

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

การตัดโลหะเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในวงการอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในงานอุตสาหกรรมหนักเท่านั้น งานอุตสาหกรรมขนาดย่อม หรืองานภายในครอบครัวก็มีความจำเป็นมาก เช่นกัน การตัดโลหะที่มีประสิทธิภาพยังช่วยให้งานอื่นๆ เช่น การออกแบบ ทั้งที่เป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักรเครื่องมือ และ โครงสร้างภาพแบบต่างๆ มีอิสระในการออกแบบมากยิ่งขึ้น เพราะไม่ต้องคำนึงถึงขอบเขตของรอยตัดต่างๆ ต่อไป นอกจากนี้ยังช่วยให้งานซ่อมแซม ตัดแปลงหรืองานอดิเรกอื่นๆ สำเร็จลงได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งปัจจุบันการตัดโลหะด้วยอาร์คพลาสมาเป็นที่นิยมมากขึ้นเนื่องจากมีความสะดวกรวดเร็วและงานออกมาเรียบร้อย

สำหรับเทคโนโลยีการตัดโลหะแผ่นที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน เทคโนโลยีการตัดโลหะแผ่นพัฒนาไปมาก มีกรรมวิธีการตัดให้เลือกหลายวิธี ทำให้สามารถตัดชิ้นงานด้วยความแม่นยำสูง และตัดได้หนาขึ้นกว่าเดิมมาก ในวิธีการตัดแบบต่างๆ ก็มีข้อดี ข้อด้อยต่างกัน การเลือกวิธีการตัดให้เหมาะสมกับงานจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่เหมาะสมกับความต้องการ ลดต้นทุนและเพิ่มโอกาสการแข่งขันทางการตลาดในปัจจุบัน มีงานหลายประเภทที่สามารถใช้วิธีในการผลิตชิ้นงานโดยการตัดได้ และอาจจะเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าด้วย พลาสมาคือ พลังงานความร้อนที่นำมาใช้ในการตัดโลหะ ข้อดีของพลาสมาคือ สามารถตัดงานได้หนา (ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้) และสามารถตัดได้ด้วยความเร็วสูงกว่าวิธีอื่นๆ

จากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เรื่อง เครื่องตัดโลหะด้วยระบบพลาสมาแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (PLASMA CUTTING BY DC – HIGH VOLTAGE) มีการออกแบบและใช้งานได้ตามเป้าหมาย และทดสอบในสถานะใช้งานจริง แต่ปรากฏว่าเครื่องตัดพลาสมาสามารถทำการตัดแผ่นเหล็กที่มีความหนาขนาดไม่เกิน 1.5 – 2.0 mm.

ข้อจำกัดเครื่องตัดเดิม

- 1.) ในภาระไร้งาน (No Load) แบบเดิมใช้ตัวต้านทานเป็น Dummy Load ไม่สามารถรับภาระไร้งานได้มากเพราะจำกัดกระแสตัดที่ 20 แอมป์ (ปรับปรุงโดยใช้อิเล็กทรอนิกส์โหลดแทนตัวต้านทานโหลดแบบเดิม)
- 2.) เนื่องจากแบบเดิมกระแสตัด ถูกจำกัดกระแสตัดไว้ไม่เกิน 20 แอมป์ ไม่สามารถปรับกระแสไฟฟ้า DC ให้มากกว่า 20 แอมป์ (ทำให้เสียเวลาในการตัดแผ่นโลหะที่มีขนาดหนามากกว่า 2.0 mm.)
- 3.) เนื่องจากแบบเดิมใช้เพียงแค่อะไรก็ตามควบคุมแรงดันด้วย PWM เท่านั้น (ไม่มีโหมดการควบคุมกระแสด้วย PWM จึงปรับเพิ่มกระแสตัดไม่ได้)
- 4.) เนื่องจากแบบเดิมหม้อแปลงความถี่สูง (Flyback Transformer) ถูกออกแบบมาสำหรับรับภาระงานที่กระแสตัดไม่เกิน 20 แอมป์ (ต้องออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงให้มีขนาดที่เหมาะสมกับกระแสตัดที่มากขึ้น)
 ดังนั้นใน โครงการวงจรควบคุมกระแสตัดพลาสมา (Currents Control Plasma Cutting) จะเป็นการปรับปรุงสมรรถภาพในการควบคุมกระแสตัดโลหะให้สูงขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาค้นคว้าให้เข้าใจในทฤษฎีการเกิดพลาสมา และหลักการควบคุมพลาสมาได้ถูกต้อง
2. เพื่อออกแบบและจัดสร้างวงจรควบคุมกระแสตัดพลาสมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. เครื่องตัดพลาสมาสามารถตัดโลหะหนา 4-5 mm. ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. เครื่องตัดพลาสมาใช้งานได้จริงมีความปลอดภัยและได้มาตรฐาน
5. สามารถนำงานวิจัยนี้ไปประยุกต์และพัฒนาต่อไปในอนาคตได้

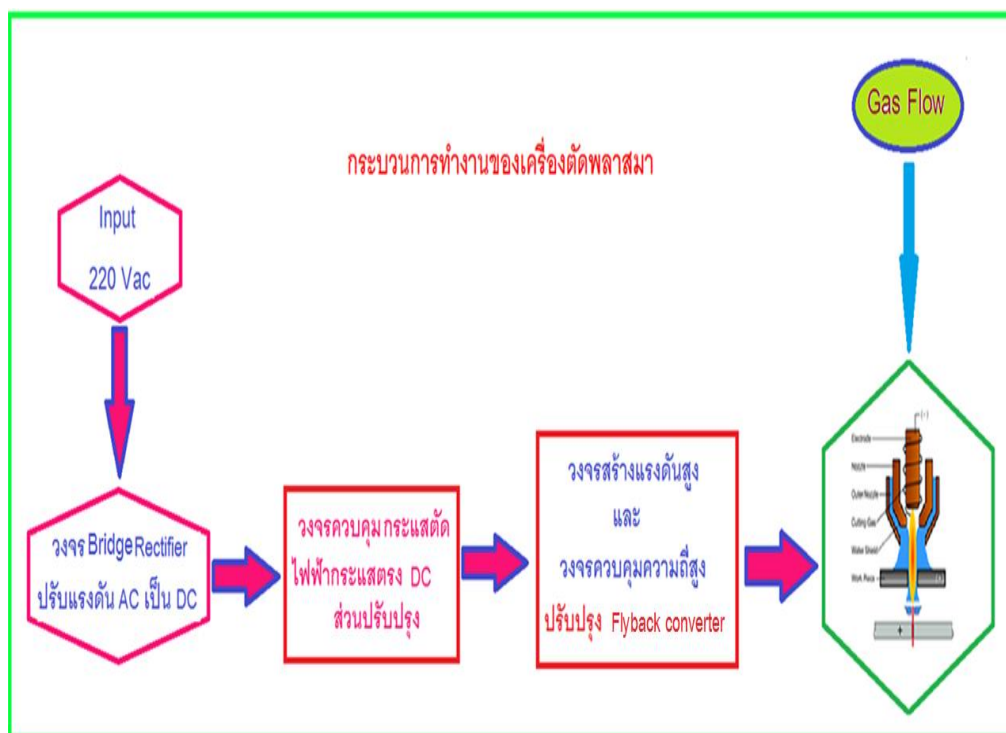
1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ออกแบบวงจรควบคุมกระแสตัด ด้วย IC เบอร์ TL494
2. สร้างวงจรควบคุมกระแสตัด ได้ประมาณ 20-30 แอมป์
3. ออกแบบวงจรควบคุมเครื่องกำเนิดสัญญาณอิมพัลส์ที่มีความถี่สูง และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพื่อควบคุมแรงดันสูงและกระแสสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4 ประโยชน์ของโครงการ

1. ศึกษาออกแบบและจัดสร้างวงจรควบคุมกระแสตัดพลาสมาได้ตามมาตรฐานที่กำหนด
2. สามารถนำความรู้ของระบบพลาสมาไปประยุกต์และพัฒนาต่อไปในอนาคต
3. ลดต้นทุนและเพิ่มโอกาสการแข่งขันทางการตลาด ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง
4. เครื่องตัดพลาสมาตัดชิ้นงานด้วยความแม่นยำสูง ตัดได้หนาขึ้น รอยตัดมีความเรียบเนียน ระยะเวลาในการตัดแผ่นเหล็กสั้นลง

1.5 กระบวนการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา



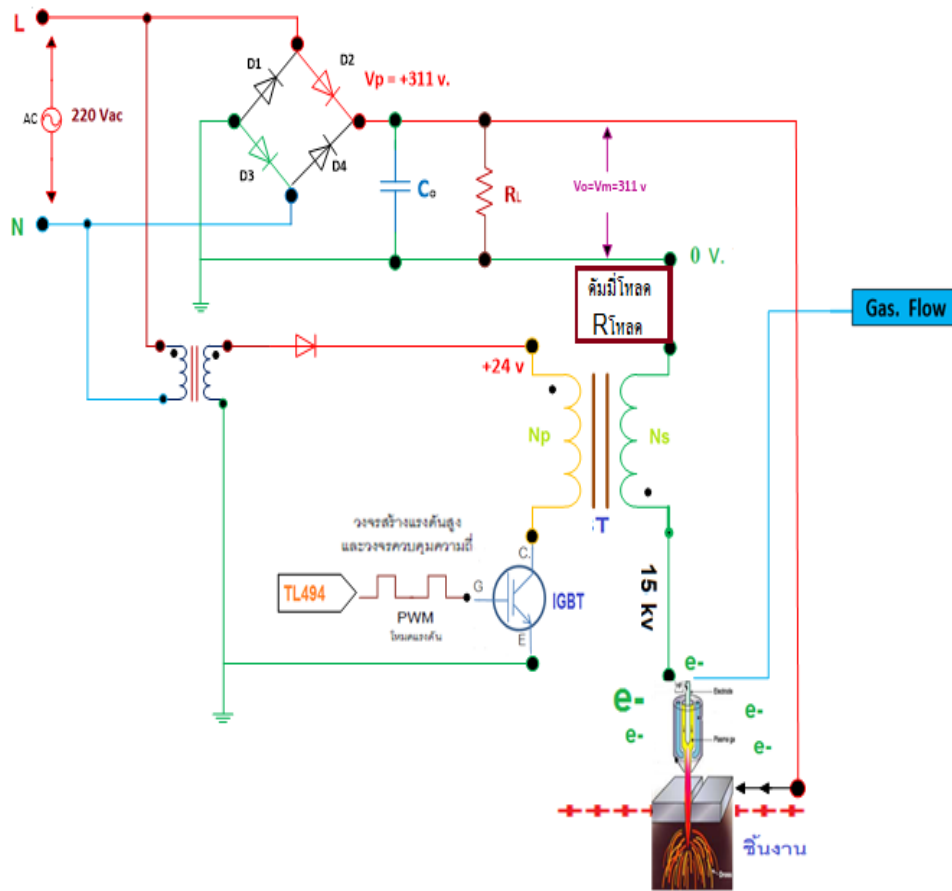
ภาพที่ 1.1 กระบวนการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา

กระบวนการทำงานของเครื่องตัดพลาสมาจากแรงดันไฟฟ้า 220 VAC ผ่านวงจร Bridge Rectifier เพื่อแปลงแรงดัน AC เป็น DC ใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังให้กับเครื่องตัดพลาสมา พิกัดกระแสตัดไม่เกิน 30 A และวงจรสร้างแรงดันสูง ความถี่สูงโดยการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง เพื่อจุดตัดอาร์คพลาสมาพุ่งตัด โลหะด้วยความร้อนสูง ความเร็วสูง ประหยัดพลังงานและมีความปลอดภัยสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมขนาดเล็กเป็นส่วนใหญ่

1.6 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

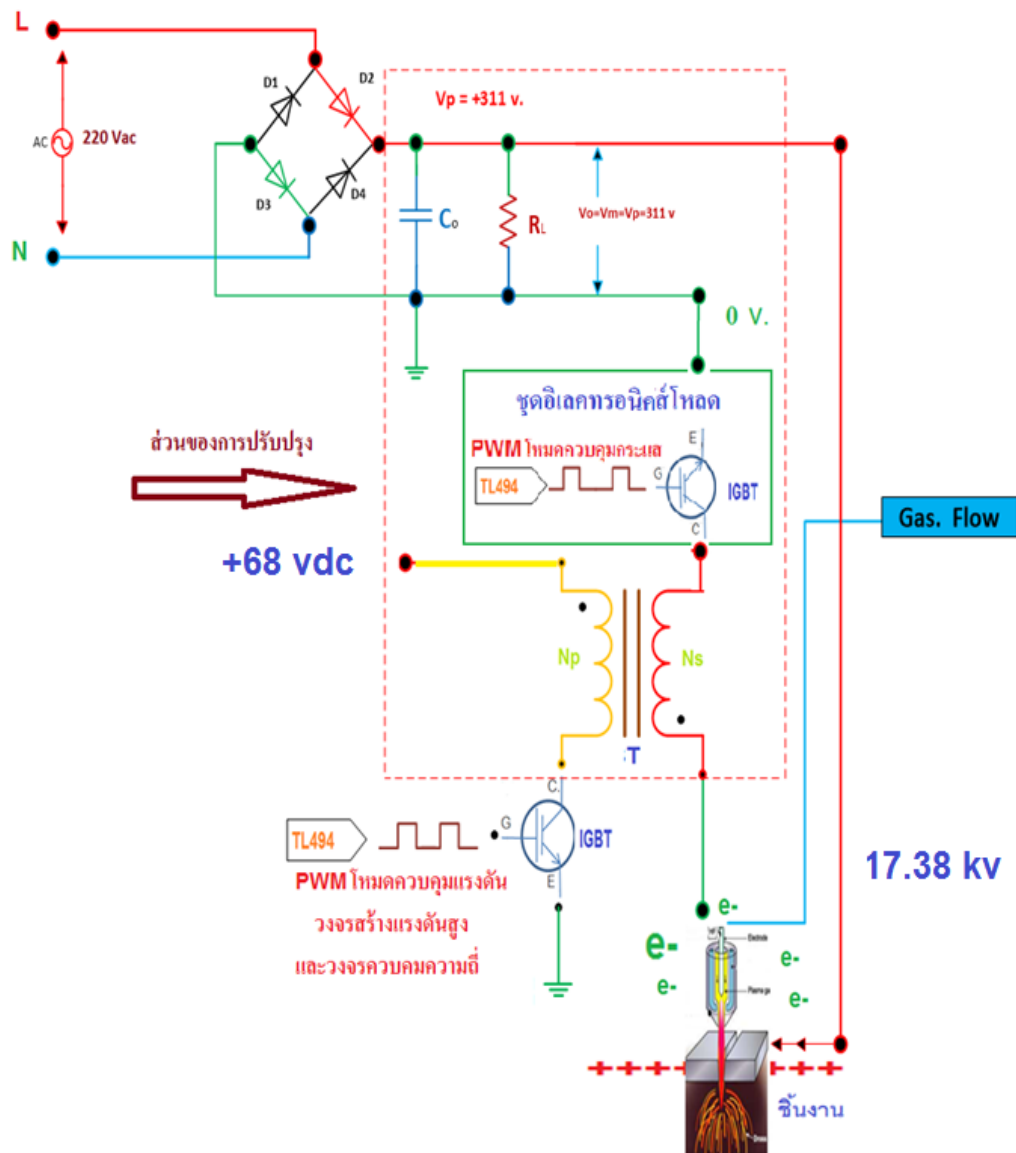
1.) ทนงศักดิ์ อุดเต็น,ปริญญา ปรศาสตร์สาน (พ.ศ.2556) “ เครื่องตัดโลหะด้วยระบบพลาสมาแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง” โดยเสนอการสร้างวงจรแปรผันไฟฟ้ากระแสสลับแบบฟลูบรีดจ์คอนเวอร์เตอร์ สำหรับเป็นแหล่งจ่ายกำลังให้เครื่องตัดพลาสมาที่พิกัดกำลัง 2 kW ตัดเหล็กหนา 2 mm. โดยใช้ความดันที่ 3 Bar ประสิทธิภาพโดยรวมขณะตัดโลหะประมาณ 95%

2.) ประวิทย์ ผิวเงิน,ธวัชชัย เสนจตุรัส,สุทธิพงษ์ ศรีแจ่ม,วีระพล ฤทธิชัย (พ.ศ.2553) “การปรับปรุงสมรรถนะเครื่องตัดพลาสมาโดยวงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์” โดยเสนอการสร้างวงจรแปรผันไฟฟ้ากระแสสลับแบบฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์สำหรับเป็นแหล่งจ่ายกำลังให้กับเครื่องตัดพลาสมา เครื่องตัดพิกัดกำลัง 2 kW ตัดเหล็กหนา 2 mm. ที่ความดัน 3.5 Bar ประสิทธิภาพขณะตัดโลหะโดยรวม 60%



ภาพที่ 1.2 วงจรสร้างเครื่องตัดพลาสมาในงานวิจัยที่ผ่านมา [1]

การสร้างเครื่องตัดโลหะด้วยระบบพลาสมาแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ปรับกระแสตัดโดยใช้หลอดความร้อนเป็นตัวต้านทานเพื่อปรับกระแสตัด ซึ่งเครื่องตัดนี้มีพิกัดกำลัง 2 kW ตัดเหล็กหนาได้สูงสุด 2 mm. ความดันมวลอากาศผ่านลำอาร์คพลาสมา 3 Bar ใช้กระแสตัดสูงสุด 20 A



ภาพที่ 1.3 วงจรสร้างเครื่องตัดพลาสมาในขอบเขตของโครงการ

วงจรสร้างเครื่องตัดพลาสมาส่วนนี้เป็นการปรับปรุงสมรรถนะการทำงานของเครื่องตัด ในส่วนของหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง (Flyback) โดยการป้อนแรงดันอินพุต 68 VDC แรงดันด้านไฮโวลต์ออกที่ 17.38 kV ความถี่ 5.5 kHz แรงดันลม 3-5 Bar มีอิเล็กทรอนิกส์ไหลตเพื่อปรับกระแส Duty Cycle ในการตัดเหล็กตามขนาดที่เหมาะสมได้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของพลาสมา

พลาสมา คือ สภาวะที่ก๊าซเกิดการแตกตัว (Ionized) ประกอบด้วย อิเล็กตรอน ไอออน และอนุภาคของก๊าซ ในสัดส่วนที่ทำให้ประจุสุทธิเป็นศูนย์ ทำให้โดยรวมแล้วพลาสมายังคงสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า คำนี้ถูกบัญญัติโดย แลมมัวร์ (Irving Langmuir) ในปี 1928 ใช้เพื่อบรรยายสภาพก๊าซที่ถูกทำให้เป็นไอออนในการดิสชาร์จด้วยไฟฟ้า (Chen, 1984) ดังนั้นจึงถือได้ว่าพลาสมาเป็นสถานะที่ 4 ของสสารเนื่องจากมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างไปจากสถานะอื่นอย่างชัดเจนหากพิจารณาช่วงเปลี่ยนสถานะของแข็ง - สถานะของเหลว - สถานะก๊าซ (Solid-Liquid-Gas) ถ้าเราเพิ่มอุณหภูมิ (คือการให้พลังงานจลน์แก่อนุภาคของก๊าซ) ให้กับก๊าซต่อไปเรื่อยๆ เช่นถึง 20,000 K เราจะได้พลาสมาของก๊าซนั้น (อุณหภูมิอาจต่ำกว่าก็ได้แล้วแต่กลไกการทำให้เป็นไอออนของก๊าซ) พลาสมามีลักษณะพิเศษที่น่าสนใจเพราะว่าแรงไฟฟ้าถือเป็นแรงชนิดไกล (Long Range Force) และอนุภาคของพลาสมาทุกตัวกระทำต่ออนุภาคซึ่งกันและกัน เรียกว่าเป็นพฤติกรรมรวม (Collective Behavior) พฤติกรรมรวมนี้หมายถึงการเคลื่อนที่ของอนุภาคในพลาสมา ไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในบริเวณนั้นๆ เท่านั้นแต่เป็นผลโดยรวมจากพลาสมาส่วนใหญ่มากกว่าจะเป็นผลพลอยจากการชนกันของอนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากอนุภาคในพลาสมาที่สถานะสมดุลจะมีการสั่นด้วยความถี่ที่สูงกว่าความถี่ในการชนกันของอนุภาค 2 ตัวที่อยู่ใกล้กันดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าพฤติกรรมรวมนี้เป็นพฤติกรรมที่กลุ่มพลาสมาแสดงออกมารวมกันพลาสมาสามารถเกิดได้โดยการให้สนามไฟฟ้าปริมาณมากแก่ก๊าซที่เป็นกลาง เมื่อพลังงานส่งผ่านไปยังอิเล็กตรอนอิสระมากพอจะทำให้อิเล็กตรอนอิสระชนกับอะตอมและทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม กระบวนการนี้ เรียกว่ากระบวนการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้จำนวนอิเล็กตรอนที่หลุดออกมานี้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมากซึ่งจะทำให้ก๊าซแตกตัวและกลายเป็นพลาสมาในที่สุด (ธีรวรรณ, 2546)

2.2 กระบวนการเกิดพลาสมา

(1) Ionization

ในการเกิดปฏิกิริยาของพลาสมาในห้องสุญญากาศ ซึ่งมีก๊าซไหลผ่านในระดับคงที่และความดันต่ำมาก ๆ โมเลกุลหรืออะตอมของก๊าซในสุญญากาศ อาศัยการชนของอิเล็กตรอนกับโมเลกุลหรืออะตอมเป็นสำคัญ โดยคลื่นวิทยุหรือคลื่นไมโครเวฟทำหน้าที่เร่งอิเล็กตรอนให้มีพลังงานจนไปชนกับโมเลกุลหรืออะตอมดังสมการที่ (2.1) ซึ่งในกรณีนี้แสดงว่าพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนนั้นมีค่ามากกว่า Ionization Energy



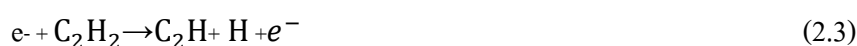
(2) Excitation

พลังงานที่ส่งผ่านเมื่ออิเล็กตรอนกระโดดไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่า ทำให้อะตอมนั้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้น ซึ่งแสดงว่าพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนมีค่าน้อยกว่า Ionization Energy ดังแสดงในสมการที่ (2.2) โดย $C_2H_2^*$ คืออะตอมของอะเซทิลีนที่อยู่ในสถานะกระตุ้น



(3) Dissociation

กระบวนการสุดท้ายที่สามารถเกิดขึ้นได้ โดยโมเลกุลเกิดการแตกตัว (Dissociation) ซึ่งโมเลกุลของอะเซทิลีนสามารถเกิดการแตกตัวดังแสดงในสมการ (2.3) – (2.7)





ผลของการแตกตัวจะเพิ่มประสิทธิภาพของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี คือ ผลผลิตที่ได้จะมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าตอนที่อะตอมยังไม่แตกตัว การแตกตัว (Dissociation) อาจเกิดควบคู่กับ Ionization หรือไม่ก็ได้ ถ้าเกิดคู่กันจะเรียกว่า Dissociative Ionization ซึ่งโมเลกุลของอะเซทิลีนสามารถเกิดการ Dissociative Ionization ได้ดังสมการ (2.8) – (2.13) (Loeth Et Al, 1995)



