

ปีการศึกษา 2543

เครื่องเชื่อมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์กระแสตรง
POWER ELECTRONIC DC WELDER



โดย
นาย มนตรี วิริยะประจักษ์กุล
นาย สุภชัย ยุทธนาสิริกุล
นาย ทาวร ชินวงษ์

เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 42585
วัน, เดือน, ปี - 4 ส.พ. 2545

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

อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ
ผศ.ดร. วิจิตร ถิณเรศ
อาจารย์ สุรินทร์ คำฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

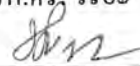
เรื่อง เครื่องเชื่อมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์กระแสตรง

ผู้จัดทำ

1. นาย มนตรี วิริยะประจักษ์กุล
2. นาย สุขชัย บุทธนาศิริกุล
3. นาย ทาวร ชินวงษ์


อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. วิริยะ พิเชษฐจำเริญ)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. สุรินทร์ คำฝอย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
หลักการรีโซแนนท์	4
ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบซิงเกิลรีโซแนนท์	7
ซีโร โวลต์เดจสวิตซ์ซิง (ZVS)	10
การควบคุมแบบป้อนกลับ	12
บทที่ 3 หลักการ	14
การใช้งานฟลูบรีดจ์อินเวอร์เตอร์ในเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง	14
ซีโรโวลต์เดจสวิตซ์ซิง (ZVS) ในวงจรเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง	15
การป้องกันกระแสเกินในเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง	16
กำลังสูญเสียในรูปความร้อนของไคโอด	17
วงจรสับเบอร์	19
บทที่ 4 ส่วนประกอบของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง	23
ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์	23
วงจรกำลัง	23
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	30
การวัดค่าสัญญาณที่จุดต่างๆของเครื่องเชื่อม	30
การเปลี่ยนจุกรีโซแนนท์	35
การเปลี่ยนความถี่ในการเชื่อม	37
การเปลี่ยนขนาดเหล็กและลวดเชื่อม โดยคงค่าความถี่ในการเชื่อม	47
การทดสอบเชื่อมชิ้นงาน	57
สรุปผลการทดลองและวิจารณ์งานที่ได้	65
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER ELECTRONIC DC WELDER

Mr. Montree Viriyaprajakkul

Mr. Supachai Yuttanasirikul

Mr. Thaworn Chinnawong

Adviser

Assoc.Prof.Dr. Viriya Pichetjamroen

Assist.Prof.Dr. Vijit Kinarees

Mr. Surin Khomfoi

2000

Abstract

This thesis purposes the power electronic DC welder by used the application of series resonant full bridge inverter works at ZVS. Current controlled by frequency adjustable. The system consists of rectifier circuit, high frequency full bridge inverter and series resonant circuit, high frequency rectifier and load equipment. The control circuits consists of oscillator and adjustable frequency circuit. The theory of power electronic DC welder is used full bridge inverter to control power delivery by load through L-C series resonant to maintain ZVS condition to decrease the switching loss of power mosfet and this control circuit can be operate the system with soft-start condition. This DC welder is developed has switching frequency are between 80-86 kHz output voltage 30-50 V, adjustable welding current 50-120 A and output power 3.5 kW.

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การพล็อตค่า $+jX_L$ และ $-jX_C$ กับความถี่สำหรับวงจรอนุกรม RLC รีโซแนนท์	4
รูปที่ 2.2 แสดงกราฟ อิมพีแดนซ์ กระแส และ มุมเฟสกับความถี่	5
รูปที่ 2.3 รูปเฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันในวงจร RLC รีโซแนนท์	7
รูปที่ 2.4 วงจรซีรี่ รีโซแนนท์ คีซี-คีซี คอนเวเตอร์	8
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะสัญญาณแรงดันและกระแสด้านขาออกของอินเวอเตอร์	9
รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_o/V_s กับ f/f_0	10
รูปที่ 2.7 รูปวงจรซีโรโวลท์เทจสวิตซ์ซิ่ง	10
รูปที่ 2.8 สัญญาณในวงจรซีโรโวลท์เทจสวิตซ์ซิ่ง	11
รูปที่ 2.9 ก) ลักษณะระบบควบคุมแบบเปิด	13
รูปที่ 2.9 ข) ลักษณะระบบควบคุมแบบปิด	13
รูปที่ 3.1 ลักษณะวงจรที่ใช้ในงานวิจัย	14
รูปที่ 3.2 วงจรและรูปคลื่นกระแสและแรงดัน ZVS	15
รูปที่ 3.3 วงจรป้องกันกระแสเกิน	17
รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะเริ่มหยุดนำกระแส	18
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะการลดลงของกระแสและการกระแสเพิ่มขึ้นของแรงดันของอุปกรณ์สวิตซ์ซิ่งขณะเริ่มหยุดนำกระแส	20
รูปที่ 3.6 แสดงการต่อวงจรสแน็บเบอรัช่วยหยุดนำกระแสเพื่อหน่วงแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์สวิตซ์ซิ่งให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ	20
รูปที่ 3.7 แสดงการต่อสแน็บเบอรัป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินเพื่อจำกัดค่ากระแสสูงสุดที่ตกคร่อมอุปกรณ์สวิตซ์ซิ่งขณะเริ่มหยุดนำกระแส	22
รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุมการจุดชนวนของมอสเฟต	23
รูปที่ 4.2 วงจรรวมของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง	24
รูปที่ 4.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรกำลัง	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.4 วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองแรงดัน	25
รูปที่ 4.5 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์	26
รูปที่ 4.6 ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์	27
รูปที่ 4.7 ชุดวงจรรีโซแนนท์	28
รูปที่ 4.8 ขนาดของแกนเฟอร์ไรต์ที่ใช้ทำอินดักเตอร์	28
รูปที่ 4.9 ขนาดแกนเฟอร์ไรต์ที่ใช้ทำหม้อแปลงความถี่สูง	29
รูปที่ 5.1 รูปแสดงสัญญาณแรงดันไฟตรงที่จ่ายให้กับวงจรควบคุม	30
รูปที่ 5.2 รูปสัญญาณที่ออกจากขาเอาต์พุทของ UC 3879	31
รูปที่ 5.3 รูปสัญญาณที่วัดที่ขาเกตและขาชอร์ต	31
รูปที่ 5.4 รูปสัญญาณเคทาโทมของสัญญาณขับเคลื่อน	31
รูปที่ 5.5 รูปสัญญาณที่วัดที่ขาเกตและขาชอร์ตที่มอสเฟตขนานกัน	32
รูปที่ 5.6 รูปสัญญาณอินพุทของอินเวอร์เตอร์	32
รูปที่ 5.7 รูปสัญญาณเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์ (ไม่มีโหลด)	32
รูปที่ 5.8 รูปสัญญาณแรงดันเอาต์พุทที่ออกจากหม้อแปลง	33
รูปที่ 5.9 รูปสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมไดโอด	33
รูปที่ 5.10 รูปสัญญาณเอาต์พุทที่ออกจากไดโอด	33
รูปที่ 5.11 รูปสัญญาณเอาต์พุทที่ตัวเก็บประจุรีโซแนนท์	34
รูปที่ 5.12 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสกับความถี่ที่ความถี่ รีโซแนนท์ 77.5 kHz	35
รูปที่ 5.13 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสกับความถี่ที่ความถี่ รีโซแนนท์ 88 kHz	36
รูปที่ 5.14 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสกับความถี่ที่ความถี่ รีโซแนนท์ 68 kHz	36
รูปที่ 5.15 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสกับความถี่ที่ความถี่ รีโซแนนท์ที่ทดลอง	37
รูปที่ 5.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่ สวิตซ์ซึ่งต่างๆ	41

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ความถี่ สวิตซ์ซึ่งต่างๆ	42
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่ สวิตซ์ซึ่งต่างๆขณะทำการัดวงจรที่หัวเชื่อม	46
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ กระแสที่ความถี่ สวิตซ์ซึ่งต่างๆขณะทำการัดวงจรที่หัวเชื่อม	46
รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ กำลังไฟฟ้าที่ขนาดเหล็กต่างๆ	49
รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ กำลังไฟฟ้าที่ขนาดเหล็กต่างๆ ขณะทำการัดวงจรที่หัวเชื่อม	50
รูปที่ 5.22 แสดงสัญญาณที่ค่าต่างๆเมื่อทำการลดค่าความถี่และ เปลี่ยนขนาดลวดและเหล็ก	50
รูปที่ 5.23 รอยเชื่อมเหล็ก 3mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 81.97 kHz	59
รูปที่ 5.24 รอยเชื่อมเหล็ก 3mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 81.97 kHz	59
รูปที่ 5.25 รอยเชื่อมเหล็ก 6mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 80.91 kHz	60
รูปที่ 5.26 รอยเชื่อมเหล็ก 6mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 80.91 kHz	60
รูปที่ 5.27 รอยเชื่อมเหล็ก 9mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 80.13 kHz	61
รูปที่ 5.28 รอยเชื่อมเหล็ก 9mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 80.13 kHz	61
รูปที่ 5.29 รอยเชื่อมเหล็ก 6mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 81.24 kHz ใช้ลวดเชื่อม 2 เส้นทดลองเชื่อมติดต่อกัน	62
รูปที่ 5.30 รอยเชื่อมเหล็ก 6mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 81.24 kHz ใช้ลวดเชื่อม 2 เส้นทดลองเชื่อมติดต่อกัน	62

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 5.31 รอยเชื่อมเหล็ก 3mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 81.50 kHz เชื่อมเหล็กสองแผ่นติดกัน โดยรูปที่ได้เป็นรูปรอยเชื่อมด้านหน้า	63
รูปที่ 5.32 รอยเชื่อมเหล็ก 3mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 81.50 kHz เชื่อมเหล็กสองแผ่นติดกัน โดยรูปที่ได้เป็นรูปรอยเชื่อมด้านหลัง	63
รูปที่ 5.33 รอยเชื่อมเหล็ก 3mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 81.50 kHz เชื่อมเหล็กสองแผ่นติดกัน แบบต่อฉาก[T] โดยรูปที่ได้เป็นรูปรอยเชื่อมด้านหน้า	64
รูปที่ 5.34 รอยเชื่อมเหล็ก 3mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 81.50 kHz เชื่อมเหล็กสองแผ่นติดกัน แบบต่อฉาก[T] โดยรูปที่ได้เป็นรูปรอยเชื่อมด้านหน้า	64

VII

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 การทดสอบที่ 85.91 kHz	38
ตารางที่ 2 การทดสอบที่ 85.03 kHz	38
ตารางที่ 3 การทดสอบที่ 84.18 kHz	39
ตารางที่ 4 การทดสอบที่ 83.06 kHz	39
ตารางที่ 5 การทดสอบที่ 81.97 kHz	40
ตารางที่ 6 การทดสอบที่ 80.91 kHz	40
ตารางที่ 7 การทดสอบที่ 80.13 kHz	41
ตารางที่ 8 การทดสอบที่ 85.91 kHz โดยถัดวงจรที่หัวเชื่อม	42
ตารางที่ 9 การทดสอบที่ 85.03 kHz โดยถัดวงจรที่หัวเชื่อม	43
ตารางที่ 10 การทดสอบที่ 84.18 kHz โดยถัดวงจรที่หัวเชื่อม	43
ตารางที่ 11 การทดสอบที่ 83.06 kHz โดยถัดวงจรที่หัวเชื่อม	44
ตารางที่ 12 การทดสอบที่ 81.97 kHz โดยถัดวงจรที่หัวเชื่อม	44
ตารางที่ 13 การทดสอบที่ 80.91 kHz โดยถัดวงจรที่หัวเชื่อม	45
ตารางที่ 14 การทดสอบที่ 80.13 kHz โดยถัดวงจรที่หัวเชื่อม	45
ตารางที่ 15 การทดสอบโดยคงค้ความถี่และเปลี่ยนขนาดเหล็ก และลวดเชื่อม	47
ตารางที่ 16 ผลการทดสอบการเชื่อมในปริญญานิพนธ์ปี 2542	57
ตารางที่ 17 ผลการทดสอบเชื่อมในปริญญานิพนธ์นี้	57

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันงานเชื่อมโลหะมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับโลหะ เพราะผลิตภัณฑ์ที่ผ่านงานเชื่อมจะมีความมั่นคงแข็งแรง และเนื่องจากงานเชื่อมแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ทำให้ต้องใช้เครื่องเชื่อมที่มีลักษณะการเชื่อมที่ต่างกันไป เช่น เครื่องเชื่อมโลหะแบบใช้ไฟฟ้า และเครื่องเชื่อมโลหะแบบใช้แก๊ส

ในส่วนของเครื่องเชื่อมโลหะแบบใช้ไฟฟ้าแบ่งออกเป็นเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสสลับและเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง เครื่องเชื่อมโลหะที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับมีข้อดีคือสร้างได้ง่าย ราคาถูก แต่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก ประสิทธิภาพต่ำ และมีข้อจำกัดทางด้านการเชื่อมคือไม่สามารถเชื่อมโลหะบางชนิดได้ ส่วนเครื่องเชื่อมโลหะแบบใช้ไฟฟ้ากระแสตรง มีข้อดีคือสามารถเลือกขั้วไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมทำให้เชื่อมโลหะได้หลายชนิด เหมาะกับงานละเอียด มีขนาดเล็ก และน้ำหนักเบา

จากการศึกษาปริญญาโทเรื่องเครื่องเชื่อมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงปีการศึกษา 2542 จะอาศัยการประยุกต์ของวงจร คิซี-คิซี คอนเวอร์เตอร์ แบบซีวี รีโซแนนท์ โดยใช้วงจรเรกติไฟร์เรียงไฟสลับ 50 เฮิรซ์(ac) ไปเป็นไฟตรง(dc) แล้วส่งไปยังวงจรอินเวอร์เตอร์ แบบฟลูบริดจ์ ซึ่งใช้ มอสเฟต เป็นสวิทช์ในการตัดต่อสัญญาณคิซีไปเป็นสัญญาณสแควร์เวฟที่ความถี่สูง แล้วส่งผ่านไปยังหม้อแปลง ซึ่งก่อนสัญญาณจะเข้าหม้อแปลงจะมีชุดรีโซแนนท์ ซึ่งประกอบด้วย ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ จากนั้นสัญญาณไฟสลับความถี่สูงจากหม้อแปลงจะถูกแปลงให้กลายเป็นสัญญาณแรงดันไฟตรง โดยใช้วงจรฟลูเวฟแบบเซนเตอร์แท็ปเรกติไฟร์ เพื่อจ่ายกระแสไปยังชิ้นงานที่นำมาทำการเชื่อม โดยไดโอดที่ใช้ในวงจรฟลูเวฟแบบเซนเตอร์แท็ปเรกติไฟร์เป็น ไดโอดที่สามารถทำงานที่สัญญาณความถี่สูงได้ดี ส่วนวงจรควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ใช้ ไอซีเบอร์ UC3879 ซึ่งมีข้อดีคือสามารถปรับได้ทั้งเฟสชิฟ และความถี่ รวมทั้งค่าเดดไทม์ยังคงที่ทุกอย่างานความถี่ที่ใช้งาน และวงจรควบคุมกับวงจรกำลังจะถูกแยกกราวด์ด้วยหม้อแปลงก่อนจ่ายสัญญาณไปขับมอสเฟตของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งเครื่องสามารถทำการเชื่อมได้ แต่ยังไม่สามารถเชื่อมได้คืบัก คือเชื่อมได้แต่ขนาดลวดเส้นเล็ก(2.6มิลลิเมตร,3.2มิลลิเมตร) และเหล็กขนาดแผ่นบางขนาดไม่เกิน 2 มิลลิเมตร เท่านั้น

จากการศึกษาปัญหาที่พบจากเครื่องเชื่อมในปริญญาโทปี 2542 พบว่า

- 1.) กระแสเชื่อมมีขนาดต่ำทำให้เชื่อมเหล็กที่มีขนาดใหญ่ไม่ได้ มีสาเหตุมาจากกำลังไฟฟ้าที่เครื่องเชื่อมไฟฟ้าจ่ายได้ยังมีขนาดต่ำ
- 2.) วงจรสวิทซ์ซึ่งตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของกระแสขณะเชื่อมได้ไม่ดีพอ อันเนื่องมาจากการควบคุมการสวิทซ์ซึ่งขณะเชื่อมยังไม่ดีพอ
- 3.) ไม่มีวงจรมองกลับ เพื่อควบคุมขนาดกระแสตอนเริ่มเชื่อมและป้องกันกระแสเกิน ทำให้มีความเสี่ยงต่อการพังทลายของอุปกรณ์ในขณะที่ทำการเชื่อมสูง

จากการวิเคราะห์ปัญหาที่ผ่านมา จะพบว่าสาเหตุสำคัญที่ไม่สามารถทำการเชื่อมเหล็กหรือลวดเชื่อมที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้นั้นมีสาเหตุมาจากกำลังไฟฟ้าของเครื่องเชื่อมมีขนาดต่ำ เพราะที่ขนาดเหล็กหรือขนาดลวดเชื่อมที่ใหญ่ขึ้นนั้น จะต้องการกระแสที่ใช้เชื่อมมากขึ้นซึ่งก็คือกำลังไฟฟ้าที่ใช้จะต้องมากขึ้นตามขนาดลวดเชื่อมและเหล็กที่นำมาเชื่อมด้วย ดังนั้นการเพิ่มกำลังพิคคของเครื่องเชื่อมให้สูงขึ้นจะสามารถเชื่อมเหล็กที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ จึงเป็นจุดสำคัญอย่างแรกในการพัฒนาเครื่องเชื่อมไฟฟ้า ซึ่งจากการวิจัยพบว่าการที่เครื่องเชื่อมไฟฟ้าจะสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงนั้น มีองค์ประกอบสำคัญหลายอย่าง เช่น การปรับปรุงวงจรสวิทซ์ การสร้างวงจรรีโซแนนท์ที่เหมาะสม และการควบคุมต่างๆของเครื่องเชื่อม ซึ่งเป็นจุดสำคัญต่อมาในงานวิจัยนี้

หลักการที่นำเสนอในบริษัณยานิพนธ์ปี 2543 นี้

- 1.) เพิ่มขนาดพิคคของเครื่องเชื่อม
- 2.) เปลี่ยนแปลงการควบคุมการสวิทซ์จากเฟสชิฟเป็นการปรับความถี่สวิทซ์ซึ่งเท่านั้น
- 3.) สร้างวงจรควบคุมขณะเริ่มทำการเชื่อม
- 4.) สร้างวงจรมองกลับกระแสเกินแบบมอดูล

ขอบเขตของงานที่ทำการวิจัย

ใช้วงจรอินเวอร์เตอร์จ่ายพิคคขนาด 3.5 กิโลวัตต์ กระแสเชื่อม 50-120 แอมป์ที่ความถี่ 80-86 กิโลเฮิรซ์ ที่เอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ มีวงจรมองกลับกระแสเกิน และมีวงจรมองกลับซึ่งใช้ควบคุมกระแสขณะเริ่มทำการเชื่อม

ขอบเขตของบริษัณยานิพนธ์นี้

ประกอบด้วย ทฤษฎีพื้นฐานที่นำมาอ้างอิงในการทำวิจัยนี้ได้แก่ การรีโซแนนท์ วงจรคิซี-คิซี คอนเวอร์เตอร์แบบ ซีรี รีโซแนนท์ และซีโร โวลท์เดจสวิทซ์ซึ่ง การควบคุมแบบมอดูล และหลักการที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้จะเป็นการนำวงจรคิซี-คิซี คอน-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวอร์เตอร์แบบซิริรี รีโซแนนท์ มาประยุกต์ใช้กับวงจรสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ในเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงนี้ ซึ่งวงจรที่ใช้ทั้งหมดได้แก่ วงจรเรกติไฟร์ แบบ ฟลูบริคจ์ ทั้งที่ความถี่ 50 เฮิรซ์และที่ความถี่สูง วงจรควบคุมแบบซอฟต์แวร์-ฮาร์ดแวร์ วงจรควบคุมการสวิตช์แบบปรับความถี่ วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟลูบริคจ์ ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุรีโซแนนท์ และหม้อแปลงความถี่สูง และวงจรป้องกันกระแสเกินแบบป้อนกลับ โดยปริยญาณีพนธ์ฉบับนี้จะทำการเก็บผลการทดลองทั้งที่ คงที่ความถี่แล้วเปลี่ยนขนาดลวดเชื่อมและชิ้นงาน เปลี่ยนความถี่แล้วเปลี่ยนขนาดลวดเชื่อมและชิ้นงาน เปลี่ยนค่าQของวงจรรีโซแนนท์ เปลี่ยนขนาดกระแสที่หัวเชื่อม



บทที่ 2 ทฤษฎี

หลักการรีโซแนนท์

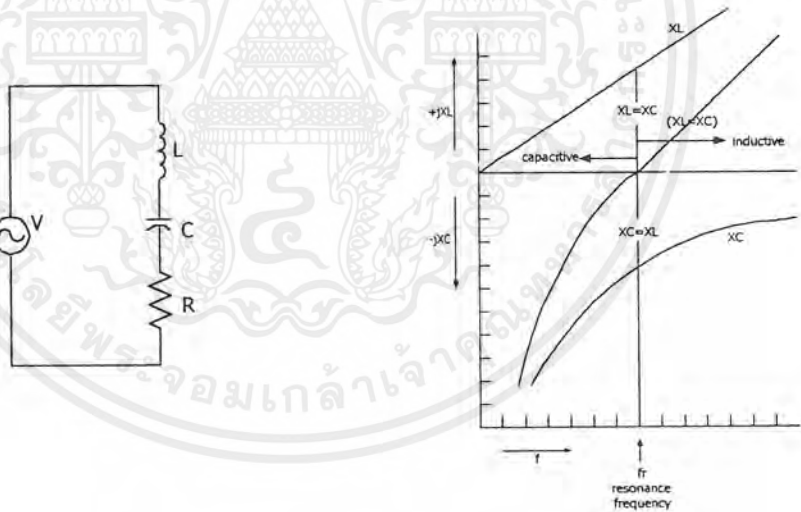
เมื่อเราปรับความถี่ที่ป้อนให้กับวงจรอนุกรม RLC จะพบว่าที่ความถี่ค่าหนึ่ง ค่า X_L จะเท่ากับ X_C เป็นผลให้ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของวงจร RLC มีค่าต่ำที่สุด นั่นคือ $Z = R$ ในสถานะเช่นนี้เราเรียกว่าอยู่ในสภาวะรีโซแนนท์ซึ่งความถี่ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ความถี่รีโซแนนท์ (Resonance Frequency) เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำสุด กระแสที่ไหลในวงจรจึงมีค่ามากที่สุดและเป็นผลให้แรงดันที่ตกคร่อม L และมีค่าเพิ่มขึ้น

อนุกรมรีโซแนนท์

ผลของความถี่ที่มีอิมพีแดนซ์ของวงจรอนุกรม RLC แสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งมีค่าดัง

นี้

$$Z = R + j(X_L - X_C) \tag{1}$$



ก) วงจรอนุกรม RLC

ข) X_L, X_C เมื่อพล็อตกับความถี่

รูปที่ 2.1 การพล็อตค่า $+jX_L$ และ $-jX_C$ กับความถี่สำหรับวงจรอนุกรม RLC รีโซแนนท์

เนื่องจากค่า $X_L = 2\pi fL$ และ $X_C = 1/(2\pi fC)$ ดังนั้นค่าของอิมพีแดนซ์จึงขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ ดังรูปที่ 2.1 ข) จะพบว่า เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า X_L เพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น (Linear) ในทางกลับกัน X_C จะลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น แต่ค่า X_C จะไม่มีทางเท่ากับศูนย์ ผลรวมของรีแอกแตนซ์คือ $X_L - X_C$ ดังแสดงไว้เป็นเส้นประในกราฟ

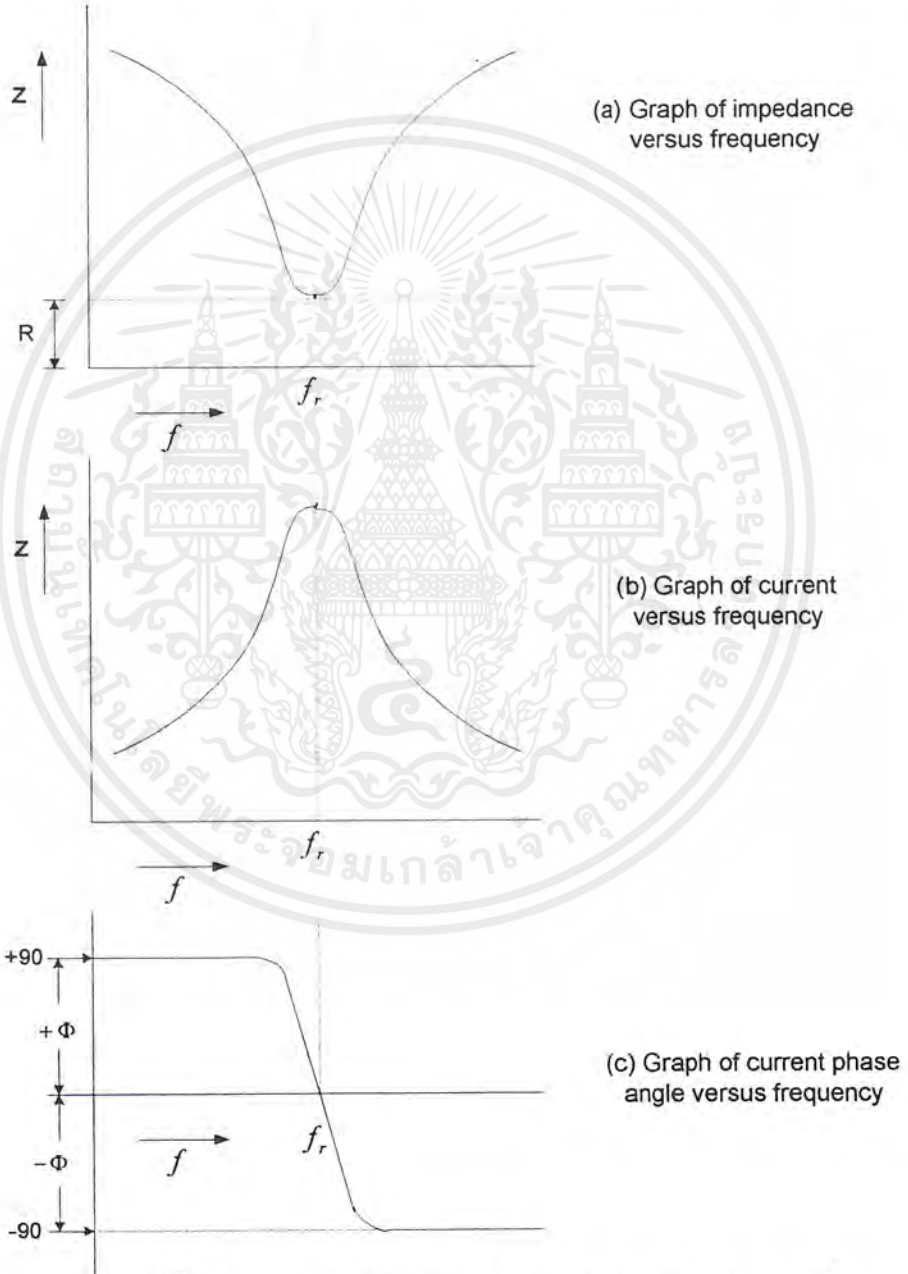
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของรูปที่ 2.1 ข) ที่ความถี่ต่ำ ค่า X_L จะมีค่าน้อยกว่าค่า X_C ดังนั้นผลรวมของรีแอกแตนซ์จะเป็นค่าของ X_C ที่ความถี่สูง $X_L = X_C$ คือ ค่าที่ความถี่รีโซแนนท์

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

$$Z = R \quad (2)$$

เมื่อ $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ นำมาเขียนเป็นกราฟที่แปรผันตามความถี่จะได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงกราฟ อิมพีแดนซ์ กระแส และ มุมเฟสกับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

กระแสที่ไหลเมื่อรีโซแนนท์ ($X_L = X_C$)

$$I = \frac{V}{R} \quad (3)$$

จากรูปจะพบว่ากราฟจะมีค่าต่ำเมื่อความถี่ในวงจร ไม่อยู่ที่จุดรีโซแนนท์
ความถี่รีโซแนนท์

$$X_L = 2\pi fL \quad (4)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (5)$$

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} \quad (6)$$

ดังนั้น

เมื่อ L มีหน่วยเป็นเฮนรี่ (henrys)

C มีหน่วยเป็นฟารัด (farads)

f มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hertz)

แรงดันที่จุดรีโซแนนท์

แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานในวงจร RLC (รูปที่ 2.1 ก) จะมีค่าเท่ากับ $I \cdot R$ และที่
จุดรีโซแนนท์แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานจะมีค่าเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่ายส่วนแรงดันที่
ตกคร่อมตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าดังนี้

$$V_C = I X_C \quad (7)$$

$$V_L = I X_L \quad (8)$$

พลังงานที่ส่งผ่านระหว่าง L และ C

เมื่อเรานำรูปคลื่นของ V_R , V_C และ V_L ที่จุดรีโซแนนท์มาพล็อตดังรูปที่ 3 ก) จะพบว่า
 V_L จะกลับเฟสกัน 180 องศา ส่วน V_R จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ V_C และ V_L มีค่าเท่ากับศูนย์ จาก
ที่กล่าวมานี้แสดงให้เห็นว่าจะมีการส่งผ่านพลังงานระหว่าง L กับ C กลับไปมา เมื่ออยู่ใน
สภาวะรีโซแนนท์

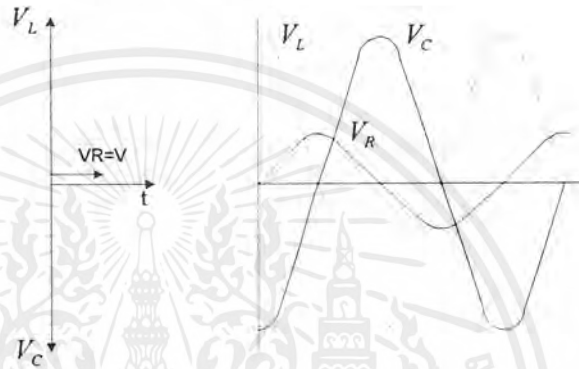
Q แฟกเตอร์ของวงจรอนุกรม RLC

พิจารณาสมการ I, V_C, V_L ที่จุดรีโซแนนซ์

$$I = \frac{V}{R} \quad (9)$$

$$V_L = IX_L \quad (10)$$

$$V_L = \frac{V * X_L}{R} \quad (11)$$



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

รูปที่ 2.3 รูปเฟสเซอร์ไคอะแกรมของแรงดันในวงจร RLC รีโซแนนซ์

ดังนั้น
$$\frac{V_L}{V} = \frac{X_L}{R} \quad (12)$$

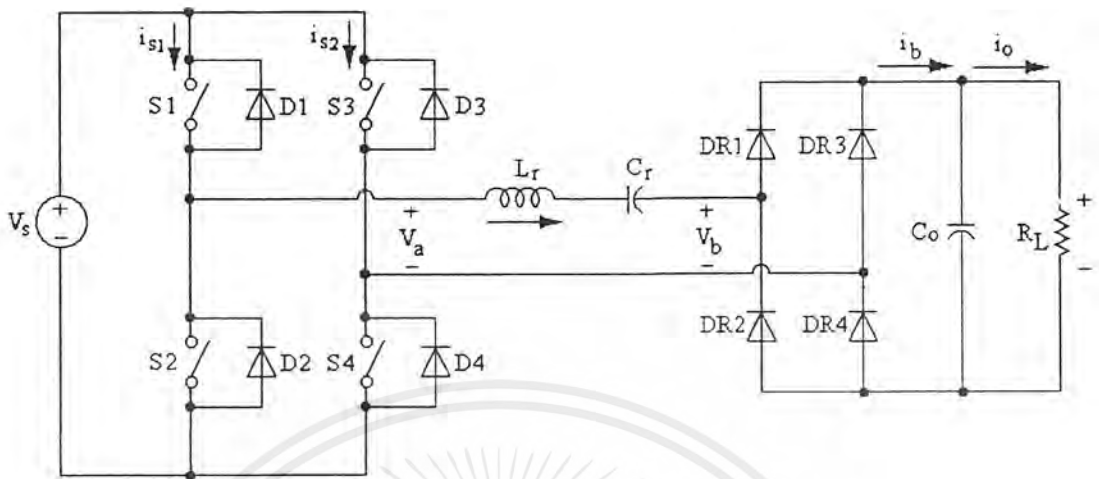
อัตราส่วน $\frac{V_L}{V}$ และ $\frac{V_C}{V}$ คือ ค่าควอลิตี้ (Quality) ของวงจรรีโซแนนซ์หรือ ค่า Q แฟกเตอร์นั่นเอง

