การศึกษาการป้องกันความเสียหายของตัวประจุกรองของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งด้วยรีแอคเตอร์

THE STUDY OF A DAMAGE PROTECTION OF THE FILTER CAPCITOR IN ELECTRICAL SWITCHING WELDING USING REACTOR

กฤษฎา ไทยวัฒน์ นิมิต บุญภิรมย์ และ กษิเดช ทิพย์อมรวิวัฒน์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : krisada.th@spu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการศึกษาการป้องกันความเสียหายของตัวประจุกรองของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งด้วยรีแอคเตอร์ วัตถุประสงค์ของบทความเป็นการวิเคราะห์สาเหตุของความเสียหายของตัวประจุที่ใช้กรองแรงดันในภาควงจรเรียงกระแสของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งในขณะที่ใช้งาน โดยการวัดค่าแรงดันกระแสที่บัสไฟฟ้ากระแสตรง และวัดแรงดัน กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ พบว่าเกิดกระแสกระโชกสูงที่ไหลเข้าตัวประจุขณะที่ทำการเชื่อมและหยุดเชื่อม มีผลให้เกิดแรงดันตกที่บัสไฟฟ้ากระแสตรงและแรงดันที่จ่ายเข้า การแก้ปัญหาได้ติดตั้งรีแอคเตอร์ที่สายไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายเข้าด้วยอัตราเปอร์เซ็นต์อิมพิแดนซ์เท่า 3 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองหลังติดตั้งรีแอคเตอร์ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ตกคร่อมตัวประจุลดลงประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ และกระแสค่ายอดที่ไหลเข้าประจุลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สามารถลดค่ากระแสกระโชกของตัวประจุได้ นอกจากนี้ยังสามารถลดกระแสฮาร์มอนิกของกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่สายจ่ายเข้าด้วย

คำสำคัญ: เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่ง กระแสกระโชก ตัวประจุกรอง

ABSTRACT

This paper presents the study of a damage protection of filter capacitor in electrical switching welding. The main purpose is to analyze the cause of voltage filter capacitor that includes in the rectifier circuit of electrical switching welding on the process. The DC bus voltage, DC filter capacitor current, AC input voltage and AC input current are measured. As the measuring results, the inrush current that flows into the filter capacitor is shown the major cause for the capacitor damaged during operating and non-operating the welding. Moreover, the 3% impedance line reactor is installed in AC line input in order to reduce this inrush current. As the experimental results, the DC capacitor voltage and capacitor peak current reduce about 18% and 50 %, respectively. In addition, the total harmonic distortion of AC input current are also significantly reduced.

KEYWORDS: Electrical Switching Welding, Inrush Current, Filter Capacitor.

1. บทนำ

การใช้เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งมีความแพร่หลายมากในวงจรอุตสาหกรรมเนื่องจากมีขนาดเล็กสะดวกในการเคลื่อนย้ายและใช้พลังงานน้อย สามารถเชื่อมได้หลายรูปแบบ แต่ปัญหาสำคัญของเครื่องเชื่อมแบบสวิตชิ่งคือการส่งผลกระทบกับคุณภาพไฟฟ้า เช่น ฮาร์มอนิก แรงดันตก เป็นต้น นอกจากนี้จากการสำรวจด้วยการสอบถามจากผู้ใช้ ยังพบว่า เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งมักจะเกิดความชำรุดเสียหายจากการระเบิดของตัวประจุที่ใช้กรองในวงจรเรียงกระแสบ่อยครั้งมาก ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้และเกิดอุปสรรคในการทำงาน ในบทความนี้ได้นำเสนอการป้องกันการเสียหายของตัวประจุกรองในวงจรเรียงกระแส จากผลของกระแสกระโชกที่ไหลเข้าตัวประจุขณะที่ตัวประจุทำการประจุและคายประจุในช่วงเวลาระหว่างการเชื่อมและหยุดเชื่อม โดยติดตั้งรีแอคเตอร์อนุกรมที่สายไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายเข้าเครื่องเชื่อมวิธีนี้เป็นวิธีง่าย ๆ เหมาะกับงานทางปฏิบัติจริงมีความคงทน มีขนาดไม่ใหญ่ และราคาถูก ได้มีการศึกษาการลดกระแสกระโชกในงานวิจัยที่ผ่านมาเช่น (In-Gun Kim, Hyun-Seok Hong, Dong-Woo Kang, Ju Lee., 2016) ศึกษาเรื่องการใช้รีแอคเตอร์ในการจำกัดกระแสกระโชกในระบบไฟฟ้ากำลังและ (D.F. Peelo ,2014) ได้ประยุกต์ใช้รีแอคเตอร์ในการป้องกันการเกิดสภาวะชั่วครู่ขณะที่เซอร์กิตเบรคเกอร์ทำงาน (I.G. Kim,Liu Huaicong.s, Y.Cho, Jule. 2016) ได้ศึกษาการป้องกันกระแสกระโชกของเครื่องเชื่อมโดยใช้วิธีออกแบบหม้อแปลงให้มีการหน่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงของกระแส

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาสาเหตุของการเสียหายของตัวประจุกรองที่อยู่ในวงจรเรียงกระแสของเครื่องเชื่อม

2. เพื่อวัดกระแสกระโชกที่ไหลเข้าตัวประจุกรองวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายเข้าเครื่องเชื่อม

3. ออกแบบรีแอคเตอร์เพื่อลดกระแสกระโชกที่ไหลเข้าตัวประจุกรอง

4. เพื่อวัดแรงดัน กระแส ที่สายจ่ายเข้า แรงดันและกระแสที่บัสไฟฟ้ากระแสตรง วัดกระแสฮาร์มอนิกของกระแสไฟฟ้าจ่ายเข้าตามลำดับ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาโครงสร้างของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่ง 1 เฟส 220 โวลท์ 300 วัตต์ เป็นเครื่องเชื่อมที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป

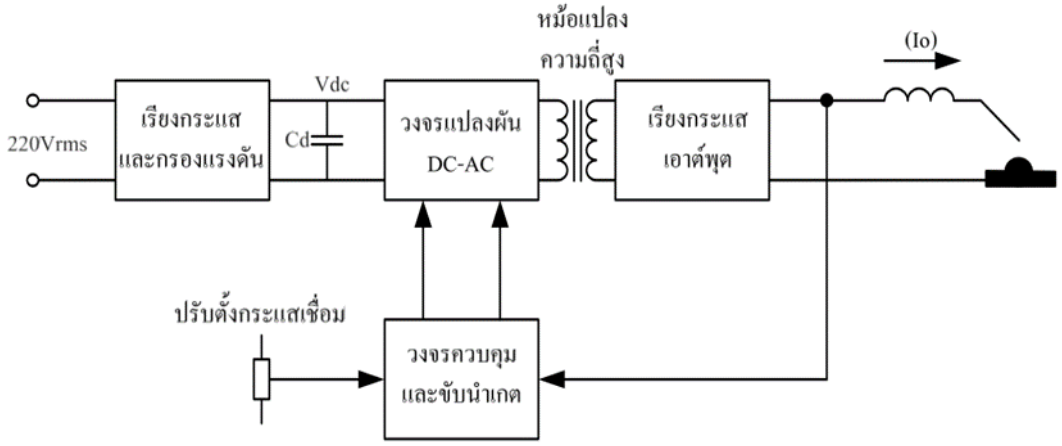
2. ศึกษาการเกิดกระแสกระโชกที่ไหลเข้าตัวประจุกรองของบัสไฟฟ้ากระแสตรง

3. วัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสไฟฟ้ากระแสตรง กระแสกระโชกที่ไหลเข้าตัวประจุกรอง แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายเข้าเครื่องเชื่อม ด้วยเครื่องมือวัดคุณภาพไฟฟ้า

4. ออกแบบและติดตั้งรีแอคเตอร์ที่สายไฟฟ้าจ่ายเข้าเครื่องเชื่อมไฟฟ้า

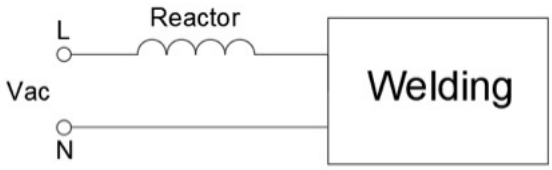
5. เปรียบเทียบผลของการเกิดกระแสกระโชก การเกิดแรงดันตก และกระแสฮาร์มอนิก ระหว่างการไม่ติดตั้งรีแอคเตอร์ และ ติดตั้งรีแอคเตอร์

