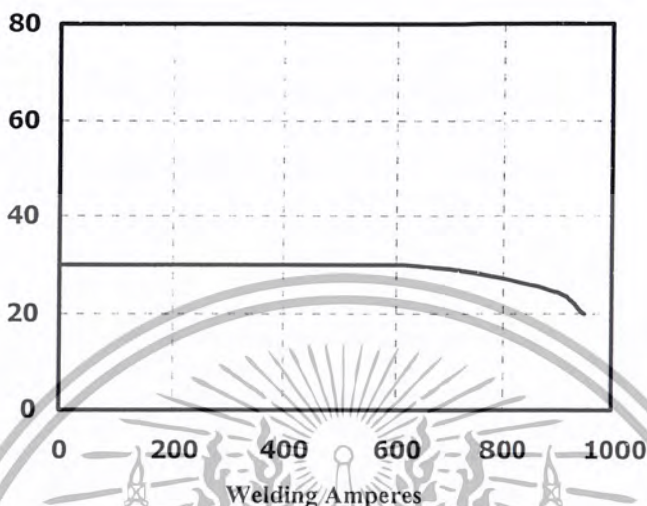


รูปที่ 2.2 กราฟคุณลักษณะของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบกระแสคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

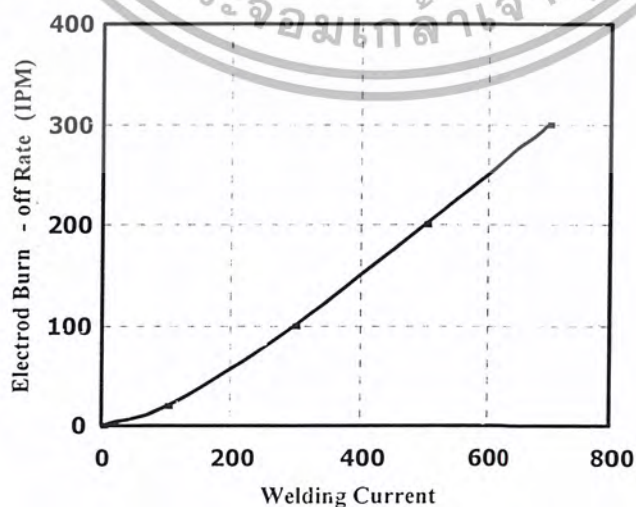
เครื่องเชื่อมแบบแรงดันคงที่

เครื่องเชื่อมแบบนี้จะให้แรงดันไฟฟ้าคงที่ตลอดไม่ว่ากระแสไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไปในช่วงใดก็ตามคุณลักษณะของเครื่องเชื่อมชนิดนี้จะสามารถศึกษาได้จากกราฟ โวลต์ - แอมแปร์ (Volt - Ampere) ดังในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงคุณลักษณะของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบแรงดันคงที่

อัตราการละลายของลวดเชื่อมแต่ละชนิดและขนาดจะเป็นสัดส่วนสัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ กราฟในรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าลวดเชื่อมจะถูกป้อนด้วยอัตราเร็วอันหนึ่งมันจะดึงเอากระแสไฟฟ้าจำนวนหนึ่งออกจากเครื่องเชื่อมเพื่อละลายตัวเอง เครื่องเชื่อมชนิดแรงดันไฟฟ้าคงที่ปริมาณกระแสไฟฟ้ามาจากความต้องการของโหลด ถ้าลวดเชื่อมถูกป้อนด้วยความเร็วสูงกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มสูงตามและถ้าลวดเชื่อมถูกป้อนด้วยความเร็วต่ำกระแสไฟฟ้าก็จะลดลงโดยอัตโนมัติ กราฟคุณลักษณะของเครื่องเชื่อมชนิดนี้จะต่ำลงเล็กน้อยตรงส่วนปลาย เครื่องเชื่อมชนิดนี้จะมีทั้งแบบเอนเนเตอร์ (Generator) แบบหม้อแปลงไฟฟ้า แบบไฟฟ้ากระแสตรงที่เรีคิดไฟร์จากหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับการละลายของลวดเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแบ่งเครื่องเชื่อมตามตามแหล่งจ่ายพลังงาน

สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

1. เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบเอนอร์เรเตอร์
2. เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบหม้อแปลงไฟฟ้า
3. เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่ต่ำหรือเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบเรกติไฟร์(Rectifier)

เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบเอนอร์เรเตอร์

เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบเอนอร์เรเตอร์เป็นเครื่องเชื่อมที่ผลิตไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายให้แก่วงจรเชื่อมกระแสไฟเชื่อมที่ผลิตได้แตกต่างกันตามขนาดของเครื่องสามารถจ่ายกระแสเชื่อมได้ตั้งแต่ 50-500 แอมป์ ในรูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของเครื่องเชื่อมแบบเอนอร์เรเตอร์ ข้อดีของเครื่องเชื่อมชนิดนี้คือเลือกขั้วเชื่อมได้ และเกิดประกายอาร์คเชื่อมได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือ ราคาต้นทุนสูง ต้องการการบำรุงรักษา

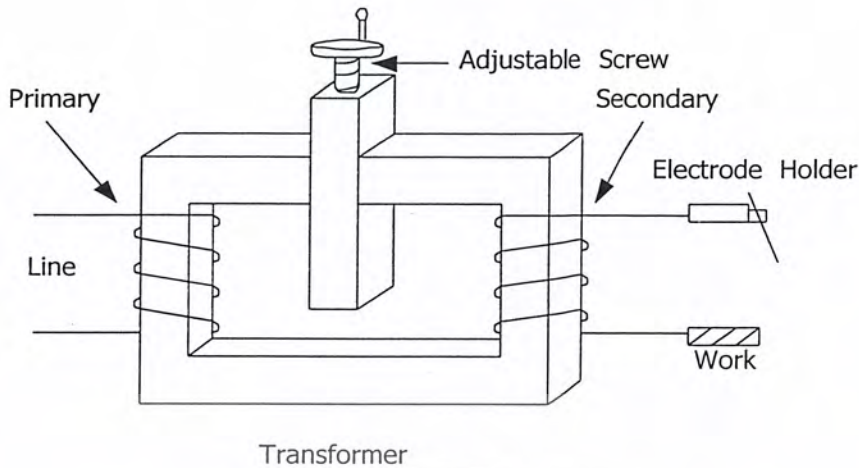


รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบเอนอร์เรเตอร์

เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบหม้อแปลงไฟฟ้า

เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเครื่องเชื่อมที่ผลิตกระแสไฟฟ้าสลับออกมาใช้ในงานเชื่อม ขาเข้าเครื่องเชื่อมจะต่อกับสายเมนไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงกว่าแรงดันที่ใช้ในการเชื่อม ตัวหม้อแปลงจะทำหน้าที่ลดแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลงเพื่อให้มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการเชื่อมตัวหม้อแปลงที่ใช้ในเครื่องเชื่อมจะเป็นแบบที่ที่มีความเหนียวนำรั่วไหลของหม้อแปลงสูง เพื่อให้มีลักษณะใกล้เคียงกับแหล่งจ่ายกระแส ซึ่งจะทำได้สามารถลัดวงจรขาออกได้ รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบหม้อแปลงไฟฟ้า ข้อดีของเครื่องเชื่อมชนิดนี้คือ ราคาต้นทุนต่ำ ต้องการการบำรุงรักษาน้อย แต่มีข้อเสียคือเลือกขั้วเชื่อมไม่ได้

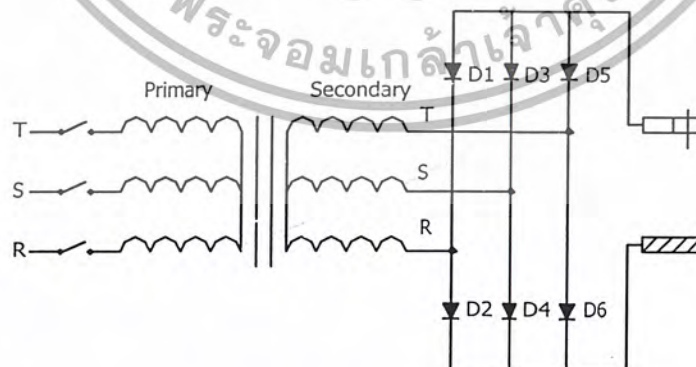
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบหม้อแปลงไฟฟ้า

เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่ต่ำ

เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงแบบนี้เป็นเครื่องเชื่อมที่ใช้ผลิตไฟกระแสตรงจากไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟสหรือ 3 เฟส โดยใช้วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ 1 เฟสหรือแบบบริดจ์ 3 เฟส เป็นตัวเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงเพื่อใช้ในการเชื่อม โครงสร้างประกอบด้วยชุดหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 เฮิรต์ต่อกับชุดไดโอดเรกติไฟร์แบบบริดจ์และพัดลมทำหน้าที่ระบายความร้อนให้แก่ชุดเรกติไฟร์ รูปที่ 2.7 แสดงวงจรของเครื่องเชื่อมไฟตรงที่ใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำ ข้อดีของเครื่องเชื่อมชนิดนี้ก็คือ เลือกขั้วเชื่อมได้และเกิดประกายอาร์คเชื่อมได้ง่าย



รูปที่ 2.7 แสดงวงจรเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทั่วไป	เครื่องเชื่อมแบบ เบนเนอร์เรเตอร์	เครื่องเชื่อมแบบ เร็คตีไฟร์	เครื่องเชื่อมแบบ หม้อแปลง
ชนิดของกระแสไฟเชื่อม	กระแสไฟตรง	กระแสไฟตรง	กระแสไฟตรง
การเลือกขั้วเชื่อม	ได้	ได้	ไม่ได้
การเกิดประกายอาร์คเชื่อม	ง่าย	ง่าย	ปานกลาง
$\cos \phi$ ไม่ปรับแก้	~ 1	~ 0.3	~ 0.3
$\cos \phi$ ปรับแก้แล้ว	ไม่ต้องแก้	0.7-0.8	0.7-0.8
ความสูญเสียกำลังขณะไม่มี โหลด(Load)	สูง	ปานกลาง	ต่ำ
ประสิทธิภาพ(η)	0.6	0.7-0.8	0.8-0.9
การบำรุงรักษา	สูง	ปานกลาง	ต่ำ
ราคาค่าต้นทุน	สูง	ปานกลาง	ต่ำ

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องเชื่อมแต่ละชนิด

การเลือกขั้วเชื่อม

จากข้อดีของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถเลือกขั้วเชื่อมได้ทำให้สามารถเลือกลักษณะการเชื่อมได้ 2 ลักษณะดังนี้

1. การเชื่อมด้วยไฟฟ้ากระแสตรงต่อขั้วตรง

การเชื่อมด้วยไฟฟ้ากระแสตรงต่อขั้วตรง (Directing Current Straight Polarity) ใช้ชื่อว่า DCSP หรือ DC- การเชื่อมในลักษณะเช่นนี้ สายไฟเชื่อม หัวเชื่อมและลวดเชื่อมต่อเข้ากับขั้วลบ (-) และชิ้นงานต่อเข้ากับขั้วบวก (+) การใช้ลักษณะวงจรเช่นนี้จะให้แนวเชื่อมสมบูรณ์ มีการซึมลึกสูง

2. การเชื่อมด้วยไฟฟ้ากระแสตรงต่อกลับขั้ว

การเชื่อมด้วยไฟฟ้ากระแสตรงต่อกลับขั้ว (Directing Current Reverse Polarity) ใช้ชื่อว่า DCRP หรือ DC+ การเชื่อมในลักษณะเช่นนี้ สายไฟเชื่อม หัวเชื่อมและลวดเชื่อมต่อเข้ากับขั้วบวก (+) และชิ้นงานต่อเข้ากับขั้วลบ (-) การใช้ลักษณะวงจรเช่นนี้จะให้แนวเชื่อมมีลักษณะแนวกว้าง ซึมไม่ลึก อย่างไรก็ตามเครื่องเชื่อมแบบเบนเนอร์เรเตอร์และแบบเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้หม้อแปลงไฟฟ้า ความถี่ต่ำจะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ไม่สะดวกในการเคลื่อนย้าย เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวได้มีการนำหลักการอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

สำหรับเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงได้อาศัยหลักการควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่สูงและควบคุมเพาเวอร์โดยการปรับเลือนเฟส ทำให้เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา, สามารถตอบสนองโหลดในย่านกว้าง ตลอดจนได้ประสิทธิภาพสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

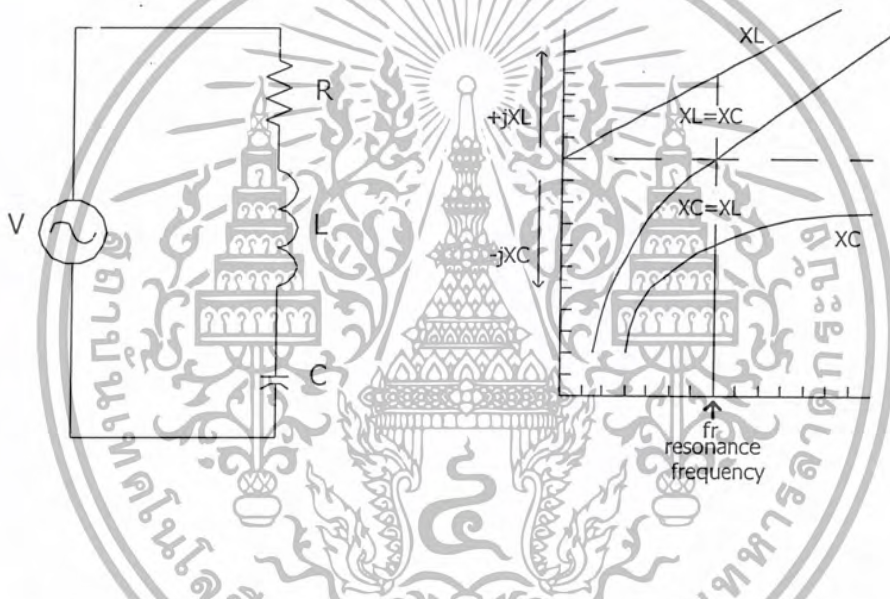
2.2 หลักการรีโซแนนซ์

เมื่อเราปรับความถี่ที่ป้อนให้กับวงจรอนุกรม RLC จะพบว่าที่ความถี่ค่าหนึ่ง ค่า X_L จะเท่ากับ X_C เป็นผลให้ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของวงจร RLC มีค่าต่ำที่สุดนั่นคือ $Z = R$ ในสถานะเช่นนี้เราเรียกว่าสถานะรีโซแนนซ์ซึ่งความถี่ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ความถี่รีโซแนนซ์ (Resonance Frequency) เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำสุด กระแสที่ไหลในวงจรจึงมีค่ามากที่สุด และเป็นผลให้แรงดันที่ตกคร่อม L มีค่าเพิ่มขึ้น

อนุกรมรีโซแนนซ์

ผลของความถี่ที่มีต่ออิมพีแดนซ์ของวงจรอนุกรม RLC แสดงดังรูปที่ 2.8 ซึ่งมีค่าดังนี้

$$Z = R + j(X_L - X_C) \quad (2.1)$$



ก) วงจรอนุกรม RLC ข) X_L, X_C เมื่อพล็อตกับความถี่
รูปที่ 2.8 การพล็อตค่า $+jX_L$ กับ $-jX_C$ กับความถี่สำหรับวงจรอนุกรม RLC รีโซแนนซ์

เนื่องจากค่า $X_L = 2\pi fL$ และ $X_C = 1/(2\pi fC)$ ดังนั้นค่าของอิมพีแดนซ์จึงขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟดังรูปที่ 2.8 ข) จะพบว่าเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า X_L เพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น (Linear) ในทางกลับกัน X_C จะลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น แต่ค่า X_C จะไม่มีทางเท่ากับศูนย์ ผลรวมของรีแอกแตนซ์คือ $X_L - X_C$ ดังแสดงไว้เป็นเส้นประในกราฟของรูปที่ 2.8 ข) ที่ความถี่ต่ำ ค่า X_L จะมีค่าน้อยกว่าค่า X_C ดังนั้นผลรวมของรีแอกแตนซ์จะเป็นค่าของ X_C ที่ความถี่สูง $X_L = X_C$ คือค่าที่ความถี่รีโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$Z = R$$

(2.2)

เมื่อ $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ นำมาเขียนเป็นกราฟที่แปรผันตามความถี่จะได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงกราฟอิมพีแดนซ์ กระแส และมุมเฟสกับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสในวงจรอนุกรม

$$I = \frac{V}{R + j(X_L - X_C)}$$

กระแสที่ไหลเมื่อรีโซแนนท์ ($X_L = X_C$)

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.3)$$

จากรูปจะพบว่ากราฟจะมีค่าต่ำเมื่อความถี่ในวงจรไม่อยู่ที่จตุรีโซแนนท์
ความถี่รีโซแนนท์

$$X_L = 2\pi f c \quad (2.4)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f c} \quad (2.5)$$

$$2\pi f L = \frac{1}{2\pi f c} \quad (2.6)$$

ดังนั้น

เมื่อ L มีหน่วยเป็นเฮนรี (henrys)

C มีหน่วยเป็นฟารัด (farads)

f มีหน่วยเป็นเฮิร์ตซ์ (Hertz)

แรงดันที่จตุรีโซแนนท์

แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานในวงจร RLC รูปที่ 2.8 ก) จะมีค่าเท่ากับ $I \cdot R$ และที่จตุรีโซแนนท์
แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานจะมีค่าเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่าย ส่วนแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุและตัว
เหนี่ยวนำจะมีค่าดังนี้

$$V_C = IX_C \quad (2.7)$$

$$V_L = IX_L \quad (2.8)$$

พลังงานที่ส่งผ่าน L และ C

จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ V_C และ V_L มีค่าเท่ากับศูนย์ จากที่กล่าวมานี้แสดงให้เห็นว่าจะมีการส่ง
ผ่านพลังงานระหว่าง L กับ C กลับไปมา เมื่ออยู่ในสภาวะรีโซแนนท์เมื่อเรานำรูปคลื่นของ V_R, V_C
และ V_L ที่จตุรีโซแนนท์มาพล็อตดังรูปที่ 2.10 ก) จะพบว่า V_L จะกลับเฟสกัน 180 องศา ส่วน V_R
 Q แฟกเตอร์ของวงจรอนุกรม RLC

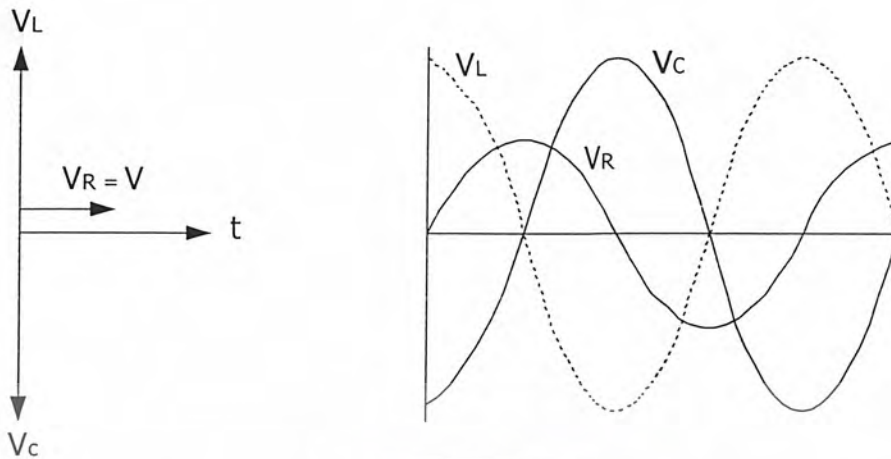
พิจารณาสมการ I, V_C, V_L ที่จตุรีโซแนนท์

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.9)$$

$$V_L = IX_L \quad (2.10)$$

$$V_L = \frac{V \cdot X_L}{R} \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) รูปเฟสเซอร์ไดอะแกรม

ข) รูปคลื่นแรงดัน V_R , V_C , และ V_L ของวงจร RLC รีโซแนนซ์ที่จุดรีโซแนนซ์

รูปที่ 2.10 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันในวงจร RLC รีโซแนนซ์

ดังนั้น

$$\frac{V_L}{V} = \frac{X_L}{R} \tag{2.12}$$

อัตราส่วน $\frac{V_L}{V}$ และ $\frac{V_C}{V}$ คือ ค่าควอลิตี้ (Quality) ของวงจรรีโซแนนซ์หรือ ค่า Q แฟลค

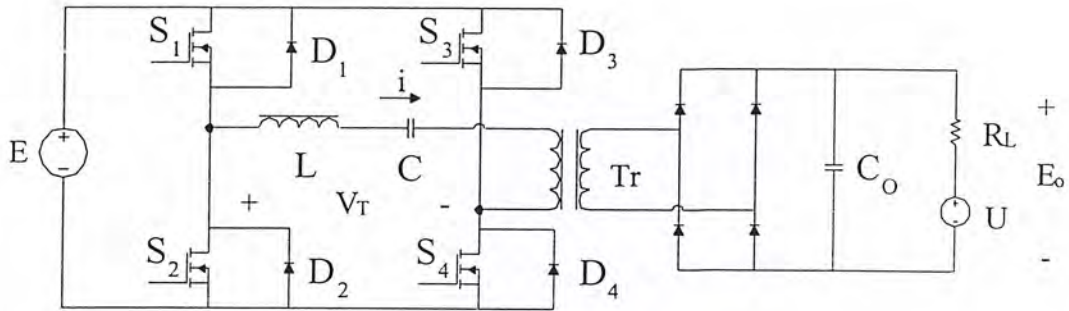
เตอร์นั่นเอง

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{\omega CR} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \tag{2.13}$$

ดีซี – ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบซิงรีโซแนนซ์

สวิตช์ของวงจร ดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบฮาร์ฟบริดจ์จะสลับการทำงานทำให้ได้แรงดันออกเป็นแรงดันไฟสลับ ดังนั้นวงจรฮาร์ฟบริดจ์จึงทำหน้าที่เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ของวงจรดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ โดยอีกส่วนทางด้านขาออกทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง ส่วนตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุนี้ทำให้เกิดการรีโซแนนซ์ จึงถือว่าเป็นโหลดของวงจรอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

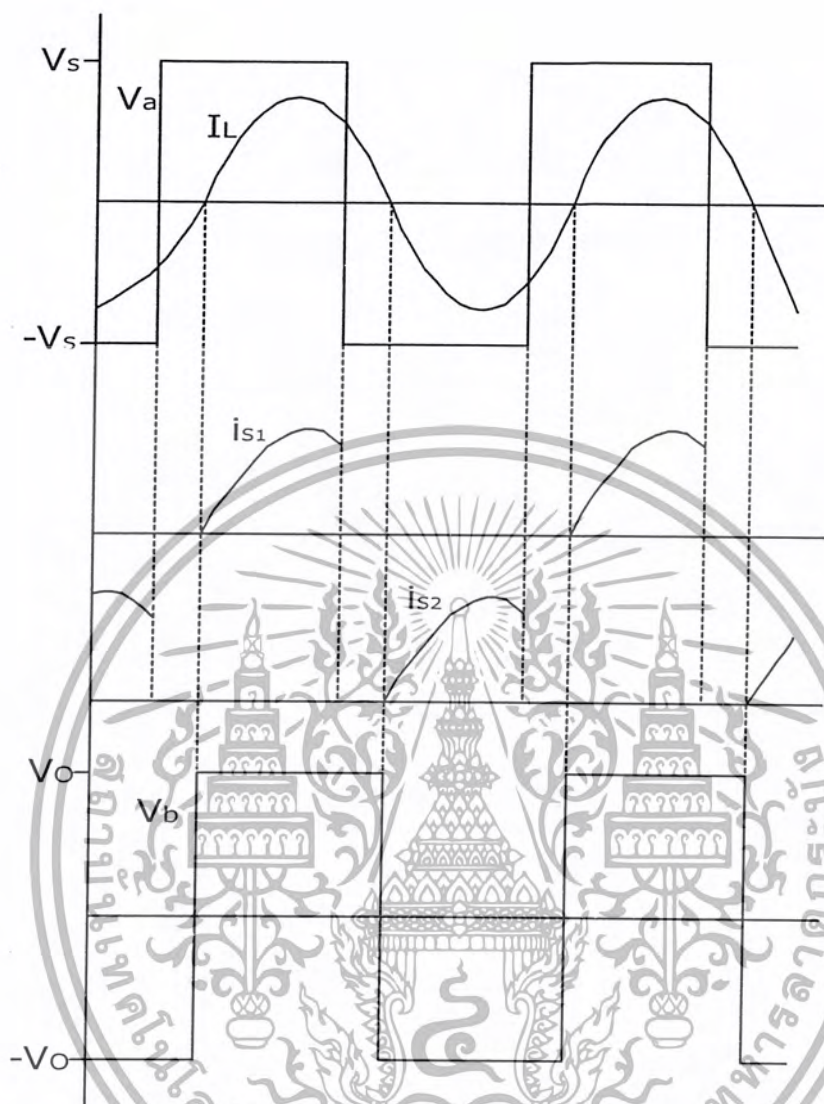


รูปที่ 2.11 วงจรรีโซแนนท์แบบอนุกรม

จากวงจรตัวเก็บประจุ C_s ทำหน้าที่รีโซแนนท์กับตัวเหนี่ยวนำ L_s วงจรสมมูลของโหลดอินเวอร์เตอร์จะมีลักษณะที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ และความต้านทานโหลดต่ออนุกรมกันจึงเรียกวจร ดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์นี้ว่า วงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์รีโซแนนท์แบบอนุกรมโหลด (Series Load Resonant Converter)

วงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์มีข้อดีคือ ตัวเก็บประจุทำให้เกิดรีโซแนนท์ C_s ทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง จะทำหน้าที่ปิดกั้นไฟตรงไม่ให้ไหลผ่านหม้อแปลง (Volt - Sec Unbalance) นอกจากนี้กระแสไหลผ่านสวิตช์จะลดลงตามกระแสโหลดเมื่อความต้านทานของโหลดเพิ่ม ทำให้กำลังงานสูญเสียในสวิตช์ลดลงเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น การป้องกันการถ่วงจร โดยออกแบบให้มีค่า Q ค่อนข้างสูง ทำให้เกิดกระแสโหลดเปลี่ยนแปลงกับค่าความต้านทานของ โหลดน้อยจนเมื่อความต้านทานเป็นศูนย์ กระแสจะผ่านสวิตช์จะเพิ่มขึ้นไม่มากนัก

ข้อเสียของดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์รีโซแนนท์แบบอนุกรมโหลด คือไม่สามารถควบคุมค่าแรงดันด้านออกเมื่อไม่มีโหลด เนื่องจากแรงดันด้านออกจะไม่ขึ้นกับความถี่ โดยแรงดันออกจะเปลี่ยนแปลงตามความถี่น้อยลงและถ้า No Load จะเป็นเส้นตรงในแนวนอน ดังนั้นจึงไม่สามารถควบคุมค่าแรงดันด้านออกในขณะที่ไม่มีโหลด แต่เราสามารถแก้ไขโดยใช้ภาควัดคุมการทำงานของสวิตช์เป็นแบบออสซิลเลตด้วยตัวเอง ทำให้วงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์หยุดทำงานในขณะที่ไม่มีโหลดและจะเริ่มทำงานใหม่ขณะที่มีโหลดต่อเข้ากับวงจร



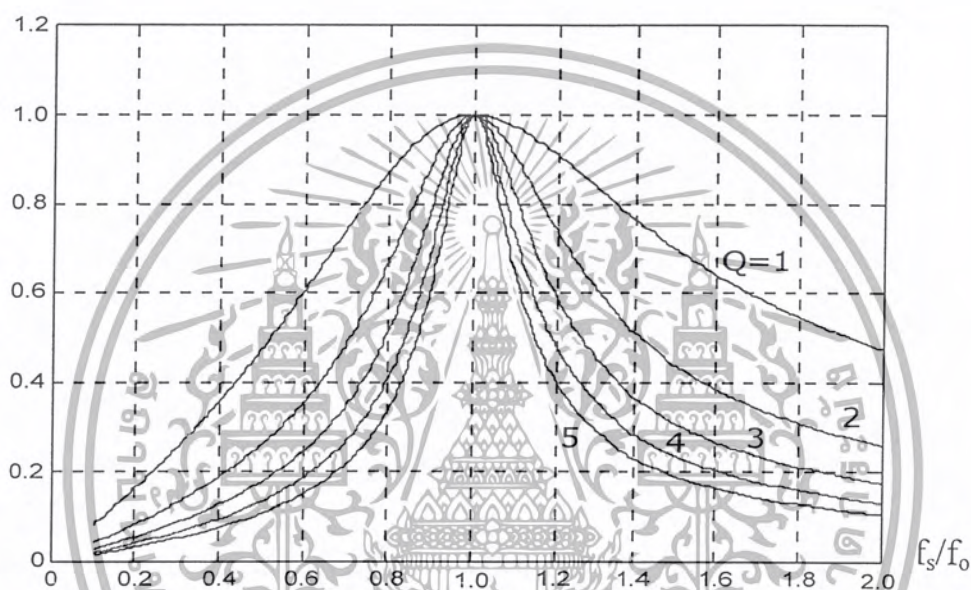
รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะสัญญาณแรงดันและกระแสด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์

การวิเคราะห์และการออกแบบ วงจรดีซี - ดีซีคอนเวอร์เตอร์รีโซแนนท์แบบอนุกรมโพลนั้น สามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบเอซี (ac Analysis Technique) ROBERT L. STEIGERWALD; A Comparison of Half Bridge Resonant Converter Topologies; IEEE Transaction On Power Electronics, Vol.3, No.2 April, 1998) ซึ่งจะง่ายต่อการวิเคราะห์และการออกแบบวงจร แต่ผลของการวิเคราะห์และออกแบบวงจรนี้มีค่าโดยประมาณเพื่อใช้ในการประมาณค่า โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบเอซีจะ ได้รับความสัมพันธ์ของตัวแปรดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

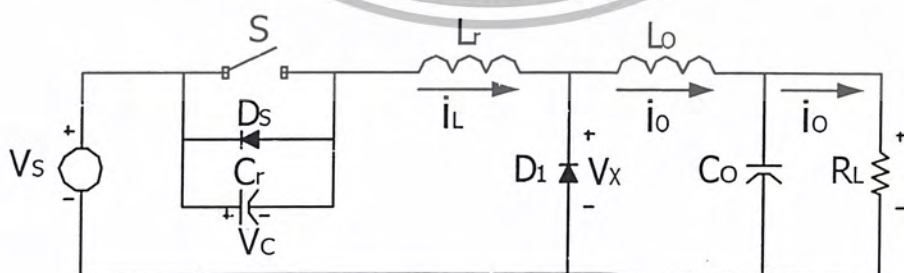
$$\begin{aligned}
 V_o/V_{in} &= 1/[1+j(X_L/R_{ac} - X_C/R_{ac})] \\
 E_d &= E_{in}/2 \\
 R_{ac} &= (8/\pi^2)R_L \\
 Q &= \omega_o L_S/R_L \\
 \omega_o &= 1/\sqrt{L_S C_S} \\
 E_o/E_d &= 1/[1+j(\pi^2/8)Q(\omega/\omega_o - \omega_o/\omega)]
 \end{aligned}$$

เมื่อนำไปคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันออกและแรงดันเข้าสำหรับความถี่เมื่อค่า $Q = 1-5$ ได้กราฟดังรูป



รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_o/V_s กับ f_s/f_o

2.3 ซีโรโวลต์เตจสวิทช์ซิง (ZVS)



รูปที่ 2.14 รูปวงจรซีโรโวลต์เตจสวิทช์ซิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดประสงค์หลักของ ZVS ก็คือต้องการลดค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการทำงานของสวิตช์ กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือทำให้ Switch ON ในช่วงที่ Voltage เป็นศูนย์และ OFF ในช่วงที่ Voltage เป็นศูนย์เช่นกัน จากรูปวงจรของ ZVS นั่นคือ C_r กับ L_r จะเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการ Oscillate ส่วนตั้งแต่ L_o , C_o ทางขวามือทั้งหมดนั้นจะเปรียบเสมือนเป็น Constant Current Source แทน และกระแสที่ไหลผ่านโหลดจะมีค่าเป็น I_o คงที่



รูปที่ 2.15 สัญญาณในวงจรซีโรโวลต์เตจสวิตซ์ซิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปคลื่นที่แสดงนั้นจะเป็นลักษณะรูปคลื่นส่วนต่าง ๆ ของวงจร ZVS ในช่วงเวลาต่าง ๆ และจะแสดงการสับ Switch ด้วย โดยการเกิดซีโรโวลต์เตจสวิตช์ซึ่งจะอธิบายได้จากวงจรและรูปคลื่นสัญญาณดังนี้

ช่วงเวลา $t_0 < t < t_1$ สวิตช์(S)จะเปิด และไดโอด (D1)ไม่นำกระแส

ช่วงนี้กระแส I_o จะไหลทั้งวงจรและที่ C จะเกิดการชาร์จประจุจนมีแรงดันเท่ากับ V_s โดยค่าแรงดันของ C จะเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้น

ช่วงเวลา $t_1 < t < t_2$ สวิตช์(S) เปิดและไดโอด (D1) นำกระแส

ช่วงนี้เป็นช่วงของการออสซิลเลต (เกิดการรีโซแนนท์) ระหว่าง C_r กับ L_r โดย C_r จะเริ่มมีแรงดันมากกว่า V_s ทำให้ D1 นำกระแส ซึ่งกระแส I_L ที่ได้จะเป็นสัญญาณชาน์เนล เมื่อ C_r มีแรงดันเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดตรงจุดที่กระแสเป็น 0 แรงดันที่ C_r ก็จะคายประจุออกมาจนมีค่าเป็น 0 ในช่วงที่ค่า V_{C_r} ตกลงมาจนเท่ากับ V_s แล้ว แต่ไดโอด (D1) ยังไม่หยุดทำงานเนื่องจากกระแส I_o ยังไหลอยู่ร่วมกับกระแส I_L ที่เป็นลบจนสามารถทำให้ไดโอด (D1) ยังนำกระแสอยู่ได้

ช่วงเวลา $t_2 < t < t_3$ สวิตช์(S) ปิดวงจร และ ไดโอด (D1) หยุดนำกระแส

ในช่วงนี้ก่อนที่สวิตช์จะปิดวงจรมัน ไดโอด(Ds) จะต้องทำงานก่อนเพราะกระแสยังเป็นลบทำให้ไดโอด(Ds) นำกระแสจนกระทั่งกระแสเป็นศูนย์ทำให้สวิตช์ปิดได้และกระแส I_L จะเพิ่มขึ้นเรื่อยจนมีค่าเท่ากับ I_o โดยการเพิ่มของกระแสจะเป็นไปในลักษณะเชิงเส้น

ช่วงเวลา $t_3 < t < t_4$ สวิตช์(S) ปิดวงจร และ ไดโอด (D1)หยุดนำกระแส

ช่วงเวลานี้เมื่อกระแส I_L มีค่าเท่ากับ I_o จะทำให้ไดโอด (D1) หยุดทำงาน

จากที่กล่าวมาเป็นวงจรการทำงานที่ใช้หลักการรีโซแนนท์ที่ต้องการให้มีค่าการสูญเสียที่สวิตช์มีค่าเป็น 0 เพราะเมื่อสวิตช์เริ่มทำงาน แรงดันตกคร่อมสวิตช์จะมีค่าเป็น 0 ในช่วง $t_2 < t < t_3$

