

วงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังของ วงจรแปลงผันแบบบูสต์

SINGLE PHASE BRIDGE RECTIFIER CIRCUIT WITH POWER FACTOR CORRECTION OF BOOST CONVERTER

กำจัต ใจตรง¹ ปิยะนัฐ ใจตรง²
Kumjat Jaitrong¹ Piyanut Jaitrong²

¹ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าฯ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

² อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

Received: July 10, 2019

Revised: September 5, 2019

Accepted: October 12, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนากลยุทธ์การควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟด้านเข้าตัวกรองแบบแอลซีของวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแบบบูสต์เพื่อลดความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกของกระแสและปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงหนึ่ง โดยใช้เทคนิคพีดีบีเอ็มและใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอกทีฟ รวมทั้งใช้การควบคุมสวิตซ์ในวงจรเพื่อปรับรูปคลื่นกระแสให้เข้าใกล้รูปคลื่นไซน์อ้างอิง ผลการจำลองการทำงานพบว่าหลังจากที่วงจรแปลงผันแบบบูสต์ได้มีการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอกทีฟ ขณะวงจรจ่ายแรงดันได้เท่ากับ 400 V คงที่ ที่โหลดเท่ากับ 1,898 W ค่าความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกของกระแสและแรงดันจะมีค่าลดลงโดยมีผลต่าง 29.98% และ 4.68% ตามลำดับ ส่งผลให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าเท่ากับ 1.0 และกระแสฮาร์มอนิกได้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 1000-3-2 ทุกประการ

คำสำคัญ: วงจรแปลงผันแบบบูสต์, การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง, ตัวกรองฮาร์มอนิก

Abstract

The objective of this research is to apply the development of strategy on control actively damp oscillation in the input LC filter of a single-phase bridge rectifier circuit with power factor correction of boost converter is to reduce current and voltage harmonic distortion and to improve the power factor correction nearly to unity power factor. This action is accomplished by using PWM technique and active RLC high-frequency harmonics filters and also controlling the switches in the circuit in order to tune input current follows nearly the referenced sine wave. The simulation results showed that after using active RLC filter in the single-phase bridge rectifier circuit with power factor correction of boost converter at 400

V constant voltage supply as the same 1,898 W load, The current and voltage harmonic distortion would be reduced to 29.98% and 4.68% differences respectively. Affecting to raise the power factor was equal to 1 and the harmonic current was in accordance with IEC1000-3-2 all requirements.

Keywords: Boost Converter, Power Factor Correction, Harmonics Filter

1. บทนำ

การควบคุมพลังงานไฟฟ้าหรือการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากรูปแบบหนึ่งไปยังอีกรูปแบบหนึ่งเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งการแปลงพลังงานไฟฟ้าเหล่านั้นจะใช้คอนเวอร์เตอร์กำลังเป็นตัวแปลงพลังงาน โดยจะใช้วงจรเรียงกระแสด้วยไดโอดแบบบริดจ์เป็นตัวแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่และเป็นโครงสร้างที่ใช้มากที่สุดเนื่องจากวงจรไม่ซับซ้อน ต้นทุนต่ำและความน่าเชื่อถือสูง ในการประยุกต์ใช้งานดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่เพื่อลดแรงดันไฟฟ้ากระแสเพื่อม ซึ่งตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่นั้นจะทำให้มีการบิดเบือนอย่างมาก และเกิดกระแสไฟฟ้าไม่เป็นรูปคลื่นไซน์เนื่องจากผลของกระแสฮาร์มอนิกปะปนเข้าไปในกระแสรูปคลื่นไซน์ที่ความถี่ 50 Hz จึงเป็นผลทำให้กระแสอินพุตมีฮาร์มอนิกสูง และกระแสฮาร์มอนิกนี้จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหาต่างๆขึ้น เช่น รูปคลื่นแรงดันมีการเพี้ยน ความร้อนในระบบมีค่ามาก สัญญาณรบกวนมีค่าสูงและค่าความสามารถในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของแหล่งจ่ายมีค่าลดลง ถ้าหากกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้ามีค่าต่ำๆ ปัญหาเหล่านี้สามารถขจัดให้ลดน้อยลงได้ โดยใช้วิธีการพัฒนาค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้น และรูปแบบที่นิยมมากที่สุดคือวิธีการแปลงผันด้วยวงจรถูกสุด เพราะการพัฒนาตัวประกอบกำลังด้วยวิธีแบบนี้จะทำให้ได้ประสิทธิภาพกับค่าตัวประกอบกำลังมีค่าสูงเมื่อเทียบกับวิธีอื่น (Vladimir Blasko and Vikram Kaura, 1997: 542-550) นอกจากนี้การขจัดยังสามรถกระทำได้ง่าย และตัวเหนี่ยวนำที่วางไว้ด้านหน้าอุปกรณ์สวิตช์จะช่วยทำให้กระแสอินพุตมีค่าเรียบมากๆ เทคนิคการควบคุมด้วยวงจรถูกสุดมีหลายรูปแบบและรูปแบบหนึ่งที่ (ดำรง จินขาวขำ และประสิทธิ์ จันทรมนตรี, 2550: 43-51) ได้นำเสนอคือการป้อนกลับแบบตรวจจับกระแส วิธีการลดความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกของกระแสและแรงดันด้วยการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอกทีฟแทนการใช้ตัวกรองด้านเข้าอาร์แอลซีแบบพาสซีฟ (กำจัด ใจตรง และปิยะนัฐ ใจตรง, 2555: 369-372) มีผลทำให้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงหนึ่งและทำให้ประสิทธิภาพของวงจรสูงขึ้น (กำจัด ใจตรง, 2559: PE29-32)