3.2 หลักการเบื้องต้นของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่ง



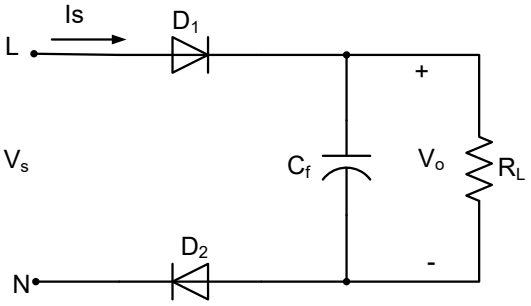
รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่ง

โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ 1. วงจรเรียงกระแสและกรองแรงดันเป็นวงจรที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายเข้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรงหรือเรียกว่าบัสไฟฟ้ากระแสตรง จากภาพจะเป็นตัวประจุตัวกรองแรงดัน(Cd) ซึ่งทำหน้าที่กรองแรงดันให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเรียบ 2. วงจรแปลงผัน หรือวงจรอินเวอร์เตอร์ 3. ภาคเอาต์พุตด้วยหม้อแปลงความถี่สูง จากนั้นทำการกรองแรงดันอีกครั้งก่อนจะส่งไปที่หัวเชื่อมของเครื่องเชื่อม และ 4. วงจรควบคุมและขับนำเกต ปัญหาสำคัญของความเสียหายขอบตัวประจุกรอง(Cd) จากการระเบิดบ่อยครั้งเกิดจากกระแสกระโชกในตัวประจุมีค่ามากและมีการเปลี่ยนแปลงโดยรวดเร็ว เพื่อแก้ไขด้วยวิธีง่ายไม่ซับซ้อนเหมาะในทางปฏิบัติในอุตสาหกรรมจะติดตั้งรีแอคเตอร์อนุกรมกับสายไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายเข้าเครื่องเชื่อมเพื่อลดริปเปิ้ลของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและลดกระแสในตัวประจุ หรือลดอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่เกิดขึ้นในขณะที่ตัวประจุทำการประจุและคายประจุ ขนาดรีแอคเตอร์มีเปอร์เซ็นต์อิมพิแดนซ์เท่ากับ 3 เปอร์เซ็นต์ตามมาตรฐาน NEMA MG-1 Part 31 สามารถลดการกระชากของไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งถ้ามากกว่านี้จะเกิดแรงดันตกคร่อมในสายไฟฟ้ากระแสสลับเกินมาตรฐาน ดังแสดงโครงสร้างการติดตั้งในรูปที่ 2

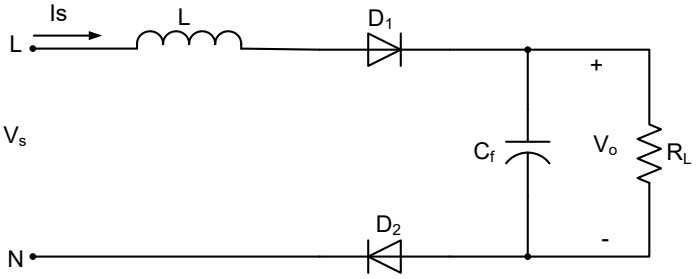


รูปที่ 2 การติดตั้งรีแอคเตอร์

3.2.1 วงจรสมมูลของวงจรเรียงกระแสของเครื่องเชื่อม



ก. วงจรสมมูลย์ ไม่ได้ติดตั้งรีแอคเตอร์



ข. วงจรสมมูลย์ ติดตั้งรีแอคเตอร์

รูปที่ 3 วงจรสมมูลย์เรียงกระแสของวงจรเครื่องเชื่อมใช้ตัวประจุกรองและตัวประจุกับรีแอคเตอร์