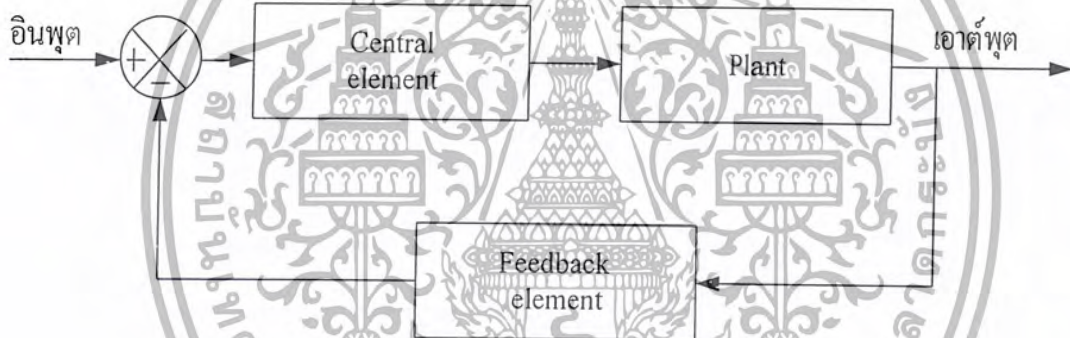
และสวิตช์จะเปิดวงจรที่แรงดันตกคร่อมตัวมันเองเป็น 0 ในเวลา t_4 ทำให้ไม่เกิดค่าความสูญเสียที่สวิตช์เลยโดยค่าการสูญเสียที่สวิตช์นั้นจะได้จากแรงดันคูณกับกระแส ณ จุดที่สวิตช์เปิดและปิดวงจร

2.4 การควบคุมแบบป้อนกลับ

ทฤษฎีการควบคุมจะเกี่ยวข้องกับผลตอบสนองไดนามิก(dynamic response) ของระบบที่มีต่อคำสั่งหรือการรบกวน ถ้าระบบมีเสถียรภาพผลตอบสนองจะหยุดนิ่งอยู่ในสภาวะคงตัว สำหรับพฤติกรรมของผลตอบสนองก่อนหยุดนิ่งนั้นจะเรียกว่า ผลตอบสนองทรานเซียนท์ ในทางตรงกันข้าม สำหรับระบบที่ขาดเสถียรภาพจะไม่มีโอกาสเข้าสู่สภาวะคงตัว



รูปที่ 2.16ก ลักษณะระบบควบคุมแบบเปิด



รูปที่ 2.16ข ลักษณะระบบควบคุมแบบปิด

ชนิดของระบบควบคุม

ระบบควบคุมสามารถจำแนกออกเป็นชนิดใหญ่ๆสองกลุ่มคือ ระบบควบคุมวงจรเปิดและระบบควบคุมวงจรปิด

ระบบควบคุมวงจรเปิดที่แสดงอยู่ในรูปที่ 2.16ก นั้นจะพบว่าอินพุตที่เข้าสู่ระบบจะนำมาใช้ควบคุมเอาต์พุตโดยตรง ความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตกับอินพุตจะเป็นตัวบอกลักษณะของพลานต์และองค์ประกอบส่วนควบคุม ในกรณีของระบบควบคุมวงจรปิดที่แสดงในรูป 2.16ข นั้นพบว่าอินพุตถูกปรับเปลี่ยนด้วยเอาต์พุตที่ได้ก่อนที่จะป้อนเข้าสู่ระบบควบคุม เนื่องจากเอาต์พุตถูกป้อนกลับมาผ่านทางอุปกรณ์ส่วนป้อนกลับ เพื่อหักล้างกับอินพุต โดยทั่วไปจึงเรียกระบบวงจรปิดว่าระบบควบคุมป้อนกลับแบบลบ หรืออาจเรียกง่าย ๆ ว่าระบบควบคุมป้อนกลับซึ่งจะนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้

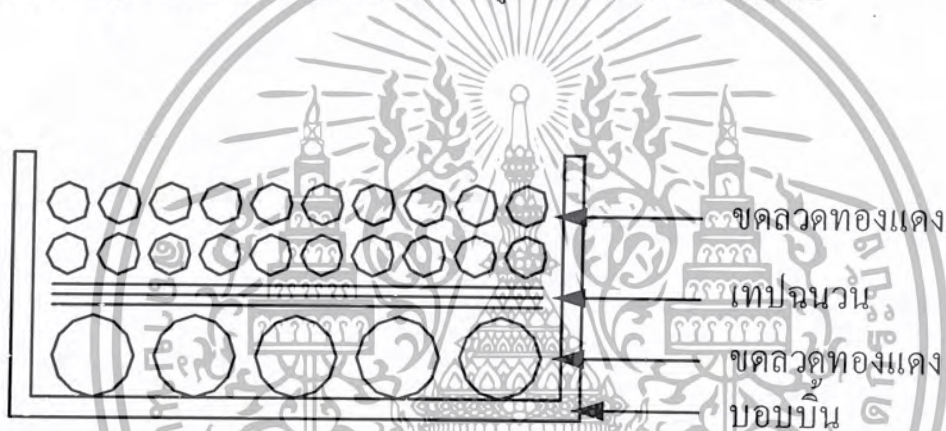
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 หม้อแปลงสวิตซ์ซิ่ง

หม้อแปลงสวิตซ์ซิ่ง (Switching Transformer) จัดเป็นอุปกรณ์สำคัญสำหรับสวิตซ์ซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ผู้ออกแบบสวิตซ์ซิ่งเพาเวอร์ซัพพลายจึงจำเป็นต้องศึกษารูปแบบที่เป็นไปได้ในลักษณะต่างๆ ของหม้อแปลงสวิตซ์ซิ่ง ความเหมาะสมในการใช้งาน การคำนวณขนาดแกนเฟอร์ไรต์และขนาดลวดทองแดงรวมทั้งการกำหนดความปลอดภัยทางไฟฟ้า เพื่อความปลอดภัยและลดกำลังงานสูญเสียในหม้อแปลงสวิตซ์ซิ่งขณะทำงาน

2.5.1 ส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิตซ์ซิ่ง

หม้อแปลงสวิตซ์ซิ่งซึ่งมีหน้าที่หลักในการลดทอนแรงดันไฟตรงที่อินพุตคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งอาจมีค่าสูงถึง 310 โวลต์ ให้มีค่าลดลงเป็นแรงดันไฟค่าต่ำที่เอาต์พุต และทำให้เกิดการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตที่ได้ เพื่อป้องกันอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูด ส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อแปลงสวิตซ์ซิ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.17 โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.17 แสดงส่วนประกอบหลักของหม้อแปลงสวิตซ์ซิ่ง

แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core)

เฟอร์ไรต์เป็นวัสดุประเภทเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic material) การเหนี่ยวนำแม่เหล็กบนแกนเฟอร์ไรต์จะส่งผลทำให้เกิดความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงกว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนแกนอากาศ เฟอร์ไรต์มีค่าอิมพีแดนซ์แม่เหล็กค่อนข้างสูงประมาณในช่วง 3000 ถึง 4000 เกาส์ และเกิดการสูญเสียในตัวมันค่าที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นหม้อแปลงสวิตซ์ซิ่งจึงนิยมใช้แกนเป็นเฟอร์ไรต์มากที่สุด เฟอร์ไรต์ที่นำมาใช้ทำแกนของหม้อแปลงสวิตซ์ซิ่งจะมีรูปร่างแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับการใช้งานและมาตรฐานในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บอบบี้ (Bobbin)

บอบบี้หรือแบบรองพัน ปกติจะทำจากพลาสติกชนิดทนความร้อนได้สูงและไม่ติดไฟ บอบบี้จะช่วยให้การพันขดลวดบนแกนเฟอร์ไรต์สะดวกขึ้น และป้องกันปัญหาการลัดวงจรระหว่างขดลวดกับแกนเฟอร์ไรต์ได้ บอบบี้จะมีขนาดมาตรฐานตามมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์

ลวดทองแดงอาบน้ำยา (Enamelled Copper Wire)

การพันขดลวดทั้งไพรมารีและเซคันดารีของหม้อแปลงสวิตซ์ซึ่งที่กำลังไม่สูงนัก ปกติจะใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาพันบนแกนบอบบี้เพื่อให้ได้จำนวนรอบตามที่ต้องการ ขนาดของขดลวดทองแดงที่จะใช้พันนั้น ขึ้นอยู่กับค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านลวด ความถี่และผลข้างเคียงอื่นๆ

เทปฉนวน (Insulation Tape)

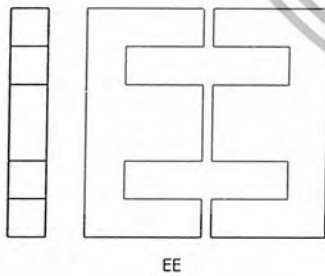
เทปฉนวนที่ใช้สำหรับพันเป็นตัวรองระหว่างชั้นของขดลวดในหม้อแปลงสวิตซ์ซึ่ง และมีหน้าที่สำคัญในการแยกส่วนทางไฟฟ้าระหว่างขดไพรมารีและขดเซคันดารีด้วยวัสดุที่ใช้ทำเทปฉนวนอาจเป็นพวกไมลาร์ (Mylar) หรือโพลีเอสเตอร์ (Polyester) ที่มีความหนาอยู่ในช่วง 0.05 - 0.1 มิลลิเมตร การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบและค่าความปลอดภัยที่ต้องการจากหม้อแปลงสวิตซ์ซึ่งเป็นหลัก

2.5.2 แกนเฟอร์ไรต์และการเลือกใช้

2.5.2.1 ลักษณะและขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์

แกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงสวิตซ์ซึ่งโดยทั่วไป จะถูกผลิตออกมาที่ขนาดและรูปทรงต่างๆตามมาตรฐานเดียวกัน เช่น EI, EE, ETD หรือแกนแบบ POT เป็นต้น ปกติผู้ผลิตจะทำแกนเฟอร์ไรต์ออกมาในลักษณะของกลุ่มประกอบ เพื่อความสะดวกในการประกอบเข้ากับบอบบี้ การประกอบแกนเฟอร์ไรต์บนบอบบี้จะทำให้ทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์มีลักษณะเป็นวงบรรจบได้

CORE TYPE	A_e (cm ²)	A_w (cm ²)	V_e (cm ³)	l_e (mm.)
EE 20/20/5	0.31	0.35	1.34	43.0
EE 30/30/7	0.59	0.78	4.00	66.9
EE 42/42/15	1.82	1.78	17.6	97.0
EE 42/42/20	2.36	1.78	23.1	97.4
EE 42/54/20	2.36	2.40	28.8	122.0
EE 42/66/21	2.36	3.40	34.5	143.5
EE 55/55/21	3.54	2.50	43.7	123.0
EE 55/55/25	4.20	2.50	52.0	123.0
EE 65/66/27	5.32	3.93	78.2	147.0



A_c = ขนาดพื้นที่หน้าตัดแกนเฟอร์ไรต์

A_w = ขนาดพื้นที่ช่องพันขดลวดของบอบบี้

V_e = ปริมาตรของแกนเฟอร์ไรต์

l_e = ระยะทางเดินฟลักซ์แม่เหล็กในแกนเฟอร์ไรต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

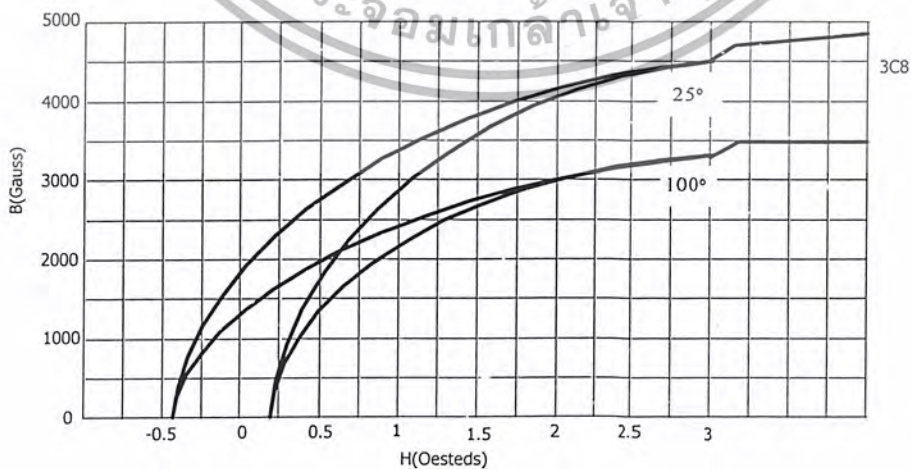
แกนแบบ POT นั้นจะใช้กับหม้อแปลงสวิตซ์ซึ่งที่ไม่ต้องการกำลังสูง(ไม่เกิน125วัตต์)และในงานที่ต้องการสัญญาณรบกวนEMI/RFIต่ำ เนื่องจากลักษณะรูปทรงของมันสามารถป้องกันการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนได้ดี แต่แกนแบบPOTมีช่องสำหรับให้ขดลวดลวดออกมาภายนอกได้ค่อนข้างเล็กจึงเป็นอุปสรรคในการพันลวดทองแดงขนาดใหญ่เมื่อหม้อแปลงต้องการกำลังสูงๆ แกนที่นิยมกันมากสำหรับหม้อแปลงสวิตซ์ซึ่งที่ต้องการกำลังงานสูง จะเป็นแกนแบบ EI, EEและETDเนื่องจากสามารถพันขดลวดรอบแกนบนบอบบิ้นได้สะดวก แกนในกลุ่มนี้จะมีขนาดต่างๆให้เลือกใช้งานได้เป็นจำนวนมาก โดยสามารถให้กำลังงานได้ตั้งแต่5วัตต์ไปจนถึง10กิโลวัตต์ อย่างไรก็ตามสัญญาณรบกวนEMI/RFIที่เกิดขึ้นจะมีค่ามากกว่าแกนแบบPOT

2.5.2.2 ลักษณะสมบัติของเนื้อสารที่ใช้ทำแกนเฟอร์ไรต์

ชนิดของเนื้อสารแกนเฟอร์ไรต์ที่แตกต่างกัน จะทำให้คุณสมบัติทางแม่เหล็กของแกนเฟอร์ไรต์แตกต่างกันด้วยถึงแม้จะมีขนาดเท่ากันทุกประการก็ตาม ในแผ่นข้อมูลเนื้อสารที่ให้มากับแกนเฟอร์ไรต์นั้น จะต้องมียุทธเยียดคุณสมบัติเนื้อสารแสดงไว้เสมอ ข้อมูลสำคัญที่ควรจะทำความเข้าใจและศึกษาไว้ก็คือเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis curve) และค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์(Core Loss)

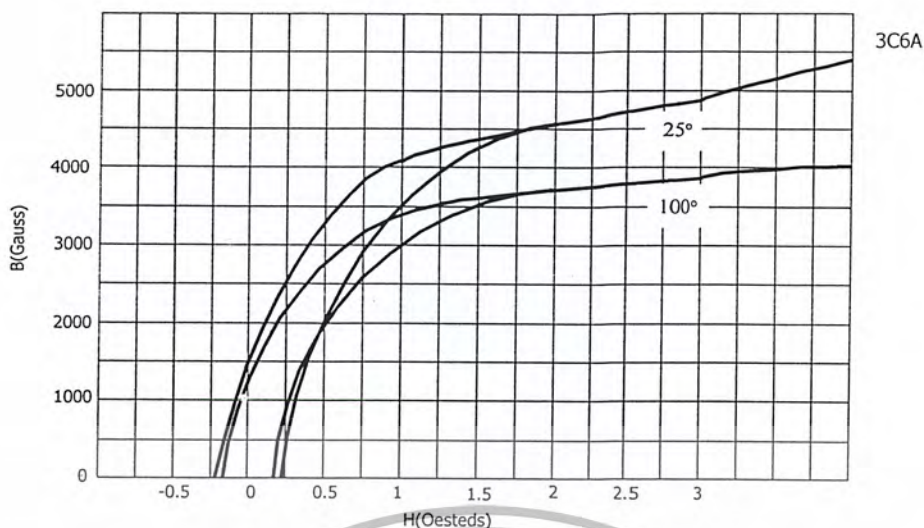
เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis curve)

เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก(B)ที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ กับความเข้มของสนามแม่เหล็ก(H)ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของขดลวดที่พันบนแกนในรูปที่ 2.19(ก) และ 2.19 (ข) จะแสดงลักษณะของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของเนื้อสารชนิด 3C8 และ 3C6A ตามลำดับ ซึ่งผลิตโดยผู้ผลิตคือ FERROXCUBE จากรูปจะเห็นว่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของสนามแม่เหล็ก H มีค่าเพิ่มขึ้น จนถึงจุดหนึ่งซึ่งค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B มีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก แม้ว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของความเข้มสนามแม่เหล็ก H ก็ตามจากจุดดังกล่าวเราจะเรียกว่า แกนเริ่มมีการอิ่มตัวของฟลักซ์แม่เหล็ก(Saturation)



รูปที่ 2.19 (ก)

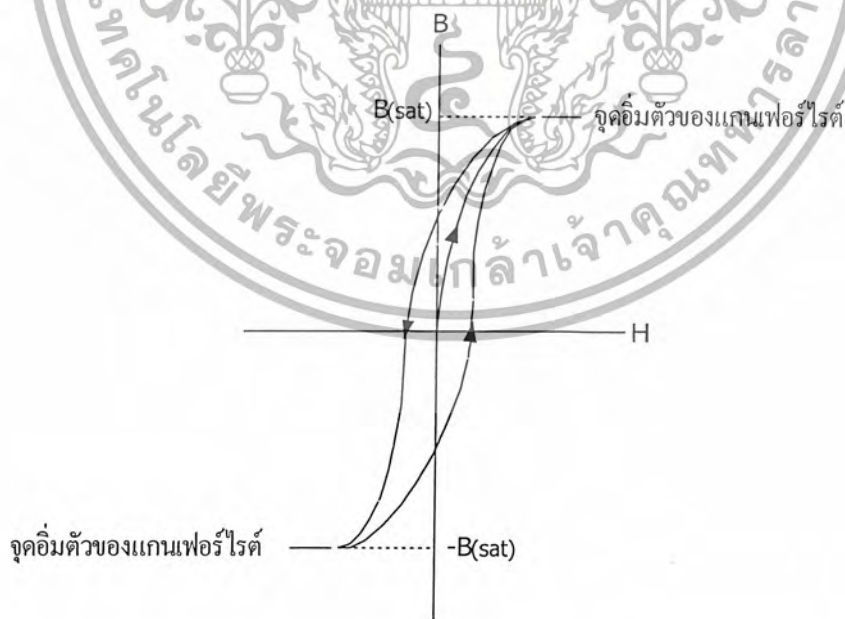
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19(ข)

รูปที่ 2.19 แสดงเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของแกนเฟอร์ไรต์ที่เป็นเนื้อสารชนิด 3C8(ก) และ 3C6A(ข) (ที่มา : Ferroxcube)

โดยปกติผู้ผลิตจะแสดงกราฟของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสเพียงครั้งเดียว เนื่องจากอีกครึ่งหนึ่งของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสจะมีลักษณะเหมือนกันทุกประการเพียงแต่จะมีลักษณะกลับทิศกันเท่านั้นดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะที่สมบูรณ์ของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสซึ่งจะมีลักษณะสมมาตรของกราฟซีกบนและ

ซีกล่าง ผู้ผลิตจะให้กราฟในซีกบนมาเท่านั้นดังแสดงในรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานแกนเฟอร์ไรต์ในหม้อแปลงสวิตซ์จึง จะต้องระวังไม่ทำให้แกนเฟอร์ไรต์เกิดการอิ่มตัวขึ้นได้ ดังนั้นโดยทั่วไปในการออกแบบหม้อแปลงสวิตซ์จึง ควรกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในแกนขณะทำงาน มีค่าไม่เกินครึ่งหนึ่งของค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดก่อนอิ่มตัวของแกนเฟอร์ไรต์เพื่อความปลอดภัย

ค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ (Core Loss)

การสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์จะทำให้แกนเฟอร์ไรต์ร้อน ซึ่งมีสาเหตุหลัก 2 ประการคือ การสูญเสียที่เกิดจากลักษณะฮิสเตอร์รีซิสของแกน(Hysteresis Loss)และการสูญเสียจากการเกิดกระแสไหลวนภายในแกนเฟอร์ไรต์(Eddy Current Loss)

ที่ความถี่ต่ำกว่า 100 กิโลเฮิร์ตซ์ การสูญเสียจากการเกิดกระแสไหลวนในแกนจะมีค่าน้อยสำหรับแกนที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก ดังนั้นการสูญเสียที่ก่อให้เกิดความร้อนในแกนอาจพิจารณาได้จากการสูญเสียทางฮิสเตอร์รีซิสเพียงอย่างเดียว ปกติค่ากำลังสูญเสียจะถูกระบุไว้เป็นมิลลิวัตต์ต่อหนึ่งลูกบาศก์เซนติเมตร (mW/cm^3) และมีค่าขึ้นกับค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก ความถี่การใช้งาน รวมถึงอุณหภูมิขณะใช้งานของแกนเฟอร์ไรต์

2.5.2.3 การกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดในแกนหม้อแปลง

ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กในแกนของหม้อแปลง จะขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดไพรมารีและขนาดของแกน จากกฎของฟาราเดย์จะได้ว่า

$$\Delta B = \frac{V \cdot t}{N_p \cdot A_c} \times 10^8 \quad (2.14)$$

เมื่อ ΔB คือ ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกน เป็นเกาส์

V คือ ค่าแรงดันที่ตกคร่อมขดไพรมารี เป็นโวลต์

N_p คือ ค่าจำนวนรอบของขดไพรมารี เป็นรอบ

A_c คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกน เป็นตารางเซนติเมตร

t คือ ช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กเกิดขึ้น เป็นวินาที

จะเห็นได้ว่ายิ่งจำนวนรอบของขดลวดไพรมารีมีค่าน้อยลง ค่าความหนาแน่นฟลักซ์ที่เกิดขึ้นจะยิ่งมีค่ามาก ซึ่งการลดจำนวนรอบของขดไพรมารีลงจะทำให้สามารถใช้ลวดทองแดงขนาดใหญ่ขึ้นได้ และสามารถทนกระแสได้สูงทำให้หม้อแปลงให้กำลังได้สูงขึ้น

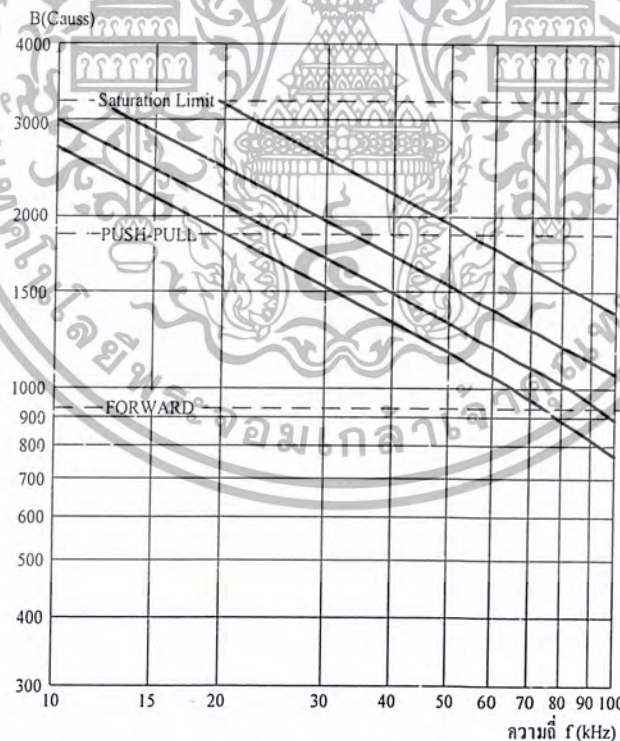
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม หากค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว จะทำให้แรงดันตกคร่อมขดไฟรมารี่มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว แรงดันอินพุตจะไปตกคร่อมที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะที่กำลังนำกระแสสูงๆแทน ทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์พังเสียหายได้ และความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่มีค่าสูงจะทำให้เกิดการสูญเสียภายในแกนสูงอีกด้วย ดังนั้นการกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงขณะทำงาน จึงมีข้อที่ควรคำนึงถึง 2 ประการคือ

1. แกนเฟอร์ไรต์ต้องไม่เกิดอิ่มตัวขณะทำงาน
2. ที่ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่เกิดขึ้นในแกนขณะทำงานจะต้องเกิดการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ต่ำที่สุด

ในรูปที่ 2.21(ก),(ข) และ (ค) เป็นกราฟแสดงค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่เหมาะสมของแกนเฟอร์ไรต์ซึ่งแนะนำไว้โดย L.M. Bracke ใช้สำหรับพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์และฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้กำลังงานสูงสุดและมีค่าการสูญเสียน้อยที่สุดด้วย การใช้กราฟนี้เพื่อกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดในขั้นต้นสำหรับการออกแบบหม้อแปลงสวิตซ์ซึ่ง จะทำให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วขึ้นมาก

หมายเหตุ การกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก ΔB ให้กำหนดเป็น 2 เท่าของค่าที่อ่านได้จากกราฟ(2. ΔB) และค่า ΔB ไม่ควรกำหนดเกินเส้นประในกราฟ ซึ่งแสดงขีดจำกัดของ ΔB สำหรับคอนเวอร์เตอร์

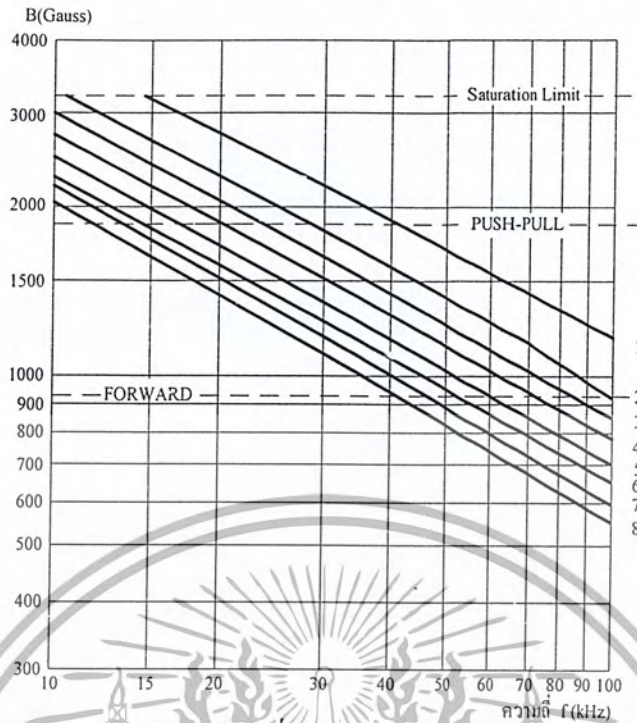


รูปที่ 2.21 (ก)

ขนาดแกนเฟอร์ไรต์ :

- (1) UU 15 /22 /6, E 20/ 20 /5 (2) UU 20 /32 /7, EE 25/ 25/ 7, EE 30/ 30/ 7
(3) UU 25 /40 /13, (4) UU 30 /15 /16

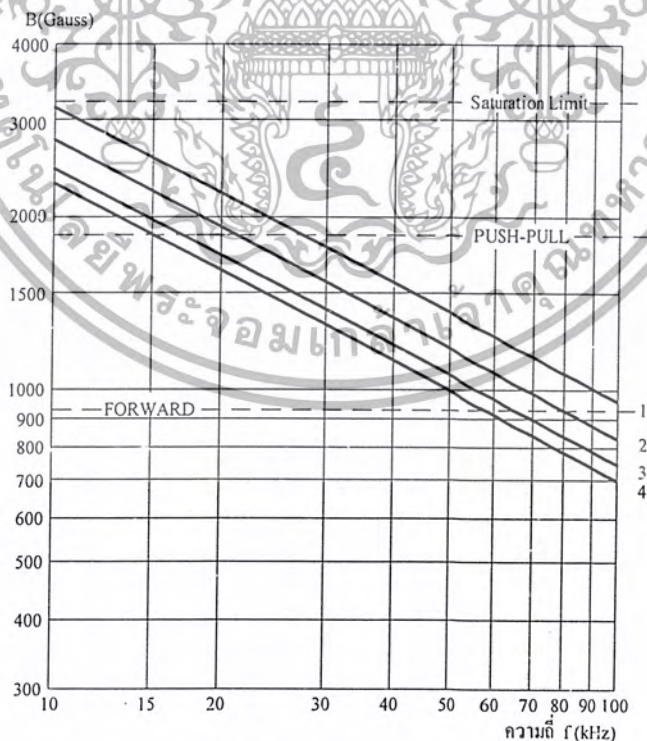
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 (ข)

ขนาดแกนเฟอร์ไรต์ :

- (1) EC 35 (2) EC 41, EC 52 (3) EC 70 (4) EE 42/42/15
- (5) EE 42/42/20, EE 42/54/20, EE 42/66/20 (6) EE 55/55/21
- (7) EE 55/55/25, UU 64/70/20 (8) EE 65/66/27



รูปที่ 2.21 (ค)

ขนาดแกนเฟอร์ไรต์ : (1) ETD 34 (2) ETD 39 (3) ETD 44 (4) ETD 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเขียนขึ้นเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.4 การเลือกขนาดแกนเฟอร์ไรต์ที่เหมาะสม

การใช้แกนเฟอร์ไรต์ที่มีขนาดใหญ่เกินไปสำหรับหม้อแปลงสวิตซ์ซึ่ง จะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น ส่วนการใช้แกนเฟอร์ไรต์ที่มีขนาดเล็กเกินไป ขดลวดและแกนเฟอร์ไรต์จะร้อน กำลังงานสูงสุดที่เหมาะสมกับแกนเฟอร์ไรต์ขนาดต่างๆ พิจารณาได้จากขนาดหน้าตัดของแกน (A_C)และขนาดช่องสำหรับพันขดลวดของบอบบิ้น โดยอาจคำนวณได้จากสมการต่างๆดังต่อไปนี้

สำหรับแกนที่ใช้กับหม้อแปลงของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์

$$P = \frac{0.5 \Delta B_{(max)} \cdot f \cdot A_C \cdot A_W}{D} \times 10^{-3} \quad (2.15)$$

สำหรับแกนที่ใช้กับหม้อแปลงของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

$$P = \frac{\Delta B_{(max)} \cdot f \cdot A_C \cdot A_W}{D} \times 10^{-3} \quad (2.16)$$

สำหรับแกนที่ใช้กับหม้อแปลงของฮาล์ฟบริดจ์และฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

$$P = \frac{1.4 \Delta B_{(max)} \cdot f \cdot A_C \cdot A_W}{D} \times 10^{-3} \quad (2.17)$$

- โดยที่
- $\Delta B_{(max)}$ = ค่าความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุดในแกนเฟอร์ไรต์ เป็นเกาส์
 - f = ค่าความถี่การทำงานของแกนเฟอร์ไรต์ เป็นเฮิรตซ์
 - A_C = พื้นที่หน้าตัดของแกนเฟอร์ไรต์ เป็นตารางเซนติเมตร
 - A_W = พื้นที่ช่องสำหรับพันขดลวดของบอบบิ้น เป็นตารางเซนติเมตร
 - D = ค่าความหนาแน่นกระแสในขดไฟโรมารี เป็นเซอร์คูลาร์มิลต่อแอมป์
 - P = กำลังงานสูงสุดที่ได้จากแกนเฟอร์ไรต์ เป็นวัตต์

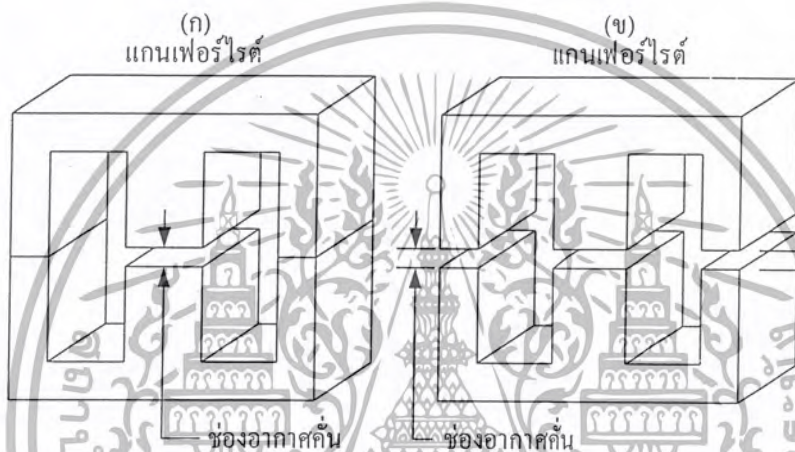
ค่าของ $\Delta B_{(max)}$ ที่เหมาะสมหาได้จากรูปที่ 2.21 ส่วนค่าของ A_C และ A_W เป็นขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ที่ใช้ โดยดูได้จากข้อมูลจากผู้ผลิตที่ให้มากับแกนเฟอร์ไรต์ ค่าของ D กำหนดได้จากขนาดของลวดทองแดงที่ใช้พัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.5 ช่องอากาศคั่นทางเดินแม่เหล็กในแกนเฟอร์ไรต์(Air Gap)

การกำหนดช่องอากาศคั่นทางเดินแม่เหล็ก(Air Gap) ในแกนเฟอร์ไรต์ เป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่ใช้ป้องกันการอิ่มตัวของแกนเฟอร์ไรต์ และช่วยให้การสะสมพลังงานของขดลวดในหม้อแปลงสวิตซ์ซึ่งมีค่ามากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม ช่องอากาศคั่นในแกนเฟอร์ไรต์จะทำให้เกิดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนEMIออกมา และอาจรบกวนอุปกรณ์ภายนอกได้เช่นกัน

สำหรับแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE, EI, ETD หรือแบบ POT สามารถกำหนดลักษณะของช่องอากาศคั่นในแกนได้ 2 ลักษณะ ดังรูปที่ 2.22 (ก) และ (ข) คือ การกำหนดช่องอากาศคั่นที่แกนกลางอย่างเดียว และการคั่นแกนด้วยช่องอากาศระหว่างคู่ประกบ



รูปที่ 2.22 แสดงการกำหนดช่องอากาศคั่น l_g ที่แกนกลาง (ก) และการคั่นช่องอากาศ l_g ระหว่างคู่ประกบของแกนเฟอร์ไรต์ (ข)

การคั่นแกนด้วยช่องอากาศระหว่างคู่ประกบสามารถทำได้ง่ายกว่าการคั่นช่องอากาศที่แกนกลางซึ่งทำได้โดยการใช้แผ่นฉนวนที่มีความหนาเป็นครึ่งหนึ่งของระยะช่องอากาศคั่นที่ต้องการ นำมาคั่นระหว่างแกนนอกของคู่ประกบ ส่วนการกำหนดช่องอากาศคั่นที่แกนกลางต้องสั่งโดยตรงจากผู้ผลิตแกนเฟอร์ไรต์หรือซัดแกนกลางออกเองเพื่อให้ได้ระยะช่องอากาศคั่นตามต้องการ

