

**การศึกษาความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกของกระแสเอาต์พุต
ในวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ควบคุมได้ 1 เฟสร่วมกับตัวเก็บประจุ**

คมศักดิ์ หาดขุนทด^{1*}

Received : October 5, 2020

Revised : August 27, 2021

Accepted : August 29, 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาค่าของตัวเก็บประจุในวงจรเรียงกระแสควบคุมได้ 1 เฟสแบบบริดจ์ โดยศึกษาถึงความผิดเพี้ยนของกระแสที่เกิดจากฮาร์โมนิก (Harmonic Current Distortion) ทางด้านเอาต์พุตของวงจร, ตัวประกอบกำลัง (Power Factor, PF) และ การไหลของกระแสเอาต์พุตว่าเป็นไปอย่างต่อเนื่องหรือไม่โดยศึกษาผ่านวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ควบคุมได้ 1 เฟสอย่างง่าย โดยใช้ OrCAD PSpice จำลองการทำงานโดยการลดกระแสในฮาร์โมนิกที่ 2 ลงครึ่งละ 10 % แล้วคำนวณหาตัวเก็บประจุ นำค่าหรือขนาดของตัวเก็บประจุที่ได้ไปจำลองการทำงาน เพื่อหาค่า THD ของเอาต์พุต, ค่า PF, ร่วมกับพิจารณาการไหลของกระแสเอาต์พุตว่ามีความต่อเนื่องหรือไม่ จากการจำลองการทำงานพบว่าในกรณีที่โหลดต้องการการทำงานในโหมดกระแสไหลอย่างต่อเนื่อง การลดค่ากระแสในฮาร์โมนิกที่ 2 ลง 50 % ที่ค่า $C=202\ \mu\text{F}$ มีค่าระดับความผิดเพี้ยนของกระแส 19.21% มีค่าตัวประกอบกำลัง 0.401 เป็นค่าที่ดีที่สุดจากการศึกษาในครั้งนี้

คำสำคัญ: ตัวเก็บประจุ ตัวประกอบกำลัง วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ควบคุมได้ 1 เฟส

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
อีเมล: komsak_h@hotmail.com

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: komsak_h@hotmail.com

STUDY OF HARMONIC DISTORTION OF OUTPUT CURRENT IN A SINGLE-PHASE BRIDGE CONTROL RECTIFIER WITH A CAPACITOR

Komsak Hadkhuntod^{1*}

Abstract

This article presents the study of the capacitance of a single-phase bridge's control rectifier by focusing on the harmonic current distortion in the output circuit, the power factor (PF) and the current flow of output which is continuous or discontinuous on the single of simple-phase bridge's control rectifier. The simulation using OrCAD PSpice can be calculated for the capacitor by reducing 10% of the current in the 2nd harmonic. Then the THD value of the output, PF, together with the flow of the current output would be found continuously. It shows that in case of load which the flow mode is continuous, the reduction in the 2nd harmonic currents by 50% with $C=202\ \mu\text{F}$, the value of the current deviation of 19.21%, and the factor of 0.401 is the most significant value of this study.

Keywords: Capacitor, Power Factor, Single-Phase Bridge Control Rectifier

¹ Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, e-mail: komsak_h@hotmail.com

* Corresponding author e-mail: komsak_h@hotmail.com

บทนำ

วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge rectifier) ร่วมกับตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ สามารถลดการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ก่อนแปลงผันต่อให้เหมาะสมกับความต้องการของอุปกรณ์ไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ ปัจจุบันอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้วงจรเรียงกระแสชนิดบริดจ์ เช่น เตารีดต้มน้ำไฟฟ้าแบบความร้อน เหมียวไฟฟ้า แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิ่ง เครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์และระบบแสงสว่างที่ใช้หลอดแอลอีดี แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต่อเนื่อง วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าสำหรับควบคุมความเร็วมอเตอร์ทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นต้น (ไชยรินทร์ อัครวิโรดม, 2557)

ปัญหาของวงจรแปลงผันนี้มาจาก 2 องค์ประกอบได้แก่ ระดับความผิดเพี้ยนของแรงดันที่เกิดจากฮาร์โมนิก (Harmonic Voltage Distortion) และ ระดับความผิดเพี้ยนของกระแสที่เกิดจากฮาร์โมนิก (Harmonic Current Distortion) ส่งผลกระทบต่อปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้า กล่าวคือ ถ้าอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าเท่ากัน อุปกรณ์ที่มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำต้องการกระแสไฟฟ้าที่สูงกว่า ทำให้การออกแบบระบบไฟฟ้าต้องออกแบบระบบให้สามารถรองรับกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นด้วย โดยในปัจจุบันได้มีการกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าฮาร์โมนิกอย่างน้อย 2 มาตรฐานได้แก่ IEC 1000-3-2 และ IEEE 519

เพื่อลดปัญหาเกี่ยวข้องกับฮาร์โมนิกสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง จึงมีการควบคุมกระแสด้านอินพุตให้มีเฟสและรูปร่างใกล้เคียงกับแรงดันให้มากที่สุด เราจึงรู้จักวิธีการควบคุมนี้ว่าการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction) (ประยัด กองสุข, 2549)

