

การปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องตัดโลหะด้วยลำแสงพลาสมา  
โดยใช้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์

IMPROVED PERFORMANCE OF A PLASMA CUTTING MACHINE  
USING A HALF-BRIDGE DC/DC CONVERTER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2009-EN-M-020-053

การปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องตัดโลหะด้วยลำแสงพลาสมา  
โดยใช้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์

IMPROVED PERFORMANCE OF A PLASMA CUTTING MACHINE  
USING A HALF-BRIDGE DC/DC CONVERTER



เลขที่..... 82888  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี 25 ก.ค. 2551

.b..... 11755181  
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอ้างอิงเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-020-053

**IMPROVED PERFORMANCE OF A PLASMA CUTTING MACHINE  
USING A HALF-BRIDGE DC/DC CONVERTER**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปแจ้งประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2008**

**KMITL-2008-EN-M-020-053**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**COPYRIGHT 2008**  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**



หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องตัด โลหะด้วยลำแสงพลาสมา
นักศึกษา	นาย นรณฤทธิ์ เสนาจิตร
รหัสประจำตัว	48060218
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอหลักการออกแบบและสร้างวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ สำหรับใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังให้กับเครื่องตัด โลหะด้วยลำพลาสมา เพื่อปรับปรุงและเพิ่มสมรรถนะของเครื่องตัด โลหะพลาสมาให้สูงขึ้น เนื่องจากเครื่องตัดพลาสมาแบบเดิมต้องอาศัยแหล่งจ่ายกำลังหลักจากหม้อแปลงความถี่ต่ำ ซึ่งมีขนาดและน้ำหนักที่มาก รวมถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบแหล่งจ่ายยังต่ำ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ เพื่อลดปัญหาดังกล่าว รวมถึงการใช้เทคนิคแรงดันสูงความถี่สูงเป็นตัวกระตุ้นตลอดช่วงการทำงานของเครื่องตัด โลหะซึ่งเป็นลักษณะเด่นของงานวิจัยนี้ที่สามารถใช้ไฟฟ้ากระแสตรงที่แรงดันต่ำในการตัด โลหะได้ จากขบวนการที่ได้กล่าวมาจึงได้ทำการออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ที่มีพิกัดกำลัง 2 กิโลวัตต์ ใช้ไอจีบีที (IGBT) เป็นตัวสวิตซ์ซึ่งที่ความถี่ใช้งาน 20 กิโลเฮิร์ตซ์และสามารถตัด โลหะหนา 1 มิลลิเมตรได้ โดยนำมาเปรียบเทียบการตัด โลหะกับเครื่องตัดพลาสมาชื่อ Super Air Plasma ที่มีพิกัด 2.2 กิโลวัตต์ จากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพการตัดเหล็กมีความใกล้เคียงกัน ในขณะที่ชุดตัดที่ออกแบบสร้างใช้พิกัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ต่ำกว่า, แรงดันลมที่ใช้น้อยกว่าและมีขนาดที่เล็กน้ำหนักเบาทำให้มีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Improved Performance of a Plasma Cutting Machine Using a Half-Bridge DC/DC Converter
<b>Student</b>	Mr. Narongrit Sanajit
<b>Student ID.</b>	48060218
<b>Degree</b>	Master of Engineering in Electrical Engineering
<b>Program</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	2008
<b>Thesis Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Anuwat Jangwanitlert

### ABSTRACT

This thesis presents the design and construction of half-bridge dc/dc converter for supplying a plasma cutting machine. To improve and increase the performance of a plasma cutting machine, the technique of high frequency and high voltage is used all wide range operations. Due to the former plasma cutting machine using a low frequency transformer that is heavy and a large size including a low frequency, this thesis designs a half-bridge dc/dc converter to solve this problem including the design of technique of high frequency and high voltage converter to ignite from the beginning to the end of operation. This is a unique of the research. That can provide the low voltage for cutting metal. The process, mentioned above, is designed at 2 kW using a half-bridge dc/dc converter. The switches of this converter use IGBT and the switching frequency is 20 kHz. The converter can cut the metal at 1 mm thickness. The results of cutting metal from this machine, which is in the market, at 2.2 kW rated. They can be found that the efficacy of cutting metal are quite the same, but the designed cutting machine has a rated power, air pressure, and weight lower than the market machine. It is convenient to carry and use easily.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำ และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำและข้อเสนอคิดเห็นต่างๆ ของการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตลอดจนคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครทุกๆ ท่าน ที่ให้คำแนะนำและประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ บริษัทวีวันวิศวกรรม จำกัด ที่คอยให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะต่างๆ พร้อมทั้งอนุเคราะห์เครื่องมือและข้อมูลที่ใช้ในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และญาติพี่น้องรวมทั้งเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือในด้านการเรียนตลอดมา ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จ ลุล่วงตามเป้าหมายทุกประการ

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแต่ผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน

นรงค์ฤทธิ์ เสนาจิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความน่าสนใจของปัญหาและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 รายละเอียดที่จะทำในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้.....	4
1.7 ขั้นตอนการศึกษาค้นคว้า.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของการตัด โลหะด้วยเครื่องตัดพลาสมา.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 ขบวนการตัดโลหะ.....	6
2.3 ทฤษฎีพลาสมา.....	7
2.4 การทำให้เกิดอาร์คพลาสมา.....	10
2.5 เครื่องตัดโลหะด้วยอาร์คพลาสมา.....	14
2.6 การใช้งานเครื่องตัดโลหะด้วยอาร์คพลาสมา.....	16
2.7 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิง.....	16
2.8 สรุป.....	22
บทที่ 3 การออกแบบเครื่องตัดพลาสมาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการ ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตามทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	23
3.1 บทนำ.....	23
3.2 โครงสร้างของเครื่องตัดพลาสมา.....	23

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 ภาควงจรเรียงกระแสจากสายกำลัง.....	24
3.4 วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์.....	28
3.5 สัญญาณควบคุมชุดขับวงจร.....	30
3.6 หม้อแปลงความถี่สูง.....	30
3.7 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นทางด้านออก.....	36
3.8 วงจรกระตุ้นการเกิดอาร์คด้วยแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง.....	36
3.9 หัวตัดพลาสมา.....	37
3.10 เครื่องอัดอากาศ.....	40
3.11 วงจรควบคุมการทำงานหลักของเครื่องตัดพลาสมา.....	41
3.12 สรุป.....	43
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....</b>	<b>45</b>
4.1 บทนำ.....	45
4.2 การทดสอบเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการออกแบบสร้าง.....	45
4.3 การทดสอบเครื่องตัดพลาสมาที่หือ Super Air Plasma.....	54
4.4 การวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบของเครื่องตัดพลาสมา.....	62
4.5 วิเคราะห์เปรียบเทียบถึง โครงสร้างภายนอก.....	65
4.6 สรุป.....	66
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>67</b>
5.1 การทำงานของส่วนประกอบเครื่องตัดพลาสมา.....	67
5.2 สรุปส่วนของโครงสร้างเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการออกแบบสร้าง เทียบกับเครื่องตัดพลาสมาของ Supper Air Plasma.....	69
5.3 ข้อเสนอแนะและงานที่ควรวิจัยต่อไปในอนาคต.....	70

**บรรณานุกรม** สารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใส่ประโยชน์ใด ๆ 71

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	72
ภาคผนวก ก. ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่องตัดพลาสติก.....	73
ภาคผนวก ข. DATASHEET.....	84
ภาคผนวก ค. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	97
ประวัติผู้เขียน.....	109



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 การเปรียบเทียบสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง.....	29
3.2 องค์ประกอบของอากาศ.....	41
5.1 สรุปรูปส่วนของโครงสร้างเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการออกแบบ.....	70



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลำดับการแยกตัวและการเกิดไอออไนซ์ของก๊าซ	8
2.2 การเกิดสภาวะของพลาสมาที่ถูกลำไอออไนซ์	9
2.3 การเกิดอาร์คพลาสมาเมื่อก๊าซไฮโดรเจนผ่านอาร์คไฟฟ้า	10
2.4 การทำให้เกิดอาร์คโดยวิธีลัดวงจร	11
2.5 การทำให้เกิดการอาร์คพลาสมาด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง	12
2.6 การใช้แรงดันสูงความถี่สูงเพื่อกระตุ้นให้เกิดอาร์คหลัก	12
2.7 อาร์คหลัก (Main Arc) ที่เกิดตามแนวของอาร์คแรงดันสูงความถี่สูง	13
2.8 ส่วนประกอบของเครื่องตัดโลหะด้วยลำพลาสมา	14
2.9 หลักการทำงานของเครื่องตัดโลหะด้วยลำพลาสมา	14
2.10 หลักการทำงานของหัวตัดพลาสมา	15
2.11 วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	16
2.12 สภาวะช่วงการทำงานขณะที่ Q1 และขณะที่ Q2 นำกระแส	17
2.13 ลักษณะการเกิดไม่สมมาตรฟลักซ์เนื่องจากช่วงเวลานำกระแสและการลดการเกิดไม่สมมาตรฟลักซ์	18
2.14 ลักษณะการเกิดความลาด (Droop) ขึ้นบนแรงดันที่ตกคร่อมขดไพรมารีเมื่อต่อ $C_b$ กันเข้ามาในวงจร	18
2.15 การขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยไอซี CMOS	21
3.1 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา	23
3.2 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์พร้อมชุดป้องกันกระแสช็อคตอนเริ่มการทำงาน	26
3.3 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์พร้อมความต้านทานคายประจุ	27
3.4 วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์	28
3.5 วงจรสร้างสัญญาณควบคุมและวงจรขับไอจีบีที	30
3.6 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นความถี่สูงขั้วลบ	36
3.7 วงจรกระตุ้นการเกิดอาร์คด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง	37
3.8 ส่วนประกอบของหัวตัดพลาสมา (Torch Head)	38
3.9 องค์ประกอบของชุดหัวตัดพลาสมา	40
3.10 วงจรควบคุมหลักการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา	42
3.11 TIMING DIAGRAM OF PLASMA CUTTING	42

## สารบัญรูปรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 วงจรรวมของเครื่องตัดพลาสมาที่ออกแบบสร้าง	44
4.1 องค์ประกอบการต่อใช้งานเครื่องตัดพลาสมาที่ออกแบบสร้าง	46
4.2 กราฟประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตซ์ชิ่งที่ออกแบบสร้าง	46
4.3 สัญญาณแรงดันขั้วนำสวิตซ์ไอจีบีทีกำลังในวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์	47
4.4 สัญญาณแรงดันขดปฐมภูมิของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ (No-load)	48
4.5 สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงกลับขั้วด้านเอาต์พุต (No-load)	48
4.6 สัญญาณแรงดันคกร่อมสวิตซ์ไอจีบีทีกำลัง (S1) (No-load)	49
4.7 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าขดปฐมภูมิของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ (Load 5 A)	50
4.8 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าขดปฐมภูมิของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ (Load 10 A)	50
4.9 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าขดปฐมภูมิของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ (Load 15 A)	51
4.10 สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงกลับขั้วด้านเอาต์พุต (Load 15 A)	51
4.11 สัญญาณแรงดันและกระแสคกร่อมสวิตซ์ไอจีบีทีกำลัง (Load 15 A)	51
4.12 สัญญาณแรงดันขดปฐมภูมิของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ ขณะทำการตัด โลหะหนา 1 mm	52
4.13 สัญญาณแรงดันและกระแสพร้อมกำลังไฟฟ้าด้านอินพุตขณะทำการตัด โลหะหนา 1 mm	53
4.14 สัญญาณแรงดันและกระแสพร้อมกำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุตขณะทำการตัด โลหะหนา 1 mm	53
4.15 องค์ประกอบการต่อใช้งานเครื่องตัดพลาสมาขี้อ Super Air Plasma	54
4.16 กราฟประสิทธิภาพชุดคอนเวอร์เตอร์ของเครื่องตัดพลาสมาขี้อ Super Air Plasma	55
4.17 สัญญาณแรงดันด้านเข้าของชุดคอนเวอร์เตอร์เครื่องตัดพลาสมาขี้อ Super Air Plasma (No-load)	56
4.18 สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุตของชุดคอนเวอร์เตอร์ของเครื่องตัดพลาสมาขี้อ Super Air Plasma (No-load)	56
4.19 สัญญาณแรงดันขั้วสวิตซ์ไอจีบีทีกำลังชุดคอนเวอร์เตอร์ของเครื่องตัดพลาสมาขี้อ Super Air Plasma (No-load)	57

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 สัญญาณแรงดันและกระแสด้านเข้าของชุดคอนเวอร์เตอร์เครื่องตัดพลาสมา ยี่ห้อ Super Air Plasma (Load 5 A) .....	58
4.21 สัญญาณแรงดันและกระแสด้านเข้าของชุดคอนเวอร์เตอร์เครื่องตัดพลาสมา ยี่ห้อ Super Air Plasma (Load 10 A) .....	58
4.22 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุตชุดคอนเวอร์เตอร์ ของเครื่องตัดพลาสมา ยี่ห้อ Super Air Plasma (Load 10 A) .....	59
4.23 สัญญาณแรงดันขั้วสวิตซ์ไอจีบีทีกำลังชุดคอนเวอร์เตอร์ของเครื่องตัดพลาสมา ยี่ห้อ Super Air Plasma (Load 10 A) .....	59
4.24 สัญญาณแรงดันและกระแสพร้อมกำลังไฟฟ้าด้านอินพุตขณะตัด โลหะหนา 1 mm ของเครื่องตัดพลาสมา Super Air Plasma .....	60
4.25 สัญญาณแรงดันและกระแสพร้อมกำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุตขณะตัด โลหะหนา 1 mm ของเครื่องตัดพลาสมา Super Air Plasma .....	61
4.26 สัญญาณแรงดันและกระแส ไฟฟ้าตกคร่อมสวิตซ์ไอจีบีทีกำลังชุดคอนเวอร์เตอร์ของเครื่อง ตัดพลาสมา ยี่ห้อ Super Air Plasma ขณะตัด โลหะหนา 1 mm .....	62
4.27 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องตัดพลาสมาทั้งสองแบบ .....	63
4.28 รอยตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัดพลาสมาที่ทำกรอกรอกแบบสร้างชิ้น .....	64
4.29 รอยตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัดพลาสมา Super Air Plasma .....	64
4.30 เครื่องตัดพลาสมาที่ออกแบบสร้าง (ด้านซ้าย) และเครื่องตัดพลาสมา ของ Super Air Plasma ที่มีพิกัด 2.2 kW (ด้านขวา) .....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันงานอุตสาหกรรมทุกสาขานับว่ามีความสำคัญต่อประเทศเป็นอันมาก การตัดโลหะก็เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในวงการอุตสาหกรรม โดยเฉพาะแต่งงานอุตสาหกรรมหนักเท่านั้น งานอุตสาหกรรมขนาดย่อมหรืองานภายในครอบครัวก็มีความจำเป็นมากเช่นกัน การตัดโลหะที่มีประสิทธิภาพยังช่วยให้งานอื่นๆ เช่น การออกแบบ ทั้งที่เป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักรเครื่องมือและ โครงสร้างรูปแบบต่างๆ มีอิสระในการออกแบบมากยิ่งขึ้นเพราะไม่ต้องคำนึงถึงขอบเขตของรอยตัดต่างๆ ต่อไป นอกจากนี้ยังช่วยให้งานซ่อมแซมตัดแปลงหรืองานอดิเรกอื่นๆ สำเร็จลงได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วยิ่งขึ้น

ดังนั้นอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ตัดโลหะจึงได้พัฒนาอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่เริ่มตัดด้วยเลื่อย, ตัดด้วยแก๊สและการตัดด้วยอาร์คไฟฟ้า ซึ่งปัจจุบันการตัดโลหะด้วยอาร์คไฟฟ้าเป็นที่นิยมกันมากขึ้นเนื่องจากมีความสะดวกรวดเร็วและงานออกมาเรียบร้อย การตัดโลหะด้วยอาร์คไฟฟ้ามีการพัฒนาและมีขบวนการตัดหลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับการใช้งานและตัวชิ้นงานเอง ซึ่งสามารถแบ่งออกตามแหล่งจ่ายไฟเป็น 2 แบบด้วยกันคือ แบบแรกจะเป็นแหล่งจ่ายแบบเชิงเส้นหรือแบบที่ใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำซึ่งมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากแต่ขบวนการทำงานไม่ยุ่งยาก ส่วนแบบที่สองจะเป็นแหล่งจ่ายแบบสวิตชิงซึ่งมีขนาดเล็กน้ำหนักเบากว่าแต่ขบวนการทำงานจะมีความยุ่งยากซับซ้อนกว่า สำหรับประเทศไทยพบว่าเครื่องตัดโลหะด้วยอาร์คไฟฟ้าที่ใช้แหล่งจ่ายแบบสวิตชิงหรือเรียกชื่ออีกอย่างว่าเครื่องตัดพลาสมาแบบอินเวอร์เตอร์นั้น ส่วนใหญ่ได้นำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาแพง จากประเด็นในเรื่องของราคา ขนาด ความสะดวกในการใช้งานและการส่งน้ำเข้ามา ทางผู้วิจัยจึงเห็นว่าประเด็นดังกล่าวสามารถนำมาศึกษาและทำการวิจัยเพื่อทำการปรับปรุงเพิ่มสมรรถนะของเครื่องตัดโลหะด้วยพลาสมาให้สูงขึ้น โดยใช้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิงเพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับเครื่องตัดโลหะและสามารถนำอุปกรณ์ที่มีภายในประเทศมาใช้ในการจัดสร้างเพื่อลดการนำเข้าได้

### 1.2 ความน่าสนใจของปัญหาและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

จากปัญหาที่กำลังศึกษาและได้ทำการวิจัยดังที่ได้อธิบายไปแล้วนั้น จึงเป็นที่น่าสนใจว่า หากสามารถผลิตหรือสร้างเครื่องตัดโลหะด้วยอาร์คไฟฟ้าที่มีราคาประหยัดและสามารถเพิ่มสมรรถนะในการทำงานให้มีประสิทธิภาพและมีความหลากหลายมากยิ่งขึ้นพร้อมทั้งสามารถนำวัตถุดิบหรืออุปกรณ์ที่มีภายในประเทศมาใช้ในการสร้างได้ก็จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้

อย่างไรก็ตามหากได้ทำการวิจัยเพิ่มเติมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องจะสามารถพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ (Power Electronics) ของประเทศให้มีความทันสมัยมากขึ้น อีกทั้งในส่วนของภาคอุตสาหกรรมภายในประเทศเองก็必将มีความก้าวหน้ามากขึ้น ซึ่งอย่างน้อยผู้วิจัยหวังว่าผู้ที่สนใจงานทางด้านนี้สามารถรู้จักวิธีการสร้างพร้อมหลักการการทำงานของเครื่องตัดโลหะด้วยอาร์คไฟฟ้าแบบสวิตชิงหรือเครื่องตัดพลาสมาแบบอินเวอร์เตอร์มากขึ้นและนำไปใช้งานได้มีประสิทธิภาพต่อไป

### 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

จากหลักการการทำงานของเครื่องตัดโลหะด้วยอาร์คไฟฟ้าที่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากแหล่งจ่ายทั้งสองแบบที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิงที่มีต้นทุนต่ำและสามารถหาอุปกรณ์ที่มีขายภายในประเทศ เพื่อแทนที่ชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบเดิมที่มีการใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำซึ่งมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเลือกนำเสนอการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิง โดยใช้วงจรแบบกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์เป็นชุดสร้างแรงดันกระแสกลับความถี่สูงแล้วส่งผ่านไปยังหม้อแปลงความถี่สูงแบบมีแถบตรงกลาง (Center Tap) และใช้ไดโอดแบบอัลตราฟาสต์รีคัฟเวอรี ไดโอด (Ultrafast Recovery Diode) ทำการเรียงกระแสไฟฟ้ากระแสตรงชั่วขณะเพื่อเป็นแรงดันอาร์คหลัก (Main Arc) ให้กับเครื่องตัดพลาสมาและสร้างแรงดันสูงความถี่สูงที่ได้จากหม้อแปลงฟลายแบ็ก (Flyback Converter) ของทีวีเป็นตัวกระตุ้นการแตกตัวโมเลกุลของก๊าซที่หัวตัดตลอดช่วงการทำงานเพื่อให้เกิดลำอาร์คพลาสมาอย่างต่อเนื่อง โดยเครื่องตัดพลาสมา (Plasma Cutting) ที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นจะมีชุดควบคุมการไหลของอากาศเพื่อให้มีความเหมาะสมในการใช้งานและสามารถนำไปเป็นต้นแบบในการออกแบบที่พิถีพิถันยิ่งขึ้นได้ต่อไป

### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย

ทฤษฎีในส่วนของพลาสมาในความหมายทางวิทยาศาสตร์เป็นสถานะที่สี่ของสสาร นอกเหนือจากของแข็งของเหลวและก๊าซ สำหรับผู้ที่ไม่เคยรู้จักสถานะที่สี่ของสสารเลยนั้น ขอให้ท่านทราบว่าในชีวิตประจำวันของท่านนับตั้งแต่เช้าถึงเย็นท่านได้สัมผัสหรือเห็นพลาสมาโดยตลอด เช่น การจุดไลท์เตอร์เพื่อจุดบุหรี่หรือติดเตาผิงแก๊ส ท่านกำลังเกี่ยวข้องกับพลาสมาทั้งสิ้น แม้แต่เครื่องบินไอพ่นก็ถูกขับเคลื่อนด้วยพลาสมาที่ถูกพ่นออกที่ท้ายเครื่องยนต์ซึ่งเป็นพลาสมาแบบเดียวกันกับการเชื่อมหรือการตัดที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ท่านนั้น ไม่น่าเชื่อให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่าการค้าในท้องถิ่นพลาสมาได้มีการศึกษาและวิจัยพัฒนามากขึ้น เพื่อมุ่งที่จะใช้ประโยชน์จากพลาสมาขึ้นให้มีประสิทธิภาพและคุ้มค่ามากที่สุด อาทิเช่น การใช้เป็นต้นกำเนิดของแสงสว่าง

การใช้ประโยชน์ในด้านโลหะกรรมต่างๆ ทั้งการเชื่อมโลหะ (Plasma Welding) และการตัดโลหะ (Plasma Cutting) เป็นต้น การใช้ประโยชน์จากต้นกำเนิดความร้อนจากพลาสมาซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนางานทางด้านโลหะกรรม อย่างไรก็ตามพลาสมาที่นำไปใช้ในงานด้านโลหะกรรมส่วนใหญ่จะได้อาจมาจากกระแสไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า อาร์คพลาสมา (Arc Plasma) โดยสามารถที่จะพัฒนาต้นกำเนิดความร้อนจากอาร์คพลาสมาซึ่งนำไปใช้ในรูปแบบต่างๆ ได้ตามต้องการ ทำให้ในปัจจุบันระบบอุตสาหกรรมโลหะได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ในส่วนของการตัดโลหะก็เช่นกันได้นำอาร์คพลาสมาที่ได้นี้มาใช้งานและได้มีการพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์การตัดโลหะให้มีความทันสมัยมากยิ่งขึ้น จากการศึกษาเครื่องมือและวิธีการตัดโลหะที่ให้ความสะดวกรวดเร็วและง่ายต่อการปฏิบัติงานพบว่าเครื่องตัดพลาสมา (Plasma Cutting) เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่มีความสะดวกและรวดเร็วในการตัดโลหะ เครื่องตัดพลาสมาเป็นเครื่องตัดโลหะที่ต้องอาศัยการแตกตัวของก๊าซที่อุณหภูมิสูง กล่าวคือเมื่อก๊าซไหลผ่านขั้วอิเล็กโทรดที่มีแรงดันไฟฟ้าและมีการกระตุ้นให้เกิดอาร์คก็จะเกิดเป็นลำพลาสมาที่มีอุณหภูมิสูงซึ่งสามารถนำไปใช้ในการตัดโลหะ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้นำเอาอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังมาสร้างเป็นส่วนหนึ่งของแหล่งจ่ายกำลังแทนที่แหล่งจ่ายแบบเดิมที่มีการใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำซึ่งมีน้ำหนักมากและประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำทางผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและพัฒนาโดยใช้ชุดแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงเข้ามาช่วยใช้ในการออกแบบเพื่อให้ตัวเครื่องมีน้ำหนักเบาและมีสมรรถนะสูงขึ้น อีกทั้งเพื่อให้เกิดความสะดวกและมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน

จากประเด็นและปัญหาที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น เป้าหมายหลักคือสามารถสร้างเครื่องตัดโลหะขึ้นมาแล้วสามารถตัดโลหะได้และใช้วัสดุที่มีภายในประเทศในการจัดสร้าง ดังนั้นการเปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่เดิมคือ สามารถตัดโลหะได้เหมือนกัน โดยแนวของรอบตัดโลหะมีลักษณะใกล้เคียงกัน ในขณะที่เครื่องตัดพลาสมาที่สร้างขึ้นได้เปลี่ยนเป็นวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ เพื่อแสดงให้เห็นว่าแหล่งจ่ายกำลังไฟแบบกึ่งบริดจ์คอนเวอร์เตอร์สามารถจ่ายกำลังให้กับเครื่องตัดโลหะที่ออกแบบสร้างได้และสามารถตัดโลหะได้ในขณะที่มีพิกัดแรงดันต่ำกว่าเครื่องตัดปกติทั่วไป โดยเพิ่มเทคนิคการอาร์คแรงดันสูงความถี่สูงเข้าไปตลอดช่วงเวลาการทำงานของเครื่องตัด อีกทั้งได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะด้านต่างๆ เช่น ทางด้านราคา ขนาดและความสะดวกในการใช้งาน โดยให้เห็นถึงประโยชน์ของการใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานอื่นๆ ได้ต่อไป

### 1.5 ขอบเขตการวิจัย

เขตการวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เครื่องตัดพลาสมาต้นแบบที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นนี้เพื่อต้องการศึกษาหลักการการทำงาน และต้องการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องตัดโลหะให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นตามสมมุติฐานที่ได้ตั้งไว้ โดยมีแนวทางในการทำวิจัยดังนี้

1) ปรับปรุงและเรียบเรียงการออกแบบ โดยจะเปรียบเทียบผลการออกแบบกับเครื่องที่มีขายตามท้องตลาด

2) ออกแบบและทดสอบคุณสมบัติของเครื่องตัดพลาสมาที่ได้สร้างขึ้น และเป็นต้นแบบในการพัฒนาให้มีขนาดพิกัดที่สูงๆ ขึ้นต่อไป

3) เพื่อศึกษาหาข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาต้นกำเนิดความร้อนจากอาร์คพลาสมาสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมโลหะ

- โดยพิกัดของเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการออกแบบสร้างมีรายละเอียด ดังนี้

1) กำลังทางด้านเอาต์พุต 2 kW โดยมีแรงดันขณะไร้ภาระ โหลดที่ 150 V

2) มีแรงดันทางด้านอินพุต 220 V ความถี่ 50 Hz

3) สามารถตัดโลหะความหนา 1 mm ได้

4) โดยศึกษาและทดสอบถึงคุณสมบัติในการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา

## 1.6 รายละเอียดที่จะทำในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ในส่วนของเนื้อหาและรายละเอียดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้เรียบเรียงขั้นตอนต่างๆ ไว้ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงบทสรุป ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นบทได้ 5 บทด้วยกัน โดยเริ่มจากพื้นฐานตั้งแต่การเกิดอาร์คพลาสมา การนำอาร์คพลาสมามาใช้ในอุตสาหกรรมโลหะ หลักการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา ส่วนของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซึ่งพร้อมส่วนของการออกแบบและผลการทดสอบ ส่วนสุดท้ายเป็นบทสรุปพร้อมข้อเสนอแนะ โดยมีรายละเอียดของเนื้อหาในแต่ละบทดังนี้

บทที่ 1 เป็นส่วนของบทนำ ได้กล่าวถึงความเป็นมา ความสำคัญและความน่าสนใจของปัญหา รวมถึงขอบเขตของงานวิจัยและขั้นตอนของการศึกษาค้นคว้า

บทที่ 2 เป็นส่วนของรายละเอียดทฤษฎีทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับอาร์คพลาสมาและการนำอาร์คพลาสมาไปใช้งาน ซึ่งประกอบด้วยขบวนการเกิดอาร์คพลาสมาและหลักการทำงานของเครื่องตัดพลาสมาที่ใช้ในการตัดโลหะ

บทที่ 3 เป็นส่วนของการออกแบบเครื่องตัดพลาสมาและส่วนประกอบต่างๆ ที่ทำงานร่วมกันในการตัดโลหะ โดยจะกล่าวถึงการออกแบบในภาคส่วนต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบสร้างเครื่องตัดพลาสมาตามเงื่อนไขที่วางไว้

บทที่ 4 เป็นส่วนของการทดสอบเก็บผลการทดลองของเครื่องตัดพลาสมาที่ออกแบบสร้างพร้อมกับการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับเครื่องตัดพลาสมาชื่อ Super Air Plasma ที่มีพิกัดกำลัง 2.2 กิโลวัตต์

บทที่ 5 เป็นส่วนของการสรุปผลงานวิจัยพร้อมข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและทำการวิจัยต่อไป

## 1.7 ขั้นตอนและวิธีการศึกษาค้นคว้า

ในการศึกษาค้นคว้ารวมถึงขั้นตอนต่างๆ จะเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทั้งหมดของงานวิจัย รวมทั้งหลักการการทำงานของเครื่องตัดพลาสติกที่มีอยู่โดยทั่วไป โดยการศึกษารายละเอียดของการทำงานในภาคส่วนต่างๆ ของเครื่องทั้งหมด เมื่อทำการศึกษาและรู้จักการทำงานของส่วนต่างๆ แล้วก็จะทำการออกแบบวงจรในภาคส่วนต่างๆ ตามเงื่อนไขที่วางไว้ พร้อมกับการจำลองผลการออกแบบบางส่วนด้วยโปรแกรม PSpice เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและนำมาปรับปรุงเครื่องต้นแบบที่จะสร้างขึ้น จากนั้นทำการจัดซื้ออุปกรณ์พร้อมออกแบบลายวงจรตามที่ได้ออกแบบไว้และทำการประกอบเป็นเครื่องตัดพลาสติก หลังจากประกอบตัวเครื่องเรียบร้อยแล้วก็ทำการเก็บผลการตัดโลหะพร้อมนำผลที่ได้มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการตัดโลหะกับเครื่องที่มีในท้องตลาด ส่วนขั้นตอนสุดท้ายเป็นส่วนของการสรุปผลและข้อเสนอแนะที่ได้จากงานวิจัยนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของการตัดโลหะ ด้วยเครื่องตัดพลาสมา

### 2.1 บทนำ

ในขบวนการตัดโลหะ (Cutting Process) มีหลากหลายวิธีด้วยกันที่สามารถตัดโลหะให้ได้ตามความต้องการ ไม่ว่าจะเป็นการตัดด้วยการอาร์ค การตัดด้วยออกซิเจน (Oxygen Cutting) หรือการตัดด้วยวิธีพิเศษอื่นๆ ซึ่งขบวนการตัดแต่ละวิธีก็จะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาการตัดโลหะด้วยวิธีการอาร์คไฟฟ้าได้มีการพัฒนาขึ้นมากจนและได้รับความนิยมสูงขึ้น โดยเฉพาะการตัดโลหะด้วยอาร์คพลาสมา (Plasma Arc Cutting) เนื่องจากการตัดด้วยอาร์คพลาสมาจะให้ความร้อนที่สูงมาก อาร์คได้เร็ว และกินเนื้อโลหะบริเวณที่ตัดออกเพียงเล็กน้อยจึงทำให้โลหะหลอมอย่างรวดเร็วและมีความต่อเนื่องตามแนวที่ต้องการ พร้อมทั้งมีแรงดันอากาศปลอยออกจากหัวตัดเพื่อเป่าน้ำโลหะที่หลอมละลายให้หลุดออกไปทำให้ชิ้นงานที่ออกมามีคุณภาพและมีความสวยงาม อย่างไรก็ตามคุณภาพของชิ้นงานที่ได้ตัดขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ใช้งานเองเป็นสำคัญอีกด้วย เครื่องตัดพลาสมาที่พุดถึงในปัจจุบันพบว่าราคาค่อนข้างแพงอยู่และประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำแต่ก็ขึ้นอยู่กับพิกัดกำลังและชนิดของแหล่งจ่ายกำลังของเครื่องตัด ดังนั้นในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะกระบวนการตัดโลหะด้วยอาร์คพลาสมาเท่านั้น โดยจะกล่าวถึงหลักการทำงานของเครื่องตัด พลาสมาและส่วนประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งส่วนของทฤษฎีของแหล่งจ่ายสวิตซ์ซึ่งได้ทำการออกแบบ ซึ่งจะ ได้อธิบายตามหัวข้อต่างๆ ต่อไป

### 2.2 ขบวนการตัดโลหะ (Cutting Process)

การตัดโลหะ หมายถึง การทำให้วัสดุงานที่เป็นโลหะแยกขาดออกจากกันให้ได้รูปร่างและขนาดต่างๆ ตามความต้องการซึ่งสามารถแยกขบวนการตัด (Cutting Process) ออกตามมาตรฐาน AWS (American Welding Society) ได้ดังนี้

#### 1) การตัดด้วยการอาร์ค

- การตัดด้วยการอาร์คคาร์บอน - อากาศ (Air Carbon Arc Cutting) : AAC
- การตัดด้วยการอาร์คคาร์บอน (Carbon Arc Cutting) : CAC
- การตัดด้วยอาร์คโลหะ - แก๊ส (Gas Metal Arc Cutting) : GMAC
- การตัดด้วยทังสเตน - แก๊ส (Gas Tungsten Arc Cutting) : GTAC
- การตัดด้วยอาร์คโลหะ (Metal Arc Cutting) : MAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการที่อาจารย์ผู้สอนไปสอนเฉพาะในชั้นเรียนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำเนื้อหา และข้อมูลข้างต้นไปแจ้งต่อสื่อมวลชนหรือบุคคลอื่นที่มิเกี่ยวข้อง

- การตัดด้วยอาร์คพลาสมา (Plasma Arc Cutting) : PAC
- การตัดด้วยอาร์คโลหะปกคลุม (Shielded Metal Arc Cutting) : SMAC

## 2) การตัดด้วยออกซิเจน (Oxygen Cutting)

- การตัดด้วยเคมี – ฟลักซ์ (Chemical Flux Cutting) : FOC
- การตัดด้วยผงโลหะ (Metal Powder Cutting) : POC
- การตัดด้วยออกซิเจน – ก๊าซเชื้อเพลิง (Oxyfuel Gas Cutting) : OFC
- การตัดด้วยออกซีอะเซทิลีน (Oxyacetylene Cutting) : OFC – A
- การตัดด้วยออกซีไฮโดรเจน (Oxyhydrogen Cutting) : OFC – H
- การตัดด้วยออกซี – ก๊าซธรรมชาติ (Oxynatural Gas Cutting) : OFC – N
- การตัดด้วยออกซีโพรเพน (Oxypropane Cutting) : OFC – P
- การตัดด้วยอาร์ค – ออกซิเจน (Oxygen Arc Cutting) : AOC
- การตัดด้วยออกซีแลนซ์ (Oxygen Lance Cutting) : LOC

## 3) การตัดด้วยวิธีพิเศษ

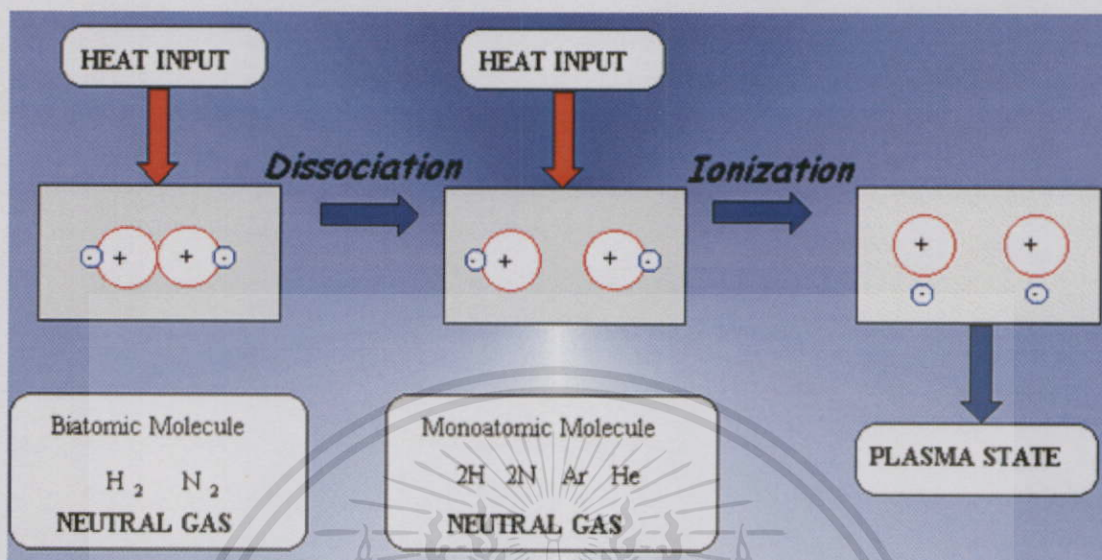
- การตัดด้วยลำแสงอิเล็กตรอน (Electron Beam Cutting) : BEC
- การตัดด้วยลำแสงเลเซอร์ (Laser Beam Cutting) : LBC

จากขบวนการตัดหลากหลายวิธี ทางผู้วิจัยเลือกอธิบายเฉพาะส่วนของการตัดโลหะด้วยอาร์คพลาสมาเท่านั้น ซึ่งเป็นที่น่าสนใจและได้รับความนิยมใช้กันมากในปัจจุบัน จึงขออธิบายและกล่าวถึงขบวนการตั้งแต่การเกิดอาร์คพลาสมาและการนำอาร์คพลาสมาไปใช้งานพร้อมส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องตัดพลาสมา ดังนั้นเพื่อให้เข้าใจมากขึ้นจึงได้แบ่งการอธิบายตามหัวข้อต่อไปนี้

### 2.3 ทฤษฎีพลาสมา

เมื่อพูดถึงพลาสมาทุกคนคงเคยได้ยินและคงนึกถึงพลาสมาที่เกี่ยวกับกลุ่มเลือดหรือไม้กึ่งที่วิจัยพลาสมาตามที่เคยได้ยินมา ดังนั้นเพื่อความเข้าใจเบื้องต้นจึงขออธิบายเกี่ยวกับพื้นฐานและทฤษฎีการเกิดพลาสมา กล่าวคือ พลาสมา (Plasma) ที่เราเคยได้ยินกันนั้นตามหลักฟิสิกส์เราจะใช้เรียกกลุ่มก๊าซที่แตกตัวเป็นอะตอมอิสระและมีสภาพเป็นไอออน จึงถือได้ว่าเป็นสถานะที่ 4 ของสสารนอกเหนือจากสถานะที่เป็นของแข็ง ของเหลวและก๊าซ การที่พลาสมามีสภาพเป็นไอออนดังกล่าวนี้ หมายความว่า จะมีอิเล็กตรอนอย่างน้อย 1 ตัวถูกดึงออกจากโมเลกุลเกิดเป็นประจุไฟฟ้าอิสระและทำให้พลาสมามีสภาพการนำไฟฟ้าเกิดขึ้น สถานะที่ 4 ของสสารที่กล่าวถึงนี้ มีการเอ่ยถึงครั้งแรก โดยเซอร์ วิลเลียม ครูกส์ (Sir William Crookes) เมื่อ ค.ศ. 1879 และผู้คิดคำว่าพลาสมา (plasma) คือ เออร์วิง แลงมัวร์ (Irving Langmuir) เมื่อ ค.ศ. 1928 เนื่องจากเขานึกถึงพลาสมาของเลือด ซึ่งสถานะของสสารโดยทั่วไปต้องได้รับพลังงานหรือความร้อนที่สูงมาก

เพื่อที่จะเปลี่ยนเป็นสถานะนี้ได้ นั้นหมายถึงว่าการที่จะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมากที่จะทำให้เกิดการแตกตัวเปลี่ยนสถานะของสสารเป็นพลาสมาได้นั้นเอง ขบวนการดังกล่าวได้แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลำดับการแยกตัวและการเกิดไอออนของก๊าซ

[http://www.plasmateam.com/Products/PTA\\_torch/Plasma\\_state/plasma\\_state.html](http://www.plasmateam.com/Products/PTA_torch/Plasma_state/plasma_state.html)

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าโมเลกุลของก๊าซเมื่อได้รับความร้อนหรือพลังงานที่มากพอจะทำให้โมเลกุลของก๊าซเกิดการแยกตัวออกเป็นอะตอมที่ประกอบด้วยโปรตอนและอิเล็กตรอนที่มีจำนวนเท่าๆ กันหลังจากนั้นเมื่ออะตอมเหล่านี้ได้รับความร้อนหรือพลังงานที่มากขึ้นไปอีกก็จะทำให้อะตอมเกิดการแตกตัวเป็นไอออน ซึ่งขบวนการดังกล่าวเราเรียกว่า การเกิดไอออน (Ionization) ของก๊าซหรือเป็นสภาวะของพลาสมานั้นเอง โดยจะอธิบายเพิ่มเติมได้ดังรูปที่ 2.2

### การแยกตัว (Dissociation)



โมเลกุลของก๊าซไดอะตอมมิก เช่น ไฮโดรเจนและ ไนโตรเจนประกอบด้วยอะตอมสองอะตอมที่อยู่ร่วมกัน

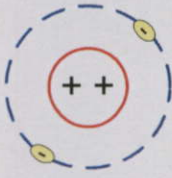


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

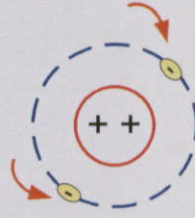
เมื่อโมเลกุลของก๊าซถูกทำให้ร้อน (Heat) โมเลกุลของก๊าซจะชนกัน

และแยกตัวออกเป็นอะตอมอิสระสองอะตอม

## การเกิดไอออน (Ionization)



ในอะตอมที่เป็นกลางของก๊าซจะมี  
ประจุบวกและประจุลบจำนวนเท่ากัน



อิเล็กตรอนที่อยู่วงนอกของอะตอม  
อาจถูกชนหลุดออกจากวงโคจรได้



หลังจากสูญเสียอิเล็กตรอน อะตอมจะมีประจุสุทธิเป็นบวกและเป็นไอออน  
ซึ่งจะรับพลังงานเพิ่มขึ้น ไปอีกทำให้ก๊าซบางส่วนถูกไอออไนซ์  
ในสภาวะดังกล่าวจึงเรียกว่า “พลาสมา” (Plasma)

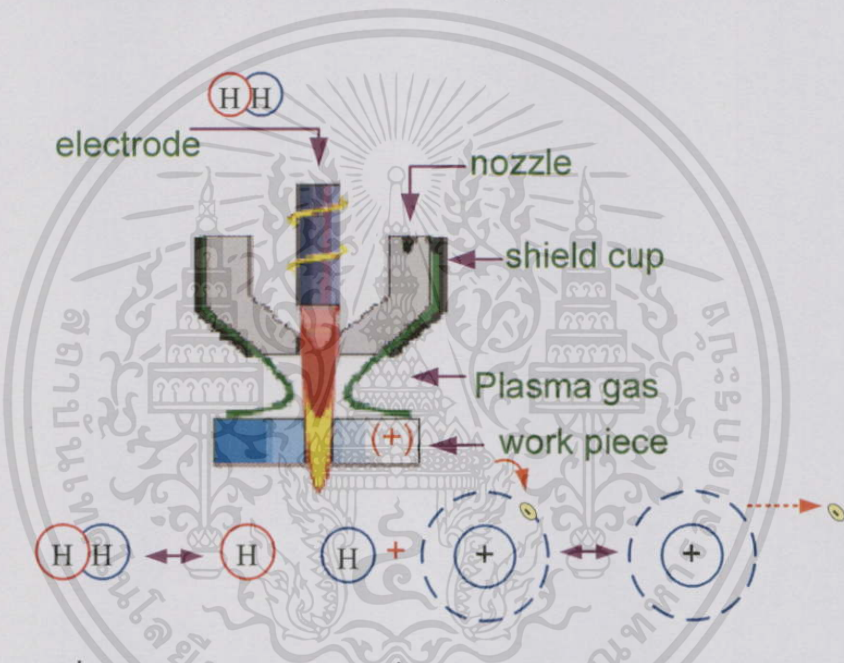
### รูปที่ 2.2 การเกิดสภาวะของพลาสมาที่ถูกละลายไอออไนซ์

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น ในก๊าซที่ร้อนจัดจะประกอบด้วยโมเลกุล อะตอม ไอออน และอิเล็กตรอนที่เคลื่อนไหวไปมาอย่างไม่มีระเบียบ ทั้งนี้ก็เพราะว่าเมื่อก๊าซถูกทำให้ร้อน โมเลกุลของก๊าซจะเคลื่อนไหวได้เร็วขึ้นและมีโอกาสที่จะชนกันและแยกตัวออกเป็นอะตอมอิสระ (ดังรูปที่ 2.2) ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่าการแยกตัว (Dissociations) และเนื่องจากโมเลกุลของก๊าซมีความเร็วที่แตกต่างกัน ทำให้การแยกตัวของก๊าซจะไม่เกิดที่อุณหภูมิที่แน่นอนแต่จะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิหนึ่งของก๊าซแต่ละชนิด เมื่อก๊าซมีอุณหภูมิหนึ่งที่สูงพอก็จะทำให้โมเลกุลของก๊าซมีพลังงานจลน์สูงพอที่จะทำให้เกิดการชนกันระหว่างโมเลกุลและแยกตัวออกเป็นอะตอมอิสระ หลังจากแยกเป็นอะตอมอิสระแล้วถ้าให้อะตอมมีความร้อนขึ้นไปอีกก็จะทำให้อิเล็กตรอนที่วิ่งรอบนิวเคลียสของอะตอมเปลี่ยนวงโคจร โดยจะอยู่ในวงโคจรที่มีพลังงานสูงขึ้นและเมื่อพลังงานที่ก๊าซได้รับสิ้นสุดลง อิเล็กตรอนดังกล่าวจึงมีโอกาสกลับเข้าสู่วงโคจรเดิมและปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออก แต่ในกรณีที่ก๊าซได้รับพลังงานที่สูงมากจนทำให้อิเล็กตรอนที่วิ่งรอบๆ นิวเคลียสของอะตอมหลุดออกนอกวงโคจรได้ อะตอมในสภาพเช่นนี้จะเรียกว่าการถูกไอออไนซ์ โดยสภาวะดังกล่าวจะปลดปล่อยพลังงานในรูปแบบต่างๆ ออกมาจนกระทั่งเกิดความสมดุลในพลาสมาและเกิดเป็นอาร์ค

พลาสมาที่มีพลังงานความร้อนสูงเมื่อนำไปผ่านช่องทางที่แคบลงหรือรูเล็กๆ ก็จะเกิดเป็นลำพลาสมาที่จะนำไปสู่การใช้ประโยชน์ต่อไป