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{\omega CR} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (13)$$

ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบชัตเติลรีโซแนนซ์

สวิตช์ของวงจร ดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบฮาร์ฟบริดจ์จะสลับการทำงานทำให้ได้แรงดันออกเป็นแรงดันไฟสลับ ดังนั้นวงจรฮาร์ฟบริดจ์จึงทำหน้าที่เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ของวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ โดยอีกส่วนทางค่านขาออกทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง ส่วนตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุนี้ทำให้เกิดการรีโซแนนซ์ จึงถือว่าเป็นโหนดของวงจรอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 วงจรซีรี่ รีโซแนนท์ คีชี-คีชี คอนเวอร์เตอร์

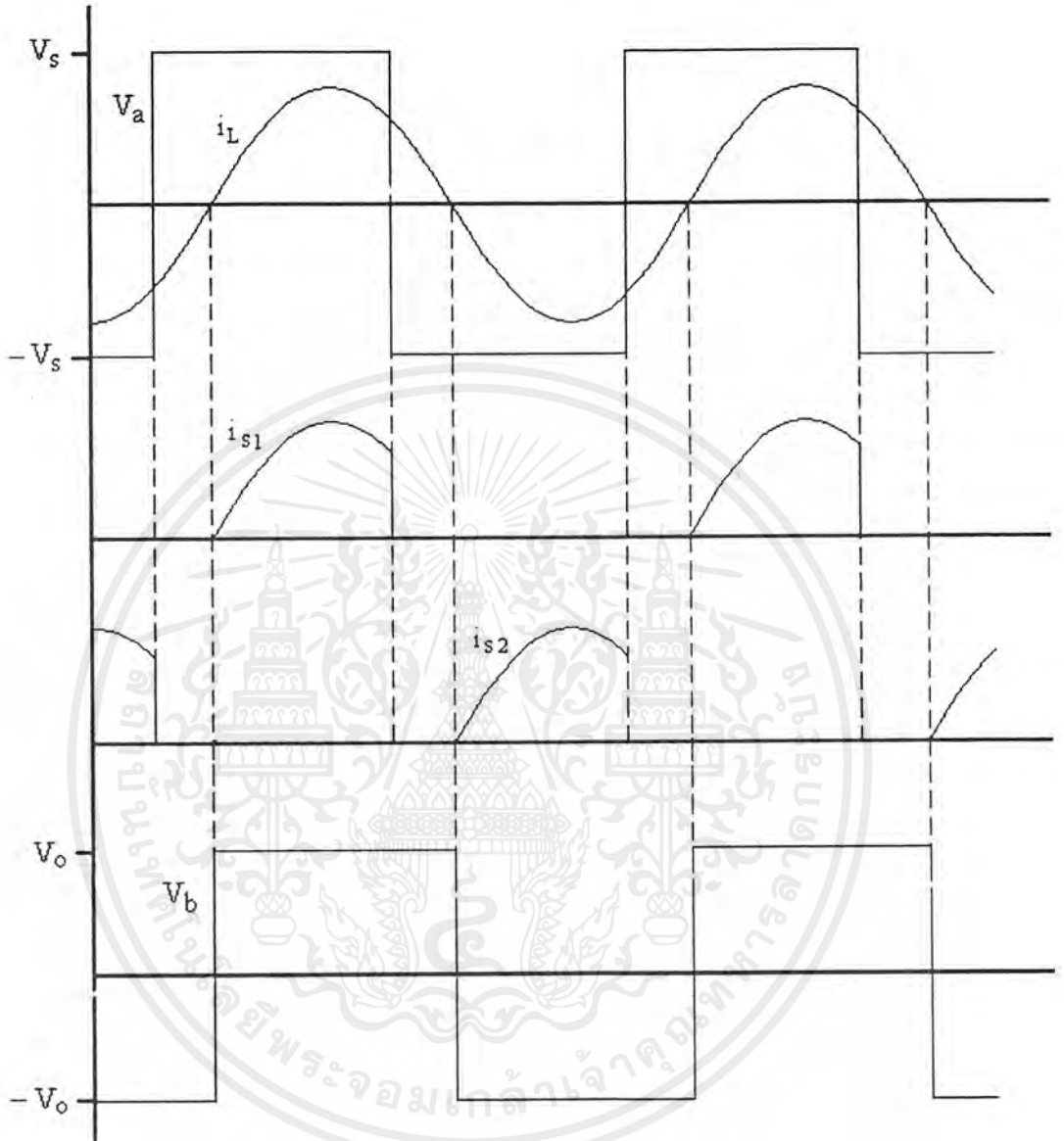
จากวงจรตัวเก็บประจุ C_s ทำหน้าที่รีโซแนนท์กับตัวเหนี่ยวนำ L_s วงจรสมมูลย์ของโหลดของอินเวอร์เตอร์จะมีลักษณะที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำและความต้านทานโหลด ต่ออนุกรมกันจึงเรียกว่าวงจรคีชี-คีชีคอนเวอร์เตอร์นี้ว่าวงจรคีชี-คีชีคอนเวอร์เตอร์รีโซแนนท์แบบอนุกรมโหลด (Series Load Resonant Converter)

วงจรคีชี-คีชีคอนเวอร์เตอร์มีข้อดีคือตัวเก็บประจุที่ทำให้เกิดรีโซแนนท์ C_s ทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงจะทำหน้าที่ปิดกั้นไฟตรงไม่ให้ไหลผ่านหม้อแปลง (Volt-Sec Unbalance) นอกจากนี้กระแสไหลผ่านสวิตช์ จะลดลงตามกระแสไหลคเมื่อความต้านทานของโหลดเพิ่ม ทำให้กำลังงานสูญเสียในสวิตช์ลดลงเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น การป้องกันการลัดวงจร โดยออกแบบให้มีค่า Q ค่อนข้างสูง ทำให้เกิดกระแสไหลเปลี่ยนแปลงกับค่าความต้านทานของโหลดน้อย จนเมื่อความต้านทานเป็นศูนย์กระแสจะผ่านสวิตช์จะเพิ่มขึ้นไม่มากนัก

ข้อเสีย ของคีชี-คีชีคอนเวอร์เตอร์ รีโซแนนท์แบบอนุกรมโหลด คือเมื่อไม่สามารถควบคุมค่าแรงดันด้านออกเมื่อไม่มีโหลด เนื่องจากแรงดันด้านออกจะไม่ขึ้นกับความถี่ โดยแรงดันออกจะเปลี่ยนตามความถี่น้อยลงและถ้า No Load จะเป็นเส้นตรงในแกนอน ดังนั้นจึงไม่สามารถคุมค่าแรงดันด้านออกในขณะไม่มีโหลด แต่เราสามารถแก้โดยใช้ภาคควบคุมการทำงานของสวิตช์เป็นแบบออสซิลเลตด้วยตัวเองทำให้วงจร คีชี-คีชีคอนเวอร์เตอร์หยุดทำงานในขณะไม่มีโหลดและจะเริ่มทำงานใหม่ขณะมีโหลดต่อเข้ากับ

วงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



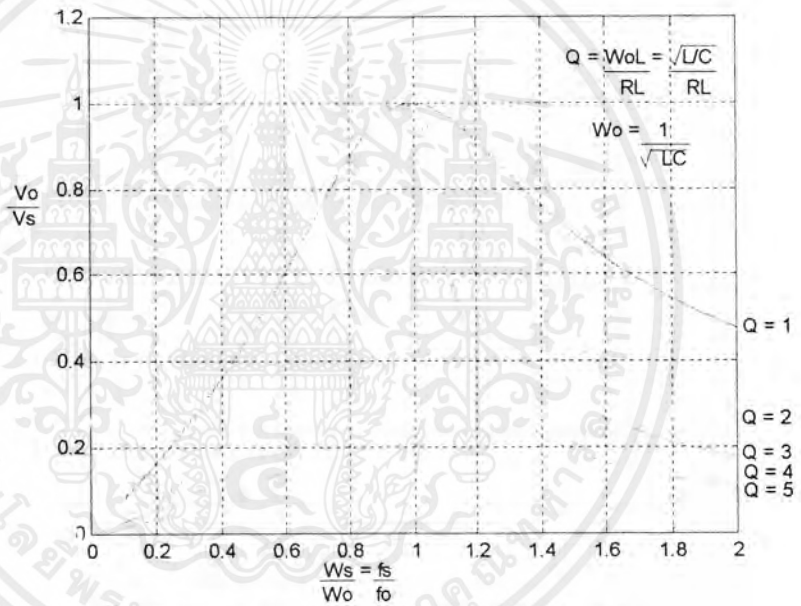
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะสัญญาณแรงดันและกระแสด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์

การวิเคราะห์และออกแบบวงจรซี-คีซิคอนเวอเดอริโซแนนท์แบบอนุกรมโพลสามารถ
ใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบเอซี (ac Analysis Technique) (ROBERT L.STEIGERWALD;
A Comparison of Half-Bridge Resonant Converter Topologies; IEEE Transaction On
Power Electronics, Vol.3, No.2, April,1988) ซึ่งจะช่วยต่อการวิเคราะห์และการออก
แบบวงจร แต่ผลการวิเคราะห์และออกแบบวงจรนี้มีค่าโดยประมาณเพื่อใช้ในการ
ประมาณค่าโดยใช้เทคนิควิเคราะห์แบบเอซีจะมีความสัมพันธ์ของตัวแปรดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

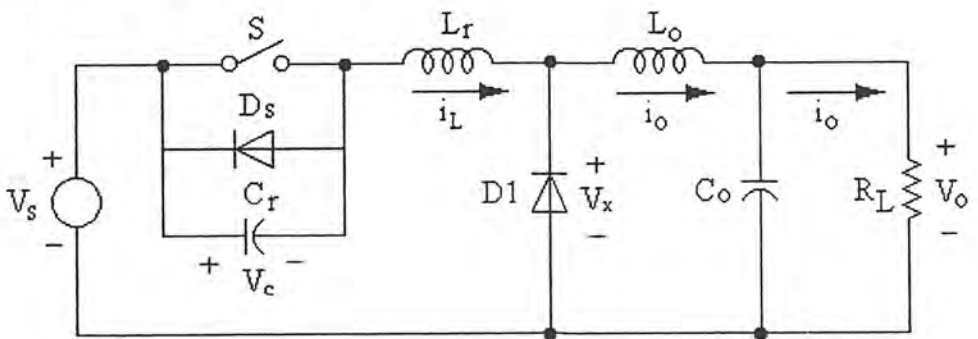
$$\begin{aligned}
 V_o/V_{in} &= 1/[1+j(X_L/R_{ac}-X_C/R_{ac})] \\
 E_d &= E_{in}/2 \\
 R_{ac} &= (8/\pi^2)R_L \\
 Q &= \omega_o L_s/R_L \\
 \omega_o &= 1/\sqrt{L_s C_s} \\
 E_o/E_d &= 1/[1+j(\pi^2/8)Q[\omega/\omega_o-\omega_o/\omega]]
 \end{aligned}$$

เมื่อนำไปคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันออกต่อแรงดันด้านเข้า สำหรับความถี่เมื่อค่า Q = 1-5 ได้กราฟดังรูป



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_o/V_s กับ f_s/f_o

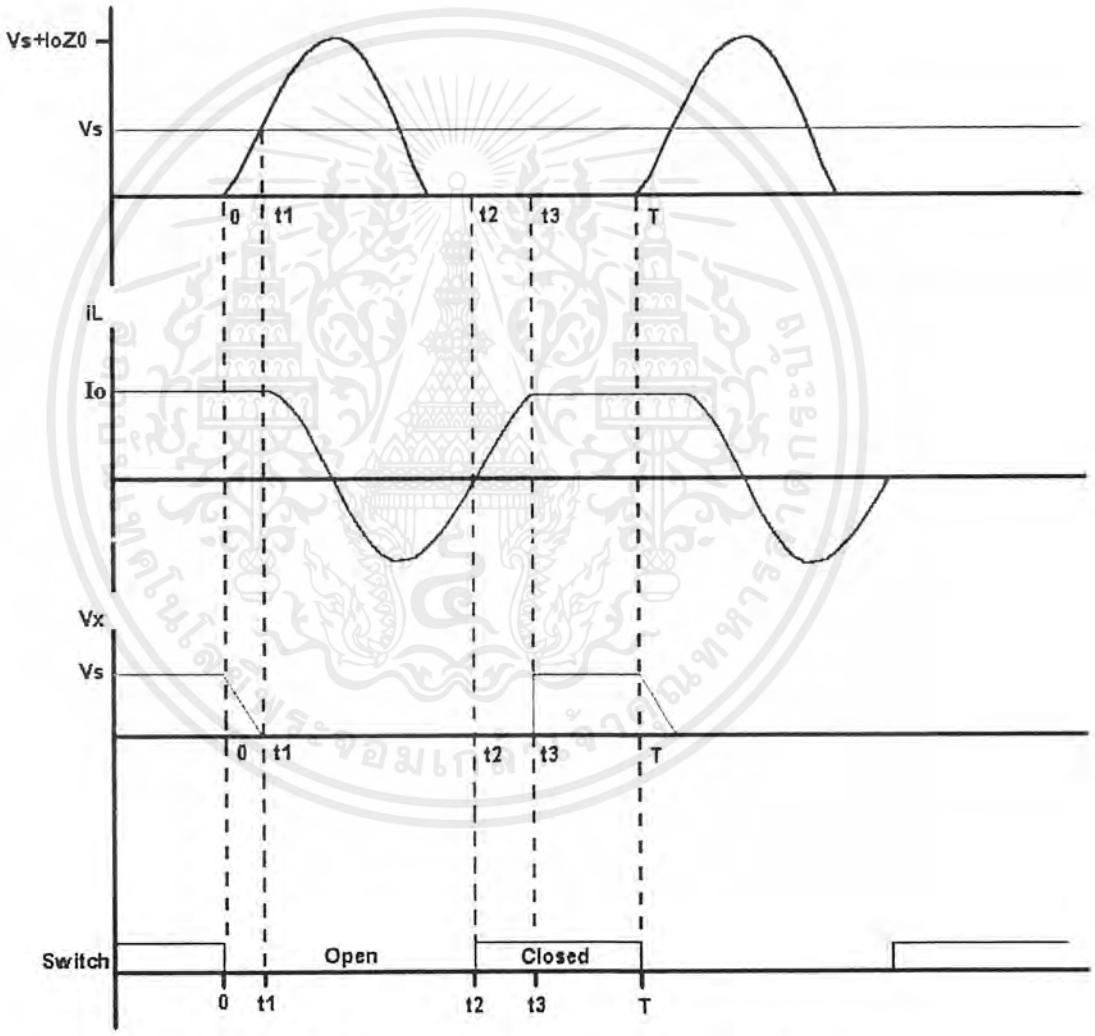
ซีโร โวลต์ เตจสวิทซ์ซิง (ZVS)



รูปที่ 2.7 รูปวงจรซีโร โวลต์ เตจสวิทซ์ซิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดประสงค์หลักของ ZVS ก็คือต้องการลดค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการทำงานของสวิตช์ กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ทำให้ Switch ON ในช่วงที่ Voltage เป็นศูนย์ และ OFF ในช่วงที่ Voltage เป็นศูนย์ เช่นกัน จากรูปวงจรของ ZVS นั้นคือ C_r กับ L_r จะเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการ Oscillate ส่วนนี้ตั้งแต่ L_o , C_o ทางขวามือทั้งหมดนั้นจะเปรียบเสมือนเป็น Constant Current Source แทน และกระแสจะไหลผ่าน Load จะมีค่าเป็น I_o คงที่



รูปที่ 2.8 สัญญาณในวงจรซิงโครไนซ์โวลต์เตจสวิตช์ซิง

รูปคลื่นที่แสดงนั้นจะเป็นลักษณะรูปคลื่นส่วนต่าง ๆ ของวงจร ZVS ในช่วงเวลาต่าง ๆ และจะแสดงการทับ Switch ด้วย โดยการเกิดซิงโครไนซ์โวลต์เตจสวิตช์ซิงจะอธิบายได้จากวงจรและรูปคลื่นสัญญาณดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ช่วงนี้ กระแส I_o จะไหลทั้งวงจรและที่ C จะเกิดการชาร์จประจุจนมีแรงดันเท่ากับ V_s โดยค่าแรงดันของ C จะเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้น

ช่วงเวลา $t_1 < t < t_2$ สวิตช์ (S) เปิด และ ไดโอด (D1) นำกระแส

ช่วงนี้เป็นช่วงของการออสซิลเลต(เกิดการรีโซแนนท์) ระหว่าง C_r กับ L_r โดย C_r จะเริ่มมีแรงดันมากกว่า V_s ทำให้ D1 นำกระแส ซึ่งกระแส I_L ที่ได้จะเป็นสัญญาณชานน์เวฟ เมื่อ C_r มีแรงดันเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดตรงจุดที่กระแสเป็น 0 แรงดันที่ C_r ก็จะคายประจุออกมาจนมีค่าเป็น 0 ในช่วงที่ค่า V_{C_r} ตกลงมาจากเท่ากับ V_s แล้วแต่ไดโอด(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)จะต้องทำงานก่อนเพราะกระแสยังเป็นลบ ทำให้ไดโอด(Ds)นำกระแสจนกระทั่งกระแสเป็น 0 ทำให้สวิตช์ปิดได้และกระแส 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

จากที่กล่าวมาเป็นวงจรการทำงานที่ใช้หลักการรีโซแนนท์ ที่ต้องการให้มีค่าการสูญเสียที่สวิตช์ มีค่าเป็น 0 เพราะเมื่อสวิตช์เริ่มทำงาน แรงดันตกคร่อมตัวสวิตช์จะมีค่าเป็น 0 ในช่วง $t_2 < t < t_3$

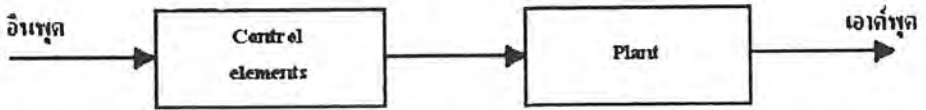
และสวิตช์จะเปิดวงจรที่แรงดันตกคร่อมตัวมันเองเป็น 0 ในเวลา t_4 ทำให้ไม่เกิดค่าความสูญเสียที่สวิตช์เลย โดยค่าการสูญเสียที่สวิตช์นั้นจะได้จากแรงดันคูณกับกระแส ณ จุดที่สวิตช์เปิดและปิดวงจร

การควบคุมแบบป้อนกลับ

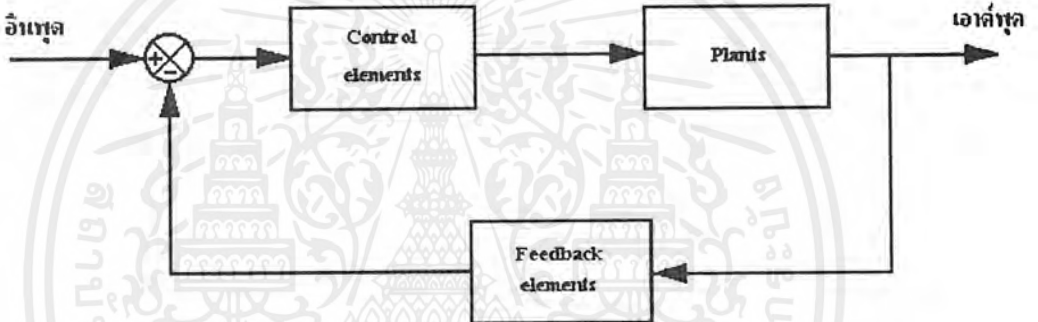
ทฤษฎีการควบคุมจะเกี่ยวข้องกับผลตอบสนองไดนามิก(dynamic response) ของระบบที่มีต่อคำสั่งหรือการรบกวน ถ้าระบบมีเสถียรภาพผลตอบสนองจะหยุดนิ่งอยู่ในสภาวะคงตัว สำหรับพฤติกรรมของผลตอบสนองก่อนหยุดนิ่งนั้นจะเรียกว่า ผลตอบสนองทรานเซียนท์ ในทางตรงกันข้าม สำหรับระบบที่ขาดเสถียรภาพจะไม่มีโอกาสเข้าสู่สภาวะคงตัว

ชนิดของระบบควบคุม

ระบบควบคุมสามารถจำแนกออกเป็นชนิดใหญ่ๆสองกลุ่มคือ ระบบควบคุมวงจรเปิดและระบบควบคุมวงจรปิด



รูปที่ 2.9ก ลักษณะระบบควบคุมแบบเปิด



รูปที่ 2.9ข ลักษณะระบบควบคุมแบบปิด

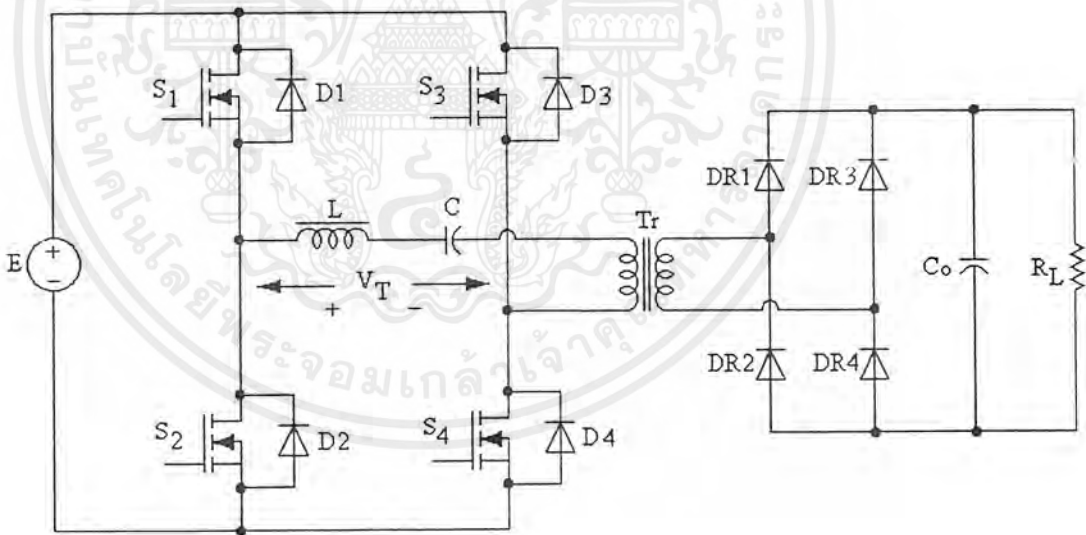
ระบบควบคุมวงจรเปิดที่แสดงอยู่ในรูปที่ 2.9ก นั้นจะพบว่าอินพุตที่เข้าสู่ระบบจะนำมาใช้ควบคุมเอาต์พุตโดยตรง ความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตกับอินพุตจะเป็นตัวบอถึงคุณลักษณะของ พลานต์และองค์ประกอบส่วนควบคุม ในกรณีของระบบควบคุมวงจรปิดที่แสดงในรูปที่ 2.9ข นั้นพบว่าอินพุตถูกปรับเปลี่ยนด้วยเอาต์พุตที่ได้ก่อนที่จะป้อนเข้าสู่ระบบควบคุม เนื่องจากเอาต์พุตถูกป้อนกลับมาผ่านทางอุปกรณ์ส่วนป้อนกลับ เพื่อหักล้างกับอินพุต โดยทั่วไปจึงเรียกระบบวงจรปิดว่าระบบควบคุมป้อนกลับแบบลบ หรืออาจเรียกง่ายๆ ว่าระบบควบคุมป้อนกลับซึ่งจะนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้

บทที่ 3

หลักการ

การใช้งานฟลูบริดจ์อินเวอร์เตอร์ในเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง

เนื่องด้วยในงานเชื่อมไฟฟ้านั้นเป็นงานเชื่อมที่ถูกต้องใช้งานในอุตสาหกรรมเหล็ก ซึ่งการที่จะหลอมเหล็กให้เชื่อมติดกันได้นั้นจะต้องใช้กระแสในการหลอมและเชื่อมติดสูง ซึ่งหมายความว่า ชุคควบคุมและจ่ายกระแสเพื่อใช้ในการเชื่อมนั้นจะต้องสามารถจ่ายกำลังงานไฟฟ้าได้สูง จากการศึกษาในเรื่องของสวิตซ์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายที่ผ่านมานั้น ชุคสวิตซ์ซึ่งแบบฟลูบริดจ์อินเวอร์เตอร์จะสามารถจ่ายกำลังงานได้สูงที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงนี้เราจึงนำหลักการฟลูบริดจ์อินเวอร์เตอร์มาใช้งาน และเพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงนี้เราจะนำหลักการ คีซี-คีซี คอนเวอร์เตอร์แบบซีวีวี รีโซแนนท์ มาใช้งานร่วมกับฟลูบริดจ์อินเวอร์เตอร์ในงานวิจัยนี้ โดยลักษณะวงจรจะเป็นดังรูป



รูปที่ 3.1 ลักษณะวงจรที่ใช้ในงานวิจัย

ส่วนของวงจรซีวีวี รีโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์ จะมีชุดรีโซแนนท์ซึ่งประกอบไปด้วย ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ อันเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการซีโรโวลต์เจตสวิตซ์ และนอกจากนั้นในวงจรจะมีหม้อแปลงความถี่สูงซึ่งใช้ในการยกกระแสจากอินเวอร์เตอร์ให้สูงขึ้นเพื่อใช้ในการเชื่อม ซึ่งหลักการทำงานพื้นฐาน ของวงจรเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแส

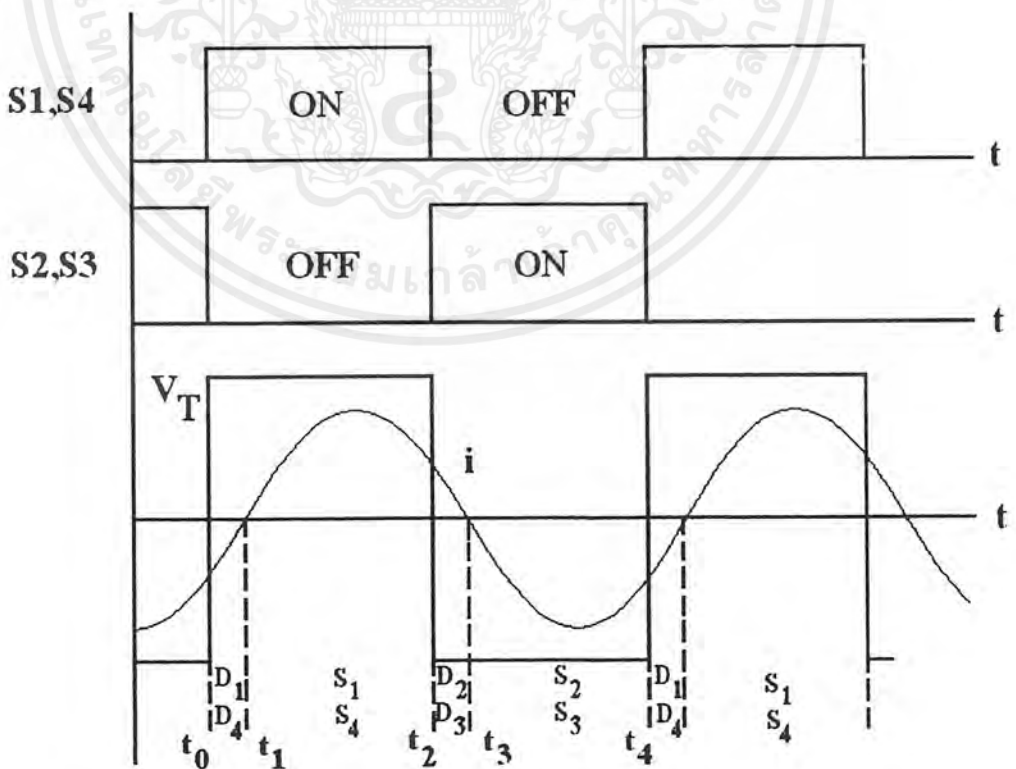
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรงนี้จะเป็นการนำวงจรอินเวอร์เตอร์มาควบคุมการจ่ายพลังงานให้กับโหลด และวงจรโซแนนซ์จะเป็นส่วนช่วยให้เกิดการส่งผ่านพลังงานให้แก่โหลดได้สูงสุด ซึ่งต้องให้ความถี่สวิตซ์ซิงของอินเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่รีโซแนนท์หรือมากกว่าความถี่รีโซแนนท์เล็กน้อย โดยความถี่สวิตซ์ซิงจะถูกควบคุมด้วยวงจรควบคุมซึ่งสามารถปรับความถี่ได้ โดยความถี่ที่ใช้งานจะอยู่ในช่วง 70-80 กิโลเฮิรซ์

ซีโรโวลต์เทจสวิตซ์ซิง (ZVS) ในวงจรเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง

สวิตซ์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์เปิด-ปิดวงจร(มอสเฟต) โดยปกติจะมีกำลังการสูญเสียที่สวิตซ์อยู่ค่าหนึ่ง เนื่องจากที่สวิตซ์จะมีแรงดันตกคร่อมสวิตซ์อยู่ค่าหนึ่ง ในการทำงานแต่ละครั้งจะมีกำลังสูญเสียเท่ากับผลคูณของกระแสที่ไหลผ่านสวิตซ์และแรงดันที่คร่อมสวิตซ์ หากมีการเพิ่มความถี่ในการสับสวิตซ์มากขึ้นค่าความสูญเสียของกำลังงานที่สวิตซ์จะเพิ่มขึ้นด้วย การที่ความถี่เพิ่มขึ้นสามารถช่วยลดขนาดและน้ำหนักของหม้อแปลง, ตัวกรองสัญญาณ และอุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งจะมีผลทำให้ขนาดและน้ำหนักของอินเวอร์เตอร์ลดลงตามไปด้วย ซึ่งในวงจรเรโซแนนท์มุมต่างเฟสของกระแสและแรงดันจะมีค่าเท่ากับศูนย์จึงเป็นผลทำให้กำลังการสูญเสียที่สวิตซ์เป็นศูนย์ไปด้วย เรียกว่า “Soft Switching”



รูปที่ 3.2 วงจรและรูปคลื่นกระแสและแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.1 กำหนดทิศทางการไหลของกระแสตามรูปวงจรถายเป็นบวก
ที่ $t_0 < t < t_1$ I เป็น ลบ S1 กับ S4 On S2 กับ S3 Off

กระแสไหลกลับทิศจากรูปวงจรถวาย เนื่องจาก มอสเฟต เป็นอุปกรณ์ที่ให้กระแสไหล
ได้ทางเดียว ดังนั้นกระแสที่เป็นลบนี้จะไม่สามารถไหลผ่านมอสเฟตได้ แต่จะไหลผ่านไดโอด
D1 และ D4 แทน (D1 และ D4 ฟอรวีร์ดีไบแอต) ทำให้กระแสในช่วง $t_0 - t_1$ ไหลผ่านไดโอด
D1 กับ D4

ที่ $t_1 < t < t_2$ I เป็น บวก S1 กับ S4 On S2 กับ S3 Off

กระแสไหลไปตามทิศทางกระแสจากรูป ก็จะผ่านมอสเฟต S1 กับ S4 ทำให้ทิศทาง
กระแสไหลตามรูป

ที่ $t_2 < t < t_3$ I เป็น บวก S1 กับ S4 Off S2 กับ S3 On

กระแสไหลไปตามทิศทางกระแสจากรูป แต่จะไม่ผ่าน S1 กับ S4 มอสเฟตทั้งสอง
ตัวนี้จะออฟ แต่ S2 กับ S3 จะออน และกระแสไม่สามารถไหลผ่านมอสเฟตได้ทั้งสองทาง
จึงไหลผ่าน D2 กับ D3 แทน

ที่ $t_3 < t < t_4$ I เป็น ลบ S1 กับ S4 Off S2 กับ S3 On

กระแสไหลกลับทิศจากรูปวงจรถวาย จะผ่านมอสเฟต S2 กับ S3 เพราะมัน On อยู่ จาก
การทำงานของทั้ง 4 ช่วงของ 1 รอบ(cycle)นั้น