ดังนั้นเพื่อจะเป็นการศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกของกระแสเอาต์พุต บทความนี้จะได้นำเสนอแนวทางในการศึกษาจาก วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ควบคุมได้ 1 เฟสอย่างง่ายร่วมกับตัวเก็บประจุ เนื่องจากวงจรเรียงกระแสแบบควบคุมได้สามารถควบคุมทั้งแรงดันเฉลี่ยและแรงดันอาร์เอ็มเอส (rms) ที่เอาต์พุตผ่านมุลติเพลกซ์หรือมุลติเพลกซ์ของไทรสเตอร์ได้เป็นอย่างดี อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้เทคโนโลยีนี้ได้แก่ เครื่องสำรองไฟฟ้าและปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ (UPS) , มอเตอร์กระแสตรงกำลังต่ำ (Low-power DC motor) , วงจรไซโครคอนเวอร์เตอร์ (Cycloconverter) (Rashid, 2004) เป็นต้น ในการศึกษาจะทำการทดสอบโดยลดกระแสฮาร์โมนิกที่ 2 ลงครึ่ง 10 % คำนวณค่าตัวประกอบผ่านแบบจำลองของวงจรเสมือนทดสอบการทำงานผ่านโปรแกรม OrCAD PSpice แล้วพิจารณาเปรียบเทียบค่าความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิก (%THD) ของกระแสเอาต์พุตของวงจรและคุณภาพกำลังไฟฟ้าผ่านตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power factor) กับขนาดของตัวเก็บประจุ เพื่อศึกษาทำความเข้าใจผลกระทบที่เกิดขึ้น

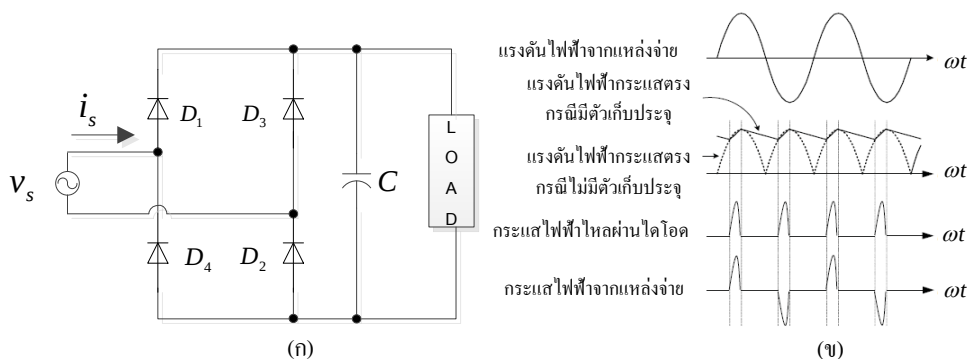
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ 1 เฟส
2. ทำการจำลองการทำงานของวงจร เพื่อศึกษาขนาดของตัวเก็บประจุที่มีผลต่อความผิดเพี้ยนของกระแสและต่อการไหลของกระแสเอาต์พุตว่ามีความต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ทฤษฎีและหลักการของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ 1 เฟส

วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ 1 เฟสมีทั้งแบบควบคุมไม่ได้ (Un-control rectifier) ที่ใช้ไดโอดเป็นสวิตช์ ดังแสดงในภาพที่ 1(ก) และแบบควบคุมได้ (Control rectifier) ที่ใช้ไทรสเตอร์เป็นสวิตช์ดังแสดงในภาพที่ 2(ก) โดยทั้ง 2 รูปแบบมีหลักการพื้นฐานอย่างง่ายที่เหมือนกันคือ ใช้ตัวเก็บประจุต่อขนานกับโหลดเพื่อลดการกระเพื่อม (Ripple) ของแรงดันเอาต์พุต ในการออกแบบวงจรบางครั้งผู้ออกแบบจะคำนึงถึงเฉพาะส่วนที่เป็นแรงดันหรือกระแสที่เอาต์พุต ไม่ให้ความสำคัญเรื่องพารามิเตอร์แสดงสมรรถนะ (Performance parameters) ซึ่งส่งผลถึงคุณภาพของพลังงานไฟฟ้าได้ โดยพารามิเตอร์แสดงสมรรถนะที่สำคัญมีดังต่อไปนี้



ภาพที่ 1 (ก) วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ 1 เฟส (ข) รูปคลื่นการทำงาน

