

การพัฒนาเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา
DEVELOPMENT OF PLASMA CUTTING MACHINE



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา
DEVELOPMENT OF PLASMA CUTTING MACHINE



โดย
นาย ชนานันท์ เลหะสิทธิ์
นาย ชีรภัทร์ เคนาภูมิ
นาย นรา นาคสง

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550


ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา

ผู้จัดทำ

1. นาย ชนานันท์ เลชะสิทธิ์
2. นาย ชีรภัทร์ เกตนาภูมิ
3. นาย นรา นาคสง



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา

นาย ธนินทร์ เลชะสิทธิ์

นาย ชีรภัทร์ เกณานุมิ

นาย นรา นาคสง

ผศ.ดร. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นการศึกษา สร้างและพัฒนาเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาโดยใช้หลักการจากเครื่องต้นแบบ โดยเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ได้ นำเทคนิคทางด้านการศึกษาซึ่งที่ความถี่สูงมาใช้ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ช่วยลดขนาดของอุปกรณ์และเพิ่มประสิทธิภาพทางไฟฟ้าได้ ซึ่งเครื่องต้นแบบยังมีข้อบกพร่องหลายจุด เครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาที่ถูกสร้างขึ้น จึงพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นโดยการทำให้เครื่องตัดแบบพลาสมาสามารถควบคุมให้กระแสที่ใช้ตัดโลหะคงที่ได้ โดยส่วนประกอบภายในของเครื่องตัดแบบพลาสมาที่พัฒนามาจากเครื่องต้นแบบนั้นประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง วงจรเรียงกระแสความถี่ต่ำ วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ หม้อแปลงความถี่สูง วงจรเรียงกระแสความถี่สูง วงจรพิกซ์-ฟูลคอนเวอร์เตอร์และชุดวงจรควบคุม หลักการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกพัฒนามาจากฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์โดยใช้เทคนิคการสวิตซ์ที่แรงดันไฟฟ้าเป็นศูนย์ เพื่อลดความสูญเสียในการสวิตซ์และมีใช้เทคนิคการเลื่อนเฟสมาช่วย เริ่มจากแปลงแรงดัน 220 โวลต์ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรกรองกระแสได้แรงดัน 310 โวลต์แล้วจะถูกสวิตซ์ซึ่งความถี่สูงจนได้แรงดันสี่เหลี่ยมซีกบวกและลบ ผ่านเข้าหม้อแปลงความถี่สูงแปลงแรงดันลงเพื่อเพิ่มกระแส แล้วเข้าสู่วงจรเรียงกระแสความถี่สูงและกรองแรงดัน เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเปิดวงจรประมาณ 200 โวลต์ 20 แอมป์ เพื่อใช้เป็นอาร์คหลักในการตัดโลหะ ส่วนหลักการทำงานของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงที่ถูกพัฒนามาจากวงจรพิกซ์-ฟูลคอนเวอร์เตอร์นั้น จะเริ่มจากการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ผ่านหม้อแปลงแปลงแรงดันและกรองกระแสได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 50 โวลต์ เข้าสู่วงจรพิกซ์-ฟูลคอนเวอร์เตอร์ แล้วจะถูกสวิตซ์ซึ่งที่ความถี่สูงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบพัลส์สี่เหลี่ยมความถี่สูง ผ่านหม้อแปลงฟลายแบคและสปาร์กแกปเพื่อทำให้เกิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงที่ประมาณ 2- 3 กิโลโวลต์ เพื่อใช้อาร์คขณะเริ่มตัด

DEVELOPMENT OF PLASMA CUTTING MACHINE

Thananan Lekhasit

Theerapat Khenaphoom

Nara Naksong

Asst. Prof. Dr. Anuwat Jangwanitlert Advisor

2007

ABSTRACT

This thesis focuses on a study, build and develop a plasma cutting machine from the model. This principle of this project is based on a high frequency switching power supply. The high frequency switching power supply is very important technology to decrease cost, size and increases electrical power efficiency. But the model machine has many mistakes. So we will develop a new plasma cutting machine to increase electrical power efficiency by make it control to constant current. The plasma cutting machine consists of two essential parts that are the dc switching power supply and the high-voltage high-frequency switching power supply. The dc switching power supply is developed from the zero-voltage-switching phase-shift full-bridge dc-dc converter, and the high-voltage high-frequency switching power supply is developed from a push-pull converter. This inside machine comprises the full-bridge low frequency rectifier, the full-bridge inverter, the high frequency transformer, the full-bridge high frequency rectifier, a coupling transformer, a push-pull converter circuit, a fly-back transformer and a control circuit. The dc switching power supply is from an ac input 1 phase 220V converting to the 310V dc voltage. Then, the dc 310V converts to a high frequency voltage and steps down by transformer and then the high frequency voltage converts to the dc voltage approximately 200V, 20A that is main arc. The principle of high-voltage high-frequency switching power supply is the 50V dc voltage converting to the ac pulse voltage and stepping up to high voltage by fly-back transformer at 2-3kV, which is starting arc.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้คงไม่อาจประสบความสำเร็จได้ด้วยดีตามวัตถุประสงค์ ถ้าหากไม่ได้รับความร่วมมือและความช่วยเหลือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน จึงต้องขอกล่าวขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและให้เกียรติระลึกถึงกับ

ผศ.ดร. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้จุดประกายความคิดในการริเริ่มการทำโครงการเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาและคอยให้คำแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาในการทำงาน ตลอดเวลา 1 ปีในการทำวิจัยครั้งนี้

บิดา มารดา ของสมาชิกในกลุ่มที่ทำโครงการนี้ เพราะท่านเป็นผู้ที่สมาชิกทุกคนในกลุ่มรักและเคารพยิ่ง ท่านเป็นผู้มอบความรัก ความเอาใจใส่ และโอกาสทางการศึกษาจนได้มาถึงในขณะนี้ อีกทั้งกำลังใจที่มอบให้ยามที่พวกเราเหนื่อยล้า ท้อแท้ ให้กลับมีกำลังใจสู้กับอุปสรรคต่อไปได้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ในพระคุณอันหาที่เปรียบมิได้

พี่ สุขสันต์ โอวาทพารพ (พี่น้อย) พี่ที่ผ่านประสบการณ์จากการทำโครงการเครื่องตัดพลาสมาปีแรก ที่ได้มาให้คำแนะนำ คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการทำงานที่มีประโยชน์ต่อพวกเราอย่างมาก ขอขอบคุณมากครับ

พี่ โสภณ สายเจริญ (พี่บาส) พี่ชายอีกคนที่เอาใจใส่หมั่นถามถึงความคืบหน้าของเราอยู่เสมอ คอยแนะนำเทคนิคต่างๆในการทำงาน และไม่เคยปฏิเสธที่จะให้ความช่วยเหลือน้องๆเลย ขอขอบคุณมากครับ

คุณณรงค์ฤทธิ์ เสนาจิตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ที่ได้คอยให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในการทำเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาโดยเฉพาะ อีกทั้งยังสละเวลามาเยี่ยมเยียนและดูการดำเนินงาน และชี้แนะข้อผิดพลาดหรือวิธีการที่ดีมาใช้

ห้อง ECC406, เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ, คุณป้าแม่บ้านประจำชั้น 3-4 ดึก ECC, เพื่อนๆ ห้อง 4B ทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณสถาบันและท่านอาจารย์อันเป็นที่เคารพรักทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าทั้งหลายตั้งแต่เยาว์วัยจนถึงปัจจุบัน ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นาย ธนวัฒน์ เลชะสิทธิ์

นาย ชีรภัทร์ เคนาภูมิ

นาย นรา นาคสง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูปภาพ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	3
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	4
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดโครงการ.....	4
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ.....	4
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	5
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	6
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 พลาสมา.....	7
2.2 การดิสชาร์จไฟฟ้าที่ความดันก๊าซต่ำ.....	7
2.3 พลาสมากับเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา.....	9
2.4 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา.....	10
2.4.1 วงจรเรียงกระแสและกรองกระแส.....	12
2.4.2 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง.....	13
2.4.3 มอสเฟตกำลัง.....	15
2.4.4 ทฤษฎีการสวิตช์ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์.....	15
2.4.5 สภาวะการสวิตช์ที่แรงดันศูนย์.....	17
2.4.6 หม้อแปลงสวิตชิงความถี่สูง.....	24
2.4.7 วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองทางด้านออก.....	27
2.4.8 วงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง.....	27
2.4.9 วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟต.....	29
2.4.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	31
2.5 หัวคบบพลาสมา (Torch).....	36
2.6 เครื่องอัดอากาศ (Air compressor).....	37

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7 ทฤษฎีการออกแบบ.....	38
2.7.1 การออกแบบไดโอดและตัวเก็บประจุในวงจรเรียงกระแสความถี่ต่ำ.....	38
2.7.2 การออกแบบมอสเฟตกำลังในวงจรสวิตชิง.....	43
2.7.3 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง	43
2.7.4 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุในวงจรฟิลเตอร์.....	51
บทที่ 3 การออกแบบแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิง.....	54
3.1 วงจรเรียงกระแสและกรองกระแส.....	54
3.1.1 การเลือกฟิวส์	54
3.1.2 การเลือกขนาดของไดโอดเรียงกระแสแบบฟลูบริดจ์.....	55
3.1.3 การคำนวณหาตัวเก็บประจุ.....	55
3.2 วงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์.....	57
3.3 หม้อแปลงสวิตชิงความถี่สูง.....	58
3.4 วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองทางด้านออก.....	61
3.4.1 การเลือกขนาดไดโอดที่เรียงกระแสที่ได้จากวงจรฟลูบริดจ์.....	61
3.4.2 การหาขนาดตัวเหนี่ยวนำที่ใช้เป็นฟิลเตอร์.....	61
3.4.3 การหาขนาดตัวเก็บประจุที่ใช้เป็นฟิลเตอร์.....	63
3.5 วงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง.....	64
3.6 วงจรควบคุม.....	65
3.7 การออกแบบวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟต.....	66
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	67
4.1 ผลทดสอบรูปสัญญาณ.....	69
4.2 ผลการทดลองกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพ.....	79
บทที่ 5 สรุปและเสนอแนะแนวทางที่จะดำเนินการ.....	81
5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	81
5.2 แนวทางที่จะดำเนินการ.....	81
บรรณานุกรม.....	82
ภาคผนวก.....	83
ประวัติผู้เขียน.....	97

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 สภาวะเริ่มต้นของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา.....	1
1.2 การอาร์คเริ่มด้วยวงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง.....	1
1.3 เริ่มมีการอาร์คหลักหลังจากอาร์คเริ่ม.....	2
1.4 การอาร์คหลักเต็มที่ได้โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง.....	2
2.1 ลักษณะการเกิดพลาสมาในหลอดสูญญากาศด้วยไฟฟ้าแรงดันสูง.....	8
2.2 ช่วงการเกิดพลาสมาตามแรงดันและกระแสไฟฟ้า.....	9
2.3 วงจรไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง.....	11
2.4 โครงสร้างทางไฟฟ้าของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา.....	12
2.5 วงจรเรียงกระแส.....	12
2.6 วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์โดยมีมอสเฟตกำลังเป็นตัวสวิตซ์ 4.....	13
2.7 แผนผังการเลือกวงจรคอนเวอร์เตอร์สำหรับแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์.....	14
2.8 มอสเฟตกำลัง.....	15
2.9 วงจรหลักคอนเวอร์เตอร์พัลส์สวิตช์มอดูเลตสวิตซ์ที่แรงดันศูนย์แบบฟูลบริดจ์.....	15
2.10 สัญญาณการควบคุมการทำงานของมอสเฟต.....	17
2.11 รูปสัญญาณการสวิตซ์ที่แรงดันศูนย์.....	18
2.12 รูปคลื่นสัญญาณที่สภาวะที่ 1.....	19
2.13 รูปคลื่นสัญญาณที่สภาวะที่ 2.....	19
2.14 รูปคลื่นสัญญาณที่สภาวะที่ 3.....	20
2.15 รูปคลื่นสัญญาณที่สภาวะที่ 4.....	20
2.16 รูปคลื่นสัญญาณที่สภาวะที่ 5.....	21
2.17 รูปคลื่นสัญญาณที่สภาวะที่ 6.....	21
2.18 รูปคลื่นสัญญาณที่สภาวะที่ 7.....	22
2.19 รูปคลื่นสัญญาณที่สภาวะที่ 8.....	22
2.20 รูปคลื่นสัญญาณที่สภาวะที่ 9.....	23
2.21 รูปคลื่นสัญญาณที่สภาวะที่ 10.....	23
2.22 การเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็ก (Magnetic Moment).....	26
2.23 การหาวงรอบฮีสเทอรีซิสของสารเฟอร์โรแมกเนติก.....	26
2.24 แสดงส่วนของวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองทางด้านออก.....	27
2.25 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงด้วยวงจรพุก-พูลคอนเวอร์เตอร์.....	28
2.26 แสดงการขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยไอซี TTL.....	29
2.27 แสดงการขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยไอซี CMOS.....	30
2.28 แสดงวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยหม้อแปลง.....	31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.29 การแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างวงจรควบคุมกับวงจรกำลังด้วยการเชื่อมต่อทางแสง.....	31
2.30 การจัดหาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F1010.....	33
2.31 สัญญาณการควบคุมการทำงานของมอสเฟต.....	34
2.32 โพล์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมสร้างสัญญาณเลื่อนเฟสเพื่อขับมอสเฟต.....	35
2.33 แสดงหัวคัปปลาสมา.....	37
2.34 แสดงโมเลกุลและความดันของก๊าซ.....	37
2.35 สัญลักษณ์ คุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าของไดโอด.....	39
2.36 ไดโอดขณะหยุดนำกระแส.....	39
2.37 แสดงตัวอย่างขนาดของแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE.....	46
3.1 วงจรเรียงกระแสความถี่ต่ำและฟิวส์.....	54
3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสพิกัดและอุณหภูมิ.....	54
3.3 วงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์.....	57
3.4 หม้อแปลงความถี่สูงแบบแกน EE80.....	58
3.5 ลักษณะโครงสร้างและขนาดของแกนแม่เหล็ก.....	59
3.6 วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองทางด้านออก.....	61
3.7 วงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง.....	64
3.8 แกนแม่เหล็กเฟอร์ไรต์ที่ใช้สำหรับเป็นหม้อแปลงฟลายแบค.....	65
3.9 วงจรควบคุมและจ่ายแรงดันสัญญาณ.....	66
3.10 วงจรแยกกราวด์ขั้วขาเกตของมอสเฟตโดยใช้วงจรออปโตคัปเปิลอร์.....	66
4.1 วงจรไฟฟ้าของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง.....	68
4.2 แรงดันและกระแสที่ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะไม่มีโหลด.....	69
4.3 แรงดันและกระแสที่ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีโหลด 10 แอมป์.....	69
4.4 แรงดันและกระแสที่ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีโหลด 15 แอมป์.....	70
4.5 แรงดันและกระแสที่ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีโหลด 20 แอมป์.....	70
4.6 แรงดันและกระแสที่ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงขณะไม่มีโหลด.....	71
4.7 แรงดันและกระแสที่ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงขณะมีโหลด 10 แอมป์.....	71
4.8 แรงดันและกระแสที่ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงขณะมีโหลด 15 แอมป์.....	72
4.9 แรงดันและกระแสที่ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงขณะมีโหลด 20 แอมป์.....	72
4.10 กระแสเอาต์พุท 10 แอมป์.....	73
4.11 กระแสเอาต์พุท 15 แอมป์.....	73
4.12 กระแสเอาต์พุท 20 แอมป์.....	74
4.13 แรงดันเอาต์พุทขณะไม่มีโหลด.....	74

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 แรงดันเอาต์พุตขณะมีโหลด กระแส 10 แอมป์.....	75
4.15 แรงดันเอาต์พุตขณะมีโหลด กระแส 15 แอมป์.....	75
4.16 แรงดันเอาต์พุตขณะมีโหลด กระแส 20 แอมป์.....	76
4.17 แรงดันและกระแสอินพุต 10 แอมป์.....	76
4.18 แรงดันและกระแสอินพุต 15 แอมป์.....	77
4.19 แรงดันและกระแสอินพุต 20 แอมป์.....	77
4.20 การสวิตชิงแรงดันศูนย์ที่แรงดัน 150 โวลต์.....	78
4.21 การสวิตชิงแรงดันศูนย์ที่แรงดัน 220 โวลต์.....	78
4.22 รูปกราฟแสดงประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง.....	79
4.23 วงจรรวมของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา.....	80



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงกลุ่มแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากดิสชาร์จไฟฟ้า กระแสตรงที่ความดันก๊าซต่ำ.....	8
2.2 การเปรียบเทียบเทคนิคการสวิตช์คอนเวอร์เตอร์แบบฮาร์ดสวิตชิงและ ZVS.....	24
2.3 ตารางแสดงองค์ประกอบของอากาศ.....	38
2.4 ตารางแสดงรายละเอียดของแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE.....	46
2.5 ตารางแสดงขนาดของเส้นลวดทองแดง.....	49
4.1 ตารางแสดงแรงดัน, กระแส และกำลังไฟฟ้าด้านออก.....	79
4.2 ตารางแสดงประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง.....	79

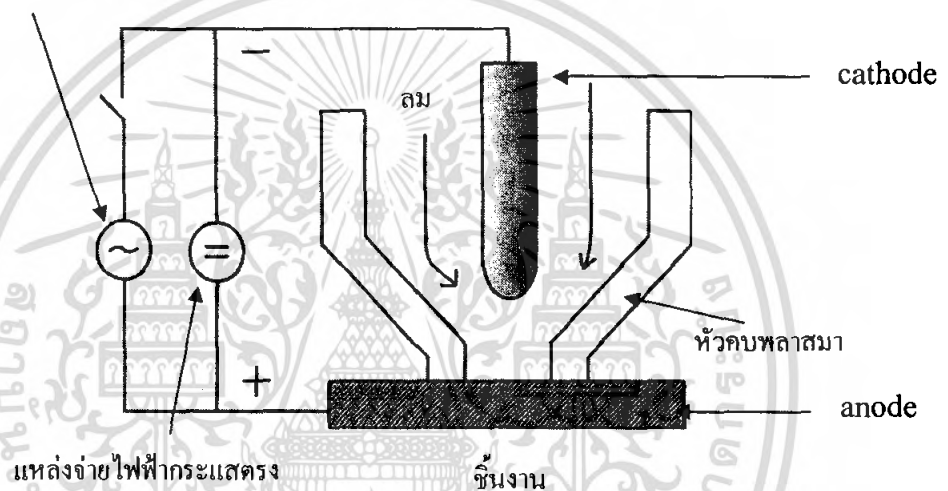


บทที่ 1

บทนำ

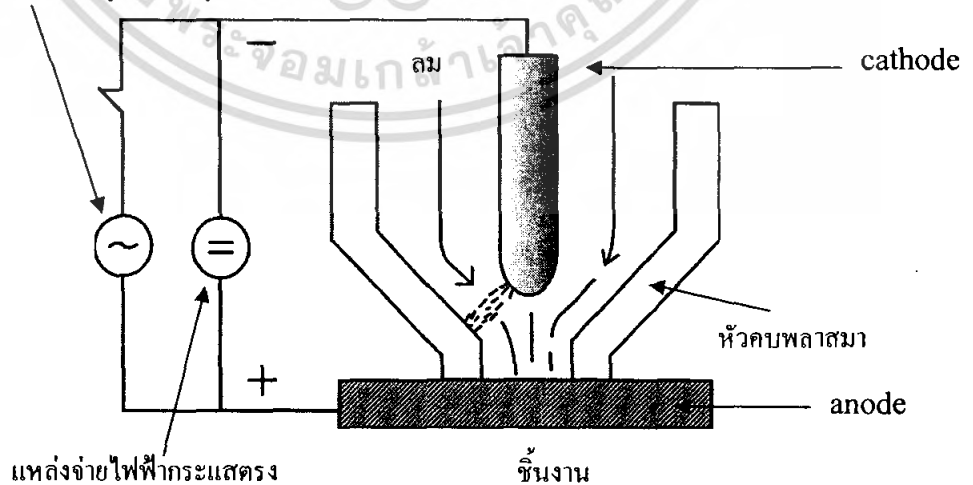
สำหรับโครงการนี้ เป็นการศึกษาและพัฒนางจรที่สามารถทำให้เกิดพลาสมา ที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาต้นแบบ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาที่จะนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมโลหะ เพื่อความเข้าใจจึงขออธิบายหลักการการทำงานเบื้องต้นของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา โดยจะมีการทำงานแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงการอาร์คเริ่มด้วยวงจรกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูง และการอาร์คหลักด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

วงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง



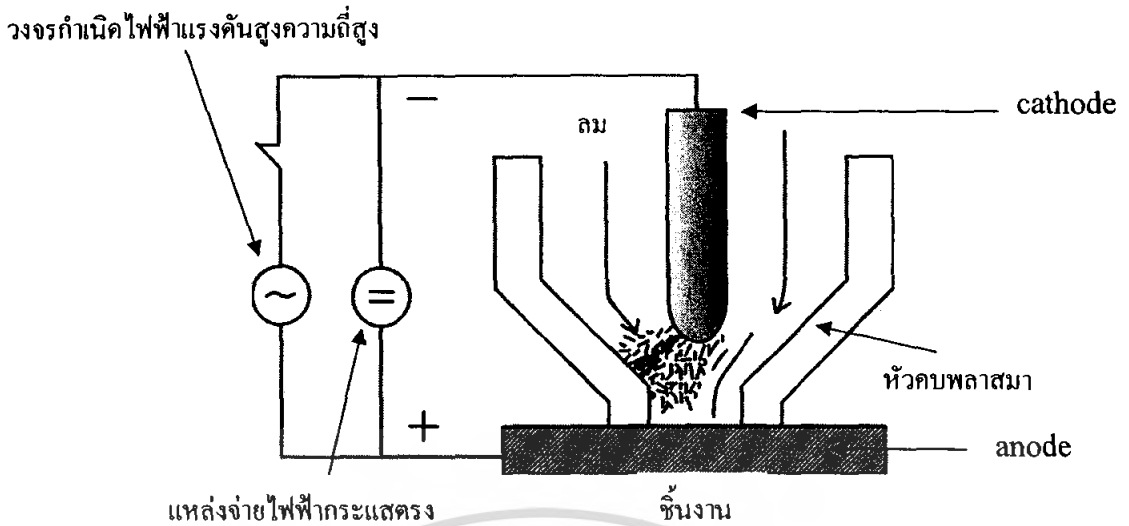
รูปที่ 1.1 สภาวะเริ่มต้นของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา

วงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง

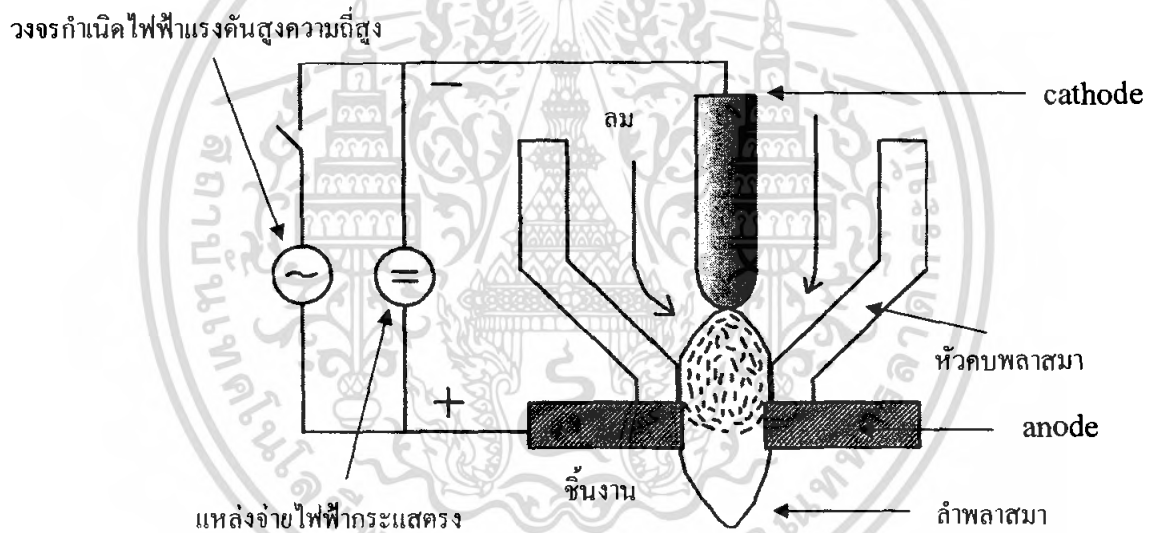


รูปที่ 1.2 การอาร์คเริ่มด้วยวงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 เริ่มมีการอาร์คหลักหลังจากอาร์คเริ่ม



รูปที่ 1.4 การอาร์คหลักเต็มที่โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

การทำงานเริ่มต้นเมื่อเปิดเครื่องแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะทำงานจ่ายไฟ และเครื่องอัตโนมัติก็จะจ่ายลมไปที่หัวคอบทันทีแต่ยังไม่สามารถอาร์คได้ เพราะไฟฟ้ากระแสตรงนั้นทำให้เกิดการอาร์คเริ่มได้ยากกว่าไฟฟ้ากระแสสลับ การทำงานจึงเป็นไปตามรูปที่ 1.1 ขั้นตอนต่อมาจะสั่งให้วงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงทำงาน จะเกิดการเบรกดาว์นผ่านอากาศระหว่างขั้วลบกับขั้วบวกที่หัวคอบดังรูปที่ 1.2 เมื่อมีการอาร์คเริ่ม แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ต่อรอไว้อยู่แล้วก็จะสามารถสร้างอาร์คหลักที่ใช้ในการตัดเหล็กออกมาได้ตามแนวของอาร์คเริ่มดังรูปที่ 1.3 สาเหตุที่ไม่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นอาร์คหลักเพราะไฟฟ้ากระแสสลับมีข้อเสีย คือ กระแสทุกๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไซเคิลของไฟฟ้ากระแสสลับ จะมีค่าเป็นศูนย์ ทำให้กระแสไม่คงที่ เมื่อเกิดการอาร์คหลักเต็มที่แล้ว ก็จะสั่งปิดส่วนของวงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงไป ดังรูปที่ 1.4

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยมีการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจมากขึ้น ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งรวมไปถึงโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับโลหะ ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องตัดโลหะที่มีคุณภาพ ตัดได้อย่างรวดเร็ว สวยงาม และตัดโลหะได้ตามความต้องการ ซึ่งเครื่องตัดโลหะที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม คือ เครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา เครื่องตัดโลหะจึงมีความสำคัญต่องานอุตสาหกรรมโลหะ แต่การผลิตเครื่องตัดโลหะภายในประเทศยังมีอยู่น้อยทั้งนี้ก็เพราะว่ายังมีผู้ที่มีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานของเครื่องตัดโลหะไม่มากนัก ทำให้ต้องมีการสั่งซื้อสินค้าประเภทเครื่องตัดโลหะเหล่านี้จากต่างประเทศซึ่งมีราคาที่สูง ดังนั้นถ้าสามารถผลิตเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาที่ราคาถูกและมีคุณภาพใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากับเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศได้ จะเป็นการลดการนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศได้ส่วนหนึ่ง ทำให้ลดปัญหาเสียดุลการค้ากับต่างประเทศอีกด้วย

เครื่องตัดโลหะแบบพลาสมานี้มีองค์ประกอบหลักใหญ่ๆ 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนที่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง ดังนั้นการคิดค้นและหาวิธีสร้างแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่จะนำไปใช้กับหัวตัดโลหะแบบพลาสมาจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง จึงมีการนำเอาเทคโนโลยีการสวิตซ์ซึ่งที่ความถี่สูงมาใช้ในการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งจะช่วยสร้างข้อได้เปรียบมากกว่าการใช้เทคโนโลยีที่ใช้ความถี่ต่ำทั้งในเรื่องของขนาดและประสิทธิภาพทางไฟฟ้า แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตซ์ซึ่งของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมานี้ ได้นำความรู้ทางด้าน การแปลงรูปพลังงานด้วยการสวิตซ์ซึ่งที่ความถี่สูงมาใช้ โดยนำวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC-DC Converter) และ การใช้เทคนิคการสวิตซ์ซึ่งที่แรงดันเป็นศูนย์ (Zero Voltage Switching) มาประยุกต์ใช้ แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตซ์ซึ่งของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาที่ออกแบบนี้จะทำงานที่ความถี่ประมาณ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ มีกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตประมาณ 4 กิโลวัตต์ และคาดว่าจะสามารถตัดโลหะได้หนาถึง 3 มิลลิเมตร ซึ่งเครื่องตัดพลาสมาที่สร้างขึ้นนี้ได้พัฒนามาจากเครื่องตัดพลาสมาต้นแบบโดยยึดจากปริญญาานิพนธ์เรื่องเครื่องตัดพลาสมาในปีการศึกษา 2549 ที่ยังมีข้อเสียอยู่หลายด้านทั้งในเรื่องของการควบคุมกระแสเอาต์พุต การปรับเลือนเฟสให้มีการเลือนเฟสแบบอัตโนมัติจากเดิมที่มีการเลือนเฟสแบบไม่อัตโนมัติ และลำดับการทำงานยังไม่สามารถทำให้ในส่วนแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงทำงานร่วมกันได้อย่างสมบูรณ์ รวมทั้งในวงจรยังมีส่วนที่ต้องแก้ไขอีกและพิกัดแรงดันทางด้านเอาต์พุตยังไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดพลาสมาได้

จากที่ได้กล่าวมาจึงยังไม่มีการออกแบบและสร้างเครื่องตัดแบบพลาสมาเพื่อใช้เป็นเครื่องต้นแบบสำหรับนำไปศึกษาและผลิตใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ ทั้งหมดจึงเป็นเหตุผลสำคัญของการศึกษาวิจัยเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา เพื่อสร้างเครื่องที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพการใช้งานที่ดีต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาจากเครื่องต้นแบบ ให้สามารถสร้างพลาสมาอาร์คที่มีประสิทธิภาพในการนำไปตัดโลหะตามที่ต้องการได้
2. เพื่อศึกษาแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา
3. เพื่อพัฒนาแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา ที่ใช้ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ต โดยใช้อากาศจากเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ให้สามารถสร้างพลาสมาได้
4. เพื่อพัฒนาอุปกรณ์และวงจรของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาให้มีขนาดเล็กลง
5. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและการผลิตเพื่อเป็นการค้าต่อไปได้

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดโครงการ

1. แรงดันไฟฟ้าด้านเข้า 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต 1 เฟส
2. กำลังไฟฟ้าด้านออกประมาณ 4 กิโลวัตต์
3. แรงดันไฟฟ้าที่พิกัด 200 โวลต์ กระแส 20 แอมป์
4. ใช้ความถี่สวิตชิงประมาณ 40 กิโลเฮิร์ต
5. สามารถที่จะตัดโลหะได้ประมาณ 3 มิลลิเมตร
6. ทำงานด้วยวงจรแปลงผันกำลังไฟกระแสตรงเป็นกระแสตรง ภายใต้สภาวะการสวิสชิ่งที่แรงดันศูนย์ (Zero Voltage Switching)
7. นำ Flyback จากอุปกรณ์จอภาพมาเป็นวงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง เพื่อใช้ในกระบวนการเริ่มเกิดอาร์ค
8. มีการควบคุมกระแสแบบป้อนกลับ

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ทำการศึกษาหลักการการทำงานของเครื่องต้นแบบ
2. ทำการศึกษาจากวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง และศึกษาข้อมูลจากแหล่งค้นคว้าต่างๆ
3. ทำการจำลองการทำงานของวงจร โดยใช้โปรแกรมจำลองในคอมพิวเตอร์
4. ทำการออกแบบโครงสร้างของวงจรย่อยแต่ละส่วน
5. ทำการสร้างและทดสอบวงจรย่อยส่วนต่างๆ
6. หาข้อแก้ไขต่างๆและทำการปรับปรุงวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำส่วนประกอบต่างๆมาประกอบเข้าเป็นตัวเครื่อง
8. ทดสอบการทำงานของเครื่องโดยรวม

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ระยะเวลา การดำเนินการ	ระยะเวลา									
	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	
1.ศึกษาข้อมูลของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสติกจากปริศยานิพนธ์ของเครื่องที่ทำเป็นต้นแบบ										
2.ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องตัดจากปริศยานิพนธ์เล่มอื่นๆ ,ตำราต่างๆ และจากอินเทอร์เน็ต										
3.ศึกษาข้อบกพร่องของเครื่องต้นแบบและหาแนวทางแก้ไข										
4.ศึกษาและเขียนโปรแกรมการสร้างสัญญาณ PWM ด้วย dsPIC										
5.ออกแบบและทดสอบวงจรขับ										
6.ออกแบบและทดสอบวงจรควบคุมจาก dsPIC										
7.ออกแบบและทดสอบวงจรกำลังกับโหลดหลอดไฟ										
8.ประกอบทุกส่วนเป็นวงจรรวมและทดสอบเครื่องตัดจริง										
9.บันทึกผลและสรุปผลการทำงานต่างๆที่ได้										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้ความรู้เกี่ยวกับการสร้างเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา เข้าใจขั้นตอนการทำงานของเครื่องตัดและส่วนประกอบภายในเครื่อง
2. ได้เรียนรู้เทคนิคการเปลี่ยนรูปพลังงานด้วยเทคนิคการสวิตชิงที่ความถี่สูง โดยใช้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง และการสวิตชิงที่แรงดันศูนย์ (ZVS) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ลดขนาดของอุปกรณ์ไฟฟ้า และมีต้นทุนต่ำ
3. สามารถพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับการตัดโลหะด้วยพลาสมา เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตเพื่อเป็นการค้าต่อไป
4. ได้เรียนรู้การใช้เครื่องมือวัดทางไฟฟ้ามากขึ้น
5. ได้เรียนรู้ถึงความสัมพันธ์ของความต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ซึ่งมีผลอย่างมากต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ที่ความถี่สูง

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์

- ปกหน้า
- บทคัดย่อ
- Abstract
- กิตติกรรมประกาศ
- สารบัญ
- สารบัญรูป
- สารบัญตาราง
- บทที่ 1 บทนำ
 - 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา
 - 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ
 - 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ
 - 1.4 วิธีการใช้ในโครงการ
 - 1.5 แผนการดำเนินโครงการ
 - 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย
 - 1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์
- บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- บทที่ 3 การออกแบบและสร้าง
- บทที่ 4 ผลการทดลอง
- บทที่ 5 บทสรุปและเสนอแนะแนวทางที่จะดำเนินการ
- บรรณานุกรม
- ภาคผนวก
- ประวัติผู้เขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสมา

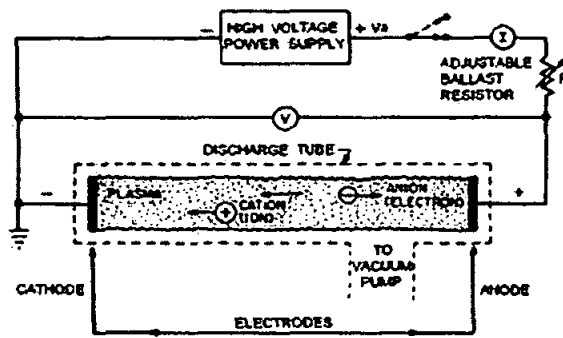
ในทางฟิสิกส์และเคมี พลาสมา คือ ก๊าซที่มีสภาพเป็นไอออน และมักจะถือเป็นสถานะที่ 4 ของสสาร การมีสภาพเป็นไอออนดังกล่าวนี้ หมายความว่า จะมีอิเล็กตรอนอย่างน้อย 1 ตัว ถูกดึงออกจากโมเลกุล ประจุไฟฟ้าอิสระทำให้พลาสมามีสภาพการนำไฟฟ้าเกิดขึ้น สถานะที่ 4 ของสสารนี้ มีการเอ่ยถึงครั้งแรก โดยเซอร์ วิลเลียม ครูกส์ (Sir William Crookes) เมื่อ ค.ศ. 1879 และคิดคำว่าพลาสมา (Plasma) โดย เออร์วิง แลงมัวร์ (Irving Langmuir) เมื่อ ค.ศ. 1928 เนื่องจากเขานึกถึงพลาสมาของเลือด

ในชีวิตประจำวันของคนเรานั้นได้สัมผัสกับพลาสมาอยู่ตลอดเวลา ซึ่งถ้าเราได้สัมผัสกับพลาสมาในปริมาณมากๆ เราอาจจะได้รับความเจ็บปวดจากพลังงานของพลาสมาที่ถ่ายเทมาสู่ตัวเรา พลาสมาสามารถทำให้เกิดได้ง่าย เช่น การจุดไม้ขีดไฟ การจุดไลท์เดออร์เพื่อจุดบุหรี่ การจุดไฟในเตาแก๊ส รถยนต์ที่เรากำลังขับอยู่ก็ถูกขับเคลื่อนด้วยพลาสมาที่ร้อนจัดที่ได้จากการจุดระเบิดในลูกสูบของเครื่องยนต์ภายในตัวรถ หรือแม้แต่กระทั่งเครื่องบินไอพ่นก็ถูกขับเคลื่อนด้วยพลาสมาที่พ่นออกมาที่ท้ายเครื่องยนต์ตลอดเวลา แสดงว่าเรากำลังเกี่ยวข้องกับพลาสมาในชีวิตประจำวันแทบทั้งสิ้น

โลหะกรรมพลาสมา เป็นการนำความร้อนของพลาสมามาใช้ให้เกิดประโยชน์ พลาสมาที่ใช้ในงานโลหะกรรมได้จากกระแสไฟฟ้า เราเรียกว่า อาร์คพลาสมา (Arc Plasma) พลาสมาที่เกิดจากกระแสไฟฟ้านอกจากจะทำให้เกิดแสงสว่างแล้ว ยังใช้ประโยชน์ในการเชื่อมโลหะ (Plasma Welding) การตัดโลหะด้วยลำพลาสมา (Plasma Cutting) และการพ่นของเหลวด้วยพลาสมา (Plasma Spraying) เป็นต้น ได้อีกด้วย

