

การออกแบบตัวควบคุมพีไอสำหรับระบบควบคุมความร้อนด้วย ตามูเชิงปรับตัว และการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค

PI Controller Design of Heat Control Systems using ATS and PSO

สุชาวดี จินสุทธี*

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี

ย่านยาว สามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

Suchawadi Chinsut

Electrical Engineering, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Suphanburi Yan Yao, Sam Chuk, Suphan Buri, 72130, Thailand

* Corresponding Author E-mail: Suchawadi.C@rmutsb.ac.th

Received: Aug 02, 2021; Revised: Aug 22, 2021; Accepted: Aug 30, 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมพีไอ ด้วยวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ที่ทำให้ผลการตอบสนองของเอาต์พุตในระบบมีสมรรถนะที่ดียิ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวงจรแปลงผันกำลัง AC-DC-AC ที่มีตัวควบคุมพีไอ ซึ่งได้มาจากวิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไป เพื่อนำพารามิเตอร์ตัวควบคุมที่ปรากฏอยู่ มาเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหา ซึ่งการออกแบบตัวควบคุมนี้จะถูกนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบควบคุมความร้อนสำหรับเครื่องผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลขนาดเล็กที่ถูกพัฒนาขึ้น ในบทความนี้เลือกใช้วิธีการค้นหาแบบตามูเชิงปรับตัว และการค้นหาแบบการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค ทำการค้นหาพารามิเตอร์ของตัวควบคุมทั้งอุณหภูมิและอุณหภูมิกระแส นอกจากนี้มีการตรวจสอบความสมจริงในขณะการออกแบบ เพื่อให้ตัวควบคุมที่ได้รับการออกแบบขึ้นสามารถนำไปสร้างจริงได้ในทางปฏิบัติ

คำสำคัญ: ตัวควบคุมพีไอ, การค้นหาแบบการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค (PSO), การค้นหาแบบตามูเชิงปรับตัว (ATS)

Abstract

This paper presents the artificial intelligence-based PI controller design that results in better performance of the system output response compared with the conventional method. The mathematical model using AC-DC-AC power conversion circuit with a PI controller derived from the generalized state-space averaging method to take control parameters that appear in the model as an objective function in search process. The design of this controller will be applied in conjunction with a heat control systems for a small fuel ethanol production plants that has been developed. The adaptive tabu search and the particle swarm optimization method are used as the searching algorithms for this paper. The algorithm searches the controller parameters of both temperature and current. In addition, the realism is checked the limitation of control signal to confirm that the resetting parameters can be implemented.

Keywords: PI Controller, Particle Swarm Optimization (PSO), Adaptive Tabu Search (ATS)

1. บทนำ

ในปัจจุบันการผลิตเอทานอลสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยมีแนวคิดที่จะผลิตเชื้อเพลิงที่สามารถใช้เอทานอลผสมกับน้ำมัน เช่น น้ำมัน E20 และ E85 เป็นต้น หรือแนวคิดแปรรูปเป็นพลังงานเชื้อเพลิงจากสิ่งที่มีอยู่มาประยุกต์เพื่อให้เกิดประโยชน์ ซึ่งในงานวิจัย [1] มีการสร้างระบบเครื่องผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลขนาดเล็ก ที่พบว่ามีการทำความร้อนให้แก่น้ำมันที่เกิดจากการหมักวัตถุดิบทางการเกษตร ซึ่งจะถูกลั่นลำดับส่วนโดยการให้ความร้อนจนได้ความเข้มข้นของเอทานอลสูงสุด และนำไปผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อให้ได้ เอทานอลบริสุทธิ์ ในกระบวนการทั้งหมดนี้ระบบทำความร้อนเป็นส่วนสำคัญในการกลั่นเอทานอล ถ้าหากการทำงานมีประสิทธิภาพต่ำ หรือมีข้อผิดพลาดของระบบควบคุม อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเอทานอล ดังนั้นในระบบทำความร้อนที่มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพ ควรมีตัวควบคุมที่ดี โดยตัวควบคุมที่นิยมนำมาใช้ คือ ตัวควบคุมพีไอ เพราะมีโครงสร้างที่ง่าย ให้สมรรถนะการใช้งานคงทนในช่วงการทำงานที่กว้าง และสามารถใช้กับระบบอื่นๆ ได้ ในทางปฏิบัติการปรับค่าพารามิเตอร์ต้องทดลองปรับค่า (Trial and Error) ซึ่งเกิดความยุ่งยากและใช้เวลานาน อีกทั้งค่าที่ได้มักจะไม่ใช่ว่าเหมาะสมที่สุด จึงได้มีการคิด และพัฒนาวิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมหลายวิธี

ในบทความจึงนำเสนอการออกแบบปรับปรุงพารามิเตอร์ตัวควบคุมความร้อนสำหรับเครื่องผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลขนาดเล็ก ด้วยวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ ที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น การระบุเอกลักษณ์ของระบบด้วย ATS [2], การออกแบบวงจรกรองและระบบควบคุมด้วย GA [3], การค้นหาพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอด้วย PSO [4] และอื่นๆ โดยในบทความนี้ได้เลือกนำเสนอวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ 2 วิธี คือ วิธีการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว (Adaptive Tabu Search; ATS) และการค้นหาแบบการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Particle Swarm Optimization; PSO) เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความซับซ้อนน้อย มีหลักการค้นหาปรับปรุงตัวควบคุมที่คล้ายคลึงกัน และให้ประสิทธิภาพในการค้นหาที่ดีเช่นกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ผลการตอบสนองทางฝั่งเอาต์พุตที่ดี

ที่สุด ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถนำไปคำนวณหาสัญญาณการควบคุม และในการนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยระบบที่ศึกษาในบทความนี้จะมีส่วนประกอบหลักเป็นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า ซึ่งวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้างกล่าว ส่วนใหญ่จะมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ขึ้นอยู่กับเวลา (Time-Varying Model) อันเนื่องมาจากผลของอุปกรณ์สวิตช์ในระบบ จะส่งผลเมื่อนำไปวิเคราะห์ ทำให้เกิดความยุ่งยาก ด้วยเหตุนี้จึงต้องอาศัยวิธีการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ขึ้นอยู่กับเวลา (Time-Invariant Model) ซึ่งในที่นี้เลือกใช้วิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไป (Generalize State-Space Averaging Method: GSSA) เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความซับซ้อนน้อย ให้ความถูกต้องแม่นยำสูง และเป็นที่นิยมในการนำมาวิเคราะห์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวงจรแปลงผันกำลังหนึ่งเฟส ซึ่งรายละเอียดการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากงานวิจัย [5] โดยจะมีเนื้อหาเกี่ยวกับวิธีการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่อาศัยวงจรแปลงผันกำลัง AC-DC-AC ที่มีตัวควบคุมพีไอ อีกทั้งนำเสนอการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมด้วยการใช้วิธีการเทียบสัมประสิทธิ์กับสมการมาตรฐานของระบบอันดับสอง ซึ่งจากการยืนยันผลสามารถแสดงให้เห็นแล้วว่าได้แบบจำลองที่มีความถูกต้องและแม่นยำ อีกทั้งพบว่าแบบจำลองดังกล่าวใช้เวลาในการจำลองสถานการณ์ที่รวดเร็วกว่าแบบจำลองสวิตช์ในโปรแกรม MATLAB ดังนั้นแบบจำลองที่ได้รับการพิสูจน์ในบทความนี้มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับอัลกอริทึมสำหรับการหาจุดที่ดีที่สุด (Optimization) ที่มีการค้นหาแบบซ้ำๆ ด้วยวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ทั้ง 2 วิธี ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งพารามิเตอร์ตัวควบคุมที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ จะแสดงให้เห็นว่าผลการตอบสนองของอุณหภูมิเอาต์พุตมีสมรรถนะดียิ่งขึ้น เมื่อเทียบกับการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีแบบดั้งเดิม การยืนยันผลการออกแบบตัวควบคุมจะอาศัยการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม MATLAB รวมทั้งมีการตรวจสอบความสมจริงในขณะการออกแบบ เพื่อให้ตัวควบคุมที่ได้รับการออกแบบขึ้นสามารถนำไปสร้างจริงได้ในทางปฏิบัติ