1.1 พารามิเตอร์แสดงสมรรถนะ

เมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับหรือสัญญาณไซน์ด้านอินพุตของวงจรในภาพที่ 1

$$v_s(t) = \sqrt{2} V_{rms} \sin \omega t \quad (1)$$

และมีกระแสไหลในวงจร ดังสมการที่ (2)

$$i_s(t) = \sqrt{2} i_{rms} \sin(\omega t + \phi_L) \quad (2)$$

เมื่อ ϕ_L คือมุมต่างเฟสของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านอินพุตอาจเป็นได้ทั้งค่าบวกและค่าลบขึ้นอยู่กับโหลดทางไฟฟ้า โดยค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่เกิดขึ้นจริงด้านอินพุต สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (3)

$$P = V_{rms} I_{rms} \cos \phi_L \quad (3)$$

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 1 ถ้าเราตั้งสมมติฐานว่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายเป็นรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่เดียวกัน แต่กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่วงจรเรียงกระแสและแรงดันที่ตกคร่อมโหลดกลับไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ ดังนั้นเราจะใช้วิธีการวิเคราะห์สัญญาณที่ไม่เป็นไซน์ด้วยอนุกรมฟูเรียร์ ดังสมการที่ (4) และ (5)

$$v_s(t) = V_{DC} + \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cos(n\omega t - \phi_n) \quad (4)$$

$$i_s(t) = I_{DC} + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cos(n\omega t - \theta_n) \quad (5)$$

เมื่อ V_n , I_n เป็นแรงดันและกระแสไฟฟ้าอาร์เอ็มเอส (rms) ของแหล่งจ่ายกำลังที่อันดับฮาร์โมนิกใดๆ , ϕ_n เป็นมุมต่างเฟสของแรงดันไฟฟ้า และ θ_n เป็นมุมต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย จากสมการที่ (4) และ (5) สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าจริงได้ดังสมการที่ (6)

$$P = V_{DC} I_{DC} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{V_n I_n}{2} \cos(\phi_n - \theta_n) \quad (6)$$

จากสมการที่ (6) เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าจริงกรณีไฟฟ้ากระแสสลับเพียงอย่างเดียว (ส่วนที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าเป็นศูนย์) และพิจารณาไฟฟ้ากระแสสลับที่ความถี่มูลฐานเพียงความถี่เดียว จะได้

$$P = V_{rms,1} I_{rms,1} \cos \phi_1 \quad (7)$$

ϕ_1 เป็นมุมต่างเฟสของแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากของแหล่งจ่ายที่ความถี่มูลฐาน ($n = 1$)

จากสมการที่ (3) และ (7) เป็นสมการที่มีค่าไม่ต่างกัน

สำหรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor , PF) ของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์หาได้จากสมการที่ (8)

$$PF = \frac{I_{rms,1}}{I_{rms}} \cos \phi_1 \quad (8)$$

โดย $I_{rms} = \sqrt{I_{rms,1}^2 + I_{rms,2}^2 + \dots + I_{rms,n}^2}$ สมการที่ (8) เขียนใหม่ได้เป็น

$$PF = \frac{I_{rms,1}}{\sqrt{I_{rms,1}^2 + I_{rms,2}^2 + \dots + I_{rms,n}^2}} \cos \phi_1 \quad (9)$$

ในอุดมคติแล้วค่า $PF=1$ แต่ในทางปฏิบัติ จากสมการที่ (9) จะเห็นได้ว่า ค่า PF จะขึ้นอยู่กับค่า ϕ_1 และ รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าที่มีฮาร์โมนิกที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า PF มีค่าลดลง และอีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญ ถ้าต้องการกำลังไฟฟ้าเท่าเดิม แต่รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ จะส่งผลให้ค่ากระแสไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังในการออกแบบจึงต้องคำนึงค่ากระแสไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสนี้เป็นสำคัญ

สำหรับค่าตัวประกอบความผิดเพี้ยน (Distortion Factor , DF) แสดงได้ดังสมการที่ (10)

$$DF = \frac{I_{rms,1}}{I_{rms}} \quad (10)$$

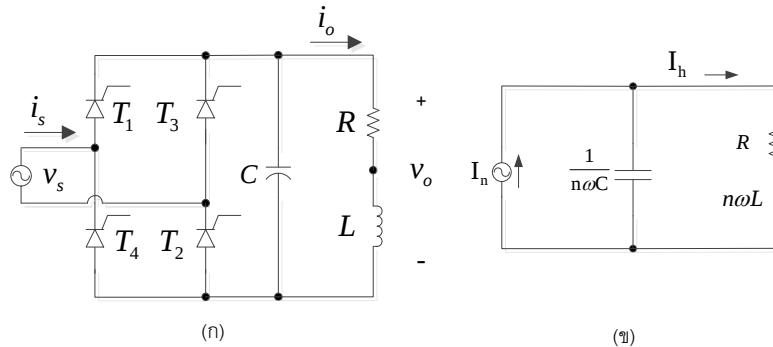
อีกพารามิเตอร์หนึ่งที่สำคัญก็คือ การเปรียบเทียบรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าว่ามีความผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าที่ความถี่มูลฐานมากน้อยเพียงใด เราเรียกว่า Total Harmonic Distortion , THD โดยนิยามได้ดังสมการที่ (11)

$$THD = \frac{\sqrt{I_{rms,2}^2 + I_{rms,3}^2 + \dots + I_{rms,n}^2}}{I_{rms,1}} \quad (11)$$

