



การระบุเอกลักษณ์ของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมได้ ด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค A Particle Swarm Optimization Algorithm Based System Identification of AC-DC Power System Including a Three-Phase Controlled Rectifier

พีระ รัตณี¹ ศุภชัย อ่ำเอี่ยม² สุทธิชัย สิงห์ลา³ และวิภูษณะ ฉายินทุ⁴

Peera Ruttanee¹ Suphachai Amaiam² Sutthichai Singla³ & Wiphusana Chayinthu⁴

¹⁻² อาจารย์ สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 5 จังหวัดนครราชสีมา 30000

Lecturer, Department of Electrical Technology Nakhonratchasima Technical College Northeast Institute of Vocational Education 5, Nakhonratchasima 30000 e-mail : peera2831@gmail.com

³ อาจารย์ สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคชัยภูมิ สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 5 จังหวัดชัยภูมิ 36000

Lecturer, Department of Electrical Technology Chaiyaphum Technical College Northeast Institute of Vocational Education 5, Chaiyaphum 36000 e-mail : suthichaic.1@gmail.com

⁴ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

Assistant Professor, Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering and Architecture Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Phranakhon Si Ayutthaya 13000 e-mail : wiphusana.c@rmutsb.ac.th

¹ Corresponding Author : e-mail : peera2831@gmail.com

Received : 12 พ.ย. 67 Revised : 14 ธ.ค. 67 Accepted : 6 ม.ค. 68

DOI : 10.14416/j.edii.2026.09.008

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมได้ 2) หาค่าพารามิเตอร์ของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมได้ ด้วยเทคนิควิธีการหาค่าเหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค (PSO) 3) สร้างชุดทดสอบในการหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรเรียงกระแสแบบควบคุมได้ การประยุกต์ใช้เทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ในการระบุค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ในระบบไฟฟ้าประเภทนี้มีวงจรกรองไฟฟ้ากระแสตรง สำหรับบางการใช้งานค่าพารามิเตอร์ที่เที่ยงตรงของวงจรกรอง มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการวิเคราะห์และการออกแบบระบบ เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ สร้างชุดทดสอบวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมได้ ซึ่งระบบดังกล่าวจะปรับมุมชดเชยของไทรสเตอร์ที่มุม 0 องศา มุม 10 องศา และ 30 องศา ตามลำดับ โดยใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ในการค้นหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ ซึ่งได้ค่าพารามิเตอร์ $R_{eq} = 0.0864 \Omega$



$L_{eq} = 0.1277 \text{ H}$, $C_{dc} = 235 \text{ } \mu\text{F}$ และ $r_c = 2.88 \text{ } \Omega$ ส่วนค่าที่แสดงให้เห็นว่าวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ สามารถค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่ใกล้เคียงค่าจริง คือ ค่าวัตถุประสงค์ $W = 1.4535$

ผลการวิจัยพบว่า การระบุเอกลักษณ์ด้วยวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ แสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ที่ได้สามารถตอบสนองในสภาวะชั่วคราวและสภาวะอยู่ตัว มีความใกล้เคียงกับผลการทดสอบกับระบบจริง นอกจากนี้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ยังเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฟฟ้าที่มีโหลดกำลังไฟฟ้าคงที่

คำสำคัญ : การระบุเอกลักษณ์ของระบบ วงจรกรองกระแสตรง การเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค

Abstract

The objective of research are 1) to study the mathematical model of a controlled three-phase rectifier 2) to determine the parameters of the controlled three-phase rectifier using the Particle Swarm Optimization (PSO) technique and 3) to develop a test set for identifying the parameters of the controlled rectifier. This paper presents the application of the artificial intelligence techniques to identify the AC-DC power system parameters. In such systems, DC-link filters are often included. For certain applications, precise parameter values of the filter circuit are crucial for system analysis and design. The tools used in this research include the development of a test set for the controlled three-phase rectifier. The system adjusts the firing angle of the thyristor at 0, 10, and 30 degrees, respectively. Artificial intelligence methods are employed to identify the system parameters, resulting in parameters of $R_{eq} = 0.0864 \text{ } \Omega$, $L_{eq} = 0.1277 \text{ H}$, $C_{dc} = 235 \text{ } \mu\text{F}$, and $r_c = 2.88 \text{ } \Omega$. The findings indicate that artificial intelligence methods can determine parameters close to the actual values, as shown by the objective function value $W = 1.4535$.