เมื่อก๊าซได้รับพลังงานจากคลื่นวิทยุ (RF) หรือคลื่นไมโครเวฟ ที่ความดันต่ำ เราจะมองเห็นพลาสมาที่เปล่งแสงออกมา เนื่องจากพลังงานภายนอกทำให้เวเลนซ์อิเล็กตรอนเปลี่ยนจากสถานะพื้นไปอยู่ในสถานะถูกกระตุ้นโดยธรรมชาติอิเล็กตรอนจะอยู่ในสถานะกระตุ้นได้เพียงประมาณ 10 -18 วินาที(s) (Lieberman, 1994) หลังจากนั้นเวเลนซ์อิเล็กตรอนจะกลับคืนสู่สถานะพื้นพร้อมทั้งปลดปล่อยพลังงานออกมาในภาพคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ตาสามารถเห็นได้ (Visible Light) การเปล่งแสงของพลาสมาสามารถบ่งถึงลักษณะของก๊าซที่แตกตัวได้ เช่น ก๊าซอาร์กอนจะเปล่งแสงสีม่วง อากาศและก๊าซไนโตรเจนจะเปล่งแสงเป็นสีชมพูซึ่งบ่งบอกถึงสภาวะกระตุ้นโมเลกุลของไนโตรเจน

พลาสมาที่ความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure Plasma)

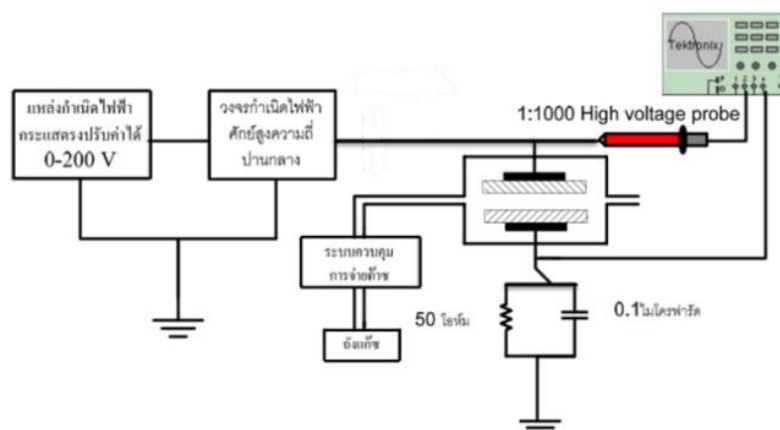
การผลิตพลาสมาในปัจจุบันยังถูกจำกัดอยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศเป็นหลักทำให้มีค่าใช้จ่ายด้านระบบสุญญากาศและการบำรุงรักษาที่สูงมาก การผลิตพลาสมาที่ความดันบรรยากาศจึงข้ามข้อจำกัดเรื่องสภาวะสุญญากาศออกไปและคาดว่าจะมีส่วนสำคัญที่ช่วยเพิ่มศักยภาพของงานระบบพลาสมาใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้มากขึ้น

ระบบผลิตพลาสมาที่ความดันบรรยากาศแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์

การสร้างพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์นั้นประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนใหญ่ๆ นั้นคือ

1. แหล่งกำเนิดไฟฟ้าสวิตช์สูงความถี่สูง

2. ห้องกำเนิดพลาสมา มีข้อได้เปรียบกว่าระบบผลิตพลาสมาทั่วไป นั่นคือ สามารถจัดพลาสมาในความดันบรรยากาศได้และไม่ต้องการปั๊มสุญญากาศซึ่งมีราคาแพง จากข้อได้เปรียบที่กล่าวมานั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี โดยหลักการเบื้องต้นของพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ที่ความดันบรรยากาศ คือใช้ความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าจุดพลาสมาโดยขั้วไฟฟ้าจะถูกกั้นหรือปิดคลุมโดยวัสดุไดอิเล็กทริกเพื่อป้องกันการอาร์คของพลาสมา ซึ่งจะทำให้วัสดุไดอิเล็กทริกถูกทำลายส่วนประกอบสำคัญของระบบผลิตพลาสมานั้นถูกแสดงใน ภาพที่ 2.1 แผนภาพแสดงองค์ประกอบแหล่งกำเนิดพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ



ภาพที่ 2.1 แผนภาพแสดงองค์ประกอบแหล่งกำเนิดพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ

ซึ่งเป็นวงจรกำเนิดไฟฟ้าสวิตช์สูงนั้นใช้หลักการสวิตช์แบบฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ซึ่งแปลงไฟกระแสตรงจากแหล่งกำเนิดไฟกระแสตรงที่ปรับค่าได้ 0-200 V ไปเป็นกระแสไฟสลับภาพคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 18 kHz โดยใช้สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ MOSFET เบอร์ IRFP460 ซึ่งรับสัญญาณสี่เหลี่ยมจาก IC TL494CN และกระแสไฟภาพคลื่นสี่เหลี่ยมนั้นจะถูกกรองด้วย วงจรตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ เพื่อลดสัญญาณที่ฮาร์โมนิกสูงๆ ก่อนที่จะถูกจ่ายเข้าสู่หม้อแปลงไฟความถี่สูง Flyback Transformer ที่มีสัดส่วนของขดลวดด้านปฐมภูมิต่อทุติยภูมิเป็น 1 ต่อ 32 เพื่อให้ได้ไฟฟ้าสวิตช์สูงซึ่งสามารถจ่ายไฟได้สูงสุดที่ 6000 Vrms อย่างไรก็ตามความต่างศักย์ที่สามารถจ่ายได้ขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซที่ใช้จุดพลาสมา ส่วนการควบคุมพลังงานของพลาสมานั้นจะควบคุมผ่านแหล่งกำเนิดไฟกระแสตรงที่ปรับค่าได้ ซึ่งส่วนนี้มีส่วนควบคุมแบบป้อนกลับและวงจรป้องกันกระแสเกิน โดยหากปรับความต่างศักย์ให้สูงขึ้นพลังงานของพลาสมาก็จะสูงขึ้นด้วย

อย่างไรก็ตามการ ควบคุมพลังงานของพลาสมายังคงไม่คงทนก็เนื่องจากการเป็นกรควบคุมที่ความต่างศักย์อีกทั้งพลาสมามีความต้านทานเชิงซ้อนที่ไม่คงที่ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านพลาสมาจึงไม่คงที่ไปด้วยจึงยังต้องมีการปรับจนความต่างศักย์เสมอ ตลอดเวลาการทำงานเพื่อให้พลังงานของพลาสมาคงที่ปัญหาส่วนนี้จะถูกแก้โดยหากมีการเพิ่มส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ เข้าไปเพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์โดยตรง ซึ่งห้องกำเนิดพลาสมาถูกออกแบบให้เป็นระบบปิด ที่ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่ภาพร่างเป็นวงกลมวอลอากาศ เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร โดยมีไดอิเล็กตริก 2 ชั้นปิดคลุมแต่ละขั้วไฟฟ้าเพื่อป้องกันการอาร์คของพลาสมาและเว้นช่องว่างตรงกลางไดอิเล็กตริกไว้ 2 มิลลิเมตร เพื่อจัดพลาสมา ห้องกำเนิดพลาสมานั้นประกอบขึ้นจากอะคริลิก เพื่อประโยชน์ในการมองเห็นและยังเป็นฉนวนไฟฟ้าอย่างดีและขั้วไฟฟ้าแต่ละขั้วจะถูกตัดกับแผ่นระบาย ความร้อนและพัดลมวอลอากาศระบายความร้อน เพื่อป้องกันขั้วไฟฟ้ามีความร้อนสะสมสูงเกินไป ซึ่งจะทำให้ไดอิเล็กตริกและวัสดุที่นำมาผ่านพลาสมาถูกทำลาย นอกจากนี้ยังมี การวัดความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้าและการถ่ายเทประจุของพลาสมาผ่าน High Voltage Probe ตัวต้านทาน 50 โอห์มและตัวเก็บประจุ 0.1 ไมโครฟารัดตามลำดับ

ปฏิกิริยาเคมีของพลาสมา (Plasma Surface Chemistry)

ในสถานะพลาสมาที่ประกอบไปด้วยอนุภาคที่พลังงานมาก เช่น ไอออน อิเล็กตรอน หรือ โปรตอน ซึ่ง สามารถถ่ายพลังงานให้กับโมเลกุลหรืออะตอมของสสารที่สัมผัสอยู่กับพลาสมาได้ ทำให้อะตอม หรือโมเลกุลของ สสารเหล่านี้หลุดออกจากตำแหน่งเดิมไปหรือทำให้พันธะระหว่างอะตอมในสสารถูกทำลาย ส่งผลให้เกิดการแตก ตัวของโมเลกุล หรือการจัดเรียงตัวของอะตอมหรือโมเลกุลใหม่เป็น โครงสร้างใหม่ เช่น การโพลิเมอร์ไรเซชัน หรือการเชื่อมกับ โมเลกุลสมบัติของวัสดุหรือสสารเหล่านี้จึงถูกปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลง ไปจากเดิม เช่น ผ้าไหม เมื่อถูกปรับสภาพด้วยพลาสมาของอาร์กอนจะสามารถซึมซับน้ำได้ดีขึ้น โครงสร้างของแป้งมันสำปะหลังที่จับแน่นกันมากขึ้นลดการดูดกลืนความชื้นช่วยยืดอายุการจำหน่ายหรือการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้น

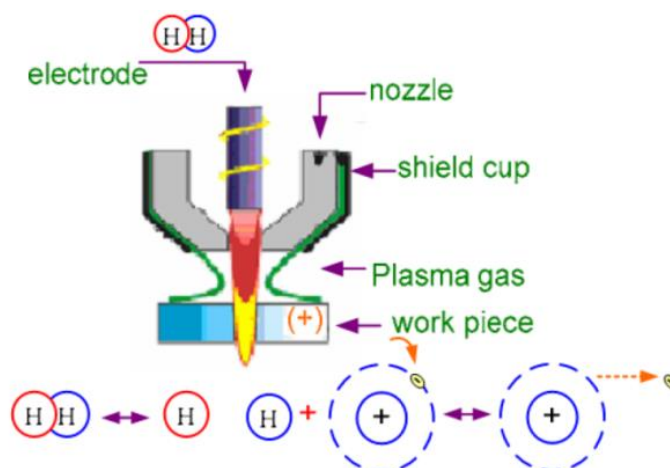
2.3 ทฤษฎีของเครื่องตัดพลาสมา [4]

การตัดโลหะเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในวงการอุตสาหกรรม ไม่เฉพาะแต่ งานอุตสาหกรรมหนักเท่านั้น งานอุตสาหกรรมขนาดย่อม หรืองานภายในครอบครัวก็มีความจำเป็นมากเช่นกัน การตัดโลหะที่มีประสิทธิภาพยังช่วยให้งานอื่นๆ เช่น การออกแบบ ทั้งที่เป็น ชิ้นส่วนของเครื่องจักรเครื่องมือ และ โครงสร้างภาพแบบต่างๆ มีอิสระในการออกแบบมากยิ่งขึ้น เพราะไม่ต้องคำนึงถึงขอบเขตของรอยตัดต่างๆ ต่อไป นอกจากนี้ยังช่วยให้งานซ่อมแซม ตัดแปลงหรืองานอดิเรกอื่นๆ สำเร็จลงได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งปัจจุบันการตัดโลหะด้วยอาร์คพลาสมาเป็นที่นิยมมากขึ้นเนื่องจากมีความสะดวกรวดเร็วและงานออกมาเรียบร้อย

2.3.1 อาร์คพลาสมา

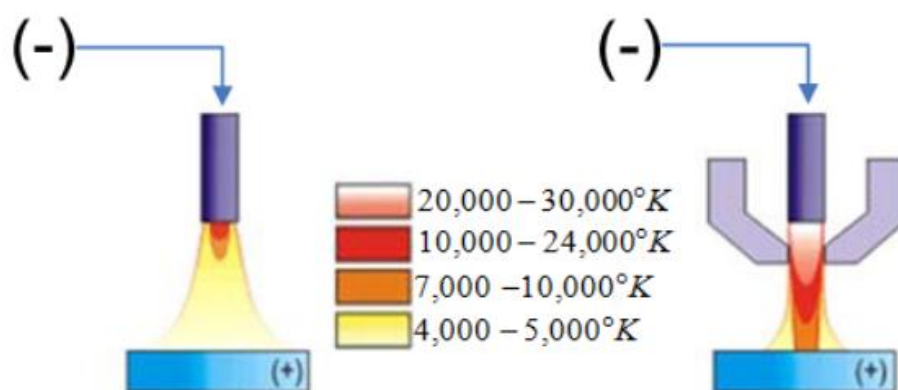
พลังงานที่เกิดจากพลาสมามีพลังงานความร้อนสูงจึงนำมาสู่การทำให้อาร์คพลาสมาเพื่อนำความร้อนที่ได้มาใช้ในการตัดโลหะ การอาร์คพลาสมาสามารถสร้างได้ โดยอาร์คด้วยไฟฟ้าเป็นการให้ความร้อนแก่ก๊าซตัวกลางและเมื่อก๊าซวิ่งผ่านอาร์คไฟฟ้า กระแสที่ผ่านทำให้ก๊าซได้รับความ

ร้อนและพลังงานเกิดการแตกตัวของโมเลกุล เกิดการไอออไนซ์กลายเป็นลำอาร์คพลาสมาในที่สุด
 ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การเกิดลำอาร์คพลาสมาเมื่อก๊าซตัวกลางวิ่งผ่านอาร์คด้วยไฟฟ้า

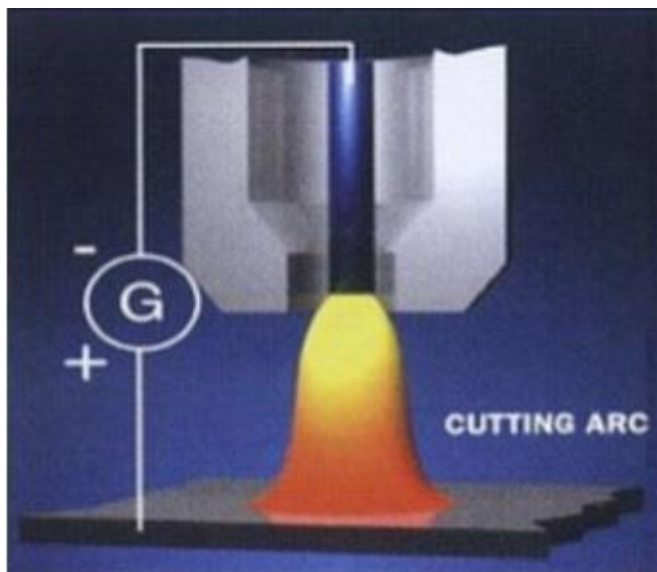
ลำอาร์คพลาสมาที่เกิดขึ้นจะมีอุณหภูมิสูงมากและอุณหภูมิในลำอาร์คพลาสมาจะขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่านอาร์คภาพร่างของลำอาร์ค รวมทั้งความเร็วของก๊าซที่ไหลผ่านลำอาร์คพลาสมาด้วย โดยที่อุณหภูมิในแกนกลางของลำอาร์คพลาสมาอาจสูงถึง 20000-30000 K และอุณหภูมিরอบนอกลำพลาสมาอาจลดลงเหลือเพียง 4000-5000 K ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ระดับอุณหภูมิของลำอาร์คพลาสมา

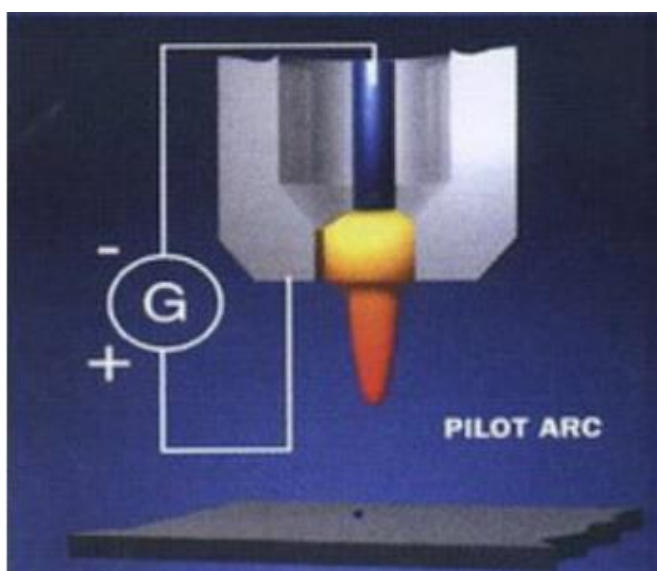
2.3.2 ระบบการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา มีระบบการทำงานหลัก 2 ชนิด

1. High Voltage Charge Without Pilot Terminal And With Pilot หลักการทำงานของเครื่องตัดพลาสมาแบบ High Voltage Charge Without Pilot Terminal อาศัยหลักการชาร์จแก๊สหรือมวลอากาศให้เปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมาด้วยแรงดันไฟฟ้าที่สูง เพื่อให้อนุภาคของแก๊สแตกตัวเป็นไอออนินต์ที่สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้หรือให้ไอออนินต์เป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้านั่นเอง โดยในช่วงเริ่มต้นเมื่อมวลอากาศหรือแก๊สผ่านหัวตัดออกไปสู่ภายนอก โดยให้ระยะที่คอนแทกที่ห่างจากชิ้นงานได้มากที่สุดไม่เกิน 0.3 มิลลิเมตร โดยที่ชิ้นงานจะต้องทำตัวเป็นขั้วบวก (หรือขั้วไฟฟ้ากระแสสลับเนื่องจากต้องการให้บริเวณชิ้นงานรับประจุลบเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ชิ้นงานมีความร้อน 70 % ต่อมาเมื่อกดสวิตช์ครั้งแรกแรงดันที่สูงระดับ 2-4 kV จะไหลผ่านคอยล์โซล็คแรงดันสูงเหนี่ยวนำมายังขั้วลบของเครื่องตัด เพื่อให้เกิดการชาร์จมวลอากาศหรือแก๊สเป็นพลาสมา นำกระแสให้ไหลผ่านครบวงจรกับชิ้นงานที่เป็นโลหะ โดยมวลอากาศที่เปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมาและมีกระแสไหลผ่านในปริมาณที่มากจะมีความร้อนสูงขนาด 3300 องศาเซลเซียสเป็นอย่างน้อย ทำหน้าที่ละลายโลหะที่แข็งให้กลายเป็นของเหลวและถูกเป่าออกไปด้วยแรงมวลอากาศจากสายตัดทำให้สามารถตัดโลหะได้ขาด การอาร์คจะถูกควบคุมให้คงที่ด้วยแรงดันขณะอาร์คประมาณ 300 โวลต์ ส่วนแก๊ปที่เอาไว้ให้แรงดันสูงกระโดดนั้นจำเป็นต้องมีไว้เพราะรักษาธรรมชาติของแรงดันที่สูง ที่มันต้องการหาช่องว่างที่เหมาะสมกับขนาดแรงดันของตัวเองเป็นทางผ่านให้ไหลครบวงจร ซึ่งมันมีความสำคัญในการเริ่มต้นอาร์ค ซึ่งระยะที่เปลี่ยนแปลงไปจะทำให้การอาร์คแปรเปลี่ยนด้วยอาจจะเริ่มต้นอาร์คช้าเกินไปหรือไม่เกิดการอาร์คขึ้นเลย ถ้าปรับระยะแก๊ปได้เหมาะสมการอาร์คจะง่ายและรุนแรง ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 CUTTING ARC

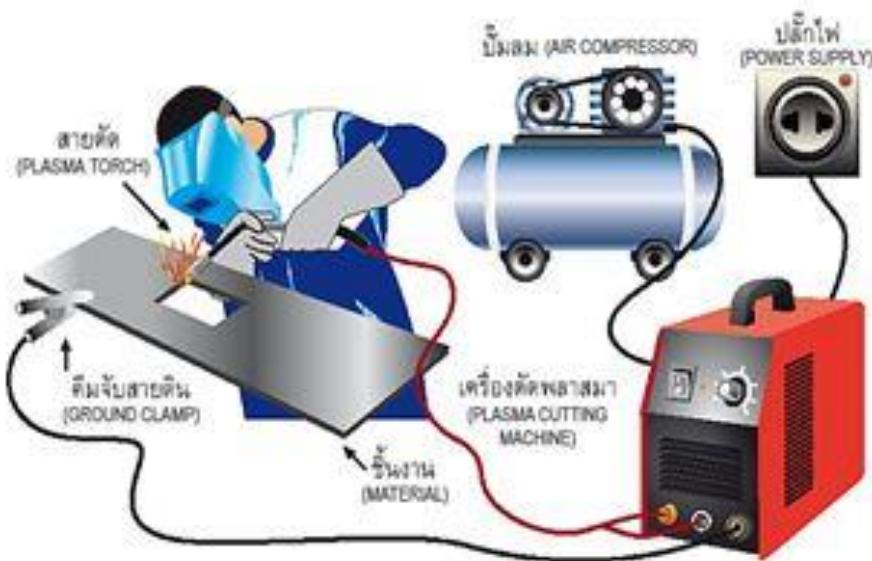
2. Pilot Arc or hot start (Tafimate) Plasma Cutting Machine Pilot Arc เป็นระบบการตัดเริ่มต้นด้วยการวางหัวตัด พลาสมา ใกล้กับชิ้นงานโลหะ เมื่อกดสวิตช์ กระแสอาร์คจะวิ่งเข้าหาชิ้นงาน โลหะนั้นทันที ด้วยระบบความถี่สูง ระบบนี้มีประโยชน์มากสำหรับการตัดชิ้นงาน โลหะที่มีสีเคลือบทับไว้หรือชิ้นงานโลหะที่เป็นสนิม ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 PILOT ARC

2.3.3 ส่วนประกอบของเครื่องตัดพลาสมา

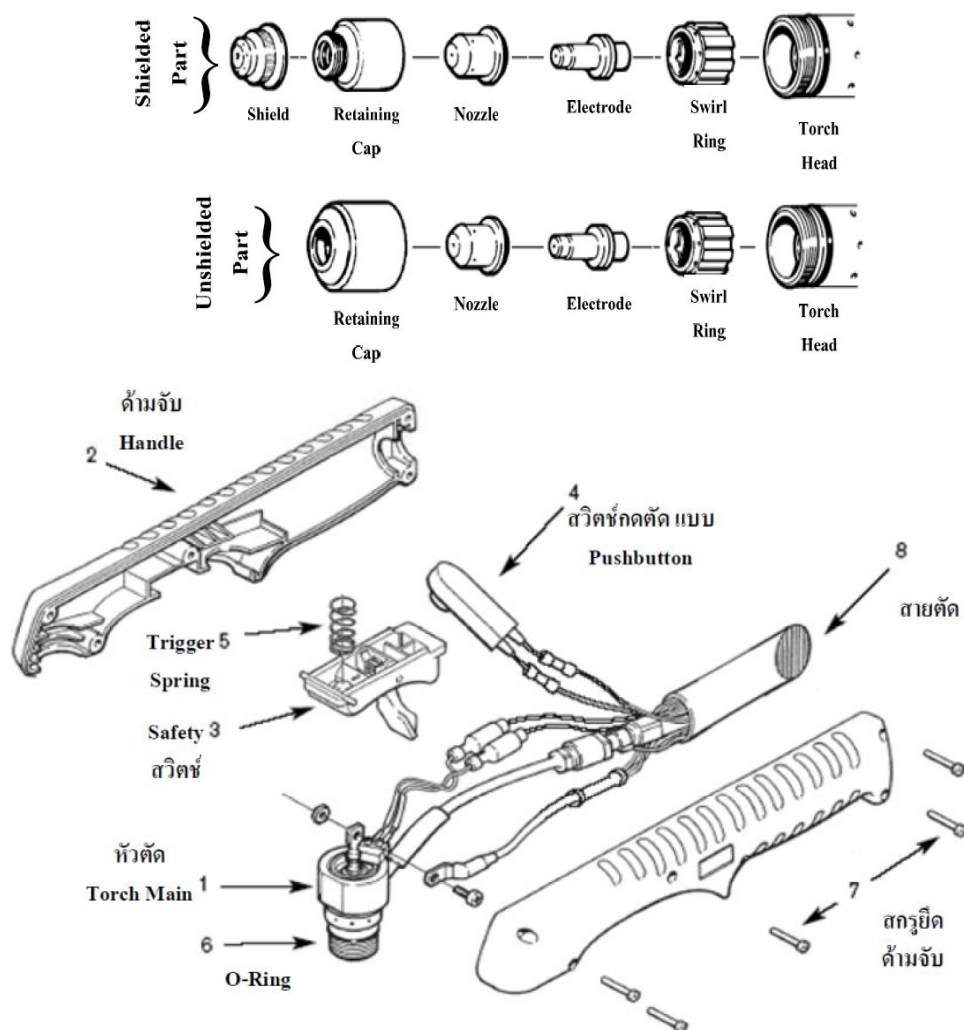
เครื่องตัดพลาสมาจะมีส่วนประกอบหลักๆ คือ ส่วนของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อเป็นแหล่งพลังงานหลักในการตัดโลหะ มีส่วนของเครื่องอัดอากาศและอีกส่วนที่สำคัญคือ ส่วนของหัวตัดพลาสมา ภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 องค์ประกอบของเครื่องตัดพลาสมา