จากที่กล่าวมาพอสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะมีอยู่ 2 ส่วนได้แก่ค่ามุมต่างเฟสระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ความถี่ 50 เฮิร์ตและค่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับรูปคลื่นไซน์ที่ส่งผลกระทบบทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าลดลง

1.2 วงจรเสมือนสำหรับวิเคราะห์กระแสฮาร์โมนิก

ในการวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนของกระแสเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์เนื่องจากตัวเก็บประจุต่อขนานกับโหลด โดยเราจะศึกษาจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ 1 เฟสแบบควบคุมได้ดังแสดงในภาพที่ 2 (McCarty, 2009)



ภาพที่ 2 (ก) วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ 1 เฟสแบบควบคุมได้

(ข) วงจรเสมือนสำหรับวิเคราะห์กระแสฮาร์โมนิก

วงจรในภาพที่ 2(ก) เราสามารถเขียนวงจรเสมือนในการหาค่ากระแสฮาร์โมนิกที่โหลดได้ดังภาพที่ 2(ข) และหากระแสฮาร์โมนิกใด ๆ ที่ไหลผ่านโหลดได้จากกฎการแบ่งกระแส ดังสมการที่ (12) (Rashid, 1993)

$$\frac{I_h}{I_n} = \frac{1/(n\omega C)}{\left\{ R^2 + \left[n\omega L - (1/(n\omega C)) \right]^2 \right\}^{1/2}} \quad (12)$$

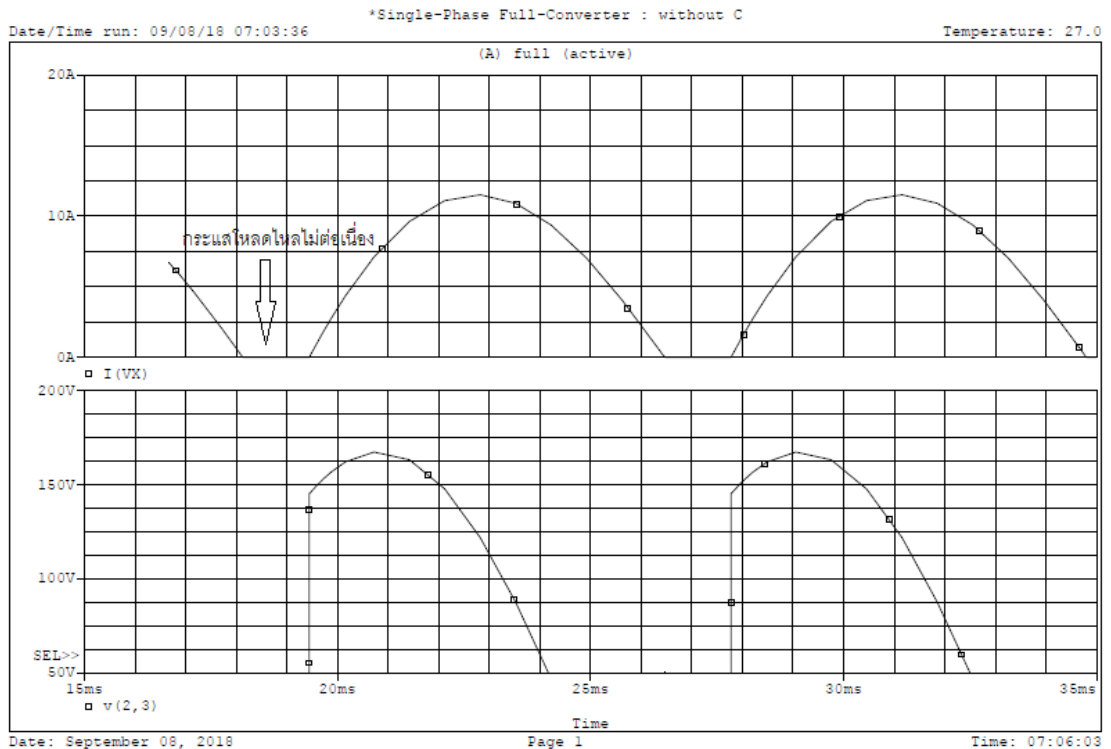
จากสมการที่ (12) จะทำให้เราสามารถคำนวณหาค่า C ได้ หากเราทราบว่าเราต้องการลดค่าในกระแสใน ฮาร์โมนิกใด เช่น ถ้าต้องการลดค่ากระแสในฮาร์โมนิกที่ 2 ลง 10 %

2. การจำลองการทำงานและผลการทดลอง

ในการทดสอบการทำงานของวงจรโดย OrCAD PSpice จะใช้พารามิเตอร์เดียวกันดังนี้ $v_s = 120 \text{ V}$, 60 Hz , $R = 10 \Omega$, $L = 20 \text{ mH}$, $\alpha = \pi/3 = 60^\circ$ และ $n = 2$

2.1 กรณีไม่มีตัวเก็บประจุ

กรณีไม่มีตัวเก็บประจุต่อขนานกับโหลดพบว่ากระแสโหลดจะไหลไม่ต่อเนื่อง ดังแสดงในภาพที่ 3 และ ได้ค่ากระแสพีคของความถี่มูลฐาน $i_{m,1} = 5.847 \text{ A}$, $I_{dc} = 6.256 \text{ A}$, %THD ของกระแสโหลด 14.73 %