การพิจารณาผลของการลดกระแสกระโชกที่ผ่านตัวประจุกรองโดยติดตั้งรีแอคเตอร์ที่สายไฟฟ้าจ่ายเข้า แสดงดังรูปที่ 3 จะเป็นแนวทางในการวิเคราะห์โดยผลการติดตั้งตัวประจุกรองและรีแอคเตอร์นี้จะเป็นการลดริปเปิ้ลของแรงดันเอาต์พุต เมื่อริปเปิ้ลลดลง กระแสกระโชกที่ไหลเข้าตัวประจุกรองก็จะลดลงด้วย แสดงให้เห็นดังสมการที่(1)และสมการที่(2) ค่า Ripple Factor จะแสดงอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของแรงดันเอาต์พุตที่บัสไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นขนาดของ Ripple Factor จะลดลงเมื่อติดตั้งรีแอคเตอร์ แสดงให้เห็นถึงการจำกัดหรือลดลงของกระแสกระโชกที่ไหลเข้าตัวประจุกรองด้วย Ripple Factor เมื่อไม่ได้ติดตั้งรีแอคเตอร์แสดงดังสมการที่ (1) และเมื่อติดตั้งรีแอคเตอร์แสดงดังสมการที่ (2) จากนั้นออกแบบขนาดของรีแอคเตอร์ ตามสมการที่ (3) มีค่าเหนียวนำเท่ากับ 10.5mH

$$RF = \frac{V_{ac}}{V_{dc}} = \frac{1}{\sqrt{2}(4fC_fR_L - 1)} \quad (1)$$

$$RF = \frac{V_{ac}}{V_{dc}} = \frac{\sqrt{2}}{3}\frac{1}{[(4\pi f)^2 LC_f - 1]} \quad (2)$$

โดย RF = Ripple Factor, f = ความถี่วงจรเรียงกระแส, C_f = ตัวประจุกรองแรงดัน , R_L = ความต้านทานโหลด (Muhammad H. Rashid., 2009), L = รีแอคเตอร์

3.2.2 การคำนวณค่ารีแอคเตอร์

$$\mathbf{L} = \frac{\%\boldsymbol{Z} \times \boldsymbol{V_p}}{\mathbf{2\pi f} \times \boldsymbol{I} \times \mathbf{100}} \quad (3)$$

กำหนด %Z = 3% ,Vp = 220V , I = 2A

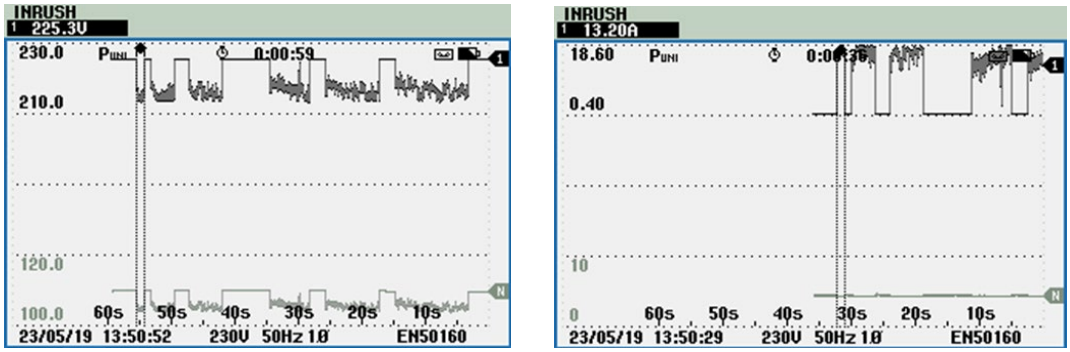
$$L = \frac{3 \times 220}{2 \times 3.14 \times 50 \times 2 \times 100} = 10.5 \text{ mH.}$$

3.3 การวัดและการวิเคราะห์ผลกระทบของกระแสกระโชก

หัวข้อนี้เป็นการวัดและการทดลองผลของการติดตั้งรีแอคเตอร์โดยใช้เครื่องมือวัดดังนี้

1. เครื่องมือวัดคุณภาพไฟฟ้ายี่ห้อ Fluke 435 Series II, IEC 6100-4-30 Class A
2. ออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Yokogawa DL1520 150 MHz

