

บทที่ 4

การทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการของเครื่องตัดพลาสมาที่นำมาทดสอบ โดยเครื่องตัดดังกล่าวนั้น จะใช้หลักการของการกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ร่วมกับกับวงจร คอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค ในการสร้างแรงดันไฟฟ้าศักย์สูง โดยมีอุปกรณ์ขั้วไฟฟ้า spark gap เพื่อใช้ในการกระตุ้นให้เกิดสัญญาณพัลส์ในคาบเวลาต่างๆ ที่ไม่สม่ำเสมอ จากลักษณะผลการทำงานของเครื่องตัดชนิดนี้สามารถทำการตัดโลหะได้แต่ผลที่ได้จากการตัดนั้นจะพบว่ามียอดตัดที่ไม่ราบเรียบสม่ำเสมอจากเหตุผลดังกล่าวจึงได้เสนอแนวความคิดในการแก้ปัญหาด้วยวงจรการกระตุ้นแบบ PWM เพื่อลดปัญหาของการจูดอาร์คเพื่อการกำเนิดพลาสมา โดยในขั้นตอนในการทดสอบการปรับปรุงมีดังรายละเอียดดังนี้

4.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องตัดพลาสมาแบบดั้งเดิม
2. เพื่อบันทึกรอยและลักษณะของการตัด
3. เพื่อวิเคราะห์การทำงานของ Spark Gap ในเครื่องตัดแบบดั้งเดิม
4. เพื่อสร้างและพัฒนาการสร้างสัญญาณสวิตชิงทดแทนการใช้ Spark Gap แบบดั้งเดิม
5. เพื่อเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องตัดพลาสมาแบบดั้งเดิมและแบบที่พัฒนาขึ้น

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- | | |
|---|-----------|
| 1. เครื่องตัดพลาสมาทั่วไปที่นำมาทดสอบ
ขนาด 4.4 กิโลวัตต์ | 1 เครื่อง |
| 2. วงจรและแผงวงจรชุดการจูดอาร์แบบ PWMขนาด 4.4 กิโลวัตต์ | |
| 3. เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า | 1 เครื่อง |
| 4. เครื่องมือวัดสัญญาณออสซิลโลสโคป Rigol,Hantek | 1 เครื่อง |
| 5. เครื่องวัด High voltage probe meter | 1 เครื่อง |
| 6.เครื่องมือวัดคุณภาพไฟฟ้า ยี่ห้อ Fluke 435 Class A | 1 เครื่อง |

4.3 ขั้นตอนการทดลองของเครื่องตัดพลาสมาแบบดั้งเดิม

1. ทำการวัดหากระแสจากเครื่องตัดพลาสมาแบบดั้งเดิม
2. วัดสัญญาณจากการกระตุ้นที่ spark gap
3. ทดสอบคุณภาพรอยตัดพลาสมาแบบดั้งเดิม
4. วัดค่าแรงดันและกระแส และรูปคลื่นของสัญญาณแรงดันอินพุตและกระแสอินพุตด้วยเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า

4.3.1 เครื่องตัดพลาสมาแบบดั้งเดิมที่นำมาทดสอบ

เครื่องตัดพลาสมาที่นำมาทดสอบในรูปที่ 4.1 ที่ใช้แรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุต 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต และทำการปรับตั้งกระแสที่ใช้ในการทดสอบ ให้มีกระแสสูงสุดที่ 18 แอมป์ (ดังแสดงในรูปที่ 4.2) เมื่อพิจารณาจากวงจรตามรูปที่ 3.2 ในบทที่ 3 จะพบว่าการทำงานของเครื่องตัดพลาสมาชนิดนี้จะอาศัยการทำงานการสร้างศักย์แรงดันไฟฟ้าสูงกระแสตรงผ่านชุด spark gap (ดังแสดงในรูปที่ 4.3) ส่งสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไปที่โพรป หัวตัด ในงานวิจัยนี้จะพัฒนาในวงจรในภาคนี้