ภาพที่ 3 ผลของกระแสและแรงดันโหลด กรณีไม่มีตัวเก็บประจุ

2.2 กรณีมีตัวเก็บประจุ

จากที่กระแสในฮาร์โมนิกที่ 2 เป็นฮาร์โมนิกที่มีผลกระทบต่อดัชนีประกอบกำลังไฟฟ้ามากที่สุด ดังนั้นการทดสอบจะทำการจำกัดกระแสในฮาร์โมนิกที่ 2 ลงครั้งละ 10 % - 100 % ดังสมการที่ (13)

$$\frac{I_h}{I_n} = \frac{1/(2 \times 377C)}{\left\{10^2 + \left[2 \times 377 \times 20m - (1/(2 \times 377C))\right]^2\right\}^{1/2}} = 0.1 \quad (13)$$

จะได้ $C=793\mu\text{F}$ แล้วนำไปจำลองการทำงานด้วย OrCAD PSpice ดังวงจรในภาพที่ 2(ก) เพื่อหาพารามิเตอร์สถานะต่าง ๆ เช่น หาค่า PF, DF และ %THD ผลการจำลองการทำงานแสดงได้ในตารางที่ 1

DC COMPONENT = 6.256018E+00

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	1.200E+02	5.847E+00	1.000E+00	-1.045E+02	0.000E+00
2	2.400E+02	8.127E-01	1.390E-01	-1.340E+02	7.504E+01
3	3.600E+02	1.133E-01	1.938E-02	1.733E+02	4.869E+02
4	4.800E+02	1.159E-01	1.982E-02	3.582E+01	4.540E+02
5	6.000E+02	1.531E-01	2.618E-02	1.903E+00	5.246E+02
6	7.200E+02	1.361E-01	2.328E-02	-2.388E+01	6.034E+02
7	8.400E+02	9.659E-02	1.652E-02	-4.829E+01	6.835E+02
8	9.600E+02	5.404E-02	9.243E-03	-7.319E+01	7.631E+02
9	1.080E+03	1.935E-02	3.310E-03	-1.104E+02	8.304E+02

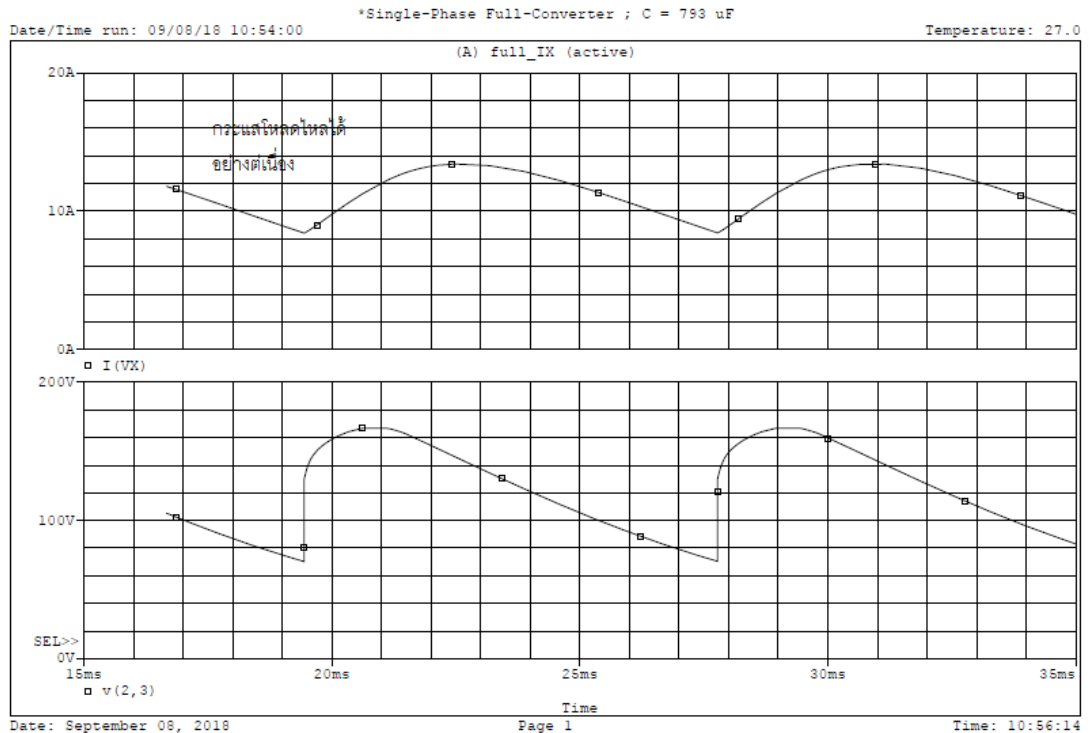
TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.472504E+01 PERCENT

ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์ด้วยอนุกรมฟูรีเยร์ กรณีไม่มีตัวเก็บประจุ