- หัวตัดพลาสมา (Plasma-Cutting Torch Head)

หัวตัดพลาสมาที่ใช้ในการตัดโลหะต้องเลือกให้มีความเหมาะสมกับพิกัดกำลังของตัวเครื่องเนื่องจากการทำงานของหัวตัดพลาสมาแต่ละหัวจะมีพิกัดกระแสและแรงดันที่ใช้งานในการตัดที่แตกต่างกัน โดยส่วนประกอบของหัวตัดพลาสมา แสดงดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ส่วนประกอบของชุดหัวตัดพลาสมา (Torch Head)

ส่วนประกอบของหัวตัดใน ภาพที่ 2.7 สามารถแบ่งได้ 2 แบบด้วยกันคือแบบ Shielded Part และแบบ Unshielded Part โดยมีส่วนที่แตกต่างกัน คือแบบ Shielded Part จะมี Shield เพื่อป้องกัน ส่วนของ Nozzle ไม่ให้เกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อนขณะตัดโลหะ ซึ่งสามารถอธิบายหน้าที่ของแต่ละส่วนได้ดังนี้

1. Shield เป็นส่วนปลายสุดของหัวตัดเพื่อป้องกันส่วนของ Nozzle ไม่ให้เกิดความเสียหาย
2. Retaining Cap เป็นชิ้นส่วนนอกสุดของหัวตัดเพื่อจับยึดส่วนประกอบอื่นๆ กับส่วนของ Torch Head

3. Nozzle เป็นชิ้นส่วนที่ใช้บีบอาร์คพลาสมาผ่านช่องรูเล็กๆ ที่อยู่ตรงปลายของหัว Nozzle เป็นไปอย่างรวดเร็วเพื่อให้เกิดล้าอาร์คพลาสมา
4. Electrode เป็นส่วนของตัวนำไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้เกิดอาร์คไฟฟ้าหลักซึ่งเป็นส่วนที่ต่อจาก Swirl Ring
5. Swirl Ring เป็นส่วนที่ทำให้อากาศถูกบีบอัดให้ผ่านช่องรูเล็กๆ ทางด้านข้างทำให้อากาศเคลื่อนที่หมุนผ่านไปยังหัว Electrode ไปอย่างรวดเร็ว
6. Torch Head เป็นส่วนนอกสุดที่ใช้จับยึดส่วนของ Retaining Cap เพื่อยึดส่วนประกอบต่างๆ เข้าด้วยกัน

2.3.4 หลักการทำงานของเครื่องตัดพลาสมา

หลักการทำงานของหัวตัดพลาสมาจะเริ่มจากพลาสมาก๊าซไหลผ่านเข้า Swirl Ring อากาศจะถูกบีบให้ผ่านช่องรูเล็กๆ ทางด้านข้างทำให้อากาศเคลื่อนที่หมุนผ่านเป็นเกลียวไปยังหัว Electrode ในขณะที่หัว Electrode มีไฟฟ้ากระแสตรงลักรออยู่และเมื่อได้รับการกระตุ้นการเริ่มอาร์คไฟฟ้าจากชุดแรงดันสูง-ความถี่สูงก็จะทำให้อากาศรอบๆ หัว Electrode เกิดการแตกตัวพร้อมการอาร์คหลักจะเริ่มทำงานและเกิดเป็นอาร์คพลาสมาขึ้นมา หลังจากนั้นอาร์คพลาสมาดังกล่าวนี้จะไหลผ่านเข้าสู่รูเล็กๆ ที่อยู่ตรงกลางของหัว Nozzle ซึ่งทำหน้าที่บีบอัดอาร์คพลาสมาที่เกิดขึ้นให้เกิดเป็นล้าอาร์คพลาสมาที่สมบูรณ์แล้ววิ่งออกไปสู่ชิ้นงานต่อไป

จากที่ได้กล่าวมาเครื่องตัดพลาสมาสามารถตัดโลหะได้หลากหลายชนิดทั้ง อลูมิเนียม คาร์บอน สแตนเลส ทองแดง ทองเหลือง บรอนซ์ นิกเกิล อัดลอย เซอร์โคเนียม เป็นต้น ซึ่งขบวนการตัดจะแตกต่างกันไปบ้างก็ขึ้นอยู่กับความหนาของโลหะ และการเลือกใช้ขนาดของหัวตัดให้เหมาะสมกับชิ้นงาน ทั้งนี้ก๊าซตัวกลางที่นำมาเป็นส่วนของก๊าซพลาสมาที่ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับเนื้องานที่นำมาใช้ด้วย เพื่อให้การตัดชิ้นงานมีประสิทธิภาพและมีความเรียบร้อย อย่างไรก็ตามคุณภาพของชิ้นงานที่ตัดก็ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ใช้เป็นส่วนสำคัญด้วย

2.3.5 ความได้เปรียบของเครื่องตัดพลาสมา

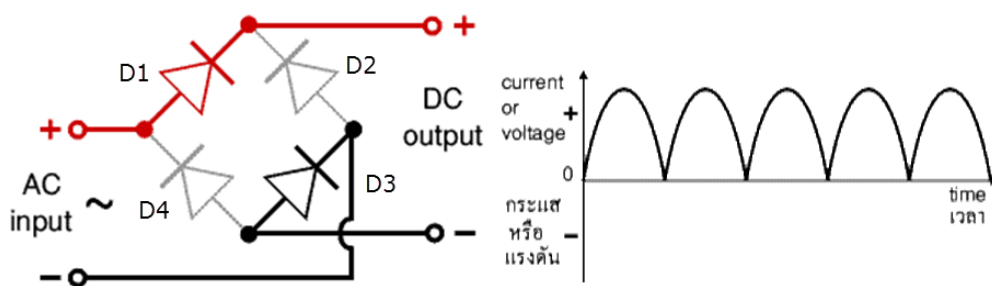
ความได้เปรียบของเครื่องตัดพลาสมาที่ใช้ในการตัดโลหะมีอยู่หลายประการ สามารถแบ่งเป็นข้อๆ ได้ ดังนี้

1. สามารถตัดชิ้นงานที่มีความเว้าโค้งหรือภาพร่างต่างๆ ได้โดยง่าย
2. สภาพรอยตัดจะมีความราบเรียบและออกมาสวยงามมีความเรียบร้อย
3. สามารถทำความเร็วในการตัดโลหะได้เนื่องจากลำอาร์คพลาสมามีความร้อนสูงมาก
4. ความร้อนที่เกิดจากการตัดโลหะจะกระจายความร้อนในวงแคบๆ
5. มีความสะดวกในการใช้งาน

ในความได้เปรียบหลายประการของเครื่องตัดพลาสมานั้นก็ยังมีข้อที่ต้องคำนึงถึงคือ เรื่องของราคาต้นทุนที่ค่อนข้างสูงจึงค่อนข้างไม่ได้รับความนิยมในภาคอุตสาหกรรมเป็นหลัก อย่างไรก็ตามในอนาคตอันใกล้นี้ การนำเทคโนโลยีการตัดโลหะด้วยอาร์คพลาสมาจะได้รับความนิยมมากยิ่งขึ้นในภาคอุตสาหกรรมครัวเรือนเช่นกันเมื่อมีการพัฒนาให้มีขนาดเล็กกะทัดรัดมีความสะดวกในการใช้งาน รวมทั้งเรื่องของราคาที่ถูกลงและมีความเหมาะสมกับการใช้งานมากยิ่งขึ้น ซึ่งปัจจุบันก็มีแนวโน้มเป็นเช่นนั้นที่ราคาของเครื่องตัด

2.4 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier)

การเรียงกระแสแบบบริดจ์สามารถใช้ไดโอดเดี่ยวสี่ตัวมาต่อกันหรือสามารถใช้ไดโอดบริดจ์แบบแพคเกจสำเร็จภาพก็ได้ เรียกว่าการเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นเพราะใช้คลื่นไฟฟ้ากระแสสลับทั้งหมด(ทั้งด้านบวกและด้านลบ) ตัวเรียงกระแสแบบบริดจ์จะเกิดแรงดันตกคร่อม 1.4V เพราะไดโอดแต่ละตัวจะตกคร่อมเท่ากับ 0.7V ขณะนำกระแส และบริดจ์มีการนำกระแสของตัวพร้อมกัน, ดังแสดงในภาพที่ 2.8 ตัวเรียงกระแสแบบบริดจ์จัดแบ่งตามกระแสสูงสุดที่สามารถผ่านได้และแรงดันกลับสูงสุดที่ทนได้ (ในการเลือกใช้งานอย่างน้อยต้องสูงเป็นสามเท่าของแรงดันแหล่งจ่าย RMS นั่นคือวงจรเรียงกระแสจะสามารถทนแรงดันขอดีได้)



ก. วงจรเรียงกระแส

ข. ภาพคลื่นวงจรเรียงกระแส

ภาพที่ 2.8 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

จากภาพที่ 2.8 (ก) การทำงานไดโอดสลับคู่กันนำกระแสเปลี่ยนกลับตลอดการต่อ ดังนั้นทิศทางสลับกันของไฟฟ้ากระแสสลับจึงถูกแปลงเป็นไฟกระแสตรงทิศทางเดียว ส่วนภาพที่ 2.8 (ข) เป็นเอาท์พุท ไฟกระแสตรงเต็มคลื่น (ใช้คลื่นไฟฟ้ากระแสสลับทั้งหมด) และสูตรการคำนวณในการคำนวณหาแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีดังสมการที่ 1.1

$$V_{DC} = (\sqrt{2} \times V_{AC}) - V_D \quad (1.1)$$

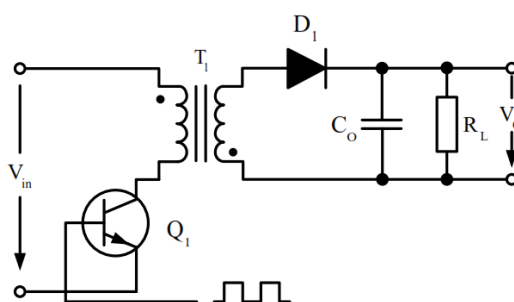
2.5 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) [2]

คอนเวอร์เตอร์นับว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดในสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย มีหน้าที่ลดทอนแรงดันไฟตรงค่าสูงลงมาเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำ และสามารถคงค่าแรงดันได้ คอนเวอร์เตอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจับวงจรภายใน โดยคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบจะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป การจะเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์แบบใดสำหรับสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายนั้นมีข้อควรพิจารณาจากลักษณะพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบดังนี้คือ

- ลักษณะการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์
- ค่าแรงดันอินพุตที่จะนำมาใช้กับคอนเวอร์เตอร์
- ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
- ค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
- การรักษาระดับแรงดันในกรณีที่คอนเวอร์เตอร์มีเอาต์พุตหลายค่าแรงดัน

-การกำเนิดสัญญาณรบกวน RFI/EMI ของคอนเวอร์เตอร์

ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานจะมีแรงดันตกคร่อมขดไปมาเท่ากับแรงดันอินพุต แต่แรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุตเท่านั้น และค่ากระแสสูงสุดที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวนั้น มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่ากระแสสูงสุดใน ฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่กำลังขาออกเท่ากัน เนื่องจากข้อจำกัดด้านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ลดน้อยลงไป กำลังงานสูงสุดที่ได้จากฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จึงมีค่าสูง ตั้งแต่ 500-1000 วัตต์ แสดงดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

จากภาพที่ 2.9 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 ในฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะทำงานในลักษณะเป็นสวิตช์ และจะนำกระแสตามคำสั่งของพัลส์สี่เหลี่ยมที่ป้อนให้ทางขาเบส เนื่องจากหม้อแปลง T_1 จะกำหนดขดไฟโพรมารี่และขดเซคันดารีให้มีลักษณะกลับเฟสกันอยู่ ดังนั้นเมื่อ Q_1 นำกระแส ไดโอด D_1 จึงอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแส จึงมีการสะสมพลังงานที่ขดไฟโพรมารี่ของหม้อแปลง T_1 แทน เมื่อ Q_1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็ก T_1 ยุบตัวทำให้เกิดการกลับชั่วแรงดันที่ขดไฟโพรมารี่และเซคันดารี D_1 ก็จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง พลังงานที่สะสมในขดไฟโพรมารี่ของหม้อแปลงก็จะถูกถ่ายเทออกไปยังขดเซคันดารี และมีกระแสไหลผ่านไดโอด D_1 ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C_o และไหลได้ ค่าของแรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่การทำงานของ Q_1 ช่วงเวลานำกระแสของ Q_1 อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลง และค่าของแรงดันที่อินพุตเมื่อวงจรทำงานอยู่ในสภาวะคงที่

2.6 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) [3]

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้สูงขึ้น หรือต่ำลงตามที่ต้องการซึ่งประกอบด้วยขดลวด 2 ขดหรือมากกว่าพันอยู่บนแกนเหล็ก ซึ่งจะมีการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าจากขดลวดหนึ่งไปสู่อีกขดลวดหนึ่งในทางสนามแม่เหล็ก ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กจะเกิดขึ้นในแกนเหล็กที่ขดลวดพันอยู่นั่นเอง ขดลวดที่ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าหรือต้นกำเนิดแรงดัน เรียกว่า ขดลวดปฐมภูมิ (Primary Winding) ส่วนอีกขดต่อเข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้า เรียกว่า ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) เมื่อป้อนพลังงานเข้าทางขดปฐมภูมิที่มีความถี่และแรงดันที่กำหนด จะได้พลังงานของขดทุติยภูมิที่มีความถี่เท่ากัน และแรงดันขนาดต่างๆ ตามที่ต้องการ ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของขดลวด ค่าความเหนี่ยวนำ ระยะห่างของขดลวดตัวนำ ถ้าแรงดันไฟฟ้าทางด้านขดทุติยภูมิมีค่าสูงกว่าขดปฐมภูมิ เรียกว่าหม้อแปลงแบบ (Step-down Transformer) หม้อแปลงไฟฟ้าสามารถใช้ได้อย่างกว้างขวางด้วยวัตถุประสงค์ต่าง ๆ กัน เช่น ในระบบสื่อสารจะใช้หม้อแปลงสำหรับปรับค่า อิมพีแดนซ์ ของวงจรสำหรับทางเข้า และทางออก เพื่อให้ได้พลังงานถ่ายทอด ระหว่างวงจรรับและวงจรส่งมากที่สุด ในระบบสายส่งพลังไฟฟ้าใช้หม้อแปลงเพื่อเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้น เพื่อลดพลังงานสูญเสียสายส่งให้น้อยที่สุด แต่เมื่อถึงปลายทางแล้ว จำเป็นต้องใช้หม้อแปลงเพื่อลดแรงดันให้ต่ำลง เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้ไฟ สำหรับหม้อแปลงที่ใช้ในเครื่องเชื่อมเป็นการเพื่อค่ากระแสไฟฟ้าให้สูง เพื่อให้เพียงพอที่จะให้ความร้อนแก่ชิ้นงานที่จะเชื่อมได้

2.6.1 ข้อสังเกตบางประการเกี่ยวกับหลักการพื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้า มีดังนี้

1. ถ้ากระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิเพิ่มขึ้นด้วยและถ้ากระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิลดลงก็จะทำให้กระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิลดลงด้วยเช่นเดียวกันดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นทางด้านทุติยภูมิ มีความถี่เท่ากับไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านปฐมภูมิ

2. แม้ขดลวดทั้งสองของหม้อแปลงไฟฟ้าจะแยกออกจากกัน แต่พลังงานจากด้านปฐมภูมิสามารถที่จะส่งผ่านไปยังด้านทุติยภูมิได้ ทั้งนี้เนื่องจากพลังงาน ไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิได้เปลี่ยนไป

เป็นพลังงานแม่เหล็ก ส่วนทางด้านฟิสิกส์จะเปลี่ยนกลับจากพลังงานแม่เหล็ก ให้เป็นพลังงานไฟฟ้านั่นเอง

2.7 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) เป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการปรับความถี่ของเครื่องรับวิทยุและโทรทัศน์โดยอาศัยหลักการของลวดทองแดง นำมาขดหลาย ๆ รอบที่เรียกว่าคอย (Coil) แล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไป เพื่อให้แสดงคุณสมบัติของตัวเหนี่ยวนำ โครงสร้างประกอบด้วยขดลวด (Coil) พันรอบแกน (Core) ซึ่งแกนนี้อาจจะเป็นแกนอากาศ แกนเหล็ก หรือแกนเฟอร์ไรท์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของการเหนี่ยวนำไฟฟ้า ตัวเหนี่ยวนำชนิดต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 ตัวเหนี่ยวนำชนิดต่างๆ

สัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำเขียนได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับแกนที่ใช้ ภาพที่ 2.11 ก. แสดงสัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำแบบแกนอากาศ มีลักษณะเป็นขดลวดและมีขาต่อใช้งานสองขา ภาพ ข. แสดงสัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำแบบที่ใช้แกนเหล็ก มีลักษณะเป็นขดลวดมีขาต่อใช้งาน และมีเส้นตรงอยู่ด้านบนขดลวด 2 เส้น ภาพ ค. แสดงสัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำแบบที่ใช้แกนเฟอร์ไรท์ มีลักษณะเป็นขดลวดมีขาต่อใช้งาน และมีเส้นประอยู่ด้านบนขดลวด 2 เส้น ภาพ ง. แสดง

สัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำแบบปรับค่าได้ มีลักษณะคล้ายกับแบบที่ใช้แกนเฟอร์ไรท์ แต่ต่างกันตรงที่มีลูกศรพาดหมายถึงสามารถปรับค่าได้



ก. แกนอากาศ

ข. แกนเหล็ก

ค. แกนเฟอร์ไรท์

ง. ปรับค่าได้

ภาพที่ 2.11 แสดงสัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำแบบต่างๆ

2.7.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความเหนี่ยวนำ

ค่าความเหนี่ยวนำจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตัวแปร 4 ประการคือ

1. จำนวนรอบของขดลวดเขียนแทนด้วยอักษร N ถ้าจำนวนรอบของขดลวดมีปริมาณมากก็จะทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำมากขึ้นตามไปด้วย ค่าความเหนี่ยวนำจะแปรผันตรงกับจำนวนรอบของขดลวด
2. วัสดุที่นำมาทำเป็นแกน เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ μ วัสดุที่นำมาทำเป็นแกนมีหลายชนิดเช่น อากาศ, เหล็ก, เฟอร์ไรท์, โคลบอล ฯลฯ เป็นต้น แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติในการเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็ก ที่เรียกว่าความซึมซาบ (Permeability) แตกต่างกัน ในกรณีที่มีความซึมซาบมากก็จะทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำมาก ค่าความเหนี่ยวนำจะแปรผันตรงกับความซึมซาบของแกน
3. พื้นที่หน้าตัดของแกน เขียนแทนด้วยอักษร A ถ้าพื้นที่ของแกนมีปริมาณมาก ก็จะทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำมากขึ้นตามไปด้วย ค่าความเหนี่ยวนำจะแปรผันตรงกับพื้นที่ของแกน
4. ความยาวของแกน เขียนแทนด้วยอักษร l ถ้าความยาวของแกนมีปริมาณมากก็จะทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำน้อย ค่าความเหนี่ยวนำจะแปรผกผันกับความยาวของแกน

2.8 เครื่องอัดอากาศ

ปัจจุบันได้มีการนำเอาเครื่องอัดอากาศมาใช้ในงานประเภทต่าง ๆ มากมายเนื่องจากว่าอากาศอัดเป็นพลังงานที่มีความสะอาด ปลอดภัย และสะดวกต่อการใช้งาน ดังนั้นการเลือกใช้งานเครื่องอัดอากาศให้ได้ประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์อย่างสูงสุดจึงเป็นสิ่งสำคัญมาก สำหรับการเลือกประเภทของเครื่องอัดอากาศโดยทั่ว ๆ ไป เครื่องอัดอากาศ ที่มีขนาด 10 แรงม้าหรือมีขนาดน้อยกว่า อาทิ เครื่องอัดอากาศขนาด 5 แรงม้า อาจผลิตอากาศอัดได้น้อยกว่า 24 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (CFM) ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องอัดอากาศเราอาจจะเลือกปริมาณอากาศอัดที่เราต้องการใช้ในการพิจารณา มากกว่าการพิจารณาเลือกขนาดจากแรงม้าของเครื่องอัดอากาศและต้องทราบข้อมูลพื้นฐานดังต่อไปนี้

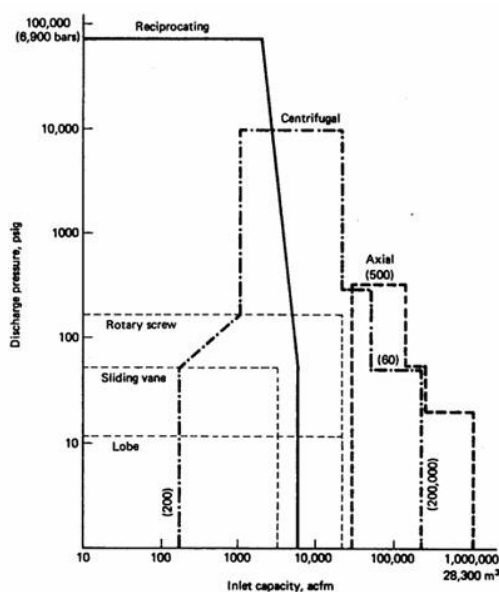
1. ปริมาตรอากาศจริงที่ถูกดูดป้อนเข้าสู่เครื่องอัดอากาศ
2. ความดันอากาศอัดที่ต้องการ
3. ภาระงานที่ใช้
4. เครื่องต้นกำลัง