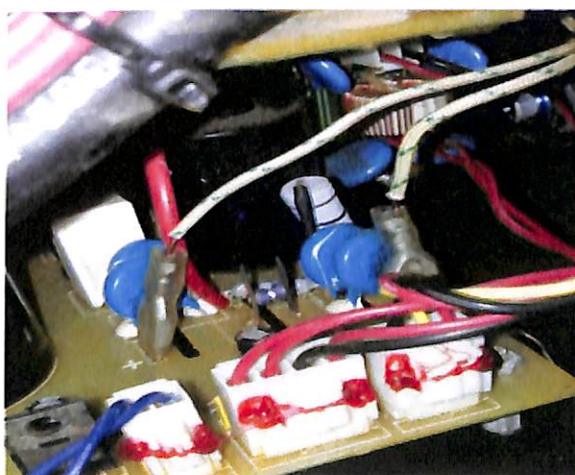


รูปที่ 4.1 เครื่องตัดพลาสมาแบบดั้งเดิมที่นำมาทดสอบ



รูปที่ 4.2 ค่ากระแสเครื่องตัดพลาสมาแบบดั้งเดิม

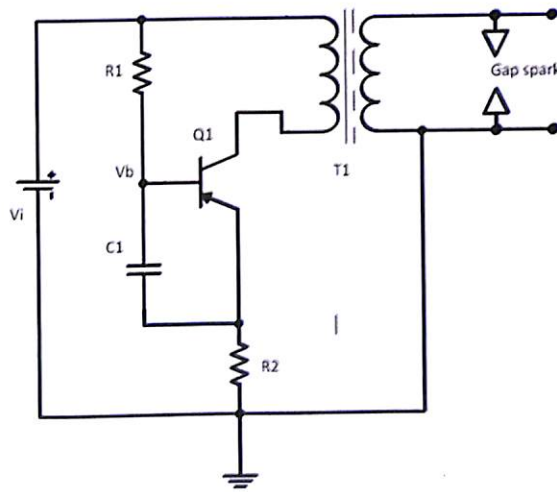
ทำการทดสอบปรับตั้งค่ากระแสตัดสูงสุดซึ่งทำการวัดค่ากระแสทางด้านอินพุทของเครื่องตัดพลาสมาที่สามารถทำได้แล้วจึงทำการทดสอบการตัดต่อไป



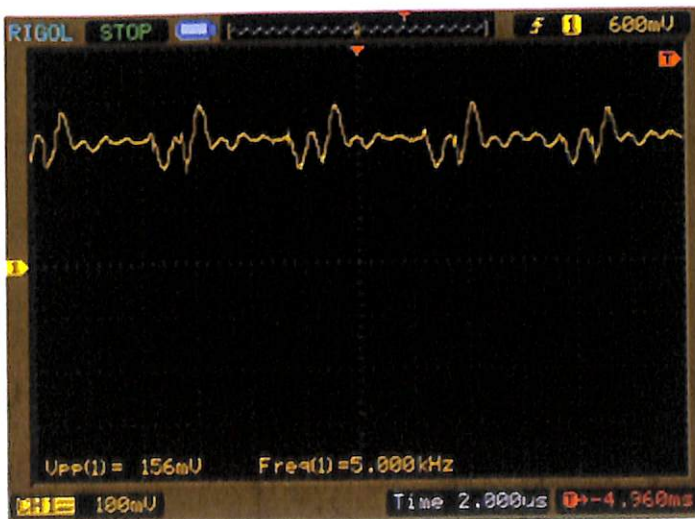
รูปที่ 4.3 ตำแหน่งของส่วนspark gap

จากวงจรภายในในส่วนของคอนเวอร์เตอร์ในเครื่องตัดพลาสมาแบบดั้งเดิม ที่ใช้ Spark Gap เป็นตัวสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ จะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.4 ซึ่งวงจรประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าเชื่อมโยง ใช้ทรานซิสเตอร์ Q1 เป็นตัวขับเคลื่อน เมื่อแรงดันไฟฟ้าผ่านไปยังตัว Spark

Gap จะเกิดการ Spark และเกิดการยุบตัวและเหนี่ยวนำสลับกันของหม้อแปลงไฟฟ้าคล้ายวงจรชอปเปอร์ แต่มีการสลับตัวที่ไม่แน่นอน ส่งไปยังหัวตัด จะรอยตัดที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 4.8 ก. จะมีรอยที่ไม่แน่นอน ถ้าสังเกตทางกายภาพตำแหน่งจุดอาร์คโดยการสร้าง Gap จากการถ่ายเทประจุผ่านอากาศ นั้นเมื่อใช้ไปสักระยะหนึ่งจะเกิดออกไซด์ของจุดสัมผัสและการถ่ายเทประจุผ่านอากาศมีความไม่แน่นอน และสัญญาณที่วัดได้ที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์จะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.5 มีจังหวะการสวิตช์ต่อเนื่อง ซึ่งการปรับปรุงของวิทยานิพนธ์นี้จะเปลี่ยนเป็นแบบสวิทชิง ซึ่งให้จังหวะในการควบคุมการตัดที่สมมาตรมากกว่าแบบดั้งเดิม