## 2.4 การทำให้เกิดอาร์คพลาสมา

เนื่องจากอาร์คพลาสมาที่เกิดจากการไอออไนซ์ของก๊าซต้องได้รับพลังงานหรือความร้อนที่สูงมากดังนั้นเพื่อให้เกิดอาร์คพลาสมาที่มีความต่อเนื่องจึงนิยมใช้อาร์คไฟฟ้าเป็นต้นกำเนิดพลังงาน โดยการให้ความร้อนกับก๊าซเพื่อให้เกิดอาร์คพลาสมาอย่างต่อเนื่อง กล่าวคือเมื่อก๊าซผ่านอาร์คไฟฟ้าซึ่งมีอุณหภูมิสูงประมาณ 6,000-11,000 K ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอาร์ค ก๊าซจะถูกทำให้ร้อนและเกิดไอออไนซ์ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.3



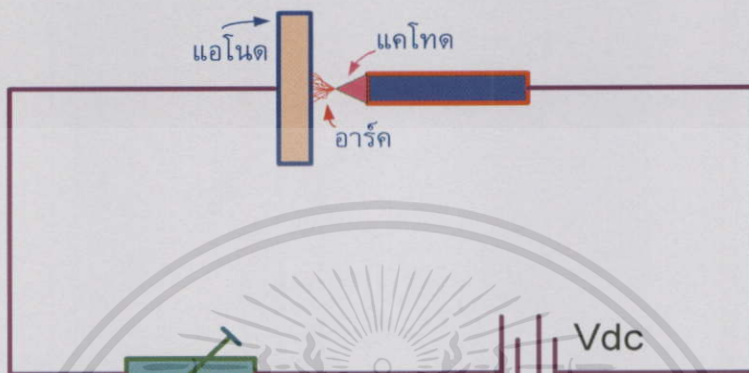
รูปที่ 2.3 การเกิดอาร์คพลาสมาเมื่อก๊าซไฮโดรเจนผ่านอาร์คไฟฟ้า

อาร์คพลาสมาที่เกิดขึ้นจะมีอุณหภูมิที่สูงมาก อุณหภูมิในลำอาร์คพลาสมา (Plasma Torch) ก็ขึ้นอยู่กับรูปร่างของลำอาร์คพลาสมา กระแสที่ไหลผ่านอาร์ค รวมทั้งความเร็วของก๊าซที่ไหลผ่าน โดยทั่วไปอุณหภูมิในลำพลาสมาจะอยู่ระหว่าง 7,000 ถึง 10,000 K (D.A. Gerdeman, 1972) โดยที่อุณหภูมิที่แกนกลางของลำอาร์คพลาสมาอาจสูงถึง 20,000 – 30,000 K และอุณหภูมิรอบนอกลำอาร์คพลาสมาอาจลดลงเหลือประมาณ 4,000 – 5,000 K

การทำให้เกิดอาร์คพลาสมาด้วยไฟฟ้า สามารถทำได้สองวิธี วิธีแรกคือการลัดวงจรของขั้วไฟฟ้าซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดที่ทำให้เกิดการอาร์ค การใช้วิธีนี้เหมาะสำหรับใช้ในงานเชื่อม แต่ไม่นิยมมาใช้ในการตัดเนื่องจากกระแสที่ใช้ขณะอาร์คมีค่าสูงมากและคุณภาพการตัดยังมีคุณภาพต่ำ ดังรูปที่ 2.4 เป็นตัวอย่างการทำงานของการทำงานของการเกิดอาร์คพลาสมาด้วยการลัดวงจร โดยมีแคโทดที่ทำด้วย

โลหะทั้งสแตนที่มีท่อเรียบปะปนประมาณ 3% ถูกฝนปลายให้แหลมและนำไปแตะกับแท่งแอโนด ซึ่งทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจุดสัมผัสระหว่างแอโนดและแคโทด โดยมีค่าความต้านทาน  $R_c$  เป็นความต้านทาน ณ จุดสัมผัส โดยสามารถหาค่ากำลังสูญเสีย ณ จุดสัมผัสได้จากสมการที่ 2.1

$$P_c = I^2 \times R_c \quad (2.1)$$

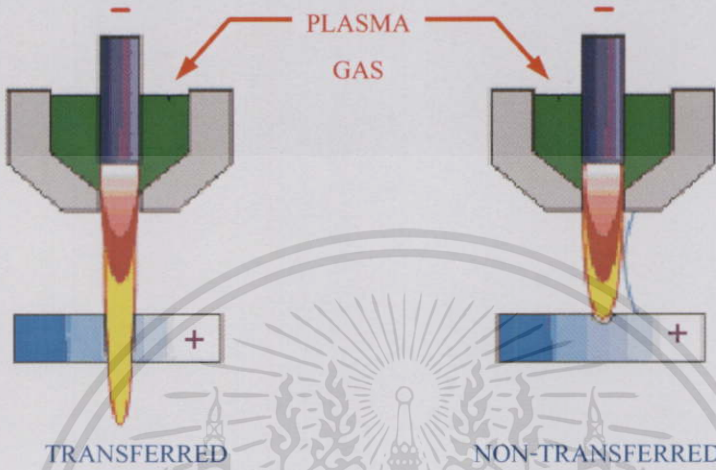


รูปที่ 2.4 การทำให้เกิดอาร์คพลาสมาโดยวิธีลัดวงจร

กำลังงานที่สูญเสียนี้จะทำให้จุดสัมผัสมีความร้อนสูงมากและทำให้ปลายแหลมที่สัมผัสบางส่วนเป็นไอระเหยไปพร้อมกับมีอิเล็กตรอนถูกปล่อยออกจากปลายแหลมของแคโทดและเกิดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าตามกฎของริชาร์ดสัน (Richardson) อิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกจากปลายแหลมจะถูกเร่งไปยังแอโนดและระหว่างทางจะชนกับ โมเลกุลของก๊าซ ทำให้เกิดการแยกตัวเป็นอะตอมอิสระและไอออนเกิดเป็นอาร์คพลาสมาในที่สุด อาร์คพลาสมาจึงทำหน้าที่เป็นตัวนำกระแสระหว่างแอโนดและแคโทด ในกรณีที่แอโนดและแคโทดถูกดึงให้ห่างออกจากกัน ถ้าอาร์คที่เกิดขึ้นแต่แรกจะยังคงเกิดเช่นเดิมเพราะถ้าอาร์คพลาสมาที่เกิดขึ้นเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีจึงช่วยให้เกิดอาร์คได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตามระยะห่างระหว่างแคโทดและแอโนดที่ยังคงทำให้เกิดอาร์คพลาสมาอยู่ได้ก็ขึ้นอยู่กับพิกัดแรงดันของแหล่งจ่ายกำลังและค่าความต้านทาน ณ จุดสัมผัสด้วย

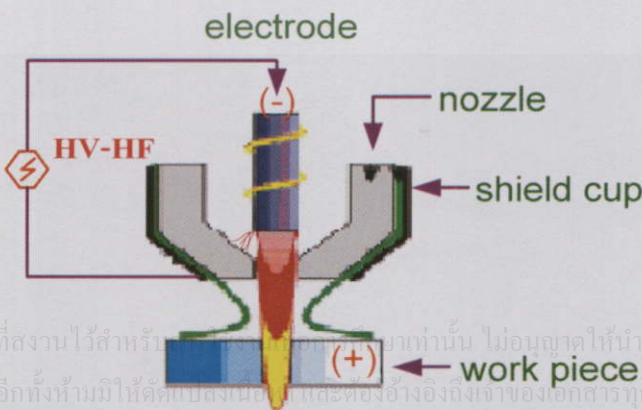
ส่วนการสร้างอาร์คพลาสมาด้วยไฟฟ้าวิธีที่สองคือ การทำให้เกิดการอาร์คด้วยแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง การทำให้เกิดอาร์คด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงใช้กันทั่วไปในกรณีที่แอโนดและแคโทดไม่สามารถจะเคลื่อนเข้ามาแตะกันได้เพื่อให้เกิดอาร์คพลาสมา ในกรณีนี้จำเป็นต้องมีชุดกำเนิดแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงเข้าช่วยเพื่อให้เกิดอาร์คความถี่สูงเริ่มแรก ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ของก๊าซโดยทั่วไปที่มีโอกาสจะเกิดอาร์คคิซซาร์จ (Discharge) ได้ง่ายเมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง ในที่นี้อาร์คความถี่สูงจะทำหน้าที่เป็นทางเดินเริ่มต้นให้กับการเกิดอาร์คพลาสมาหลักที่ได้จากเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง นอกจากนี้การทำให้เกิดอาร์คโดยวิธี

แรงดันสูงความถี่สูงนั้นยังสามารถแบ่งได้เป็นสองแบบด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ได้แก่แบบทรานสเฟอร์อาร์ค (Transferred Arc) การอาร์คแบบนี้ต้องอาศัยชิ้นงานเป็นขั้วไฟฟ้าในการนำพาลำอาร์คพลาสมาเข้าสู่ชิ้นงาน และแบบนอนทรานสเฟอร์อาร์ค (Non Transferred Arc) การอาร์คแบบนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ชิ้นงานเป็นขั้วไฟฟ้าในการนำพาลำอาร์คพลาสมาเข้าสู่ชิ้นงาน



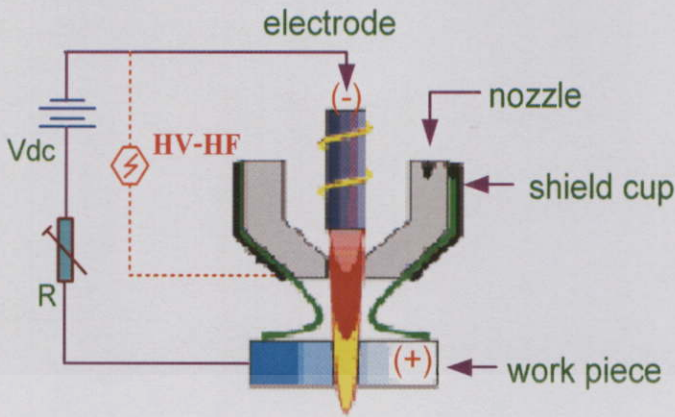
รูปที่ 2.5 การทำให้เกิดการอาร์คพลาสมาด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบการสร้างด้วยวิธีการอาร์คด้วยแรงดันสูงความถี่สูงแบบทรานสเฟอร์อาร์ค (Transferred Arc) เนื่องจากในการใช้กำลังงานเริ่มต้นของการเกิดอาร์คและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำให้เกิดอาร์คพลาสมาหลักมีค่าต่ำกว่าการอาร์คด้วยแรงดันสูงความถี่สูงแบบนอนทรานสเฟอร์อาร์ค (Non Transferred Arc) อย่างไรก็ตามก็ขึ้นอยู่กับพิทช์ของหัวตัดพลาสมาที่เลือกใช้และพิทช์กำลังของตัวเครื่องตัดเป็นสำคัญด้วย ซึ่งจะ ได้ลำดับการเกิดอาร์คพลาสมาด้วยวิธีแรงดันสูงความถี่สูง ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และรูปที่ 2.7 ตามลำดับ



รูปที่ 2.6 การใช้แรงดันสูงความถี่สูงเพื่อกระตุ้นให้เกิดอาร์คหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

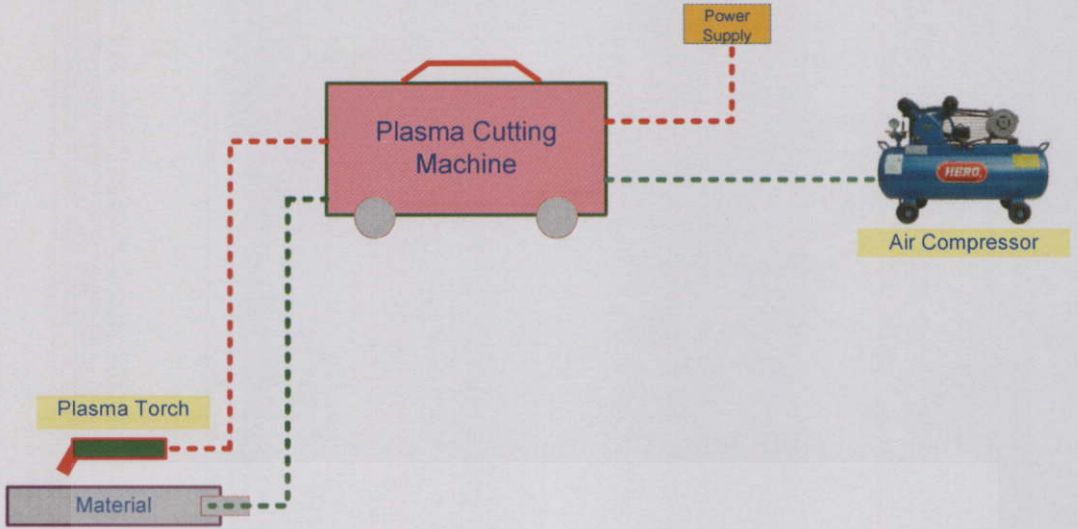


รูปที่ 2.7 อาร์คหลัก (Main Arc) ที่เกิดตามแนวของอาร์คแรงดันสูงความถี่สูง

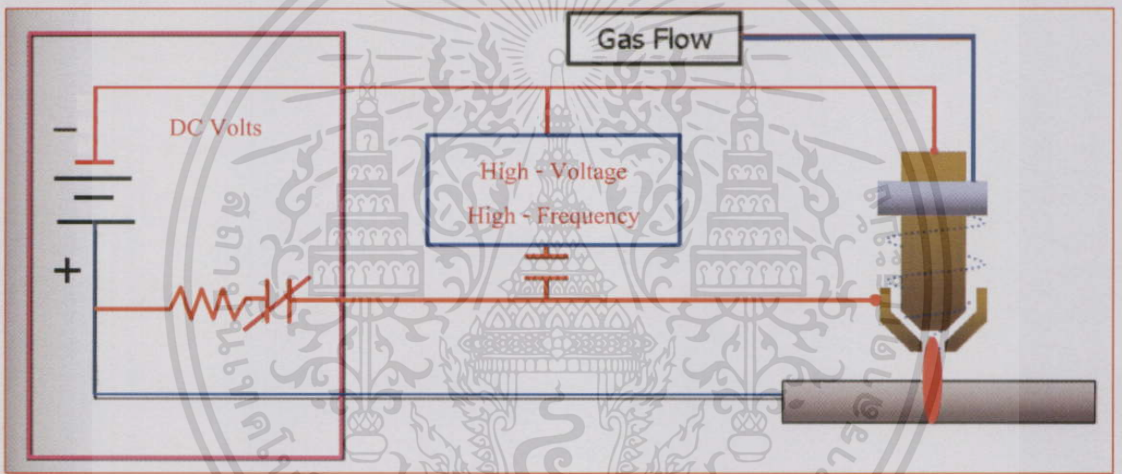
อาร์คแรงดันสูงความถี่สูงที่เกิดขึ้น (ดังในรูปที่ 2.6) จะทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นและเป็นทางเดินให้กับการเกิดอาร์คพลาสมาหลักที่ได้จากเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง เมื่ออาร์คด้วยแรงดันสูงความถี่สูงแล้วในช่วงเวลาอันสั้นอาร์คที่เกิดขึ้นทำให้เกิดอาร์คพลาสมาหลักกรอบๆ ช่องที่เป็นทางผ่านของพลาสมาก๊าซ (ดังในรูปที่ 2.7) และในลักษณะเช่นนี้จะทำให้เกิดอาร์คพลาสมาหลักคงที่พร้อมทั้งเป็นลำพลาสมาที่จะใช้งานต่อไปจึงไม่จำเป็นต้องใช้ชุดกำเนิดแรงดันสูงความถี่สูงกระตุ้นอีกต่อไป อย่างไรก็ตามก็ขึ้นอยู่กับพิกัดของหัวตัดพลาสมาที่เลือกใช้และต้องมีพิกัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สูงมากพอหรือเหมาะสมกับหัวตัดเพื่อให้การเกิดอาร์คพลาสมาที่หัวตัดมีความต่อเนื่อง จากปัญหาที่เกิดขึ้นว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงต้องมีค่าสูงมากพอที่จะทำให้เกิดอาร์คพลาสมาหลักได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องตัดจากหลักการเดิมที่มีอาร์คแรงดันสูงความถี่สูงกระตุ้นช่วงเริ่มต้น ก็จะทำให้การปรับหรือควบคุมการเกิดอาร์คแรงดันสูงความถี่สูงตลอดช่วงระยะเวลาของการตัดโดยใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดต่ำลงซึ่งได้จากการออกแบบวงจรแปลงผันกำลังไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์นั่นเอง ซึ่งจะได้อธิบายในส่วนของการออกแบบในบทที่ 3 ต่อไป

## 2.5 เครื่องตัดโลหะด้วยอาร์คพลาสมา

จากหลักการที่ได้กล่าวมาข้างต้นของขบวนการเกิดอาร์คพลาสมาจึงนำมาสู่การพัฒนาการใช้งานเป็นเครื่องตัดโลหะพลาสมา (Plasma Cutting) ที่ให้ความสะดวกและรวดเร็วในการตัดโลหะ ซึ่งเครื่องตัดโลหะพลาสมา มีส่วนประกอบหลักๆ คือ ชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ชุดแรงดันอากาศ และส่วนของชุดหัวตัดพลาสมา ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ส่วนรูปที่ 2.9 เป็นหลักการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา ซึ่งได้แสดงดังรูป



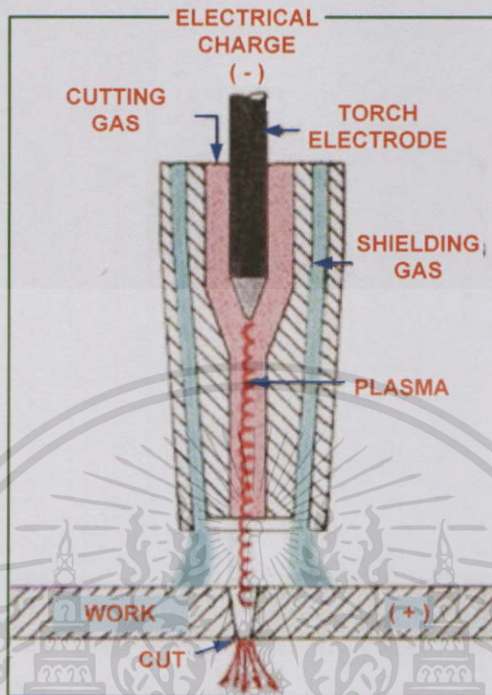
รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของเครื่องตัด โลหะด้วยลำพลาสมา



รูปที่ 2.9 หลักการทำงานของเครื่องตัด โลหะด้วยลำพลาสมา

ในรูปที่ 2.9 เป็นขบวนการหลักการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อมีก๊าซวิ่งผ่านขั้ว Electrode ที่มีอาร์คแรงดันสูงความถี่สูงเป็นจุดกำเนิดอาร์คหลักที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อเกิดอาร์คพลาสมาหลักแล้วส่วนของแรงดันสูงความถี่สูงก็จะตัดวงจรการทำงานออกและจะเริ่มทำงานใหม่ได้เมื่อเริ่มกดสวิตช์ใหม่อีกครั้ง อาร์คพลาสมาหลักที่เกิดขึ้นจะวิ่งผ่านรูเล็กๆ ที่ปลายสุดของหัวตัดเพื่อให้เกิดเป็นลำพลาสมาที่นำไปใช้งานในการตัดโลหะต่อไป อย่างไรก็ตามเครื่องตัดพลาสมาจะทำงานได้อย่างสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพในการตัดต้องอาศัยส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ร่วมกันอย่างเหมาะสมกับงานชนิดนั้นๆ อาทิเช่น แรงดันอากาศที่ใช้ในการตัด แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีมากพอที่ใช้เป็นอาร์คหลักและระยะเวลาการตัดของตัวตัดกับชิ้นงานไม่ว่าจะเป็นโลหะชนิดใดก็ตาม อีกทั้งยังมีให้คัดเปลี่ยนหัว และต้องอ้างอิงถึงค่าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ รวมทั้งความชำนาญของผู้ใช้งานเองก็มีส่วนสำคัญในการตัดชิ้นงานให้ออกมาอย่างมีประสิทธิภาพ

โดยลักษณะการบีบอัดแรงดันอากาศของหัวตัดพลาสมาให้เปลวอาร์คหรือลำพลาสมาวิ่งเข้าสู่ชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของหัวตัดพลาสมา

<http://www.plasma-cutter.com/technical.htm>

จากรูปที่ 2.10 เป็นการทำงานของหัวตัดพลาสมาที่นำลำอาร์พลาสมาเข้าสู่ชิ้นงาน โดยการอัดอากาศเข้ารูเล็กๆ เพื่อบีบให้อากาศมีความดันอากาศสูงขึ้นและทำให้อากาศที่เข้าไปเปลี่ยนเป็นพลาสมาก๊าซและพุ่งออกสู่ชิ้นงานต่อไป

## 2.6 การใช้งานเครื่องตัดโลหะด้วยอาร์คพลาสมา

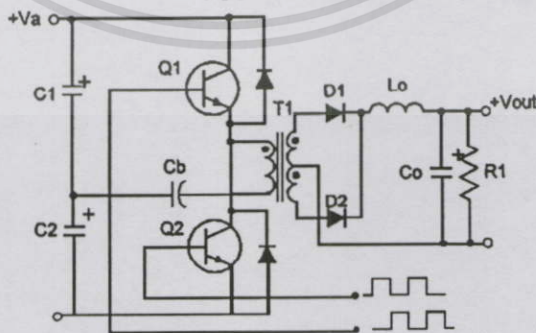
เครื่องตัดพลาสมาสามารถใช้ตัดโลหะได้แทบทุกชนิด ที่นิยมใช้กันมากได้แก่ เหล็กกล้า คาร์บอน อลูมิเนียม สแตนเลส ใช้ตัดแบบ Stack Cutting ตัดเจาะ ตัดเป็นรูปร่างหรือบางงานก็ได้ ในการใช้งานเครื่องตัดพลาสมาตัดงานที่ซ้อนกัน (Stack Cutting) ต้องยึดงานให้แน่นและสนิทกัน ส่วนการบากขอบงานแผ่นหรือท่อใช้วิธีเดียวกับการตัดด้วยออกซิเจน – ก๊าซเชื้อเพลิง (Oxyfuel Gas Cutting) : OFC ถ้าตัดงานรูปร่างลักษณะต่างๆ ให้ใช้หัวตัด(Plasma Arc Cutting) : PAC เนื่องจากปกติแล้วเครื่องตัดพลาสมาจะตัดได้เร็วกว่าเครื่อง OFC

ไม่ว่ากรณีใดทั้งนี้ อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ในอุตสาหกรรมโลหะขณะตัดด้วยอาร์คพลาสมานั้นจะเกิดควันและความร้อนมาก บางครั้งจึงต้องใช้โต๊ะน้ำสำหรับวางงานเมื่อต้องการตัดรูปร่างต่างๆ โดยน้ำจะสัมผัสกับด้านล่าง

ของแผ่นงานและช่วยดักควันที่ตะกั่วหรือออกไซด์และยังช่วยดักเสียงด้วย งานเหล็กกล้าคาร์บอนที่บางกว่า 75 มม. ถ้าตัดด้วยพลาสติกจะเร็วกว่าขบวนการตัด OFC ซึ่งถ้างานบางกว่า 25 มม. ถ้าตัดด้วยอาร์คพลาสติกจะเร็วกว่าขบวนการตัด OFC ถึง 5 เท่า [11] อย่างไรก็ตามก็ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ใช้งานเป็นหลักและการเลือกว่าจะใช้พลาสติกหรือขบวนการตัด OFC นั้น ต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบอื่นด้วย เช่น ราคาเครื่องมือ ปริมาณงาน และค่าเสียหายต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับขบวนการตัด OFC แล้วการตัดด้วยอาร์คพลาสติกจะมีข้อดีกว่าที่เห็นได้ชัดเจนเมื่อตัดงานยาวและมีจำนวนมากจึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรม โรงงานสร้างถังขนาดใหญ่ งานสร้างสะพาน โรงงานสร้างรถถัง และศูนย์โลหะการต่างๆ การตัดด้วยอาร์คพลาสติกสามารถปรับปรุงเพื่อตัดได้น้ำได้ โดยป้องกันไม่ให้ น้ำเข้าหัวตัด โดยการพ่นอากาศออกจากหัวตัดเพื่อคุมหัวตัดและไล่น้ำออกจากบริเวณรอบหัวตัด

## 2.7 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิง

ในส่วนนี้เป็นส่วนของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิงที่นิยมใช้กันมากขึ้น เพื่อเข้ามาแทนที่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบเชิงเส้น โดยหม้อแปลงแบบเชิงเส้นจะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากในขณะที่ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับหม้อแปลงแบบสวิตชิง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิง เพื่อให้ชุดแหล่งจ่ายกำลังมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา จึงได้เลือกวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half Bridge Converter) เนื่องจากลักษณะการจับวางของวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จะทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ภายในวงจรมีแรงดันตกคร่อมขณะหยุดนำกระแสมีค่าเพียงแรงดันอินพุตเท่านั้น ทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้มีราคาถูกและหาได้ง่ายโดยวงจรจะมีการใช้สวิตช์กำลังแค่สองชุดเท่านั้นจึงง่ายต่อการควบคุมการนำสวิตช์การทำงานของวงจร โดยมีวงจรการต่อพื้นฐานการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

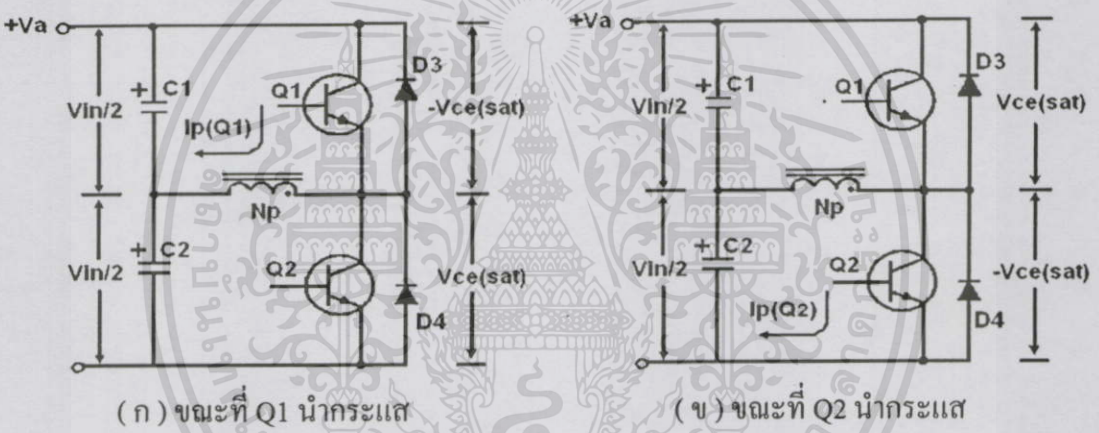
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามในบทนี้จะอธิบายเฉพาะหลักการทำงานของวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์และส่วนประกอบต่างๆ ของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิง ทั้งส่วนของการขับนำสวิตช์และ

ส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิตชิง โดยการออกแบบและรายละเอียดต่างๆ จะอธิบายในส่วนของบทต่อไป

2.7.1 หลักการทำงานของวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ในรูปที่ 2.12 เป็นสภาวะการทำงานของวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ในสภาวะช่วงการทำงานขณะที่ Q1 และขณะที่ Q2 นำกระแส ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้ จากวงจรตัวเก็บประจุ C1 และ C2 กำหนดให้มีค่าเท่ากันและต่ออนุกรมกันอยู่ทางด้านอินพุตเพื่อแบ่งครึ่งแรงดัน แรงดันที่ตกคร่อม C1 และ C2 จึงมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันที่อินพุต เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 จะสลับการทำงานคนละครั้งคาบเวลา และเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาการทำงานของวงจร เราจะพิจารณาในกรณีที่ไม่มี  $C_b$  ต่ออยู่ในวงจรเสียก่อน โดยให้ปลายของขดไพรมารี  $N_p$  ที่ต่ออยู่กับ  $C_b$  นั้นต่อตรงเข้ากับจุดต่อระหว่างตัวเก็บประจุ C1 และ C2



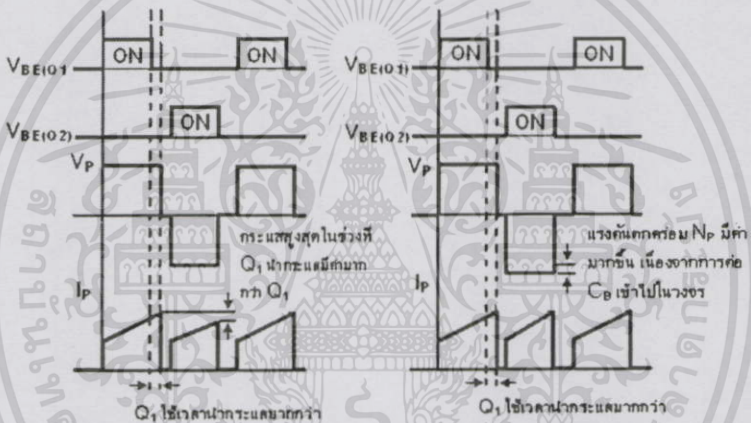
รูปที่ 2.12 สภาวะช่วงการทำงานขณะที่ Q1 และขณะที่ Q2 นำกระแส

เมื่อ Q1 เริ่มนำกระแส และ Q2 ไม่นำกระแส แรงดันตกคร่อม Q2 จะมีค่าเท่ากับ  $V_{in(sat)}$  ส่วนแรงดันตกคร่อมของขดไพรมารี  $N_p$  จะมีค่าเท่ากับ  $V_{C1} - V_{CE(sat)}$  หรือมีค่าเท่ากับ  $V_{in}/2 - V_{CE(sat)}$  นั่นเอง ในทำนองเดียวกัน เมื่อ Q2 นำกระแส และ Q1 ไม่นำกระแส แรงดันตกคร่อม Q1 จะมีค่าเท่ากับ  $V_{in} - V_{CE(sat)}$  เช่นเดียวกัน แรงดันตกคร่อมที่ขดไพรมารี  $N_p$  ก็ยังมีค่าเท่ากับ  $V_{in}/2 - V_{CE(sat)}$  เนื่องจาก  $V_{CE(sat)}$  มีค่าประมาณ 0.5-1 โวลต์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า แรงดันตกคร่อม Q1 และ Q2 ขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับแรงดันอินพุตเท่านั้น

2.7.2 ตัวเก็บประจุบล็อกกิ้ง (Blocking Capacitor)  $C_b$

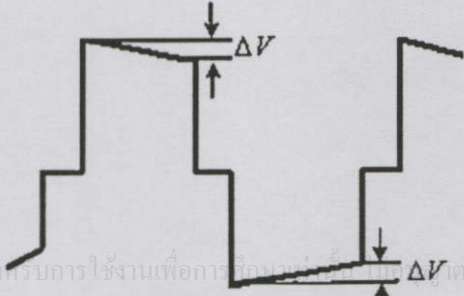
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ตัวเก็บประจุบล็อกกิ้ง (Blocking Capacitor)  $C_b$  ที่ต่อเพิ่มเข้ามาในวงจรนั้นมีหน้าที่ไม่ต่างกันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องหลังที่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
หลักคือป้องกันการเกิดฟลักซ์ไม่สมมาตรขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ขณะวงจรทำงาน เพราะในทางปฏิบัติการต่อตัวเก็บประจุ C1 และ C2 เพื่อให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองมีค่าเท่ากัน

จริงๆ นั้นทำได้ยาก รวมทั้งการไม่แมตซ์กันของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 อาจก่อให้เกิดปัญหาการไม่สมมาตรฟลักซ์ขึ้นได้ทั้งสิ้น การต่อตัวเก็บประจุลือกิ่งกันเข้ามาในวงจรจะทำให้  $C_b$  มีการเก็บประจุและคายประจุสลับกันไปตามทิศทางของกระแสที่ไหลในขดไพรมารี  $N_p$  ถ้าผลของการเกิดประจุสะสมทำให้ Q1 และ Q2 มีช่วงนำกระแสไม่เท่ากันก็จะทำให้ตัวเก็บประจุและคายประจุของ  $C_b$  ใช้เวลาไม่เท่ากันด้วย เป็นผลทำให้มีประจุเหลือค้างใน  $C_b$  และทำให้เกิดค่าแรงดันตกคร่อม  $C_b$  นั่นคือหากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ตัวใดมีช่วงนำกระแสมากกว่าในกรณีนี้ค่ากระแสสูงสุดจะมีค่ามากขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นตามแรงดันตกค้างใน  $C_b$  จะช่วยเพิ่มค่าแรงดันตกคร่อมขดไพรมารีให้มีค่ามากขึ้น ค่ากระแสสูงสุดก็จะมีค่าเท่ากันได้และจะไม่เกิดการไม่สมมาตรฟลักซ์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ส่วนการทำงานของ  $C_b$  ในกรณีที่แรงดันตกคร่อม C1 และ C2 มีค่าไม่เท่ากันนั้นก็จะเป็นไปได้ในทำนองเดียวกัน



(ก) การไม่สมมาตรฟลักซ์เนื่องจาก Q1 ใช้เวลานำกระแสมากกว่า Q2 (ข) ผลการต่อ  $C_b$  เพื่อลดการไม่สมมาตรฟลักซ์

รูปที่ 2.13 ลักษณะการเกิด ไม่สมมาตรฟลักซ์เนื่องจากช่วงเวลานำกระแสและการลดการเกิดไม่สมมาตรฟลักซ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ในที่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รูปที่ 2.14 ลักษณะการเกิดความลาด (Droop) ขึ้นบนแรงดันที่ตกคร่อมขดไพรมารีเมื่อต่อ  $C_b$  คั้นเข้ามาในวงจร

อย่างไรก็ตามการต่อตัวเก็บประจุลึอกกึ่งคันเข้าในวงจรจะทำให้เกิดแรงดันที่ตกคร่อม ขดไฟรมารีมีค่าลดลงตามเวลาหรือเกิดความลาด (Droop) ขึ้นบนแรงดัน เนื่องจากแรงดันส่วนหนึ่ง ไปตกคร่อม  $C_b$  ดังแสดงในรูปที่ 2.14 และจะมีผลต่อแรงดันทางด้านเซคันดารีทำให้เกิดการ กระเพื่อมของแรงดันเอาต์พุตซึ่งไม่เป็นที่ต้องการเช่นกัน ดังนั้นการกำหนดค่าของ  $C_b$  อาจทำได้ ดังนี้คือ

$$C_b = \frac{I_{P(PK)}(0.4T)}{\Delta V} \quad (2.4)$$

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

$\Delta V$  คือ ค่าของความลาดของแรงดันที่ยอมรับได้ (ไม่เกิน 20%)

$T$  คือ ค่าคาบเวลาการทำงานของคอนเวอร์เตอร์

#### - คอมมิวเตตติ้งไดโอด D3 และ D4

จากรูปที่ 2.13 จะเห็นว่า D1 และ D2 ที่ต่อคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 อยู่ ไดโอดทั้งสองตัวนี้เรียกว่า คอมมิวเตตติ้งไดโอด (Commutating Diode) มีหน้าที่ 2 อย่าง คือป้องกันการ เกิดแรงดันสไปค์ในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแสเนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำ แผลงในหม้อแปลง โดยพลังงานที่สะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำแผลงนี้จะถูกถ่ายเทออกไปยังภาคอินพุต ของหม้อแปลงด้วยคอมมิวเตตติ้งไดโอดจึงไม่ทำให้เกิดแรงดันสไปค์เมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่ม หยุดนำกระแสและในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 เริ่มหยุดนำกระแส ขดไฟรมารี  $N_p$  จะมีการ กลับชั่วแรงดันเกิดขึ้นถ้าไม่มีคอมมิวเตตติ้งไดโอด Q2 ก็จะได้รับแรงดันตกคร่อมที่คอลเล็กเตอร์เป็นลบ ในขณะที่ Q1 ก็จะมีแรงดันตกคร่อมมากกว่า  $V_m/2$  ในกรณีนี้ ไดโอด D4 จะอยู่ในลักษณะถูก ไบอัสตรงจากแรงดันไฟรมารีและลดค่าแรงดันนี้ไป ในทำนองเดียวกับเมื่อ Q2 เริ่มหยุดนำกระแส ไดโอด D3 จะทำหน้าที่เช่นเดียวกันเพื่อเป็นการป้องกันเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ไม่ให้เกิดความเสียหาย

ไดโอดที่นำมาใช้เป็นคอมมิวเตตติ้งไดโอด D3 และ D4 ต้องเป็นชนิดพื้นตัวเร็วหรือฟาสต์ รีคัฟเวอรีไดโอดและต้องทนแรงดันย้อนกลับได้อย่างน้อย 2 เท่าของแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ ทรานซิสเตอร์ขณะหยุดนำกระแส ค่าเวลาเพื่อ  $t_D$  สำหรับวงจรกึ่งบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ค่าเวลาเพื่อ  $t_D$  เพื่อจำกัดช่วงเวลานำกระแสสูงสุด  $t_{ON(max)}$  ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 เป็นสิ่งสำคัญ มากในวงจรกึ่งบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จะเห็นว่าการต่อกันอยู่ในวงจรของ Q1 และ Q2 ถ้าหาก Q1 และ Q2 นำกระแสพร้อมๆ กันจะเกิดการลัดวงจรของแรงดันด้านอินพุตทันที ซึ่งเป็นอันตรายต่อ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์และอุปกรณ์อื่นๆ ในวงจรได้ ดังนั้นช่วงเวลานำกระแสสูงสุดของ Q1 และ

Q2 จะต้องถูกจำกัดด้วยค่าเวลาเพื่อ  $t_D$  เช่นเดียวกับวงจรพุ่ม-พุลคอนเวอร์เตอร์ โดยอาจกำหนดไว้ที่ 20% ของครึ่งหนึ่งของค่าคาบเวลา ดังนั้น

$$t_{ON(max)} = 0.4T \quad (2.5)$$

การคำนวณหาแรงดันเอาต์พุต แรงดันเอาต์พุตนั้นสามารถหาได้จากสมการที่ 2.6 โดยจะเหมือนกับวงจรพุ่ม-พุลคอนเวอร์เตอร์ แต่ในกรณีกึ่งบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แรงดันตกคร่อมขดไฟโรมารี่  $N_p$  จะมีค่าเท่ากับ  $V_{in}/2 - V_{CE(sat)}$  ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตจึงเป็น

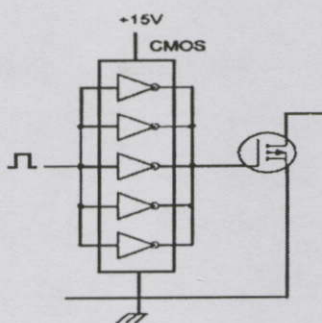
$$V_o = \left(\frac{N_s}{N_p}\right)(V_{in}/2 - V_{CE(sat)}) \frac{t_{ON}}{(T/2)} - V_D \quad (2.6)$$

กระแสสูงสุดที่ไหลผ่าน Q1 และ Q2 การคำนวณกระแสสูงสุด ( $I_{P(PK)}$ ) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.7 โดยจะเหมือนกับวงจรพุ่ม-พุลคอนเวอร์เตอร์ แต่เนื่องจากแรงดันแรงดันที่ตกคร่อมขดไฟโรมารี่มีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุต

$$I_{P(PK)} = \frac{P_{out} T}{\eta V_{in(min)} t_{on(max)}} + \frac{\left(\frac{V_{in(min)}}{2} - V_{CE(sat)}\right)}{L_p} t_{ON(max)} \quad (2.7)$$

### 2.7.3 วงจรขับเคลื่อนการทำงานของชุดคอนเวอร์เตอร์

ในการสร้างวงจรขับเคลื่อนทรานซิสเตอร์จำพวกไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ต้องกระตุ้นการทำงานโดยการให้กระแสไบแอสที่ขาเบส เพื่อให้ นำกระแสและหยุดนำกระแสได้และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าการลดประจุสะสมที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส จะขึ้นอยู่กับลักษณะของกระแสไบแอสที่ให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นการจัดวงจรขับเคลื่อนกระแสไบแอสที่ถูกต้องจะช่วยลดกำลังงานสูญเสียให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้เช่นกัน แต่ในส่วนของงานวิจัยนี้จะเป็นการควบคุมการหยุดและนำกระแสด้วยแรงดันเนื่องจากชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้จะใช้ไอจีบีทีที่เป็นสวิทช์กำลังซึ่งสามารถสร้างวงจรการขับเคลื่อนด้วยไอซี CMOS ในส่วนเอาต์พุตของไอซี CMOS จะเป็นเฟสต่อกันในลักษณะคอมพลิเมนต์ารี ซึ่งสามารถทำงานได้ที่แรงดันไฟเลี้ยงตั้งแต่ 3 ถึง 15 โวลต์ โดยทั่วไปจะใช้ 12 ถึง 15 โวลต์ เพื่อให้เหมาะสมในการขับเคลื่อนมอเตอร์และไอจีบีที ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยไอซี CMOS

สำหรับการขับเพาเวอร์มอสเฟตหรือไอจีบีทีที่ต้องนำกระแสสูงๆ การต่อไอซี CMOS ในลักษณะขนานกันจะสามารถเพิ่มกระแสที่ขาเกตและทำให้ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟตหรือไอจีบีทีเป็นไปได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น

ในกรณีของคอนเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์และฟูลบริดจ์วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตหรือไอจีบีทีตัวบนและตัวล่างจะต้องมีการแยกกราวด์ออกจากกันจึงจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงหรือในกรณีที่ต้องการขับมากกว่า 1 ตัวพร้อมกันก็อาจต้องใช้หม้อแปลงช่วย การต่อหม้อแปลงพัลส์เข้ากับขาเกตและวงจรควบคุมโดยตรงอาจเกิดปัญหาการเลื่อนระดับของแรงดันเอาต์พุตที่หม้อแปลงและอาจมีปัญหาในการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟต จึงเลือกใช้การแยกกราวด์ทางแสงหรือที่เรียกกันว่า ออฟไดโอด (Opto Diode) ซึ่งง่ายต่อการใช้งานและลดปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากหม้อแปลงได้

#### 2.7.4 ส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิตซ์

หม้อแปลงสวิตซ์ (Switching Transformer) จัดเป็นอุปกรณ์ส่วนสำคัญในการส่งผ่านกำลังงานจากด้านปฐมภูมิไปสู่ทางด้านทุติยภูมิ สำหรับแหล่งจ่ายกำลังที่มีหม้อแปลงสวิตซ์ซึ่งความถี่สูงผู้ออกแบบจำเป็นต้องศึกษารูปแบบที่เป็นไปได้ในลักษณะต่างๆ ของหม้อแปลงสวิตซ์ซึ่งความเหมาะสมในการใช้งาน การคำนวณหาขนาดของแกนเฟอร์ไรต์และขนาดของขดลวดทองแดงรวมทั้งการกำหนดความปลอดภัยทางไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยและลดกำลังงานสูญเสียในหม้อแปลงสวิตซ์ขณะทำงาน ส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิตซ์ซึ่งประกอบด้วยขดลวดทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิและมีแกน โดยหม้อแปลงสวิตซ์มีหน้าที่หลักในการลดทอนแรงดันหรือเพิ่มแรงดันโดยส่วนใหญ่ด้านอินพุตของคอนเวอร์เตอร์ซึ่งอาจมีแรงดันไฟตรงมีค่าสูงได้ถึง 310 V และทำให้มีค่าลดลงเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำที่เอาต์พุตและทำให้เกิดการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุตที่ได้เพื่อป้องกันอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูด โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อแปลงสวิตซ์มีดังนี้

- แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core) เฟอร์ไรต์เป็นวัสดุประเภทเฟอร์โรแมกเนติก

(Ferromagnetic material) การเหนี่ยวนำแม่เหล็กจะมีผลทำให้เกิดความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูง

กว่าการเหนียวนำแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนแกนอากาศมาก เฟอร์ไรต์มีค่าจลุมตัวฟลักซ์แม่เหล็ก  
ก่อนข้างสูง ประมาณในช่วง 3,000 - 4,000 เกาส์ และเกิดการสูญเสียในตัวมันต่ำที่ความถี่สูง

- บอบบิ้น (Bobbin) บอบบิ้นหรือแผ่นรองพัน ปกติจะทำจากพลาสติกชนิดทนความร้อน  
ได้สูงและไม่ติดไฟ บอบบิ้นจะช่วยในการพันขดลวดบนแกนเฟอร์ไรต์สะดวกขึ้น และป้องกัน  
ปัญหาการลัดวงจรระหว่างขดลวดกับแกน บอบบิ้นจะมีขนาดมาตรฐานตามแกนเฟอร์ไรต์

- ลวดทองแดงอาบน้ำยา การพันขดลวดทั้ง ไพรมารีและเซคันดารีของหม้อแปลงสวิตซ์ที่  
กำลังไม่สูงมากนัก ปกติจะใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาพันบนแกนบอบบิ้นเพื่อให้ได้จำนวนรอบที่  
ต้องการ ขนาดของขดลวดทองแดงที่จะใช้พันหม้อแปลงนั้นก็ขึ้นอยู่กับค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านขดลวด

- เทปฉนวน ใช้สำหรับพันเป็นฉนวนระหว่างชั้นของขดลวดในหม้อแปลงสวิตซ์ และมี  
หน้าที่สำคัญในการแยกส่วนทางไฟฟ้าระหว่างขดไพรมารีและเซคันดารีด้วยวัสดุที่ใช้ทำเทปฉนวน  
อาจเป็นพวก ไมลาร์ (Mylar) หรือ โพลีเอสเตอร์ (Polyester) ที่มีความหนาอยู่ในช่วง 0.05-0.1  
มิลลิเมตร การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบและค่าความปลอดภัยที่ต้องการจากหม้อแปลง  
สวิตซ์เป็นหลัก

จากส่วนประกอบต่างๆ ของหม้อแปลงสวิตซ์และหลักการทำงานเบื้องต้นของชุด  
คอนเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ที่ได้ทำการออกแบบสร้างก็พอจะทราบถึงวิธีการทำงานของวงจรและ  
แนวทางการออกแบบ และจะได้อธิบายในส่วนของการทำงานพร้อมรายละเอียดต่างๆ ของ  
ส่วนประกอบเครื่องตัด โลหะด้วยลำพลาสมาในบทต่อไป