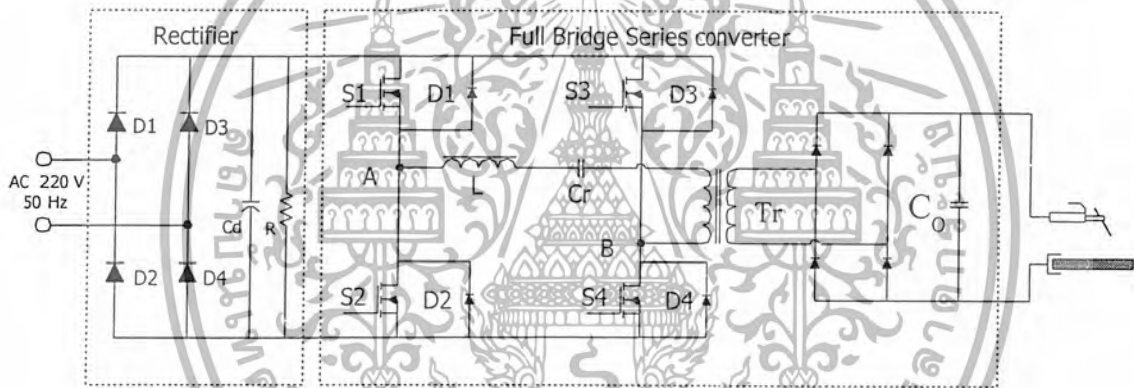
มีข้อสังเกตคือ การคั่นช่องอากาศระหว่างคู่ประกบ ความหนาของแผ่นฉนวนคั่นที่ใช้จะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของระยะช่องอากาศคั่นที่ต้องการเท่านั้น เนื่องจากช่องอากาศที่เกิดขึ้นจะคั่นทางเดินฟลักซ์แม่เหล็กถึงสองครั้งในแกน ดังนั้นระยะช่องอากาศคั่นที่ได้จึงเป็นผลรวมของระยะช่องอากาศที่เกิดขึ้นทั้งหมด

บทที่ 3

หลักการ

3.1 การใช้งานฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ในเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง

เนื่องด้วยในงานเชื่อมไฟฟ้านั้นเป็นงานที่ถูกใช้งานในอุตสาหกรรมเหล็ก ซึ่งการที่จะหลอมเหล็กให้ติดกันได้นั้นจะต้องใช้กระแสในการหลอมและเชื่อมติดสูง ซึ่งหมายความว่าชุดควบคุมและจ่ายกระแสเพื่อใช้ในการเชื่อมนั้นจะต้องสามารถจ่ายกำลังงานไฟฟ้าได้สูง จากการศึกษาในเรื่องของสวิตซ์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายที่ผ่านมานั้น ชุดสวิตซ์ซึ่งแบบฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์จะสามารถจ่ายกำลังงานได้สูงที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงนี้เราจึงนำหลักการฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์มาใช้งานและเพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงนี้เราจะนำหลักการ ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบซีรีรีโซแนนท์มาใช้งานร่วมกับ ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ในงานวิจัยนี้ โดยลักษณะวงจรจะเป็นดังรูปที่ 3.1

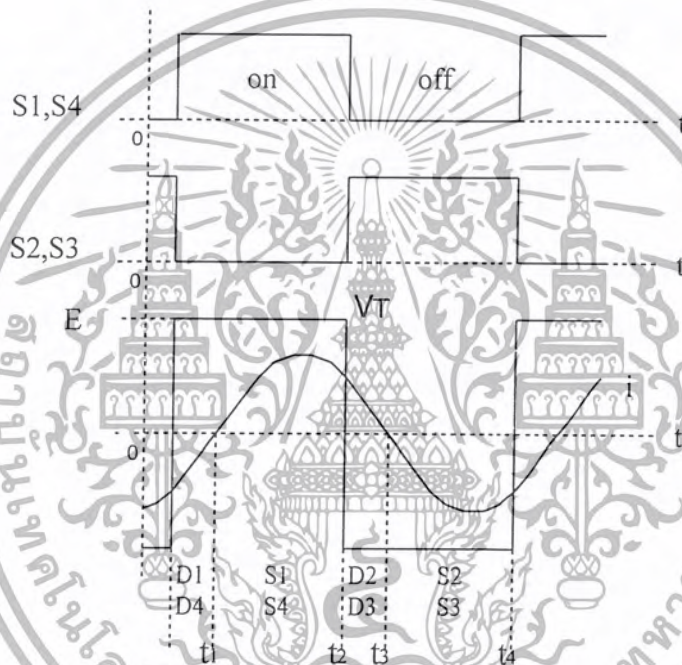


รูปที่ 3.1 ลักษณะวงจรที่ใช้ในงานวิจัย

ส่วนของวงจรซีรีรีโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์ จะมีชุดรีโซแนนท์ซึ่งประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุอินเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการซีโรโวลต์ที่เตจสวิตซ์ และนอกจากนั้นในวงจรจะมีหม้อแปลงความถี่สูงซึ่งใช้ในการยกระดับกระแสจากอินเวอร์เตอร์ให้สูงขึ้น เพื่อใช้ในการเชื่อม ซึ่งหลักการทำงานพื้นฐานของวงจรเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะเป็นการนำ วงจรอินเวอร์เตอร์มาควบคุมการจ่ายพลังงานให้กับโหลด และวงจรรีโซแนนท์จะเป็นส่วนช่วยให้เกิดการส่งผ่านพลังงานให้แก่โหลดได้สูงสุด ซึ่งต้องให้ความถี่สวิตซ์ซึ่งของอินเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่รีโซแนนท์ หรือ มากกว่าความถี่รีโซแนนท์เล็กน้อย โดยความถี่สวิตซ์ซึ่งจะถูกควบคุมด้วยวงจรควบคุมซึ่งสามารถปรับความถี่ได้ โดยความถี่ที่ใช้งานจะอยู่ในช่วง 95 - 105 กิโลเฮิรซ์

3.2 ซิโรโวลต์เทจสวิทช์ซิง (ZVS) ในวงจรเครื่องเชื่อมกระแสตรง

สวิทช์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์เปิด - ปิดวงจร คือ มอสเฟต โดยปกติจะมีกำลังการสูญเสียที่สวิทช์อยู่ค่าหนึ่งเนื่องจากที่สวิทช์จะมีแรงดันตกคร่อมสวิทช์อยู่ค่าหนึ่ง ในการทำงานแต่ละครั้งจะมีกำลังสูญเสียเท่ากับผลคูณของกระแสที่ไหลผ่านสวิทช์และแรงดันที่ตกคร่อมสวิทช์ หากมีการเพิ่มความถี่ในการสับสวิทช์มากขึ้นค่าความสูญเสียของกำลังที่สวิทช์จะเพิ่มขึ้นด้วย การที่ความถี่เพิ่มขึ้นสามารถช่วยลดขนาดและน้ำหนักของหม้อแปลง , ตัวกรองสัญญาณ และอุปกรณ์อื่น ๆ ซึ่งจะมีผลทำให้ขนาดและน้ำหนักของอินเวอร์เตอร์ลดลงตามไปด้วย ซึ่งในวงจรรีโซแนนท์มุ่มต่างเฟสของกระแสและแรงดันจะมีค่าเท่ากับศูนย์จึงเป็นผลทำให้กำลังการสูญเสียที่สวิทช์เป็นศูนย์ไปด้วย เรียกว่า “Soft Switching”



รูปที่ 3.2 แสดงรูปคลื่นกระแสและแรงดัน

ที่ $t_0 < t < t_1$ I เป็นลบ $S1$ กับ $S4$ on , $S2$ กับ $S3$ off

กระแสไหลกลับทิศทางจากรูปวงจร เนื่องจาก มอสเฟต เป็นอุปกรณ์ที่ให้กระแสไหลได้ทางเดียว ดังนั้นกระแสที่เป็นลบจะไม่สามารถไหลผ่านมอสเฟต แต่จะไหลผ่านไดโอด $D1$ และ $D4$ ทำให้กระแสในช่วง $t_0 - t_1$ ไหลผ่านไดโอด $D1$ กับ $D4$

ที่ $t_1 < t < t_2$ I เป็นบวก $S1$ กับ $S4$ on , $S2$ กับ $S3$ off

กระแสไหลไปตามทิศทางดังรูปก็จะผ่านมอสเฟต $S1$ กับ $S4$ ทำให้ทิศทางกระแสไหลตาม

รูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ $t_2 < t < t_3$ I เป็นบวก S1 กับ S4 off, S2 กับ S3 on

กระแสไหลไปตามทิศทางดังรูป แต่จะไม่ผ่าน S1 กับ S4 มอสเฟตทั้งสองตัวนี้จะ off แต่ S2 กับ S3 จะ on และกระแสไม่สามารถไหลผ่านมอสเฟตได้ทั้งสองทางจึงไหลผ่าน D2 กับ D3 แทน

ที่ $t_3 < t < t_4$ I เป็นลบ S1 กับ S4 off, S2 กับ S3 on

กระแสไหลกลับทิศทางจากรูปวงจรจะผ่านมอสเฟต S2 กับ S3 เพราะมัน on อยู่ จากการดำเนินงานของทั้ง 4 ช่วงของ 1 รอบ (cycle) นั้น

จากการเปิดและปิดของสวิตช์ S1, S2, S3, S4 นั้น จะทำให้เกิดค่าความสูญเสียขณะเปิดและปิดของสวิตช์ จากรูปสัญญาณในขณะที่ S1, S4 ทำงาน แรงดันตกคร่อมสวิตช์เท่ากับ V_d (แรงดันตกคร่อมไดโอด) ทำให้เกิดความสูญเสียในส่วนของกร on สวิตช์ได้แต่ในส่วนของกร off S1, S4 นั้น แรงดันจะเท่ากับแหล่งจ่ายไฟและกระแสจะเท่ากับกระแส I ที่ไหลผ่านจากการ off ของ S1, S4 ทำให้เกิดการสูญเสีย ในการ off และการ on ของ S2, S3 ครั้งต่อไปก็จะเหมือนเหมือนกับ S1, S4 คือเมื่อ on จะมีค่าการสูญเสียน้อยมา แต่ถ้า off จะมีค่าของการสูญเสียของการ off มาก จากที่กล่าวมาเป็นการรีโซแนนซ์ที่ $F_s > F_o$ ทำให้กระแสล้าหลังแรงดันออกไปทำให้เกิดการสูญเสียที่การ off ของสวิตช์ ถ้าไม่ต้องการให้เกิดการสูญเสียที่สวิตช์ก็ควรให้ $F_o = F_s$ เพราะจะทำให้กระแสและแรงดันที่ออกมาจากอินเวอร์ตอร์นั้น อินเฟสกัน ทำให้ไม่เกิดการสูญเสียที่สวิตช์เลย

3.3 กำลังสูญเสียในรูปความร้อนของไดโอด

ไดโอดเป็นอุปกรณ์อีกตัวหนึ่งของสวิตช์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ที่ไม่อาจมองข้ามการเกิดกำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนไปได้ เนื่องจากต้องทำงานที่ความถี่สูงกำลังสูญเสียในไดโอดจะเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือ กำลังงานสูญเสียขณะนำกระแสและกำลังงานสูญเสีย ขณะเปลี่ยนสถานะขณะที่นำกระแสจะมีแรงดันตกคร่อมที่รอยต่อขึ้นทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม ไดโอดขณะนำกระแสซึ่งจะมีค่าขึ้นอยู่กับค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวมันรูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างค่าของแรงดันตกคร่อมไดโอดต่อค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวมัน โดยไดโอดต่อค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวมันโดยไดโอดในช่วงนี้จะมีกำลังงานสูญเสียเท่ากับ

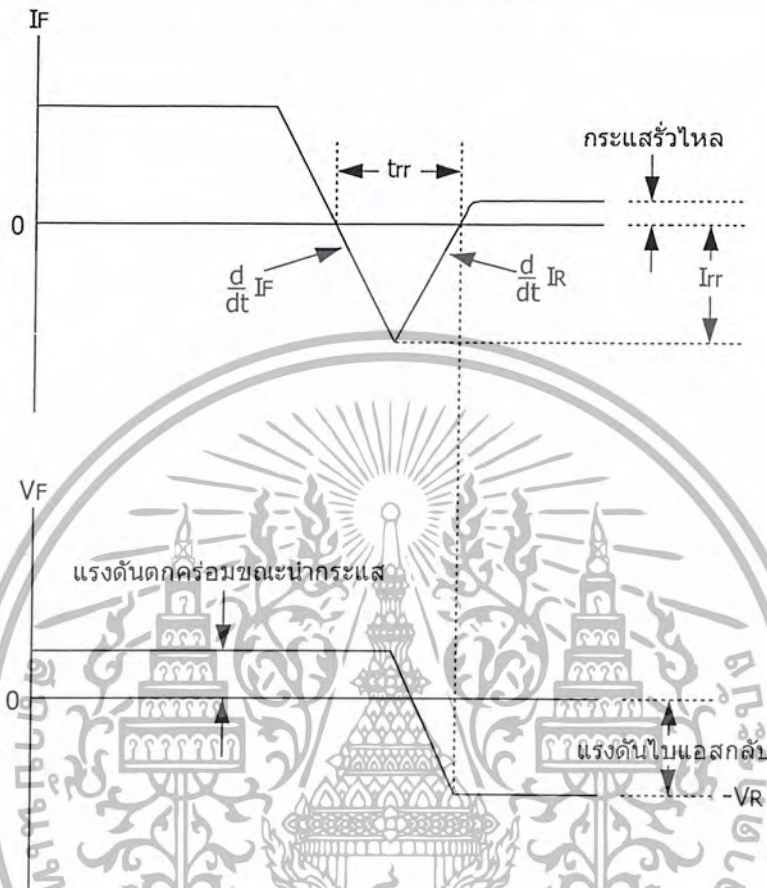
$$P_D = V_F I_F \quad (3.1)$$

เมื่อ P_D = ค่ากำลังในการสูญเสียในรูปความร้อนของไดโอดขณะนำกระแส
 V_F = ค่าแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนำกระแส
 I_F = ค่ากระแสที่ไหลผ่านไดโอด

ไดโอดจะเกิดกำลังงานสูญเสียได้มากที่สุดขณะเปลี่ยนสถานะเมื่อเริ่มหยุดนำกระแส ซึ่งมีผล

มาจากการเกิดประจุสะสมขึ้นในไดโอดนำกระแสโดยที่ไดโอดจะตอบสนองต่อแรงดันไบแอสกลับ และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันไม่ให้เกิดกระแสไหลย้อนทางได้ ไดโอดจะต้องลดประจุสะสมออกไปจึงจะสามารถหยุดกระแสไบแอสกลับได้ เวลาที่ใช้ในการลดประจุนี้จะเรียกว่า ช่วงเวลาคืนตัว (Reverse recovery time) หรือ t_{rr} ลักษณะตอบสนองต่อแรงดันและกระแสของไดโอดจะเป็นดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะเริ่มหยุดนำกระแส

ช่วงเวลาคืนตัว t_{rr} จะขึ้นอยู่กับค่าประจุสะสม ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากการที่กระแสไหลผ่านไดโอดขณะถูกไบแอส รวมทั้งการใช้งานไดโอดในลักษณะต่าง ๆ กัน จะให้ค่า t_{rr} ที่แตกต่างกันออกไปด้วย จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลา t_{rr} นี้ไดโอดจะมีความถี่สูงขึ้นลักษณะที่สำคัญอีกประการหนึ่งของไดโอดก็คือ ความนุ่มนวลในการคืนตัว (Softness recovery) ที่ความถี่สูง ๆ ลักษณะการคืนตัวของไดโอดจะมีผลต่อการเกิดสัญญาณรบกวน RFI ของสวิทซ์ซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ค่าความนุ่มนวลในการคืนตัวของไดโอดจะกำหนดโดยค่าความชันที่ขอบขาขึ้นของกระแสในช่วงเวลาคืนตัว ไดโอดที่มีค่าความชัน dI_R / dt น้อย ๆ จะมีลักษณะการคืนตัวอย่างนุ่มนวลและให้ค่าสัญญาณรบกวน RFI เกิดขึ้นต่ำ ๆ แต่จะมีช่วงเวลาคืนตัว t_{rr} มากและเกิดกำลังงานสูญเสียได้มาก

3.4 วงจรสับเบอร์

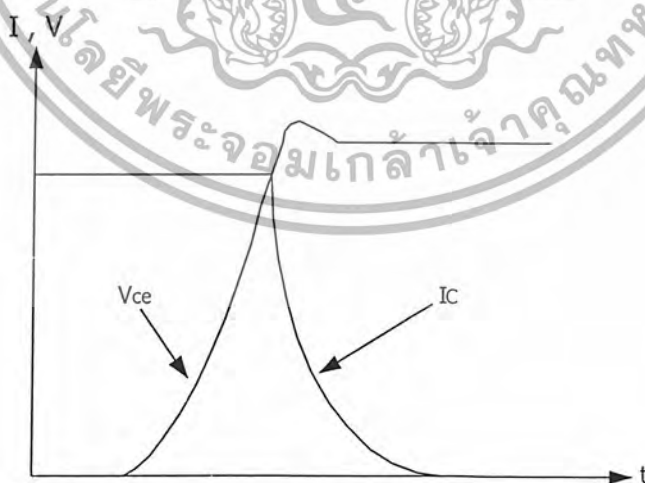
วงจรสับเบอร์เป็นวงจรส่วนที่มีความสำคัญส่วนหนึ่งในการสวิทซ์ซิ่งที่ความถี่สูง เนื่องจาก การสวิทซ์ซิ่งที่ความถี่สูงในช่วงแรงดันสูงจะเกิด สเปคัลโวลต์ที่แดง หรือกระแสสเปคัลทำให้อัตราการเพิ่ม

ของแรงดันต่อเวลา (dV/dt) และอัตราการเพิ่มกระแสต่อเวลา (dI/dt) เพิ่มขึ้นอย่างมาซึ่งอาจจะก่อ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เกิดความเสียหายต่อมอเตอร์กำลังในวงจรได้ จึงได้มีการนำเอาวงจรสับเบอ์มาใช้เพื่อที่จะลดค่าของ dV/dt และ di/dt ให้มีค่าน้อยลงพอที่วงจรจะทำงานได้โดยเพาเวอร์มอสเฟทไม่เกิดความเสียหาย

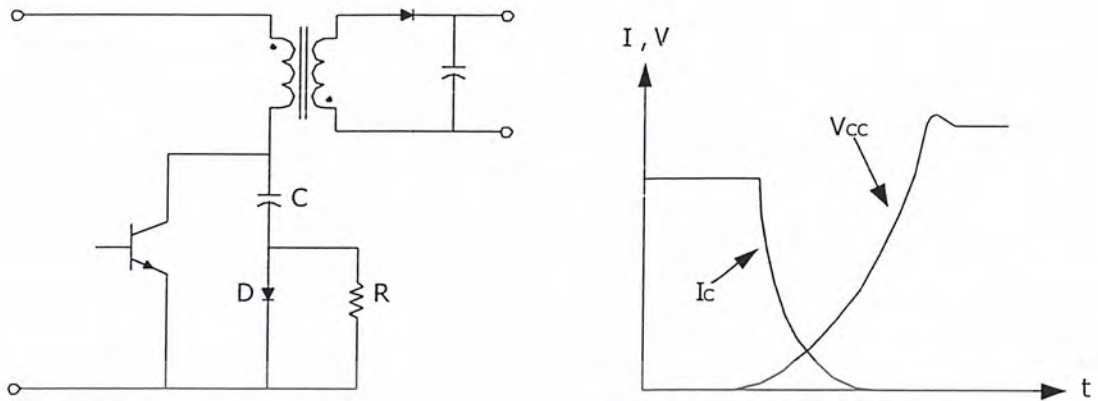
สำหรับวงจรสับเบอ์นั้นมีไว้เพื่อลดค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นที่มอสเฟทกำลัง เนื่องจากพลังงานที่สะสมอยู่ในรูปของสนามแม่เหล็กในขดลวด เมื่ออุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งหยุดการทำงาน (OFF) จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำศักดาไฟฟ้ากลับทิศในขดลวด ผลคือแรงดันส่วนนี้จะเข้าไปเสริมกับแหล่งจ่ายไฟ จึงทำให้ศักดาที่ตกคร่อมอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งนั้นพังได้ง่าย เราจึงควรต้องใช้อุปกรณ์ที่ช่วยป้องกันพลังงานที่สะสมอยู่ในขดลวดนั้นไม่ให้มีผลต่ออุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง ซึ่งก็คือการใช้สับเบอ์นั่นเอง และ สำหรับวงจร สับเบอ์นี้ไดโอดที่ใช้จะต้องเป็นไดโอดชนิดฟาสต์รีคัฟเวอรี่ ซึ่งเมื่อเกิดสไปคไดโอดจะเป็นทางผ่านความต้านทานออก ดังนั้นความต้านทานจะเป็นตัวกำหนดเวลาในการคายประจุซึ่งค่าผลคูณของความต้านทานและตัวเก็บประจุ (RC - time Constant) ถ้าค่าของ SRC น้อยกว่าเวลาในช่วงเปิด ของอุปกรณ์สวิตซ์จะทำให้ตัวเก็บประจุไม่มีประจุหลงเหลืออยู่ภายใน ซึ่งจะต่อคร่อมอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเพื่อช่วยในการจำกัด dv/dt

กำลังสูญเสียที่อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งจะเป็นไปได้ขณะเปลี่ยนการทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะหยุดนำกระแส ก่อนที่อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งจะหยุดนำกระแสในกระแจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้า ๆ ขณะที่แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นสู่ค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุตอย่างรวดเร็ว กำลังสูญเสียในรูปความร้อนช่วงนี้จะเกิดขึ้นได้สูง เพื่อลดกำลังสูญเสียในช่วงนี้อาจจะทำได้โดยการต่อวงจรสับเบอ์เข้ากับอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งเพื่อควบคุมแรงดันตกคร่อมที่คอลเลคเตอร์ และอิมิตเตอร์ ให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าจนกระทั่งกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งลดลงได้ทันกัน



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะการลดลงของกระแสและการกระเพื่อมขึ้นของแรงดันของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งขณะเริ่มหยุดนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงการต่อวงจรสับเบอร์ดัวยุคนำกระแสเพื่อหน่วงแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์สวิตซ์
ซึ่งให้เพื่อขึ้นอย่างช้า ๆ

การทำงานของวงจร RC สับเบอร์ดัวยุคนำกระแสจะเป็นดังนี้ เมื่ออุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง Q1 ยุคนำกระแส แรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้กระแสบางส่วนไหลผ่านตัวเก็บประจุ C1 และไดโอด D1 ของวงจรสับเบอร์ดัวยุคนำกระแสจะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม C1 ด้วย แรงดันที่ตกคร่อม C1 จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ขาคอลเล็กเตอร์ของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ดังนั้นถ้าให้ C1 มีค่ามากพอ การเพิ่มขึ้นของแรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์จะถูกหน่วงออกไปอีกเพื่อให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งลดลงมีค่าน้อยลงได้ทันกัน

ขณะที่อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งเริ่มนำกระแสอีกครั้ง C1 จะคายประจุผ่าน R1 แรงดันตกคร่อม C1 จะน้อยลงอีกครั้งและสามารถทำงานได้ในช่วงต่อไป

$$C_1 = \frac{I_{P(PK)} * t_{OFF}}{2V_m} \quad (3.2)$$

$$R_1 = \frac{t_{ON(min)}}{2 * 3C_1} \quad (3.3)$$

เมื่อ $I_{P(PK)}$ คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มยุคนำกระแสของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง

V_m คือ ค่าแรงดันอินพุตของคอนเวอเตอร์

t_{ON} คือ ช่วงเวลานำกระแสของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง

t_{OFF} คือ ช่วงเวลาหยุดนำกระแสของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง

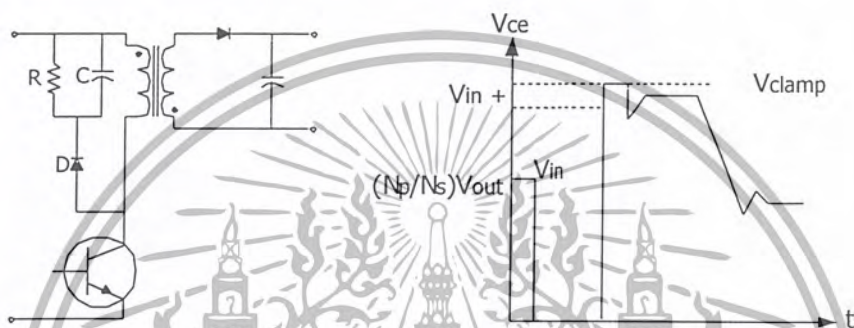
การคายประจุของ C1 ทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียในตัว R1 สูง ตัวต้านทาน R1 จะต้องทนกำลังได้สูง โดยค่า R1 อาจหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_D = \frac{C_1(2V_{in})^2}{2T} \tag{3.4}$$

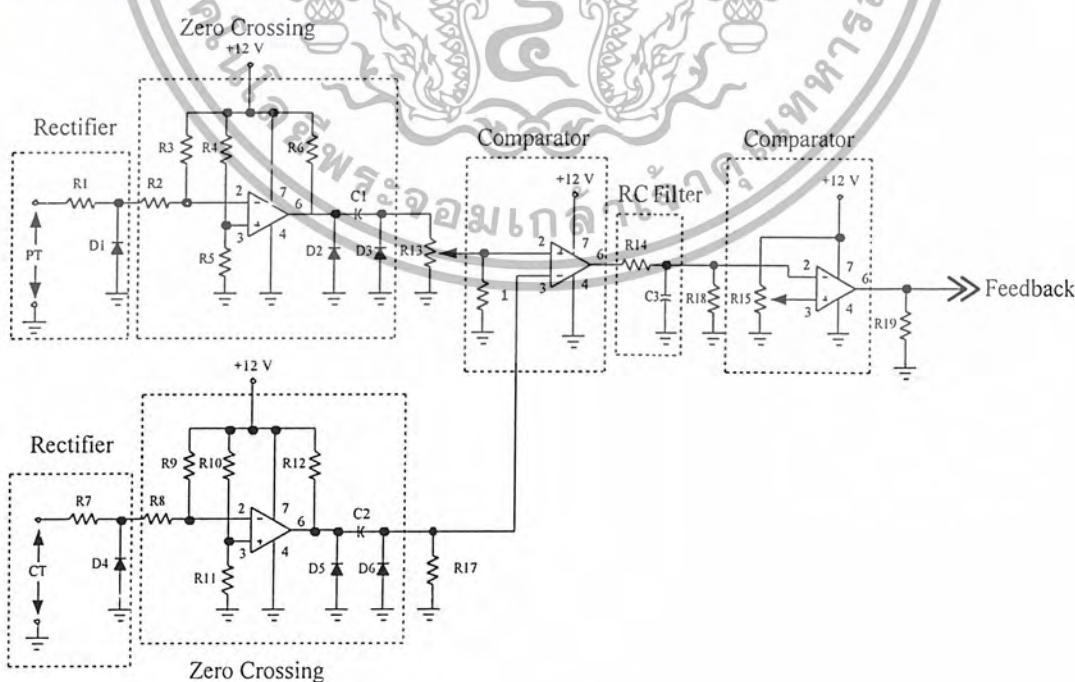
เมื่อ T คือ คาบเวลาการทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง
 วงจรสับเบอ์ป้องกันแรงดันเกิน

ปรกติกการพังเสียหายของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งขณะทำงาน มักมีสาเหตุจากการทำงานเกินพิกัดแรง
 ดันไฟฟ้าสไปค์ขณะหยุดนำกระแส โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฟลายแบค และ ฟอ์เวิร์ดอินเวอร์เตอร์ มักทำ
 ให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง ขณะเริ่มหยุดนำกระแสมีค่าสูงเกินค่าแรงดันสูงสุดที่มันทนได้
 และเกิดการพังเสียหายขึ้น วงจรสับเบอ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินจึงมีหน้าที่ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสไปค์
 ที่เกิดขึ้น การต่อวงจร RCD สับเบอ์เพื่อป้องกันแรงดันเกินทำได้ดังรูป 3.6



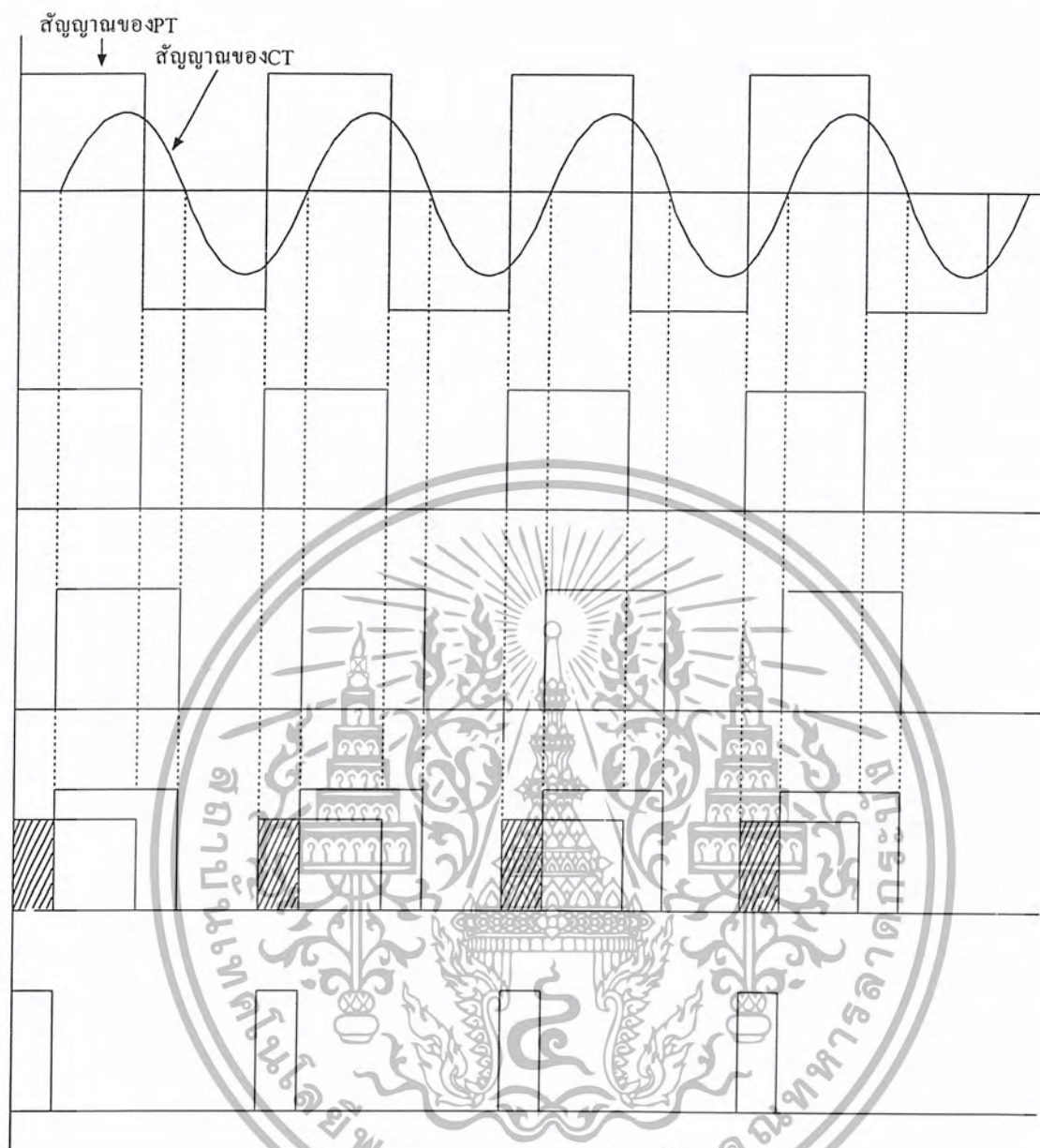
รูปที่ 3.6 แสดงการต่อสับเบอ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินเพื่อจำกัดค่ากระแสสูงสุดที่ตกคร่อม
 อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งขณะเริ่มหยุดนำกระแส

3.5 วงจรควบคุมป้อนกลับป้องกันกระแสเกิน



รูปที่ 3.7 แสดงรูปวงจรควบคุมป้อนกลับป้องกันกระแสเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะสัญญาณแรงดันและกระแสของวงจรควบคุมเพื่อกลับป้องกันกระแสเกิน

จากรูปคลื่นสัญญาณของหม้อแปลงแรงดัน(Potential Transformer) และ หม้อแปลงกระแส (Current Transformer) ซึ่งเป็นค่าสัญญาณที่วัดที่ด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ เมื่อนำมาผ่านชุดวงจรรีคตีไฟร์เพื่อเรียงกระแสจะทำให้รูปคลื่นสัญญาณในช่วงลบหายไป จากนั้นจะผ่านชุดวงจรซีโรครอสซิง (Zero Crossing) ซึ่งจะมีผลให้รูปคลื่นสัญญาณช่วงที่มีค่ามากกว่าศูนย์กลายเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม(Square Wave) เมื่อได้สัญญาณสี่เหลี่ยมทั้งของหม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแสแล้ว สัญญาณที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกัน โดยที่สัญญาณของหม้อแปลงแรงดันจะถูกลดลงโดยความต้านทาน R13 ค่ารูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบจะยังไม่สามารถนำมาใช้งานได้ สัญญาณจะถูกเฉลี่ยให้ราบเรียบโดยวงจร RC-Filter และจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าสัญญาณอ้างอิงอีกครั้ง ถ้าค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณมีค่าต่ำกว่าค่าสัญญาณอ้างอิง จะได้ค่าสัญญาณเป็นแรงดันบวก 12 โวลต์ไปทรินมอสเฟต IRF510 ซึ่งต่ออยู่ที่ขา 6 ของไอซีเบอร์ TL494 ให้ทำงาน โดยจะต่ออยู่น้ำความต้านทานที่ใช้ในการปรับความถี่ละเอียด จะส่งผลให้ค่าความถี่สวิทซ์ซิ่งของวงจรรินเวอร์เตอร์สูงขึ้น ทำให้มุมของกระแสและแรงดันห่างกันมากขึ้น สามารถอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$$f = \frac{1}{1.1R_T C_T} \quad (3.5)$$

โดยที่ f คือ ความถี่สวิทซ์ซิ่งของเพาเวอร์มอสเฟต
 R_T คือ ค่าความต้านทานรวมที่ต่ออยู่กับขา 6 ของไอซีเบอร์ TL494
 C_T คือ ค่าคาปาซิแตนซ์ที่ต่ออยู่กับขา 5 ของไอซีเบอร์ TL494

แต่ถ้าค่าสัญญาณที่นำมาเปรียบเทียบมีค่าสูงกว่าค่าสัญญาณอ้างอิง จะไม่มีสัญญาณไปทรินมอสเฟตให้ทำงาน แสดงถึงว่ามุมระหว่างกระแสและแรงดันยังอยู่ในช่วงที่อุปกรณ์สวิทซ์ซิ่งสามารถทำงานได้อย่างปลอดภัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ส่วนประกอบของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง

หลักการของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆคือ

- 1.) วงจรควบคุม
- 2.) วงจรกำลัง

4.1 ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์

ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณและจะส่งสัญญาณที่สร้างนั้นไปควบคุมการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตในวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์สัญญาณพัลส์ที่ถูกสร้างขึ้นนี้จะมีขนาด 12 โวลท์ จะส่งไปที่ขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟต สัญญาณควบคุมจะมีอยู่ 4 สัญญาณเพื่อควบคุมการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตแต่ละตัวการควบคุมแบบนี้จะทำให้สามารถควบคุมความถี่ของสัญญาณที่ส่งไปยังฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ได้ ทำให้สามารถควบคุมกำลังเอาต์พุตของฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ได้อีกด้วย