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาทฤษฎีการควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟด้านเข้าตัวกรองแบบแอลซีของวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแบบบูสต์เพื่อลดความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกของกระแสและปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงหนึ่ง โดยใช้เทคนิคพีดับบลิวเอ็มและใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอกทีฟ รวมทั้งใช้การควบคุมสวิตช์ในวงจรเพื่อปรับรูปคลื่นกระแสให้เข้าใกล้รูปคลื่นไซน์อ้างอิง โดยที่กระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 1000-3-2 ทุกประการ

2. การดำเนินการวิจัย

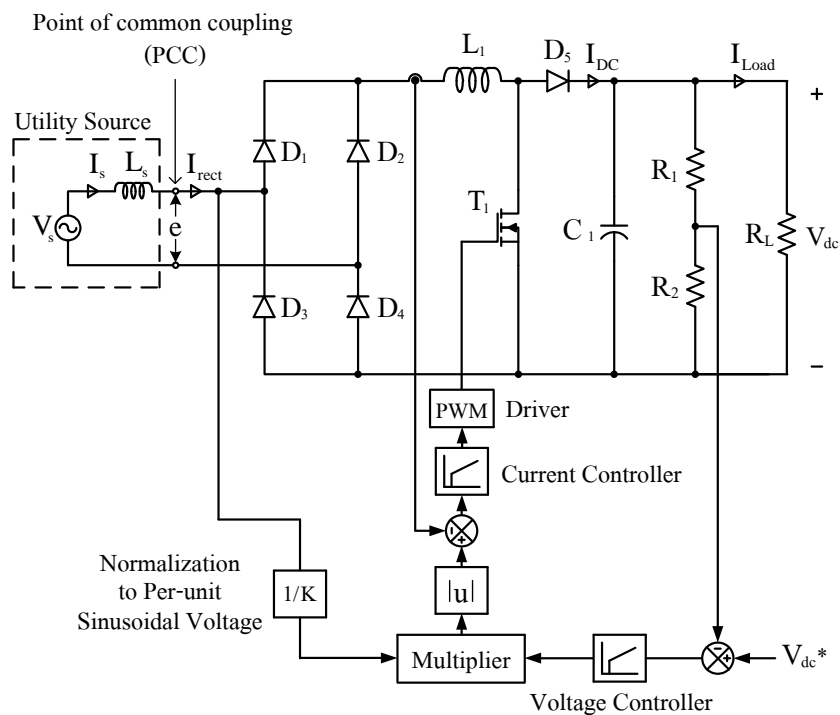
งานวิจัยนี้จะสามารถแสดงระบบในภาพรวมได้ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งการทำงานของวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแบบบูสต์ มีดังต่อไปนี้ เมื่อ e เป็นแรงดันไฟฟ้าต่อเฟสจากแหล่งจ่าย i_{rect} เป็นกระแสของโหลดซึ่งเกิดจากความผิดเพี้ยนเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นของโหลด วงจรแปลงผันแบบบูสต์ที่ควบคุมแบบพีดับบลิวเอ็มจะสวิตช์ให้กระแสไฟฟ้ามีเฟสตามแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย ในขณะเดียวกันก็จะมี การควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าที่คร่อมตัวเก็บประจุมีค่าคงที่ โดยเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมตัวเก็บประจุกับค่าที่กำหนด ค่าความแตกต่างจะถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีโอ เพื่อให้ได้เป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการคงค่าแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุ เมื่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวคูณกับแรงดันเฟสจะได้กระแสอ้างอิง ซึ่งค่าความแตกต่างระหว่างกระแสอ้างอิงกับกระแสอินพุตที่ป้อนกลับจะถูก

ควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ เพื่อสร้างพัลส์พีดับลิวเอ็มไปควบคุมการทำงานของวงจรแปลงผันแบบบรูสต์ เพื่อให้กระแสอินพุตติดตามกระแสอ้างอิง ซึ่งจะทำให้กระแสอินพุตอินเฟสกับแรงดันอินพุต

ความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกของกระแสและแรงดันมีผลต่อค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแบบบรูสต์ ดังแสดงในสมการที่ 1

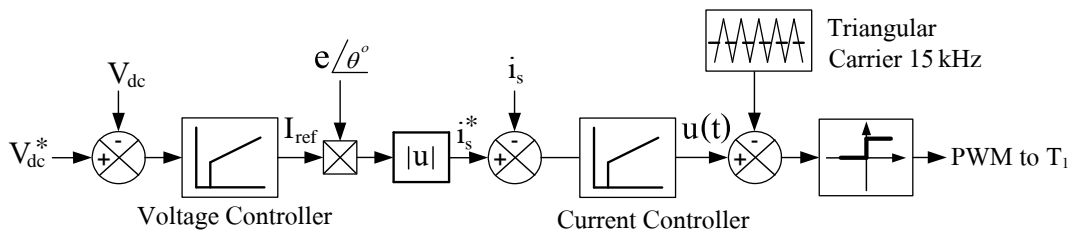
$$PF = \frac{V_1 I_1 \cos \theta_1 + \sum_{h=2}^n V_h I_h \cos \theta_h}{\sqrt{V_1^2 + \sum_{h=2}^n V_h^2} \times \sqrt{I_1^2 + \sum_{h=2}^n I_h^2}} \quad (1)$$

โดยที่ θ_1 คือมุมต่างเฟสระหว่าง I_1 กับ V_1



รูปที่ 1 วงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังของวงจรแปลงผันแบบบรูสต์

2.1 การวิเคราะห์ระบบควบคุมวงจรแปลงผันแบบบรูสต์



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรแปลงผันแบบบรูสต์

จากรูปที่ 2 วงจรแปลงผันแบบบวสต์ สามารถแบ่งตามการควบคุมได้ดังนี้

2.1.1 ตัวควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า

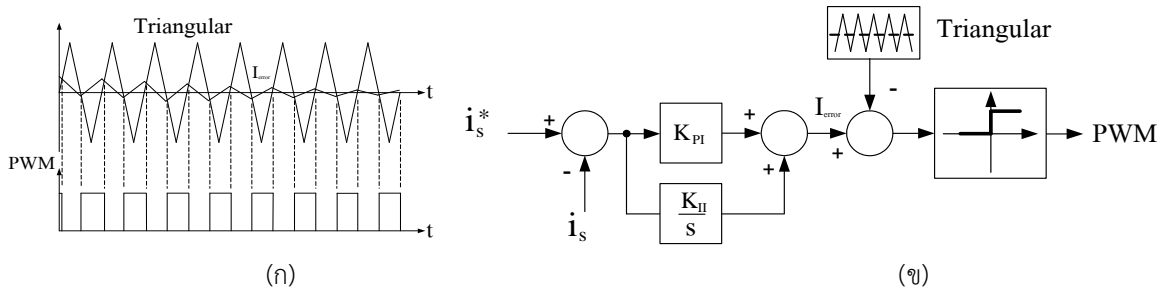
การทำงานของวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังของวงจรแปลงผันแบบบวสต์ จำเป็นต้องรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมตัวเก็บประจุให้มีค่าคงที่ เพื่อที่จะทำให้การทำงานของวงจรแปลงผันแบบบวสต์ สวิตซ์ให้กระแสไฟฟ้ามอเตอร์ตามแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอเข้ามาควบคุมความแตกต่างระหว่างแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุกับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด ดังนั้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I_{ref}(s) = \left(K_{PV} + \frac{K_{IV}}{s} \right) (V_{dc}^*(s) - V_{dc}(s)) \quad (2)$$

เมื่อ V_{dc}^* และ V_{dc} เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดและค่าแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมตัวเก็บประจุตามลำดับ โดยที่ K_{PV} เป็นตัวควบคุมเชิงสัดส่วน และ K_{IV} เป็นตัวควบคุมอินทิเกรตของผลต่างของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