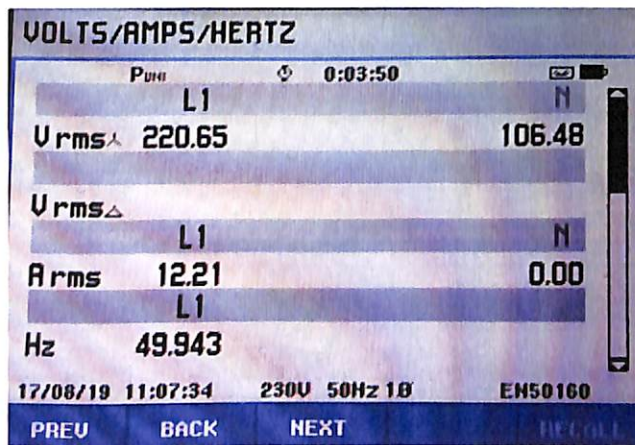


รูปที่ 4.4 วงจรชุดขับเคลื่อนของส่วน spark gap

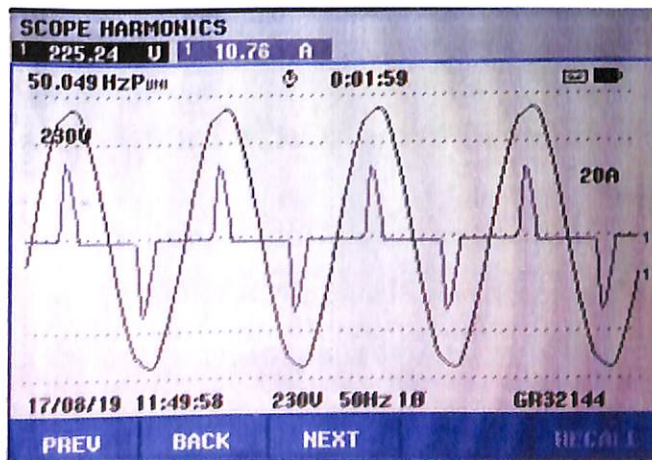


รูปที่ 4.5 สัญญาณของส่วน spark gap ที่จุด Vb

ในขั้นตอนสุดท้ายจะวัดค่าแรงดันและกระแสอินพุตจากแหล่งจ่ายด้วยเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้ายี่ห้อ Fluke 435 Class A โดยค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าสลับ 1 เฟสที่จ่ายให้เครื่องตัดแบบดั้งเดิมดังแสดงในรูปที่ 4.6. มีผลของค่ากระแสอินพุต 12.21 แอมป์ และ รูปคลื่นของแรงดันและกระแสแสดงดังรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่ากระแสไม่เป็นเชิงเส้นเกิดจากช่วงการเก็บประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุที่ใช้เป็นตัวกรองแบบเฟสเดียวที่ DC bus. มีผลทำให้เกิดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าซึ่งยังไม่ได้ทำการปรับปรุงผลของกระแสฮาร์มอนิก



รูปที่ 4.6 แรงดันและกระแสที่ใช้ของเครื่องตัดพลาสติกแบบดั้งเดิม

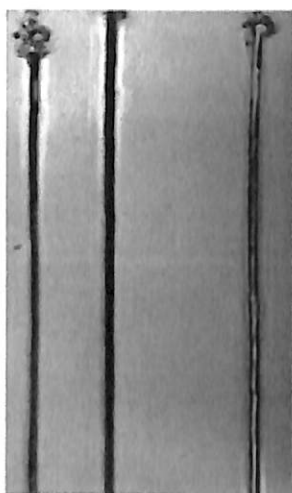


รูปที่ 4.7 รูปคลื่นของกระแส Harmonics อินพุตของเครื่องตัดพลาสติกแบบดั้งเดิม

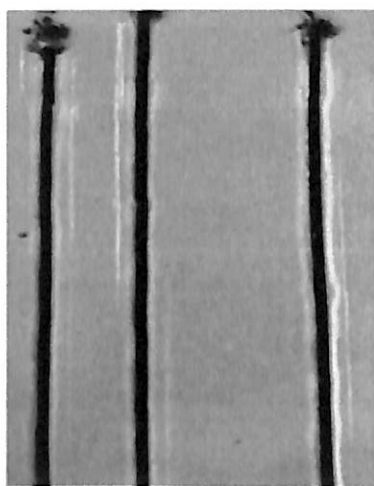
จากรูปที่ 4.7 เป็นรูปคลื่นของกระแสอินพุตหรือกระแสที่สายของระบบ 1 เฟสที่จ่ายเข้าเครื่องตัดแบบดั้งเดิม

4.3.2 รอยตัดจากการทดลองเครื่องตัดแบบดั้งเดิม

จากการทดสอบจะเห็นได้ว่ารอยการตัดของเครื่องตัดพลาสติกแบบดั้งเดิมนั้นรอยตัดไม่สม่ำเสมอเนื่องจากเมื่อทำการตัดเปลวไฟตัดของเครื่องที่ขยายตามห้องตลาดมีวงกว้างทำให้ขอบรอยตัดเกิดมีรอยไหม้มากทำให้ผิวขอบรอบรอยตัดมีลักษณะขรุขระเพราะกำลังการจุดหลอมละลายไม่สม่ำเสมอ ซึ่งขึ้นกับโลหะด้วยดังแสดงในรูปที่ 4.8



ก. รอยตัดที่ความหนา 1.0



ข. รอยตัดที่ความหนา 2.0 mm

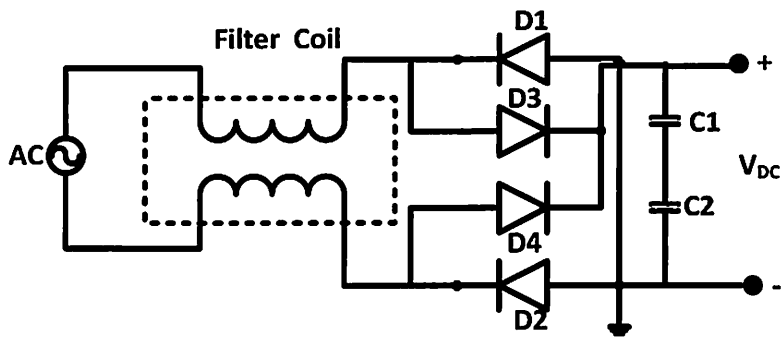
รูปที่ 4.8 รอยตัดของเครื่องแบบดั้งเดิม

4.4 ทดลองของเครื่องตัดพลาสติกที่สร้างขึ้นในการทำวิทยานิพนธ์

ในลำดับของหัวข้อนี้ จะนำเสนอการสร้างเครื่องตัดพลาสติกที่พัฒนาจากแบบดั้งเดิมโดยปรับปรุงในส่วนของคอนเวอร์เตอร์ ที่ใช้ ฟลายแบค สร้างสัญญาณสวิตซ์ซึ่งที่ความถี่ 50 kHz แทนการใช้ Spark Gap ซึ่งลำดับการสร้างส่วนประกอบของวงจรต่าง ๆ นำเสนอต่อไปดังนี้