## 2.8 สรุป

ในส่วนของบทที่ 2 นี้ได้อธิบายถึงทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของการเกิดอาร์คพลาสมา  
และการนำอาร์คพลาสมาที่ได้ไปใช้ตัดโลหะ ซึ่งจะเห็นว่าทำให้เกิดอาร์คพลาสมาด้วยไฟฟ้านั้น  
มีสองวิธีด้วยกัน (ตามหัวข้อที่ 2.4) แต่ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบการเกิดอาร์คพลาสมาด้วยวิธี  
แรงดันสูงความถี่สูงแบบทรานสเฟอร์อาร์ค (Transferred Arc) พร้อมทั้งได้อธิบายถึงหลักการ  
ทำงานของเครื่องตัดพลาสมาและส่วนประกอบของเครื่องตัดพลาสมาที่ใช้ในการตัดโลหะ โดยมี  
ส่วนประกอบหลักๆ ก็คือแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงของอาร์คพลาสมาหลัก ซึ่งในที่นี้ได้ใช้  
แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตซ์คือวงจรแปลงผันกำลังไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ จึงได้อธิบายใน  
ส่วนของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตซ์ด้วย (ดังหัวข้อที่ 2.7) โดยส่วนประกอบทั้งหมดของการ  
ออกแบบสร้างเครื่องตัดจะได้อธิบายในบทที่ 3 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

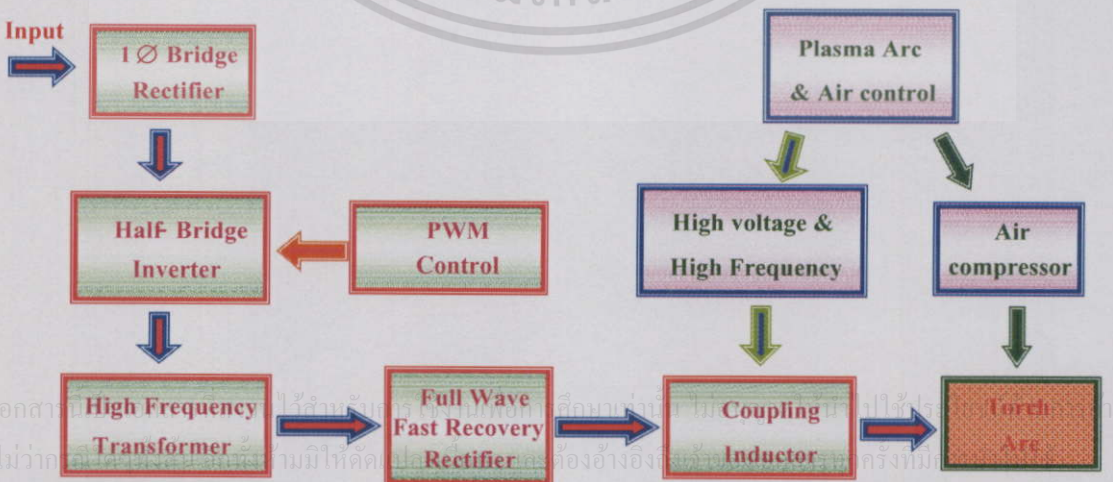
# การออกแบบเครื่องตัดพลาสมา

### 3.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงส่วนประกอบและเงื่อนไขการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา เพื่อช่วยให้การออกแบบเครื่องตัดพลาสมาเป็นไปตามเป้าหมายและตามสมมติฐานที่วางไว้ ในที่นี้ การเลือกใช้อุปกรณ์ตลอดจนส่วนประกอบของเครื่องตัดจะเน้นพิจารณาเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานที่ทำในวิทยานิพนธ์ โดยจะอธิบายรายละเอียดส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องตัดพลาสมาดังรูปที่ 3.1 ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ภาคส่วนของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตซ์ซึ่งที่ใช้เป็นแหล่งกำลังให้กับเครื่องตัดพลาสมา และส่วนของอุปกรณ์เสริมที่ช่วยในการทำงานให้เกิดอาร์คพลาสมาขึ้นอย่างสมบูรณ์ ซึ่งได้แก่ ส่วนของแรงดันสูงความถี่สูง และส่วนของพลาสมาก๊าซพร้อมชุดควบคุมการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา ดังจะได้อธิบายในลำดับต่อไป

### 3.2 โครงสร้างของเครื่องตัดพลาสมา

ในส่วนนี้จะเป็นโครงสร้างการทำงาน โดยรวมเพื่อนำไปสู่การออกแบบของเครื่องตัดโลหะพลาสมาที่ใช้แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตซ์ ซึ่งการออกแบบจะมีส่วนประกอบหลักๆ ซึ่งประกอบด้วยวงจรเรียงกระแสจากสายกำลังด้านเข้า วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบกึ่งบริดจ์โดยใช้ไอจีบีทีเป็นตัวสวิตซ์ ซึ่งส่วนของหม้อแปลงความถี่สูง วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นทางด้านออก วงจรกระตุ้นการเกิดอาร์ค และส่วนประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในการทำงานของเครื่องตัด และเพื่อความเข้าใจได้ทำการแยกออกเป็นส่วนๆ ดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา

จากบล็อกไดโอดแฉกสามขาที่ 3.1 เป็นส่วนประกอบของเครื่องตัดพลาสมาที่ทำการออกแบบสร้าง โดยการออกแบบก็จะมีส่วนประกอบที่สามารถแยกออกเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้ คือ

1. ภาควงจรเรียงกระแสจากสายกำลัง : (1 $\phi$  Bridge Rectifier)
2. วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์ : (Half - Bridge Inverter)
3. สัญญาณควบคุมชุดขับวงจร : (PWM Control)
4. หม้อแปลงความถี่สูง : (High Frequency Transformer)
5. วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นทางด้านออก : (Full -Wave Fast Recovery Rectifier)
6. วงจรกระตุ้นการเกิดอาร์คด้วยแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง : (High-Voltage & High-Frequency)
7. หัวตัดพลาสมา : (Plasma Torch)
8. เครื่องอัดอากาศ : (Air Compressor)
9. วงจรควบคุมการทำงานหลักของเครื่องตัดพลาสมา : (Main Control)

จากส่วนประกอบต่างๆ ที่ได้กล่าวไปแล้วนั้นสามารถอธิบายตามส่วนประกอบในแต่ละหัวข้อ เพื่อความเข้าใจในส่วนประกอบต่างๆ ที่นำมาใช้งานและเงื่อนไขการทำงานของเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการออกแบบสร้าง โดยจะได้อธิบายรายละเอียดตามลำดับดังนี้

### 3.3 ภาควงจรเรียงกระแสจากสายกำลัง : (1 $\phi$ Bridge Rectifier)

เนื่องจากเครื่องตัดพลาสมาใช้กำลังหลักจากวงจรสวิตซ์แบบกึ่งบริดจ์ ดังนั้นในส่วนนี้จะเป็นวงจรเรียงกระแสทางด้านเข้าของชุดคอนเวอร์เตอร์ โดยมีไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์  $\pm 10\%$  ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับมาเปลี่ยนให้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้วงจรเรียงกระแสที่ใช้ไดโอดต่อแบบบริดจ์ โดยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านขาออกของวงจรเรียงแสดนี้จะถูกกรองให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการกระเพื่อมน้อยลงและมีขนาดประมาณ 310 โวลต์ โดยมีตัวเก็บประจุเป็นชุดวงจรกรอง ดังรูปที่ 3.2 การต่อวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นโดยตรงเข้ากับสายกำลังเช่นนี้ เป็นการเลี่ยงการใช้หม้อแปลงแรงดันความถี่ต่ำ ทำให้สามารถลดน้ำหนักลงได้ ในกรณีวงจรกรอง 50 เฮิร์ตซ์ก็เช่นกัน การไม่ใช้ตัวเหนี่ยวนำก็จะลดปัญหาเนื่องจากน้ำหนัก แต่มีข้อเสียคือ ตัวเก็บประจุของวงจรจะมีขนาดใหญ่กว่าวงจรกรองที่มีตัวเหนี่ยวนำ ในขณะที่การกระเพื่อมของแรงดันมีขนาดเท่ากันและกระแสที่ไหลในตัวไดโอดมีค่าขอดสูง แต่ก็มีข้อดี คือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีขนาดเกือบเท่ากับค่าขอดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของระบบจ่ายกระแส ในการออกแบบค่าอุปกรณ์ต่างๆ ของวงจรจ่ายไฟตรงภาคกำลังในงานวิจัยนี้ กำหนดให้ค่าขอดของแรงดันกระเพื่อมเท่ากับ 5% โดยมีรายละเอียดดังนี้

## 1) การคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุเพื่อกรองแรงดันด้านเอาต์พุต

$$\begin{aligned}
 \text{แรงดันด้านเข้า } (V_{in}) &= 220 && V \\
 \text{ค่าขอดแรงดันกระแสสลับ } (V_m) &= 310 && V \\
 \text{แรงดันกระแสเพือม } (V_{r-p-p}) &= 0.05 \times 310 \\
 &= 15.5 && V \\
 \text{แรงดันไฟตรงเฉลี่ย } (V_{dc}) &= 310 - (15.5/2) \\
 &= 302.5 && V
 \end{aligned}$$

สำหรับเครื่องตัดพลาสมาที่ออกแบบได้เพื่อกำลังไฟฟ้าทางด้านเข้าประมาณ 2500 W  
ดังนั้นหาค่า C ได้จากสมการ

$$C = \frac{I \times t}{V_r} \quad (3.1)$$

โดยที่  $I$  คือ กำลังไฟฟ้าด้านสูงสุด/แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ย

$$= 2500/302.5$$

ดังนั้น กระแสสูงสุด = 8.27 A

$$t = 1/2 \text{ ของคาบเวลาไฟฟ้ากระแสสลับด้านเข้า}$$

ดังนั้น ครึ่งคาบเวลาที่ 50 Hz = 10 ms

$$C = (8.27 \times 0.01)/15.5$$

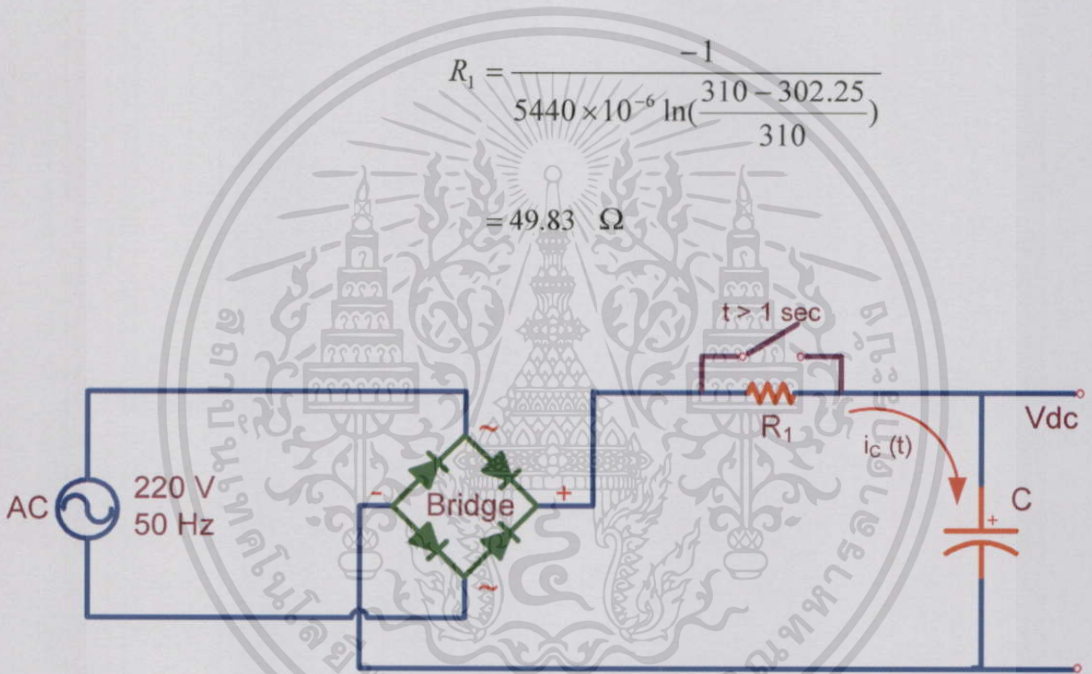
ดังนั้น ค่าเก็บประจุ = 5335  $\mu F$

ในทางปฏิบัติได้เลือกใช้ตัวเก็บประจุ (C) ชนิดอิเล็กโทรไลต์ขนาด 680  $\mu F$  ขนานกัน 8 ตัว ทำให้ได้ตัวเก็บประจุทั้งหมดเท่ากับ 5,440  $\mu F$  และสามารถทนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ 450 V ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) การกำจัดกระแสกระชากตอนเริ่มการทำงาน

เมื่อตอนเปิดสวิตซ์ให้วงจรทำงาน แต่ยังไม่ได้กดสวิตซ์ที่หัวตัด กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่าน  $R_1$  ในช่วงเริ่มต้นการทำงานและจะถูกลดลงจน เนื่องจาก  $R_1$  ทำหน้าที่จำกัดกระแสในสถานะเริ่มต้นการชาร์จตัวเก็บประจุกรองแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุต กล่าวคือกระแสที่ไหลผ่าน  $R_1$  เป็นกระแสที่ใช้ในการชาร์จตัวเก็บประจุ โดยใช้เวลาไม่น้อยกว่า 1 วินาที เมื่อวงจรเริ่มทำงาน ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดการกระชากของกระแสขณะเริ่มทำงาน สามารถหาค่าความต้านทาน  $R_1$  ได้จากสมการที่ 3.2

$$V_c(t) = V - V \exp\left(\frac{-t}{R_1 C}\right) \quad (3.2)$$



รูปที่ 3.2 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์พร้อมชุดป้องกันกระแสกระชากตอนเริ่มการทำงาน

## 3) ความต้านทานในการคายประจุ

เนื่องจากเมื่อมีการใช้งานเครื่องตัดพลาสมาเสร็จแล้ว ตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่เป็นตัวกรองแรงดันยังคงมีประจุค้างอยู่ซึ่งอาจเกิดอันตรายแก่ผู้ใช้งานได้ จึงจำเป็นต้องคายประจุออกเมื่อมีการใช้งานเสร็จเพื่อเป็นความปลอดภัยในการใช้งาน ในทางปฏิบัติจะใช้ตัวต้านทานต่อขนานกับตัวเก็บประจุเพื่อให้คายประจุผ่านตัวต้านทาน ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งในการเลือกตัวต้านทานนั้นกำหนดเอาไว้ว่า ตัวเก็บประจุที่มีแรงดันไม่เกิน 600 โวลต์ จะต้องมีตัวต้านทานต่อขนานไว้เพื่อให้คายประจุไฟฟ้าออกให้เหลือเพียง 50 โวลต์ ในเวลา 1 นาที [มาตรฐาน วสท. 408 ] โดยสามารถคำนวณหาค่า  $R_2$  ได้จากสมการที่ 3.3

$$Vc(t) = V \exp\left(\frac{-t}{R_2 C}\right) \quad (3.3)$$

$$R_2 = \frac{-t}{C \left(\ln \frac{Vc(t)}{V}\right)}$$

$$R_2 = \frac{-60}{5440 \times 10^{-6} \left(\ln \frac{50}{310}\right)}$$

$$= 6045 \quad \Omega$$

ในทางปฏิบัติเลือกใช้ค่าความต้านทานที่มีค่า 15 kΩ ทนกำลังสูญเสียได้ 10 W 2 ตัวมาต่อขนานกันจะได้ค่าความต้านทานรวม 7.5 kΩ และสามารถทนกำลังสูญเสียรวมได้ 20 W ซึ่งสามารถตรวจสอบกำลังสูญเสียของตัวต้านทานจ่ายประจุที่ใช้งานจริงได้จาก

หากระแสที่ไหลผ่าน  $R_2$  ในสภาวะการทำงานปกติ

$$I = \frac{V_{avg}}{R_2}$$

$$= 302.25 / 7500$$

$$\text{ดังนั้น } I = 0.04 \text{ A}$$

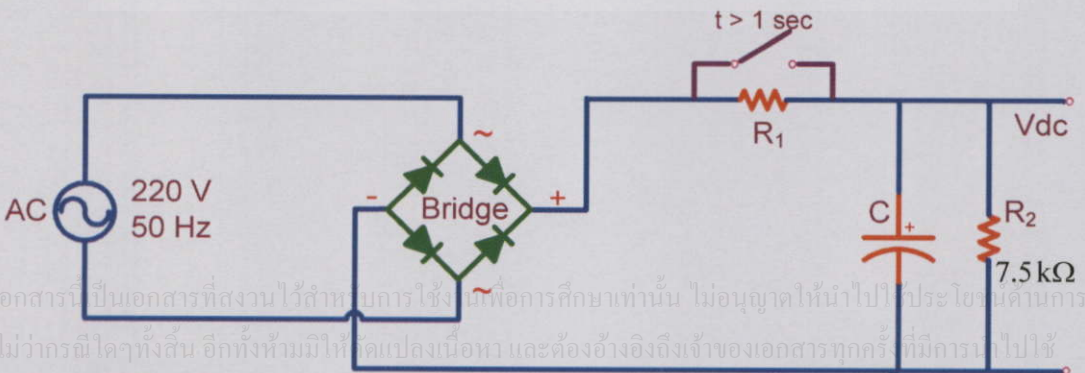
กำลังสูญเสีย

$$P_{Loss} = I^2 R \text{ หรือ } V^2 / R$$

$$= 0.04^2 \times 7500$$

$$\text{ดังนั้น } P_{Loss} = 12 \text{ W}$$

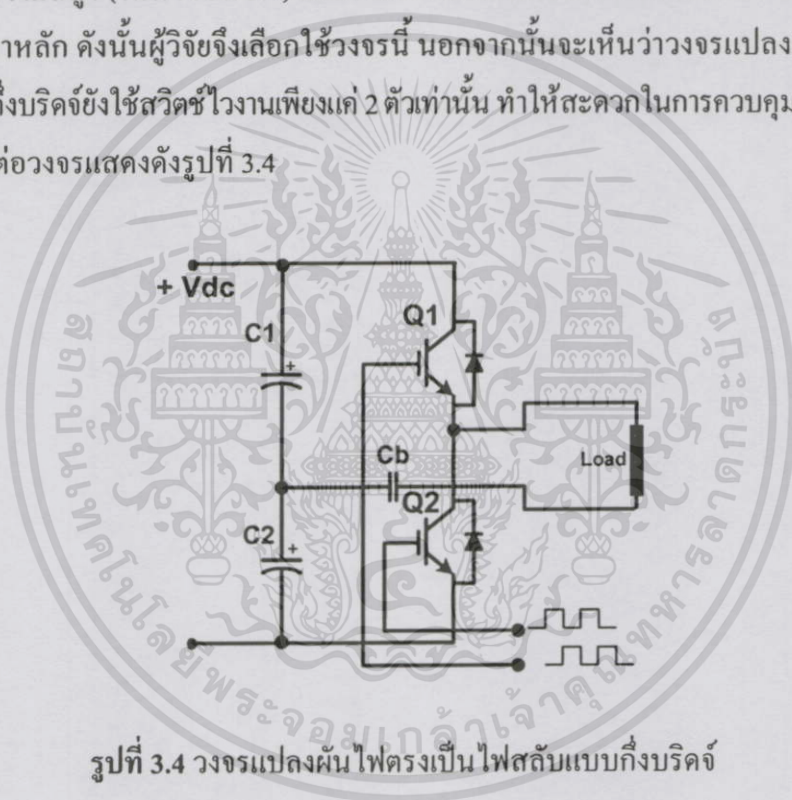
ซึ่งจากการตรวจสอบค่าความต้านทานที่นำมาต่อขนาน จะเห็นค่าความต้านทานที่นำมาใช้สามารถรองรับค่ากำลังสูญเสียเพื่อใช้ในการคายประจุของตัวเก็บประจุขณะเลิกใช้งานได้



รูปที่ 3.3 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์พร้อมความต้านทานคายประจุ

### 3.4 วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์ : (Half - Bridge Inverter)

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้วงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์ สาเหตุที่เลือกใช้วงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์เนื่องจากการทำงานของวงจรจะมีค่ายอดเอาต์พุตของไฟฟ้าสลับเป็นครึ่งหนึ่งของไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้า กล่าวคือเมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้า 310 Vdc ให้กับวงจรจะได้แรงดันเอาต์พุตที่ได้เป็นไฟสลับที่มีค่ายอด 150 V<sub>p</sub> ซึ่งเกิดจากการทำงานของวงจรที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุ 2 ตัว ทำหน้าที่แบ่งครึ่งแรงดันทางด้านเข้าและทำงานสัมพันธ์กับสวิตช์ไวงาน 2 ตัว ที่ทำหน้าที่สวิตช์สลับไปมาไม่พร้อมกันตามช่วงเวลาการทำงานที่กำหนด จึงได้แรงดันด้านเอาต์พุตเป็นไฟสลับที่มีค่ายอดเป็นครึ่งหนึ่งและเมื่อผ่านวงจรเรียงกระแสความถี่สูง (ในหัวข้อที่ 3.7) ก็จะได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เพียงพอต่อการทำให้เกิดอาร์คพลาสมาหลัก ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้วงจรนี้ นอกจากนั้นจะเห็นว่าวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์ยังใช้สวิตช์ไวงานเพียงแค่ 2 ตัวเท่านั้น ทำให้สะดวกในการควบคุมและง่ายต่อการต่อวงจร การต่อวงจรแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์

ในการออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์ ที่พิกัดกำลัง 2 kW ที่ความถี่สวิชต์ซึ่ง 20 kHz ผู้วิจัยได้เลือกสวิตช์ไวงานเป็นไอจีบีทีเป็นตัวสวิชต์กำลังให้กับเครื่องตัดพลาสมา เนื่องจากไอจีบีทีนั้นมีคุณสมบัติที่เหมาะสมและดีกว่าอุปกรณ์สวิชต์ชนิดอื่นๆ เช่น มอสเฟตกำลัง บีเจที จีทีโอ เป็นต้น ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังแต่ละชนิด ดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

อุปกรณ์	ความสามารถ ส่งผ่านกำลัง	ความเร็วในการ สวิตช์	ความสามารถทน แรงดันไฟฟ้าลบ	ชนิดการ ควบคุม
จีทีโอ	สูง	ต่ำ	ได้	กระแส
บีเจที	กลาง	กลาง	ไม่ได้	กระแส
ไอจีบีที	กลาง	กลาง ก่อนข้างสูง	ได้	แรงดัน
มอสเฟตกำลัง	ต่ำ	สูง	ไม่ได้	แรงดัน

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นว่าไอจีบีทีเหมาะสมสำหรับการใช้งานในงานวิจัยนี้ ทั้งพิกัดของกำลังที่ใช้และความถี่ที่ใช้งานและยังสามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้ทั้งทางด้านบวกและด้านลบ ดังนั้น ไอจีบีทีจึงอาจเรียกได้ว่าเป็นอุปกรณ์ประเภทที่ไม่จำเป็นต้องมีสแน็บเบอร์ (Snubberless) เนื่องจากสามารถทนกระแสและแรงดันไฟฟ้าได้ทั้งสองด้านจนอาจไม่ต้องต่อวงจรสแน็บเบอร์ และการเลือกพิกัดของตัวไอจีบีทีที่ใช้ในวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์นี้ สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 3.4

$$I_{P(PK)} = \frac{P_o T}{\eta V_{in(min)} I_{ON(max)}} \quad (3.4)$$

แทนค่า

$$I_{P(PK)} = \frac{2000 \times 50 \times 10^{-6}}{0.8 \times 302 \times 17.5 \times 10^{-6}}$$

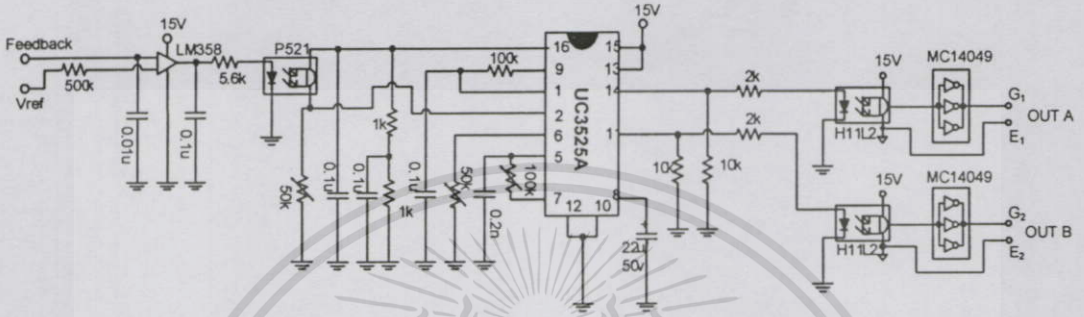
$$= 23.65 \quad A$$

ในทางปฏิบัติได้เลือกใช้งานไอจีบีทีที่พิกัดกระแสมากกว่าที่คำนวณได้ ประมาณ 2-3 เท่า เพื่อเผื่อค่า Safety factor เช่นอุณหภูมิรอยต่อของตัวไอจีบีทีให้มีความปลอดภัยมากขึ้น โดยเลือกใช้ไอจีบีที เบอร์ G30N60C3D ซึ่งมีพิกัดกระแส 63 A และพิกัดแรงดัน 600 V ในส่วนของตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่แบ่งครึ่งแรงดันจะเลือกใช้ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์ ที่มีขนาด 200  $\mu F$  ทนพิกัดแรงดันได้ 400 โวลต์ขนาดเท่ากันทั้งสองตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 สัญญาณควบคุมชุดขับวงจร : (PWM Control)

ในส่วนของวงจรควบคุมจะใช้ไอซีเบอร์ UC3525A ซึ่งทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์ที่ใช้กำหนดการ turn-on และ turn-off ของไอจีบีทีโดยจะให้เอาต์พุต 2 แชนแนล โดยแต่ละแชนแนลสัญญาณจะตรงกันข้ามกันและจะถูกส่งไปทำการแยกกันทางไฟฟ้าโดยใช้ไอซีเบอร์ H11L2 และสัญญาณจะถูกขยายโดยใช้ไอซีเบอร์ MC14049 อีกครั้งก่อนนำไปใช้ขับไอจีบีที โดยมีวงจรดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรสร้างสัญญาณควบคุมและวงจรขับไอจีบีที

### 3.6 หม้อแปลงความถี่สูง : (High Frequency Transformer)

หม้อแปลงความถี่สูงของวงจรกึ่งบริดจ์จะมีลักษณะเหมือนกับฟูลบริดจ์ แต่แตกต่างกันที่แรงดันทางด้านเข้านั้นที่แตกต่างกันคือแรงดันค่านปฐมภูมิของกึ่งบริดจ์จะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของฟูลบริดจ์ โดยที่ฟูลบริดจ์ค่านปฐมภูมิของหม้อแปลงจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า

1) การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง ในการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงที่ใช้กับเครื่องตัดพลาสติกจะออกแบบหม้อแปลงแบบมีเซ็นเตอร์แท็บ (Center Tab) โดยมีอัตราส่วนของหม้อแปลงเป็น 1:1 เพื่อใช้ในการแยกโคดสัญญาณและความปลอดภัยของผู้ใช้งาน ซึ่งมีพิสัยการออกแบบดังนี้

กำลังไฟฟ้าด้านออก ( $P_o$ )	= 2000	W
แรงดันอินพุต ( $V_{in}$ )	= $150 \pm 5\%$	V
แรงดันเอาต์พุต ( $V_{out}$ )	= 150	V
ความถี่สวิดซิ่ง ( $f_s$ )	= 20	kHz

โดยทั่วไปแล้วการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจะนิยมใช้วิธีผลคูณพื้นที่ (Area product) ดังสมการที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_p = A_c A_w = \frac{P_o}{2JK_w K_f B_m f_s} \tag{3.5}$$

โดย

 $A_p$  คือ area product ( $mm^4$ ) $A_c$  คือ พื้นที่หน้าตัดของแกน (core area) ( $mm^2$ ) $A_w$  คือ พื้นที่ภายในกรอบว่างของแกน (window area) ( $mm^2$ ) $B_{max}$  คือ ความหนาแน่นเส้นแกนแม่เหล็กสูงสุด ( $wb/m^2$ ) $\eta$  คือ ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า $J$  คือ ความหนาแน่นกระแส ( $A/m^2$ ) $K_w$  คือ window utilization factor $P_o$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงด้านทุติยภูมิ ( $W$ ) $f_s$  คือ ความถี่สวิตชิ่ง ( $Hz$ ) $K_f$  คือ form factor (มีค่าเท่ากับ 1.11 สำหรับกรณีสี่เหลี่ยม และเท่ากับ 1 สำหรับกรณีสี่เหลี่ยมจัตุรัส)

โดยทั่วไปของวงจร Half Bridge และ full Bridge จะกำหนดให้ค่า  $K_f = 1.0$  ;  $K_w = 0.4$  และค่าความหนาแน่นกระแส  $J = 3.5 A/mm^2$  เลือก  $B_{max} = 0.2 T$  แทนค่าในสมการที่ 3.5

$$A_p = \frac{2000}{2 \times (3.5 \times 10^{-6}) \times 0.4 \times 1 \times 0.2 \times (20 \times 10^3)}$$

$$A_p = 178571 \text{ } mm^4$$

ดังนั้นจึงเลือกแกนเบอร์ EE80/76 โดยมี  $A_p = 580160 \text{ } mm^4$

การคำนวณหารอบจำนวนรอบปฐมภูมิ

$$N_1 = \frac{V_m}{4A_c B_{max} f_s} \quad (3.6)$$

แทนค่า 
$$N_1 = \frac{150}{4 \times 392 \times 10^{-6} \times 0.2 \times 20 \times 10^3}$$

ดังนั้น จำนวนรอบด้านปฐมภูมิเท่ากับ 24 รอบ

ในการออกแบบนี้ใช้หม้อแปลงเป็นแบบเส้นเคอร์เทป โดยมีอัตราส่วนของหม้อแปลงเป็น 1:1 ดังนั้นจำนวนรอบทั้งสองข้างจะเท่ากัน คือ

$$N_1 = N_2 = 24 \text{ รอบ}$$

หากระแสที่ไหลในเส้นขดลวดได้จาก

$$I_o = \frac{P_o}{V_o}$$

$$\text{ดังนั้น } I_o = \frac{2000}{150} \approx 15 \text{ A}$$

หม้อแปลงเป็นแบบ 1:1 จึงได้กระแส  $I_o$  เท่ากับ 15 A

การคำนวณพื้นที่ หน้าตัดของขดลวด

$$a = \frac{I_1}{J} = \frac{15}{3.5} = 4.28 \text{ mm}^2$$

ใช้ลวดทองแดงเบอร์ SWG 13 ซึ่งมี  $a = 4.289 \text{ mm}^2$  มีรัศมี  $r = 1.22 \text{ mm}$

ในการเลือกเบอร์ของขดลวดที่ใช้งานจริง จะเลือกรัศมีของขดลวดทองแดงที่เล็กกว่าความลึกผิวของทองแดง (Skin depth) ในสมการที่ 3.7

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu_o \omega}} \quad \text{โดย } r < \delta \quad (3.7)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{2 \times 2 \times 10^{-8}}{4\pi \times 10^{-7} \times 2\pi \times 20 \times 10^3}} = 0.535 \text{ mm}$$

จะเห็นว่ารัศมีของเบอร์ SWG 13 มีค่ามากกว่า  $\delta$  ทำให้มีผลกระทบต่อค่า skin depth ดังนั้นเราจึงเลือกใช้ขดลวดเบอร์ SWG 24 ซึ่งมี  $a = 0.2452 \text{ mm}^2$  มีรัศมี  $r = 0.306 \text{ mm}$  จะเห็นว่าค่ารัศมี  $r$  ของขดลวดเบอร์ SWG 24 มีค่าน้อยกว่าค่า  $\delta$  ทำให้ไม่มีผลต่อค่า Skin depth

หาจำนวนขดลวดที่นำมาตีเกลียว

$$n = \frac{a_1}{a_{new}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้  $a_{new}$  เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n = \frac{4.28}{0.2452} \approx 18 \text{ เส้น}$$

ใช้ขดลวดเบอร์ SWG 24 ที่นำมาตีเกลียวทางด้านปฐมภูมิ 18 เส้น

ดังนั้นหม้อแปลงความถี่สูงที่ออกแบบไว้ใช้ขดลวดเบอร์ SWG 24 ที่มาตีเกลียวทางด้านปฐมภูมิ 18 เส้น พัน 24 รอบ และใช้ขดลวดเบอร์ SWG 24 เช่นเดียวกันที่มาตีเกลียวทางด้านทุติยภูมิ 18 เส้น พัน 24 รอบ 2 ขด เนื่องจากพันแบบเซ็นเตอร์แท็บ (Center tab)

## 2) การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ

แรงดันด้านเข้า ( $V_m$ )	=	$150 \pm 5\%$	$V$
แรงดันเอาต์พุต ( $V_o$ )	=	150	$V$
กระแสทางด้านออก ( $I_o$ )	=	20	$A$
ความถี่สวิตซิ่ง ( $f_s$ )	=	20	$kHz$

การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำ ( $L$ )

$$L = \frac{V_o(1 - D_{\min})}{\Delta f_s} \quad (3.8)$$

โดยที่  $\Delta I$  คือค่าระลอกคลื่นของกระแสในตัวเหนี่ยวนำ โดยทั่วไปกำหนดให้มีค่าประมาณ 10 - 25% ของค่ากระแสโหลด  $I_o$

$$D_{\min} = \frac{V_o}{V_{in,max}} \quad (3.9)$$

$$D_{\min} = \frac{150}{157.5}$$

$$= 0.95$$

แทนค่า  $L = \frac{150(1 - 0.95)}{1 \times 20 \times 10^3}$

$$= 375 \mu H$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาผลคูณของพื้นที่ ( $A_p$ )

$$A_p = A_w A_c = \frac{2E}{K_w K_c J B_m} \quad (3.10)$$

โดยพลังงานที่เกิดขึ้น

$$E = \frac{1}{2} L I_m^2 \quad (3.11)$$

$$I_m = I_o + \frac{\Delta I}{2}$$

แทนค่า  $I_m = 20 + \frac{1}{2} = 20.5 \text{ A}$

$$E = \frac{1}{2} \times 375 \times 10^{-6} \times 20.5^2$$

$$= 78.8 \times 10^{-3} \text{ J}$$

แทนค่า  $B_m = 0.2T$ ,  $J = 3.5 \text{ A/mm}^2$ ,  $K_c = 1$  และ  $K_w = 0.6$  ใน สมการที่ 3.10

$$A_p = A_w A_c = \frac{2 \times 78.8 \times 10^{-3}}{0.6 \times 1 \times 3.5 \times 10^6 \times 0.2}$$

$$= 375,238 \text{ mm}^4$$

ดังนั้นเราจึงเลือกแกนแม่เหล็กเบอร์ EE80/76 โดยมี  $A_p = 580,160 \text{ mm}^4$

คำนวณหาจำนวนรอบในการพันตัวเหนี่ยวนำ

$$N = \frac{L I_m}{A_c B_m} \quad (3.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า

$$N = \frac{375 \times 10^{-6} \times 20.5}{715 \times 10^{-6} \times 0.2}$$

ดังนั้น จำนวนรอบในการพันขดลวดตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ 54 รอบ  
โดยสามารถคำนวณหาขนาดของขดลวดตัวนำได้จาก

$$A = \frac{I}{J} \quad (3.13)$$

กำหนดให้

$$I = I_0$$

$$J = 3.5 A / mm^2$$

แทนค่าในสมการที่ 3.11

$$A = \frac{20}{3.5} = 5.71 \text{ mm}^2$$

สำหรับขดลวดตัวนำที่ใช้ต้องมีค่ามากกว่าค่าที่คำนวณได้เมื่อดูจากตารางเลือกใช้ลวดทองแดงเบอร์ SWG 11 ซึ่งมี  $a = 6.818 \text{ mm}^2$  มีรัศมี  $r = 1.534 \text{ mm}$  ในการเลือกเบอร์ของขดลวดที่ใช้งานจริง จะเลือกรัศมีของขดลวดทองแดงที่เล็กกว่าความลึกผิวของทองแดง (Skin depth)

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu_0 \omega}}$$

โดย

$$r < \delta$$

แทนค่า

$$\delta = \sqrt{\frac{2 \times 2 \times 10^{-8}}{4\pi \times 10^{-7} \times 2\pi \times 20 \times 10^3}} = 0.535 \text{ mm}$$

จะเห็นว่ารัศมีของเบอร์ SWG11 มีค่ามากกว่า  $\delta$  ทำให้มีผลกระทบต่อค่า (Skin depth) ดังนั้นเราจึงเลือกใช้ขดลวดเบอร์ SWG 24 ซึ่งมี  $a = 0.2452 \text{ mm}^2$  มีรัศมี  $r = 0.306 \text{ mm}$  จะเห็นว่าค่ารัศมี  $r$  ของขดลวดเบอร์ SWG 24 มีค่าน้อยกว่าค่า  $\delta$  ทำให้ไม่มีผลต่อค่า (Skin depth)

หาจำนวนขดลวดที่มากที่สุด

$$n = \frac{al}{a_n}$$

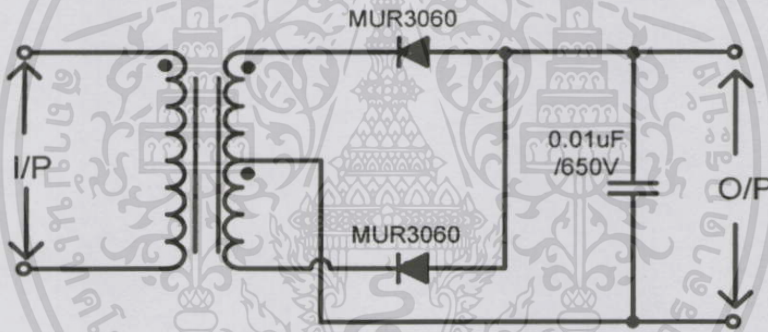
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n = \frac{5.71}{0.2452} \approx 24 \text{ เส้น}$$

ดังนั้นในการพันตัวเหนี่ยวนำใช้ขดลวดเบอร์ SWG 24 ทำการตีเกลียว 24 เส้น และพันจำนวน 54 รอบ

### 3.7 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นทางด้านออก: (Full Wave Fast Recovery Rectifier)

วงจรเรียงกระแสทางด้านออกนี้จะทำหน้าที่แปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากการทำงานของเครื่องตัดพลาสมาจะใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในการเกิดอาร์คพลาสมาหลักเพื่อให้สามารถคงความต่อเนื่องสถานะพลาสมาไว้จึงดีกว่าการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับในการเกิดอาร์คพลาสมา และได้ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชั่วลบเป็นส่วนของอิเล็กทรอนิกส์เนื่องจากการแตกตัวของอากาศจะเกิดได้ง่ายกว่าชั่วบวก ดังนั้นการออกแบบได้ทำการเลือกใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นชั่วลบ ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งใช้ไดโอดที่มีค่าฟื้นตัวเร็ว (Fast recovery) ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ไดโอดเบอร์ MUR3060 ทำหน้าที่เรียงกระแสเต็มคลื่นความถี่สูงซึ่งมีพิสัยสามารถทนกระแสได้ 30 แอมป์และมีพิสัยแรงดันที่ 600 โวลต์



รูปที่ 3.6 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นความถี่สูงชั่วลบ

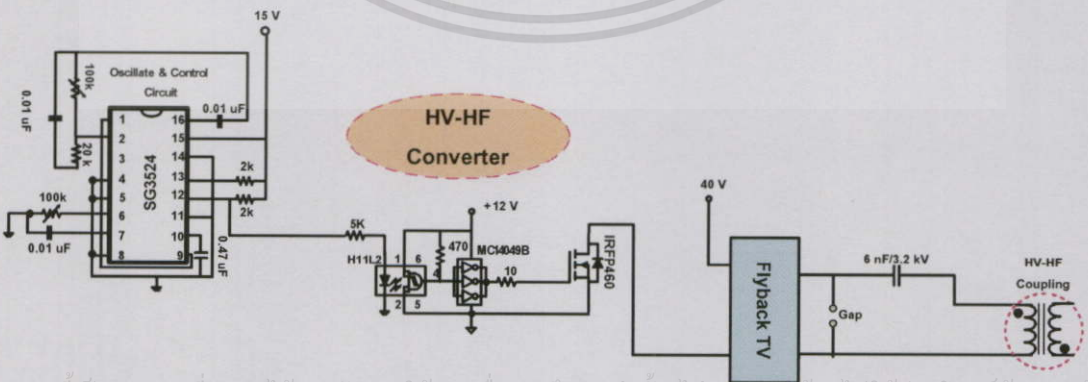
### 3.8 วงจรกระตุ้นการเกิดอาร์คด้วยแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง : (High-Voltage & High-Frequency)

วงจรกระตุ้นการเกิดอาร์คพลาสมาที่นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งในการเกิดอาร์คพลาสมาเริ่มแรก ในการทำให้เกิดอาร์คพลาสมาเริ่มแรกด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงใช้กันทั่วไปในกรณีที่แอโนดและแคโทดไม่สามารถจะเคลื่อนที่เข้ามาแตะกันได้เพื่อให้เกิดอาร์คพลาสมา ในกรณีนี้จึงจำเป็นต้องมีชุดกำเนิดแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงเข้าช่วยเพื่อให้เกิดอาร์คพลาสมาเริ่มแรก ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ของก๊าซโดยทั่วไปที่มีโอกาสจะเกิดอาร์คคิซซาร์จ (Discharge) ได้ง่ายเมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง ในที่นี้อาร์คความถี่สูงจะทำหน้าที่เป็นทางเดินเริ่มแรกให้กับเกิดการเกิด

### 3.8 วงจรกระตุ้นการเกิดอาร์คด้วยแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง : (High-Voltage & High-Frequency)

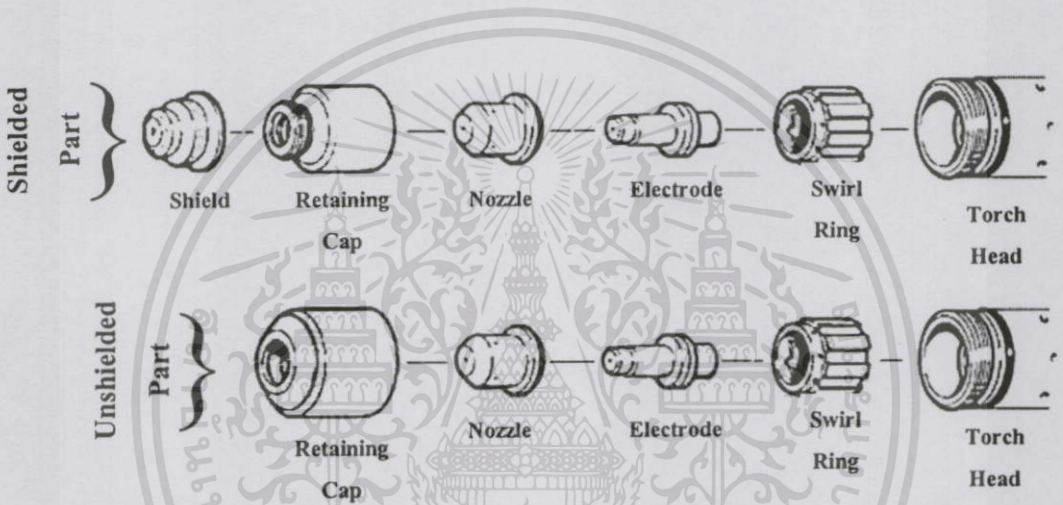
วงจรกระตุ้นการเกิดอาร์คพลาสมาที่นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งในการเกิดอาร์คพลาสมาเริ่มแรก ในการทำให้เกิดอาร์คพลาสมาเริ่มแรกด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงใช้กันทั่วไปในกรณีที่ไม่เอานอคและแคโทดไม่สามารถจะเคลื่อนที่เข้ามาแตะกันได้เพื่อให้เกิดอาร์คพลาสมา ในกรณีนี้จึงจำเป็นต้องมีชุดกำเนิดแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงเข้าช่วยเพื่อให้เกิดอาร์คพลาสมาเริ่มแรก ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ของก๊าซโดยทั่วไปที่มีโอกาสจะเกิดอาร์คคิซซาร์จ (Discharge) ได้ง่ายเมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง ในที่นี้อาร์คความถี่สูงจะทำหน้าที่เป็นทางเดินเริ่มแรกให้กับการเกิดอาร์คพลาสมาหลักที่ได้จากวงจรแปลงผันกำลังไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ตามทีออกแบบไว้และยังคงเกิดอาร์คพลาสมาอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงของการตัดโลหะ

ในการออกแบบจะใช้วงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์เป็นต้นกำเนิดแรงดันไฟฟ้าสูงสำหรับวงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์นี้ ในทางปฏิบัติเราได้ประยุกต์ใช้ Fly Back T.V. มาใช้เป็นหม้อแปลงเพื่อทำการ Step up แรงดันให้สูงขึ้น โดยใช้ไอซีเบอร์ SG3524 ในการสร้างสัญญาณพัลส์ไปขับมอสเฟตที่ความถี่สวิทซ์ซิง 2-3 kHz และป้อนแรงดันทางด้านอินพุตเพียง 40 Vdc ก็จะได้เอาต์พุตประมาณ 3-4 kV ส่วนอาร์คความถี่สูงจะอาศัยหลักการของการเกิดเรโซแนนซ์ความถี่สูงระหว่างตัวเก็บประจุกับตัวเหนี่ยวนำของ Coupling Inductor จากการอาร์คของแรงดันไฟฟ้าสูงที่สปาร์กแกป (Spark gap) และเชื่อมโยงความถี่สูงออกมาใช้งานที่วงจรด้านขออกของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ การเชื่อมโยงแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงในทางปฏิบัติได้ทำการพันขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิของ Coupling Inductor ไปพร้อมๆ กันบนแกนเฟอร์ไรต์ โดยมีจำนวนรอบของขดปฐมภูมิ 17 รอบ และขดทุติยภูมิ 54 รอบ วงจรกำเนิดแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงได้แสดงดังในรูปที่ 3.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ 3.7** วงจรกระตุ้นการเกิดอาร์คด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงการนำไปใช้

ส่วนทองแดงนั้นนิยมใช้เนื่องจากนำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี ข้อเสียของทองแดงคือ มีจุลหอยมตัวดำ (1083 องศาเซลเซียส) ในการใช้ทองแดงเป็นขั้วไฟฟ้าจึงต้องมีการระบายความร้อนให้ดีพอเพื่อกระจายความร้อนมิให้ได้รับมากเกินไปจนเกิดการหลอมละลายได้ ถ้ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ไม่สูงมากนักมักจะใช้ก๊าซที่นำมาทำเป็นพลาสมาที่ช่วยระบายความร้อนให้กับหัวตัดพลาสมาในการเลือกหัวตัดพลาสมาและขั้วไฟฟ้าจึงมีความสำคัญมากในการใช้งาน เนื่องจากการออกแบบที่ไม่เหมาะสมจะเกิดการอาร์คที่ไม่ทั่วถึงเป็นผลให้ลำพลาสมาที่เกิดขึ้นไม่มีเสถียรภาพ โดยปรกติจะออกแบบให้ขั้วไฟฟ้านั้นมีลักษณะเป็นแท่ง อีกด้านหนึ่งเป็นวงแหวนหรือรูปทรงกระบอก ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ส่วนประกอบของหัวตัดพลาสมา (Torch Head)

[http://www.hypertherm.com/languages/english/torch\\_cons\\_index.php](http://www.hypertherm.com/languages/english/torch_cons_index.php)