2.1.2 ตัวควบคุมกระแสแบบเปรียบเทียบรูปสามเหลี่ยม

ในการควบคุมกระแสจะนำเอากระแสที่ผิดพลาด (I_{error}) จากการควบคุมแบบพีไอของความแตกต่างระหว่างผลของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้วงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังของวงจรแปลงผันแบบบวสต์กับกระแสไฟฟ้าที่กำหนดไปมอดูเลตกับสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมความถี่สูง สัญญาณพีดีบีเอ็มที่เกิดขึ้นจากการเปรียบเทียบจุดตัดของสัญญาณทั้งสอง ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดการทำงานของวงจรแปลงผันแบบบวสต์ (กำจัด ใจตรง, 2558: 397-400) ดังแสดงในรูปที่ 3 (ก)



รูปที่ 3 (ก) หลักการทำงานของตัวควบคุมกระแสแบบเปรียบเทียบรูปสามเหลี่ยม

(ข) บล็อกไดอะแกรมการทำงานของตัวควบคุมกระแสแบบเปรียบเทียบรูปสามเหลี่ยม

จากรูปที่ 3 (ข) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I_{error}(s) = \left(K_{PI} + \frac{K_{II}}{s} \right) (i_s^*(s) - i_s(s)) \quad (3)$$

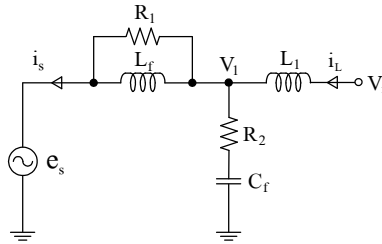
เมื่อ i_s^* และ i_s เป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดและค่ากระแส ไฟฟ้าด้านหน้าตัวกรองแบบแอลซีที่จ่ายให้วงจรเรียงกระแสสามเฟส ตามลำดับ โดยที่ K_{PI} เป็นตัวควบคุมเชิงสัดส่วน และ K_{II} เป็นตัวควบคุมอินทิเกรตของผลต่างของกระแส

วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2562

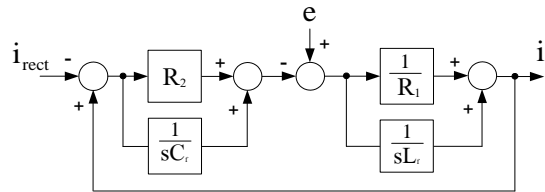
ส่วนการกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม ได้มาจากการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณที่มาจากควบคุมแบบพีไอกับสัญญาณสามเหลี่ยมที่มีความถี่ 15 kHz ทำให้ได้สัญญาณพัลส์ความถี่ 15 kHz เพื่อไปขับสวิตช์ของวงจรแปลงผันแบบบรูสต์

2.1.3 การวิเคราะห์ตัวกรองแอลซีแบบแอกทีฟและตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟ

ตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟเป็นแนวคิดของตัวต้านทานเสมือนดังที่แสดงใน (P.A. Dahono, 2002:1630-1635) การวิเคราะห์ตัวกรองแบบแอลซีและตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟเพื่อหาความสัมพันธ์ในการลดกระแสฮาร์มอนิกที่ความถี่เรโซแนนท์ โดยในการควบคุมจะสร้างตัวกรองแอลซีแบบแอกทีฟทำงานร่วมกับตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟเพื่อลดการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟ ซึ่งสามารถทำได้ด้วยการวิเคราะห์วงจรสมมูลแบบเฟสเดียวดังแสดงในรูปที่ 4 และเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมเพื่อใช้ในการสร้างเป็นตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟได้ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 วงจรสมมูลทางด้านเอซีของวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียว



รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมของวงจรสมมูลทางด้านเอซีของวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียว

จากรูปที่ 4 สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์เพื่อหากระแสที่จ่ายให้วงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียว (กำจัด ใจตรง ฉัตรชัย เจริญหิรัญ และปิยะนัฐ ใจตรง, 2562:15-24) โดยใช้สมการโนดวิเคราะห์ได้ผลดังนี้

$$V_1(s) = \frac{((R_1+L_f s)(R_2 C_f s+1)L_1)E(s) + (R_1 L_f (R_2 C_f s+1))V_i(s)}{(R_1+R_2)L_f L_f C_f s^2 + ((R_1 R_2 C_f (L_1+L_f)) + L_f L_f)s + R_1(L_1+L_f)} \quad (4)$$

จากวงจรในรูปที่ 4 สามารถหาค่า $I_s(s)$ ได้เป็น

$$I_s(s) = \frac{(L_f C_f R_2 s^2 + (C_f R_1 R_2 + L_f)s + R_1)V_i(s)}{(R_1+R_2)L_f L_f C_f s^3 + ((R_1 R_2 C_f (L_1+L_f)) + L_f L_f)s^2 + R_1(L_1+L_f)s} - \frac{(L_f L_f C_f s^3 + (L_f C_f R_1 + L_f C_f R_2)s^2 + (C_f R_1 R_2 + L_f)s + R_1)E(s)}{(R_1+R_2)L_f L_f C_f s^3 + ((R_1 R_2 C_f (L_1+L_f)) + L_f L_f)s^2 + R_1(L_1+L_f)s} \quad (5)$$