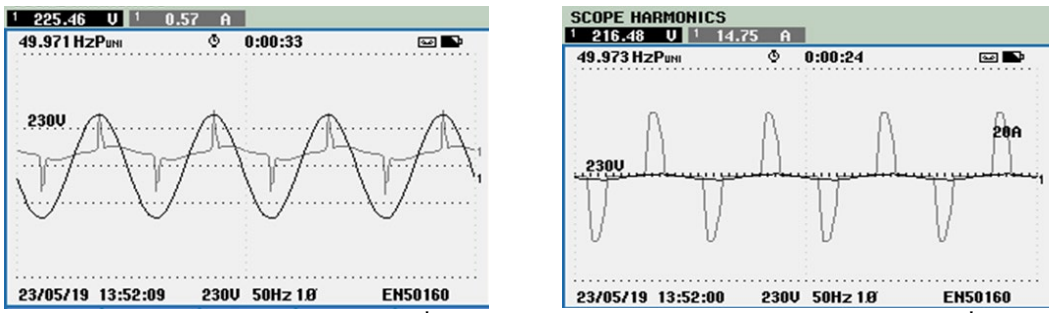
3.3.1 วัดแรงดันและกระแสRMS ที่สายไฟฟ้าจ่ายเข้าเครื่องเชื่อมด้วยเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า ดังแสดงใน รูปที่ 4 แรงดันตกลงระหว่างทำการเชื่อม 20 V มีค่าเฉลี่ยของแรงดัน RMS เท่ากับ 225 V ดังรูปที่ 4 ก. และกระแสจะลดลง ได้กระแสกระโชกในสายจ่ายเข้า 13.20 A ดังรูปที่ 4 ข.



ก. แรงดันตกที่สายไฟฟ้าจ่ายเข้า ข. กระแสที่สายไฟฟ้าจ่ายเข้า

รูปที่ 4 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่สายจ่ายเข้าเครื่องเชื่อมขณะเชื่อมและหยุดเชื่อม

3.3.2 วัดรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่สายไฟฟ้าจ่ายเข้าขณะทำการเชื่อมและหยุดเชื่อมจะเห็นได้ว่าเกิดรูปคลื่นกระแสผิดเพี้ยนของกระแส เป็นผลให้เกิดฮาร์มอนิกที่สายไฟฟ้าจ่ายเข้าเครื่องเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 5 ความเพี้ยนของกระแสไฟฟ้าในสายจ่ายเข้าเกิดจากสภาวะการทำงานของตัวประจุกรองประจุและคายประจุในวงจรเรียงกระแส จะเห็นได้ว่ากระแสขณะทำการเชื่อมเท่ากับ 14.75 A ดังรูปที่ 5 ข. แต่อาจจะไม่เห็นรูปภาพของแรงดันเนื่องจากสเกลของเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าเมื่อวัดในภาพเดียวกัน

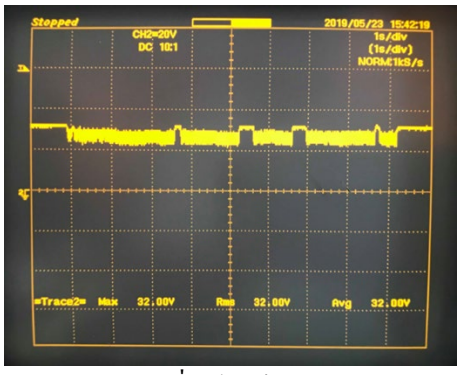


ก. แรงดันและกระแสจ่ายเข้าขณะหยุดเชื่อม ข. แรงดันและกระแสจ่ายเข้าขณะเชื่อม

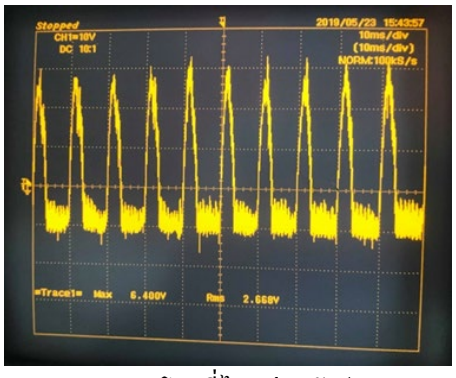
รูปที่ 5 รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่สายจ่ายเข้าเครื่องเชื่อมขณะเชื่อมและหยุดเชื่อม

3.3.3 จากนั้นทำการวัดรูปเคลื่อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่บัสไฟฟ้ากระแสตรง และกระแสกระโชกที่ไหลผ่านตัวประจุกรองด้วยออสซิโลสโคป จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะประมาณ 320 V (อัตราส่วน 10:1) มีแรงดันตกขณะทำการเชื่อมเล็กน้อย ส่วนในรูปที่ 6 ข. แสดงค่ากระแสกระโชกที่ไหลผ่านตัว

ประจุมีค่าสูง และมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสรวดเร็ว (di/dt) วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยคือจะลดค่ากระแสส่วนนี้เพื่อป้องกันการเสียหายของตัวประจุ