2.2 การดิสชาร์จไฟฟ้าที่ความดันก๊าซต่ำ

การค้นคว้าวิจัยในยุคแรกๆ การดิสชาร์จไฟฟ้าฟิสิกส์ถูกกระทำภายในหลอดดิสชาร์จไฟฟ้าด้วยความดันก๊าซต่ำแบบเก่าได้ดังรูปที่ 2.1 ในรูปนั้นคือรูปแบบดั้งเดิมของหลอดดิสชาร์จไฟฟ้าที่ใช้ความดันก๊าซต่ำนั้นคือนีออน (Neon) ที่เรารู้จักในชื่อของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งจะประกอบไปด้วยหลอดสูญญากาศและแผ่นอิเล็กโทรดกลม 2 แผ่นที่ปิดทั้ง 2 ข้างของตัวหลอดแก้วและเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง โดยเราจะสามารถปรับค่าความต้านทานของบัลลาสต์ R และสามารถปรับค่าคุณลักษณะของแรงดันและกระแสไปเรื่อยๆ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงจะเป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้นสูง อิเล็กตรอนของพลาสมาจะวิ่งเข้าหาขั้วบวก (Anode) และไอออนบวกจะวิ่งเข้าหาขั้วลบ (Cathode) โดยที่ทั้งสองจะชนและปะทะกันด้วยความถี่กับก๊าซธรรมชาติที่อยู่ภายใน



รูปที่ 2.1 ลักษณะการเกิดพลาสมาในหลอดสูญญากาศด้วยไฟฟ้าแรงดันสูง

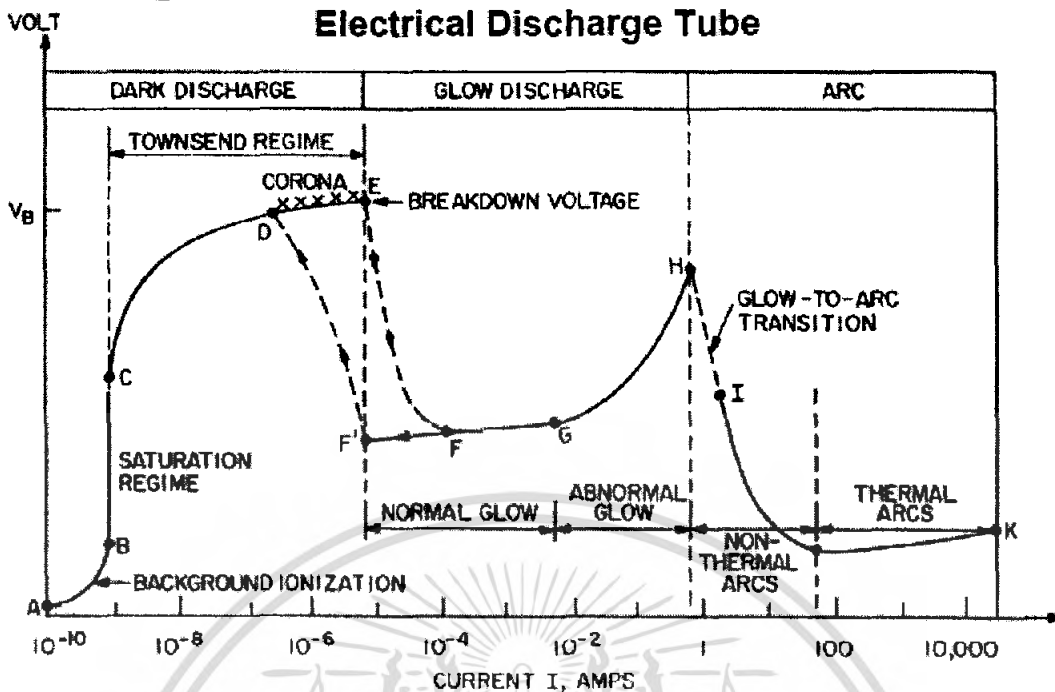
กลุ่มของแรงดันและกระแสของการดิสชาร์จไฟฟ้ากระแสตรงด้วยความดันก๊าซต่ำจะถูกแสดงไว้ดังตารางที่ 2.1 และเราสามารถทำการทดลองการดิสชาร์จไฟฟ้าที่ความดันก๊าซต่ำและนำมาเขียนเป็นกราฟของแรงดันและกระแสไฟฟ้าตามในรูปที่ 2.2 เมื่อเราทำการปรับแรงดันและกระแสในขณะนั้นแล้วทำการวัดกระแสไหลผ่านตอนเกิดการดิสชาร์จ การเกิดดิสชาร์จนี้จะนำมาเขียนเป็นเส้นกราฟที่ไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างแรงดันและกระแสได้ดังรูปที่ 2.2 โดยเริ่มจากแรงดันต่ำสุดที่ทางด้านซ้ายมือล่างขอบเขตระหว่าง A และ B บนเส้นโค้งและนั่นคือกลุ่มของไอออนหลัก (Background ionization regime)

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงกลุ่มแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากดิสชาร์จไฟฟ้ากระแสตรงที่ความดันก๊าซต่ำ

Voltage – Current regimes of low pressure DC electrical discharges
(1) Dark discharges
a) Background ionization
b) The saturation regime
c) The Townsend regime
d) Corona discharges
e) Electrical breakdown
(2) Glow Discharges
a) The normal glow discharge
b) The abnormal glow discharge
(3) Arc discharges
a) The glow – to – arc transition
b) Non-thermal arcs
c) Thermal arcs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage-Current Characteristic of the DC Low Pressure Electrical Discharge Tube



รูปที่ 2.2 ช่วงการเกิดพลาสมาตามแรงดันและกระแสไฟฟ้า

2.3 พลาสมา กับ เครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา

จากคุณสมบัติของพลาสมาข้างต้น เราจึงได้นำคุณสมบัติของพลาสมาดังกล่าวมาสร้างเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาโดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับที่เราใช้กันตามบ้านเรือนมาผ่านวงจรไฟฟ้าที่สร้างขึ้น เพื่อจุดระเบิดพลาสมาด้วยการอาร์คด้วยไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง (High-Voltage High-Frequency Arc Starting) ทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออนซึ่งมีสภาพนำไฟฟ้าและมีความร้อนสูง แล้วใช้เครื่องอัดอากาศเป็นตัวส่งผ่านพลาสมาออกมามากายนอกหัวตัด เครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา จึงมีคุณสมบัติทางความร้อนและความรุนแรงสูงกว่าเครื่องตัดโลหะที่ใช้แก๊สธรรมดาทั่วไป

เครื่องตัดโลหะแบบพลาสมานั้นมีคุณสมบัติทางความร้อนและความรุนแรงสูงกว่าเครื่องตัดโลหะที่ใช้แก๊สธรรมดาทั่วไป เช่น เครื่องตัดโลหะก๊าซทังสเตน (Tungsten Inert-Gas: TIG) เครื่องตัดโลหะก๊าซโลหะ (Metal Inert-Gas: MIG) ซึ่งโดยปกติแล้วอุณหภูมิของพลาสมานั้นจะอยู่ที่ประมาณ $11,650^{\circ}\text{C}$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นความร้อนที่สูงมากทีเดียว

การใช้เครื่องตัดโลหะแบบพลาสมานั้นสามารถต่อใช้งานได้ 2 รูปแบบ คือ แบบส่งผ่านและไม่ส่งผ่าน แบบส่งผ่าน (Transferred Arc) นั้นหมายความว่ากระแสจากแหล่งจ่ายกำลังนั้นไหลผ่านจากแท่งอิเล็กโทรด (ขั้วลบ) ที่อยู่ภายในหัวตัดและไหลผ่านปากท่อของน็อนเซิลินที่อยู่ติดกับชิ้นงาน กระแสไฟฟ้าจะไหลกลับจากชิ้นงานเข้าสู่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าครบวงจร ส่วนแบบไม่ส่งผ่าน (Non-Transferred Arc) นั้น กระแสจะไม่ไหลลงสู่ชิ้นงานแต่จะไหลจากปากท่อของน็อนเซิลินแล้วเข้าสู่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเลย แสดงให้เห็นได้ว่าทั้งสองแบบนี้แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรงที่กระแสไหลผ่านสู่ชิ้นงานหรือไม่ไหลเข้าสู่ชิ้นงานเท่านั้น และเรานิยมเรียกการต่อแบบส่งผ่านว่าแบบ “พลาสมาอาร์ค” (Plasma Arc) และในแบบไม่ส่งผ่านนั้นเรียกว่า “พลาสมาเจ็ต” (Plasma Jet) ในแบบส่งผ่านนั้นจะเป็นที่นิยมใช้งานตัดโลหะมากกว่าแบบไม่ส่งผ่าน

นิออนเซิลัน เป็นส่วนสำคัญที่สุดของหัวเชื่อมพลาสมา เพราะเส้นผ่านศูนย์กลางของปากนิออนเซิลันนั้นเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของลำพลาสมาอาร์ค ซึ่งอยู่ภายในนิออนเซิลันทำให้เกิดการรวมตัวกันของพลังงาน เพื่อปลดปล่อยลำพลาสมาออกมาใช้งานโดยจะมีลักษณะที่ตีบอย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่สูงของพลาสมา ก็จะส่งผลกระทบต่อหัวนิออนเซิลันโดยตรง หัวตัดโลหะแบบพลาสมามีการใช้งานทั้งแบบส่งผ่าน และไม่ส่งผ่าน ในแบบไม่ส่งผ่านนั้นลำพลาสมาจะออกมาในลักษณะกรวยพุ่งออกมาและมีความร้อนต่ำ เพราะพลาสมาในแบบไม่ส่งผ่านนั้นมีลักษณะเหมือนการพ่นละอองก๊าซเผาไหม้ออกมา ทำให้ความหนาแน่นของพลังงานและความร้อนต่ำจึงเหมาะที่จะใช้งานกับแผ่นโลหะที่มีความหนาไม่มาก ในแบบส่งผ่านนั้นเป็นการใช้งานที่มีความร้อนออกมามาก เพราะลำพลาสมาพุ่งออกมาเป็นลักษณะทรงกระบอกลำเล็กๆและอิเล็กตรอนที่อยู่ภายในชิ้นงานสามารถกระโดดเข้าหาแท่งอิเล็กโทรดของหัวตัดได้สะดวก จึงเกิดพลังงานที่บริเวณชิ้นงานสูง

เครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาส่วนใหญ่ จะผลิตขึ้นมาแบบที่ใช้กับเครื่องอัตโนมัติมากกว่าการตัดด้วยมือ เพราะมีความปลอดภัยสูงกว่า และยังขจัดปัญหาจากควันจำนวนมากที่เกิดจากการตัดโลหะด้วยพลาสมา แต่หากใช้งานกับการตัดด้วยมือแล้วก็มีวิธีแก้ปัญหาความร้อนที่เกิดขึ้นจากการตัดโลหะได้โดยทำการตัดบนโต๊ะที่มีน้ำขังอยู่บนโต๊ะ จะช่วยลดควันและเสียงรบกวนจากการตัดลงได้

เครื่องตัดพลาสมานั้นสามารถทำความเร็วในการตัดได้ประมาณ 100-150 นิ้ว/นาที (2.5-3.8 เมตร/นาที) และในการตัดแผ่นโลหะที่หนาไม่มากนัก พลาสมาทำความเร็วอยู่ที่ 300 นิ้ว/นาที (7 เมตร/นาที) แต่อย่างไรก็ตามในการตัดด้วยมือนั้นจะไม่สามารถรักษาระดับความเร็วและประสิทธิภาพให้คงที่ได้เหมือนการตัดแบบอัตโนมัติ แม้จะเป็นเครื่องพลาสมาก็ตาม

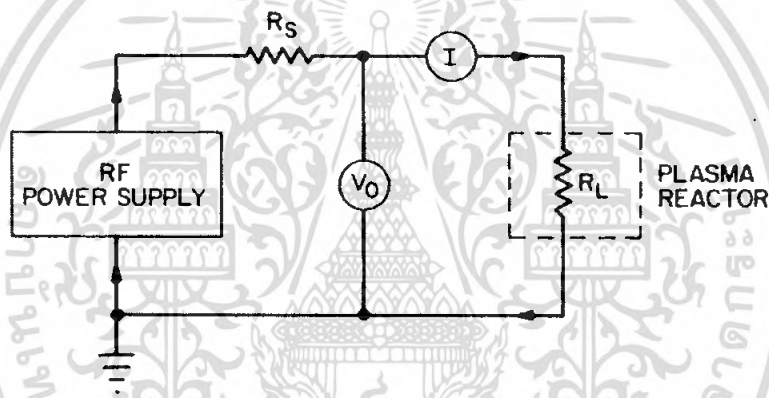
2.4 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา

แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่จะนำมาใช้งานกับเครื่องตัดพลาสมานั้น จะต้องออกแบบโดยให้เอาท์พุทเปิดวงจรอยู่ในช่วง 200 – 400 โวลต์ หลักสำคัญที่จะมากำหนดขนาดของแหล่งจ่ายคือ ชนิดและความหนาของโลหะที่จะนำมาตัด ความเร็วที่ต้องการในการตัด กระแสคงที่และค่าแรงดันที่ตกคร่อมในขณะที่ตัดชิ้นงาน หรือพูดอีกอย่างก็คือขึ้นอยู่กับลักษณะของงานด้วย ถ้าหากเราสร้างเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาที่สามารถปรับแรงดันได้ขณะทำงาน ก็จะสามารถนำไปใช้กับชิ้นงานได้หลายชนิด

กระแสเอาท์พุทจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องพลาสมานั้น จะมีค่าประมาณที่ 10 – 50 แอมป์ ขึ้นอยู่กับชิ้นงานที่นำมาตัดว่าหนาแค่ไหน และต้องการความเร็วในการตัดแค่ไหน ถ้าชิ้นงานที่นำมาตัดหนาและเราต้องการความเร็วในการตัดเราจะต้องใช้กระแสที่สูงจาก

แหล่งจ่ายกำลังในการตัดเป็นต้น ในแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยทั่วๆ ไปนั้นจะมีวงจรไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง (High-Voltage High-Frequency Circuit) ที่ใช้ในการจุดพลาสมาสามารถอยู่ด้วย โดยส่วนมากแล้วแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจะเป็นลักษณะของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง สาเหตุนั้นเป็นเพราะการบำรุงรักษาจะง่ายกว่าการใช้กระแสสลับและสาเหตุที่สำคัญอีกอย่างนั้นเป็นเพราะไฟฟ้ากระแสสลับมีรูปคลื่นเป็นแบบไซเคิลและทุกๆ ของไซเคิลจะมีจุดที่กระแสมีค่าเป็นศูนย์ทำให้มีกระแสทางเอาต์พุตไม่คงที่ จุดที่แตกต่างกันของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าคือค่าโวลต์เตจทางด้านเอาต์พุตของพลาสมาในขณะที่เปิดดวงจรนั้นมีค่าสูงประมาณ 200 – 400 โวลต์ และแรงดันที่ตกคร่อมชิ้นงานในขณะที่ตัดมีค่าประมาณ 80 โวลต์

ส่วนมากแล้วแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมานั้น จะมีค่าเอาต์พุตเป็นกิโลวัตต์ แต่ก็มีเครื่องบางเครื่องที่แสดงค่าเอาต์พุตแยกเป็นจำนวนกระแส และจำนวนแรงดัน แต่เราก็สามารถที่จะหาค่าของกำลังงานทางเอาต์พุตได้โดยนำค่ากระแสและแรงดันทางเอาต์พุตมาทำการคูณกัน ผลคูณนี้จะเป็นค่ากำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต

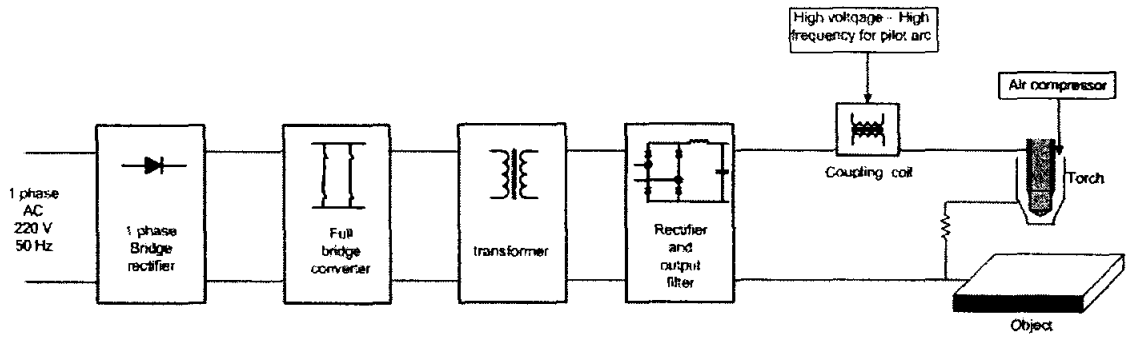


รูปที่ 2.3 วงจรไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง

แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าประกอบไปด้วยวงจรสองส่วนหลักๆ คือ วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC-DC Converter) และวงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง (High-Voltage High-Frequency Circuit) ซึ่งจะแบ่งเป็นวงจรย่อยดังนี้ ดังรูปที่ 2.4

- วงจรเรียงกระแสและกรองกระแส
- วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่ใช้มอสเฟตกำลังเป็นตัวสวิตซ์
- หม้อแปลงความถี่สูง
- วงจรเรียงกระแสและกรองกระแสทางด้านออก
- วงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง
- วงจรควบคุมการทำงาน
- วงจรป้องกันกระแสและแรงดันเกินพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

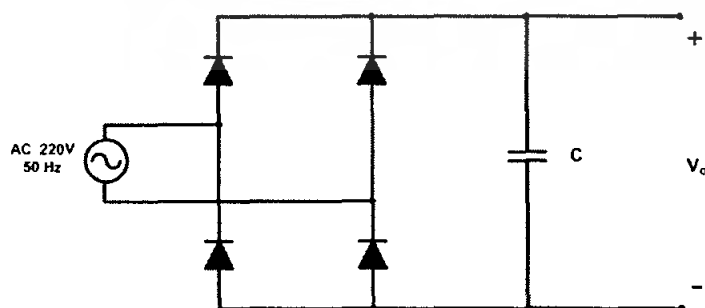


รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางไฟฟ้าของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา

2.4.1 วงจรเรียงกระแสและกรองกระแส

วงจรเรียงกระแสและกรองกระแส นับว่าเป็นส่วนสำคัญของวงจรในส่วนอินพุทซึ่งจะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่เครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา โดยจะได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ขนาด 220 โวลต์ $\pm 10\%$ ความถี่ 50 เฮิรท์ จากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ มาเปลี่ยนให้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้วงจรเรียงกระแสที่ใช้ไดโอดต่อแบบฟูลบริดจ์ดังในรูปที่ 2.5 แรงดันไฟฟ้าด้านขาออกของวงจรเรียงกระแสจะถูกกรองให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการกระเพื่อมน้อยลง และมีขนาดประมาณ 300 โวลต์ โดยมีตัวเก็บประจุเป็นตัวกรอง แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้นี้จะทำหน้าที่เป็นแรงดันอินพุทให้กับวงจรคอนเวอร์เตอร์ต่อไป และวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสยังเป็นตัวกำหนดค่าอัตราทอนกระแสของฟิวส์และวงจรกรองสัญญาณรบกวนความถี่วิทยุด้วย

การต่อวงจรเรียงกระแสโดยตรงเข้ากับไฟฟ้า 220 โวลต์ โดยตรง เช่นนี้ เป็นการเสี่ยงการใช้หม้อแปลงแรงดันความถี่ต่ำ ทำให้สามารถลดน้ำหนักลงได้ ในกรณีวงจรกรอง 50 เฮิรท์ก็เช่นกัน การไม่ใช้ตัวเหนี่ยวนำ จะลดปัญหาเนื่องจากน้ำหนัก แต่มีข้อเสียคือ ตัวเก็บประจุของวงจรจะมีขนาดใหญ่กว่าวงจรกรองที่มีตัวเหนี่ยวนำ ในขณะที่การกระเพื่อมกระแสมีขนาดเท่ากัน และกระแสที่ไหลในตัวไดโอดมีค่ายอดที่สูงมาก แต่ก็มีข้อดีคือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีขนาดเกือบเท่ากับค่ายอดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของระบบจ่ายกระแส

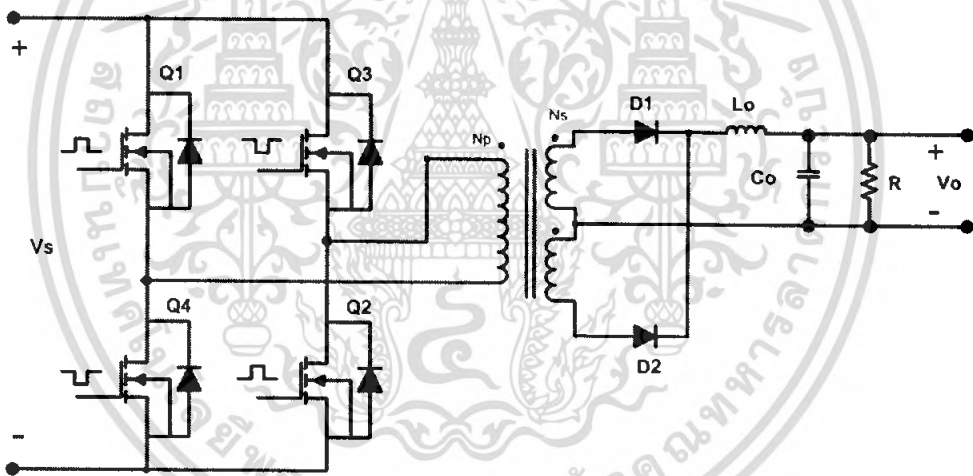


รูปที่ 2.5 วงจรเรียงกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC-DC Converter)

วงจรคอนเวอร์เตอร์นับว่าเป็นส่วนวงจรที่สำคัญสุด ซึ่งมีหน้าที่แปลงผันระดับของกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าออกให้มีค่าเป็นไปตามสัญญาณที่ควบคุม วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC-DC Converter) มีหลายแบบ แต่เนื่องจากข้อกำหนดในเรื่องพิกัดกำลังทางด้านออกของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตช์ซึ่งสำหรับเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมามีค่าประมาณ 4 กิโลวัตต์ ซึ่งถือเป็นกำลังขาออกที่ค่อนข้างสูง เมื่อนำข้อมูลมาพิจารณาเทียบกับแผนผังในรูปที่ 2.6 ดังนั้นในการทำเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาผู้จัดทำเลือกใช้วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงแบบฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full-Bridge Converter) มาใช้ในแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เพราะวงจรที่เลือกนำมาใช้นั้น มีความจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์สวิตช์ซึ่งทั้งหมดด้วยกัน 4 ตัว สำหรับตัวสวิตช์ที่จะนำมาใช้อาจเป็นเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์หรือมอสเฟตก็ได้ แต่สำหรับงานส่วนนี้ได้ทำการเลือกใช้มอสเฟตกำลังทำหน้าที่เป็นตัวสวิตช์ซึ่งในวงจรดังกล่าว สาเหตุที่เลือกใช้มอสเฟตกำลังเป็นตัวสวิตช์ซึ่งในวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ก็เพราะมอสเฟตสามารถทำงานจรขับเคลื่อนกระแสได้ง่ายกว่าทรานซิสเตอร์ มีความเร็วในการสวิตช์สูง ช่วยลดเวลา Dead Time ขณะนำกระแส และยังสามารถทำงานในย่านความถี่ที่สูงกว่าทรานซิสเตอร์อีกด้วย

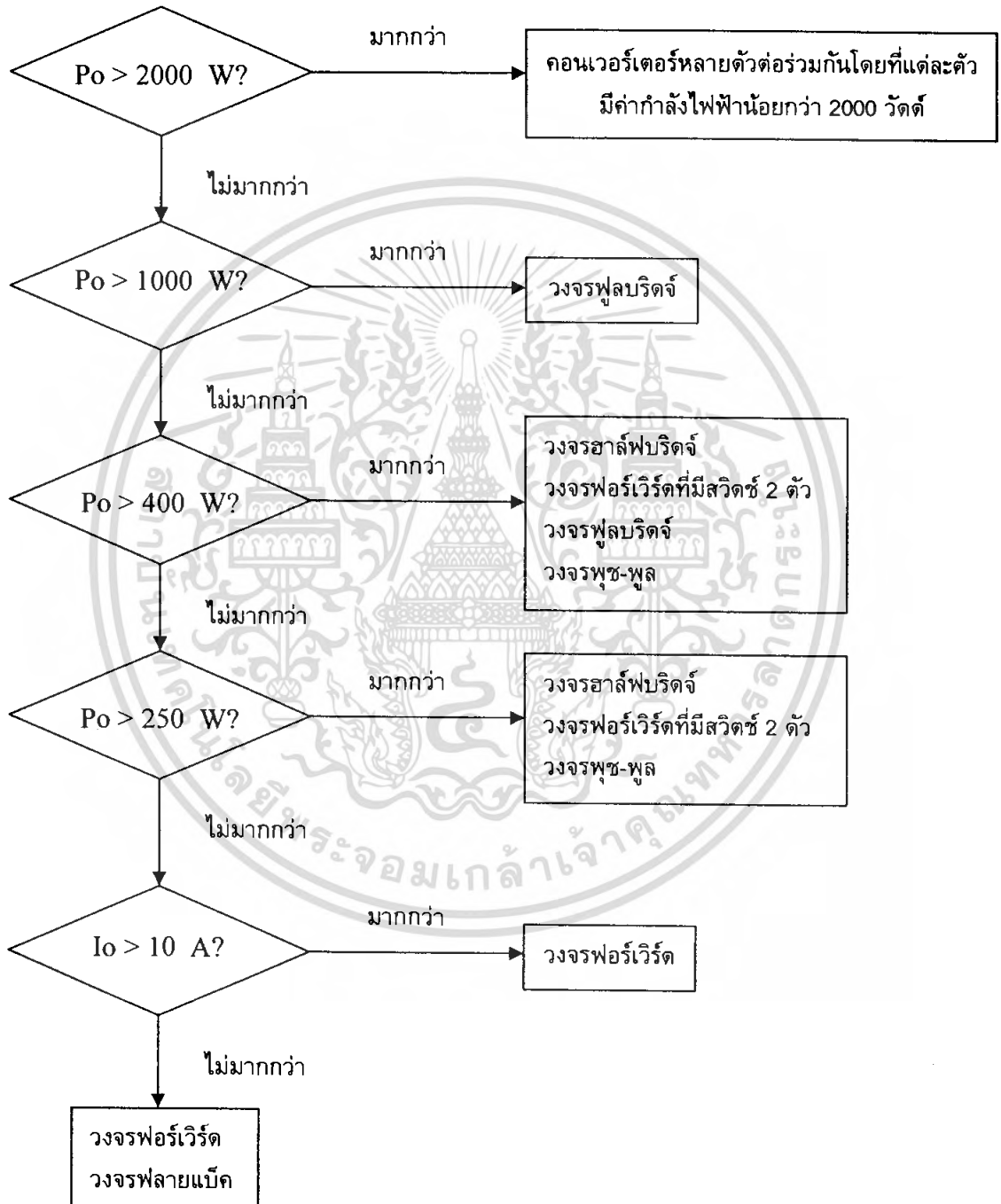


รูปที่ 2.6 วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์โดยมีมอสเฟตกำลังเป็นตัวสวิตช์

หากต้องการกระแสมากขึ้นอีกก็สามารถทำการต่อขานานสวิตช์เข้าไปได้อีกด้วย เช่น สวิตช์ 1 ตัวประกอบไปด้วยอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งขนานกัน 2 ตัว แต่การใช้ตัวสวิตช์จำนวนมากๆ ก็ทำให้เพิ่มจำนวนของวงจรขับเคลื่อนกระแสเพิ่มมากขึ้น ทำให้ราคาของระบบสูงขึ้นอีก แต่อย่างไรก็ตามฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์นี้ เหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้งานกับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงที่ต้องการพิกัดกำลังใช้งานค่อนข้างสูง และนอกจากนั้นข้อดีของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่น่าสนใจ คือ ในการออกแบบหม้อแปลงสำหรับการนำไปใช้งานกับวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ต้องการขดลวดปฐมภูมิเพียงชุดเดียว ส่วนแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดของหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิ จะมีค่าไม่เกินค่ายอดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของแรงดันขาเข้าหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่เกินแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ยที่ป้อนเข้าสู่วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งประมาณ +310 โวลต์และ -310 โวลต์ ตัวสวิตซ์ที่ใช้ในฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์นี้ จะทำงานในระดับแรงดันที่ไม่เกินค่ายอดของแรงดันไฟตรง ซึ่งประมาณ 310 โวลต์ ทำให้สามารถเลือกหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด ซึ่งกระแสผ่านสวิตซ์จะต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรแปลงผันไฟดีซี-ดีซีแบบอื่นๆ ที่พิกัดกำลังเท่ากัน



รูปที่ 2.7 แผนผังการเลือกวงจรคอนเวอร์เตอร์สำหรับแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 มอสเฟตกำลัง

มอสเฟตกำลังสามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูงตั้งแต่ 50 กิโลเฮิร์ตไปจนถึง 400 กิโลเฮิร์ต เนื่องจากมันใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้น ซึ่งจะเป็นผลดีในการลดขนาดของคอนเวอเตอร์ ในปัจจุบันมอสเฟตกำลังมีค่าพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่า 1,000 โวลต์ แต่มีพิกัดกระแสไฟฟ้าได้ไม่เกิน 100 แอมป์ ในส่วนวงจรขับของมอสเฟตกำลังนั้นสามารถทำได้ง่าย โดยอาจขับได้จากไอซีควบคุมแบบพัลส์วิดท์มอดดูเลชัน โครงสร้างของมอสเฟตกำลังที่จะใช้ในวงจรคอนเวอเตอร์มีทั้งแบบ N-Ch และแบบ P-Ch ทำงานในลักษณะพุช-พูล หรือทำงานเพียงตัวเดียว ซึ่งโดยส่วนมากจะใช้ N-Ch เพราะสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงกว่าแบบ P-Ch กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นกับมอสเฟตกำลังขณะทำงาน จะเป็นไปได้ทั้งในขณะเปลี่ยนสถานะและกำลังสูญเสียขณะนำกระแสแต่มอสเฟตกำลังจะมีช่วงเวลาเริ่มนำกระแส และช่วงเวลาที่ยุติการนำกระแสที่สั้นกว่าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก เพราะมอสเฟตกำลังจะไม่มีประจุสะสมเกิดขึ้น แต่มอสเฟตกำลังจะมีค่าความต้านทานขณะนำกระแสสูงมาก จึงมีการสูญเสียสูงกว่าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก



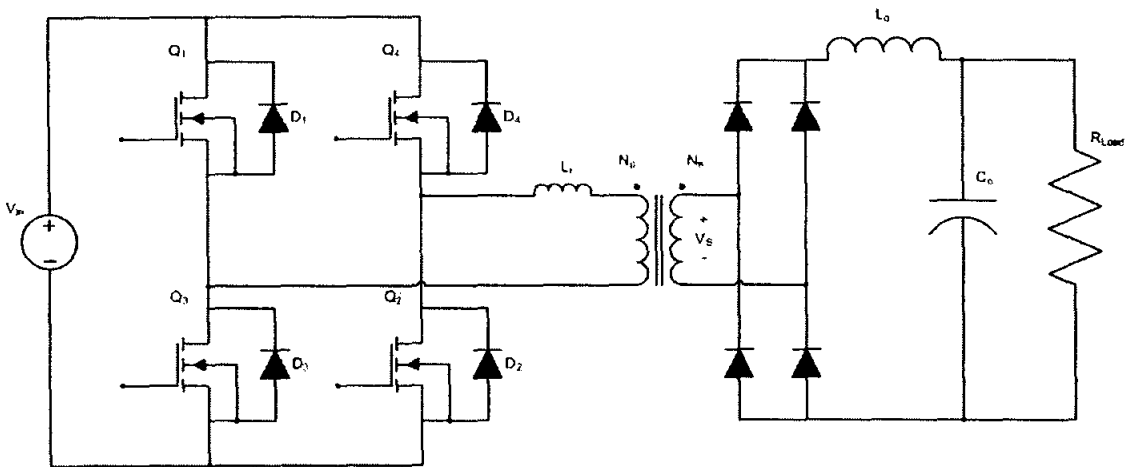
รูปที่ 2.8 มอสเฟตกำลัง

2.4.4 ทฤษฎีการสวิตช์ฟูลบริดจ์คอนเวอเตอร์

ในปัจจุบันนี้ ได้มีเทคนิคการสวิตช์ซึ่งหลายวิธีในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับคอนเวอเตอร์ โดยเฉพาะคอนเวอเตอร์กำลังสูงสัญญาณควบคุมโดยส่วนใหญ่จะใช้สัญญาณพัลส์วิดท์มอดูเลต (Pulse Width Modulated: PWM) ทั้งแบบธรรมดาและแบบเลื่อนเฟส

โครงสร้างของวงจรฟูลบริดจ์มีมอสเฟตเป็นสวิตช์ ($Q_1 - Q_2$) เพื่อเปลี่ยนแรงดันกระแสตรงขาเข้า (V_m) เป็นแรงดันกระแสสลับความถี่สูง (f_s) จำให้หม้อแปลงเพื่อปรับแรงดัน มีความเหนี่ยวนำเรโซแนนท์ (L_r) ต่ออนุกรมกับขดลวดปฐมภูมิ ด้านทุติยภูมิเรียงกระแสด้วยวงจรบริดจ์ไดโอด แล้วมีความเหนี่ยวนำ (L_r) และความเก็บประจุ (C_f) เป็นวงจรกรองแรงดัน มีความต้านทาน (R_{load}) เป็นภาระ ส่วนไดโอด $D_1 - D_2$ เป็นไดโอดภายในมอสเฟต (Internal anti-parallel diodes) แสดงดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

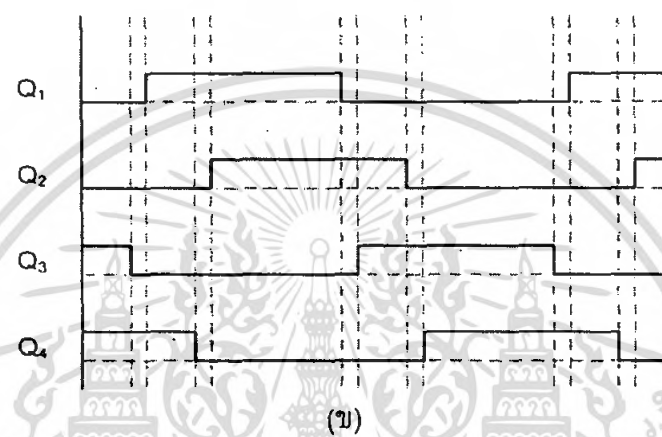
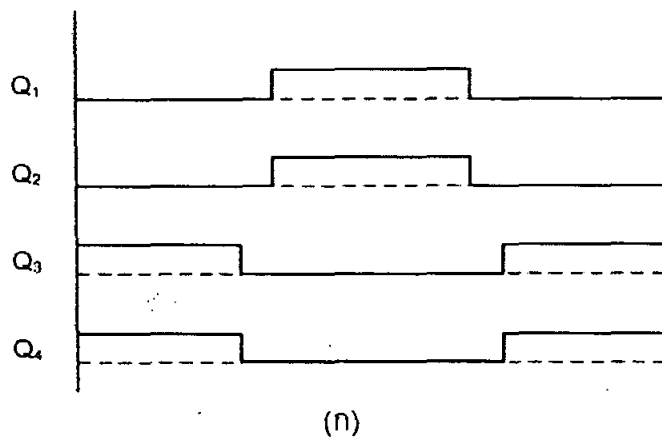


รูปที่ 2.9 วงจรหลักคอนเวอร์เตอร์พัลส์วิตช์มอดูเลตสวิตช์ที่แรงดันศูนย์แบบฟูลบริดจ์

การใช้สัญญาณ PWM แบบธรรมดา นั้น จะควบคุมให้ Q_1 และ Q_2 ทำงานพร้อมกัน แล้วในสภาวะต่อมา ก็จะควบคุมให้ Q_3 และ Q_4 ทำงานพร้อมกัน และกลับมาเป็น Q_1 และ Q_2 อีกครั้ง โดยคอนเวอร์เตอร์แบบนี้จะมีไดโอดสำหรับการฟรีวีลไว้เป็นเส้นทางผ่านของกระแสซึ่งเป็นผลมาจาก Leakage Inductance กรณีที่สวิตช์ turn off ดังแสดงการทำงานในรูปที่ 2.10(ก) หรือเรียกว่าเป็นวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แบบฮาร์ดสวิตช์ (Hard Switching) แต่การสวิตช์แบบฮาร์ดสวิตช์นี้มีข้อเสียคือ

- จะมีการสูญเสียที่ตัวสวิตช์สูงขณะ Turn on และ Turn off โดยเฉพาะเมื่อสวิตช์ที่ความถี่สูงขึ้นเนื่องจากผลของ dv/dt และ di/dt
- ช่วงเวลาฟรีวีลผ่านไดโอด จะขึ้นอยู่กับพลังงานที่สะสมอยู่ใน Leakage Inductance ทำให้การลดลงของกระแสต้านปฏิกิริยาถูกจำกัดที่ค่าๆหนึ่งดังนั้นจึงไม่สามารถสวิตช์ที่ความถี่สูงเกินไปได้

การควบคุมคอนเวอร์เตอร์ฟูลบริดจ์แบบให้เกิดสภาวะสวิตช์ที่แรงดันศูนย์ หรือเรียกอีกอย่างว่า ซอฟต์สวิตช์ (Soft Switching) นั้นจะทำงานโดยใช้สัญญาณ PWM แบบเลื่อนเฟส แทนสัญญาณควบคุมแบบฮาร์ดสวิตช์ จากรูป 2.10(ข) จะเห็นว่าการทำงานต่างจากฮาร์ดสวิตช์คือสวิตช์ Q_1 , Q_2 , Q_3 และ Q_4 ทำงานไม่พร้อมกัน ทำให้เกิด ZVS ในขณะที่ Turn on โดยใช้ Leakage Inductance ในการดีสชาร์จตัวเก็บประจุของสวิตช์ตัวนั้นและชาร์จสวิตช์อีกตัวที่อยู่ในกึ่งเดียวกัน โดยการดีสชาร์จนี้จะเกิดในช่วงฟรีวีลซึ่งจะแสดงให้เห็นในแต่ละสภาวะการทำงานต่อไป โดยสัญญาณเลื่อนเฟสสามารถสร้างมาจากการนำสัญญาณวงจรควบคุมแบบพัลส์วิตช์มอดูเลตที่สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้