จากภาพที่ 3 และ 4 เป็นผลการจำลองการทำงานกรณีสวิตช์แรงดันกระแสไม่มีตัวเก็บประจุ จากผลการทดลองพบว่ากระแสที่โหลดไหลไม่ต่อเนื่อง ทำให้วงจรไม่เหมาะกับโหลดที่ต้องการกระแสที่ต่อเนื่อง เช่น มอเตอร์กระแสตรง และ จากภาพที่ 5 และ 6 เป็นผลการจำลองการทำงานกรณีสวิตช์แรงดันกระแสมีตัวเก็บประจุ ขนาด $C=793\mu\text{F}$ ต่อขนานกับโหลด จะเห็นได้ว่ากระแสที่โหลดไหลแบบต่อเนื่อง และยังพบอีกว่า %THD ของกระแสโหลด 25.57 % ซึ่งสูงกว่ากรณีไม่มีตัวเก็บประจุในวงจร ดังนั้นเราจะทำการศึกษาค่า C ที่เหมาะสม ที่ยังทำให้กระแสที่โหลดยังไหลแบบต่อเนื่อง และ %THD ของกระแสที่โหลด มีค่าใกล้เคียงกับกรณีไม่มีตัวเก็บประจุในวงจร

ค่า PF สามารถคำนวณได้โดยการจำลองการทำงานของวงจรและวัดหาค่ากระแสอินพุตของวงจร และวิเคราะห์ด้วยอนุกรมฟูรีเยร์จะทำให้เราทราบค่า %THD ของกระแสอินพุต, ϕ_1 , $\text{DF}=\cos(\phi_1)$ และหาค่า PF ดังแสดงในสมการที่ (14) และได้ผลจำลองการทำงานแสดงดังตารางที่ 1

$$PF = \frac{1}{\left[1 + (\%THD / 100)^2\right]^{1/2}} \cos(\phi_1) \quad (14)$$



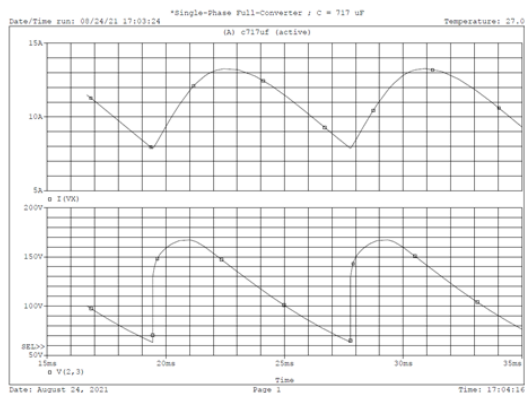
ภาพที่ 5 ผลของกระแสและแรงดันโหลด เมื่อ $C=793 \mu\text{F}$

DC COMPONENT = 1.147367E+01

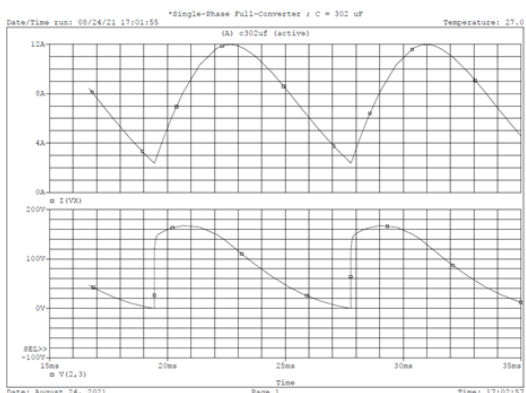
HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	1.200E+02	2.143E+00	1.000E+00	-1.129E+02	0.000E+00
2	2.400E+02	4.990E-01	2.328E-01	1.738E+02	3.996E+02
3	3.600E+02	1.848E-01	8.622E-02	1.184E+02	4.572E+02
4	4.800E+02	9.533E-02	4.448E-02	7.534E+01	5.271E+02
5	6.000E+02	6.542E-02	3.052E-02	2.772E+01	5.924E+02
6	7.200E+02	4.557E-02	2.126E-02	-2.392E+01	6.537E+02
7	8.400E+02	3.192E-02	1.489E-02	-7.505E+01	7.155E+02
8	9.600E+02	2.220E-02	1.036E-02	-1.216E+02	7.820E+02
9	1.080E+03	1.791E-02	8.357E-03	-1.680E+02	8.485E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 2.557054E+01 PERCENT

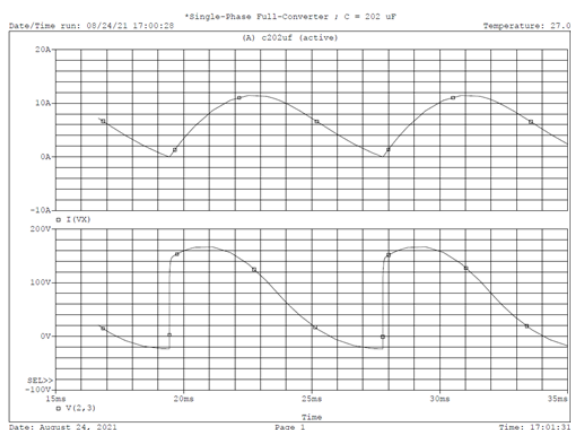
ภาพที่ 6 ผลการวิเคราะห์ด้วยอนุกรมฟูเรียร์ เมื่อ $C=793 \mu\text{F}$