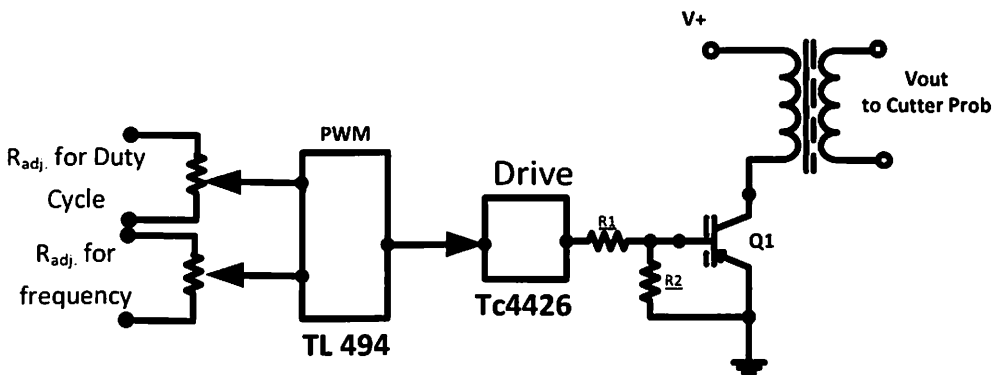
4.4.1 เครื่องตัดพลาสติกที่สร้างขึ้นในการทำวิทยานิพนธ์

จากที่ได้กล่าวถึงการออกแบบเครื่องตัดโลหะในบทที่แล้วนั้น จะนำตัวเครื่องตัดโลหะที่สร้างขึ้นมาซึ่งมีวงจรโดยรวมดังรูปที่ 4.10 การทดลองนั้นจะใช้แผ่นเหล็กที่มีความหนาต่างกันทำการตัดโดยเทียบกัน



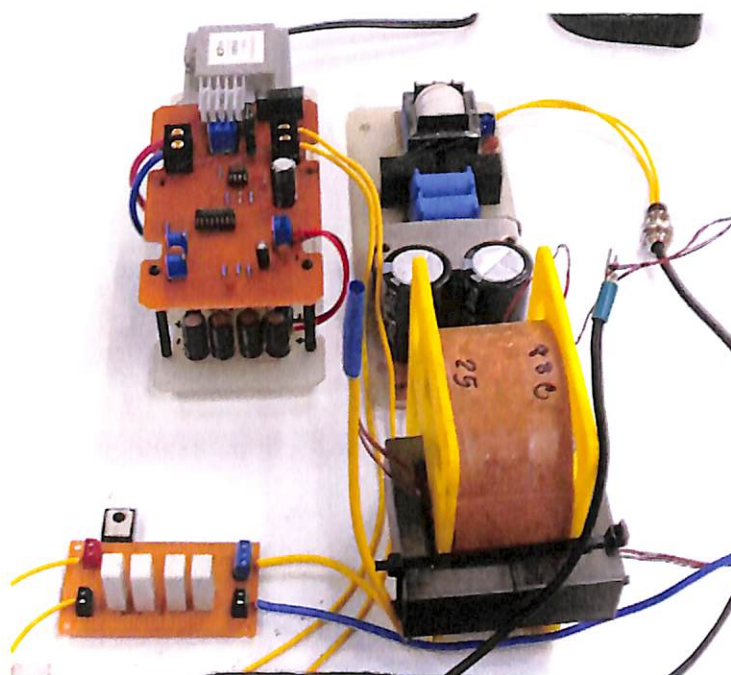
รูปที่ 4.9 วงจรเรียงกระแสที่สร้างขึ้น

ในการตัดโลหะแบบพลาสมาจำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงจากรูปที่ 4.9 เป็นวงจรเรียงกระแส 1 เฟส ซึ่งจะรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ แปลงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 311 โวลต์เพื่อใช้ในวิทยานิพนธ์

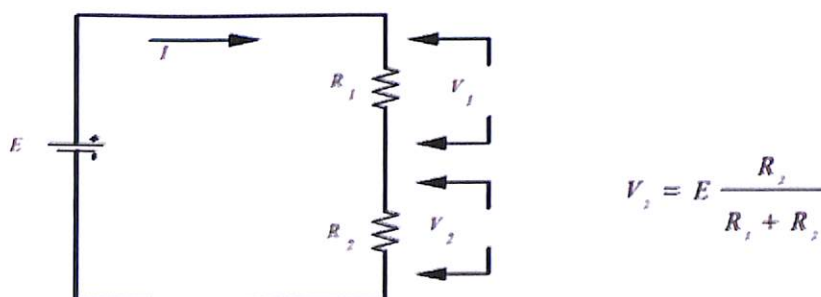


รูปที่ 4.10 วงจรโดยรวมที่สร้างขึ้น

จากรูป 4.10 จะเห็นวงจรโดยรวมของเครื่องตัดที่สร้างขึ้นมี IC-TL494 เป็นตัวสร้างสัญญาณ PWM ซึ่งสามารถที่จะปรับ ความถี่และคาบเวลาของสัญญาณที่ออกไปใช้งานได้ซึ่งสัญญาณที่ได้นั้นจะทำการส่งต่อให้กับ IC-Tc4426 ซึ่งเป็น IC ที่ใช้ในการขับ IGBT ในวงจรวงจรถอปเปอร์เพื่อไปกระตุ้นหม้อแปลงฟลายแบคให้สร้างแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการตัดโลหะ

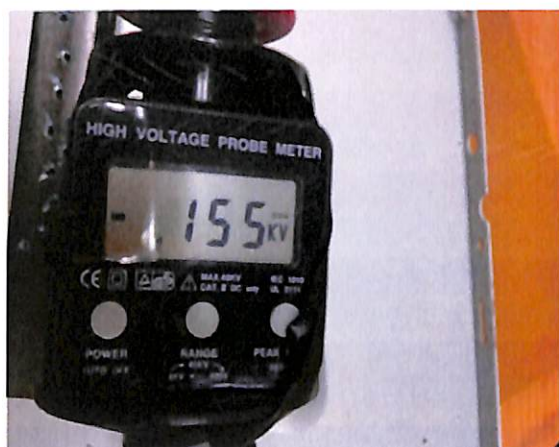


รูปที่ 4.11 เครื่องตัดพลาสมาที่สร้างขึ้นในรูปจริง



รูปที่ 4.12 การต่อวงจรแบ่งแรงดัน

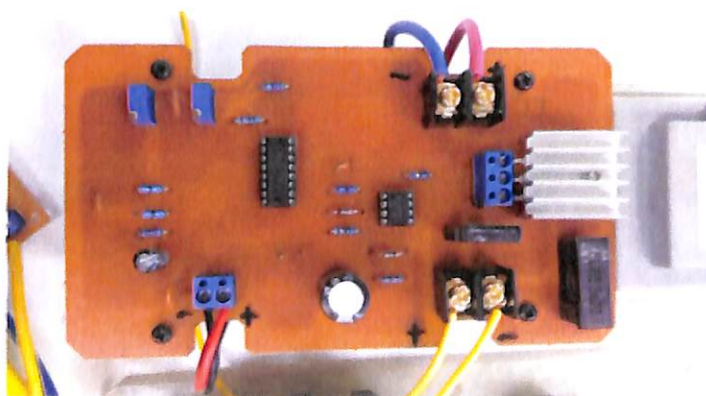
ทำการทดสอบวัดค่าแรงดันเอาท์พุทจากหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าสูงที่ได้สร้างขึ้นโดยได้ค่าที่วัดออกมาที่ $R_2 = 155\text{V}$ นำค่าที่วัดได้แทนลงในสมการ จาก $V_2=155\text{V}, R_1=10\text{K}\Omega, R_2= 1\text{M}\Omega$ จะสามารถคำนวณค่าแรงดันด้านเอาท์พุทของหม้อแปลง $E=15.655\text{ kV}$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแรงดันของหม้อแปลง High Volt ที่ได้ทำการออกแบบไว้ ดังรูปที่ 4.13



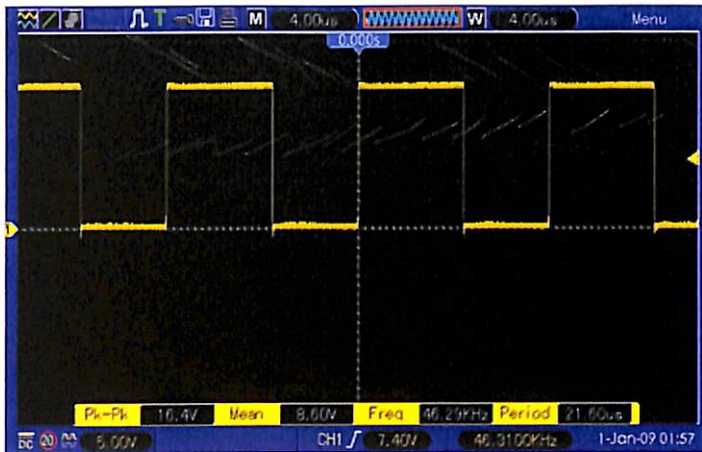
รูปที่ 4.13 การวัดแรงดันของหม้อแปลง High Volt ที่ R2

หลังจากทำการต่อโวลต์เตจดิไวเดอร์และวัดค่าแรงดันแล้วจึงเริ่มทำการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วงจร PWM ที่ได้สร้างขึ้นตามการออกแบบดังรูปที่ 4.14 สามารถปรับความถี่ได้สูงสุดที่ 50 kHz พร้อมทั้งยังสามารถปรับ คิวตี้ไซเคิล ที่เหมาะต่อการเปิด-ปิด Switch เพื่อกระตุ้นสัญญาณ Pulse ให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่เป็น IGBT โดยสัญญาณ PWM ที่ได้จาก IC-TL494 แสดงดังรูปที่ 4.15 โดยสัญญาณ PWM ที่ทดลองนี้ทำการปรับไว้ที่ $F = 50\text{kHz}$, ค่า Duty Cycle = 50%