รูปที่ 2.10 สัญญาณการควบคุมการทำงานของมอสเฟต

(ก) แบบพัลส์วิตช์มอดูเลตแบบธรรมดา

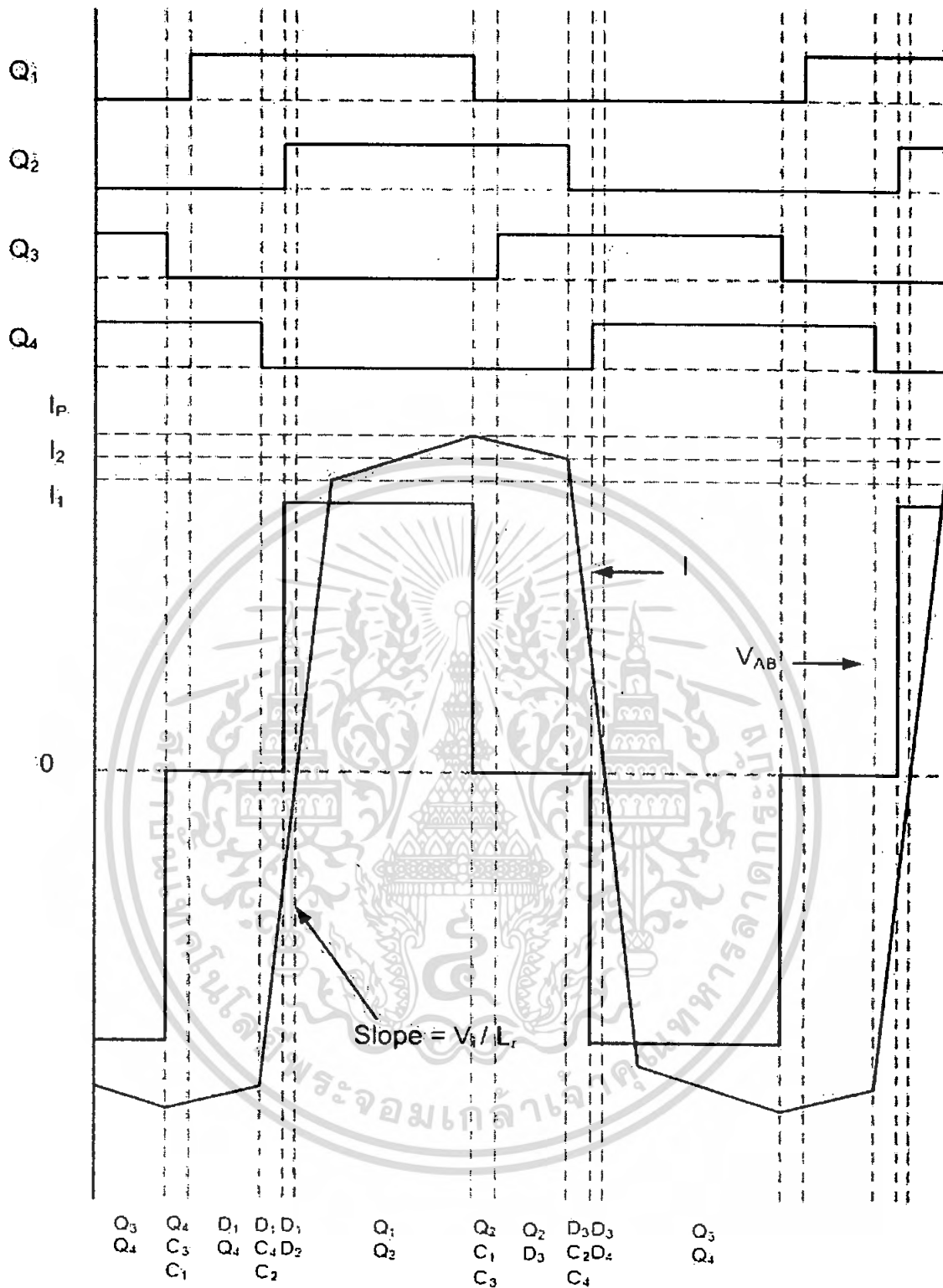
(ข) แบบทำให้เกิดสภาวะสวิตช์ที่แรงดันศูนย์

การทำงานของวงจรเลื่อนเฟส โดยรับสัญญาณจากวงจรควบคุมซึ่งใช้หลักการพัลส์วิตช์มอดูเลต เราสามารถทำได้โดยการเขียนโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งสัญญาณขับออกมาจากเอาต์พุตแล้วนำไปเข้าชุดแยกกราวด์ทางไฟฟ้าต่อไป

หลักการพัลส์วิตช์มอดูเลตมีข้อดีคือมีโครงสร้างของวงจรที่ง่าย ราคาถูก การควบคุมไม่ยาก แต่ก็มีข้อเสียเมื่อความถี่สูงขึ้น คุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์ (Parasitic Element) มีผลขึ้นอย่างชัดเจน เช่น ตัวเก็บประจุด้านเอาต์พุตของมอสเฟต ความเหนียวนำรั่วไหลของหม้อแปลงหรือความเก็บประจุที่รอยต่อของไดโอดในวงจรเรียงกระแส เป็นต้น จะเกิดกระแสไหลวนในอุปกรณ์สวิตช์และหม้อแปลงในช่วงฟรีวีลลิ่งทำให้มีการสูญเสียเกิดขึ้นในคอนเวอร์เตอร์

2.4.5 สภาวะการสวิตช์ที่แรงดันศูนย์

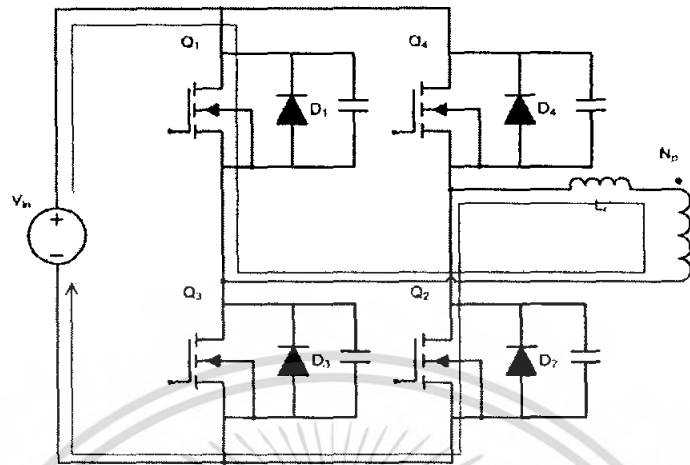
คอนเวอร์เตอร์พัลส์วิตช์มอดูเลตสวิตช์ที่แรงดันไฟฟ้าศูนย์ มีสัญญาณขับขาเกต แรงดันต้านปรุหมุมิ กระแสปรุหมุมิและแรงดันทุติยภูมิ ตามรูปที่ 2.11 ซึ่งการขับขาเกตจะเลื่อนเฟสให้ต่างกันระหว่างข้างซ้ายและข้างขวา ตามดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle, D)



รูปที่ 2.11 รูปสัญญาณการสวิตช์ที่แรงดันศูนย์

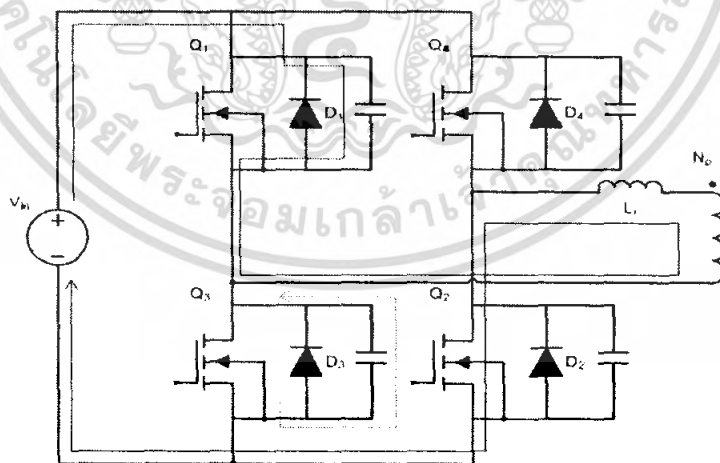
การเกิดสวิตช์ที่แรงดันศูนย์จะต้องใช้พลังงานสะสมจากความเหนี่ยวนำเรโซแนนท์ ซึ่งอยู่ในสถานะกระแสต่อเนื่อง ในการวิเคราะห์จะนำค่าคุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์มาคิดด้วยเช่น ความเก็บประจุด้านเอาต์พุตของมอสเฟต จะอธิบายเป็นสถานะตามลำดับ ดังต่อไปนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะที่ 1 เริ่มต้นที่ Q1 และ Q2 on พร้อมกัน ทำให้กระแสจากแหล่งจ่ายสามารถไหลผ่าน Q1 Lr และ Q2 แล้วไหลกลับไปยังแหล่งจ่าย ในช่วงนี้จะเกิดแรงดัน output ชีบวกรขึ้น และมีกระแสไหลขึ้นเป็นรูป ทำให้ Lr ได้รับการสะสมพลังงานเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังรูป



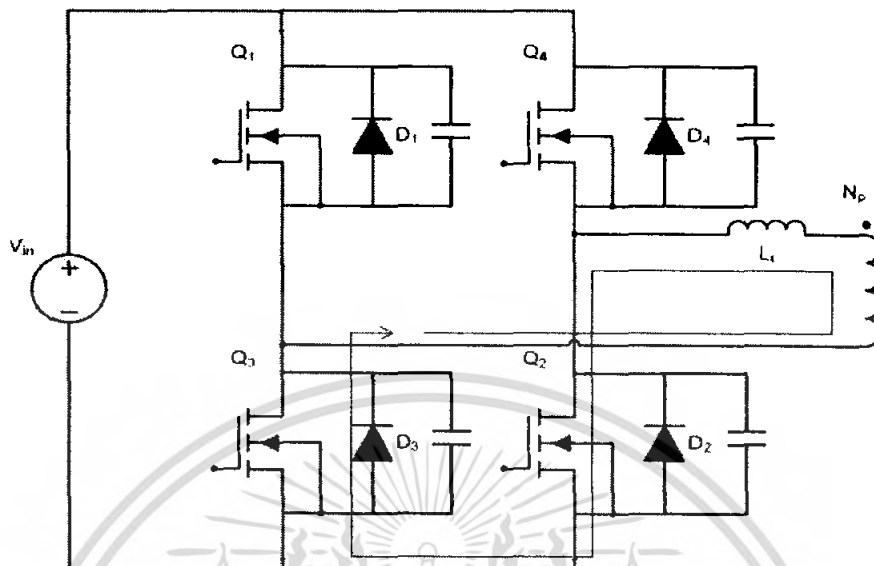
รูปที่ 2.12 รูปคลื่นสัญญาณที่สภาวะที่ 1

สภาวะที่ 2 เมื่อ Q1 เริ่ม turn off C1 จะ charge ประจุ ในขณะที่ C1 charge C3 ซึ่งอยู่ในกึ่งเดียวกันจะ discharge ประจุ ในช่วงที่กระแสยังมีการไหลต่อเนื่องแต่กระแสจะเริ่มลดลง เพราะ Lr ในตอนนี้ จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแทน ทิศทางการไหลของกระแสจะไหลผ่าน C1 แทน Q1 ไปยัง Q2 กลับไปยังแหล่งจ่าย



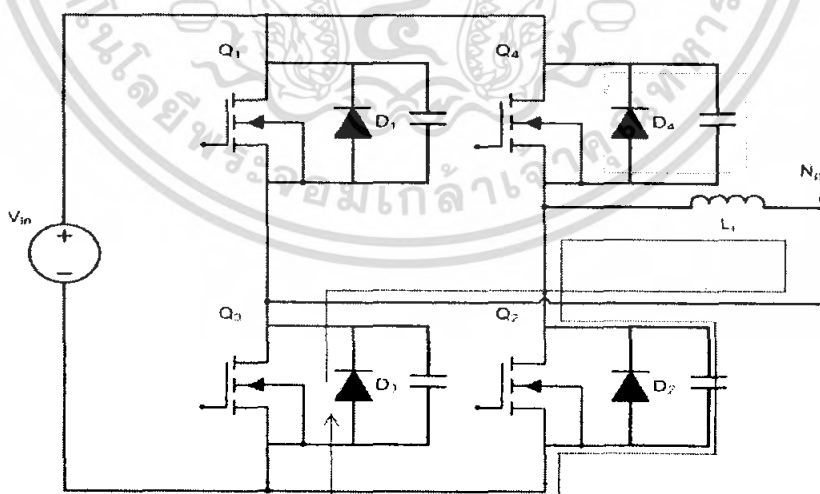
รูปที่ 2.13 รูปคลื่นสัญญาณที่สภาวะที่ 2

สภาวะที่ 3 เมื่อ C1 charge ประจุเต็มแล้ว กระแสจากแหล่งจ่ายไม่สามารถไหลผ่านได้อีก ทำให้ L_r ในช่วงนี้ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแทนเกิดกระแสไหลผ่าน Q2 และ D3



รูปที่ 2.14 รูปคลื่นสัญญาณที่สภาวะที่ 3

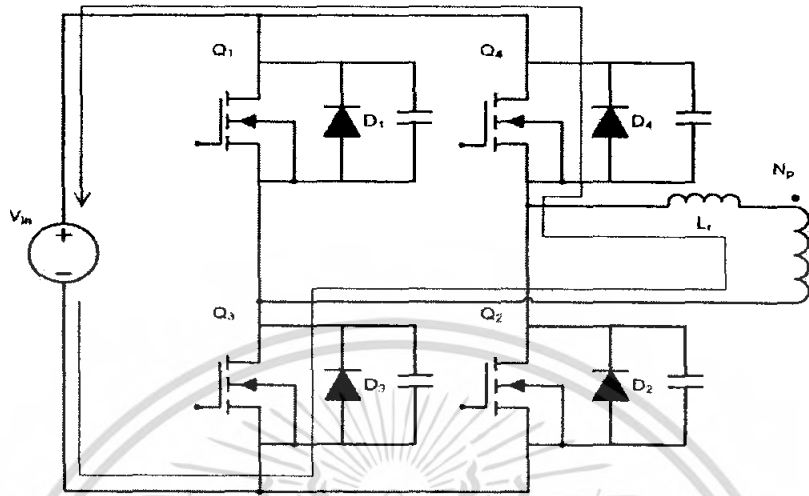
สภาวะที่ 4 เมื่อ Q2 เริ่ม turn off C2 จะ charge ประจุ และ C4 จะ discharge ประจุ และกระแสยังคงไหลต่อเนื่อง แต่ไม่สามารถไหลผ่าน Q2 ได้แล้ว จึงไหลเป็นลูปไปทาง C2 ผ่าน D3 ไปยัง L_r



รูปที่ 2.15 รูปคลื่นสัญญาณที่สภาวะที่ 4

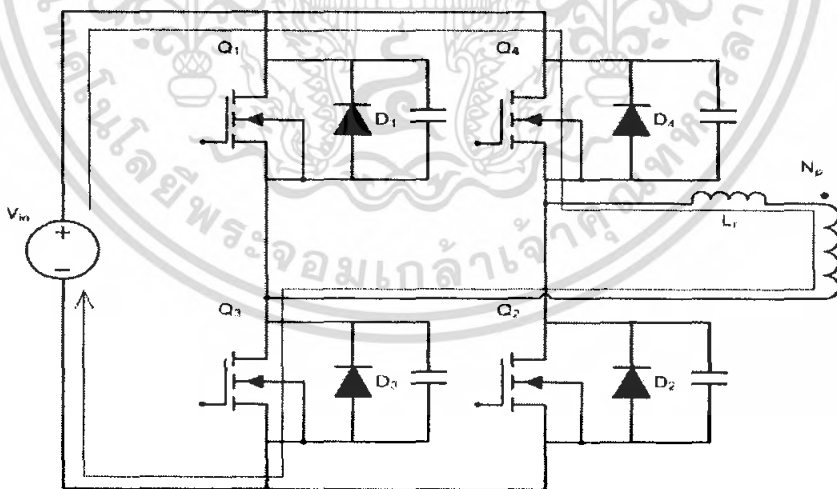
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะที่ 5 D4 จะนำกระแส เนื่องจากพลังงานสะสมของจากความเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ในสภาวะกระแสต่อเนื่อง ทำให้ในสภาวะนี้เกิดกระแสไหลเป็นลูปผ่าน D3 และ D4 ไหลย้อนกลับไปแหล่งจ่าย กระแสจะลดลงจนเป็นศูนย์



รูปที่ 2.16 รูปคลื่นสัญญาณที่สภาวะที่ 5

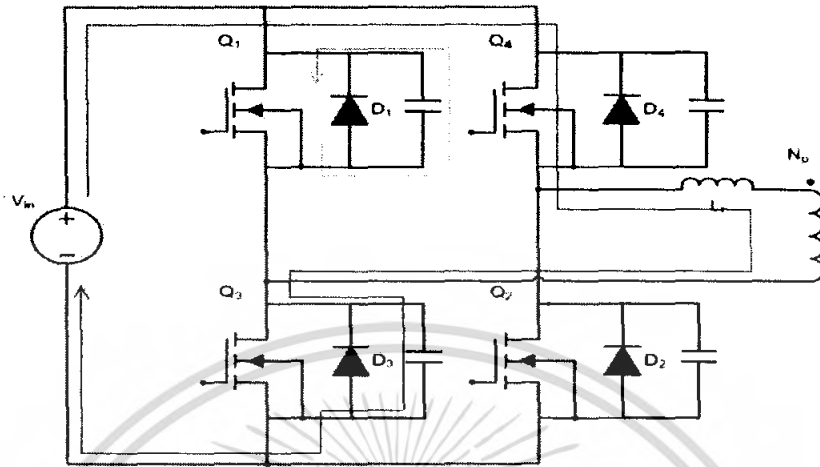
สภาวะที่ 6 Q3 และ Q4 จะ turn on ในสภาวะ ZVS เพราะในช่วงที่ D4 ทำงานก่อนนั้น แรงดันที่ตกคร่อมไดโอดเป็นศูนย์ กระแสจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งแต่ในทิศทางตรงข้ามกับสภาวะที่ 1



รูปที่ 2.17 รูปคลื่นสัญญาณที่สภาวะที่ 6

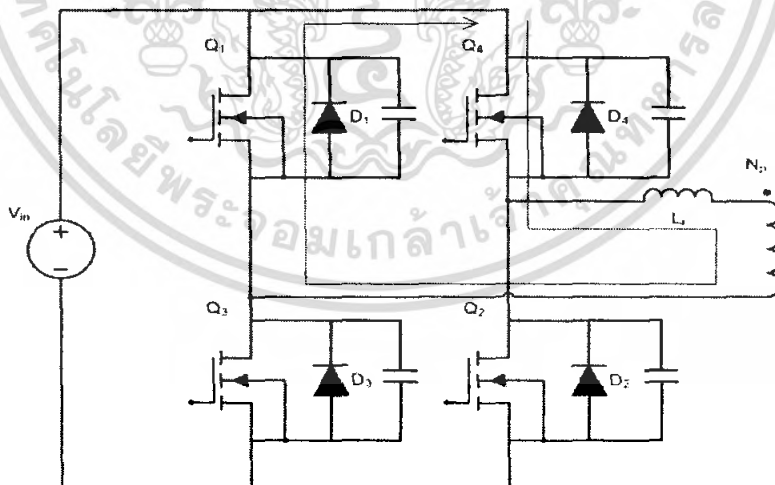
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะที่ 7 เมื่อ Q3 เริ่ม turn off C3 จะ charge ประจุ C1 จะ discharge กระแสยังคงไหลต่อเนื่องจากผลของ L_r แต่กระแสไหลผ่าน Q3 ไม่ได้แล้ว จึงไหลผ่าน C3 แทน กระแสช่วงนี้จึงไหลในลูปผ่าน Q4 และ C3



รูปที่ 2.18 รูปคลื่นสัญญาณที่สภาวะที่ 7

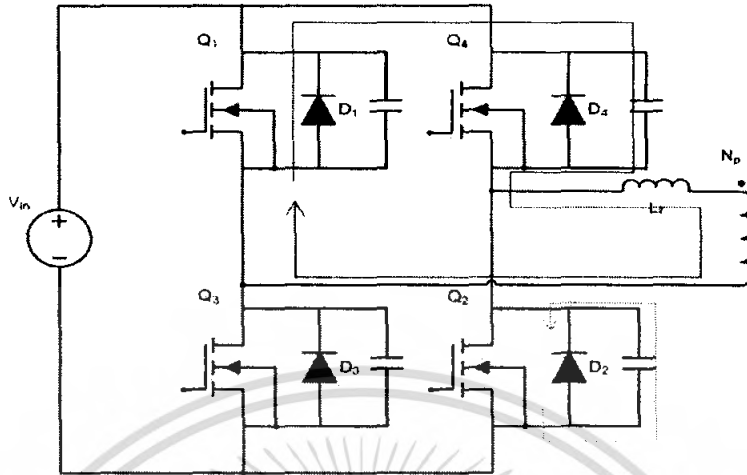
สภาวะที่ 8 เมื่อ C3 charge ประจุเต็ม กระแสจะไม่สามารถไหลผ่าน C3 ได้อีกจึงไหลผ่าน D1 แทน เกิดกระแสไหลเป็นลูป ของ Q4 และ D1 ในสภาวะกระแสต่อเนื่อง L_r จะคายประจุ ทำให้กระแสค่อยๆ ลดลง



รูปที่ 2.19 รูปคลื่นสัญญาณที่สภาวะที่ 8

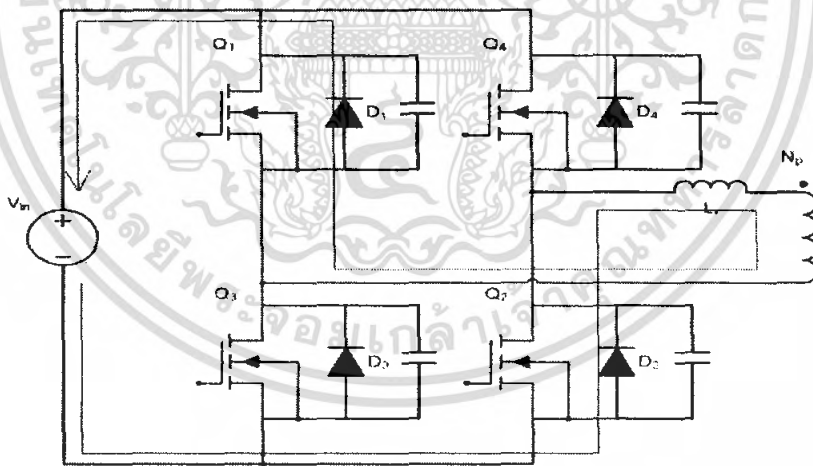
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะที่ 9 Q4 เริ่ม turn off C4 จะ charge C2 จะ discharge กระแสจาก L_r ยังคงไหลต่อเนื่อง ผ่าน D1 และผ่าน C4



รูปที่ 2.20 รูปคลื่นสัญญาณที่สภาวะที่ 9

สภาวะที่ 10 เมื่อ C4 ชาร์จประจุเต็ม ทำให้กระแสไหลผ่าน D1 แล้วย้อนกลับแหล่งจ่ายวนกลับมา D2



รูปที่ 2.21 รูปคลื่นสัญญาณที่สภาวะที่ 10

ต่อจากนั้นก็กลับเข้าสู่สภาวะที่ 1 อีกครั้งในสภาวะการสวิตชิงแรงดันศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบเทคนิคการสวิตช์คอนเวอร์เตอร์แบบฮาร์ดสวิตชิงและ ZVS

เทคนิคการสวิตช์	ข้อดี	ข้อเสีย
ฮาร์ดสวิตชิง	1. ได้พิกัดกำลังเอาต์พุตมาก	1. เกิดกำลังสูญเสียที่อุปกรณ์สวิตช์ 2. อุปกรณ์ต้องทนพิกัดสูง 3. ส่วนการระบายความร้อนจะมีขนาดใหญ่ 4. ต้นทุนรวมสูง
ZVS	1. ลดกำลังสูญเสียขณะ turn on สวิตช์ได้ 2. ราคาต้นทุนต่ำกว่าฮาร์ดสวิตชิง	1. ไม่สามารถลดกำลังสูญเสียขณะการ turn off ได้ 2. เกิดกระแสไหลวนในอุปกรณ์สวิตช์และหม้อแปลงในช่วงฟรีวีลลิ่งจะมีค่าสูง

จากตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบจะเห็นว่าการสวิตช์คอนเวอร์เตอร์แบบ ZVS ก็ยังมีข้อเสียเวลาสวิตช์ขณะ turn off อยู่ถ้าหากจะแก้ปัญหาความสูญเสียขณะ turn off ด้วย จะต้องมีการควบคุมสัญญาณ PWM ให้มีการสวิตช์แบบ ZVZCS (Zero Voltage Zero Current Switching) ซึ่งวงจรจะมีความซับซ้อนมากขึ้น จึงเป็นเรื่องที่จะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมและทำการพัฒนาต่อไป

2.4.6 หม้อแปลงสวิตชิงความถี่สูง

หม้อแปลงสวิตชิงความถี่สูง (Switching Transformer) จัดเป็นอุปกรณ์สำคัญสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ผู้ออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจึงจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึง

1. รูปแบบที่เป็นไปได้ในลักษณะต่างๆของหม้อแปลง
2. ความเหมาะสมในการใช้งาน
3. การคำนวณขนาดของแกนเฟอร์ไรต์ และขนาดลวดทองแดง
4. ความปลอดภัยทางไฟฟ้า
5. การสูญเสียในหม้อแปลง

2.4.6.1 ส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิตชิง

หม้อแปลงสวิตชิง จะมีหน้าที่หลักในการลดทอนแรงดันไฟตรงที่อินพุตคอนเวอร์เตอร์ซึ่งอาจมีค่าสูง ให้มีค่าลดลงเป็นแรงดันไฟฟ้าค่าต่ำที่เอาต์พุตและทำให้เกิดการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตที่ได้ เพื่อป้องกันอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูด โดยส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อแปลงสวิตชิงประกอบไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิสัยสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6.1.1 แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite core)

เฟอร์ไรต์เป็นวัสดุประเภทเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic material) การเหนี่ยวนำแม่เหล็กบนแกนเฟอร์ไรต์ จะมีผลทำให้เกิดความหนาแน่นแม่เหล็กสูงกว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนแกนอากาศ โดยแกนเฟอร์ไรต์มีค่าอิมพีแดนซ์แม่เหล็กค่อนข้างสูงและเกิดการสูญเสียในตัวมันต่ำที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นหม้อแปลงสวิตชิงจึงนิยมใช้แกนเฟอร์ไรต์มากที่สุด โดยจะมีรูปร่างแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับการใช้งานและมาตรฐานการออกแบบ

2.4.6.1.2 บอบบิ้น (Bobbin)

บอบบิ้นหรือแบบรองพัน ปกติจะทำจากพลาสติกชนิดทนความร้อนได้สูงและไม่ติดไฟ โดยบอบบิ้นจะช่วยให้การพันขดลวดบนแกนเฟอร์ไรต์สะดวกขึ้น และป้องกันปัญหาการเกิดลัดวงจรระหว่างขดลวดกับแกนเฟอร์ไรต์ได้ โดยจะมีขนาดมาตรฐานตามมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์

2.4.6.1.3 ลวดทองแดงอาบน้ำยา (Enamelled Copper Wire)

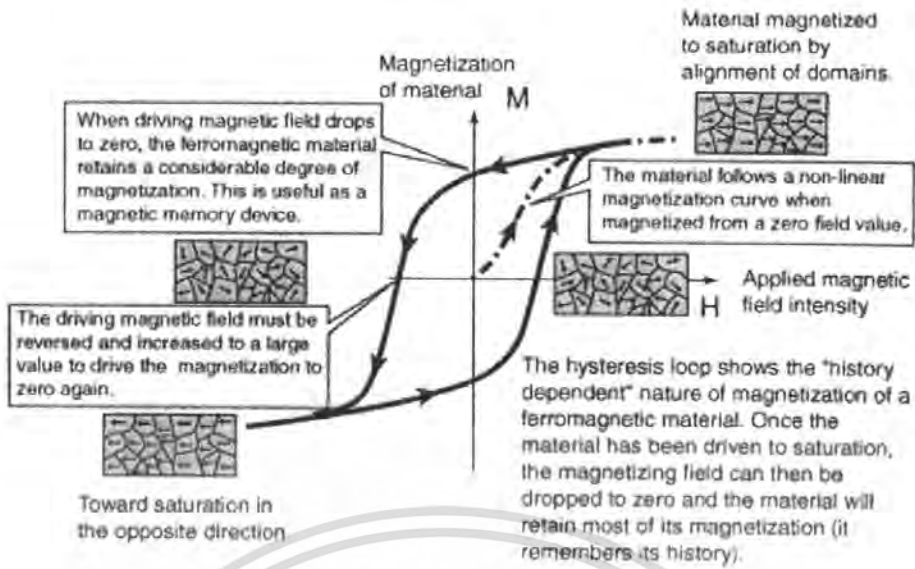
การพันขดลวด ทั้งไพรมารีและเซคันดารีของหม้อแปลงสวิตชิงที่กำลังไม่สูงนัก ปกติจะใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาพันบนแกนบอบบิ้น เพื่อให้ได้จำนวนรอบตามที่ต้องการ ขนาดของลวดขดลวดทองแดงที่พันนั้น ขึ้นอยู่กับค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านลวด ความถี่และผลข้างเคียงอื่น ๆ

2.4.6.1.4 เทปฉนวน (Insulation Tape)

เทปฉนวน จะมีหน้าที่สำหรับพันเป็นตัวรองระหว่างชั้นของขดลวดในหม้อแปลงสวิตชิง และทำการแยกส่วนทางไฟฟ้าระหว่างขดไพรมารีและขดเซคันดารีด้วยวัสดุที่ใช้ทำเป็นเทปฉนวนอาจเป็นพวกลายไมลาร์ (Mylar) หรือโพลีเอสเตอร์ (Polyester) การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบ และค่าความปลอดภัยที่ต้องการจากหม้อแปลงสวิตชิงเป็นหลัก

2.4.6.2 วงรอบฮิสเทอรีซิส (Hysteresis Loop)

ภายในเนื้อสารของเฟอร์โรแมกเนติกนั้นจะประกอบไปด้วยพื้นที่เล็กๆ ที่เรียกว่าโดเมน (Domain) ซึ่งในแต่ละพื้นที่เล็กๆ ดังกล่าวจะมีการเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็ก (Magnetic Moment) ในทิศทางเดียวกัน ทำให้สารแม่เหล็กมีค่าสูง โดยจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิคูรี (T_C : Curie Temperature) ซึ่งถ้าหากอุณหภูมิที่ใช้งานมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิคูรีจะมีผลทำให้การเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็ก กระจัดกระจายไม่เรียงตัวไปในทิศทางเดียวกัน ถ้าทำให้สารเฟอร์โรแมกเนติกเย็นตัวลง การจัดเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็ก จะเรียงตัวกันใหม่ในทิศทางที่ไม่แน่นอนทำให้ผลรวมของสนามแม่เหล็กมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นถ้าทำให้วัสดุเฟอร์โรแมกเนติกมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิคูรีจะหมายถึง การล้างแม่เหล็ก (Demagnetize) วัสดุเฟอร์โรแมกเนติกดังกล่าว



รูปที่ 2.22 การเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็ก (Magnetic Moment)



รูปที่ 2.23 การหาวงรอบฮีสเทอรีซิสของสารเฟอร์โรแมกเนติก

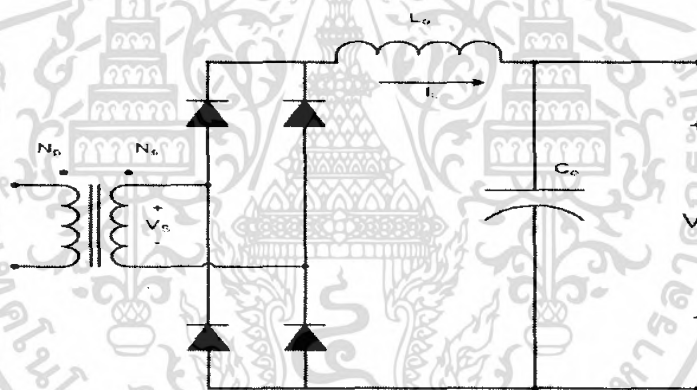
สำหรับการหาวงรอบฮีสเทอรีซิสของสารเฟอร์โรแมกเนติกจะเริ่มต้นจาก การที่ทำให้สาร มีความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิคูรี เพื่อให้โดเมนภายในสารของแม่เหล็กกระจัดกระจายไม่เรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมด จากนั้นทำการป้อนแรงเคลื่อนแม่เหล็กโดยผ่านทาง การจ่ายกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดทองแดง เมื่อกระแสไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น ก็จะทำให้โดเมนเกิดการเรียงตัวกันตามทิศทางของความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) จนกระทั่งค่าความเข้มสนาม แม่เหล็กถึงค่า H_m ซึ่งนั้นก็หมายถึงจุดที่ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กเกิดการอิ่มตัว (Saturate) ตามทางเส้นปะไปถึงจุด a ดังแสดงในรูปที่ 2.23 และเมื่อทำการลดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กลง (H=0) ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก ก็จะลดลงถึงค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง (Retentivity) ที่จุด b ซึ่งจะคงค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กตั้งนี้ตลอดไป ถึงแม้ว่าจะหยุดป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นใบเสร็จรับเงินในครั้งต่อไปว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มสนามแม่เหล็กแล้วก็ตาม และถ้าหากต้องการที่จะทำให้ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กตกค้างนี้หมดไปจะต้องทำการป้อนค่าความเข้มสนามแม่เหล็กเท่ากับ H_c (Coercive Force) ที่จุด c จากนั้นทำการกลับทิศทางการป้อนความเข้มสนามแม่เหล็กอีกครั้ง ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กก็จะเพิ่มขึ้นจากจุด d ไปจุด e ไปจุด f และสิ้นสุดที่จุด a แสดงดังรูปที่ก็จะได้ว่าวงรอบฮิสเตอร์ซิส ซึ่งวงรอบฮิสเตอร์ซิสดังกล่าวจะมีความสมมาตรกล่าวคือจะมีพื้นที่ที่ซีกบวกเท่ากับซีกลบนั่นเอง

2.4.7 วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองทางด้านออก

วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองทางด้านออก ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนหลักๆ คือ ไดโอด ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ ทั้งนี้เพราะเราต้องการได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มเติมให้กับกระบวนการที่เปลี่ยนสถานะของก๊าซให้เป็นพลาสมา เพราะแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จะทำให้เกิดให้พลาสมาคงสถานะขณะเกิดพลาสมาได้ดีกว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ในส่วนของวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองทางด้านออกสามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 แสดงส่วนของวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองทางด้านออก

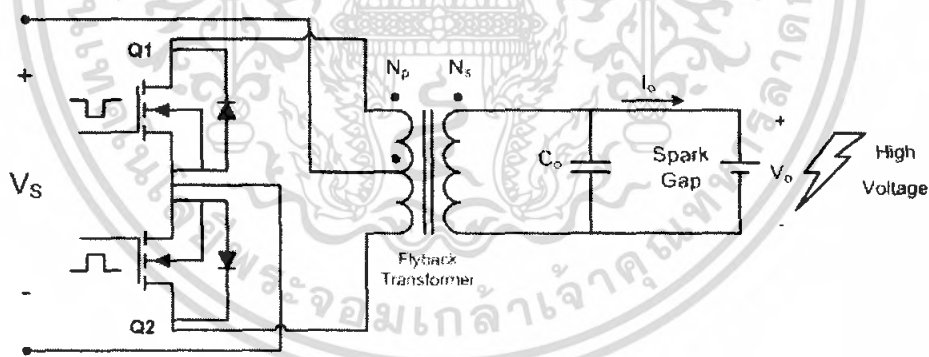
2.4.8 วงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง

ในส่วนของต้นกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงของแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา ที่ได้ออกแบบขึ้นนี้เป็นส่วนสำคัญมากส่วนหนึ่ง เพราะการทำให้เกิดอาร์คพลาสมาโดยวิธีไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงนี้นิยมใช้กันแพร่หลาย ในกรณีที่แอโนดและแคโทดไม่สามารถที่จะเคลื่อนที่เข้ามาแตะกัน เพื่อทำให้เกิดอาร์คได้เราจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงเข้าช่วย เพื่อให้เกิดอาร์คซึ่งเป็นปรากฏการณ์ของก๊าซโดยทั่วๆ ไปที่มีโอกาสจะเกิดอาร์คติดสชาร์จได้ง่าย (Arc Discharge) เมื่อได้รับไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงโดยที่อาร์คความถี่สูงที่เกิดขึ้นนี้จะทำหน้าที่เป็นแนวทางเดินให้เกิดอาร์คหลัก ที่ได้จากวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงที่ได้ออกแบบขึ้น เมื่อเกิดอาร์คในช่วงแรกแล้วในช่วงเวลาอันสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็จะทำให้เกิดอาร์คหลักรอบช่องว่างที่เป็นทางผ่านของพลาสมาก๊าซ ซึ่งถ้าเป็นลักษณะเช่นนี้เราอาจถือได้ว่า ได้เกิดอาร์คหลักคงที่พร้อมทั้งลำพลาสมา เมื่อถึงขั้นตอนนี้ก็ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงอีกต่อไป