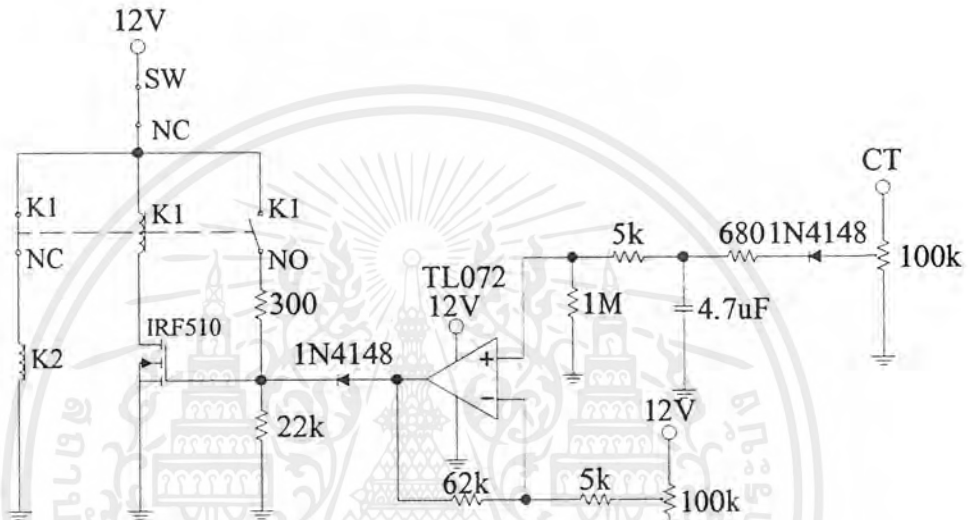
จากการ เปิดและปิดของสวิทช์ S1, S2 , S3 , S4 นั้น จะทำให้เกิดค่าความสูญเสีย
ขณะเปิดและปิดของสวิทช์ จากรูปสัญญาณในขณะที่ S1 S4 ทำงาน แรงดันตกคร่อมสวิทช์
เท่ากับ V_d (แรงดันตกคร่อมไดโอด) ทำให้ลดความสูญเสียในส่วนของการ On สวิทช์ได้
แต่ในส่วนของการ Off S1,S4 นั้น แรงดันจะเท่ากับแหล่งจ่ายไฟ และ กระแสจะเท่ากับ
กระแส i ที่ไหลผ่าน จากการ Off ของ S1 กับ S4 ทำให้เกิดการสูญเสีย ในการ Off และการ
On ของ S2 , S3 ครั้งต่อไปก็จะเป็นเหมือนกับ S1 และ S4 คือเมื่อ On จะมีค่าการสูญเสีย
น้อยมาก แต่ถ้า Off จะมีค่าความสูญเสียของการ Off มาก จากที่กล่าวมานี้เป็นการรีไซเคิล
แรงแพพอร์ที่ $F_s > F_o$ ทำให้กระแส ถ้าหลังแรงดันออกไปทำให้เกิดการสูญเสียที่ การ Off ของ
สวิทช์ ถ้าไม่ต้องการให้เกิดการสูญเสียที่สวิทช์ก็ควรให้ $F_s = F_o$ เพราะจะทำให้กระแส
และแรงดันที่ออกมาจาก อินเวอร์เตอร์ นั้น อินเฟสกัน ทำให้ไม่เกิดการสูญเสีย ที่สวิทช์เลย

การป้องกันกระแสเกินในเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง

ในขณะที่ทำการเชื่อมนั้นกระแสจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามระยะห่าง
ของลวดเชื่อมกับผิวงาน รวมไปถึงการติดของลวดเชื่อมซึ่งทำให้เกิดการดึงกระแสจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดวงจรอินเวอร์เตอร์ขึ้นอย่างรวดเร็ว ในบางช่วงเวลาที่กระแสจะสูงมากจนอุปกรณ์สวิทช์ไม่สามารถทนได้ จากสาเหตุนี้จึงถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อทำการป้องกันกระแสเกิน โดยในเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ โดยทำการตรวจวัดสัญญาณกระแสจากด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วงจร error Amplifier ในการเปรียบเทียบ โดยเราจะเปรียบเทียบสัญญาณที่รับมาจาก



รูปที่ 3.3 วงจรป้องกันกระแสเกิน

เอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ โดยใช้ CT เป็นตัวรับสัญญาณ และจะเปลี่ยนสัญญาณกระแสที่รับมาให้กลายเป็นแรงดันคิงรูป แล้วนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณคิซีที่ตั้งค่าไว้(reference) ถ้าแรงดันที่รับมามีค่าเกินค่าที่กำหนดก็จะมีเอาท์พุท ออกไป ซึ่งเป็นสัญญาณไฟบวกไปจุดชนวนการทำงานให้กับสวิทช์เพื่อตัดระบบกำลังออกไป

กำลังสูญเสียในรูปความร้อนของไดโอด

ไดโอดเป็นอุปกรณ์อีกตัวหนึ่งของสวิทช์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายที่ไม่อาจมองข้ามการเกิดกำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนไปได้เนื่องจากต้องทำงานที่ความถี่สูงกำลังสูญเสียในไดโอดจะเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือ กำลังงานสูญเสียขณะนำกระแสและกำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะขณะที่นำกระแสจะมีแรงดันตกคร่อมที่รอยต่อขึ้นทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนำกระแสซึ่งจะมีค่าขึ้นอยู่กับค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวมันรูปที่ 3.4 แสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างค่าของแรงดันตกคร่อมไดโอดต่อค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวมัน โดยไดโอดในช่วงนี้จะมีกำลังงานสูญเสียเท่ากับ

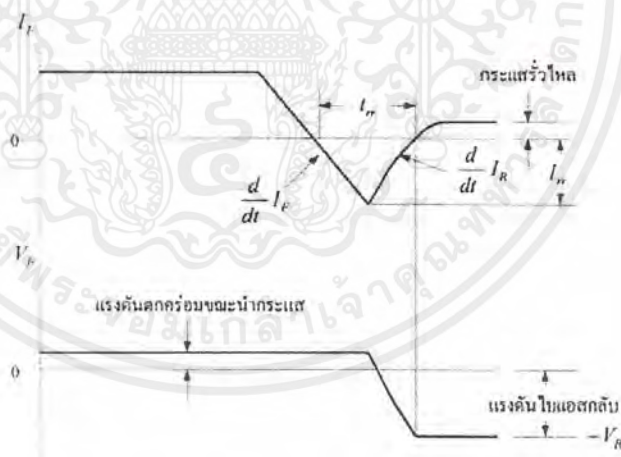
$$P_D = V_F I_F$$

เมื่อ P_D = ค่ากำลังในการสูญเสียในรูปความร้อนของไดโอดขณะนำกระแส

V_F = ค่าแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนำกระแส

I_F = ค่ากระแสที่ไหลผ่านไดโอด

ไดโอดจะเกิดกำลังงานสูญเสียได้มากที่สุดขณะเปลี่ยนสถานะเมื่อเริ่มหยุดนำกระแส ซึ่งมีผลมาจากการเกิดประจุสะสมขึ้นในไดโอดนำกระแสโดยที่ไดโอดจะตอบสนองต่อแรงดันไบแอสกลับและกันไม่ให้เกิดกระแสไหลย้อนทางได้ ไดโอดจะต้องลดประจุสะสมเหล่านี้ออกไปเสียก่อน ประจุสะสมจะมีผลทำให้เกิดกระแสไหลย้อนกลับผ่านตัวไดโอด ในขณะที่มีแรงดันไบแอสกลับตกคร่อมตัวมันอยู่ และไดโอดต้องใช้เวลาส่วนหนึ่งเพื่อลดประจุสะสมออกไปจึงจะสามารถหยุดกระแสไบแอสกลับได้ เวลาที่ใช้ในการลดประจุนี้จะเรียกว่า ช่วงเวลาคืนตัว (Reverse recovery time) หรือ t_{rr} ลักษณะตอบสนองต่อแรงดันและกระแสของไดโอดจะเป็นดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะเริ่มหยุดนำกระแส

ช่วงเวลาคืนตัว t_{rr} จะขึ้นอยู่กับค่าประจุสะสม ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากการที่มีกระแสไหลผ่านไดโอดขณะถูกไบแอส รวมทั้งการใช้งานไดโอดในลักษณะต่าง ๆ กัน จะให้ค่า t_{rr} ที่แตกต่างกันออกไปด้วย จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลา t_{rr} นี้ ไดโอดจะมีความถี่สูงขึ้น ลักษณะที่สำคัญอีกประการหนึ่งของไดโอดก็คือ ความนุ่มนวลในการคืนตัว (Softness recovery) ที่

ความถี่สูงๆ ลักษณะการคืนตัวของไดโอดจะมีผลต่อการเกิดสัญญาณรบกวน RFI ของสวิทช์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ค่าความนุ่มนวลในการคืนตัวของไดโอดจะกำหนดโดยค่าความชันที่ขอบขาขึ้นของกระแสในช่วงเวลาคืนตัว ไดโอดที่มีค่าความชัน di/dt น้อยๆจะมีลักษณะการคืนตัวอย่างนุ่มนวลและให้ค่าสัญญาณรบกวน RFI เกิดขึ้นต่ำๆ แต่จะมีช่วงเวลาคืนตัว t_r มากและเกิดกำลังงานสูญเสียได้มาก

วงจรมอเตอร์

วงจรมอเตอร์เป็นวงจรส่วนที่มีความสำคัญส่วนหนึ่งในการสวิทช์ซึ่งที่ความถี่สูง เนื่องจากการสวิทช์ซึ่งที่ความถี่สูงในช่วงแรงดันสูงจะเกิด สไปค์โวลต์เตจ หรือกระแส สไปค์ทำให้อัตราการเพิ่มของแรงดันต่อเวลา (dV/dt) และอัตราการเพิ่มกระแสต่อเวลา (di/dt) เพิ่มสูงขึ้นอย่างมากซึ่งอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อมอสเฟตกำลังในวงจรได้ จึงได้มีการนำเอาวงจรมอเตอร์มาใช้เพื่อที่จะลดค่าของ dV/dt และ di/dt ให้มีค่าน้อยลงพอที่วงจรจะทำงานได้โดยเพาเวอร์มอสเฟตไม่เกิดความเสียหาย ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

เมื่อ

C_s = คาปาซิเตอร์ของวงจรมอเตอร์

IL = กระแสโหลด

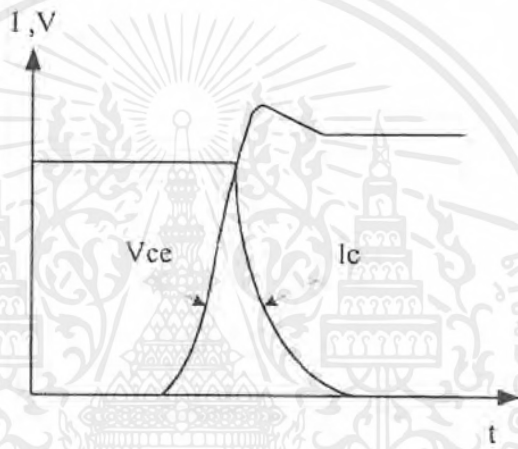
T_{off} = เวลาในการเทิร์นออฟ

V_s = $1/2$ * แรงดันของแหล่งจ่ายไฟ

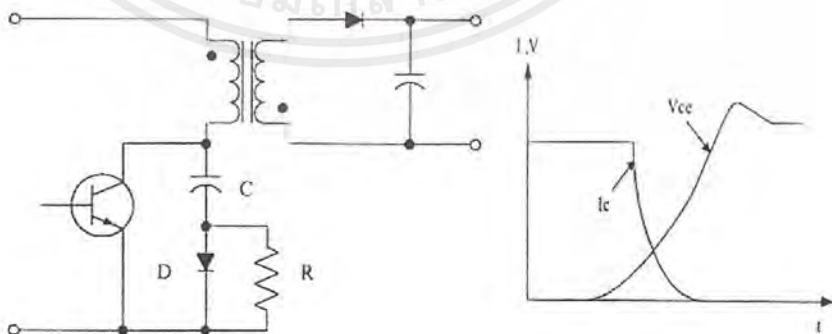
สำหรับวงจรมอเตอร์นั้นมีไว้เพื่อลดค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นที่มอสเฟตกำลัง เนื่องจากพลังงานที่สะสมอยู่ในรูปของสนามแม่เหล็กในขดลวด เมื่ออุปกรณ์สวิทช์ซึ่งหยุดการทำงาน (OFF) จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำศักดาไฟฟ้ากลับทิศในขดลวด ผลคือแรงดันส่วนนี้จะเข้าไปเสริมกับแหล่งจ่ายไฟ จึงทำให้ศักดาที่ตกคร่อมอุปกรณ์สวิทช์ซึ่งนั้นพังได้ง่าย เราจึงควรต้องใช้อุปกรณ์ที่ช่วยป้องกันพลังงานที่สะสมอยู่ในขดลวดนั้นไม่ให้มีผลต่ออุปกรณ์สวิทช์ซึ่ง ซึ่งก็คือการใช้สับเบอร์ทันเอง และสำหรับวงจรมอเตอร์นี้ไดโอดที่ใช้จะต้องเป็นไดโอดชนิดฟาสต์รีคัฟเวอร์รี่ ซึ่งเมื่อเกิดสไปค์ไดโอดจะเป็นทางผ่านในการเก็บประจุ และเมื่ออุปกรณ์สวิทช์ทำงาน (ON) จะทำให้ตัวเก็บประจุทำการคายประจุผ่านความต้านทานออก ดังนั้นความต้านทานจะเป็นตัวกำหนดเวลาในการคายประจุซึ่งค่าผลคูณของความต้านทานและตัวเก็บประจุ (RC – time Constant) ถ้าค่าของ SRC น้อยกว่าเวลาในช่วงเปิด ของอุปกรณ์สวิทช์จะทำให้ตัวเก็บประจุไม่มีประจุหลงเหลืออยู่ภายใน ซึ่งจะต่อคร่อมอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเพื่อช่วยในการกำจัด dv/dt

วงจรสับเบอร์ดช่วยหยุดนำกระแส

กำลังสูญเสียที่อุปกรณ์สวิตช์ซึ่งจะเป็นไปได้ขณะเปลี่ยนการทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะหยุดนำกระแส ก่อนที่อุปกรณ์สวิตช์ซึ่งจะหยุดนำกระแสที่นั้นกระแสจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ขณะที่แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นสู่ค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุทอย่างรวดเร็ว กำลังสูญเสียในรูปความร้อนช่วงนี้จะเกิดขึ้นได้สูง เพื่อลดกำลังสูญเสียในช่วงนี้อาจทำได้โดยการต่อวงจรสับเบอร์ดเข้ากับอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งเพื่อควบคุมแรงดันตกคร่อมที่คอลเลกเตอร์ และอิมิตเตอร์ ให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าจนกระทั่งกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งลดลงได้ทันกัน



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะการลดลงของกระแสและการกระเพิ่มขึ้นของแรงดันของอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งขณะเริ่มหยุดนำกระแส



รูปที่ 3.6 แสดงการต่อวงจรสับเบอร์ดช่วยหยุดนำกระแสเพื่อหน่วงแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร RC สนับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแสจะเป็นดังนี้ เมื่ออุปกรณ์ สวิตซ์ซึ่ง Q1 หยุดนำกระแส แรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น จะทำให้กระแส บางส่วนไหลผ่านตัวเก็บประจุ C1 และไดโอด D1 ของวงจรสับเบอร์จะทำให้เกิดแรงดัน ตกคร่อม C1 ด้วย แรงดันที่ตกคร่อม C1 จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ขาคอลเล็กเตอร์ของ อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ดังนั้นถ้าให้ C1 มีค่ามากพอ การเพิ่มขึ้นของแรงดันที่ ขาคอลเล็กเตอร์จะถูกหน่วงออกไปอีกเพื่อให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งลดลง มีค่าน้อยลงได้ทันกัน

ขณะที่อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งเริ่มนำกระแสอีกครั้ง C1 จะคายประจุผ่าน R1 แรงดันตก คร่อม C1 จะน้อยลงอีกครั้งและสามารถทำงานได้ในช่วงต่อไป

$$C_1 = \frac{I_{P(PK)} * t_{OFF}}{2V_{in}}$$

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

เมื่อ
ซึ่ง

$I_{P(PK)}$

คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มหยุดนำกระแสของอุปกรณ์สวิตซ์

V_{in}

คือ ค่าแรงดันอินพุทของคอนเวอเตอร์

t_{ON}

คือ ช่วงเวลานำกระแสของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง

t_{OFF}

คือ ช่วงเวลาหยุดนำกระแสของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง

การคายประจุของ C1 ทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียในตัว R1 สูง ตัวต้านทาน R1 จะต้องทน กำลังได้สูง โดยค่า R1 อาจหาได้จาก

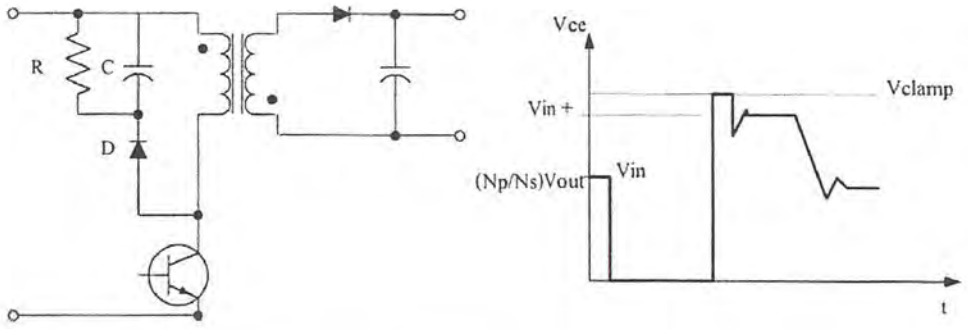
$$P_D = \frac{C_1(2V_{in})^2}{2T}$$

เมื่อ T คือ คาบเวลาการทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง

วงจรสับเบอร์ป้องกันแรงดันเกิน

ปรกติการพังเสียหายของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งขณะทำงาน มักมีสาเหตุจากการทำงาน เกินพิกัดแรงดัน ไฟฟ้าสไปค์ขณะหยุดนำกระแส โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฟลายแบค และ ฟอร์ เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ มักทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งขณะเริ่มหยุดนำกระแส มีค่าสูงเกินค่าแรงดันสูงสุดที่มันทนได้และเกิดการพังเสียหายขึ้น วงจรสับเบอร์ป้องกัน แรงดัน ไฟฟ้าเกินจึงมีหน้าที่ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสไปค์ที่เกิดขึ้น การต่อวงจร RCD สับ เบอร์เพื่อป้องกันแรงดันเกินทำได้ดังรูป 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงการต่อสับเบอร์ด้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินเพื่อจำกัดค่ากระแสสูงสุดที่ตกคร่อมอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งขณะเริ่มหยุดนำกระแส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

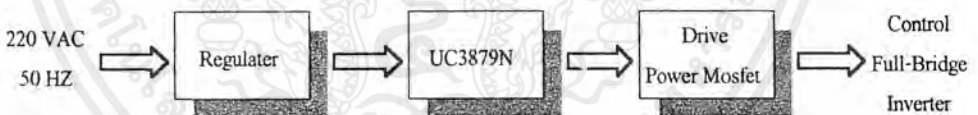
ส่วนประกอบของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง

หลักการของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆคือ

- 1.) วงจรควบคุม
- 2.) วงจรกำลัง

ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์

ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณและจะส่งสัญญาณที่สร้างนั้นไปควบคุมการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตในวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ สัญญาณพัลส์ที่ถูกสร้างขึ้นนี้จะมีขนาด 12 โวลท์ จะส่งไปที่ขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟต และจุดกราวด์จะต่อกับขาซอร์ทของเพาเวอร์มอสเฟต สัญญาณควบคุมจะมีอยู่ 4 สัญญาณเพื่อควบคุมการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตแต่ละตัวการควบคุมแบบนี้จะทำให้สามารถควบคุมความถี่ของสัญญาณที่ส่งไปยังฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ได้ ทำให้สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ได้อีกด้วย

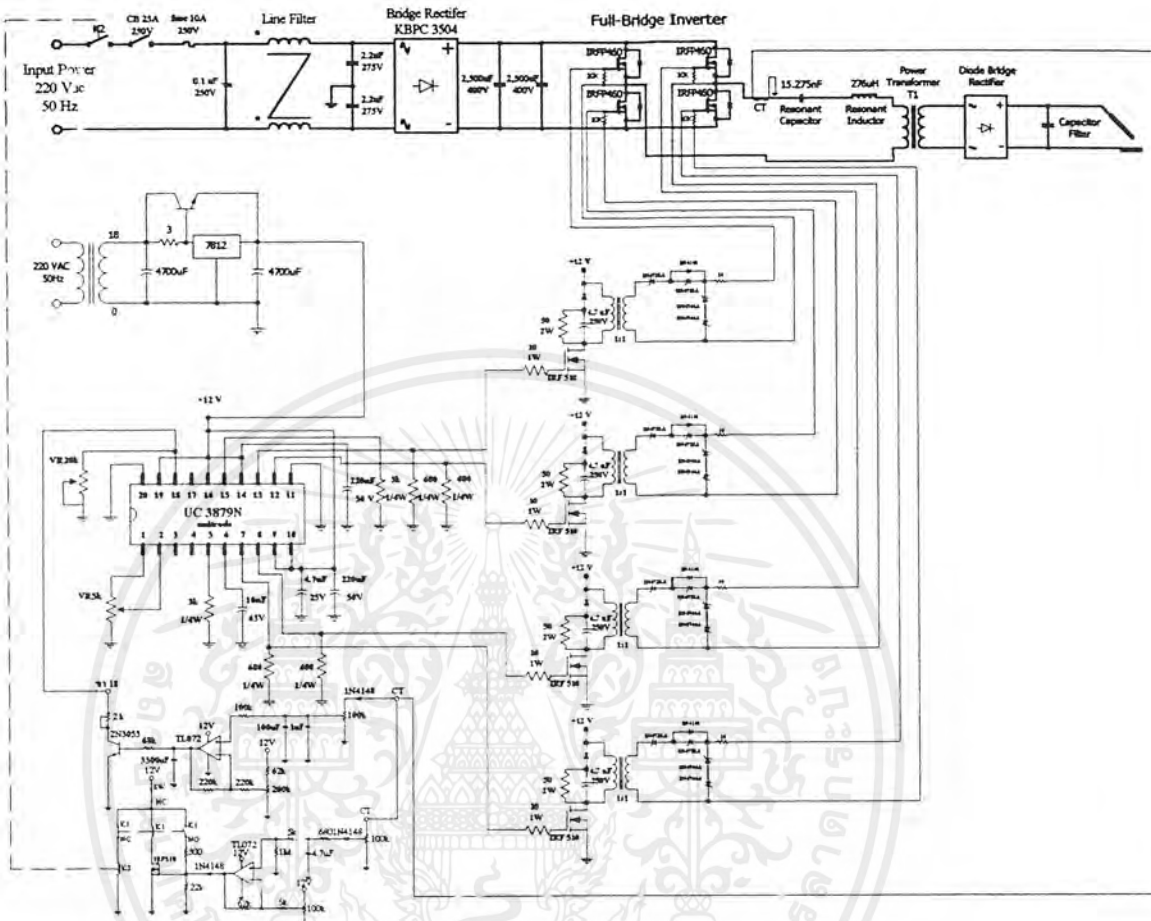


รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไออะแกรมของวงจรควบคุมการจุดชนวนของมอสเฟต

วงจรกำลัง

วงจรกำลังเป็นวงจรที่มีกระแสและแรงดันสูงทำหน้าที่ถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าจากด้านอินพุต 220 VAC 50 HZ ไปยังชิ้นงานที่ทำการเชื่อม โดยจะใช้วงจร ดิซี - ดิซี คอนเวอร์เตอร์แบบซีรี่ยีไอแนนท์ หลักการทำงานพื้นฐานคือ รับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220VAC 50 HZ แปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรฟูลบริดจ์เรกติไฟร์นำแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนี้จ่ายให้กับอินพุตฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์สำหรับฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์จะเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ที่ความถี่สูง จะใช้เพาเวอร์มอสเฟตเพราะสามารถทำหน้าที่เป็นสวิทช์ที่ความถี่สูงได้ดี เมื่อผ่านวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์แล้วสัญญาณที่ได้ด้านเอาต์พุตจะเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม ส่วนสัญญาณกระแสจะขึ้นอยู่กับ ความถี่ที่เพาเวอร์มอสเฟต

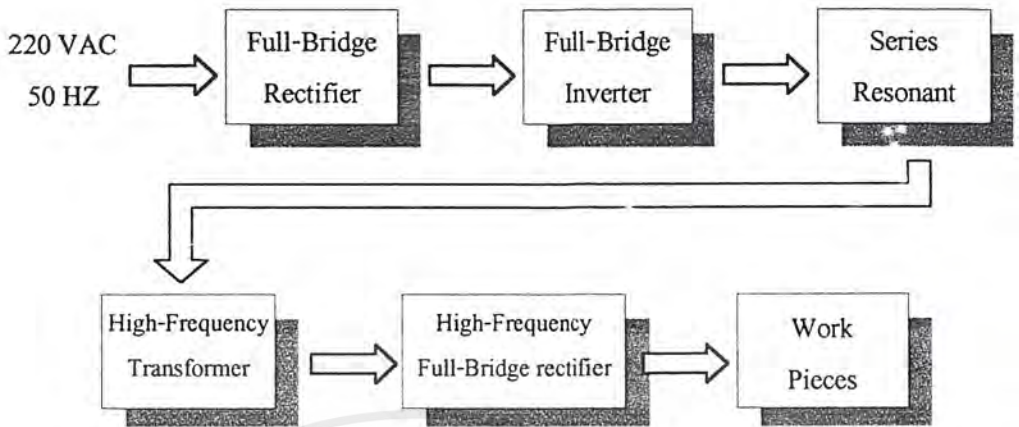
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 วงจรรวมของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง

ทำงานกับความถี่ไซเรนที่ ถ้าความถี่ทั้งสองเท่ากันสัญญาณของกระแสจะออกมาเป็นรูป
 ซายน์เวฟหลังจากนั้นนำแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าผ่านวงจรีไซเรนที่ประกอบ
 ด้วยตัวคาปาซิเตอร์และตัวอินดักเตอร์ไปยังหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อแปลงระดับแรงดันไฟ
 ฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้ได้ตามที่ต้องการจากนั้นส่งต่อไปยังชุดเรกติไฟร์แบบฟูลเวฟเพื่อ
 แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงต่อไปยังหัวเชื่อมเพื่อทำการ
 เชื่อมชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



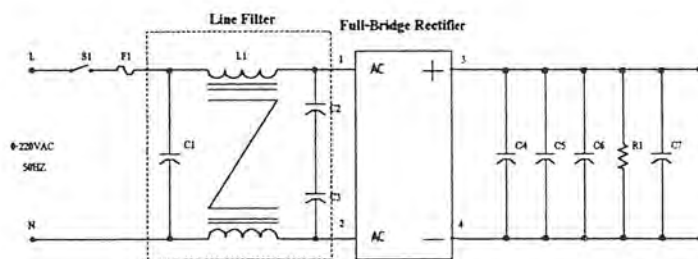
รูปที่ 4.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรกำลัง

จากรูปของวงจรประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 6 ส่วนคือ

- 1.) วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier)
- 2.) วงจรอินเวอร์เตอร์ แบบฟูลบริดจ์ (Full-Bridge Inverter)
- 3.) ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์ (Control Inverter)
- 4.) ชุดรีโซแนนซ์ (Resonant Tank)
- 5.) หม้อแปลงความถี่สูง (High Frequency Transformer)
- 6.) วงจรเรียงกระแสแบบฟูลบริดจ์ (High Frequency Full-Bridge Rectifier)

1. วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier)

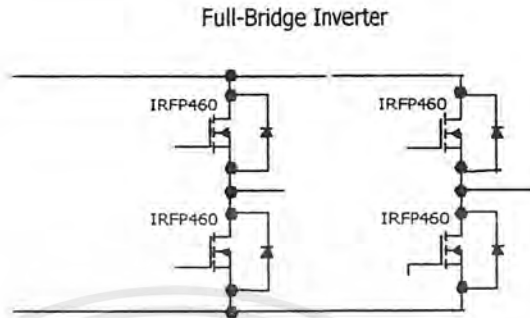
วงจรเรียงกระแส(Rectifier)ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220V 50Hz ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 310V โดยใช้ไดโอดเรียงกระแสแบบบริดจ์(Bridge Rectifier) ส่วนวงจรกรองแรงดันทางด้านอินพุตจะใช้ตัวเก็บประจุกรองกระแสไฟตรง



รูปที่ 4.4 วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter)



รูปที่ 4.5 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์

เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงในโครงการนี้ ใช้เพาเวอร์มอสเฟตเบอร์ IRFP460 เป็นอุปกรณ์สวิตช์ที่ความถี่สูง เพราะสามารถทำงานที่ความถี่สูงได้ดี ทนทานกระแสไฟฟ้าได้สูงในราคาที่เหมาะสม ซึ่งสามารถทนแรงดันไฟฟ้าระหว่างขา drain และ ขา source ได้ 500Vdc และกระแสไหลผ่านขา drain และขา source ได้ 20 แอมป์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หรือ 13 แอมป์ที่ 100 องศาเซลเซียส ในโครงการนี้เราใช้การขนานมอสเฟตเพื่อช่วยในการจ่ายกำลังงานได้สูงขึ้นซึ่งจะทำให้สามารถทำการเชื่อมเหล็กในขนาดที่ใหญ่ขึ้นได้

3. ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์ (Control Inverter)

ส่วนประกอบของชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์มีอยู่ 3 ส่วนคือ

3.1 วงจรเรกกูเลเตอร์ (Regulator Circuit)

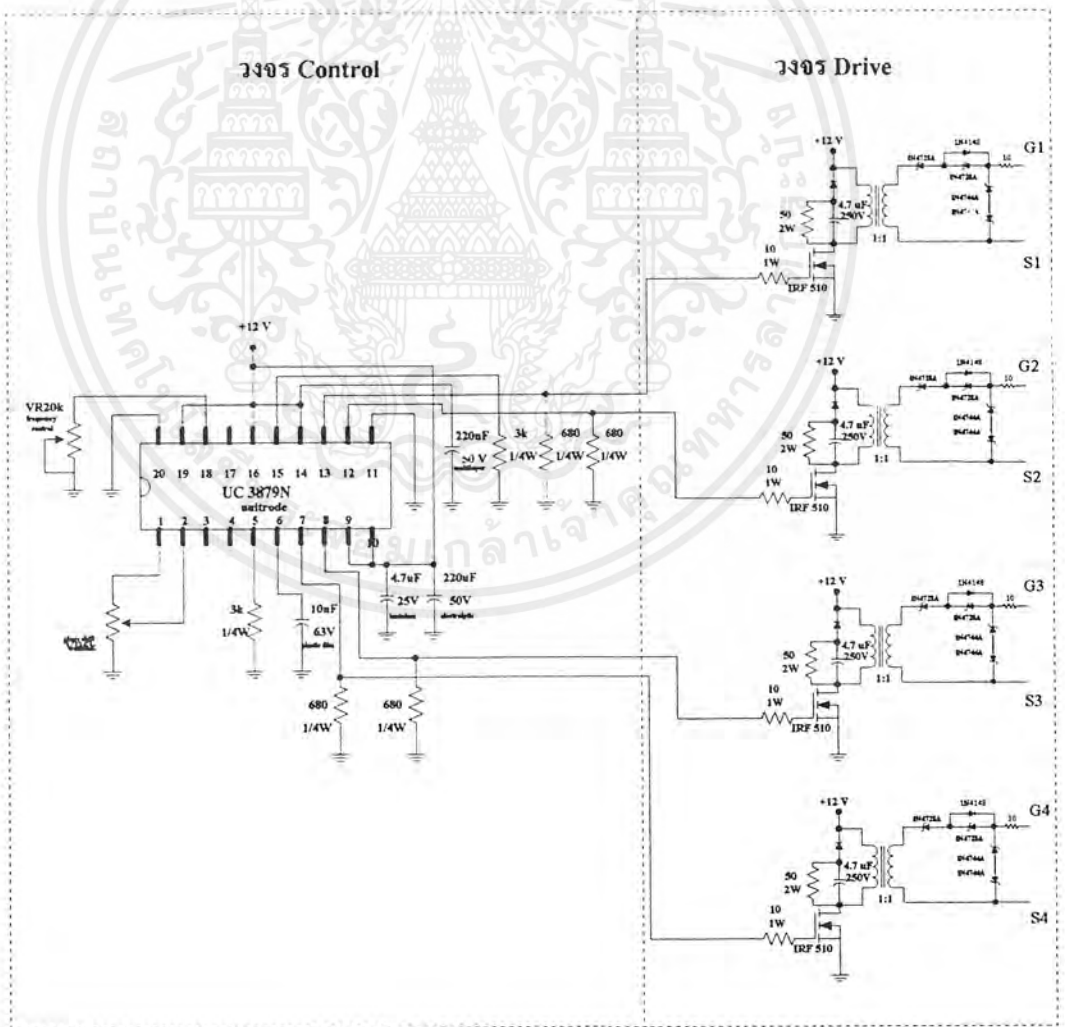
วงจรเรกกูเลเตอร์จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับวงจรควบคุมทั้งหมด เป็นวงจรอย่างง่ายคือใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแปลงระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220V. ลงมาเหลือ 15V. จากนั้นนำแรงดัน 15V. ไปเรกติฟายแบบ ฟูลเวฟเพื่อแปลงเป็นแรงดันกระแสตรง เพื่อควบคุมแรงดันกระแสตรงให้คงที่ จะใช้ ไอซีเรกกูเลเตอร์ เบอร์ 7812 เป็นตัวรักษาแรงดันแรงดัน ก่อนที่จะจ่ายให้กับ UC3879N ทางด้าน อินพุตและ เอาท์พุต ของไอซี เรกกูเลเตอร์ จะต่อคาปาซิเตอร์ไว้เพื่อกรองสัญญาณให้เรียบ