The results reveal that parameter identification using artificial intelligence demonstrates that the obtained parameters effectively respond in transient and steady-state conditions, closely matching real system testing results. Moreover, the resulting parameters are very useful for a stability analysis of the power electronic systems due to a constant power load.

Keywords : System identification DC-link filter Particle swarm optimization

1. บทนำ

ปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังได้ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในงานทางวิศวกรรม สำหรับงานวิจัยนี้จะพิจารณาวจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมได้ที่มีโหลดเป็นกำลังไฟฟ้าคงตัวแบบอุดมคติ เมื่อนำโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัวต่อเข้ากับระบบไฟฟ้ากำลัง จะทำให้เสถียรภาพของระบบลดลง Emadi, A. [1] แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบไฟฟ้ากำลังจึงมีความสำคัญ

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบเป็นอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับการวิเคราะห์ระบบจริงทางไฟฟ้า แม้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบไฟฟ้ากำลังจะมีความถูกต้องมากเพียงใด แต่ก็ไม่สามารถคาดเดาจุดที่ทำให้ระบบขาดเสถียรภาพในระบบชุดทดสอบจริงได้ เพราะเราไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ของชุดทดสอบจริงที่ถูกต้องมีค่าเท่าใด จากงานวิจัยในอดีตค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองมีความสำคัญมากสำหรับการวิเคราะห์

เสถียรภาพของระบบ Areerak, K.N. [2] แต่จากข้อผิดพลาดที่ได้จากการวัดค่าของเครื่องมือวัด ทำให้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ยังไม่มี ความถูกต้องและน่าเชื่อถือเพียงพอ จากบทความที่ผ่านมา Puangdownreong, D. [3] วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์สามารถนำมาใช้ในการระบุเอกลักษณ์ของระบบได้ และให้ผลที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง เนื่องจากการนำผลการทดสอบจริงเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในการค้นหาคำตอบ ดังนั้น บทความนี้จะนำเสนอการระบุเอกลักษณ์ค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองและค่าพารามิเตอร์ทางฝั่งกระแสสลับของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมได้โดยโหนดเป็นตัวต้านทาน โดยใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ที่เรียกว่า การค้นหาแบบการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) ในระหว่างขั้นตอนการระบุเอกลักษณ์ของอัลกอริทึม PSO จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่พิสูจน์จากวิธีคิด Chaijarunudomrung, K. [4] เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้แก่ระบบ และในขั้นตอนการจำลองสถานการณ์ จะได้นำผลการตอบสนองชั่วครู่ของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และผลการตอบสนองชั่วครู่ของแรงดันกระแสตรงที่ได้จากชุดทดสอบจริงมาเปรียบเทียบ เพื่อให้แน่ใจว่าค่าพารามิเตอร์ของระบบนั้นมีความถูกต้อง และยังสามารถหาได้ง่ายผ่านวิธีที่ได้นำเสนอ ค่าพารามิเตอร์ที่ทำการระบุเอกลักษณ์จากวิธีที่นำเสนอในบทความนี้สามารถนำไปใช้ร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมได้

2.2 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมได้ ด้วยเทคนิควิธีการหาค่าเหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค

2.3 เพื่อสร้างชุดทดสอบในการหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรเรียงกระแสแบบควบคุมได้

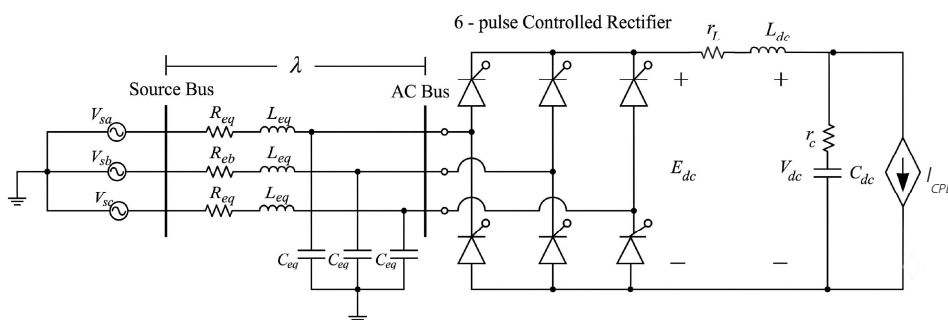
3. วิธีการดำเนินการวิจัย

กระบวนการในการดำเนินการวิจัย เรื่อง การระบุเอกลักษณ์ของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมได้ด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค มีดังนี้