สำหรับต้นกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงที่ได้ทดลองทำขึ้นนั้น จะทำงานในช่วงแรงดัน ประมาณ 3 กิโลโวลต์ ในช่วงความถี่ 40 กิโลเฮิรท โดยจะอาศัยหลักการของการเรโซแนนซ์ความถี่ของตัวเก็บประจุ Co และตัวเหนี่ยวนำ Lo ของ Coupling Coil จากการอาร์คของไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงที่สปาร์กแกป (Spark Gad) และเชื่อมโยงความถี่สูงออกมาใช้งานที่วงจรต้านขาออกของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงแบบฟูลบริดจ์ ในทางปฏิบัติแล้วจะใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 50 โวลต์ จ่ายให้กับวงจรแปลงผันไฟฟ้าแล้วเข้าสู่ขดลวดทางด้านปฐมภูมิและแรงไฟฟ้าดันทางด้านทุติยภูมิเป็น 3 กิโลโวลต์ เป็นต้นกำเนิดไฟฟ้าแรงสูง ในทางปฏิบัติจะใช้วงจร Flyback Converter หรือ Push-Pull Converter ในการทำงานของส่วนนี้ ซึ่งผู้จัดทำได้เลือกใช้ Push-Pull Converter เพราะมีข้อดีอยู่หลายประการคือ ในการนำกระแสแต่ละครั้งจะมีสวิตช์เพียงตัวเดียวที่นำกระแส เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานที่มีระดับแรงดันแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงค่าต่ำๆ ช่วยลดปัญหาค่าความสูญเสียที่เกิดจากการนำกระแส และสวิตช์ทั้งสองตัวมีกราวน์ร่วมกัน นอกจากนี้วงจรยังมีการแยกกันระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากับโหลดออกจากกัน เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้ แต่วงจร Push-Pull Converter นี้ก็มีข้อเสียอยู่เหมือนกันคือ ไม่สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการอิมพัลส์ของหม้อแปลงเนื่องจากไฟฟ้ากระแสตรงได้



รูปที่ 2.25 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงด้วยวงจรพุก-ฟูลคอนเวอร์เตอร์

วงจรพุก-ฟูลคอนเวอร์เตอร์ ในรูปที่ 2.25 ต้องการหม้อแปลงแบบที่มีแท็บกลางด้านปฐมภูมิ โดยจะสมมติให้กระแสไฟฟ้าดันออก i_o ไหลอย่างต่อเนื่องและ เมื่อสวิตช์ Q_1 นำกระแส และสวิตช์ Q_2 ต้องไม่นำกระแส สวิตช์ Q_1 จะนำกระแสขณะ i_o เป็นบวก และ D_1 จะนำกระแสขณะ i_o เป็นลบ ซึ่งหากไม่พิจารณาทิศทางของกระแส i_o จะได้แรงดันไฟฟ้าดันออก $V_o = V_s / n$ เมื่อ n เป็นอัตราส่วนจำนวนรอบด้านปฐมภูมิต่อรอบทุติยภูมิของหม้อแปลง ในทำนองเดียวกันเมื่อสวิตช์เมื่อสวิตช์ Q_2 นำกระแส ซึ่งสวิตช์ Q_1 ต้องไม่นำกระแส จะได้

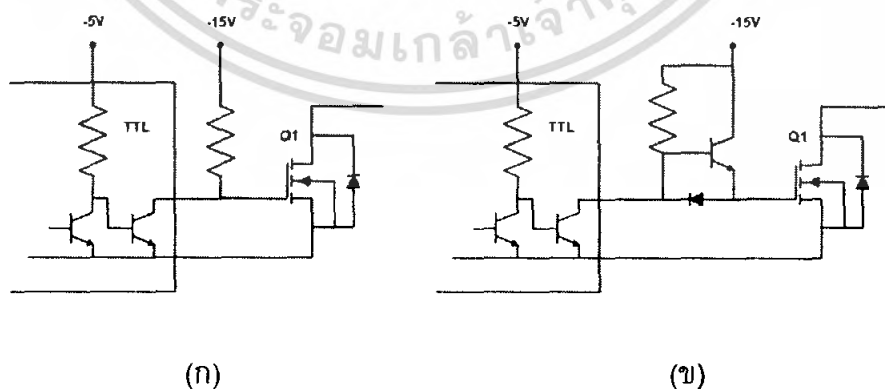
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าด้านนอก $V_o = -V_s/n$ การสปาร์กแกบสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อ สวิตช์ Q_1 และ Q_2 นำและหยุดนำกระแสจะทำให้เกิดแรงดันและกระแสตกคร่อมและไหลผ่าน C_o ทำให้เกิดการชาร์จประจุขึ้นเมื่อแรงดันรูปคลื่นต่อไปมารวมกับแรงดันที่ตกคร่อม C_o จะทำให้เกิดแรงดันที่สูงขึ้นและเกิดความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณขั้วแอโนดและแคโทดของสปาร์กแกบ ทำให้เกิดการเบรกดาวน์ผ่านอากาศแรงดันที่ C_o ก็จะคายประจุจนหมด แล้วเริ่มการเก็บประจุในรูปคลื่นต่อไป

2.4.9 วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟต

มอสเฟตกำลังเป็นสวิตช์ที่ควบคุมด้วยแรงดัน ทำให้ง่ายต่อการควบคุมให้เริ่มหรือหยุดนำกระแส มอสเฟตกำลังจะนำกระแสก็ต่อเมื่อแรงดันตกคร่อมขาเกตเทียบกับขาซอส (V_{GS}) มีค่าสูงกว่าแรงดันขีดเริ่มเป็นผลให้มอสเฟตกำลังเข้าสู่การทำงานโหมดโอห์มมิก (ohmic region) โดยทั่วไปแรงดัน V_{GS} เพื่อให้สวิตช์นำกระแสจะมีค่าอยู่ระหว่าง 10-20 โวลต์ และเพื่อให้สวิตช์ไม่นำกระแสสามารถทำได้โดยทำให้แรงดัน V_{GS} มีค่าต่ำกว่าค่าแรงดันขีดเริ่ม และในขณะที่สวิตช์นำกระแสและไม่นำกระแส กระแสที่ป้อนเข้าขาเกตจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ความเร็วในการสวิตช์หาได้จาก ความเร็วในการเก็บและคายประจุของตัวเก็บประจุแฝงด้านขาเข้าของมอสเฟตกำลัง (parasitic input capacitance) ซึ่งตัวเก็บประจุแฝงจะทำการสะสมประจุเพื่อให้สวิตช์นำกระแสและต้องทำการคายประจุเพื่อทำให้สวิตช์ไม่นำกระแส

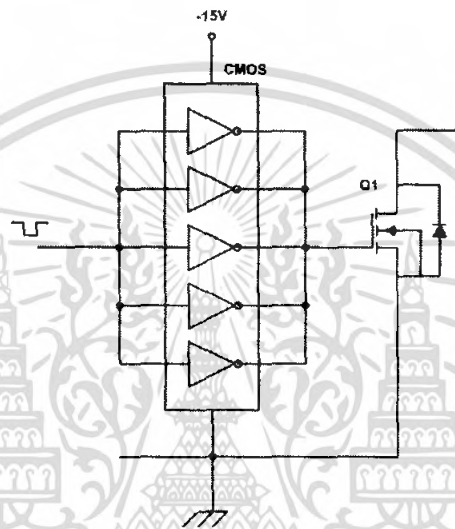
วงจรขับเกตมอสเฟตกำลังจะต้องสามารถจ่ายกระแสและดึงกระแสได้อย่างรวดเร็ว เพื่อให้มอสเฟตกำลังสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูง ตัวอย่าง เช่น การขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วย ไอซี TTL โดยการขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วย ไอซี TTL โดยตรงนั้นสามารถทำได้แต่ไอซี TTL มีขีดจำกัดในการจ่ายกระแสและรับกระแสที่เอาท์พุท ซึ่งมีผลต่อความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟตและทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียสูงได้ การต่อวงจรขับชนิดนี้จึงจำเป็นต้องเพิ่มตัวอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อช่วยในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟตเป็นไปอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.26 แสดงการขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยไอซี TTL

รูปที่ 2.26 (ก) แสดงวงจรขับด้วยไอซี TTL ที่มีเอาต์พุตเป็นแบบคอลเล็กเตอร์เปิด การต่อพูล์อัฟฟริชเตอร์เข้าช่วย เพื่อให้มีแรงดันสูงพอที่จะขับเพาเวอร์มอสเฟตให้ทำงานและการหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตเป็นไปได้อย่างรวดเร็วขึ้น แต่ความเร็วขณะเริ่มนำกระแสยังมีค่าจำกัดอยู่เนื่องจากกระแสยังถูกจำกัดด้วยพูล์อัฟฟริชเตอร์

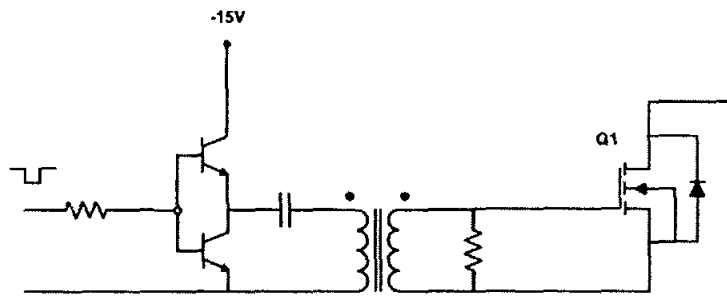
รูปที่ 2.26 (ข) ทรานซิสเตอร์จะช่วยในการจ่ายกระแสได้มากขึ้นทำให้ความเร็วในการนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตดีขึ้น และลดกำลังสูญเสียในตัว ไอซี TTL ด้วยและวงจรขับจะเพิ่มทรานซิสเตอร์เข้ามาอีกหนึ่งตัว เพื่อให้การคายประจุที่ขาเกิดเป็นไออย่างรวดเร็วและทำให้ความเร็วขณะเริ่มหยุดนำกระแสเป็นไปได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น



รูปที่ 2.27 แสดงการขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยไอซี CMOS

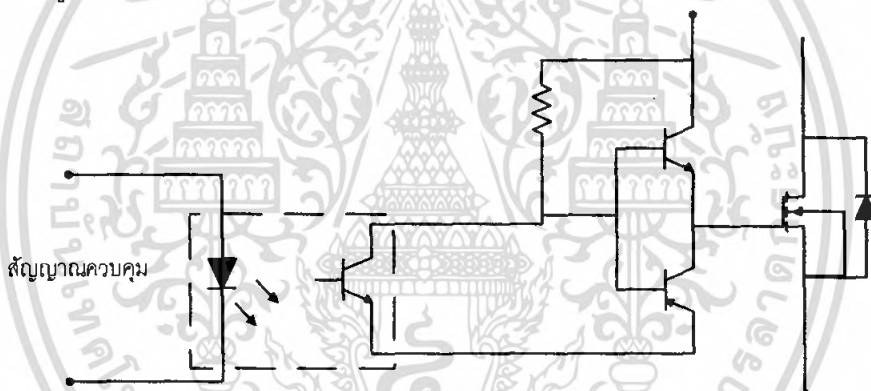
วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยไอซี CMOS เพาเวอร์มอสเฟตสามารถต่อโดยตรงเข้ากับไอซี CMOS ได้ในส่วนเอาต์พุตของไอซี COMS จะเป็นเฟดต่อกันในลักษณะคอมพลิเมนต์ารี ซึ่งสามารถทำงานได้ที่แรงดันไฟเลี้ยงตั้งแต่ 3 ถึง 8 โวลต์ โดยทั่วไปจะใช้ 12 ถึง 15 โวลต์ เพื่อให้เหมาะสมการขับเพาเวอร์มอสเฟต สำหรับการขับเพาเวอร์มอสเฟตที่ต้องนำกระแสสูงๆ การต่อ CMOS ในลักษณะขนานกันจะสามารถเพิ่มกระแสที่ขาเกิด และทำให้ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟตเป็นไปได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น

การแยกจากกันทางไฟฟ้า (Electrical Isolation) ระหว่างมอสเฟตกับวงจรควบคุม (Control Circuit) มีความจำเป็นมากเพราะระดับแรงดันที่แตกต่างกันมากระหว่างวงจรควบคุมกับวงจรกำลัง (Power Circuit) สำหรับวงจรที่ใช้ในการแยกจากกันทางไฟฟ้าโดยมากจะ ได้แก่การเชื่อมต่อทางแม่เหล็ก (Magnetically Coupled) และการเชื่อมต่อทางแสง (Optically Coupled)



รูปที่ 2.28 แสดงวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยหม้อแปลง

การแยกจากกันทางไฟฟ้าโดยอาศัยการเชื่อมต่อทางแม่เหล็ก จะใช้หม้อแปลงแยกกราวด์ (Separated ground transformer) เป็นตัวเชื่อมต่อวงจรทำในลักษณะดังรูปที่ 2.39 ซึ่งตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่กับหม้อแปลงไฟฟ้าจะใช้สำหรับป้องกันไฟฟ้ากระแสตรง หรือดีซีออฟเซต (DC offset) ส่วนการแยกจากกันทางไฟฟ้าโดยอาศัยการเชื่อมต่อทางแสงนั้น จะใช้วงจรออปโตคัปเปิลเลอร์ (Opto-coupler) ซึ่งมีไอซี TLP250 เป็นหัวใจสำคัญของของวงจร ลักษณะของวงจรแสดงดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 การแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างวงจรควบคุมกับวงจรกำลังด้วยการเชื่อมต่อทางแสง

2.4.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์

dsPIC มีชื่ออย่างเป็นทางการว่า Digital Signal Controller หรือ DSC ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่องานประมวลผลสัญญาณดิจิทัลสำหรับควบคุมระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีความสามารถสูง

2.4.10.1 คุณสมบัติเด่นโดยรวมของ dsPIC30F1010

2.4.10.1.1 คุณสมบัติของชิพียู

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ชิพียูแบบ RISC
- ชุดคำสั่งมีขนาด 24 บิต สามารถประมวลผลข้อมูลได้ 16 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีหน่วยความจำแบบแฟลชความจุ 6 กิโลไบต์ สามารถลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 100,000 ครั้ง
- มีหน่วยความจำข้อมูลแรม 256 ไบต์
- รีจิสเตอร์ W จัดในรูปแบบของอะเรย์ มีขนาด 16 บิตจำนวน 16 ตัว
- สามารถทำงานได้ถึงความเร็ว 30 MIPS
- สามารถใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกา RC ภายในได้ 2 รูปแบบ
- 9.7 MHz และ 14.55 MHz ($\pm 1\%$) อุณหภูมิในอุตสาหกรรม
- 6.4 MHz และ 9.7 MHz ($\pm 1\%$) อุณหภูมิทั่วไป
- มีวงจรเฟสล็อกกลุ่ม 32 เท่า ทำงานที่ความถี่สัญญาณนาฬิกา 480 MHz
- สามารถใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก EC ตั้งแต่ 6.0 – 14.55 MHz
- ความถี่สัญญาณนาฬิกา HS ตั้งแต่ 6.0 – 14.55 MHz
- มีแหล่งกำเนิดอินเทอร์พรีตเวกเตอร์ 32 แหล่ง
- เลือกระดับความสำคัญอินเทอร์พรีตได้ถึง 8 ระดับ

2.4.10.1.2 โมดูล Power Supply PWM

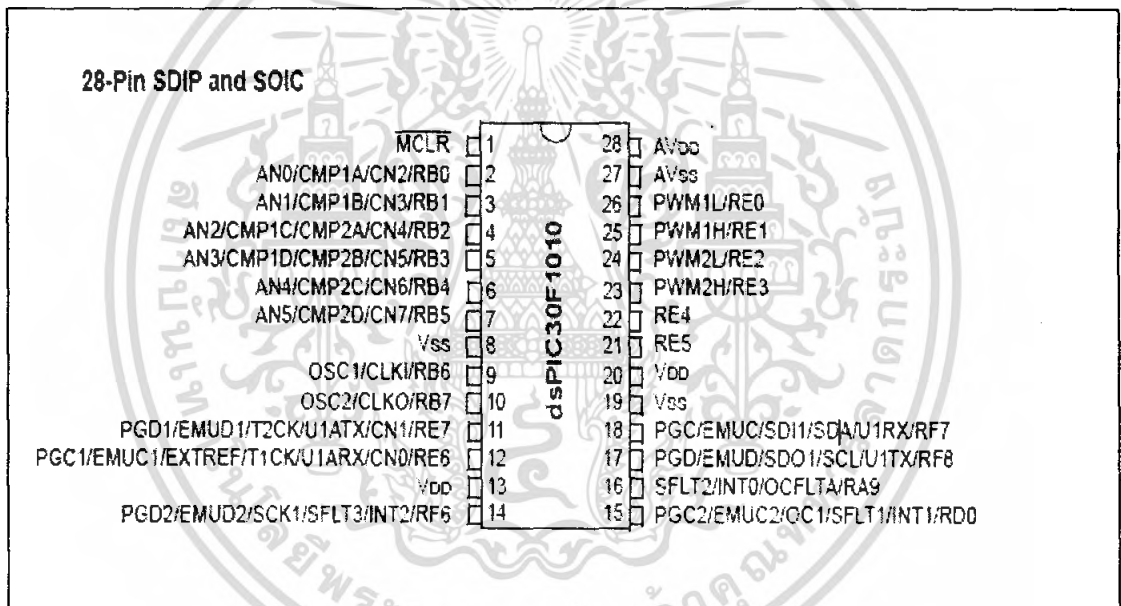
- มีแหล่งกำเนิดสัญญาณ PWM 2 แหล่ง 4 เอาต์พุต
- แหล่งกำเนิดสัญญาณ PWM แต่ละตัวสามารถกำหนดฐานเวลาและ duty cycle ได้อิสระ
- ความละเอียดของ duty cycle 1.1 ns ที่ 30 MIPS
- มีแหล่งกำเนิด dead time สำหรับสัญญาณ PWM
- ความละเอียดของ dead time 4.2 ns ที่ 30 MIPS
- สามารถกำหนด dead time ได้ทั้งขอบสัญญาณขาขึ้น และขอบสัญญาณขาลง
- ความละเอียดของการเลื่อนเฟส 4.2 ns ที่ 30 MIPS
- ความละเอียดของความถี่ 8.4 ns ที่ 30 MIPS
- โหมดการทำงานของ PWM
 - Complementary
 - Push-Pull
 - Multi-Phase
 - Variable Phase
 - Current Reset
 - Current-Limit
- มีโหมดกำหนดการทำงานของขาพอร์ตเอาต์พุตของโมดูล Power Supply PWM โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีสัญญาณกระตุ้นพิเศษ-ของโมดูล PWM
- มีสัญญาณกระตุ้นของโมดูล PWM เพื่อให้ โมดูล ADC ทำงาน

2.4.10.1.3 โมดูล 10-bit 2 Msps Analog-to-Digital Converter (ADC)

- มีความละเอียด 10 บิต จำนวน 6 ช่อง
- มีอัตราเร็วในการสุ่มสัญญาณสูงสุด 2000 กิโลแซมเปิลต่อวินาที (Ksps) หรือ 2,000,000 จุดตัวอย่างต่อวินาที
- สามารถใช้ในการควบคุมรูปของการทำงาน PWM โดยเปิดการทำงานพร้อมกับโมดูล PWM ได้
- แต่ละขาพอร์ตการแปลงสัญญาณมีแหล่งรับสัญญาณกระตุ้นจากโมดูล PWM
- มีการทำงานของอินเทอร์พรีตทางฮาร์ดแวร์ สามารถเกิดได้มากถึง 1 ล้านครั้งต่อวินาที



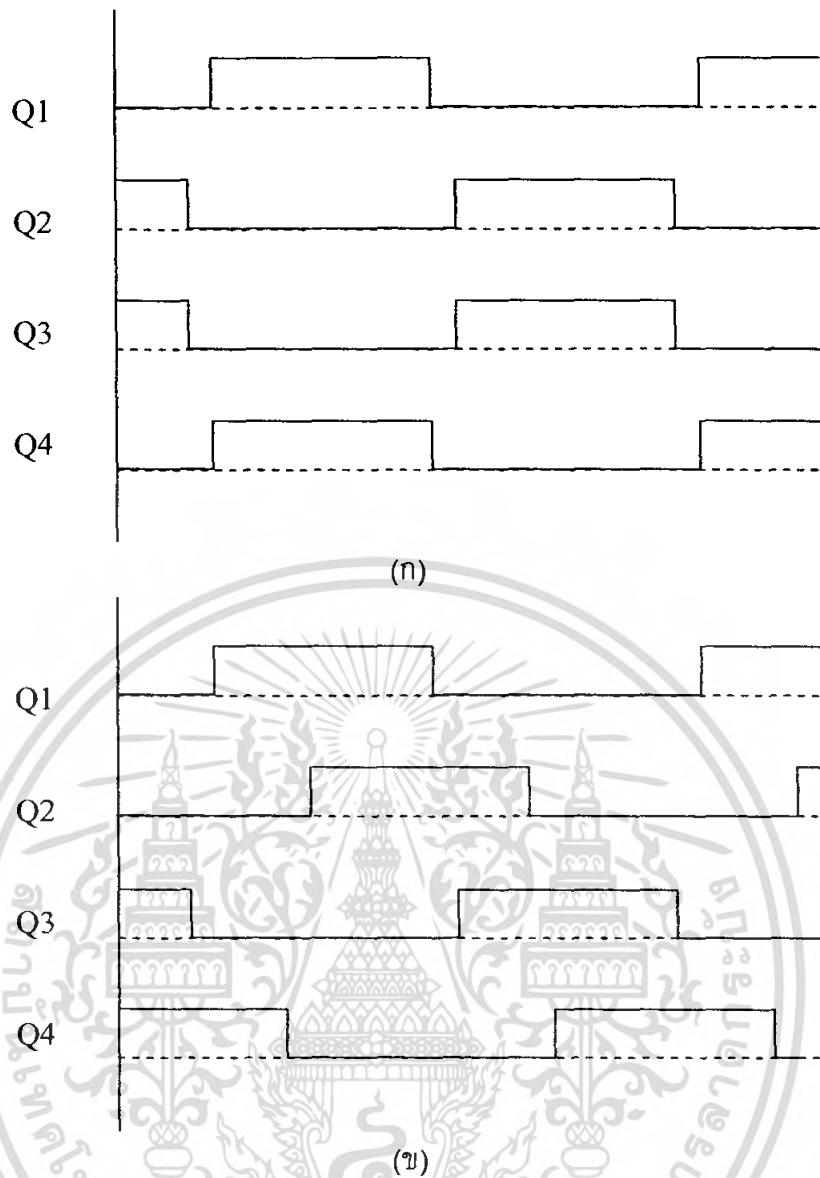
รูปที่ 2.30 การจัดขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F1010

2.4.10.2 ขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F1010

วงจรควบคุมที่ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F1010 จะทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณเพื่อขับมอเตอร์ โดยสัญญาณจะมีลักษณะที่มีการเลื่อนเฟส เพื่อปรับแรงดันและทำให้มีกระแสในการตัดที่คงที่สัญญาณที่ออกจากวงจรจะไม่สามารถขับมอเตอร์ได้โดยตรงต้องมีการต่อไปยังวงจรขับก่อน เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณ จึงจะสามารถขับมอเตอร์ได้

โดยในส่วนของโปรแกรมจะมีหลักการทำงานคือ ทำการรับค่า กระแสก่อนเข้าวงจร ฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่ได้จากการ วัดโดย Current Sensor จากนั้นเข้าส่วนในการแปลงค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 สัญญาณการควบคุมการทำงานของมอสเฟต

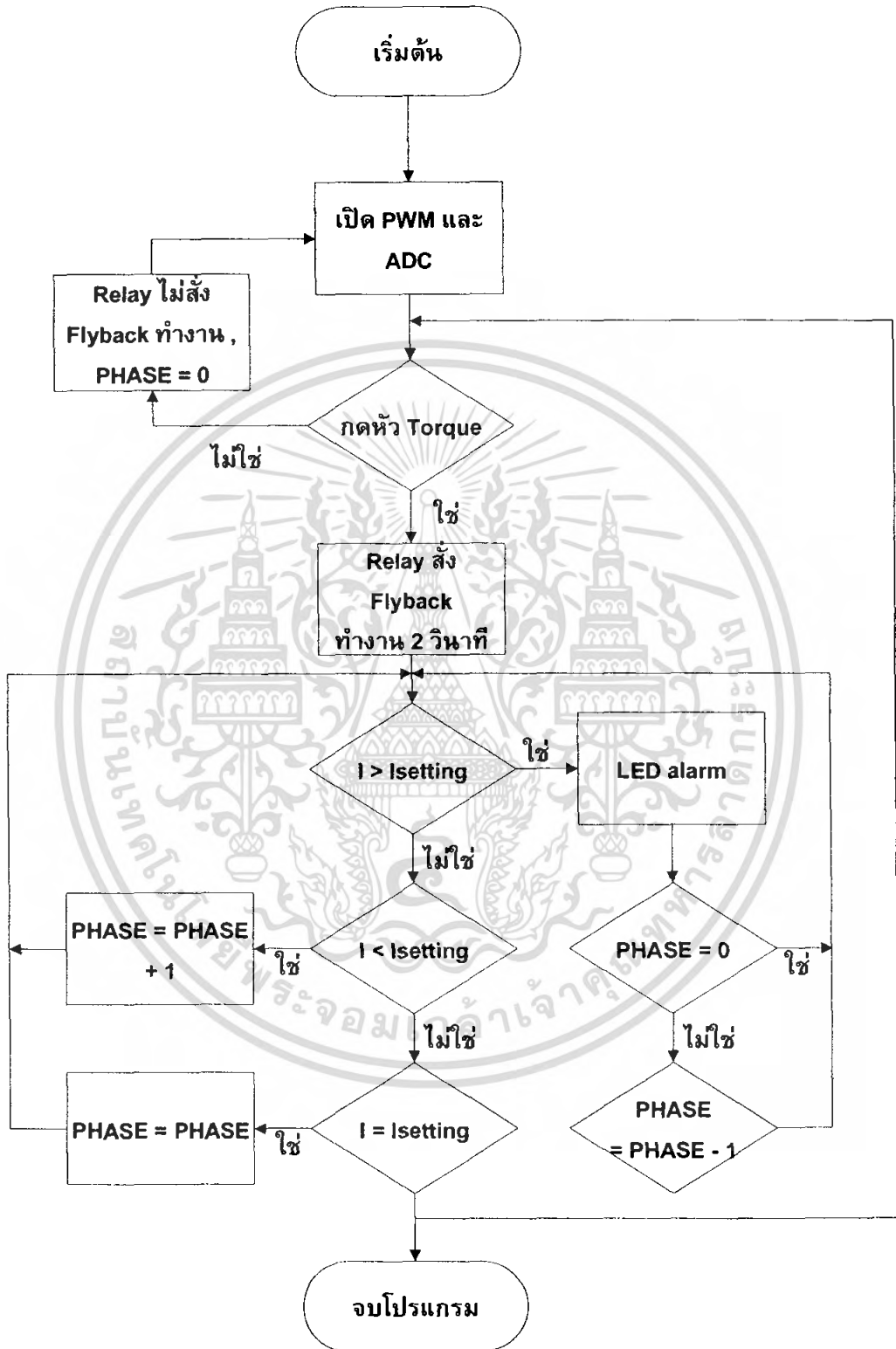
(ก) รูปสัญญาณก่อนทำการเลื่อนเฟส

(ข) รูปสัญญาณหลังทำการเลื่อนเฟส

analog เป็น ค่า digital ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับค่าแล้ว จะนำค่าไปใช้ตรวจสอบ ตามเงื่อนไขที่ได้เขียนโปรแกรมไว้คือ นำมาตรวจสอบว่าค่ากระแสและแรงดันมีพิกัดเกินที่กำหนดหรือไม่ ถ้าเกินจะให้วงจรหยุดการทำงานเพื่อป้องกันการเสียหายแก่วงจร หากค่ากระแสไม่เกินที่กำหนดจะทำการปรับ ให้สัญญาณมีการเลื่อนเฟสเพื่อปรับให้ค่ากระแสของเครื่องมีค่าคงที่ตามที่ต้องการ โดยหากกระแสน้อยกว่าที่กำหนดจะทำการปรับให้สัญญาณ Q1, Q2 มีช่วงที่ทำงานพร้อมกันนานขึ้น แต่หากกระแสมีค่ามากจะทำการปรับให้เวลาในการทำงานพร้อมกันของ Q1, Q2 ลดลง ส่วน Q3, Q4 ก็มีหลักการเช่นเดียวกันกับการปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q1, Q2 โดยห้ามมีช่วงเวลาที่ Q1, Q3 ทำงานพร้อมกัน และ Q2, Q4 ทำงานพร้อมกัน เพราะจะทำให้เกิดความเสียหายแก่มอสเฟตได้



รูปที่ 2.32 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมการสร้างสัญญาณแบบเลือนเฟสเพื่อขับ วงจรขับมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 หัวคอปลาสมา (Torch)

วัสดุที่นิยมใช้เป็นขั้วไฟฟ้าในต้นกำเนิดอาร์คพลาสมา มี 3 ชนิด คือ ทังสเตน ทองแดง และแกรไฟต์ ตามปกติจะใช้ทังสเตนเป็นขั้วไฟฟ้าลบ และทองแดงเป็นขั้วไฟฟ้าบวก ทังสเตนที่ใช้จะเป็นโลหะทังสเตนบริสุทธิ์ หรือจะมีทอเรียม (Thorium) หรือเซอร์โคเนีย (Zirconia) ปนอยู่ก็ได้ เหตุที่นิยมใช้ทังสเตนเป็นขั้วไฟฟ้า เพราะทังสเตนมีคุณสมบัติให้อิเล็กตรอนได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน (Thermal Emission) และมีจุดหลอมตัวสูง ส่วนทองแดงนั้นนิยมใช้เนื่องจากนำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี ข้อเสียของทองแดงคือ มีจุดหลอมตัวต่ำ ($1,083^{\circ}\text{C}$) การใช้ทองแดงเป็นขั้วไฟฟ้าจึงต้องมีการระบายความร้อนให้เพียงพอ หรือมีกลไกมาหมุนตรงบริเวณที่รองรับอาร์ค เพื่อกระจายความร้อนมิให้ได้รับมากเกินไปจนเกิดหลอมละลายได้ ถ้ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ไม่สูงนัก อาร์คก๊าซที่ใช้จะระบายความร้อนได้พอเพียงอยู่แล้ว เรายินยมใช้แกรไฟต์เป็นขั้วไฟฟ้าเนื่องจากนำไฟฟ้าได้ดี แต่งรูปเป็นเบ้าได้สะดวก แต่มีข้อเสียคือ ที่อุณหภูมิสูงแกรไฟต์จะกลายเป็นไอได้ง่าย ในการใช้งานจะต้องมีการระบายความร้อนจากขั้วไฟฟ้า หรือหมุนขั้วไฟฟ้าตลอดเวลา และจะมีไอของแกรไฟต์ปน อยู่ในลำพลาสมาเสมอ

การออกแบบลักษณะขั้วไฟฟ้ามีความสำคัญมากในการใช้งานต้นกำเนิดพลาสมา เนื่องจากการออกแบบที่ไม่เหมาะสมจะทำให้อาร์คไม่ทั่วถึง เป็นผลทำให้พลาสมาที่เกิดขึ้นไม่มีเสถียรภาพ โดยปกติจะออกแบบให้ขั้วไฟฟ้านั้นมีลักษณะเป็นแท่ง และอีกด้านหนึ่งเป็นวงแหวนหรือรูปทรงกระบอก พลาสมาที่ก๊าซจะผ่านเข้ามารอบๆ ขั้วไฟฟ้าผ่านอาร์คแล้วพุ่งผ่านรูของขั้วไฟฟ้าที่เจาะไว้ออกไปด้านนอก หรือผ่านอาร์คในบริเวณที่มีช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองที่น้อยที่สุด ในกรณีที่ขั้วไฟฟ้าอีกด้านหนึ่งเป็นรูปวงแหวนหรือรูปทรงกระบอกตามลำดับ หัวคอปลาสมาทั่วไปจะใช้แท่งทังสเตนเป็นขั้วไฟฟ้าลบ และใช้ทรงกระบอกหรือวงแหวนทำด้วยทองแดงเป็นขั้วไฟฟ้าบวก แท่งแกรไฟต์ถ้าใช้เป็นขั้วไฟฟ้าจะทำหน้าที่เป็นขั้วบวกเสมอ ในบางกรณีจะออกแบบให้ขั้วไฟฟ้ามีลักษณะเป็นรูปวงแหวนที่มีแนวจุดศูนย์กลางร่วมกัน หรือลักษณะเป็นวงแหวนที่ขนานกันก็ได้

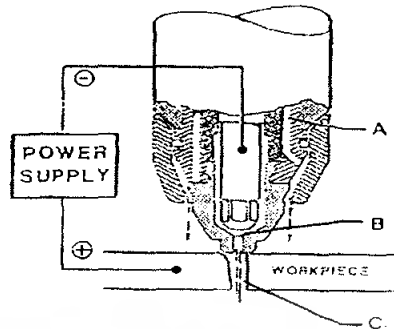
ทังสเตน

ตามปกติแล้วจะใช้ทังสเตนเป็นขั้วไฟฟ้าลบ ทังสเตนที่ใช้จะเป็นโลหะบริสุทธิ์ หรือจะมีทอเรียมหรือเซอร์โคเนียปนอยู่ด้วย เหตุที่ใช้ทังสเตนเป็นขั้วไฟฟ้า เพราะทังสเตนมีคุณสมบัติให้อิเล็กตรอนเมื่อได้รับความร้อน (Thermionic Emission) ได้ง่ายและมีจุดหลอมตัวสูง

ทองแดง

ตามปกติจะใช้ทองแดงเป็นขั้วไฟฟ้าบวก โดยจะนิยมใช้เนื่องจาก นำความร้อน และนำไฟฟ้าได้ดี ข้อเสียของทองแดงคือมีจุดหลอมตัวต่ำ การใช้ทองแดงเป็นขั้วไฟฟ้าจึงต้องมีการระบายความร้อนได้เพียงพอ หรือมีกลไกมาหมุนตรงบริเวณที่รองรับอาร์ค เพื่อกระจายความร้อนมิให้ได้รับมากเกินไปจนเกิดหลอมละลายได้ถ้ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ไม่สูงมากนัก ถ้ากำลังไฟฟ้าไม่สูงมากนัก จะใช้ก๊าซที่นำมาทำเป็นพลาสมาที่ก๊าซ การออกแบบลักษณะขั้วไฟฟ้ามีความสำคัญมากในงานต้นกำเนิดพลาสมา เนื่องจากการออกแบบที่ไม่เหมาะสม จะทำให้เกิดอาร์คไม่ทั่วถึง เป็น

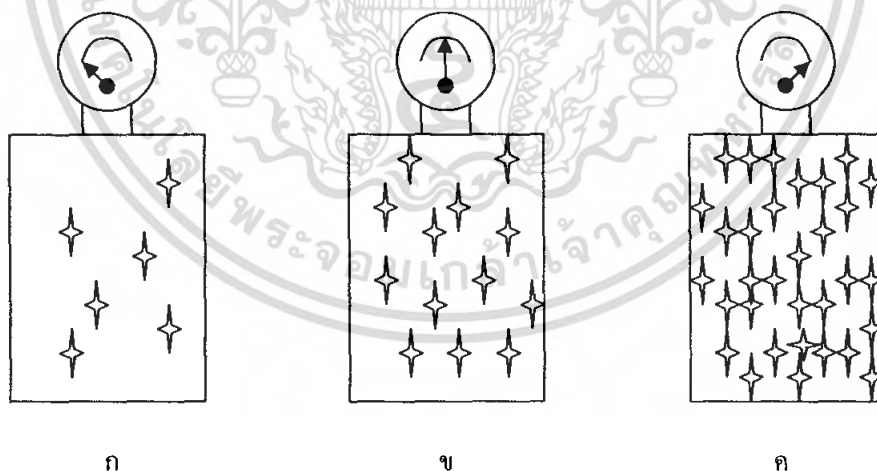
ผลให้พลาสมาที่เกิดขึ้นไม่เสถียรภาพ โดยปกติจะออกแบบให้ขั้วไฟฟ้าด้านหนึ่งมีลักษณะเป็นแท่ง อีกด้านหนึ่งเป็นวงแหวน หรือรูปทรงกระบอก ดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 แสดงหัวคัปพลาสมา

พลาสมาก๊าซจะผ่านเข้ามารอบๆ ขั้วไฟฟ้าผ่านอาร์ค แล้วพุ่งผ่านรูขั้วไฟฟ้า ที่เจาะไว้ ออกไปด้านนอก Zone A เพื่อเป็นการระบายความร้อนออกจากคัปพลาสมา อีกส่วนหนึ่งจะผ่านบริเวณขั้วไฟฟ้าทั้งสอง Zone B ใน Zone C นั้นเป็น Zone ที่ก๊าซถูกเปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมาโดยสมบูรณ์ และอุณหภูมิที่สูงของพลาสมาที่เกิดขึ้นได้ถูกส่งผ่านไปยังชิ้นงาน

2.6 เครื่องอัดอากาศ (Air compressor)



รูปที่ 2.34 แสดงโมเลกุลและความดันของก๊าซ

เครื่องอัดอากาศ (Air compressor) จะทำหน้าที่ผลิตลม เพื่อที่จะนำมาใช้เป็นพลาสมา ก๊าซ โดยจะเพิ่มความดันของอากาศ หรือก๊าซให้สูงขึ้น โดยที่ความดันของก๊าซ จะมีผลโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับอุณหภูมิของก๊าซ นั่นคือ เมื่อความดันของก๊าซเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของก๊าซก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน เราสามารถอธิบายได้จากรูปที่ 2.34

จากรูปที่ (ก) แสดงภาพของโมเลกุลในบรรยากาศ โมเลกุลเคลื่อนที่แต่ความเร็วไม่ถึง ดังนั้นแรงกระแทกผนังจึงน้อยเพิ่มความดันจึงขึ้นน้อย

จากรูปที่ (ข) แสดงภาพของโมเลกุลในบรรยากาศเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลจะเคลื่อนที่รวดเร็วยิ่งขึ้น จึงทำให้แรงกระแทกสูงขึ้น เข้มความดันจึงสูงขึ้น และถ้าเปิดภาชนะโมเลกุลก็จะออกมาจากภาชนะ

