

กลยุทธ์การควบคุมการแกว่งแบบแอคทีฟด้านเข้าตัวกรองแบบแอลซีของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบพีดับบลิวเอ็ม

A CONTROL STRATEGY TO ACTIVELY DAMP OSCILLATION IN THE INPUT LC FILTER OF THREE-PHASE PWM RECTIFIER

Received : 23 May 2019

Revised : 18 Jun 2019

Accepted : 24 Jun 2019

กำจัด ใจตรง^{1*} ฉัตรชัย เรียรศิริ² ปิยะนัฐ ใจตรง³

Kumjat Jaitrong^{1*} Chatchai Dhienhirun² Piyanut Jaitrong³

^{1,2}สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าฯ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

³สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

*Corresponding author, E-mail : kumjatj@siamtechno.ac.th

บทคัดย่อ

การพัฒนากลยุทธ์การควบคุมการแกว่งแบบแอคทีฟด้านเข้าตัวกรองแบบแอลซีของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบพีดับบลิวเอ็มเพื่อลดความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกของกระแสและปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงหนึ่งโดยใช้เทคนิคพีดับบลิวเอ็มและใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอคทีฟ รวมทั้งใช้การควบคุมสวิตช์ในวงจรเพื่อปรับรูปคลื่นกระแสให้เข้าใกล้รูปคลื่นไซน์อ้างอิง ผลการจำลองการทำงานพบว่าหลังจากที่วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบพีดับบลิวเอ็มได้มีการใช้ตัวกรองอาร์แอลซีแบบแอคทีฟ ขณะวงจรจ่ายแรงดันได้เท่ากับ 700 V คงที่ ที่โหลดเท่ากับ 3,553 W ค่าความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกของกระแสและแรงดันจะมีค่าลดลงโดยมีผลต่าง 31.15% และ 4.39% ตามลำดับ ส่งผลให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าเท่ากับ 1.0 และกระแสฮาร์มอนิกได้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 1000-3-2 ทุกประการ

คำสำคัญ: วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบพีดับบลิวเอ็ม, กลยุทธ์การควบคุมการแกว่งแบบแอคทีฟ, ตัวกรองแบบอาร์แอลซี

Abstract

The development of strategy on control actively damp oscillation in the input LC filter of a three-phase PWM rectifier circuit 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 three-phase PWM rectifier circuit at 700 V constant voltage supply as the same 3,553 W load, The current and voltage harmonic distortion would be reduced to 31.15% and 4.39% 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: Three-phase PWM Rectifier, Control Strategy for Actively Damp Oscillation, RLC Filter

1. บทนำ

การควบคุมพลังงานไฟฟ้าหรือการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากรูปแบบหนึ่งไปยังอีกรูปแบบหนึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็น ซึ่งการแปลงพลังงานไฟฟ้าเหล่านั้นจะใช้คอนเวอร์เตอร์กำลังเป็นตัวแปลงพลังงาน โดยจะใช้วงจรเรียงกระแสด้วยไดโอดแบบบริดจ์เป็นตัวแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่และเป็นโครงสร้างที่ใช้มากที่สุดเนื่องจากวงจรไม่ซับซ้อนต้นทุนต่ำและความน่าเชื่อถือสูง ในการประยุกต์ใช้งานดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่เพื่อลดแรงดันไฟฟ้ากระแสเพี้ยน ซึ่งตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่จะทำให้มีการบิดเบือนอย่างมาก และเกิดกระแสไฟฟ้าไม่เป็นรูปคลื่นไซน์เนื่องจากผลของกระแสฮาร์มอนิกปะปนเข้าไปในกระแสรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ 50 Hz และยังทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำมาก

วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบคฟูลวีลท์ที่มีตัวกรองด้านเข้าแบบแอลซีเพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกที่ความถี่สูง เมื่อวงจรทำงานจะดึงกระแสฮาร์มอนิกที่ความถี่เรโซแนนท์ปะปนกับกระแสรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ 50 Hz ซึ่งการลดกระแสฮาร์มอนิกที่ความถี่เรโซแนนท์สามารถใช้ตัวต้านทานต่อขนานกับตัวกรองแบบตัวเหนี่ยวนำ [1] หรือใช้ตัวต้านทานต่อขนานกับตัวกรองแบบตัวเหนี่ยวนำและตัวต้านทานต่อขนานกับตัวกรองแบบตัวเก็บประจุ [2] ซึ่งการใช้ตัวต้านทานเพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกที่ความถี่เรโซแนนท์จะเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียขึ้นและทำให้ประสิทธิภาพของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบคฟูลวีลท์ลดลง [3]

งานวิจัยนี้เสนอการควบคุมการแกว่งแบบแอททิฟด้านหน้าตัวกรองแบบแอลซีของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบคฟูลวีลท์ เพื่อลดความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกของกระแสและแรงดันมีผลทำให้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น ซึ่งใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟแทนการใช้ตัวกรองด้านเข้าอาร์แอลซีแบบพาสซีฟ เพื่อควบคุมให้กระแสอินพุตของวงจรเป็นรูปคลื่นไซน์ และมีเฟสตรงกับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านอินพุต และทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของวงจรมีค่าใกล้เคียงหนึ่ง

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อลดความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกของกระแสและแรงดันรวมทั้งปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงหนึ่ง และสอดคล้องกับข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 1000-3-2 ทุกประการ

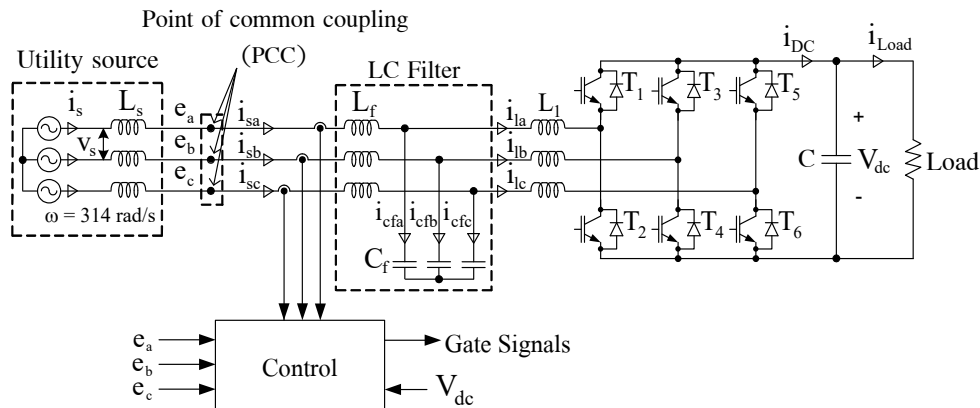
3. การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้จะสามารถแสดงระบบในภาพรวมได้ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งการทำงานของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบคฟูลวีลท์มีดังต่อไปนี้ เมื่อ e_a , e_b และ e_c เป็นแรงดันไฟฟ้าต่อเฟสจากแหล่งจ่าย i_{ia} , i_{ib} และ i_{ic} เป็นกระแสของโหลดซึ่งเกิดจากความผิดเพี้ยนเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นของโหลด วงจรเรียงกระแสสามเฟสที่ควบคุมแบบฟีดแบคฟูลวีลท์จะสวิตช์ให้กระแสไฟฟ้ามีเฟสตามแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย ในขณะเดียวกันก็จะมีกระบวนการควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าที่คร่อมตัวเก็บประจุมีค่าคงที่ โดยเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมตัวเก็บประจุกับค่าที่กำหนด ค่าความแตกต่างจะถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ เพื่อให้ได้เป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการคงค่าแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุ เมื่อกระแสไฟฟ้าง่ายถูกคูณกับแรงดันเฟสจะได้กระแสอ้างอิง ซึ่งค่าความแตกต่างระหว่างกระแสอ้างอิงกับกระแสอินพุตที่ป้อนกลับจะถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอเพื่อสร้างฟีดแบคฟูลวีลท์ไปควบคุมการทำงานของวงจรเรียงกระแสสามเฟส เพื่อให้กระแสอินพุตติดตามกระแสอ้างอิง ซึ่งจะทำให้กระแสอินพุตอินเฟสกับแรงดันอินพุต

ความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกของกระแสและแรงดันมีผลต่อค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบคฟูลวีลท์ [4] ดังแสดงในสมการที่ 1 ดังนี้

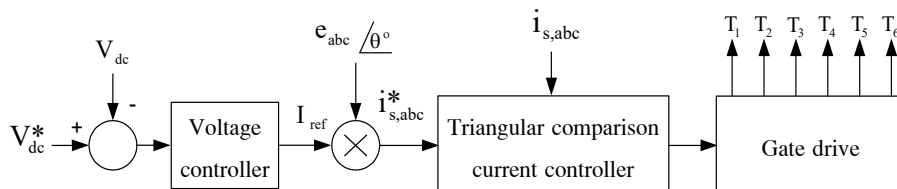
$$PF = \frac{V_1 I_1 \cos \theta_1 + \sum_{h=2}^n V_h I_h \cos \theta_h}{\sqrt{V_1^2 + \sum_{h=2}^n V_h^2} \times \sqrt{I_1^2 + \sum_{h=2}^n I_h^2}} \quad (1)$$

โดยที่ θ_1 คือมุมต่างเฟสระหว่าง I_1 กับ V_1



รูปที่ 1 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบพีดับบลิวเอ็ม

3.1 การวิเคราะห์ระบบควบคุมวงจรเรียงกระแสสามเฟส



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบพีดับบลิวเอ็ม

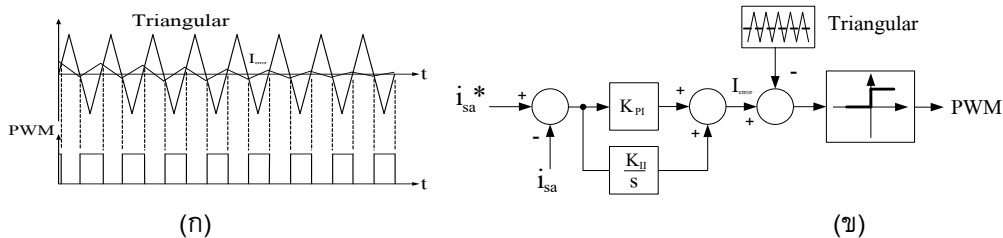
จากรูปที่ 2 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบพีดับบลิวเอ็ม สามารถแบ่งตามการควบคุมได้ ดังนี้

3.1.1 ตัวควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า การทำงานของวงจรเรียงกระแสสามเฟสจำเป็นต้องรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมตัวเก็บประจุให้มีค่าคงที่ เพื่อที่จะทำให้การทำงานของวงจรเรียงกระแสสามเฟสสวิตช์ให้กระแสไฟฟ้ามีเฟสตามแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีโอเข้ามาควบคุมความแตกต่างระหว่างแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวเก็บประจุกับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด ดังนั้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

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

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

3.1.2 ตัวควบคุมกระแสแบบเปรียบเทียบรูปสามเหลี่ยม ในการควบคุมกระแสจะนำเอากระแสที่ผิดพลาด (i_{error}) จากการควบคุมแบบพีไอของความแตกต่างระหว่างผลของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้วงจรเรียงกระแสสามเฟสกับกระแสไฟฟ้าที่กำหนดไปมอดูเลตกับสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมความถี่สูง สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่เกิดขึ้นจากการเปรียบเทียบจุดตัดของสัญญาณทั้งสอง ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดการทำงานของวงจรเรียงกระแสสามเฟส ดังรูปที่ 3 (ก)