แทนค่า $V_i(s) = K(K_p + K_i/s)(I_s^*(s) - I_s(s))$ ในสมการที่ 5 จะได้

$$I_s(s) = \frac{AI_s^*(s) - BE_s(s)}{C} \quad (6)$$

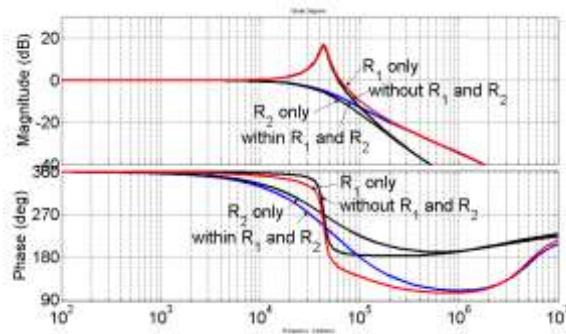
โดยที่

$$A = R_2L_fC_fKK_{PI}s^3 + K(R_2L_fC_fK_{II} + R_1R_2C_fK_{PI} + L_fK_{PI})s^2 + K(R_1R_2C_fK_{II} + L_fK_{II} + R_1K_{PI})s + R_1KK_{II}$$

$$B = L_1L_fC_f s^3 + (R_1L_1C_f + R_2L_fC_f)s^2 + (R_1R_2C_f + L_f)s + R_1$$

$$C = L_1L_fC_f(R_1 + R_2)s^4 + (R_1R_2C_f(L_1 + L_f) + L_1L_f + R_2L_fC_fKK_{PI})s^3 + (R_1(L_1 + L_f) + R_2L_fC_fKK_{II} + (R_1R_2C_f + L_f)KK_{PI})s^2 + K(R_1R_2C_fK_{II} + L_fK_{II} + R_1K_{PI})s + R_1KK_{II}$$

จากสมการที่ 6 การปรับตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟทำได้โดยการปรับค่า R_1 และ R_2 ในรูปที่ 5 ซึ่งผลตอบสนองที่ได้จากการปรับค่า R_1 และ R_2 ดังแสดงในรูปที่ 6

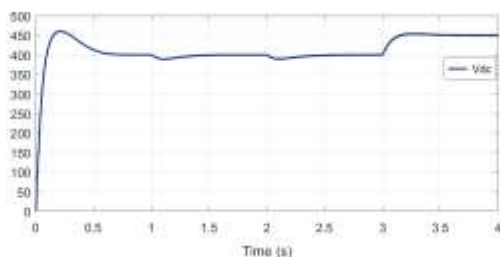


รูปที่ 6 ผลตอบสนองทางความถี่ของทรานสเฟอริงฟังก์ชันของกระแสอินพุต ดังสมการที่ 6

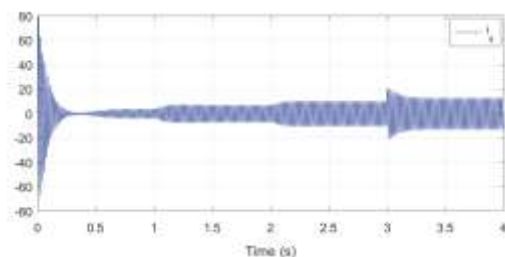
3. ผลการวิจัย

ในส่วนของค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในวงจรแปลงผันแบบบูสต์ จะใช้ค่าดังต่อไปนี้

$$V_s = 220 \text{ V}_{L-N}, V_{dc} = 400 \text{ V}, C_{dc} = 3,000 \text{ } \mu\text{F}, L_1 = 1 \text{ mH}, K_{PV} = 0.2, K_{IV} = 1, K_{PI} = 1, K_{II} = 5, f_s = 15 \text{ kHz}$$



(ก)

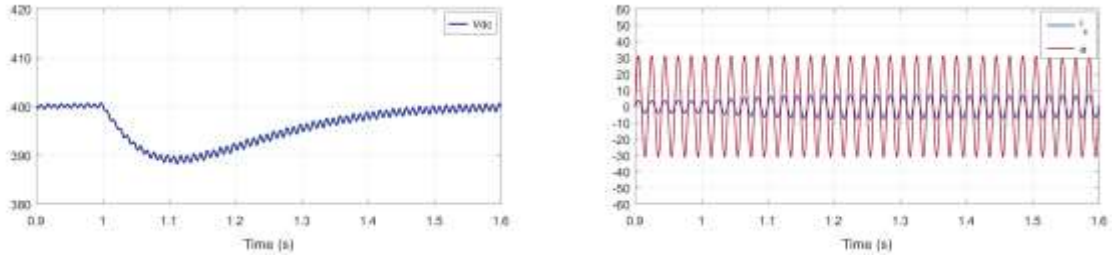


(ข)