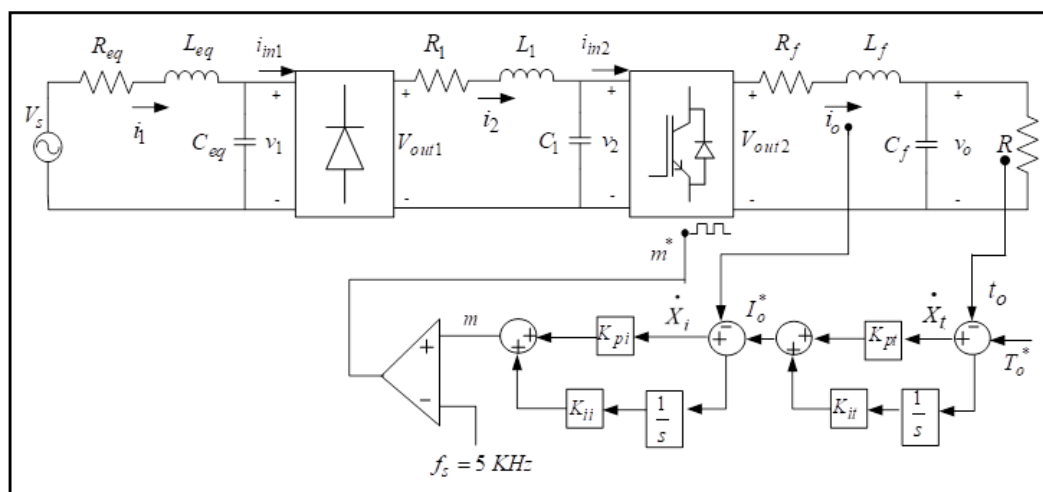
2. แบบจำลองพลวัตระบบควบคุมความร้อน

สำหรับเครื่องผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลขนาดเล็ก

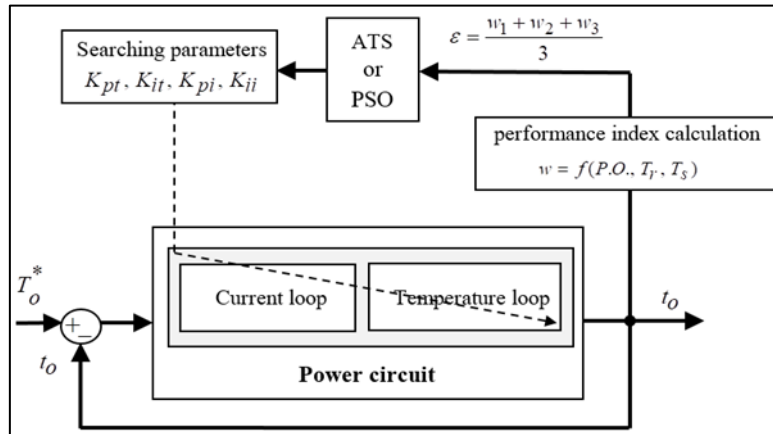
ระบบที่พิจารณา แสดงได้ดังรูปที่ 1 จะอาศัยตัวควบคุมพีไอ ที่เป็นระบบควบคุมป้อนกลับของวงจรอินเวอร์เตอร์ ประกอบด้วยตัวควบคุมอุณหภูมิ และตัวควบคุมกระแสไฟฟ้า ที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทางด้านเอาต์พุต ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่พิจารณา เป็นการนำวิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไปเข้ามาวิเคราะห์ โดยใช้สัมประสิทธิ์อนุกรมฟูริ

เยร์เชิงซ้อนของตัวแปรสถานะของวงจร (Complex Fourier Series) ไปเป็นตัวแปรสถานะของแบบจำลอง แสดงดังสมการที่ (1) โดยจะปรากฏพารามิเตอร์ของตัวควบคุม (K_p , K_i , K_{pi} , K_{pt}) ซึ่งการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่มีตัวควบคุมพีไอ พบได้จาก [5] โดยจากสมการถือเป็นองค์ที่สำคัญในนำไปประยุกต์ออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ เพื่อให้ได้พารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอ ที่ทำให้สมรรถนะของผลการตอบสนองของอุณหภูมิดีขึ้น โดยมีกระบวนการดังรูปที่ 2

$$\begin{aligned}
 x_1 &= -\frac{R_1}{L_1}x_1 - \frac{1}{L_1}x_2 - \frac{4}{\pi L_1}x_6 \\
 x_2 &= \frac{1}{C_1}x_1 - \frac{8K_{pi}\sqrt{x_7^2+x_8^2}}{\sqrt{2}\pi C_1 A_r}x_8 - \frac{5.2K_{pt}K_{pi}\sqrt{x_9^2+x_{10}^2}}{\sqrt{2}\pi C_1 A_r}x_8 + \frac{4K_{it}K_{pi}}{\sqrt{2}\pi C_1 A_r}X_t x_8 + \frac{4K_{ii}}{\sqrt{2}\pi C_1 A_r}X_i x_8 + \frac{4K_{pt}K_{pi}T_o^*}{\sqrt{2}\pi C_1 A_r}x_8 \\
 x_3 &= -\frac{R_{eq}}{L_{eq}}x_3 + \omega x_4 - \frac{1}{L_{eq}}x_5 \\
 x_4 &= -\omega x_3 - \frac{R_{eq}}{L_{eq}}x_4 - \frac{1}{L_{eq}}x_7 + \frac{1}{2L_{eq}}Vm \\
 x_5 &= \frac{1}{C_{eq}}x_3 - \omega x_6 \\
 x_6 &= \frac{2}{\pi C_{eq}}x_1 + \frac{1}{C_{eq}}x_4 - \omega x_5 \\
 x_7 &= -\frac{R_f}{L_f}x_7 + \omega x_8 - \frac{1}{L_f}x_9 \\
 x_8 &= \frac{4K_{pi}\sqrt{x_7^2+x_8^2}}{\sqrt{2}\pi L_f A_r}x_2 + \frac{2.6K_{pt}K_{pi}\sqrt{x_9^2+x_{10}^2}}{\sqrt{2}\pi L_f A_r}x_2 - \frac{2K_{it}K_{pi}}{\sqrt{2}\pi L_f A_r}X_t x_2 - \frac{2K_{ii}}{\sqrt{2}\pi L_f A_r}X_i x_2 - \frac{2K_{pt}K_{pi}T_o^*}{\sqrt{2}\pi L_f A_r}x_2 - \omega x_7 - \frac{R_f}{L_f}x_8 - \\
 x_9 &= \frac{1}{C_f}x_7 - \frac{1}{RC_f}x_9 + \omega x_{10} \\
 x_{10} &= \frac{1}{C_f}x_8 - \omega x_9 - \frac{1}{RC_f}x_{10} \\
 x_t &= T_o^* - 1.3\sqrt{x_9^2+x_{10}^2} \\
 x_i &= -2\sqrt{x_7^2+x_8^2} - 1.3\sqrt{x_9^2+x_{10}^2} + K_{it}X_t + K_{pt}T_o^*
 \end{aligned} \tag{1}$$