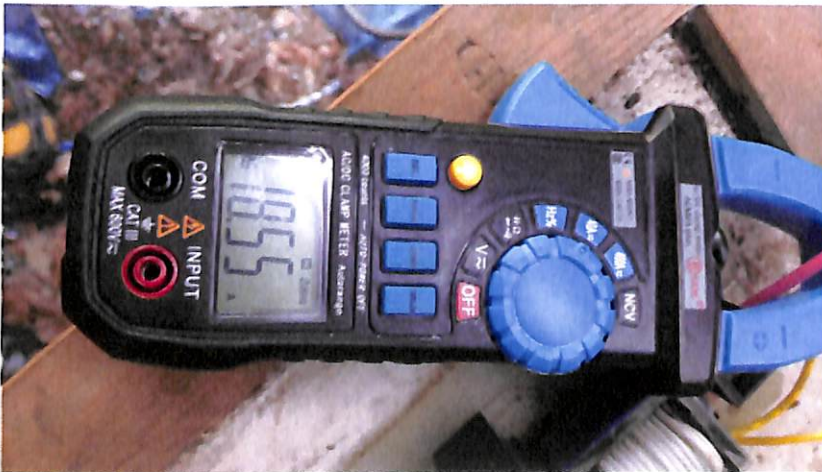


รูปที่ 4.14 วงจร PWM ที่สร้างขึ้นในวิทยานิพนธ์



รูปที่ 4.15 แสดงสัญญาณ PWM

เป็นการแสดงผลของสัญญาณที่ได้จากการออกแบบวงจรซึ่งมีค่าความถี่สูงสุดใกล้เคียงกับที่ได้ ออกแบบไว้

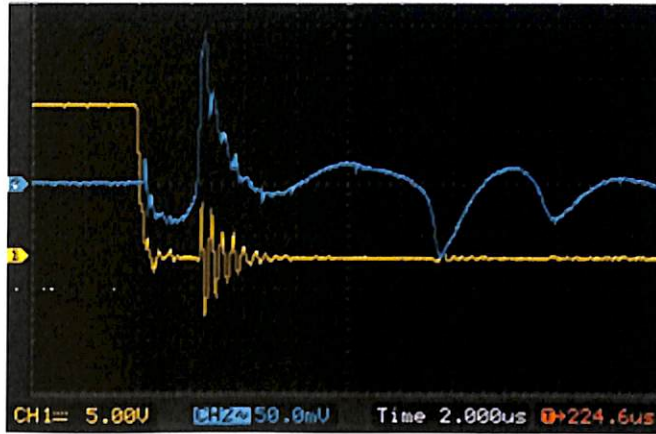


รูปที่ 4.16 แสดงค่ากระแสอินพุต

จากรูปที่ 4.16 เป็นค่าของกระแสที่ใช้ในการทดสอบการตัดแผ่นโลหะ ขนาด 1 mm และ 2 mm ซึ่งจะมีกระแสใกล้เคียงกับเครื่องตัดโลหะแบบทั่วไปที่ทำการทดสอบในพิกัดกระแสเดียวกัน

จากรูปที่ 4.17 รูปสัญญาณสี่เหลี่ยมเป็นสัญญาณขาเกตของ IGBT ส่วนสี่ฟ้าเป็นการวัดกระแสที่ใช้ในการตัดของเครื่องตัดพลาสมาหลังจากจุดพลาสมาครั้งแรก กระแสเริ่มต้นตัดจะมี

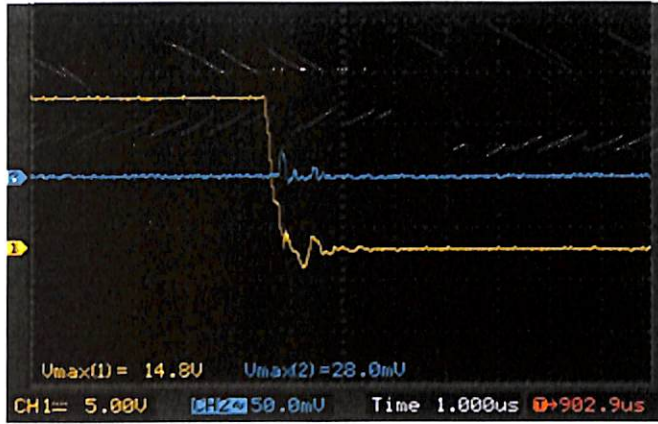
กระแสสูง ดังแสดงในรูปที่ 4.18 หลังจากจุดพลาสมาไปแล้วนั้นกระแสจะลดลงดังรูปที่ 4.17 เมื่อทำการตัดเหล็กต่อเนื่องจะเห็นได้ว่ากระแสจะคงที่ไปตลอดการตัดจนเสร็จดังรูปที่ 4.19



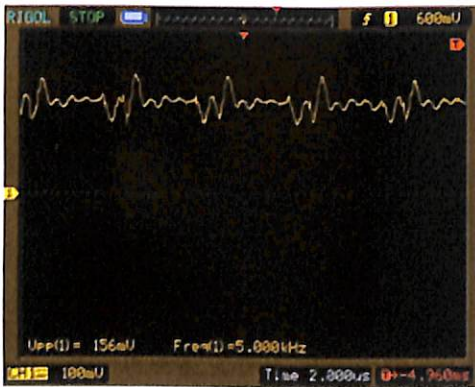
รูปที่ 4.17 แสดงรูปสัญญาณ PWM และ กระแสอินพุท(ลีฟ้า) ในขณะที่ตัดครั้งที่ 1