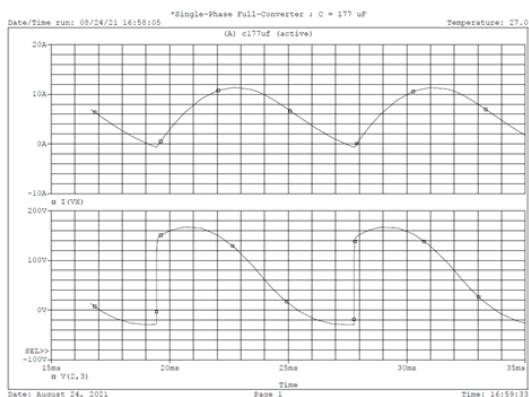
(a) C=717 uF



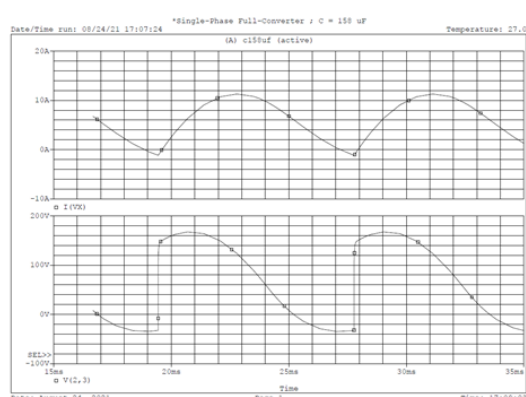
(b) C=302 uF



(c) C=202 uF



(d) C=177 uF



(e) C=158 uF

ภาพที่ 7 ผลของกระแสและแรงดันโวลต์ เมื่อ C=717,302,202,177,158 μ F

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัยที่ได้จากการจำลองการทำงานของวงจรในภาพที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการจำลองการทำงานของวงจร

% การลด I_2	C (μF)	%THD กระแส เอาต์พุต	PF	โหมดการไหลของกระแสเอาต์พุต	
				ต่อเนื่อง	ไม่ต่อเนื่อง
10	793	25.57	0.302	☑	-
20	717	25.35	0.312	☑	-
30	302	21.40	0.320	☑	-
40	240	20.14	0.359	☑	-
*50	202	19.21	0.401	☑	-
60	177	18.83	0.442	-	☑
70	158	18.47	0.487	-	☑
80	143	18.67	0.533	-	☑
90	132	18.59	0.575	-	☑
100	122	18.70	0.619	--	☑
	60	45.80			
	40	90.82			
	20	446			

จากการศึกษาขนาดของตัวเก็บประจุต่อความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิก กับ กระแสเอาต์พุตในวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ควบคุมได้ 1 เฟสอย่างง่าย โดยศึกษาเฉพาะฮาร์โมนิกที่ 2 เพียงฮาร์โมนิกเดียว ผลแสดงดังตารางที่ 1 การลดค่ากระแสในฮาร์โมนิกที่ 2 ครั้งละ 10 % แล้วคำนวณหาค่า C จะเห็นได้ว่าขนาดของ C และ %THD ลดลง แต่ค่า PF เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

เมื่อพิจารณาค่าความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกและการไหลของกระแสเอาต์พุตที่มีความต่อเนื่องหรือไม่พบว่าถ้าลด I_2 ลง 10 % ที่ค่า $C = 717 \mu\text{F}$ มีค่าระดับความผิดเพี้ยนของกระแส 25.35 % มีค่าตัวประกอบกำลัง 0.312 กระแสเอาต์พุตไหลอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในภาพที่ 7(a) , ถ้าลด I_2 ลง 10 % ที่ค่า $C = 302 \mu\text{F}$ มีค่าระดับความผิดเพี้ยนของกระแส 21.40 % มีค่าตัวประกอบกำลัง 0.320 กระแสเอาต์พุตไหลอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในภาพที่ 7(b) และ ลดเมื่อลดลงไปครั้งละ 10 % จนกระทั่งค่า $C = 177 \mu\text{F}$ พบว่ากระแสเอาต์พุตจะเริ่มไหลแบบไม่ต่อเนื่อง ที่ค่าระดับความผิดเพี้ยนของกระแส 18.83 % มีค่าตัวประกอบกำลัง 0.442 ดังแสดงในภาพที่ 7(d) และ ที่ค่า $C = 158 \mu\text{F}$ ก็เช่นเดียวกัน คือ กระแสเอาต์พุตจะเริ่มไหลแบบไม่ต่อเนื่อง ที่ค่าระดับความผิดเพี้ยนของกระแส 18.47 % มีค่าตัวประกอบกำลัง 0.487 ดังแสดงในภาพที่ 7(e)