3.2 วงจรควบคุม (Control Circuit)

วงจรควบคุมจะทำหน้าที่ในการกำเนิดสัญญาณพัลซรูปสี่เหลี่ยม(Square Wave)ซึ่งสัญญาณนี้จะนำไปใช้ในการขับขาเกดของวงจรถูกอินเวอร์เตอร์ โดยในงานวิจัยนี้ใช้ ไอซีเบอร์ UC 3879N เป็นไอซี 20 ขงในการสร้างสัญญาณ ซึ่งไอซีเบอร์นี้สามารถควบคุมได้ทั้งความถี่และเฟสชิฟ การควบคุมความถี่สามารถปรับได้โดยปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ที่ขา 18 และการปรับเฟสชิฟสามารถทำได้โดยการปรับค่า ความต้านทานปรับค่าได้ที่ ขา 2 โดยปรับได้ตั้งแต่มุม 0-180° และมีขาที่ 6 เป็นขาสำหรับ soft start ของวงจรถูก

3.3 วงจรขับ (Drive Circuit)

วงจรถูกควบคุมและวงจรถูกขับสามารถแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 4.6 ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์

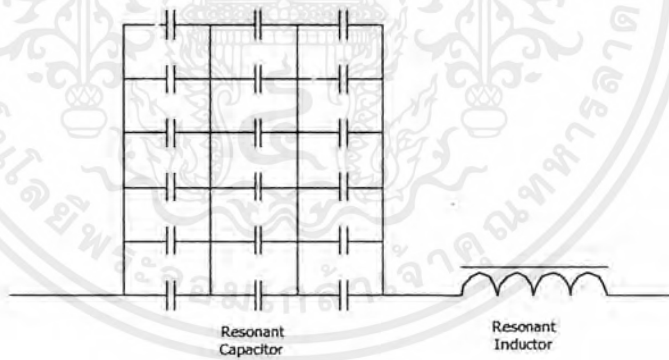
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณพัลส์ที่ได้จากชุดควบคุมจะนำมาต่อเข้ากับวงจรชุดขับ โดยวงจรชุดขับนี้เราจะใช้ หม้อแปลง แยกกราวด์เพื่อแยกกราวด์ของสัญญาณทั้งสี่สัญญาณจากชุดควบคุมให้เป็นอิสระต่อกัน และมีชุดสับเบอร์เพื่อป้องกันแรงดันสไปค์ของแรงดัน

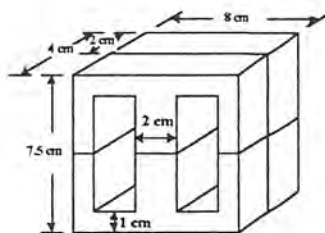
4. ชุดรีโซแนนซ์ (Resonant Tank)

ชุดรีโซแนนซ์มีหน้าที่ทำให้เกิดสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นรูปไซน์เวฟที่มีความถี่ใช้งาน ถ้าต้องการให้สามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้สูงที่สุดจะต้องทำให้ความถี่สวิตช์มีค่ามากกว่าความถี่รีโซแนนซ์เล็กน้อยจะทำให้มีค่าความสูญเสียที่สวิตช์ (เพาเวอร์มอสเฟต) มีค่าน้อยที่สุด ชุดรีโซแนนซ์ที่ใช้จะใช้คาปาซิเตอร์และอินดักเตอร์อนุกรมกัน

แกนที่นำมาใช้ทำอินดักเตอร์จะใช้แกนเฟอร์ไรต์เพราะมีจุดอิ่มตัวของฟลักซ์แม่เหล็กสูงและเกิดการสูญเสียค่าที่ความถี่สูงสามารถเก็บพลังงานได้มากกว่าแกนเหล็กธรรมดา ถ้านำมาใช้ที่ความถี่สูงขนาดของแกนเฟอร์ไรต์ที่ใช้ทำอินดักเตอร์ความถี่สูงนี้ จะใช้แกนเฟอร์ไรต์ขนาด E-80 สองคู่ประกบกัน



รูปที่ 4.7 ชุดวงจรรีโซแนนซ์

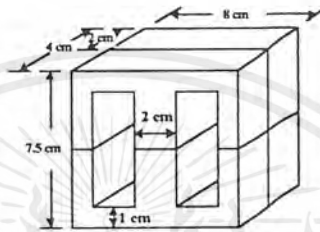


รูปที่ 4.8 ขนาดของแกนเฟอร์ไรต์ที่ใช้ทำอินดักเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หม้อแปลงความถี่สูง (High Frequency Transformer)

หม้อแปลงความถี่สูงจะใช้ “แกนเฟอร์ไรต์” เพราะมีจุดอิมิตัวของฟลักซ์แม่เหล็กสูงและเกิดการสูญเสียค่าที่ความถี่สูงทำให้น้ำที่ส่งผ่านพลังงานจากชุดอินเวอร์เตอร์ไปยังโหลด ซึ่งในการเลือกต้องมีการกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงขณะทำงาน ขนาดของแกนเฟอร์ไรต์ที่ใช้ทำหม้อแปลงความถี่สูงนี้ จะใช้แกนเฟอร์ไรต์ขนาด E-80 สองคู่ประกบกัน



รูปที่ 4.9 ขนาดแกนเฟอร์ไรต์ที่ใช้ทำหม้อแปลงความถี่สูง

6. วงจรเรียงกระแสแบบฟูลบริดจ์ที่ความถี่สูง (High Frequency Full-Bridge Rectifier)

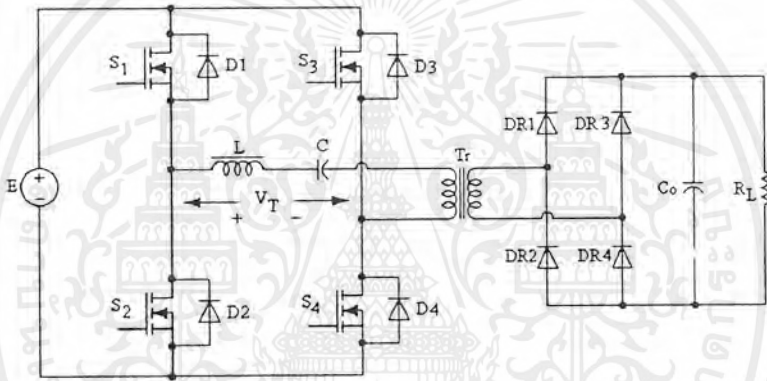
วงจรเรกติไฟร์ด้านเอาต์พุตจะใช้ไดโอดแบบฟาสต์รีคัฟเวอรีเพราะสามารถทำงานที่ความถี่สูงได้ดี วงจรจะเป็นแบบฟูลบริดจ์ เรกติฟายเออร์

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

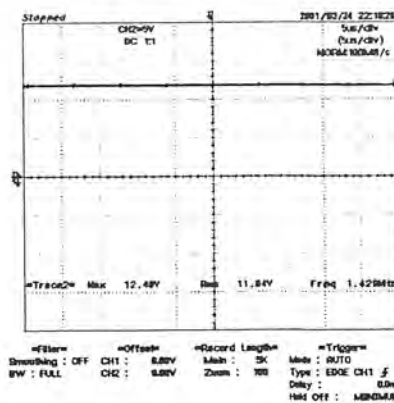
จากทฤษฎีและหลักการนำเสนอในข้างต้น ได้วิจัยและออกแบบเป็นเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นซึ่งประกอบไปด้วยวงจรในภาคต่างๆ ในบทนี้จะทำการวัดค่าที่จุดต่างๆ และทดสอบการเชื่อมที่ตัวแปรต่างๆ โดยมีอุปกรณ์การทดสอบดังนี้

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



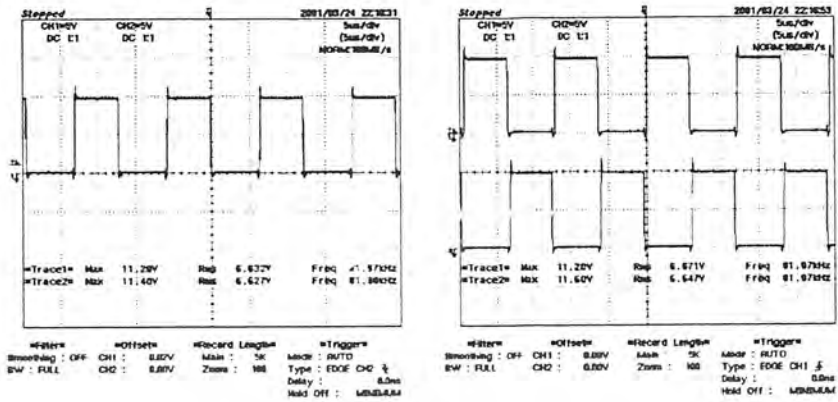
การวัดค่าสัญญาณที่จุดต่างๆของเครื่องเชื่อม

เป็นการวัดสัญญาณทุกๆจุดของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง ที่ได้ทำการสร้างเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง โดยเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงนี้มีพิกัดของเครื่อง 3.5 kw กระแส 22 A ที่ความถี่รีโซแนนท์ 80 kHz

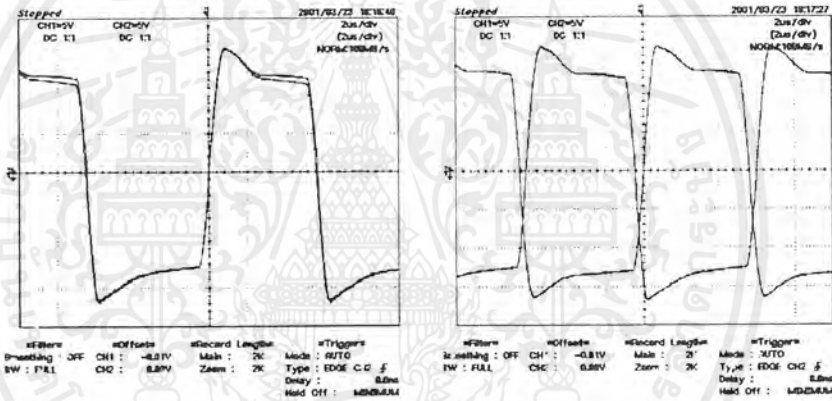


รูปที่ 5.1 รูปแสดงสัญญาณแรงดันไฟตรงที่จ่ายให้กับวงจรควบคุม

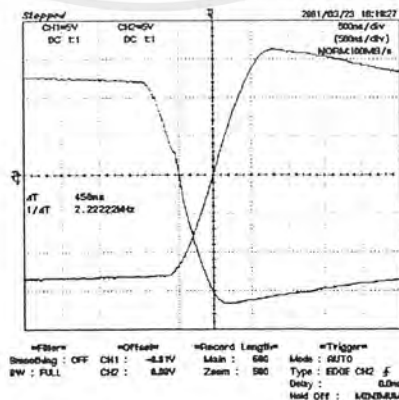
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาตเหน้ไปไซ้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. สัญญาณที่อินพุตกัน(Q1Q4,Q2Q3) ข. สัญญาณเอาต์พุตเฟสกัน(Q1Q4กับQ2Q3)
รูปที่ 5.2 รูปสัญญาณที่ออกจากขาเอาต์พุตของ UC 3879

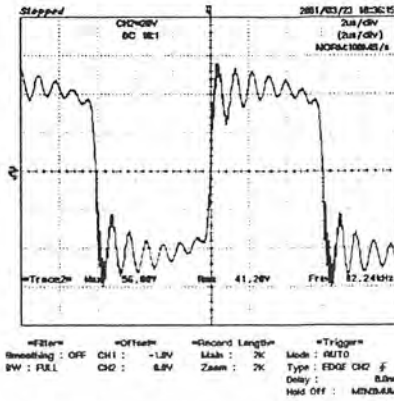


ก.) สัญญาณที่อินพุตกัน(Q1Q4,Q2Q3) ข. สัญญาณเอาต์พุตเฟสกัน(Q1Q4กับQ2Q3)
รูปที่ 5.3 รูปสัญญาณที่วัดที่ขาเกตและขาซอร์ท

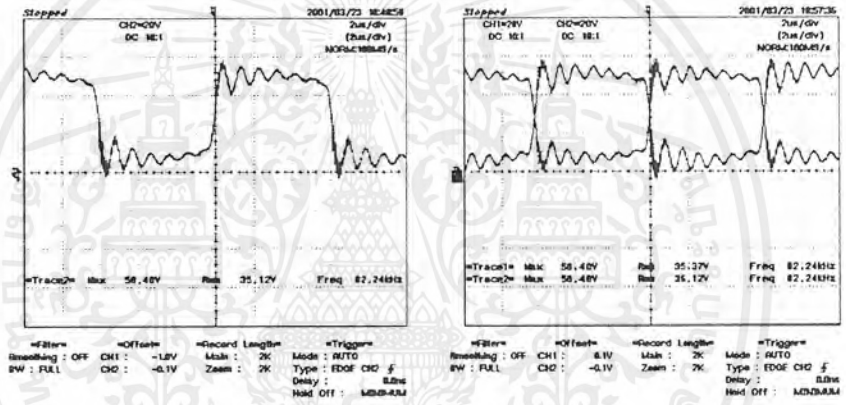


รูปที่ 5.4 รูปสัญญาณเคาท์ใหม่ของสัญญาณจับเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



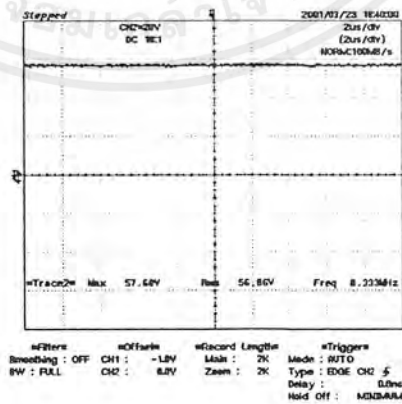
รูปที่ 5.8 รูปสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ออกจากหม้อแปลง



ก.) ไดโอดแต่ละตัว

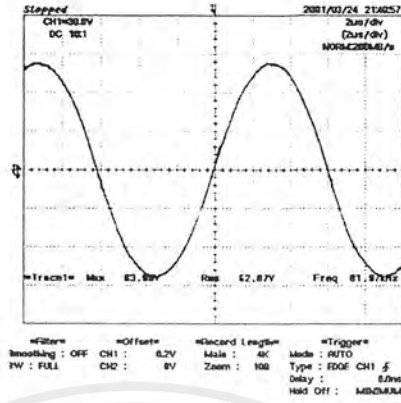
ข.) ไดโอดที่ทำงานไม่พร้อมกัน

รูปที่ 5.9 รูปสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมไดโอด



รูปที่ 5.10 รูปสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 รูปสัญญาณเอาต์พุตที่ตัวเก็บประจุรีโซแนนท์



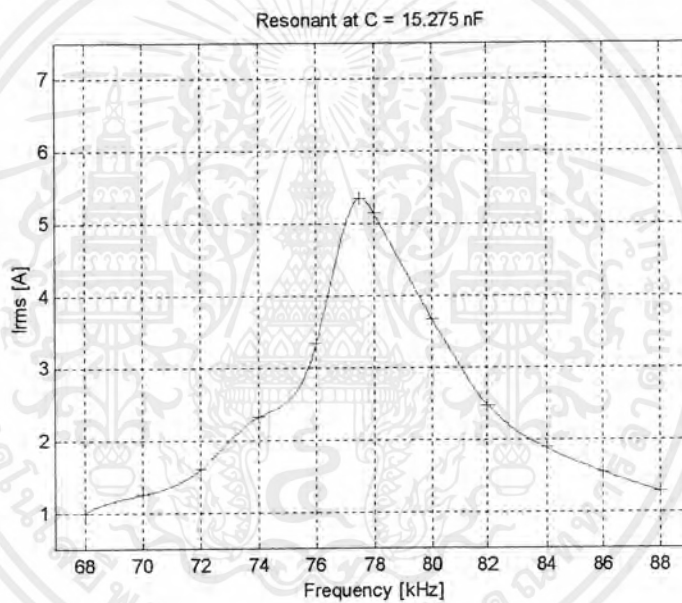
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนจูลรีโซแนนท์

การทดลองเปลี่ยนจูลรีโซแนนท์เป็นการทดลองเพื่อหาค่ารีโซแนนท์ที่องค์ประกอบต่างๆ ซึ่งจากการทดลองสามารถนำมาพล็อตกราฟได้ดังรูป การวัดสัญญาณจะวัดกระแสที่ไหลออกจากเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์

ทดสอบที่ $E = 50 \text{ V}$ ที่สภาวะถ่วงจ

$$C = 15.275 \text{ nF} \quad L = 276.09 \text{ uH}$$

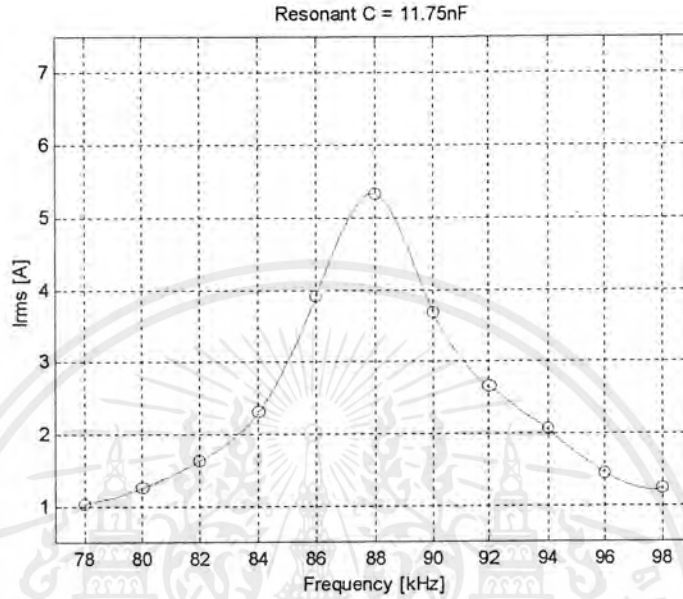


รูปที่ 5.12 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสกับความถี่ที่ความถี่รีโซแนนท์ 77.5 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบที่ $E = 50 \text{ V}$ ที่สภาวะลัดวงจร

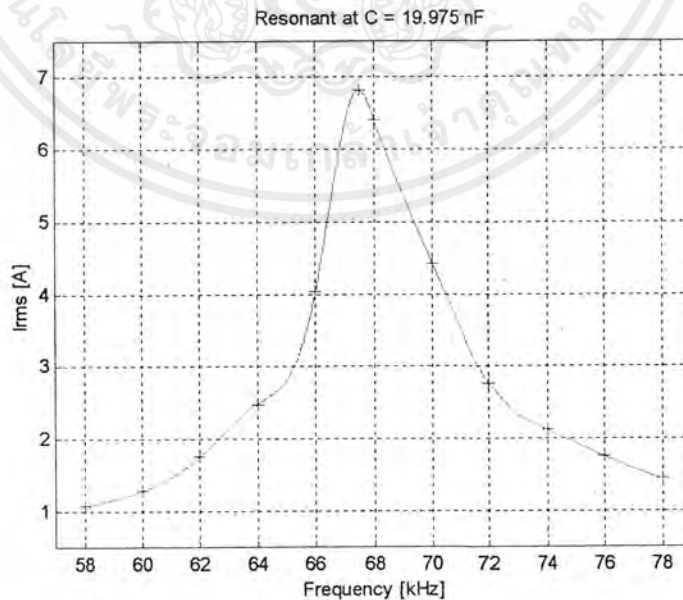
$$C = 11.75 \text{ nF} \quad L = 278.38 \text{ uH}$$



รูปที่ 5.13 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสกับความถี่ที่ความถี่เรโซแนนซ์ 88 kHz

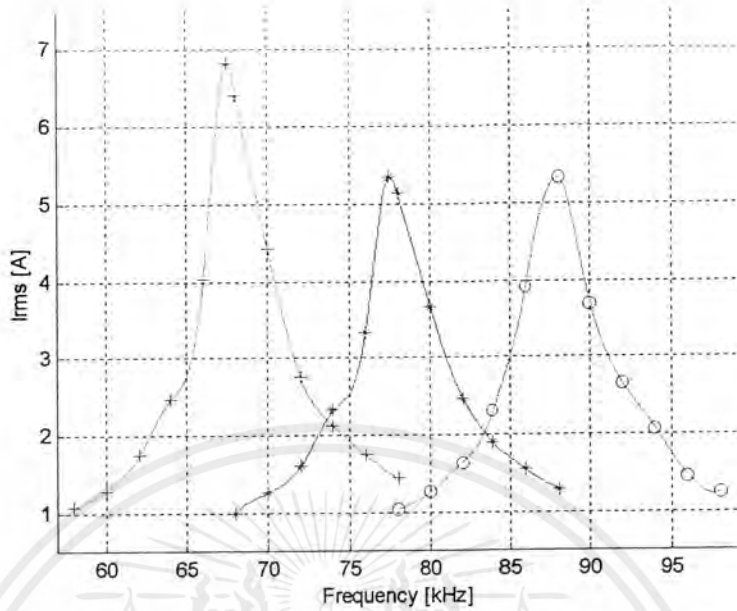
ทดสอบที่ $E = 50 \text{ V}$ ที่สภาวะลัดวงจร

$$C = 19.975 \text{ nF} \quad L = 278.32 \text{ uH}$$



รูปที่ 5.14 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสกับความถี่ที่ความถี่เรโซแนนซ์ 68 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกระแสกับความถี่ที่ความถี่เรโซแนนซ์ที่ทดลอง

จากการเปลี่ยนค่าของคาปาซิเตอร์ก็เป็นการเปลี่ยนแปลงจูลรีโซแนนซ์หรือเรียกอีกอย่างว่าเป็นการเปลี่ยนค่าคิว(Q)ของวงจรในการรีโซแนนซ์ จากผลการทดลองนั้นสรุปได้ว่าเมื่อเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์แล้วค่าของกระแสที่จูลรีโซแนนซ์นั้นไม่ค่อยมีเปลี่ยนแปลงค่าของกระแสมากนัก ที่มีการเปลี่ยนแปลงก็คือกราฟของกระแสที่ได้ที่ความถี่สูงจะมีลักษณะการไต่ขึ้นที่แคบกว่าที่ความถี่ต่ำๆนั้นก็เป็ผลของค่าคาปาซิเตอร์ที่ลดลง ทำให้มีค่าคิว(Q)มากขึ้น ซึ่งการทดลองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎีที่เมื่อค่าคิวสูงขึ้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของความถี่จะมีผลทำให้ค่าของแรงดันทางด้านเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไปมาก

การเปลี่ยนความถี่ในการเชื่อม

การทดลองนี้เป็นการหาค่าความสัมพันธ์ของกระแสขณะเชื่อม, แรงดันขณะเชื่อม, มุมต่างเฟสของความถี่หลัก, ค่าความต้านทานสมมูล, ค่าของอินดักเตอร์สมมูลและค่าความผิดพลาดของสัญญาณกับขนาดเหล็กที่ความถี่ต่างๆและหาค่า ความถี่ต่ำสุดและสูงสุดที่สามารถเชื่อมได้ ซึ่งทดลองโดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2 มิลลิเมตร ทดลองเชื่อมที่หัวเชื่อมขั้วบวก (ซึ่งจะใช้ขั้วบวกทุกการทดลอง) เชื่อมเหล็กขนาด 3, 6, 9 มิลลิเมตร ตั้งแต่ย่านความถี่ต่ำสุดที่สามารถเชื่อมได้จนถึงจุดสูงสุดที่คาดว่าเครื่องจะจ่ายกำลังที่จะทำให้เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงนี้สามารถทำการเชื่อมเหล็กที่นำมาทดลองได้ จุดที่ทำการวัดสัญญาณจะวัดที่จุดเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ โดยจับทั้งสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 การทดสอบที่ 85.91 kHz

ขนาดเหล็ก	3 mm	6 mm	9 mm
V_{rms}	261.4	263.101	256.37
I_{rms}	7.665	7.987	7.038
θ	39.0611	35.3855	35.2214
Pac (kw)	1.5642	1.5301	1.4818
Req	26.4795	30.2167	29.7569
Leq	264.49	264.44	263.60
R_L	0.9074	1.0355	1.0192
THD (V)	45.14	45.3	45.18
THD (I)	3.83	4.14	4.07

ตารางที่ 2 การทดสอบที่ 85.03 kHz

ขนาดเหล็ก	3 mm	6 mm	9 mm
V_{rms}	254.763	254.375	258.473
I_{rms}	7.38	7.76	7.031
θ	31.8774	37.4783	26.5497
Pac (kw)	1.6006	1.5736	1.6281
Req	29.3164	26.015	32.8874
Leq	263.48	266.69	260.12
R_L	1.0047	0.8915	1.1270
THD (V)	45.31	44.96	45.61
THD (I)	3.73	3.85	4.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 การทดสอบที่ 84.18 kHz

ขนาดเหล็ก	3 mm	6 mm	9 mm
V_{rms}	256.142	254.108	257.698
I_{rms}	8.295	8.801	9.5425
θ	32.1426	41.2103	46.5892
Pac (kw)	1.8031	1.6902	1.6994
Req	26.1447	21.7201	18.5585
Leq	2.6507	269.98	271.1
R_L	0.896	0.7443	0.636
THD (V)	45.08	44.5	44.24
THD (I)	3.73	3.4	3.23

ตารางที่ 4 การทดสอบที่ 83.06 kHz

ขนาดเหล็ก	3 mm	6 mm	9 mm
V_{rms}	252.518	254.463	259.705
I_{rms}	9.686	9.621	10.138
θ	34.3648	31.8728	36.0611
Pac (kw)	2.0218	2.0793	2.1337
Req	21.5207	22.4617	20.7077
Leq	268.57	267.13	269.26
R_L	0.7375	0.7698	0.7096
THD (V)	44.78	44.92	44.65
THD (I)	3.07	3.09	3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 การทดสอบที่ 81.97 kHz

ขนาดเหล็ก	3 mm	6 mm	9 mm
V_{rms}	223.926	223.942	231.496
I_{rms}	10.434	10.281	9.044
θ	31.4869	32.7315	23.5488
Pac (kw)	1.9901	1.9358	1.914
Req	18.3021	18.3225	23.4642
Leq	268.57	269.67	266.66
R_L	0.6272	0.6967	0.8041
THD (V)	45.47	45.32	45.95
THD (I)	2.00	2.08	2.83

ตารางที่ 6 การทดสอบที่ 80.91 kHz

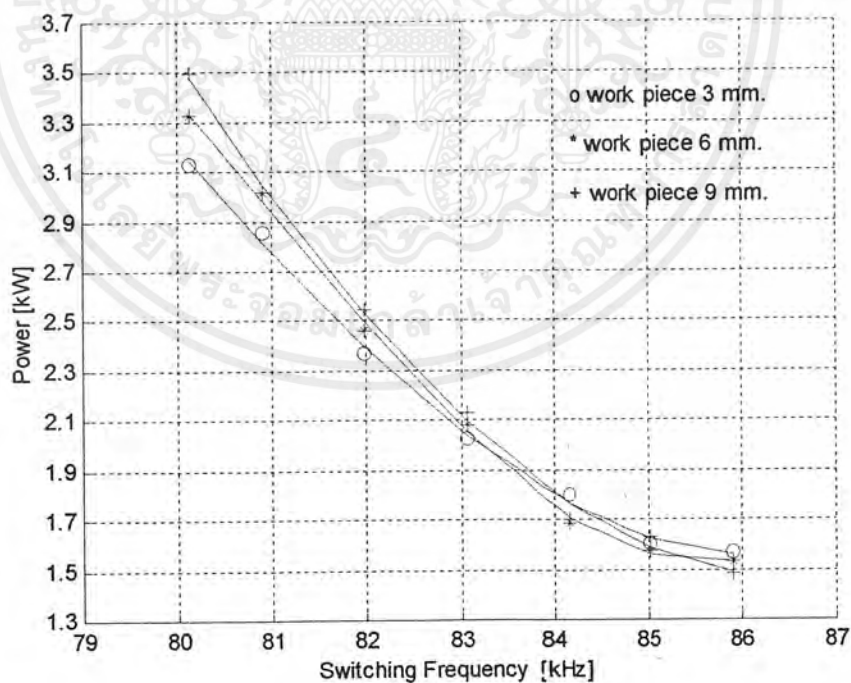
ขนาดเหล็ก	3 mm	6 mm	9 mm
V_{rms}	252.196	254.505	250.743
I_{rms}	12.368	13.169	13.873
θ	23.6366	25.6585	29.7078
Pac (kw)	2.8526	3.0156	3.0181
Req	18.6808	17.4207	15.6991
Leq	269.39	269.77	270.93
R_L	0.6402	0.597	0.538
THD (V)	45.25	45.12	44.49
THD (I)	2.69	2.62	2.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 การทดสอบที่ 80.13 kHz

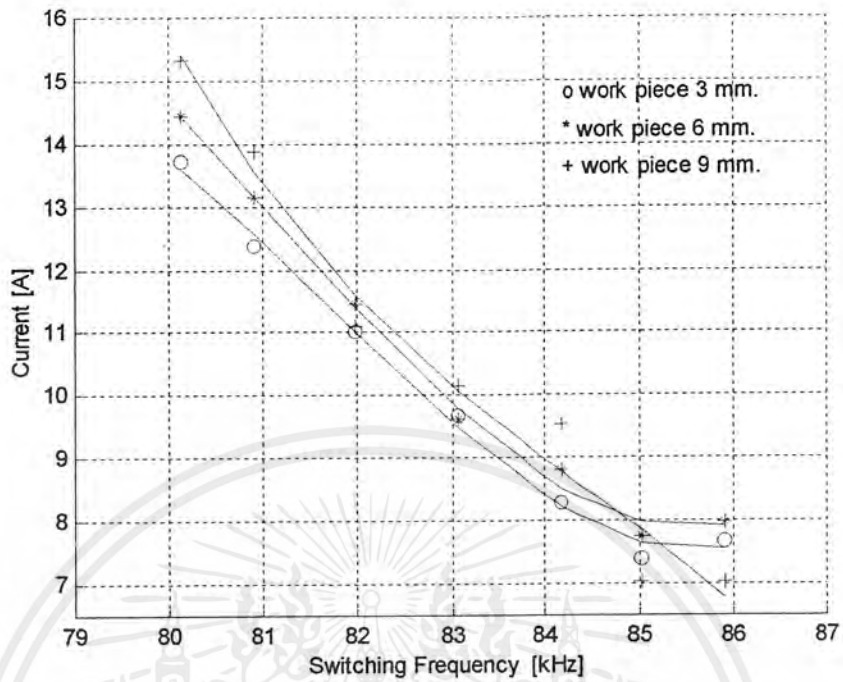
ขนาดเหล็ก	3 mm	6 mm	9 mm
V_{rms}	243.887	249.3	250.576
I_{rms}	13.706	14.441	15.3265
θ	19.875	22.07	23.98
Pac (kw)	3.13	3.3236	3.498
Req	16.821	16.086	14.977
Leq	270.23	271.44	271.43
R_L	0.576	0.55	0.513
THD (V)	45.743	45.343	44.843
THD (I)	3.073	2.73	2.383

จากการทดลองสามารถนำมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ต่างๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 5.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ความถี่สวิตซ์ซึ่งต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ กระแสที่ความถี่สวิตซ์ซึ่งต่างๆ

ตารางที่ 8 การทดสอบที่ 85.91 kHz โดยลัดวงจรที่หัวเชื่อม

ขนาดเหล็ก	3 mm	6 mm	9 mm
V_{rms}	267.669	269.51	270.602
I_{rms}	9.259	9.181	9.249
θ	73.632	74.633	73.984
Pac (kw)	0.713	0.668	0.741
Req	8.146	7.779	8.072
Leq	276.07	277.12	276.78
R_L	0.2792	0.266	0.276
THD (V)	43.88	43.8	43.68
THD (I)	3.6	3.28	3.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 การทดสอบที่ 85.03 kHz โดยลัดวงจรที่หัวเชื่อม

ขนาดเหล็ก	3 mm	6 mm	9 mm
V_{rms}	265.61	267.393	266.668
I_{rms}	10.139	10.193	9.994
θ	71.9340	73.551	72.908
Pac (kw)	0.849	0.782	0.786
Req	8.124	7.4279	7.842
Leq	275.97	276.45	277.1
R_L	0.2784	0.2545	0.2687
THD (V)	43.42	43.35	43.5
THD (I)	3.08	3.1	3.06

ตารางที่ 10 การทดสอบที่ 84.18 kHz โดยลัดวงจรที่หัวเชื่อม

ขนาดเหล็ก	3 mm	6 mm	9 mm
V_{rms}	266.978	262.953	267.005
I_{rms}	11.539	11.074	11.218
θ	71.103	72.5304	71.256
Pac (kw)	1.0083	0.8847	0.9746
Req	7.4932	7.128	7.6485
Leq	275.4	276.84	276.63
R_L	0.2568	0.2443	0.2621
THD (V)	42.97	42.99	42.87
THD (I)	2.65	2.75	2.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 การทดสอบที่ 83.06 kHz โดยลัดวงจรที่หัวเชื่อม

ขนาดเหล็ก	3 mm	6 mm	9 mm
V_{rms}	265.308	264.312	265.884
I_{rms}	13.021	13.018	13.045
θ	70.3832	70.8196	70.312
Pac (kw)	1.1685	1.1382	1.1761
Req	6.84	6.6708	6.866
Leq	277.14	277.11	277.14
R_L	0.2344	0.2286	0.2353
THD (V)	42.29	42.15	42.26
THD (I)	1.99	2.08	1.99

ตารางที่ 12 การทดสอบที่ 81.97 kHz โดยลัดวงจรที่หัวเชื่อม

ขนาดเหล็ก	3 mm	6 mm	9 mm
V_{rms}	262.114	262.344	262.542
I_{rms}	15.38	15.497	15.863
θ	67.076	67.52	67.235
Pac (kw)	1.5709	1.555	1.618
Req	6.641	6.473	6.431
Leq	277.29	277.17	276.41
R_L	0.2276	0.2218	0.2204
THD (V)	41.77	41.83	41.32
THD (I)	1.71	1.66	1.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

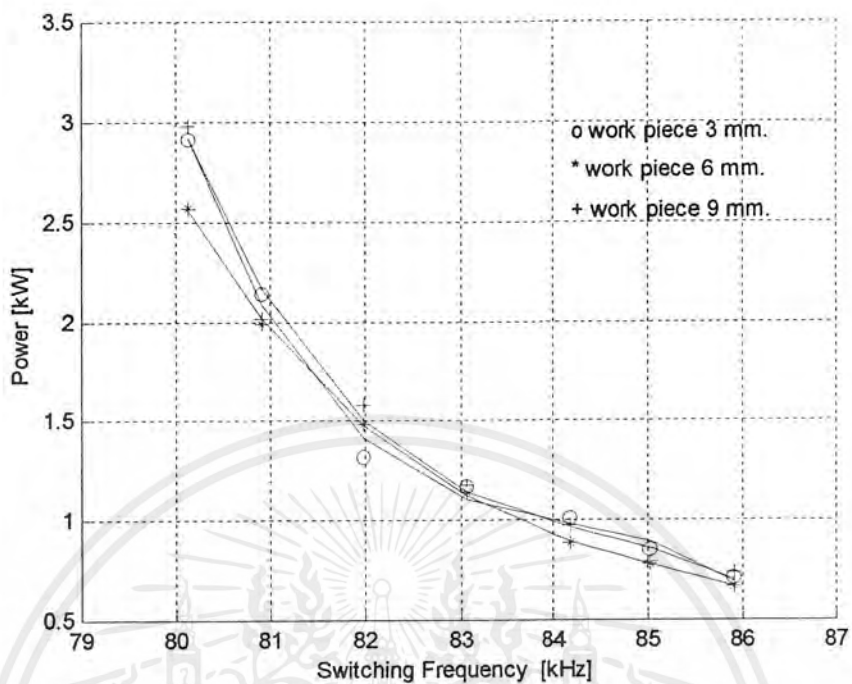
ตารางที่ 13 การทดสอบที่ 80.91 kHz โดยถัดวงจรที่หัวเชื่อม

ขนาดเหล็ก	3 mm	6 mm	9 mm
V_{rms}	259.16	259.24	261.293
I_{rms}	18.832	18.517	18.739
θ	64.082	65.564	65.7646
Pac (kw)	2.137	1.989	2.0135
Req	6.015	5.7915	5.724
Leq	277.66	278.38	278.32
R_L	0.2061	0.1985	0.1961
THD (V)	40.29	40.14	40.12
THD (I)	1.47	1.39	1.44

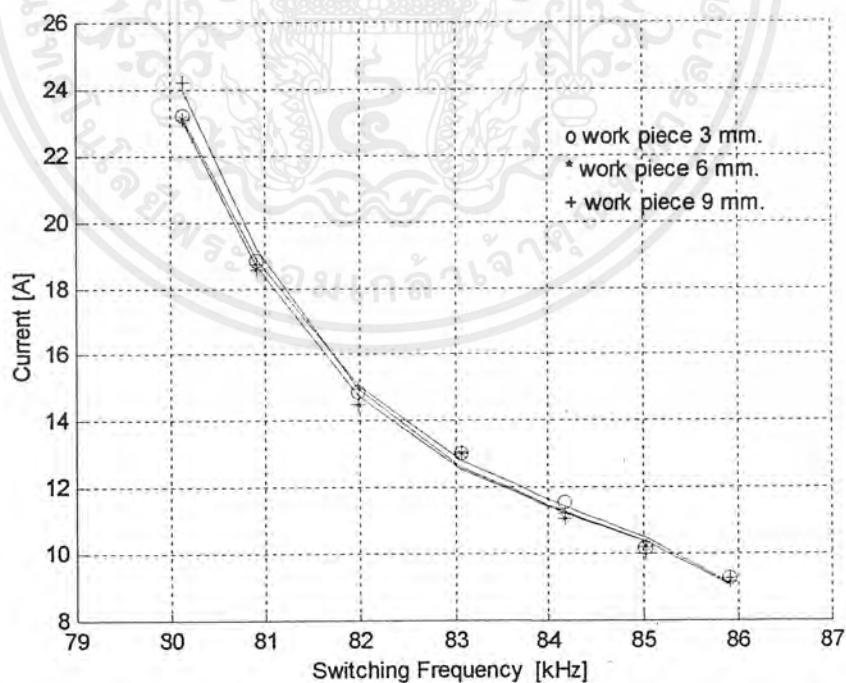
ตารางที่ 14 การทดสอบที่ 80.13 kHz โดยถัดวงจรที่หัวเชื่อม

ขนาดเหล็ก	3 mm	6 mm	9 mm
V_{rms}	254.15	256.71	259.716
I_{rms}	23.22	23.11	24.204
θ	60.47	64.3678	61.694
Pac (kw)	2.91	2.5686	2.982
Req	5.3945	4.8	5.0879
Leq	277.18	278.16	277.03
R_L	0.1849	0.1647	0.1744
THD (V)	39.43	39.13	38.87
THD (I)	1.18	1.41	1.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ กำลังไฟฟ้าที่ความถี่สวิตซ์ซึ่งต่างๆ
ขณะทำการตัดวงจรที่หัวเชื่อม



รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ กระแสที่ความถี่สวิตซ์ซึ่งต่างๆ
ขณะทำการตัดวงจรที่หัวเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนขนาดเหล็กและลวดเชื่อมโดยคงค่าความถี่ในการเชื่อม

การทดลองนี้เป็นการหาค่าความสัมพันธ์ของขนาดเหล็กกับลวดเชื่อมที่ความถี่ในการเชื่อมเท่ากัน(81.97กิโลเฮิรซ์) และทำการหาค่ากำลังที่ได้ในแต่ละกรณีได้ดังนี้
 หมายเหตุ W x,y,z คือ x = ขนาดของเหล็กที่นำมาเชื่อม

y = ขนาดของลวดเชื่อม โดย 1= 2.6mm ,2= 3.2mm ,3= 4mm

z = ครั้งที่ทำการเชื่อม (ทำการทดลองเชื่อมทั้งหมด 3 ครั้ง)

sc = การวัดขณะตัดวงจร

ตารางที่ 15 การทดลอง โดยคงค่าความถี่และเปลี่ยนขนาดเหล็กและลวดเชื่อม

การเชื่อม	Pac(kW)	Rac	L(uH)	RI
W111	1.74	28.46	264.36	0.98
W112	1.78	24.20	267.65	0.83
W113	1.83	26.03	266.62	0.89
Wsc11	1.33	6.26	276.60	0.21
W121	2.06	14.35	272.32	0.49
W122	1.95	22.46	267.47	0.77
W123	2.02	17.92	270.73	0.61
Wsc12	1.26	5.75	276.79	0.20
W131	1.94	19.62	267.86	0.67
W132	1.92	21.91	268.36	0.75
W133	1.78	22.67	267.79	0.78
Wsc13	1.23	5.85	276.80	0.20
W311	1.79	22.62	267.71	0.78
W312	1.68	27.21	265.46	0.93
W313	1.76	23.57	267.55	0.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

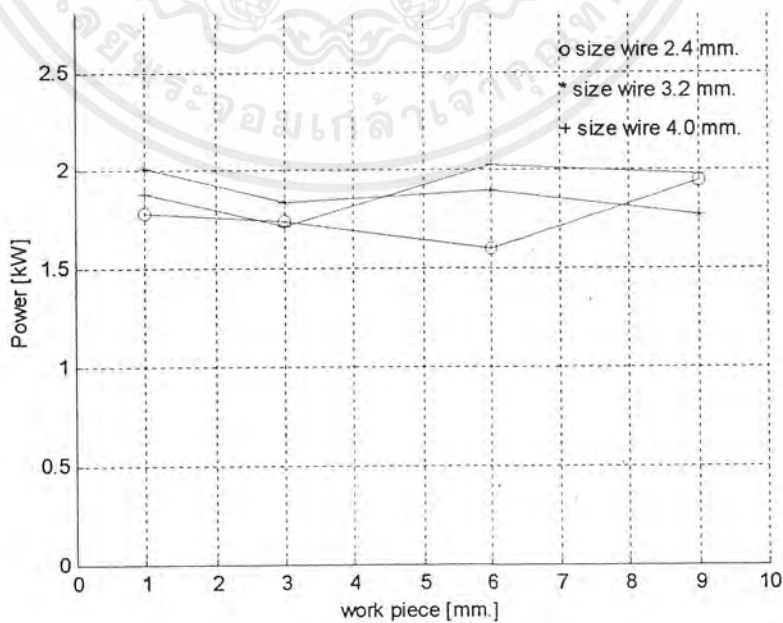
ตารางที่ 15 (ต่อ) การทดลองโดยคงค่าความถี่และเปลี่ยนขนาดเหล็กและลวดเชื่อม

การเชื่อม	Pac(kW)	Rac	L(uH)	RI
W321	1.99	18.31	269.71	0.63
W322	1.68	25.45	267.16	0.87
W323	1.85	22.25	268.40	0.76
Wsc32	1.21	5.49	276.92	0.19
W331	1.60	28.17	263.97	0.97
W332	1.76	23.80	266.72	0.82
W333	1.78	24.13	267.16	0.83
Wsc33	1.23	5.62	276.73	0.19
W611	1.76	26.11	266.31	0.89
W612	1.45	34.53	258.52	1.18
W613	1.60	30.32	262.64	1.04
Wsc61	1.30	6.00	276.64	0.21
W621	1.87	22.50	268.69	0.77
W622	1.94	18.33	270.83	0.63
W623	1.87	21.69	268.93	0.74
Wsc62	1.18	5.62	277.00	0.19
W631	2.06	20.15	269.42	0.69
W632	1.97	18.26	270.10	0.63
W633	2.06	18.78	269.72	0.64
Wsc63	1.24	5.65	276.46	0.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

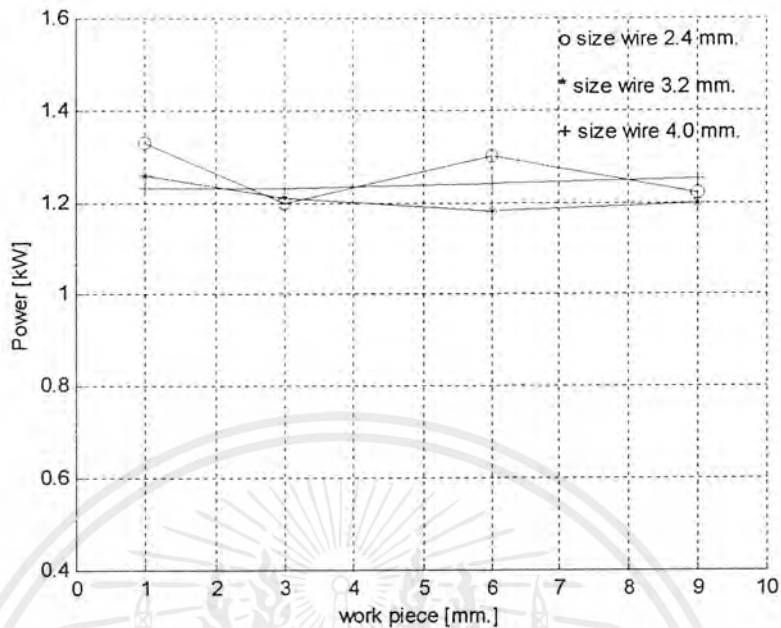
ตารางที่ 15 (ต่อ) การทดลอง โดยคงค่าความถี่และเปลี่ยนขนาดเหล็กและลวดเชื่อม

การเชื่อม	Pac(kW)	Rac	L(uH)	RI
W911	1.93	22.58	269.30	0.77
W912	2.06	19.39	269.86	0.66
W913	1.84	25.34	266.86	0.87
Wsc91	1.22	5.48	276.86	0.19
W921	1.92	23.47	267.87	0.80
W922	1.68	30.72	261.62	1.05
W923	1.72	27.97	264.23	0.96
Wsc92	1.20	5.37	276.95	0.18
W931	1.87	24.61	266.33	0.84
W932	2.05	16.97	270.99	0.58
W933	2.01	14.84	271.89	0.51
Wsc93	1.25	5.45	276.90	0.19



รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ กำลังไฟฟ้าที่ขนาดเหล็กต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



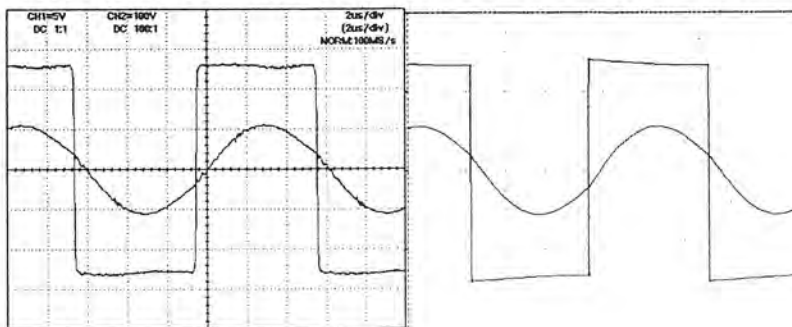
รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ กำลังไฟฟ้าที่ขนาดเหล็กต่างๆ
ขณะทำการตัดวงจรที่หัวเชื่อม

จากตารางการทดลองนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองวงจรเครื่องเชื่อมใน
โปรแกรม พีสไปซ์ (Pspice) ได้ดังรูปที่ 5.22

รูปที่ 5.22 แสดงสัญญาณที่ค่าต่างๆเมื่อทำการคงค่าความถี่และเปลี่ยนขนาดลวดและเหล็ก
ได้แก่รูปสัญญาณที่วัดได้(ซ้าย)กับ

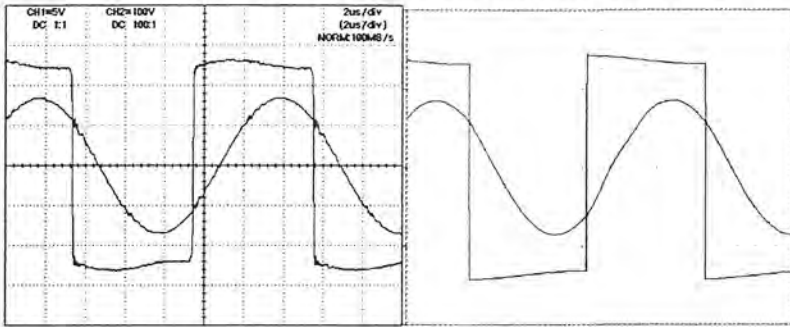
รูปสัญญาณที่ทำการวิเคราะห์โดย โปรแกรม Pspice(ขวา)

W111 การทดสอบที่การเชื่อมเหล็ก 1 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมขนาด 2.6 มิลลิเมตร ครั้งที่ 1

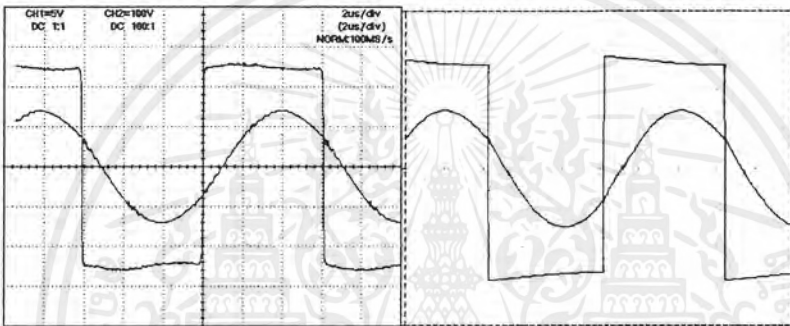


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

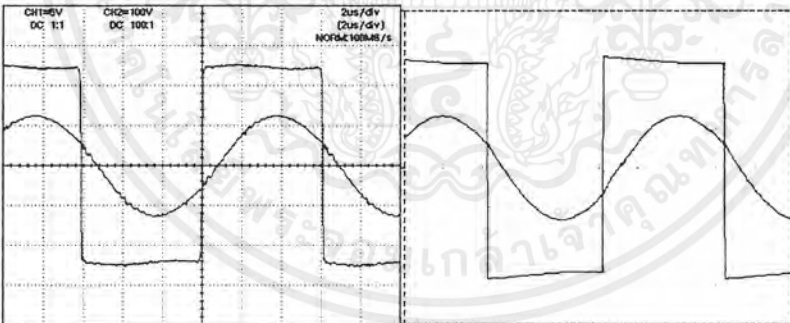
W121 การทดสอบที่การเชื่อมเหล็ก 1 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมขนาด 3.2 มิลลิเมตร ครั้งที่ 1



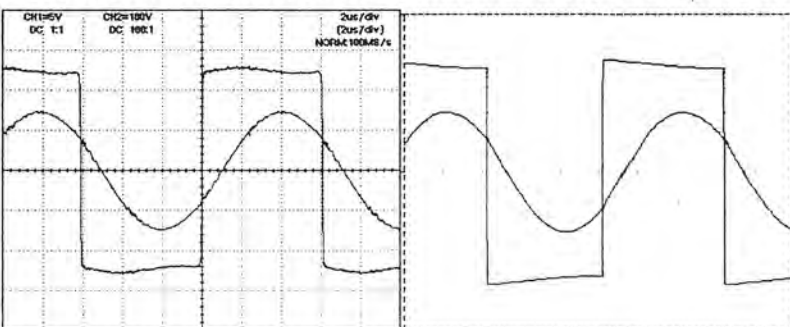
W131 การทดสอบที่การเชื่อมเหล็ก 1 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมขนาด 4 มิลลิเมตร ครั้งที่ 1



W311 การทดสอบที่การเชื่อมเหล็ก 3 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมขนาด 2.6 มิลลิเมตร ครั้งที่ 1

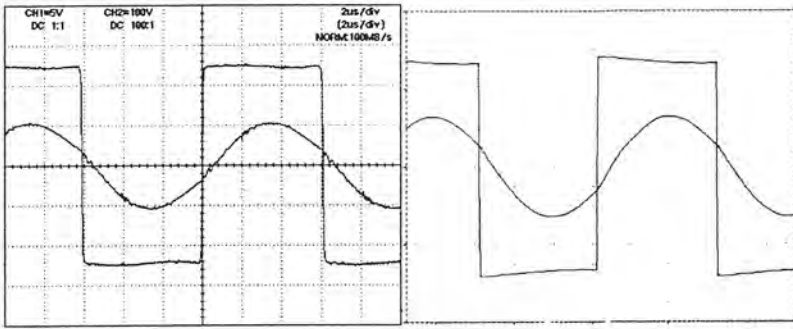


W321 การทดสอบที่การเชื่อมเหล็ก 3 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมขนาด 3.2 มิลลิเมตร ครั้งที่ 1

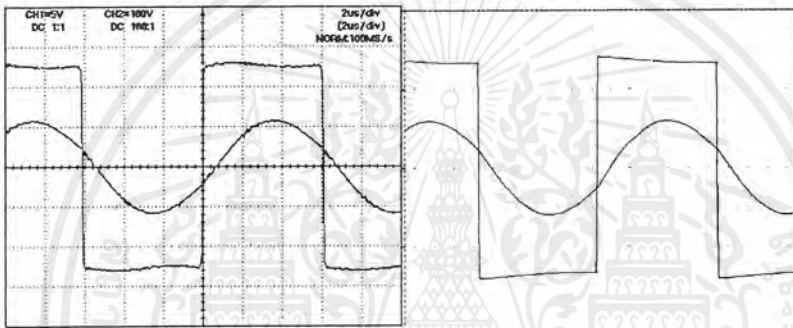


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

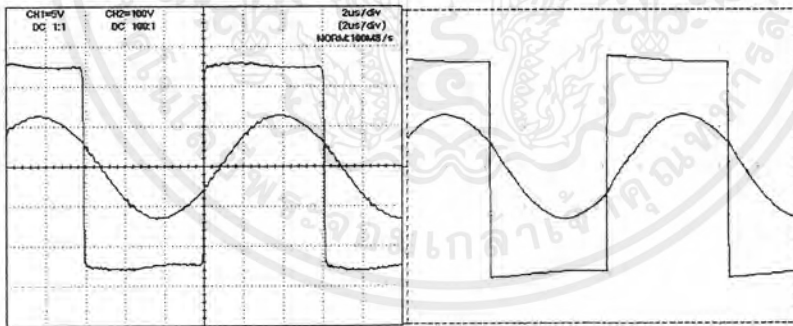
W331 การทดสอบที่การเชื่อมเหล็ก 3 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมขนาด 4 มิลลิเมตร ครั้งที่ 1



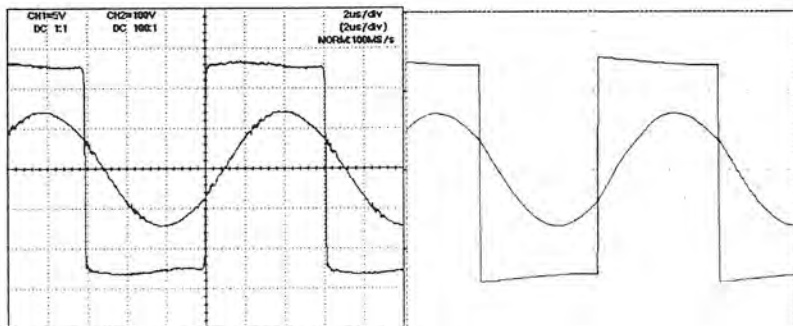
W611 การทดสอบที่การเชื่อมเหล็ก 6 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมขนาด 2.6 มิลลิเมตร ครั้งที่ 1



W621 การทดสอบที่การเชื่อมเหล็ก 6 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมขนาด 3.2 มิลลิเมตร ครั้งที่ 1

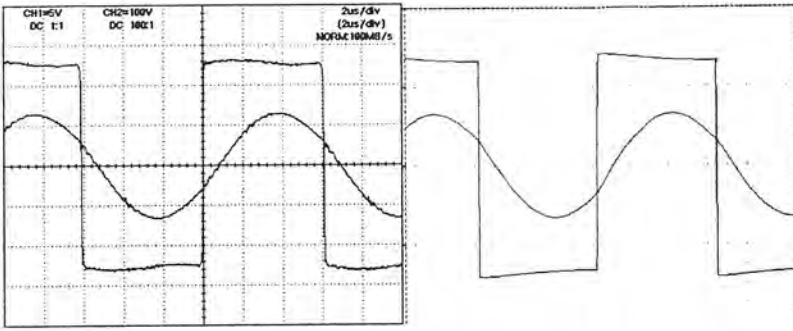


W631 การทดสอบที่การเชื่อมเหล็ก 6 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมขนาด 4 มิลลิเมตร ครั้งที่ 1

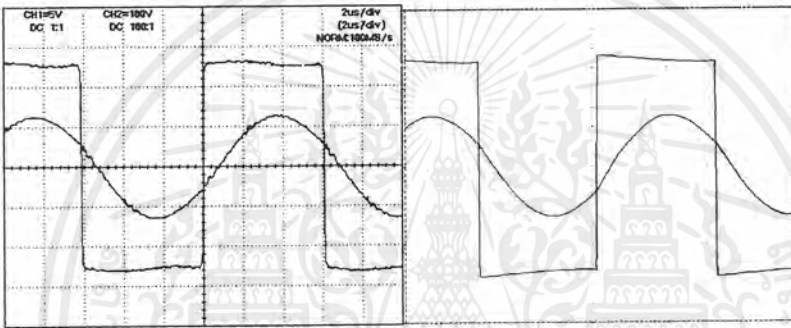


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

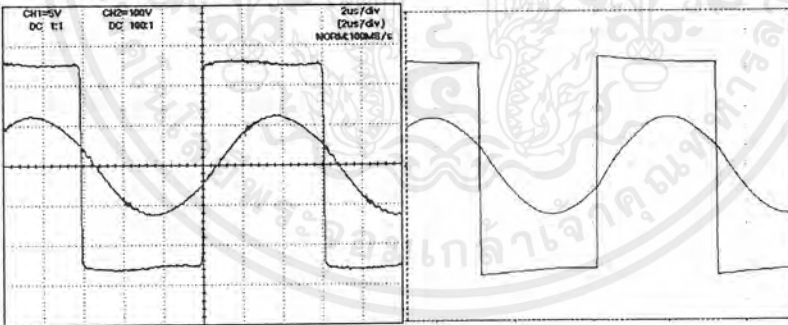
W911 การทดสอบที่การเชื่อมเหล็ก 9 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมขนาด 2.6 มิลลิเมตร ครั้งที่ 1



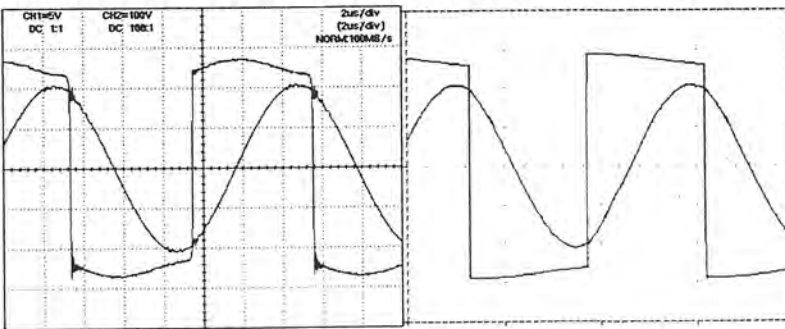
W921 การทดสอบที่การเชื่อมเหล็ก 9 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมขนาด 3.2 มิลลิเมตร ครั้งที่ 1



W931 การทดสอบที่การเชื่อมเหล็ก 9 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมขนาด 4 มิลลิเมตร ครั้งที่ 1

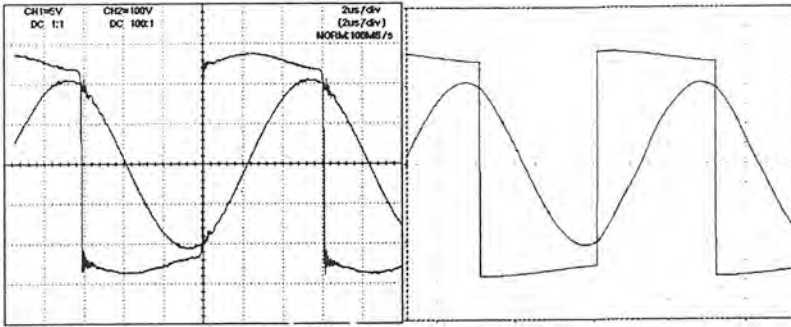


Wsc111 ลัดวงจรที่หัวเชื่อมที่เหล็ก 1 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมขนาด 2.6 มิลลิเมตร ครั้งที่ 1

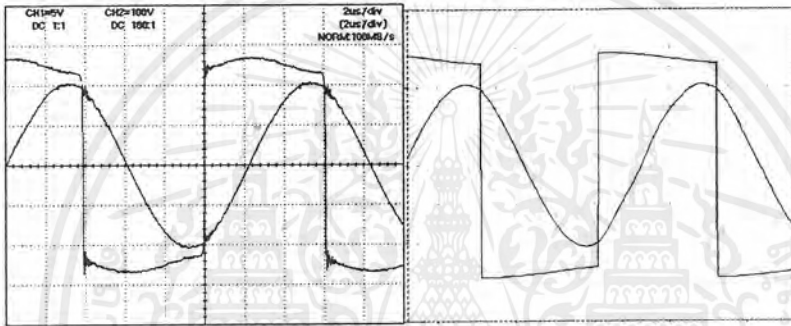


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

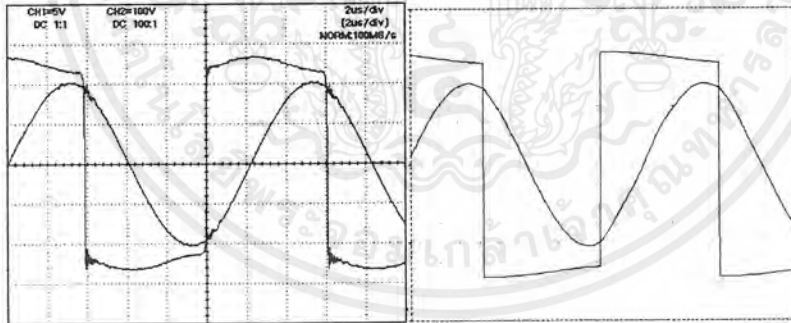
Wsc121 คือวงจรที่หัวเชื่อมที่เหล็ก 1 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมขนาด 3.2 มิลลิเมตร ครึ่งที่ 1



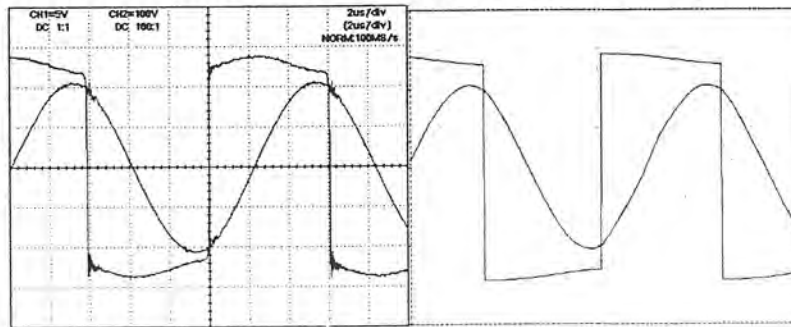
Wsc131 คือวงจรที่หัวเชื่อมที่เหล็ก 1 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมขนาด 4 มิลลิเมตร ครึ่งที่ 1



Wsc311 คือวงจรที่หัวเชื่อมที่เหล็ก 3 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมขนาด 2.6 มิลลิเมตร ครึ่งที่ 1