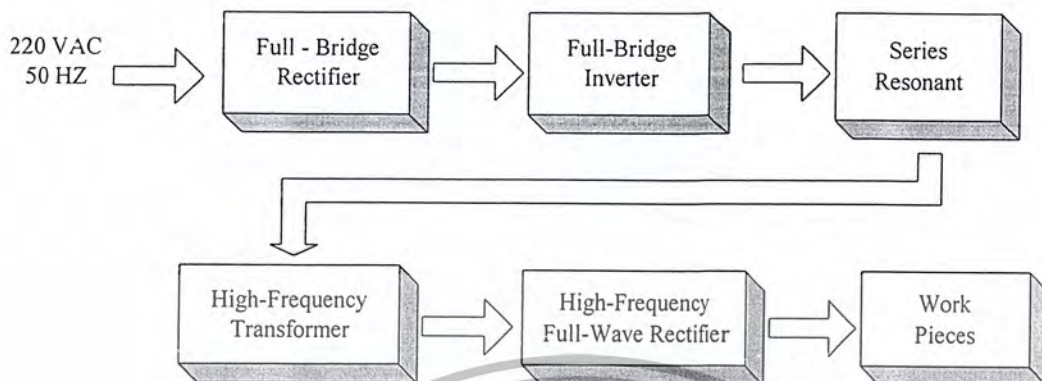
รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุมการชดเชยของมอสเฟต

4.2 วงจรกำลัง

วงจรกำลังเป็นวงจรที่มีกระแสและแรงดันสูงทำหน้าที่ถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าจากด้านอินพุต 220 VAC 50 HZ ไปยังชิ้นงานที่ทำการเชื่อมโดยจะใช้วงจร ดิซี – ดิซี คอนเวอร์เตอร์แบบซิงรีรีโซแนนท์ หลักการทำงานพื้นฐานคือรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220VAC 50 HZ แปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรฟูลบริดจ์เร็คติไฟร์ นำแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนี้จ่ายให้กับอินพุตฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ สำหรับฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์จะเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ที่ความถี่สูง จะใช้เพาเวอร์มอสเฟต เพราะสามารถทำหน้าที่เป็นสวิตช์ที่ความถี่สูงได้ดี เมื่อผ่านวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์แล้วสัญญาณที่ได้ทางด้านเอาต์พุตจะเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม ส่วนสัญญาณกระแสจะขึ้นอยู่กับความถี่ที่เพาเวอร์มอสเฟต จากนั้นนำแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าผ่านวงจรรีโซแนนท์ที่ประกอบด้วยตัวคาปาซิเตอร์และตัวอินดักเตอร์ไปยังหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้ได้ตามที่ต้องการจากนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังต่อไปนี้ยังชุดเรกติไฟร์แบบฟูลเวฟเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงต่อไปยังหัวเชื่อมเพื่อทำการเชื่อมชิ้นงาน



รูปที่ 4.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรกำลัง

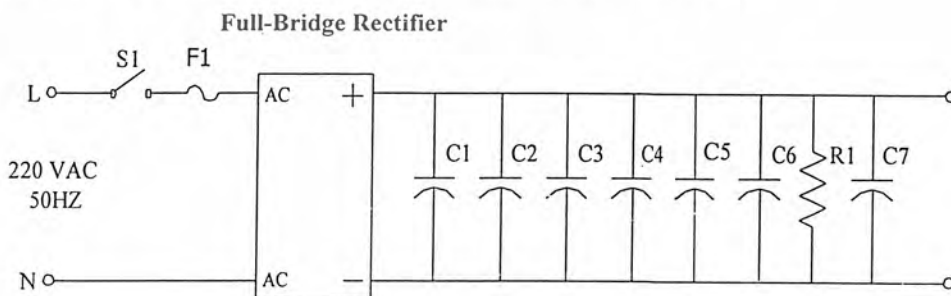
4.3 ส่วนประกอบของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วยส่วนต่างๆ 7ส่วนคือ

- 1.) วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์(Bridge Rectifier)
- 2.) วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์(Full-Bridge Inverter)
- 3.) ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์(Control Inverter)
- 4.) ชุดรีโซแนนท์(Resonant Tank)
- 5.) หม้อแปลงความถี่สูง(High Frequency Transformer)
- 6.) วงจรเรียงกระแสแบบฟูลเวฟ(High Frequency Full-Wave Rectifier)
- 7.) วงจรควบคุมป้องกันป้องกันกระแสเกิน

4.3.1 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์(Bridge Rectifier)

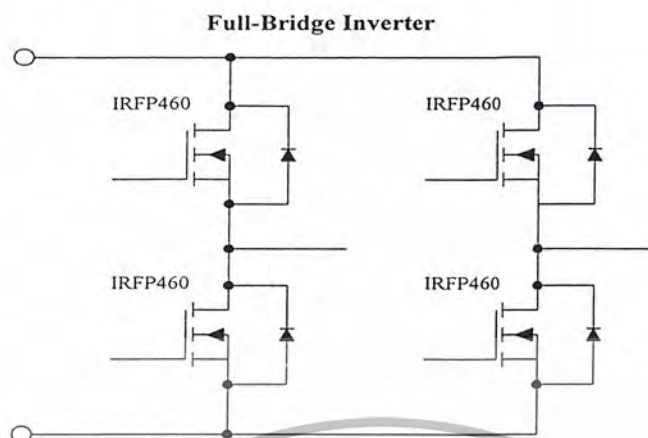
วงจรเรียงกระแส(Rectifier)ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220V 50 HZ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 310V โดยใช้ไดโอดเรียงกระแสแบบบริดจ์(Bridge Rectifier)



รูปที่ 4.3 วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 วงจรอินเวอร์เตอร์(Inverter)



รูปที่ 4.4 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์

เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงในโครงการนี้ ใช้เฟลเวอรัมอสเฟตเบอร์ IRFP460 เป็นอุปกรณ์ สวิตช์ที่ความถี่สูง เพราะสามารถทำงานที่ความถี่สูงได้ดี ทนทานกระแสไฟฟ้าได้สูงในราคาที่เหมาะสม ซึ่งสามารถทนแรงดันไฟฟ้าระหว่างขา drain และขา source ได้ 50Vdc และกระแสไหลผ่านขา drain และขา source ได้ 20 แอมป์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หรือ 13แอมป์ที่ 100 องศาเซลเซียส ในโครงการนี้เราใช้การขนานมอสเฟตเพื่อช่วยในการจ่ายกำลังงานได้สูงขึ้นซึ่งจะทำให้สามารถทำการเชื่อมเหล็ก ในขนาดที่ใหญ่ขึ้นได้

4.3.3 ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์(Control Inverter)

ส่วนประกอบของชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์มีอยู่ 3 ส่วนคือ

4.3.3.1 วงจรเรกกูเรเตอร์(Regulater Circuit)

วงจรเรกกูเรเตอร์จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับวงจรควบคุมทั้งหมดเป็นวงจรอย่างง่ายคือใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแปลงระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220V ลงมาเหลือ 18V จากนั้นนำแรงดัน 18V ไปเรกติไฟร์แบบบริดจ์เพื่อแปลงเป็นแรงดันกระแสตรงให้คงที่ จะใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์ 7812 เป็นตัวรักษาระดับแรงดัน ก่อนที่จะจ่ายให้กับ TL494 ทางด้านอินพุตและเอาต์พุตของไอซีเรกกูเลเตอร์จะต่อคาปาซิเตอร์ไว้เพื่อกรองสัญญาณให้เรียบ

4.3.3.2 วงจรควบคุม(Control Circuit)

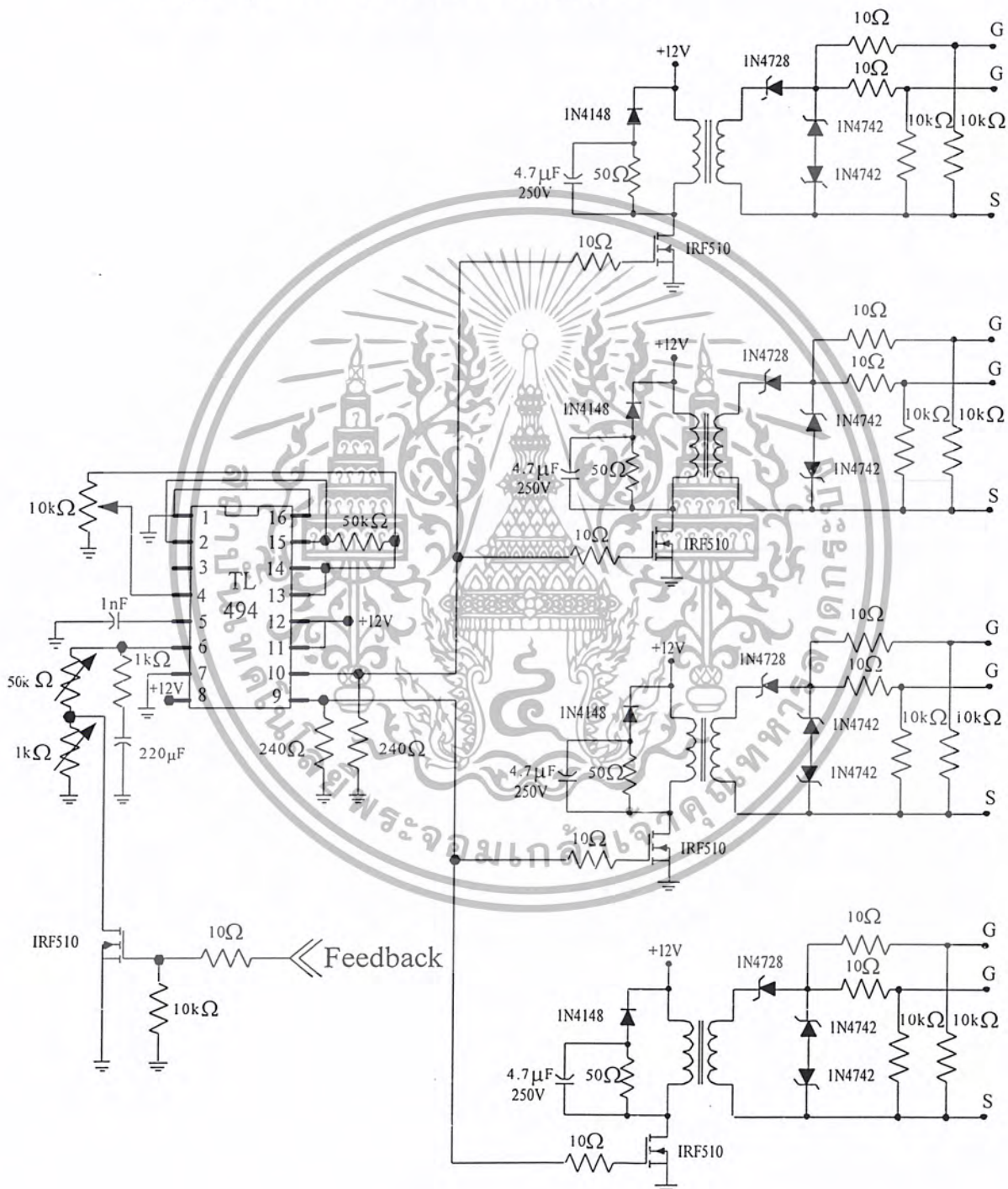
วงจรควบคุมจะทำหน้าที่ในการกำเนิดสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) ซึ่งสัญญาณนี้จะนำมาใช้ในการขับขาเกทของวงจรมอสเฟต โดยในงานวิจัยนี้ใช้ไอซีเบอร์ TL494 เป็นไอซี 16 ขา ในการสร้างสัญญาณ การควบคุมความถี่สามารถปรับได้โดยปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ที่ขา 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.3 วงจรขับ(Drive Circuit)

สัญญาณพัลส์ที่ได้จากชุดควบคุมจะนำมาต่อเข้ากับวงจรชุดขับ โดยวงจรชุดขับนี้เราจะใช้หม้อแปลงแยกกราวด์ของสัญญาณทั้ง 4 สัญญาณจากชุดควบคุมให้เป็นอิสระต่อกันและมีชุดสับเบอร์เพื่อป้องกันแรงดันสไปค์ของแรงดัน

วงจรชุดควบคุมและวงจรชุดขับสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 ชุดรีโซแนนซ์(Resonant Tank)

ชุดรีโซแนนซ์มีหน้าที่ทำให้เกิดสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นรูปไซน์เวฟที่มีความถี่ใช้งาน ถ้าต้องการให้สามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สูงที่สุดจะต้องทำให้ความถี่สวิตช์มีค่ามากกว่าความถี่รีโซแนนซ์เล็กน้อยจะทำให้มีค่าความสูญเสียที่สวิตช์ (เพาเวอร์มอสเฟต) มีค่าน้อยที่สุด ชุดรีโซแนนซ์ที่ใช้จะใช้คาปาซิเตอร์และอินดักเตอร์อนุกรมกัน

แกนที่นำมาใช้ทำอินดักเตอร์จะใช้แกนเฟอร์ไรต์เพราะมีจุดอิ่มตัวของฟลักซ์แม่เหล็กสูงและเกิดการสูญเสียต่ำที่ความถี่สูงสามารถเก็บพลังงานได้มากกว่าแกนเหล็กธรรมดา ถ้านำมาใช้ที่ความถี่สูงขนาดของแกนเฟอร์ไรต์ที่ใช้ทำอินดักเตอร์ความถี่นี้จะใช้แกนเฟอร์ไรต์ขนาด EE-80 1 คู่

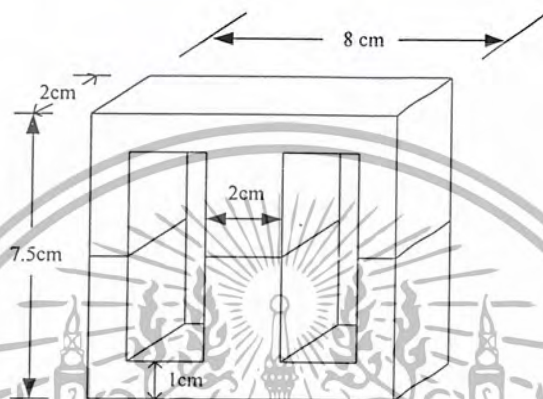


รูปที่ 4.7 ขนาดของแกนเฟอร์ไรต์ที่ใช้ทำอินดักเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 หม้อแปลงความถี่สูง(High Frequency Transformer)

หม้อแปลงความถี่สูงจะใช้ แกนเฟอร์ไรต์ เพราะมีจุดอิ่มตัวของฟลักซ์แม่เหล็กสูงและเกิดความสูญเสียต่ำที่ความถี่สูง ทำหน้าที่ส่งผ่านพลังงานจากชุดอินเวอร์เตอร์ไปยังโหลดซึ่งในการเลือกต้องมีการกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่ยอมรับให้เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงขณะทำงาน ขนาดของแกนเฟอร์ไรต์ที่ใช้ทำหม้อแปลงความถี่สูงนี้ ใช้แกนเฟอร์ไรต์ขนาด EE-80 จำนวน 1 คู่



รูปที่ 4.8 ขนาดแกนเฟอร์ไรต์ที่ใช้ทำหม้อแปลงความถี่สูง

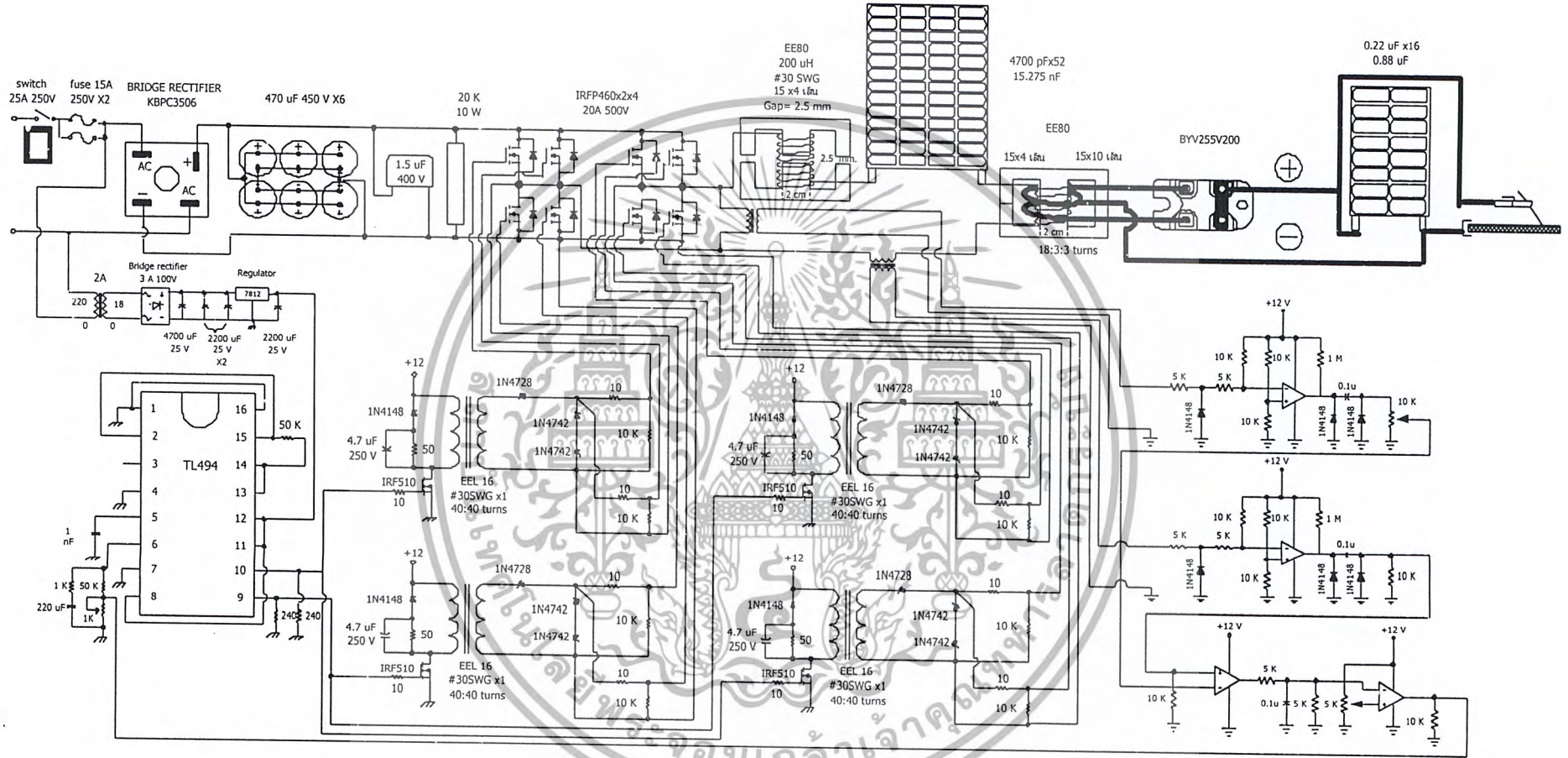
4.3.6 วงจรเรียงกระแสแบบฟูลเวฟที่ความถี่สูง(High Frequency Full-Wave Rectifier)

วงจรเรกติไฟร์ด้านเอาต์พุตจะใช้ ไดโอดแบบฟาสต์รีฟเวอรี่เพราะสามารถทำงานที่ความถี่สูงได้ดี วงจรจะเป็นแบบฟูลเวฟเรกติไฟเออร์

4.3.7 วงจรควบคุมป้อนกลับป้องกันกระแสเกิน

เป็นวงจรที่สร้างขึ้นมาเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์สวิตซ์ซิ่งของอินเวอร์เตอร์ ลักษณะของวงจรสามารถดูได้จากรูปที่ 3.7 โดยจะอาศัยหลักการของการเปรียบเทียบสัญญาณของหม้อแปลงกระแส(Current Transformer) และ หม้อแปลงแรงดัน(Potential Transformer) ที่ด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ แล้วส่งสัญญาณป้อนกลับไปควบคุมค่าความถี่ที่ขา 6 ของไอซีเบอร์ TL494 เพื่อป้องกันไม่ให้หม้อของกระแสนำหน้ามุมของแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



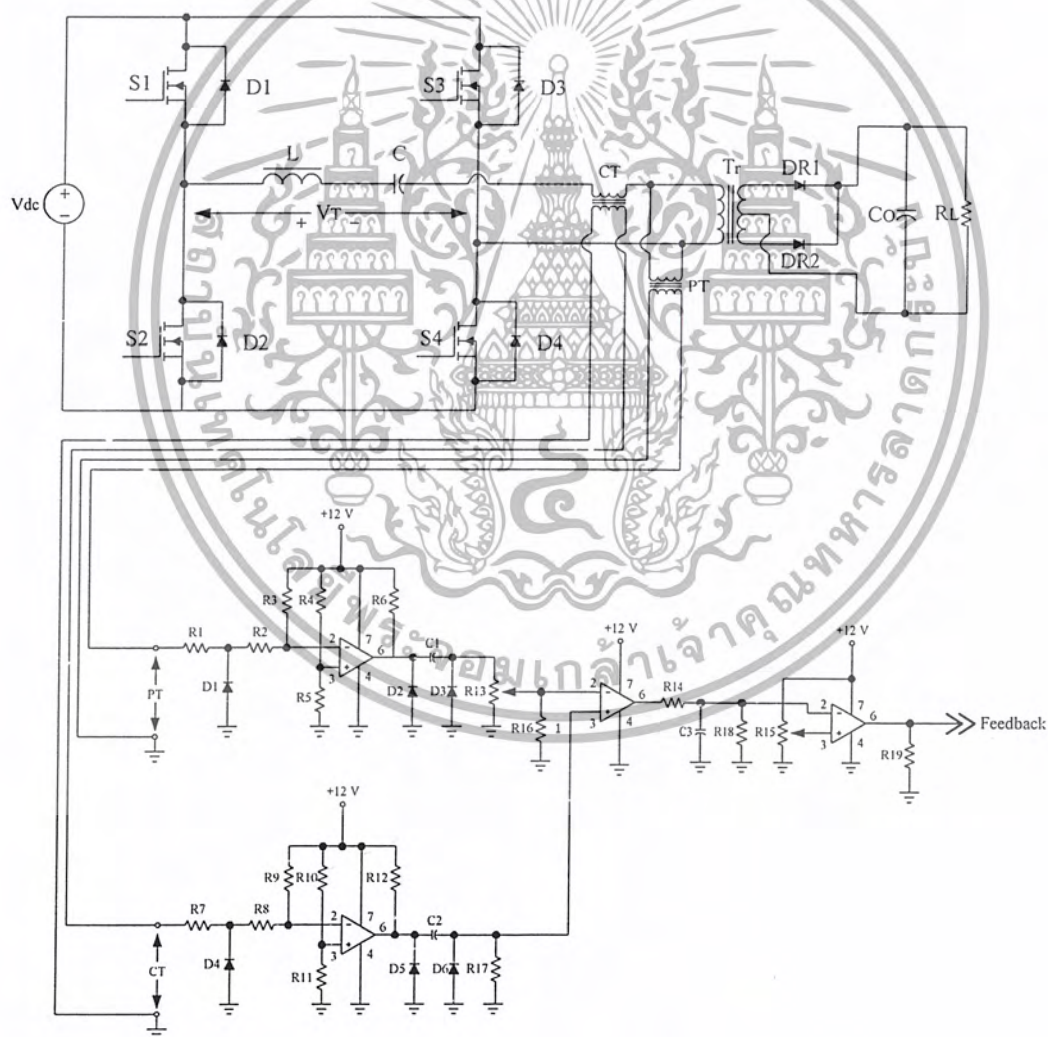
รูปที่ 4.9 แสดงวงจรรวมของเครื่องเชื่อมอเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

จากทฤษฎีและหลักการที่นำเสนอในข้างต้น ได้วิจัยและออกแบบเป็นเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นซึ่งประกอบไปด้วยวงจรในภาคต่าง ๆ ในบทนี้จะทำการวัดค่าที่จุดต่างๆและทดสอบการเชื่อมที่ตัวแปรต่างๆโดยมีอุปกรณ์การทดสอบดังนี้

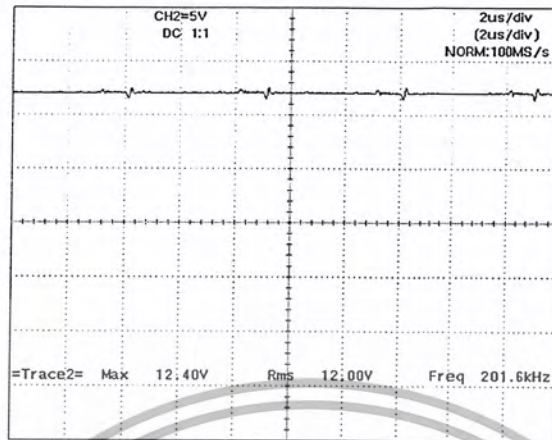
- | | |
|----------------------------|-----------|
| 1.) storage scope yogokawa | 1 เครื่อง |
| 2.) สาย probe 1 x 10 | 1 เส้น |
| 3.) สาย probe 1 x 100 | 1 เส้น |



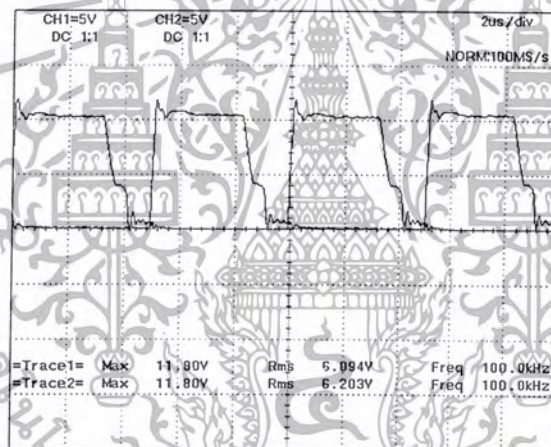
รูปที่ 5.1 วงจรของเครื่องเชื่อมไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

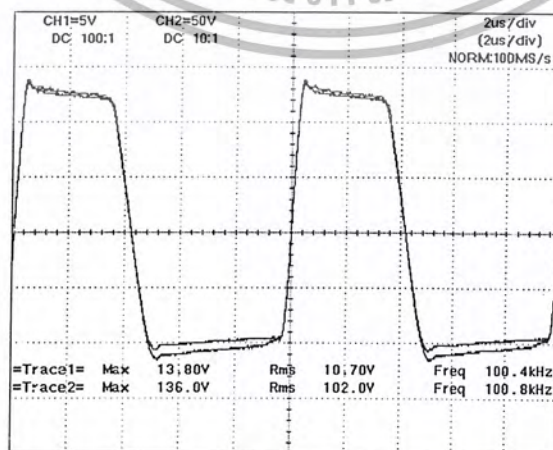
5.1 การวัดค่าสัญญาณที่จุดต่างๆของเครื่องเชื่อม



รูปที่ 5.2 แสดงสัญญาณแรงดันไฟตรงที่จ่ายให้กับวงจรควบคุม

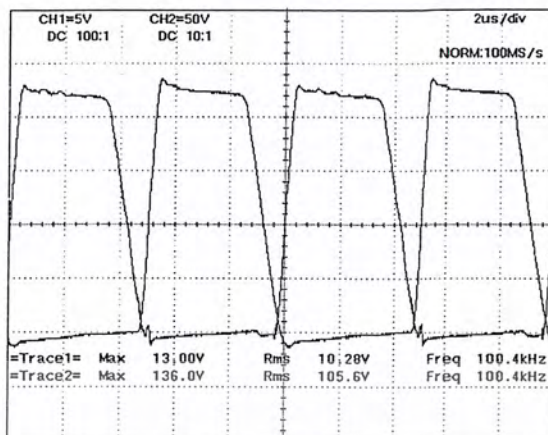


รูปที่ 5.3 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของไอซี TL 494

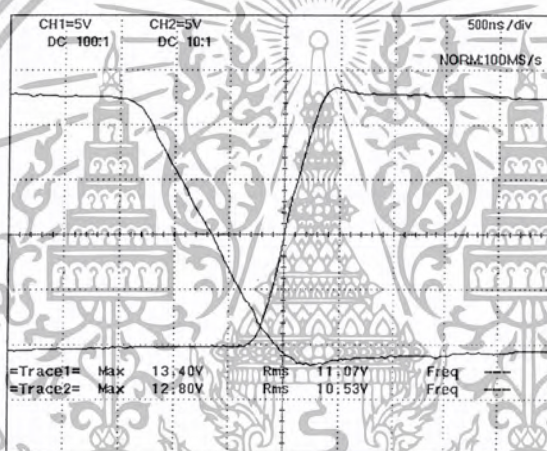


รูปที่ 5.4 แสดงรูปสัญญาณอินเฟลที่วัดที่ขาเกตและซอร์ซ (Q1Q4 กับ Q2Q3)

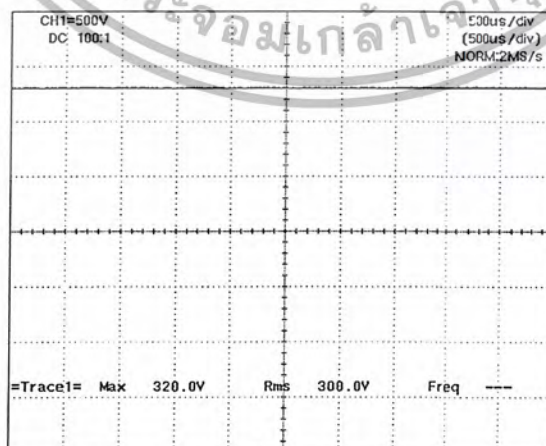
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตเฟสที่วัดที่ขาเกตและซอร์ซ (Q1Q4 กับ Q2Q3)

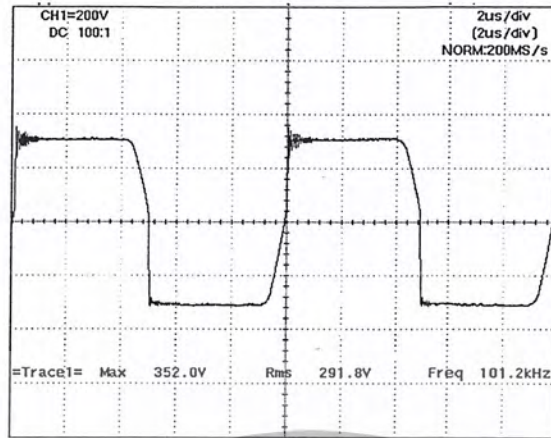


รูปที่ 5.6 แสดงรูปสัญญาณเดทไทม์ของสัญญาณขับเกต

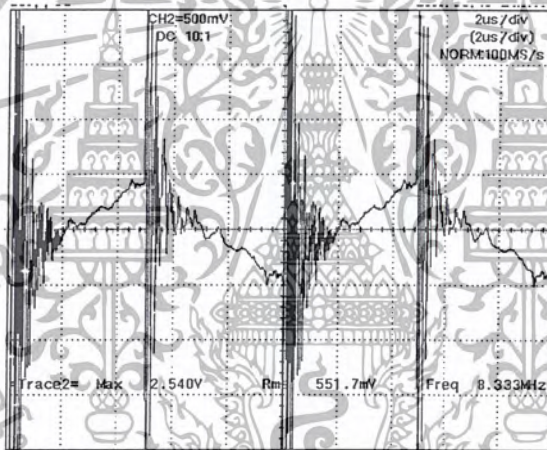


รูปที่ 5.7 แสดงสัญญาณแรงดันเอาต์พุตของชุดเรกติไฟร์

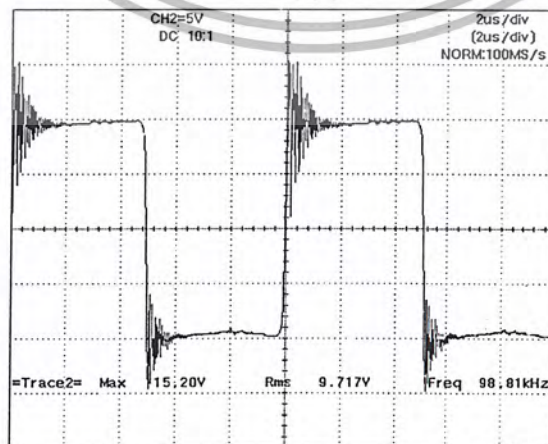
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 แสดงสัญญาณแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะเปิดวงจร

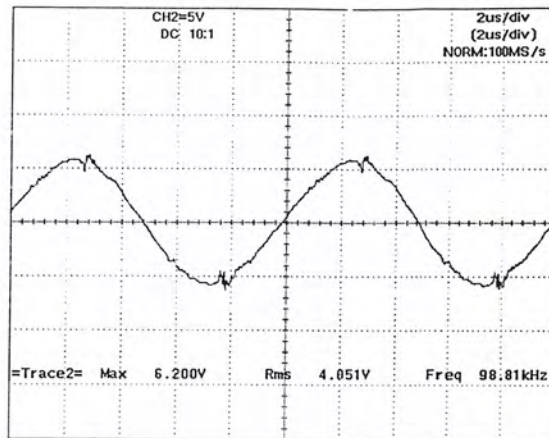


รูปที่ 5.9 แสดงสัญญาณกระแสเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะเปิดวงจร

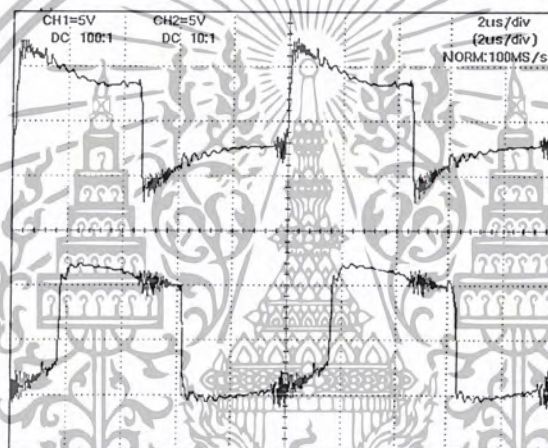


รูปที่ 5.10 แสดงสัญญาณของ PT

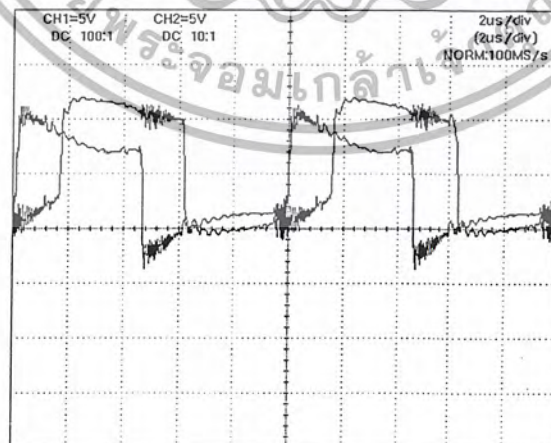
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 แสดงสัญญาณของ CT