ถ้าลด I_2 ลง 100 % ที่ค่า $C=122\ \mu\text{F}$ มีค่าระดับความผิดเพี้ยนของกระแส 18.70 % ค่ามีค่าตัวประกอบกำลัง 0.619 แต่กระแสเอาต์พุตไหลไม่ต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามเมื่อทำการทดสอบโดยใช้ค่า C ที่น้อยกว่า $122\ \mu\text{F}$ มาก ๆ เช่น $60\ \mu\text{F}$, $40\ \mu\text{F}$ และ $20\ \mu\text{F}$ กลับทำให้ค่า %THD ของกระแสเอาต์พุตสูงขึ้นอย่างมาก กล่าวคือ จากการทดสอบได้ค่าเท่ากับ 45.80 % , 90.82 % และ 446 % ตามลำดับ

สรุป

จากการศึกษาความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกของกระแสเอาต์พุต ในวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ควบคุมได้ 1 เฟสร่วมกับตัวเก็บประจุของการทดลองนี้ จะเป็นแนวทางในการออกแบบวงจรเรียงกระแสอย่างง่ายเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างเหมาะสม ในกรณีพิจารณาถึงความต่อเนื่องของกระแสและความผิดเพี้ยนของกระแสเอาต์พุต ค่าที่ดีที่สุดที่ได้จากการศึกษานี้ คือ ค่า $C=202\ \mu\text{F}$ และ %THD=19.21

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของตัวเก็บประจุต่อวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ที่ใช้ไทรสเตอร์เป็นอุปกรณ์ควบคุม งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงแนวโน้มความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์หรือตัวแปรบางส่วนที่ส่งผลถึงค่า PF ไม่ได้มุ่งเน้นถึงประสิทธิภาพความสามารถของวงจรแต่อย่างใด เช่น ไม่ได้เน้นปรับปรุงตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction) ประกอบกับงานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมาส่วนใหญ่จะเน้นการศึกษาจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ที่ใช้ไดโอดเป็นอุปกรณ์ควบคุม (Thomas, 1998)

อีกประการหนึ่งคืองานวิจัยในบทความนี้ ผลการทดลองได้จากการจำลองการทำงานของวงจรโดยใช้ OrCAD PSpice ยังไม่ได้ทดสอบจากการสร้างวงจร (Experimental) นั้น จากการศึกษาใน [4] แสดงให้เห็นว่า ผลจากการจำลองด้วย OrCAD PSpice กับการทดสอบด้วยวงจรจริงกรณีวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ที่ใช้ไทรสเตอร์เป็นอุปกรณ์ควบคุมในช่วงมุมทริกเกอร์หรือมุมนำกระแสของไทรสเตอร์ 30° - 90° ให้ผลที่ใกล้เคียงกับผลการทดลองจากวงจรจริง

จากที่กล่าวมาในบทความนี้ใช้ C ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองกระแส (Filter) ซึ่งแนวทางการศึกษาวิจัยต่อไปคือการใช้วงจรกรอง LC ทำหน้าที่ในการกำจัดกระแสอินพุตซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรเรียงกระแสได้มากขึ้น รวมทั้งศึกษาวิจัยเทคนิคในการออกแบบวงจรเพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังในวงจรแปลงพลังงานในรูปแบบใหม่ ๆ ด้วย (กำจัด ใจตรง และ ปิยะนัฐ ใจตรง. 2562).

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณาจารย์ในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ เวลา ในการทำการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งนักศึกษาสาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บางส่วนที่ช่วยในการเป็นกำลังใจ ให้ผู้เขียนได้ทำงานได้อย่างเต็มที่ตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

- กำจัด ใจตรง, และปิยะนัฐ ใจตรง. (2562). วงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังของ วงจรแปลงผันแบบบูสต์. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี(วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี), 3(2), 1-10.
- ไชนรินทร์ อัครวโรดม, และคณะ. (2557). การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและลดความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกของกระแสไฟฟ้าในวงจรเรียงกระแสชนิดบริดจ์ 1 เฟส โดยใช้วงจรเรียงกระแสแบบรีโซแนนท์คลาสดีสำหรับงานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานคณะกรรมการสภาวิจัยแห่งชาติ.
- ประหยัด กองสุข, และวิบูลย์ ชื่นแขก. (2549). วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง 1 เฟสแบบ SEPIC ที่มีค่าตัวประกอบกำลังใกล้เคียงหนึ่งโดยประยุกต์ใช้หลักการสมดุลกำลังไฟฟ้า. การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 29 (EECON-29), 9-10 พฤศจิกายน 2549 ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์จอมเทียน ชลบุรี
- McCarty, M. & Anwari, M. (2009). **Harmonic Analysis of Input Current of Single-Phase Controlled Bridge Rectifier**. IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications , October 4-6 ,Kuala Lumpur Malaysia.
- Rashid, M . (1993). **Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications** (2nd ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Thomas, S. & Jih-sheng Lai. (1998). **IEEE and International Harmonic Standards Impact on Power Electronic Equipment Design**. IEEE IECON, New Orleans, LA (pp. 430-436).