รูปที่ 1 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า AC-DC-AC ที่มีการควบคุมพีไอ [5]



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์

พิจารณาออกแบบตัวควบคุมฟีดแบ็กด้วยวิธีการดั้งเดิม สำหรับใช้เป็นพื้นฐานในการกำหนดขอบเขตการค้นหา พารามิเตอร์ตัวควบคุม ด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งพบว่าได้ค่าพารามิเตอร์ คือ $K_{pt} = 10.309$, $K_{it} = 0.02$, $K_{pi} = 0.0025$ และ $K_{ii} = 9.03125$ รายละเอียดค่า พารามิเตอร์ดังกล่าวสามารถดูได้ใน [5]

ในลำดับถัดไปจะกล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธี ATS และ PSO ซึ่งสามารถแสดงโครงสร้างการค้นหาพารามิเตอร์ตัวควบคุมได้ดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2 พบว่าวิธีดังกล่าว จะทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมฟีดแบ็ก 4 ตัว ได้แก่ K_{pt} , K_{it} , K_{pi} , และ K_{ii} ผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ตามความสัมพันธ์ในสมการที่ (1) ซึ่งในการค้นหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมจะทำการกำหนดค่าอุณหภูมิอ้างอิง (T_0^*) ในขั้นตอนการทำงานที่ต้องการ และจะอาศัยการประเมินค่าผ่านฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของระบบ (w) โดยสมการที่ (2)

$$w(T_{Rp}, T_{Sp}, P.O., T_{p,u}) = \sigma T_R + \alpha T_S + \gamma P.O. \quad (2)$$

โดยที่ PO คือ เปอร์เซนต์การพุ่งเกิน, T_R คือ ช่วงเวลาขึ้น และ T_S คือ ช่วงเวลาเข้าที่ σ , α และ γ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความสำคัญของ PO, T_R และ T_S กำหนดให้มีค่าเป็น 0.33, 0.33 และ 0.34 ตามลำดับ โดยอัลกอริทึมทั้ง 2 วิธี มีกลไกการค้นหาโดย ใช้ค่า w ที่ได้จากการนำชุดข้อมูลทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย (ε) ส่งให้กับกลไกการค้นหาทำการประมวลผลจนกระทั่งได้ค่า ε น้อยที่สุด ที่ให้ผลตอบสนองดีที่สุด

3. การออกแบบปรับปรุงตัวควบคุมฟีดแบ็กด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์

3.1. หลักการออกแบบตัวควบคุมฟีดแบ็กด้วย ATS

การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมที่ถูกพัฒนามาจากวิธีการค้นหาแบบตายนู (Tabu Search: TS) [6] ที่มีการค้นหาคำตอบด้วยเงื่อนไขการค้นหาคำตอบใหม่เริ่มต้นจากคำตอบปัจจุบัน โดยใช้หลักการเดิน (move operator) อาศัยการประเมินค่าคำตอบรอบข้าง ในรัศมีเริ่มต้นที่กำหนด และอีกเงื่อนไข คือ การเลี่ยงเส้นทางที่ค้นหาที่ทำใหวนรอบอยู่กับที่ (Cycle Avoidance) ซึ่งในส่วนวิธี ATS [7] ได้รับการพัฒนาด้วยการเพิ่ม 2 กลไก คือ การเดินย้อนรอย (Back Tracking) และการปรับรัศมีการค้นหา (Adaptive Radius) สามารถสรุปรายละเอียดได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดพื้นที่การค้นหาคำตอบ และประเมินค่าคำตอบที่ดีที่สุด เป็นคำตอบเริ่มต้น (S_0)

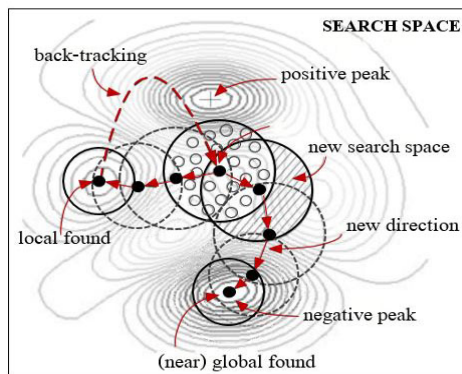
ขั้นตอนที่ 2 สุ่มเลือกคำตอบรอบข้างจำนวน N โดยนำ S_0 มาเป็นศูนย์กลาง เพื่อสุ่มคำตอบบริเวณใกล้เคียง ในรัศมีการค้นหา R ประเมินค่าคำตอบรอบข้าง โดยนำคำตอบที่ดีที่สุด (S_1) เทียบกับ S_0 และทำการประเมินเป็นคำตอบใหม่ (S_{new}) ในรอบการค้นหาปัจจุบัน และจะกลายเป็นคำตอบเริ่มต้น (S_0) ในรอบการค้นหาถัดไป

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อ $count_n < count_{set}$ ทำการค้นหาในขั้นตอนที่ 2 อีกครั้ง จนกระทั่งได้คำตอบตามที่เงื่อนไขกำหนดหรือ $count_n > count_{set}$ ในกรณีที่การค้นหาไม่พบคำตอบที่ดีขึ้น กลไกการเดินย้อนรอยจะถูกนำมาใช้