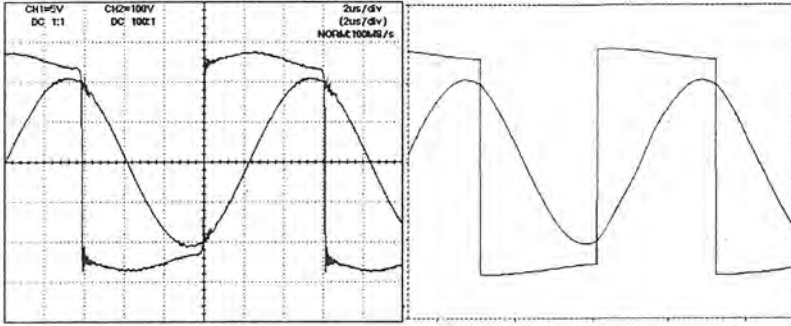


Wsc321 คือวงจรที่หัวเชื่อมที่เหล็ก 3 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมขนาด 3.2 มิลลิเมตร ครึ่งที่ 1

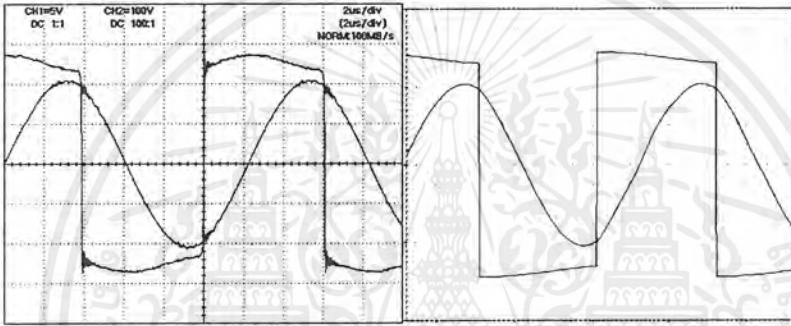


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

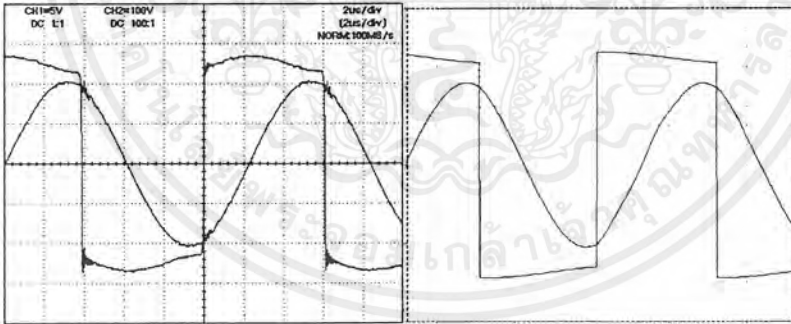
Wsc331 ลัดวงจรที่หัวเชื่อมที่เหล็ก 3 มิลลิเมตร ถวดเชื่อมขนาด 4 มิลลิเมตร ครั้งที่ 1



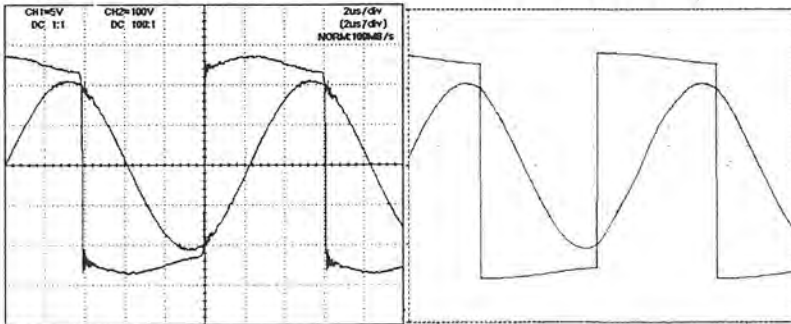
Wsc611 ลัดวงจรที่หัวเชื่อมที่เหล็ก 6 มิลลิเมตร ถวดเชื่อมขนาด 2.6 มิลลิเมตร ครั้งที่ 1



Wsc621 ลัดวงจรที่หัวเชื่อมที่เหล็ก 6 มิลลิเมตร ถวดเชื่อมขนาด 3.2 มิลลิเมตร ครั้งที่ 1

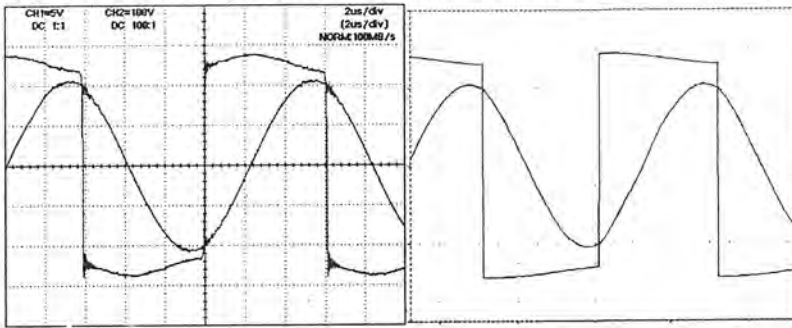


Wsc631 ลัดวงจรที่หัวเชื่อมที่เหล็ก 6 มิลลิเมตร ถวดเชื่อมขนาด 4 มิลลิเมตร ครั้งที่ 1

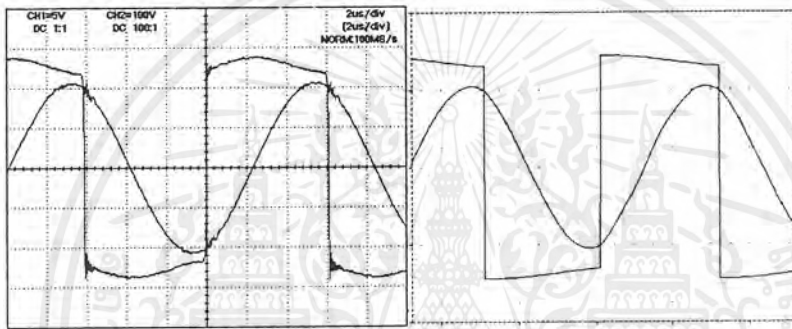


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

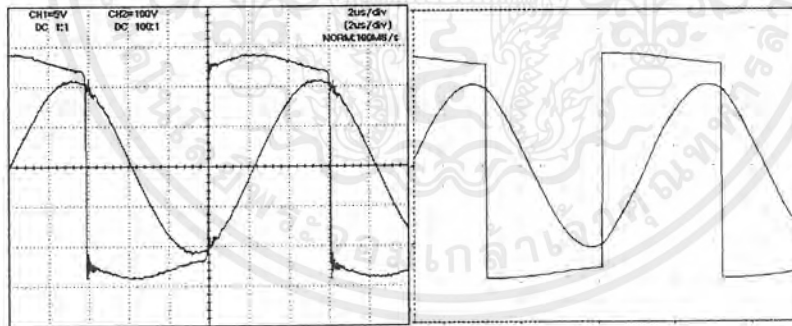
Wsc911 ลัดวงจรที่หัวเชื่อมที่เหล็ก 9 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมขนาด 2.6 มิลลิเมตร ครั้งที่ 1



Wsc921 ลัดวงจรที่หัวเชื่อมที่เหล็ก 9 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมขนาด 3.2 มิลลิเมตร ครั้งที่ 1



Wsc931 ลัดวงจรที่หัวเชื่อมที่เหล็ก 9 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมขนาด 4 มิลลิเมตร ครั้งที่ 1



จากการทดสอบแบบคงค่าความถี่ไว้จะเห็นได้ว่าค่าของกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับนั้นจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากมายนัก จะเปลี่ยนแปลงไปก็ต่อเมื่อเปลี่ยนขนาดเหล็กให้ใหญ่ขึ้นเท่านั้นที่จะทำให้กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับชิ้นงานมีค่ามากขึ้น ตอนที่ลัดวงจรกับตอนที่ขั้วเชื่อมนั้นกำลังไฟฟ้าจะมีค่าไม่เท่ากัน โดยตอนที่ขั้วเชื่อมนั้นจะมีขนาดของกำลังไฟฟ้ามากกว่าเพราะตอนลัดวงจรนั้นประสิทธิภาพจะแย่มากๆ แต่เนื่องจากว่าขณะที่ทำการเชื่อมโหลดจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วตลอดเวลา จึงทำให้ค่าที่วัดได้มีความผิดพลาดสูง แต่จากการทดลองจะสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดเหล็กและลวดเชื่อม ตอนที่คงค่าความถี่นั้น กำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับนั้นจะมีค่าไม่แตกต่างกันมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบเชื่อมชิ้นงาน

การทดสอบเชื่อมชิ้นงานนี้จะทดสอบที่จุดที่ทำการเชื่อมเหล็กได้และเหล็กกับลวดสามารถที่จะละลายติดกัน โดยเปลี่ยนความถี่และเปลี่ยนขนาดเหล็กและใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2 มิลลิเมตรในการทดสอบเชื่อม แล้วนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองจากปริญญาานิพนธ์ปี 2542 (ใช้การเชื่อมขั้วบวกเนื่องจากผลการเชื่อมขั้วบวกและขั้วลบที่ได้ในงานวิจัยนี้มีลักษณะเหมือนกัน)

ตารางที่ 16 ผลการทดสอบการเชื่อมในปริญญาานิพนธ์ปี 2542

ความหนาชิ้นงาน	ขนาดลวดเชื่อม		
	2.6 มิลลิเมตร	3.2 มิลลิเมตร	4 มิลลิเมตร
1 มิลลิเมตร	สามารถเชื่อมได้	สามารถเชื่อมได้	สามารถเชื่อมได้
2.5 มิลลิเมตร	สามารถเชื่อมได้	สามารถเชื่อมได้แต่เชื่อมได้ยาก	สามารถเชื่อมได้แต่เชื่อมได้ยาก
4 มิลลิเมตร	ลวดละลายแต่ชิ้นงานไม่ละลาย	ลวดละลายแต่ชิ้นงานไม่ละลาย ทำการเชื่อมได้ยาก	ลวดละลายแต่ชิ้นงานไม่ละลาย ทำการเชื่อมได้ยาก

ตารางที่ 17 ผลการทดสอบเชื่อมในปริญญาานิพนธ์นี้

ความถี่ที่เชื่อม (kHz)	ความหนาชิ้นงาน		
	3 มิลลิเมตร	6 มิลลิเมตร	9 มิลลิเมตร
85.08	เชื่อมได้ไม่ดีนัก ชิ้นงานละลายน้อย	เชื่อมได้ยาก ชิ้นงานละลายน้อยมาก	เชื่อมไม่ได้
84.18	สามารถเชื่อมได้ ชิ้นงานละลายพอใช้	เชื่อมได้ไม่ดีนัก ชิ้นงานละลายน้อย	เชื่อมได้ยาก ชิ้นงานละลายน้อยมาก
83.06	สามารถเชื่อมได้ดี ชิ้นงานละลายดี	เชื่อมได้ไม่ดีนัก ชิ้นงานละลายน้อย	เชื่อมได้ไม่ดีนัก ชิ้นงานละลายน้อย

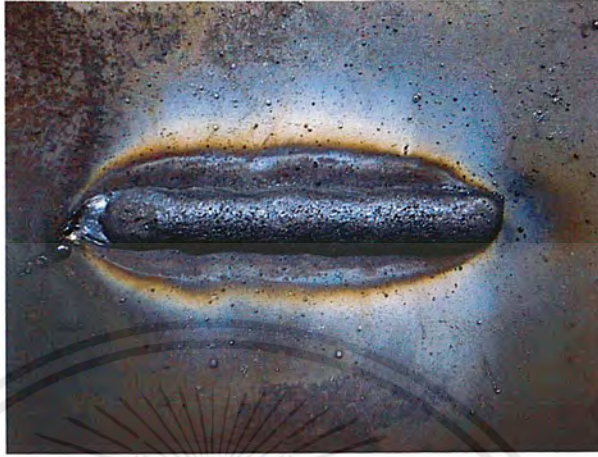
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 17 (ต่อ) ผลการทดสอบเชื่อมในปริญญานิพนธ์นี้

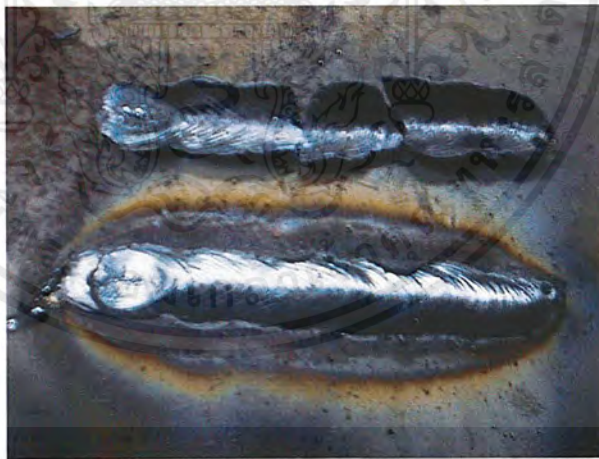
ความถี่ที่เชื่อม (kHz)	ความหนาชิ้นงาน		
	3 มิลลิเมตร	6 มิลลิเมตร	9 มิลลิเมตร
81.97	*สามารถเชื่อมได้ดี ชิ้นงานละลายดี	สามารถเชื่อมได้ ชิ้นงานละลายพอใช้	สามารถเชื่อมได้ ชิ้นงานละลายพอใช้
80.91	สามารถเชื่อมได้ แต่ชิ้นงานละลาย มากเกินไป	*สามารถเชื่อมได้ดี ชิ้นงานละลายดี	สามารถเชื่อมได้ ชิ้นงานละลายดี
80.13	สามารถเชื่อมได้ แต่ชิ้นงานหลอมจน ทะลุ	สามารถเชื่อมได้ดี ชิ้นงานละลายดี	*สามารถเชื่อมได้ดี ชิ้นงานละลายดี

* จุดเหมาะสมที่เหล็กหลอมได้พอเหมาะซึ่งสามารถใช้งานเชื่อมทั่วไปได้

จากการทดลองเชื่อมเหล็กขนาดต่างๆและเปลี่ยนความถี่ไปนั้นเครื่องเชื่อมที่สร้าง
ขึ้นนี้สามารถที่จะเชื่อมชิ้นงานได้ และจากการเปรียบเทียบกับผลการทดลองเชื่อมนี้กับผล
การทดลองในปริญญานิพนธ์ปี 2542 ซึ่งในปริญญานิพนธ์ปี 2542 ไม่สามารถเชื่อมชิ้นงาน
ขนาดใหญ่ได้ดีพอ แต่เครื่องที่สร้างขึ้นมาสามารถเชื่อมชิ้นงานขนาดใหญ่ได้ ซึ่งเป็นไป
ตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ในปริญญานิพนธ์ปี 2543 นี้



รูปที่ 5.23 รอยเชื่อมเหล็ก 3mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 81.97 kHz



รูปที่ 5.24 รอยเชื่อมเหล็ก 3mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 81.97 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.25 รอยเชื่อมเหล็ก 6mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 80.91 kHz



รูปที่ 5.26 รอยเชื่อมเหล็ก 6mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 80.91 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

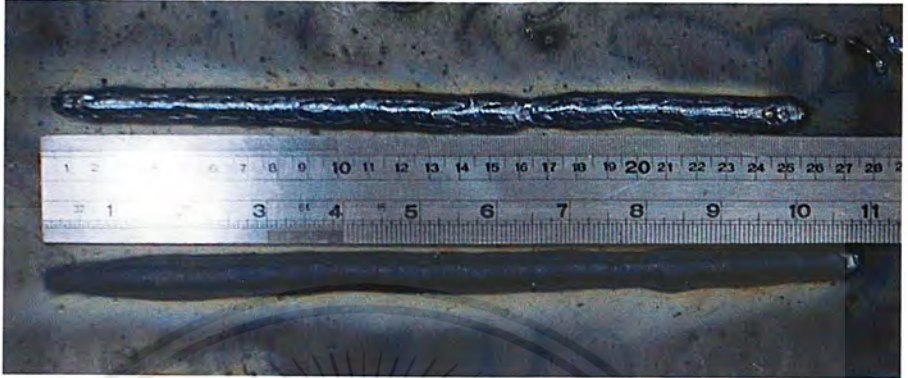


รูปที่ 5.27 รอยเชื่อมเหล็ก 9mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 80.13 kHz



รูปที่ 5.28 รอยเชื่อมเหล็ก 9mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 80.13 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.29 รอยเชื่อมเหล็ก 6mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 81.24 kHz
ใช้ลวดเชื่อม 2 เส้นทอลองเชื่อมติดต่อกัน



รูปที่ 5.30 รอยเชื่อมเหล็ก 6mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 81.24 kHz
ใช้ลวดเชื่อม 2 เส้นทอลองเชื่อมติดต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.31 รอยเชื่อมเหล็ก 3mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 81.50 kHz
เชื่อมเหล็กสองแผ่นติดกัน โดยรูปที่ได้เป็นรูปรอยเชื่อมด้านหน้า



รูปที่ 5.32 รอยเชื่อมเหล็ก 3mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 81.50 kHz
เชื่อมเหล็กสองแผ่นติดกัน โดยรูปที่ได้เป็นรูปรอยเชื่อมด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.33 รอยเชื่อมเหล็ก 3mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 81.50 kHz
เชื่อมเหล็กสองแผ่นติดกันแบบต่อฉาก[T] โดยรูปที่ได้เป็นรูปรอยเชื่อมด้านหน้า



รูปที่ 5.34 รอยเชื่อมเหล็ก 3mm โดยใช้ลวดเชื่อมขนาด 3.2mm ที่ความถี่ 81.50 kHz
เชื่อมเหล็กสองแผ่นติดกันแบบต่อฉาก[T] โดยรูปที่ได้เป็นรูปรอยเชื่อมด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองและวิจารณ์งานที่ได้

การออกแบบเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบโดยใช้การสวิตซ์ที่ความถี่สูง ซึ่งต้องการออกแบบให้วงจรไม่ซับซ้อนและให้มีอุปกรณ์น้อยชิ้นที่สุดและมีความน่าเชื่อถือสูงสุด ดังนั้นในเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงนี้ได้เลือกใช้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงชนิดซีรี้โซแนนท์ ทำงานแบบรีโซแนนท์ภาคแรงดันศูนย์ ทำให้การสูญเสียที่วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงมีค่าต่ำ และจากการออกแบบส่วนที่เป็นโหลดของวงจรอินเวอร์เตอร์ให้มีค่า Q ก่อนข้างสูง ทำให้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงสามารถทนสถานะลัดวงจรด้านออกได้

เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงที่สร้างขึ้นนี้ สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดได้ 3.5 กิโลวัตต์ จ่ายกระแสได้ 20 แอมป์ ที่ความถี่ 80 กิโลเฮิรซ์ โดยใช้การควบคุมเอาต์พุตแบบปรับความถี่เพียงอย่างเดียว และมีวงจรป้องกันกระแสเกินซึ่งใช้การตรวจสอบสัญญาณกระแสด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์

จากการทดสอบการเชื่อมปรากฏว่าจากเครื่องเชื่อมที่สร้างขึ้นนี้ สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้นจากปีที่ผ่านมา ทำให้สามารถทำการเชื่อมต่อเหล็กได้ขนาดสูงสุด 9 มิลลิเมตร โดยรอยเชื่อมที่ได้มีการหลอมเชื่อมที่ลึกพอเหมาะ

ข้อดีของเครื่องเชื่อมในปฏิญานปีพ.ศ. 2543 นี้ (ในที่นี้จะพิจารณาเปรียบเทียบกับเครื่องเชื่อมในงานวิจัยปี 2542)

- 1.) สามารถพัฒนาให้มีขนาดเล็กลง
- 2.) มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด 3.5 กิโลวัตต์
- 3.) สามารถเชื่อมชิ้นงานขนาดใหญ่กว่าเครื่องเชื่อมในปฏิญานปีพ.ศ. 2542 ได้
- 4.) มีวงจรป้องกันกระแสเกิน
- 5.) อุปกรณ์ที่ใช้สามารถหาซื้อได้ในประเทศ

ข้อเสียของเครื่องเชื่อมในปฏิญานปีพ.ศ. 2543 นี้

- 1.) ยังมีขนาดใหญ่กว่าเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง(เป็นเครื่องนำเข้าจากต่างประเทศ)ที่ขายในท้องตลาด
- 2.) การควบคุมรอยเชื่อมยังไม่ดีพอเมื่อเทียบกับเครื่องเชื่อมไฟตรง(เป็นเครื่องนำเข้าจากต่างประเทศ)ที่ขายตามท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาที่พบ

- 1.) อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งไม่สามารถจ่ายกระแสได้ตามต้องการซึ่งเป็นอุปสรรคในการเพิ่มกำลังไฟฟ้าของเครื่องเชื่อม
- 2.) หม้อแปลงความถี่สูงที่มีขายในท้องตลาดมีขนาดพิกัดต่ำ
- 3.) การควบคุมกระแสขณะเชื่อมเป็นไปได้ยากเนื่องจากโหลดมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

ซึ่งจากข้อด้อยและปัญหาที่พบในเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงนี้ ทำให้สามารถมองเห็นจุดต่างๆที่ควรปรับปรุง และจากการนำเสนอปริญญาโทในปลายภาคเรียนที่ 2 นั้น อ.จรงค์ ได้ให้คำแนะนำและติชมต่างๆ ทำให้เราได้ทราบของสงสัย และ มุมมองของบุคคลอื่น ซึ่งจากคำถามต่าง ๆ นั้น อ.จรงค์ ได้ตั้งข้อสงสัยว่าทำไมการควบคุมกระแสยังไม่ดี และทำไมการวิจัยที่ได้ถึงทำได้ไม่ดีกว่าเครื่องในท้องตลาด(ซึ่งเป็นเครื่องนำเข้าจากต่างประเทศ) ซึ่งจากข้อสงสัยนี้สามารถอธิบายได้ว่า การที่การควบคุมกระแสยังไม่ดีนั้นเกิดจากการใช้วงจร ซีรี่ รีโชนนัทคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งวงจรมีข้อด้อยบางประการในการนำมาประยุกต์เป็นเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง และจากการวิจัยนั้นอุปกรณ์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ที่หาได้ในตลาดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในเมืองไทยและเป็นอุปกรณ์ที่มีพิกัดหลายอย่างไม่ตรงความต้องการเช่นพิกัดของมอสเฟต พิกัดของแกนหม้อแปลงความถี่สูง ฯลฯ ซึ่งการวิจัยโดยใช้อุปกรณ์ต่างๆเหล่านี้เมื่อนำผลงานวิจัยที่ได้ไปเปรียบเทียบกับ ผลงานที่ทางบริษัทผู้ผลิตเครื่องเชื่อมไฟตรงนี้โดยตรงซึ่งเป็นบริษัทต่างประเทศ ย่อมมีข้อด้อยและข้อเสียเปรียบโดยทั่วไปอยู่แล้ว ซึ่งทฤษฎีและหลักการที่ใช้อาจจะไม่เหมือนกัน อุปกรณ์ที่ใช้มีพิกัดต่างกันมากและบริษัทผู้ผลิตได้มีการทำวิจัยมานานแล้ว ดังนั้นการที่น่าลักษณะรอยเชื่อม,ขนาดพิกัดและน้ำหนักของเครื่องที่ขายในท้องตลาดมาเปรียบเทียบกับ(ซึ่งทางผู้วิจัยเคยเห็นแต่รูปในใบโฆษณาของบริษัทซึ่งเป็นตัวแทนจำหน่าย) เพื่อพัฒนาให้เครื่องเชื่อมที่สร้างขึ้นเป็นเครื่องเชื่อมไฟตรงที่สามารถผลิตได้ในประเทศไทยและมีประสิทธิภาพที่ดีมากขึ้น ซึ่งจุดประสงค์หลักในงานวิจัยนี้มีได้ต้องการสร้างเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงมาผลิตแข่งขันกับต่างประเทศแต่จุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือการศึกษาและประยุกต์ใช้งานวงจร ซีรี่ รีโชนนัทคอนเวอร์เตอร์ในงานอุตสาหกรรมการเชื่อมเหล็ก ซึ่งเครื่องเชื่อมไฟตรงที่ได้จำต้องนำไปเปรียบเทียบกับเครื่องเชื่อมไฟตรงของต่างประเทศ

สิ่งที่ควรวิจัยต่อไป

จากที่กล่าวมาแล้วในบทสรุปข้างต้นนั้นเครื่องเชื่อมในงานวิจัยนี้มีกำลังไฟฟ้าที่สูง และสามารถเชื่อมเหล็กขนาดใหญ่ได้ ซึ่งเครื่องเชื่อมไฟตรงในงานวิจัยนี้มีความสามารถดีขึ้นมากเมื่อเทียบกับเครื่องเชื่อมในปี 2542 ดังนั้นจากปัญหาที่พบในการวิจัยนี้ทำให้ทราบว่า การที่จะทำให้เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงมีกำลังไฟฟ้าที่สูงและการเชื่อมที่ดีกว่านี้ จำเป็นที่จะต้องมียุทธศาสตร์ที่มีพิชิตกระแสไฟฟ้าสูงกว่านี้ และควรมีวงจรควบคุมกระแส และการสวิตซ์ซึ่งที่ตีรวมถึงการมีวงจรควบคุมการจ่ายกำลังที่ดี ซึ่งจากข้อมูลเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงที่ขายในท้องตลาด มีการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นจุดเด่นของเครื่องเชื่อมในท้องตลาด ดังนั้นจึงควรพัฒนาด้านอุปกรณ์และการควบคุมกระแส การควบคุมกำลังไฟฟ้า และสัญญาณต่างๆของเครื่องเชื่อมให้ดีขึ้น โดยอาจจะไม่ใช่ด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ก็ได้ แต่ยังมีด้านอื่นๆมาประกอบการวิจัยอีกมาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE NEW UC3879 PHASE-SHIFTED PWM CONTROLLER SIMPLIFIES THE DESIGN OF ZERO VOLTAGE TRANSITION FULL-BRIDGE CONVERTERS

by Laszlo Balogh

INTRODUCTION

This Application Note will introduce the UC3879 integrated circuit and compare its performance to its predecessors, the UC3875/6/7/8 controller family. These integrated circuits provide all necessary control, decoding, protection and drive functions to successfully manage the operation of the full-bridge converter with phase-shifted control. This integrated solution greatly simplifies the design procedure and offers significant savings in development time and printed circuit board real-estate for the designer.

Using the conventional full-bridge topology with phase-shifted control technique has already demonstrated its superiority in medium to high power, DC-to-DC power conversion. This control

method provides well controlled dv/dt values and zero-voltage switching of all primary side semiconductors in the power stage over nearly all operating conditions. Several publications [1-8] discussed the details of operation including equivalent circuits for the resonant transitions for both legs of the bridge converter, conditions for zero-voltage switching and describing further improvement possibilities. The major benefits offered by this approach are a simpler power stage than its hard switched counterpart, utilizing circuit parasitics instead of being penalized by them, improved efficiency and lower EMI level. These significant advantages are realized with a slightly more complex control algorithm.

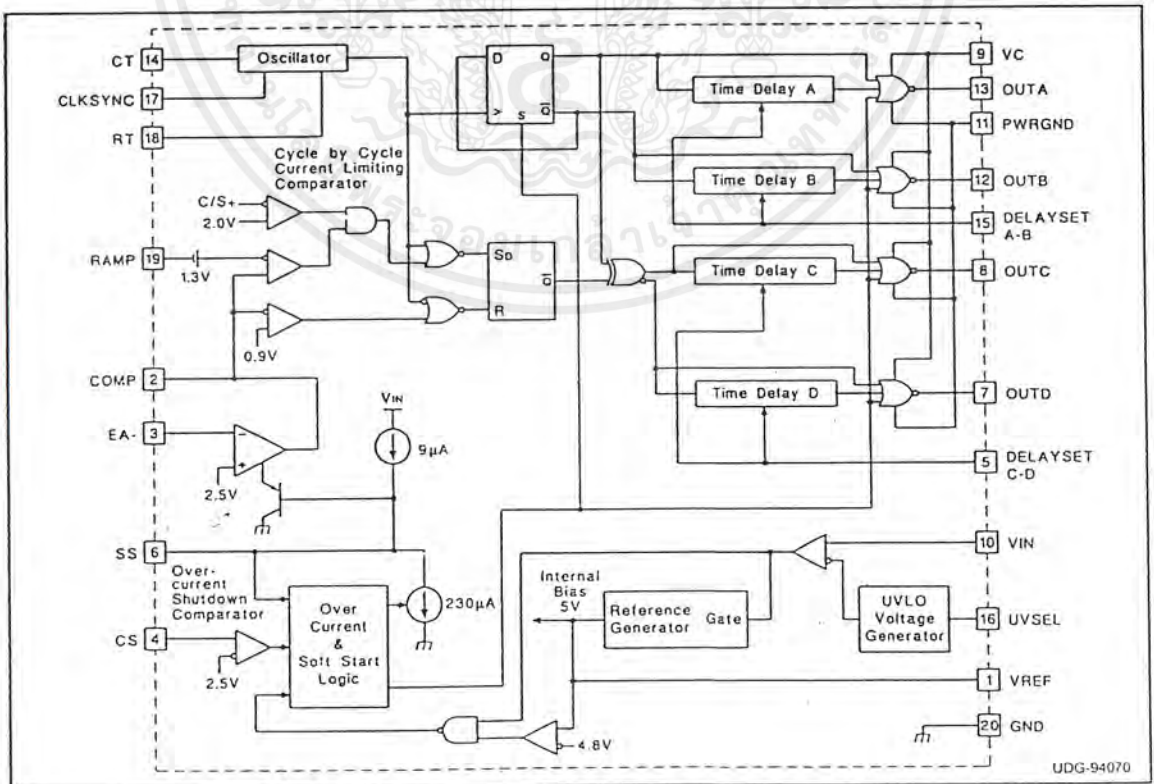


Figure 1. UC3879-Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UNITRODE UC3879 PHASE-SHIFT PWM CONTROL IC - BLOCK DIAGRAM

The UC3879 is an improved version of the previously introduced UC3875 controller family. The internal architecture of the IC is shown in Figure 1.

The undervoltage lockout level of the UC3879 is user selectable by the UVSEL pin. Two predefined thresholds are available. If the UVSEL pin is floating, the chip starts running when the supply voltage exceeds 15.25V on the VIN pin. In case the UVSEL pin is externally connected to the VIN pin, operation starts at 10.75V. Independent of the selected start up option, the UC3879 goes to an undervoltage lockout mode when the input voltage falls below approximately 9.25V. The threshold levels reflect the two most commonly used auxiliary power generation methods; bootstrap or off-line.

The operating frequency of the synchronizable oscillator is programmed by two external components. The resistor from the RT pin to ground defines the charge current of the timing capacitor while the discharge current is internally fixed at 10mA. This way, the duty-cycle (D_{OSC}) of the oscillator, which corresponds to the duty ratio of the signal appearing on the CLKS_{SYNC} output of the IC, can be set accurately based on the relationship:

$$RT = \frac{2.5V}{0.01A \cdot D_{OSC}}$$

The minimum recommended pulse width for reliable operation is around 250nsec and for all practical applications it should not exceed 500nsec. Hence, D_{OSC} shall be determined based on the clock frequency as:

$$D_{OSC} = (250nsec \dots 500nsec) \cdot f_{CLOCK}$$

The timing capacitor, connected between the CT pin and ground, in combination with the already defined RT value determines the clock frequency (f_{CLOCK}) by the following formula:

$$CT = \frac{(1 - D_{OSC})}{1.08 \cdot RT \cdot f_{CLOCK}}$$

In practice, the selection of proper capacitance values are much more difficult than those of the resistors. Therefore, one might first select the appropriate capacitor value to fulfill the requirement based on the following simple table:

Frequency Range	Capacitance
f _{CLOCK} < 30kHz	2.2nF
30kHz < f _{CLOCK} < 100kHz	680pF
100kHz < f _{CLOCK}	220pF

After choosing the value of the timing capacitor, the required resistance can be calculated as:

$$RT \cong \frac{0.47 + 0.07 \cdot \sqrt{47.17 - 5 \cdot 10^4 \cdot CT \cdot f_{CLOCK}}}{CT \cdot f_{CLOCK}}$$

Figure 2 shows the solution of the timing equations for the most commonly used frequency range. It offers a quick guide to estimate the required resistor value.