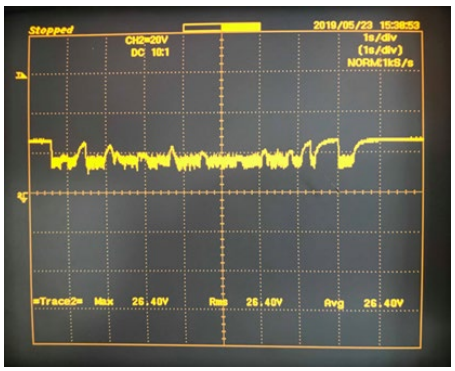


ก. แรงดันที่บัสไฟฟ้ากระแสตรง

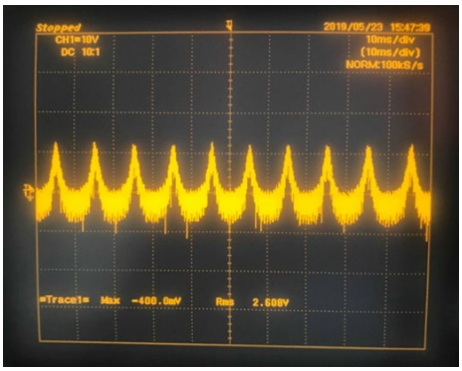


ข. กระแสกระโชกที่ไหลผ่านตัวประจุกรอง

รูปที่ 6 รูปคลื่นแรงดันที่บัสไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสกระโชกในตัวประจุกรองไม่ได้ติดตั้งรีแอคเตอร์



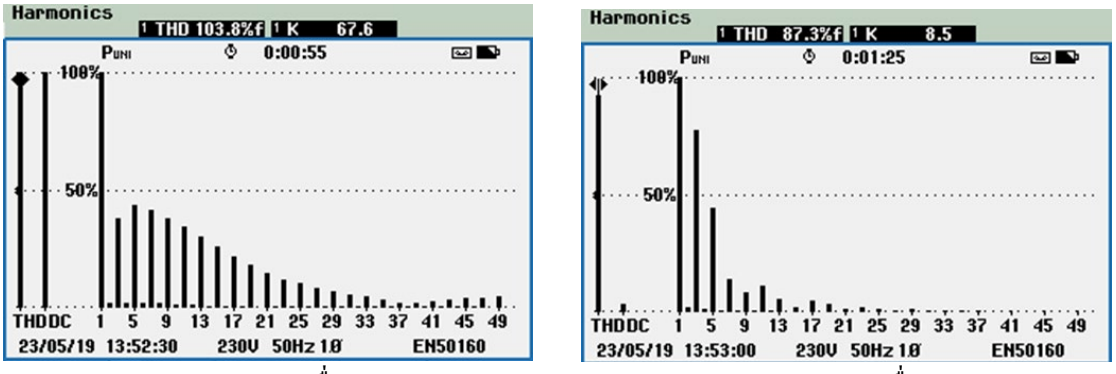
ก. แรงดันที่บัสไฟฟ้ากระแสตรง



ข. กระแสกระโชกที่ไหลผ่านตัวประจุกรอง

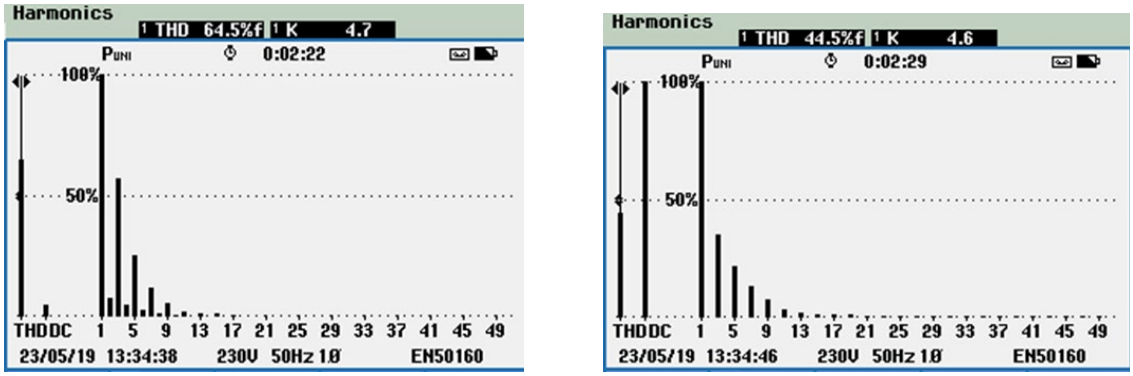
รูปที่ 7 รูปคลื่นแรงดันที่บัสไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสกระโชกในตัวประจุกรองเมื่อติดตั้งรีแอคเตอร์