- ปริมาตรอากาศอัด (Air Volume) ขนาดของเครื่องอัดอากาศจะบอกขนาดเป็นแรงม้า (Horsepower) โดยทั่วไปเครื่องอัดอากาศขนาดหนึ่งแรงม้าจะผลิตอากาศอัดได้ 4 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (CFM) ดังนั้นเครื่องอัดอากาศขนาด 20 แรงม้าในทางทฤษฎีแล้วจึงควรผลิตอากาศอัดได้ 80 CFM แต่ในทางปฏิบัติแล้วอาจจะไม่ใช่ดังที่กล่าวข้างต้นเสมอไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องอัดอากาศ ที่มีขนาด 10 แรงม้าหรือมีขนาดน้อยกว่า อาทิ เครื่องอัดอากาศขนาด 5 แรงม้า อาจผลิตอากาศอัดได้น้อยกว่า 2 CFM ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องอัดอากาศเราอาจจะเลือกปริมาณอากาศอัดที่เราต้องการใช้ในการพิจารณา มากกว่าการพิจารณาเลือกขนาดจากแรงม้าของเครื่องอัดอากาศ

- ความดันอากาศอัดที่ต้องการ (Air Pressure) ความดันอากาศอัดคือความดันของอากาศอัดที่เครื่องอัดอากาศสามารถผลิตได้ โดยทั่วไปเครื่องอัดอากาศขั้นตอนเดียว (Single Stage) จะผลิตอากาศอัดให้ได้ความดันสูงสุดประมาณ 95 - 125 psi ถ้าต้องการอากาศอัดที่มีความดันสูงกว่านี้ก็จะต้องเลือกใช้เครื่องอัดอากาศหลายขั้นตอน

- ภาระงานที่ใช้ (Duty Cycle) ภาระงานที่ใช้จะเป็นเปอร์เซ็นต์ของระยะเวลาในการทำงาน 10 นาที ว่าเครื่องอัดอากาศจะทำงานได้ ถ้าเครื่องอัดอากาศมีภาระงานที่ใช้ 50/50 และใช้เวลาในการทำงาน 10 นาที ดังนั้นเครื่องอัดอากาศจะต้องใช้เวลาในการเดินเครื่อง 5 นาที และหยุดพัก 5 นาที ถ้าภาระงานที่ใช้มีค่าสูงขึ้น เครื่องอัดอากาศจะต้องทำงานด้วยระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น โดยไม่มีการหยุดพักการ

- เครื่องต้นกำลัง (Power Source) เครื่องต้นกำลังที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นมอเตอร์ต้นกำลัง ซึ่งมีทั้งใช้กระแสไฟ 1 เฟส และ 3 เฟส ที่ขนาดกำลังงานเท่ากับมอเตอร์ที่ใช้กระแสไฟ 1 เฟส จะมีขนาดใหญ่กว่ามอเตอร์ 3 เฟส ซึ่งจะมีผลต่อการติดตั้งเข้ากับเครื่องอัดอากาศ และมอเตอร์ที่ใช้กระแสไฟ 3 เฟส จะให้กำลังงานสูงกว่ามอเตอร์ 1 เฟส แต่กระแสไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านเรือนจะเป็นกระแสไฟ 1 เฟส แสดงดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 แผนผังการเลือกเครื่องอัดอากาศประเภทต่าง ๆ

จากภาพที่ 2.12 แสดงแผนผังสำหรับการเลือกเครื่องอัดอากาศ โดยที่แกนในแนวนอนเป็นแกนของปริมาณอากาศจริงที่ถูกป้อนเข้าสู่เครื่องอัดอากาศ มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที และแกนในแนวตั้ง เป็นแกนของความดันของอากาศอัดที่ต้องการ มีหน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว แผนผังดังกล่าวใช้สำหรับการพิจารณาเลือกเครื่องอัดอากาศประเภทต่าง ๆ ดังนี้

- แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Air Compressors)
- แบบเลื่อนชัก หรือแบบลูกสูบ (Reciprocating Air Compressors)
- แบบอากาศไหลตามแนวแกน (Axial Air Compressors)
- แบบโรตารี (Rotary Air Compressors)

เมื่อเราทราบค่าปริมาณอากาศจริงที่ถูกป้อนเข้าสู่เครื่องอัดอากาศ และค่าความดันของอากาศอัดที่ต้องการแล้วจึงนำค่าดังกล่าวมาเทียบในแผนผังและพิจารณาว่าอยู่ในช่วงของเครื่องอัดอากาศแบบใดเราก็จะสามารถเลือกเครื่องอัดอากาศอากาศได้อย่างคร่าว ๆ แต่เพื่อให้การเลือกเครื่องอัดอากาศมีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้นเราอาจพิจารณารายละเอียดประกอบในหัวข้อต่อไปนี้

1. ค่าใช้จ่ายสำหรับกำลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องอัดอากาศ กรณีแหล่งต้นกำลังเป็นมอเตอร์ค่าใช้จ่ายก็จะเป็นค่ากระแสไฟฟ้า แต่ถ้าแหล่งต้นกำลังเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายใน ค่าใช้จ่ายก็จะเป็นค่าน้ำมันเชื้อเพลิง

2. ราคาเครื่องอัดอากาศเครื่องอัดอากาศแต่ละแบบจะมีราคาสูง-ต่ำ แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตว่าจะใช้วัสดุและวิธีการผลิตแบบใดและยังขึ้นอยู่กับกลไกของตลาดอีกด้วย

3. ระยะเวลาการใช้งานต่อวันเครื่องอัดอากาศแต่ละแบบจะถูกออกแบบมาสำหรับการใช้งานหนัก-เบา ไม่เท่ากัน อาทิ การใช้งานชั่วคราว การใช้งานอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาหรือการใช้งานเป็นช่วง ๆ เป็นต้น

4. จำนวน สเตจหรือจำนวนชั้นของเครื่องอัดอากาศที่อัดอากาศให้มีค่าความดันตั้งแต่ 80 psig ควรจะมีจำนวน สเตจตั้งแต่ 2 สเตจขึ้นไป การใช้เครื่องอัดอากาศจำนวน 2 สเตจ ก็เพื่ออัดอากาศให้ได้ความดันตั้งแต่ 100 –200 Psi จะทำให้เครื่องอัดอากาศมีอุณหภูมิต่ำเพียง 37 - 65°C เท่านั้น ซึ่งจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าการใช้เครื่องอัดอากาศเพียงสเตจเดียวและจะมีผลต่ออายุการใช้งานของเครื่องอัดอากาศอีกด้วย นั่นคือจะทำให้เครื่องอัดอากาศมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

5. พื้นที่สำหรับการติดตั้งจะต้องมีภาพร่างและขนาดเพียงพอสำหรับการติดตั้ง และภายหลังจากการติดตั้งแล้ว ยังคงมีพื้นที่ว่างเหลือโดยรอบตัวเครื่องอัดอากาศอย่างน้อย 1 เมตร เพื่อการซ่อมแซมบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศได้อย่างสะดวก ถ้าเป็นเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่จะต้องมีพื้นที่เพียงพอต่อการโยกย้ายเครื่องอัดอากาศและอาจจะต้องเผื่อพื้นที่สำหรับการติดตั้งเครนเพิ่มเติมในพื้นที่ดังกล่าวอีกด้วย

6. พื้นฐานรากรองรับเครื่องอัดอากาศ ติดตั้งเครื่องอัดอากาศ จะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักและแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ในขณะที่เครื่องอัดอากาศทำงานได้ กรณีที่เป็นเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่ พื้นฐานรากจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอและเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กมีเนื้อยึดยึดโผล่ขึ้นมาเหนือพื้นคอนกรีตเพื่อใช้ในการยึดฐานเครื่องอัดอากาศกับพื้นฐานรากเข้าด้วยกัน

7. น้ำมันหล่อลื่นที่ปนมากับอากาศอัด การอัดอากาศด้วยเครื่องอัดอากาศแบบโรตารี หรือชนิดที่ต้องมีระบบหล่อลื่นจะมีน้ำมันหล่อลื่นปะปนมากับอากาศอัดอยู่ด้วยเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเครื่องอัดอากาศมีการสึกหรอสูง จึงทำให้น้ำมันหล่อลื่นปะปนมากับอากาศอัด ดังนั้นจึงไม่เหมาะในการที่จะใช้เครื่องอัดอากาศแบบดังกล่าวกับงานที่ต้องการคุณภาพของอากาศอัดที่สะอาดเพียงพอและปราศจากสิ่งเจือปนใด ๆ

8. ค่าใช้จ่ายสำหรับการหล่อลื่นเครื่องอัดอากาศ ทั้งนี้เครื่องอัดอากาศแต่ละแบบจะสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นเพื่อการหล่อลื่นชิ้นส่วนภายในด้วยปริมาณที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับลักษณะการออกแบบและการทำงานของชิ้นส่วนภายในของเครื่องอัดอากาศ ทำให้คุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นเสื่อมสภาพด้วยระยะเวลาที่แตกต่างกันด้วย

9. การติดตั้งภายนอกอาคาร การติดตั้งเครื่องอัดอากาศภายนอกอาคาร จะต้องพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมเกี่ยวกับการก่อสร้างอาคารสำหรับกันแดดและฝนให้กับเครื่องอัดอากาศด้วย

10. การระบายอากาศในพื้นที่ติดตั้ง เนื่องจากอากาศที่จะถูกดูดป้อนเข้าสู่เครื่องอัดอากาศ จะต้องมีคุณภาพที่ดีเพียงพอ คือมีฝุ่นละอองและความชื้นเจือปนมากับอากาศให้น้อยที่สุด ดังนั้นพื้นที่บริเวณดังกล่าวจะต้องมีการหมุนเวียนและการระบายอากาศดีเพียงพอ

11. ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและบำรุงรักษา เครื่องอัดอากาศเมื่อถูกใช้งานไปแล้วก็จะเกิดการสึกหรอเป็นธรรมดา ซึ่งจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและบำรุงรักษา ซึ่งเครื่องอัดอากาศแต่ละแบบจะมีความยากง่ายในการซ่อมแซมและบำรุงรักษาแตกต่างกันออกไป และราคาค่าใช้จ่ายของชิ้นส่วนอะไหล่ก็แตกต่างกันไปอีกด้วย

12. ความดังของเสียงเครื่องอัดอากาศในขณะที่ทำงานจะก่อให้เกิดเสียงดัง โดยเฉพาะเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบการดูดอากาศจะมีลักษณะเป็นห้วง ๆ (Pulsation) ไม่ต่อเนื่องกันทำให้ค่าความ

คันจุดใดจุดหนึ่งในท่อคูเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดเวลา ถ้าหากท่อคูมีความยาวมาก ๆ จะก่อให้เกิดการสะท้อนของเสียงกลับไปมาเนื่องจากอากาศอัดภายในระบบท่อคู ทำให้ปริมาณอากาศที่ถูกดูดเข้ามามีปริมาณไม่คงที่เกิดเสียงดังและเกิดความเค้นต่อท่อคูอาจทำให้ท่อคูชำรุดเสียหายได้ อาจแก้ไขได้ด้วยการติดตั้งอุปกรณ์เก็บเสียงทางด้านท่อคู ซึ่งจะช่วยลดการไหลของอากาศเป็นห้วง ๆ ลงทำให้การไหลของอากาศเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

บทที่ 3

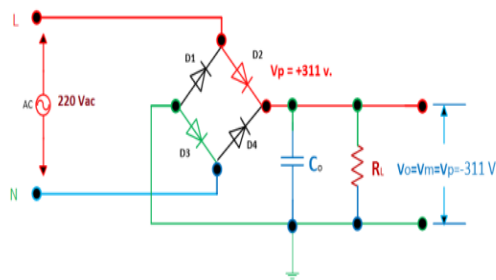
การออกแบบเครื่องตัดพลาสมา

การออกแบบเครื่องตัดพลาสมา จำเป็นต้องมีการออกแบบวงจรเรียงกระแสเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง การออกแบบวงจรเรียงกระแสจะต้องหาค่าคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสมและสามารถทนแรงดันตามที่เรากำหนดได้ และทำการจำลองการสร้าง PWM ด้วยไอซีเบอร์ TL494 เพื่อออกแบบวงจรขับหม้อแปลงไฮโวลต์ ก่อนที่จะนำไปสร้างเครื่องตัดพลาสมา โครงสร้างของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบพัลส์นำหลักการของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้ามาทำการประยุกต์ใช้งานและนำเทคนิคการสวิตชิงแบบพัลส์เบรียดิว (Pulse Width Modulation; PWM) มาใช้สำหรับควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตชิง ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (High Frequency Transformer) เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกระแสตรงแรงสูงแบบพัลส์ขนาด 8 กิโลโวลต์

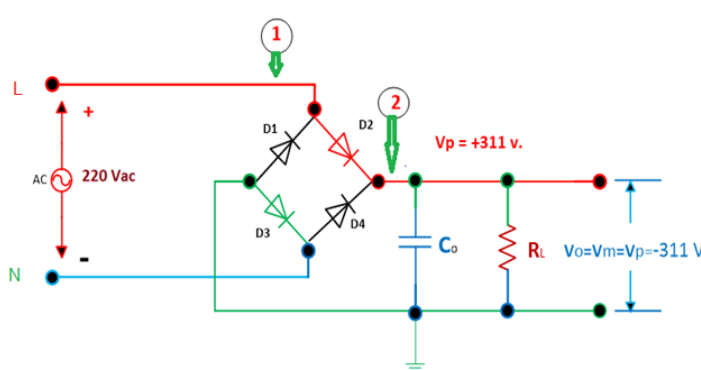
3.1 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟตรงภาคกำลัง

3.1.1 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier Circuit)

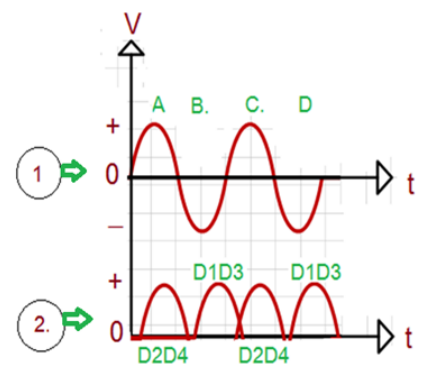
ในการออกแบบเรียงกระแส เราใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave) เพื่อทำการแปลงกระแสไฟสลับเป็นกระแสไฟตรง ดังภาพที่ 3.1 โดยได้มีการออกแบบให้เหมาะสมกับโครงการนี้ที่พิกัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอินพุต 220 โวลต์ 50 Hz 1 Phase เมื่อผ่านวงจรกรอง (Smoothing) ได้แรงดันเอาต์พุต 311 โวลต์ดีซี ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.1 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

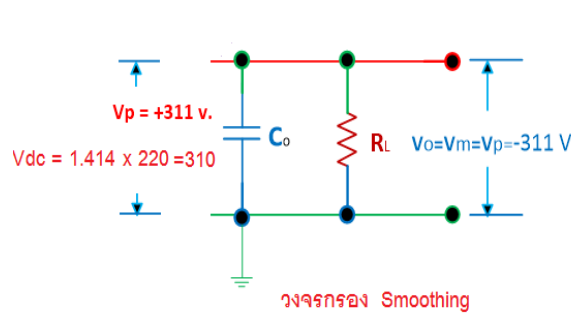


ก. วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

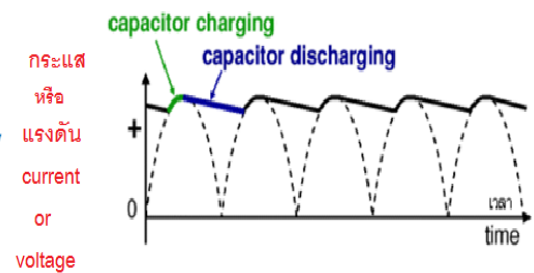


ข. รูปคลื่นแรงดันและกระแส

ภาพที่ 3.2 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ของวงจรไฟฟ้า



ก. วงจรกรอง



ข. รูปคลื่นและแรงดันหลังการกรอง

ภาพที่ 3.3 วงจรกรองความถี่สูง

3.1.2 วงจรกรอง (Smoothing)

การกรองเกิดขึ้นโดยการต่ออิเล็กทรอนิกส์ คาปาซิเตอร์ ค่าสูงคร่อมไฟกระแสตรง ทำหน้าที่เหมือนบ่อเก็บน้ำ ป้อนกระแสเอาท์พุท เมื่อแรงดันกระแสสลับจากวงจรกรอง (Smoothing) กระแสตกลง ดังภาพที่ 3.3 แสดงให้เห็นไฟกระแสตรงที่ยังไม่กรอง (เส้นประ) และไฟกระแสตรงที่กรองแล้ว (เส้นทึบ) คาปาซิเตอร์ประจุเร็วที่ใกล้ยอดของไฟกระแสตรงและคายประจุป้อนกระแสให้อาท์พุท การกรองทำให้แรงดันกระแสเพิ่มขึ้นถึงค่ายอด $V_p = \sqrt{2} \times V_s$ เมื่อถูกเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นจะได้ไฟกระแสตรง $V_{DC} = (\sqrt{2} \times V_s) - (2 \times V_D)$ จะสูญเสียแรงดันตกคร่อมที่ไดโอดบริดจ์เรียงกระแสแบบเต็มคลื่น $2V_D = 1.4 \text{ V}$ จะได้สมการแรงดัน

$$V_M = \sqrt{2} \times V_s = \sqrt{2} \times 220 = 311 \text{ V} \quad (3.1)$$

$$V_{DC(AV)} = (\sqrt{2} \times 220) - (2 \times 0.7) = 310 \text{ V} \quad (3.2)$$

เมื่อผ่านวงจรกรองแรงดันกระแสเพิ่มขึ้นถึงค่ายอด

$$V_p = \sqrt{2} \times 220 = 311.127 \text{ V} \quad (3.3)$$

$$\text{สรุปดังนั้น} \quad V_o = V_M = V_p = \sqrt{2} \times 220 = 311.127 \text{ V} \quad \# \quad (3.4)$$

3.1.3 คำนวณหาพิคคของไดโอดในวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

$$V_{DC(AV)} = \frac{2V_M}{\pi} = 0.636 V_M \quad (3.5)$$

$$I_{DC} = \frac{2I_M}{\pi} = 0.636 I_M \quad (3.6)$$

$$V_{rms} = \frac{V_M}{\sqrt{2}} = 0.707 V_M \quad (3.7)$$

$$I_{rms} = \frac{I_M}{\sqrt{2}} \quad (3.8)$$

- แรงดันย้อนกลับ (Peak Inverse Voltage – PIV)

PIV เป็นค่าแรงดันย้อนกลับสูงสุดที่ตกคร่อมไดโอดขณะที่ได้รับไบอัสกลับ ไดโอดที่ใช้จะต้องมีแรงดันทลาย (Breakdown) สูงกว่า PIV

$$\begin{aligned}
 \text{PIV ของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น} &= V_M \\
 \text{PIV ของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นมีเซนเตอร์แทป} &= 2V_M \\
 \text{PIV ของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นแบบบริดจ์} &= V_M
 \end{aligned}$$

- ตัวประกอบค่าระลอก (Ripple Factor)

เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสมีทั้งองค์ประกอบไฟตรงและองค์ประกอบไฟสลับค่าของไฟตรงหมายถึง ค่าเฉลี่ย ค่าไฟสลับเป็นเสมือนระลอกคลื่นที่แปรขึ้นลงรอบๆ ค่าเฉลี่ยนี้อัตราส่วนของค่าไฟสลับต่อไฟตรงเรียกว่า ตัวประกอบค่าระลอก ดังภาพที่ 3.4 และมีนิยามดังนี้

$$\text{ตัวประกอบค่าระลอก (r)} = \frac{V_{r,rms}}{V_{DC}} = \frac{I_{r,rms}}{I_{DC}} \quad (3.9)$$

$$V_{r,rms} = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{DC}^2} \quad (3.10)$$

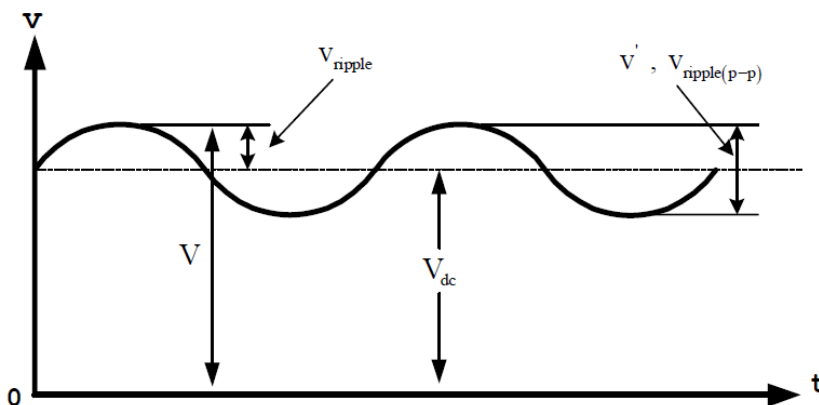
$$V_{r,rms} = \sqrt{(0.707 V_M)^2 - (0.636 V_M)^2}$$

$$V_{r,rms} = \sqrt{(220)^2 - (198)^2}$$

$$V_{r,rms} = 95.856$$

$$r = \frac{\sqrt{V_{rms}^2 - V_{DC}^2}}{V_{DC}} \quad (3.11)$$

$$\text{หรือ} \quad r = \frac{\sqrt{I_{rms}^2 - I_{dc}^2}}{I_{dc}} \quad (3.12)$$



ภาพที่ 3.4 ตัวประกอบค่าระลอก (Ripple Factor)

หมายเหตุ :

- $I_{r(rms)}, V_{r(rms)}$ หมายถึง ค่ายังผลขององค์ประกอบไฟสลับเท่านั้น
- $I'_{r(rms)}, V'_{r(rms)}$ หมายถึงค่ายังผลของสัญญาณออก (รวมไฟตรงและไฟสลับ) ให้
 $V_{ripple(p-p)}$ แรงดันระลอก
- $V_{DC(AV)}$ เป็นค่าเฉลี่ยและ V_{ripple} เป็นองค์ประกอบไฟกระแสสลับ

ตัวประกอบค่าระลอก (r) วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

$$r = \frac{\sqrt{\left(\frac{V_M}{\sqrt{2}}\right)^2 - \left(\frac{2V_M}{\pi}\right)^2}}{\left(\frac{2V_M}{\pi}\right)} \quad (3.13)$$

$$r = \frac{\sqrt{(0.707 V_M)^2 - (0.636 V_M)^2}}{(0.636 V_M)}$$

$$r = \frac{\sqrt{(220)^2 - (198)^2}}{(198)}$$

$$r = 0.484 \approx 48\%$$

ในการใช้งานจริงจำเป็นต้องลดองค์ประกอบไฟสลับให้น้อยลงโดยใช้วงจรกรองกระแสช่วยการกรองไม่เรียบสมบูรณ์เพราะแรงดันของตัวเก็บประจุตกเล็กน้อยตอนคลายประจุ จึงเกิดแรงดันพริ้ว (Ripple) เล็กน้อย สำหรับวงจรโดยส่วนมากแหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันพริ้ว 10% ก็ใช้ได้แล้ว

3.1.4 วงจรกรองสัญญาณ

วงจรกรองสัญญาณ (Filter) ทำหน้าที่กรองสัญญาณที่ได้จากวงจรเรียงกระแสให้เป็นเส้นตรงที่ราบเรียบมากที่สุด กล่าวคือทำให้แรงดันเอาต์พุตมีแรงดันกระเพื่อม (Ripple Voltage, V_r) น้อยที่สุดในการที่จะลดการกระเพื่อม จะต้องทำการลดส่วนของกระแสสลับลงมา โดยวงจรกรองที่ต้องใช้จะอยู่ในภาพของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน [Low pass filter: LPF] ซึ่งความถี่ของไฟตรงคือที่ Hz วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านจะปล่อยให้ไฟตรงผ่านไป และจะลดทอนส่วนของกระแสสลับทั้งหมด ที่ความถี่มากกว่า 0 Hz

ในการสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านสามารถทำได้โดยการใช้ตัวเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกับความต้านทานโหลด RL (Series Inductors)

เนื่องจากความถี่ของไฟสลับในระบบไฟฟ้ามีค่าต่ำที่ 50/60 Hz ในการใช้ตัวเหนี่ยวนำ กับวงจรจ่ายไฟบ้านซึ่งใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมักจะใช้กระแสไม่มาก ($I < 5A$) จะต้องใช้ค่าความเหนี่ยวนำที่สูง โดยมีลวดพันที่มีจำนวนมาก ซึ่งทำให้ตัวเหนี่ยวนำนี้มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก และราคาแพงกว่าตัวเก็บประจุ ดังนั้นในวงจรจ่ายไฟที่ใช้สำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปจะนิยมการใช้ตัวเก็บประจุมากกว่าการใช้ตัวเหนี่ยวนำ โดยบทนี้เราจะทำการวิเคราะห์เฉพาะตัวเก็บประจุเพื่อใช้ในวงจรกรองลดแรงดันกระเพื่อม อย่างไรก็ตามในวงจรจ่ายไฟที่ทำงานที่ความถี่สูง เช่นในวงจรจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซิง ที่ความถี่มากกว่า 20 kHz หรือวงจรที่ใช้กระแสสูงๆ การใช้ตัวเหนี่ยวนำอาจจะเหมาะสมกว่า

วงจรกรองเพื่อลดแรงดันกระเพื่อมโดยใช้ตัวเก็บประจุ

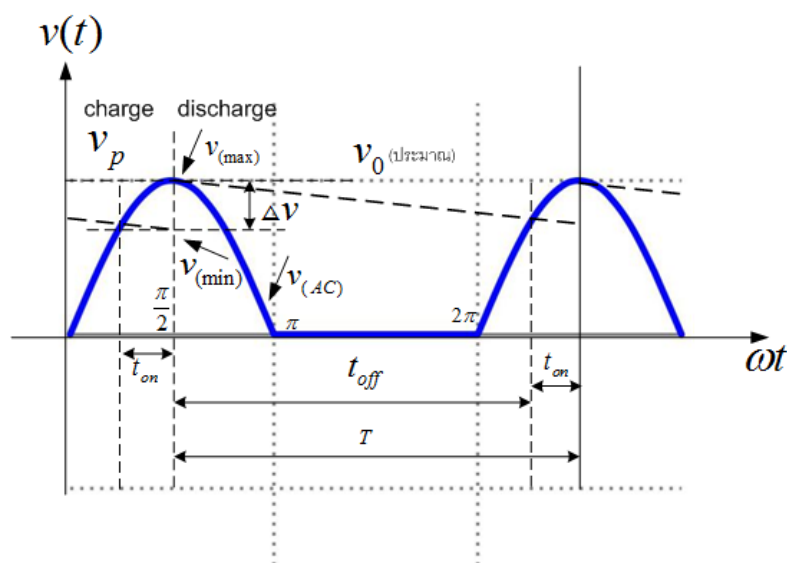
ด้วยเหตุที่พัลส์เซตติงคิซีที่ได้จากวงจรเรกติไฟร์นั้น เป็นค่าแรงดันเฉลี่ยหรือแรงดันคิซีก็ตาม แต่ก็ยังไม่สามารถที่จะนำไปใช้งานได้ เนื่องจากแรงดันที่ได้ยังคงมีลักษณะเป็นคลื่นอยู่ ซึ่งมีผลต่อการทำงานในวงจรขยาย เพราะจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการได้ ดังนั้นเมื่อนำไปใช้งาน

จะต้องนำเอาพัลส์เซตังดีชีไปทำการกรองกระแสและแรงดันให้เรียบเสียก่อน โดยใช้วงจรฟิลเตอร์ อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรฟิลเตอร์ที่นิยมมากที่สุดคือ ตัวเก็บประจุซึ่งเรียกว่าตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ (Capacitor Filter) ในลักษณะของเมนเวลา (Time Domain)

หลักการทำงานของวงจรกรองลดการกระเพื่อม คือ ในขณะที่ไดโอดนำกระแส ตัวเก็บประจุหรือตัวเหนี่ยวนำ จะสะสมพลังงานไว้ เมื่อไดโอดหยุดนำกระแสตัวเก็บประจุก็จะคายพลังงานออกมาให้กับ RL ทำให้ RL ได้รับพลังงานอย่างต่อเนื่อง

การคำนวณขนาดของแรงดันกระเพื่อมโดยประมาณ

วิธีการคำนวณโดยประมาณต่อไปนี้เป็นวิธีการคำนวณที่ง่ายและเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป ซึ่ง จะทำการแทนเส้นโค้งของการอัดประจุ $[\omega t \rightarrow \frac{\pi}{2}]$ และการคายประจุที่ $[\frac{\pi}{2} \rightarrow 2\pi + \omega t_1]$ ด้วยเส้นตรงดังในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 แสดงการประมาณค่าแรงดันกระเพื่อมของวงจร Half Wave

จากการที่ได้ประมาณการคายประจุของตัวเก็บประจุ C เป็นเส้นตรง แล้วตัวเก็บประจุจะคายประจุด้วยกระแสคงที่ I_0 ซึ่งกระแส I_0 นี้คือ กระแสที่ไหลผ่านโหลดความต้านทาน R_L หรือกระแสที่วงจรจ่ายไฟไปให้ RL ที่ช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุ C คายประจุคือ $[T - t_{on}]$ เมื่อ T คือคาบเวลาของไฟสลับและ $[t_{on}]$ คือช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุจากไดโอดดั่งนั้นจำนวนประจุที่ตัวเก็บประจุคายออกมาคือ

$$Q = I[T - t] \quad \text{Coulomb} \quad (3.14)$$

ในวงจรทั่วไปเราอาจจะประมาณได้ว่า $T \gg t_{on}$ ดังนั้นจากสมการที่ (1) ประมาณได้ดังนี้

$$Q_{Dis} = I_o[T] \quad \text{Coulomb} \quad (3.15)$$

ที่ในช่วงเวลาตัวเก็บประจุ C จะถูกประจุให้มีค่าแรงดันเพิ่มขึ้นจาก V_{min} เป็น

V_{max} แรงดันที่ตัวเก็บประจุ C ได้รับคือ ดังนั้นถ้าตัวเก็บประจุ C มีค่าความจุเท่ากับ C ทำให้จำนวนประจุที่ตัวเก็บประจุ C ได้รับคือ

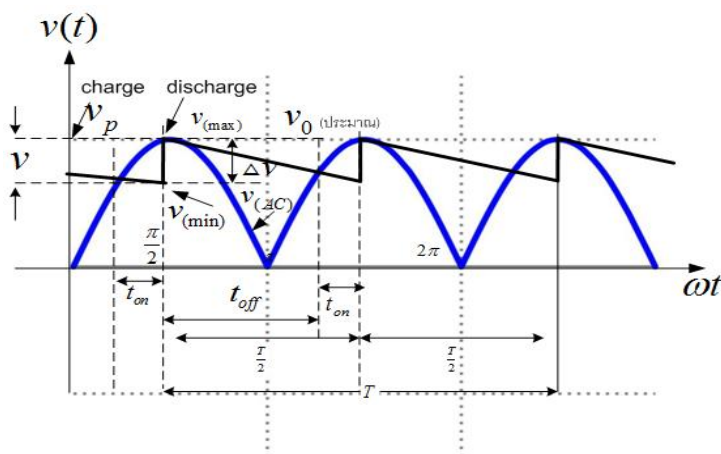
$$Q_{CH} = C\Delta V \quad \text{Coulomb} \quad (3.16)$$

ที่ในช่วง 1 คาบ Period Time ของไฟสลับ จำนวนประจุที่ตัวเก็บประจุถูกประจุ จะต้องมามีค่าเท่ากับจำนวนประจุที่คายออกไป ดังนั้นที่วงจร Half wave

$$C\Delta V = I_o T \quad \text{Coulomb} \quad (3.17)$$

การประมาณค่าแรงดันกระเพื่อมของวงจร Full Wave ทั้งแบบ FWCT และ FWB จะเป็นดังภาพที่

3.6



ภาพที่ 3.6 แสดงการประมาณค่าแรงดันกระเพื่อมของวงจรเต็มคลื่น Full Wave

สำหรับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น พบว่าช่วงเวลาการซ้ำจะเป็น $T/2$ เมื่อคาบเวลา T คือคาบเวลาของไฟสลับ ในทำนองเดียวกับวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น จะได้

$$C\Delta V = \frac{I_o T}{2} \quad \text{Coulomb} \quad (3.18)$$

โดยการแทนค่า $T=1/F_{line}$ ทำให้ผลของสมการในวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น และแบบเต็มคลื่นที่สมการดังนี้

$$C\Delta V = \frac{I_o}{F_{line}} \quad \text{Coulomb} \quad (3.19)$$

$$C\Delta V = \frac{I_o}{2F_{line}} \quad \text{Coulomb} \quad (3.20)$$

ในที่นี้ความถี่ของริปเปิล Ripple frequency ของทั้ง Half Wave และ Full Wave

$$F_R(HW) = F_{line}$$

$$F_R(FW) = 2F_{line}$$

ดังนั้นสมการของค่าจำนวนประจุทั้งหมดของทั้ง Half Wave และ Full Wave

$$C\Delta V = \frac{I_o}{F_R} \quad \text{Coulomb} \quad (3.21)$$

สมการดังกล่าวนี้เป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงดันกระเพื่อม กับค่าของความจุของตัวเก็บประจุ C โดยประมาณทั้ง Half Wave และ Full Wave จึงมีประโยชน์ในการปฏิบัติ และการออกแบบวิเคราะห์

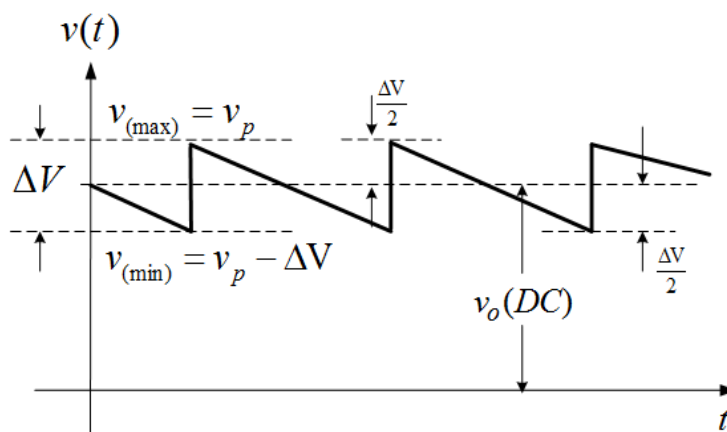
โดยที่ C คือ ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็น ฟาร์ด :F

I_o คือค่ากระแสเฉลี่ยที่จ่ายให้กับโหลด หน่วยเป็นแอมป์แปร์ : A

DV หรือ V_r คือขนาดของแรงดันกระเพื่อม มีหน่วยเป็นโวลต์ จากยอดถึงยอด (V_{pp})

F_R คือความถี่ของการกระเพื่อม หน่วยเป็น เฮิรตซ์ Hz : ซึ่งมีค่าเท่ากับ F_{line} สำหรับ HW

และ $2 F_{line}$ สำหรับ FW



ภาพที่ 3.7 แสดงการคำนวณหาค่า $V_o(DC)$

จากภาพ ดังกล่าวจะได้ค่าเฉลี่ยของแรงดัน V_o หรือค่าไฟตรงของ V_o จะมีค่าเป็น

$$V_o(av) = V_o(DC) = V_o(max) - \frac{[V_o(max) - V_o(min)]}{2} \quad (3.22)$$

ซึ่ง $V_o(max)$ คือค่า V_p และ $V_o(max) - V_o(min)$ คือค่าของแรงดันกระเพื่อม ซึ่งค่าของแรงดันไฟเฉลี่ยเป็นดังนี้

$$V_o(DC) = V_p - \frac{\Delta V}{2} \quad (3.23)$$

โดยที่ V_p คือค่าสูงสุดของ $v_o(t)$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ

$$V_p = \sqrt{2} \times V_{ac} - V_F(diode) \quad (3.24)$$

หรือ

$$V_o(DC) = \sqrt{2} \times V_{ac} - V_F(diode) - \frac{\Delta V}{2} \quad (3.25)$$

V_p (Diode) คือ ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอดในสภาวะแรงดันไบอัสตรง ซึ่งจะมีค่าประมาณ

$$V_F(Diode) \approx 0.7V \text{ สำหรับ } HW \text{ และ } FWCT$$

$$V_F(Diode) \approx 1.4V \text{ สำหรับ } HW \text{ และ } FWCT$$

3.1.5 การออกแบบหาค่าคาปาซิเตอร์ [1]

จากการคำนวณวงจรเรียงกระแส แรงดันที่ได้จากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นยังมีระลอกคลื่นปนอยู่ปริมาณสูง ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในทันที จะต้องนำแรงดันนี้ไปผ่านวงจรกรองก่อนที่จะนำไปใช้งาน วงจรกรองแบบที่ง่ายและนิยมที่สุดก็คือ วงจรกรองแบบใช้ตัวเก็บประจุ โดยใช้ตัวเก็บประจุ C ต่อขนานกับตัวต้านทานโหลด R_L ตัวเก็บประจุ C จะทำหน้าที่เก็บประจุ ไว้ในช่วงเวลาไดโอดนำกระแสและทำหน้าที่คายประจุผ่านตัวต้านทานโหลดในช่วงเวลาที่ไดโอดไม่นำกระแสการทำงานของวงจรกรองจะทำการกรองแรงดันไฟตรงที่ยังไม่เรียบให้มีความราบเรียบยิ่งขึ้น

- การคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุกำลัง

$$\text{จากสูตร} \quad V_r = \frac{I_L}{f_r C_x} \quad (3.15)$$

$$I_L = \text{กระแสสูงสุดของโหลด}$$

$$f_r = \text{ความถี่ของแรงดันรีปเปิ้ล}$$

$$V_r = \text{แรงดันรีปเปิ้ล}$$

โดยการออกแบบจริงใช้กระแส I_L กำหนดค่าเท่ากับ 30 A กำหนดให้ค่าความถี่ f_r มีค่าเท่ากับ 100 Hz และกำหนดให้ค่าแรงดัน V_r มีค่าเท่ากับ 2% ของแรงดัน $V_p = 311 V$ ดังนั้น สามารถออกแบบค่าคาปาซิเตอร์ได้จากสมการ

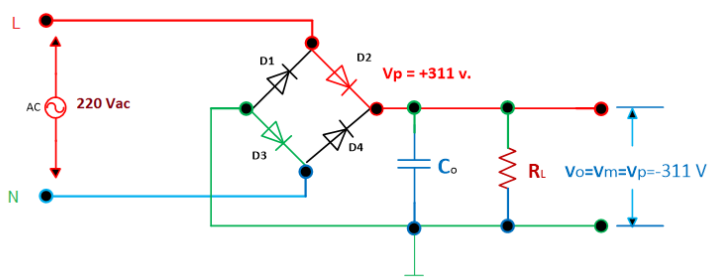
$$V_r = 311 \times 0.02 = 6.22 \text{ } V_{p-p}$$

$$C_x = \frac{I_L}{V_r \times f_r} \quad (3.16)$$

$$C_X = \frac{30}{6.22 \times 100}$$

$$C_X = 48231.5 \mu\text{F}$$

ดังนั้น ในการใช้งานจริงจึงเลือกใช้คาปาซิเตอร์ขนาด 56,000 μF ทนแรงดันได้ 12,000 V #



ภาพที่ 3.8 วงจรเรียงกระแส 1 เฟส พร้อมตัวเก็บประจุกำลัง

3.2 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง

หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงหรือหม้อแปลงฟลายแบ็ค ทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ และเพิ่มระดับแรงดัน (Step-Up Transformer) แสดงดังภาพที่ 3.6 (ก) ภาพที่ 3.6 (ข)

หม้อแปลง Flyback พิกัดหม้อแปลง $V_{in} = 68 \text{ V}$, $V_{out} = 13 \text{ kV}$, $f = 5.5 \text{ kHz}$ ใช้แกนชนิด C-Core ประกอบกันดังนั้นพื้นที่หน้าตัดแกน $A_e = 17.55 \text{ cm}^2$, $B_{max} = 3000 \text{ G}$

คำนวณขดลวดด้านปฐมภูมิ N_p

$$N_s = \frac{V_p \times 10^8}{4fB_{max}A_e} \quad (3.17)$$

$$N_p = \frac{68 \times 10^8}{4(5,500)(3000)(17.55)}$$

$$N_p = 5.87 \text{ รอบ (เพื่อความเหมาะสมเลือกพื้นที่ 6 รอบ) \#}$$

$$(\text{แรงดันต่อรอบ } V/\text{turn} = \frac{68}{6} = 13.33 \text{ v/รอบ})$$

คำนวณขดลวดด้านทุติยภูมิ N_s

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} \quad (3.18)$$

$$N_s = N_p \times \frac{V_s}{V_p} \quad (3.19)$$

$$N_s = 6 \times \left(\frac{17,000}{68} \right)$$

$$N_s = 1,500 \text{ รอบ } \#$$

หากระแสด้านปฐมภูมิ I_p

$$I_p = \frac{P_{out}}{V_{in} \delta_{max}} \quad (3.20)$$

$$I_p = \frac{26}{68(0.106)}$$

$$I_p = 3.60 \text{ A } \#$$

หากระแสด้านทุติยภูมิ I_s

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{E_p}{E_s} \quad (3.21)$$

$$I_s = \frac{E_p}{E_s} \times I_p$$

$$I_s = \left(\frac{68}{17,000} \right) \times 3.60$$

$$I_s = 0.0144 \text{ A } \#$$

หาขนาดลวดด้านปฐมภูมิ

$$C.M. = \gamma \times I_P$$

$$\text{ขนาดเส้นลวด} = \text{ความหนาแน่นกระแส} \times \text{กระแส} \quad (3.22)$$

$$C.M. = (400) \times (3.60)$$

$$C.M. = 1440 \text{ Circular mils}$$

เลือกใช้ลวด AWG เบอร์ 20 (จำนวน 12 เส้น) (MaxAmps $1.5 \times 12 = 18 \text{ A}$) = 1,024 Circular mils

หาขนาดลวดด้านทุติยภูมิ

$$C.M. = \gamma \times I_S$$

$$\text{ขนาดเส้นลวด} = \text{ความหนาแน่นกระแส} \times \text{กระแส}$$

$$C.M. = (400) \times (0.0144)$$

$$C.M. = 5.76 \text{ Circular mils.}$$

เลือกใช้ลวด AWG เบอร์ 20 (จำนวน 3 เส้น) (MaxAmps $11 \times 3 = 33 \text{ A}$) = 1,024 Circular mils

3.3 การออกแบบอิเล็กทรอนิกส์โหลด

โดยพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จาก Dummy Load หรือขดลวดความร้อนทั้งสแตนเลสเป็นตัวกำหนดค่าความต้านทานที่ยอมให้กระแสตัดไหลผ่านได้ตามกำหนด ดังนั้นการออกแบบอิเล็กทรอนิกส์โหลดโดยเลือกวัสดุอุปกรณ์ที่เหมาะสมดังนี้

1. IGBT (Insulate Gate Bipolar Transistor) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานในด้านเพาเวอร์กำลังหรือเพาเวอร์คอนโทรล

- เลือกขนาดทนแรงดัน 1200 V ; ทนกระแส 21 A จำนวน 4 ตัว
- ออกแบบใช้งานที่ 50% ดังนั้นจำกัดกระแส 10.5 A
- ออกแบบใช้งานที่ 50% เพื่อลดภาระการรับกระแสตัด ของ IGBT จึงต่อขนานกัน 4 ตัว

กระแสรวม 42 A

- IGBT สูญเสียพลังงานความร้อนน้อยกว่า dummy load

2. Resister เลือกขนาด 40 Ω , 50 W (หาซื้อได้ตามท้องตลาด) จำนวน 4 ตัว (dummy load มีค่า 38 Ω)

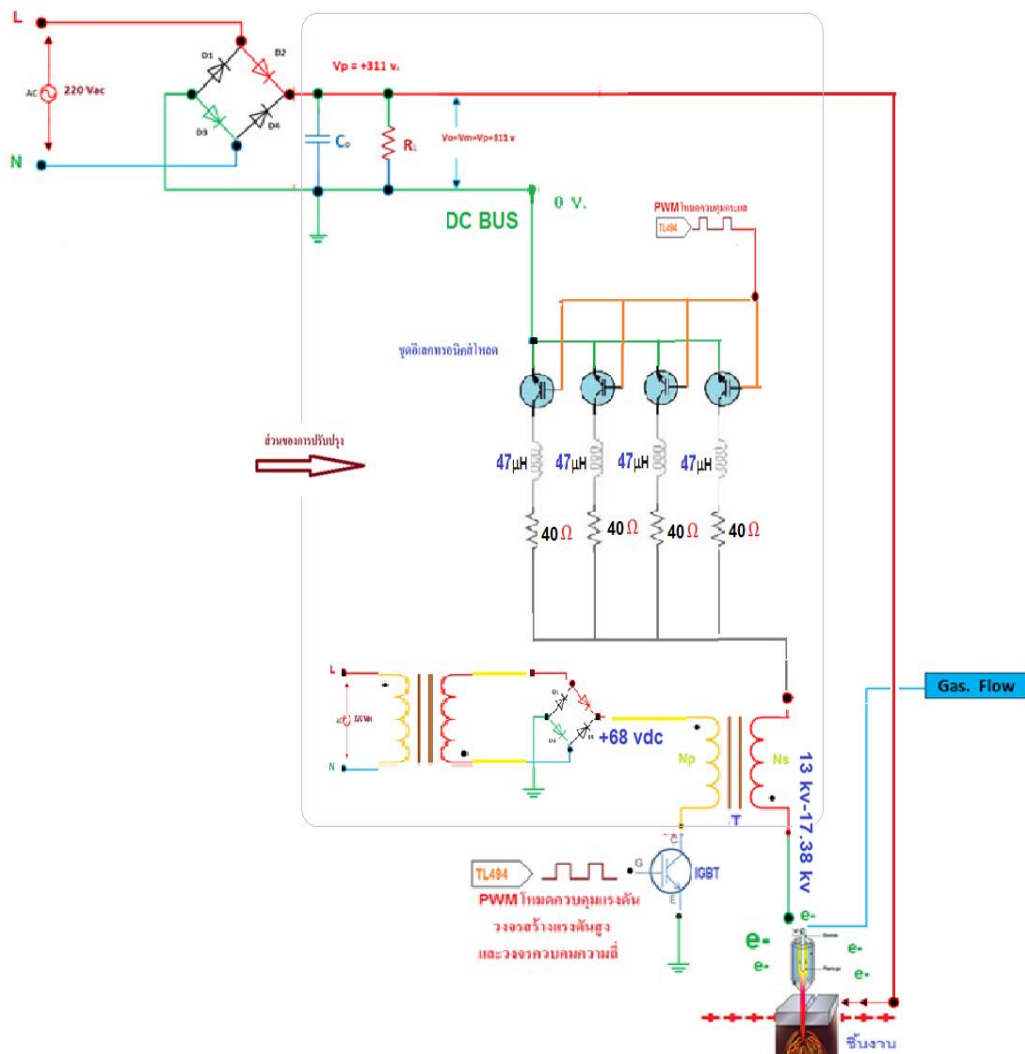
3. L (ไอ้ค) :ขดลวดเหนียวนำ ทำหน้าที่กรองกระแสให้เรียบ และลดกระแสกระชากขณะเริ่มอาร์ค