จากส่วนประกอบของหัวตัดพลาสมา (ดังรูปที่ 3.8) ที่ใช้ในการตัดชิ้นงานจะสังเกตได้ว่า จะมีอยู่สองส่วนคือแบบ Shielded Part และแบบ Unshielded Part โดยส่วนของแบบ Shielded Part นั้นจะมีส่วนของหัว Shield เพิ่มเข้ามาเพื่อป้องกันส่วนของนมหนูหรือหัว Nozzle ไม่ให้เกิดความเสียหายเมื่อเกิดหัวตัดแต่ละกับชิ้นงาน อย่างไรก็ตามการเลือกใช้หัวตัดพลาสมาจะมีขนาดและความแตกต่างกันก็ขึ้นอยู่กับพิกัดของเครื่องตัดและลักษณะการใช้งานเป็นสำคัญ โดยส่วนประกอบต่างๆ ดังกล่าวมีหน้าที่และหลักการทำงานดังต่อไปนี้

1) Torch Head เป็นส่วนบนสุดที่ใช้จับยึดส่วนของ Retaining Cap เพื่อยึดส่วนประกอบต่างๆ เข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Swirl Ring เป็นชิ้นส่วนที่อยู่ถัดลงมาจกปลอกสวม Torch Head เมื่ออากาศผ่าน Swirl Ring อากาศจะถูกบีบให้ผ่านช่องรูเล็กๆ ทางด้านข้างทำให้อากาศเคลื่อนที่หมุนผ่านไปยัง Electrode ไปอย่างรวดเร็ว

3) Electrode เป็นส่วนของตัวนำไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้เกิดอาร์คพลาสมาหลักซึ่งเป็นส่วนที่ต่อจาก Swirl Ring เมื่ออากาศไหลผ่านด้วยความเร็วที่เหมาะสม อากาศรอบๆ ขั้ว Electrode ก็จะเกิดการไอออไนซ์เกิดเป็นอาร์ค พลาสมาเพื่อไหลผ่านช่อง Nozzle ต่อไป

4) Nozzle เป็นชิ้นส่วนที่ใช้บีบอาร์คพลาสมาผ่านช่องรูเล็กๆ ที่อยู่ตรงกลางของหัว Nozzle เป็นไปอย่างรวดเร็วเพื่อให้เกิดเป็นลำพลาสมาและนำไปสู่ชิ้นงาน

5) Retaining Cap เป็นชิ้นส่วนนอกสุดของหัวตัดเพื่อจับยึดส่วนประกอบอื่นๆ กับส่วนของ Torch Head

6) Shield เป็นส่วนปลายสุดของหัวตัดเพื่อป้องกันส่วนของ Nozzle ไม่ให้เกิดความเสียหายเมื่อเกิดหัวตัดและกับชิ้นงาน

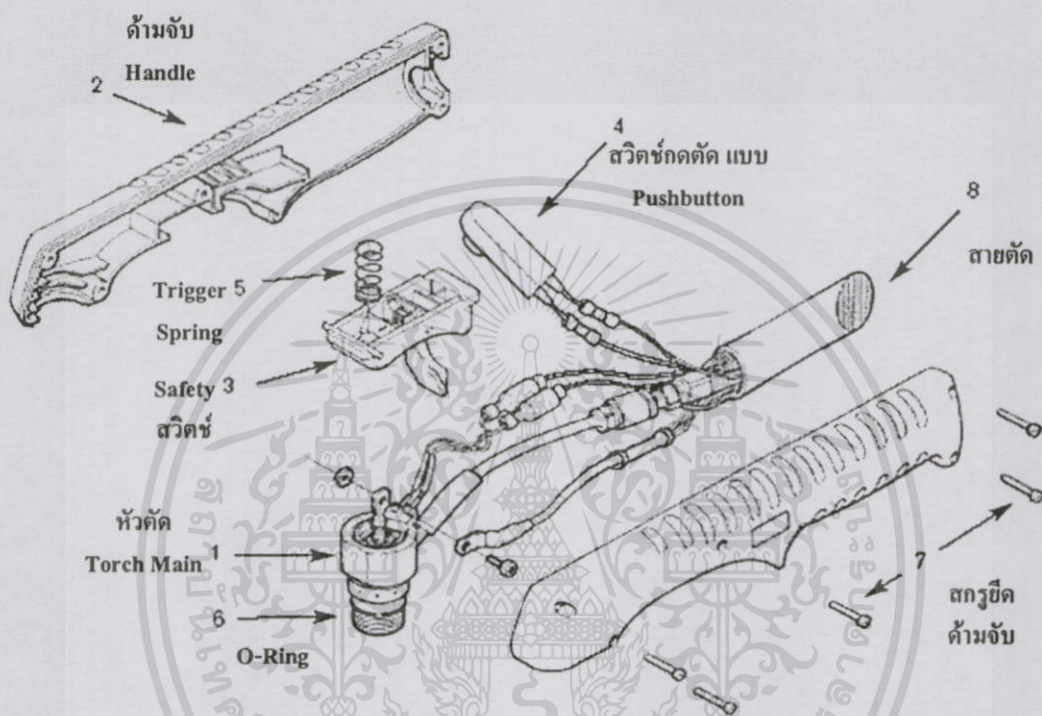
หลักการการทำงานของหัวตัดพลาสมาที่ทำการประกอบเริ่มจากพลาสมาที่เข้าจะไหลผ่านเข้า Swirl Ring อากาศจะถูกบีบให้ผ่านช่องรูเล็กๆ ทางด้านข้างทำให้อากาศเคลื่อนที่หมุนผ่านเป็นเกลียวไปยังหัว Electrode ในขณะที่หัว Electrode มีไฟฟ้ากระแสตรงรออยู่และเมื่อได้รับการกระตุ้นการเริ่มอาร์คจากชุดแรงดันสูงความถี่สูงก็จะทำให้อากาศรอบๆ หัว Electrode เกิดการแตกตัวพร้อมกับอาร์คหลักจะเริ่มทำงานและเกิดเป็นอาร์คพลาสมาขึ้นมา หลังจากนั้นอาร์คพลาสมาดังกล่าวจะวิ่งผ่านรูเล็กๆ ที่อยู่ตรงกลางของหัวตัดหรือเรียกอีกอย่างว่า Nozzle ซึ่งทำหน้าที่บีบอัดอาร์คพลาสมาที่เกิดขึ้นให้เกิดเป็นลำพลาสมาที่สมบูรณ์แล้ววิ่งออกไปสู่ชิ้นงาน ส่วน Retaining Cap และ Shield เป็นชิ้นส่วนนอกสุดของหัวตัดเพื่อจับยึดส่วนประกอบอื่นๆ เข้าด้วยกันและเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหัว Nozzle ตามลำดับ

จากหลักการการทำงานของหัวตัดพลาสมาต่อไปก็จะเป็นองค์ประกอบของชุดหัวตัดพลาสมา (ดังรูปที่ 3.9) ที่ใช้งานโดยทั่วไปจะเห็นว่ามีส่วนประกอบต่างๆ หลายส่วนด้วยกันเนื่องจากชุดหัวตัดพลาสมาเป็นชิ้นที่ใช้ในการควบคุมการตัดชิ้นงานและเป็นชิ้นที่เราจับเมื่อใช้ตัดโลหะ ดังนั้นชุดหัวตัดพลาสมาจึงต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงและมีความปลอดภัยในการใช้งาน อย่างไรก็ตามหัวตัดแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะและพิกัดของการใช้งาน โดยส่วนใหญ่ชุดหัวตัดพลาสมาจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- 1) หัวตัดเป็นชิ้นส่วนที่ใช้ประกอบของชุดหัวตัดที่พิกัดต่างๆ
- 2) ค้ำจับ
- 3) สวิตซ์การทำงาน
- 4) สวิตซ์กดตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานาน นโมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) Trigger Spring
- 6) O-Ring ส่วนที่ใช้ยึดหัวตัด
- 7) สกรูยึดด้ามจับ
- 8) สายตัดที่ประกอบด้วยสายตัวนำและทางเดินของพลาสมาก๊าซ



รูปที่ 3.9 องค์ประกอบของชุดหัวตัดพลาสมา

[http://www.hypertherm.com/languages/english/torch\\_cons\\_index.php](http://www.hypertherm.com/languages/english/torch_cons_index.php)

### 3.10 เครื่องอัดอากาศ : (Air Compressor)

ในส่วนเครื่องอัดอากาศที่ทำหน้าที่ผลิตลมเพื่อที่จะใช้เป็นพลาสมาก๊าซ โดยเครื่องอัดอากาศนี้จะทำหน้าที่เพิ่มความดันของอากาศหรือก๊าซให้สูงขึ้น โดยที่ความดันของอากาศที่ใช้ขึ้นอยู่กับขนาดพิกัดของหัวตัดพลาสมาที่นำไปใช้งาน กล่าวคือเมื่อ โลหะมีความหนาขึ้นแรงดันอากาศที่ใช้ก็ต้องเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่ในส่วนของการออกแบบเครื่องตัดพลาสมาในวิทยานิพนธ์นี้ขอบเขตการตัด โลหะอยู่ที่ 1 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Super Air Plasma โดยแรงดันอากาศที่ใช้จะอยู่ระหว่าง  $1-1.5 \text{ kg/cm}^2$  และนำไปเปรียบเทียบกับเครื่องตัดพลาสมาที่มีขาย โดยผลการทดลองนั้นจะอยู่ในส่วนของบทที่ 4 ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป ดังนั้นส่วนของพลาสมาก๊าซที่ใช้ในการตัด โลหะนั้นมีความสำคัญมากจึงต้องปรับให้เหมาะสมกับงานที่จะนำไปใช้

ในส่วนของงานวิจัยนี้จะใช้อากาศ (Air) เป็นพลาสมาก๊าซ เนื่องจากเหตุผลทางด้านราคา และการนำไปใช้งาน โดยอากาศมีองค์ประกอบหลักดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบของอากาศ

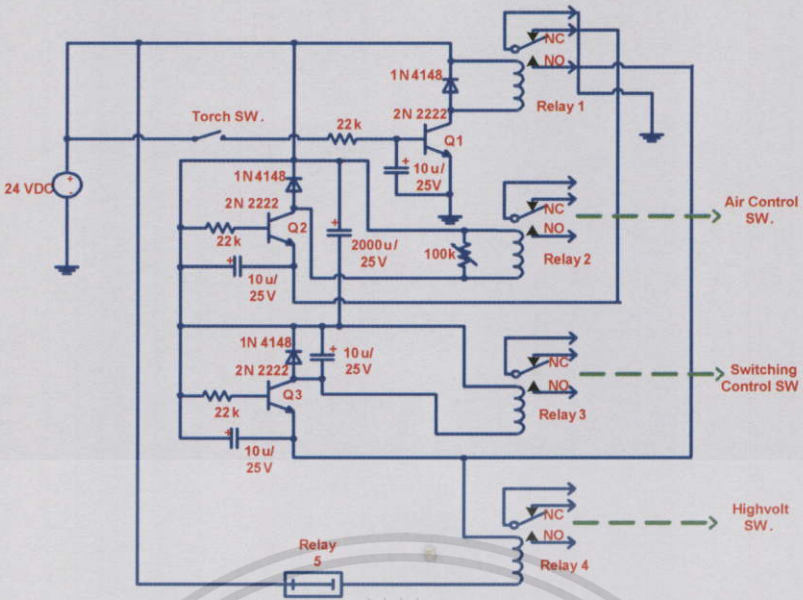
องค์ประกอบ ของอากาศ	ไนโตรเจน (N <sub>2</sub> )	ออกซิเจน (O <sub>2</sub> )	อาร์กอน (Ar)	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO <sub>2</sub> )
ร้อยละโดย ปริมาตร (%)	78.08	20.95	0.93	0.03
ร้อยละโดย น้ำหนัก (%)	75.53	23.14	1.28	0.05

จากตารางที่ 3.2 จะเห็นว่าอากาศเป็นก๊าซผสมประกอบด้วยไนโตรเจน ออกซิเจนและก๊าซเฉื่อย จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานเพราะอากาศมีอยู่โดยทั่วไปและเมื่อนำมาผ่านการอัดด้วยเครื่องอัดอากาศให้มีความเหมาะสมก็จะเป็นพลาสมาก๊าซที่จะไปใช้งานได้เป็นอย่างดี

### 3.11 วงจรควบคุมการทำงานหลักของเครื่องตัดพลาสมา : (Main Control)

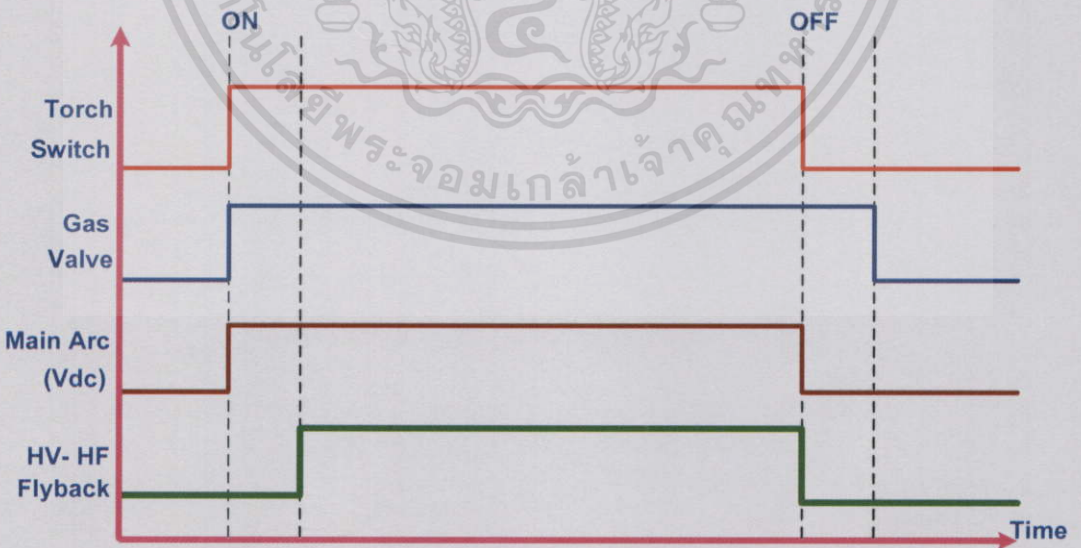
ในส่วนนี้เป็นส่วนของวงจรควบคุมการทำงาน ในขบวนการตัดโลหะของเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการออกแบบสร้าง โดยการควบคุมจะมีกำหนดการทำงานของวงจรภาคส่วนต่างๆ ให้สัมพันธ์กันเพื่อให้การตัดโลหะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ซึ่งในส่วนของการควบคุมนี้ได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) การควบคุมวงจรกระตุ้นการเกิดอาร์คด้วยแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง (High-Voltage & High-Frequency) และส่วนของการควบคุมแหล่งจ่ายกำลังสวิตซิ่งเพื่อจ่ายแรงดันให้เกิดอาร์คพลาสมา หลักโดยวงจรควบคุมหลักการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา แสดงไว้ดังรูปที่ 3.10 ในส่วนของความสัมพันธ์ในทางเวลาการทำงาน ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้



รูปที่ 3.10 วงจรควบคุมหลักการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา

หลักการควบคุมการทำงานของเครื่องตัดพลาสมาต้องควบคุมวงจรกระตุ้นการเกิดอาร์ค ด้วยแรงดันสูงความถี่สูงและวงจรเปลี่ยนกำลังไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ ให้มีความสัมพันธ์กัน และมีความเหมาะสมเพื่อให้เกิดอาร์คพลาสมาที่สมบูรณ์ เพื่อให้ชิ้นงานที่ตัดออกมามีประสิทธิภาพ อีกทั้งช่วยยืดอายุการใช้งานของหัวตัดให้ได้ยาวนานขึ้นอีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะมิใช่ใดๆทั้งสิ้น **รูปที่ 3.11 TIMING DIAGRAM OF PLASMA CUTTING** ที่มีการนำไปใช้

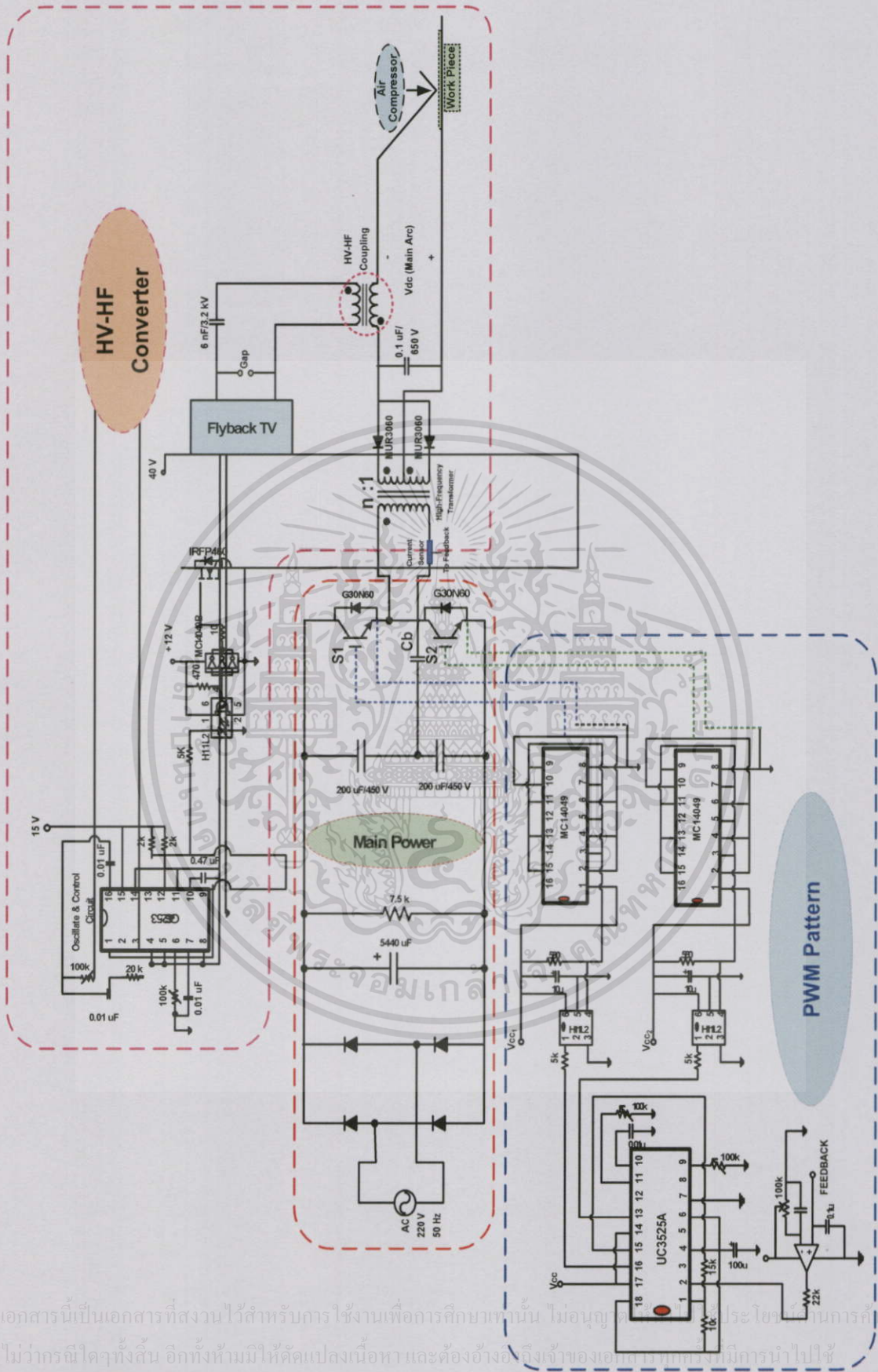
จากรูปที่ 3.11 เป็น Timing Diagram ของการควบคุมการทำงานของเครื่องตัด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงช่วงเวลาการทำงานของระบบตั้งแต่การกดสวิตช์เริ่มตัด โดยการทำงานของ Timing Diagram ของเครื่องตัดพลาสติกที่ได้ทำการออกแบบสร้างอธิบายได้ว่า เมื่อเริ่มกดสวิตช์ที่หัวตัด (Torch Switch) ชุดควบคุมจะทำงานให้แรงดันอากาศไหลเข้ามาพร้อมกับแรงดันอาร์คพลาสติกหลักที่มีแรงดันประมาณ 150 Vdc เข้ามาก่อนในขณะที่วงจรกระตุ้นการเกิดอาร์คด้วยแรงดันสูงความถี่สูงยังไม่ทำงาน เพื่อเป็นการไล่สิ่งสกปรกและความชื้นออกจากสายลมให้หมด ช่วงนี้จะใช้เวลาประมาณ 3 วินาที หลังจากผ่านช่วงนี้แล้วส่วนนี้กระตุ้นการเกิดอาร์คด้วยแรงดันสูงความถี่สูงจะทำงานจนเกิดอาร์คพลาสติกตามมา ถ้าพลาสติกที่เกิดขึ้นจะถูกส่งผ่าน ไปยังชิ้นงานและจะทำงานไปตลอดจนกว่าจะปล่อยสวิตช์ควบคุมการตัดที่หัวตัดพลาสติกแต่แรงดันอากาศจะยังคงไหลผ่านหัวตัด พลาสติกอยู่เพื่อเป็นการระบายความร้อนออกจากหัวคบพลาสติก ช่วงนี้จะใช้เวลาประมาณ 3 วินาทีเหมือนกัน

จากการควบคุมแรงดันสูงความถี่สูงให้เกิดอย่างต่อเนื่องนี้จะต่างจากการควบคุมเครื่องตัดพลาสติกโดยทั่วไป กล่าวคือการกระตุ้นด้วยแรงดันสูงความถี่สูงของเครื่องตัดพลาสติกทั่วไปจะกระตุ้นการเกิดอาร์คเพียงเริ่มแรกเท่านั้น เมื่อเกิดอาร์คพลาสติกอย่างสมบูรณ์แล้วก็ดับลง ซึ่งใช้เวลาประมาณ 1-2 วินาที แต่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่หัวตัดต้องมีมากพอที่จะทำให้เกิดอาร์คพลาสติกอย่างต่อเนื่องไม่อย่างนั้นอาร์คพลาสติกที่เกิดขึ้นก็จะดับลงและเกิดความไม่ต่อเนื่องในการตัดชิ้นงาน ในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบวงจรและการควบคุมการเกิดอาร์คด้วยแรงดันสูงความถี่สูงให้มีความต่อเนื่องตลอดช่วงการตัดเพื่อช่วยเพิ่มสมรรถนะในการตัดชิ้นงานให้มีความต่อเนื่องและลดปัญหาเรื่องแรงดันที่มีอาจมีน้อยเกินไปที่จะทำให้เกิดอาร์คพลาสติกหลักดับลง

โดยแต่ละส่วนของการออกแบบที่ได้กล่าวมาทั้งหมดสามารถเขียนวงจรรวมทั้งหมดของเครื่องตัดพลาสติกที่ออกแบบสร้างได้ดังรูปที่ 3.12

### 3.12 สรุป

ในส่วนของบริษัทที่ 3 นี้ ได้อธิบายถึงการออกแบบเครื่องตัดพลาสติกตามขอบเขตที่วางไว้ โดยเนื้อหาจะกล่าวถึงการออกแบบของส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องตัดพลาสติก ดังรูปที่ 3.1 และการคำนวณค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตซ์ซึ่งที่ใช้เป็นแหล่งกำลังอาร์คพลาสติกหลักและส่วนของอุปกรณ์เสริมและหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์เสริมที่ช่วยให้เกิดอาร์คพลาสติกขึ้นอย่างสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพ ซึ่งได้แก่ ส่วนของแรงดันสูงความถี่สูงและส่วนของพลาสติกพร้อมชุดควบคุมการทำงานของเครื่องตัดพลาสติก ดังได้อธิบายไปแล้วตามหัวข้อที่ผ่านมา ส่วนผลการทดสอบและผลการตัดโลหะจะได้กล่าวในบทที่ 4 ต่อไป



รูปที่ 3.12 วงจรรวมของเครื่องตัดพลาสมาที่ออกแบบสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารที่ทำการนำมาไปใช้

## บทที่ 4

# ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

### 4.1 บทนำ

จากการออกแบบสร้างเครื่องตัดพลาสมาในบทที่ 3 จะเห็นว่ามีส่วนประกอบที่สำคัญหลายส่วนด้วยกัน ดังนั้นในส่วนของบทนี้จะเป็นการทดสอบคุณสมบัติผลของเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ออกแบบสร้าง ซึ่งสามารถแยกพิจารณาออกเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้คือ ส่วนแรกจะเป็นผลการทดสอบของเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการออกแบบสร้างและ ส่วนที่สองจะเป็นผลการทดสอบของเครื่องตัดพลาสมาที่นำมาเปรียบเทียบ โดยจะนำเครื่องตัดพลาสมาของ Super Air Plasma ที่มีพิกัด 2.2 kW มาทำการเปรียบเทียบ ส่วนสุดท้ายจะเป็นการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งในแต่ละส่วนก็จะประกอบด้วยผลการทดสอบพร้อมการวิเคราะห์ผล โดยมีองค์ประกอบที่ใช้ในการติดตั้งเป็นเครื่องตัดพลาสมา พร้อมผลการทดสอบของชุดแหล่งจ่ายกำลังขณะที่ยังไม่ได้ใช้เป็นเครื่องตัดโลหะและขณะใช้ตัดโลหะ ผลการทดสอบส่วนของภาคควบคุม ซึ่งแต่ละส่วนจะกล่าวถึงโดยสังเขปได้ดังนี้

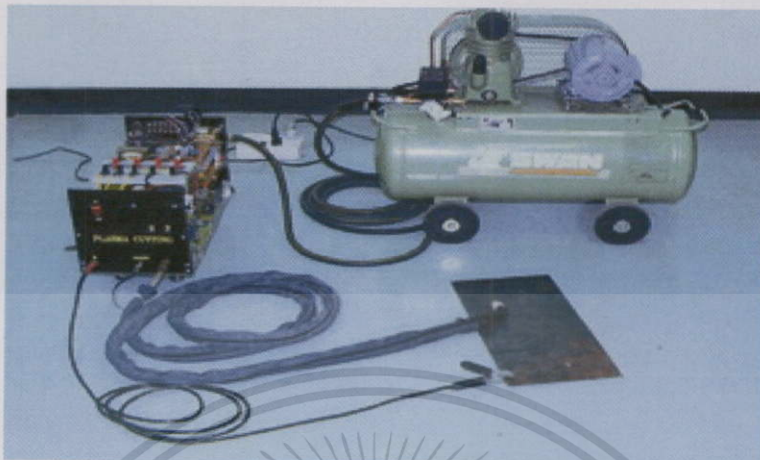
### 4.2 การทดสอบเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการออกแบบสร้าง

ในส่วนนี้จะเป็นการทดสอบการทำงานของเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นตามเงื่อนไขที่ได้วางไว้ โดยจะทำการทดสอบวัดประสิทธิภาพของชุดคอนเวอร์เตอร์ขณะที่ยังไม่ได้ใช้เป็นเครื่องตัดโลหะซึ่งจะใช้โหลดค่าความต้านทานในการทดสอบที่พิกัด พร้อมกับวัดสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าของส่วนต่างๆ โดยจะทำการวัดสัญญาณควบคุมที่ใช้ขับ ไอจีบีทีกำลัง, สัญญาณเอาต์พุตของวงจรถูกอินเวอร์เตอร์, สัญญาณเอาต์พุตของหม้อแปลงความถี่สูงและสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านออก ที่ทดสอบภาระโหลดต่างๆ ดังหัวข้อต่อไปนี้

#### 4.2.1 องค์ประกอบของเครื่องตัดพลาสมา

การใช้เครื่องตัดพลาสมาเพื่อการตัดโลหะตามโครงสร้างเครื่องตัดที่ได้ทำการออกแบบ (ดังรูปที่ 3.1) สิ่งที่สำคัญคือจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้งานเป็นหลักและก่อนการใช้งานเครื่องตัด พลาสมาต้องตรวจสอบองค์ประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยมีเงื่อนไขว่าก่อนที่จะทำให้เกิดอาร์คพลาสมาเพื่อที่จะทำการส่งผ่านความร้อนที่เกิดจากลำพลาสมาไปสู่ชิ้นงานจะต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบควบคุมเสียก่อน และส่วนสำคัญๆ ที่เกี่ยวข้องจะต้องอยู่ในสภาวะพร้อมที่จะทำงาน อย่างเช่นความดันของอากาศที่ใช้จะต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสมและแรงดัน ไฟฟ้าที่ป้อนเข้า

จะต้องไม่เกินพิกัดหรือขดลวดจะต้องมีอุณหภูมิไม่สูงเกินขีดความปลอดภัย เป็นต้น ดังรายละเอียดในการต่อใช้งานจริงแสดงในรูปที่ 4.1

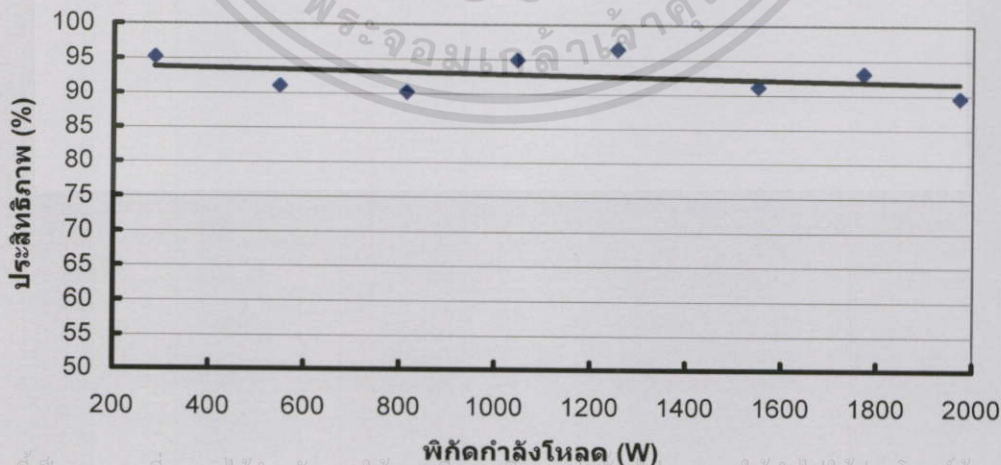


รูปที่ 4.1 องค์ประกอบการต่อใช้งานเครื่องตัดพลาสมาที่ออกแบบสร้าง

#### 4.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพของชุดคอนเวอร์เตอร์ขณะที่ยังไม่ได้ใช้เป็นเครื่องตัด

โลหะ

ในส่วนนี้จะเป็นการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของชุดคอนเวอร์เตอร์ขณะที่ยังไม่ได้ใช้เป็นเครื่องตัด โลหะซึ่งจะใช้โหลดค่าความต้านทานในการทดสอบหาค่าที่พิกัดกำลังของเครื่องตัด ซึ่งได้ทำการออกแบบไว้ที่ 2 kW และเพื่อให้แน่ใจได้ว่าชุดคอนเวอร์เตอร์แปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์สามารถจ่ายพิกัดโหลดได้และมีประสิทธิภาพที่สูงพอสำหรับใช้เป็นเครื่องตัดพลาสมา ซึ่งผลการทดสอบแสดงไว้ดังรูปที่ 4.2



พิกัดกำลังโหลด (W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

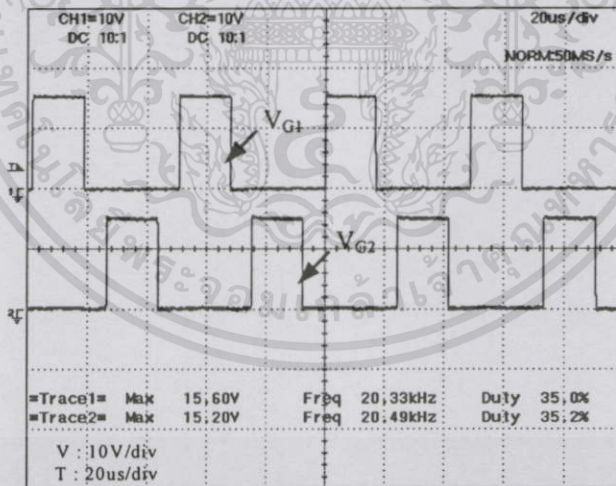
รูปที่ 4.2 กราฟประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งที่ออกแบบสร้าง

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพของชุดคอนเวอร์เตอร์แปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ที่พิกัดโหลด 2 kW ขณะที่ยังไม่ได้ใช้เป็นเครื่องตัดโลหะจะมีค่าสูงอยู่ระหว่าง 91-94% ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิดซิ่งที่มีการสูญเสียในหม้อแปลงน้อยกว่าหม้อแปลงความถี่ต่ำทำให้ชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ออกแบบสร้างมีประสิทธิภาพสูง

ในส่วนของการทดสอบการทำงานของเครื่องตัดพลาสติกนั้นได้ทำการวัดสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าของภาคส่วนต่างๆ โดยจะทำการวัดสัญญาณควบคุมที่ใช้ขับไอจีบีทีกำลัง, สัญญาณเอาต์พุตของวงจรถูกอินเวอร์เตอร์, สัญญาณเอาต์พุตของหม้อแปลงความถี่สูงและสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านออก ที่ภาระทางโหลดต่างๆ โดยใช้โหลดความต้านทานในการทดสอบ ซึ่งได้แสดงผลการทดสอบของส่วนต่างๆ ตามลำดับ ดังนี้

#### 4.2.3 สัญญาณแรงดันขั้วนำสวิดซิ่งไอจีบีทีกำลัง

ในส่วนของสัญญาณแรงดันขั้วนำสวิดซิ่งไอจีบีทีกำลัง จะได้มาจากชุดสร้างสัญญาณของ UC3525A (ในรูปที่ 3.5) ซึ่งเป็นสัญญาณแรงดันที่ป้อนให้กับขาเกตของสวิดซิ่งไอจีบีทีในวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์ เพื่อบังคับให้สวิดซิ่งไอจีบีทีกำลังทำงานตามต้องการ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ความถี่สวิดซิ่งที่ 20 kHz และ Duty Cycle 35% ในการทำงาน ผลการวัดสัญญาณขั้วนำสวิดซิ่งไอจีบีทีกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 4.3

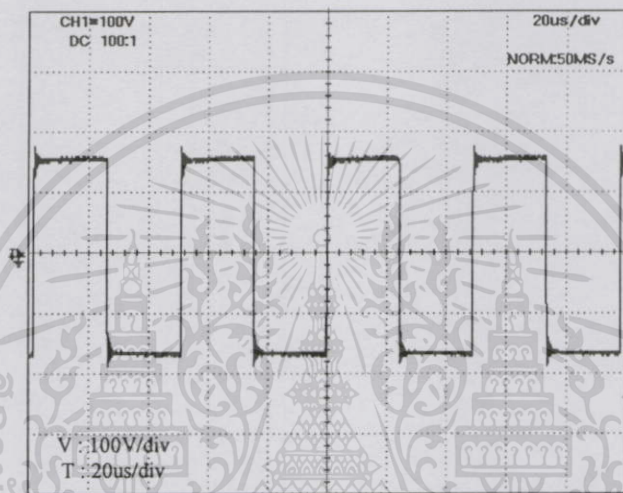


รูปที่ 4.3 สัญญาณแรงดันขั้วนำสวิดซิ่งไอจีบีทีกำลังในวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์

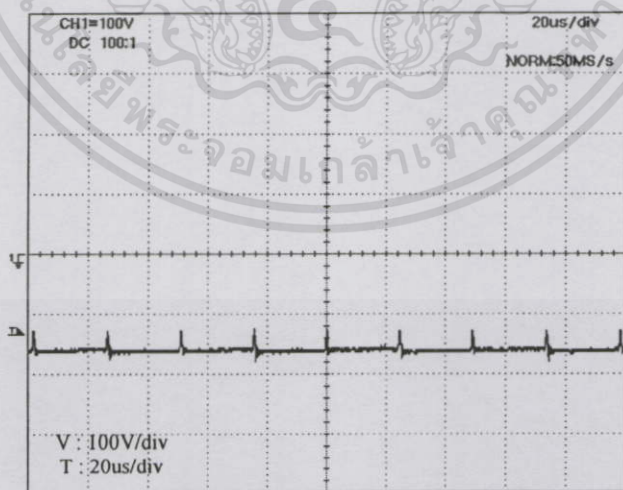
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.4 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์ ที่ผ่านวงจรเรียงกระแส (วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์)

การทดสอบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ ได้แบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก คือ ส่วนแรกจะเป็นการวัดสัญญาณแรงดันของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์ ในขณะที่ที่ยังไม่มีภาระโหลด (No-Load) ซึ่งได้ทำการวัดสัญญาณแรงดันที่ขั้วขั้วปฐมภูมิของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์และสัญญาณแรงดัน ไฟฟ้ากระแสตรงกลับขั้วด้านเอาต์พุตรวมทั้งแรงดันตกคร่อมสวิตซ์ไอจีบีที ซึ่งได้แสดงตามรูปที่ 4.4-4.6 ตามลำดับ ดังนี้

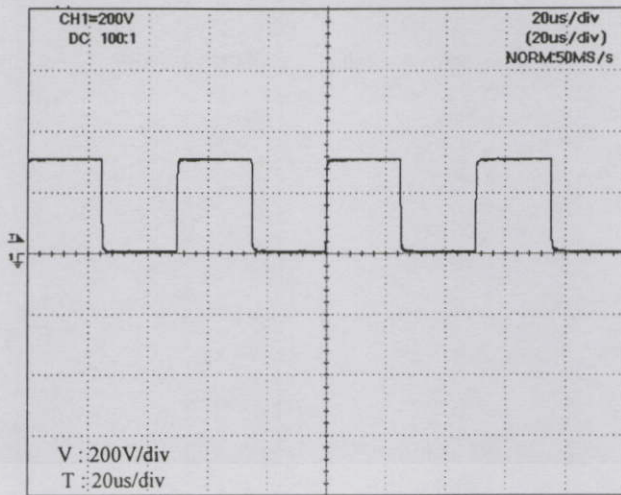


รูปที่ 4.4 สัญญาณแรงดันขั้วปฐมภูมิของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ (No-load)



รูปที่ 4.5 สัญญาณแรงดัน ไฟฟ้ากระแสตรงกลับขั้วด้านเอาต์พุต (No-load)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

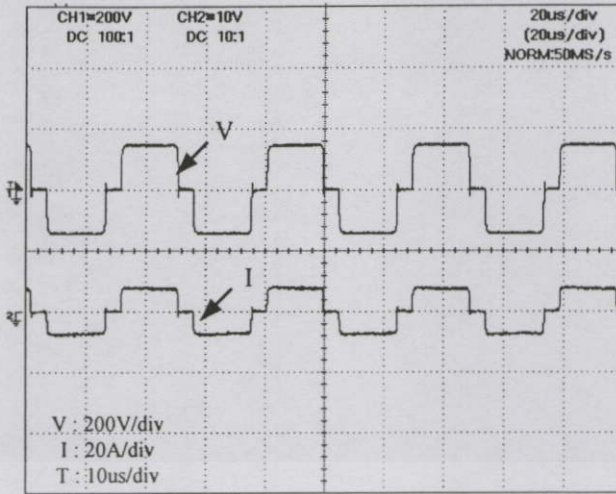


รูปที่ 4.6 สัญญาณแรงดันคกรวมสวิตช์ไอจีบีทีกำลัง (S1) (No-load)

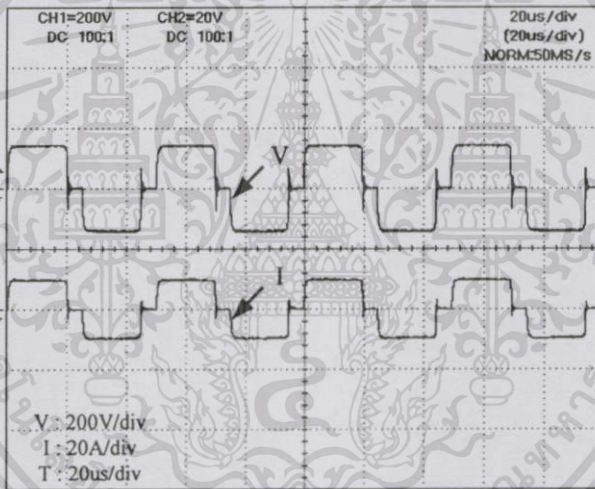
จากการทดสอบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ในขณะที่ไม่มีภาระโหลด จะเห็นว่าสัญญาณแรงดันที่คกรวมขดปฐมภูมิของวงจรแปลงผันกำลังแบบกึ่งบริดจ์จะมีค่าแรงดันออกมาแก่ครั้งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเข้าหรือประมาณ  $150 \text{ V}_p$  เท่านั้นที่ความถี่สวิตซ์  $20 \text{ kHz}$  ดังรูปที่ 4.4 ส่วนรูปที่ 4.5 จะเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขั้วลบด้านเอาต์พุตขณะไม่มีภาระโหลด (No-load) เช่นเดียวกัน ซึ่งมีค่าประมาณ  $150 \text{ V}_{dc}$  เพื่อเป็นส่วนของแหล่งจ่ายกำลังหลักให้กับเครื่องตัดพลาสมา ส่วนรูปที่ 4.6 เป็นสัญญาณแรงดันที่คกรวมสวิตช์ไอจีบีทีกำลัง (S1) ของวงจรสวิตซ์แบบกึ่งบริดจ์ที่ออกแบบสร้างซึ่งจะมีค่าสูงสุดเท่ากับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเข้าจึงเป็นผลดีต่อตัวสวิตซ์ที่สามารถหาได้ง่ายและราคาถูกโดยช่วงการทำงานของสวิตซ์ทั้งสองตัวจะสลับกันทำงานคนละช่วงเวลา

ในส่วนที่สองเป็นการทดสอบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ ในขณะที่มีภาระโหลดต่างๆ โดยภาระโหลดที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นโหลดค่าความต้านทานเพื่อความสะดวกในการทดสอบ ซึ่งได้ทำการวัดสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ขดปฐมภูมิของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ขณะมีภาระโหลดที่พิกัด 5, 10 และ 15 แอมป์ สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงกลับขั้วด้านเอาต์พุต รวมทั้งสามารถแสดงตัวอย่างของแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่คกรวมสวิตช์ไอจีบีทีขณะมีภาระโหลดดังกล่าว ซึ่งได้แสดงดังรูปที่ 4.7-4.11 ตามลำดับดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะมิใช่ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

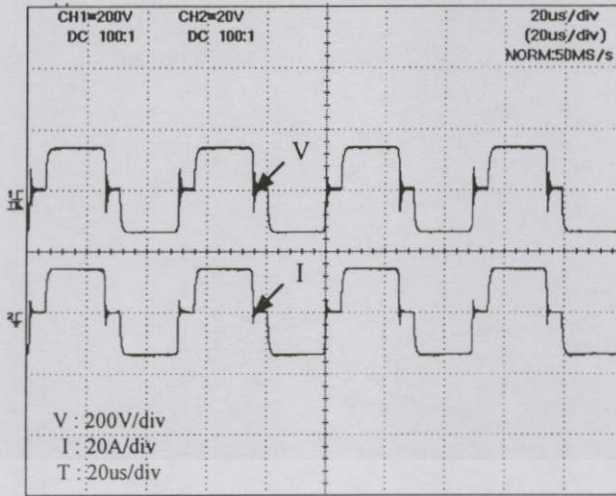


รูปที่ 4.7 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าคปรูมภูมิของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ (Load 5 A)

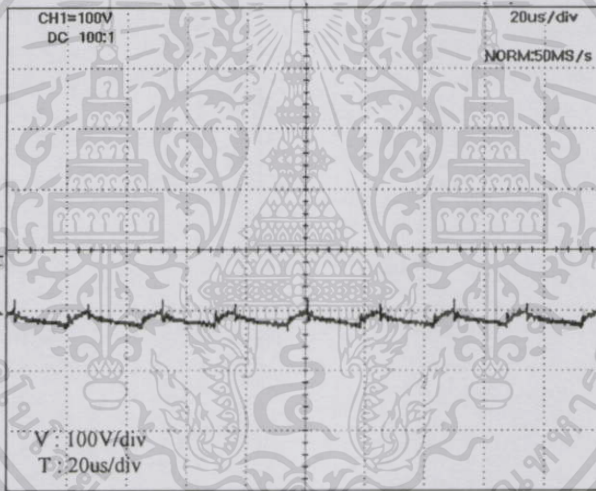


รูปที่ 4.8 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าคปรูมภูมิของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ (Load 10 A)

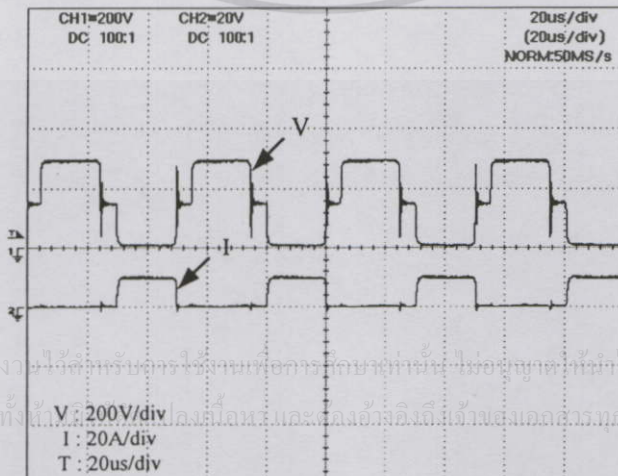
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าขดปฐมภูมิของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ (Load 15 A)



รูปที่ 4.10 สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงกลับขั้วด้านเอาต์พุต (Load 15 A)



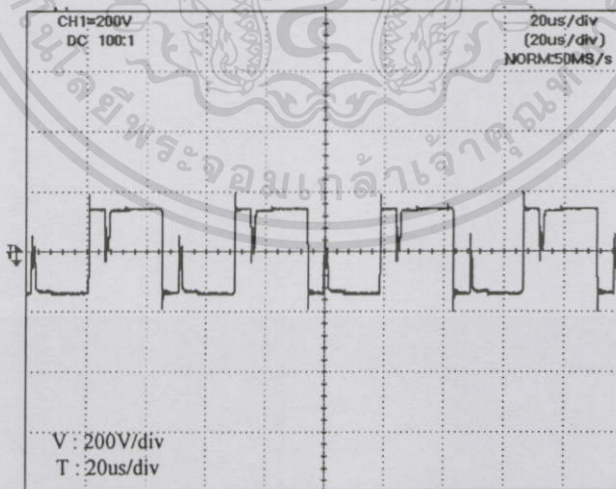
รูปที่ 4.11 สัญญาณแรงดันและกระแสคกร้อมสวิตซ์ไอจีบีทีที่กัลัง (Load 15 A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยและการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งได้  
V : 200V/div  
I : 20A/div  
T : 20us/div

จากการทดสอบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ในขณะที่มีภาระโหลดต่างๆ จะเห็นว่าสัญญาณแรงดันและกระแสที่ตกคร่อมขดปฐมภูมิของวงจรแปลงผันกำลังแบบกึ่งบริดจ์จะมีค่าแรงดันและกระแสออกมาตามภาระโหลดที่เพิ่มเข้าไปดังรูปที่ 4.7-4.10 โดยค่ากระแสที่เพิ่มขึ้นก็จะทำให้ค่าแรงดันที่ได้มีค่าลดลงอันเนื่องมาจากมีแรงดันบางส่วนของตกคร่อมอยู่ในความต้านทานของขดลวดทั้งขั้วปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลง ตกคร่อมในตัวเหนี่ยวนำในวงจรรองทางด้านออกรวมทั้งผลของแรงดันด้านขาเข้าของขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงลดลงขณะที่ภาระโหลดทางด้านขาออกมีค่ามากขึ้นทำให้แรงดันที่ได้ขาออกมีค่าลดลง ส่วนในรูปที่ 4.11 เป็นตัวอย่างของสัญญาณแรงดันและกระแสที่ตกคร่อมสวิตช์ไอจีบีทีกำลัง ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณแรงดันกับสัญญาณกระแสจะไม่ซ้อนทับกันแสดงให้เห็นถึงค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวสวิตช์มีค่าน้อยมากจึงส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพโดยรวมของวงจรให้มีค่าสูงขึ้น

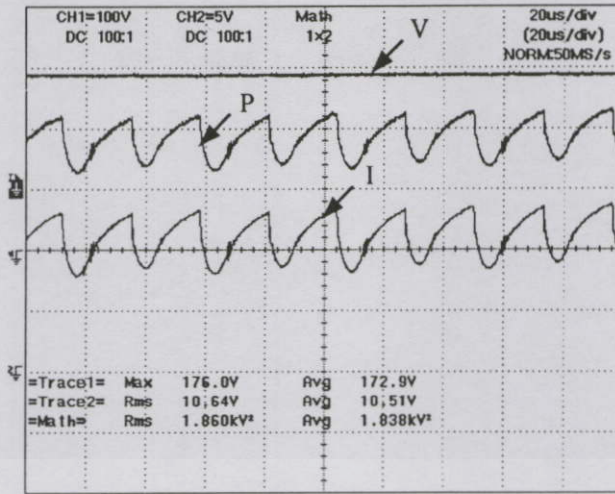
#### 4.2.5 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าขณะตัดโลหะ

ในส่วนนี้จะเป็นการวัดสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าขณะเครื่องตัดพลาสติกทำการตัดโลหะหนา 1 มิลลิเมตร ในการทดสอบการตัดโลหะนี้จะทดสอบการตัดโลหะเหล็กแผ่นคาร์บอนที่ duty cycle 35 % ที่แรงดันอากาศ  $1.5 \text{ kg/cm}^2$  ใช้ความถี่สวิตซ์ 20 kHz ซึ่งได้ทำการวัดสัญญาณแรงดันที่ขดปฐมภูมิของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ (ดังรูปที่ 4.12) และสัญญาณแรงดันและกระแสพร้อมกำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุตและเอาต์พุต ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 ตามลำดับ

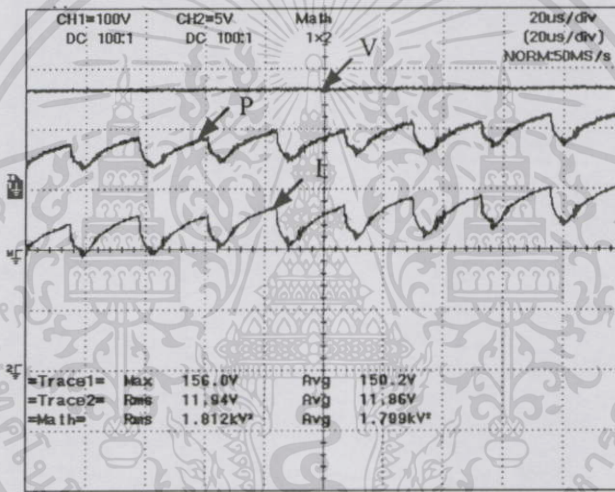


รูปที่ 4.12 สัญญาณแรงดันขดปฐมภูมิของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบ

กึ่งบริดจ์ขณะทำการตัดโลหะหนา 1 mm



รูปที่ 4.13 สัญญาณแรงดันและกระแสพร้อมกำลังไฟฟ้าด้านอินพุตขณะทำการตัด โลหะหนา 1 mm



รูปที่ 4.14 สัญญาณแรงดันและกระแสพร้อมกำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตขณะทำการตัด โลหะหนา 1 mm

จากการทดสอบใช้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ในการตัด โลหะเหล็กแผ่นคาร์บอนที่ความหนา 1 mm จะเห็นว่าสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมขดปฐมภูมิของวงจรแปลงผันกำลังแบบกึ่งบริดจ์จะมีร่องเล็กๆ เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากขณะเริ่มตัด โลหะจะมีการกระชากของกระแสชั่วขณะและจุดเริ่มของร่องก็จะเป็นช่วงการทำงานของตัวสวิตช์ไอจีบีทีที่ทำงานพอดีทำให้เกิดร่องดังกล่าวขึ้น ดังรูปที่ 4.12 ส่วนในรูปที่ 4.13 เป็นส่วนของสัญญาณแรงดันและกระแสพร้อมกำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุตขณะทำการตัด โลหะหนา 1 mm ที่ duty cycle 35 % ที่แรงดันอากาศ 1.5 กก/ซ.ม<sup>2</sup> ใช้ความถี่สวิตซ์ 20 kHz ซึ่งจะเห็นว่ามีการใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการตัด โลหะทางด้านอินพุตอยู่ที่ 1838 วัตต์ ส่วนในรูปที่ 4.14 เป็นส่วนของสัญญาณแรงดันและกระแสพร้อมกำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตที่การทำงานเดียวกันในขณะที่ทำการตัด โลหะหนา 1 mm ซึ่งมีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

ทางด้านเอาต์พุตอยู่ที่ 1799 วัตต์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าประสิทธิภาพของเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการออกแบบในขณะที่ทำการตัดโลหะมีค่าสูงถึง 97.6 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการตัดโลหะก็ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ตัดและวิธีการตัดด้วยเป็นสำคัญ ส่วนสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแสที่เกิดขึ้นระหว่างการตัดโลหะจะทำงานตามช่วงการทำงานของสวิทช์และค่าของตัวเหนี่ยวนำที่ทำการกรองกระแสซึ่งจะเห็นว่าช่วงที่สวิทช์ไม่นำกระแสก็จะมีแรงดันและกระแสตกตาม ในส่วนของชิ้นงานที่ได้ทำการตัดได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.28

### 4.3 การทดสอบเครื่องตัดพลาสมาหือ Super Air Plasma

ในส่วนนี้จะเป็นการทดสอบการทำงานของเครื่องตัดพลาสมาหือ Super Air Plasma ที่ใช้ทำการเปรียบเทียบการตัดที่พิกัดเดียวกันกับเครื่องตัดที่ได้ออกแบบสร้าง โดยได้ทำการทดสอบวัดผลแนวทางเดียวกันกับการทดสอบเครื่องตัดที่ได้ทำการออกแบบ กล่าวคือได้ทำการวัดประสิทธิภาพของชุดคอนเวอร์เตอร์ขณะที่ยังไม่ได้ใช้เป็นเครื่องตัดโลหะและจะใช้โพลค่าความต้านทานในการทดสอบที่พิกัดของเครื่อง พร้อมกับวัดสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าของส่วนต่างๆ โดยจะทำการวัดสัญญาณควบคุมที่ใช้ขับ ไอจีบีทีกำลัง ดังจะได้อธิบายตามลำดับ ดังนี้

#### 4.3.1 องค์ประกอบของเครื่องตัดพลาสมาหือ Super Air Plasma

การต่อใช้งานเครื่องตัดพลาสมาหือ Super Air Plasma เป็นการต่อใช้งานที่เหมือนกับการต่อใช้งานของเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการออกแบบ คือต้องการแรงดันอากาศที่ใช้ในการตัดจากภายนอกเช่นเดียวกัน แต่ที่ต่างกันในการทดสอบคือ แรงดันอากาศที่ใช้และแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นที่ใช้เป็นอาร์คหลักในการตัดจะใช้ต่างกัน ซึ่งจะได้อธิบายในส่วนของการวิเคราะห์ผลต่อไป ในส่วนนี้จะแสดงรูปประกอบการต่อใช้งานของเครื่องตัดพลาสมาหือ Super Air Plasma ดังรูปที่ 4.15

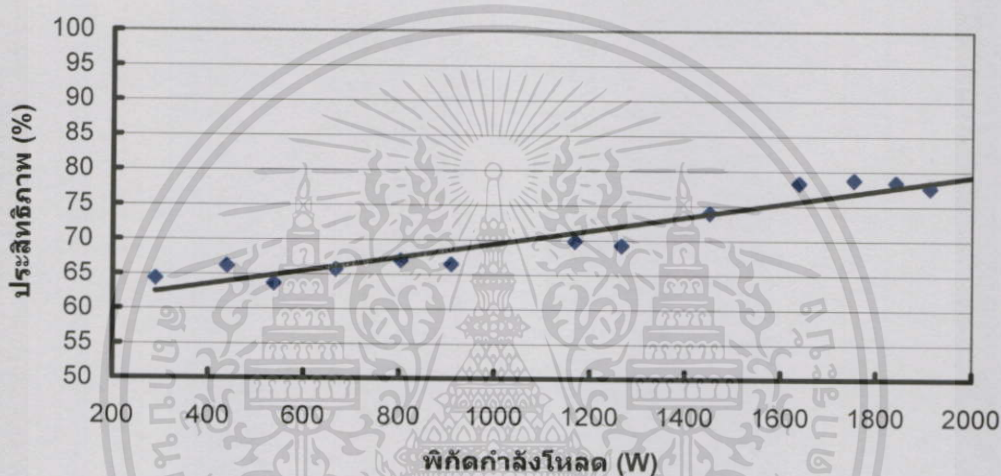


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาร่วมกัน (มีอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น) อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.15 องค์ประกอบการต่อใช้งานเครื่องตัดพลาสมาหือ Super Air Plasma

#### 4.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพของชุดคอนเวอร์เตอร์ขณะที่ยังไม่ได้ใช้เป็นเครื่องตัดโลหะของเครื่องตัดพลาสมาที่ชื่อ Super Air Plasma

ในส่วนนี้จะเป็นการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของชุดคอนเวอร์เตอร์ขณะที่ยังไม่ได้ใช้ เป็นเครื่องตัดโลหะซึ่งจะใช้โหลดค่าความต้านทานในการทดสอบเช่นเดียวกับเครื่องตัดที่ได้ทำการ ออกแบบสร้าง เนื่องจากวงจรของเครื่องตัดพลาสมาที่ชื่อ Super Air Plasma มีส่วนของหม้อแปลง ความถี่ต่ำซึ่งมีค่าความสูญเสียค่อนข้างสูง จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพของชุดคอนเวอร์เตอร์ขณะที่ยัง ไม่ได้ใช้เป็นเครื่องตัดโลหะมีค่าต่ำลงขณะที่มีภาระโหลดน้อยและจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีภาระโหลด ใกล้เคียงพิกัดของหม้อแปลง ดังรูปที่ 4.16



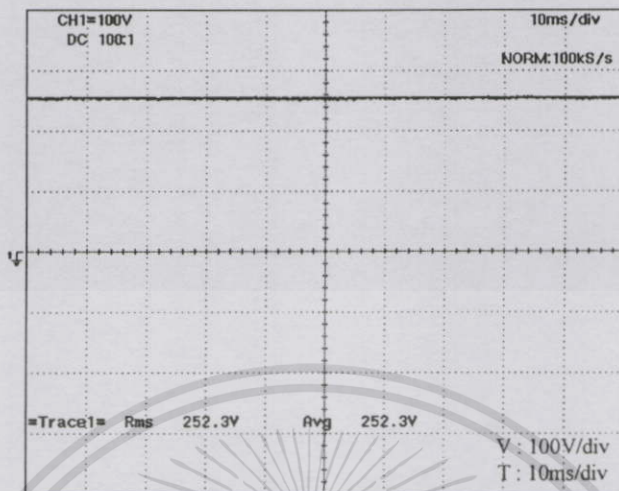
รูปที่ 4.16 กราฟประสิทธิภาพชุดคอนเวอร์เตอร์ของเครื่องตัดพลาสมาที่ชื่อ Super Air Plasma

จากรูปที่ 4.16 จะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพของชุดคอนเวอร์เตอร์ของเครื่องตัดพลาสมา ที่ชื่อ Super Air Plasma ที่พิกัดโหลด 2 kW ขณะที่ยังไม่ได้ใช้เป็นเครื่องตัดโลหะจะมีค่าสูงขึ้นตาม ภาระโหลดโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 64-78% ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับชุดคอนเวอร์เตอร์แบบ สวิตชิง เนื่องจากเป็นผลมาจากการใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำทำให้ชุดคอนเวอร์เตอร์ของเครื่องตัด พลาสมาที่ชื่อ Super Air Plasma มีการสูญเสียในหม้อแปลงสูงจึงส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของชุด คอนเวอร์เตอร์ต่ำลง

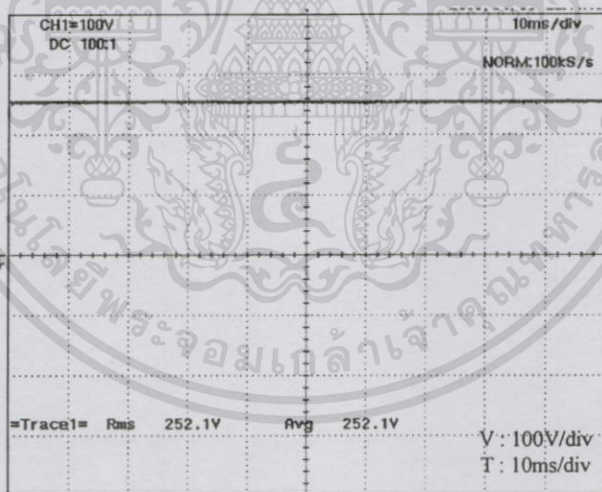
#### 4.3.4 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าของเครื่องตัดพลาสมาที่ชื่อ Super Air Plasma

การทดสอบชุดคอนเวอร์เตอร์ของเครื่องตัดพลาสมาที่ชื่อ Super Air Plasma ได้แบ่ง ออกเป็นสองส่วนหลักคือ ส่วนแรกจะเป็นการวัดสัญญาณแรงดันของชุดคอนเวอร์เตอร์ของเครื่อง ตัดพลาสมาที่ชื่อ Super Air Plasma ในขณะที่ยังไม่มีภาระโหลด (No-Load) ซึ่งได้ทำการวัด

สัญญาณแรงดันขาเข้าและสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุต รวมทั้งแสดงแรงดันที่ขั้วสวิตช์ไอจีบีทีขณะไม่มีภาระ โหลด ซึ่งได้แสดงตามรูปที่ 4.17-4.19 ตามลำดับ ดังนี้

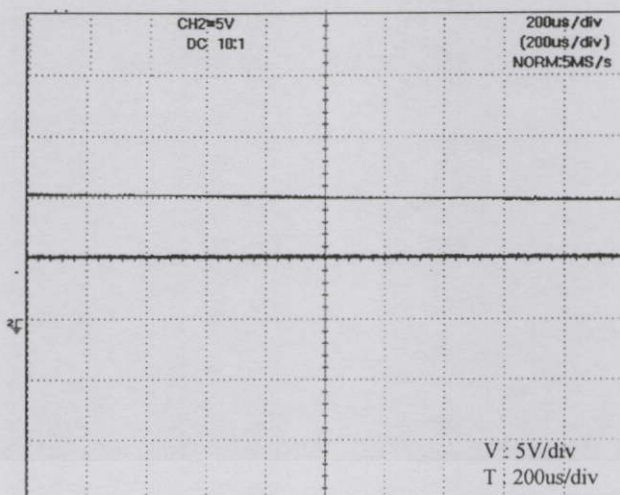


รูปที่ 4.17 สัญญาณแรงดันด้านเข้าของชุดคอนเวอร์เตอร์เครื่องตัดพลาสมา  
ที่หือ Super Air Plasma (No-load)



รูปที่ 4.18 สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุตของชุดคอนเวอร์เตอร์ของเครื่อง  
ตัดพลาสมาที่หือ Super Air Plasma (No-load)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

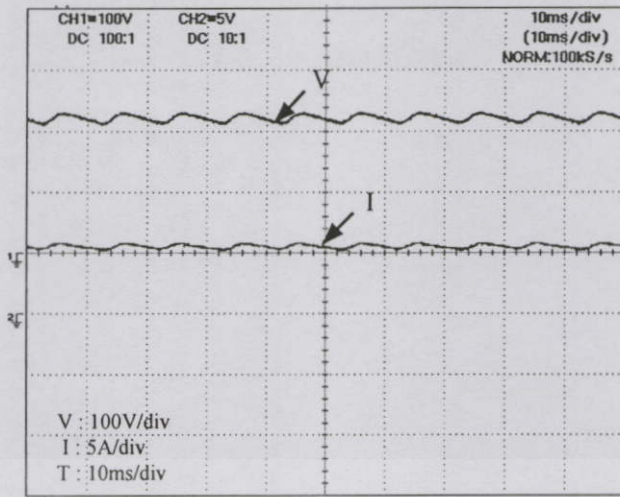


รูปที่ 4.19 สัญญาณแรงดันขั้วสวิตช์ไอจีบีทีกำลังชดเชยคอนเวอร์เตอร์ของเครื่องตัดพลาสมา  
ยี่ห้อ Super Air Plasma (No-load)

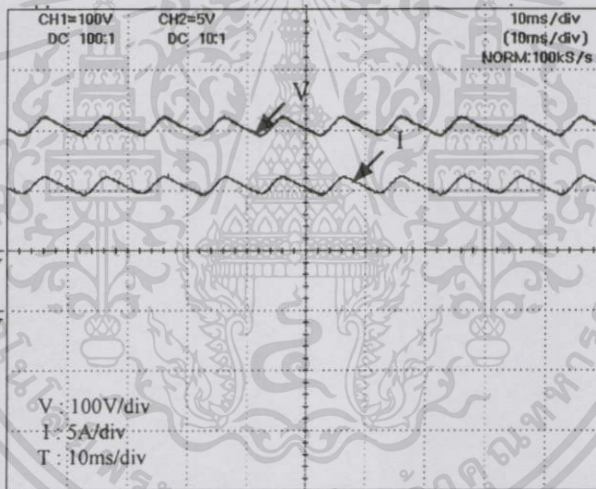
จากรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18 เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านขาเข้าและแรงดันทางด้านเอาต์พุตของเครื่องตัดพลาสมายี่ห้อ Super Air Plasma ขณะไม่มีภาระโหลด (No-load) ซึ่งจะมีค่าเท่ากันคือประมาณ 252 Vdc เนื่องจากสวิตช์การทำงานของไอจีบีทีที่มีการนำกระแสตลอดช่วงการทำงานขณะ (No-load) (ดังรูปที่ 4.19) ทำให้แรงดันทางด้านขาเข้าจะเท่ากับแรงดันทางด้านออก

ในส่วนที่สองเป็นการทดสอบชดเชยคอนเวอร์เตอร์ของเครื่องตัดพลาสมายี่ห้อ Super Air Plasma ในขณะที่มีภาระโหลดต่างๆ โดยภาระโหลดที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นโหลดค่าความต้านทานเช่นเดียวกันเพื่อความสะดวกในการทดสอบ ซึ่งได้ทำการวัดสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าทางด้านเข้าของชดเชยคอนเวอร์เตอร์ขณะมีภาระโหลดที่พิกัด 5 และ 10 แอมป์ สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุต รวมทั้งสัญญาณแรงดันที่ขั้วสวิตช์ไอจีบีทีขณะมีภาระโหลดดังกล่าว ซึ่งได้แสดงดังรูปที่ 4.20-4.23 ตามลำดับดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

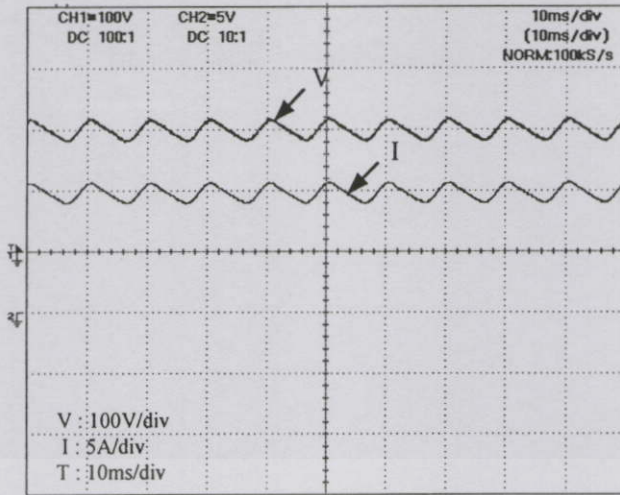


รูปที่ 4.20 สัญญาณแรงดันและกระแสค่าน้ำเข้าของชุดคอนเวอร์เตอร์เครื่องตัดพลาสมา  
ยี่ห้อ Super Air Plasma (Load 5 A)

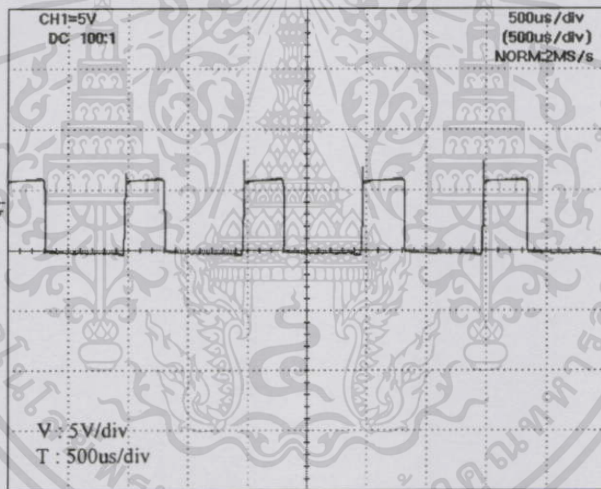


รูปที่ 4.21 สัญญาณแรงดันและกระแสค่าน้ำเข้าของชุดคอนเวอร์เตอร์เครื่องตัดพลาสมา  
ยี่ห้อ Super Air Plasma (Load 10 A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุตชุดคอนเวอร์เตอร์ของเครื่องตัดพลาสมาที่ชื่อ Super Air Plasma (Load 10 A)



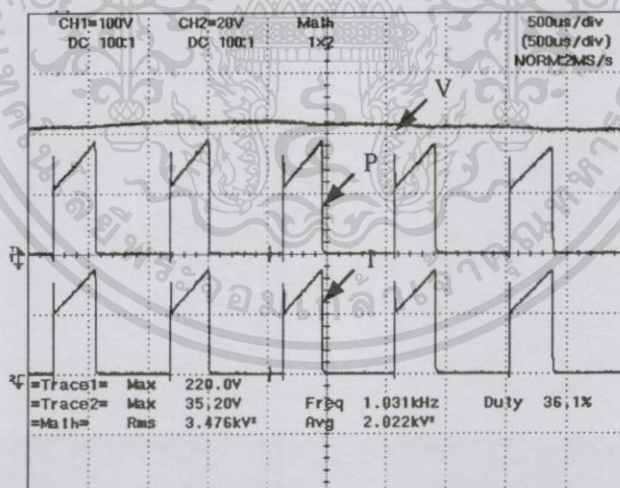
รูปที่ 4.23 สัญญาณแรงดันขับสวิตช์ไอจีบีทีที่กำลังชุดคอนเวอร์เตอร์ของเครื่องตัดพลาสมาที่ชื่อ Super Air Plasma (Load 10 A)

จากการทดสอบชุดคอนเวอร์เตอร์ของเครื่องตัดพลาสมาที่ชื่อ Super Air Plasma ในขณะที่มีการะโหลดต่างๆ จะเห็นว่าสัญญาณแรงดันและกระแสทางด้านเข้าของชุดคอนเวอร์เตอร์จะเท่ากับสัญญาณแรงดันและกระแสทางด้านออกเนื่องจากวงจรของชุดคอนเวอร์เตอร์เครื่องตัดพลาสมาที่ชื่อ Super Air Plasma ต่อขนานกันทั้งวงจร และจะเห็นว่าที่พิกัดกระแส 10 A จะมีแรงดันทางด้านเอาต์พุตเหลือประมาณ 210 Vdc ดังรูปที่ 4.22 โดยค่ากระแสที่เพิ่มขึ้นก็จะทำให้ค่าแรงดันที่ได้มีค่าลดลงอันเนื่องมาจากมีแรงดันบางส่วนตกคร่อมอยู่ในความต้านทานของขดลวดทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงและตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในวงจรทางด้านออกรวมทั้งผลของ

แรงดันด้านขาเข้าของขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงลดลงขณะที่ภาระโหลดทางด้านขาออกมีค่ามากขึ้นซึ่งเป็นลักษณะเช่นเดียวกันกับเครื่องตัดที่ออกแบบสร้างทำให้แรงดันที่ได้ทางด้านเอาต์พุตมีค่าลดลง ส่วนในรูปที่ 4.23 เป็นสัญญาณแรงดันขับสวิตช์ไอจีบีทีกำลังของเครื่องตัดพลาสมาชื่อ Super Air Plasma ที่มีภาระโหลด 10 A โดยใช้ความถี่สวิตช์ที่ 1 kHz และมีช่วงการนำกระแสของสวิตช์ (duty cycle) ประมาณ 35% ที่พิกัดโหลดดังกล่าว

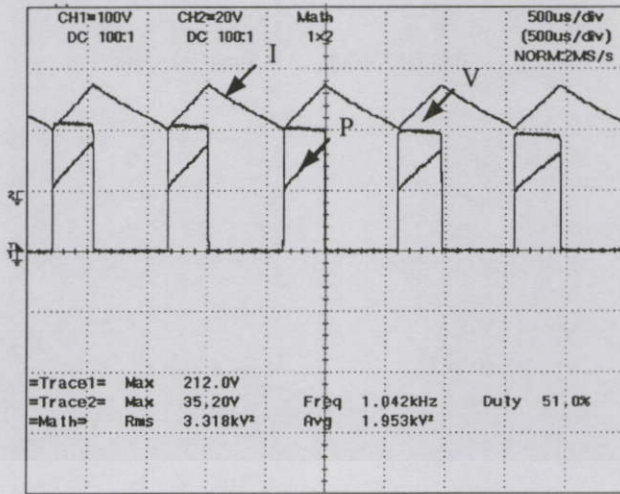
#### 4.3.5 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าขณะตัดโลหะของเครื่องตัดพลาสมาชื่อ Super Air Plasma

ในส่วนนี้จะเป็นการวัดสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าของเครื่องตัดพลาสมาชื่อ Super Air Plasma พร้อมกำลังไฟฟ้าในขณะที่ทำการตัดโลหะเหล็กแผ่นคาร์บอนที่ความหนา 1 มิลลิเมตรเช่นเดียวกันกับการทดสอบการตัดของเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ออกแบบสร้าง โดยการทดสอบการตัดโลหะนี้จะทดสอบการตัดโลหะที่ duty cycle ประมาณ 35% ที่ความถี่สวิตช์ 1 kHz ใช้แรงดันอากาศ  $3 \text{ kg/cm}^2$  ซึ่งได้ทำการวัดสัญญาณแรงดันและกระแสของเครื่องตัดพลาสมาชื่อ Super Air Plasma พร้อมกำลังทางด้านอินพุตขณะทำการตัดโลหะและสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าพร้อมกำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุต ดังรูปที่ 4.24 และ 4.25 ตามลำดับ อีกทั้งสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ไอจีบีทีขณะตัดโลหะ ดังในรูป 4.26



รูปที่ 4.24 สัญญาณแรงดันและกระแสพร้อมกำลังไฟฟ้าด้านอินพุตขณะตัดโลหะหนา 1 mm ของเครื่องตัดพลาสมา Super Air Plasma

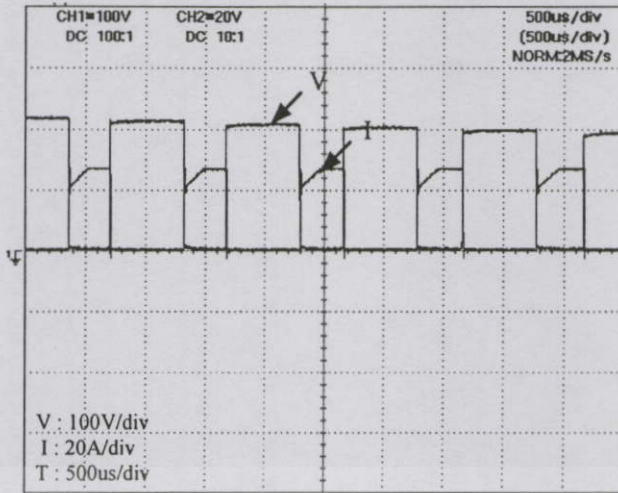
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะณใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 สัญญาณแรงดันและกระแสพร้อมกำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุตขณะตัดโลหะหนา 1 mm ของเครื่องตัดพลาสมา Super Air Plasma

จากรูปที่ 4.24 เป็นสัญญาณแรงดันและกระแสพร้อมกำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุตของเครื่องตัดพลาสมา Super Air Plasma ขณะทำการตัดโลหะเหล็กคาร์บอนหนา 1 mm ที่ duty cycle ประมาณ 35 % ที่แรงดันอากาศ 3 kg/cm<sup>2</sup> โดยใช้ความถี่สวิตซ์ซึ่งประมาณ 1 kHz ซึ่งจะเห็นว่าขณะทำการตัดโลหะสัญญาณแรงดันจะมีค่าขอยอยู่ที่ประมาณ 210 Vp ซึ่งมีค่าสูงพอที่จะทำให้เกิดอาร์คพลาสมาที่มีความต่อเนื่องได้อยู่เมื่ออาร์คแรงดันสูงความถี่สูงเริ่มต้นดับไป ในขณะที่สัญญาณของกระแสจะมีความต่อเนื่องตลอดการตัดเนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำมีขนาดใหญ่พอที่จะทำให้กระแสไหลได้อย่างต่อเนื่อง โดยมีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการตัดโลหะทางด้านอินพุตอยู่ที่ประมาณ 2022 วัตต์ ส่วนในรูปที่ 4.25 เป็นส่วนของสัญญาณแรงดันและกระแสพร้อมกำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของเครื่องตัดพลาสมา Super Air Plasma ที่การทำงานเดียวกัน ในขณะที่ทำการตัดโลหะหนา 1 mm ซึ่งมีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยทางด้านเอาต์พุตอยู่ที่ 1953 วัตต์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าประสิทธิภาพของเครื่องตัดพลาสมา Super Air Plasma ในขณะทำการตัดโลหะมีค่าประมาณ 96.5 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการตัดโลหะก็ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ตัดและวิธีการตัดด้วยเป็นสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ดักพร้อมไอจีบีทีกำลังชุดคอนเวอร์เตอร์ของเครื่องตัดพลาสมาชนิดหือ Super Air Plasma ขณะตัด โลหะหนา 1 mm

จากรูปที่ 4.26 เป็นสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ดักพร้อมไอจีบีทีขณะทำการตัดโลหะ ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณแรงดันกับสัญญาณกระแสจะเหลื่อมกันพอดีซึ่งมีโอกาสเกิดค่าการสูญเสียในตัวสวิตช์ได้ ซึ่งส่งผลทำให้ค่าประสิทธิภาพของชุดคอนเวอร์เตอร์มีค่าต่ำลง ส่วนชิ้นงานที่ได้ทำการตัดด้วยเครื่องตัดพลาสมาชนิดหือ Super Air Plasma ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.29

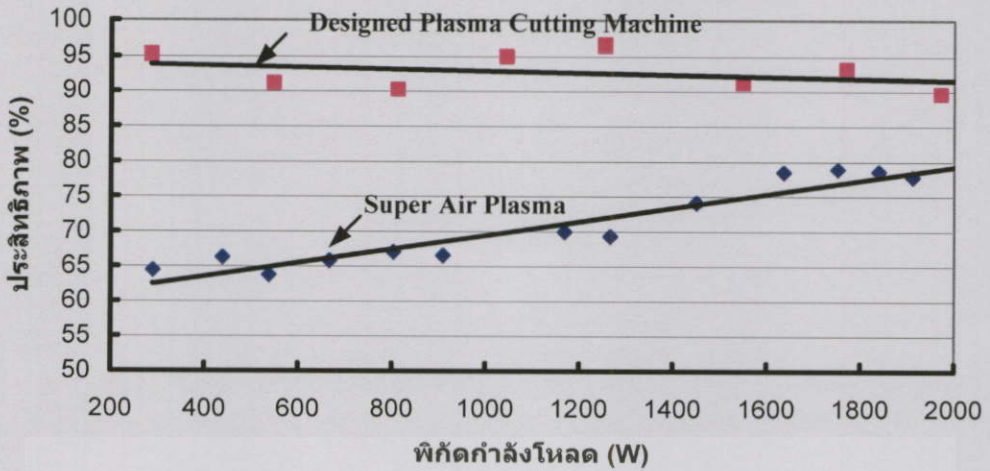
#### 4.4 การวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบของเครื่องตัดพลาสมา

จากผลการทดสอบจากเครื่องตัดพลาสมาทั้งสองแบบสามารถแยกการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนแรกจะเป็นการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายกำลังของเครื่องตัดทั้งสองแบบ และในส่วนที่สองจะเป็นการวิเคราะห์ผลการตัดโลหะชนิดเดียวกันของเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการตัดเปรียบเทียบกัน โดยจะได้อธิบายเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

##### 4.4.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายกำลัง

ในส่วนนี้จะเป็นการวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายกำลังทั้งสองแบบที่ได้ทำการทดสอบไปแล้ว ตามหัวข้อที่ 4.2.2 และหัวข้อที่ 4.3.2 ตามลำดับ ซึ่งได้ทำการทดสอบกับภาระโหลดค่าความต้านทานที่พิกัดต่างๆ จนถึงพิกัดกำลัง 2 kW โดยสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



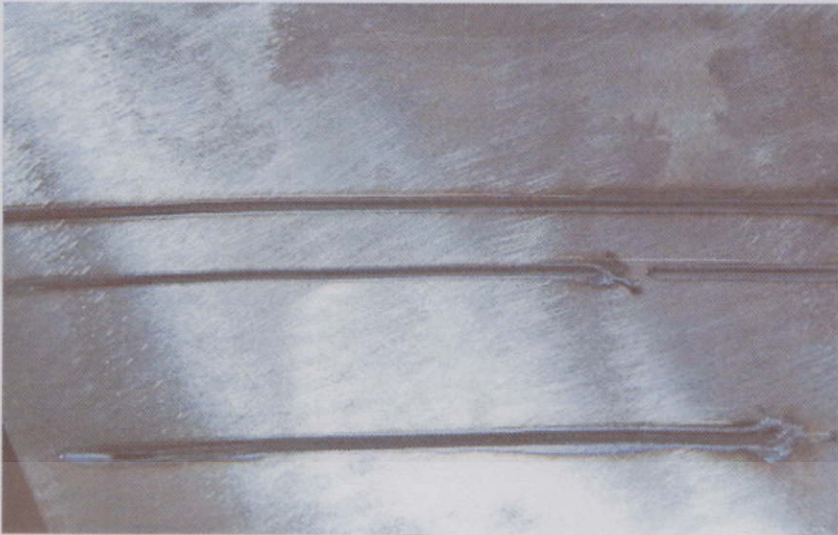
รูปที่ 4.27 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องตัดพลาสมาทั้งสองแบบ

จากรูปที่ 4.27 จะเห็นว่าที่พิกัดกำลังเดียวกันเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการออกแบบสร้างด้วยวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องตัดพลาสมาที่ชื่อ Super Air Plasma อันเนื่องมาจากการใช้แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิ่งซึ่งมีการสูญเสียในส่วนหม้อแปลงและอุปกรณ์อื่นๆ น้อยกว่าแหล่งจ่ายกำลังที่มีหม้อแปลงความถี่ต่ำร่วมอยู่ทำให้ชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ออกแบบสร้างมีประสิทธิภาพสูงและคงที่กว่าชุดคอนเวอร์เตอร์ของเครื่องตัดพลาสมาที่ชื่อ Super Air Plasma ดังนั้นชุดวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ที่เลือกใช้จึงมีความเหมาะสมในการใช้งานเพื่อปรับปรุงให้สมรรถนะของเครื่องตัดพลาสมาสูงขึ้นได้

#### 4.4.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการตัดชิ้นงาน

ในส่วนของการทดสอบการตัด โลหะเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการออกแบบสร้างกับเครื่องตัดพลาสมาของ Super Air Plasma ที่มีพิกัด 2.2 กิโลวัตต์ นำมาตัดโลหะชนิดเดียวกัน โดยโลหะที่นำมาตัดเป็นเหล็กผสมคาร์บอนหนา 1 มิลลิเมตร ซึ่งเครื่องตัดพลาสมาที่ออกแบบสร้างจะใช้งานช่วงการนำสวิตซ์ที่ duty cycle 35% ที่ความถี่สวิตซ์ 20 kHz และปรับแรงดันอากาศไว้ประมาณ 1.5 kg/cm<sup>2</sup> ส่วนเครื่องตัดพลาสมาของ Super Air Plasma ที่ใช้ทำการเปรียบเทียบได้ปรับแรงดันอากาศไว้ที่ 3 kg/cm<sup>2</sup> ซึ่งผลการตัดเปรียบเทียบได้แสดงดังรูปที่ 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 รอยตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัดพลาสมาที่ทำการออกแบบสร้างขึ้น



รูปที่ 4.29 รอยตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัดพลาสมา Super Air Plasma

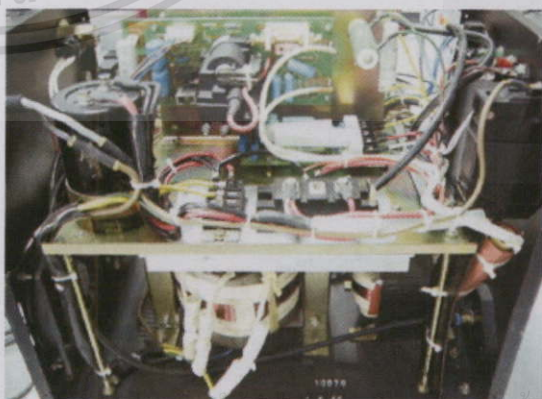
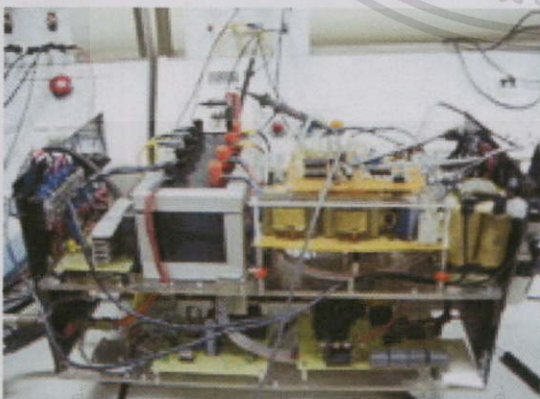
จากรูปที่ 4.28 เป็นรอยตัดชิ้นงานที่โลหะมีความหนา 1 mm ด้วยเครื่องตัดพลาสมาที่ทำการออกแบบสร้างขึ้น ซึ่งจะเห็นว่าแนวรอยตัดที่ออกมาเรียบร้อยดีและมีความใกล้เคียงกันและสามารถตัดโลหะที่ใช้ทดสอบขาดออกจากกันได้เหมือนกันกับเครื่องตัดพลาสมาของ Super Air Plasma ในรูปที่ 4.29 แต่จะสังเกตเห็นว่าการทำงานหรือขบวนการทำงานของเครื่องตัดพลาสมาทั้งสองจะแตกต่างกันอยู่บางส่วนตามที่ได้อธิบายไปแล้วนั้น โดยเฉพาะแรงดันอากาศที่ใช้ในการตัดจะมีความแตกต่างกันและแรงดันไฟฟ้าของส่วนการเกิดอาร์คพลาสมาหลักของเครื่องตัดที่มีความ

ต่างกัน กล่าวคือการตัดด้วยเครื่องตัดพลาสมาที่ออกแบบสร้างจะใช้แรงดันอากาศอยู่ประมาณ 1-1.5 kg/cm<sup>2</sup> ก็สามารถตัดโลหะที่ใช้ทดสอบได้ ในขณะที่เครื่องตัดพลาสมาของ Super Air Plasma ต้องใช้แรงดันอากาศอยู่ระหว่าง 3-5 kg/cm<sup>2</sup> ซึ่งจะเห็นว่าการใช้แรงดันอากาศของเครื่องตัดพลาสมาของ Super Air Plasma ต้องใช้แรงดันอากาศที่มากกว่าจึงจะสามารถตัดโลหะที่ใช้ทดสอบออกมาได้ใกล้เคียงกัน และส่วนของแรงดันที่ใช้งานของเครื่องตัดที่ออกแบบสร้างขณะก่อนตัดจะมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 150 Vdc ส่วนเครื่องตัดพลาสมาของ Super Air Plasma จะมีแรงดันสูงประมาณ 252 Vdc ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะหาอุปกรณ์ในการสร้างและมีราคาค่อนข้างสูงที่จะรองรับแรงดันสูงดังกล่าวได้

#### 4.5 วิเคราะห์เปรียบเทียบถึงโครงสร้างภายนอก

การวิเคราะห์ผลในส่วนนี้ เป็นการเปรียบเทียบ โครงสร้างภายนอกของเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นกับเครื่องตัดพลาสมาที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป เพื่อให้เห็นถึงข้อแตกต่าง รวมถึงคุณภาพของรอยตัดชิ้นงานที่ใช้เครื่องตัดพลาสมาที่ออกแบบสร้างขึ้นกับเครื่องตัดพลาสมาที่มีขายอยู่ในปัจจุบัน

จากการเปรียบเทียบ โครงสร้างภายนอกระหว่างเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการออกแบบสร้างขึ้นกับเครื่องตัดพลาสมาของ Super Air Plasma ที่มีขายตามท้องตลาดพบว่าเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการออกแบบขึ้นมีขนาดเล็กน้ำหนักเบาว่า ซึ่งเป็นผลมาจากการประยุกต์ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซิ่งทำให้อุปกรณ์ที่ใช้มีขนาดเล็กลงทำให้สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายสะดวกต่อการใช้งานและจากการทดสอบเปรียบเทียบรอยตัดโลหะของทั้งสองเครื่องก็มีความแตกต่างกันอย่างมาก (ดังหัวข้อที่ 4.4.2) ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับการปรับแรงดันอากาศให้มีความเหมาะสมกับหัวตัดพลาสมาและโลหะนั้นๆ ด้วย แสดงดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้นำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 4.30** เครื่องตัดพลาสมาที่ออกแบบสร้าง (ด้านซ้าย) และเครื่องตัดพลาสมา

ของ Super Air Plasma ที่มีพิกัด 2.2 kW (ด้านขวา)

## 4.6 สรุป

ในส่วนของบทที่ 4 ได้ทำการทดสอบเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการออกแบบสร้างขึ้น เพื่อทำการเปรียบเทียบกับเครื่องตัดพลาสมาของ Super Air Plasma ที่มีพิกัด 2.2 kW เพื่อทดสอบดู ประสิทธิภาพของเครื่องตัดที่ได้ออกแบบ ซึ่งสามารถสรุปผลการทดสอบออกเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้คือ ส่วนของการทดสอบเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของชุดคอนเวอร์เตอร์ขณะที่ยังไม่ได้ใช้ เป็นเครื่องตัดโลหะพบว่าเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการออกแบบสร้างด้วยวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แบบกึ่งบริดจ์มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องตัดพลาสมาที่นำมาเปรียบเทียบ (ดังหัวข้อที่ 4.4.1) ส่วน การทดสอบเปรียบเทียบผลการตัดโลหะชนิดเดียวกันและหนา 1 mm เท่ากันพบว่ารอยการตัดมีความเรียบร้อยและมีความใกล้เคียงกันมาก แต่การทำงานของเครื่องตัดจะมีความแตกต่างกัน กล่าวคือเครื่องพลาสมาที่ออกแบบสร้างจะใช้งานช่วงการนำสวิตซ์ที่ duty cycle 35% ที่ความถี่ สวิตซ์ 20 kHz และปรับแรงดันอากาศประมาณ  $1.5 \text{ kg/cm}^2$  ส่วนเครื่องตัดพลาสมาของ Super Air Plasma ที่ใช้ทำการเปรียบเทียบต้องปรับแรงดันอากาศไว้ที่  $3 \text{ kg/cm}^2$  จึงจะได้ผลการตัดโลหะดังกล่าว (ดังหัวข้อที่ 4.4.2) อย่างไรก็ตามแสดงให้เห็นว่าเครื่องตัดพลาสมาที่ออกแบบสร้างด้วยวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์สามารถใช้เป็นต้นกำลังของเครื่องพลาสมาได้เป็นอย่างดีและมี ประสิทธิภาพสูงพร้อมทั้งมีขนาดที่เล็กลงและน้ำหนักเบาอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบสร้างเครื่องตัดพลาสมาโดยใช้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์เพื่อปรับปรุงสมรรถนะการทำงานของเครื่องตัดพลาสมาให้สามารถตัดโลหะได้ตามขอบเขตที่วางไว้ ซึ่งในส่วนสุดท้ายนี้ได้ทำการสรุปการทำงานของเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการออกแบบและองค์ประกอบของภาคส่วนต่างๆ พร้อมข้อเสนอแนะเพื่อนำไปสู่การใช้งานที่ถูกต้องและปลอดภัยแก่ผู้ใช้งาน อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการพัฒนาและวิจัยต่อด้านโลหะกรรมพลาสมาให้มีความทันสมัยและมีความหลากหลายในการใช้งานมากขึ้นต่อไป โดยสามารถทำการสรุปในส่วนต่างๆ พอสังเขปได้ดังนี้

#### 5.1 การทำงานและส่วนประกอบของเครื่องตัดพลาสมา

ในส่วนของแหล่งจ่ายแปลงผันกำลังไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ของเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ออกแบบพัฒนามาขึ้นนี้สามารถที่จะนำไปใช้ตัดโลหะหนาได้ประมาณ 1-2 มิลลิเมตร เนื่องจากพิกัดกำลังของเครื่องตัดยังมีขนาดที่ต่ำอยู่ แต่ก็สามารถที่จะทำการพัฒนาต่อให้มีพิกัดกำลังสูงขึ้นได้เพื่อใช้ตัดโลหะที่มีความหนามากขึ้น อย่างไรก็ตามการเลือกใช้เครื่องตัดโลหะก็ขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงานเป็นหลักและความชำนาญของผู้ใช้ด้วย โดยการทำงานของเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ออกแบบนั้นได้ทำการสรุปส่วนประกอบต่างๆ ที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