ขั้นตอนที่ 4 เข้าสู่กลไกการเดินย้อนรอย โดยเลือกคำตอบที่ดีที่สุดจากการค้นหาในพื้นที่เดิม กำหนดเป็นคำตอบเริ่มต้นในรอบถัดไป

ขั้นตอนที่ 5 เข้าสู่กลไกการปรับค่ารัศมีการค้นหา เพื่อกระชับพื้นที่ให้แคบลง แสดงได้ดังรูปที่ 3

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อค้นหาคำตอบครบจำนวนรอบที่กำหนด จะได้คำตอบที่ดีที่สุด ถูกส่งมาเป็นคำตอบของกระบวนการ ซึ่งในที่นี้ คือ K_{pt} , K_{it} , K_{pt} , และ K_{ii}



รูปที่ 3 กลไกการเดินย้อนรอย และปรับรัศมีการค้นหา

กระบวนการออกแบบตัวควบคุมพีไอด้วย ATS โดยทำการกำหนดค่าอุณหภูมิในย่านการทำงานที่ต้องการ ซึ่งในบทความนี้ทำการพิจารณา 2 กรณี คือ 1. กำหนดค่า T_0^* เปลี่ยนจากอุณหภูมิ 85°C ไปเป็น 100°C และกรณี ที่ 2. จากอุณหภูมิ 105°C ไปเป็น 90°C เนื่องจากเป็นช่วงอุณหภูมิที่ทำให้เอทานอลทั้งหมดแยกตัวออกจากของเหลว จากนั้นกำหนดขอบเขตบน-ล่าง ของพารามิเตอร์ K_{pt} , K_{it} , K_{pt} , และ K_{ii} โดยมีค่าเป็น $[20.00 \ 0.50]$, $[1.00 \ 0.005]$, $[0.50 \ 0.0001]$, $[100 \ 1.00]$ ตามลำดับ และทำการกำหนดพารามิเตอร์เริ่มต้นของระบบ ได้แก่

- จำนวนค่าคำตอบเริ่มต้น เลือกใช้ค่าเท่ากับ 30 คำตอบ
- จำนวนคำตอบรอบข้าง เลือกใช้ค่าเท่ากับ 20 คำตอบ
- รัศมีการค้นหาคำตอบ เลือกใช้ค่าเท่ากับ 20
- ตัวประกอบการปรับลดรัศมี (DF) เลือกใช้เท่ากับ 1.1
- จำนวนรอบ (Round) เลือกใช้ค่าเท่ากับ 30 รอบ

โดยค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวเกิดจากการทดสอบและเก็บผลจากการค้นหาแบบวนซ้ำด้วย ATS ที่ให้ค่า w ต่ำสุด รายละเอียดเพิ่มเติม สามารถพบได้ใน [7-8]

3.2. หลักการออกแบบตัวควบคุมพีไอด้วย PSO

การค้นหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมที่เหมาะสมแบบการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค หรือที่เรียกว่า PSO เป็นอัลกอริทึมการค้นหาเชิงประชากรโดยมีอนุภาคย่อย ๆ รวมกลุ่มกันเคลื่อนที่ไปในปริภูมิเกิน (hyperspace) เพื่อค้นหาคำตอบ ซึ่งมีทิศทางเคลื่อนที่ที่แต่ละอนุภาคเปลี่ยนไปตามข้อมูลการค้นหาที่ผ่านมาของอนุภาคนั้น ๆ และข้อมูลจากการค้นหอนุภาคที่เจอคำตอบดีที่สุดในกลุ่ม [9-10] สามารถสรุปขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค ได้ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดขอบเขตการค้นหาคำตอบ

ขั้นตอนที่ 2 สุ่มเวกเตอร์ตำแหน่ง (Position vector: $\vec{P}$) และเวกเตอร์ความเร็ว (Velocity vector: $\vec{V}$) ของแต่ละอนุภาค ในกลุ่มประชากร โดยเวกเตอร์ทั้ง 2 จะมีมิติเท่ากับจำนวนของตัวแปรที่ต้องการค้นหาคำตอบ ซึ่งในบทความนี้มี 4 มิติ สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (3)

$$\vec{P}_i = \begin{bmatrix} K_{pt,i} \\ K_{it,i} \\ K_{pt,i} \\ K_{ii,i} \end{bmatrix}, \quad \vec{V}_i = \begin{bmatrix} V_{1,i} \\ V_{2,i} \\ V_{3,i} \\ V_{4,i} \end{bmatrix}; \quad \begin{matrix} i = \text{จำนวนอนุภาค} \\ \text{ย่อย } (1,2,3,\dots, NP) \end{matrix} \quad (3)$$

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินค่าความเหมาะสมของแต่ละอนุภาคด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ แบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

- กรณีที่ 1 ถ้าค่าความเหมาะสมของอนุภาคใด ดีกว่าค่าที่ดีที่สุดของกลุ่ม หรือดีที่สุดแบบวงกว้าง (gbest)
- กรณีที่ 2 ถ้าค่าความเหมาะสมของอนุภาคใด ดีกว่าค่าที่ดีที่สุดของอนุภาคตัวเดียวกัน (pbest)