- เลือกใช้แกนในการพัน EE65 , พัน 4 x 40 รอบ , ใช้ลวด # 20 จำนวน 4 เส้น
- ค่า L (ไอ้ค) ที่ต้องการ 40 μH จำนวน 4 ตัว

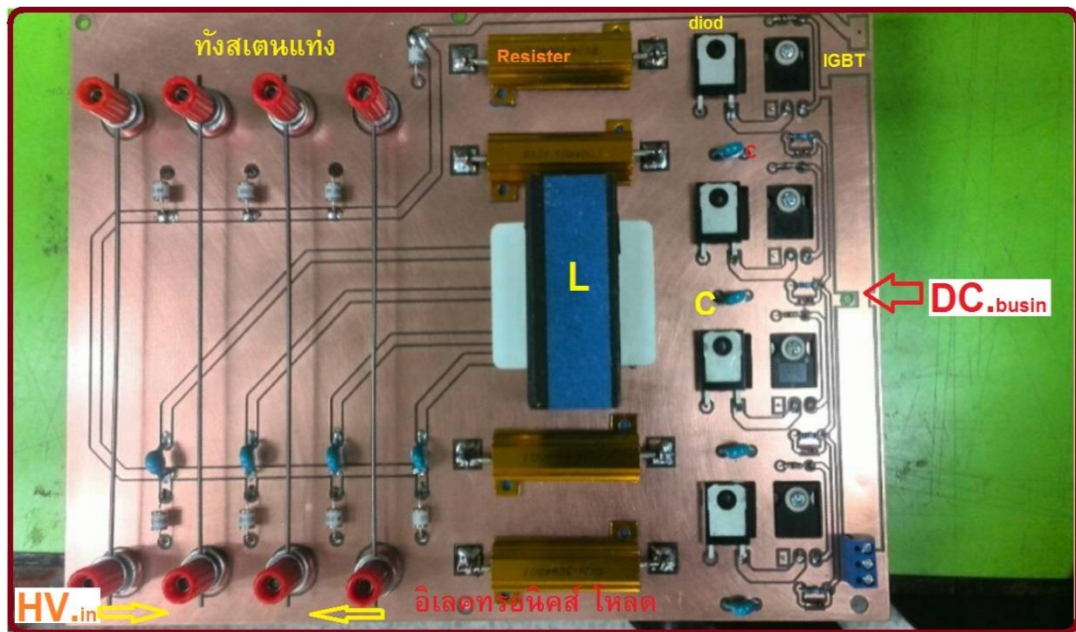
4. ทังสแตนแท่ง 0.7 Ω ทำหน้าที่ สลายพลังงานส่วนเกินจากแรงดัน HV. ใช้ จำนวน 4 แท่ง

5. C ;คาปาซิเตอร์ ทำหน้าที่ กรองสัญญาณแรงดันที่เกิดขึ้นจากการอาร์คจากหัวตัด (noise)

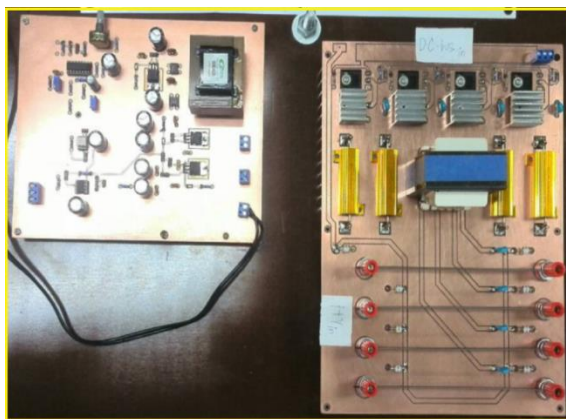
- ใช้ คาปาซิเตอร์ความจุ 0.47 μF ,ทนแรงดัน 6.3 kV



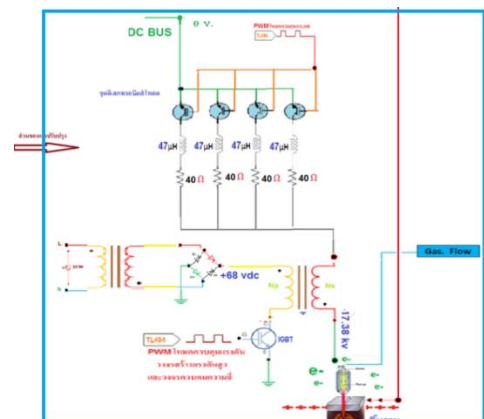
ภาพที่ 3.9 วงจรอิเล็กทรอนิกส์โพลดและส่วนปรับปรุงทั้งหมด



ภาพที่ 3.10 วงจรอิเล็กทรอนิกส์โหลด



ก. วงจรอิเล็กทรอนิกส์โหลด



ข. วงจรส่วนนอกแบบอิเล็กทรอนิกส์โหลด

ภาพที่ 3.11 วงจรส่วนนอกแบบอิเล็กทรอนิกส์โหลด เพื่อการทดลองปรับกระแสตัด



ภาพที่ 3.12 การพันหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง

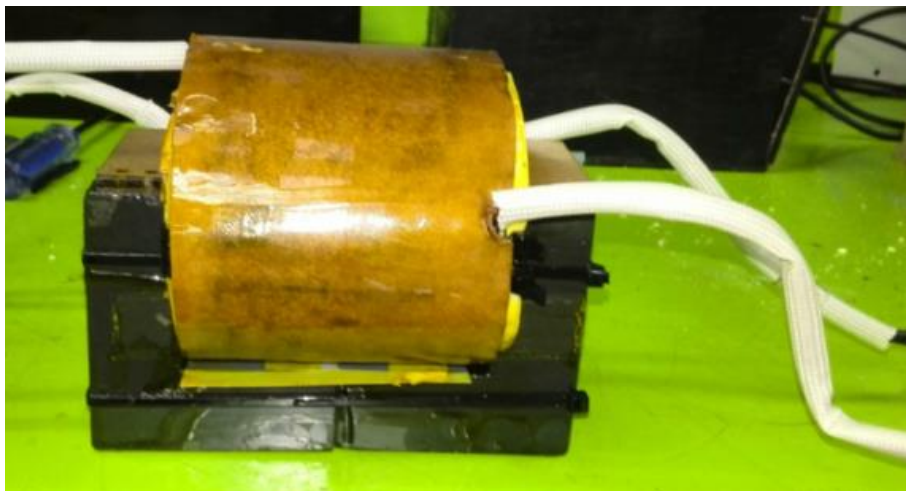


ก. การชูนํ้ายวานิช

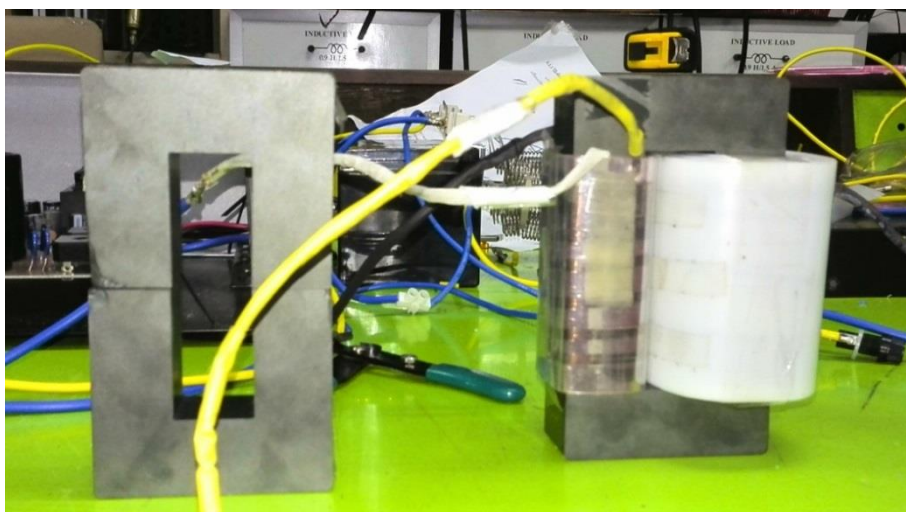
ภาพที่ 3.13 การอบนํ้ายวานิช



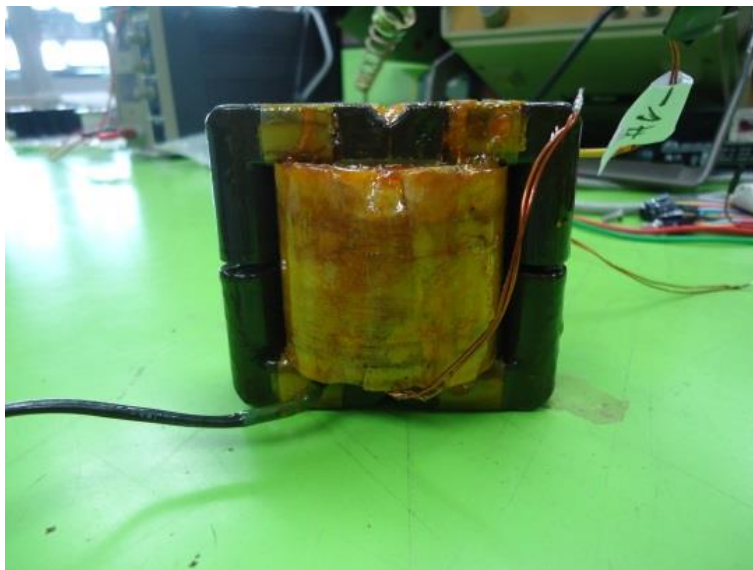
ข. ตู้อบนํ้ายวานิช



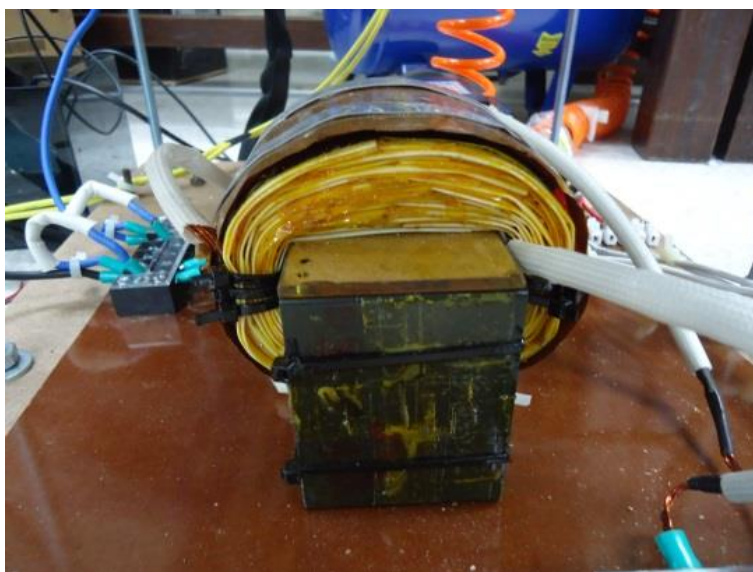
ภาพที่ 3.14 หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง



ภาพที่ 3.15 หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงแบบแกนเดี่ยว



ก. หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง ลูกเล็ก(เก่า)



ข. หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง ลูกใหญ่(ออกแบบใหม่)

ภาพที่ 3.16 เปรียบเทียบหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง ลูกเล็ก (เก่า),ลูกใหญ่ (ออกแบบใหม่)

3.4 วงจรสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม (PWM Generator)

โดยออกแบบให้สามารถปรับรอบทำงาน (Duty Cycle) ได้เพื่อสำหรับนำไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตชิง Power IGBT ที่ได้ออกแบบให้ใช้งานในช่วงความถี่ 1 กิโลเฮิร์ต ถึง 20 กิโลเฮิร์ต ส่งผ่านต่อไปยัง หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง ในงานวิจัยนี้ได้เลือกนำหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงชนิด ฟลายแบค (Flyback Transformer) มาใช้ในการศึกษา ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดนี้จะทำหน้าที่ถ่ายเทพลังงานและสะสมพลังงานให้ได้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกระแสตรงแบบพัลส์ขนาด 17 กิโลโวลต์ จ่ายให้กับเครื่องตัดพลาสมา

3.4.1 การคำนวณที่ใช้ในการออกแบบวงจร

การออกแบบวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งได้กำหนดให้หม้อแปลง ไฟฟ้าความถี่สูงแบบ ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ทำงานที่แรงดันไฟฟ้าอินพุตกระแสตรง 68 โวลต์ ให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตใช้งาน 17 กิโลโวลต์ ทำงานที่ความถี่ในช่วง 5 กิโลเฮิร์ต ถึง 20 กิโลเฮิร์ต (การออกแบบนี้จึงได้เลือกความถี่สำหรับการสวิตชิงอุปกรณ์ Power IGBT เท่ากับ 5.5 กิโลเฮิร์ต สำหรับใช้ในการคำนวณ) โดยมีขั้นตอนของการคำนวณดังนี้

- คำนวณคาบเวลาการทำงาน

จากสมการ	$T = \frac{1}{f}$
แทนค่าลงในสมการ	$T = \frac{1}{5.5 \times 10^3}$
ดังนั้นคาบเวลาการทำงาน	$T = 181 \mu s \quad \#$

วงจรภาคควบคุมสัญญาณพัลส์

ภาคควบคุมสัญญาณพัลส์ ในการออกแบบสำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ไอซีเบอร์ TL494 เพื่อทำหน้าที่สร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มควบคุมการทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ซึ่งทำงานด้วยโหมดควบคุมจากแรงดันไฟฟ้าตามโคอะแกรมแสดงดังภาพที่ 3.13 โดยการทำงานจะ

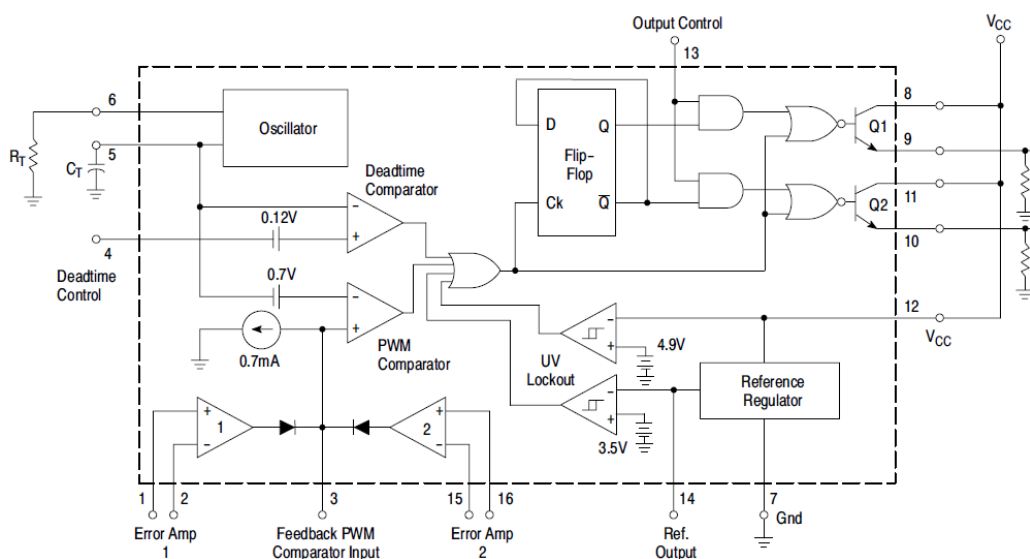
อาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันเอาต์พุตเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง ผลของค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายด้วยวงจรถายความต่าง Error Amplifier ก่อนที่จะส่งไปยังวงจรมัลติพลายเออร์เพื่อกำเนิผลสัญญาณที่เป็นลักษณะสี่เหลี่ยมสำหรับใช้งาน ซึ่งคุณสมบัติของไอซี TL494 แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของไอซีเบอร์ TL494

องค์ประกอบ	ขนาดพิกัดใช้งาน
แรงดันไฟฟ้าใช้งาน (V_{CC})	กระแสตรง 7 ถึง 40 โวลต์
แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V_{out})	40 โวลต์
กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต (I_{out})	200 มิลลิแอมป์
ความต้านทาน (R_T)	1.8 ถึง 500 กิโลโอห์ม
ค่าคาปาซิเตอร์ (C_T)	0.47 ถึง 10,000 นาโนฟารัด
ความถี่สวิตช์ (f_{osc})	1 ถึง 300 กิโลเฮิรต์

อุปกรณ์สำคัญสำหรับควบคุมการป้อนกลับสำหรับแหล่งจ่ายกำลังสวิตช์ซึ่งจะอยู่ในภาพแบบวงจรรวมของไอซี สำหรับการศึกษานี้ได้เลือกใช้โหมดควบคุมจากแรงดันไฟฟ้ามาใช้ในการออกแบบสร้างวงจรถายความต่างสัญญาณพัลส์ ซึ่งมีโครงสร้างภายในและขาใช้งานของ ไอซี TL494 ดังแสดงในภาพที่ 3.12 การทำงานของวงจรถายความต่างของไอซีได้นำหลักการโหมดควบคุมจากแรงดันมาใช้งานจะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันเอาต์พุตและเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงของวงจรถายความต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรถายความต่าง Error Amp ก่อนที่จะส่งไปยังวงจรมัลติพลายเออร์ โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรถายความต่างจะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันภาพพื้นเลื้อยอีกครั้ง ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากวงจรมัลติพลายเออร์จะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม มีคาบเวลาคงที่เท่ากับคาบเวลาแรงดันพื้นเลื้อยและมีความกว้างตามการเปลี่ยนแปลงสมมูลอากาศอคูเลชันของค่าแรงดันที่เข้าสู่มัลติพลายเออร์

TL494, NCV494



This device contains 46 active transistors.

ภาพที่ 3.17 โครงสร้างภายในและขาใช้งาน IC TL494

3.4.2 การกำหนดคาบเวลาการทำงานวงจรของไอซีเบอร์ TL494

เป็นวงจรพีดับเบิลยูเอ็มที่มี ความถี่คงที่ คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์จะถูกกำหนดโดยค่าของความต้านทาน R_t และค่าของคาปาซิเตอร์ C_t จากภายนอกที่ขา 9 และขา 5 ของไอซี คาบเวลาการทำงานกำหนดได้จากการคำนวณตามสมการดังนี้

จากสมการ
$$T = \frac{C_t R_t}{1}$$

$$f_{osc} \approx \frac{1}{C_t R_t}$$

เมื่อ T คือ คาบเวลาทำงาน ($f = \frac{1}{T}$)

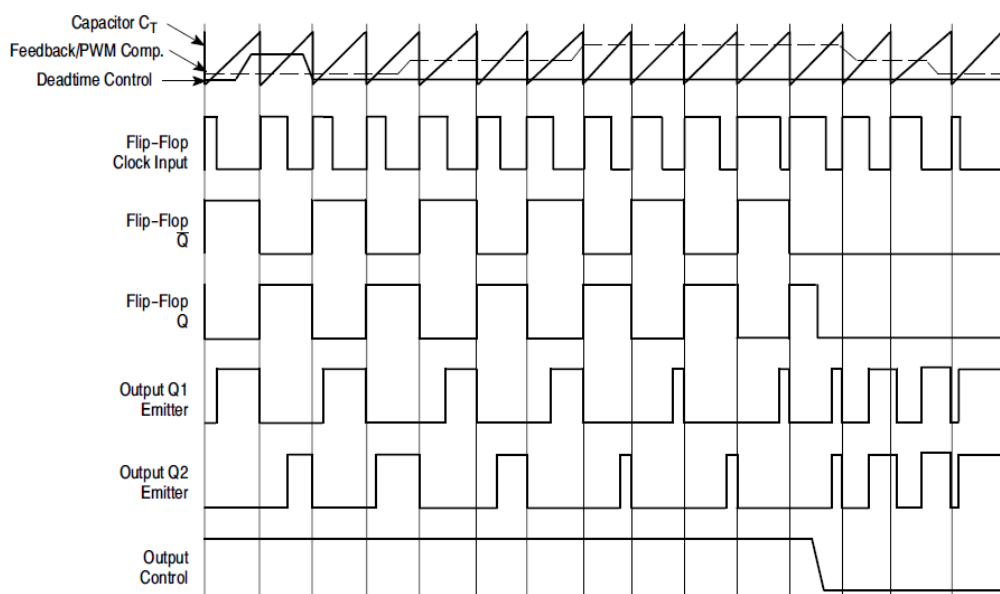
R_t คือ ความต้านทานใช้งาน

C_t คือ ค่าคาปาซิเตอร์ใช้งาน (กำหนดเป็นค่าคงที่)

3.4.3 การทำงานของไอซีสำหรับคงค่าแรงดันไฟฟ้าของไอซีเบอร์ TL494

ดังแสดงในภาพที่ 3.11 เพื่อใช้ควบคุมคอนเวอร์เตอร์โดยความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซี จะได้มาจากการเปรียบเทียบของสัญญาณฟันเลื่อยที่ขา S กับแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจรรขยายความต่าง Error Amp ทั้งสองตัวผ่าน ทาง PWM Comparator ส่วน NOR Gate ที่ควบคุมเฟาเวอร์ทรานซิสเตอร์เอาต์พุต Q1 และ Q2 จะทำงานก็ต่อเมื่อขา C_k ของ Flip-Flop อยู่ในสถานะ Low ซึ่ง C_k จะมีสถานะ Low ได้เมื่อแรงดันของสัญญาณฟันเลื่อยมีค่ามากกว่าแรงดันที่มาจาก Error Amp ทั้งสองตัวนั่นคือแรงดันป้อนกลับจากเอาต์พุตหากมีค่าสูงขึ้นความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีจะมีค่าลดลง ในทางกลับกันแรงดันป้อนกลับหากมีค่าลดลงความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีจะมีค่าเพิ่มขึ้น

ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีสามารถกำหนดให้มีค่ามากที่สุดหรือมีค่าเท่ากับศูนย์ได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ขา 3 จาก 0.5 ถึง 3.5 โวลต์ ส่วนวงจรรขยายความต่าง Error Amp ทั้งสองตัวจะมีช่วงของอินพุตคอมมอนโหมดตั้งแต่ -0.3 ถึง -2 โวลต์ และสามารถใช้ในการตรวจจับแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ได้ วงจรรขยายความต่าง Error Amp ทั้ง 2 ตัวจะให้เอาต์พุตในลักษณะให้สถานะ High (Active High) โดยต่อกันอยู่ในลักษณะ OR ที่ขา Non Inverting ของ PWM Comparator การต่อกันในลักษณะนี้วงจรรขยายความต่าง Error Amp ตัวที่ ทำให้เกิดความกว้างเอาต์พุตพัลส์ต่ำสุดจะเป็นตัวควบคุมความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ของไอซี เนื่องจากค่าแรงดันป้อน กลับจะถูกป้อนกลับจะถูกส่งมายังวงจรรขยายความต่าง Error Amp ผลต่างของแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอ้างอิงจึงมีลักษณะกลับเฟสอยู่ 180 องศาเมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่ามากขึ้นความกว้างพัลส์พัลส์ที่เอาต์พุตของวงจรรพีดับเบิลยูเอ็มจะมีค่าลดลงและช่วงนำกระแสของเฟาเวอร์ทรานซิสเตอร์ก็จะลดลง ถ้าแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลงความกว้างพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจรรพีดับเบิลยูเอ็มจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตไว้ได้