3.1 ระบบไฟฟ้าที่พิจารณา

ระบบไฟฟ้าที่พิจารณาในบทความนี้แสดงได้ดังภาพที่ 1 ประกอบไปด้วย แหล่งจ่ายกระแสสลับสามเฟส สมดุล สายส่งกำลังไฟฟ้า วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมได้ และวงจรกรองไฟฟ้ากระแสตรงเชื่อมต่อกับโหนดกำลังไฟฟ้าคงตัวแบบอุดมคติ ซึ่งโหนดกำลังไฟฟ้าคงตัวชนิดนี้สามารถพิจารณาเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้า แสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$I_{CPL} = \frac{P_{CPL}}{V_{dc}} \quad (1)$$



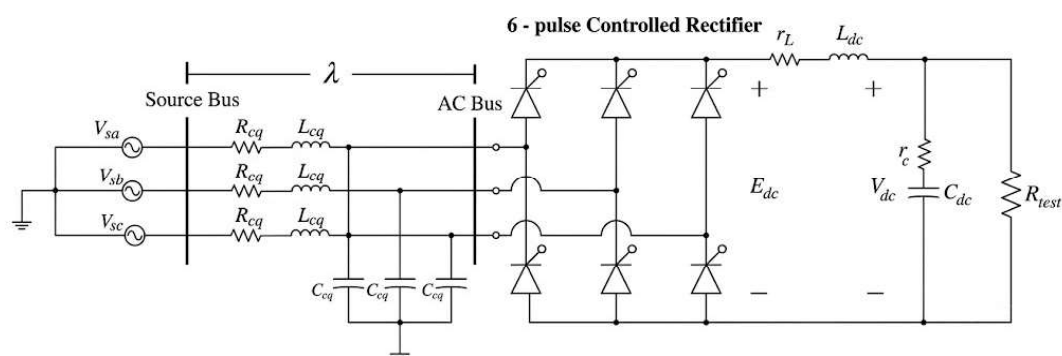
ภาพที่ 1 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมได้ที่มีโหนดเป็นกำลังไฟฟ้าคงตัวแบบอุดมคติ

3.2 ระบบที่ใช้ทดสอบจริง

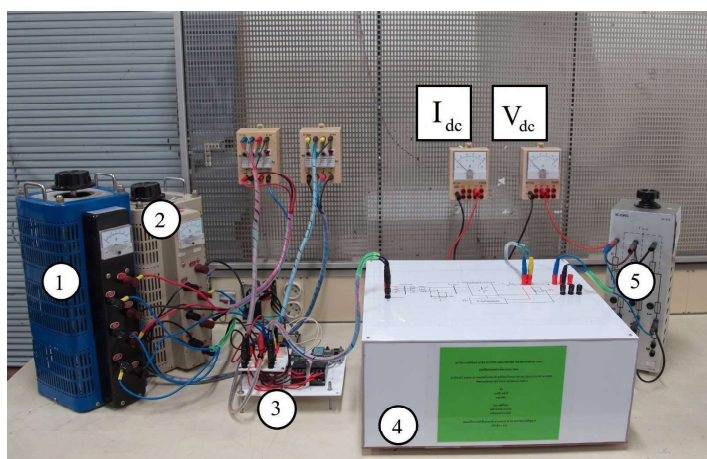
จากระบบไฟฟ้าในภาพที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบมีความสำคัญมากต่อการศึกษาลักษณะของระบบ ซึ่งในที่นี้ คือ R_{eq} , L_{eq} , r_L , L_{dc} , r_c และ C_{dc} ในส่วนของโหลดกำลังไฟฟ้าแบบอุดมคติ ไม่ได้ส่งผลต่อพารามิเตอร์เหล่านี้ ดังนั้น เพื่อให้การวิเคราะห์ระบบง่ายขึ้น โหลดกำลังไฟฟ้าคงตัวจะถูกแทนด้วย R_{test} ระบบใหม่นี้จะแสดงได้ในภาพที่ 2 และระบบทดสอบอุปกรณ์จริงที่สอดคล้องกับระบบในภาพที่ 2 แสดงได้ดังภาพที่ 3 ซึ่งเป็นระบบที่จะใช้ในการทดสอบเพื่อทำการระบุเอกลักษณ์ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่พิจารณา ในส่วน

ของค่า r_L และ L_{dc} จะใช้เครื่องมือวัดค่าความเหนี่ยวนำทำการวัด ซึ่งจะได้ค่า r_L และ L_{dc} เท่ากับ 0.57Ω และ 37.7 mH ตามลำดับ

สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของชุดทดสอบจริงนั้น ค่าพารามิเตอร์ก็มีส่วนสำคัญต่อการวิเคราะห์เสถียรภาพ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากชุดทดสอบจะนำไปใช้เป็นค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการระบุเอกลักษณ์พารามิเตอร์ของระบบด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคในการค้นหาค่าพารามิเตอร์ ซึ่งจะได้แสดงค่าพารามิเตอร์ ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 2 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมได้ที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน



- ① Three-Phase Voltage Source 1
- ② Three-Phase Voltage Source 2
- ③ Three-Pole Input Switch
- ④ Three-Phase Controlled Rectifier
- ⑤ Resistance 300 W for Three-Phase Controlled Rectifier

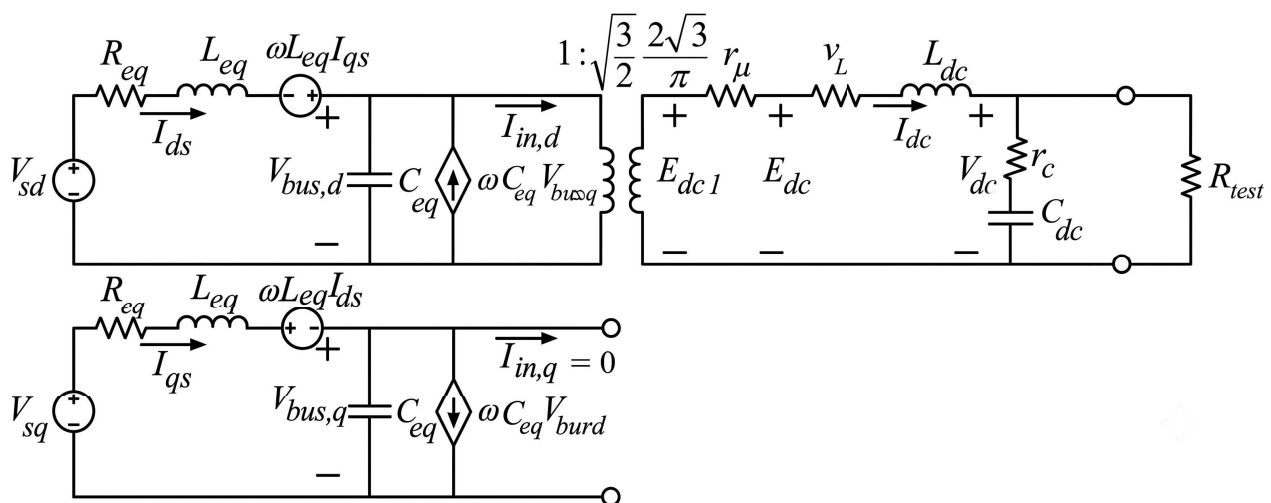
ภาพที่ 3 ระบบชุดทดสอบจริง

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของระบบที่พิจารณา

พารามิเตอร์	ค่า	รายละเอียด
V_s	20 V _{rms}	แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
ω	$2\pi \times 50$ rad/s	ความถี่ของระบบ
R_{eq}	0.0874 Ω	ความต้านทานของสายส่ง
L_{eq}	0.1275 mH	ความเหนี่ยวนำของสายส่ง
C_{eq}	2 nF	ความจุไฟฟ้าของสายส่ง
r_c	2.992 Ω	ความต้านทานในตัวเก็บประจุ
r_L	0.57 Ω	ความต้านทานในตัวเหนี่ยวนำ
L_{dc} ($\Delta I_{dc} \leq 1.5$ A)	37.7 mH	ความเหนี่ยวนำของวงจรกรอง
C_{dc} ($\Delta V_{dc} \leq 30$ V)	234.2 μ F	ความจุไฟฟ้าของวงจรกรอง
R_{test}	100 Ω	โหลดทดสอบของวงจร

จากการอธิบายในส่วนของบทนำ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบไฟฟ้าในภาพที่ 2 สามารถพิสูจน์ได้จากวิธีดีคิว ภายหลังการใช้วิธีดีคิวสามารถแปลงระบบมาเป็นวงจรสมมูลอย่างง่าย แสดงได้ในภาพที่ 4

จากวงจรสมมูลอย่างง่ายในภาพที่ 4 นำกฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ (KVL) และกฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ (KCL) มาพิจารณาจะได้สมการอนุพันธ์ แสดงได้ดังสมการที่ (2)