ขั้นตอนที่ 4 ทำการปรับค่าความเร็วของอนุภาค ในสมการที่ (4) โดยที่พจน์สองเรียกว่า องค์ประกอบเชิง ปริซาน (Cognitive Component) ใช้แทนประสบการณ์ค้นหาของแต่ละอนุภาค และพจน์สาม คือองค์ประกอบทางสังคม (Social Component) ใช้แทนประสบการณ์ค้นหาของกลุ่ม

$$\vec{V}(\text{new}) = \vec{V}(\text{old}) + \underbrace{\rho_p (\vec{P}_{pbest,i} - \vec{P}_i(\text{old}))}_{\text{cognitive component}} + \underbrace{\rho_g (\vec{P}_{gbest,i} - \vec{P}_i(\text{old}))}_{\text{social component}} \quad (4)$$

โดยที่ p_p, p_g คือตัวประกอบแบบสุ่มขององค์ประกอบทั้ง 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $r_p C_p$ และ $r_g C_g$ ตามลำดับ (C_p, C_g คือค่าคงที่ความเร่ง)

ขั้นตอนที่ 5 ปรับค่าเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคในรอบการค้นหาค่าต่อไป ด้วยความสัมพันธ์สมการที่ (5)

$$\vec{P}_i(new) = \vec{P}_i(old) + \vec{V}_i(new) \quad (5)$$

ขั้นตอนที่ 6 ถ้า $iteration < iteration_{max}$ ให้ทำการ ค้นหาซ้ำจนกระทั่งได้ค่าที่เหมาะสม หรือ $iteration > iteration_{max}$ ให้หยุดการค้นหา โดยคำตอบที่ดีที่สุดแบบ $gbest$ จะถูกส่งมาเป็นคำตอบของระบบ [11]

สำหรับกระบวนการออกแบบตัวควบคุมฟuzzy ด้วย PSO ทำเช่นเดียวกับการออกแบบด้วย ATS คือ ทำการกำหนดค่าขานอนุกรมงานที่ต้องการ กำหนดค่า ขอบเขตของพารามิเตอร์ บน-ล่าง และกำหนดพารามิเตอร์เริ่มต้นของการค้นหา เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยผู้วิจัยได้ทำการทดสอบและเลือกค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของระบบ ดังนี้

- จำนวนอนุภาคการค้นหา (NP) เท่ากับ 30 คำตอบ
- ค่าคงที่ความเร่งแบบ C_p เท่ากับ 1
- ค่าคงที่ความเร่งแบบ C_g เท่ากับ 0.5

เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์การค้นหาที่เหมาะสม จะนำไปสู่การออกแบบปรับปรุงตัวควบคุมฟuzzy โดยประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของระบบ (w) ในสมการที่ (2) ทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมทั้ง 4 ที่ให้ผลตอบแทนอนุกรมงานที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถศึกษาแนวทาง และกระบวนการเพิ่มเติมได้ใน [12] โดยยกตัวอย่างการเขียนอัลกอริทึมพื้นฐานของ PSO แสดงในอัลกอริทึมที่ 1

อัลกอริทึมที่ 1 พื้นฐานการค้นหาคำตอบด้วย PSO

Begin

While $N < N_{max}$ do

for each particle i do

Update the velocity according equation (4);

Update position according to equation (5);

Calculate the fitness value;

$N++$;

end for

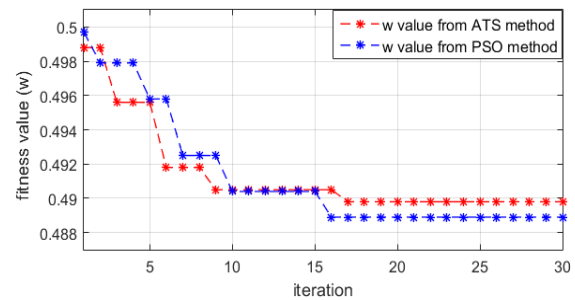
Update the $pbest$ and $gbest$ in the population;

end while

End

4. ผลการออกแบบตัวควบคุม

จากระบบที่พิจารณาดังรูปที่ 1 สำหรับกระบวนการค้นหาพารามิเตอร์ตัวควบคุมฟuzzy ด้วยอัลกอริทึม ATS และ PSO มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาพารามิเตอร์ตัวควบคุมที่ให้ผลตอบแทนอนุกรมงานที่ดีที่สุดยิ่งขึ้น ผ่านการประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ w ของการค้นหาที่ดีที่สุดในแต่ละรอบ สามารถแสดงดังรูปที่ 4



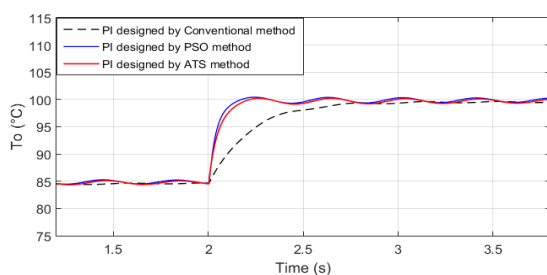
รูปที่ 4 ค่า w ของการค้นหาด้วย ATS และ PSO