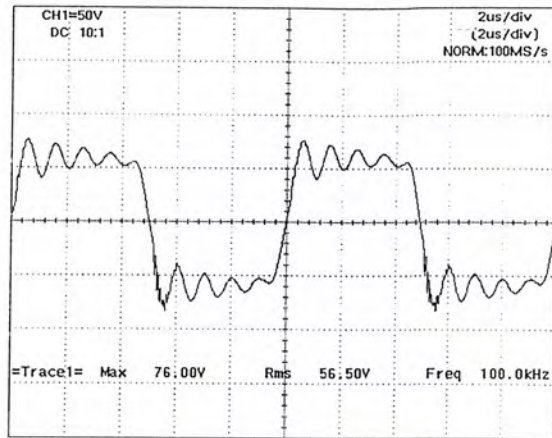


รูปที่ 5.12 แสดงสัญญาณของ PT และ CT เมื่อผ่านวงจรซีโรครอสซิง

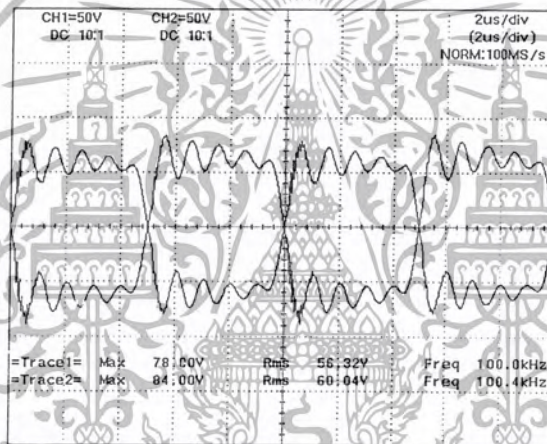


รูปที่ 5.13 แสดงสัญญาณของ PT และ CT ขณะนำมาเปรียบเทียบกัน

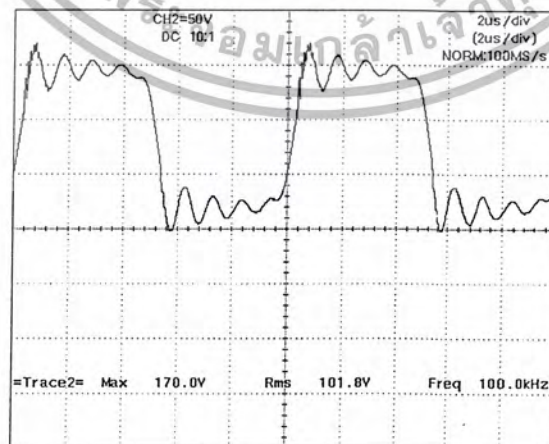
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของหม้อแปลง

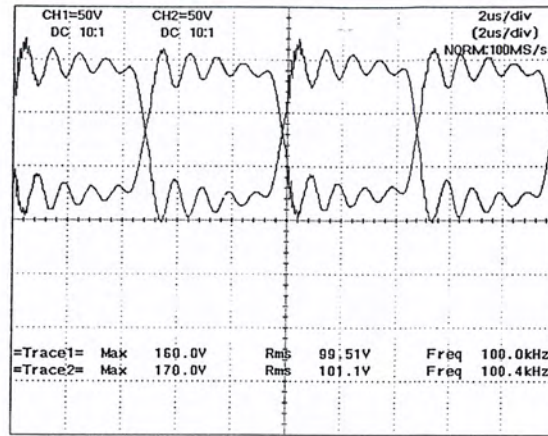


รูปที่ 5.15 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของหม้อแปลงขณะที่วัดแต่ละจุดเทียบกับเซ็นเซอร์แท๊ป

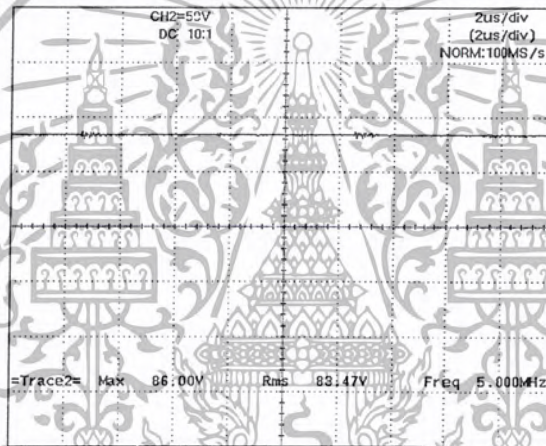


รูปที่ 5.16 แสดงสัญญาณแรงดันตกคร่อมไดโอดแต่ละตัว

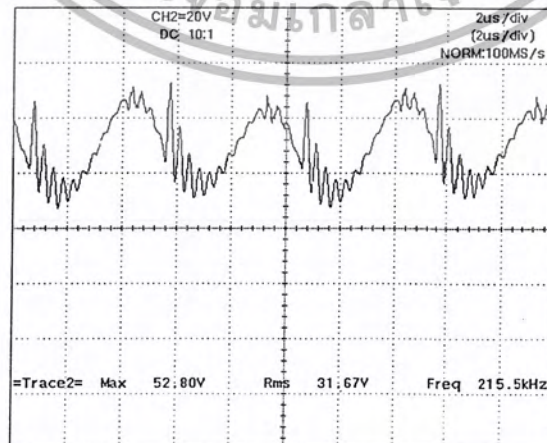
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 แสดงสัญญาณแรงดันตกรวมไดโอดในขณะที่ทำงานไม่พร้อมกัน



รูปที่ 5.18 แสดงสัญญาณแรงดันที่หัวเชื่อมขณะเปิดวงจร



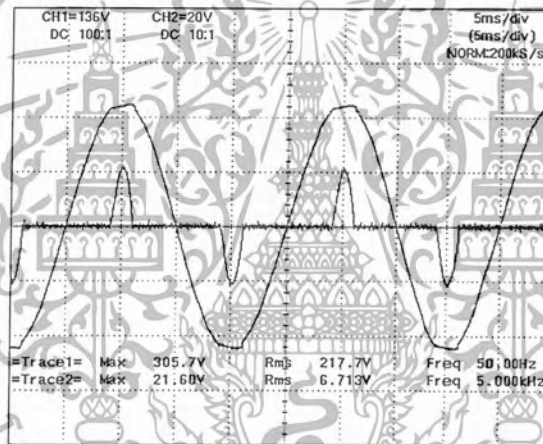
รูปที่ 5.19 แสดงสัญญาณแรงดันที่หัวเชื่อมขณะทำการเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

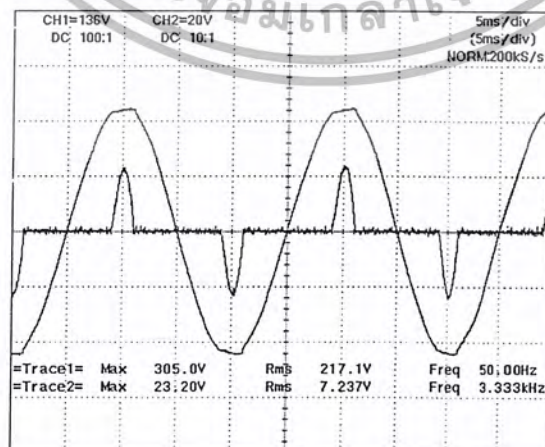
5.2 การเปลี่ยนความถี่ในการเชื่อม

การทดลองนี้เป็นการหาค่าความสัมพันธ์ของกระแสขณะเชื่อม, แรงดันขณะเชื่อม, มุมต่างเฟสของความถี่หลัก, ค่าความต้านทานสมมูล, ค่าอินดักเตอร์สมมูลและค่าความผิดพลาดของสัญญาณกับขนาดเหล็กที่ความถี่ต่างๆ และหาค่าความถี่ที่ต่ำสุดและสูงสุดที่สามารถเชื่อมเหล็กได้ ซึ่งทดลองโดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 2.6 มิลลิเมตร ทดลองเชื่อมที่หัวเชื่อมขั้วบวก (ซึ่งจะใช้ขั้วบวกทุกการทดลอง) โดยเชื่อมเหล็กตั้งแต่ขนาด 1.0 , 2.0 , 2.5 , 3.0 , 3.5 , 4.5 , 6.0 มิลลิเมตร ตั้งแต่ย่านความถี่ต่ำสุดที่สามารถเชื่อมได้ถึงจุดสูงสุดที่คาดว่าเครื่องเชื่อมจะจ่ายกำลังที่จะทำให้เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงนี้ทำการเชื่อมเหล็กที่นำมาทดลองได้ จุดที่ทำการวัดสัญญาณจะวัดที่จุดอินพุตของเครื่องเชื่อมและจุดเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ โดยที่วัดทั้งสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดัน

5.2.1 การวัดค่าสัญญาณอินพุตของเครื่องเชื่อมขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ต่างๆ

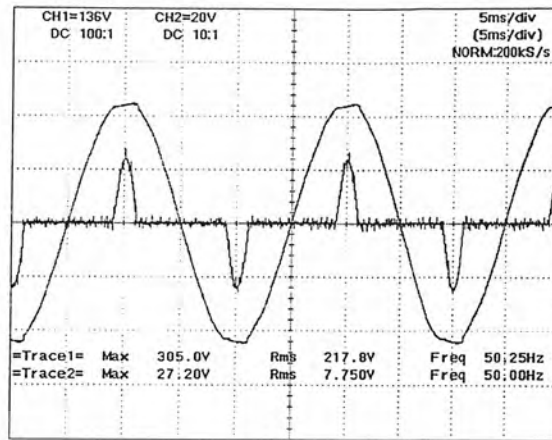


รูปที่ 5.20 แสดงสัญญาณอินพุตของเครื่องเชื่อมขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 105 kHz

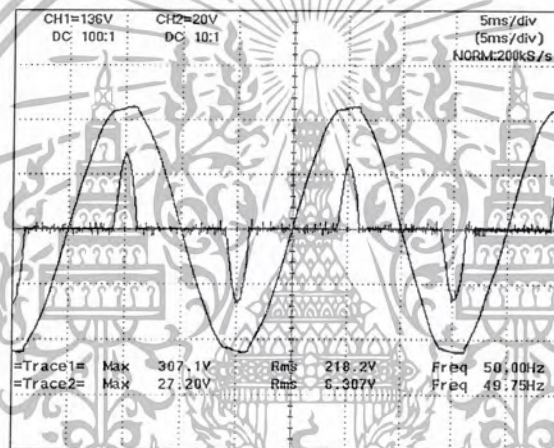


รูปที่ 5.21 แสดงสัญญาณอินพุตของเครื่องเชื่อมขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 104 kHz

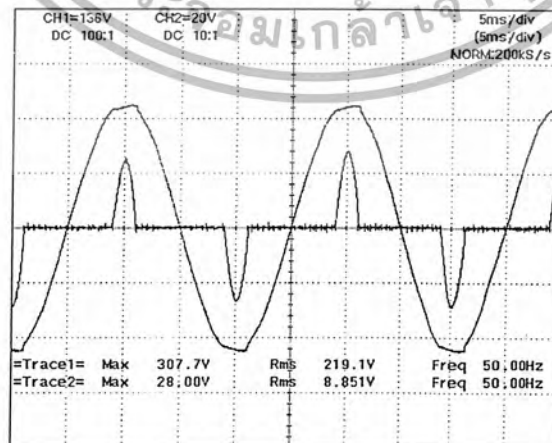
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 แสดงสัญญาณอินพุตของเครื่องเชื่อมขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 103 kHz

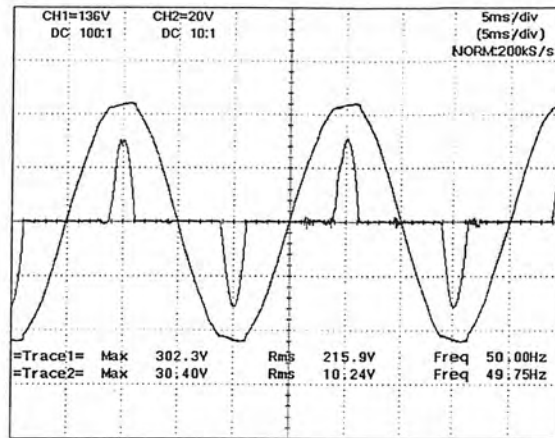


รูปที่ 5.23 แสดงสัญญาณอินพุตของเครื่องเชื่อมขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 102 kHz

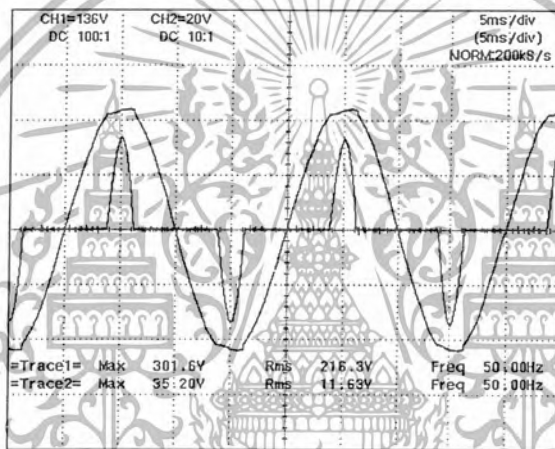


รูปที่ 5.24 แสดงสัญญาณอินพุตของเครื่องเชื่อมขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 101 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

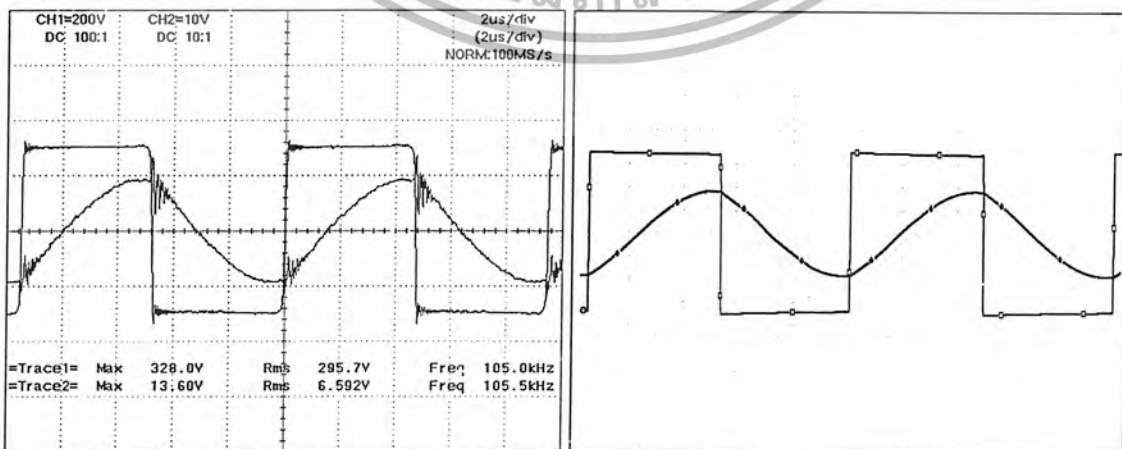


รูปที่ 5.25 แสดงสัญญาณอินพุตของเครื่องเชื่อมขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 100 kHz



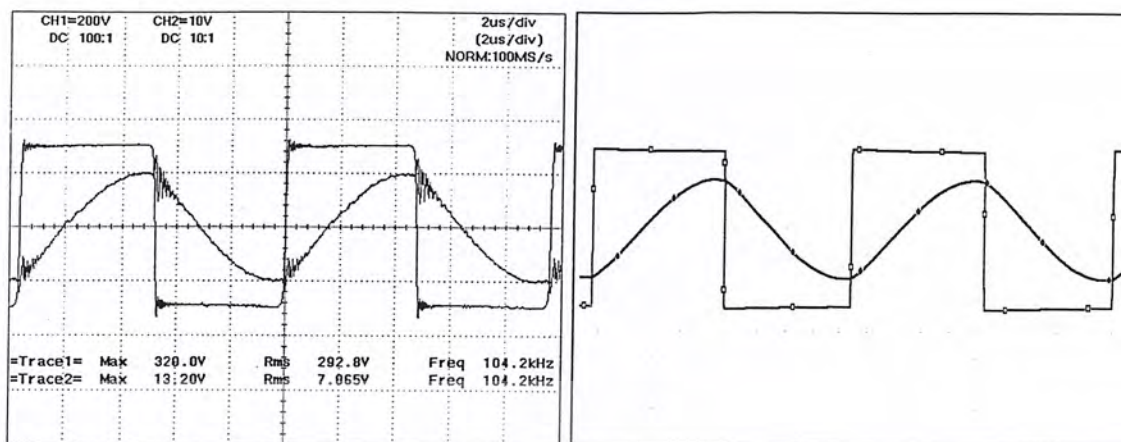
รูปที่ 5.26 แสดงสัญญาณอินพุตของเครื่องเชื่อมขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 99 kHz

5.2.2 การวัดค่าสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ต่างๆเทียบกับการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Orcad

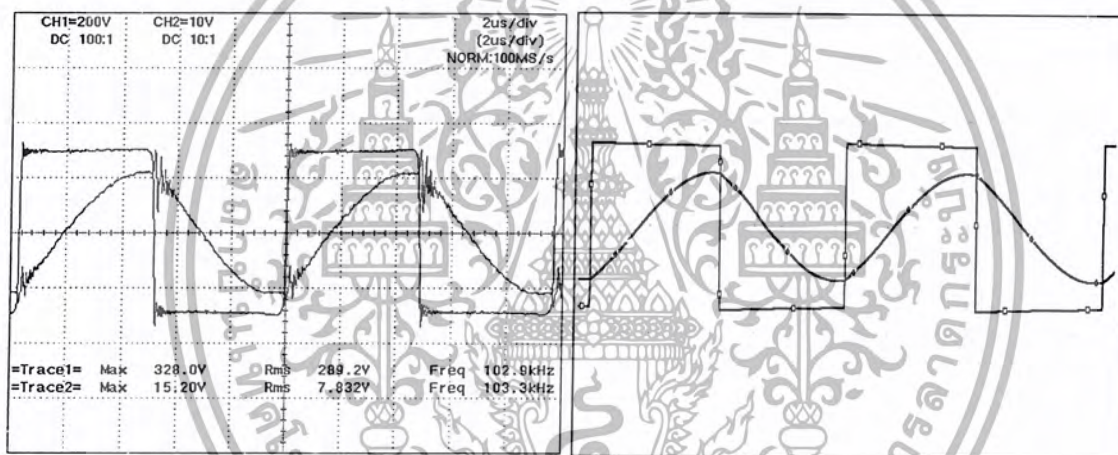


รูปที่ 5.27 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 105 kHz

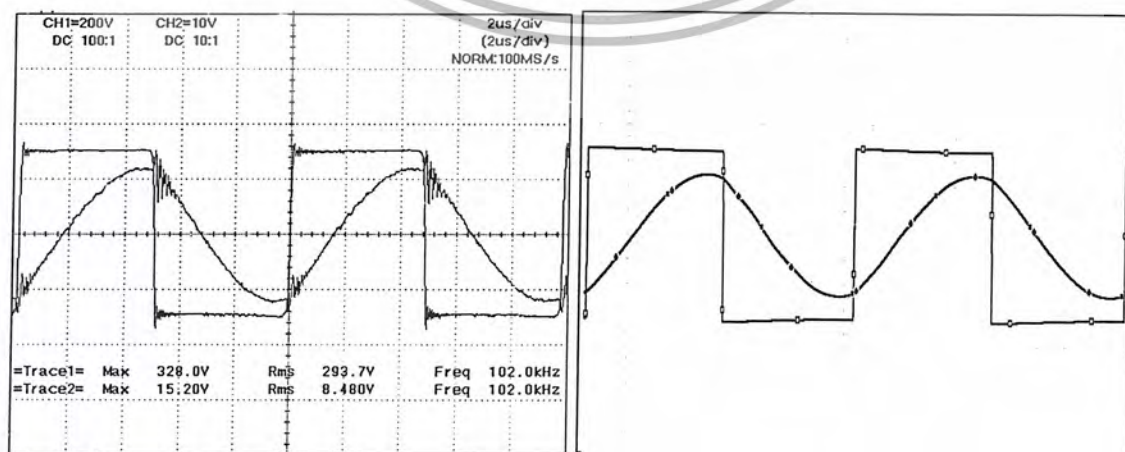
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



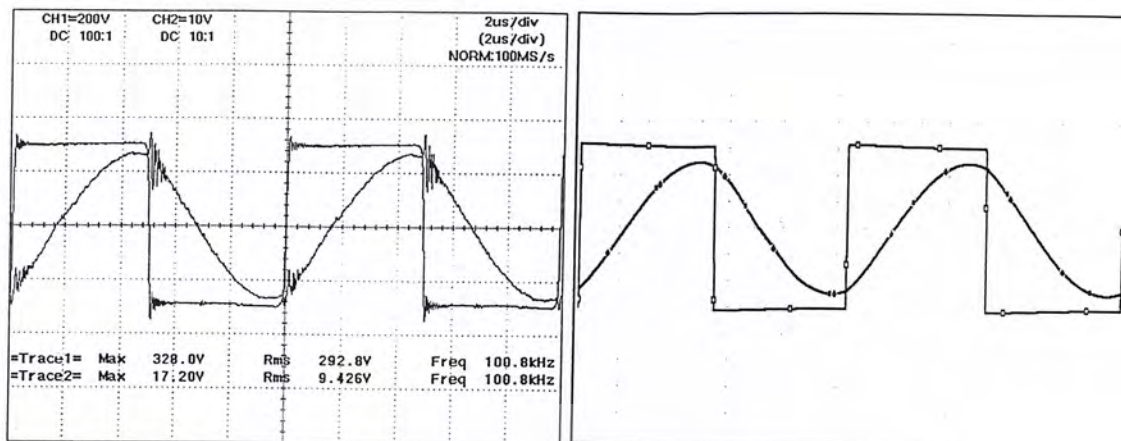
รูปที่ 5.28 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 104 kHz



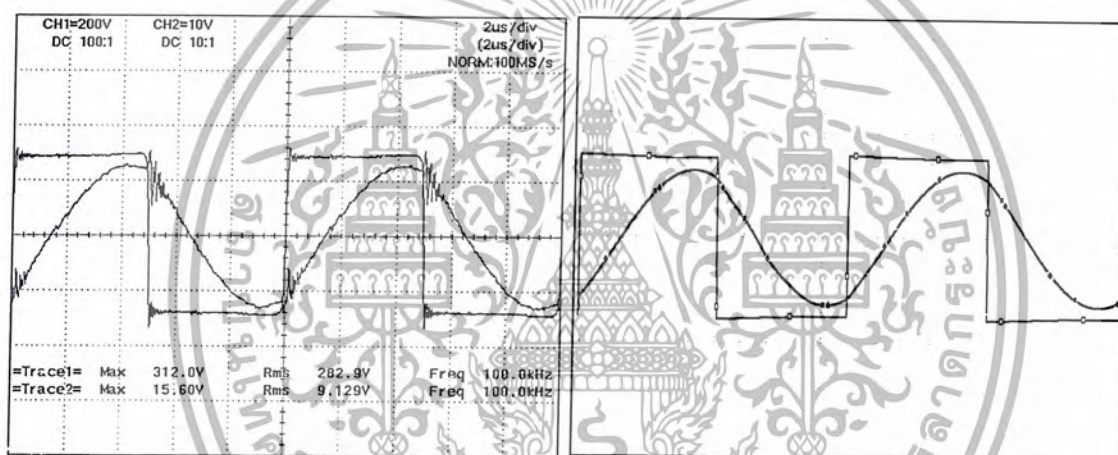
รูปที่ 5.29 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 103 kHz



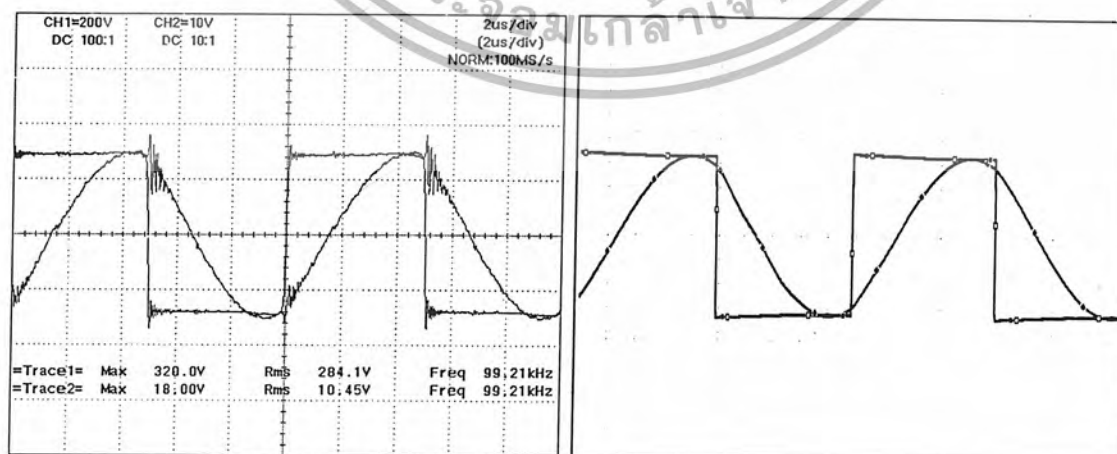
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการเชื่อมที่ความถี่ 102 kHz ซึ่งประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.31 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 101 kHz

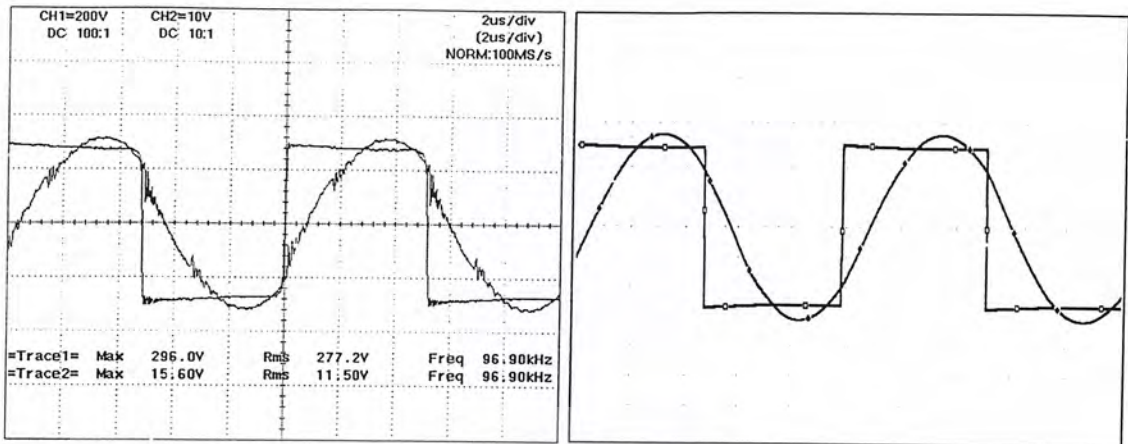


รูปที่ 5.32 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 100 kHz

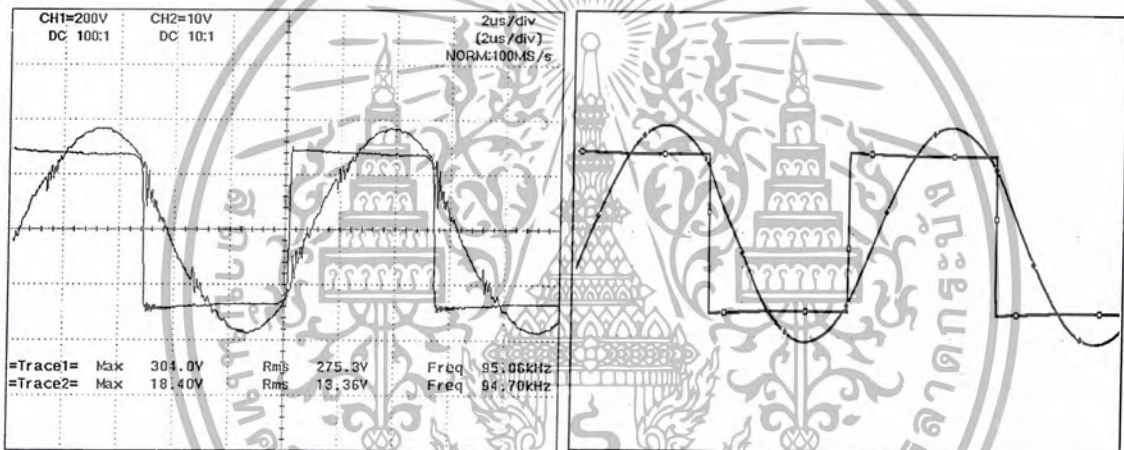


รูปที่ 5.33 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 99 kHz

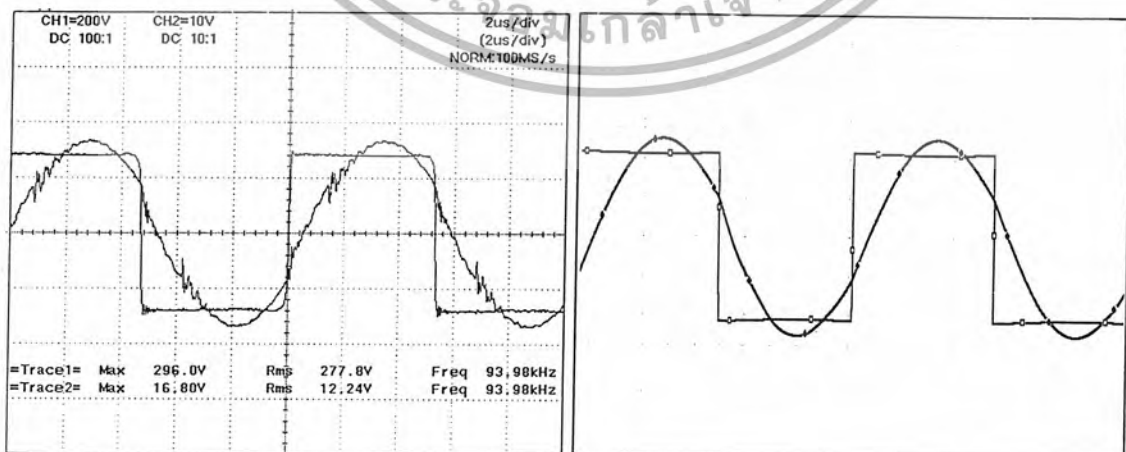
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.34 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 97 kHz

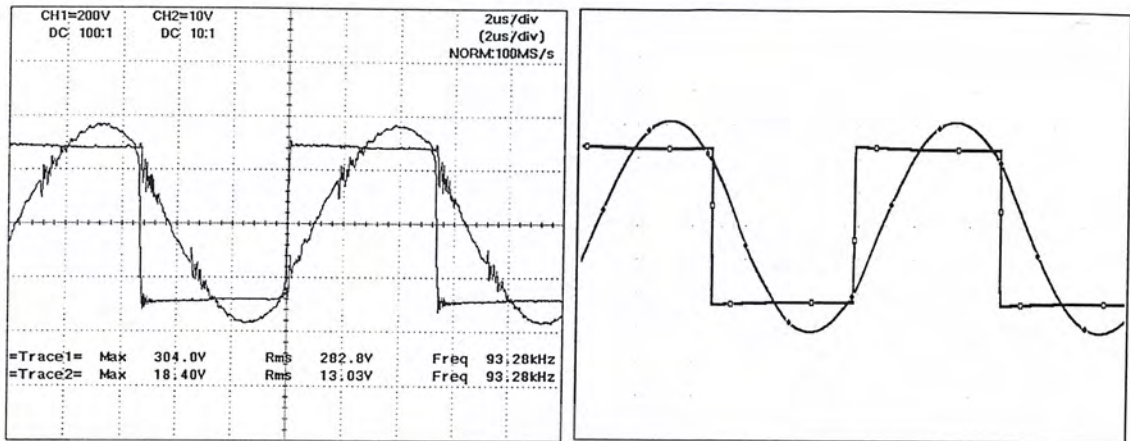


รูปที่ 5.35 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 95 kHz



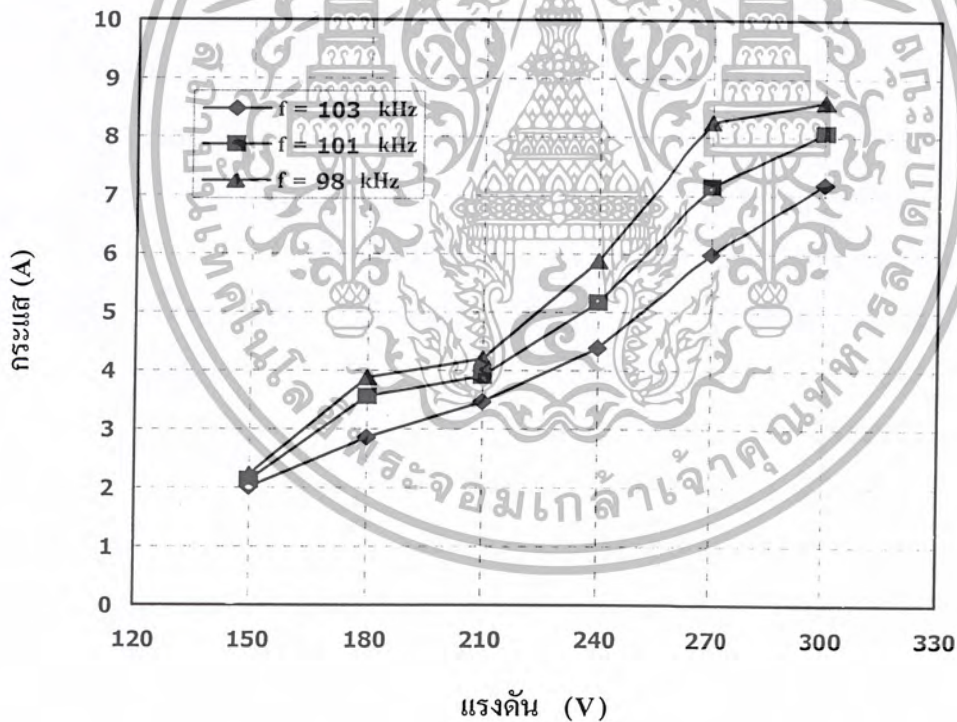
รูปที่ 5.36 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 94 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



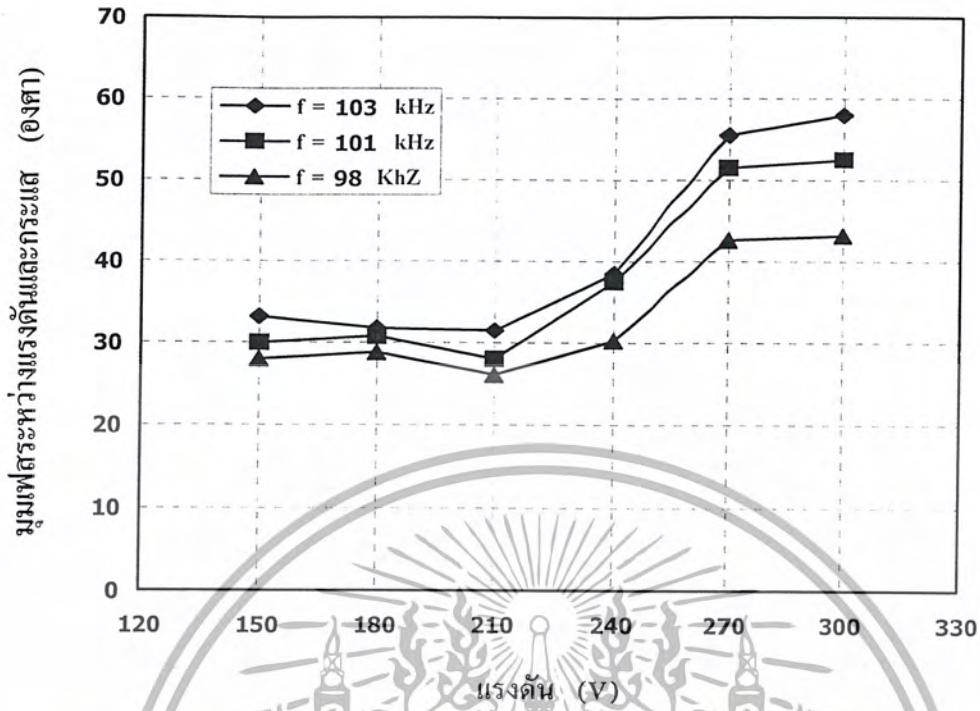
รูปที่ 5.37 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 93 kHz