##### 5.1.1 แหล่งจ่ายกำลังของเครื่องตัดพลาสมา

ในส่วนของแหล่งจ่ายกำลังนี้ เป็นส่วนของวงจรเรียงกระแสเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อป้อนเข้าวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์ โดยได้รับแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตกระแสสลับ 1 เฟส ขนาด 220 โวลต์  $\pm$  10% ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามาทำการเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (full bridge rectifier) โดยใช้วงจรไดโอดต่อแบบบริดจ์ เพื่อทำให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดประมาณ 310 โวลต์ จากนั้นจะผ่านวงจรกรองที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุขนาด  $5,440 \mu F$  เพื่อทำหน้าที่ลดการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแส

##### 5.1.2 วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แบบกึ่งบริดจ์

เมื่อไฟฟ้ากระแสตรง 310 โวลต์ ผ่านวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์ (Half bridge Inverter) ก็จะได้ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่และช่วงการทำงานตามที่กำหนดไว้และผ่านหม้อแปลงความถี่สูงพร้อมชุดเรียงกระแสความถี่สูงเพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยออกแบบ

ให้มีพิกัดกำลังด้านออก 2 kW ใช้โถงบีบีที่เป็นตัวสวิตช์ ที่ความถี่สวิตซ์ 20 kHz ใช้งานที่ duty cycle 35% ซึ่งวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์นี้ขณะที่ยังไม่มีภาระโหลดจะมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกประมาณ 150 โวลต์ ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานเพื่อให้เกิดอาร์ค พลาสมาหลัก ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์มาใช้สำหรับปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องตัดพลาสมา เนื่องจากวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์มีข้อได้เปรียบ ดังต่อไปนี้

1) แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านออกของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์มีค่าเพียงพอต่อการใช้งานเพื่อให้เกิดอาร์คพลาสมาหลักในการตัด โลหะเมื่อมีกระดุนการเกิดอาร์คแรงดันสูงความถี่สูงตลอดช่วงการทำงาน

2) แรงดันที่ตกคร่อมขดลวดของหม้อแปลงทางค้ำปฐมภูมิจะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่าขอดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเข้า คือไม่เกิน  $\pm 155$  โวลต์ และต้องการขดลวดทางค้ำปฐมภูมิเพียงขดเดียวเท่านั้น

3) สวิตซ์ไวงานที่ใช้ในวงจรแบบกึ่งบริดจ์จะใช้เพียงครึ่งหนึ่งของวงจรแบบ Full Bridge และมีแรงดันตกคร่อมสวิตซ์ขณะหยุดนำกระแสไม่เกินค่าขอดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนทางด้านขาเข้า คือไม่เกิน 310 โวลต์ และยังสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการไม่สมมาตรของฟลักซ์ในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงได้อีกด้วย

### 5.1.3 หม้อแปลงความถี่สูงส่งผ่านกำลังด้านออก

ในงานที่ต้องใช้พิกัดกระแสและกำลังสูงๆ เช่น งานทางด้าน การเชื่อม และการตัด โลหะพบว่าหม้อแปลงที่จะนำมาใช้จะต้องมีลักษณะคุณสมบัติเป็น Drooping Characteristic กล่าวคือ เมื่อมีโหลดทางด้านขาออกมากขึ้นแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกจะต้องมีค่าต่ำลง อย่างไรก็ตามคุณสมบัติดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นอยู่แล้วโดยคุณสมบัติของตัวหม้อแปลงเอง ทั้งนี้เนื่องจากขณะที่หม้อแปลงทำงานและได้รับการะโหลดมากขึ้นจะทำให้เกิดการสูญเสียเกิดขึ้นในตัวหม้อแปลงรวมทั้งพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับขดลวดที่ใช้พันหม้อแปลงก็จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขดลวดขณะหม้อแปลงได้รับการะโหลดเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้แรงดันทางด้านออกมีค่าต่ำลง

ในทางปฏิบัติการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงและกำลังสูง เราออกแบบให้ขดลวดหม้อแปลงทางค้ำปฐมภูมิมี 1 ขด และขดลวดทางด้านทุติยภูมิมี 2 ขด โดยต่อกันแบบมีจุดต่อตรงกลาง (Center Tap) ดังนั้นวงจรทางด้านออกจึงประกอบไปด้วย ใดโอดค้อแบบเต็มคลื่นและต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำทางด้านออกเพื่อลดการกระเพื่อมของกระแสให้น้อยลงและให้มีความต่อเนื่องพร้อมเป็นชุดเชื่อมโยงของภาคแรงดันสูงความถี่สูง Coupling Inductor เพื่อส่งผ่านอาร์คความถี่สูงไปยังหัวตัดพลาสมา เพื่อทำให้เกิดอาร์คพลาสมาที่มีเสถียรภาพและเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง

### 5.1.4 แหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงและความถี่สูง

ในส่วนนี้การที่จะทำให้ก๊าซเปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมาก๊าซได้นั้น จำเป็นต้องใช้แหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้าสูงและความถี่สูงเข้าช่วยเพื่อให้เกิดการอาร์คอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ของก๊าซโดยทั่วไปที่จะมีโอกาสเกิดอาร์คดีสชาร์จได้ง่ายเมื่อได้รับแรงดันสูงความถี่สูง จากนั้นจะอาศัยการเชื่อมโยงแรงดันไฟฟ้าแรงสูงความถี่สูงผ่าน Coupling Inductor เพื่อส่งผ่านอาร์คความถี่สูงไปยังหัวตัดพลาสมาเพื่อให้เกิดการอาร์คพลาสมาขึ้นที่หัวตัดตลอดเวลา เนื่องจากอาร์คพลาสมาหลักจะต้องอาศัยอาร์คจากแรงดันสูงความถี่สูงที่เกิดขึ้นในหัวตัดพลาสมาทำหน้าที่เป็นทางเดินให้กับการเกิดอาร์คพลาสมาหลักที่ได้จากวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์ เมื่อเกิดอาร์คหลักครอบช่องที่เป็นทางผ่านของพลาสมาก๊าซแล้วในลักษณะเช่นนี้จะถือว่าได้เกิดอาร์คพลาสมาหลักทั้งที่พร้อมทั้งเป็นลำพลาสมาออกมาเพื่อใช้ในการตัด โลหะต่อไป

### 5.1.5 หัวตัดพลาสมา

วัสดุที่นิยมใช้เป็นขั้วไฟฟ้าในต้นกำเนิดอาร์คพลาสมามี 3 ชนิด คือ ทังสเตน ทองแดง และกราไฟท์ ตามปรกติจะใช้ทังสเตนเป็นขั้วลบและทองแดงเป็นขั้วบวก เหตุที่นิยมใช้ทังสเตนเป็นขั้วไฟฟ้า เพราะทังสเตนมีคุณสมบัติให้อิเล็กตรอนได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน (Thermionic emission) และมีจุดหลอมตัวสูง ส่วนทองแดงนั้นนิยมใช้เนื่องจากนำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี ข้อเสียของทองแดงคือ มีจุดหลอมตัวต่ำ (1083 องศาเซลเซียส) การใช้ทองแดงเป็นขั้วไฟฟ้าจึงต้องมีการระบายความร้อนให้เพียงพอ ดังนั้นในการเลือกใช้หัวตัดพลาสมาจึงมีความสำคัญและควรเลือกให้มีความเหมาะสมกับงานที่ใช้ตัด (ดังภาคผนวก ข.)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้หัวตัดพิกัด 30 แอมป์ โดยสามารถเปลี่ยนขั้วอิเล็กโทรดได้ทั้งทังสเตนและทองแดง โดยหัวตัดที่นำมาจะใช้อากาศเป็นตัวระบายความร้อนและไล่สิ่งสกปรกพร้อมความชื้นที่อยู่ในสายตัดออกทั้งก่อนและหลังการใช้งานเพื่อให้การเกิดอาร์คพลาสมาที่มีความสมบูรณ์และช่วยยืดอายุการใช้งานของหัวตัดด้วย

## 5.2 ส่วนประกอบโครงสร้างเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการออกแบบสร้างเทียบกับเครื่องตัดพลาสมาของ Super Air Plasma

ในส่วนนี้ได้ทำการเปรียบเทียบโครงสร้างของเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการออกแบบเทียบกับเครื่องตัดพลาสมาของ Super Air Plasma (ดังตารางที่ 5.1) ซึ่งจะเห็นว่าเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ออกแบบสร้างจะมีขนาดเล็กกว่า น้ำหนักเบากว่า โดยน้ำหนักที่ต่างกันมากเนื่องมาจากเครื่องตัดพลาสมาของ Super Air Plasma ได้ใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำในการส่งผ่านกำลังงานซึ่งมีน้ำหนักมากและมีขนาดใหญ่ ในขณะที่เครื่องตัดที่ได้ทำการออกแบบได้ใช้หม้อแปลงความถี่สูงซึ่งมีขนาด

เล็กและน้ำหนักเบาและประสิทธิภาพในขณะตัดโลหะหนา 1 mm อยู่ที่ 97.6 % (ตามหัวข้อที่ 4.2.5) โดยสามารถสรุปพิกัดต่างๆ ได้ดังตารางที่ 5.1 ดังนี้

ตารางที่ 5.1 สรุปส่วนของโครงสร้างเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ทำการออกแบบ

Specification	Designed Plasma Cutting	Super Air Plasma
Input Voltage	220 VAC	220 VAC
Frequency	50 Hz	50 Hz
No Load Voltage	150 V	230 V
Air Pressure	1-1.5 kg/cm <sup>2</sup>	3-5 kg/cm <sup>2</sup>
Case Dimension	230x450x240 mm	260x400x310 mm
weight	15 kg	27 kg

### 5.3 ข้อเสนอแนะและสิ่งที่ควรวิจัยต่อไปในอนาคต

ในส่วนนี้เป็นส่วนของข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสมาต่อไป ซึ่งจากงานวิจัยที่ได้จัดสร้างขึ้นมาเพื่อทำการปรับปรุงสมรรถนะเครื่องตัดพลาสมาที่มีอยู่ในท้องตลาดให้มีคุณภาพและมีแนวทางการตัดที่มากขึ้นและจากงานวิจัยที่ได้นำเสนอถึงการลดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เป็นส่วนของอาร์คหลักลงแล้วทำการควบคุมให้ชุดแรงดันสูงความถี่สูงทำงานตลอดช่วงระยะเวลาของการตัดพบว่าอาร์คพลาสมาที่เกิดขึ้นสามารถตัดโลหะได้เช่นเดียวกับเครื่องตัดพลาสมาโดยทั่วไป จึงแสดงให้เห็นว่าการใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ต่ำลงก็สามารถใช้เป็นเครื่องตัดอาร์คพลาสมาได้เหมือนกัน แต่อย่างไรก็ตามในส่วนของการทำงานอาจจะทำงานได้เหมือนกันแต่ยังมีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางและปรับปรุงให้ดีขึ้นดังนี้

1) เครื่องตัดพลาสมาต้นแบบที่สร้างขึ้นยังมีกำลังงานด้านขาออกน้อยอยู่ซึ่งไม่สามารถใช้ตัดโลหะที่มีขนาดหนาๆ ได้ ดังนั้นหากต้องการตัดโลหะที่มีความหนามากขึ้นก็ต้องออกแบบชุดแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้มีค่ามากขึ้นด้วย ดังนั้นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สวิตซ์ซึ่งก็ต้องเปลี่ยนให้สามารถทนกระแสและแรงดันให้มากขึ้นด้วย

2) ในการออกแบบสร้างเครื่องตัดพลาสมาเพื่อปรับปรุงสมรรถนะให้ใช้งานที่แรงดันไฟฟ้าต่ำได้โดยใช้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์โดยเพิ่มเทคนิคการใช้แรงดันสูงความถี่สูงกระตุ้นการเกิดอาร์คพลาสมาตลอดช่วงการทำงานผลที่ได้คือสามารถตัดโลหะได้แต่สังเกตเห็นว่าเมื่อใช้ไประยะหนึ่งหัว Nozzle จะมีรูกว้างกว่าปรกติจึงควรปรับอาร์คแรงดันสูงความถี่สูงรวมทั้งแรงดันอากาศให้เหมาะสมกับงานนั้นๆ เพื่อยืดอายุของหัวตัดพลาสมาให้ยาวนานขึ้น

3) ในการใช้งานปัจจุบันในส่วนของพลาสมาก๊าซยังแยกกันอยู่จึงควรมีการพัฒนาให้มีชุดพลาสมาก๊าซอยู่ภายในเครื่องเดียวกันเพื่อความสะดวกในการใช้งานและมีขนาดที่เล็กลง

## บรรณานุกรม

- [1] B. Lucas and D. Hilton., "Cutting processes - plasma arc cutting - process and equipment considerations," [http://www.twi.co.uk/professional/protected/band\\_3/jk51.html](http://www.twi.co.uk/professional/protected/band_3/jk51.html), May 1, 2007, p.1.
- [2] C. Landry, "Improving plasma cutting in sheet Metal applications," <http://archive.metalformingmagazine.com/1997/09/plasma/997plasma.htm>, May 5, 2006, pp.1-5.
- [3] G. R. Kamath, "A passive coupled-inductor flying capacitor lossless snubber circuit for plasma cutting power supply," Proc. in IEEE APEC Conf Rec., 2005, pp. 237-243.
- [4] [http://www.plasmateam.com/Products/PTA\\_torch/Plasma\\_state/plasma\\_state.html](http://www.plasmateam.com/Products/PTA_torch/Plasma_state/plasma_state.html). 2007.
- [5] Hypertherm Inc. "Plasma Cutting-The History of Plasma Cutting." [Online]. Available: <http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=1061>. 2007.
- [6] Hypertherm Inc. "Hypertherm Torch and Consumables for current systems." [Online]. Available: [http://www.hypertherm.com/languages/English/torch\\_cons\\_index.php](http://www.hypertherm.com/languages/English/torch_cons_index.php).
- [7] <http://www.lincolnelectric.com/knowledge/articles/content/plasma.asp>. 2007.
- [8] <http://www.millerwelds.com/products/plasma>. 2007.
- [9] Plasma Physics Theory By Aleksej Grigor'evic Sitenko, V. Malnev.
- [10] S. Ramakrishnan, M. Gershenson, and F. Polivka, "Plasma generation for the plasma cutting process," IEEE Trans. on Plasma Science, Vol 25, No. 5, 1997, pp. 937-946.
- [11] สมบัติร ขอบชื่น, "การตัดโลหะด้วยเครื่องตัดพลาสมา รุ่น MAX 100", สถาบันพัฒนาฝีมือแรงงานภาค 12 สงขลา, กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน กระทรวงแรงงาน, พ.ศ. 2548
- [12] สุวัฒน์ ดัน, "เทคนิคและการออกแบบสวิตซ์ชิงเพาเวอร์ซัพพลาย", บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น, หน้า 55-59, พ.ศ. 2538.
- [13] สุรียา ธงชัย, "แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตซ์ชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา.", เอกสารนี้เป็นเอกสารวิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
- [14] วีระเชษฐ์ ขันเงิน, วุฒิพล ธาธาธิราเศรษฐ์, "อิเล็กทรอนิกส์กำลัง", ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินคิง, หน้า 75-81, พ.ศ. 2548.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

# ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา

ในส่วนของภาคผนวก ก. นี้ทางผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นมาเพื่อเพิ่มความเข้าใจแก่ผู้อ่าน โดยให้เห็นถึงชิ้นส่วนต่างๆ ที่นำมาใช้ประกอบและมิติด้านต่างๆ ของตัวเครื่องตัดพลาสมา รวมทั้งหลักการการทำงานของตัวเครื่องและข้อควรระวังในการใช้งาน ซึ่งได้อธิบายไว้พอสังเขป ดังนี้

## 1. ส่วนประกอบของเครื่องตัดพลาสมา

ในส่วนนี้จะเป็นการอธิบายส่วนประกอบหลักๆ ของเครื่องตัดพลาสมาและพิกัดของอุปกรณ์ที่ใช้สร้าง โดยจะแยกเป็นภาคส่วนต่างๆ เพื่อความเข้าใจง่ายขึ้น

### 1.1 ภาควงจรเรียงกระแสจากสายกำลัง

วงจรเรียงกระแสจะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อจ่ายให้กับวงจรกึ่งบริดจอินเวอร์เตอร์ที่ได้ทำการออกแบบไว้ โดยมีส่วนประกอบดังรูปที่ ก-1



รูปที่ ก-1 วงจรเรียงกระแสจากสายกำลัง

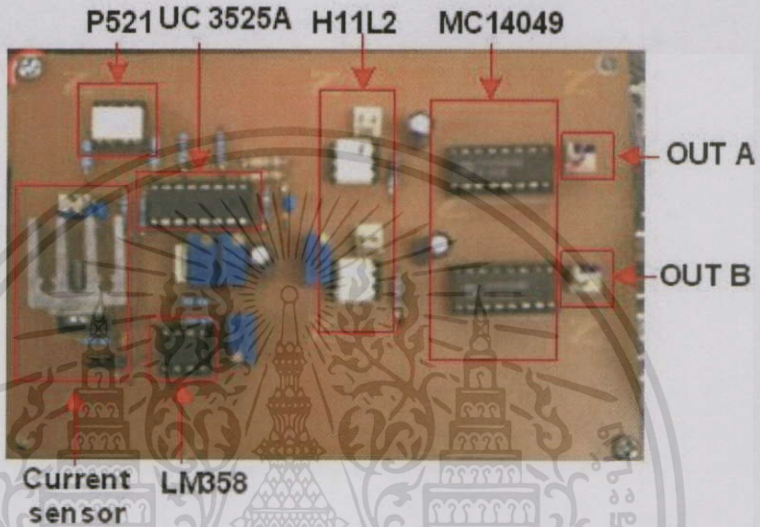
ในวงจรเรียงกระแสและวงจร ดังรูปที่ ก-1 มีส่วนประกอบดังนี้

- Bridge Rectifier มีพิกัดเท่ากับ 50 A, 1000 V
- Capacitor Filter ชนิดอิเล็กโทรไลต์มีพิกัดเท่ากับ 680  $\mu\text{F}$ , 450 V ขนาดกัน 8 ตัว
- ค่าความต้านทาน R ภายประจุ 7.5  $\text{k}\Omega$ , 20 W ต่อขนาดกันกับ Capacitor Filter

เอกสารนี้เป็น **1.2 ภาควงจรควบคุมและวงจรขับ IGBT** มาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดในภาคนี้จะมีส่วนประกอบด้วยส่วนหลักๆ อยู่ 4 ส่วน คือเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไอซี UC 3525A เป็นอุปกรณ์สร้างสัญญาณพัลส์ความถี่สูง

- ออฟไดคัพเพอร์ เป็นอุปกรณ์แยกกราวด์ของระบบไฟฟ้าของทั้งสองวงจรแยกออกจากกันใช้เบอร์ H11L2
- Inverting buffer เป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณเพื่อใช้ขับขาเกตของ IGBT ใช้เบอร์ MC 14049
- ชุดป้องกันกระแสเกิน จะประกอบด้วย ไอซี เบอร์ LM358, ออฟไดคัพเพอร์ เบอร์ P521 และ Current sensor เบอร์ ACS754SCB-200



รูปที่ ก-2 วงจรควบคุมและวงจรถับ IGBT

การทำงานของ ไอซี UC 3525A ซึ่งทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์ออกมาที่ขา 11 และ 14 โดยสัญญาณทั้งสองจะตรงกันข้ามกันและจะถูกส่งไปทำการแยกกราวด์กันทางไฟฟ้าโดยใช้ไอซี เบอร์ H11L2 และสัญญาณจะถูกขยายโดยใช้ไอซีเบอร์ MC14049 อีกครั้งก่อนนำไปใช้ขับวงจรแบบกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์ต่อไป

### 1.3 ภาคแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบกึ่งบริดจ์

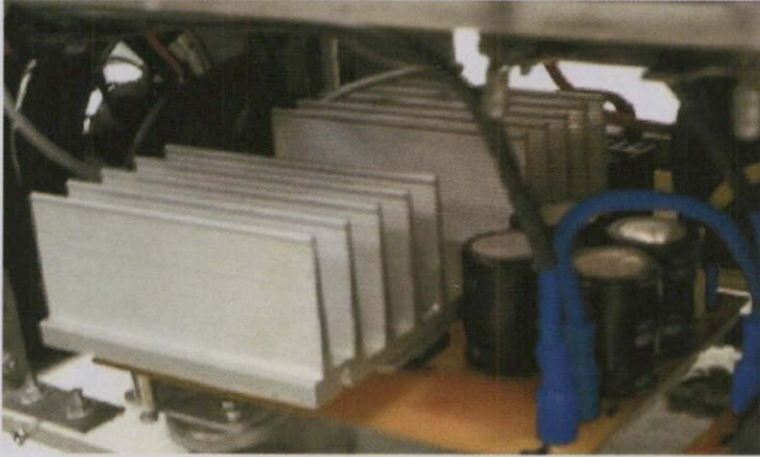
ในภาคนี้จะมีส่วนประกอบอยู่ 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะเป็นตัวเก็บประจุเพื่อแบ่งครึ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้าให้เหลือเพียงครึ่งเดียว และส่วนที่สองเป็นไอซีบีทีทำหน้าที่เป็นสวิทช์ในช่วงการทำงานตามต้องการ ในการเลือกไอซีบีทีนั้นจะต้องเลือกค่าที่มีพิกัดทางด้านแรงดันและกระแสที่มากกว่าจากการออกแบบ ซึ่งมีส่วนประกอบที่ใช้ ดังนี้

- IGBT เบอร์ HGTG30N60C3D มีพิกัดเท่ากับ 63 A ,600 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครู ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- Capacitor มีพิกัดเท่ากับ 220  $\mu$ F, 400 V

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-3 วงจรแปลงผันแบบกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์

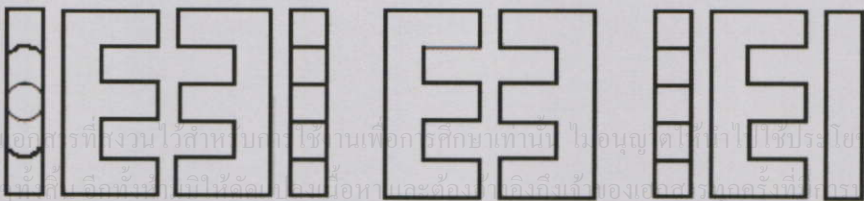
#### 1.4 ภาคหม้อแปลงความถี่สูง

ในภาคนี้จะเป็นหม้อแปลงที่ทำการออกแบบสำหรับวงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์ โดยการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงได้ใช้แกนเฟอร์ไรต์แบบ EE80/76



รูปที่ ก-4 หม้อแปลงความถี่สูงแกนเฟอร์ไรต์

สำหรับงานที่ต้องการกำลังสูงๆ มักนิยมใช้แกน EE, EI, EC ซึ่งแกน E-C เป็นการออกแบบรวมกันระหว่างแกน E-E และแกนพอร์ท โดยคำนึงถึงประโยชน์ร่วมกัน



รูปที่ ก-5 ลักษณะแกน ETD, EE และ EI

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลแกนเฟอร์ไรต์ (EE)

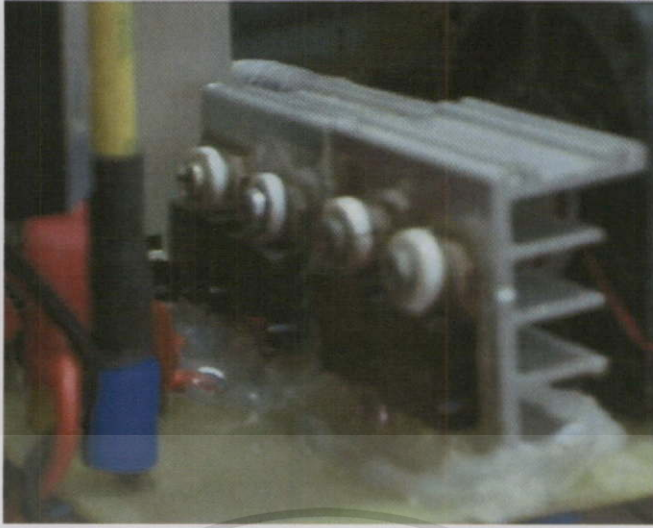
Shape code	Magnatic paramiter				$A_c$ (mm <sup>2</sup> )	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )
	$C_1$ (mm <sup>-1</sup> )	$A_c$ (mm <sup>2</sup> )	$l_c$ (mm)	$V_c$ (mm <sup>2</sup> )		
EE22/20	1.9594	26.1	51.2	1340	24.4	102
EE25/19A	1.2387	39.8	49.2	1960	41.1	85.6
EE25/19Z	1.1970	40.2	48.1	1940	40.3	81.0
EE25/20	1.1561	42.6	49.3	2100	41.0	80.5
EE30/26K	0.5275	110	57.9	6360	114	75.8
EE30/30	1.1538	57.3	66.1	3790	47.6	134
EE34/28A	0.8515	82.1	69.9	5750	85.9	164
EE40/34B	0.5438	142	77.5	11000	137	167
EE40/34K	0.6078	127	77.4	9860	114	178
EE40/35A	0.5256	149	78.1	11600	155	178
EE40/44	0.6691	145	97.2	14100	137	248
EE43/34	0.4778	165	78.7	13000	159	171
EE47/39A	0.3854	232	89.5	20800	243	206
EE50/42K	0.4267	226	96.3	21700	213	261
EE55/55A	0.3498	353	124	43700	352	400
EE56/47A	0.3159	339	107	36400	352	292
EE80/76	0.4913	377	185	69700	392	1480

Note:  $A_c$ ; Center lag area  $A_w$ ; Window area

### 1.5 ภาคเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นทางด้านออก

ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงที่มาจากหม้อแปลงความถี่สูงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยเลือกใช้วงจรเรียงกระแสที่ใช้ไดโอดที่มีค่าคืนตัวที่เร็ว (Fast recovery) จึงเลือกใช้ไดโอดเบอร์ MUR3060PT พิกัด 30 A, 600 V ต่อขนานกัน 2 ตัว ในส่วนนี้เราต้องการสัญญาณทางด้านซีกลบจึงทำการต่อแบบ Reverse bias

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-6 วจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นทางด้านออก

### 1.6 เครื่องอัดอากาศ

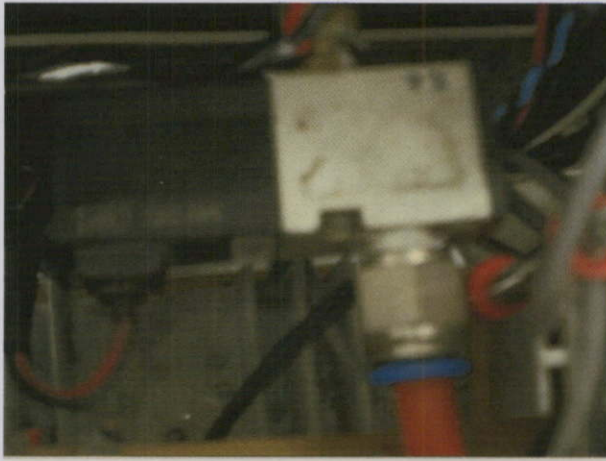
ในส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวสร้างแรงดันอากาศเพื่อที่ใช้เป็นพลาสมาก๊าซในการตัดชิ้นงาน โดยจะมีส่วนประกอบหลักดังนี้

1) Air Regulator ทำหน้าที่เป็นตัวปรับระดับแรงดันอากาศให้มีความเหมาะสมเพื่อที่จะใช้เป็นพลาสมาก๊าซในการตัดชิ้นงานให้ออกมาสวยงาม



รูปที่ ก-7 Air Regulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 2) โซลีนอยด์วาล์ว เป็นตัวที่ทำหน้าที่เปิดปิดลมตามช่วงเวลาการทำงาน โดยโซลีนอยด์  
 ไม่ว่าจะชนิดใดก็ตาม ออกพยางค์ให้คิดแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 จะใช้ไฟเลี้ยง 24 Vdc แสดงดังรูป ก-8



รูปที่ ก-8 โซลินอยล์วาล์ว

### 1.7 ภาคกระตุ้นการเกิดอาร์คด้วยศักดาไฟฟ้าสูงความถี่สูง

ในส่วนนี้เป็นส่วนที่ในการกระตุ้นให้การลัดพลาสมา โดยในโครงการนี้ได้ประยุกต์ใช้ FLYBACK TV มาใช้ โดยทำการป้อน ไฟดิซี 40 V และ เอาต์พุตออกประมาณ 3-4 kV โดยในส่วนนี้จะประกอบด้วย

- FLYBACK TV แปลงแรงดันให้สูงขึ้น
- มอสเฟต เบอร์ IRFP460 เป็นตัวสวิตช์
- ไอซี เบอร์ SG3524 เป็นตัวสร้างสัญญาณพัลส์
- ไอซี เบอร์ MC14049 เป็นตัวขยายสัญญาณเพื่อขับเกท
- GAP เป็นตัวที่ใช้ปรับตั้งระยะห่างของการสปาร์กแรงดันสูงความถี่สูงตามต้องการ

เพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการใช้งาน



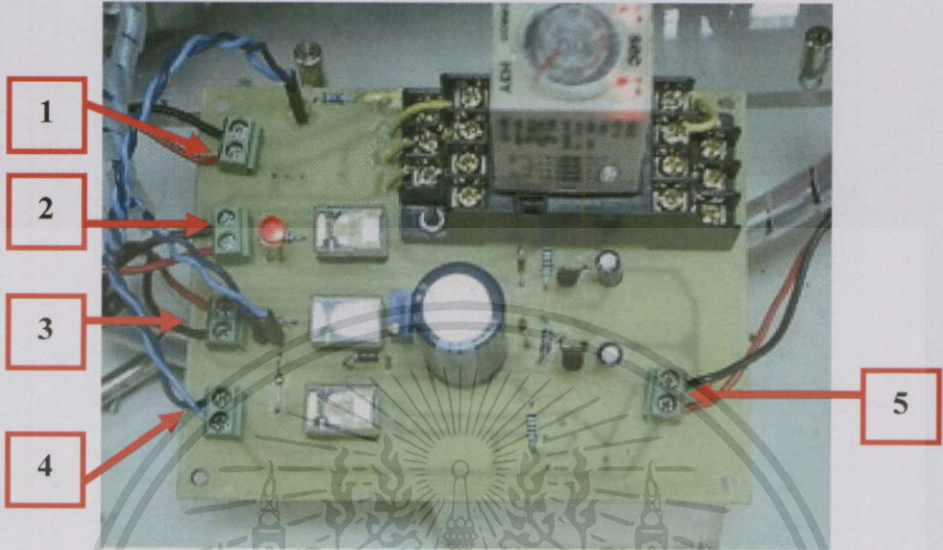
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถ้าผู้ท่านมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก-9 วงจรกระตุ้นการเกิดอาร์คด้วยศักดาไฟฟ้าสูงความถี่สูง

## 1.8 วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา

ในส่วนของวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องตัดพลาสมาจะมีสวิตช์ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งหมดของตัวเครื่อง ดังนี้คือ



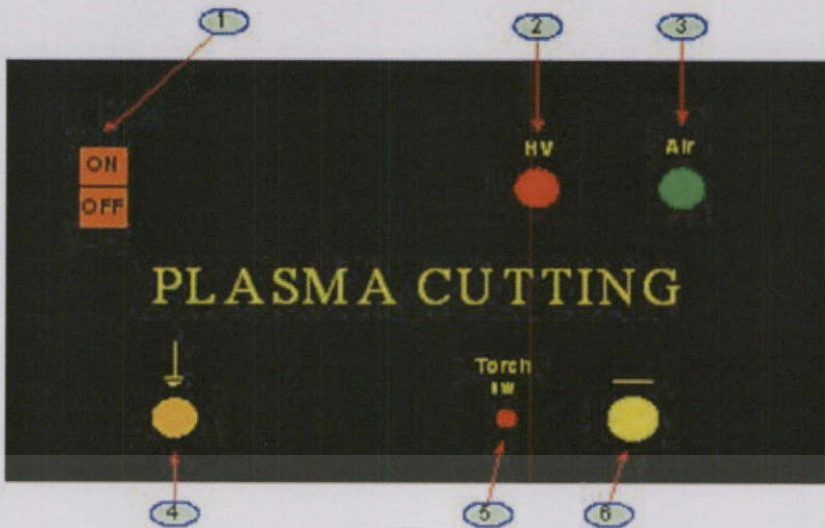
รูปที่ ก-10 วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา

- 1) High voltage Control Switch ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของส่วนวงจรกระตุ้นการเกิดอาร์คด้วยวิธีตัดคาไฟฟ้าสูงความถี่สูง เพื่อใช้ในการเกิดอาร์คพลาสมา
- 2) Switching Control ทำหน้าที่เป็นสวิตช์สั่งให้วงจรกึ่งบริดจ์ให้ทำงาน
- 3) Air Control Switch ทำหน้าที่ เป็นสวิตช์เปิด-ปิดระบบลม
- 4) Torch Switch ทำหน้าที่ ควบคุม Sequence การทำงานของเครื่องตัดพลาสมา
- 5) Input Voltage เป็น ไฟเลี้ยงให้กับวงจร

## 1.9 สถานะการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา

เพื่อให้สามารถใช้เครื่องตัด โลหะด้วยลำพลาสมาได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกต่อการใช้งาน จึงได้มีการออกแบบสวิตช์ควบคุมการทำงานตลอดจนการแสดงสถานะการทำงานของตัวเครื่องเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานทราบว่าขณะนี้เครื่องพร้อมที่จะถูกนำมาใช้งานได้หรือยัง ดังนั้นจึงอธิบายส่วนของการควบคุมเครื่องตัด โลหะพลาสมาที่ได้ออกแบบไว้ดังรูปที่ ก-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-11 สถานะการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา

1) หมายเลข 1

เป็นส่วนของการแสดงผลการทำงานของสวิตช์เปิด-ปิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 V 50 Hz เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรควบคุมทั้งระบบตลอดการทำงาน

2) หมายเลข 2

เป็นส่วนของการแสดงผลการทำงานของวงจรกำเนิดแรงดันไฟฟ้าสูงและความถี่สูงที่ใช้ในการกระตุ้นการเกิดการอาร์ค โดยจะแสดงผลด้วยการติดกระพริบตลอด นั่นคือเครื่องตัดกำลังทำการตัดโลหะอยู่นั่นเอง

3) หมายเลข 3

เป็นการแสดงผลการทำงานของลมที่ได้จากเครื่องอัดอากาศ ซึ่งในสภาวะปกติลมที่นำมาใช้เป็นพลาสมาก๊าซนี้จะมี ความดันอากาศอยู่ในช่วง  $0.5 - 2 \text{ kg/cm}^2$  โดยจะแสดงผลด้วยการหลอดไฟติดตลอดการทำงาน

4) หมายเลข 4

ในส่วนนี้เป็นขั้วต่อของสายกราวด์ของระบบเพื่อให้ครบวงจรการทำงาน โดยใช้ปากคิบบีบที่ชิ้นงาน

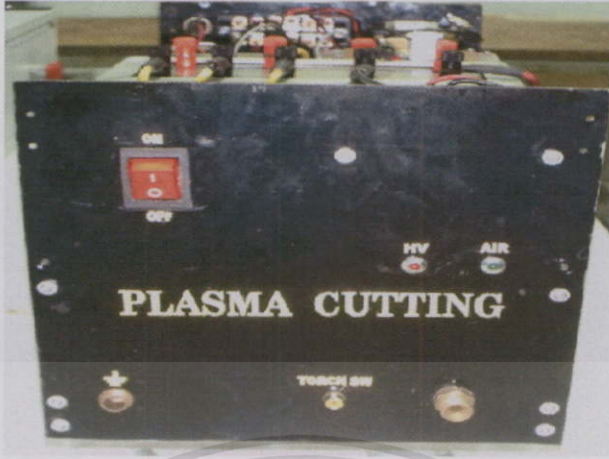
5) หมายเลข 5

ในส่วนนี้เป็นขั้วต่อสายสวิตช์เพื่อสั่งการทำงานของวงจรควบคุมเครื่องตัดพลาสมาโดยสวิตช์ควบคุมจะติดอยู่ที่หัวตัดพลาสมา

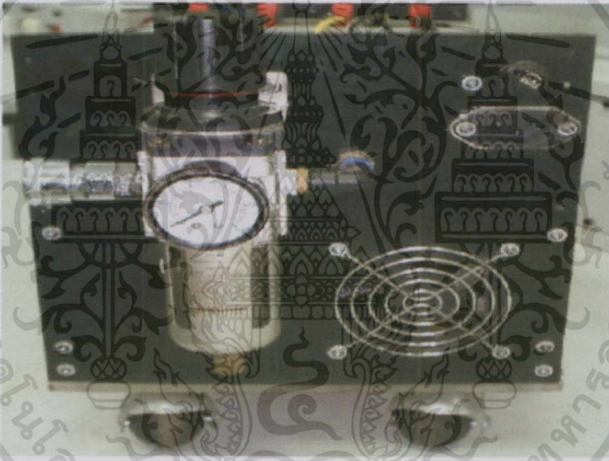
6) หมายเลข 6

เอกสารนี้เป็นขั้วต่อของแรงดันด้านออกไฟฟ้ากระแสตรงขั้วลบ ขณะไม่มีภาระโหลดมีค่าประมาณ 150 V เพื่อจ่ายให้กับหัวตัดพลาสมา ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

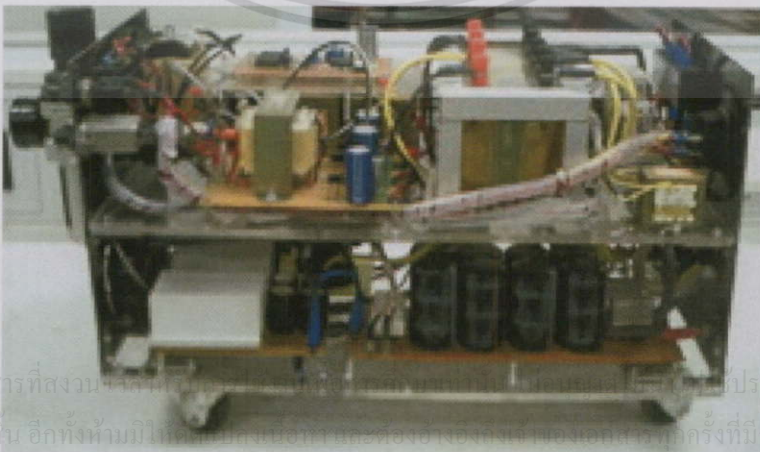
## 2. ด้านต่างๆ ของเครื่องตัดพลาสมา



รูปที่ ก-12 ภาพด้านหน้าของเครื่องตัดพลาสมา

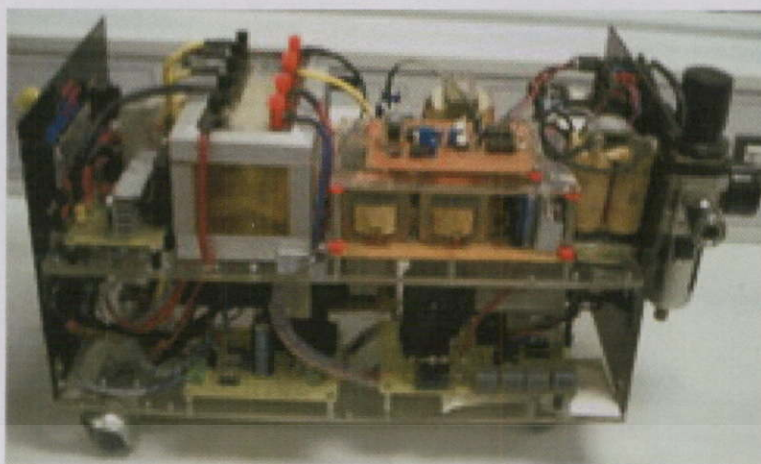


รูปที่ ก-13 ภาพด้านหลังของเครื่องตัดพลาสมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ลงบนอินเทอร์เน็ตและต้องอ้างชื่อของมหาวิทยาลัยพระนครเหนือทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก-14 ภาพด้านข้างซ้ายของเครื่องตัดพลาสมา



รูปที่ ก-15 ภาพด้านข้างขวาของเครื่องตัดพลาสมา

### 3. ความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องตัดโลหะพลาสมา

ในส่วนของความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องตัดพลาสมา มีความสำคัญมาก ซึ่งผู้ใช้ต้องมีความชำนาญพอสมควรและทำตามคำแนะนำตามคู่มือการใช้งานอย่างเคร่งครัด โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกจะเป็นส่วนของความปลอดภัยทั่วไป ไปก่อนนำไปใช้งานและส่วนที่สองจะเป็นความปลอดภัยเฉพาะในขณะที่ใช้งานเครื่องตัดพลาสมา ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.1 ความปลอดภัยทั่วไป

- 1) ก่อนที่จะใช้อุปกรณ์การตัดพลาสมา ผู้ปฏิบัติงานหรือผู้ควบคุมการใช้งานจะต้องอ่านคำแนะนำการใช้งานของเครื่องตัดรวมทั้งคำเตือนต่างๆ ในคู่มือการใช้งานให้เข้าใจ
- 2) ควรจัดเตรียมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากอุบัติเหตุไฟไหม้ ทั้งนี้เนื่องจากประกายไฟที่เกิดขึ้นขณะปฏิบัติงาน อาจทำให้วัสดุที่เป็นเชื้อเพลิงบริเวณใกล้เคียงติดไฟขึ้น และบริเวณที่ทำการตัดโลหะต้องมีอากาศถ่ายเทได้สะดวก
- 3) ต้องมีการตรวจสอบการต่อระบบสายดินของเครื่องให้เรียบร้อย ก่อนที่จะใช้เครื่องตัดพลาสมา

#### 3.2 ความปลอดภัยเฉพาะ

- 1) สวมแว่นนิรภัยหรือ Goggle (แว่นแบบปิดครอบ กันฝุ่นและลม) หรือ Helmet (หมวกกันกระแทกแบบสวมศีรษะ) ที่มีความเข้มของกระจกหรือเลนส์เหมาะสมกับข้อกำหนดมาตรฐาน ตามตารางที่ ก-1 เพื่อป้องกันอันตราย จากรังสีอัลตราไวโอเล็ตและอินฟราเรด จากแสงอาร์คพลาสมา

ตารางที่ ก-2 ข้อกำหนดการเลือกใช้เลนส์ป้องกันสายตาเนื่องจากแสง

กระแอรค์	ความเข้มเลนส์ AWS	ISO – 4850
ไม่เกิน 100 แอมแปร์	เบอร์ 8	เบอร์ 11
100 – 200 แอมแปร์	เบอร์ 10	เบอร์ 11 – 12
200 – 400 แอมแปร์	เบอร์ 12	เบอร์ 13
สูงกว่า 400 แอมแปร์	เบอร์ 14	เบอร์ 14

หมายเหตุ :

AWS : American Welding Society

ISO 4850:1979 : Personal eye-protectors for welding and related techniques-Filters-Utilisation and transmittance requirements

- 2) เตือนผู้อื่นในพื้นที่อย่าให้จ้องมองแสงอาร์คโดยตรง ยกเว้นจะสวมแว่นหรือหน้ากากป้องกัน และเปลี่ยนกระจกหรือเลนส์ของแว่น Goggle หรือ Helmet เมื่อมีหลุมบ่อหรือแตก
- 3) ทาสีผนังให้ผิวหน้ามีสีเข้มเพื่อลดการสะท้อนของแสงหรือติดตั้งม่านป้องกันแสงเพื่อลดการถ่ายทอดแสง
- 4) สวมเสื้อ ถุงมือ และรองเท้าที่รับภัยที่สามารถป้องกันผิวไหม้ เนื่องจากแสงอุลตราไวโอเล็ต ประกายไฟ และสะเก็ดโลหะร้อนได้
- 5) อย่าใช้อุปกรณ์ระบบพลาสติกภาชนะซึ่งบรรจุวัสดุไวไฟภายใน ภาชนะนั้นจะต้องทำความสะอาดอย่างถี่ก่อนที่จะทำการตัด

#### 4. อุปกรณ์และวัสดุสิ้นเปลืองในการตัดด้วยอาร์คพลาสมา

- 1) แท่งอิเล็กโตรดที่อยู่ตรงกลางของหัวตัดพลาสมาเนื่องจากใช้ไปนานๆ จะมีการสึกกร่อนจากการอาร์คเริ่มแรก
- 2) เครื่องควบคุม อาจมีโซลินอยด์วาล์วเพื่อปิด-เปิด ก๊าซและน้ำ ในการระบายความร้อน
- 3) แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในช่วง 100-400 โวลต์ ส่วนกระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับพิกัดกำลังของเครื่องตัด
- 4) พลาสมาก๊าซ อย่างเช่น อากาศ ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ อาร์กอน ขึ้นอยู่กับการใช้งานของผู้ใช้และหัวตัดพลาสมาที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.  
**DATASHEET**



**HGTG30N60C3D**

Data Sheet

December 2001

**63A, 600V, UFS Series N-Channel IGBT with Anti-Parallel Hyperfast Diodes**

The HGTG30N60C3D is a MOS gated high voltage switching device combining the best features of MOSFETs and bipolar transistors. The device has the high input impedance of a MOSFET and the low on-state conduction loss of a bipolar transistor. The much lower on-state voltage drop varies only moderately between 25°C and 150°C. The IGBT used is the development type TA49051. The diode used in anti-parallel with the IGBT is the development type TA49053.

**Features**

- 63A, 600V at  $T_C = 25^\circ\text{C}$
- Typical Fall Time . . . . . 230ns at  $T_J = 150^\circ\text{C}$
- Short Circuit Rating
- Low Conduction Loss
- Hyperfast Anti-Parallel Diode

**Packaging**

JEDEC STYLE TO-247

The IGBT is ideal for many high voltage switching applications operating at moderate frequencies where low conduction losses are essential.

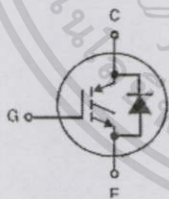
Formerly Developmental Type TA49014.

**Ordering Information**

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
HGTG30N60C3D	TO-247	G30N60C3D

NOTE: When ordering, use the entire part number.