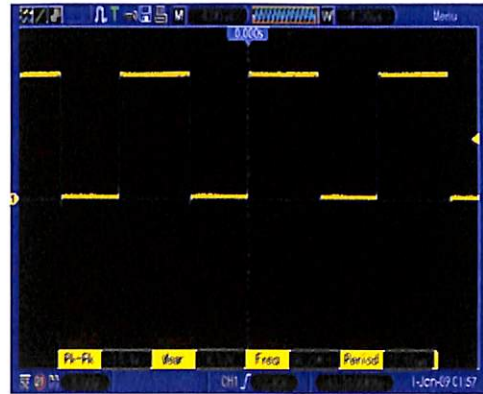
รูปที่ 4.18 แสดงรูปสัญญาณ PWM และ กระแสอินพุท(ลีฟ้า) ในขณะที่ตัดครั้งที่ 2



รูปที่ 4.19 แสดงกระแสขณะทำการตัดต่อเนื่อง



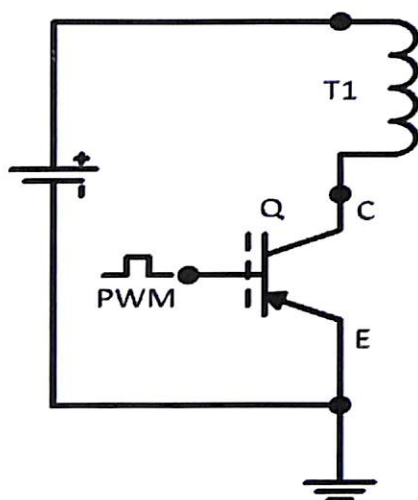
ก. สัญญาณจุดอาร์คเครื่องแบบดั้งเดิม



ข. สัญญาณจุดอาร์คเครื่องตัดในวิทยานิพนธ์

รูปที่ 4.20 แสดงสัญญาณ PWM ของขาเกต IGBT

จากรูปที่ 4.20 เป็นภาพแสดงสัญญาณ PWM ซึ่งทำการวัดที่ขาเกตของไอจีบีที ขณะทำการตัดแผ่น โลหะ เมื่อนำสัญญาณเกตของชุดขับ ก. เปรียบเทียบกับ ข. เครื่องตัดในวิทยานิพนธ์ จะเห็นว่า สัญญาณแรงดันมีรูปแบบเป็น Chopper สมบูรณ์มีการรบกวนน้อยและไม่เกิดความร้อนทำให้พลังงานสูญเสียมีน้อยและมีรูปแบบการสวิตช์ ที่เป็น Uniform



รูปที่ 4.21 วงจรชุดขับเคลื่อนหม้อแปลง High Volt

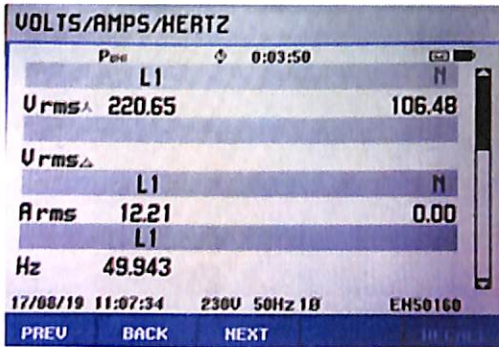
จากรูปที่ 4.21 ได้ทำการวัดรูปสัญญาณที่ตกคร่อมระหว่าง ขาคอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์ ของ IGBT ซึ่งปรากฏว่ารูปสัญญาณแบบพัลส์ ที่ความถี่ 50 kHz. มีสัญญาณความฟุ้งเกินซึ่งสามารถปรับแต่งได้จากการจำกัดกระแสเกตของ IGBT เป็นธรรมชาติของวงจรขอปเปอร์ แต่จะทำให้เอาท์พุทเป็น Uniform ซึ่งดีกว่าการใช้ Spark Gap ดังแสดงในรูปที่ 4.22



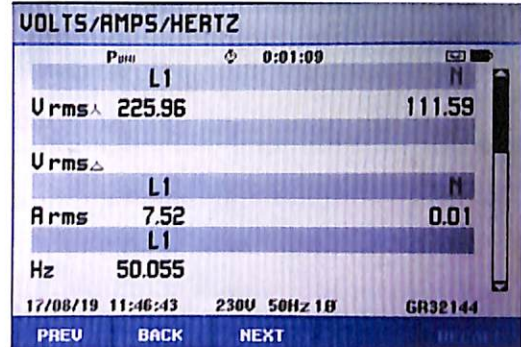
รูปที่ 4.22 แสดงสัญญาณ PWM ของขาคอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบจากการวัดค่าแรงดันและกระแสจะพบว่าเครื่องตัดพลาสมาแบบดั้งเดิมนั้นมีการใช้พลังงานที่มากกว่าเครื่องตัดพลาสมาที่ออกแบบสร้างขึ้น โดยที่เครื่องตัดพลาสมาแบบดั้งเดิมนั้นมีการใช้พลังงานที่เท่ากับ 2.694kW ในขณะที่เครื่องที่ทำการออกแบบสร้าง

ชั้นในวิทยาลัยพณิชยการนี้มีการใช้พลังงานที่เท่ากับ 1.7kW เมื่อทำการเทียบประสิทธิภาพของเครื่องตัดที่ ออกแบบในวิทยาลัยพณิชยการครั้งนี้พบว่ามีความมากถึง 63.19 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.23