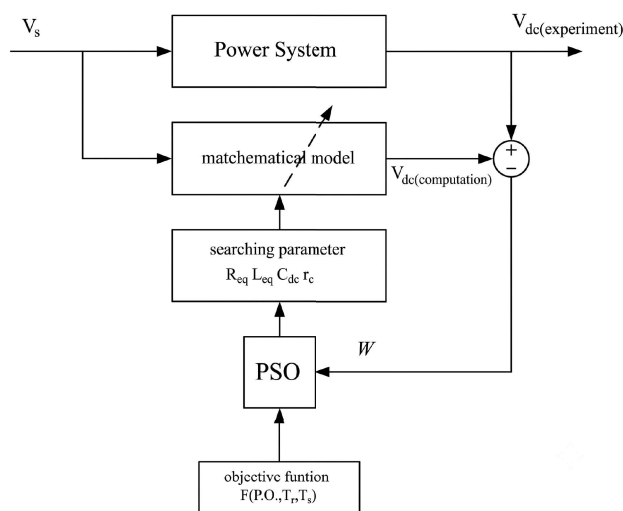
ภาพที่ 4 วงจรสมมูลบนแกนดีคิวอย่างง่าย

$$\begin{aligned}
 I_{ds} &= \frac{R_{eq}}{L_{eq}} I_{ds} + \omega I_{qs} - \frac{1}{L_{eq}} V_{bus, d} + \frac{1}{L_{eq}} V_{sd} \\
 I_{ds} &= -\omega I_{qs} - \frac{R_{eq}}{L_{eq}} I_{ds} - \frac{1}{L_{eq}} V_{bus, d} + \frac{1}{L_{eq}} V_{sq} \\
 V_{bus, d} &= \frac{1}{C_{eq}} I_{ds} + \omega V_{bus, d} - \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{2\sqrt{3}}{\pi C_{eq}} I_{dc} \quad (2) \\
 V_{bus, q} &= \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{2\sqrt{3}}{\pi C_{eq}} V_{bus, d} - \left(\frac{r_L}{L_{dc}} + \frac{r_\mu}{L_{dc}} + \frac{r_c}{L_{dc}} \right) I_{dc} \\
 &\quad - \left(\frac{R_{test}}{R_{test} L_{dc}} - \frac{r_c}{L_{dc}} \right) V_{dc} \\
 V_{dc} &= \frac{1}{C_{eq}} I_{dc} - \frac{1}{R_{test} L_{dc}} V_{dc}
 \end{aligned}$$

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสมการที่ (2) สามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ เพื่อทำการระบุเอกลักษณ์ของระบบในภาพที่ 2 ซึ่งรายละเอียดจะแสดงไว้ในหัวข้อที่ 3.3

3.3 การระบุเอกลักษณ์ด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค

สำหรับการระบุเอกลักษณ์ค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี PSO สามารถแสดงโครงสร้างบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 บล็อกไดอะแกรมการค้นหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค

สำหรับบล็อกไดอะแกรมที่แสดงในภาพที่ 5 เป็นกระบวนการค้นหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรเรียงสลับเฟสแบบควบคุมได้ โดยจะให้อัลกอริทึม PSO ทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์ R_{eq} , L_{eq} , C_{dc} และ r_c ซึ่งจะมีตัวชี้วัดด้วยค่าวัตถุประสงค์ W โดยที่ค่า W สามารถพิจารณาได้ดังสมการที่ (3) และสมการที่ (4)

$$w = F(T_r, T_s, P.O.) = \sigma Tr + \alpha Ts + \gamma P.O. \quad (3)$$

$$\text{และ} \quad \sigma + \alpha + \gamma = 1 \quad (4)$$

เมื่อ $P.O$ คือ ค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าพุ่งเกิน (V_{dc})

T_r คือ ค่าเวลาขึ้นของแรงดันไฟฟ้า (V_{dc})

T_s คือ ค่าเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวของแรงดันไฟฟ้า (V_{dc})

σ , α และ γ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการกำหนดนัยสำคัญของค่า T_r , T_s และ $P.O.$ ซึ่งบทความนี้จะกำหนดให้ค่า σ , α และ γ มีค่าเท่ากับ 0.33, 0.33 และ 0.34 ตามลำดับ

จากภาพที่ 3 ขั้นตอนการค้นหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วย วิธี PSO มีดังนี้