รูปที่ 3 (ก) หลักการทำงานของตัวควบคุมกระแสแบบเปรียบเทียบรูปสามเหลี่ยม

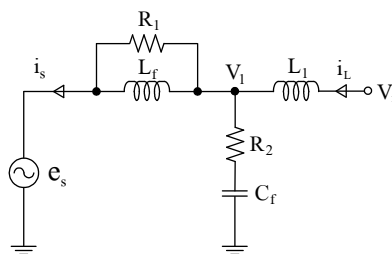
(ข) บล็อกไดอะแกรมการทำงานของตัวควบคุมกระแสแบบเปรียบเทียบรูปสามเหลี่ยม

จากรูปที่ 3 (ข) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

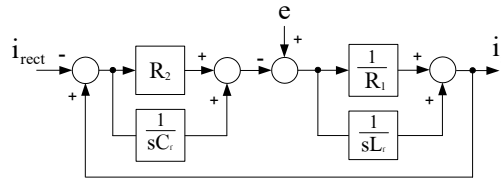
$$I(s) = (K_{PI} + \frac{K_{II}}{s})(i_{sa}^*(s) - i_{sa}(s)) \quad (3)$$

เมื่อ i_{sa}^* และ i_{sa} เป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดและค่ากระแสไฟฟ้าด้านหน้าตัวกรองแบบแอลซีที่จ่ายให้วงจรเรียงกระแสสามเฟส ตามลำดับ โดยที่ K_{PI} เป็นตัวควบคุมเชิงสัดส่วน และ K_{II} เป็นตัวควบคุมอินทิเกรตของผลต่างของกระแส

3.1.3 การวิเคราะห์ตัวกรองแอลซีแบบแอกทีฟและตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟ ตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟเป็นแนวคิดของตัวต้านทานเสมือนดังที่แสดงใน [5] การวิเคราะห์ตัวกรองแบบแอลซีและตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟเพื่อหาความสัมพันธ์ในการลดกระแสฮาร์มอนิกที่ความถี่เรโซแนนท์ โดยในการควบคุมจะสร้างตัวกรองแอลซีแบบแอกทีฟทำงานร่วมกับตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟ เพื่อลดการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟ ซึ่งสามารถทำได้ด้วยการวิเคราะห์วงจรสมมูลแบบเฟสเดียวดังแสดงในรูปที่ 4 และเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมเพื่อใช้ในการสร้างเป็นตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟได้ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 วงจรสมมูลแบบเฟสเดียวทางด้านเอซีของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบพีดับบลิวเอ็ม



รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมของวงจรสมมูลทางด้านเอซีของวงจรเรียงกระแสสามเฟส

จากรูปที่ 4 สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์เพื่อหากระแสที่จ่ายให้วงจรเรียงกระแสสามเฟส โดยใช้สมการโนติวิเคราะห์ได้ผลดังนี้

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

จากวงจรในรูปที่ 4 สามารถหาค่า $I_s(s)$ ได้เป็น

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

แทนค่า $V_i(s) = K(K_{PI} + K_{II}/s)(I_s^*(s) - I_s(s))$ ในสมการที่ 5 จะได้

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

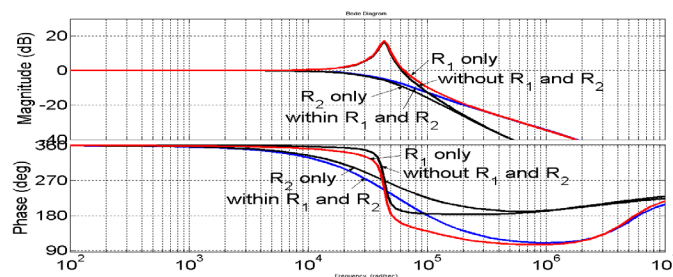
โดยที่

$$A = R_2 L_f C_f K K_{PI} s^3 + K(R_2 L_f C_f K_{II} + R_1 R_2 C_f K_{PI} + L_f K_{PI})s^2 + K(R_1 R_2 C_f K_{II} + L_f K_{II} + R_1 K_{PI})s + R_1 K K_{II}$$

$$B = L_1 L_f C_f s^3 + (R_1 L_1 C_f + R_2 L_f C_f)s^2 + (R_1 R_2 C_f + L_f)s + R_1$$

$$C = L_1 L_f C_f (R_1 + R_2)s^4 + (R_1 R_2 C_f (L_1 + L_f) + L_1 L_f + R_2 L_f C_f K K_{PI})s^3 + (R_1 (L_1 + L_f) + R_2 L_f C_f K K_{II} + (R_1 R_2 C_f + L_f) K K_{PI})s^2 + K(R_1 R_2 C_f K_{II} + L_f K_{II} + R_1 K_{PI})s + R_1 K K_{II}$$