5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ต่างๆที่ได้จากการทดสอบเครื่องเชื่อมไฟฟ้า

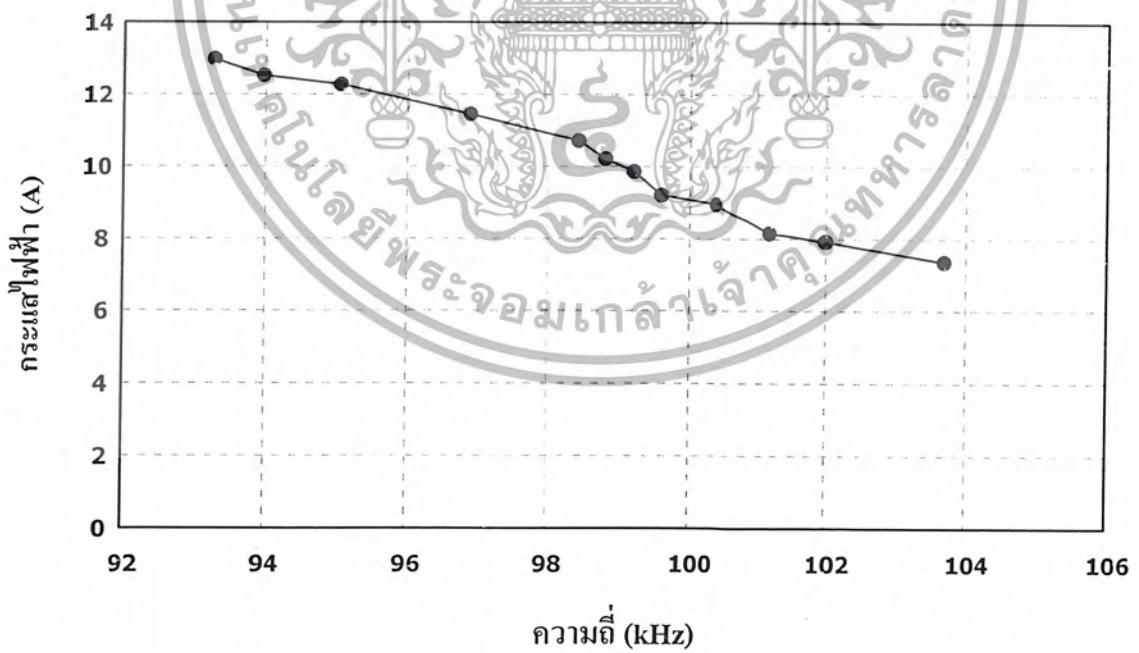


รูปที่ 5.38 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสและแรงดันของเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

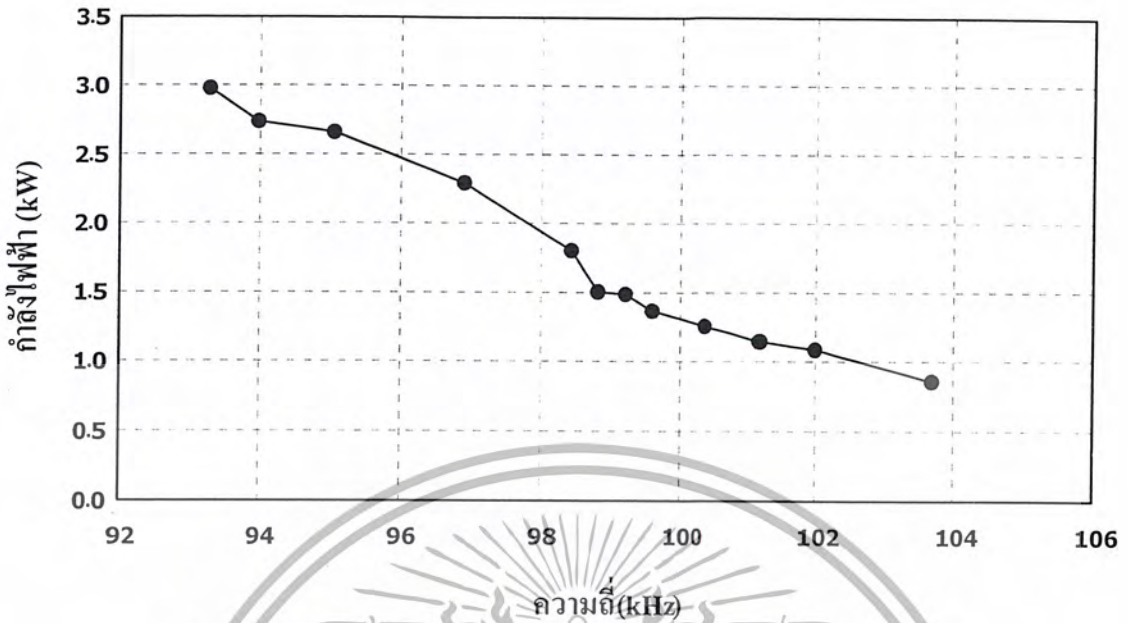


รูปที่ 5.39 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมเฟสที่แรงดันเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์

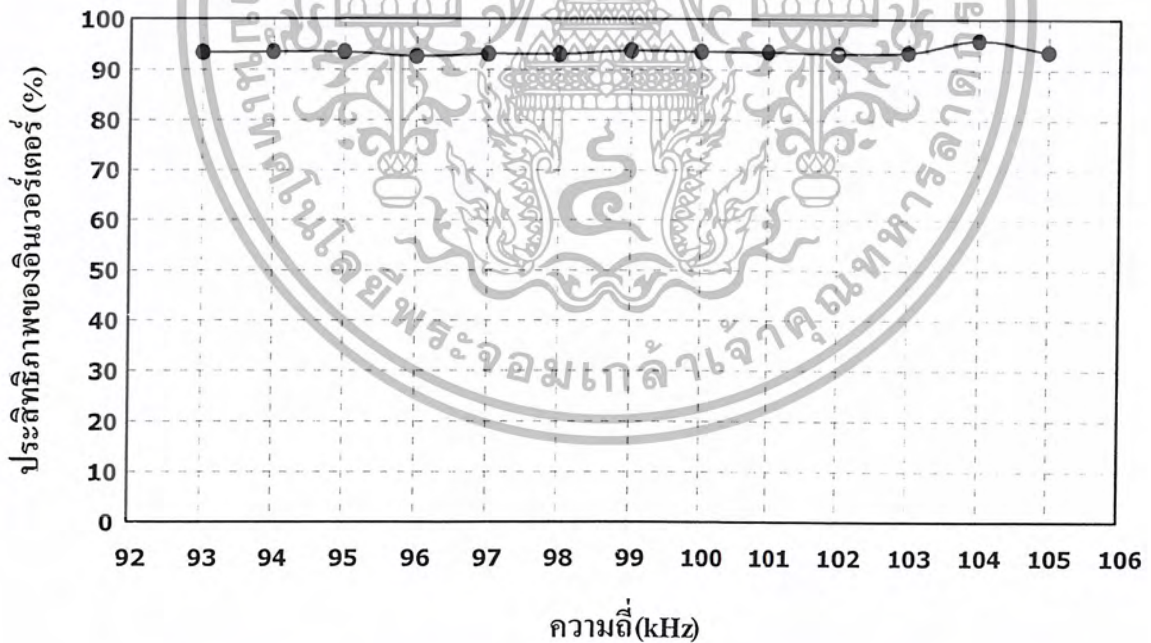


รูปที่ 5.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับกระแสเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับกำลังไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 5.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การทดสอบเชื่อมชิ้นงาน

การทดสอบเชื่อมชิ้นงานนี้จะทดสอบที่จุดที่สามารถทำการเชื่อมเหล็กและลวดเชื่อมละลายติดกัน โดยการเปลี่ยนความถี่และขนาดความหนาของเหล็ก ในการทดสอบการเชื่อมจะใช้ลวดเชื่อมขนาด 2.6 มิลลิเมตร (โดยให้หัวเชื่อมเป็นขั้วบวก)

ความถี่ (kHz)	ความหนาชิ้นงาน		
	1 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร
105	เชื่อมยังไม่ค่อยได้	เชื่อมไม่ได้ ชิ้นงานไม่ละลาย	เชื่อมไม่ได้ ชิ้นงานไม่ละลาย
104	เชื่อมได้แต่ยังไม่ดี	เชื่อมยังไม่ค่อยได้ ชิ้นงานละลายน้อย	เชื่อมไม่ได้ ชิ้นงานไม่ละลาย
103	สามารถเชื่อมได้ดี	เชื่อมได้แต่ยังไม่ดี	เชื่อมยังไม่ค่อยได้ ชิ้นงานละลายน้อย
102	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้นงานละลายมากเกินไป	สามารถเชื่อมได้ ชิ้นงานละลายพอใช้	เชื่อมได้แต่ยังไม่ดี
101	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้นงานหลอมจนทะลุ	สามารถเชื่อมได้ดี	สามารถเชื่อมได้ ชิ้นงานละลายพอใช้
100	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้นงานหลอมจนทะลุ	สามารถเชื่อมได้ดี	สามารถเชื่อมได้ดี
99	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้นงานหลอมจนทะลุ	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้นงานละลายมากเกินไป	สามารถเชื่อมได้ดี
97	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้นงานหลอมจนทะลุ	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้นงานละลายมากเกินไป	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้นงานละลายมากเกินไป
95	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้นงานหลอมจนทะลุ	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้นงานหลอมจนทะลุ	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้นงานละลายมากเกินไป
94	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้นงานหลอมจนทะลุ	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้นงานหลอมจนทะลุ	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้นงานละลายมากเกินไป
93	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้นงานหลอมจนทะลุ	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้นงานหลอมจนทะลุ	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้นงานหลอมจนทะลุ

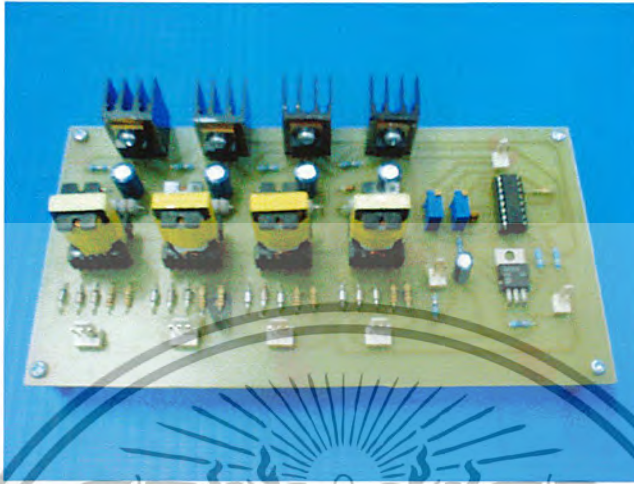
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดสอบการเชื่อมชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ (kHz)	ความหนาชิ้นงาน		
	3.5 มิลลิเมตร	4.5 มิลลิเมตร	6 มิลลิเมตร
105	เชื่อมต่อไม่ได้ ชิ้นงานไม่ละลาย	เชื่อมต่อไม่ได้ ชิ้นงานไม่ละลาย	เชื่อมต่อไม่ได้ ชิ้นงานไม่ละลาย
104	เชื่อมต่อไม่ได้ ชิ้นงานไม่ละลาย	เชื่อมต่อไม่ได้ ชิ้นงานไม่ละลาย	เชื่อมต่อไม่ได้ ชิ้นงานไม่ละลาย
103	เชื่อมยังไม่ค่อยได้ ชิ้นงานละลายน้อย	เชื่อมต่อไม่ได้ ชิ้นงานไม่ละลาย	เชื่อมต่อไม่ได้ ชิ้นงานไม่ละลาย
102	เชื่อมได้แต่ยังไม่ดี	เชื่อมยังไม่ค่อยได้ ชิ้นงานละลายน้อย	เชื่อมต่อไม่ได้ ชิ้นงานไม่ละลาย
101	สามารถเชื่อมได้ ชิ้นงานละลายพอใช้	เชื่อมยังไม่ค่อยได้ ชิ้นงานละลายน้อย	เชื่อมยังไม่ค่อยได้ ชิ้นงานละลายน้อย
100	สามารถเชื่อมได้ ชิ้นงานละลายพอใช้	เชื่อมได้แต่ยังไม่ดี	เชื่อมยังไม่ค่อยได้ ชิ้นงานละลายน้อย
99	สามารถเชื่อมได้ดี	เชื่อมได้แต่ยังไม่ดี	เชื่อมได้แต่ยังไม่ดี
97	สามารถเชื่อมได้ดี	สามารถเชื่อมได้ ชิ้นงานละลายพอใช้	เชื่อมได้แต่ยังไม่ดี
95	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้น งานละลายมากเกินไป	สามารถเชื่อมได้ดี	สามารถเชื่อมได้ ชิ้นงานละลายพอใช้
94	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้น งานละลายมากเกินไป	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้น งานละลายมากเกินไป	สามารถเชื่อมได้ ชิ้นงานละลายพอใช้
93	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้น งานละลายมากเกินไป	สามารถเชื่อมได้แต่ชิ้น งานละลายมากเกินไป	สามารถเชื่อมได้ดี

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดสอบการเชื่อมชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

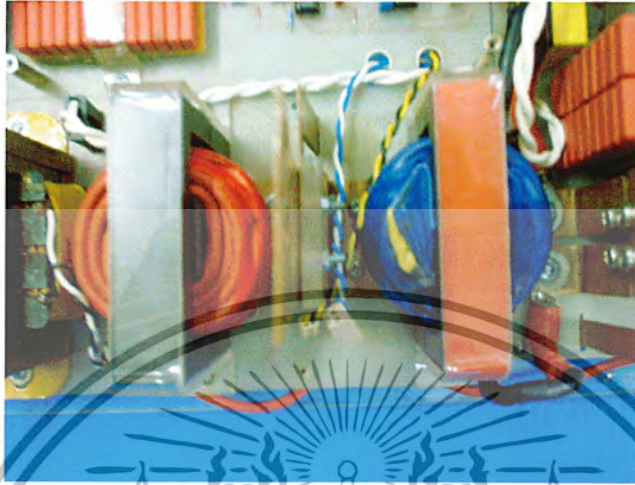


รูปที่ 5.43 ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์

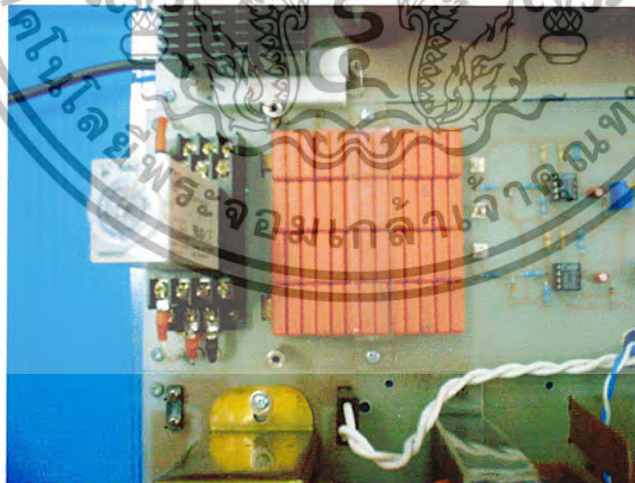


รูปที่ 5.44 ชุดเรกติไฟร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

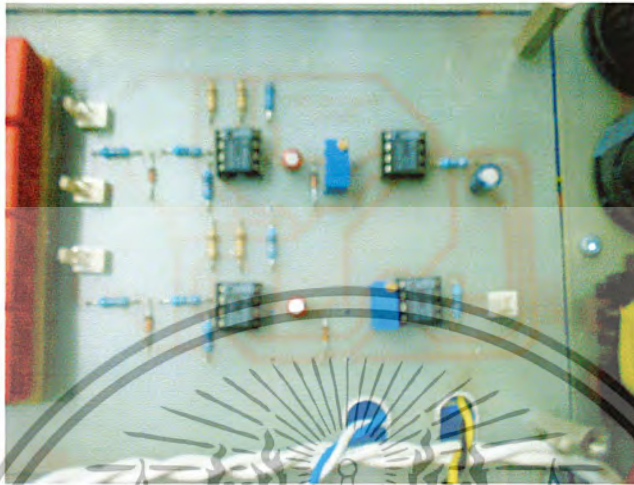


รูปที่ 5.45 ตัวเหนี่ยวนำรีโซแนนซ์และหม้อแปลงความถี่สูง

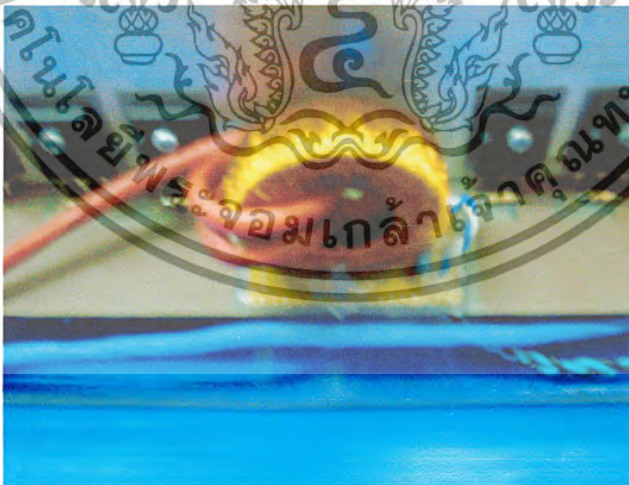


รูปที่ 5.46 คาปาซิเตอร์รีโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.47 ชุดควบคุมป้อนกลับป้องกันกระแสเกิน

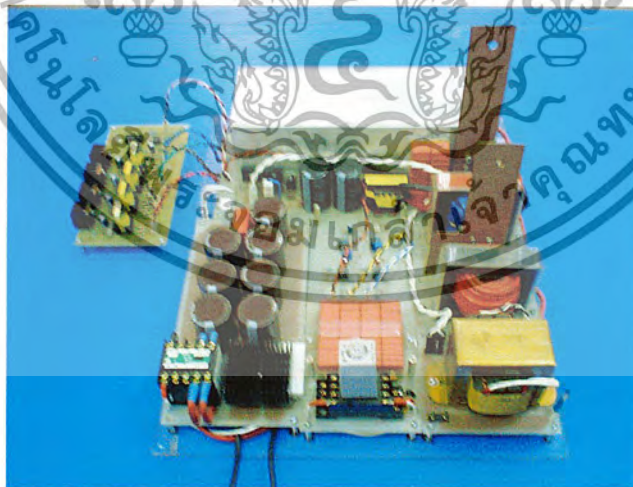


รูปที่ 5.48 หม้อแปลงกระแสของชุดควบคุมป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

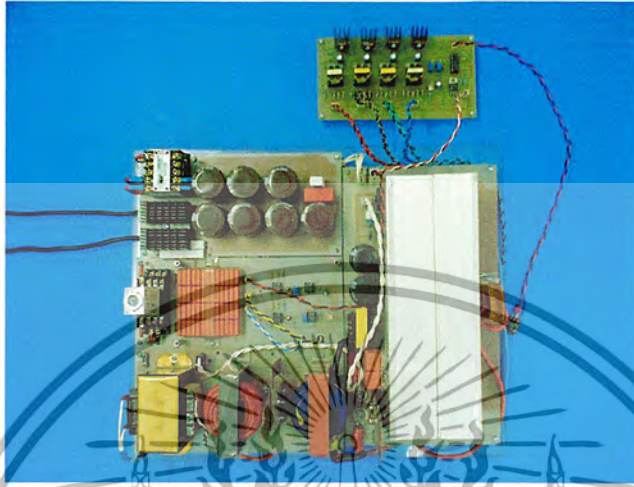


รูปที่ 5.49 หม้อแปลงแรงดันของชุดควบคุมป้อนกลับ

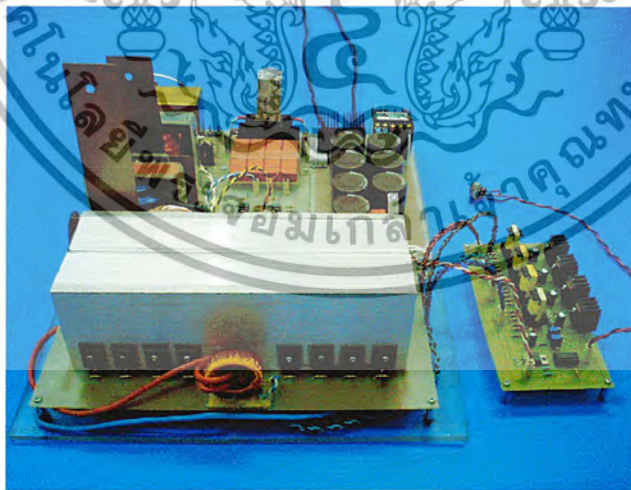


รูปที่ 5.50 เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง (ด้านหน้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

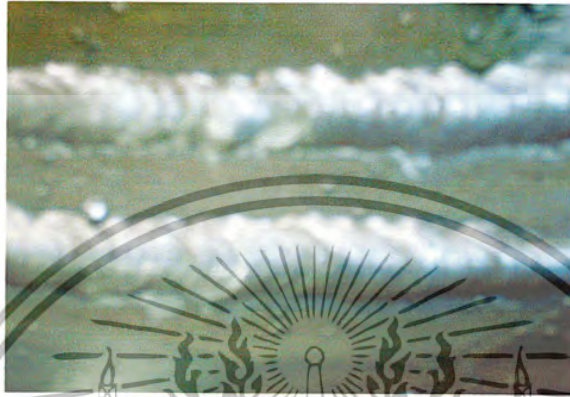


รูปที่ 5.51 เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง (ด้านบน)



รูปที่ 5.52 เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง (ด้านหลัง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.53 แสดงรอยเชื่อมเหล็กหนา 2.5 มิลลิเมตรที่ความถี่ 101.0 kHz



รูปที่ 5.54 แสดงรอยเชื่อมเหล็กหนา 3.0 มิลลิเมตรที่ความถี่ 100.0 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.55 แสดงรอยเชื่อมเหล็กหนา 4.0 มิลลิเมตรที่ความถี่ 99.60 kHz



รูปที่ 5.56 แสดงรอยเชื่อมเหล็กหนา 4.0 มิลลิเมตรที่ความถี่ 99.60 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.57 แสดงรอยเชื่อมเหล็กหนา 4.5 มิลลิเมตรที่ความถี่ 98.81 kHz



รูปที่ 5.58 แสดงรอยเชื่อมเหล็กหนา 4.5 มิลลิเมตรที่ความถี่ 98.81 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.59 แสดงรอยเชื่อมเหล็กหนา 6.0 มิลลิเมตรที่ความถี่ 98.21 kHz



รูปที่ 5.60 แสดงรอยเชื่อมเหล็กหนา 6.0 มิลลิเมตรที่ความถี่ 98.21 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.61 แสดงการเชื่อมเหล็กติดกันจำนวน 5 ชิ้น



รูปที่ 5.62 แสดงการเชื่อมเหล็กติดกันแบบต่อฉากเป็นรูปตัว ที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

การออกแบบเครื่องเชื่อมอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงนี้ได้พยายามที่จะใช้วงจรที่ง่ายและไม่ซับซ้อน ซึ่งจะมีอุปกรณ์น้อยชิ้นที่สุดเพื่อให้มีความน่าเชื่อถือ โดยวงจรทั้งหมดจะแบ่งเป็นสองส่วนคือ วงจรกำลัง และวงจรควบคุม โดยวงจรกำลังจะใช้วงจร ดิซี - ดิซี คอนเวอร์เตอร์แบบซีรี่ยีโซแนนท์ และพยายามทำให้โหลดของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์มีค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ (Quality factor) ที่สูงเพื่อให้สามารถทนสถานะลัดวงจรด้านออกเอาท์พุทได้ ส่วนวงจรควบคุมออกแบบมาให้สามารถปรับความถี่ได้เพื่อควบคุมกำลังไฟที่จ่ายให้เอาท์พุท และมีวงจรป้องกันกลับเพื่อควบคุมมมเฟส

เครื่องเชื่อมอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงที่สร้างขึ้นนี้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้สูงสุดให้กับลวดเชื่อมได้ 120 แอมป์ ที่ความถี่สวิตซ์ 100 กิโลเฮิรท์ และยังได้ทำการทดสอบเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้เมื่อมีการเปลี่ยนความถี่ที่ใช้ในการสวิตซ์ของอินเวอร์เตอร์

จากการทดสอบการเชื่อมปรากฏว่า แนวนรอยเชื่อมมีการซึมลึกสูงและมีความราบเรียบสามารถเชื่อมแผ่นเหล็กได้หลายขนาด และเครื่องเชื่อมยังมีน้ำหนักเบาว่าเครื่องเชื่อมของปีที่ผ่านมาอีกด้วย

ข้อดีของเครื่องเชื่อมไฟฟ้อิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงในปริญญานิพนธ์ปี 2545 นี้ (เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องเชื่อมไฟฟ้อิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงปริญญานิพนธ์ปี 2543)

- 1.) เครื่องเชื่อมมีน้ำหนักเบากว่าเดิม
- 2.) มีวงจรป้องกันมมเฟสระหว่างกระแสกับแรงดันที่เอาท์พุทอินเวอร์เตอร์
- 3.) มีวงจรซอฟต์สตาร์ท (Soft Start) ป้องกันกระแสกระชากขณะเปิดเครื่อง
- 4.) มีราคาที่ถูกกว่า

ข้อเสียของเครื่องเชื่อมไฟฟ้อิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงในปริญญานิพนธ์ปี 2545

- 1.) ยังมีขนาดที่ใหญ่กว่าเครื่องเชื่อมไฟฟ้กระแสตรงที่นำเข้ามาจากต่างประเทศที่มีขายตามท้องตลาด
- 2.) การควบคุมแนวนรอยเชื่อมยังไม่ดีพอเมื่อเทียบเมื่อเทียบกับเครื่องเชื่อมไฟฟ้กระแสตรงที่นำเข้ามาจากต่างประเทศที่มีขายตามท้องตลาด

ปัญหาที่พบ

- 1.) อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งไม่สามารถจ่ายกระแสได้ตามต้องการ ซึ่งเป็นอุปสรรคในการเพิ่มพิกัดกำลังไฟฟ้ของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ให้สูงขึ้นได้
- 2.) การควบคุมกระแสขณะเชื่อมเป็นไปได้ยากเนื่องจาก โหลดมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่ควรวิจัยต่อไป

จากที่กล่าวมาแล้วเครื่องเชื่อมในงานวิจัยนี้มีพิกัดกำลังไฟฟ้าที่สูงและสามารถเชื่อมเหล็กได้หลายขนาด แต่ยังมีขนาดใหญ่และน้ำหนักที่มากกว่าเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงที่นำเข้ามาจากต่างประเทศที่มีขายตามท้องตลาด เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการสวิตช์มีพิกัดที่ต่ำ ทำให้ต้องนำอุปกรณ์ดังกล่าวมาขนานกันหลายตัวเพื่อให้ได้พิกัดที่ต้องการ ซึ่งส่งผลให้แผ่นระบายความร้อนต้องมีพื้นที่และน้ำหนักมากตามไปด้วย ดังนั้นควรหาอุปกรณ์สวิตช์ที่มีพิกัดสูงกวานี้ และควรพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมมุมเฟสระหว่างกระแสกับแรงดันที่หลังอินเวอร์เตอร์ที่มีผลตอบสนองที่รวดเร็วกวานี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



BYV255V

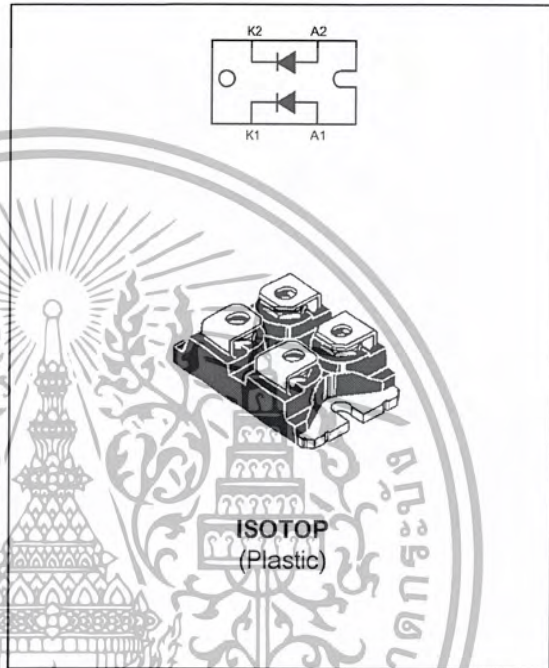
HIGH EFFICIENCY FAST RECOVERY RECTIFIER DIODES

FEATURES

- SUITED FOR SMPS
- VERY LOW FORWARD LOSSES
- NEGLIGIBLE SWITCHING LOSSES
- HIGH SURGE CURRENT CAPABILITY
- HIGH AVALANCHE ENERGY CAPABILITY
- INSULATED :
Insulating voltage = 2500 V_{RMS}
Capacitance = 55 pF

DESCRIPTION

Dual rectifier suited for switchmode power supply and high frequency DC to DC converters. Packaged in ISOTOP™ this device is intended for use in low voltage, high frequency inverters, free wheeling and polarity protection applications.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
I _{F(RMS)}	RMS forward current	150	A
I _{F(AV)}	Average forward current $\delta = 0.5$	100	A
I _{FSM}	Surge non repetitive forward current	1600	A
T _{stg} T _j	Storage and junction temperature range	- 40 to + 150	°C

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{RRM}	Repetitive peak reverse voltage	200	V

ISOTOP is a trademark of STMicroelectronics.

BYV255V

THERMAL RESISTANCE

Symbol	Parameter		Value	Unit
Rth (j-c)	Junction to case	Per diode	0.4	°C/W
		Total	0.25	
Rth (c)	Coupling		0.1	°C/W

When the diodes 1 and 2 are used simultaneously :

$$T_j - T_c (\text{diode 1}) = P(\text{diode 1}) \times R_{th(j-c)}(\text{Per diode}) + P(\text{diode 2}) \times R_{th(c)}$$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Per diode)

STATIC CHARACTERISTICS

Symbol	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
I _R *	T _j = 25°C	V _R = V _{RRM}			100	μA
	T _j = 100°C				10	mA
V _F **	T _j = 125°C	I _F = 100 A			0.85	V
	T _j = 125°C	I _F = 200 A			1.00	
	T _j = 25°C	I _F = 200 A			1.15	

Pulse test : * tp = 5 ms, duty cycle ≤ 2 %

** tp = 380 μs, duty cycle < 2 %

RECOVERY CHARACTERISTICS

Symbol	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
trr	T _j = 25°C	I _F = 0.5A I _R = 1A	I _{rr} = 0.25A		55	ns
		I _F = 1A V _R = 30V	dI _F /dt = -50A/μs		80	
tfr	T _j = 25°C	I _F = 1A V _{FR} = 1.1 × V _F	tr = 5 ns	10		ns
V _{FP}	T _j = 25°C	I _F = 1A	tr = 5 ns	1.5		V

TURN-OFF SWITCHING CHARACTERISTICS

Symbol	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
I _{RM}	T _j = 100°C	I _F = 100A L _p @ 0.05μH V _{cc} @ 0.6 V _{RRM}	dI _F /dt = -200A/μs		16	A
			dI _F /dt = -400A/μs		24	

Fig.1 : Average forward power dissipation versus average forward current.

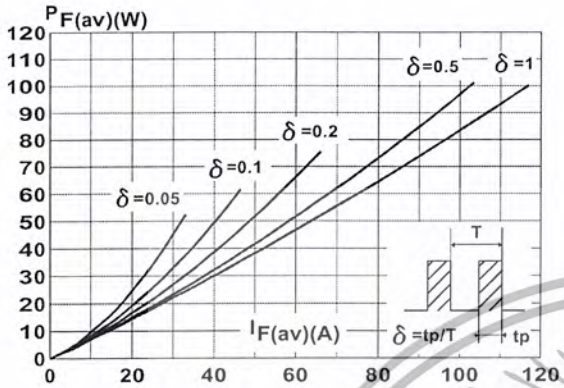


Fig.2 : Peak current versus form factor.

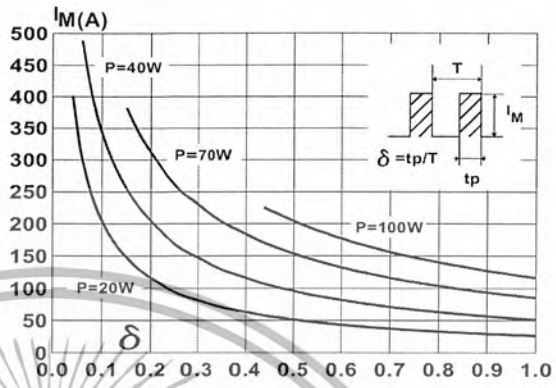


Fig.3 : Forward voltage drop versus forward current (maximum values).

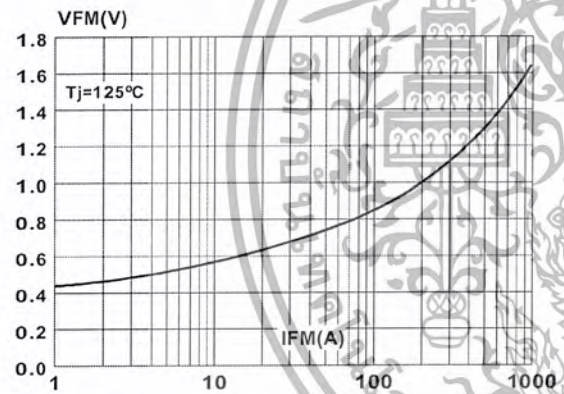


Fig.4 : Relative variation of thermal impedance junction to case versus pulse duration.

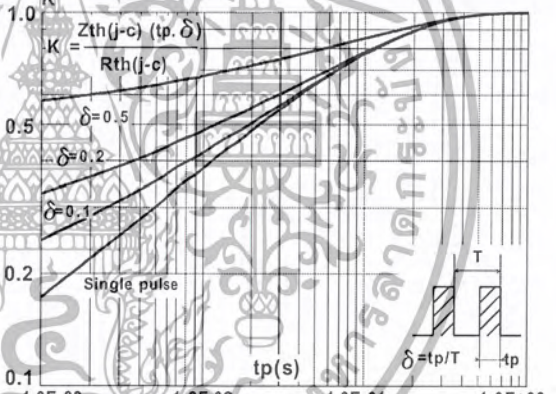


Fig.5 : Non repetitive surge peak forward current versus overload duration.