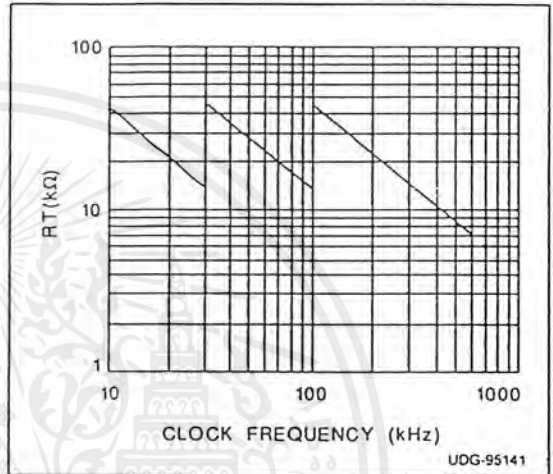


Figure 2. Timing Resistor (RT) vs. Oscillator Frequency

During free-running operation the capacitor voltage changes between nearly 0V and 2.9V linearly. Typical operating waveforms for free-running and synchronized operation are demonstrated in Figure 3.

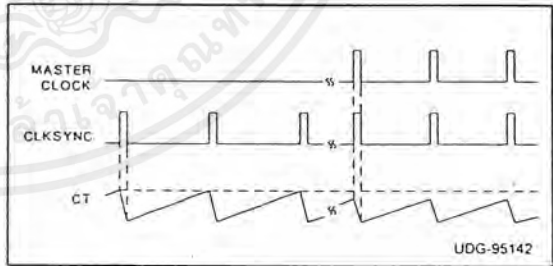


Figure 3. Oscillator Waveforms
a) Free-running; b) Synchronized Operation

Synchronization can be attained by driving the CLKS_{SYNC} pin from another UC3879 or by external circuitry as shown in Figure 4.

In both cases, all ICs will synchronize to the IC or external clock signal with the highest free-running frequency. The resistors R₁ to R_n may be needed to properly terminate the synchronization bus and to keep the sync pulse narrow due to capacitance loading the line.

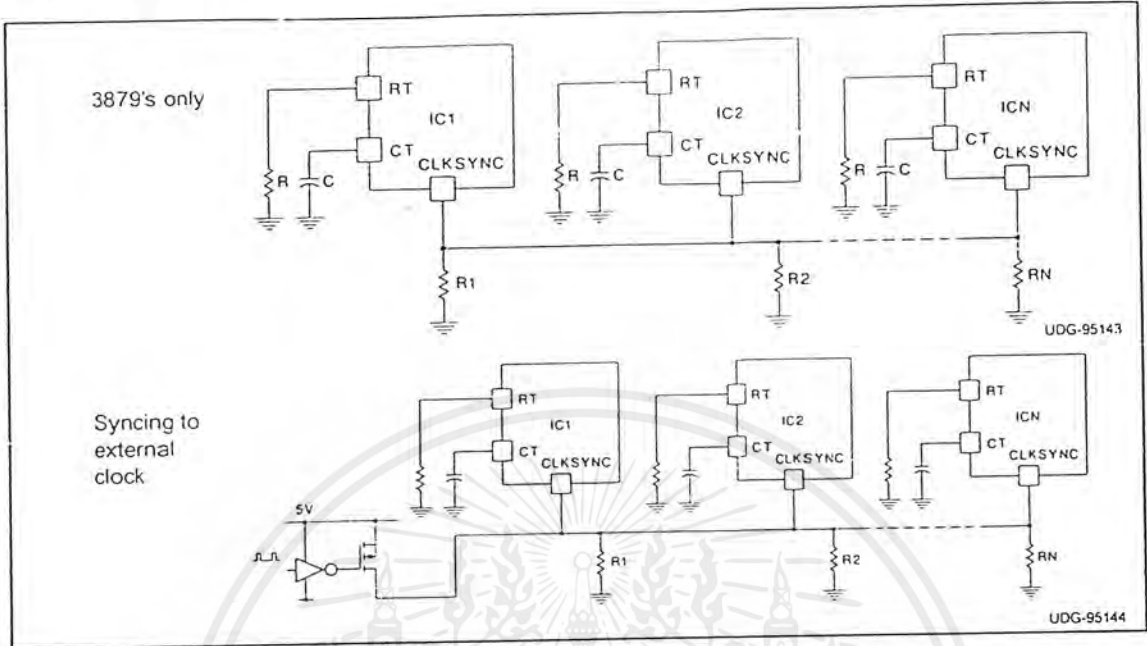


Figure 4. Typical Synchronization Schemes

An additional benefit of using local timing components for each individual oscillator is that it allows the synchronizing connections among the ICs to be broken without any local loss of functionality.

Output regulation is achieved using the 10MHz gain bandwidth on-board error amplifier. The noninverting input of the error amplifier is internally connected to a 2.5V reference. The inverting input (E/A-) and the output of the amplifier (E/A OUT) are accessible for feedback and compensation purposes. The

output of the error amplifier is utilized to command the high speed PWM circuit. This signal is compared to the RAMP input of the IC having a usable input voltage range from zero to 2.9V.

Soft-start is accomplished with a capacitor from the soft-start pin (SS) to ground. During the soft-start period, the soft-start output of the error amplifier is clamped to the capacitor voltage which is gradually increased from zero to about 4.8V. It corresponds to pulse width, phase shift or peak current limiting

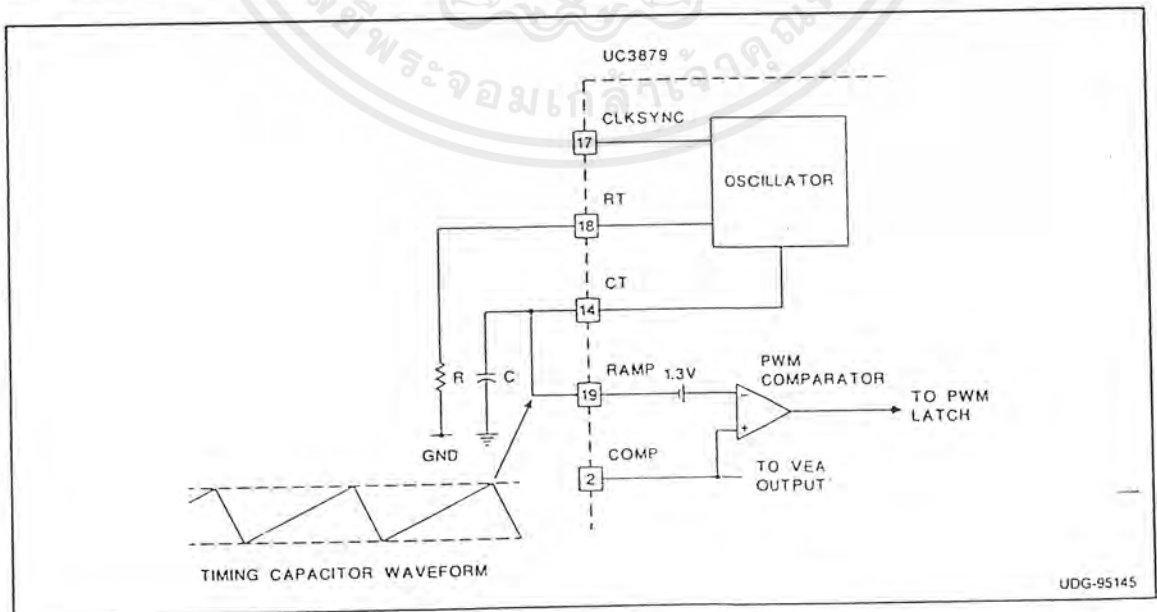


Figure 5. UC3879 with Voltage Mode Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

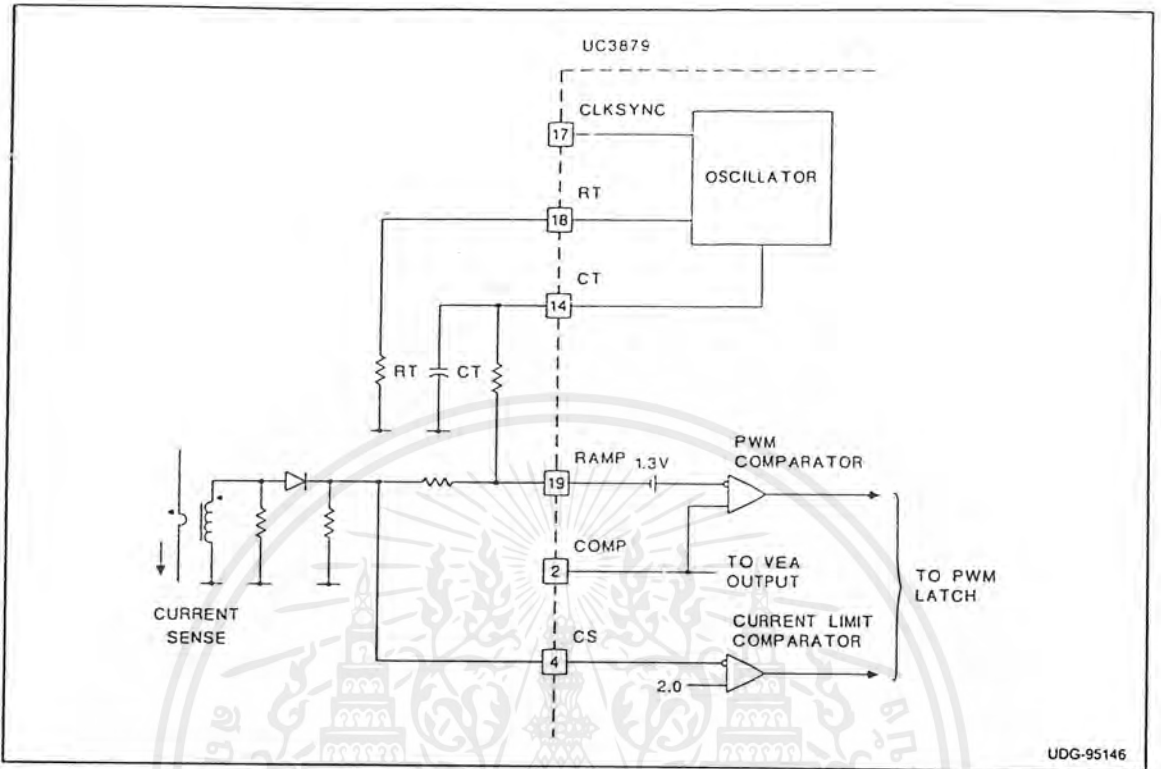


Figure 6. UC3879 with Peak Current Mode Control

depending on the exact implementation.

The UC3879 is equally suited for conventional voltage mode control or for peak current mode control. When used in voltage mode, the CT signal is directly fed to the RAMP terminal as indicated in Figure 5.

In current mode operation, the RAMP signal is the

sum of the current sense signal and the slope compensation, derived from the voltage across the timing capacitor as it is shown in Figure 6.

Fault protection is established by two independent current limiting circuits which accept a 0V to 2.5V amplitude maximum current sense signal on their CS input pin. They provide cycle-by-cycle and shut-down type current limit protection in both voltage or

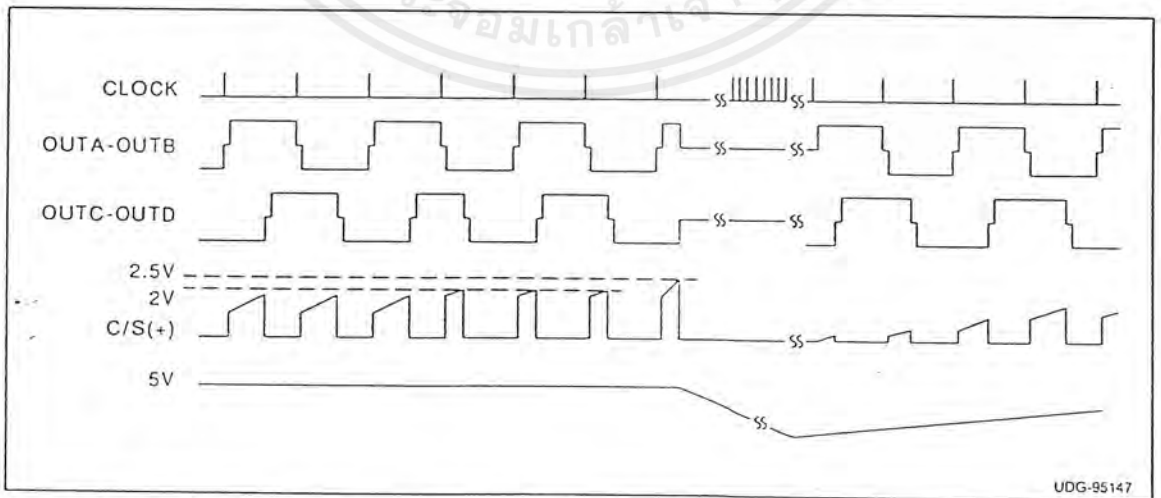


Figure 7. Operation of the Current Limiting Circuits (typical waveforms)

current mode operation. The characteristic waveforms are presented in Figure 7.

The fault protection circuits are inactive until the instantaneous voltage on the CS pin remains below the first threshold of 2V. When the signal on the CS pin exceeds 2V the existing output pulse is terminated. This first level of overload protection provides an effective defense mechanism to protect the primary side semiconductors against excessive current stress and to establish a rough input power limitation for the converter based on cycle-by-cycle current limit action.

At more severe overload conditions, this protection method is not adequate. For these cases, the UC3879 offers a second level of security. When the current sense signal on the CS pin would exceed, even momentarily, the 2.5V maximum value, the IC will initiate a full soft-start cycle to prevent catastrophic failure. If the load conditions do not change, hiccup mode will be established to reduce component stresses and to limit average power dissipation to a fail safe level.

The four totem pole OUTputs of the UC3879 can each deliver 100mA peak drive current. These outputs are intended to drive external gate drive circuits. This enhances the robustness of the overall design. To further reduce the noise transmitted back to the analog circuitry, the output section features its own collector power supply (VC) and ground (PGND) connections. Local decoupling capacitors and series impedance to the auxiliary supply improves performance even more.

The steady state timing relations for the four outputs are shown in Figure 8.

Delays between the output drive commands to facilitate Zero Voltage Switching operation are programmed at the DELAYSET inputs. Delay time is determined by the current flowing from the delay set pin to ground through a resistor, R_{delay} . Timing accuracy will improve by using a current sink connected to the delay set pins in place of the resistors. The delay time can be calculated by the following equations:

$$t_{delay} = \frac{249.6 \cdot 10^{-12}}{I_{delay}} \text{ [sec.]}$$

where

$$I_{delay} = \frac{V_{delayset}}{R_{delay}} ;$$

$V_{delayset}$ = delay set pin voltage (2.4V typ.);

R_{delay} = resistor value from delay set pin to GND.

One unique feature of the UC3879 is the ability to separately program the A-B output delays differently from the C-D outputs. This capability accommodates the different energy levels available for the resonant transitions of the leading and trailing legs of the bridge circuit [7-9]. Inability to optimize each of these durations will generally result in losing zero voltage switching of the full-bridge converter switches under some operating conditions.

The optimum delay time, on the cycle-by-cycle basis, is the function of the actual current flowing in the primary winding of the transformer. This current

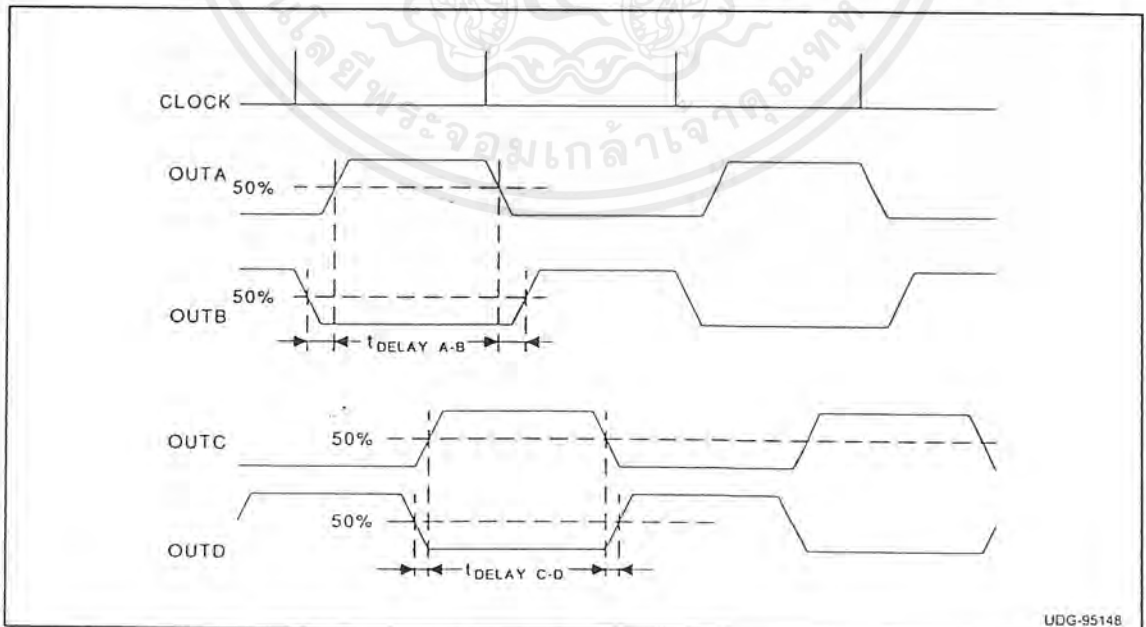


Figure 8: Output Timing Diagram for Steady State Operation

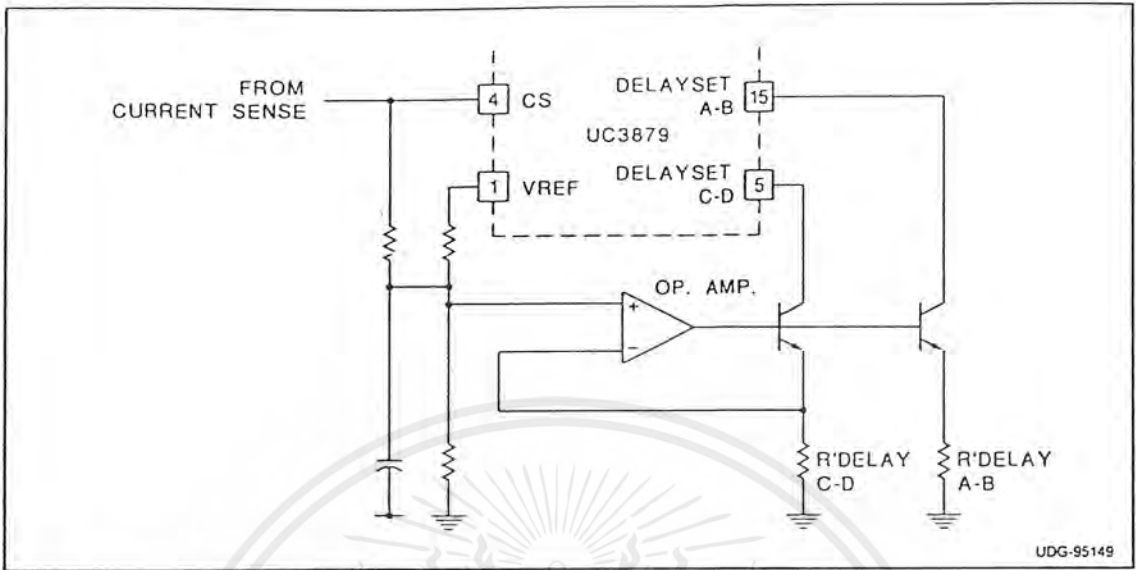


Figure 9. Adaptive Control of Delay Times

value can easily change by a factor of 10 to even 100 depending on load conditions. This causes a large variation in the required delay time, thus adaptive programming of delays might be desirable for certain applications.

Figure 9 introduces a simple external circuit to achieve variable delay times based on the momentary value of the sensed current.

The resistor network connected to the positive input of the operational amplifier determines the ratio of the minimum and the maximum delay times. The actual values of $t_{delayA-B}$ and $t_{delayC-D}$ can be scaled by the resistors between the emitters of the respective transistors and ground.

As these delays can be realized in several ways along the external gate drive circuits, setting zero delay is also offered by simply connecting the delay set inputs to the IC's 5.0V reference.

The precision, short circuit protected 5.0V bandgap reference is available for external functions as well.

UC3879 VS. UC3875/6/7/8

Although the UC3879 retained the operating principle and the basic architecture of the UC3875, it is still important to draw attention to the enhanced and added features of the new IC. The differences between the two controllers are summarized in Table 1. Their consequences for the circuit design will also be highlighted.

UNDERVOLTAGE LOCKOUT

The undervoltage lockout circuit utilizes a logic input (UVSEL) to select between the two available turn-on voltages (15.25V/10.75V). The advantage of this solution is that it can configure the undervoltage lockout threshold without external components. The UC3879 provides the same undervoltage lockout

Features	UC3875/6/7/8	UC3879
Undervoltage Lockout	Fixed at 15.25V/10.75V	Selectable
Supply Current	45mA typ.	27mA typ.
Oscillator Section	up to 2MHz operation	up to 600kHz operation
Error Amplifier	noninverting input accessible	noninverting input tied to 2.5V
Cycle-by-cycle Current Limiting	not available	implemented
Time Delay Circuits	60ns minimum delay	0 delay available
Output Drivers	4 x 2A totem-pole	4 x 100mA totem-pole

Table 1. Comparison of Unitrode's Phase-Shifted PWM Control ICs

levels that were offered by multiple part numbers in the UC3875/6/7/8 family.

SUPPLY CURRENT

The supply current demand (I_{IN}) of the UC3879 has been significantly reduced. While the startup current stayed the same, approximately $150\mu\text{A}$, the operating supply current of the circuit decreased from 45mA to about 27mA . The gain was achieved by reducing internal bias currents. As a result, the maximum operating frequency has been lowered and the gate drive philosophy is revised. The UC3879 expects a high current gate drive device connected to its outputs opposed to the direct drive capability of the UC3875 family.

OSCILLATOR SECTION

The UC3879 features a completely redesigned oscillator circuit offering better noise immunity, temperature stability, and linearity. The charge current of the timing capacitor is constant, producing a linear, positive slope on the timing capacitor during the conduction period. The voltage level is tailored to provide ramp signal for voltage mode control directly. Likewise, slope compensation can be effortlessly accomplished using the voltage of the timing capacitor in case of peak current mode control. The operating frequency is programmed by the combination of RT and CT, which are connected to their separate pins.

ERROR AMPLIFIER

Both integrated circuits make use of a 10MHz gain bandwidth amplifier to regulate the output voltage. The noninverting input of the UC3879 error amplifier is internally wired to a 2.5V reference opposed to the UC3875 family where the reference is to be provided externally.

In constant output voltage applications, the UC3879 will save those components related to generating the reference for the feedback amplifier. Conversely, it will require more components and more elaborate solution if the programming of the output voltage, thus the reference, is required. Systems with isolation between the primary and secondary side controllers will not experience any difference in the design since the error amplifier of the control IC is usually configured as a voltage follower processing the error signal transmitted from the secondary side of the converter.

CYCLE-BY-CYCLE CURRENT LIMITING

This new feature is implemented only in the UC3879 controller. It provides exact, cycle-by-cycle current protection for the primary side switches during over-load conditions. The fast comparator utilized for cycle-by-cycle current limiting will terminate the active interval in every switching period when the current sense signal exceeds the internally set 2V reference value. This first level of over-load protection is suitable to limit the maximum power to be handled by the power stage and will not result in a hiccup type of operation.

DELAY CIRCUITS

As previously described, the time between turning off one switch and turning on the other in the same leg of the bridge has a profound effect on circuit performance. Note that the programmed delay times should accommodate any delays introduced by the high current gate circuits and transformer.

Allowing zero delay between the outputs of the UC3879 provides greater freedom to the designer to implement those delays as desired. Possible other points to program the necessary delays are the inputs of the high current gate drivers or the secondary sides of the gate drive transformers. All these solutions have their pros and cons, and require careful considerations in sight of the actual application.

OUTPUT DRIVERS

The output totem pole drivers of both controllers have identical structures. They feature their own power rail connections and they are kept active low during undervoltage lockout. However, output current ratings are remarkably different. With its 2A peak current capability, the UC3875 family is prepared for direct drive of the gates or gate drive transformers of the most commonly used power switches. Yet, with the continuously increasing die sizes, separate driver chips can be advantageous to eliminate undesired power dissipation and noise generation from the sensitive analog control sections. In this regard, the UC3879 is designed to work with external high current gate drive circuits. Its fast outputs, with 100mA peak current capability, are especially appropriate to drive the TTL or MOSFET input stages of those devices.

Undervoltage Lockout		Delay Times		UC3879	UVSEL pin		DELAYSET pins	
Turn-ON	Turn-OFF	$\tau_D > 0$	$\tau_D = 0$	Old Part #	Float	$\rightarrow V_{CC}$	$\rightarrow V_{REF}$	RSET
10.75V	9.25V	X		UC3875		X		X
15.25V	9.25V	X		UC3876	X			X
10.75V	9.25V		X	UC3877		X	X	
15.25V	9.25V		X	UC3878	X		X	

Table 2. Providing UC3875/6/7/8 functionality through the setup options of the UC3879 control IC.

UC3879 DESIGN FLEXIBILITY

Besides the several improved features and added functions, the UC3879 offers the greatest degree of design flexibility with the minimum number of external components. Table 2 shows the different setup possibilities to achieve the same functionality offered by four different part numbers in the UC3875 family.

SUMMARY

As demonstrated, the UC3875/6/7/8 and the UC3879 integrated circuits are dedicated to eliminate most of the difficulties associated with implementing the numerous auxiliary functions and the tedious control algorithm of the full bridge converters with phase-shifted control. The single chip solution with its carefully optimized signal levels and minimum number of external components provide the fast track in the controller design for one of today's most promising power conversion techniques.

REFERENCES

- [1] R.A. Fisher, K.D.T. Ngo, and M.H. Kuo, "A 500 kHz, 250 W dc-dc converter with multiple outputs controlled by phase-shifted PWM and magnetic amplifiers", Proc. High Frequency Power Conversion Conference, pp. 100-110.
- [2] L.H. Mweene, C.A. Wright and M.S. Schlecht, "A 1 kW, 500 kHz front-end converter for distributed power supply system", Proc. APEC '89, pp 423-432.
- [3] D.B. Dalal, "A 500 kHz multi-output converter with zero voltage switching", Proc. APEC '90, pp. 265-274.
- [4] J.A. Sabate, V. Vlatkovic, R.B. Ridley, F.C. Lee and B.H. Cho, "Design considerations for high-voltage high-power full-bridge zero-voltage-switching PWM converter", Proc. APEC '90, pp. 275-284.
- [5] R. Redl, L. Balogh and N.O. Sokal, "A novel soft-switching full-bridge dc/dc converter: analysis, design considerations, and experimental results at 1.5 kW, 100 kHz", Proc. PESC '90, pp. 162-172.
- [6] W.M. Andreyckak, "Phase-shifted, zero voltage-transition design considerations and the UC3875 PWM controller", Application Note U-136, Unitrode Product & Applications Handbook 1993-94, pp. 9.393-9.406.
- [7] W.M. Andreyckak, "Designing a phase shifted zero voltage transition (ZVT) power converter", Topic 3, Unitrode Power Supply Design Seminar SEM-900.
- [8] R. Redl, L. Balogh and D.W. Edwards, "Optimum ZVS full-bridge dc/dc converter with PWM phase-shift control: analysis, design considerations, and experimental results", Proc. APEC '94, pp. 159-165.
- [9] R. Redl, L. Balogh and D.W. Edwards, "Switch transitions in the soft-switching full-bridge PWM phase-shift dc/dc converter: analysis and improvements", Proc. INTELEC '93, pp. 350-357.



BYV255V

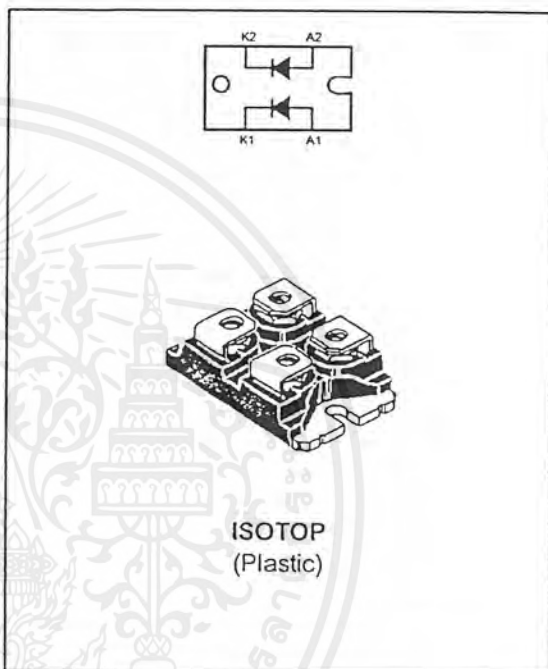
HIGH EFFICIENCY FAST RECOVERY RECTIFIER DIODES

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 $\delta = 0.5$	T _c =110°C	100	A
I _{FSM}	Surge non repetitive forward current	t _p =10ms sinusoidal	1600	A
T _{stg} T _j	Storage and junction temperature range		- 40 to + 150 - 40 to + 150	°C °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%

To evaluate the conduction losses use the following equation :
 $P = 0.7 \times I_{F(AV)} + 0.0015 \times I_{F(RMS)}^2$

RECOVERY CHARACTERISTICS

Symbol	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
trr	T _j = 25°C	I _F = 0.5A I _R = 1A			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 x V _F		10		ns
V _{FP}	T _j = 25°C	I _F = 1A		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.

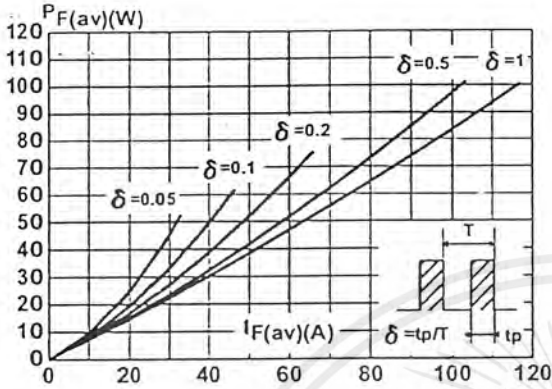


Fig.2 : Peak current versus form factor.

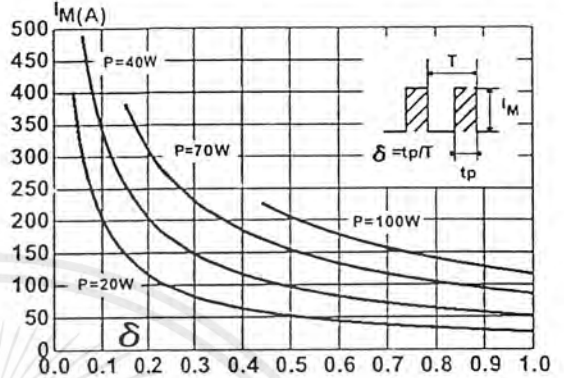


Fig.3 : Forward voltage drop versus forward current (maximum values).

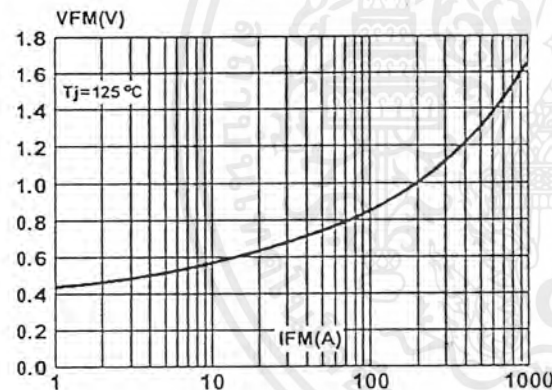


Fig.4 : Relative variation of thermal impedance junction to case versus pulse duration.

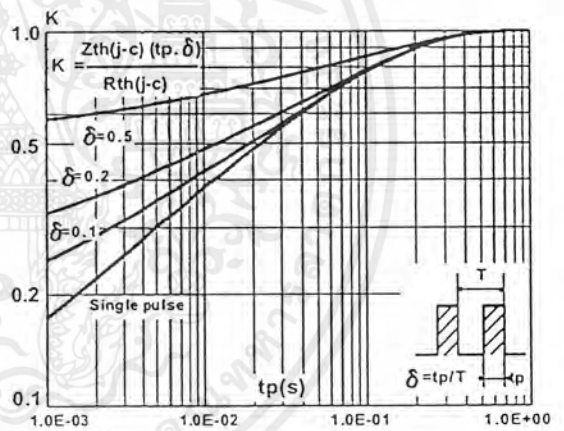


Fig.5 : Non repetitive surge peak forward current versus overload duration.