**Symbol**



FAIRCHILD CORPORATION IGBT PRODUCT IS COVERED BY ONE OR MORE OF THE FOLLOWING U.S. PATENTS

4,364,073	4,417,385	4,430,792	4,443,931	4,466,176	4,516,143	4,532,534	4,587,713
4,598,461	4,605,948	4,620,211	4,631,564	4,639,754	4,639,762	4,641,162	4,644,637
4,682,195	4,684,413	4,694,313	4,717,679	4,743,952	4,783,690	4,794,432	4,801,986
4,803,533	4,809,045	4,809,047	4,810,665	4,823,176	4,837,608	4,860,080	4,883,767
4,888,627	4,890,143	4,901,127	4,904,609	4,933,740	4,963,951	4,969,027	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

## HGTG30N60C3D

Absolute Maximum Ratings  $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

	HGTG30N60C3D	UNITS
Collector to Emitter Voltage	600	V
Collector Current Continuous		
At $T_C = 25^\circ\text{C}$	63	A
At $T_C = 110^\circ\text{C}$	30	A
Average Diode Forward Current at $110^\circ\text{C}$	25	A
Collector Current Pulsed (Note 1)	252	A
Gate to Emitter Voltage Continuous	$\pm 20$	V
Gate to Emitter Voltage Pulsed	$\pm 30$	V
Switching Safe Operating Area at $T_J = 150^\circ\text{C}$	60A at 600V	
Power Dissipation Total at $T_C = 25^\circ\text{C}$	208	W
Power Dissipation Derating $T_C > 25^\circ\text{C}$	1.67	W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	-40 to 150	$^\circ\text{C}$
Maximum Lead Temperature for Soldering	260	$^\circ\text{C}$
Short Circuit Withstand Time (Note 2) at $V_{GE} = 15\text{V}$	4	$\mu\text{s}$
Short Circuit Withstand Time (Note 2) at $V_{GE} = 10\text{V}$	15	$\mu\text{s}$

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

## NOTES:

1. Repetitive Rating: Pulse width limited by maximum junction temperature.
2.  $V_{CE(PK)} = 360\text{V}$ ,  $T_J = 125^\circ\text{C}$ ,  $R_G = 25\Omega$

Electrical Specifications  $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Collector to Emitter Breakdown Voltage	$BV_{CES}$	$I_C = 250\mu\text{A}$ , $V_{GE} = 0\text{V}$	600	-	-	V
Emitter to Collector Breakdown Voltage	$BV_{ECS}$	$I_C = 10\text{mA}$ , $V_{GE} = 0\text{V}$	15	25	-	V
Collector to Emitter Leakage Current	$I_{CES}$	$V_{CE} = BV_{CES}$ , $T_C = 25^\circ\text{C}$	-	-	250	$\mu\text{A}$
		$V_{CE} = BV_{CES}$ , $T_C = 150^\circ\text{C}$	-	-	3.0	mA
Collector to Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	$I_C = I_{C110}$ , $V_{GE} = 15\text{V}$ , $T_C = 25^\circ\text{C}$	-	1.5	1.8	V
		$T_C = 150^\circ\text{C}$	-	1.7	2.0	V
Gate to Emitter Threshold Voltage	$V_{GE(TH)}$	$I_C = 250\mu\text{A}$ , $V_{CE} = V_{GE}$ , $T_C = 25^\circ\text{C}$	3.0	5.2	6.0	V
Gate to Emitter Leakage Current	$I_{GES}$	$V_{GE} = \pm 20\text{V}$	-	-	$\pm 100$	nA
Switching SOA	SSOA	$T_J = 150^\circ\text{C}$ , $V_{GE} = 15\text{V}$ , $R_G = 3\Omega$ , $L = 100\mu\text{H}$ , $V_{CE(PK)} = 490\text{V}$	200	-	-	A
		$V_{CE(PK)} = 600\text{V}$	60	-	-	A
Gate to Emitter Plateau Voltage	$V_{GEP}$	$I_C = I_{C110}$ , $V_{CE} = 0.5 BV_{CES}$	-	8.1	-	V
On-State Gate Charge	$Q_{G(ON)}$	$I_C = I_{C110}$ , $V_{CE} = 0.5 BV_{CES}$ , $V_{GE} = 15\text{V}$	-	162	180	nC
		$V_{GE} = 20\text{V}$	-	216	250	nC
Current Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$T_J = 150^\circ\text{C}$ , $I_C = I_{C110}$ , $V_{CE(PK)} = 0.8 BV_{CES}$ , $V_{GE} = 15\text{V}$ , $R_G = 3\Omega$ , $L = 100\mu\text{H}$	-	40	-	ns
Current Rise Time	$t_{ri}$		-	45	-	ns
Current Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	320	400	ns
Current Fall Time	$t_{fi}$		-	230	275	ns
Turn-On Energy	$E_{ON}$		-	1050	-	$\mu\text{J}$
Turn-Off Energy (Note 3)	$E_{OFF}$		-	2500	-	$\mu\text{J}$
Diode Forward Voltage	$V_{EC}$	$I_{EC} = 30\text{A}$	-	1.75	2.2	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## HGTG30N60C3D

Electrical Specifications  $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Diode Reverse Recovery Time	$t_{rr}$	$I_{EC} = 30\text{A}$ , $dI_{EC}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	52	60	ns
		$I_{EC} = 1.0\text{A}$ , $dI_{EC}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	42	50	ns
Thermal Resistance	$R_{\theta JC}$	IGBT	-	-	0.6	$^\circ\text{C}/\text{W}$
		Diode	-	-	1.3	$^\circ\text{C}/\text{W}$

## NOTE:

3. Turn-Off Energy Loss ( $E_{OFF}$ ) is defined as the integral of the instantaneous power loss starting at the trailing edge of the input pulse and ending at the point where the collector current equals zero ( $I_{CE} = 0\text{A}$ ). The HGTG30N60C3D was tested per JEDEC standard No. 24-1 Method for Measurement of Power Device Turn-Off Switching Loss. This test method produces the true total Turn-Off Energy Loss. Turn-On losses include diode losses.

## Typical Performance Curves

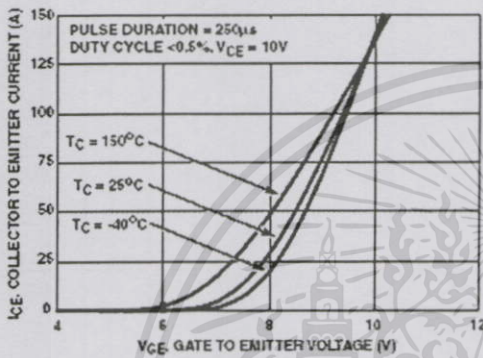


FIGURE 1. TRANSFER CHARACTERISTICS

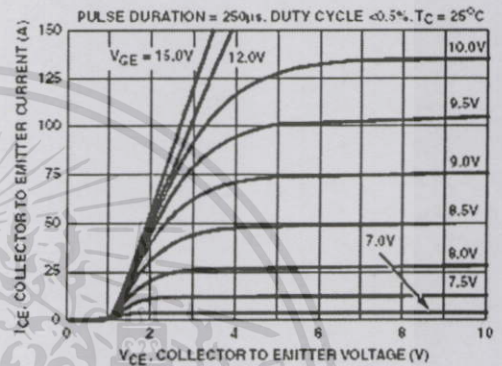


FIGURE 2. SATURATION CHARACTERISTICS

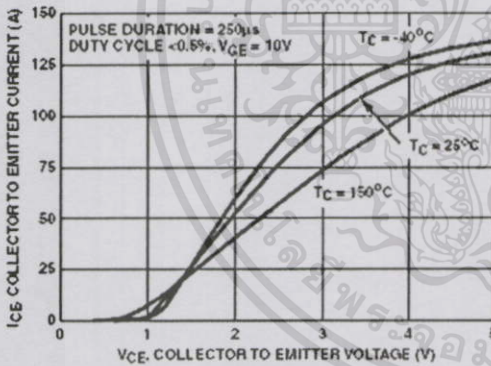


FIGURE 3. COLLECTOR TO EMITTER ON-STATE VOLTAGE

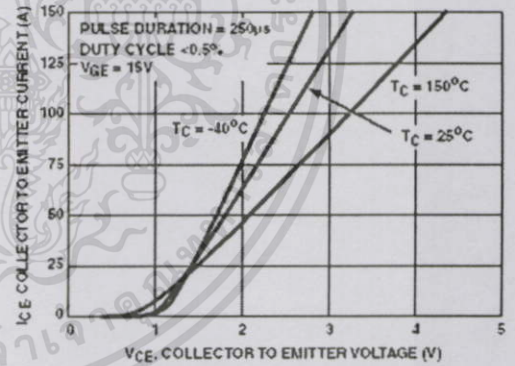


FIGURE 4. COLLECTOR TO EMITTER ON-STATE VOLTAGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HGTG30N60C3D

Typical Performance Curves (Continued)

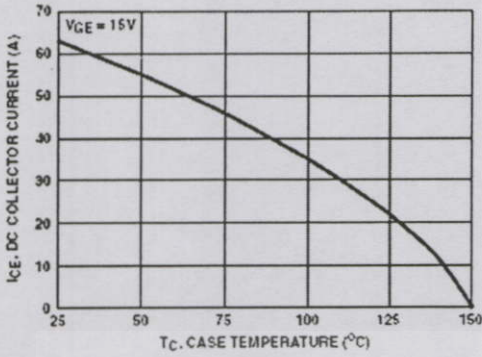


FIGURE 5. MAX. DC COLLECTOR CURRENT vs CASE TEMPERATURE

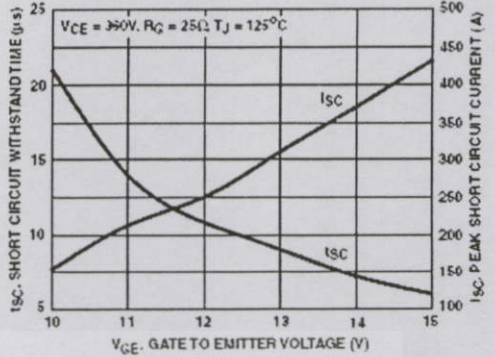


FIGURE 6. SHORT CIRCUIT WITHSTAND TIME

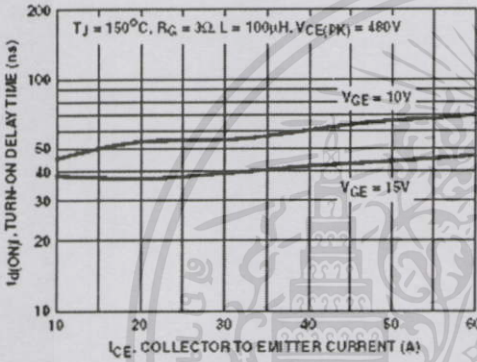


FIGURE 7. TURN-ON DELAY TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

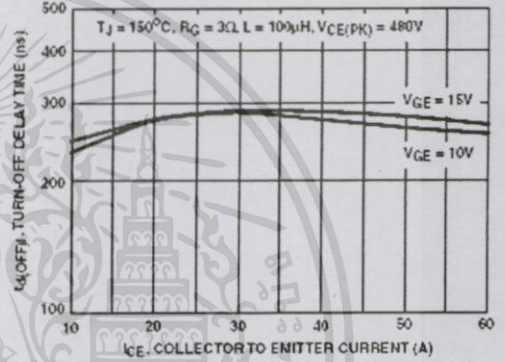


FIGURE 8. TURN-OFF DELAY TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

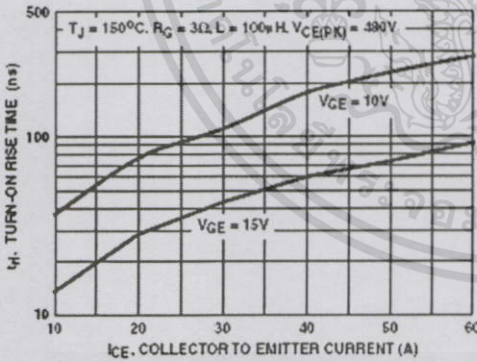


FIGURE 9. TURN-ON RISE TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

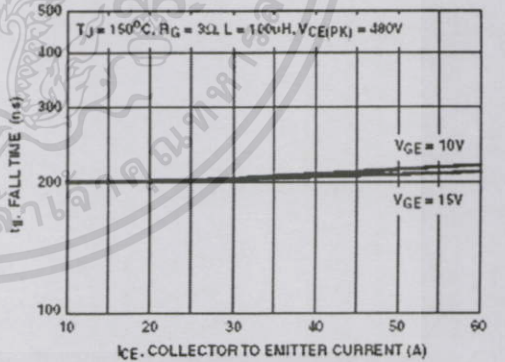


FIGURE 10. FALL TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Curves (Continued)

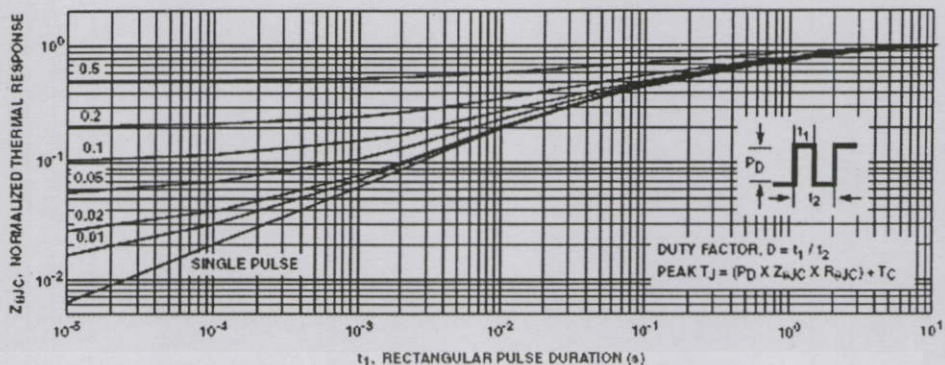


FIGURE 17. IGBT NORMALIZED TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE, JUNCTION TO CASE

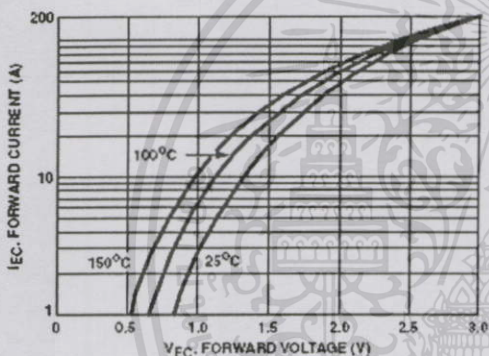


FIGURE 18. DIODE FORWARD CURRENT vs FORWARD VOLTAGE DROP

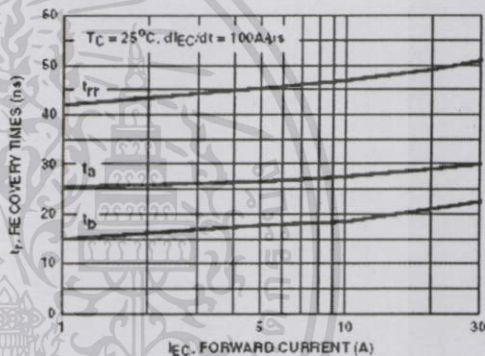


FIGURE 19. RECOVERY TIMES vs FORWARD CURRENT

Test Circuit and Waveforms

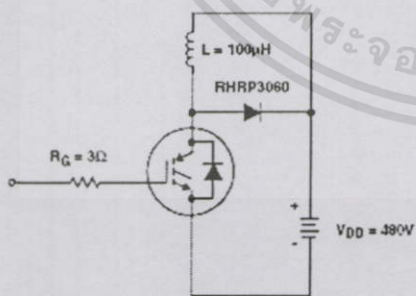


FIGURE 20. INDUCTIVE SWITCHING TEST CIRCUIT

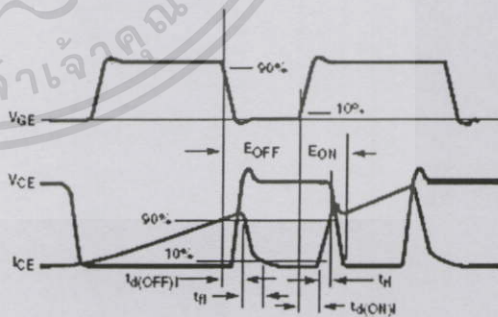


FIGURE 21. SWITCHING TEST WAVEFORMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะมิใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## HGTG30N60C3D

**Handling Precautions for IGBTs**

Insulated Gate Bipolar Transistors are susceptible to gate-insulation damage by the electrostatic discharge of energy through the devices. When handling these devices, care should be exercised to assure that the static charge built in the handler's body capacitance is not discharged through the device. With proper handling and application procedures, however, IGBTs are currently being extensively used in production by numerous equipment manufacturers in military, industrial and consumer applications, with virtually no damage problems due to electrostatic discharge. IGBTs can be handled safely if the following basic precautions are taken:

1. Prior to assembly into a circuit, all leads should be kept shorted together either by the use of metal shorting springs or by the insertion into conductive material such as "ECCOSORB™ LD26" or equivalent.
2. When devices are removed by hand from their carriers, the hand being used should be grounded by any suitable means - for example, with a metallic wristband.
3. Tips of soldering irons should be grounded.
4. Devices should never be inserted into or removed from circuits with power on.
5. **Gate Voltage Rating** - Never exceed the gate-voltage rating of  $V_{GEM}$ . Exceeding the rated  $V_{GE}$  can result in permanent damage to the oxide layer in the gate region.
6. **Gate Termination** - The gates of these devices are essentially capacitors. Circuits that leave the gate open-circuited or floating should be avoided. These conditions can result in turn-on of the device due to voltage buildup on the input capacitor due to leakage currents or pickup.
7. **Gate Protection** - These devices do not have an internal monolithic zener diode from gate to emitter. If gate

**Operating Frequency Information**

Operating frequency information for a typical device (Figure 13) is presented as a guide for estimating device performance for a specific application. Other typical frequency vs collector current ( $I_{CE}$ ) plots are possible using the information shown for a typical unit in Figures 4, 7, 8, 11 and 12. The operating frequency plot (Figure 13) of a typical device shows  $f_{MAX1}$  or  $f_{MAX2}$  whichever is smaller at each point. The information is based on measurements of a typical device and is bounded by the maximum rated junction temperature.

$f_{MAX1}$  is defined by  $f_{MAX1} = 0.05 / (t_{D(OFF)} + t_{D(ON)})$ . Deadtime (the denominator) has been arbitrarily held to 10% of the on-state time for a 50% duty factor. Other definitions are possible.  $t_{D(OFF)}$  and  $t_{D(ON)}$  are defined in Figure 21.

Device turn-off delay can establish an additional frequency limiting condition for an application other than  $T_{JM}$ .  $t_{D(OFF)}$  is important when controlling output ripple under a lightly loaded condition.

$f_{MAX2}$  is defined by  $f_{MAX2} = (P_D - P_C) / (E_{OFF} + E_{ON})$ . The allowable dissipation ( $P_D$ ) is defined by  $P_D = (T_{JM} - T_C) / R_{JMC}$ . The sum of device switching and conduction losses must not exceed  $P_D$ . A 50% duty factor was used (Figure 13) and the conduction losses ( $P_C$ ) are approximated by  $P_C = (V_{CE} \times I_{CE}) / 2$ .

$E_{ON}$  and  $E_{OFF}$  are defined in the switching waveforms shown in Figure 21.  $E_{ON}$  is the integral of the instantaneous power loss ( $I_{CE} \times V_{CE}$ ) during turn-on and  $E_{OFF}$  is the integral of the instantaneous power loss during turn-off. All tail losses are included in the calculation for  $E_{OFF}$ ; i.e. the collector current equals zero ( $I_{CE} = 0$ ).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACEx™	FAST <sup>®</sup>	OPTOLOGIC™	SMART START™	VCX™
Bottomless™	FASTr™	OPTOPLANAR™	STAR*POWER™	
CoolFET™	FRFET™	PACMAN™	Stealth™	
CROSSVOLT™	GlobalOptoisolator™	POP™	SuperSOT™-3	
DenseTrench™	GTO™	Power247™	SuperSOT™-6	
DOME™	HiSeC™	PowerTrench <sup>®</sup>	SuperSOT™-8	
EcoSPARK™	ISOPLANAR™	QFET™	SyncFET™	
E <sup>2</sup> C MOS™	LittleFET™	QS™	TinyLogic™	
EnSigna™	MicroFET™	QT Optoelectronics™	TruTranslation™	
FACT™	MicroPak™	Quiet Series™	UHC™	
FACT Quiet Series™	MICROWIRE™	SILENT SWITCHER <sup>®</sup>	UltraFET <sup>®</sup>	

STAR\*POWER is used under license

## DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN. NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

## LIFE SUPPORT POLICY

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

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.

2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

## PRODUCT STATUS DEFINITIONS

### Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

Rev. 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**15A, 400V - 600V Ultrafast Dual Diodes**

MUR3040PT, RURH1540CC, MUR3060PT, and RURH1560CC are ultrafast dual diodes ( $t_{rr} < 55\text{ns}$ ) with soft recovery characteristics. They have a low forward voltage drop and are of planar, silicon nitride passivated, ion-implanted, epitaxial construction.

These devices are intended for use as energy steering/clamping diodes and rectifiers in a variety of switching power supplies and other power switching applications. Their low stored charge and ultrafast recovery with soft recovery characteristics minimizes ringing and electrical noise in many power switching circuits thus

reducing power loss in the switching transistor.

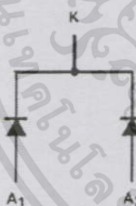
Formerly developmental type TA09905.

**Ordering Information**

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
MUR3040PT	TO-218AC	MUR3040PT
RURH1540CC	TO-218AC	RURH1540C
MUR3060PT	TO-218AC	MUR3060PT
RURH1560CC	TO-218AC	RURH1560C

NOTE: When ordering, use the entire part number.

**Symbol**



**Features**

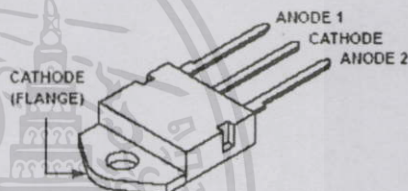
- Ultrafast with Soft Recovery ..... <55ns
- Operating Temperature ..... 175°C
- Reverse Voltage Up to ..... 600V
- Avalanche Energy Rated
- Planar Construction

**Applications**

- Switching Power Supply
- Power Switching Circuits
- General Purpose

**Packaging**

JEDEC TO-218AC



**Absolute Maximum Ratings** (Per Leg)  $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

	MUR3040PT RURH1540CC	MUR3060PT RURH1560CC	UNITS
Peak Repetitive Reverse Voltage .....	$V_{RRM}$ 400	600	V
Working Peak Reverse Voltage .....	$V_{RWM}$ 400	600	V
DC Blocking Voltage .....	$V_R$ 400	600	V
Average Rectified Forward Current ( $T_C = 145^\circ\text{C}$ ) .....	$I_{F(AV)}$ 15	15	A
Repetitive Peak Surge Current (Square Wave 20kHz) .....	$I_{FRM}$ 42	30	A
Nonrepetitive Peak Surge Current (Half-wave 1 Phase 60Hz) .....	$I_{FSM}$ 200	200	A
Maximum Power Dissipation .....	$P_D$ 100	100	W
Avalanche Energy (See Figures 7 and 8) .....	$E_{AVL}$ 20	20	mJ
Operating and Storage Temperature .....	$T_{STG}, T_J$ -55 to 175	-55 to 175	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาไปใช้

**MUR3040PT, RURH1540CC, MUR3060PT, RURH1560CC**

**Electrical Specifications** (Per Leg)  $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

SYMBOL	TEST CONDITION	MUR3040PT, RURH1540CC			MUR3060PT, RURH1560CC			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$V_F$	$I_F = 15\text{A}$	-	-	1.25	-	-	1.5	V
	$I_F = 15\text{A}, T_C = 150^\circ\text{C}$	-	-	1.12	-	-	1.2	V
$I_R$	$V_R = 400\text{V}$	-	-	100	-	-	-	$\mu\text{A}$
	$V_R = 600\text{V}$	-	-	-	-	-	100	$\mu\text{A}$
	$V_R = 400\text{V}, T_C = 150^\circ\text{C}$	-	-	500	-	-	-	$\mu\text{A}$
	$V_R = 600\text{V}, T_C = 150^\circ\text{C}$	-	-	-	-	-	500	$\mu\text{A}$
$t_{rr}$	$I_F = 1\text{A}, dI_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	55	-	-	55	ns
	$I_F = 15\text{A}, dI_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	60	-	-	60	ns
$t_e$	$I_F = 15\text{A}, dI_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	30	-	-	30	-	ns
$t_b$	$I_F = 15\text{A}, dI_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	17	-	-	20	-	ns
$R_{\theta JC}$		-	-	1.5	-	-	1.5	$^\circ\text{C}/\text{W}$

**DEFINITIONS**

$V_F$  = Instantaneous forward voltage ( $p_w = 300\mu\text{s}, D = 2\%$ )

$I_R$  = Instantaneous reverse current.

$t_{rr}$  = Reverse recovery time at  $dI_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$  (See Figure 6), summation of  $t_e + t_b$ .

$t_e$  = Time to reach peak reverse current at  $dI_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$  (See Figure 6).

$t_b$  = Time from peak  $I_{RM}$  to projected zero crossing of  $I_{RM}$  based on a straight line from peak  $I_{RM}$  through 25% of  $I_{RM}$  (See Figure 6).

$R_{\theta JC}$  = Thermal resistance junction to case.

$p_w$  = pulse width.

$D$  = duty cycle.

**Typical Performance Curves**

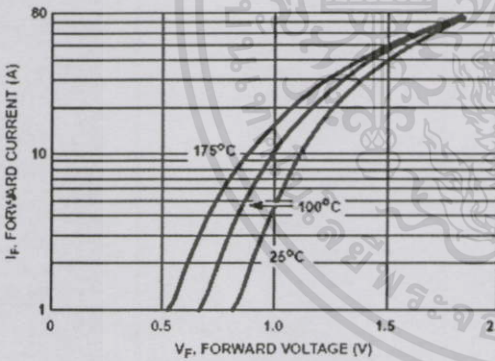


FIGURE 1. FORWARD CURRENT vs FORWARD VOLTAGE

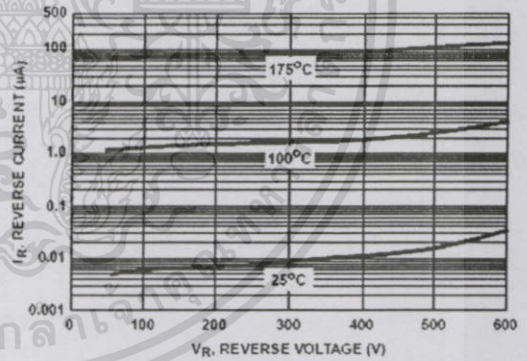


FIGURE 2. REVERSE CURRENT vs REVERSE VOLTAGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MUR3040PT, RURH1540CC, MUR3060PT, RURH1560CC

Typical Performance Curves

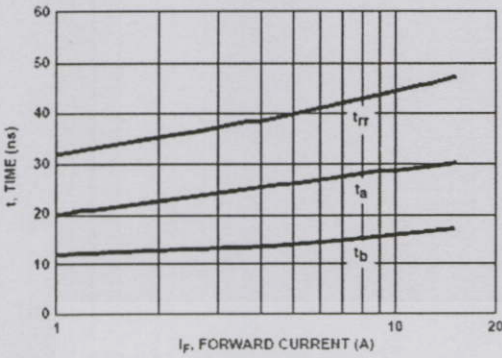


FIGURE 3.  $t_{rr}$ ,  $t_a$  AND  $t_b$  CURVES VS FORWARD CURRENT

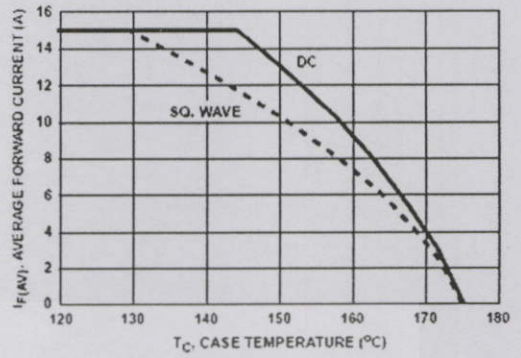


FIGURE 4. CURRENT DERATING CURVE

Test Circuits and Waveforms

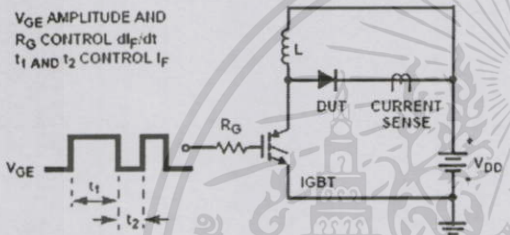


FIGURE 5.  $t_{rr}$  TEST CIRCUIT

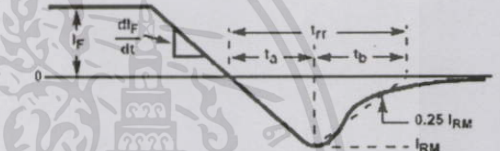


FIGURE 6.  $t_{rr}$  WAVEFORMS AND DEFINITIONS

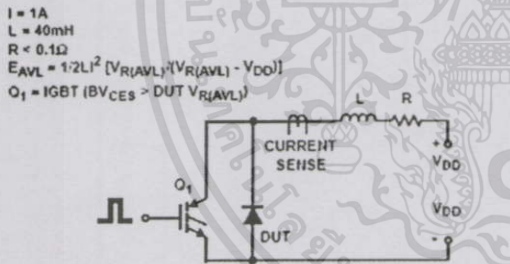


FIGURE 7. AVALANCHE ENERGY TEST CIRCUIT



FIGURE 8. AVALANCHE CURRENT AND VOLTAGE WAVEFORMS

All Intersil semiconductor products are manufactured, assembled and tested under ISO9000 quality systems certification.

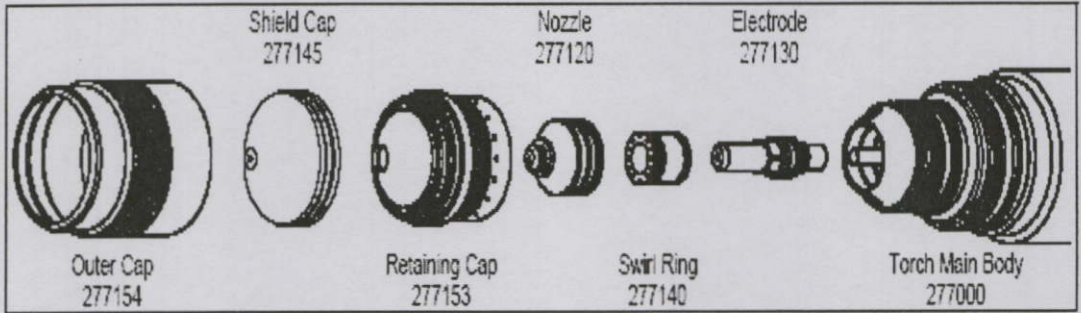
*Intersil semiconductor products are sold by description only. Intersil Corporation reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Intersil is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Intersil or its subsidiaries for its use, nor for any infringements 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 Intersil or its subsidiaries.*

For information regarding Intersil Corporation and its products, see web site [www.intersil.com](http://www.intersil.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Mild Steel

### 30 Amps – Oxygen Plasma / Oxygen Shield



### Imperial

Material Thickness		Preflow	Plasma	Shield	Postflow	Arc Voltage	Travel Speed	Cutting Height	Pierce Height	Motion Delay	Kerf Width
(ga)	(in)	(psi)	(psi)	(psi)	(psi)	(volts)	(ipm)	(in)	(in)	(msec)	(in)
20	.036	35	85	6	84	120	105	.080	.110	100	.062
18	.043					121	97	.090			
16	.060					125	78	.105			
14	.075					126	65				
12	.105					127	55	.125			
11	.120					129	50				
10	.135					131	40				

### Metric

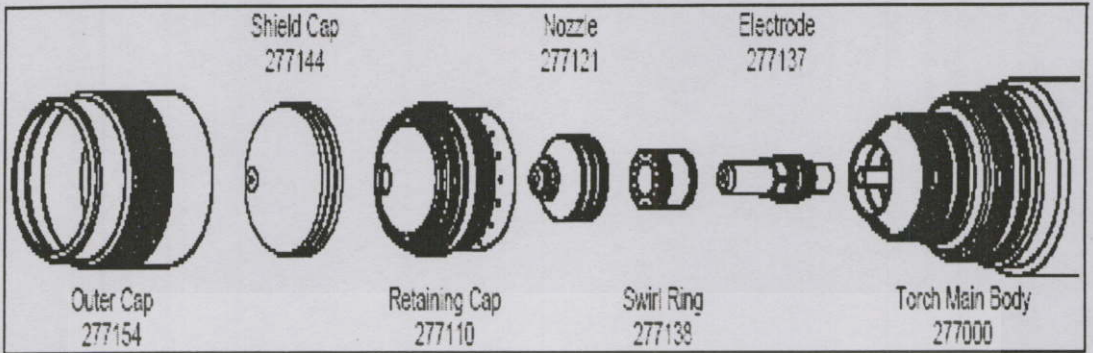
Material Thickness		Preflow	Plasma	Shield	Postflow	Arc Voltage	Travel Speed	Cutting Height	Pierce Height	Motion Delay	Kerf Width
(mm)	(mm)	(psi)	(psi)	(psi)	(psi)	(volts)	(mm/m)	(mm)	(mm)	(msec)	(mm)
1		35	85	6	84	120	2615	2.0	2.8	100	1.6
1.5	124					2020	2.6				
2	126					1615	2.7				
2.5						1455					
3	126					1285	2.9	3.1			

### Marking

Material Thickness			Preflow	Plasma	Shield	Postflow	Arc Voltage	Travel Speed	Marking Height	Initial Height	Motion Delay
(ga)	(in)	(mm)	(psi)	(psi)	(psi)	(psi)	(volts)	(ipm) (mm/min)	(in) (mm)	(in) (mm)	(msec)
All Thicknesses			N/A	26	23	N/A	145	250 6350	.177 4.5	.100 2.5	0

1. Revised on 7/2/07

## Stainless Steel 30 Amps – Air Plasma / Air Shield



### Imperial

Material Thickness (ga) (in)	Preflow (psi)	Plasma (psi)	Shield (psi)	Postflow (psi)	Arc Voltage (volts)	Travel Speed (in/min)	Cutting Height (in)	Pierce Height (in)	Motion Delay (msec)	Kerf Width (in)
20 .036	30	80	30	80	71	200	.020	.050	100	.065
18 .043					74	165	.035			
16 .060					75	125	.025			
14 .075						90				

### Metric

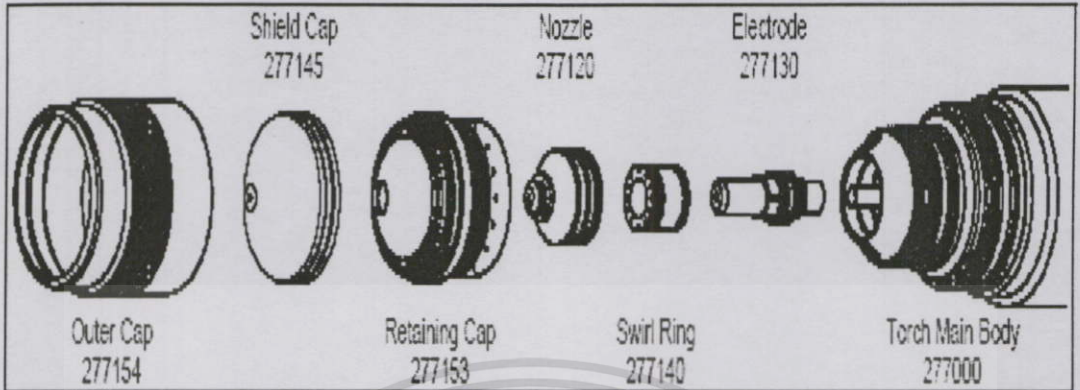
Material Thickness (mm)	Preflow (psi)	Plasma (psi)	Shield (psi)	Postflow (psi)	Arc Voltage (volts)	Travel Speed (mm/min)	Cutting Height (mm)	Pierce Height (mm)	Motion Delay (msec)	Kerf Width (mm)
1	30	80	30	80	71	4855	0.6	1.3	100	1.7
1.5					73	3260	0.9			

### Marking

Material Thickness (ga) (in) (mm)	Preflow (psi)	Plasma (psi)	Shield (psi)	Postflow (psi)	Arc Voltage (volts)	Travel Speed (in/min) (mm/min)	Marking Height (in) (mm)	Initial Height (in) (mm)	Motion Delay (msec)
All Thicknesses	N/A	26	23	N/A	145	250 6350	.177 4.5	.100 2.5	0

1. Revised on 7/2/07  
 ตรวจสอบว่าสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะพิมพ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Aluminum 30 Amps – Air Plasma / Nitrogen Shield



### Imperial

Material Thickness (in)	Preflow (psi)	Plasma (psi)	Shield (psi)	Postflow (psi)	Arc Voltage (volts)	Travel Speed (in/min)	Cutting Height (in)	Pierce Height (in)	Motion Delay (msec)	Kerf Width (in)
.040	30	92	20	90	135	150	.030	.065	100	.065
.050						120		.075		
.063						90		.085		

### Metric

Material Thickness (mm)	Preflow (psi)	Plasma (psi)	Shield (psi)	Postflow (psi)	Arc Voltage (volts)	Travel Speed (mm/min)	Cutting Height (mm)	Pierce Height (mm)	Motion Delay (msec)	Kerf Width (mm)
1	30	92	20	90	135	3885	0.6	1.6	100	1.7
1.5					135	2520		2.1		1.8

### Marking

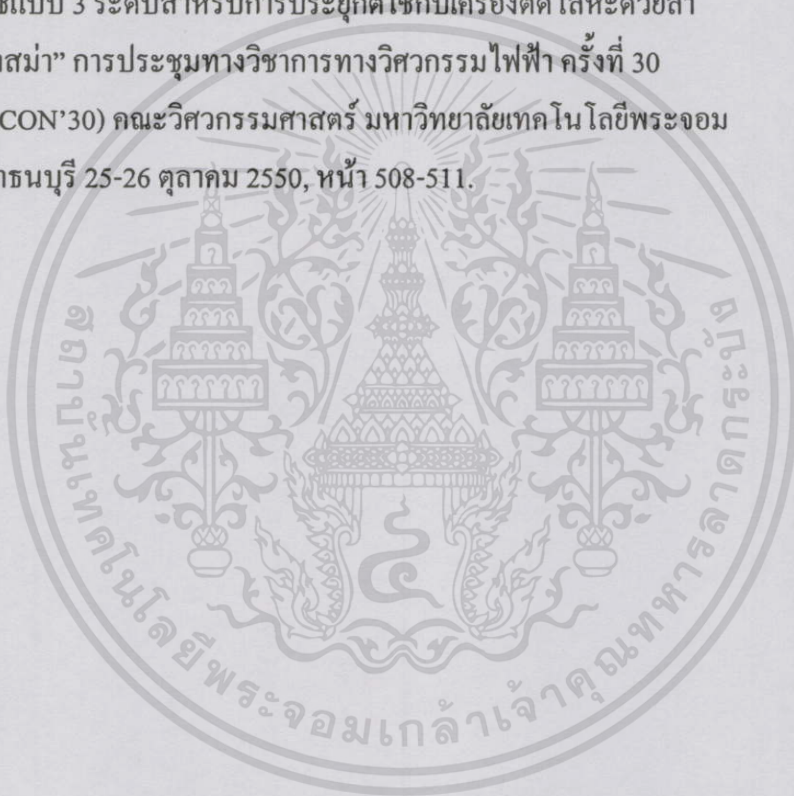
Material Thickness (ga) (in) (mm)	Preflow (psi)	Plasma (psi)	Shield (psi)	Postflow (psi)	Arc Voltage (volts)	Travel Speed (in/min) (mm/min)	Marking Height (in) (mm)	Initial Height (in) (mm)	Motion Delay (msec)
All Thicknesses	N/A	28	23	N/A	145	250 6350	.177 4.5	.100 2.5	0

1. Revised on 7/2/07

## ภาคผนวก ค.

## ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] N. Sanajit and A. Jangwanitlert, "A Half-Bridge DC/DC Converter for Plasma Cutting Machine" The 7th International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS'07), 1-Nov-2007, pp. 1223-1227.
- [2] นรงค์ฤทธิ์ เสนาจิตร และ อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ, "วงจรแปลงผันไฟฟ้าดีซีทูดีซีแบบ 3 ระดับสำหรับการประยุกต์ใช้กับเครื่องตัดโลหะด้วยลัปลาสม่า" การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30 (EECON'30) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 25-26 ตุลาคม 2550, หน้า 508-511.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The Seventh International Conference on Power Electronics and Drive Systems  
November 27-30, 2007, Bangkok, Thailand

- Welcome
- Organizers/Committees
- Table of Contents
- Authors
- Search
- Close & Exit

IEEE Catalog Number: 07TH8816C  
ISBN: 1-4244-0645-5  
Library of Congress: 2006933010



# A Half-Bridge DC/DC Converter for Plasma Cutting Machine

N. Sanajit and A. Jangwanitlert

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute Technology Ladkrabang  
Bangkok Thailand, Tel./ Fax. (662) 326-4550  
Email: kjanuwat@kmitl.ac.th

**Abstract-**This paper presents the design and construction of a plasma cutting machine by using a half-bridge dc/dc converter for negative direct current power supply and initial exciting arc by a high voltage high frequency circuit. When the gas passes a torch electrode, it will explode to be plasma arc and transfer to the work piece. This process has been designed for an output power of plasma cutting machine at 2 kW by employing Isolate Gate Bipolar Transistors (IGBTs) as switches. The switching frequency is 20 kHz. The plasma cutting machine can cut 1 mm of steel. When compared with a linear transformer plasma cutting machine, the designed plasma cutting machine has an efficiency quite similar. In addition, the plasma cutting machine is small, light, and compatible.

**Index Terms-** Plasma cutting machine, Half-bridge

## I. INTRODUCTION

Equipment for cutting metals is developed continuously. From Saw, gas to electric arc, technicians widely use electric cutting machine more than others. Because it is light, fast, and smooth for cutting metals, electric cutting machine can divide into two types. One is linear power supply electric cutting machine, the other one is switching power supply electric cutting machine. Linear power supply and switching power supply electric cutting machine, operating to cut metals, can achieve similarly good cutting quality. The arc jet between torch and workpiece is called "plasma jet". Plasma jet is very hot and can be utilized for cutting metals [1]. In the past, there are a few paper [2-3] mentions the construction of plasma cutting machine. Therefore, this paper presents the design and construction of dc switching power supply using a half-bridge inverter to provide ac high frequency voltage. The ac high frequency voltage is transferred to the high frequency center-tap transformer and then to the ultra-fast recovery diodes in order to rectify the voltage. The rectified voltage provides the negative dc voltage for main arc. The other part is connected with the coupling filter inductor. This part, creating high voltage high frequency (HV-HF), comes from Flyback converter of Television set in order to energize the molecules of gases at the torch electrode. Then, the molecules are separated in order to get plasma jet as shown in Fig. 1 [4]. The air flow rate is

controlled appropriately in the designed plasma cutting machine. This machine can be a prototype for high power applications in the future.

## II. PLASMA ARC CUTTING

Plasma arc cutting is plasma occurred by heat together with electric arc. In this paper, the electric arc, occurred by providing an HV-HF, helps the discharge easily. In case of anode and cathode being not contacted for arc, the dc generator is provided as shown in Fig. 2. Arc, occurred by HV-HF, has two types: transferred and non transferred method as shown in Fig. 3. Transferred arc uses workpiece at anode electrode in order to provide plasma jet. The non-transferred arc does not use workpiece as anode electrode like transferred arc [5]. In this paper, non-transferred arc is used.

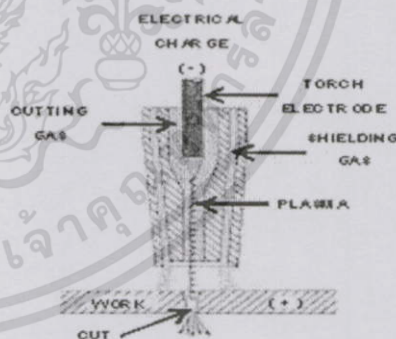


Fig. 1 Principle of torch electrode.

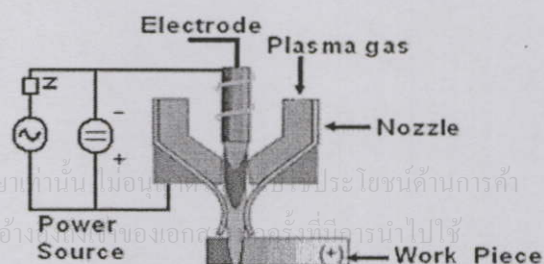


Fig. 2 Main Arc occurred by HV-HF.

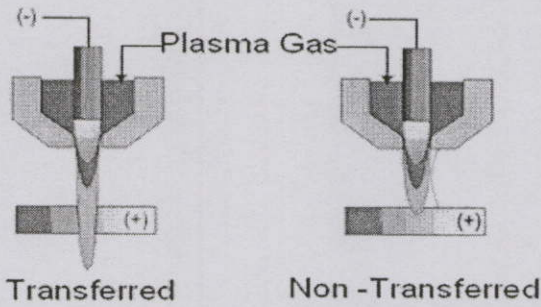


Fig. 3 Types of plasma arc using HV-HF.

III. PROTOTYPE DESIGN

From the above principle, the design of dc/dc half-bridge converter used as a switching power supply for plasma cutting machine [6] as shown in Fig. 4.

The output voltage ( $V_o$ ) of dc/dc half-bridge converter is given by (1)

$$V_o = \left(\frac{N_s}{N_p}\right)(V_{in} / 2 - V_{GE(sat)}) \frac{t_{ON}}{(T / 2)} - V_D \quad (1)$$

Where:

- $N_p$  is the turn of primary winding of transformer,
- $N_s$  is the turn of secondary winding of transformer,
- $V_{GE}$  is the voltage across collector and emitter,
- $T_{on}/T$  is the duty cycle of IGBT,
- $V_D$  is the voltage across diode  $D_1$  or  $D_2$ ,
- $V_{in}$  is the dc input voltage.

The center-tap transformer reduces the ultra-fast diodes for rectifying. The specifications are given as follows:

- Output power ( $P_o$ ) 2000 W
- Primary voltage ( $V_{pri}$ )  $150 \pm 5\% V$
- Output voltage ( $V_o$ ) 150 V
- Switching frequency ( $f_s$ ) 20 kHz
- Turn ratio of transformer (Ratio) 1:1

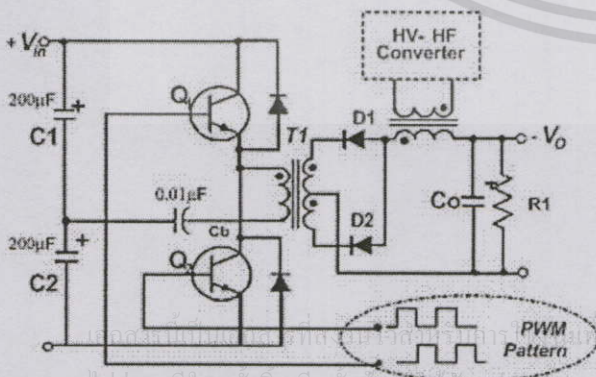


Fig. 4 DC/DC half -bridge converter.

Table I  
Air Classifier [7]

Air	Nitrogen (N <sub>2</sub> )	Oxygen (O <sub>2</sub> )	Arkon (Ar)	Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )
% by volume	78.08	20.95	0.93	0.03
% by weight	75.53	23.14	1.28	0.05

In this research, air is used as plasma gases. Gases are composed of nitrogen, oxygen, and inert gas. In this case, it is suitable for plasma jet.

Control Circuit for Plasma cutting Machine

Control circuit is defined for operating in the dc/dc half-bridge converter. In this case, the timing diagram shown in Fig. 5 is used to control air control valve for activating arc by an HV-HF method. Furthermore, the overall control circuitry is shown in Fig. 6. This figure includes the dc/dc half-bridge converter. The HV-HF circuit in dash line provides the arc from the beginning to the end cutting process. The HV-HF is built from flyback converter of Television set. The HV-HF signal is transferred by the coupling transformer used as a coupling inductor as well.