จากรูปที่ (ค) ก๊าซถูกอัด ความหนาแน่นสูงขึ้น ทำให้เกิดแรงกระแทกสูงกระทำกับฝาผนัง มีผลทำให้ความดันสูงขึ้น

คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศ ก่อนที่จะถูกอัดเครื่องอัดอากาศนั้นจะประกอบด้วย 1 ส่วนออกซิเจน และ 4 ส่วนไนโตรเจนโดยปริมาตร ซึ่งรายละเอียดขององค์ประกอบของอากาศแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงองค์ประกอบของอากาศ

องค์ประกอบของอากาศ	ไนโตรเจน (N_2)	ออกซิเจน (O_2)	อาร์กอน (A_r)	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	ไอน้ำ ฝุ่น น้ำมัน ฯลฯ
ร้อยละโดยปริมาตร (%)	79.09	20.95	0.93	0.03	มีบ้าง
ร้อยละโดยน้ำหนัก (%)	75.53	23.14	1.28	0.05	มีบ้าง

ถ้าคิดอย่างละเอียดแล้วจะพบว่า อากาศเป็นก๊าซผสมซึ่งประกอบด้วย ไนโตรเจน ออกซิเจนและก๊าซเฉื่อย ดังนั้นจากการศึกษา พบว่าอากาศที่ผ่านการอัดด้วยเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) มีความเหมาะสมอย่างยิ่งที่เราจะนำมาเป็น พลาสมาก๊าซ สำหรับเป็นต้นกำเนิดความร้อน และสำหรับงานวิจัยนี้จะใช้พลาสมาก๊าซจากเครื่องอัดอากาศที่ความดันประมาณ 3.1 – 6.5 บาร์

2.7 ทฤษฎีการออกแบบ

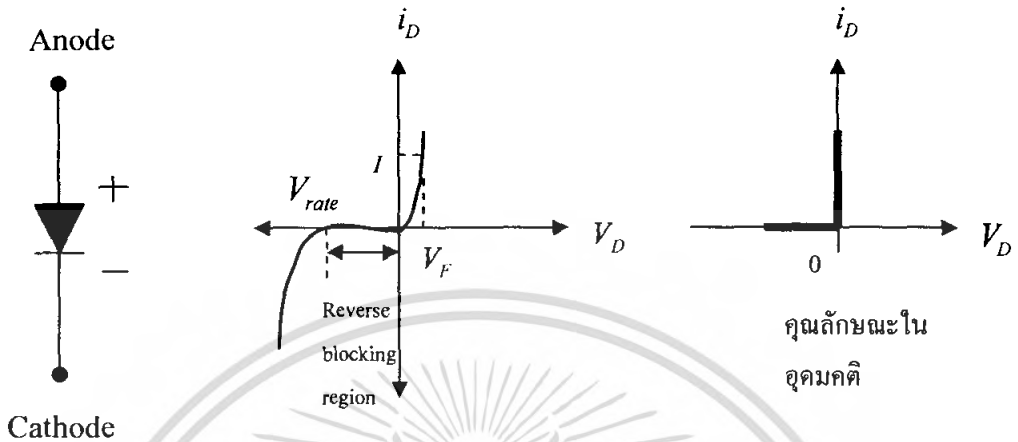
2.7.1 การออกแบบไดโอดเรียงกระแสและตัวเก็บประจุกรองกระแสในวงจรเรียงกระแสความถี่ต่ำ

2.7.1.1 ไดโอดเรียงกระแส

ไดโอดเป็นสวิตช์ขั้วอิเล็กทรอนิกส์ที่ง่ายที่สุด ดังรูปที่ 2.35 แสดงถึงสัญลักษณ์ของไดโอด และคุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าขณะในสภาวะทำงานอยู่ตัว (Steady-State) เมื่อไดโอดถูกไบอัสไปข้างหน้า (Forward Biased) ไดโอดจะนำกระแสโดยมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม

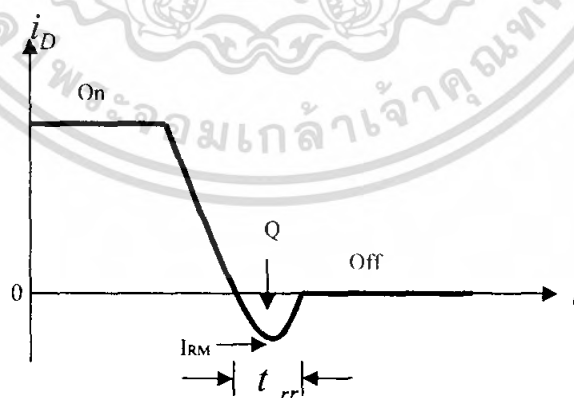
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กน้อยระดับหนึ่งโวลต์ และเมื่อไดโอดถูกไบอัสย้อนกลับ (Reverse Biased) จะมีกระแสรั่วขนาดเล็กน้อยมากจนอาจถือได้ว่าไม่มีกระแสไหลผ่านตัวไดโอด จนกระทั่งถึงจุดแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ย้อนกลับ (Reverse Breakdown Voltage) ซึ่งในทางปฏิบัติจะต้องออกแบบให้ไดโอดไม่ทำงานจนถึงแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ย้อนกลับเพื่อความปลอดภัย



รูปที่ 2.35 สัญลักษณ์ คุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าของไดโอด

สำหรับคุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าแบบอุดมคตินั้น เช่น ในขณะที่ไดโอดนำกระแส และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอดจะมีค่าเป็นศูนย์ในแบบอุดมคติและขณะที่ไดโอดไม่นำกระแสหรือในช่วงไดโอดถูกไบอัสย้อนกลับไดโอดจะต้องสามารถทนแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับได้สูงมาก ซึ่งเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ในการทำงานของตัวแปลงกำลังแต่ไม่ใช้สำหรับการออกแบบสำหรับใช้งานจริง



รูปที่ 2.36 ไดโอดขณะหยุดนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อไดโอดเริ่มนำกระแส อาจพิจารณาได้ว่าเป็นการสวิตช์ซึ่งในอุดมคติเพราะว่าช่วงเวลาเริ่มนำกระแส (Turn-on Time) จะเร็วมากเมื่อเทียบกับช่วงเวลาภาวะช่วงกู่ (Transient) ในวงจรกำลัง แต่ในช่วงเวลาหยุดนำกระแส (Turn-off Time) จะมีกระแสไดโอดย้อนกลับในช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับ (Reverse Recovery Time, t_{rr}) ดังแสดงในรูปที่ 2.36 ก่อนที่จะกลับสู่ศูนย์ โดยกระแสฟื้นตัวย้อนกลับ (ค่าเป็นลบ) จะกวาดล้างประจุในไดโอดให้หมดไปและเพื่อป้องกันแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับได้ กระแสฟื้นตัวย้อนกลับจะมีผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน (Over Voltage) ในวงจรที่มีความเป็นเหนี่ยวนำ วงจรส่วนใหญ่ค่ากระแสฟื้นตัวย้อนกลับจะไม่ค่อยมีผลต่อคุณลักษณะด้านเข้าและด้านออกของตัวแปลงกำลัง ดังนั้นไดโอดจะถูกพิจารณาเสมือนเป็นอุดมคติในช่วงขณะไม่นำกระแส โดยไดโอดจะแบ่งชนิดของไดโอดออกตามความต้องการในการประยุกต์ใช้งาน จะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1. **Schottky Diodes** มักจะใช้เมื่อต้องการแรงดันไฟฟ้าดกคร่อมและเวลาฟื้นตัวย้อนกลับน้อยๆ ในประจันแรงดันขณะกระแสจะมีค่าประมาณ 0.3 โวลต์ ในขณะที่เวลาฟื้นตัวย้อนกลับโดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในหน่วยนาโนวินาที ซึ่งมักจะใช้ในวงจรแรงดันไฟฟ้าด้านออกต่างๆ ไดโอดนี้จะทนแรงดันไฟฟ้าได้ระดับ 50 - 100 โวลต์ และพิกัดไฟฟ้าประมาณ 300 แอมป์

2. **ไดโอดฟื้นตัวเร็ว (Fast-recovery หรือ High speed diode)** มักจะใช้ในวงจรสวิตช์ความถี่สูงสำหรับวงจรแปลงผันกำลัง และใช้คู่กับสวิตช์แบบควบคุมได้ที่ต้องการเวลาฟื้นตัวย้อนกลับน้อยๆ ไดโอดกำลังขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้า 6,000 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 1,100 แอมป์จะมีค่าเวลาฟื้นตัวย้อนกลับประมาณ 0.1-5 ไมโครวินาที

2. ไดโอดความถี่ต่ำ (Line-Frequency Diodes หรือ General Purpose Diode)

ไดโอดชนิดนี้ถูกออกแบบสำหรับใช้งานที่ความถี่ต่ำ เช่น ความถี่ไฟฟ้าในบ้าน 50 เฮิรท์ และมักจะออกแบบให้แรงดันไฟฟ้าดกคร่อมไดโอดต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ ผลของไดโอดใช้งานที่ความถี่ต่ำทำให้มีช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับยาว แต่ในช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับของไดโอดดังกล่าวจะสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับคาบเวลาของความถี่ไฟฟ้าในบ้าน หรือความถี่ต่ำ ปัจจุบันไดโอดมีพิกัดแรงดันไฟฟ้า 6,000 โวลต์ และพิกัดกระแสไฟฟ้า 4,500 แอมป์

การเลือกใช้ไดโอดเรียงกระแสให้เหมาะสมนั้นควรมีข้อควรพิจารณาดังนี้

1) ค่ากระแสกระชาก (I_{fsm})

กระแสกระชากสูงสุดที่ไหลผ่านไดโอดเรียงกระแสจะเกิดขึ้นในขณะที่เปิดเครื่อง เมื่อตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ยังไม่มีประจุสะสมอยู่ ค่ากระแสกระชากสูงสุดคำนวณได้จาก

$$I_{fsm} = \frac{V_p}{R_s + ESR} \quad (2.1)$$

เมื่อ V_p คือ แรงดันยอดสูงสุดของไฟสลับอินพุต

ERS คือ ค่าความต้านทานแฝงในตัวเก็บประจุค่าต่ำสุด

R_s คือ ค่าของตัวต้านทานจำกัดกระแส

โดยทั่วไปแล้วไดโอดเรียงกระแสจะมีค่าอัตราทนกระแสกระแสชาก I_{fsm} ประมาณ 20 ถึง 30 เท่า ของอัตราทนกระแสเฉลี่ยขณะถูกไบแอสตรงของมัน โดยไดโอดที่ใช้จะต้องมีอัตราทนกระแสกระแสชากมากกว่าค่ากระแสที่คำนวณได้จากสมการ ค่ากระแสการชากอาจลดลงได้โดยการเพิ่มค่าของ R_s แต่จะทำให้เครื่องมีประสิทธิภาพลดลงเนื่องจากเกิดกำลังสูญเสียในตัวต้านทาน

2) ค่ากระแสสูงสุดเมื่อถูกไบแอสตรง (I_{fsm})

ค่ากระแสสูงสุดที่เกิดขึ้นในวงจรเรียงกระแส จะเกิดขึ้นในจังหวะที่ตัวเก็บประจุรองกระแสมีการเก็บประจุอีกครั้งหลังจากคายประจุออกไปให้โหลด ค่ากระแสสูงสุดเมื่อถูกไบแอสตรงของไดโอดเรียงกระแส สามารถหาได้จากค่ากระแสสูงสุดของตัวเก็บประจุรองกระแส

3) ค่ากระแสเฉลี่ยเมื่อถูกไบแอสตรง (I_{fsm})

เป็นค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุดที่ไดโอดเรียงกระแสจะได้รับในขณะที่ทำงาน หรือนำกระแสการพิจารณากระแสนี้ทำได้โดยใช้กราฟ ในทางปฏิบัติควรเผื่อค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุด I_{fsm} ของไดโอดไว้ที่ประมาณ 1.5 ถึง 2 เท่าจากที่คำนวณได้ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและอายุการใช้งาน

4) อัตราทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุด V_{rrm}

โดยปกติวงจรเรียงกระแสจะต้องต่อเข้ากับแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ ดังนั้นอัตราทนแรงดันไบแอสกลับของไดโอด ควรต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าแรงดันยอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับ แต่ควรเผื่อค่าแรงดันไบแอสกลับ ให้มีค่ามากกว่าแรงดันยอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับเอาไว้ด้วย สำหรับกรณีนี้อาจเกิดทรานเซียนต์ขึ้นในสายไฟสลับ

โดยทั่วไปแล้ว เราสามารถคำนวณหากระแสพิกัดของไดโอดเรียงกระแสได้จากค่ากระแสประสิทธิภาพของวงจรเรียงกระแสในสมการที่ 2.2

$$I_e = \frac{P_m}{V_m} \quad (2.2)$$

โดยที่ I_e คือ ค่ากระแสประสิทธิภาพของวงจรเรียงกระแส

P_m คือ กำลังไฟฟ้าด้านเข้า

V_m คือ แรงดันไฟฟ้าด้านเข้า

ในการพิจารณาพิกัดของไดโอดที่รู้ค่ากระแสหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$I_{f(av)} = I_{om} \times D \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	$I_{f(av)}$	คือ กระแสเดินหน้าเฉลี่ยสูงสุด (Maximum average forward current)
	I_{out}	คือ กระแสทางด้านขาออก
	D	คือ ตัวประกอบของวัฏจักรงาน จากข้อกำหนด พิกัดนำกระแสทางด้านขาออกที่โหลดเต็มพิกัดประมาณ 40 แอมป์ ที่วัฏจักรทำงาน = 0.5

2.7.1.2 ตัวเก็บประจุกรองกระแส

ตัวเก็บประจุ มีหน้าที่กรองแรงดันไฟตรงที่ได้จากการเรียงกระแสของไดโอดให้มีค่าเรียบมากขึ้น และช่วยให้กระแสที่ได้มีค่าเพียงพอตามที่วงจรคอนเวอร์เตอร์ต้องการ การใช้งานจริงควรเลือกตัวเก็บประจุที่มีปัจจัยดังต่อไปนี้

1) อัตราทนกระแสระลอก (RMS Ripple Current Rating)

กระแสระลอกในตัวเก็บประจุกรองกระแสเกิดจากการชาร์จประจุ และคายประจุของตัวเก็บประจุเอง ซึ่งค่ากระแสนี้เป็นผลให้ตัวเก็บประจุร้อนและอายุการใช้งานลดลง การเลือกใช้งานตัวเก็บประจุกรองกระแส จะต้องให้มีค่าอัตราทนกระแสระลอกมากกว่าค่ากระแสระลอกที่คำนวณได้เพื่อไม่ให้เกิดความร้อนกับตัวเก็บประจุขณะที่ทำงาน ในกรณีที่กระแสระลอกมีค่าสูง การใช้ตัวเก็บประจุนานเกินหลายตัวจะช่วยเพิ่มอัตราทนกระแสระลอกให้ตัวเก็บประจุได้

2) แรงดันกระเพื่อมที่เอาท์พุทของวงจรเรียงกระแส (Ripple Voltage)

การกระเพื่อมที่แรงดันเอาท์พุทของวงจรเรียงกระแส จะมีผลโดยตรงต่อการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ การกระเพื่อมที่แรงดันเอาท์พุททำให้แรงดันที่อินพุทของคอนเวอร์เตอร์มีค่าไม่คงที่ หากยอมให้แรงดันกระเพื่อมนี้มีค่ามากก็จะลดความสามารถในการคงค่าแรงดันที่เอาท์พุทของคอนเวอร์เตอร์ลงไป ปกติการออกแบบวงจรเรียงกระแสจะยอมมีค่าแรงดันกระเพื่อมไม่เกิน 10% ของค่าแรงดันเอาท์พุท ค่าของตัวเก็บประจุกรองกระแส C สามารถคำนวณได้จาก

$$C = \frac{I_e \Delta t}{\Delta V_{ripple}} \quad (2.4)$$

เมื่อ	I_e	คือ ค่ากระแสประสิทธิผลของวงจรเรียงกระแส
	Δt	คือ ช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุใช้ในการคายประจุ
	ΔV_{ripple}	คือ ค่ายอดถึงยอดของแรงดันกระเพื่อม

3) ช่วงเวลาโฮลด์อัฟ (Holdup Time)

ช่วงเวลาโฮลด์อัฟ เป็นช่วงเวลาที่วงจรสวิตช์ยังสามารถคงค่าแรงดันเอาท์พุทได้ตามปกติที่โหลดสูงสุด เมื่อมีการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับหรือค่าแรงดันไฟสลับมีค่าต่ำกว่า

กำหนดและเพื่อให้วงจรสวิตช์ซึ่งมีค่าเวลาโฮลด์ออฟ ตัวเก็บประจุที่ใช้จะต้องมีค่ามากพอที่จะจ่ายกระแสให้กับคอนเวอเตอร์เมื่อมีการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับ

4) อัตราทนแรงดัน (Voltage Rating)

ตัวเก็บประจุกรองกระแส ต้องทนแรงดันได้อย่างต่ำที่ค่าแรงดันไฟตรงเอาท์พุทของวงจรเรียงกระแส แต่เพื่อความปลอดภัยควรเผื่อค่าอัตราทนแรงดันไว้อย่างน้อยที่ค่าแรงดันไฟตรงสูงสุดที่เป็นไปได้ของคอนเวอเตอร์ เช่น ถ้าแรงดันไฟสลับอินพุทมีค่าอยู่ในช่วง 187 ถึง 264 โวลต์ควรมีค่าอัตราทนแรงดันอย่างต่ำที่ 400 โวลต์

2.7.2 การออกแบบมอสเฟตกำลังในวงจรสวิตช์

การเลือกขนาดของมอสเฟตด้วยวิธีการหากระแสพิกัดที่จะใช้ในวงจรจากสมการที่ 2.5 โดยจะต้องนำไปเลือกหาขนาดมอสเฟตที่เหมาะสมหากไม่สามารถหาได้ ก็สามารถทำการขนานมอสเฟตเข้าไปเพื่อเพิ่มพิกัดกระแสได้เช่นกัน

$$I_p = \frac{P_{in}}{T_d V_{in}} \quad (2.5)$$

โดยที่ I_p = กระแสพิกัดที่ใช้เลือกมอสเฟต
 P_{in} = กำลังไฟฟ้าต้านเข้า
 T_d = Temperature Derating (0.8)
 V_{in} = แรงดันไฟฟ้าต้านเข้า

2.7.3 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง

ในการออกแบบหม้อแปลงสวิตช์ความถี่สูง สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบก็คือ การเลือกอุปกรณ์

1. ชนิด ลักษณะโครงสร้าง และขนาดของแกนแม่เหล็ก
2. ชนิด รูปร่าง ขนาด และจำนวนรอบที่ใช้ในการพัน N_1 และ $N_2 \dots N_n$
3. ชนิด และลักษณะของฉนวน
4. ลักษณะโครงสร้างของ Case ตลอดจนการระบายความร้อน
5. คุณสมบัติทางไฟฟ้า และเชิงกลอื่นๆ

ข้อกำหนด

1. ขนาดของกำลังออก
2. ขนาดและรูปร่างรวมทั้งความถี่ของกระแสและแรงดัน
3. กำลังสูญเสีย ประสิทธิภาพ
4. Voltage Regulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและเชิงกลอื่นๆ

ขีดจำกัด

1. ความหนาแน่นสนามแม่เหล็กอิ่มตัวของแกนแม่เหล็ก
2. กำลังสูญเสียในลวดทองแดงและในแกนแม่เหล็ก
3. คุณสมบัติอื่น เช่น Permeability (μ)

โดยทั่วไปแล้ว ในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจะนิยมใช้วิธีผลคูณพื้นที่ (Area Product) ซึ่งนิยามได้ด้วยสมการดังนี้

$$Ap = WS \quad (2.6)$$

เมื่อ S คือ พื้นที่หน้าตัดของแกน (core area)
 W คือ พื้นที่หน้าต่าง (window area)

จากสมการแรงดันเหนี่ยวนำของหม้อแปลงไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ

$$E_{rms} = 2nK_f N f B_{max} S \quad (2.7)$$

โดยที่ K_f มีค่าเป็น 1 สำหรับรูปคลื่นแรงดันเป็นสี่เหลี่ยม
 K_f มีค่าเป็น 1.11 สำหรับรูปคลื่นแรงดันเป็นไซน์
 n มีค่าเป็น 1 เมื่อปรับรูปคลื่นแรงดันมี dc magnetizing
 n มีค่าเป็น 2 เมื่อปรับรูปคลื่นแรงดันมี dc magnetizing หรือเป็นรูปไซน์
 N คือ จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)
 f คือ ความถี่ (Hz)
 B_{max} คือ ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด (Wb/m^2)
 A_c คือ พื้นที่หน้าตัดของแกน (m^2)

ดังนั้น สามารถหาจำนวนรอบด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ ในกรณีรูปคลื่นแรงดันเป็นสี่เหลี่ยมและมี dc magnetizing มีค่าเท่ากับ

$$N_1 = \frac{V_1}{2 \cdot B_{max} \cdot S \cdot f} \quad (2.8)$$

$$N_2 = \frac{V_2}{2 \cdot B_{max} \cdot S \cdot f} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถหาขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวดตัวนำที่นำมาพันได้จาก

$$J_{rms} = \frac{I_{rms}}{A} \quad (2.10)$$

เมื่อ J คือ ความหนาแน่นกระแส (A/mm^2) ปกติใช้ 3-5 A/mm^2
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำ (mm^2)

ในทางทฤษฎีนั้นพื้นที่หน้าตัดของตัวนำทั้งหมดควรจะพอดีกับพื้นที่หน้าตัด แต่ในทางปฏิบัตินั้นขดลวดไม่ได้ประกอบด้วยตัวนำเท่านั้น แต่จะประกอบด้วยอย่างอื่นด้วย เช่น ฉนวนของขดลวด กระจายฉนวนระหว่างขดลวดและช่องว่างอากาศเพื่อการระบายความร้อน ดังนั้นจึงต้องมีแฟกเตอร์ที่ใช้ในการชดเชยผลดังกล่าวจึงนิยามให้ k คือแฟกเตอร์การใช้พื้นที่หน้าตัด (window utilization factor) ซึ่งในทางปฏิบัติ k จะมีค่าประมาณ 0.3-0.6

$$A_p = W \cdot S = \frac{P_{out}}{2 \cdot k \cdot B_{max} \cdot f \cdot J} \quad (2.11)$$

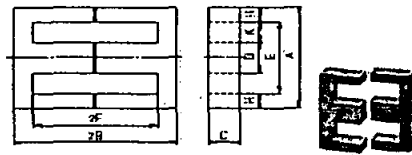
ในการเลือกแกนแม่เหล็กที่มีอยู่ทั่วไปให้เหมาะสมกับการใช้งานจะทำโดยการคำนวณหาค่า A_p ดังสมการที่ 2.11 เปรียบเทียบค่ากับ A_p ที่กำหนดโดยบริษัทผู้ผลิต โดยจะต้องเลือกค่า A_p ที่กำหนดโดยบริษัทผู้ผลิตให้มากกว่า A_p ที่ได้จากการคำนวณ

2.7.3.1 ลักษณะและขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์

โดยทั่วไปแกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงสวิตชิง จะถูกผลิตออกมาที่ขนาดและรูปทรงต่างๆ ตามมาตรฐานเดียวกัน เช่น EI, EE, ETD หรือแกนแบบ POT เป็นต้น ปกติจะผลิตทำแกนเฟอร์ไรต์ออกมาในลักษณะคู่ประกบ และเพื่อความสะดวกในการประกอบเข้ากับบอบบิ้น โดยจะทำให้ทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์มีลักษณะเป็นวงบรรจบได้

EE Series

EE CORE
CORE SHAPES AND DIMENSIONS/CHARACTERISTICS

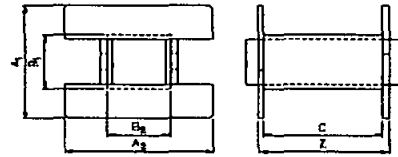


PRODUCT IDENTIFICATION

PE22	EE	300	250	20
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)

- (1) Material name
- (2) Shape
- (3) Dimension A
- (4) Dimension 2B
- (5) Dimension C

EE CORE BOBBIN



รูปที่ 2.37 แสดงตัวอย่างขนาดของแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงรายละเอียดของแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE

Part No.	A _v * (mH/V²) ±25%	Dimensions (mm)									
		A	2B	C	D	E	2F	H	R	K	K×2F(mm²)
PE22 EE70×91×19	3930	70.0±1.5	91.0±1.0	19.5±0.5	19.5±0.5	48.5min.	71.0±1.0	10.0±0.5	0	15.0	1098
PC40 EE70×91×19	4910										
PE22 EE90×78×20	4550	90.0±1.5	78.0±1.0	20.0±0.5	20.0±0.5	69.5min.	55.0±0.8	10.0±0.5	0.5max.	20.0	1100
PC40 EE90×78×20	5720										
PE22 EE90×58×16	5980	90.0±2.0	58.4±1.0	18.5±0.5	25.0±1.0	63.0min.	30.4±1.0	12.5±0.5	0.5max.	20.0	609
PC40 EE90×58×16	7390										
PE22 EE320×250×20 ^{**}	—	320.0±5.0	250.0±1.0	20.0±1.0	100.0±2.4	217.0min.	150.0±3.0	50.0±1.0	0	60.0	7950
PC40 EE320×250×20 ^{**}	—										
PE22 EE70×108×31N	6360	70.0±1.5	108.0±1.0	31.0±0.5	22.2±0.5	46.3min.	85.6±1.0	11.1±0.5	2.0max.	12.9	1098
PC40 EE70×108×31N	7970										

*1 Measuring condition: T=23°C, I=1kHz, H₁=0.4A/m

** EE320×250×20-Z is a bonded product.

Part No.	Core factor					Weight (g)
	U _i (mm⁻¹)	C ₂ ×10 ⁻⁵ (mm⁻²)	A _v (mm²)	μ _e (แกน)	V _c (mm³)	
PE22 EE70×91×19	0.62779	0.19939	398	204	79300	384
PC40 EE70×91×19						
PE22 EE90×78×20	0.44978	0.11059	406	182	73910	372
PC40 EE90×78×20						
PE22 EE90×58×16	0.33583	0.09009	419	141	59090	308
PC40 EE90×58×16						
PE22 EE320×250×20	0.28954	0.01440	2000	577	1154160	6150
PC40 EE320×250×20						
PE22 EE70×108×31N	0.32992	0.04695	703	232	162900	815
PC40 EE70×108×31N						

EE CORE BOBBIN

Part No.	Dimensions (mm)					Cross-sectional winding area A _w (mm²)	Average winding length l _w (mm)	Weight (g)	Material
	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	Z				
BE-80-S	68.5±0.5	61.0±0.5	25.2±0.5	25.2±0.5	47.5±2.5	51.5±2.5	747	169	PBT
BE-80-W	68.5±0.5	91.5±0.7	25.2±0.5	45.8±0.5	47.5±2.5	51.5±2.5	747	209	PBT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3.2 กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss)

สำหรับกำลังสูญเสียในแกนเหล็กจะประกอบไปด้วย กำลังสูญเสียเนื่องจากฮิสเตอรีซิส (Hysteresis Loss) และกำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากกระแสวนภายในแกนแม่เหล็ก (Eddy Current Loss) ซึ่งจะมีรายละเอียดดังนี้

2.7.3.2.1 กำลังสูญเสียเนื่องจากฮิสเตอรีซิส (Hysteresis loss)

จากพื้นที่ภายในกราฟ B - H ในรูปที่ 2.23 ซึ่งหมายถึง ค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นทุกคาบของแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าด้านเข้าที่ป้อนให้กับสารแม่เหล็กนั้น โดยจะเรียกความสูญเสียดังกล่าวว่ากำลังสูญเสียเนื่องจากฮิสเตอรีซิส (P_h) จะมีหน่วยเป็นวัตต์ ซึ่งหาได้จาก

$$P_h = \left(\frac{1}{2} B H V_c\right) \cdot f \quad (2.12)$$

จากสมการดังกล่าวทำให้ทราบได้ว่า ถ้ากำหนดให้ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ซึ่งเป็นค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับ B_m ปริมาตรแกน (V_c) มีค่าคงที่ ความสูญเสียฮิสเตอรีซิสก็จะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็ก กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือถ้าความถี่ใช้งานมีค่าสูงขึ้นจะทำให้กำลังสูญเสียเนื่องจากฮิสเตอรีซิสมีค่าสูงขึ้นนั่นเอง และเมื่อเราแทนความเข้มของสนามแม่เหล็กจะไดสมการ

$$P_h = \left(\frac{1}{2} \frac{B_m^2}{\mu} V_c\right) \cdot f \quad (2.13)$$

จากสมการดังกล่าวทำให้ทราบได้ว่า ถ้ากำหนดให้ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ปริมาตรแกน (V_c) ค่าความถี่ใช้งาน (f) มีค่าคงที่ ความสูญเสียฮิสเตอรีซิสก็จะขึ้นอยู่กับค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (μ) โดยถ้าเลือกแกนแม่เหล็กที่มีความซึมซาบได้สูงๆ ก็จะทำให้ค่าความสูญเสียฮิสเตอรีซิสมีค่าต่ำ และในทำนองเดียวกันถ้าเลือกแกนแม่เหล็กที่มีความซึมซาบได้ต่ำๆ ก็จะทำให้ค่าความสูญเสียฮิสเตอรีซิสมีค่าสูง

2.7.3.2.2 กำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากกระแสวนในแกนแม่เหล็ก (Eddy Current Loss)

พิจารณาโดยใช้กฎของฟาราเดย์ โดยค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดทองแดงแต่ละขดจะเท่ากับ

$$E_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (2.15)$$

$$E_3 = N_3 \frac{d\phi}{dt} \quad (2.16)$$

สมการที่ 2.14 และ 2.15 จะเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของหม้อแปลงไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิตามลำดับ ในขณะที่สมการที่ 2.16 จะเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในแกนแม่เหล็กโดยจะมีค่าจำนวนรอบ (N_3) เท่ากับหนึ่ง เป็นผลทำให้เกิดกระแส (I_3) ภายในแกนแม่เหล็ก ซึ่งกระแสไหลวนดังกล่าวจะทำให้เกิดความร้อนภายในแกนแม่เหล็กนั้น สำหรับค่ากำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (P_e) สามารถนิยามได้ดังนี้

$$P_e = K_e f^2 B_m^2 \quad (2.17)$$

โดยที่ P_e หมายถึง กำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน
 K_e หมายถึง ค่าคงที่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเนื้อสารที่นำมาทำแกนแม่เหล็ก
 B_m หมายถึง ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด

ดังนั้นกำลังสูญเสียในแกน (P_c) จะหาได้จาก

$$P_c = P_h + P_e \quad (2.18)$$

2.7.3.3 การเลือกใช้ลวดทองแดง

1) ลักษณะและขนาดมาตรฐานของเส้นลวดทองแดง

โดยทั่วไปแล้วเส้นลวดทองแดงจะถูกผลิตออกมาที่ขนาดและรูปทรงต่างๆตามมาตรฐาน เช่น AWG (American Wire Gauge), SWG (Standard Wire Gauge) และ BWG (Birmingham Wire Gauge) ซึ่งแต่ละมาตรฐานจะมีเบอร์ต่างๆ ซึ่งแต่ละเบอร์จะบอกขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางและพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดดังแสดงตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงขนาดของเส้นลวดทองแดง

Wire Gauge Table

A.W.G. in the table stands for American Wire Gauge (or Brown & Sharpe Wire Gauge).

S.W.G. stands for British Standard Wire Gauge. B.W.G. stands for Birmingham Wire Gauge.

Gauge			Diameter	Area	Gauge			Diameter	Area
A.W.G. (B&S)	SWG	B.W.G.	mm	mm ²	A.W.G. (B&S)	SWG	B.W.G.	mm	mm ²
-	22	22	0.711	0.3973	-	31	-	0.295	0.06819
22	-	-	0.644	0.3256	29	-	-	0.286	0.06422
-	23	23	0.635	0.3167	-	32	-	0.274	0.05908
-	-	-	0.610	0.2919	30	-	-	0.255	0.05097
23	-	-	0.573	0.2581	-	31	31	0.254	0.05067
-	24	24	0.559	0.2452	-	34	-	0.234	0.04289
24	-	-	0.511	0.2047	-	-	32	0.229	0.04104
-	25	25	0.508	0.2027	31	-	-	0.227	0.04039
-	26	26	0.457	0.1642	-	35	-	0.213	0.03575
25	-	-	0.455	0.1623	-	-	33	0.203	0.03243
-	27	-	0.417	0.1363	32	-	-	0.202	0.03203
-	-	27	0.406	0.1297	-	36	-	0.193	0.02927
26	-	-	0.405	0.1288	33	-	-	0.180	0.02540
-	28	-	0.376	0.1110	-	-	34	0.178	0.02483
27	-	-	0.361	0.1021	-	37	-	0.173	0.02343
-	-	28	0.356	0.09932	34	-	-	0.166	0.02014
-	29	-	0.345	0.09372	-	38	-	0.152	0.01824
-	-	29	0.330	0.08563	35	-	-	0.143	0.01597
28	-	-	0.321	0.08097	-	39	-	0.132	0.01370
-	30	-	0.315	0.07791	36	-	35	0.127	0.01267
-	-	30	0.305	0.07297	-	40	-	0.122	0.01167

2.7.3.4 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในลวดทองแดง

เนื่องจากสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าในสายตัวนำทองแดง จะไม่ได้ปรากฏล้อมรอบสายตัวนำทองแดงเท่านั้น แต่จะปรากฏภายในสายตัวนำทองแดงด้วยเช่นกัน และถ้ากำหนดให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำทองแดงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีความสม่ำเสมอเท่าๆ กัน (Uniform Current) จะได้ว่าค่าความเหนี่ยวนำภายในสายตัวนำทองแดง (L_{int}) จะมีค่าน้อยลงเมื่อรัศมี (r) เพิ่มขึ้น กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือค่ากระแสไฟฟ้าที่จุดศูนย์กลางของตัวนำทองแดงจะมีค่าน้อยที่สุด เพราะความต้านทานมีค่าเท่ากันตลอดพื้นที่ผิวของตัวนำทองแดง ในขณะที่ค่าความเหนี่ยวนำมีค่าสูงสุดที่จุดศูนย์กลางของตัวนำทองแดง ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดศูนย์กลางของสายตัวนำทองแดงมีค่ามากที่สุดนั่นเอง และค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายตัวนำทองแดงที่ผิวจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อห่างจากจุดศูนย์กลางของตัวนำทองแดงเป็นลำดับ สำหรับกรณีไฟฟ้ากระแสสลับนั้น ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าจะแปรตามความถี่ใช้งาน และยิ่งความถี่ที่ใช้งานมีค่าสูงขึ้นก็จะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าจะอยู่เฉพาะบริเวณผิวของตัวนำทองแดง ซึ่งผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะเรียกว่า ปรากฏการณ์ทางผิว (Skin effect)

โดยที่ค่าความต้านทานรวมที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสตรงและความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดจากผลของปรากฏการณ์ทางผิวจะเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{ac} = R_{dc} + R_{se} = R_{dc}(1 + F) \quad (2.19)$$

โดยที่ R_{ac} หมายถึง ความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับ

R_{dc} หมายถึง ความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง

R_{se} หมายถึง ความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดจากผลของปรากฏการณ์ทางผิวซึ่งจะ

นิยามได้จาก

$$R_{se} = R_{dc} \cdot F \quad (2.20)$$

$$\frac{R_{ac}}{R_{dc}} = 1 + F \quad (2.21)$$

เมื่อ F หมายถึง ตัวประกอบปรากฏการณ์ทางผิว (Skin Effect Factor) ซึ่งจะได้เป็นฟังก์ชันของ $\frac{d}{\delta}$ โดยที่

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho_c}{\mu \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{\rho_c}{\pi \cdot \mu_0 \cdot \mu_c \cdot f}} \quad (2.22)$$

โดยที่ δ หมายถึง ความหนาของผิวตัวนำทองแดงกระแส (Skin Depth)

ρ_c หมายถึง ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของสายตัวนำทองแดง

μ_c หมายถึง ค่าความซึมซาบได้สัมพันธ์ของสายตัวนำทองแดง

d หมายถึง ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของสายตัวนำทองแดง

เนื่องจากค่าความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสไฟฟ้าสลับสามารถหาได้จาก

$$R_{dc} = \rho_c \cdot \frac{l}{A} = \rho_c \cdot \frac{l}{(\pi \cdot r^2)} \quad (2.23)$$

$$R_{ac} = \rho_c \cdot \frac{l}{A} = \rho_c \cdot \frac{l}{\pi \cdot (r^2 - (r - \delta)^2)} = \rho_c \cdot \frac{l}{\pi \cdot r^2 \left(\frac{2\delta}{r} - \left(\frac{\delta}{r} \right)^2 \right)} \quad (2.24)$$

นำสมการที่ 2.9 หารด้วยสมการ 2.10 จะได้

$$\frac{R_{ac}}{R_{dc}} = \frac{1}{\left(\frac{2\delta}{r} - \left(\frac{\delta}{r} \right)^2 \right)} \quad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาสมการที่ 2.19 จะเห็นได้ว่าถ้าทำให้รัศมีของสายตัวนำทองแดงมีค่าเท่ากับความหนาของผิวตัวนำทองแดงกระแส ($r = \delta$) จะทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับต่อไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าเท่ากับหนึ่ง ดังนั้นถ้าทำให้รัศมีของสายตัวนำทองแดง (r) ที่ใช้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับของความหนาของผิวตัวนำทองแดงกระแส $r \leq \delta$ ก็จะทำให้ผลของปรากฏการณ์ทางผิว (Skin Effect) ของตัวนำทองแดงมีค่าน้อยมากจนสามารถละเว้นไม่นำมาพิจารณาได้ นอกจากนี้การเลือกใช้ตัวนำทองแดงที่มีพื้นที่หน้าตัดของสายตัวนำทองแดงมีขนาดใหญ่กว่าความหนาของผิวตัวนำทองแดงกระแส ก็จะไม่มีประโยชน์การนำกระแสไฟฟ้าได้เลย