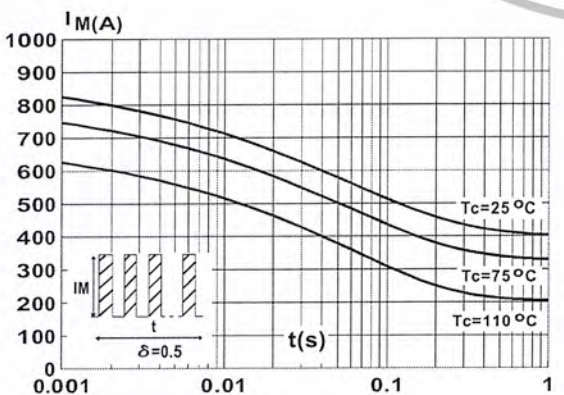
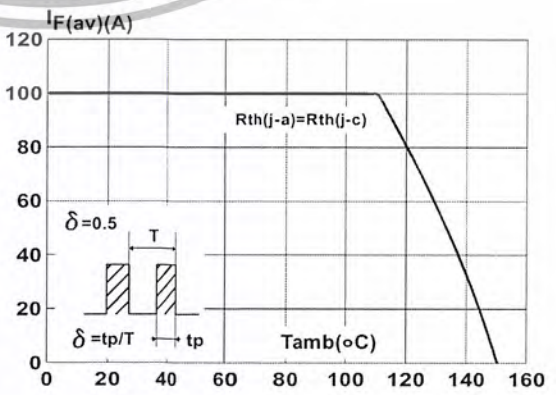


Fig.6 : Average current versus ambient temperature. (duty cycle : 0.5)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig.7 : Junction capacitance versus reverse voltage applied (Typical values).

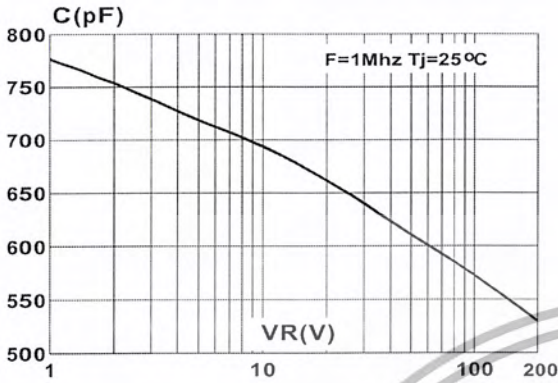


Fig.8 : Recovery charges versus dI_F/dt .

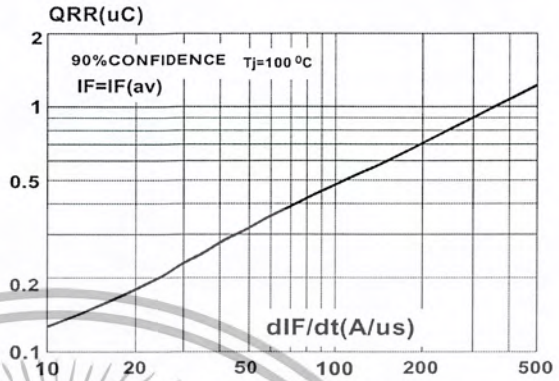


Fig.9 : Peak reverse current versus dI_F/dt .

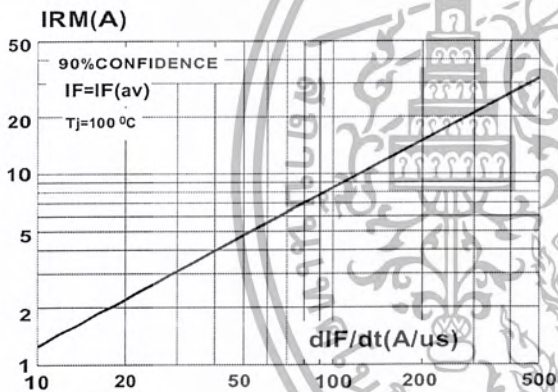
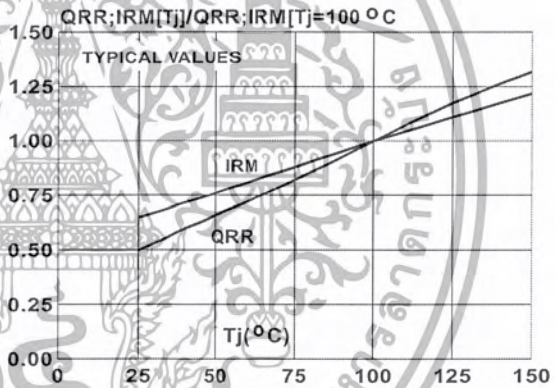
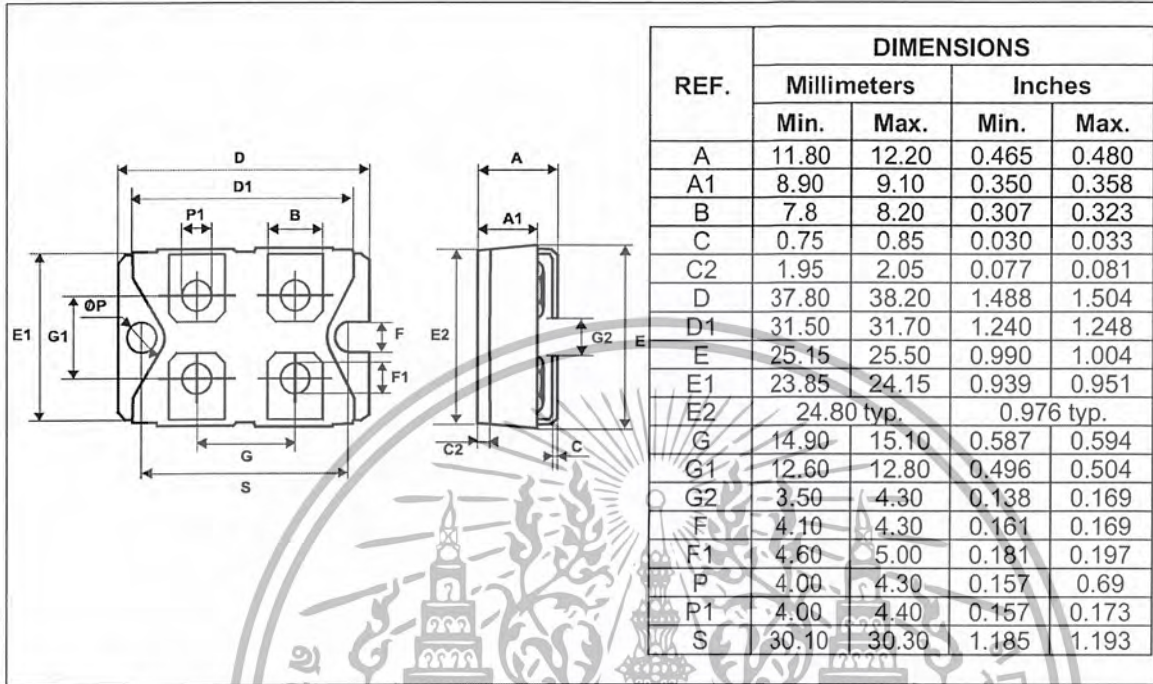


Fig.10 : Dynamic parameters versus junction temperature.



PACKAGE MECHANICAL DATA
ISOTOP



- **Marking** : Type number
- **Cooling method** : C
- **Weight** : 27 g
- **Epoxy** meets UL94, V0

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2000 STMicroelectronics - Printed in Italy - All rights reserved.

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia
Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.

<http://www.st.com>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

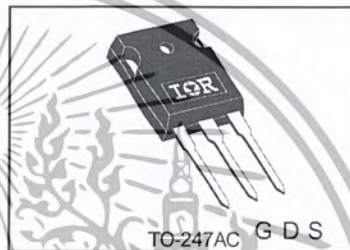
Applications

- Switch Mode Power Supply (SMPS)
- Uninterruptable Power Supply
- High speed power switching

V _{DSS}	R _{ds(on)} max	I _D
500V	0.27Ω	20A

Benefits

- Low Gate Charge Q_g results in Simple Drive Requirement
- Improved Gate, Avalanche and dynamic dv/dt Ruggedness
- Fully Characterized Capacitance and Avalanche Voltage and Current
- Effective C_{oss} specified (See AN1001)



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
I _D @ T _C = 25°C	Continuous Drain Current, V _{GS} @ 10V	20	A
I _D @ T _C = 100°C	Continuous Drain Current, V _{GS} @ 10V	13	
I _{DM}	Pulsed Drain Current ①	80	
P _D @T _C = 25°C	Power Dissipation	280	W
	Linear Derating Factor	2.2	W/°C
V _{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 30	V
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	3.8	V/ns
T _J	Operating Junction and	-55 to + 150	°C
T _{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

Typical SMPS Topologies:

- Full Bridge
- PFC Boost

Notes ① through ⑤ are on page 8
www.irf.com

IRFP460A

International
IR Rectifier

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

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.61	—	$^\circ\text{C}$	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.27	Ω	$V_{GS} = 10V, I_D = 12A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS} = 500V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250	μA	$V_{DS} = 400V, V_{GS} = 0V, T_J = 125^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 30V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	$V_{GS} = -30V$

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

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
g_{fs}	Forward Transconductance	11	—	—	S	$V_{DS} = 50V, I_D = 12A$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	105	nC	$I_D = 20A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	26	nC	$V_{DS} = 400V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	42	nC	$V_{GS} = 10V$, See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	18	—	ns	$V_{DD} = 250V$
t_r	Rise Time	—	55	—	ns	$I_D = 20A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	45	—	ns	$R_G = 4.3\Omega$
t_f	Fall Time	—	39	—	ns	$R_D = 13\Omega$, See Fig. 10 ④
C_{iss}	Input Capacitance	—	3100	—	pF	$V_{GS} = 0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	480	—	pF	$V_{DS} = 25V$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	18	—	pF	$f = 1.0\text{MHz}$, See Fig. 5
C_{oss}	Output Capacitance	—	4430	—	pF	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 1.0V, f = 1.0\text{MHz}$
C_{oss}	Output Capacitance	—	130	—	pF	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 400V, f = 1.0\text{MHz}$
$C_{oss\ eff.}$	Effective Output Capacitance	—	140	—	pF	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 0V$ to $400V$ ④

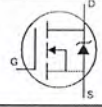
Avalanche Characteristics

	Parameter	Typ.	Max.	Units
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ④	—	960	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ④	—	20	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ④	—	28	mJ

Thermal Resistance

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

Diode Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	20	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ④	—	—	80	A	
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.8	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 20A, V_{GS} = 0V$ ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	480	710	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 20A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	5.0	7.5	μC	$di/dt = 100A/\mu\text{s}$ ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S + L_D$)				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

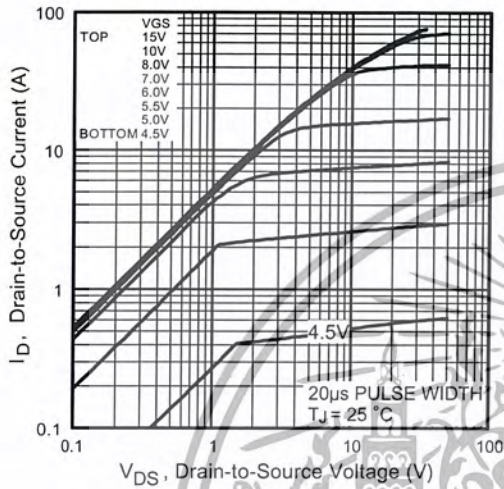


Fig 1. Typical Output Characteristics

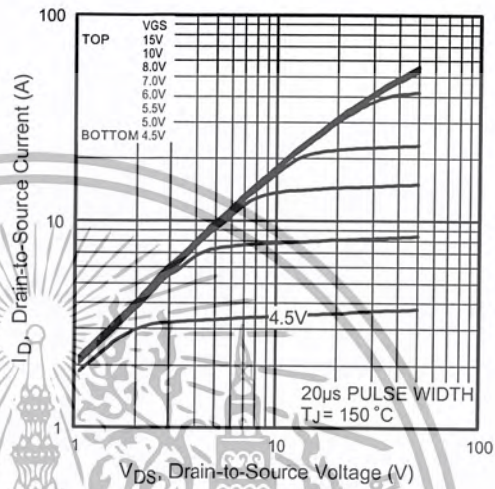


Fig 2. Typical Output Characteristics

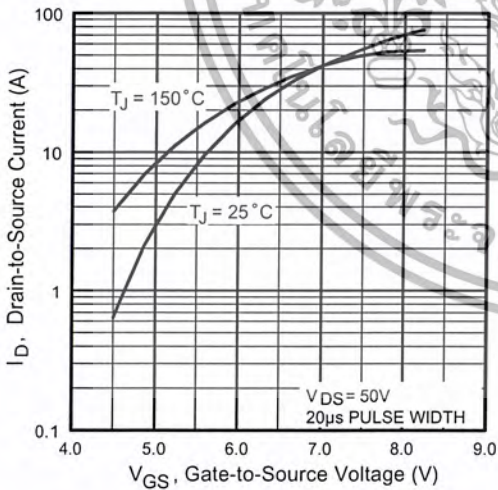


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

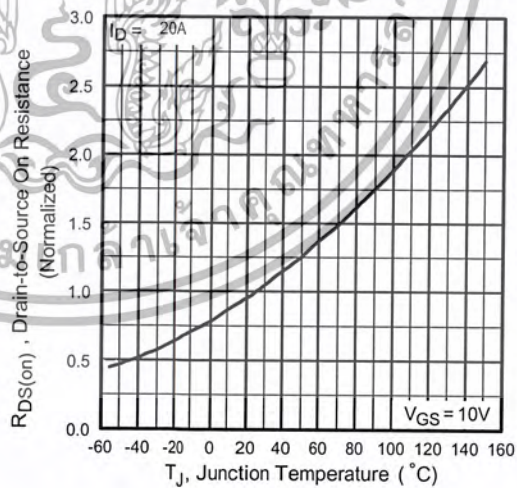


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

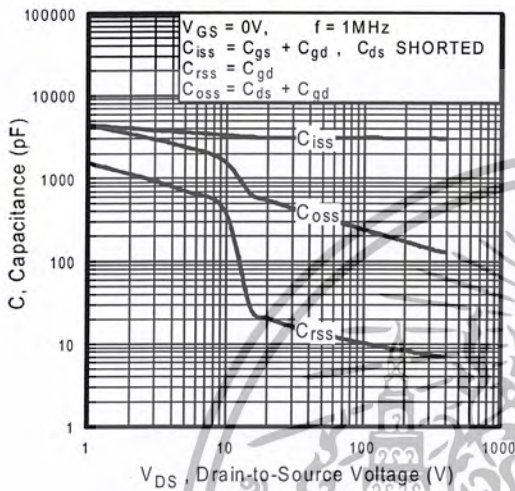


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

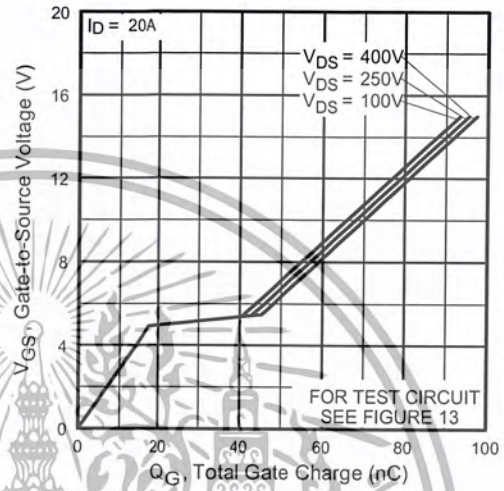


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

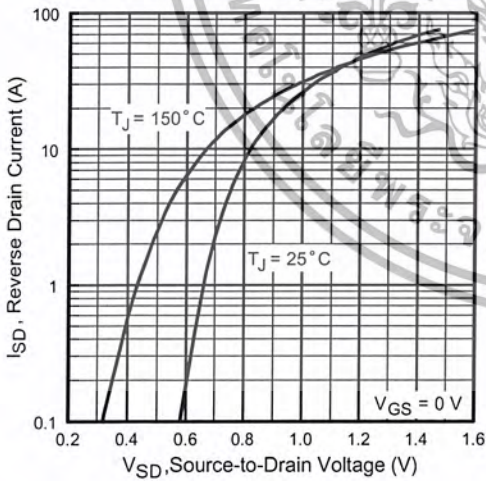


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

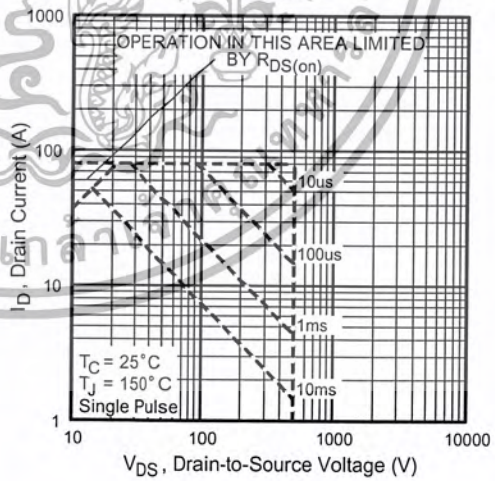


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

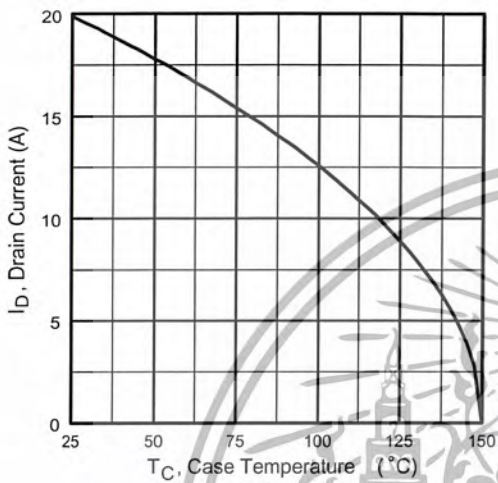


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

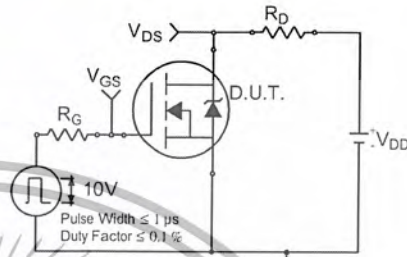


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

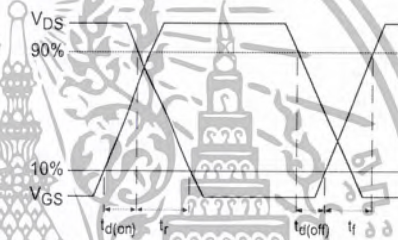


Fig 10b. Switching Time Waveforms

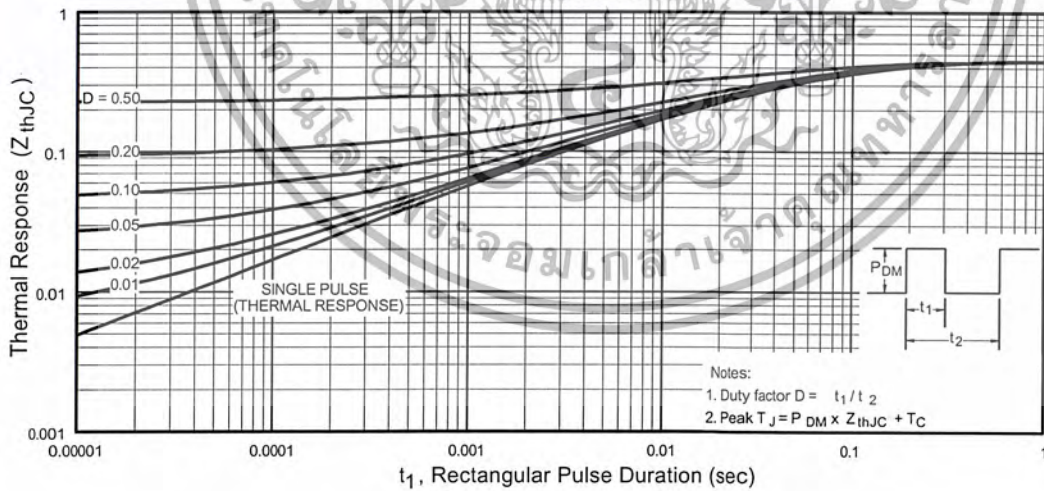


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP460A

International
IRF Rectifier

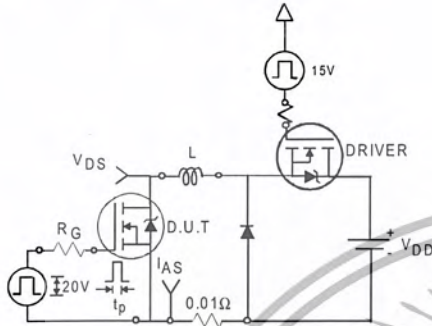


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

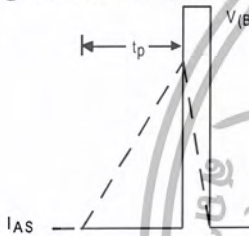


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

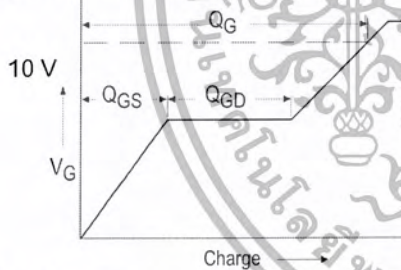


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

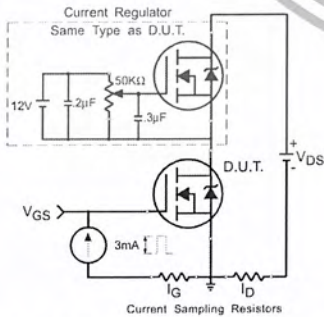


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

6

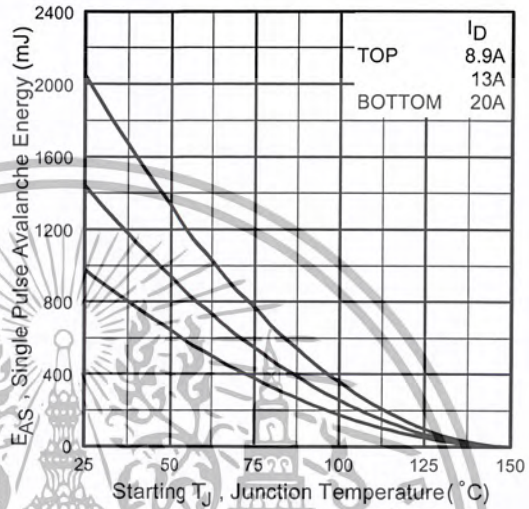


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

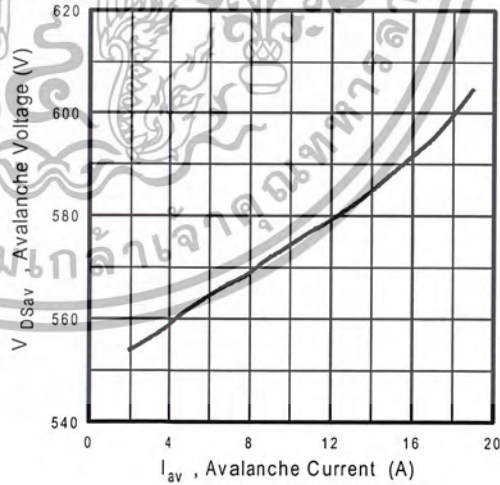


Fig 12d. Typical Drain-to-Source Voltage Vs. Avalanche Current

www.irf.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

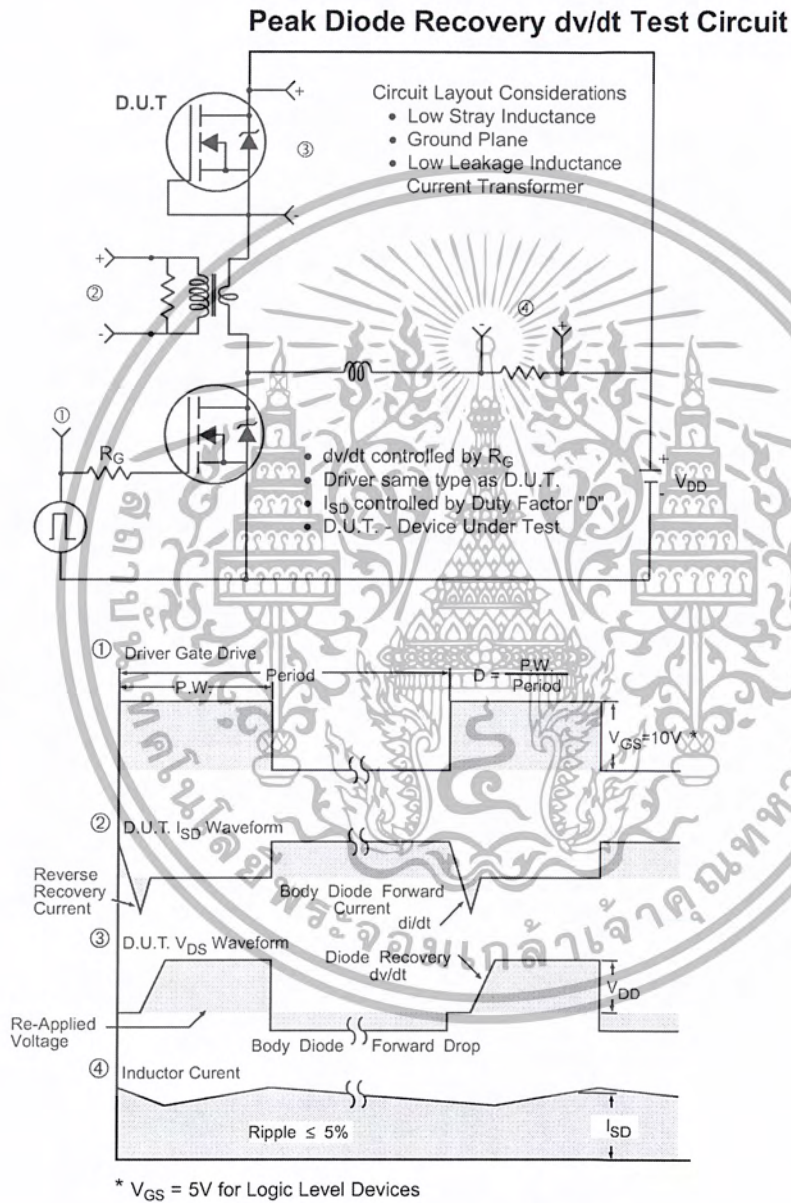


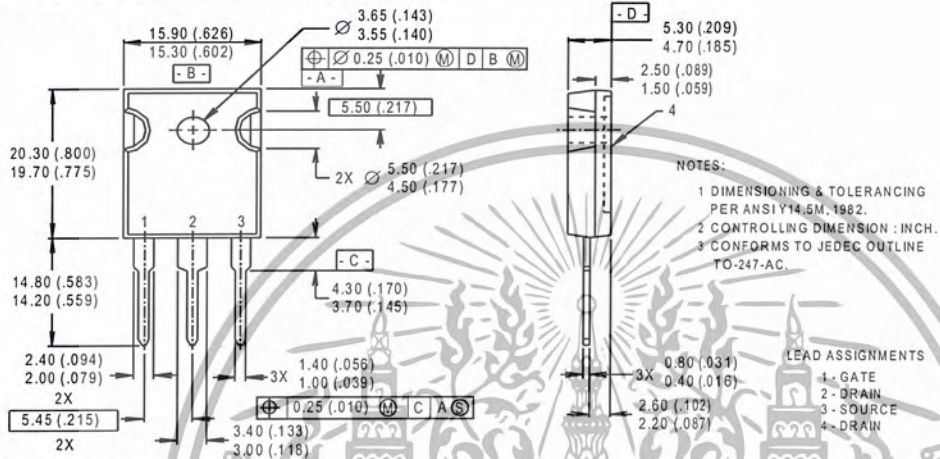
Fig 14. For N-Channel HEXFETS

IRFP460A

Package Outline

TO-247AC Outline

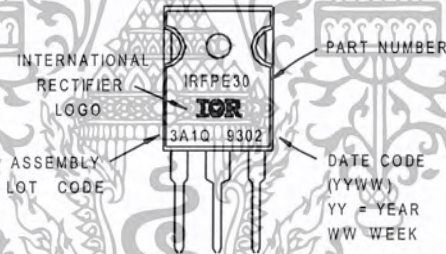
Dimensions are shown in millimeters (inches)



Part Marking Information

TO-247AC

EXAMPLE: THIS IS AN IRFP460A WITH ASSEMBLY LOT CODE 3A1Q



Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)
- ② Starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 4.3\text{mH}$, $R_G = 25\Omega$, $I_{AS} = 20\text{A}$. (See Figure 12)
- ③ $I_{SD} \leq 20\text{A}$, $di/dt \leq 125\text{A}/\mu\text{s}$, $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$, $T_J \leq 150^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width $\leq 300\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$.
- ⑤ C_{oss} eff. is a fixed capacitance that gives the same charging time as C_{oss} while V_{DS} is rising from 0 to 80% V_{DSS}

International
IR Rectifier

WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, Tel: (310) 322 3331

IR GREAT BRITAIN: Hurst Green, Oxted, Surrey RH8 9BB, UK Tel: ++ 44 1883 732020

IR CANADA: 15 Lincoln Court, Brampton, Ontario L6T3Z2, Tel: (905) 453 2200

IR GERMANY: Saalburgstrasse 157, 61350 Bad Homburg Tel: ++ 49 6172 96590

IR ITALY: Via Liguria 49, 10071 Borgaro, Torino Tel: ++ 39 11 451 0111

IR FAR EAST: K&H Bldg., 2F, 30-4 Nishi-Ikebukuro 3-Chome, Toshima-Ku, Tokyo Japan 171 Tel: 81 3 3983 0086

IR SOUTHEAST ASIA: 1 Kim Seng Promenade, Great World City West Tower, 13-11, Singapore 237994 Tel: ++ 65 838 4630

IR TAIWAN: 16 Fl. Suite D, 207, Sec. 2, Tun Haw South Road, Taipei, 10673, Taiwan Tel: 886-2-2377-9936

<http://www.irf.com/> Data and specifications subject to change without notice. 6/99

www.irf.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Order this document by TL494/D

TL494

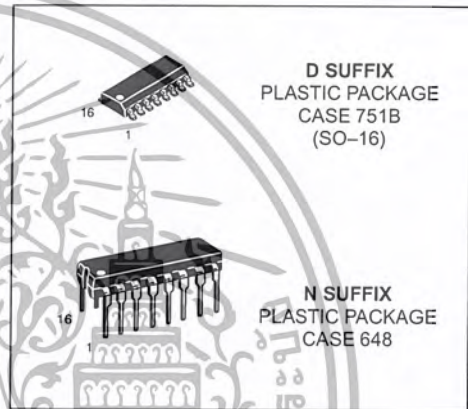
SWITCHMODE™ Pulse Width Modulation Control Circuit

The TL494 is a fixed frequency, pulse width modulation control circuit designed primarily for SWITCHMODE power supply control.

- Complete Pulse Width Modulation Control Circuitry
- On-Chip Oscillator with Master or Slave Operation
- On-Chip Error Amplifiers
- On-Chip 5.0 V Reference
- Adjustable Deadtime Control
- Uncommitted Output Transistors Rated to 500 mA Source or Sink
- Output Control for Push-Pull or Single-Ended Operation
- Undervoltage Lockout

SWITCHMODE PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUIT

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

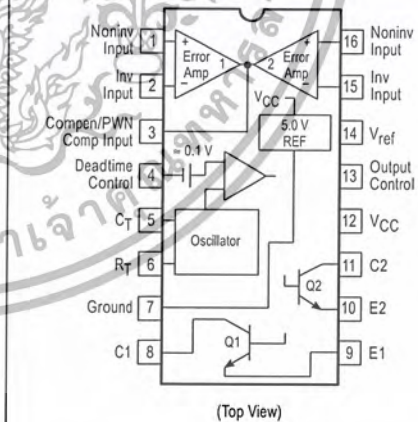


MAXIMUM RATINGS (Full operating ambient temperature range applies, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	TL494C	TL494I	Unit
Power Supply Voltage	V _{CC}	42		V
Collector Output Voltage	V _{C1} , V _{C2}	42		V
Collector Output Current (Each transistor) (Note 1)	I _{C1} , I _{C2}	500		mA
Amplifier Input Voltage Range	V _{IR}	-0.3 to +42		V
Power Dissipation @ T _A ≤ 45°C	P _D	1000		mW
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	R _{θJA}	80		°C/W
Operating Junction Temperature	T _J	125		°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-55 to +125		°C
Operating Ambient Temperature Range TL494C TL494I	T _A	0 to +70 -25 to +85		°C
Derating Ambient Temperature	T _A	45		°C

NOTE: 1. Maximum thermal limits must be observed.

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
TL494CD	T _A = 0° to +70°C	SO-16
TL494CN		Plastic
TL494IN	T _A = -25° to +85°C	Plastic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC}	7.0	15	40	V
Collector Output Voltage	V_{C1}, V_{C2}	–	30	40	V
Collector Output Current (Each transistor)	I_{C1}, I_{C2}	–	–	200	mA
Amplified Input Voltage	V_{in}	–0.3	–	$V_{CC} - 2.0$	V
Current Into Feedback Terminal	I_{fb}	–	–	0.3	mA
Reference Output Current	I_{ref}	–	–	10	mA
Timing Resistor	R_T	1.8	30	500	k Ω
Timing Capacitor	C_T	0.0047	0.001	10	μ F
Oscillator Frequency	f_{osc}	1.0	40	200	kHz

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 15$ V, $C_T = 0.01$ μ F, $R_T = 12$ k Ω , unless otherwise noted.)

For typical values $T_A = 25^\circ\text{C}$, for min/max values T_A is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
REFERENCE SECTION					
Reference Voltage ($I_O = 1.0$ mA)	V_{ref}	4.75	5.0	5.25	V
Line Regulation ($V_{CC} = 7.0$ V to 40 V)	Reg_{line}	–	2.0	25	mV
Load Regulation ($I_O = 1.0$ mA to 10 mA)	Reg_{load}	–	3.0	15	mV
Short Circuit Output Current ($V_{ref} = 0$ V)	I_{SC}	15	35	75	mA
OUTPUT SECTION					
Collector Off-State Current ($V_{CC} = 40$ V, $V_{CE} = 40$ V)	$I_{C(off)}$	–	2.0	100	μ A
Emitter Off-State Current ($V_{CC} = 40$ V, $V_C = 40$ V, $V_E = 0$ V)	$I_{E(off)}$	–	–	100	μ A
Collector-Emitter Saturation Voltage (Note 2) Common-Emitter ($V_E = 0$ V, $I_C = 200$ mA) Emitter-Follower ($V_C = 15$ V, $I_E = -200$ mA)	$V_{sat(C)}$ $V_{sat(E)}$	–	1.1 1.5	1.3 2.5	V
Output Control Pin Current Low State ($V_{OC} \leq 0.4$ V) High State ($V_{OC} = V_{ref}$)	I_{OCL} I_{OCH}	–	10 0.2	– 3.5	μ A mA
Output Voltage Rise Time Common-Emitter (See Figure 12) Emitter-Follower (See Figure 13)	t_r	–	100 100	200 200	ns
Output Voltage Fall Time Common-Emitter (See Figure 12) Emitter-Follower (See Figure 13)	t_f	–	25 40	100 100	ns

NOTE: 2. Low duty cycle pulse techniques are used during test to maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible.

TL494

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 15\text{ V}$, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$, unless otherwise noted.)