จากรูปที่ 4 แสดงค่า w สำหรับการค้นหาในแต่ละรอบ ที่มีค่าลดลงเรื่อย ๆ พบว่าผู้เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุดของค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุม ที่สามารถทำให้ผลการตอบสนองมีสมรรถนะที่ดีขึ้น ทั้งอัลกอริทึม ATS และ PSO โดยพารามิเตอร์ตัวควบคุมที่ได้จากกลไกการค้นหาทั้ง 2 วิธี เมื่อเทียบกับวิธีการดั้งเดิมมีค่าดังตารางที่ 1

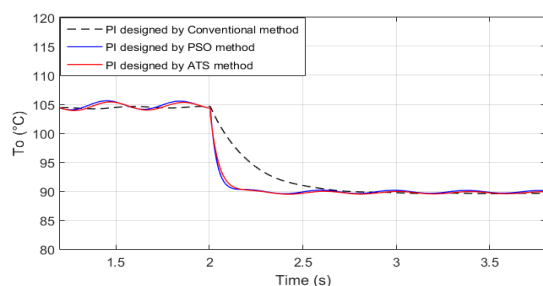
ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของตัวควบคุมในระบบที่พิจารณา

วิธีการ ออกแบบ	พารามิเตอร์ตัวควบคุม		
	วิธีแบบดั้งเดิม	วิธี ATS	วิธี PSO
K_{pt}	10.309	14.3659	9.6820
K_{it}	0.02	0.1513	0.2535
K_{pi}	0.0025	0.0989	0.0745
K_{ii}	9.0312	29.9500	42.0264
w	0.8934	0.4898	0.4889

ยืนยันผลการออกแบบปรับปรุงตัวควบคุมพีไอด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ โดยจำลองสถานการณ์เพื่อสังเกตผลการตอบสนองของอุณหภูมิเอาต์พุต ซึ่งทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมกับการออกแบบด้วย ATS และ PSO โดยมีการปรับเปลี่ยนย่านอุณหภูมิ ใน 2 กรณี ที่เวลา $t=2$ วินาที พบว่าตัวควบคุมทั้ง 3 วิธี สามารถควบคุมอุณหภูมิเอาต์พุตของระบบได้ถูกต้อง ตามจุดทำงานที่ต้องการ และพบว่าผลการตอบสนองมีความสอดคล้องกันในสถานะอยู่ตัว แต่จะสังเกตเห็นว่าการออกแบบตัวควบคุมพีไอด้วย ATS และ PSO ให้ผลการตอบสนองของอุณหภูมิเอาต์พุตทั้ง ในช่วงเวลาขึ้น ช่วงเวลาเข้าที่ และการพุ่งเกินชั่วคราว ที่ดีกว่า จึงส่งผลให้ระบบมีสมรรถนะดีกว่าการใช้ตัวควบคุมที่ออกแบบด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม ทั้ง 2 กรณี ผลการจำลองสถานการณ์แสดงดังรูปที่ 5-6



รูปที่ 5 ผลการตอบสนองของอุณหภูมิเอาต์พุต เมื่อ T_o^* เปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิ 85°C ไปเป็น 100°C



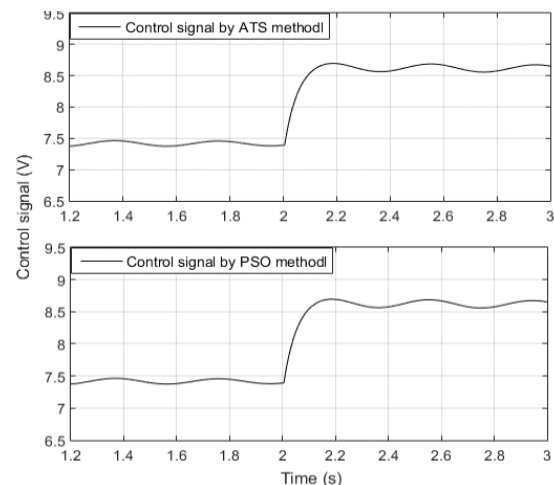
รูปที่ 6 ผลการตอบสนองของอุณหภูมิเอาต์พุต เมื่อ T_o^* เปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิ 105°C ไปเป็น 90°C

ในบทความนี้ผู้วิจัยได้คำนึงถึงความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานในทางปฏิบัติ จึงกำหนดเงื่อนไขตรวจสอบความสมจริง ด้วยการคำนวณสัญญาณควบคุม (m) ที่มีค่าอยู่ภายในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 10 เนื่องจากเป็นช่วงการพิจารณา

เปรียบเทียบสัญญาณสามเหลี่ยม เพื่อนำไปสร้างสัญญาณการสวิตช์ที่ดับเบิลยูเอ็ม โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (6) และมีผลการจำลองสถานการณ์แสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งยกตัวอย่างการพิจารณาที่ย่านอุณหภูมิในกรณีที่ 1

$$m = -K_{pi}i_o - 0.65K_{pt}K_{pi}v_o + K_{it}K_{pi}X_t + K_{ii}X_i + K_{pt}K_{pi}T_o^* \quad (6)$$