ดังนั้นในทางปฏิบัติ จึงนิยมใช้สายตัวนำทองแดงที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับความหนาของผิวตัวนำทองแดงกระแสจำนวนหลายๆ เส้น นั่นคือ เลือกรัศมีของลวดทองแดงที่เล็กกว่าความหนาของผิวตัวนำทองแดงกระแส (Skin Depth) ที่ความถี่สูงสุดที่ใช้งานโดยที่ สำหรับค่ากำลังสูญเสียจากกระแสไฟฟ้าไหลเฉพาะที่ผิวของตัวนำทองแดงจะหาได้จาก

$$P_{cu,se} = 22 \cdot k_{Cu} \cdot \frac{R_{ac}}{R_{dc}} \cdot J_{rms}^2 \quad \frac{mW}{cm^3} \quad (2.26)$$

โดยที่ k_{Cu} คือ ตัวประกอบการบรรจุลวดต่อพื้นที่ (Copper Fill Factor)

$$J_{rms} = \frac{I_{rms}}{A} \quad \text{คือ ค่าความหนาแน่นกระแสในสายตัวนำทองแดง}$$

2.7.4 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุในวงจรฟิลเตอร์

2.7.4.1 คุณสมบัติและการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ

สำหรับตัวเหนี่ยวนำในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังอาจจะต่ออยู่เพียงตัวเดียวในระบบ ทำหน้าที่เป็นโหลดหรือเป็นค่าพาวามีเตอร์แฝง เช่น เป็นตัวเหนี่ยวนำตัวเอง (Self Inductance) ของสายตัวนำที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลัง ตัวเหนี่ยวนำแฝงที่ขาของตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง และตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลในหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้ากรณีสภาวะชั่วขณะจะเท่ากับ

$$V_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.27)$$

$$i_L(t) = i_L(t_1) + \frac{1}{L} \int_{t_1}^t V_L dt \quad t > t_1 \quad (2.28)$$

โดยที่ $i_L(t_1)$ หมายถึง ค่ากระแสไฟฟ้าเริ่มต้นที่เวลา t_1 ของตัวเหนี่ยวนำ

จากสมการ 2.21 และ 2.22 จะเห็นได้ว่า กรณีที่ค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้ามีค่าสูงและพิจารณาช่วงเวลาสั้นมากๆ เท่ากับ dt อาจจะได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้างดงกล่าว เป็นไฟฟ้ากระแสตรงคงที่ (Constant Current) เพราะอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_L}{L} \approx 0 \quad (2.29)$$

หรือกล่าวอีกในหนึ่งคือ “กระแสตัวเหนี่ยวนำเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้” ดังนั้นถ้าค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำมีค่าสูงมากๆ ก็อาจจะถือได้ว่าตัวเหนี่ยวนำดังกล่าวนั้นเปรียบเสมือนเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Current Source) ตลอดช่วงเวลา dt ซึ่งวงจรสมมูลของตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่มีค่าสูงๆ ดังกล่าว จะนิยมใช้ในกรณีที่ตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าต่อกับวงจรที่มีแหล่งจ่ายเป็นวงจรพัลส์ความถี่สูง

ในการหาขนาดของตัวเหนี่ยวนำ จะกำหนดให้ค่า Ripple ของกระแสทางด้านออก (ΔI_{out}) จะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 20% ของกระแสเฉลี่ยทางด้านออก ดังนั้นค่าตัวเหนี่ยวนำ หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$L = \frac{E_{out} \cdot T_{off}}{0.2 \cdot I_L} \quad (2.30)$$

เมื่อ E_{out} คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสทางด้านออก
 T_{off} คือ ช่วงเวลาหยุดนำกระแสของสวิตช์ เนื่องจากค่า Ripple ของกระแสทางด้านออกสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ Duty Cycle = 0.5 ดังนั้นค่า T_{off} ที่จะทำให้ Ripple สูงสุด = $\frac{1}{2}T$
 I_L คือ กระแสโหลดที่พิกัด

ในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ (Inductor Design) สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบก็คือ **การเลือกอุปกรณ์**

1. ชนิด ลักษณะโครงสร้างและขนาดของแกนแม่เหล็ก
2. ชนิด รูปร่าง ขนาดและจำนวนรอบที่ใช้ในการพัน N_1 และ $N_2 \dots N_n$
3. ชนิดและลักษณะของฉนวน
4. ลักษณะโครงสร้างของ Case ตลอดจนการระบายความร้อน
5. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและเชิงกลอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนด

1. ขนาดของกำลังออก
2. ขนาดและรูปร่างรวมทั้งความถี่ของกระแสและแรงดัน
3. กำลังสูญเสียประสิทธิภาพ
4. Voltage Regulation
5. คุณสมบัติทางไฟฟ้าและเชิงกลอื่นๆ
6. ขีดจำกัด
7. ความหนาแน่นสนามแม่เหล็กอิมิตัวของแกนแม่เหล็ก
8. กำลังสูญเสียในลวดทองแดงและในแกนแม่เหล็ก
9. คุณสมบัติอื่น เช่น Permeability (μ)

2.7.4.2 การออกแบบตัวเก็บประจุ

การหาตัวเก็บประจุสำหรับวงจรกรองด้านออก หาได้จากสมการต่อไปนี้

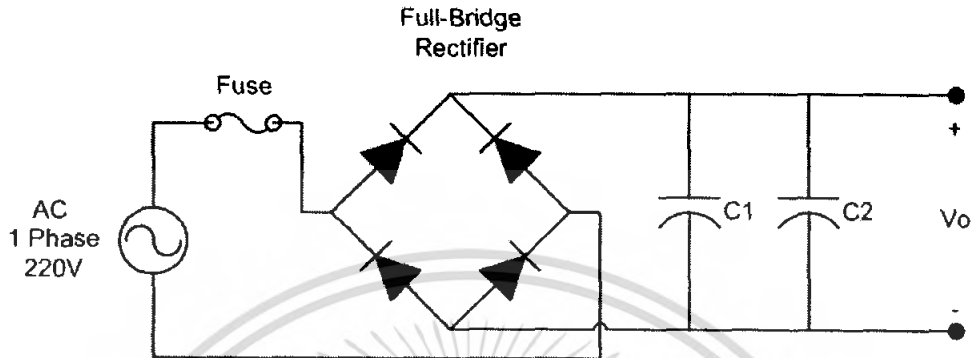
$$C_{out} = \frac{\Delta I_{out}}{8 \cdot f \cdot \Delta v_{out}} \quad (2.31)$$

เมื่อ ΔI_{out} คือ 20% ของกระแสเฉลี่ยทางด้านออก
 Δv_{out} คือ แรงดันกระเพื่อมทางด้านออก

บทที่ 3

การออกแบบแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตซิ่ง

3.1 วงจรเรียงกระแสและกรองกระแส



รูปที่ 3.1 วงจรเรียงกระแสความถี่ต่ำและฟิวส์

3.1.1 การเลือกฟิวส์

เนื่องจากการเลือกใช้งานมอสเฟต IRFP460 ที่มีขนาดทนแรงดัน 500 โวลต์ และทนกระแสสูงสุดได้ 20 แอมป์ แต่เมื่อนำมาใช้งานจริงที่สภาวะอุณหภูมิที่สูงขึ้นก็จะทำให้กระแสพิกัดของมอสเฟตลดลงดังนั้นจะต้องนำอุณหภูมิที่ใช้งานไปหาค่ากระแสจากกราฟคุณสมบัติของมอสเฟตดังรูปที่ 3.2

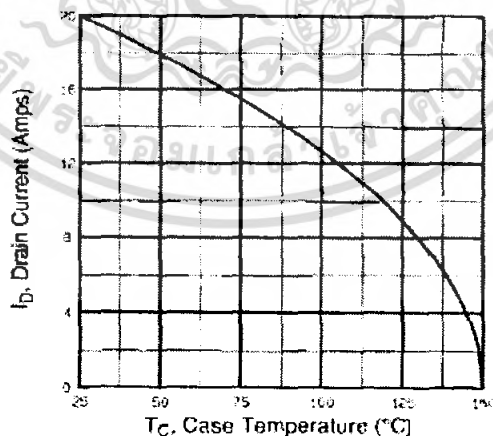


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสพิกัดและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำมอสเฟตมาใช้งานจะเลือกใช้ที่อุณหภูมิประมาณ 60°C ดังนั้นกระแสพิกัดของมอสเฟตจะเป็น 15 แอมป์ และเมื่อนำมอสเฟตมาต่อขนานกันจะได้กระแสพิกัดที่ 30 แอมป์ ดังนั้นเราจะเลือกใช้ฟิวส์ที่มีขนาด 30 แอมป์

3.1.2 การเลือกขนาดของไดโอดเรียงกระแสแบบฟลูบริดจ์

การเลือกไดโอดเรียงกระแสจะต้องคำนึงถึงขนาดกระแสพิกัดที่ไหลผ่านไดโอด โดยจะคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$I_e = \frac{P_m}{V_m}$$

โดยที่ I_e คือ ค่ากระแสประสิทธิผลของวงจรเรียงกระแส
 P_m คือ กำลังไฟฟ้าด้านเข้า
 V_m คือ แรงดันไฟฟ้าด้านเข้า

$$\begin{aligned} \text{แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านเข้า} &= 220 \text{ โวลต์} \\ \text{ค่ายอดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (} V_m \text{)} &= 220 \times 1.414 \text{ โวลต์} \\ &= 310 \text{ โวลต์} \\ \text{แรงดันกระแสเพือม (} V_r \text{)} &= 0.10 \times 310 \text{ โวลต์} \\ &= 31 \text{ โวลต์} \\ \text{แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ย} &= \text{แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสูงสุด} - \left(\frac{V_r}{2}\right) \text{ โวลต์} \\ &= 310 - (31/2) \text{ โวลต์} \\ &= 294.5 \text{ โวลต์} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } P_m &= 4,000 \text{ วัตต์, } V_m = 294.5 \text{ โวลต์} \\ \text{ดังนั้น } I_e &= \text{กำลังไฟฟ้าด้านเข้าสูงสุด} / \text{แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ย} \\ &= 4,000 / 294.5 \\ &= 13.5 \text{ แอมป์} \end{aligned}$$

ในทางปฏิบัติเลือกบริดจ์ไดโอดที่สามารถทนกระแสได้สูงสุดมากกว่า 30 แอมป์และแรงดันมากกว่า $600 V_{\text{peak}}$

3.1.3 การคำนวณหาตัวเก็บประจุ

การคำนวณค่าความจุไฟฟ้า C คำนวณได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับข้อกำหนดของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิ่ง สำหรับเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา มีกำลังไฟฟ้าด้านเข้าประมาณ 4,000 วัตต์ ดังนั้น ค่าของตัวเก็บประจุกรองกระแส C สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4

$$C = \frac{I_e \Delta t}{\Delta V_{ripple}}$$

เมื่อ I_e คือ ค่ากระแสประสิทธิผลของวงจรเรียงกระแส
 Δt คือ ช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุใช้ในการคายประจุ
 ΔV_{ripple} คือ ค่ายอดถึงยอดของแรงดันกระเพื่อม

โดยที่ $I_e = 13.5$ แอมป์
 เวลา $t \approx 1/2$ ของคาบเวลาไฟฟ้ากระแสสลับด้านเข้า
 (ไฟกระแสสลับ 50 Hz, คาบเวลา 20 มิลลิวินาที)
 ≈ 10 มิลลิวินาที

ดังนั้นค่า C ที่ต้องการคือ $= 13.5 \times 0.01 / 31$
 $= 4,355$ ไมโครฟารัด

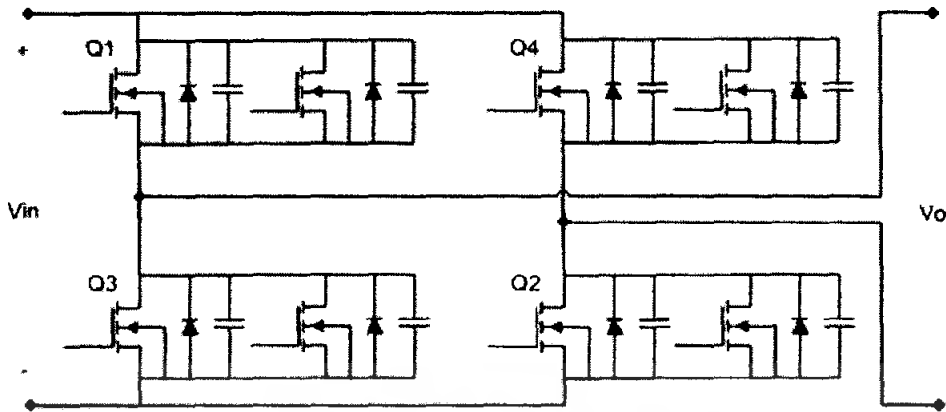
สำหรับคาปาซิเตอร์ที่เลือกใช้จะเป็นแบบอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งต้องมีขนาดความจุรวม 4,500 ไมโครฟารัด โดยในที่นี้จะเลือกเป็น C1, C2 $\approx 3,300$ ไมโครฟารัด 450 โวลต์ จึงได้ขนาดความจุของคาปาซิเตอร์รวมเป็น 6,600 ไมโครฟารัด 450V ดังนั้น ค่ายอดถึงยอดของแรงดันกระเพื่อม (ΔV_{ripple}) ที่ได้จริงจะเป็น

$$\Delta V_{ripple} = 13.5 \times 0.01 / (6,600 \times 10^{-6})$$

$$= 20.5 \text{ โวลต์}$$

จะเห็นว่าค่าคาปาซิเตอร์ยิ่งมากก็จะลดแรงดันกระเพื่อมได้มากขึ้น

3.2 วงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.3 วงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

การเลือกมอสเฟต

ขนาดของแรงดันสูงสุดคร่อมมอสเฟต ที่ใช้ในวงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จะมีค่าไม่เกิน 310 โวลต์ และสามารถหาขนาดของมอสเฟตได้โดยใช้สมการที่ 2.5

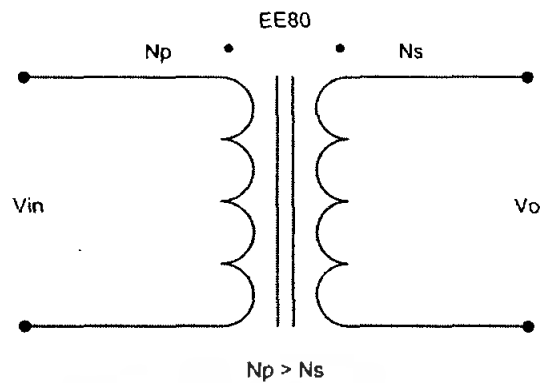
$$I_p = \frac{P_m}{T_d V_m}$$

โดยที่ $P_m = 4,000$ วัตต์, $T_d = 0.8$, $V_m = 310$ โวลต์

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } I_p &= 4,000 / (0.8 \times 310) \\ &= 16 \text{ แอมป์} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในทางปฏิบัติเลือกมอสเฟตที่ทนกระแสพิกัดมากกว่า 16 แอมป์และทนแรงดัน 310 โวลต์ จึงเลือกมอสเฟต IRFP460 ที่ทนกระแสพิกัด 20 แอมป์และทนแรงดัน 500 โวลต์ ขนานกัน 2 ตัว เพราะที่อุณหภูมิสูงจะทำให้กระแสพิกัดของมอสเฟตลดลง จึงต้องมีการขนานกันเพื่อลดกระแสที่เข้าตัวมอสเฟต

3.3 หม้อแปลงสวิตชิงความถี่สูง



รูปที่ 3.4 หม้อแปลงความถี่สูงแบบแกน EE80

ในการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงมีขั้นตอนการออกแบบ ดังนี้

1. ข้อกำหนดการออกแบบหม้อแปลง

- | | | |
|-------------------------------|------|------------|
| 1. แรงดันไฟฟ้าด้านเข้า | 310 | โวลต์ |
| 2. ความถี่ที่ใช้งาน | 40 | กิโลเฮิรต์ |
| 3. แรงดันไฟฟ้าด้านออกที่พิกัด | 200 | โวลต์ |
| 4. กำลังไฟฟ้าด้านออกที่พิกัด | 4000 | วัตต์ |
| 5. กระแสไฟฟ้าด้านออกที่พิกัด | 20 | แอมป์ |

2. กำหนดขนาดของแกนแม่เหล็ก

ในการกำหนดขนาดแกนแม่เหล็กมีวิธีการคำนวณ 2 วิธี

1. Area Product Ap Approach
2. Core Geometry Kg Approach

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะในกรณี Area Product Ap Approach เพราะเป็นวิธีที่ง่ายเหมาะสมสำหรับกับบุคคลที่ยังไม่มีประสบการณ์

ขั้นตอนในการออกแบบโดยใช้วิธี Ap Approach ทำได้ดังนี้

1. คำนวณหาค่า Area Product ซึ่งเป็นการหาค่าผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก (S) กับพื้นที่ของช่องหน้าต่าง (W) ดังสมการที่ 2.11

$$A_p = W \cdot S = \frac{P_{out}}{2 \cdot k \cdot B_{max} \cdot f \cdot J}$$

เมื่อ k คือ ขีดจำกัดของหน้าต่าง มีค่าในช่วง 0.3 - 0.6

B_{max} คือ ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก ซึ่งค่า B_{max} จะขึ้นกับชนิดของแกนแม่เหล็กในแต่ละชนิด

f คือ ความถี่ในการใช้งาน

J คือ ค่าความหนาแน่นกระแสในสายตัวนำทองแดง ($J_{rms} = \frac{I_{rms}}{A}$) โดยวิธีนี้เป็นการออกแบบที่ใช้อุณหภูมิเพิ่ม (T_{rise}) ซึ่งอยู่ในรูปของความหนาแน่นกระแสในสายตัวนำทองแดง $J = 3 - 5 \frac{A}{mm^2}$

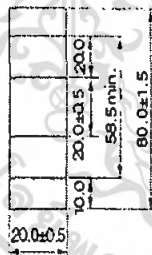
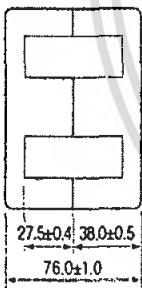
ดังนั้น
$$A_p = W \cdot S = \frac{4000}{2 \cdot 0.6 \cdot 0.25 \cdot 40k \cdot 3 \times 10^{-6}} = 0.11 \times 10^6$$

2. เลือกชนิด ลักษณะโครงสร้างและขนาดของแกนแม่เหล็ก โดยเลือกขนาดของแกนให้ A_p มากกว่า 0.11×10^6 โดยเลือกแกนเฟอร์ไรต์ ชนิด EE80x76x20 เนื่องจาก มีค่า A_p มากกว่า 0.11×10^6 ซึ่งมีค่า

$$A_p = 2 \cdot A_c \cdot A_{cw}$$

$$A_p = 2 \cdot 400 \times 1100 = 0.8 \times 10^6$$

EE80X76X20



Parameter

Core constant	C1	mm ⁻¹	0.44878
	C2×10 ⁻²	mm ⁻³	0.1106
Effective magnetic path length	l_e	mm	182
Effective cross-sectional area	A_e	mm ²	406
Effective core volume	V_e	mm ³	73910
Cross-sectional center lag area	A_c	mm ²	400
Minimum cross-sectional area	A_{min} *	mm ²	400LC*
Winding cross-sectional area	A_{cw}	mm ²	1100
Weight(approx.)	g		372

* The symbol followed A min. value shows minimum cross-sectional area part. C is center pole part, L is outer pole part, B is the back part.

Part No.	Al-value*(nH/N ²)	Calculated output power(kW) (forward converter mode)
PE22 EE80X76X20	4590±25%	1.4(100kHz)
PC40 EE80X76X20	5720±25%	1.5(100kHz)

* Al-value: T=23°C, f=1kHz, Hm=0.4A/m

รูปที่ 3.5 ลักษณะโครงสร้างและขนาดของแกนแม่เหล็ก

1. คำนวณหาจำนวนรอบขดลวดเหนี่ยวนำทางด้านปฐมภูมิ (N_1) และทางด้านทุติยภูมิ (N_2) โดยใช้แกน 3 แกน ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.8 และ 2.9 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N_1 = \frac{V_1}{2 \cdot B_{\max} \cdot S \cdot f}$$

$$= \frac{310}{2 \cdot 0.25 \cdot (20 \times 60) \cdot 10^{-6} \cdot 40k} = 12.9 \approx 13 \text{ รอบ}$$

$$N_2 = \frac{V_2}{2 \cdot B_{\max} \cdot S \cdot f}$$

$$= \frac{200}{2 \cdot 0.25 \cdot (20 \times 60) \cdot 10^{-6} \cdot 40k} = 8.33 \approx 9 \text{ รอบ}$$

คำนวณหาขนาดของขดลวดตัวนำ (A_w) เมื่อ

$$N_1 A_{w1} = N_2 A_{w2} \quad (3.1)$$

$$A_{w2} = \frac{I_{2,rms}}{J} = \frac{20}{3} = 6.7 \text{ mm}^2$$

$$A_{w1} = \frac{N_2 A_{w2}}{N_1} = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{I_{2,rms}}{J} = \frac{9}{13} \cdot \frac{20}{3} = 4.6 \text{ mm}^2$$

5. เลือกขนาดของขดลวดทองแดงให้ A_w ใหญ่กว่า 6.7 และ 4.6 นั่นคือ 7 และ 5 ตามลำดับ

6. เลือกเบอร์ขดลวด โดยจะต้องหาค่าความหนาของผิวตัวนำทองแดงกระแส (Skin depth) ก่อน จากสมการที่ 2.26

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho_c}{\mu \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \times 10^{-8}}{4\pi \times 10^{-7} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 40k}} = 0.503 \text{ mm}$$

โดยเลือกรัศมีของขดลวดทองแดงที่เล็กกว่าค่าความหนาของผิวตัวนำทองแดงกระแส (Skin depth) จากตารางที่ 2.3 เลือกเบอร์ของขดลวดทองแดง เบอร์ SWG27 มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.417 mm พื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.1363 mm²

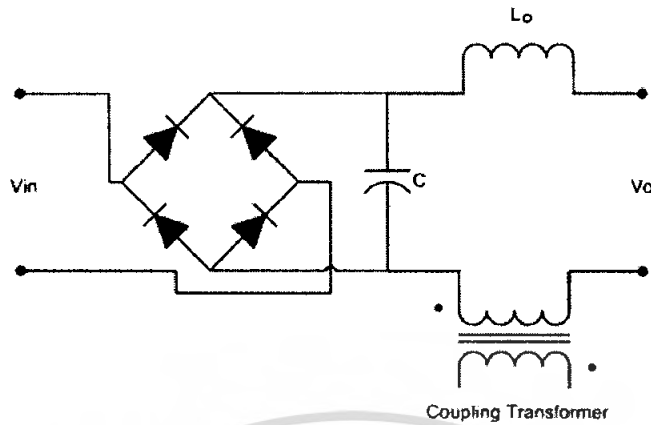
7. หาจำนวนเส้นที่มาตีเกลียวทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิได้ดังนี้

$$\text{จำนวนเส้นทางด้านปฐมภูมิ} = \frac{A_{w1}}{0.1363} = \frac{5}{0.1363} = 36.2 \approx 37 \text{ เส้น}$$

$$\text{จำนวนเส้นทางด้านทุติยภูมิ} = \frac{A_{w2}}{0.1363} = \frac{7}{0.1363} = 51.4 \approx 52 \text{ เส้น}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองทางด้านออก



รูป 3.6 วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองทางด้านออก

3.4.1 การเลือกขนาดไดโอดที่เรียงกระแสที่ได้จากวงจรฟลูบริดจ์ จากสมการที่ 2.3 เราจะสามารถหาขนาดของกระแสพิกัดของไดโอด

$$I_{f(av)} = I_{out} \times D$$

ดังนั้น $I_{f(av)} = (\text{กำลังด้านออกที่พิกัด/แรงดันด้านออกที่พิกัด}) \times 0.5$

$$I_{f(av)} = \frac{4000}{200} \times 0.5 = 10 \text{ แอมป์}$$

ในทางปฏิบัติได้เลือกไซไดโอดที่ทนกระแส $I_{f(av)}$ ได้ในขนาดพิกัดมากกว่า 30 แอมป์

3.4.2 การหาขนาดตัวเหนี่ยวนำที่ใช้เป็นฟิลเตอร์

จากสมการที่ 2.30

$$L = \frac{E_{out} \cdot T_{off}}{0.2 \cdot I_L}$$

ดังนั้นจะหาขนาดของ L ได้ดังนี้

$$T_{off} = \frac{1}{2} \times 25 \times 10^{-6} = 12.5 \times 10^{-6} \text{ วินาที}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L = \frac{200 \times 12.5 \times 10^{-6}}{0.2 \cdot 20} = 625 \text{ ไมโครเฮนรี่}$$

ขั้นตอนการออกแบบการคำนวณตัวเหนี่ยวนำ

การออกแบบโดยใช้วิธีการคำนวณแบบ Ap Approach

1. กำหนดหาค่า Area Product ซึ่งเป็นการหาค่าผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก (S) กับพื้นที่ของช่องหน้าต่าง (W) ดังสมการที่ 3.2

$$A_p = W \cdot S = \frac{L \cdot I_{peak}^2}{k \cdot B_{max} \cdot J} \quad (3.2)$$

เมื่อ k คือ ขีดจำกัดของหน้าต่าง มีค่าในช่วง 0.3 - 0.6
 B_{max} คือ ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก ซึ่งค่า B_{max} จะขึ้นกับชนิดของแกนแม่เหล็กในแต่ละชนิด

J คือ ค่าความหนาแน่นกระแสในสายตัวนำทองแดง ($J_{rms} = \frac{I_{rms}}{A}$) โดยวิธีนี้เป็นการออกแบบที่ใช้อุณหภูมิเพิ่ม (T_{rise}) ซึ่งอยู่ในรูปของความหนาแน่นกระแสในสายตัวนำทองแดง $J = 3-5 \frac{A}{mm^2}$

$$\text{ดังนั้น} \quad A_p = W \cdot S = \frac{625 \times 10^{-6} \times 20^2}{0.6 \cdot 0.25 \cdot 3 \times 10^{-6}} = 0.55 \times 10^6$$

2. เลือกชนิด ลักษณะโครงสร้างและขนาดของแกนแม่เหล็ก โดยเลือกขนาดของแกนให้ A_p มากกว่า 0.55×10^6 โดยเลือกแกนเฟอร์ไรต์ ชนิด EE80x76x20 เนื่องจาก มีค่า A_p มากกว่า 0.55×10^6 ซึ่งมีค่า

$$A_p = 2 \cdot A_c \cdot A_{cw}$$

$$A_p = 2 \cdot 400 \times 1100 = 0.8 \times 10^6$$

3. กำหนดหาจำนวนรอบขดลวดตัวเหนี่ยวนำ (N) ซึ่งหาได้จากสมการที่ 3.3

$$N = \frac{L \cdot I_{peak}}{B_{max} \cdot S} \quad (3.3)$$

$$= \frac{625 \times 10^{-6} \times 20}{0.25 \cdot (20 \times 40) \times 10^{-6}} = 62.5 \approx 63 \text{ รอบ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. คำนวณหาขนาดของขดลวดตัวนำ (A_w) เมื่อ

$$A_w = \frac{I_{2,rms}}{J} = \frac{20}{3} = 6.7 \text{ mm}^2$$

5. เลือกขนาดของขดลวดทองแดงให้ A_w ใหญ่กว่า 6.7 นั่นคือ 14 mm^2 เลือกเบอร์ขดลวด โดยจะต้องหาค่าความหนาของผิวตัวนำทองแดงกระแส (Skin depth) ก่อน จากสมการที่ 2.15

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho_c}{\mu \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \times 10^{-8}}{4\pi \times 10^{-7} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 40k}} = 0.503 \text{ mm}$$

โดยเลือกรัศมีของขดลวดทองแดงที่เล็กกว่าค่าความหนาของผิวตัวนำทองแดงกระแส (Skin depth) จากตารางเลือกเบอร์ของขดลวดทองแดง เบอร์ SWG27 มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.417 mm พื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.1363 mm^2

หาจำนวนเส้นที่มอดิเกลียวได้ดังนี้

$$\text{จำนวนเส้นลวดทองแดง} = \frac{A_{w2}}{0.1363} = \frac{14}{0.1363} = 102.7 \approx 103 \text{ เส้น}$$

3.4.3 การหาขนาดตัวเก็บประจุที่ใช้เป็นฟิลเตอร์

จากสมการที่ 2.31 จากข้อกำหนด

$$\begin{aligned} \Delta I_{out} &= 0.20 \times 20 \\ &= 4 \text{ แอมป์} \\ \Delta v_{out} &= 0.10 \text{ โวลต์} \\ f &= 40000 \text{ เฮิรตซ์} \end{aligned}$$

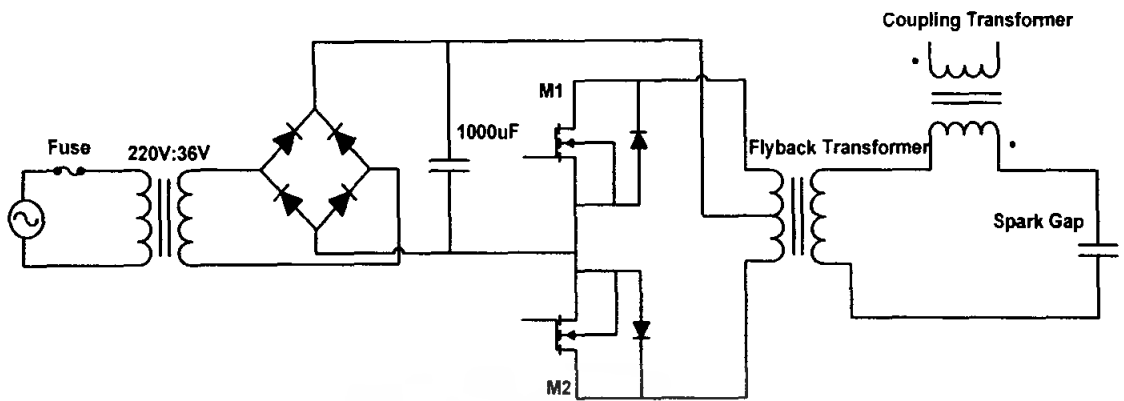
ดังนั้น ตัวเก็บประจุ

$$\begin{aligned} C_{out} &= \frac{4}{8 \times 40000 \times 0.10} \\ &= 125 \text{ ไมโครฟารัด} \end{aligned}$$

ในทางปฏิบัติเลือกใช้ตัวเก็บประจุขนาด 330 ไมโครฟารัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง



รูปที่ 3.7 วงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง

จากสมการที่ 3.4

$$V_{out} = 2\delta_{max} V_{in} \left(\frac{N_s}{N_p} \right) \quad (3.4)$$

ดังนั้น

ซึ่งในที่นี้จะกำหนดให้ $\delta_{max} = \text{Duty Cycle} = 0.46$

$V_{in} = 50 \text{ Vdc}$, $N_p = 40$ รอบ, $N_s = 2000$ รอบ

$$V_{out} = 0.92 \times 50 \times \left(\frac{2000}{40} \right) = 2,300 \text{ V}$$

ปริมาณของแกนจากในสมการที่ 4.1 $A_p = W \cdot S = \frac{P_{out}}{2 \cdot k \cdot B_{max} \cdot f \cdot J}$

ดังนั้น

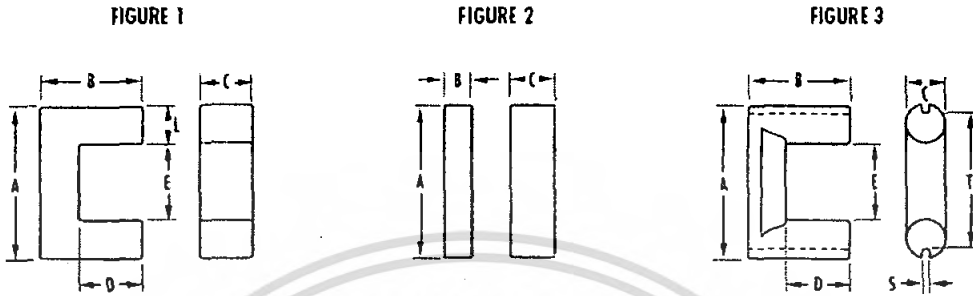
$$P_{out} = 230 \text{ Watt}, k = 0.3-0.6, B_{max} = 0.25, f = 40 \text{ kHz}, J = 3-5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

$$A_p = W \cdot S = \frac{230}{2 \cdot 0.6 \cdot 0.25 \cdot 40 \text{ k} \cdot 3 \times 10^{-6}} = 6,388.89$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL DIMENSIONS (mm)

PART	CORE TYPE	FIG.	A	B	C	D	E	L	S	T
0_44125UC	U core	3	41.78 ± .81	25.4 ± .13	11.94 ± .25	15.9 ± .2	18.8 ± .56	-	3.18 ± .13	34.66 nom
0_44130UC	U core	3	41.78 ± .11	30.5 ± .3	11.94 ± .25	20.8 min	18.8 ± .56	-	3.18 ± .13	34.66 nom
0_45716UC	U core	3	57.65 ± 1.7	28.6 + 0, - .4	15.9 ± .4	15.5 + 1, - 0	27.6 ± .9	-	4.8 ± .2	49.8 ± .8



รูปที่ 3.8 แกนเหล็กเฟอร์ไรต์ที่ใช้สำหรับเป็นหม้อแปลงฟลายแบค

กระแสสูงสุด (I_C) ที่จะผ่านมอสเฟตแต่ละตัวขณะนำกระแสในสมการที่ 4.8 คือ

$$I_C = \frac{P_{out}}{\eta \delta_{r(max)} V_{in}} \quad (3.5)$$

ดังนั้นจะได้

$$P_{out} = 230 \text{ Watt}, \quad \delta_{max} = 0.46, \quad V_{in} = 50 \text{ Vdc}, \quad \eta = 0.8$$

$$\delta_{r(max)} = 0.46 \times 2 = 0.92$$

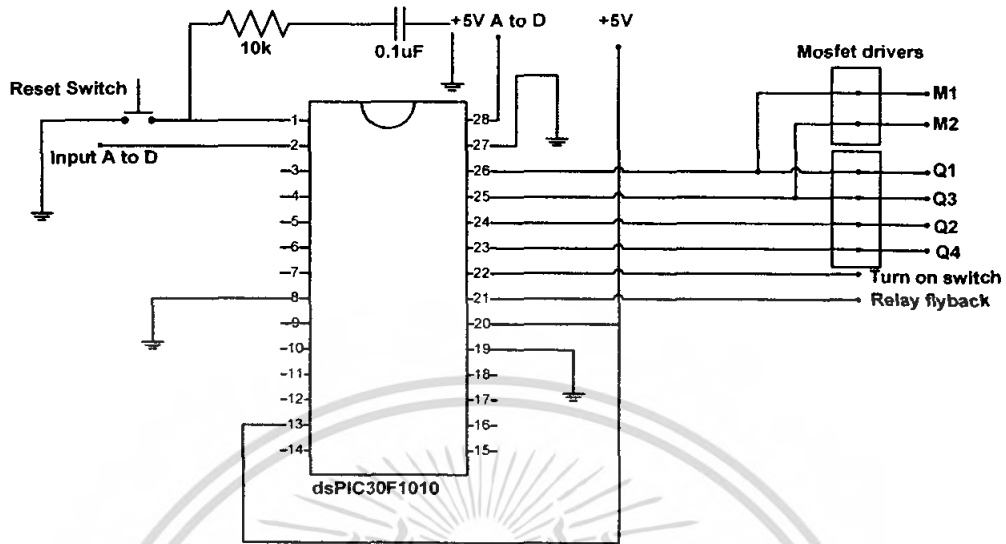
$$I_C = \frac{230}{0.8 \times 0.92 \times 50} = 6.25 \text{ A}$$

ดังนั้นจะต้องเลือกมอสเฟตที่ทนกระแส 50V, 6.25A

3.6 วงจรควบคุม

dsPIC30F1010 จะทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณขับมอสเฟตแต่ละตัว โดยการเขียนโปรแกรมลงไปในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ และจะได้สัญญาณออกที่ขา 23, 24, 25 และ 26 ผ่านวงจรขับเข้าขามอสเฟต Q1, Q2, Q3 และ Q4 ในวงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์โดยลักษณะสัญญาณจะถูกเลื่อนเฟสเรียบร้อยแล้วและส่วนของสัญญาณควบคุมวงจรถูกกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง

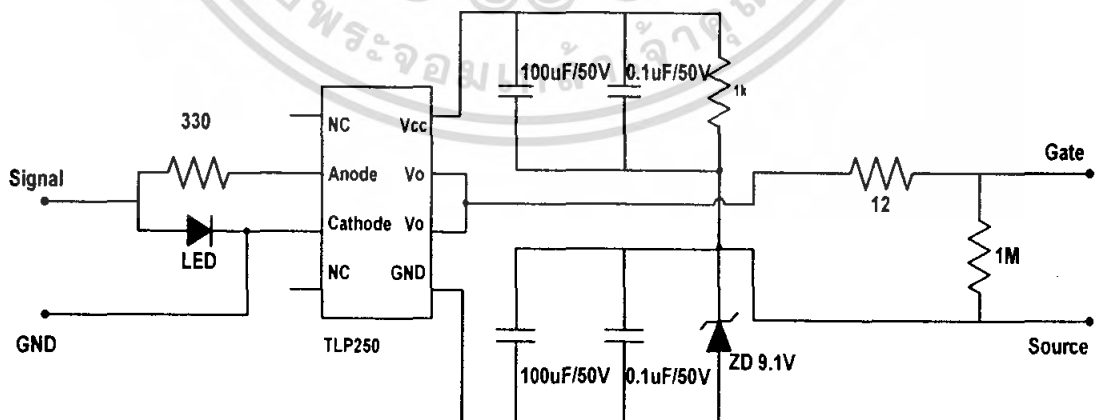
ความถี่สูงจะใช้สัญญาณจากขา 25,26 หรือ 23,24 มาผ่านวงจรขับแล้วส่งผ่านไปขับขาเกตของ มอสเฟต IRFP460 ต่อไป