ขั้นที่ 1 : กำหนดขอบเขตของค่าพารามิเตอร์ ในบทความนี้จะทำการกำหนดขอบเขตบนและขอบเขตล่างของ R_{eq} , L_{eq} , C_{dc} และ r_c ให้มีค่าที่ $[0.01 \ 0.1]$, $[0.1 \ 1]$, $[160 \ 240]$, $[0.01 \ 4]$ ตามลำดับ

ขั้นที่ 2 : กำหนดค่าเริ่มต้นของตำแหน่งและความเร็วของเวกเตอร์ โดยการสุ่มในพื้นที่การค้นหาจากขั้นที่ 1

ขั้นที่ 3 : กำหนดค่า $N_p = 65$, $C_p = 0.35$ และ $C_s = 1.85$

ขั้นที่ 4 : กำหนดค่าที่ดีที่สุดโดยที่ W คำนวณจากค่าวัตถุประสงค์แสดงได้ดังสมการที่ (3)

ขั้นที่ 5 : กำหนดรอบสูงสุดในการค้นหา (NT_{max}) ค่านี้จะถูกกำหนดเพื่อให้อัลกอริทึมของ PSO หยุดการค้นหา ซึ่งบทความนี้จะถูกกำหนดรอบสูงสุดที่ 500 รอบ Chaijarunudomrung, K. [5]

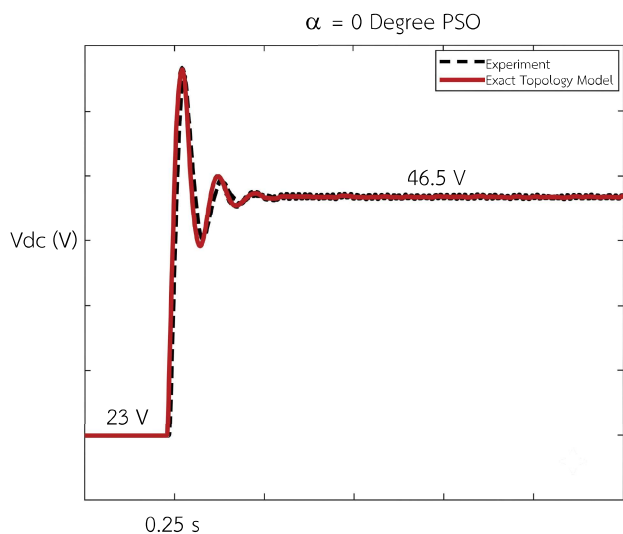
4. ผลการวิจัย

จากระบบที่แสดงในภาพที่ 2 ได้ทำการระบุเอกลักษณ์ค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี PSO ซึ่งค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจะแสดงได้ในตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้นี้ถือว่าเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใกล้เคียงกับพารามิเตอร์ของชุดทดสอบจริงมากที่สุด

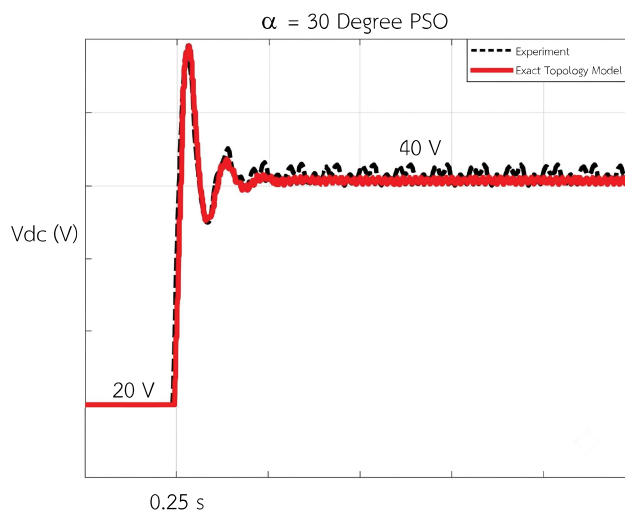
จากวิธี PSO จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ที่ค้นหาได้นั้นมีความถูกต้องจริงหรือไม่ จึงต้องนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว ซึ่งแสดงในตารางที่ 2 มาทำการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์อีกครั้ง โดยทำการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุตที่ทันใด จาก 10 V_{rms} เป็น 20 V_{rms} ที่เวลา 0.25 วินาที และปรับมุมจุดชนวนไปที่มุม 0 และ 10 องศา สังเกตผลการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ดีขึ้นที่ได้จากการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ เปรียบเทียบกับผลการตอบสนองแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ดีขึ้นจากชุดทดสอบจริง แสดงได้ดังภาพที่ 6 ถึงภาพที่ 7 ตามลำดับ จากผลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการค้นหาด้วยวิธี PSO เป็นค่าพารามิเตอร์ที่อธิบายพฤติกรรมของระบบได้สมจริง แต่อย่างไรก็ตามเงื่อนไขการตรวจสอบเป็นเงื่อนไขเดียวกับที่ใช้ในการค้นหา ดังนั้น ในบทความนี้จะได้เลือกผลการตอบสนองแรงดันเอาต์พุตที่ดีขึ้นเมื่อปรับมุมจุดชนวนเท่ากับ 30 องศา ซึ่งมุมจุดชนวนดังกล่าวนี้ไม่ได้นำไปทำการระบุเอกลักษณ์ด้วยวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ เพียงแต่นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการค้นหามาตรวจสอบความถูกต้อง ซึ่งผลการตอบสนองแรงดันเอาต์พุตที่ดีขึ้นได้นั้น มีความสอดคล้องกันทั้งในสภาวะชั่วคราวและสภาวะอยู่ตัว แสดงได้ดังภาพที่ 8 ดังนั้น ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ทำการระบุเอกลักษณ์ด้วยวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ จึงเป็นค่าพารามิเตอร์ที่มีความถูกต้อง