Timing Diagram

ภาพที่ 3.18 สัญญาณการทำงานของไอซีเบอร์ TL494

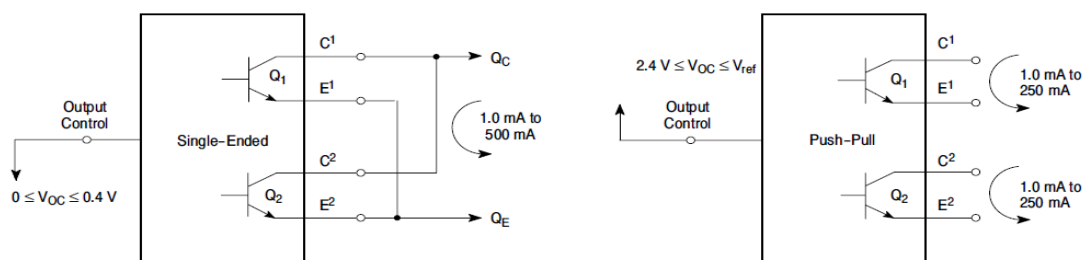
3.44 การกำหนดค่าเวลาเพื่อ T_D ของไอซีเบอร์ TL494

สามารถออกแบบกำหนดค่าเวลาเพื่อ T_D ของวงจรได้เองด้วยการต่อแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 0 ถึง 3.3 โวลต์ที่ขา 4 ของไอซี หากแรงดันไฟฟ้าที่ขา 4 มีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ ค่าเวลาเพื่อต่ำสุดของไอซีจะไม่ต่ำกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ ของค่าคาบเวลาการทำงานเนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าออฟเซต 120 มิลลิโวลต์ต่ออยู่ในวงจรของไอซี ดังนั้นช่วงเวลาดำเนินการ T_{on} สูงสุดของคอนเวอร์เตอร์ที่ได้จากไอซีเมื่อต่อขา 13 (Output Control) เข้ากับขาที่ 14 ที่เป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (+5Vref) จะให้ค่าเท่ากับ 48 เปอร์เซ็นต์ ของค่าคาบเวลา และเมื่อต่อขาที่ 13 ลงกราวด์ จะให้มีค่าเท่ากับ 96 เปอร์เซ็นต์ของค่าคาบเวลา

- การเลือกใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 ที่เอาต์พุตของไอซีเบอร์ TL494

ดังภาพที่ 3.17 เนื่องจากเอาต์พุต Q1 และ Q2 สามารถทำงานได้ 2 โหมดคือ ทำงานพร้อมกันหรือสลับกันได้ซึ่ง สามารถเลือกการทำงานได้ที่ขา 13 โดยขณะที่คาปาซิเตอร์ C_T ดิสชาร์จเอาต์พุตของ Dead-Time Comparator จะให้สัญญาณพัลส์ออกมา C_k จะมีสถานะเป็น High และหยุด

การทำงานของเพาเวอร์ ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 ถ้ากำหนดให้ขา 13 มีสถานะเป็น High ต่อเข้ากับขา 4 ที่เป็น แรงดันไฟฟ้า อ้างอิง (+5 V_{ref}) เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 จะสลับกันทำงานตามการควบคุมของ Flip-Flop ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะเป็นสองเท่าของค่าคาบเวลาสัญญาณพื่นเลื้อยของไอซี แต่ถ้าทำงานพร้อมกันจะสามารถทำการขนานเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 เข้าด้วยกันได้ ซึ่งทำให้น่ากระแสได้มากขึ้น ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะเท่ากับค่าคาบเวลาของสัญญาณพื่นเลื้อยของไอซีที่ได้ทำการสร้างขึ้น

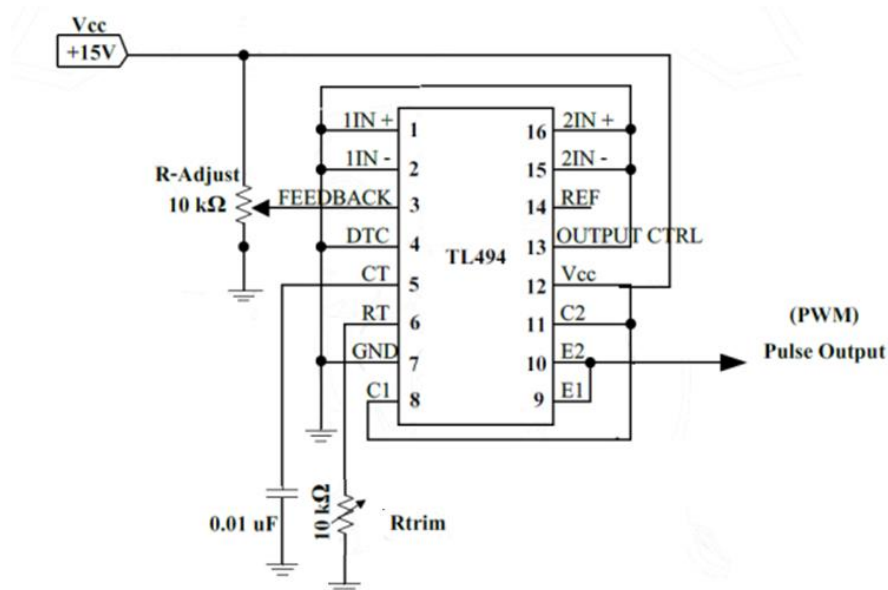


Output Connections for Single-Ended and Push-Pull Configurations

ก. Output Connection For Single-Ended ข. Output Configurations For Push-Pull Configuration
ภาพที่ 3.19 การเลือกใช้อาต์พุตของไอซีเบอร์ TL494

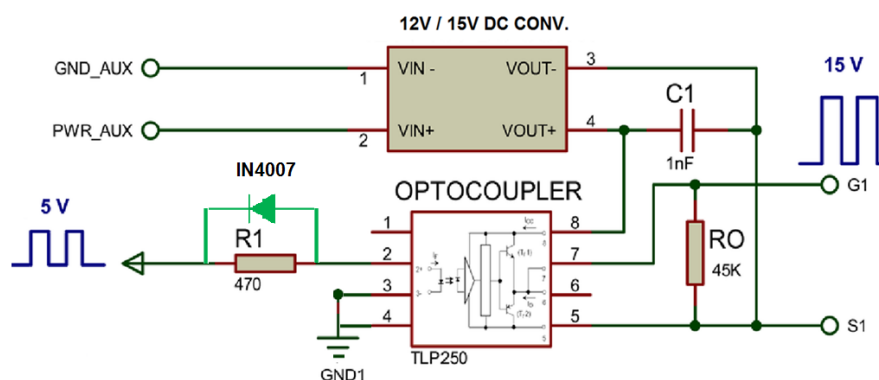
สำหรับไอซีเบอร์ TL494 ต้องการไฟเลี้ยงในช่วง $7 \leq V_{cc} \leq 40$ โวลต์ มีแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ภายใน V_{ref} เท่ากับ 5 โวลต์ และสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้ได้ถึง 10 มิลลิแอมป์ เพื่อใช้งานร่วมกับ วงจรภายนอกได้ โดยมีค่าความถูกต้อง ± 1.5 เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อนทางอุณหภูมิมีค่าน้อย กว่า 50 มิลลิโวลต์ เมื่อทำงานในช่วง 0 ถึง 70 องศาเซลเซียส

การออกแบบโดยให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงใช้งานในวงจร 15 โวลต์ จ่ายให้กับไอซีเบอร์ TL494 ที่เป็นตัวกำหนดและสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม โดยมีตัวต้านทานปรับค่าได้ (R-Adjust) ขนาด 10 กิโลโอห์ม ทำหน้าที่สำหรับปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ และมีตัวเก็บประจุ (C_t) ขนาด 0.01 ไมโครฟารัด เป็นตัวกำหนดความถี่ประมาณ 0 ถึง 30 กิโลเฮิร์ต โดยความถี่ที่ต้องการจะอาศัยการปรับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ (R-Trim) ดังแสดงในภาพที่ 3.10 ซึ่งแสดงวงจรภาคควบคุม สัญญาณพัลส์ เมื่อได้สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม ตามค่าความถี่ที่ต้องการแล้วจะส่งสัญญาณดังกล่าวไปยังขา 9 และขา 10 ของไอซีเบอร์ TL494 ไปยังวงจรภาคขับ Power IGBT ต่อไป



ภาพที่ 3.20 ไดอะแกรมวงจรภาคควบคุมสัญญาณพัลส์

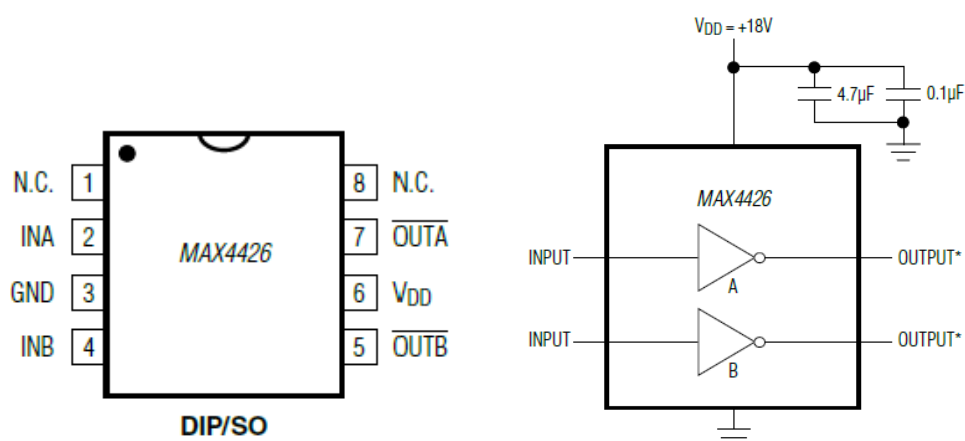
ภาควงจรขับ Power IGBT มีการออกแบบให้ใช้ไอซี Optocoupler เบอร์ TLP250 เพื่อทำหน้าที่สำหรับช่วยแยกส่วนที่เป็นแรงดันไฟฟ้าแรงสูงออกจากส่วนที่เป็นแรงดันไฟฟ้าแรงต่ำออกจากกัน โดยสิ้นเชิงหากส่วนใดเกิดการลัดวงจรจะไม่สร้างความเสียหายให้กับอุปกรณ์อีกด้านหนึ่ง



ภาพที่ 3.21 ไดอะแกรมวงจรภาคขับ Power IGBT (ไอซี Optocoupler เบอร์ TLP250)

การออกแบบวงจรภาคขับ Power IGBT ที่สามารถแยกส่วนแรงดันไฟฟ้าแรงสูงออกจากแรงดันไฟฟ้าแรงต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 3.21 เนื่องจากคุณสมบัติใช้งานของไอซี Optocoupler นั้นมีข้อจำกัดของกระแสไฟฟ้านด้านเอาต์พุตที่ได้จะไม่สามารถขับเกตมอสเฟตกำลังที่ต้องการ

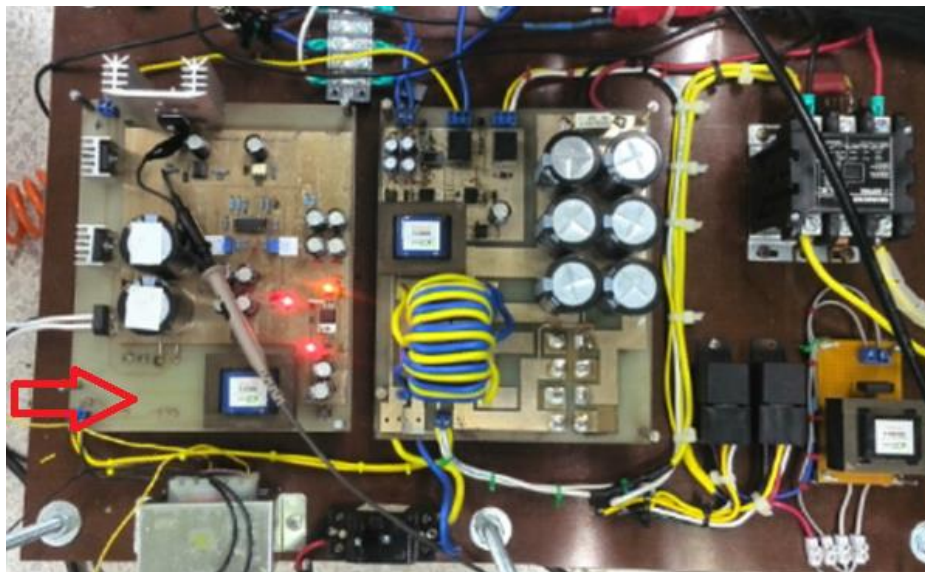
กระแสไฟฟ้าที่สูงกว่าได้ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงออกแบบให้ใช้ ไอซี Optocoupler เบอร์ TLP250 ทำงานร่วมกับไอซี CMOS เบอร์ 4426 ที่มีคุณลักษณะการทำงานเป็นบัฟเฟอร์นอตเกต ให้กับวงจรในภาคขับเกตผ่านทางขาที่ 4 และ 6 โดยการทำงานของไอซีเบอร์ 4426 จะต่อขาของ CMOS ในลักษณะการต่อแบบขนานกัน จึงสามารถเพิ่มกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตให้มีค่าสูงขึ้นเพื่อ นำไปสู่ที่ขาเกตของมอสเฟตกำลังที่ต้องการกระแสไฟฟ้าสูงๆได้ และการทำงานร่วมกับไอซี CMOS ยังส่งผลทำให้ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของมอสเฟตกำลังได้รวดเร็วเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 3.21 โดยวงจรที่ทำการออกแบบทั้งหมดที่ประกอบด้วยชุดควบคุมแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง และสัญญาณ PWM รวมทั้งวงจรภาคขับกำลัง IGBT สามารถแสดงดังภาพที่ 3.23



ก. การจัดเรียงขาของ IC CMOS 4426

ข. วงจรภาคขับเกตของสถานะลอจิก

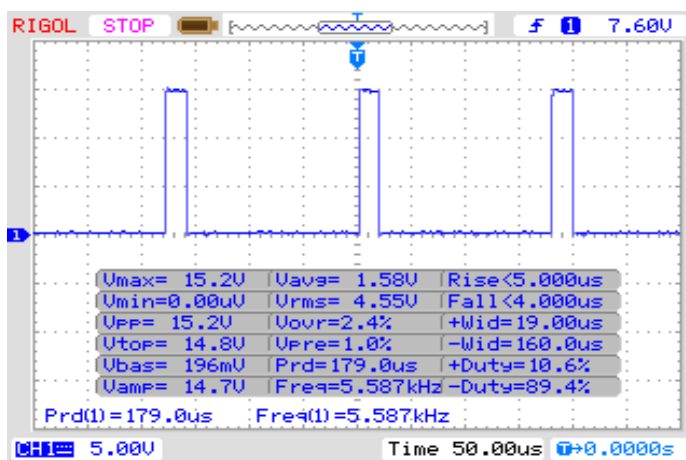
ภาพที่ 3.22 การทำงานของไอซีเบอร์ 4426



ภาพที่ 3.23 วงจรภาคขับที่ประกอบด้วยแหล่งจ่ายและวงจรควบคุมสัญญาณ PWM

3.5 สัญญาณ PWM

PWM (Pulse With Modulation) ในส่วนนี้เป็นการทดลองออกแบบสร้างสัญญาณ PWM ด้วย IC เบอร์ TL494 ที่เป็นไอซีสำเร็จภาพ ในการทดลองนี้จะออกแบบวงจรสร้างสัญญาณ PWM ด้วย IC เบอร์ TL494 จากวงจรดังภาพที่ 3.24 ซึ่งจะมีการควบคุมสัญญาณ PWM ด้วย

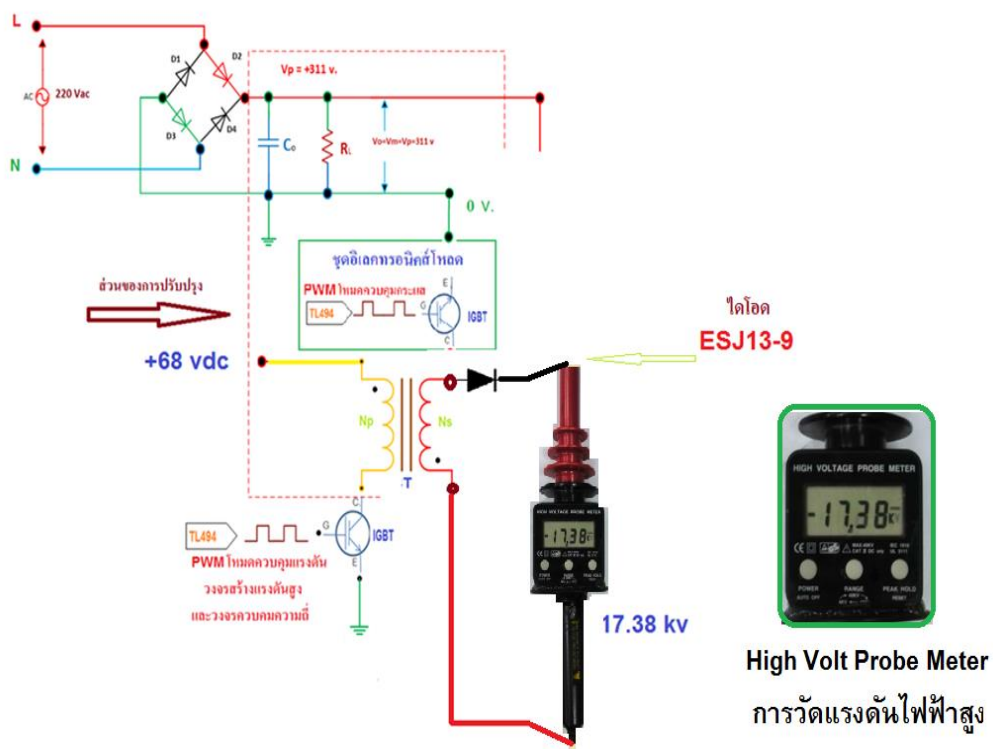


ภาพที่ 3.24 การสร้างสัญญาณ PWM ด้วย IC TL494 ที่ความถี่ และ Duty Cycle=10.6%

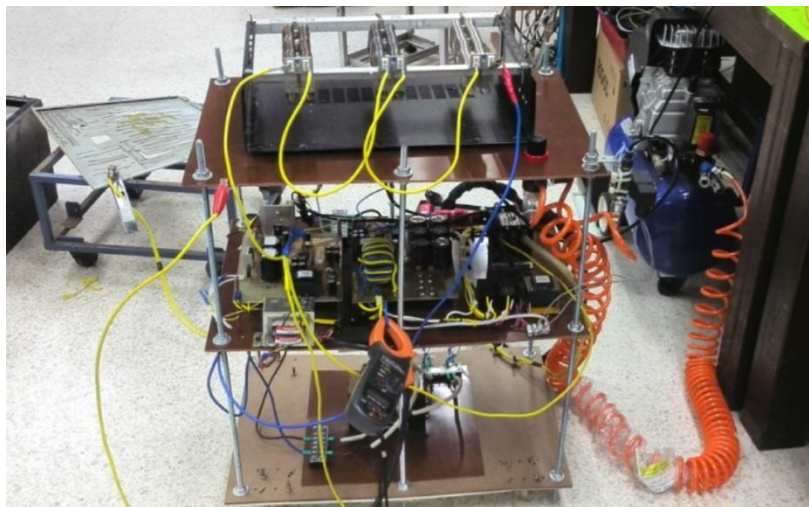
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การปรับค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุ โดยการควบคุมสัญญาณนี้จะสามารถควบคุม Duty Cycle ของสัญญาณ PWM เพื่อใช้ในการควบคุมการเปิด-ปิดสวิตช์ของการทำงานในภาคขับกำลัง Power IGBT ในการควบคุมกระแสตัดและแรงดันไฟฟ้าสูงซึ่งการควบคุมกระแสตัดทางด้านกำลังนั้นจะทำการใช้โหลดการ Load-Resistane ในการกำหนดกระแสในการตัดเพื่อให้พลังงานส่วนที่เหลือนั้นถูกคายพลังงานจากกระแสที่ทำการตัด ดังแสดงภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 การวัดแรงดันของหม้อแปลง High Volt



ภาพที่ 4.2 แผ่นวงจรพร้อมตัดโลหะ

ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าสูงกระแสตรงทางด้านขดลวดทุติภูมิด้วย High Volt Probe Meter จากวงจรดังภาพที่ 4.1 ซึ่งสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงกระแสตรงได้ถึง 17.38 kV ดังแสดงตามภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 การวัดแรงดันไฟฟ้าสูงด้วย High Volt Probe Meter



ภาพที่ 4.4 R-load ใช้ทดสอบหาค่า เพื่อออกแบบอิเล็กทรอนิกส์โหลด

4.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

จะทำการออกแบบการทดลองด้วยการเปรียบเทียบเวลาในการตัดแผ่นเหล็กที่มีความหนาต่างกัน โดยกำหนดระยะทางของการตัดที่ 10 เซนติเมตร และจับเวลาของการตัดที่ระดับกระแสต่างๆ

4.1.1 การทดลองการตัดแผ่นเหล็ก

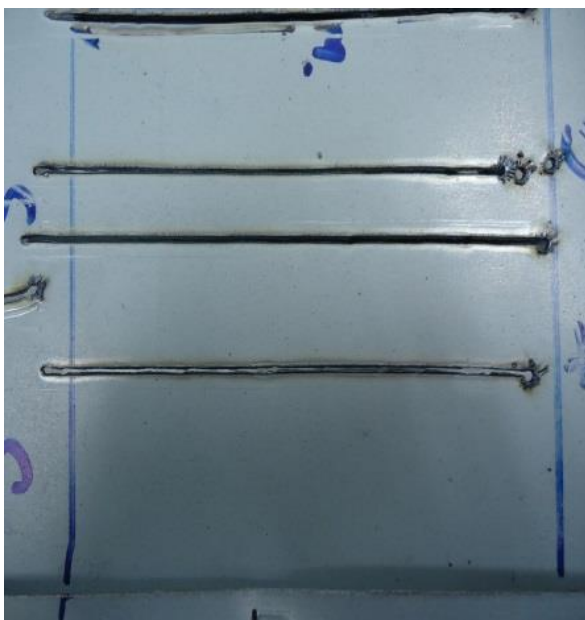
การตัดแผ่นเหล็กนี้จะกำหนดความหนาของแผ่นเหล็กที่แตกต่างกัน เพื่อการกำหนดกระแสตัดให้กับแผ่นเหล็กนี้จะถูกควบคุมจากโหลดความต้านทาน Load Resistance

4.1.2 ทำการทดลองการตัดแบบ One-Cut

โดยการทำการทดลองโดยการกดสวิตช์เพื่อตัดแบบเจาะเป็นรู เพื่อพิจารณาการขาดของแผ่นเหล็ก โดยกำหนดที่แรงดันมวลอากาศ 4 Psi



ภาพที่ 4.5 การตัดแผ่นเหล็ก 0.5 mm. (กระแส 11.5 A) ความยาวในการลากตัด 10 cm.



ภาพที่ 4.6 การตัดแผ่นเหล็ก 1 mm. (กระแส 11.5 A) ความยาวในการลากตัด 10 cm.



ภาพที่ 4.7 การตัดแผ่นเหล็ก 2 mm. (กระแส 21 A) ความยาวในการลากตัด 10 cm.



ภาพที่ 4.8 การตัดแผ่นเหล็ก 3 mm. (กระแส 21 A) ความยาวในการลากตัด 10 cm.