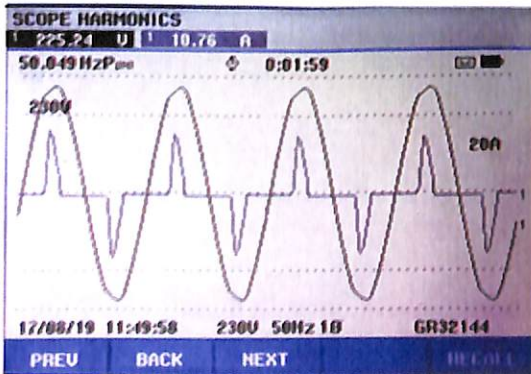
ก. เครื่องตัดพลาสมาแบบดั้งเดิม



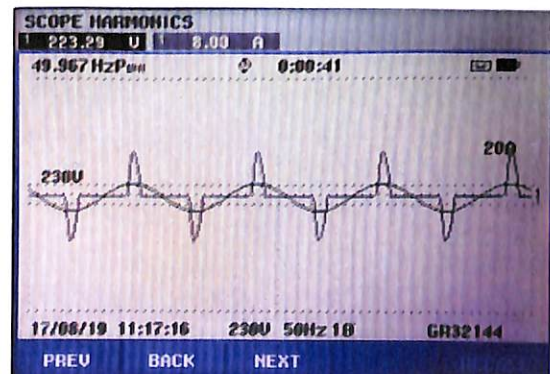
ข. เครื่องตัดพลาสมาที่สร้างในวิทยาลัยพณิชยการ

รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบแรงดันและกระแสที่ใช้ของเครื่องตัดพลาสมา

ในรูปที่ 4.24 ซึ่งเป็นการแสดงผลเปรียบเทียบรูปคลื่นของกระแส Harmonics อินพุตหรือ กระแสที่ในส่วนองกระแสไฟฟ้าสลับของระบบ 1 เฟสที่จ่ายเข้าเครื่องตัดทั้งสองจะสังเกตเห็นว่า รูปคลื่นของเครื่องตัดพลาสมาแบบดั้งเดิมและเครื่องตัดพลาสมาที่สร้างในวิทยาลัยพณิชยการนี้มี Wave form ที่เหมือนกัน ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันได้ว่าประสิทธิภาพของเครื่องตัดพลาสมาที่ออกแบบใน วิทยาลัยพณิชยการนี้มีประสิทธิภาพที่สูงกว่า



ก. เครื่องตัดพลาสมาแบบดั้งเดิม



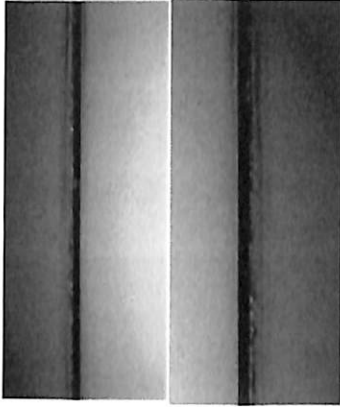
ข. เครื่องตัดพลาสมาที่พัฒนาขึ้น

รูปที่ 4.24 แสดงรูปคลื่นของกระแส Harmonics อินพุต

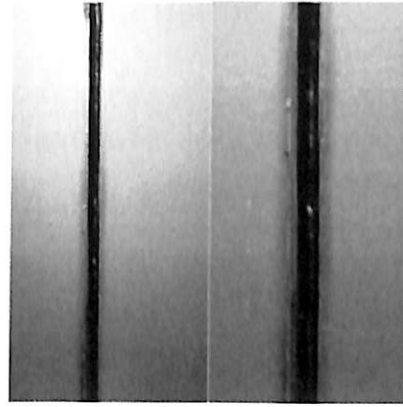
4.4.2 ผลของรอยตัดจากการทดลอง

จากการทดสอบจะเห็นได้ว่ารอยของการตัดของเครื่องตัดพลาสมาที่สร้างขึ้นนั้นมีรอยตัดที่ สม่่าเสมอต่อเนื่องกันเนื่องจากเมื่อทำการตัดเปลวไฟตัดของเครื่องที่สร้างขึ้นนั้นมีความคงที่จึงทำ

ให้ขอบรอยตัดเกิดมีรอยไหม้เล็กน้อยทำให้ผิวของขอบรอบไม่เกิดความขรุขระและแนวตัดมีความเที่ยงตรงกว่ามาก ดังรูปที่ 4.25



ก. รอยตัดที่ความหนา 1.0 mm



ข. รอยตัดที่ความหนา 2.0 mm

รูปที่ 4.25 รอยตัดของเครื่องที่สร้างขึ้น

จากการทดลองในบทรนี้ได้แสดงให้เห็นถึง การทดลองเปรียบเทียบระหว่างเครื่องตัดพาสมาแบบดั้งเดิม และเครื่องตัดพาสมาที่สร้างขึ้น จะเห็นได้จากรอยตัดทางกายภาพว่าการใช้วงจรถอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบคแทนการใช้ Spark Gap แบบดั้งเดิมมีผลลัพธ์ของการตัดที่ดีกว่ามีความเรียบคม และค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้รับจากเครื่องที่สร้างขึ้นมีค่าน้อยลงในขีดจำกัดการออกแบบที่เท่ากัน ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาต่อไป