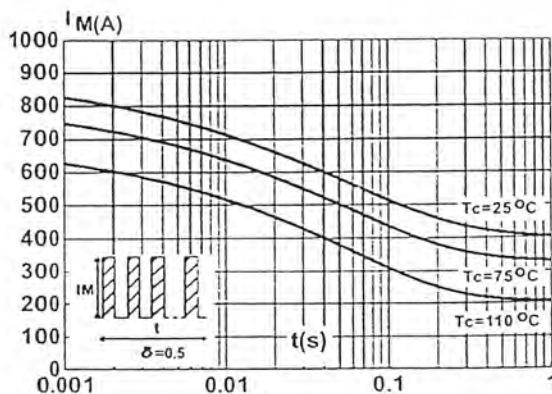
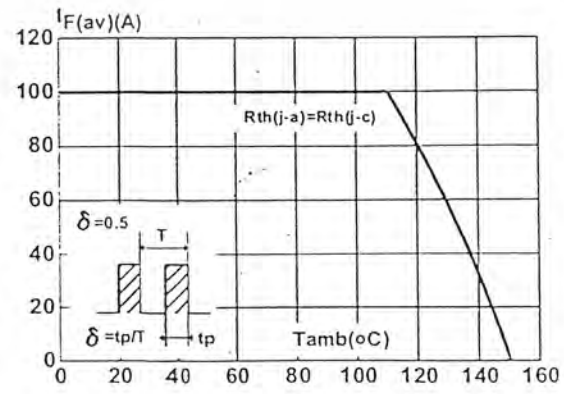


Fig.6 : Average current versus ambient temperature. (duty cycle : 0.5)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

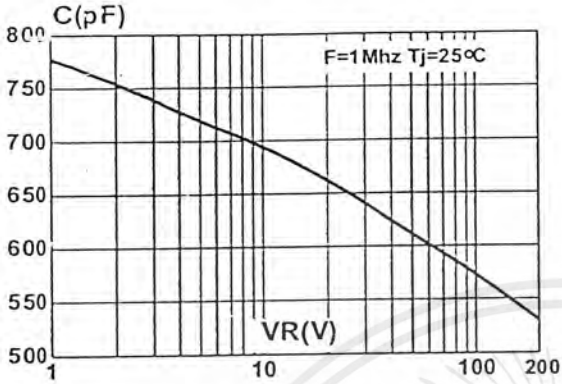


Fig.8 : Recovery charges versus dI_F/dt .

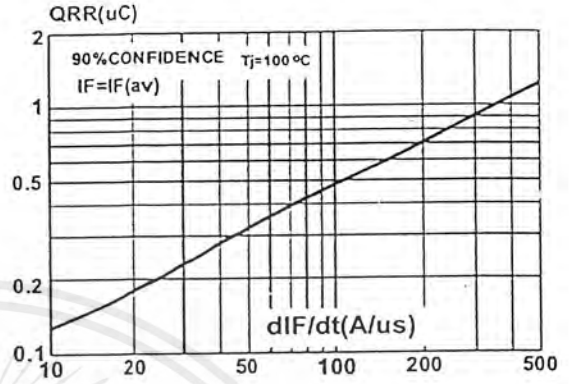


Fig.9 : Peak reverse current versus dI_F/dt .

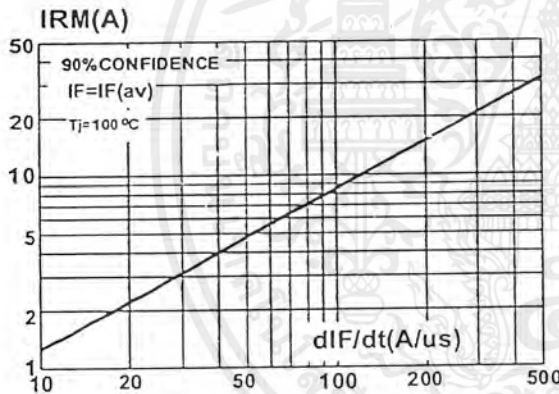
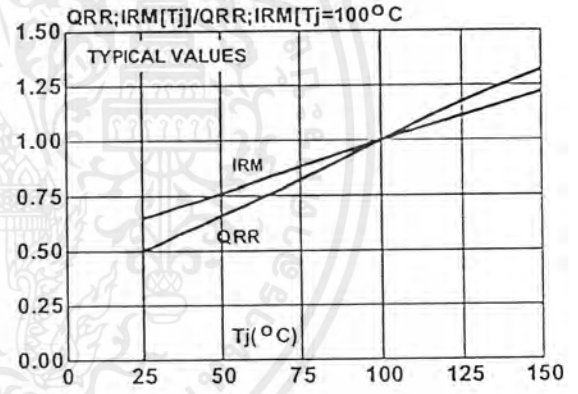
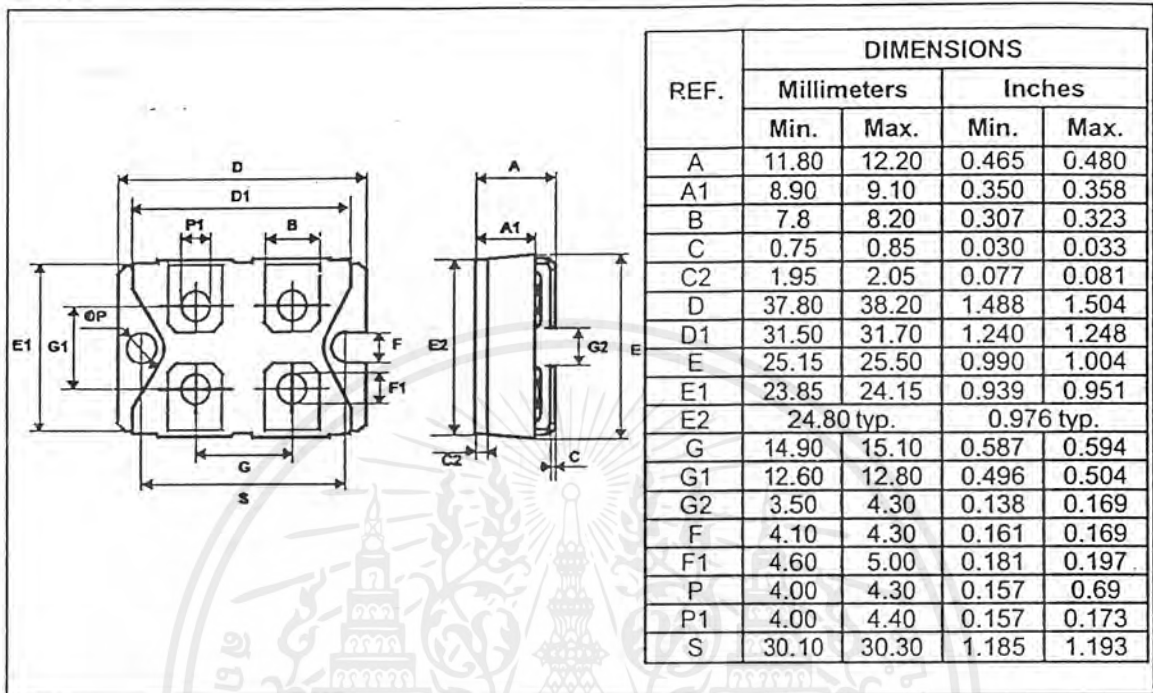


Fig.10 : Dynamic parameters versus junction temperature.



PACKAGE MECHANICAL DATA
ISOTOP



- Marking : Type number
- Cooling method : C
- Weight : 27 g

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

© 1999 STMicroelectronics - Printed in Italy - All rights reserved.

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

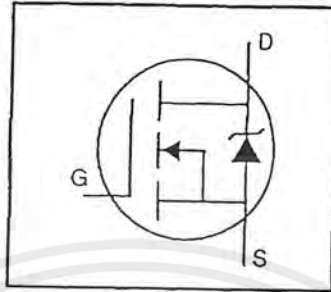
Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia
Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.

<http://www.st.com>



HEXFET® Power MOSFET

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



$$V_{DSS} = 500V$$

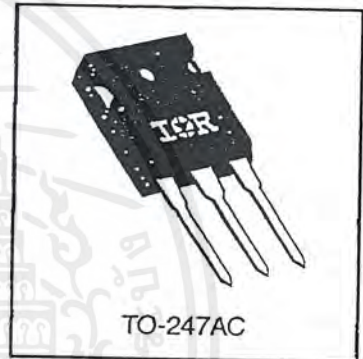
$$R_{DS(on)} = 0.27\Omega$$

$$I_D = 20A$$

Description

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

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



Absolute Maximum Ratings

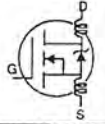
Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	20	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	13	
I_{DM}	80	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	280	W
Linear Derating Factor	2.2	W/°C
V_{GS}	± 20	V
E_{AS}	960	mJ
I_{AR}	20	A
E_{AR}	28	mJ
dv/dt	3.5	V/ns
T_J T_{STG}	-55 to +150	°C
Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from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

Thermal Resistance

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

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

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	$V_{GS}=0V, I_D=250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	V/ $^\circ\text{C}$	Reference to 25°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	$V_{DS}=V_{GS}, I_D=250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	13	—	—	S	$V_{DS}=50V, I_D=12A$ ④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS}=500V, V_{GS}=0V$
		—	—	250		$V_{DS}=400V, V_{GS}=0V, T_J=125^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS}=20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS}=-20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	210	nC	$I_D=20A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	29		$V_{DS}=400V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	110		$V_{GS}=10V$ See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	18	—	ns	$V_{DD}=250V$
t_r	Rise Time	—	59	—		$I_D=20A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	110	—		$R_G=4.3\Omega$
t_f	Fall Time	—	58	—		$R_D=13\Omega$ See Figure 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	13	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	4200	—	pF	$V_{GS}=0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	870	—		$V_{DS}=25V$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	350	—		$f=1.0\text{MHz}$ See Figure 5



Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	20	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	80		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.8	V	$T_J=25^\circ\text{C}, I_S=20A, V_{GS}=0V$ ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	570	860	ns	$T_J=25^\circ\text{C}, I_F=20A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	5.7	8.6	μC	$di/dt=100A/\mu s$ ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)
- ② $V_{DD}=50V$, starting $T_J=25^\circ\text{C}$, $L=4.3\text{mH}$, $R_G=25\Omega$, $I_{AS}=20A$ (See Figure 12)
- ③ $I_{SD}\leq 20A$, $di/dt\leq 160A/\mu s$, $V_{DD}\leq V_{(BR)DSS}$, $T_J\leq 150^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width $\leq 300\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.

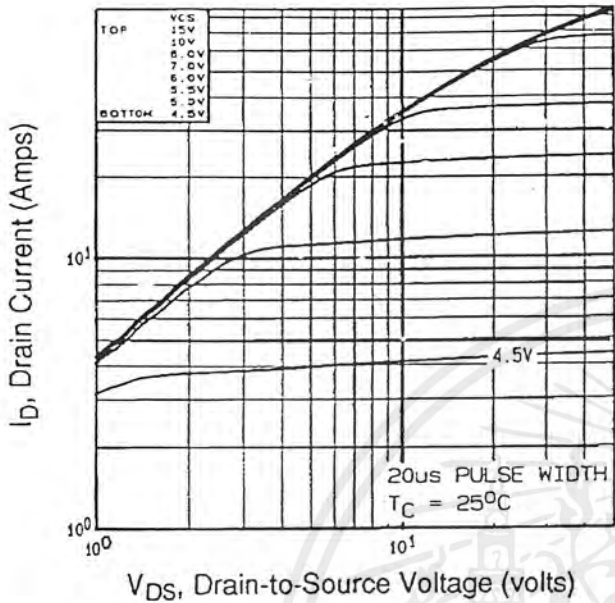


Fig 1. Typical Output Characteristics, $T_C=25^\circ\text{C}$

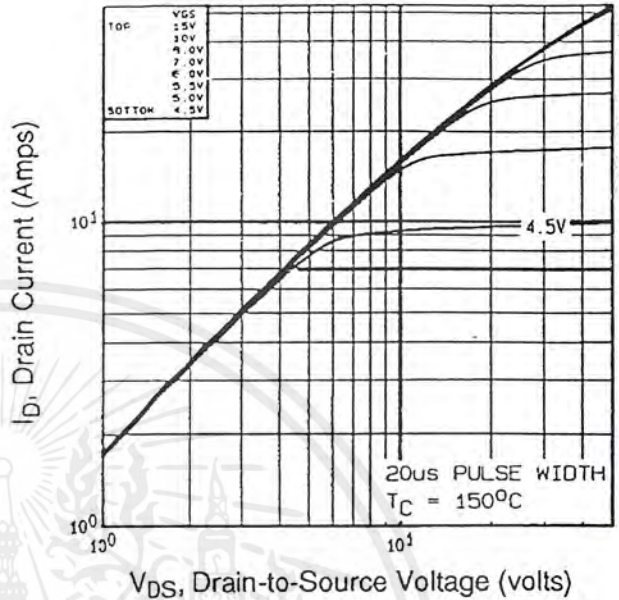


Fig 2. Typical Output Characteristics, $T_C=150^\circ\text{C}$

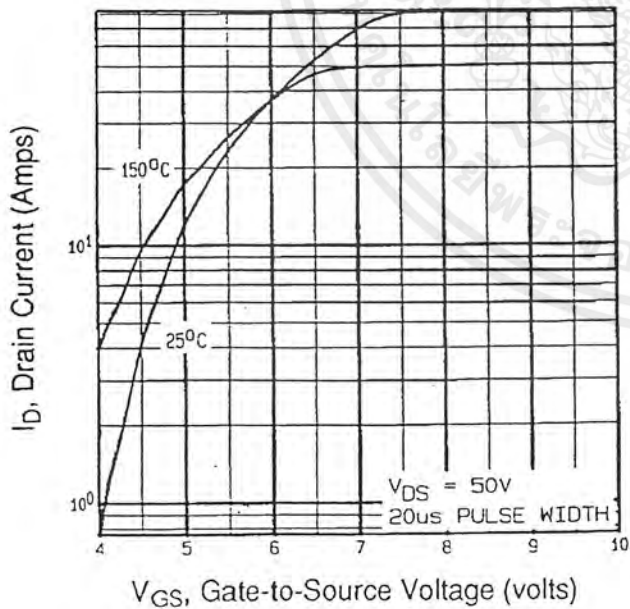


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

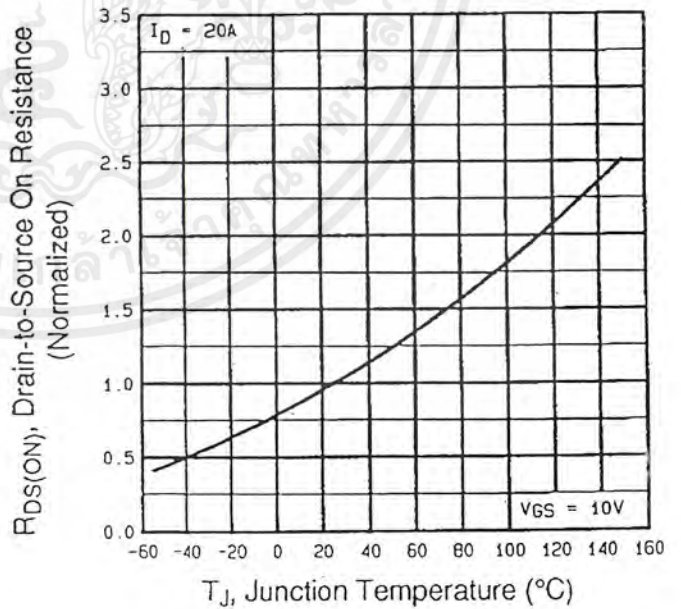


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

DATA SHEETS

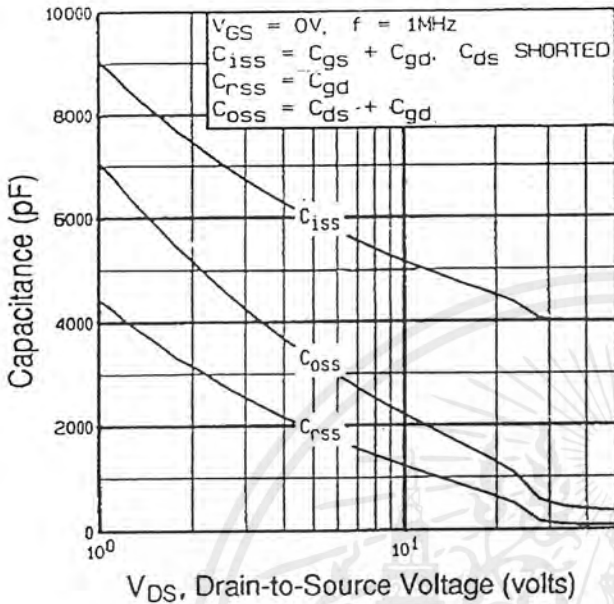


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

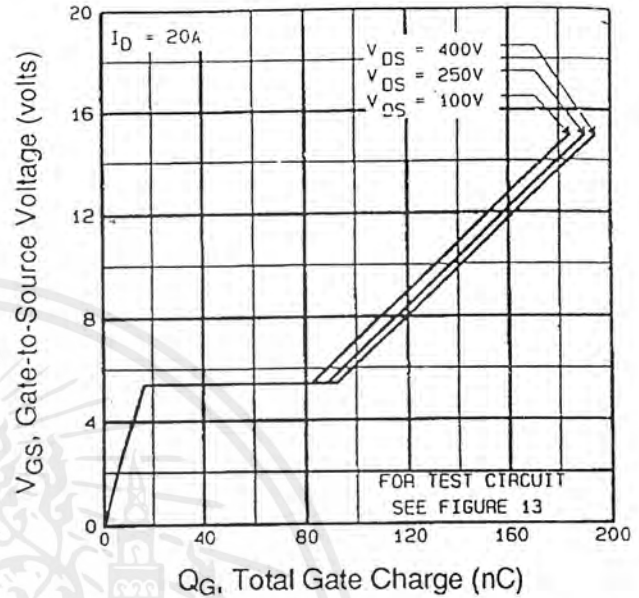


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

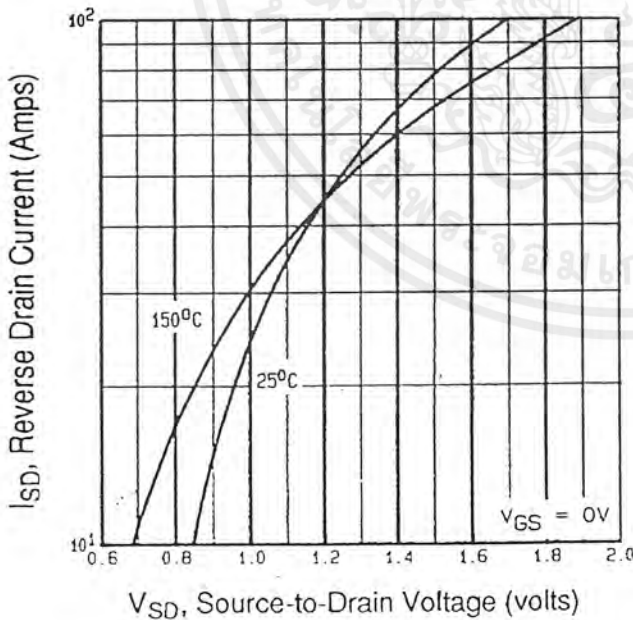


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

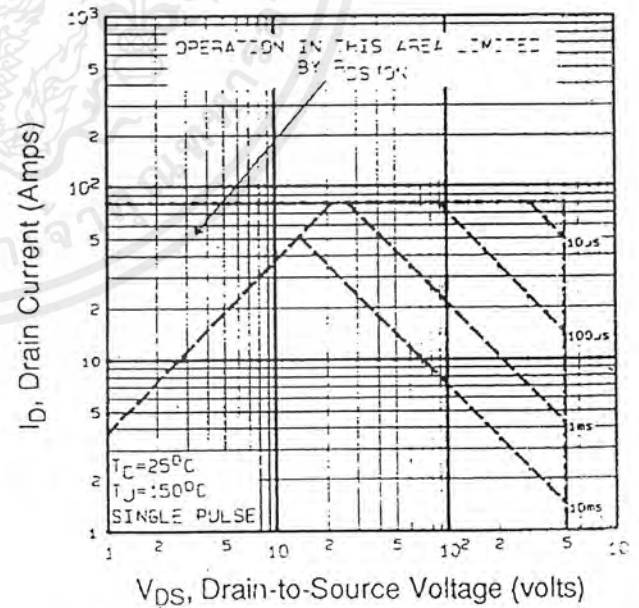


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

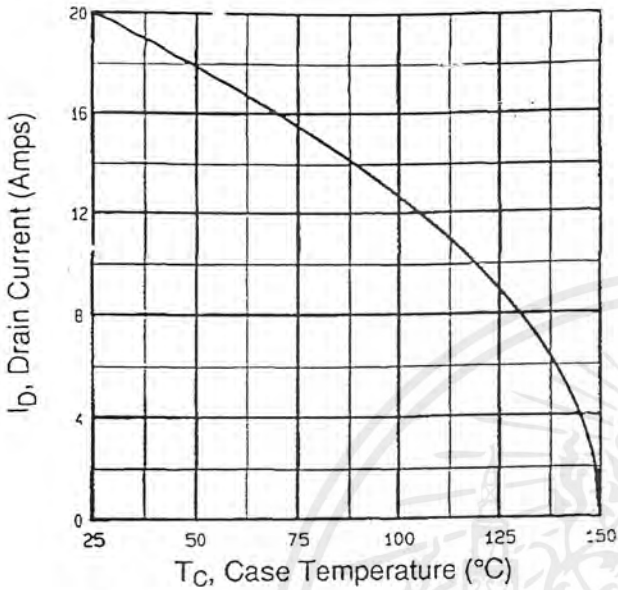


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

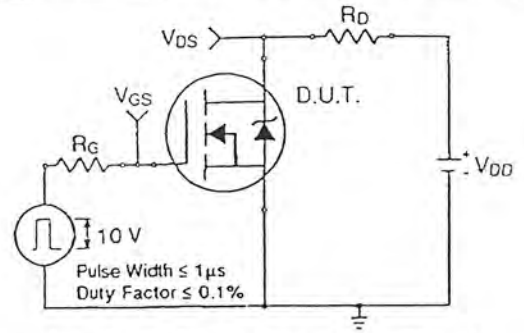


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

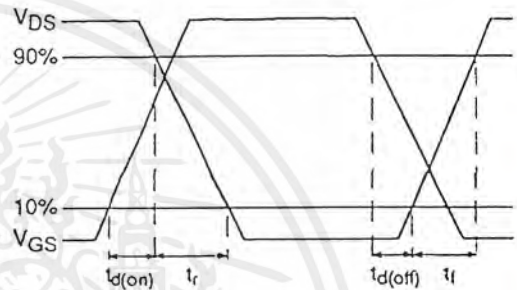


Fig 10b. Switching Time Waveforms

DATA SHEETS

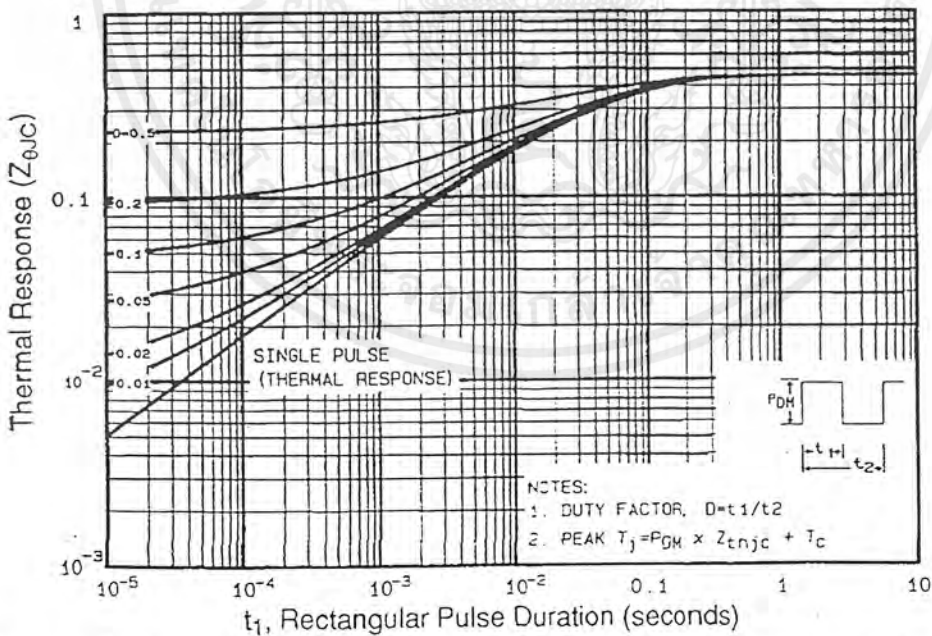


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

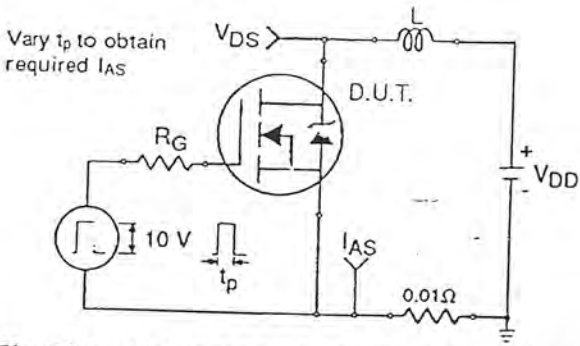


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

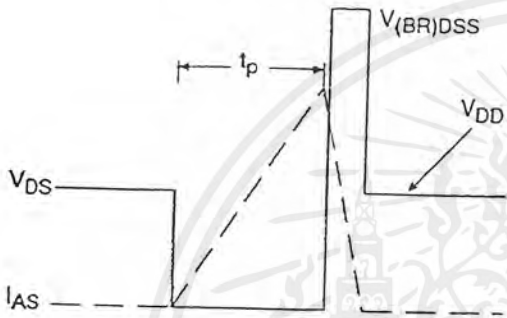


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

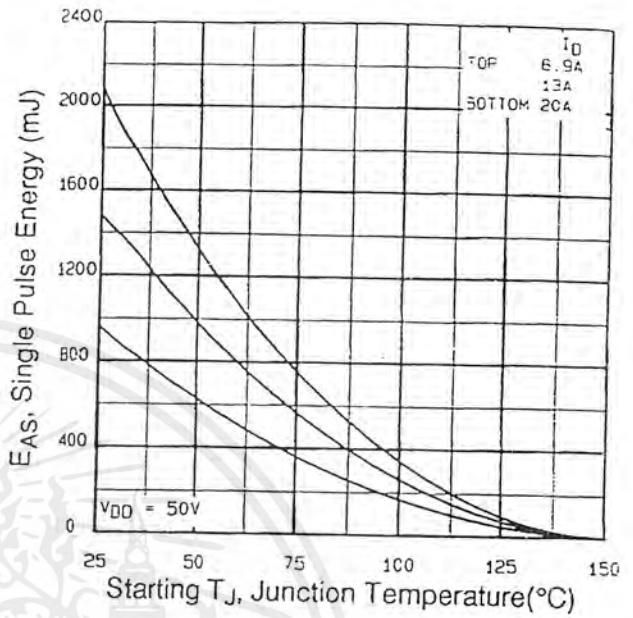


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

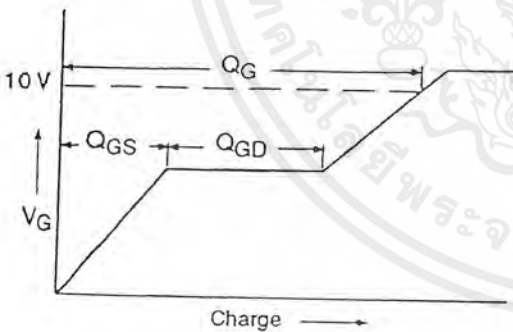


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

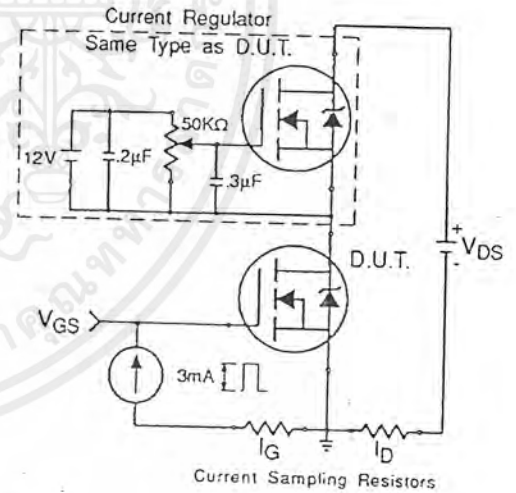


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit.

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

Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1511

Appendix C: Part Marking Information – See page 1517

International
IR Rectifier

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีตามวัตถุประสงค์ทั้งนี้เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากบุคคลต่อไปนี้

- 1.) รศ.ดร. วริยะ พิเศษฐจำเริญ
- 2.) ผศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ
- 3.) ผศ. ประภาพร ไพรสุวรรณ
- 4.) อ. สุรินทร์ คำฝอย อาจารย์ที่รักของน้องๆในภาคทุกคน ซึ่งเป็นผู้ให้และสอนสิ่งต่างๆแก่น้องๆเสมอ และยังร่วมเล่นฟุตบอลกับน้องๆทุกเย็นด้วย
- 5.) คุณ โรมัส ธรรมาธิษฐาน พี่ชายที่เคารพรักผู้ให้คำแนะนำและเป็นທີ່ปรึกษาที่สำคัญของน้องๆทุกคนและขอบคุณเสียงกีตาร์ที่พี่ชอบเล่นให้น้องๆฟัง
- 6.) พี่นก , พี่บอย , พี่เอ้ , พี่ศักดิ์ , พี่นัท พี่ชายที่เคารพรักซึ่งให้คำแนะนำและปรึกษาปัญหาต่างๆโดยไม่เคยปฏิเสธ
- 7.) พี่ตัวเล็ก , พี่แก้ว , พี่แอม ที่ให้การช่วยเหลืออย่างดี
- 8.) พี่น้องและเพื่อนๆห้อง W และ Bทุกคนที่ให้คำปรึกษาและให้ยืมเครื่องมือและหาอุปกรณ์มาให้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดามารดา ญาติพี่น้อง สถาบันฯและท่านอาจารย์อันเป็นที่เคารพรักยิ่งทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนแนะแนวทางและให้ความรู้อันเป็นประโยชน์แก่ตัวข้าพเจ้าตั้งแต่ยังเล็กจวบจนปัจจุบันซึ่งข้าพเจ้าจะนำความรู้ที่มีค่านี้ไปพัฒนาสังคมและประเทศชาติต่อไป

สุดท้ายอยากฝากสิ่งเล็กๆน้อยๆถึงเพื่อนๆวิศวกรที่เพิ่งจบ

“ จงรับฟังความคิดของผู้อื่น เพราะความคิดนั้นอาจเป็นสิ่งที่ท่านต้องการ ”

“ จงอย่าว่ากล่าวในการกระทำของผู้อื่น หากแต่ท่านได้เคยทำในสิ่งนั้นมาแล้ว ”

จากบทภาพยนตร์เรื่อง “Chocolat”

เอกสารอ้างอิง

- [1] W.Hart Daniel, "Introduction to Power Electronics," PRENYICE-HALL INTERNATIONAL, INC, 1993.
- [2] Marian K. Kazimierczuk and Dariusz Czarkowski, "Resonant Power Converters," John Wiley & Sons, INC, 1995.
- [3] Mohan, Undeland and Robbin, "Power Electronics Converter: Application and design," John & Sons, INC, 1995.
- [4] Robert Boylestad & Louis Nashelsky, "Electronic Devices and Circuit Theory," Prentice-Hall, Inc 1996.
- [5] กิจจา ถักษณ์อำนวยพร, เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงแบบวิธีสวิตซ์ซิ่ง, วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- [6] ตระกูล ถนอมเนื้อ และ เฉลิมพงษ์ เทียนไพบุลย์ศิริ และ สัตยชัย อภิตติกร, เครื่องเชื่อมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง, วิทยานิพนธ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542
- [7] สุวัฒน์ คั่น, เทคนิคการออกแบบสวิตซ์ซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย, บริษัท เอนเทคไทย จำกัด, 2537.
- [8] อนุวัฒน์ จางวานิชเลิศ, เอกสารประกอบการสอนวิชาการออกแบบตัวเหนี่ยวนำและหม้อแปลง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้