รูปที่ 3.9 วงจรควบคุมและจ่ายแรงดันสัญญาณ

3.7 การออกแบบวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟต

เมื่อสัญญาณที่ถูกเลื่อนเฟสที่ได้จากการเขียนโปรแกรมลงใน dsPIC จะถูกส่งผ่านเข้ามาขาเกตของมอสเฟต โดยผ่านวงจรออปโตคัปเปิลอร์ซึ่งจะใช้ไอซี TLP250 สัญญาณที่เข้ามายัง TLP250 จะถูกขยายสัญญาณเป็น +24V กับ 0V จากนั้นสัญญาณจะถูกกรองโดยผ่าน C และผ่าน Zener Diode 9.1V ทำให้ได้สัญญาณที่ไปขับมอสเฟตเป็น +15V กับ -9V เข้าที่ขาเกตและซอสของมอสเฟตแต่ละตัว



รูปที่ 3.10 วงจรแยกกราวด์ขาเกตของมอสเฟตโดยใช้วงจรออปโตคัปเปิลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

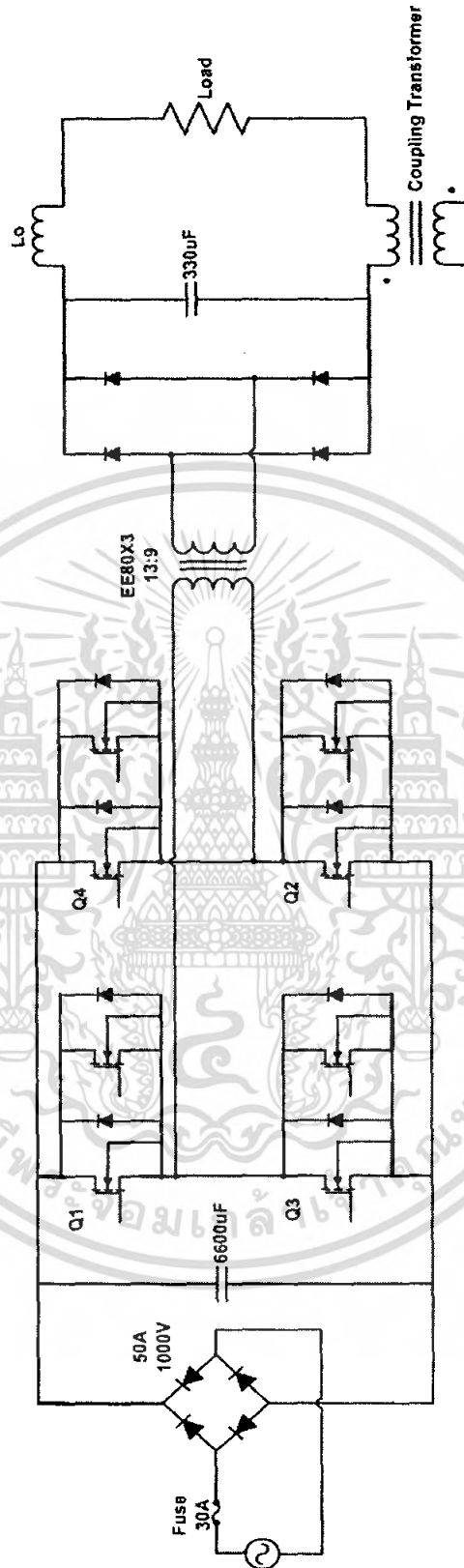
การทดลองนี้ จะทำการทดสอบสัญญาณรูปคลื่นแรงดันที่ได้จากการจ่ายโพลต์โดยใช้โพลต์ที่เป็นหลอดไฟฟ้าในการทดสอบ เพื่อหาพิกัดกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้

- | | |
|--------------------------------------|-----------|
| 1. Digital Oscilloscopes รุ่น DL1620 | 1 เครื่อง |
| 2. สาย Probe 1 × 10 | 1 เส้น |
| 3. Current Probe | 1 ชุด |
| 4. Differential Probe 1 × 200 | 1 ชุด |
| 5. Vaisc | 1 ชุด |
| 6. Multimeter | 1 เครื่อง |



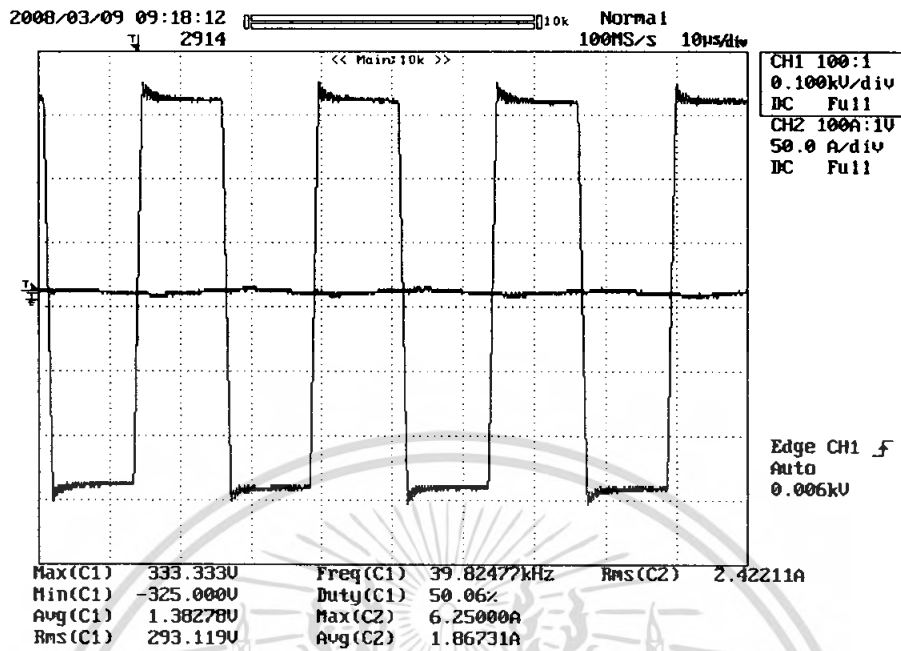
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



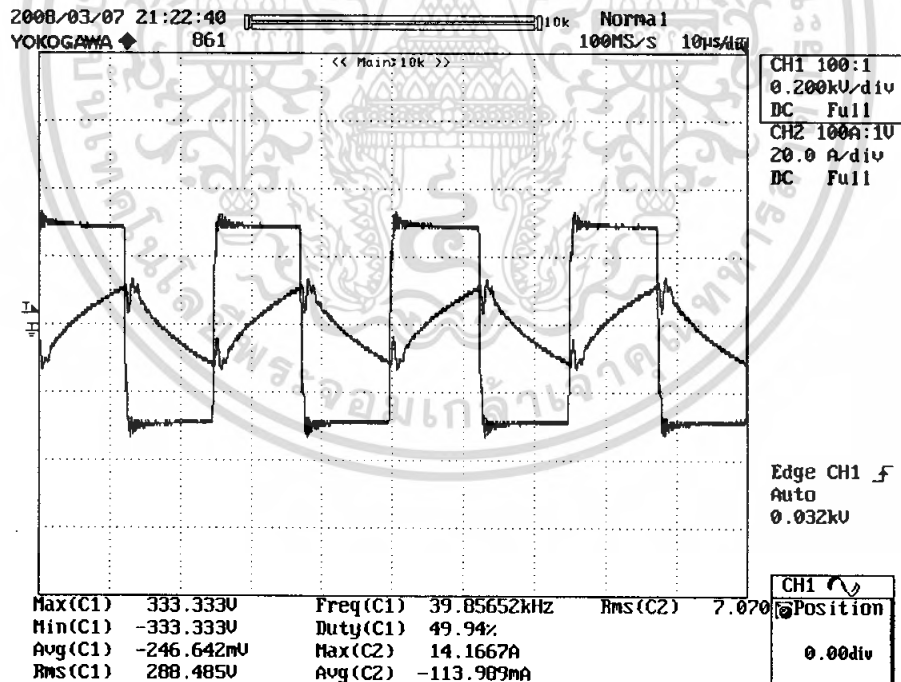
รูปที่ 4.1 วงจรไฟฟ้าของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ผลทดสอบรูปสัญญาณ

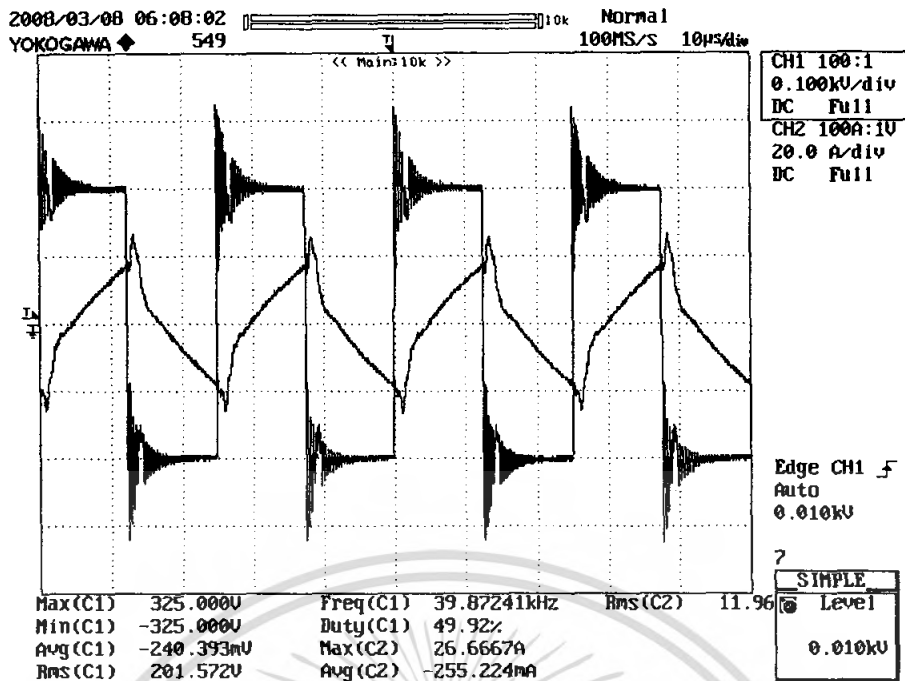


รูปที่ 4.2 แรงดันและกระแสที่ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะไม่มีโหลด

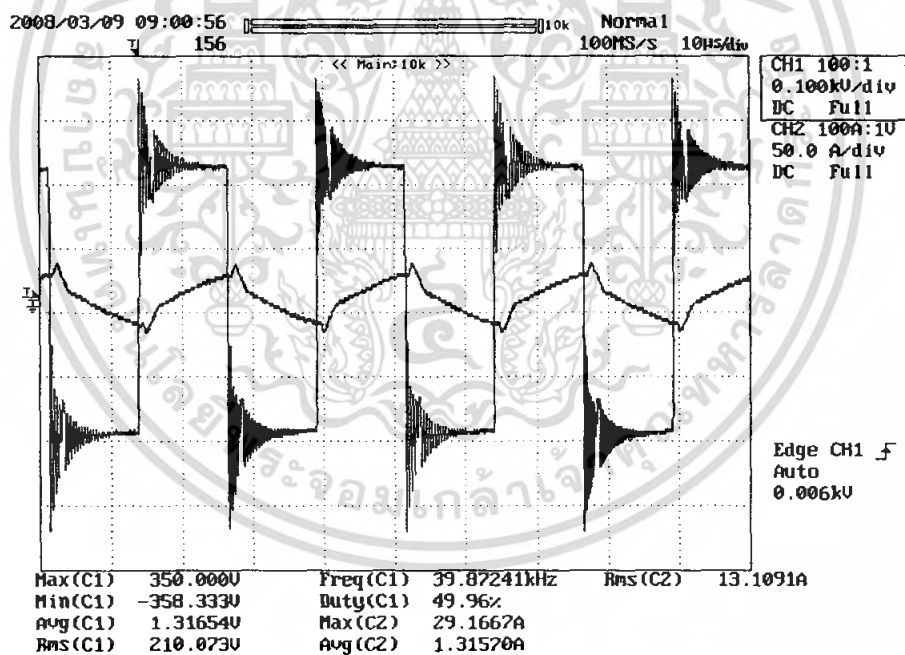


รูปที่ 4.3 แรงดันและกระแสที่ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีโหลด 10 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

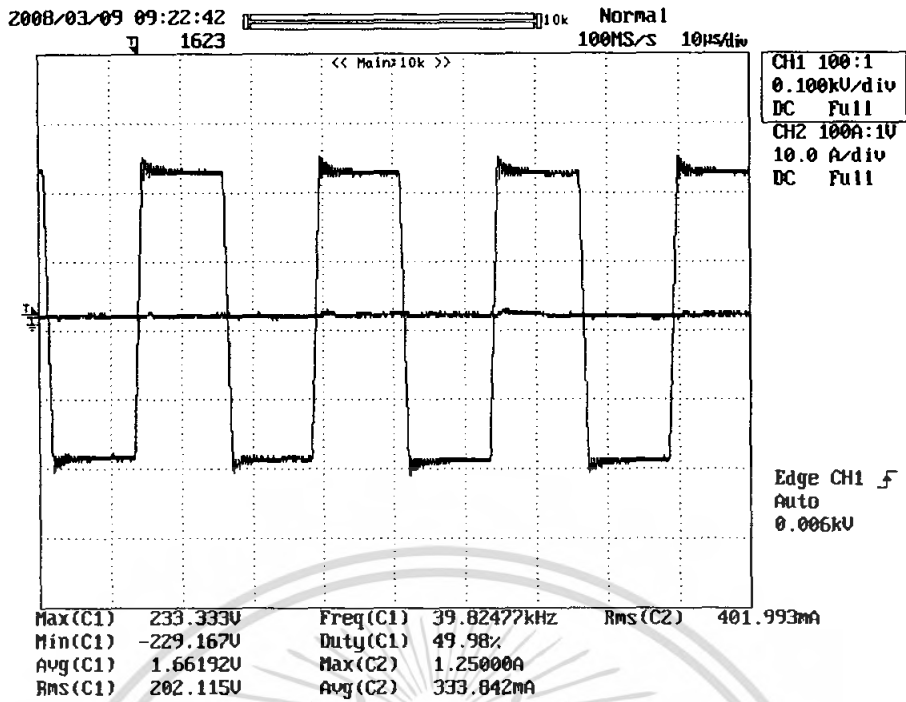


รูปที่ 4.4 แรงดันและกระแสที่ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีโหลด 15 แอมป์

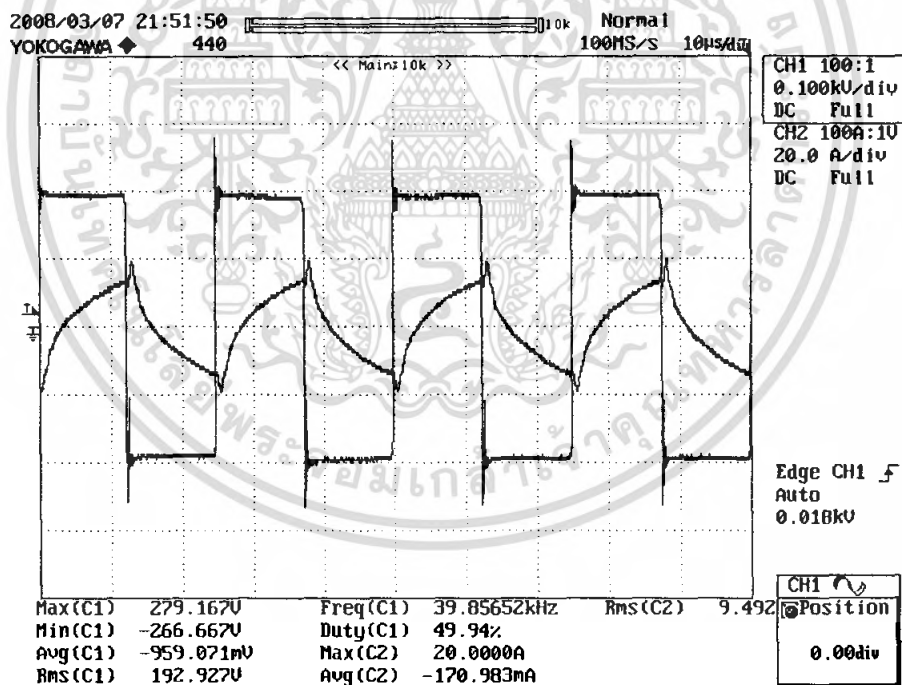


รูปที่ 4.5 แรงดันและกระแสที่ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีโหลด 20 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

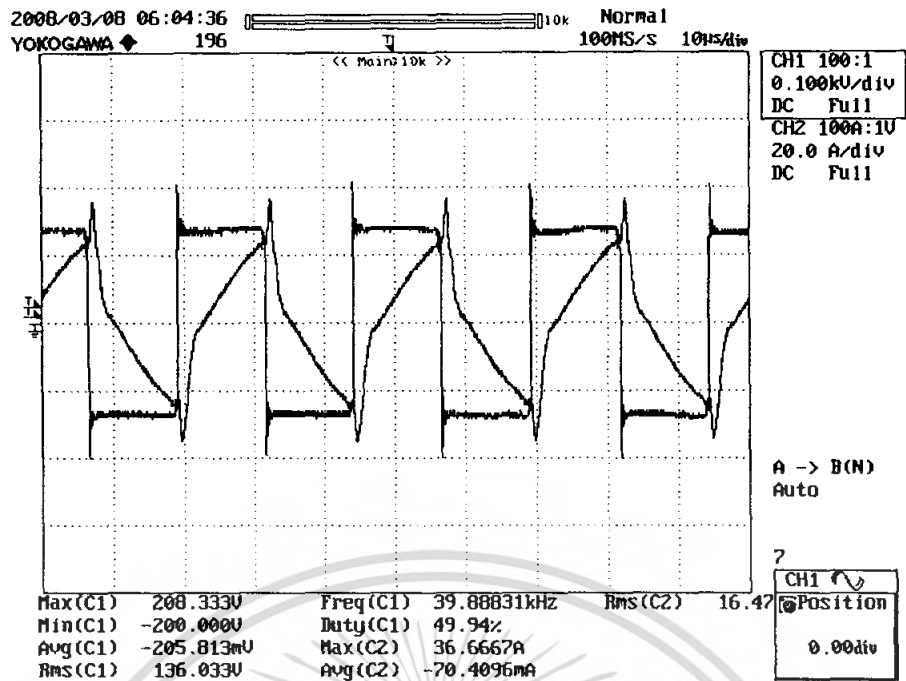


รูปที่ 4.6 แรงดันและกระแสที่ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงขณะไม่มีโหลด

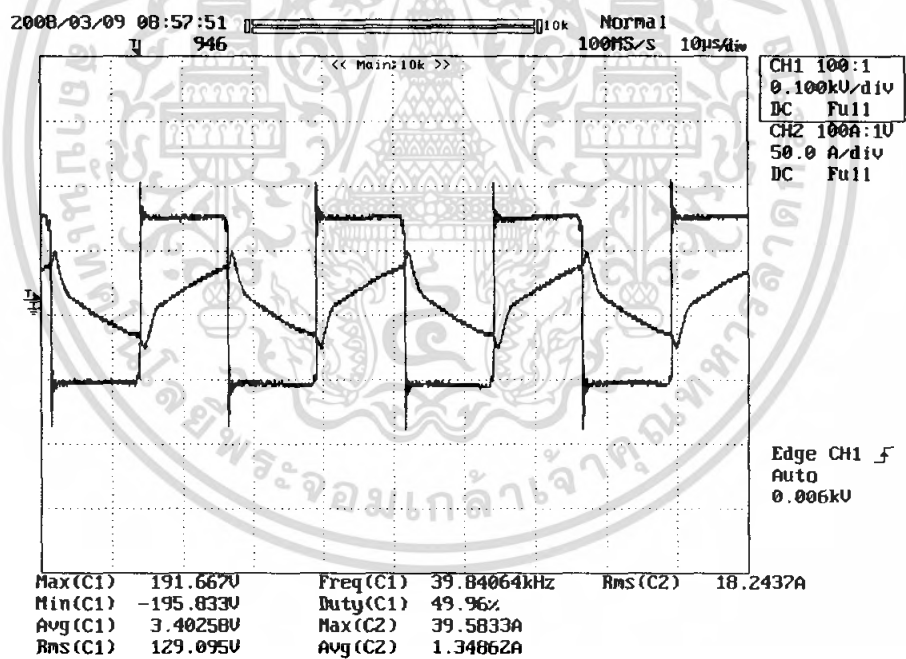


รูปที่ 4.7 แรงดันและกระแสที่ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงขณะมีโหลด 10 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

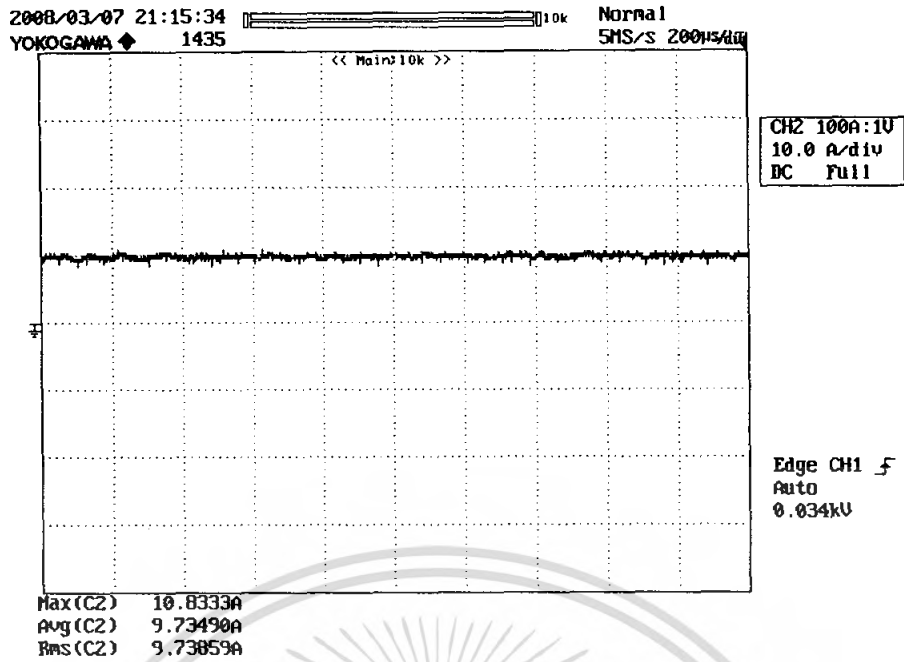


รูปที่ 4.8 แรงดันและกระแสที่ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงขณะมีโหลด 15 แอมป์

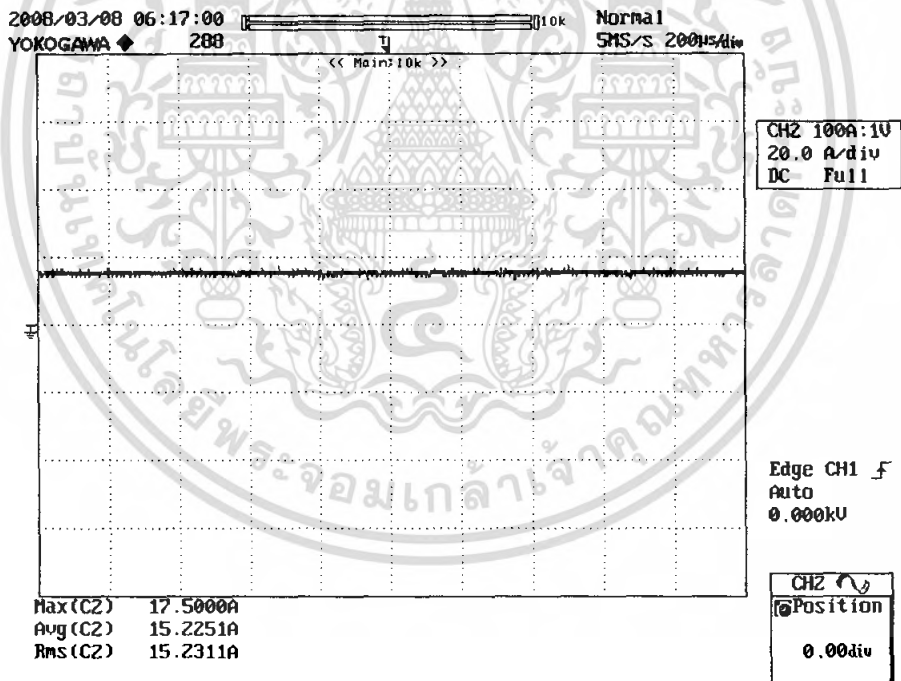


รูปที่ 4.9 แรงดันและกระแสที่ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงขณะมีโหลด 20 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

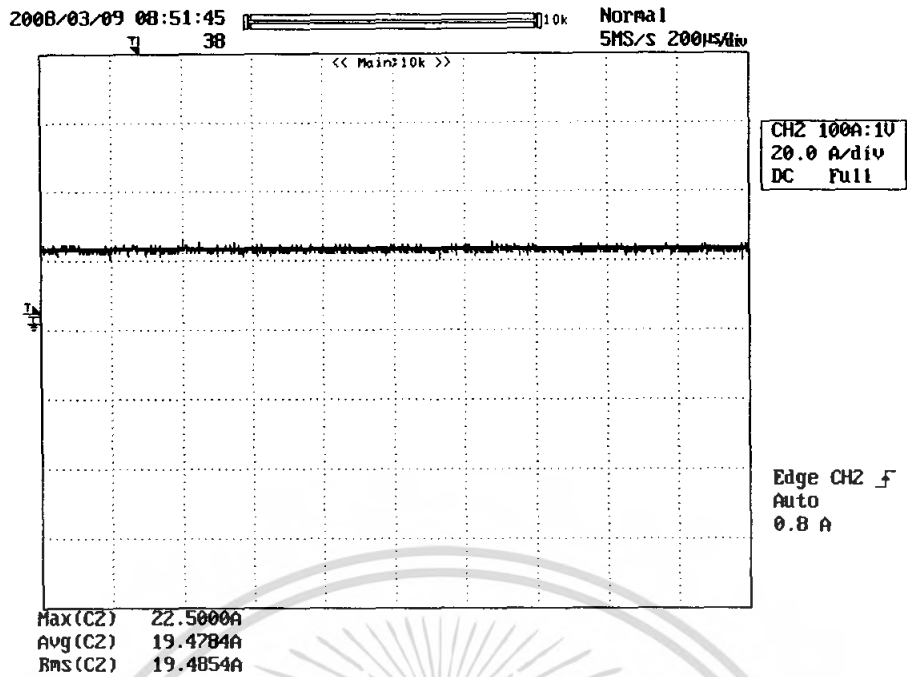


รูปที่ 4.10 กระแสเอาต์พุต 10 แอมป์

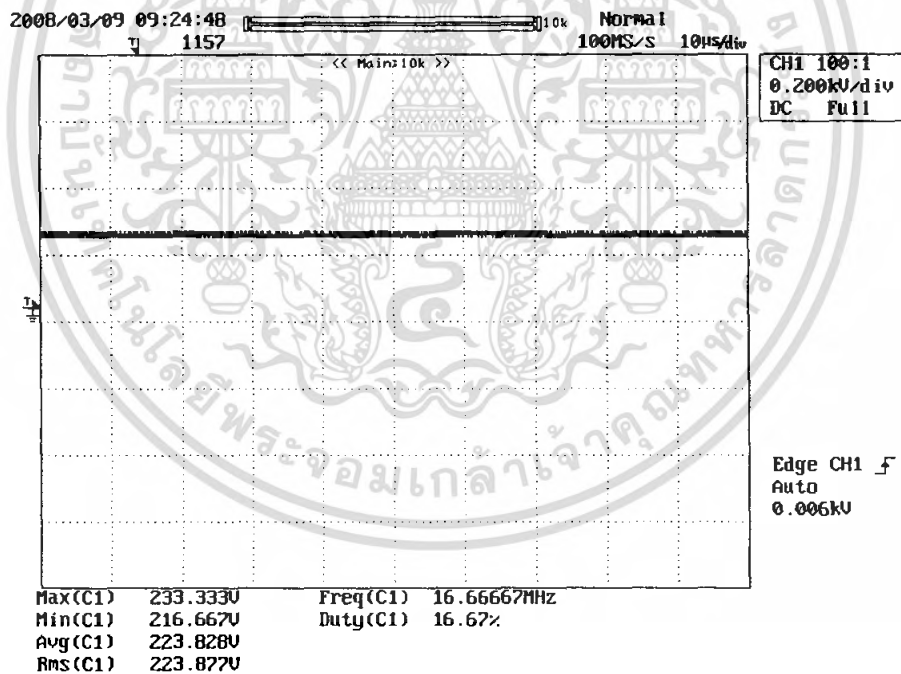


รูปที่ 4.11 กระแสเอาต์พุต 15 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

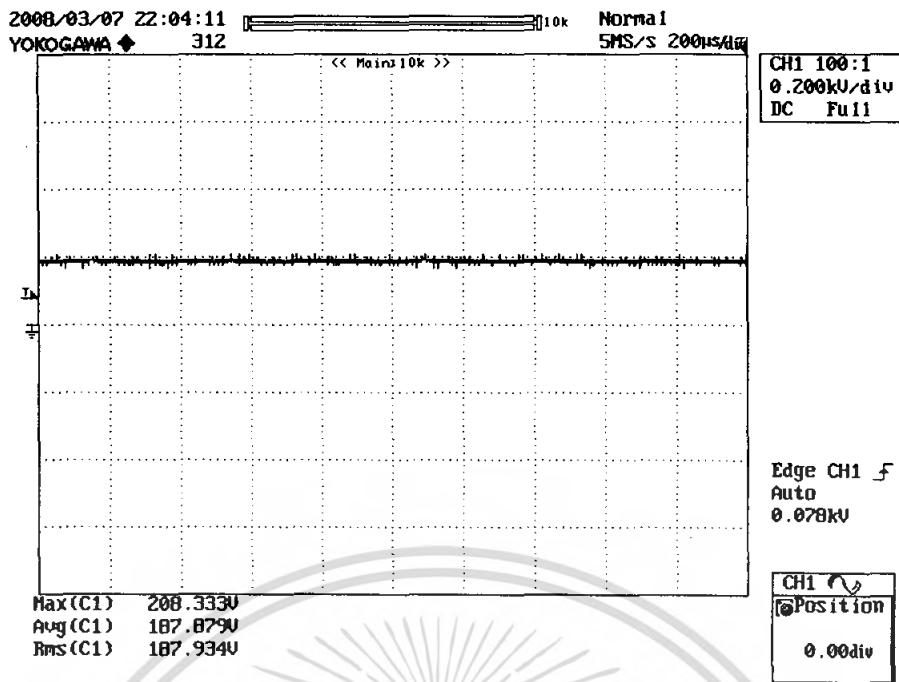


รูปที่ 4.12 กระแสเอาต์พุต 20 แอมป์

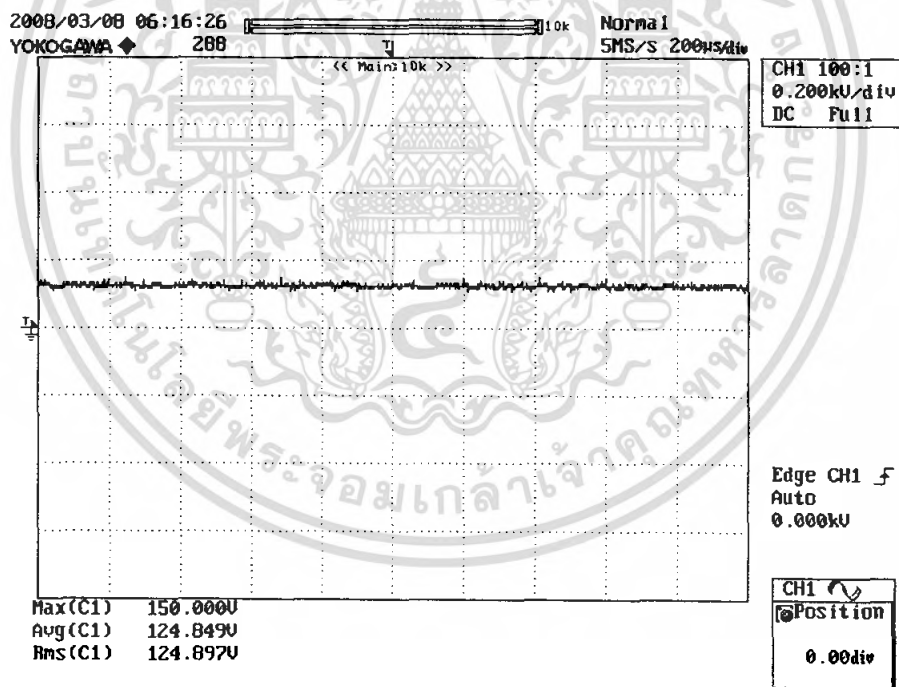


รูปที่ 4.13 แรงดันเอาต์พุตขณะไม่มีโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

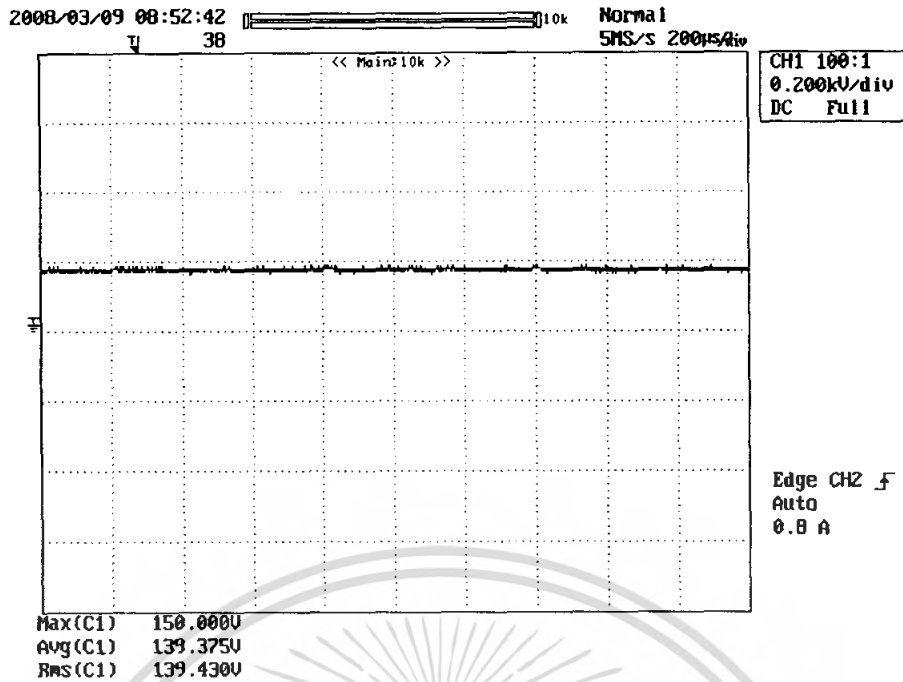


รูปที่ 4.14 แรงดันเอาต์พุตขณะมีโหลด กระแส 10 แอมป์

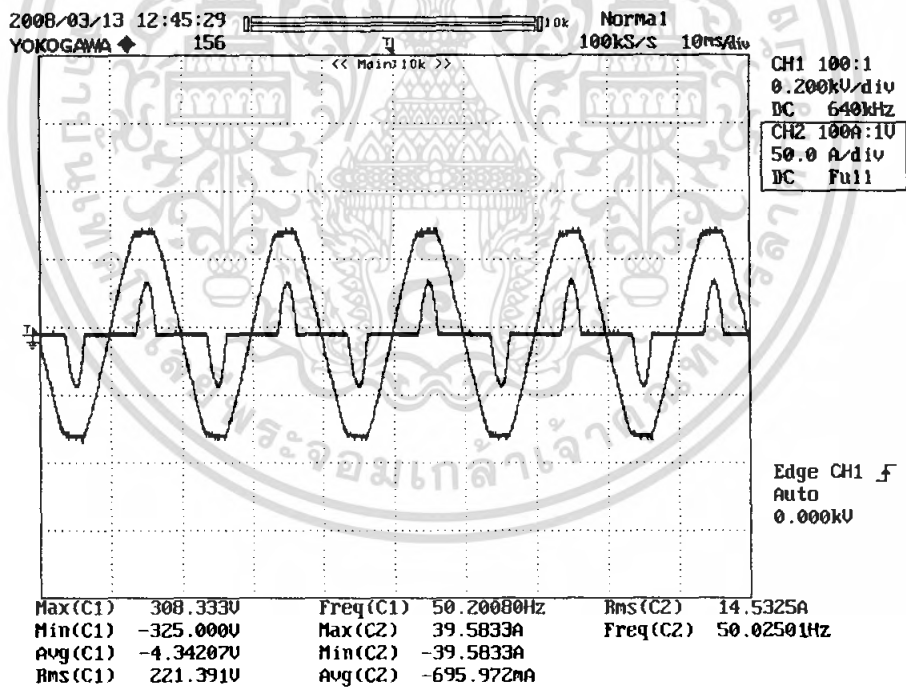


รูปที่ 4.15 แรงดันเอาต์พุตขณะมีโหลด กระแส 15 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