IV. TEST AND EVALUATION

The test is divided into two parts. One is testing for half-bridge dc/dc switching converter at various loads. The other test is for cutting metals at various parameters.

- Half-bridge dc/dc switching converter performance

The output power is tested from 200 W at light output power to 2 kW at rated output power by adjusting duty cycle from 34 % to 44 %. The efficiency and output current are shown in Figs. 7 and 8, where switching frequency is fixed at 20 kHz.

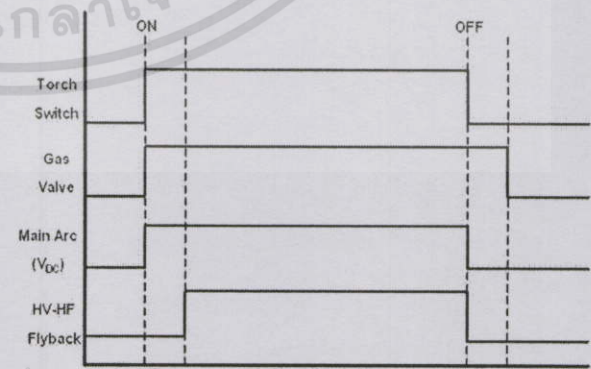


Fig. 5 Timing diagram of plasma cutting process.

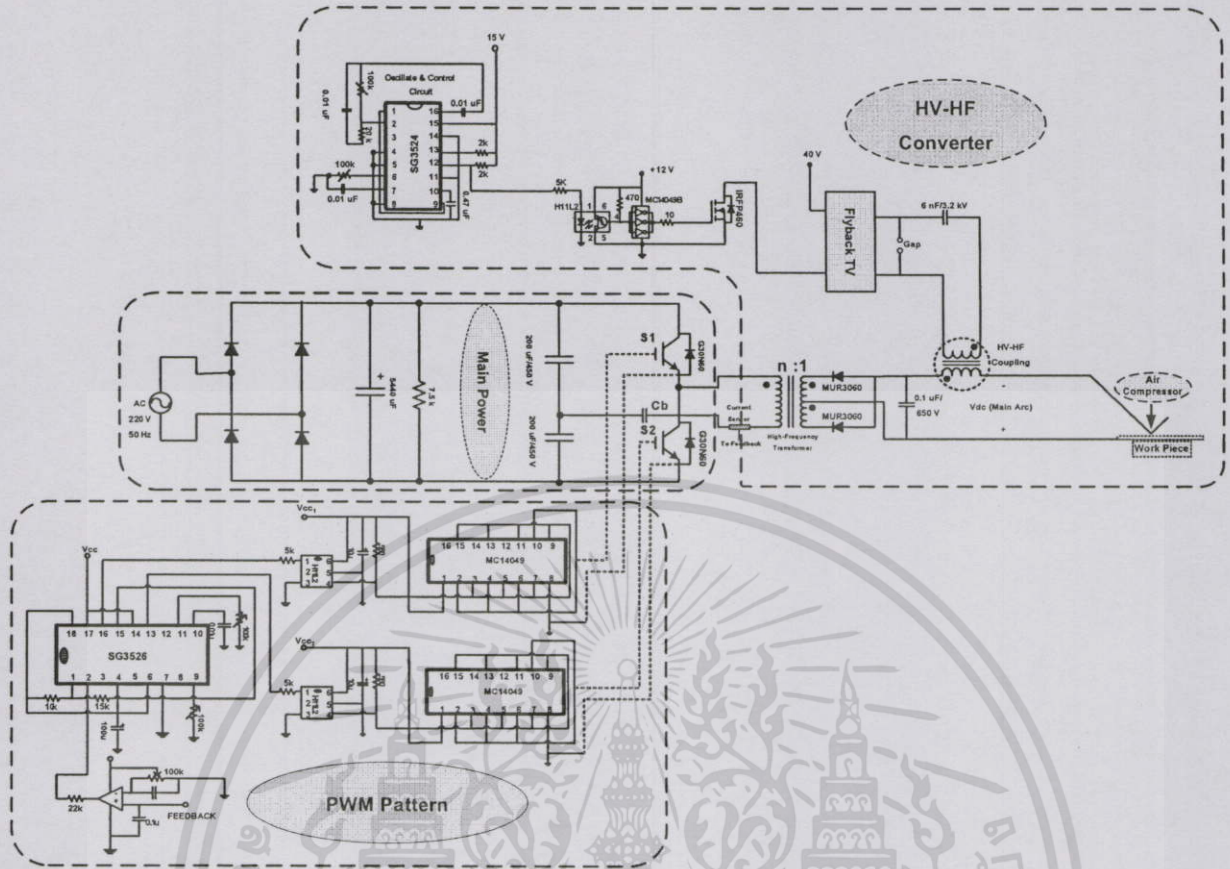


Fig. 6 Overall of plasma cutting machine.

Fig. 6 shows the principle of a half-bridge dc-dc converter for plasma cutting machine. It can be briefly described as follows: when the control circuit drives a half-bridge dc-dc converter, power flows from the center-tap transformer passing to the bridge rectifiers. In order to provide the negative polarity for plasma jet, the power supply is from the HV-HF circuit using Flyback converter. This converter is connected with the coupling with output inductor in order to activate the initial plasma jet.

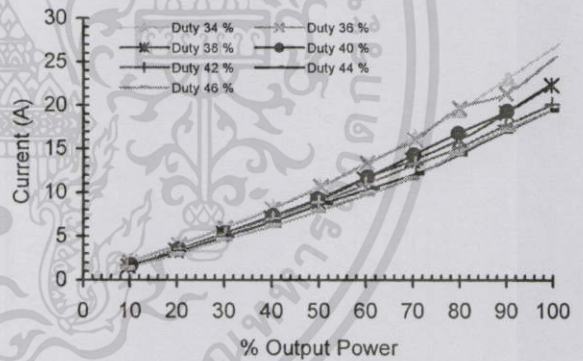


Fig. 8 Current vs. output power while adjusting duty cycle at frequency of 20 kHz

From Figs. 7 and 8, when the duty cycle is increased, the efficiency of system is also increased. However, the output current is decreased due to the fact that time interval of conduction is increased. While the average voltage is increased, the same load current is decreased and dropped voltage is decreased as well.

Fig. 9 shows the efficiency vs. output power while adjusting switching frequency at the duty cycle of 35%. The trend of all curves is quite similar. When the output power is high, the efficiency is low, and vice versa.

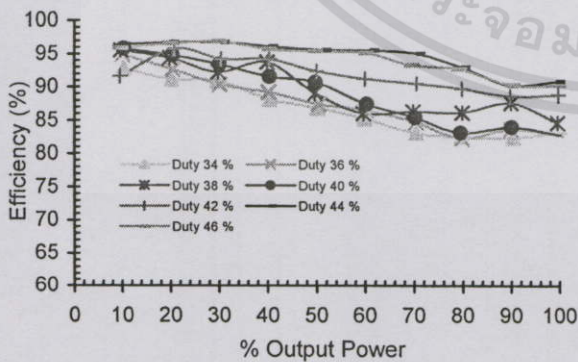


Fig. 7 Efficiency vs. output power while adjusting duty cycle at frequency of 20 kHz

**Test for cutting metals**

The test of the plasma cutting machine, which effects to cutting metals, is evaluated. The parameters for cutting are changed. The analyses are considered on the workpiece.

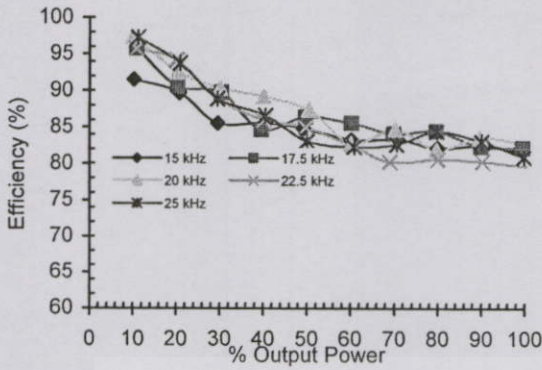


Fig. 9 Efficiency vs. output power while adjusting switching frequencies at duty cycle of 35%.

Fig. 10 shows the experimental result that mentions the output inverter voltage and primary current as cutting carbon steel at duty cycle of 35% and switching frequency of 20 kHz. The result provides the Zero-Voltage Switching (ZVS) condition as a soft switching technique due to the fact that the primary current lags the output inverter voltage. That means the voltage across switch goes to be zero before turning on switch.

- 1) Test of cutting carbon steel : Consider duty cycle  
The results from workpieces are analyzed. The air pressure is kept at 1.5 kg/cm<sup>2</sup> and the frequency is 20 kHz. However, the duty cycle is adjusted. It is found that at the duty cycle of 40%, the indentation or trail from cutting is continuous due to the period of switch conduction is longer than using the duty cycle of 20%. Also, it is found that the carbon steel cannot be cut at the duty cycle of 20% because the ion plasma is not completely occurred and period of the switch conduction is not enough. It makes the trail discontinuously as shown in Fig. 11.
- 2) Test of cutting carbon steel : Consider at air pressure  
The results from workpieces are analyzed. The duty cycle is kept at 35% and the frequency is fixed at 20 kHz. However, the air pressure is adjusted. It is found that air pressure at 1 kg/cm<sup>2</sup> have the indentation from cutting better than using air pressure at 3 kg/cm<sup>2</sup> because the air

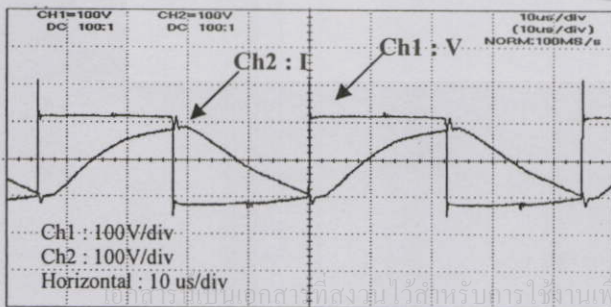


Fig. 10 Output inverter voltage and primary current as cutting carbon steel at duty cycle of 35%, frequency of 20 kHz.

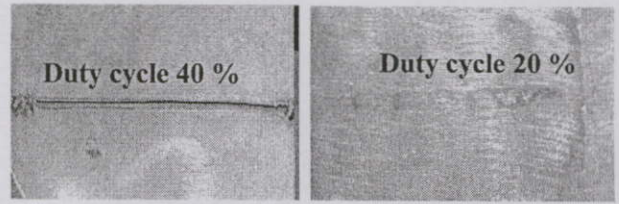


Fig. 11 Comparison of the trail on cutting carbon steel between duty cycle at 20 % and 40%.

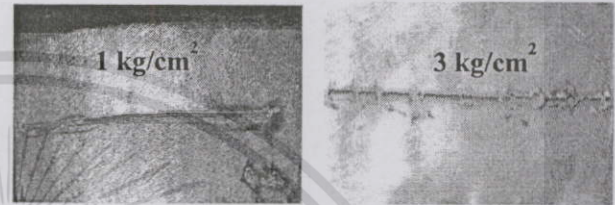


Fig. 12 Comparison of the trail on cutting carbon steel between air pressure at 1 kg/cm<sup>2</sup> and 3 kg/cm<sup>2</sup>.

pressure at 1 kg/cm<sup>2</sup> has the absolute ion at the electrode that can provide heat higher.

Therefore, the period of switch conduction and air pressure has the effect on cutting the metals. In order to achieve high efficiency, the parameters should be selected appropriately. The results are shown in Fig. 12.

- 3) Consider on cutting stainless steel plate  
The results from the cutting stainless steel plate at duty cycle of 35 % and switching frequency of 20 kHz and air pressure of 1.5 kg/cm<sup>2</sup> are analyzed. It is observed that the indentation is quite well as shown in Fig. 13. When compared between the carbon steel and stainless steel at the same as switching frequency of 20 kHz and duty cycle of 35%, the indentation are quite similar; where cutting the carbon steel uses the air pressure at 1 kg/cm<sup>2</sup>, whereas cutting the stainless steel uses the air pressure on 1.5 kg/cm<sup>2</sup>. The reason is that the structure of stainless steel has a toughness more than that of carbon steel.
- 4) Comparison of the advantage between constructed prototype and the market type.  
The physical structure and trail between constructed prototype and market type are compared.  
The comparison results indicate that the plasma cutting prototype, which is built, is smaller and lighter than the market type because of the plasma cutting prototype applied from switching power supply as shown in Fig. 14. That can help the technician use and move this prototype easily. In addition, the trails between both types are not quite different significantly because the trail is based on air pressure.

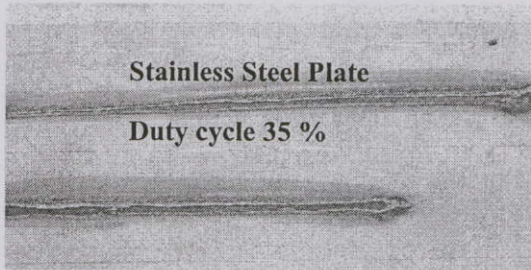


Fig. 13 The trail on stainless steel plate at  $1.5 \text{ kg/cm}^2$ , duty cycle of 35%, and frequency of 20 kHz.

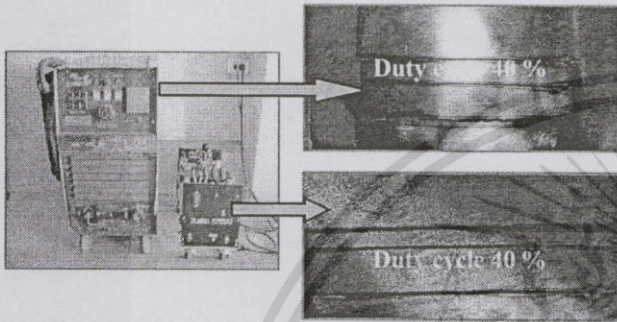


Fig. 14 Comparison of the structure and trail between constructed prototype and the market type. : market type (right Top), Plasma cutting prototype (right bottom).

## V. CONCLUSION

From the experimental results, the plasma cutting machine is based on the dc/dc half-bridge converter. The rated power is 2 kW. It can cut metals following the design and construction. The plasma cutting machine is developed for the education or commercial system. It is made from switching power supply which is light, small. Also, the workpiece quality after cutting is better than the one from gas cutting process. The indentation or trail of cutting is small. It does not waste steel very much and the sparkle is less.

## ACKNOWLEDGMENT

The authors wish to thank Weewan Engineering Co. Ltd., where suggest us to construct of the prototype.

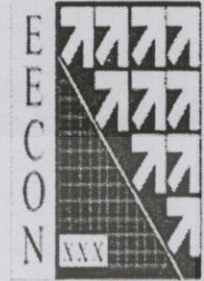
## REFERENCES

- [1] S. Ramakrishnan, M. Gershenzon, and F. Polivka, "Plasma generation for the plasma cutting process," *IEEE Trans. on Plasma Science*, Vol 25, No. 5, 1997, pp. 937-946.
- [2] G. R. Kamath, "A passive coupled-inductor flying capacitor lossless snubber circuit for plasma cutting power supply," *Proc. in IEEE APEC Conf Rec.*, 2005, pp. 237-243.

- [3] \_\_\_\_\_, "A passive reduced rating output rectifier snubber for plasma cutting power supply," *Proc. in IEEE APEC Conf Rec.*, 2006, pp. 85-91.
- [4] B. Lucas and D. Hilton., "Cutting processes - plasma arc cutting - process and equipment considerations," [http://www.twi.co.uk/professional/protected/band\\_3/jk51.html](http://www.twi.co.uk/professional/protected/band_3/jk51.html), May 1, 2007, p.1.
- [5] B. L. Bemis and G. S. Settles, "Ultraviolet Imaging of the Anode Attachment in Transferred-Arc Plasma Cutting," *IEEE Trans. on Plasma Science*, Vol. 27, No. 1, February 1999, pp.44-45.
- [6] M. H. Rashid, *Power Electronics*, Prentice Hall, 2004.
- [7] C. Landry, "Improving plasma cutting in sheet Metal applications," <http://archive.metformingmagazine.com/1997/09/plasma/997plasma.htm>, May 5, 2006, pp.1-5.

**Narongrit Sanajit** received B.Eng. in Electrical Engineering from Mahanakorn University of Technology, Thailand, in 2003. He is currently a M.Eng. student at King Mongkut's Institute Technology Ladkrabang. His research interests include power electronics and power converter.

**Anuwat Jangwanitlert** received B.Eng. and M.Eng. in Electrical Engineering from King Mongku's Institute of Technology Ladkrabang and Chulalongkorn University, Thailand, in 1991, 1995, respectively. He graduated Ph.D. in Electrical Engineering from the University of Arkansas, USA in 2004. He is currently an assistant professor at King Mongkut's Institute Technology Ladkrabang. His research works are focused on power switching converter and power electronic applications.



# 30<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-30)

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30  
25-26 ตุลาคม 2550 ณ โรงแรมเฟลิซิตีแควีรีสอร์ท กาญจนบุรี

Acrobat Reader

Proceeding

Exit



FACULTY OF ENGINEERING

**KMUTT**

**EECON - 30**

NECTEC

a member of NSTDA



กระทรวงศึกษาธิการ  
กรมส่งเสริมการศึกษานอกระบบ  
และตามอัธยาศัย  
สำนักงานส่งเสริมการศึกษานอกระบบ  
และตามอัธยาศัย  
กรุงเทพฯ

# วงจรแปลงผันไฟฟ้าดีซีทูดีซีแบบ 3 ระดับสำหรับการประยุกต์ใช้กับเครื่องตัดโลหะด้วยลำพลาสมา

## A Three Level DC/DC Converter for Plasma Cutting Applications

นรงค์ฤทธิ์ เสนาจิตร และ อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กทม. 10520

โทร. (02) 326-4550, E-Mail: narongri@mut.ac.th , kjanuwat@kmitl.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอหลักการออกแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้าดีซีทูดีซีแบบสามระดับ โดยควบคุมสภาวะการทำงานของสวิทช์แบบเลื่อนเฟสทีดับเบิลยูเอ็ม สำหรับประยุกต์ใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังให้กับเครื่องตัดโลหะด้วยลำพลาสมา ซึ่งต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงชั่วพลบเป็นส่วนอาร์คหลัก (Main Arc) และใช้แรงดันสูงความถี่สูงเป็นตัวกระตุ้นเริ่มแรกเพื่อให้โมเลกุลของก๊าซที่ไหลผ่านขั้วอิเล็กโทรดแตกตัวออกเกิดเป็นลำพลาสมาวิ่งเข้าสู่ชิ้นงาน โดยออกแบบสร้างชุดต้นแบบที่พิกัดกำลัง 2 กิโลวัตต์ ใช้มอสเฟตเป็นตัวสวิทช์ ที่ความถี่ 20 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งจากผลการทดสอบสามารถตัดเหล็กหนา 1 มิลลิเมตรได้มีคุณภาพใกล้เคียงกับเครื่องตัดที่มีขายตามท้องตลาด และประสิทธิภาพรวมของวงจรแปลงผันไฟฟ้าดีซีทูดีซีแบบสามระดับที่ได้ออกแบบสร้างมีค่าที่พิกัด 92 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: วงจรแปลงผันไฟฟ้าดีซีทูดีซีแบบสามระดับ, เครื่องตัดพลาสมา, การควบคุมการเลื่อนเฟสทีดับเบิลยูเอ็ม

### Abstract

This paper presents the design and construction of a plasma cutting machine by using a three level dc/dc converter which has a negative dc power supply for main arc and using initial exciting arc from a high voltage high frequency circuit. When the gas passes a torch electrode, it will explode to be plasma arc and transfer to the work piece. This process has been designed for a power output of plasma cutting machine at 2 kW by employing MOSFETs. The switching frequency is 20 kHz. The plasma cutting machine can cut 1 mm of steel thickness. When compared with a commercial plasma cutting machine, the designed plasma cutting machine has nearly the same quality. The three-level dc/dc converter has a rated efficiency of 92%.

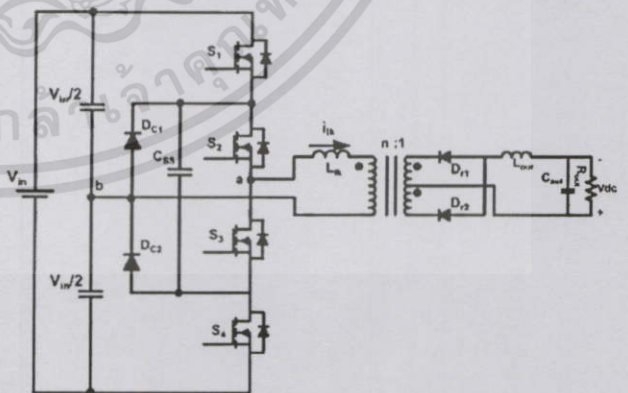
Keywords: Three -level dc/dc converter, Plasma cutting machine,

Phase-shift PWM control

### 1. บทนำ

ปัจจุบันแนวโน้มการใช้อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการตัดโลหะได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการตัดโลหะด้วยอาร์คไฟฟ้า

เพราะมีความรวดเร็วและงานออกมาเรียบร้อย การตัดโลหะด้วยอาร์คไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบตามแหล่งจ่ายไฟ แบบแรกเป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบเชิงเส้นหรือแบบลิเนียร์ และแบบที่สองเป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิทช์ซึ่ง ส่วนขบวนการทำงานและการใช้งานในการตัดมีลักษณะเหมือนกัน ซึ่งจากการศึกษา [1] พบว่าปัญหาส่วนใหญ่ที่พบของเครื่องตัดพลาสมาแบบสวิทช์ซึ่ง คือเกิดปัญหาในเรื่องของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการสวิทช์เกิดชำรุดเสียหาย จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าเกิดจากการกระชากของกระแสขณะเริ่มตัดและเกิดมีความร้อนสูงสะสมภายในตัวสวิทช์ขณะใช้งานต่อเนื่อง จึงทำให้อุปกรณ์เกิดการเสียหายบ่อยครั้ง บทความวิจัยนี้ได้เสนอแนวคิดในการใช้เทคนิคการสวิทช์ซึ่งแบบนุ่มนวล (Soft Switching) [2,3] เพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งวงจรแปลงผันไฟฟ้าดีซีทูดีซีแบบสามระดับที่มีการควบคุมการทำงานแบบเลื่อนเฟสทีดับเบิลยูเอ็ม จึงเป็นอีกวงจรหนึ่งที่จะสามารถลดปัญหาดังกล่าวได้ กล่าวคือ วงจรแปลงผันไฟฟ้าดีซีทูดีซีแบบสามระดับดังรูปที่ 1 สามารถลดแรงดันที่ตกคร่อมสวิทช์ในวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันทางด้านอินพุตเท่านั้น และสามารถลดการสูญเสียในสภาวะช่วงเริ่มนำกระแสของตัวสวิทช์ และสามารถลดค่าความเค้นต่างๆ ของตัวสวิทช์ได้เมื่อวงจรแปลงผันกำลังมีพิกัดกำลังสูงๆ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของวงจรให้ดีขึ้น



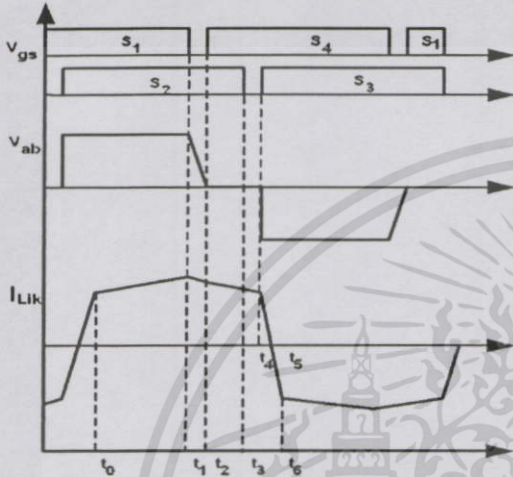
รูปที่ 1 วงจรแปลงผันไฟฟ้าดีซีทูดีซีแบบสามระดับ

### 2. หลักการทำงาน

#### 2.1 ส่วนของรูปแบบและสภาวะการทำงานของวงจร

รูปแบบการสวิทช์ซึ่งของวงจรแปลงผันไฟฟ้าดีซีทูดีซีแบบสามระดับ จะเป็นไปตามเงื่อนไขการทำงานของสวิทช์แต่ละตัว โดยอาศัย

การควบคุมการทำงานแบบเลื่อนเฟสที่ดับเบิลยูเอ็ม [2] ดังรูปที่ 2 โดยในวงจรจะประกอบด้วยตัวเก็บประจุ (flying capacitor)  $C_{SS}$  ไดโอด  $D_{C1}$ ,  $D_{C2}$  และอุปกรณ์ในการสวิตช์ (MOSFETs) โดยการทำงานของช่วงการสวิตช์จะควบคุมการเลื่อนเฟสที่ดับเบิลยูเอ็มของสัญญาณขับเคลื่อนให้กับสวิตช์  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  และ  $S_4$  เป็นผลให้เกิดการสวิตช์ที่แรงดันเป็นศูนย์ (ZVS) ซึ่งสามารถแบ่งช่วงการทำงานได้เป็น 6 สถานะการทำงานต่อครึ่งไซเคิล ดังรูปที่ 3



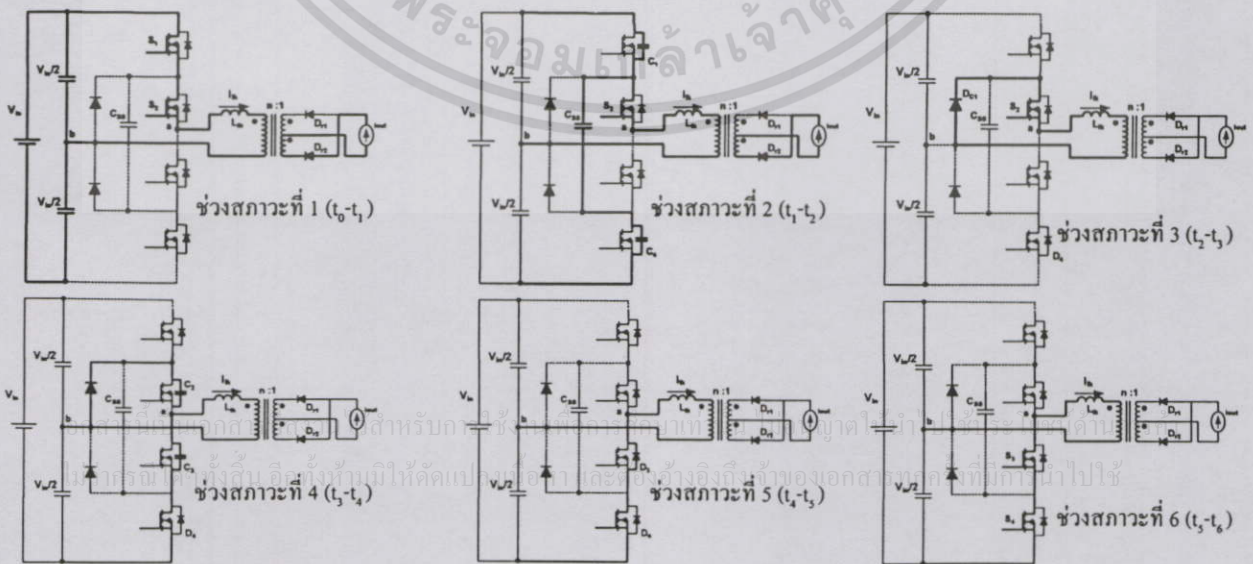
รูปที่ 2 สถานะการทำงานของสวิตช์แต่ละช่วงเวลาแบบเลื่อนเฟส

ช่วงสถานะการทำงานที่ 1 ( $t_0-t_1$ ) : สวิตช์  $S_1$  และ  $S_2$  ทำงาน ทำให้กระแสไหลผ่านจุด a และไหลผ่านขดลวดด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง เมื่อวัดแรงดันตกคร่อมจุด a และ b จะได้แรงดันเท่ากับ  $V_{in}/2$ ; ช่วงสถานะการทำงานที่ 2 ( $t_1-t_2$ ) : ช่วง  $t_1$  สวิตช์  $S_1$  หยุดทำงาน ทำให้เกิดประจุแฝงในตัวมอสเฟส ในเวลาเดียวกันกับที่ตัวเก็บประจุแฝงในตัวมอสเฟส  $S_4$  คายประจุผ่านตัวเก็บประจุ  $C_{SS}$  และเมื่อมอสเฟส  $S_4$  มีแรงดันคร่อมที่ตัวมันเองเข้าใกล้ศูนย์ ไดโอดที่อยู่ในตัวมันจะเริ่มทำงาน ผลทำให้แรงดันตกคร่อมจุด ab ค่อยๆ ลดลงมาเป็นศูนย์

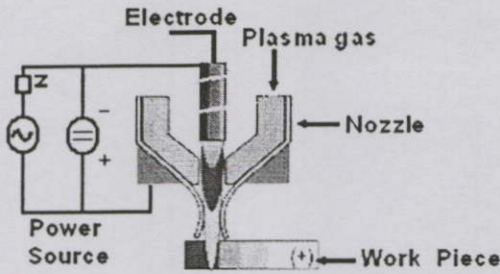
ช่วงสถานะการทำงานที่ 3 ( $t_2-t_3$ ) : ไดโอดที่อยู่ในขานกลับหัวกับมอสเฟส  $S_4$  ทำงาน ทำให้มอสเฟส  $S_4$  ทำงานในขณะที่แรงดันเป็นศูนย์ (ZVS) ส่วนกระแสด้านปฐมภูมิจะไหลผ่านไดโอดฟรีวิลลิง  $D_{C1}$  เมื่อวัดแรงดันที่จุด ab มีแรงดันตกคร่อมเท่ากับศูนย์; ช่วงสถานะการทำงานที่ 4 ( $t_3-t_4$ ) : เมื่อมอสเฟส  $S_2$  หยุดทำงาน จะทำให้เกิดเก็บประจุแฝงในตัวมันและมอสเฟส  $S_3$  ก็จะคายประจุในตัวออก ซึ่งจะมีแรงดันคร่อมที่ตัวมันเองเข้าใกล้ศูนย์ ไดโอดที่ต่อขานกลับหัวกับมอสเฟสจะเริ่มทำงาน กระแสจะมีค่าลดลงซึ่งทำให้แรงดันตกคร่อมจุด ab เป็นศูนย์; ช่วงสถานะการทำงานที่ 5 ( $t_4-t_5$ ) : ในช่วงเวลา  $t_4$  ไดโอด  $D_3$  ที่ต่อขานกลับหัวกับมอสเฟส  $S_3$  ทำงาน ทำให้มอสเฟส  $S_3$  ทำงานขณะแรงดันเป็นศูนย์ (ZVS) ส่งผลให้แรงดันตกคร่อมที่จุด ab เท่ากับ  $-V_{in}/2$  ส่วนกระแสจะค่อยๆ ลดลงมาถึงค่าศูนย์; ช่วงสถานะการทำงานที่ 6 ( $t_5-t_6$ ) : ในช่วงเวลาที่  $t_5$  สวิตช์  $S_3$  และ  $S_4$  จะทำงาน ทำให้กระแสไหลจากจุดศูนย์มาสู่ด้านซิกิลบและแรงดันตกคร่อมจุด ab มีค่าเท่ากับ  $-V_{in}/2$  ส่วนช่วงสถานะการทำงานในครึ่งไซเคิลหลังจะเหมือนกันกับครึ่งไซเคิลแรก แต่สวิตช์  $S_3$  และ  $S_4$  จะทำงานแทน

2.2 ส่วนของอาร์คพลาสมา (Plasma Arc)

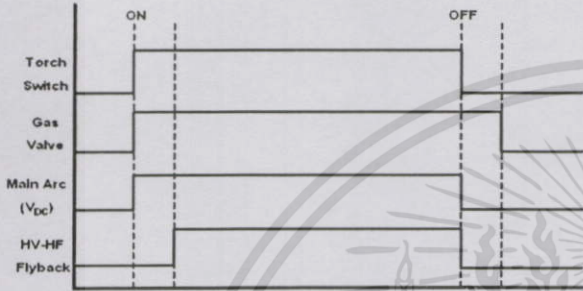
อาร์คพลาสมา คือพลาสมาที่เกิดขึ้นโดยการให้ความร้อนกับก๊าซด้วยอาร์คไฟฟ้า โดยมีหลักการการทำงานดังรูปที่ 4 ซึ่งบทความวิจัยนี้ได้นำวงจรแปลงผันไฟฟ้าดิจิตอลแบบสามระดับมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแหล่งจ่ายกำลังให้กับชุดตัดโลหะ โดยจะสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงไหลผ่านหม้อแปลงความถี่สูงแบบมีแถบตรงกลาง (Center Tap) และใช้ไดโอดแบบอัลตราฟาสต์รีคัฟเวอรี ไดโอด (Ultrafast Recovery Diode) ทำการเรียงกระแสไฟฟ้ากระแสตรงชั่วพลเป็นแรงดันอาร์คหลัก (Main Arc) และสร้างแรงดันสูงความถี่สูงที่ได้จากวงจรฟลายแบ็ก (Flyback Converter) ของทีวี เป็นตัวกระตุ้นการแตกตัวโมเลกุลของก๊าซที่หัวตัดเพื่อให้เกิดอาร์คพลาสมา แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 3 ช่วงสถานะการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้าดิจิตอลแบบสามระดับ



รูปที่ 4 หลักการทำงานของชุดตัดพลาสมา



รูปที่ 5 ช่วงเวลาการทำงานของชุดควบคุมเครื่องตัดพลาสมา

โดยเครื่องตัดพลาสมา (Plasma Cutting) ที่ได้ทำการออกแบบได้กำหนดช่วงเวลาการทำงาน (Timing diagram) ของระบบควบคุมต่างๆ ให้มีความเหมาะสมในการใช้งาน แสดงดังรูปที่ 5 และในงานวิจัยนี้ได้ใช้อากาศเป็นพลาสมาก๊าซ ซึ่งอากาศเป็นก๊าซผสมประกอบด้วยไนโตรเจน, ออกซิเจนและก๊าซเฉื่อย จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาเป็นพลาสมาก๊าซ

[4] ในการตัด โลหะแบบ Carbon Steel และ Stainless Steel

3. การออกแบบวงจร

จากหลักการที่ได้กล่าวข้างต้น ได้ออกแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้าดีซีบูติชีแบบสามระดับ โดยสามารถหาสมการเอาต์พุตของแรงดันได้ ดังสมการที่ 1

$$V_o = \left(\frac{N_s}{N_p}\right)(V_m / 2 - 2V_{DS(ON)}) \frac{t_{ON}}{(T/2)} - V_D \quad (1)$$

- โดยที่  $N_p$  คือ จำนวนรอบขดลวดด้านปฐมภูมิ
- $N_s$  คือ จำนวนรอบขดลวดด้านทุติยภูมิ
- $V_{DS(ON)}$  คือ แรงดันตกคร่อมที่ขา Drain กับ Source ในสถานะนำกระแส
- $t_{ON}/T$  คือ ช่วงการทำงานของมอสเฟส
- $V_D$  คือ แรงดันตกคร่อมที่  $D_1$  หรือ  $D_2$
- $V_m$  คือ แรงดันกระแสตรงด้านเข้า

โดยชุดวงจรแปลงผันไฟฟ้าดีซีบูติชีแบบสามระดับและส่วนการศึกษานำหน้า ไปยังประโยชน์ด้านการทำรูปที่ 6 สัญญาณแรงดันและกระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง

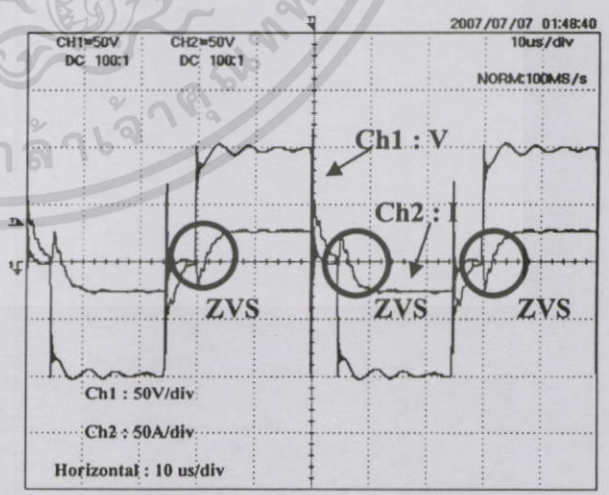
กำลังไฟฟ้านำออก ( $P_o$ )	2000	W
แรงดันด้านเข้า ( $V_m$ )	220 ± 5%	V

แรงดันเอาต์พุต ( $V_{out}$ )	110	V
ความถี่สวิตซ์ ( $f_s$ )	20	kHz
Turn ratio (Ratio)	1:1	

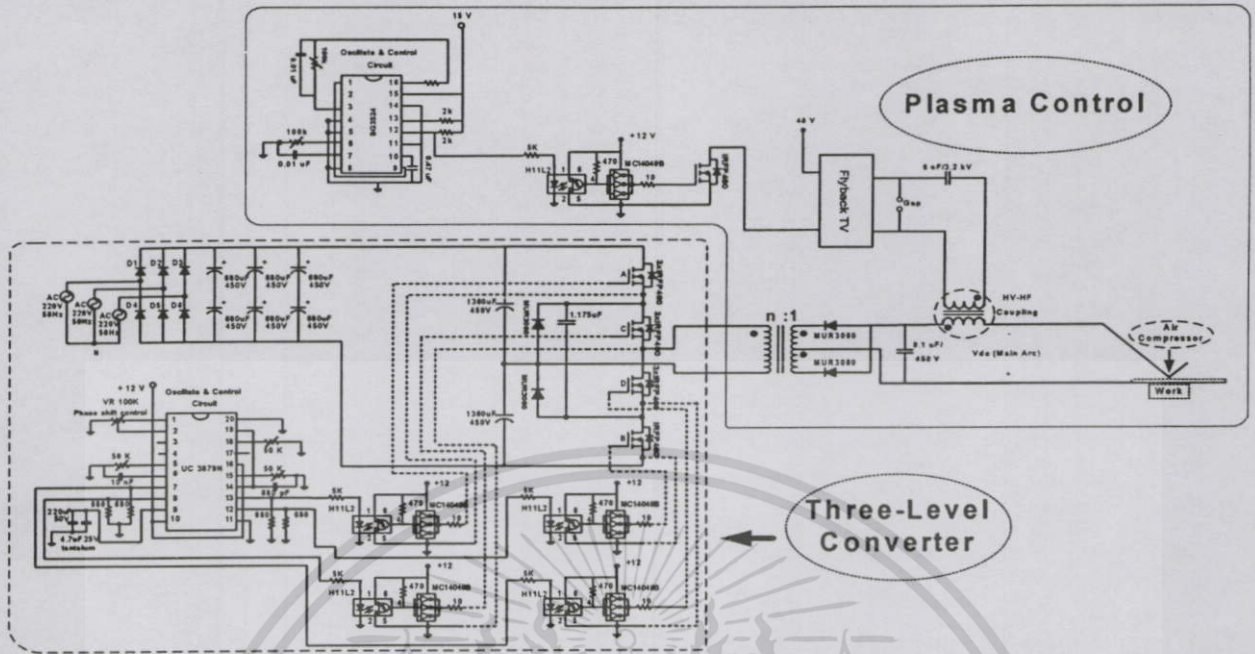
สำหรับค่าอุปกรณ์ต่างๆ และวงจรรวมแสดงค่าดังในรูปที่ 7

4. การทดสอบและประเมินผล

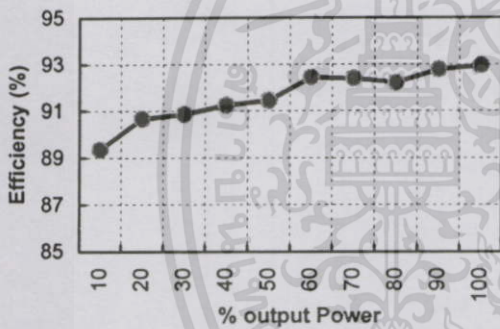
การทดสอบชุดแปลงผันไฟฟ้าดีซีบูติชีแบบสามระดับที่ใช้ในการตัดโลหะ ที่ความถี่สวิตซ์ซึ่ง 20 kHz โดยทำการทดสอบตัดโลหะหนา 1 mm โดยแรงดันทางด้านออกขั้วลบที่ได้ประมาณ 110 โวลต์ และใช้แรงดันอากาศที่ให้กับหัวตัดพลาสมาประมาณ 1 บาร์ ผลที่ได้คือสามารถตัดโลหะได้ ซึ่งรูปคลื่นกระแสและแรงดันของอินเวอร์เตอร์ในรูปที่ 6 ได้แสดงให้เห็นถึงการเกิดช่วงการสวิตซ์ที่แรงดันศูนย์ (ZVS) ขณะช่วงสภาวะเริ่มนำกระแส และแสดงถึงค่าแรงดันของอินเวอร์เตอร์  $V_{ab}$  ทั้งซีกบวกและซีกลบมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันขาเข้า พร้อมกับแรงดันที่ตกคร่อมสวิตซ์ก็จะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันขาเข้าด้วยเช่นกัน และจากรูปที่ 8 เป็นการทดสอบคุณสมบัติของชุดแปลงผันไฟฟ้าดีซีบูติชีแบบสามระดับทั้งระบบ ซึ่งจะเห็นว่าที่พิกัดกำลังมีประสิทธิภาพรวมสูงถึง 92 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในรูปที่ 9 เป็นรอยการตัดโลหะของเครื่องตัดที่ได้ ออกแบบเทียบกับรอยตัดที่ได้จากเครื่องตัดตามท้องตลาด โดยรอยตัดโลหะที่ได้อยู่ในเกณฑ์ดีและมีความใกล้เคียงกัน ในขณะที่แรงดันอากาศที่ใช้ในการตัดไม่เท่ากัน กล่าวคือชุดตัดที่ได้ทำออกแบบสามารถตัดโลหะหนาที่ 1 mm ได้ดีในช่วงแรงดันอากาศ 0.7-1.2 บาร์ ในขณะที่เครื่องตัดที่มีในท้องตลาดต้องใช้แรงดันอากาศในช่วง 3-5 บาร์ ถึงจะสามารถตัดโลหะได้ดี ซึ่งจะเห็นว่ามีความสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าเพื่อให้ได้คุณภาพงานที่ใกล้เคียงกัน และจากการทดสอบตัดโลหะแต่ละชนิดพบว่าการปรับแรงดันอากาศมีส่วนสำคัญต่อคุณภาพในการตัดชิ้นงาน



รูปที่ 6 สัญญาณแรงดันและกระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง ความถี่สูงขณะตัด โลหะที่ความถี่ 20 kHz



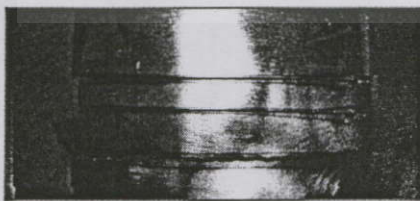
รูปที่ 7 วงจรรวมสำหรับเครื่องตัดพลาสมา



รูปที่ 8 ผลการทดสอบสมรรถนะของวงจรแปลงผันไฟฟ้าดิซิจิตอลแบบสามระดับ



(ก) ที่แรงดัน 1 บาร์



เอกสารนี้เป็น (ข) ที่แรงดัน 3 บาร์ ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัย

รูปที่ 9 การทดสอบเปรียบเทียบรอยตัดโลหะหนา 1 mm ของเครื่องตัดพลาสมาที่ได้ออกแบบสร้าง (ก), กับเครื่องตัดที่มีขายตามท้องตลาด (ข)

5. สรุป

จากการประยุกต์ใช้วงจรแปลงผันไฟฟ้าดิซิจิตอลแบบสามระดับ โดยอาศัยเทคนิคการควบคุมแบบเดือนเฟสแบบที่ดับเบิลยูเอ็ม เป็นแหล่งจ่ายกำลังให้กับเครื่องตัด โลหะด้วยลำพลาสมาชุดต้นแบบ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าวงจรแปลงผันไฟฟ้าดิซิจิตอลแบบสามระดับ ที่ออกแบบนี้สามารถลดปัญหาที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ตัวสวิตซ์ได้และประสิทธิภาพโดยรวมของวงจรแปลงผันที่พิกัดมีค่า 92% จึงเป็นอีกแนวทางเพื่อนำไปสู่การพัฒนาต่อที่พิกัดกำลังสูงๆ และเพื่อการศึกษาในเชิงธุรกิจต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ, จิรศักดิ์ ส่งบุญแก้ว, เอกรงค์ จันทร์เจริญ และ อุทราณา ขำสุวรรณ, "การวิเคราะห์กำลังสูญเสียของคอนเวอร์เตอร์แบบ 3 ระดับ", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28 (EECON-28), 2548, หน้า 233-236.
- [2] X. Ruan, L. Zhou, and Y. Yan, "Soft-switching PWM three-level converters," IEEE Trans. Power Electron., vol. 16, no. 5, Sep.2001, pp. 612-622.
- [3] F. Canales, P. M. Barbosa, J. M. Burdío, and F. C. Lee, "A zero voltage switching three-level dc/dc converter," in Proc. IEEE Int. Telecommunications Energy Conf. (INTELEC), 2000, pp. 512-517.
- [4] B. Lucas and D. Hilton, "Cutting processes plasma arc cutting process and equipment considerations," <http://www.twi.co.uk/professional/>, [http://www.twi.co.uk/professional/protected/band\\_3/jk51.html](http://www.twi.co.uk/professional/protected/band_3/jk51.html), May 1, 2007, p.1.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายนรงค์ฤทธิ์ เสนาจิตกร
วัน เดือน ปีเกิด	29 มีนาคม พ.ศ.2523
ที่อยู่	73/1 หมู่ที่ 3 ตำบล พิจิตร อำเภอ นาหม่อม จังหวัดสงขลา รหัสไปรษณีย์ 90310 โทรศัพท์ 074-382631
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2546 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ความชำนาญเฉพาะด้าน	อิเล็กทรอนิกส์กำลังและระบบไฟฟ้ากำลัง
ประสบการณ์ทำงาน	
พ.ศ.2546-2547	ตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า บริษัท Free Copperation จังหวัดชลบุรี
พ.ศ.2547	ตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้าควบคุมการติดตั้งระบบ Solar Home บริษัท โซลาร์ครอน จำกัด มหาชน กรุงเทพมหานคร
ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผลงานวิจัย	
พ.ศ.2550	[1] N. Sanajit and A. Jangwanitlert, "A Half-Bridge DC/DC Converter for Plasma Cutting Machine" The 7th International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS'07), 1-Nov-2007, pp. 1223-1227.
	[2] นรงค์ฤทธิ์ เสนาจิตกร และ อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ, "วงจรแปลงผันไฟฟ้าคิซีทูคิซีแบบ 3 ระดับสำหรับการประยุกต์ใช้กับเครื่องตัดโลหะด้วยล้าพลาสมา" การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30 (EECON'30) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 25-26 ตุลาคม 2550, หน้า 508-511.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้