ตารางที่ 2 ผลการค้นหาพารามิเตอร์ของระบบ

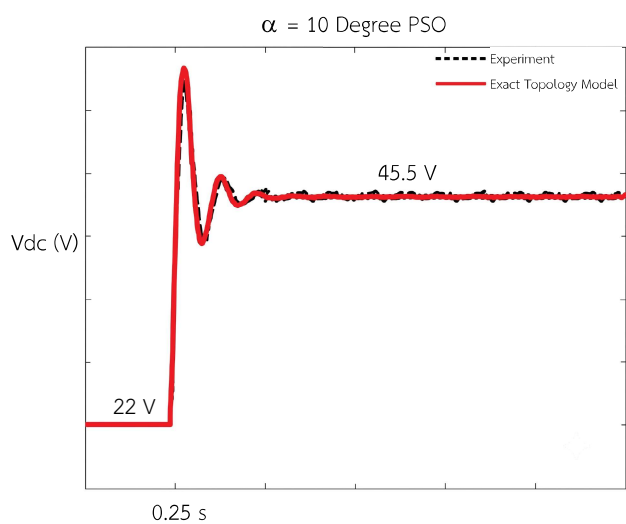
PSO Method					
มุมจุดชนวน	R_{eq}	L_{eq}	C_{dc}	r_c	ε
$\alpha = 0^\circ$	0.0864	0.1277	235	2.88	1.4535
$\alpha = 10^\circ$	0.0864	0.1277	235	2.88	



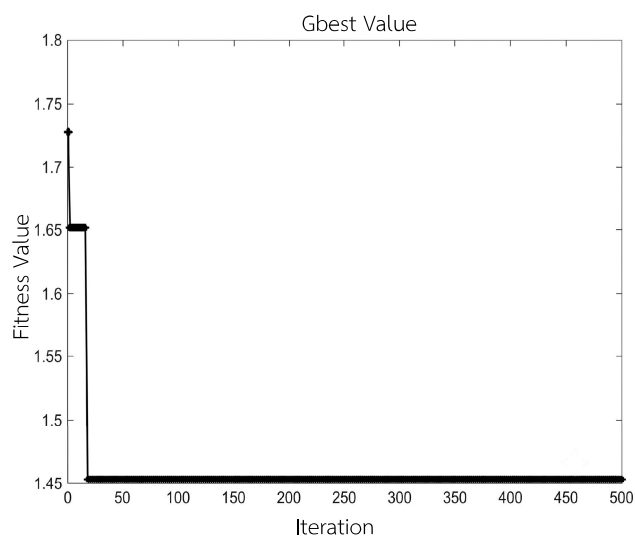
ภาพที่ 6 ผลตอบสนองของแรงดันเอาต์พุตดีซี
เมื่อปรับมุมจุดชนวนเท่ากับ 0 องศา