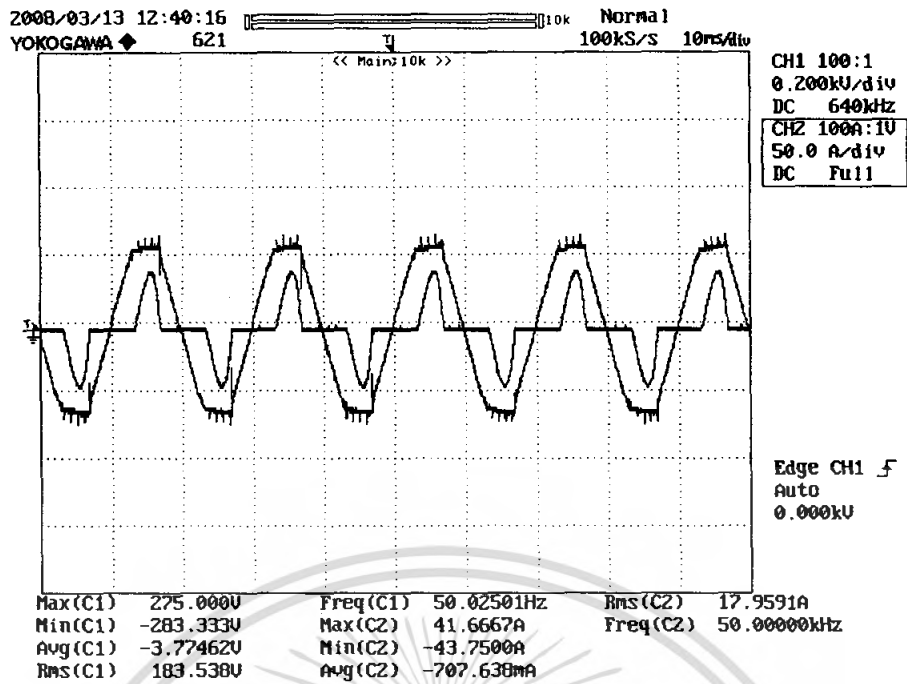


รูปที่ 4.16 แรงดันเอาต์พุตขณะมีโหลด กระแส 20 แอมป์

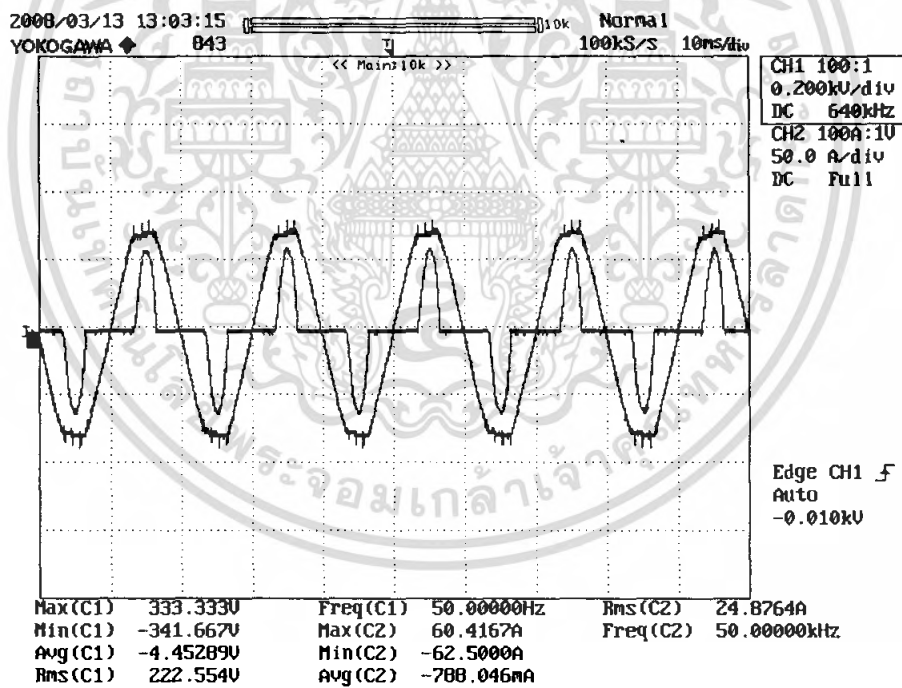


รูปที่ 4.17 แรงดันและกระแสอินพุตขณะมีโหลด 10 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

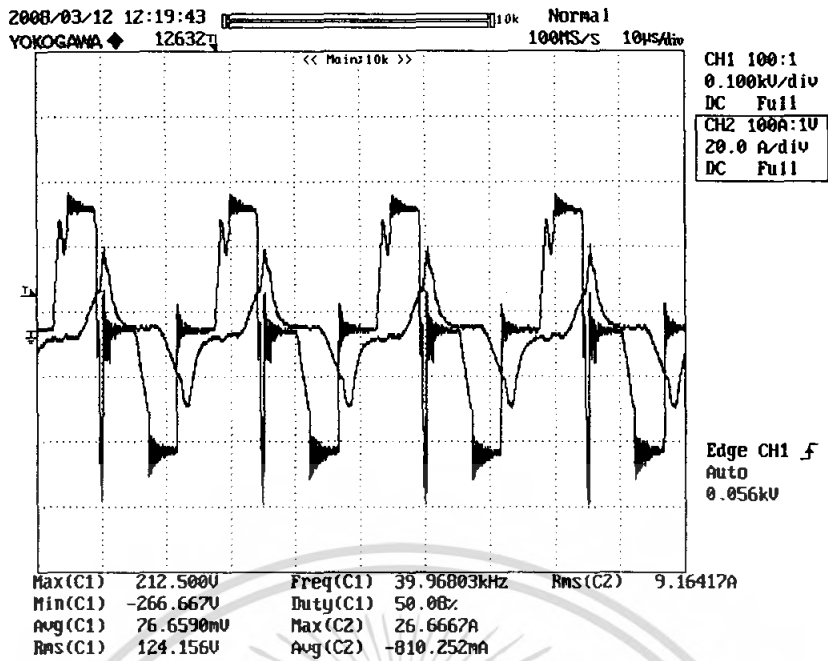


รูปที่ 4.18 แรงดันและกระแสอินพุทขณะมีโหลด 15 แอมป์

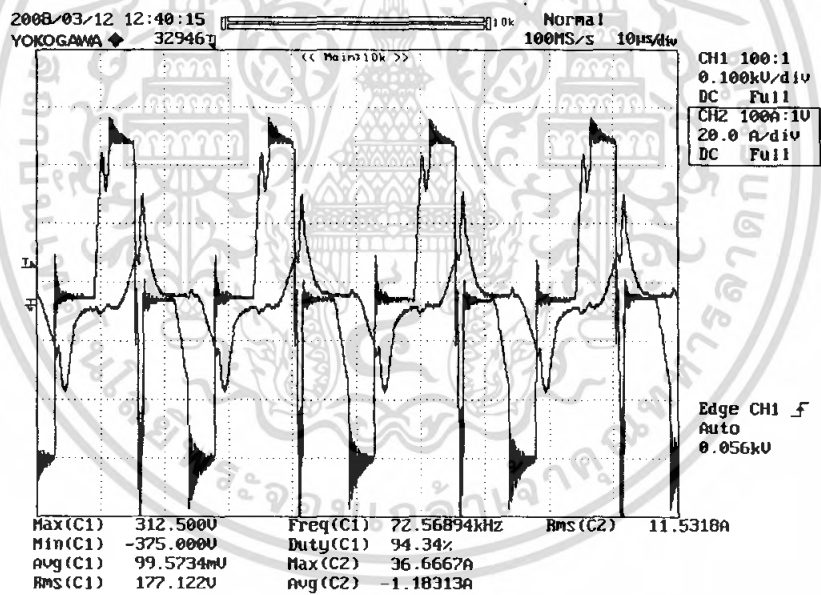


รูปที่ 4.19 แรงดันและกระแสอินพุทขณะที่โหลด 20 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 การสวิตซ์แรงดันศูนย์ที่แรงดัน 150 โวลต์ ขณะที่โหลด 10 แอมป์



รูปที่ 4.21 การสวิตซ์แรงดันศูนย์ที่แรงดัน 220 โวลต์ ขณะที่โหลด 10 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพ

ตาราง 4.1 ตารางแสดงแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้านำออก

ด้านขาออก		
กระแส	แรงดัน	พลังงานขาออก
9.74 A	187.93 V	1830.44 W
15.23 A	124.89 V	1902.07 W
19.49 A	139.43 V	2717.49 W

ตาราง 4.2 ตารางแสดงประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง

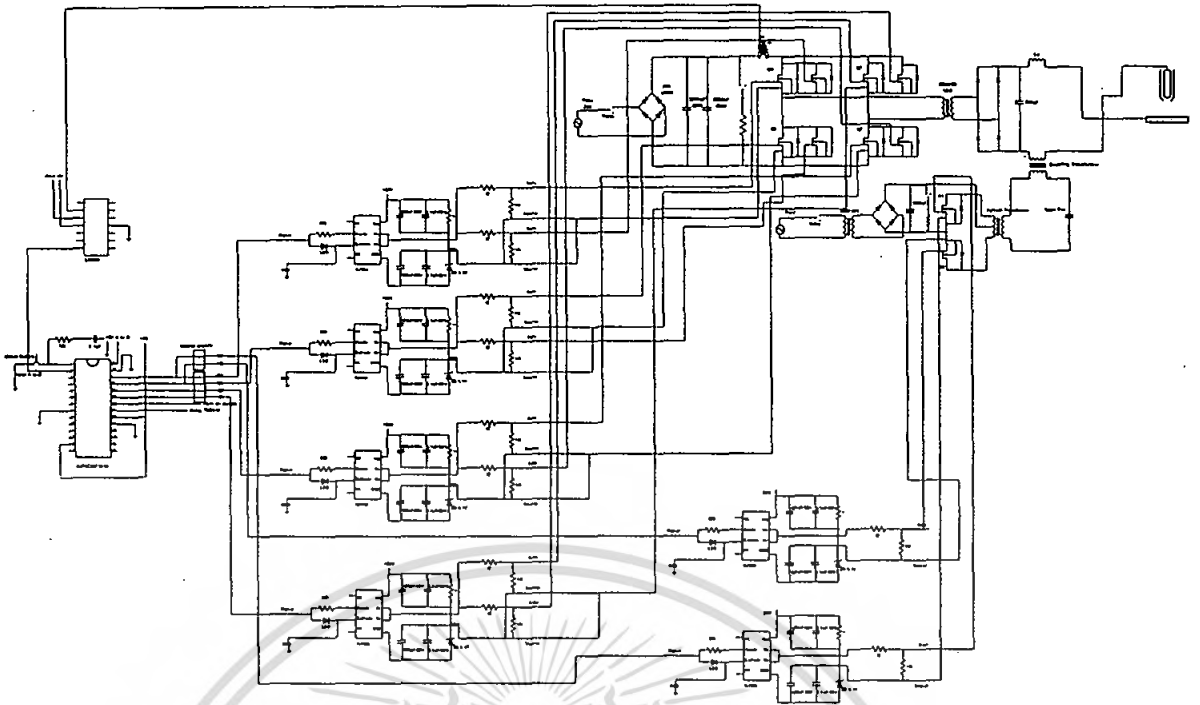
โหลดด้านออก	พลังงานขาเข้า	พลังงานขาออก	ประสิทธิภาพ
10 A	1930.42 W	1830.44 W	94.82%
15 A	2010.67 W	1902.07 W	94.60%
20 A	2989.62 W	2717.49 W	90.90%

ประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 4.22 รูปกราฟแสดงประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 วงจรรวมของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและเสนอแนวทางที่จะดำเนินการ

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการออกแบบเครื่องตัดแบบพลาสมาในครั้งนี้ ได้ใช้หลักการของการสวิตชิงเพาเวอร์ ซัพพลายที่ความถี่สูงและใช้เทคนิคการเลื่อนเฟสเพื่อให้เกิดการสวิตชิงที่แรงดันศูนย์ ซึ่งสามารถช่วยลดขนาดของแผ่นระบายความร้อนให้เล็กลงได้ เพราะสามารถลดกำลังงานสูญเสียขณะทำการสวิตชิง ดังนั้นทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมานี้มีประสิทธิภาพสูง

การออกแบบเครื่องตัดแบบพลาสมาในครั้งนี้ ได้ใช้การสร้างสัญญาณขับมอสเฟตจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F1010 โดยสามารถสร้างสัญญาณ PWM ได้ 4 เอ้าท์พุตและสามารถกำหนดเดดไทม์ได้เลย รวมทั้งมีการใช้ขา Analog to digital เพื่อรับแรงดันที่ได้จาก current sensor มาใช้ประมวลผลแล้วทำการสร้างสัญญาณให้กับมอสเฟตโดยมีการเลื่อนเฟสซึ่งเป็นกระบวนการในการ close loop เพื่อให้กระแสเอ้าท์พุตคงที่ แต่อย่างไรก็ตามถ้าแรงดันที่เข้าขา analog to digital ไม่เรียบจะทำให้กระแสเอ้าท์พุตไม่คงที่ด้วย อีกทั้งจำเป็นอย่างยิ่งที่ ต้องมีการป้องกันชดุมอสเฟตเพื่อไม่ให้เกิดการระเบิด เนื่องจากในขณะทำการตัดจริงนั้นจะ เหมือนกับการลัดวงจรเพราะมีค่าความต้านทานต่ำมาก ดังนั้นจึงมีการจับกระแสที่เข้าดีวีบีส์ ก่อนเข้ามอสเฟตมา close loop ซึ่งผลของการสวิตชิงจะทำให้แรงดันที่เข้าขา Analog to digital ไม่เรียบ ทำให้การพัฒนาเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมายังคงมีปัญหาเรื่องของการทำให้กระแสด้าน เอ้าท์พุตไม่คงที่

ข้อเสียของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาในครั้งนี้

1. วงจรป้อนกลับยังไม่สมบูรณ์
2. ไม่สามารถปรับขนาดของอุปกรณ์ให้เล็กลงตามที่คาดหวังไว้
3. พิกัดกระแสยังต่ำเกินไป

ปัญหาที่พบในการทดลอง

1. แรงดันที่นำมาเข้าขา Analog to digital เพื่อทำการ close loop ยังไม่คงที่พอ
2. มักเกิดกระแสเกินพิกัดในขณะทำการตัดซึ่งอาจจะทำให้เกิดความเสียหายกับ มอสเฟตได้

5.2 แนวทางที่จะดำเนินการ

เนื่องจากการพัฒนาเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาในปีนี้ยังไม่สมบูรณ์ ดังนั้นเครื่องตัดแบบพลาสมาจึงสามารถเป็นเครื่องต้นแบบ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาต่อไป ตั้งแต่การพัฒนาให้พิกัดกำลังไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น และพัฒนางจรป้อนกลับให้สมบูรณ์มากขึ้น รวมทั้งควรลดขนาดของอุปกรณ์ให้เล็กลงด้วย

บรรณานุกรม

- [1] N. Mohan, T .M. Underland, and W.P. Robins, **Power Electronics Converter Application and Design**, John Wiley & Sons, Inc., 1989.
- [2] Abraham I. Pressman, **Switching Power Supply Design**, McGraw-Hill, 1991
- [3] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และวุฒิพล ชาราวีร์เศรษฐ์, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ.พรินติ้ง, 2547
- [4] สุขสันต์ โอวาทพารพร และคณะ, “เครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา”, **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549
- [5] ขวลิต เปี่ยมวารี และคณะ, “เครื่องเชื่อมอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง”, **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546
- [6] บุญวัฒน์ ว่องไววิทรัพย์ และประเสริฐ แก้วกาญจน์, “เครื่องตัดโลหะด้วยลำพลาสมา”, **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546
- [7] ปราบกฤต เหลียงประดิษฐ์, “แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ความถี่สูงที่แรงดันสวิตซ์ศูนย์”, **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543
- [8] ดำเนิน สิทธิชัยณรงค์, “สวิตซ์เชิงเพาเวอร์ซัพพลายควบคุมแบบพีดับบลิวเอ็มเฟสซิปท์โดยมีการสวิตซ์แรงดันศูนย์”, **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลอุปกรณ์

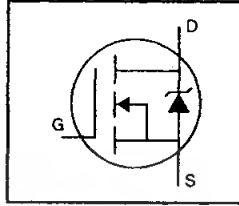
International
IR Rectifier

PD-9.512B

IRFP460

HEXFET® Power MOSFET

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



$V_{DSS} = 500V$

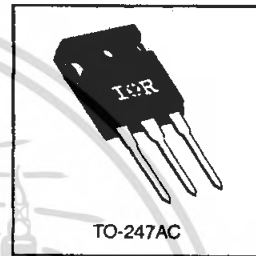
$R_{DS(on)} = 0.27\Omega$

$I_D = 20A$

Description

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

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

DATA
SHEETS**Absolute Maximum Ratings**

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

Thermal Resistance


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

1025


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP460

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/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D=1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.27	Ω	$V_{GS}=10V, I_D=12A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS}=V_{GS}, I_D=250\mu A$
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	$V_{DS}=20V$
	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_{riss}	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 $\leq 2\%$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



IRFP460

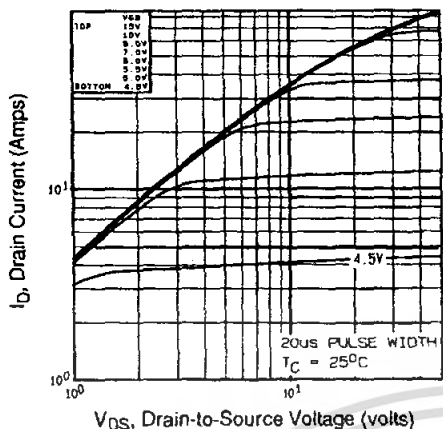


Fig 1. Typical Output Characteristics, $T_C=25^\circ\text{C}$

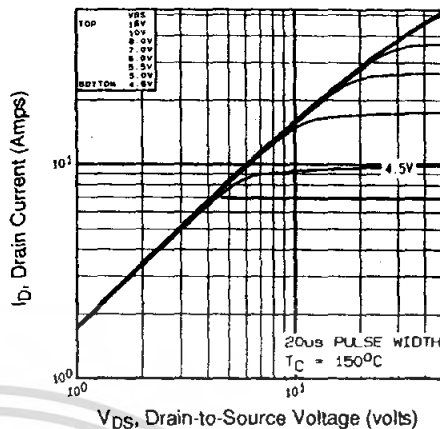


Fig 2. Typical Output Characteristics, $T_C=150^\circ\text{C}$

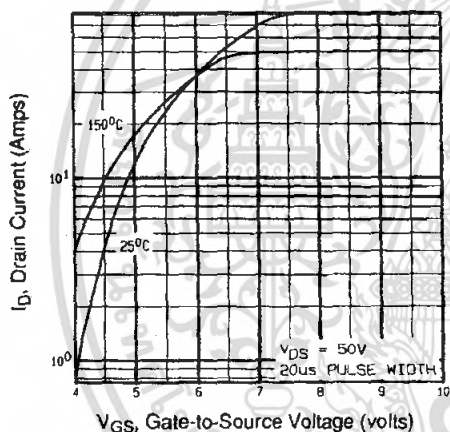


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

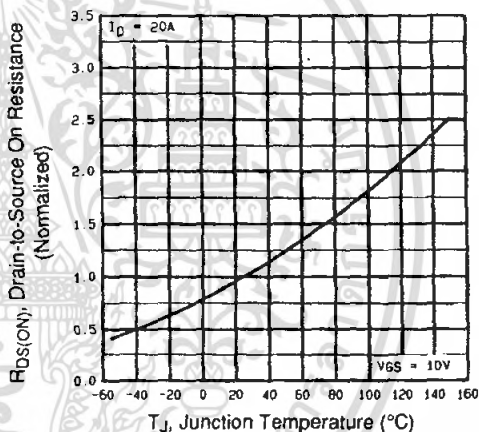


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

DATA SHEETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

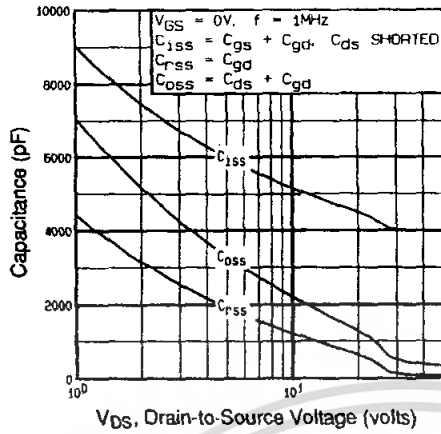


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

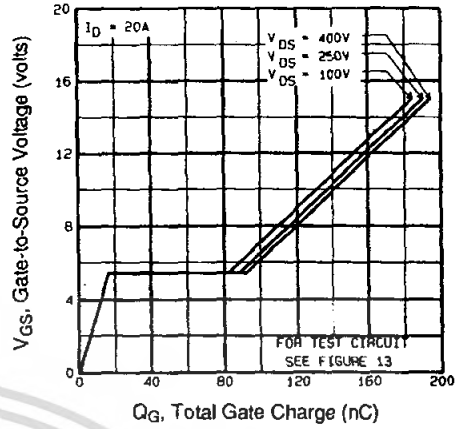


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

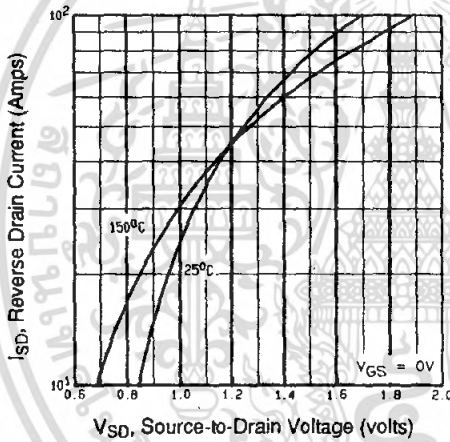


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

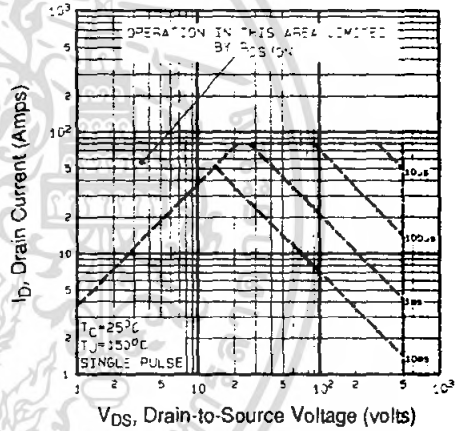


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



IRFP460

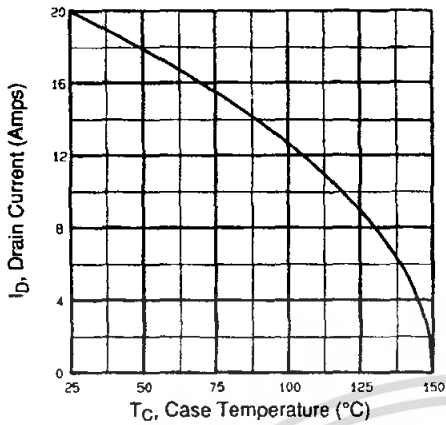


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

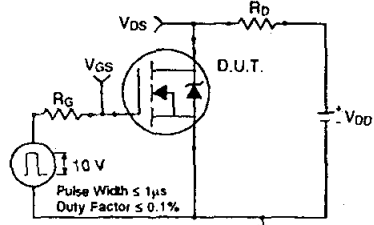


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

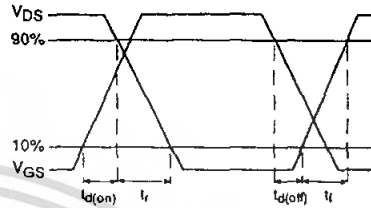


Fig 10b. Switching Time Waveforms

DATA SHEETS

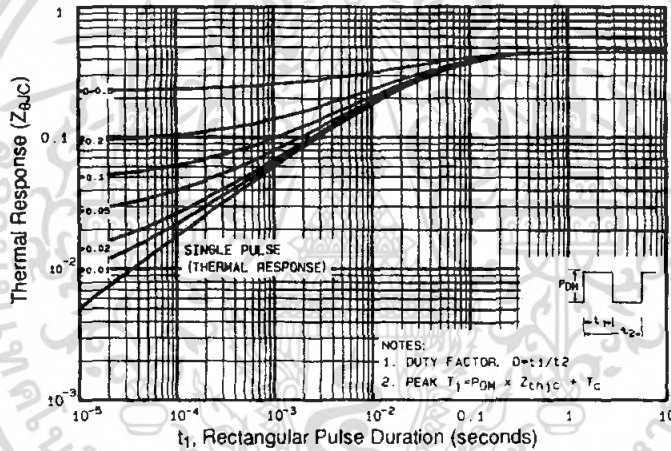


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP460

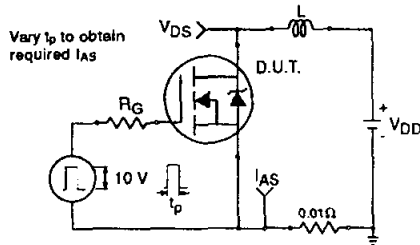


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

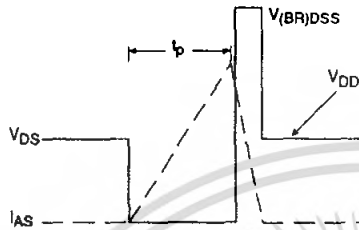


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

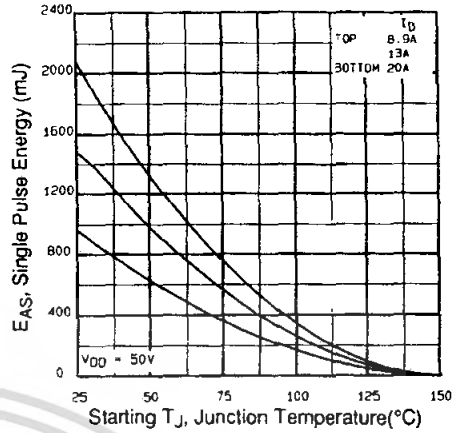


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

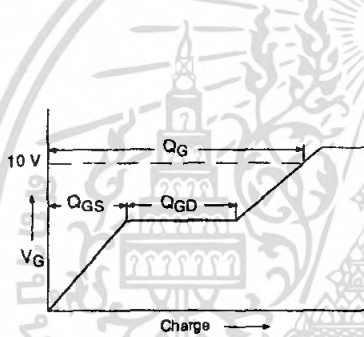


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

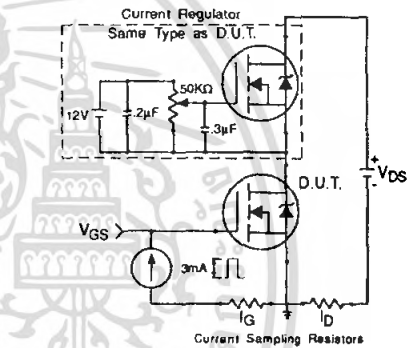


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit


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





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



GBPC 40, 50 SERIES

High Current 40, 50 AMPS, Single Phase Glass Passivated Bridge Rectifiers

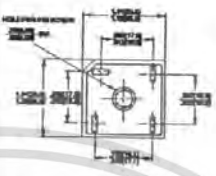



Features

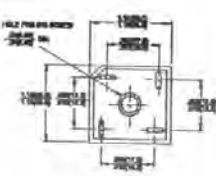
- ◆ UL Recognized File # E-96005
- ◆ The plastic material used carries Underwriters Laboratory Flammability Recognition 94V-0
- ◆ Integrally molded heatsink provide very low thermal resistance for maximum heat dissipation
- ◆ Universal 4-way terminals; snap-on, wrap-around, solder or P.C. board mounting
- ◆ Surge overload ratings 400 amperes
- ◆ Terminals solderable per MIL-STD-202, Method 208
- ◆ Typical I_F less than 0.2 uA
- ◆ High temperature soldering guaranteed: 260°C / 10 seconds / .375" (9.5mm) lead lengths
- ◆ Isolated voltage from case to lead over 2500 volts

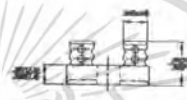

Voltage Range
50 to 1000 Volts
Current
40, 50.0 Amperes

GBPC40



GBPC40-M



Dimensions in Inches and (millimeters)

Maximum Ratings and Electrical Characteristics
Rating at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.
Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%

Type Number	-005	-01	-02	-04	-06	-08	-10	Units
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC Blocking Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Rectified Current (@T _C = 55°C)	GBPC40		40.0		GBPC50			A
Peak Forward Surge Current, Single Sine-wave Superimposed on Rated Load (JEDEC method)	GBPC40		400		GBPC50			A
Maximum Instantaneous Forward Voltage Drop Per Element at Specified Current	GBPC40 @20A		1.1		GBPC50 @25A			V
Maximum DC Reverse Current at Rated DC Blocking Voltage Per Element			10					uA
Typical Thermal Resistance (Note 1) R _{θJC}			1.5					°C/W
Operating and Storage Temperature Range T _J , T _{STG}			-50 to +150					°C

Notes: 1. Thermal Resistance from Junction to Case
2. Suffix "M" - Terminal Location Face to Face

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES (GBPC40005 THRU GBPC4010)
GBPC50005 GBPC5010

FIG. 1- MAXIMUM FORWARD CURRENT DERATING CURVE

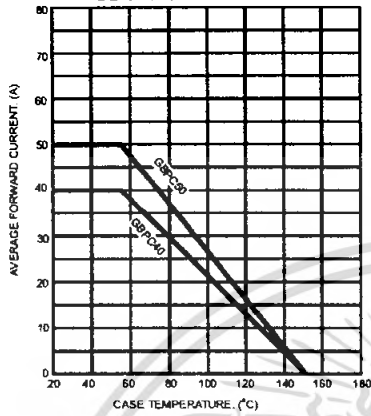


FIG. 2- MAXIMUM NON-REPETITIVE FORWARD SURGE CURRENT



FIG. 3- TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS PER BRIDGE ELEMENT

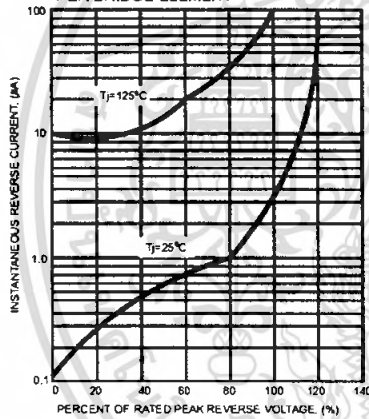
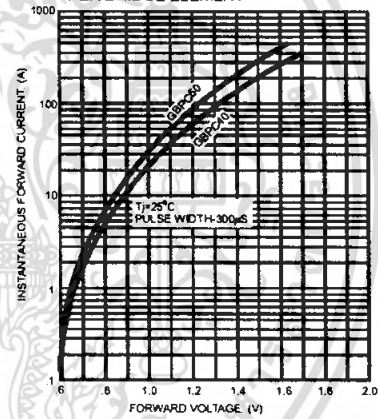


FIG. 4- TYPICAL FORWARD CHARACTERISTICS PER BRIDGE ELEMENT



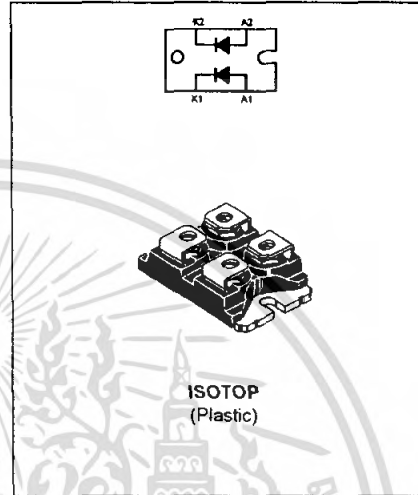
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


BYV255V
HIGH EFFICIENCY FAST RECOVERY RECTIFIER DIODES
FEATURES

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

DESCRIPTION

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


ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter		Value	Unit
I _{F(RMS)}	RMS forward current	Per diode	150	A
I _{F(AV)}	Average forward current $\delta = 0.5$	T _c =110°C	100	A
I _{FSM}	Surge non repetitive forward current	tp=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 %

RECOVERY CHARACTERISTICS

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

TURN-OFF SWITCHING CHARACTERISTICS

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

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

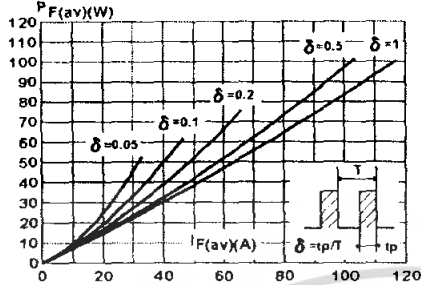


Fig.2 : Peak current versus form factor.

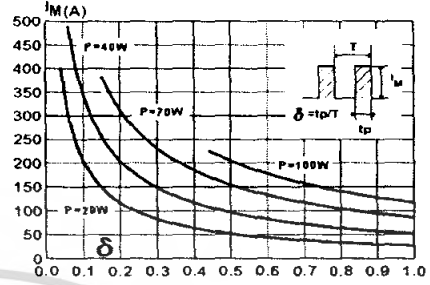


Fig.3 : Forward voltage drop versus forward current (maximum values).

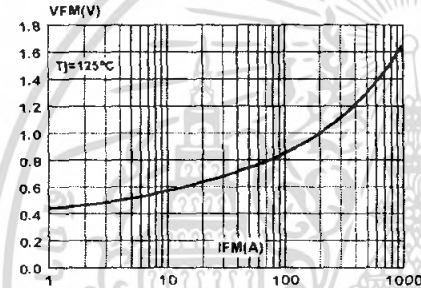


Fig.4 : Relative variation of thermal impedance junction to case versus pulse duration.

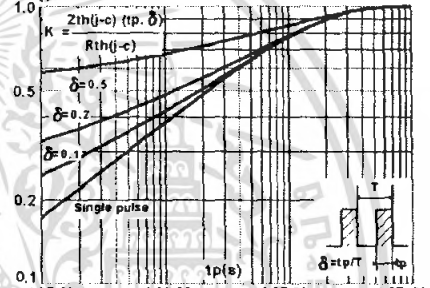


Fig.5 : Non repetitive surge peak forward current versus overload duration.

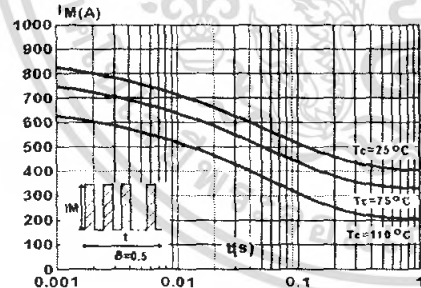
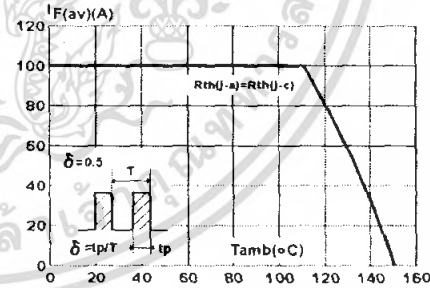


Fig.6 : Average current versus ambient temperature (duty cycle 0.5)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BYV255V

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

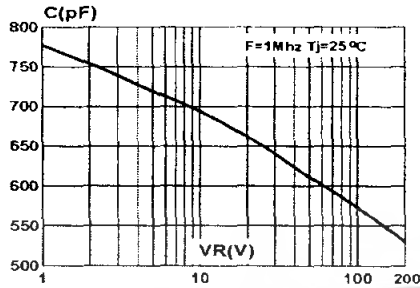


Fig.8 : Recovery charges versus dI_F/dt

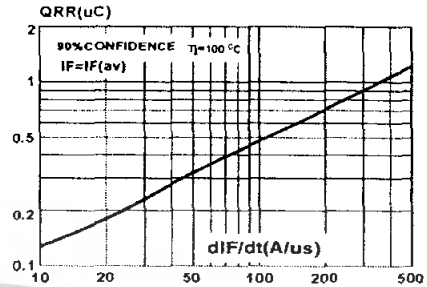


Fig.9 : Peak reverse current versus dI_F/dt

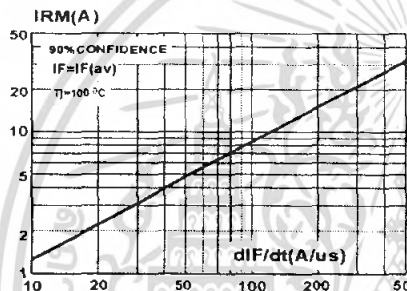
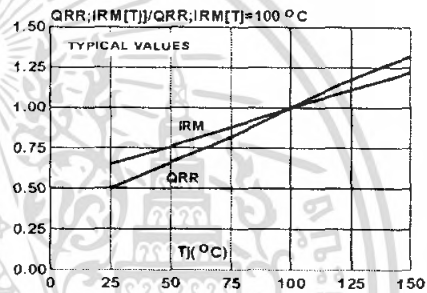
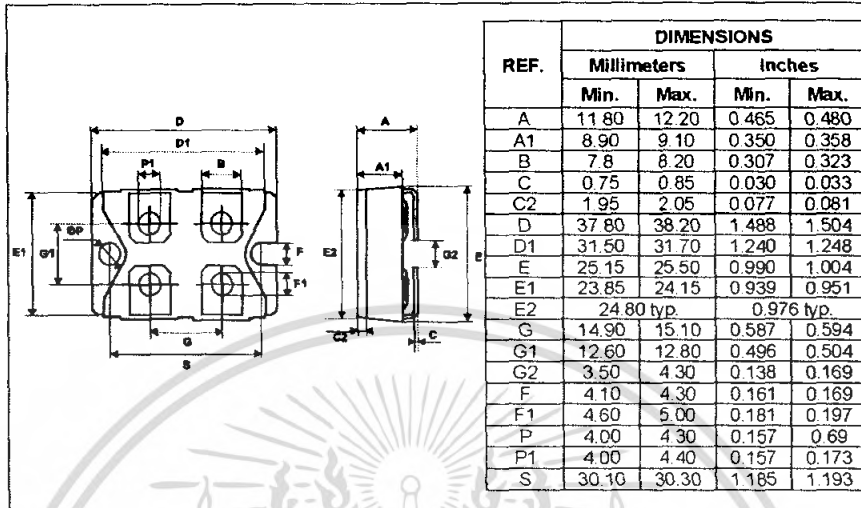


Fig.10 : Dynamic parameters versus junction temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BYV255V

PACKAGE MECHANICAL DATA
 ISOTOP


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

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

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

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

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

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

<http://www.st.com>



5/5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

	<p>นาย ธนาพันธ์ เลชะสิทธิ์</p> <p>สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนประจวบวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2546 และเข้าศึกษาในระดับอุดมศึกษาในสถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า เมื่อปี พ.ศ. 2547</p>
	<p>นาย ชีรภัทร์ เคนาภูมิ</p> <p>สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนอุดรพิทยานุกูล เมื่อปี พ.ศ. 2546 และเข้าศึกษาในระดับอุดมศึกษาในสถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า เมื่อปี พ.ศ. 2547</p>
	<p>นาย นรนา นาคสง</p> <p>สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนตึกพังงาวิทยายน เมื่อปี พ.ศ. 2546 และเข้าศึกษาในระดับอุดมศึกษาในสถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า เมื่อปี พ.ศ. 2547</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้