ภาพที่ 4.9 การตัดแผ่นเหล็ก 4 mm. (กระแส 30 A) ความยาวในการลากตัด 10 cm.

4.2 การทดลองการตัดที่กระแสต่างๆ

โดยในการทดลองทั้งตัดแบบ One Cut และ แบบ Continuous Cutting จะทำการบันทึกผลจากการทดสอบการตัดที่แผ่นเหล็กความหนา 0.5mm, 1mm, 2mm, 3mm, 4mm ตามตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.1 และ 4.2 โดยทำการสรุปผลการทดสอบของกระแสตัด Icut และกระแสตัดแบบต่อเนื่อง ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 4.10 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเริ่มตัดและการตัดอย่างต่อเนื่องนี้ มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันในทิศทางเดียวกันที่กระแสจะเพิ่มขึ้นตามความหนาของแผ่นเหล็ก

โดยการสรุปผลการทดสอบของกระแสตัด Icut และกระแสตัดแบบต่อเนื่องดังตารางที่ 4.3 ซึ่งสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 4.10 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเริ่มตัดและการตัดอย่างต่อเนื่องนี้มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันในทิศทางเดียวกันที่กระแสจะเพิ่มขึ้นตามความหนาของแผ่นเหล็ก

ตารางที่ 4.1 ทดลองการตัดโลหะแบบ One-Cut

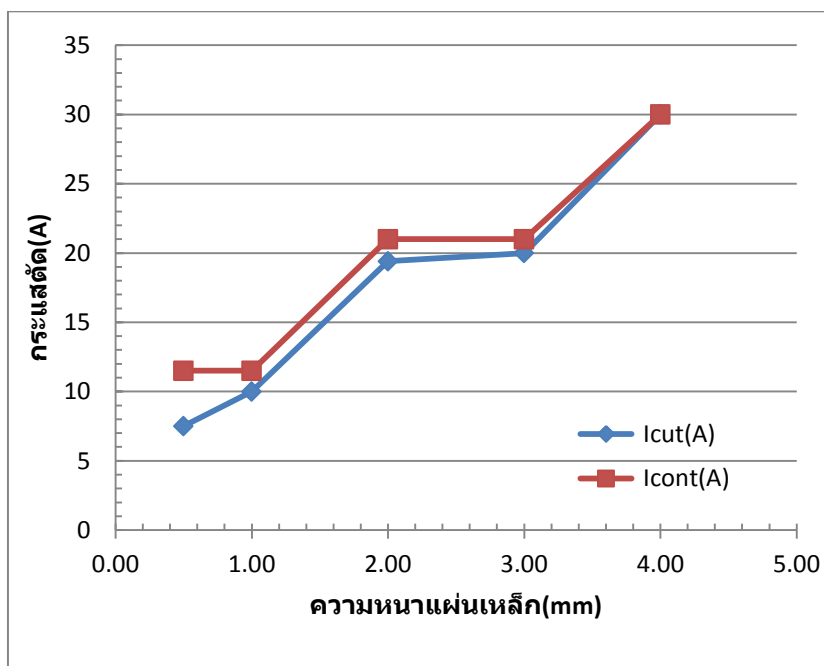
ความหนาของแผ่นเหล็ก(mm.)	กระแสที่วัดได้ Icut(A)	โหลดความต้านทาน R(Ω)
0.5	7.5	26
1	10	26
2	19.4	10
3	20	10
4	30	10

ตารางที่ 4.2 ทดลองการตัดโลหะแบบ Continuous Cutting

ความหนาของแผ่นเหล็ก(mm.)	กระแสที่วัดได้ Icont(A)	โหลดความต้านทาน R(Ω)
0.5	11.5	26
1	11.5	26
2	21	10
3	21	10
4	30	10

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบการตัดโลหะแบบ One Cut และ แบบ Continuous Cutting

ความหนาของแผ่นเหล็ก(mm.)	กระแสที่วัดได้ Icont(A)	กระแสที่วัดได้ Icut(A)
0.5	7.50	11.50
1	10.00	11.50
2	19.40	21
3	20	21
4	30	30



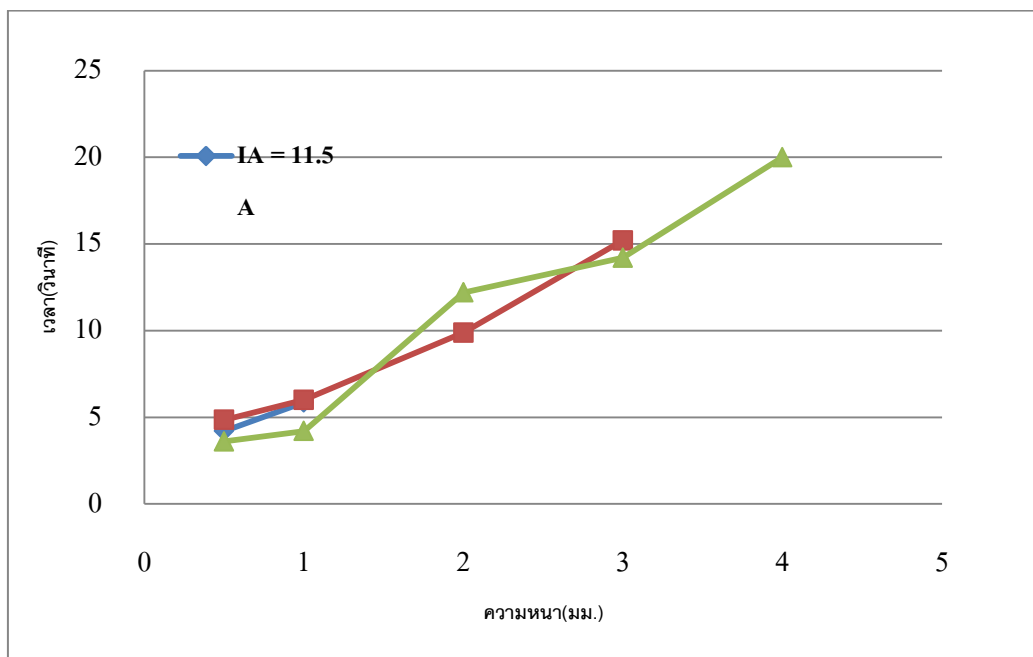
ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์กระแสตัดครั้งเดียวและกระแสตัดต่อเนื่อง

จากเงื่อนไขของการตัดที่เกี่ยวข้องกับความหนาของแผ่นเหล็กกับกระแสตัดนี้ สามารถใช้ เวลาในการตัดที่แตกต่างกัน ดังแสดงตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เวลาของการตัดโลหะแผ่นเหล็กความหนาตามลำดับ

	เวลา (s)	เวลา (s)	เวลา (s)
Thickness(mm)	$I_A = 11.5 \text{ A}$	$I_B = 21 \text{ A}$	$I_C = 30 \text{ A}$
0.5	4.85	4.2	3.6
1	6	5.86	4.2
2		9.88	12.2
3		15.2	14.2
4			20

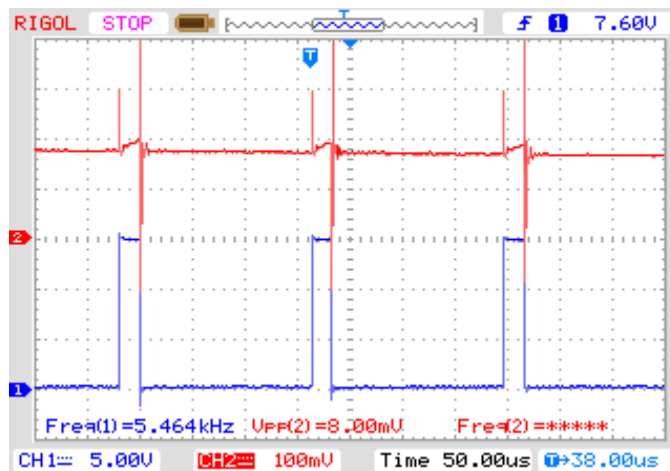
จากข้อมูลตามตารางที่ 4.4 นี้สามารถแสดงถึงเวลาของการตัดตามภาพที่ 4.11 ซึ่งในที่นี้ จะพบว่าเวลาในการตัดจะเพิ่มขึ้นตามความหนาของแผ่นเหล็กที่มีระดับกระแสต่างๆ



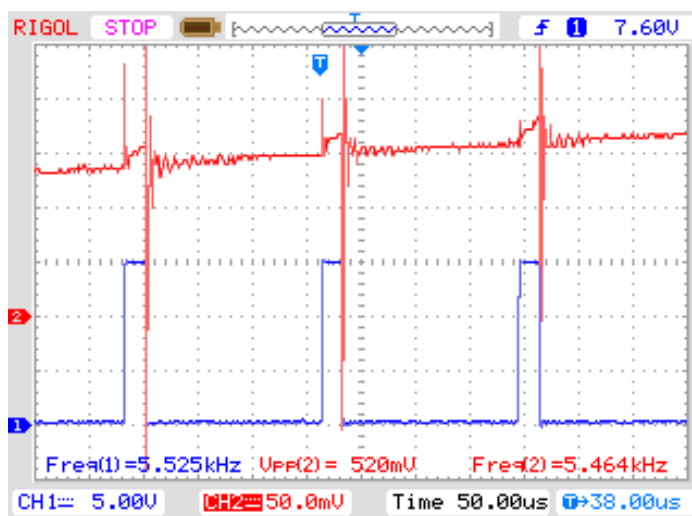
ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ความหนาแผ่นเหล็ก เวลา และกระแสที่ตัด

จากการตัดด้วยหัวตัดพลาสติกที่ความหนาต่างกันของแผ่นเหล็กที่นำมาทดสอบ จะพบว่าสัญญาณของการตัดโลหะทางด้านเอาต์พุต เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณ PWM พบว่าสัญญาณ PWM ไม่เกิดการบิดเบี้ยว ส่วนสัญญาณเอาต์พุตนั้นจะใช้ CT Current Probe ในการจับสัญญาณกระแสตัด จะพบว่าขณะสัญญาณ PWM อยู่ในสถานะ ON ก็จะเปลี่ยนช่องที่จะเป็นการตัด โดย Peak ของสัญญาณการตัดนั้นมีภาพคลื่นเป็นพัลส์สี่เหลี่ยมตามสัญญาณ PWM ก็จะมีสัญญาณบางส่วนที่จะเกิด Spike ในช่องสถานะ OFF เพียงช่วงเวลาสั้นๆ โดยการตัดนี้จะทำงานที่ความถี่ 5.464 kHz ในที่นี้รอบตัดที่ได้จะมีความคมชัดและ Slage ค่อนข้างต่ำอย่างมาก และไม่เกิดความร้อนที่สะสมในชิ้นงานสูง ดังแสดงตามภาพที่ 4.11 ,4.12 ,4.13 ,4.14 ,4.15,4.16 ตามลำดับ

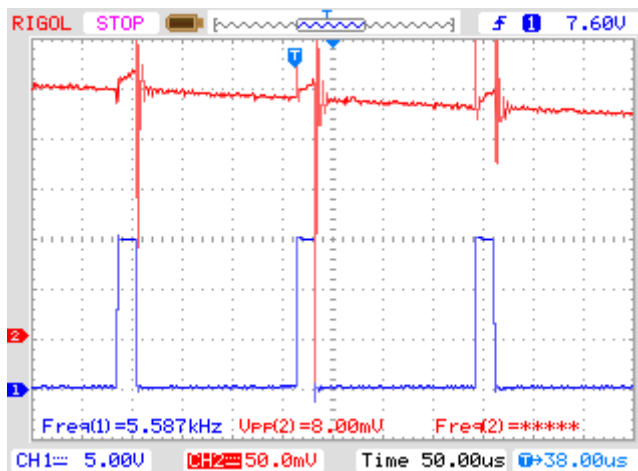
(จากนั้นทำการบันทึกสัญญาณการตัดแบบต่อเนื่องด้วยออสซิลโลสโคป ซึ่งจะเปรียบเทียบกับสัญญาณ PWM ที่ความถี่ประมาณ 5.5 kHz ตามลำดับ)



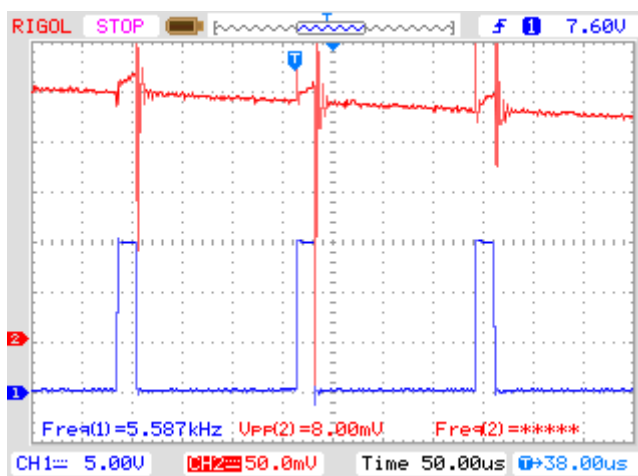
ภาพที่ 4.12 สัญญาณการตัดชิ้นงานแบบต่อเนื่อง (กระแสตัด 11.5A) (T = 0.5mm.)



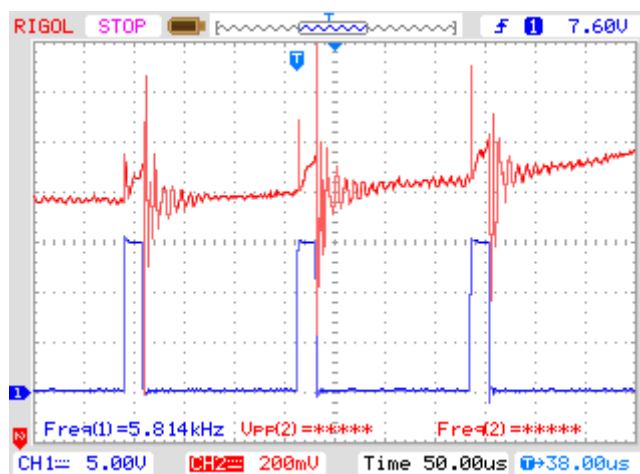
ภาพที่ 4.13 สัญญาณการตัดชิ้นงานแบบต่อเนื่อง (กระแสตัด 11.5A) (T = 1mm.)



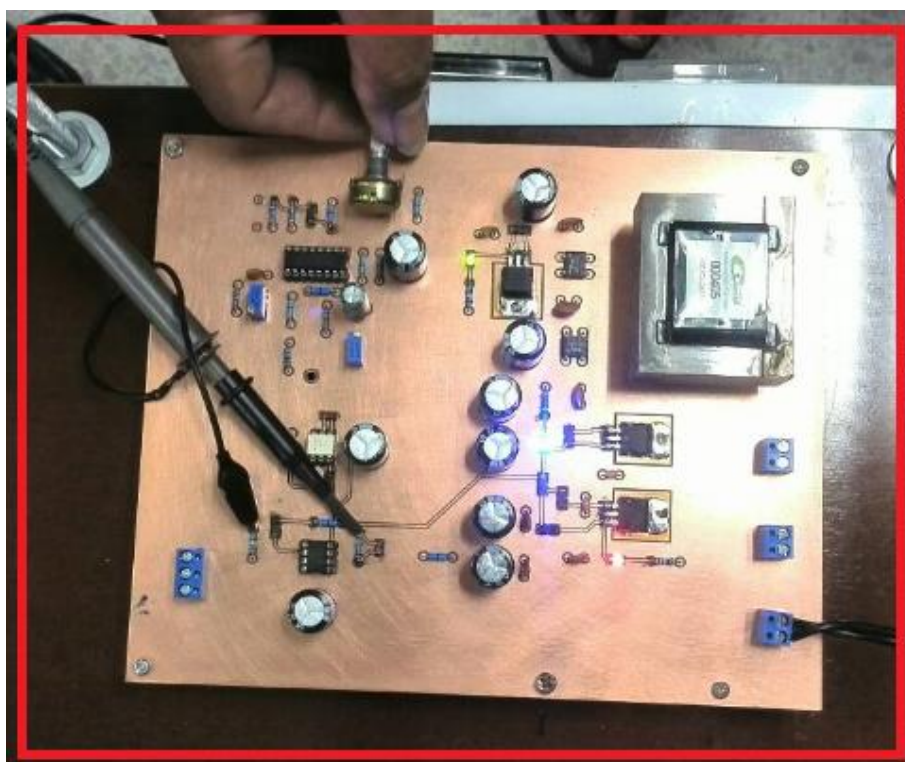
ภาพที่ 4.14 สัญญาณการตัดชิ้นงานแบบต่อเนื่อง (กระแสตัด 21A) (T = 2 mm.)



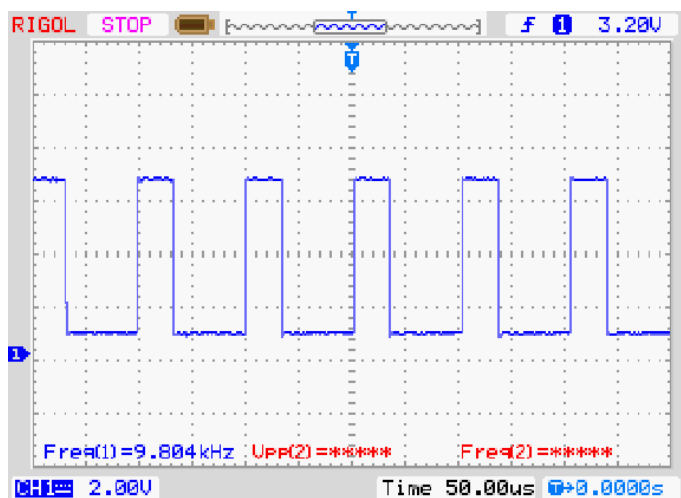
ภาพที่ 4.15 สัญญาณการตัดชิ้นงานแบบต่อเนื่อง (กระแสตัด 21A) (T = 3 mm.)



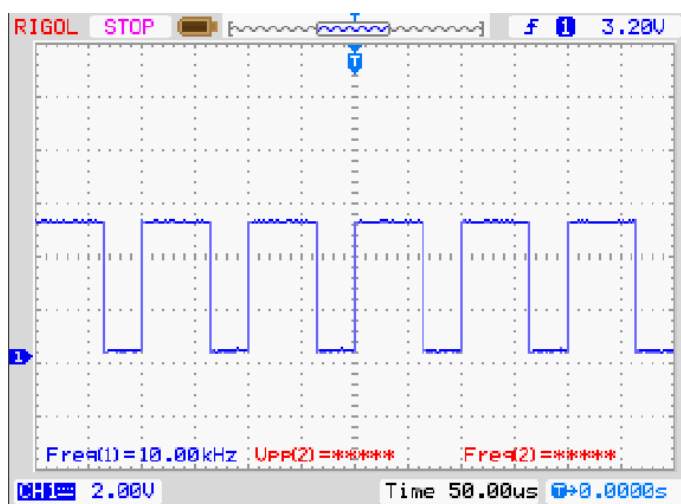
ภาพที่ 4.16 สัญญาณการตัดชิ้นงานแบบต่อเนื่อง (กระแสตัด 30A) (T = 4 mm.)



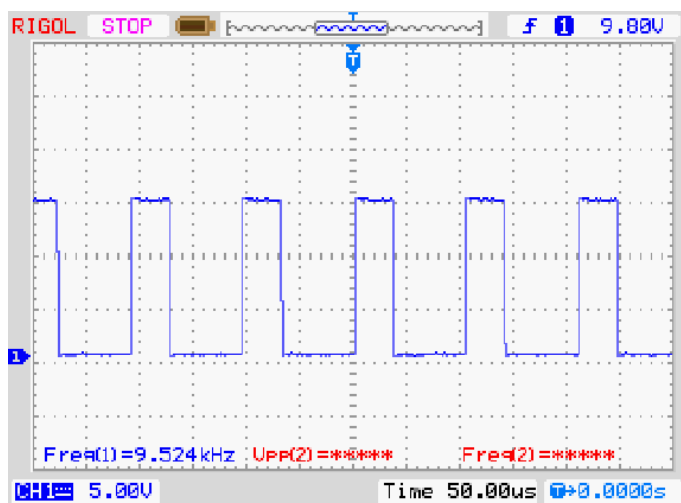
ภาพที่ 4.17 ส่วนสร้างสัญญาณ PWM ใช้ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ไหล



ภาพที่ 4.18 การจับสัญญาณเอาต์พุตของ IC TL494 ที่ไปเข้า Opto



ภาพที่ 4.19 การจับสัญญาณเอาต์พุตของ Opto ที่ไปเข้า Fet Driver



ภาพที่ 4.20 การจับสัญญาณเอาต์พุตของ Fat Drive ที่ไปเข้า IGBT

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้ทำการสร้างเครื่องตัดพลาสมา ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลเครื่องตัดพลาสมาที่มีอยู่ในท้องตลาดและที่เกี่ยวข้องในงานนี้เพื่อทำการออกแบบใช้งานได้ตามเป้าหมายจากการดำเนินการสร้างและทดสอบในสภาวะใช้งานจริง พบว่าเครื่องตัดพลาสมาสามารถทำการตัดแผ่นเหล็กที่มีขนาดไม่เกิน 4-5 mm. เนื่องจากกระแสที่ใช้งานในโครงการนี้ได้ถูกจำกัดไว้ประมาณไม่เกิน 30 A เท่านั้น ถ้าเพิ่มกระแสตัดจะสามารถตัดเหล็กหนาเพิ่มขึ้นได้

จากการทดสอบจะเห็นได้ว่า รอยการตัดของเครื่องตัดพลาสมาที่มีขายตามท้องตลาดนั้นรอยตัดไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากเมื่อทำการตัดเปลวไฟตัดของเครื่องที่ขายตามท้องตลาดมีวงกว้างทำให้ขอบรอยตัดเกิดมีรอยไหม้มากทำให้ผิวขอบรอบขรุขระส่วนรอยตัดของเครื่องตัดพลาสมาที่สร้างขึ้นมานั้น รอยตัดมีความสม่ำเสมอ เปลวไฟตัดมีวงแคบทำให้ไม่มีรอยไหม้มากและผิวขอบรอยตัดไม่เกิดขรุขระ

ข้อเสนอแนะ

1. จากการออกแบบและพิมพ์แผ่นแปลงแรงดันสูงความถี่สูงพบว่าได้ประสิทธิภาพหม้อแปลงดีกว่าหม้อแปลงเก่าของโครงการก่อน สามารถนำวิธีการสร้าง Flyback ไปพัฒนาต่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นได้

2. มีประสิทธิภาพเครื่องตัดดีกว่าของเดิม เพราะว่าเป็นครั้งแรกของเครื่องตัดพลาสมาที่มีการนำเอาอิเล็กทรอนิกส์โพลคาไมใช้ควบคุมออกแบบตัวปรับกระแสด้วย IC TL494 ควรมีการพัฒนาจริงให้ดีขึ้นในโอกาสต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] นิमित บุญภิรมย์, “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง” เอกสารประกอบการสอน สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม, 2556.
- [2] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และวุฒิพล ชาราธิ์เศรษฐ์, “วิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง” ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, 2547.
- [3] ชัยชาญ หินเกิด “หม้อแปลงไฟฟ้า” จัดพิมพ์และจำหน่าย สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2549
- [4] www.power.mut.ac.th/data/power_article_narongrit.pdf อ.นรงค์ฤทธิ์ เสนาจิตร “เทคโนโลยีการตัดโลหะด้วยลำอาร์คพลาสมา” ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ภาคผนวก