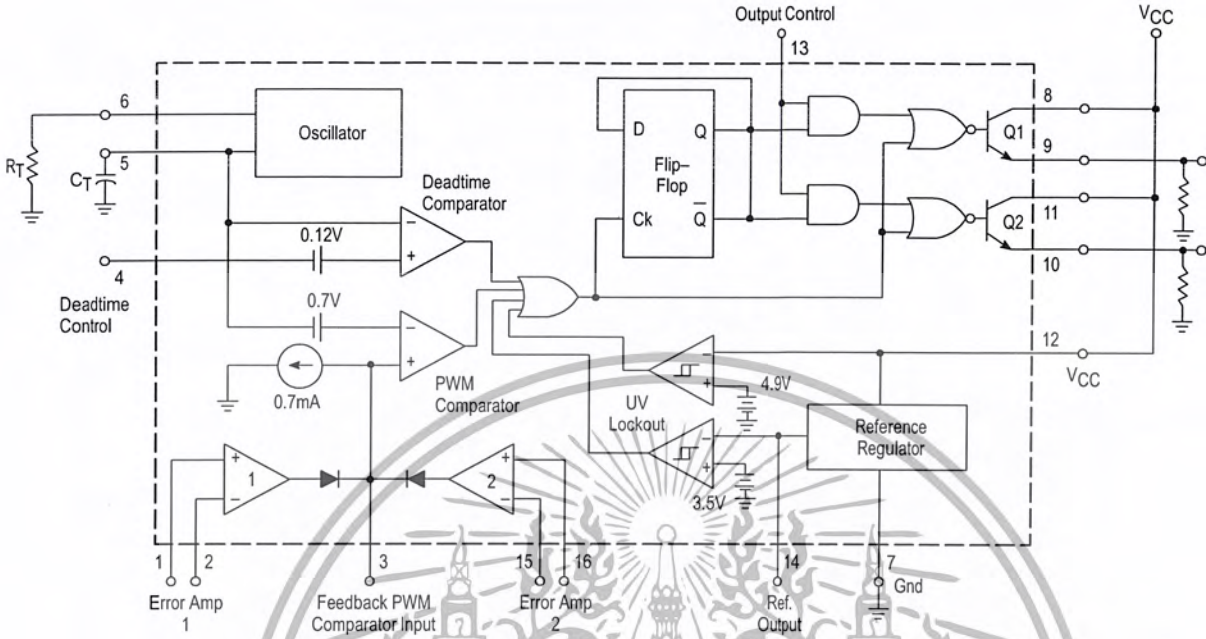
For typical values $T_A = 25^\circ\text{C}$, for min/max values T_A is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ERROR AMPLIFIER SECTION					
Input Offset Voltage (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	V_{IO}	–	2.0	10	mV
Input Offset Current (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	I_{IO}	–	5.0	250	nA
Input Bias Current (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	I_{IB}	–	–0.1	–1.0	μA
Input Common Mode Voltage Range ($V_{CC} = 40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	V_{ICR}	–0.3 to $V_{CC}-2.0$			V
Open Loop Voltage Gain ($\Delta V_O = 3.0\text{ V}$, $V_O = 0.5\text{ V}$ to 3.5 V , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	A_{VOL}	70	95	–	dB
Unity-Gain Crossover Frequency ($V_O = 0.5\text{ V}$ to 3.5 V , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	f_{C-}	–	350	–	kHz
Phase Margin at Unity-Gain ($V_O = 0.5\text{ V}$ to 3.5 V , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	ϕ_m	–	65	–	deg.
Common Mode Rejection Ratio ($V_{CC} = 40\text{ V}$)	CMRR	65	90	–	dB
Power Supply Rejection Ratio ($\Delta V_{CC} = 33\text{ V}$, $V_O = 2.5\text{ V}$, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	PSRR	–	100	–	dB
Output Sink Current (V_O (Pin 3) = 0.7 V)	I_{O-}	0.3	0.7	–	mA
Output Source Current (V_O (Pin 3) = 3.5 V)	I_{O+}	2.0	–4.0	–	mA
PWM COMPARATOR SECTION (Test Circuit Figure 11)					
Input Threshold Voltage (Zero Duty Cycle)	V_{TH}	–	2.5	4.5	V
Input Sink Current ($V_{(Pin\ 3)} = 0.7\text{ V}$)	I_{I-}	0.3	0.7	–	mA
DEADTIME CONTROL SECTION (Test Circuit Figure 11)					
Input Bias Current (Pin 4) ($V_{(Pin\ 4)} = 0\text{ V}$ to 5.25 V)	$I_{B(DT)}$	–	–2.0	–10	μA
Maximum Duty Cycle, Each Output, Push-Pull Mode: ($V_{(Pin\ 4)} = 0\text{ V}$, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$) ($V_{(Pin\ 4)} = 0\text{ V}$, $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	DC_{max}	45	48 45	50 50	%
Input Threshold Voltage (Pin 4) (Zero Duty Cycle) (Maximum Duty Cycle)	V_{th}	– 0	2.8	3.3	V
OSCILLATOR SECTION					
Frequency ($C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	f_{osc}	–	40	–	kHz
Standard Deviation of Frequency* ($C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	σ_{osc}	–	3.0	–	%
Frequency Change with Voltage ($V_{CC} = 7.0\text{ V}$ to 40 V , $T_A = 25^\circ\text{C}$)	$\Delta f_{osc}(\Delta V)$	–	0.1	–	%
Frequency Change with Temperature ($\Delta T_A = T_{low}$ to T_{high}) ($C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$)	$\Delta f_{osc}(\Delta T)$	–	–	12	%
UNDERVOLTAGE LOCKOUT SECTION					
Turn-On Threshold (V_{CC} increasing, $I_{ref} = 1.0\ \text{mA}$)	V_{th}	5.5	6.43	7.0	V
TOTAL DEVICE					
Standby Supply Current (Pin 6 at V_{ref} , All other inputs and outputs open) ($V_{CC} = 15\text{ V}$) ($V_{CC} = 40\text{ V}$)	I_{CC}	–	5.5 7.0	10 15	mA
Average Supply Current ($C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$, $V_{(Pin\ 4)} = 2.0\text{ V}$) ($V_{CC} = 15\text{ V}$) (See Figure 12)		–	7.0	–	mA

* Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula, $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_n - \bar{X})^2}{n - 1}}$

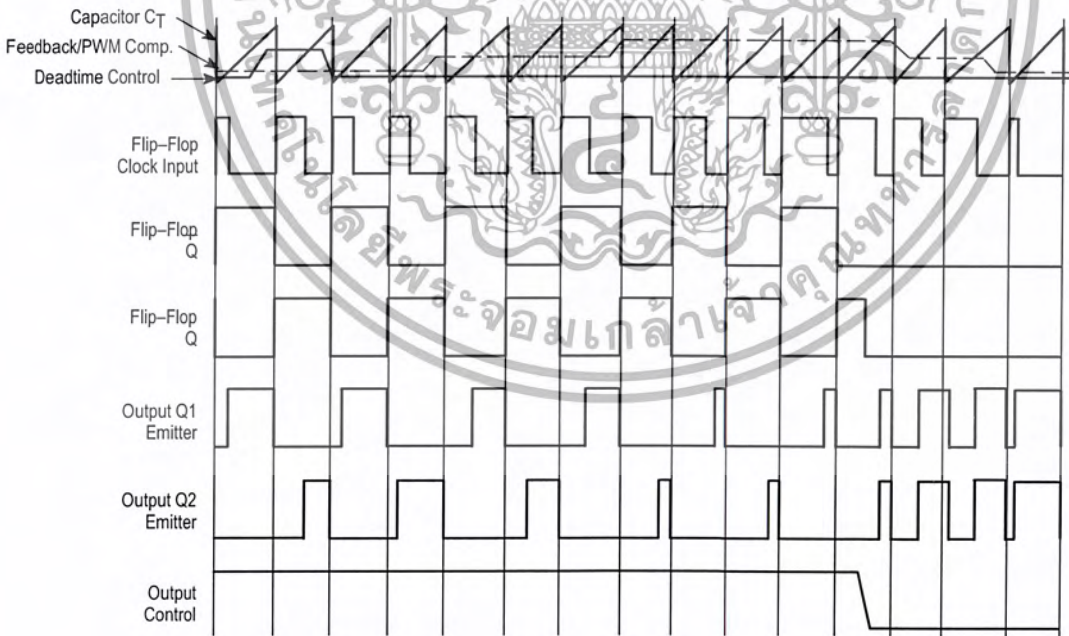
TL494

Figure 1. Representative Block Diagram



This device contains 46 active transistors.

Figure 2. Timing Diagram



TL494

APPLICATIONS INFORMATION

Description

The TL494 is a fixed-frequency pulse width modulation control circuit, incorporating the primary building blocks required for the control of a switching power supply. (See Figure 1.) An internal-linear sawtooth oscillator is frequency-programmable by two external components, R_T and C_T . The approximate oscillator frequency is determined by:

$$f_{osc} \approx \frac{1.1}{R_T \cdot C_T}$$

For more information refer to Figure 3.

Output pulse width modulation is accomplished by comparison of the positive sawtooth waveform across capacitor C_T to either of two control signals. The NOR gates, which drive output transistors Q1 and Q2, are enabled only when the flip-flop clock-input line is in its low state. This happens only during that portion of time when the sawtooth voltage is greater than the control signals. Therefore, an increase in control-signal amplitude causes a corresponding linear decrease of output pulse width. (Refer to the Timing Diagram shown in Figure 2.)

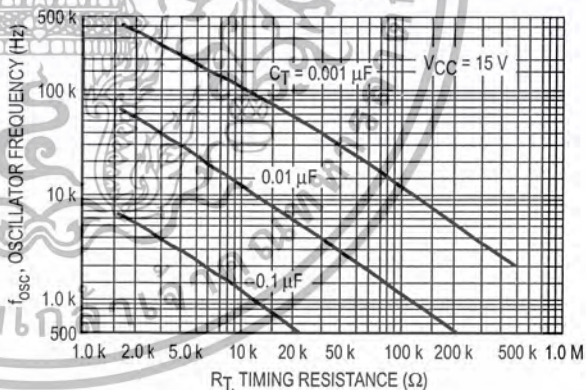
The control signals are external inputs that can be fed into the deadtime control, the error amplifier inputs, or the feedback input. The deadtime control comparator has an effective 120 mV input offset which limits the minimum output deadtime to approximately the first 4% of the sawtooth-cycle time. This would result in a maximum duty cycle on a given output of 96% with the output control grounded, and 48% with it connected to the reference line. Additional deadtime may be imposed on the output by setting the deadtime-control input to a fixed voltage, ranging between 0 V to 3.3 V.

may be used to sense power-supply output voltage and current. The error-amplifier outputs are active high and are ORed together at the noninverting input of the pulse-width modulator comparator. With this configuration, the amplifier that demands minimum output on time, dominates control of the loop.

When capacitor C_T is discharged, a positive pulse is generated on the output of the deadtime comparator, which clocks the pulse-steering flip-flop and inhibits the output transistors, Q1 and Q2. With the output-control connected to the reference line, the pulse-steering flip-flop directs the modulated pulses to each of the two output transistors alternately for push-pull operation. The output frequency is equal to half that of the oscillator. Output drive can also be taken from Q1 or Q2, when single-ended operation with a maximum on-time of less than 50% is required. This is desirable when the output transformer has a ringback winding with a catch diode used for snubbing. When higher output-drive currents are required for single-ended operation, Q1 and Q2 may be connected in parallel, and the output-mode pin must be tied to ground to disable the flip-flop. The output frequency will now be equal to that of the oscillator.

The TL494 has an internal 5.0 V reference capable of sourcing up to 10 mA of load current for external bias circuits. The reference has an internal accuracy of $\pm 5.0\%$ with a typical thermal drift of less than 50 mV over an operating temperature range of 0° to 70°C.

Figure 3. Oscillator Frequency versus Timing Resistance



Functional Table

Input/Output Controls	Output Function	$f_{out} / f_{osc} =$
Grounded	Single-ended PWM @ Q1 and Q2	1.0
@ V_{ref}	Push-pull Operation	0.5

The pulse width modulator comparator provides a means for the error amplifiers to adjust the output pulse width from the maximum percent on-time, established by the deadtime control input, down to zero, as the voltage at the feedback pin varies from 0.5 V to 3.5 V. Both error amplifiers have a common mode input range from -0.3 V to $(V_{CC} - 2V)$, and

Figure 4. Open Loop Voltage Gain and Phase versus Frequency

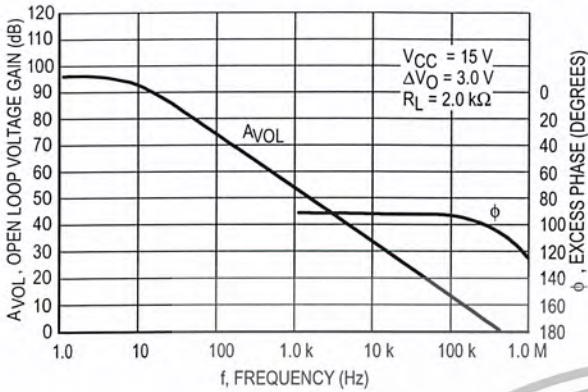


Figure 5. Percent Deadtime versus Oscillator Frequency

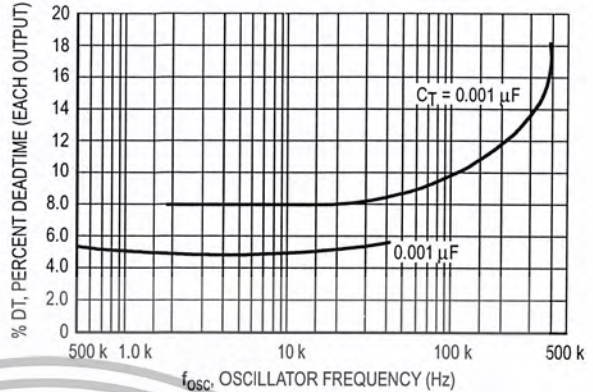


Figure 6. Percent Duty Cycle versus Deadtime Control Voltage

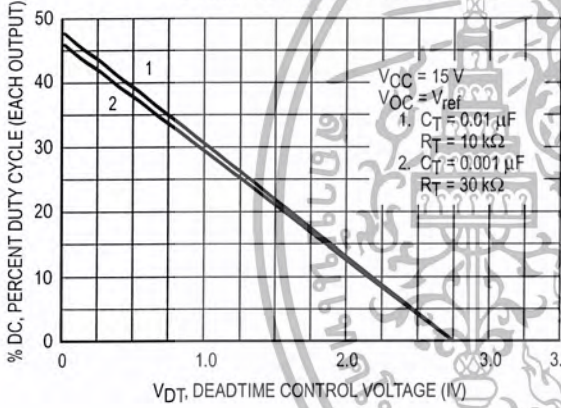


Figure 7. Emitter-Follower Configuration Output Saturation Voltage versus Emitter Current

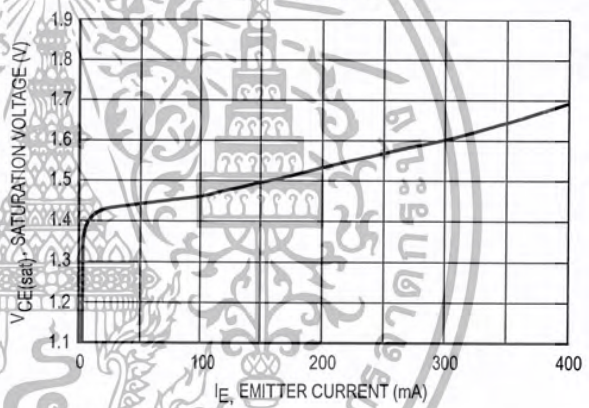


Figure 8. Common-Emitter Configuration Output Saturation Voltage versus Collector Current

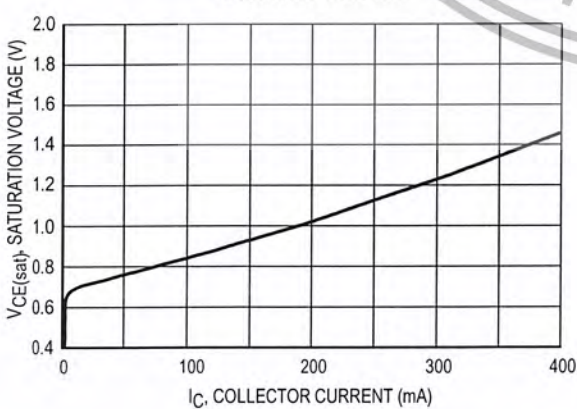
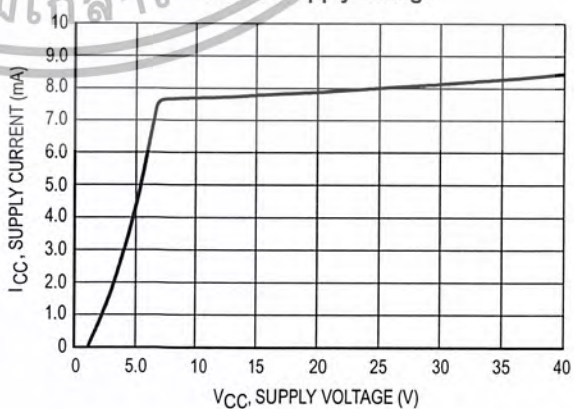


Figure 9. Standby Supply Current versus Supply Voltage



TL494

Figure 10. Error-Amplifier Characteristics

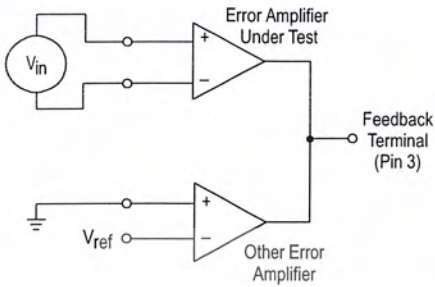


Figure 11. Deadtime and Feedback Control Circuit

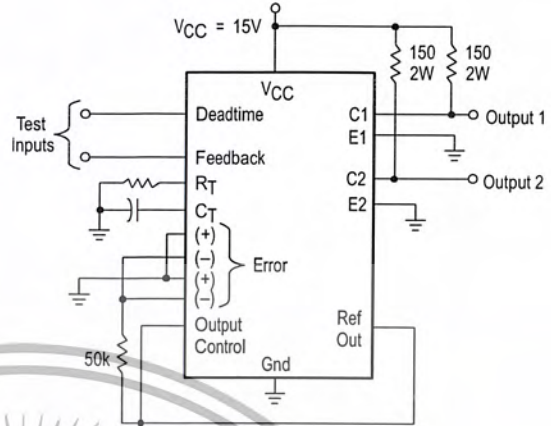


Figure 12. Common-Emitter Configuration Test Circuit and Waveform

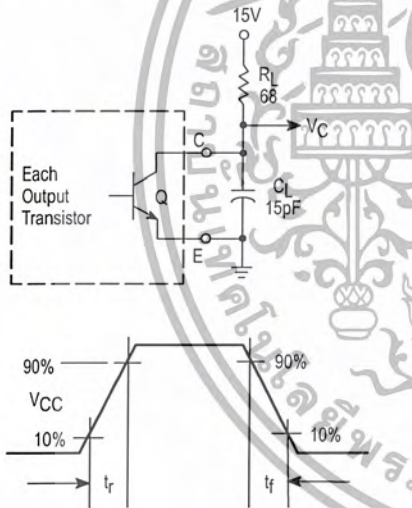
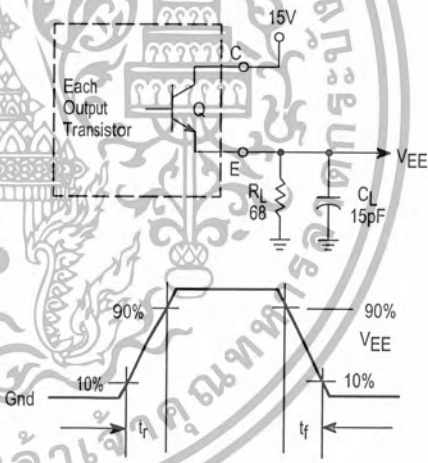


Figure 13. Emitter-Follower Configuration Test Circuit and Waveform



TL494

Figure 14. Error-Amplifier Sensing Techniques

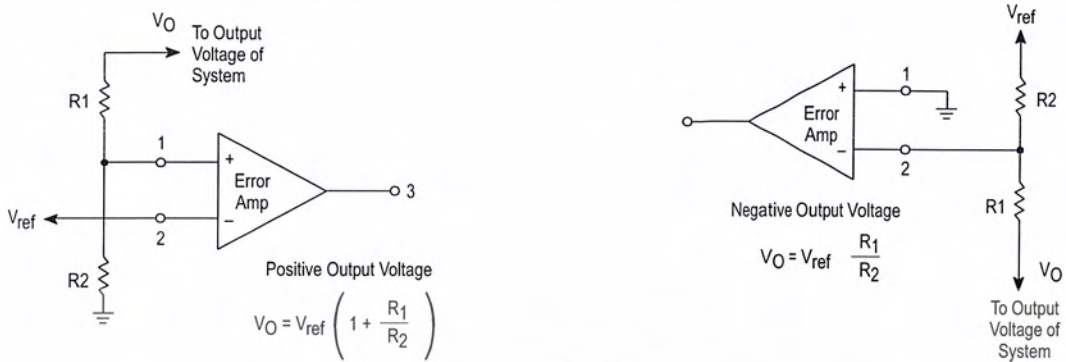


Figure 15. Deadtime Control Circuit

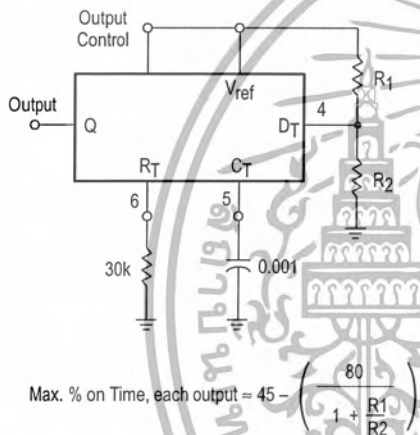


Figure 16. Soft-Start Circuit

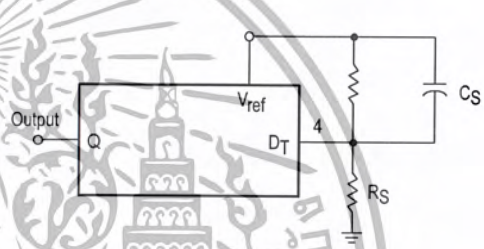
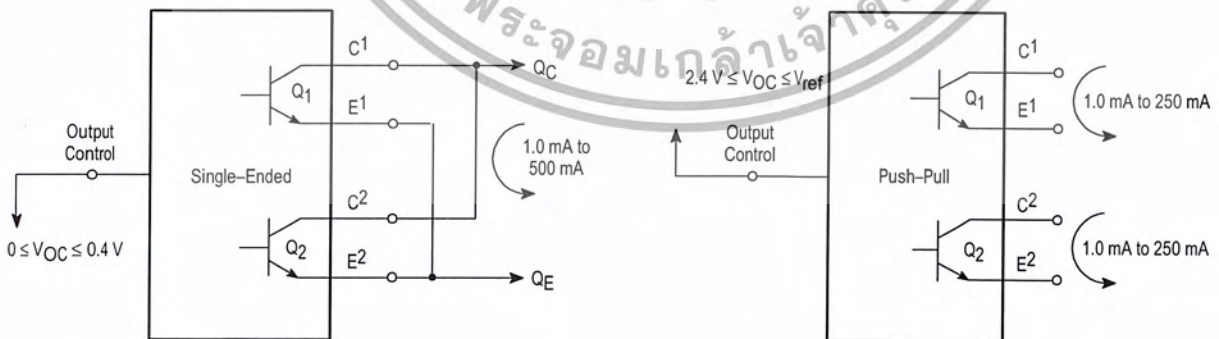


Figure 17. Output Connections for Single-Ended and Push-Pull Configurations



TL494

Figure 18. Slaving Two or More Control Circuits

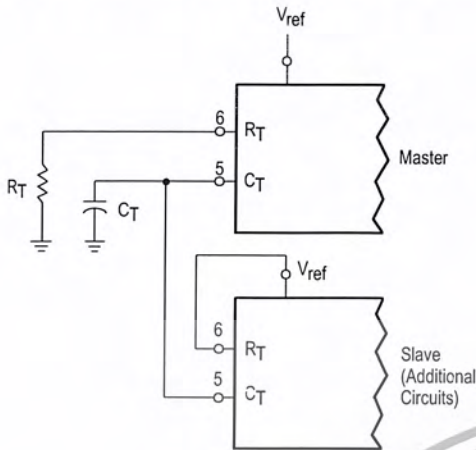


Figure 19. Operation with $V_{in} > 40\text{ V}$ Using External Zener

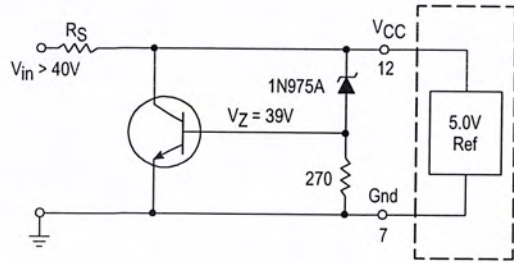
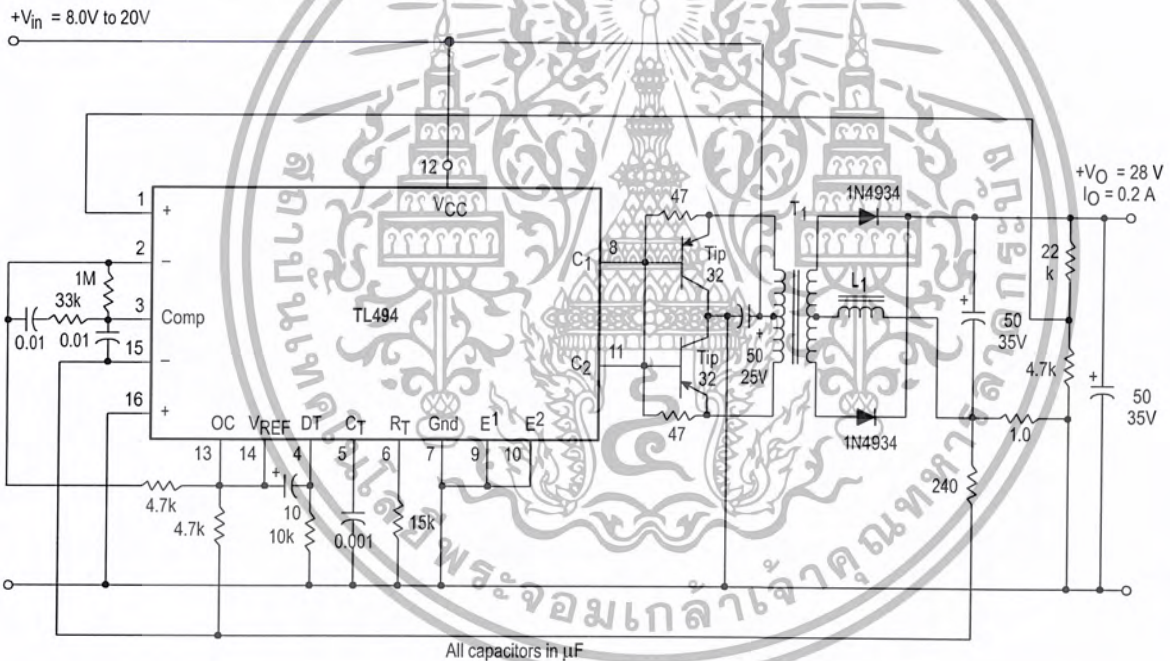


Figure 20. Pulse Width Modulated Push-Pull Converter

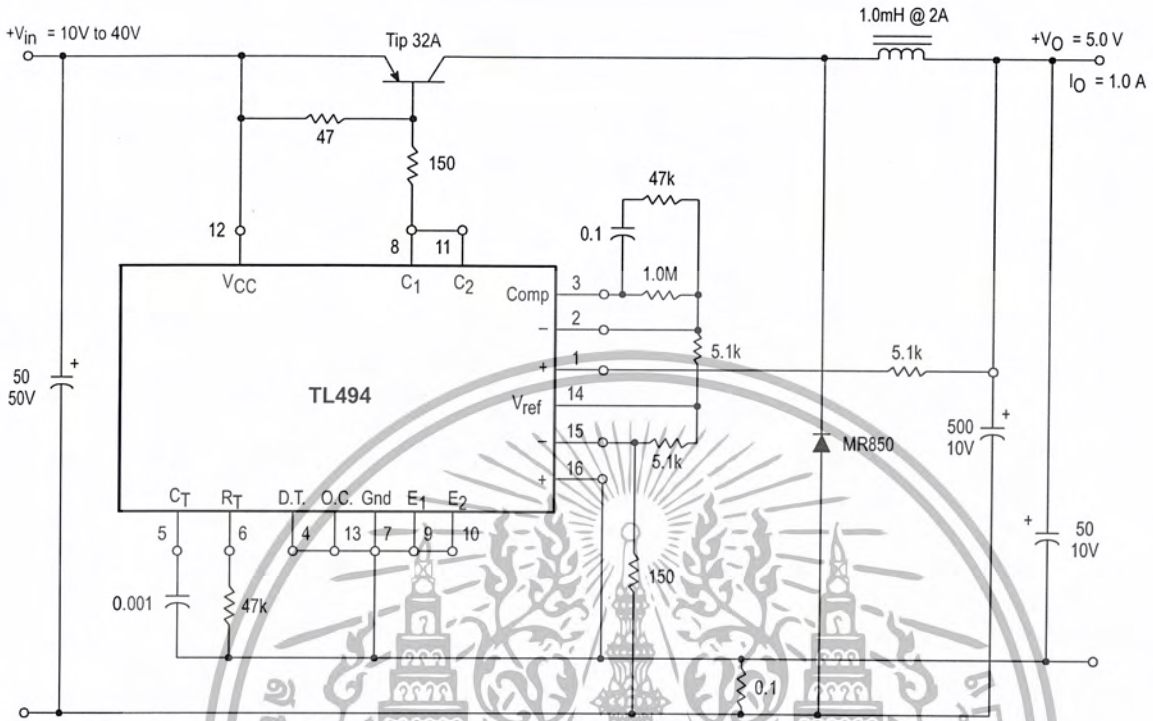


Test	Conditions	Results
Line Regulation	$V_{in} = 10\text{ V to }40\text{ V}$	14 mV 0.28%
Load Regulation	$V_{in} = 28\text{ V}, I_O = 1.0\text{ mA to }1.0\text{ A}$	3.0 mV 0.06%
Output Ripple	$V_{in} = 28\text{ V}, I_O = 1.0\text{ A}$	65 mV pp P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 28\text{ V}, R_L = 0.1\ \Omega$	1.6 A
Efficiency	$V_{in} = 28\text{ V}, I_O = 1.0\text{ A}$	71%

L1 - 3.5 mH @ 0.3 A
 T1 - Primary: 20T C.T. #28 AWG
 Secondary: 12OT C.T. #36 AWG
 Core: Ferroxcube 1408P-L00-3CB

TL494

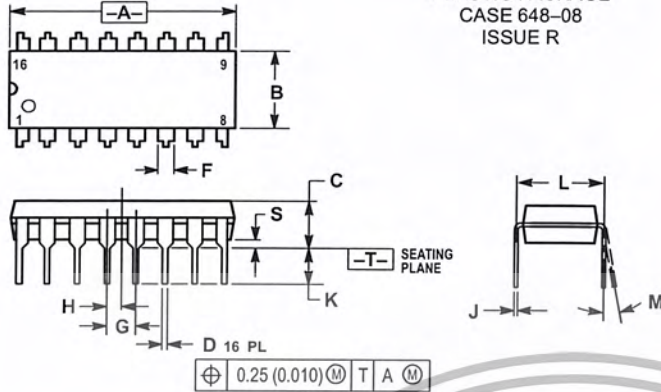
Figure 21. Pulse Width Modulated Step-Down Converter



Test	Conditions	Results
Line Regulation	$V_{in} = 8.0\text{ V to }40\text{ V}$	3.0 mV 0.01%
Load Regulation	$V_{in} = 12.6\text{ V}, I_O = 0.2\text{ mA to }200\text{ mA}$	5.0 mV 0.02%
Output Ripple	$V_{in} = 12.6\text{ V}, I_O = 200\text{ mA}$	40 mV _{pp} P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 12.6\text{ V}, R_L = 0.1\ \Omega$	250 mA
Efficiency	$V_{in} = 12.6\text{ V}, I_O = 200\text{ mA}$	72%

TL494 OUTLINE DIMENSIONS

N SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 648-08 ISSUE R

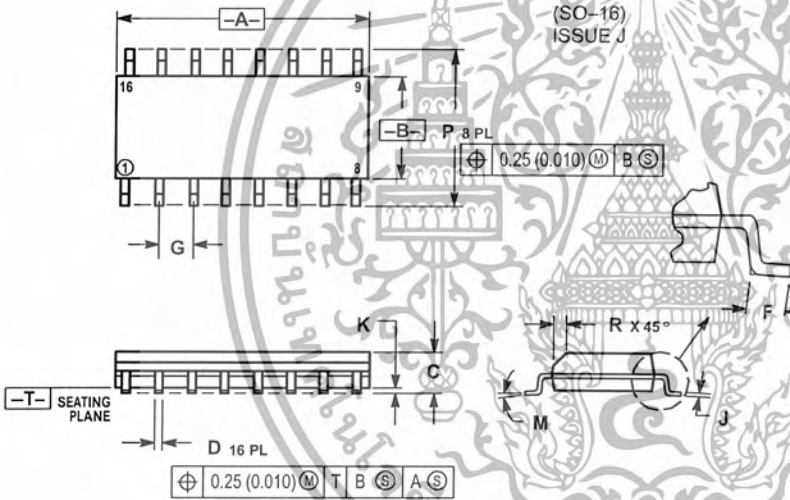


NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
5. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.740	0.770	18.80	19.55
B	0.250	0.270	6.35	6.85
C	0.145	0.175	3.69	4.44
D	0.015	0.021	0.39	0.53
F	0.040	0.70	1.02	1.77
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.050 BSC		1.27 BSC	
J	0.008	0.015	0.21	0.38
K	0.110	0.130	2.80	3.30
L	0.295	0.305	7.50	7.74
M	0°	10°	0°	10°
S	0.020	0.040	0.51	1.01

D SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 751B-05 (SO-16) ISSUE J



NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
3. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE.
5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	9.80	10.00	0.386	0.393
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.054	0.068
D	0.35	0.49	0.014	0.019
F	0.40	1.25	0.016	0.049
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
J	0.19	0.25	0.008	0.009
K	0.10	0.25	0.004	0.009
M	0°	7°	0°	7°
P	5.80	6.20	0.229	0.244
R	0.25	0.50	0.010	0.019

บรรณานุกรม

- [1] Marian K. Kazimierczuk and Dariusz Czarkowski, "Resonant Power Converter," John Wiley & Sons, INC, 1995.
- [2] Mohan, Undeland and Robbin, "Power Electronics Converter : Application and design," John & Sons, INC, 1995.
- [3] Robert Boylestad & Louis Nashelsky, "Electronic Devices and Circuit Theory," Prentice-Hall, INC, 1996.
- [4] ตระกูล ถนอมเนื้อ และเฉลิมพงษ์ เทียนไพบุลย์ศิริ และสัญชัย อภิรติกร, เครื่องเชื่อมไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง, ปรินูญานิพนธ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542.
- [5] มนตรี วิริยะประจักษ์กุล และสุภชัย ยุทธนาศิริกุล และถาวร ชินวงศ์, เครื่องเชื่อมไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์กระแสตรง, ปรินูญานิพนธ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.
- [6] สุวัฒน์ คั่น, เทคนิคการออกแบบสวิทช์ซิงเพาเวอร์ซัพพลาย, บริษัท เอนเทลไทย จำกัด, 2537.
- [7] อนุวัฒน์ จางวานิชเลิศ, เอกสารประกอบการสอนวิชาการออกแบบตัวเหนี่ยวนำและหม้อแปลง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้