ภาพที่ 8 ผลตอบสนองของแรงดันเอาต์พุตดีซี
เมื่อปรับมุมจุดชนวนเท่ากับ 30 องศา



ภาพที่ 7 ผลตอบสนองของแรงดันเอาต์พุตดีซี
เมื่อปรับมุมจุดชนวนเท่ากับ 10 องศา



ภาพที่ 9 ผลการลู่เข้าหาคำตอบของค่า W ด้วยวิธี PSO

5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและอภิปรายผล

5.1.1 ผลการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมได้ พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมได้นั้น เป็นแบบจำลองที่ขึ้นอยู่กับเวลา เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์แบบจำลองจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองที่ไม่ขึ้นอยู่กับเวลาด้วยวิธีดีคิว (DQ) ซึ่งวิธีดีคิวเหมาะสำหรับวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าสามเฟส ทำให้การวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำได้ง่ายและไม่ซับซ้อน

5.1.2 ผลการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค ปกติแล้วการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบจะใช้เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าในการหาค่าพารามิเตอร์ ซึ่งมีผลความผิดพลาดจากเครื่องมือวัด ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ PSO มาช่วยในการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้าแทน ซึ่งการหาค่าพารามิเตอร์จะต้องนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมได้มาคำนวณร่วมด้วย เพื่อให้มั่นใจว่าการระบุเอกลักษณ์ค่าพารามิเตอร์มีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือได้สูง ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ของระบบที่พิจารณาคือค่าพารามิเตอร์ $R_{eq} = 0.0864 \Omega$ $L_{eq} = 0.1277 H$ $C_{dc} = 235$ และ $r_c = 2.88 \Omega$ และค่าวัตถุประสงคมีค่า $W = 1.4535$ ค่าวัตถุประสงคนี้บ่งบอกว่าการใช้วิธี PSO มีการค้นหาเข้าใกล้คำตอบที่ดีของค่าพารามิเตอร์ที่ทำการค้นหา ยิ่งค่าวัตถุประสงคมีค่าน้อย ๆ ยิ่งทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งในงานวิจัยนี้จะค้นหาค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด 500 รอบของการค้นหา

5.1.3 การสร้างชุดทดสอบวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมได้ งานวิจัยจะนำผลแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตดีซีที่ได้จากชุดทดสอบจริงและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พิสูจน์ด้วยวิธี DQ นำข้อมูลที่ได้ทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี PSO พบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่ได้มีความใกล้เคียง

กับชุดทดสอบจริง เมื่อทำการจำลองสถานการณ์ผ่านระบบคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับชุดทดสอบจริง ดังนั้น จึงเชื่อได้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่ค้นหาด้วยวิธี PSO มีความถูกต้องเนื่องจากผลการตอบสนองตรงกันทั้งสภาวะชั่วคราวและสภาวะอยู่ตัว

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาวิธีการค้นหาค่าพารามิเตอร์ด้วยอัลกอริทึมแบบอื่น ๆ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ที่ทำการค้นหาด้วยอัลกอริทึม PSO ซึ่งจะหาค่าพารามิเตอร์ที่ค้นหามีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

5.2.2 การค้นหาค่าพารามิเตอร์ด้วยอัลกอริทึม PSO มีความจำเป็นอย่างมากในการกำหนดขอบเขตบนและขอบเขตล่างของค่าพารามิเตอร์ ซึ่งต้องกำหนดให้ถูกต้อง มิเช่นนั้นจะทำให้การค้นหาค่าพารามิเตอร์ผิดพลาดได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Emadi, A., Khaligh, A., Rivetta, C.H., Williamson, G.A., (2006). Constant Power Loads and Negative Impedance Instability in Automotive Systems : Definition, Modeling, Stability, and Control of Power Electronic Converters and Motor Drives, *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, 55(4), 1112-1125.
- [2] Areerak, K.N., Bozhko, S.V., Asher, G.M., Thomas, D.W.P., (2008). Stability Analysis and Modelling of AC-DC System with Mixed Load Using DQ-Transformation Method, *IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE08)*. Cambridge, 19-24.



- [3] Puangdownreong, D., Areerak, K.N., Srikaew, A., Sujijorn S., Totarong, P., (2002), System Identification via Adaptive Tabu Search, In Proceedings *IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT02)*, 915-920.
- [4] Chaijarunudomrung, K., Areerak, K-N., Areerak, K-L, (2010). “Modeling of Three-phase Controlled Rectifier using a DQ method”, *2010 International Conference on Advances in Energy Engineering (ICAEE 2010)*, 56-59.
- [5] Chaijarunudomrung, K., Areerak, K.N., Areerak, K.L., (2011). The Controller Design of Three-Phase Controlled Rectifier using a Particle Swarm Optimization, *European Journal of Scientific Research*, 59(4), 561-570.