3.3.4 จากนั้นทำการติดตั้งรีแอคเตอร์ที่สายไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายเข้า ตามที่ได้ออกแบบไว้ และทำการวัดเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 7 ก. และ ข. จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่บัสไฟฟ้ากระแสตรงลดลงเหลือประมาณ 260 V ซึ่งเครื่องเชื่อมสามารถทำงานได้อย่างปกติ และกระแสกระโชกในตัวประจุกรองจะลดลง สามารถลดความเสี่ยงกับการเสียหายของตัวประจุได้ขณะที่เครื่องเชื่อมทำงานต่อเนื่อง นอกจากนี้ การติดตั้งรีแอคเตอร์ยังส่งผลให้กระแสฮาร์มอนิกในกระแสไฟฟ้าสลับจ่ายเข้าลดลงจากรูปที่ 8 ก.และ ข. แสดงให้เห็นถึงสเปกตรัม และค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยน หรือ ค่า %THD ขณะหยุดเชื่อมกับทำการเชื่อมเมื่อทำการเชื่อมกระแสมูลฐานสูงขึ้น ค่า% THD จะลดลงจาก 103.8 % ลงมาเหลือ 87.3 % แต่เมื่อติดตั้งรีแอคเตอร์ค่าสเปกตรัมขณะหยุดเชื่อมและทำการเชื่อมจะลดลง จาก 64.5 % ลงมาเหลือ 44.5 % ทำให้เห็นถึงผลดีตามมาที่สามารถลดกระแสฮาร์มอนิกลงด้วย ดังแสดงในรูปที่ 9 ก. และข. ตามลำดับ



ก. ขณะหยุดเชื่อม ข. ขณะเชื่อม

รูปที่ 8 สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่ในสายจ่ายเข้าไม่ได้ติดตั้งรีแอคเตอร์



ก. ขณะหยุดเชื่อม ข. ขณะเชื่อม

รูปที่ 9 สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่ในสายจ่ายเข้าเมื่อติดตั้งรีแอคเตอร์

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลของการติดตั้งรีแอคเตอร์ที่สายไฟฟ้าจ่ายเข้า เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบสวิตชิ่งสามารถลดการเกิดกระแสกระโชกที่ไหลผ่านเข้าตัวประจุกรองเพื่อลดปัญหาความเสียหายจากการระเบิดของตัวประจุกรอง จากผลการทดลองแสดงการลดลงของริปเปิ้ลของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่บัสไฟฟ้ากระแสตรงและลดค่ายอดของกระแสไฟฟ้ากระโชกที่ไหลเข้าตัวประจุกรองและยังสามารถลดกระแสฮาร์มอนิกของกระแสจ่ายเข้าทำให้คุณภาพไฟฟ้าดีขึ้น วิธีนี้เป็นวิธีทางปฏิบัติที่ทำได้ง่ายราคาถูกเหมาะสมกับการใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมในกรณีเครื่องเชื่อมมีหลายเครื่องอาจจะติดตั้งเป็นกลุ่มได้

5. เอกสารอ้างอิง

D.F. Peelo, 2014. Effect of Series Reactors on Circuit Breaker Transient Recovery Voltages**,** Power and Energy Engineering Conference, **IEEE PES Asia-Pacific**,7-14.

I.G. Kim,Liu Huaicong.s, Y.Cho, Jule. 2016. A Study on the Transformer Design considering the Inrush Current Reduction in the Arc Welding Machine**. Journal of Magnetics 21**(3):374-378.

In-Gun Kim, Hyun-Seok Hong, Dong-Woo Kang, Ju Lee. 2016. A Study on the Pulse Transformer Design Considering Inrush Current in the Welding Machine. **World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical Engineering**, Vol.10, No. 2.

Muhammad H. Rashid. 2009. **Power Electronics: Circuits, Devices and Application**(3rd). Pentice Hall. USA.