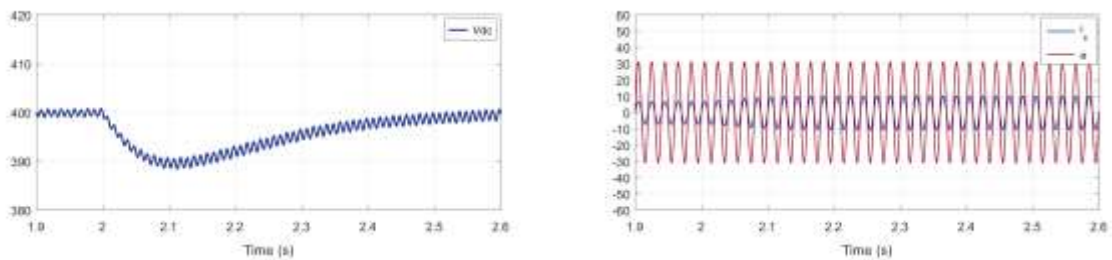
รูปที่ 4 ผลตอบสนองของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสอินพุต

วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2562

จากรูปที่ 4(ก) เป็นผลตอบสนองของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อเพิ่มโหลดอย่างฉับพลันจาก 500 W เป็น 1,000 W ที่เวลา 1 s และ 1,000 W เป็น 1,500 W ที่เวลา 2 s ปรับเพิ่มแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจาก 400 V เป็น 450 V ที่เวลา 3 s ในส่วนของกระแสอินพุตในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดดังแสดงในรูปที่ 4(ข) โดยในแต่ละช่วงเวลาสามารถแสดงเป็นส่วนๆได้ ดังแสดงในรูปที่ 5 ถึงรูปที่ 7

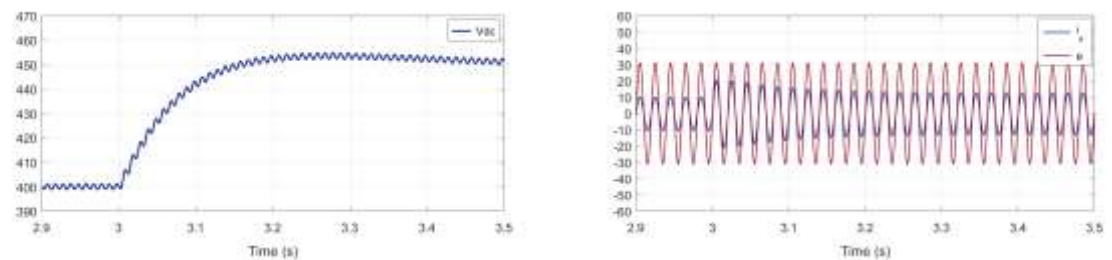


รูปที่ 5 ผลตอบสนองของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง กระแสอินพุตและแรงดันอินพุต เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดจาก 500 W เป็น 1,000 W ที่เวลา 1 s



รูปที่ 6 ผลตอบสนองของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง กระแสอินพุตและแรงดันอินพุต เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดจาก 1,000 W เป็น 1,500 W ที่เวลา 2 s

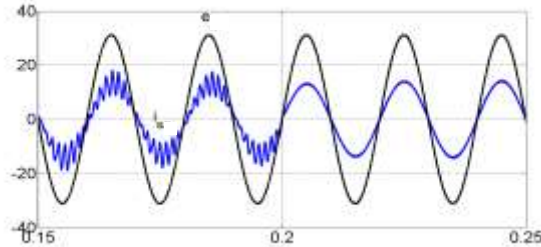
จากรูปที่ 5 เมื่อเพิ่มโหลดอย่างฉับพลันจาก 500 W เป็น 1,000 W ที่เวลา 1 s จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{dc}) ลดลง ตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าสามารถควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เข้าสู่สภาวะเดิมได้ในเวลาประมาณ 600 ms และเมื่อเพิ่มโหลดอย่างฉับพลันจาก 1,000 W เป็น 1,500 W ที่เวลา 2 s จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{dc}) ลดลง ตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าสามารถควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เข้าสู่สภาวะเดิมได้ในเวลาประมาณ 600 ms ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 7 ผลตอบสนองของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง กระแสอินพุตและแรงดันอินพุต เมื่อปรับเพิ่มแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจาก 400 V เป็น 450 V

วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2562

จากรูปที่ 7 เมื่อปรับเพิ่มแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจาก 400 V เป็น 450 V ที่เวลา 3 s จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{dc}) เพิ่มขึ้น ตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าสามารถควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เพิ่มขึ้นเท่ากับระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ต้องการได้ในเวลาประมาณ 200 ms



รูปที่ 8 กระแสอินพุต (I_s : 20A/div) และแรงดันอินพุต (e : 200V/div) ที่โหลดขนาด 1,898 W เมื่อใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอคทีฟ (L_f , C_f , R_1 และ R_2) ที่เวลา 0.2 s

จากรูปที่ 8 เมื่อใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอคทีฟที่เวลา 0.2 s จะเห็นว่ากระแสอินพุตและแรงดันอินพุตมีความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกลดลง จากการจำลองการทำงานเมื่อนำไปวิเคราะห์ผลการทดสอบวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแบบบูสต์ที่มีการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟ ดังแสดงผลที่ได้ในตารางที่ 1 ส่วนผลการทดสอบวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแบบบูสต์ที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอคทีฟ ดังแสดงผลที่ได้ในตารางที่ 2 ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังของวงจรแปลงผันแบบบูสต์ที่มีการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟ

โหลด (W)	I_s (A)	THD _i (%)	V_s (V)	THD _v (%)	P.F	P_{in} (W)	P_{loss} (W)	η (%)
500	4.421	33.10	220	4.89	0.73	710	210	70.42
1,000	8.418	32.65	220	4.77	0.73	1,352	352	73.96
1,500	12.222	32.42	220	4.73	0.73	1,963	463	76.41
1,898	15.255	32.24	220	4.71	0.73	2,450	552	77.47

ตารางที่ 2 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังของวงจรแปลงผันแบบบูสต์ที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอคทีฟ

โหลด (W)	I_s (A)	THD _i (%)	$V_{s,(L-N)}$ (V)	THD _v (%)	P.F	P_{in} (W)	P_{loss} (W)	η (%)
500	2.713	2.91	220	0.1	1.00	600	100	83.33
1,000	5.019	2.52	220	0.1	1.00	1,130	130	88.50
1,500	7.301	2.38	220	0.1	1.00	1,670	170	89.82
1,898	9.269	2.66	220	0.1	1.0	2,100	202	90.38

วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2562

จากผลการจำลองการทำงานในตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกของกระแสและแรงดันของวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแบบบูสต์ที่มีการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟ จะมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 32.60% และ 4.78% ตามลำดับ หลังจากที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอคทีฟจะมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.62% และ 0.1% ตามลำดับ สำหรับตัวประกอบกำลังของวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแบบบูสต์ที่มีการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.73 หลังจากที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอคทีฟจะมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.0 และเมื่อเพิ่มโหลดขึ้นค่ากำลังสูญเสียในวงจรเพิ่มขึ้นด้วยค่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแบบบูสต์ที่มีการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟ มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 74.57% หลังจากที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอคทีฟ ทำให้ค่ากระแสอินพุตลดลงเป็นผลให้ค่ากำลังสูญเสียลดลงด้วยส่งผลทำให้ค่าประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วย มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 88.01%

ตารางที่ 3 ข้อมูลค่าอัตราส่วนระหว่างกระแสฮาร์มอนิกที่ลำดับใดๆ ต่อกระแสอินพุตที่ความถี่หลักมูลของวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแบบบูสต์ที่มีการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟและใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอคทีฟ

มาตรฐาน IEC1000-3-2		ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟ				ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอคทีฟ			
ฮาร์มอนิกลำดับที่	IEC1000-3-2 Class A	โหลด (W)				โหลด (W)			
		500	1,000	1,500	1,898	500	1,000	1,500	1,898
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	2.300	0.49	0.47	0.44	0.42	1.78	0.86	0.90	1.11
5	1.140	1.64	1.57	1.51	1.45	0.92	0.51	0.57	0.95
7	0.770	0.17	0.09	0.10	0.08	0.46	0.38	0.51	0.70
9	0.400	0.15	0.12	0.12	0.09	0.32	0.33	0.35	0.37
11	0.330	0.69	0.64	0.58	0.54	0.21	0.32	0.32	0.32
13	0.210	0.35	0.28	0.30	0.29	0.20	0.20	0.20	0.21
15	0.150	0.30	0.29	0.28	0.28	0.15	0.14	0.14	0.15
17	0.130	0.59	0.58	0.58	0.57	0.12	0.12	0.12	0.12
19	0.120	0.35	0.34	0.31	0.29	0.11	0.11	0.11	0.11

จากผลการจำลองการทำงานในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังของวงจรแปลงผันแบบบูสต์ที่มีการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟมีค่าอัตราส่วนระหว่างกระแสฮาร์มอนิกที่ลำดับใดๆ ต่อกระแสอินพุตที่ความถี่หลักมูลไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 1000-3-2 เนื่องจากมีบางฮาร์มอนิกลำดับที่ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ส่วนวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังของวงจรแปลงผันแบบบูสต์ที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอคทีฟมีค่าอัตราส่วนระหว่างกระแสฮาร์มอนิกที่ลำดับใดๆ ต่อกระแสอินพุตที่ความถี่หลักมูลเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 1000-3-2 ทุกประการ

4. อภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนากลยุทธ์การควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟด้านเข้าตัวกรองแบบแอลซีของวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแบบบูสต์ เพื่อลดความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกของกระแสและปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงหนึ่ง โดยใช้เทคนิคพีดีบีลิวเอ็มและใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอกทีฟ (L_f , C_f , R_1 และ R_2) รวมทั้งใช้การควบคุมสวิตช์ในวงจรเพื่อปรับรูปคลื่นกระแสให้เข้าใกล้รูปคลื่นไซน์อ้างอิง ผลการจำลองการทำงานแสดงให้เห็นว่าค่าความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกของกระแสและแรงดันของวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแบบบูสต์ ที่มีการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 32.60% และ 4.78% ตามลำดับ หลังจากที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอกทีฟจะมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.62% และ 0.1% ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำเปรียบเทียบกับพบว่า ค่าความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกของกระแสและแรงดันหลังจากที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอกทีฟจะมีค่าลดลงโดยมีผลต่าง 29.98% และ 4.68% ตามลำดับ สำหรับตัวประกอบกำลังของวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแบบบูสต์ที่มีการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.73 หลังจากที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอกทีฟจะมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.0 ซึ่งเมื่อนำเปรียบเทียบกับพบว่า ค่าตัวประกอบกำลังหลังจากที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอกทีฟจะมีค่าสูงขึ้น 0.27 สำหรับประสิทธิภาพจากการทดสอบจะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของวงจรแปลงผันแบบบูสต์ที่มีการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 74.57% หลังจากที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอกทีฟจะมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 88.01% ซึ่งเมื่อนำเปรียบเทียบกับพบว่าประสิทธิภาพหลังจากที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอกทีฟจะมีค่าสูงกว่าโดยมีผลต่าง 13.44% และกระแสฮาร์มอนิกได้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 1000-3-2 ทุกประการ

5. อ้างอิง

- กำจัด ใจตรง. (2558, 18-20 พฤศจิกายน). การควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟของวงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังด้วยการแปลงผันแบบบูสต์. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 38:397-400
- กำจัด ใจตรง. (2559, 2-4 พฤศจิกายน). วิธีการควบคุมของการปรับแรงดันเอาต์พุตวงจรเรกติไฟเออร์แบบฟูลบริดจ์เฟสเดียวและการแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้า. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 39:PE29-32
- กำจัด ใจตรง และปิยะนัฐ ใจตรง. (2555, 12-14 ธันวาคม). เทคนิคการควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟด้านเข้าตัวกรองแบบแอลซีของวงจรเรกติไฟเออร์แบบฟูลบริดจ์เฟสเดียว. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 35:369-372
- กำจัด ใจตรง ฉัตรชัย เจริญทรัพย์ และปิยะนัฐ ใจตรง. (2562, มกราคม - มิถุนายน). กลยุทธ์การควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟด้านเข้าตัวกรองแบบแอลซีของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบพีดีบีลิวเอ็ม. วารสารวิชาการ เทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม ปีที่ 6 ฉบับที่ 1:15-24
- ดำรง จินขาวขำ และประสิทธิ์ จันทรมนตรี. (2550, พฤษภาคม - สิงหาคม). วงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการพัฒนาค่าตัวประกอบกำลังด้วยการแปลงผันแบบบูสต์. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือปีที่ 17 ฉบับที่ 2:43-51
- P.A. Dahono. (2002). A control method to damp oscillation in the input LC-filter. in Proceedings Power Electronics Specialist Conference. vol. 4:1630-1635
- Vladimir Blasko and Vikram Kaura. (1997). A Novel Control to Actively Damp Resonance in the Input LC Filter of Three-phase Voltage Source Converter. IEEE Transactions on Industry Applications. vol. 33. no. 2:542-550