จากสมการที่ 6 การปรับตัวควบคุมการแกว่งแบบแอ็กทีฟทำได้โดยการปรับค่า R_1 และ R_2 ในรูปที่ 5 ซึ่งผลตอบแทนที่ได้จากการปรับค่า R_1 และ R_2 ดังแสดงในรูปที่ 6



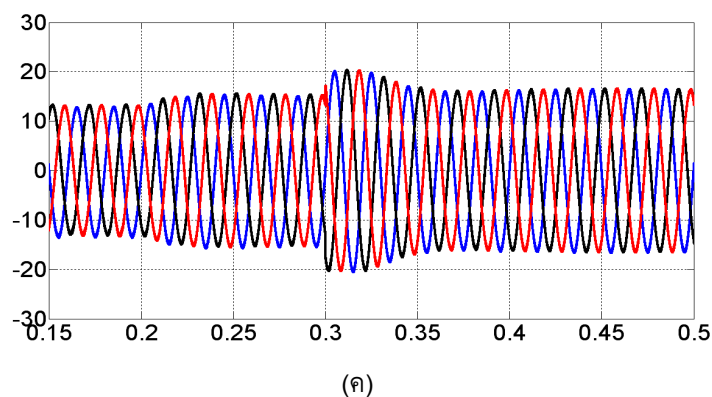
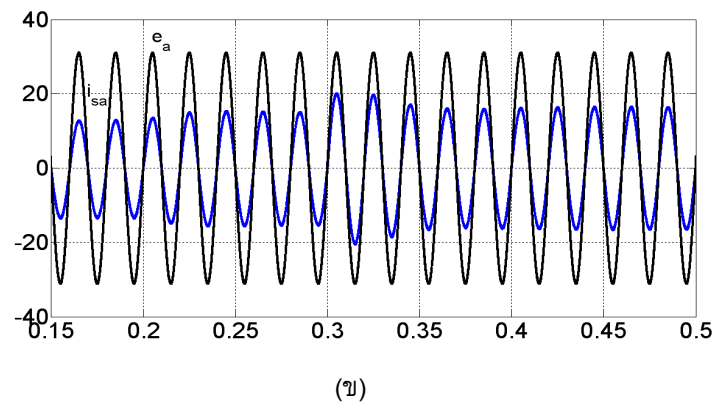
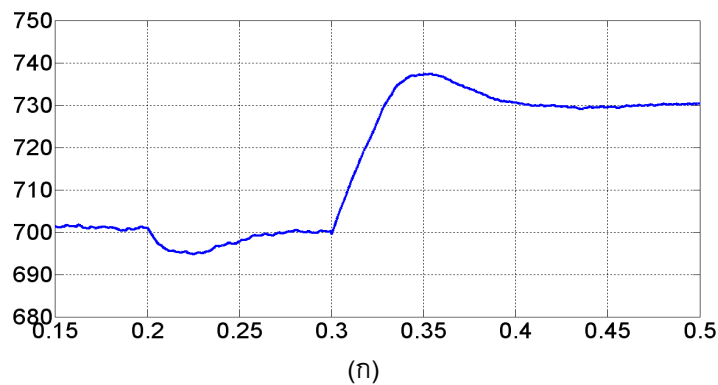
รูปที่ 6 ผลตอบสนองทางความถี่ของทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของกระแสอินพุต ดังสมการที่ 6

4. ผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะทดสอบกับโหลดขนาด 2,450 W 3,267 W และ 3,553 W โดยค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในวงจรเรียงกระแสสามเฟส ตัวกรองแอลซีแบบแอกทีฟและตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟ จะใช้ค่าดังต่อไปนี้

$$V_s = 220 \text{ V}_{L-N}, V_{dc} = 700 \text{ V}, C_{dc} = 1,000 \text{ } \mu\text{F}, L_1 = 5 \text{ mH}, L_f = 1 \text{ mH}, C_f = 1 \text{ } \mu\text{F}, K_{PV} = 0.2, K_{IV} = 0.7, K_{PI} = 1 \\ K_{II} = 5, R_1 = 2, R_2 = 2, f_s = 15 \text{ kHz}$$

4.1 กรณีที่ 1 ผลการจำลองการทำงานในสภาวะชั่วคราว เมื่อปรับเพิ่มโหลดจาก 2,450 W เป็น 3,267 W ที่เวลา 0.2 s และปรับเพิ่มแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจาก 700 V เป็น 730 V ที่เวลา 0.3 s ผลการจำลองการทำงานที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 7



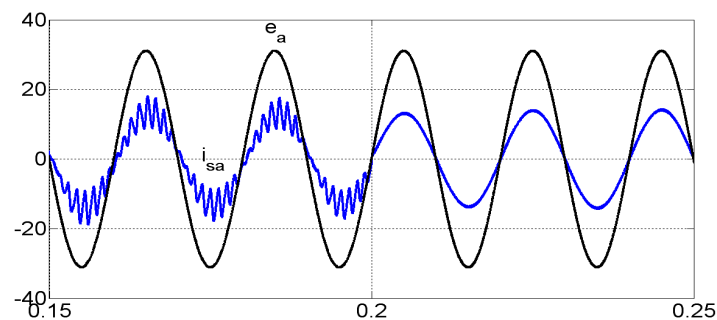
รูปที่ 7 (ก) ผลตอบสนองของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

(ข) กระแสอินพุตและแรงดันอินพุต

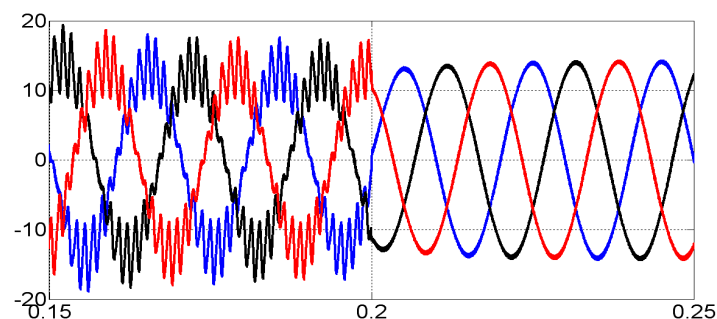
(ค) กระแสอินพุตสามเฟส

จากรูปที่ 7 เป็นผลการจำลองการทำงานของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบ็คบลิวเอ็ม โดยแสดงผลตอบสนองของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสอินพุต เมื่อเพิ่มโหลดอย่างฉับพลันจาก 2,450 W เป็น 3,267 W ที่เวลา 0.2 s จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{dc}) ลดลง ตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าสามารถควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เข้าสู่สภาวะเดิมได้ในเวลาประมาณ 60 ms โดยตัวควบคุมจะควบคุมให้กระแสอินพุต ($I_{s,abc}$) เพิ่มขึ้น เพื่อให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพิ่มขึ้นเท่ากับระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ต้องการ และปรับเพิ่มแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจาก 700 V เป็น 730 V ที่เวลา 0.3 s จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{dc}) เพิ่มขึ้น ตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าสามารถควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เข้าสู่สภาวะเดิมได้ในเวลาประมาณ 100 ms

4.2 กรณีที่ 2 ผลการจำลองการทำงานเมื่อมีการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟ



รูปที่ 8 กระแสอินพุต (I_{sa} : 10A/div) และแรงดันอินพุต (e_a : 200V/div) ที่โหลดขนาด 2,450 W เมื่อใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟ (L_f , C_f , R_1 และ R_2) ที่เวลา 0.2 s



รูปที่ 9 กระแสอินพุต (I_{sabc} : 10A/div) ที่โหลดขนาด 2,450 W เมื่อใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟ (L_f , C_f , R_1 และ R_2) ที่เวลา 0.2 s

จากรูปที่ 8 เมื่อใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟที่เวลา 0.2 s จะเห็นว่ากระแสอินพุตและแรงดันอินพุตมีความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกลดลง ส่วนกระแสอินพุตสามเฟสมีความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกลดลงเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 9 จากการจำลองการทำงานเมื่อนำไปวิเคราะห์ผลการทดสอบวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบ็คบลิวเอ็มที่มีการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟ ดังแสดงผลที่ได้ในตารางที่ 1 ส่วนผลการทดสอบวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบ็คบลิวเอ็มที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟ ดังแสดงผลที่ได้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบคลิฟต์ที่มีการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟ

โหลด (W)	I_s (A)	THD_i (%)	V_s (V)	THD_v (%)	P.F	P_{in} (W)	P_{loss} (W)	η (%)
2,450	6.47	32.13	380	4.68	0.74	3,150	700	77.78
3,267	8.73	31.82	380	4.62	0.74	4,250	983	76.87
3,553	9.44	31.71	380	4.60	0.74	4,600	1047	77.24

ตารางที่ 2 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบคลิฟต์ที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟ

โหลด (W)	I_s (A)	THD_i (%)	V_s (V)	THD_v (%)	P.F	P_{in} (W)	P_{loss} (W)	η (%)
2,450	3.89	0.89	380	0.25	1.00	2,560	110	95.70
3,267	5.20	0.69	380	0.24	1.00	3,420	153	95.53
3,553	5.68	0.65	380	0.24	1.00	3,740	187	95.00

จากผลการจำลองการทำงานในตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกของกระแสและแรงดันของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบคลิฟต์ที่มีการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟ จะมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 31.89% และ 4.63% ตามลำดับ หลังจากที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟจะมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.74% และ 0.24% ตามลำดับ สำหรับตัวประกอบกำลังของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบคลิฟต์ที่มีการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.74 หลังจากที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟจะมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.0 และเมื่อเพิ่มโหลดขึ้นค่ากำลังสูญเสียในวงจรเพิ่มขึ้นด้วยค่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบคลิฟต์ที่มีการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟ มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 77.30% หลังจากที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟ ทำให้ค่ากระแสอินพุตลดลงเป็นผลให้ค่ากำลังสูญเสียลดลงด้วยส่งผลทำให้ค่าประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วย มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 95.41%

ตารางที่ 3 ข้อมูลค่าอัตราส่วนระหว่างกระแสฮาร์โมนิกที่ลำดับใดๆ ต่อกระแสอินพุตที่ความถี่หลักมูลของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบคลิฟต์ที่มีการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟและใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟ

มาตรฐาน IEC1000-3-2		ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟ			ตัวกรองฮาร์โมนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟ		
ฮาร์โมนิก	IEC1000-3-2	โหลด			โหลด		
ลำดับที่	Class A	2,450 W	3,267 W	3,553 W	2,450 W	3,267 W	3,553 W
1	100	100	100	100	100	100	100
3	2.300	0.37	0.39	0.28	0.11	0.35	0.44
5	1.140	1.34	0.56	0.64	0.23	0.50	0.22

ตารางที่ 3 (ต่อ)

มาตรฐาน IEC1000-3-2		ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟ			ตัวกรองฮาร์โมนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟ		
ฮาร์โมนิก	IEC1000-3-2	โหลด			โหลด		
ลำดับที่	Class A						
7	0.770	0.07	0.44	0.23	0.16	0.40	0.41
9	0.400	0.08	0.25	0.16	0.08	0.11	0.03
11	0.330	0.49	0.27	0.08	0.11	0.04	0.06
13	0.210	0.27	0.12	0.09	0.03	0.05	0.06
15	0.150	0.26	0.39	0.18	0.10	0.05	0.03
17	0.130	0.51	0.44	0.28	0.10	0.11	0.06
19	0.120	0.21	0.45	0.20	0.09	0.10	0.03

จากผลการจำลองการทำงานในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบคลิฟต์ที่มีการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟมีค่าอัตราส่วนระหว่างกระแสฮาร์โมนิกที่ลำดับใด ๆ ต่อกระแสอินพุตที่ความถี่หลักมูลไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 1000-3-2 เนื่องจากมีบางฮาร์โมนิกลำดับที่ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ส่วนวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบคลิฟต์ที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟมีค่าอัตราส่วนระหว่างกระแสฮาร์โมนิกที่ลำดับใด ๆ ต่อกระแสอินพุตที่ความถี่หลักมูลเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 1000-3-2 ทุกประการ

5. อภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนากลยุทธ์การควบคุมการแกว่งแบบแอททิฟด้านเข้าตัวกรองแบบแอลซีของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบคลิฟต์ เพื่อลดความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกของกระแสและปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงหนึ่ง โดยใช้เทคนิคฟีดแบคลิฟต์และใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟ (L_f , C_f , R_f และ R_2) ผลการจำลองการทำงานแสดงให้เห็นว่าค่าความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกของกระแสและแรงดันของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบคลิฟต์ที่มีการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 31.89% และ 4.63% ตามลำดับ หลังจากที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟจะมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.74% และ 0.24% ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำเปรียบเทียบกับกันพบว่า ค่าความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกของกระแสและแรงดันหลังจากที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟจะมีค่าลดลงโดยมีผลต่าง 31.15% และ 4.39% ตามลำดับ สำหรับตัวประกอบกำลังของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบคลิฟต์ที่มีการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.74 หลังจากที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟจะมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.0 ซึ่งเมื่อนำเปรียบเทียบกับกันพบว่า ค่าตัวประกอบกำลังหลังจากที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟจะมีค่าสูงขึ้น 0.26 สำหรับประสิทธิภาพจากการทดสอบจะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบคลิฟต์ที่มีการใช้ตัวกรองแอลซีแบบพาสซีฟโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 77.30% หลังจากที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟจะมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 95.41% ซึ่งเมื่อนำเปรียบเทียบกับกันพบว่าประสิทธิภาพหลังจากที่มีการใช้ตัวกรองฮาร์โมนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอททิฟจะมีค่าสูงกว่าโดยมีผลต่าง 18.11% และกระแสฮาร์โมนิกได้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 1000-3-2 ทุกประการ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Jaitrong , S. Phonsri and M. Kupimai , “ A Modify Technique to Actively Damp Oscillation in the Input LC Filter of Three-phase PWM Rectifier ”, Proceedings of the 2008 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI), May 2008, pp. 1017-1020
- [2] กำจัด ใจตรง เสกสรรค์ พลศรี และ วิชญาภรณ์ บุญสุข, “ การปรับปรุงเทคนิคการควบคุมการแกว่งแบบแอคทีฟด้านเข้า ตัวกรองแบบแอล-ซีของวงจรเรกติไฟเออร์สามเฟสแบบพีดับเบิลยูเอ็ม ”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31, 25-26 ตุลาคม 2550, pp. 569-572
- [3] V. Blasko and V. Kaura , “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, pp. 542-550, 1997.
- [4] ดำรง จินขาวขำ และ ประสิทธิ์ จันทน์มนตรี , “ วงจรเรียงกระแสบริดจ์เฟสเดียวที่มีการพัฒนาค่าตัวประกอบกำลังด้วย การแปลงผันแบบบูสต์ ”, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 17 ฉบับที่ 2 พ.ค. - ส.ค. 2550, pp. 43-51
- [5] P.A. Dahono, “A control method to damp oscillation in the input LC-filter,” in Proc. Power Electronics Specialist Conference, vol. 4, pp. 1630–5, 2002.