โดยจากการตรวจสอบความสมจริง ในกระบวนการออกแบบตัวควบคุม ด้วยวิธีอัลกอริทึม ATS และ PSO กำหนดตามความสัมพันธ์ ร่วมกับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ ซึ่งพบว่าระดับของสัญญาณอยู่ภายในช่วง 0 ถึง 10 ตามเงื่อนไข ดังนั้นจึงถือได้ว่าตัวควบคุมพีไอ ที่ทำการออกแบบขึ้นด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ มีความสมจริง และสามารถนำไปใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมดังกล่าวจะถูกนำไปใช้สำหรับการทดสอบ ในชุดทดสอบควบคุมอุณหภูมิเอาต์พุตของเครื่องต้นแบบผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลขนาดเล็กที่ถูกพัฒนาขึ้น



รูปที่ 7 สัญญาณควบคุม m เมื่อ T_o^* เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จาก 85°C ไปเป็น 100°C

5. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอของระบบควบคุมความร้อนสำหรับเครื่องต้นแบบผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลขนาดเล็ก ด้วยวิธีการ

ทางปัญญา ประดิษฐ์ ที่เป็นการนำอัลกอริทึม ATS และ PSO มาค้นหาคำตอบ โดยองค์ประกอบในกระบวนการออกแบบ พิจารณาร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ มีการตรวจสอบผลการออกแบบทั้ง ความถูกต้องของคำตอบ และ สมรรถนะของผลการตอบสนองของอุณหภูมิเอาต์พุต โดย เปรียบเทียบการออกแบบตัวควบคุมทั้ง 2 วิธี กับการออกแบบ ด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม พบว่าการออกแบบด้วยวิธีทาง ปัญญาประดิษฐ์ ให้ผลการตอบสนองของอุณหภูมิเอาต์พุต ของระบบมีสมรรถนะที่เพิ่มขึ้นและดีกว่า นอกจากนี้ได้ นำเสนอการตรวจสอบสัญญาณการควบคุมของตัวควบคุม พีไอที่ถูกออกแบบขึ้น บ่งบอกได้ว่าตัวควบคุมนี้มีความ สมจริง สามารถนำไปใช้งานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Boontawan, "Retrofitting of Pilot Plant for the Extractive Fermentation of Bio-ethanol using Vacuum Fractionation technique," Research reports., Dept. Biotechnology of Agricultural Technology, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 2018, pp. 14–25
- [2] S. Sujitjorn, T. Kulworawanichpong, D. Puangdownreong and K. Areerak, "Adaptive Tabu Search and Applications in Engineering Design," in *Integrated Intelligent Systems for Engineering Design*, X. F. Zha and R.J. Howlett, Eds, Amsterdam, Netherlands, IOS Press, 2006, pp. 233–257
- [3] T. Narongrit, K-L. Areerak and K-N. Areerak, "Design of an Active Power Filter using Genetic Algorithm Technique," in *The 9th WSEAS International Conference on Artificial Intelligent, Knowledge Engineering and Data Bases (AIKED' 10)*, Cambridge, United Kingdom, Feb 20–22, 2010, pp.46–50.
- [4] X. Li, M. Chen and Y. Tsutomu, "A method of searching PID controller's optimized coefficients for buck converter using particle swarm optimization," in *2013 IEEE 10th International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS)*, Apr 22–25, 2013, pp. 238–243, doi: 10.1109/PEDS.2013.6527021
- [5] S. Chinsut, "The Implementation of Heat Control Systems for Small Fuel Ethanol Production Plants," M.Eng., Dept. Electrical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 2019.
- [6] K-N. Areerak, and S. Sujitjorn, "Performanc Comparison between Genetic Algorithm and Tabu Search Methods," *Suranaree Journal of Science and Technology*, vol. 9, 2002, pp. 61–68.
- [7] D. Puangdownreong, K-N. Areerak, A. Srikaew, S. Sujitjorn and P. Totarong, "System Identification via Adaptive Tabu Search," in *IEEE International Conferenc on Industrial Technology (ICIT02)*, Bangkok, Thailand, Dec. 11–14, 2002, pp. 915–920, doi: 10.1109/ICIT.2002.1189290.
- [8] K. Chaijarunudomrung, K-N. Areerak, K-L. Areerak and A. Srikaew, "The controller design of three-phase controlled rectifier using an adaptive tabu search algorithm," in *International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, Khon Kaen, Thailand, May 17–19, 2011, pp. 605–608, doi: 10.1109/ECTICON.2011.5947911.
- [9] S. Chonsatidjamroen, K-N. Areerak and K-L. Areerak, "The Applicayion of Averaging Model for Optimized Cascade PI Controllers of Buck Converters using Aftificial Intelligence Techniques," *European Journal of Scientific Research*, Volume 98, No 3, 2013, pp. 339-353.

- [10] R. Eberhart and J. Kennedy, "A new optimizer using particle swarm theory," in *MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, Nagoya, Japan, Oct 04-06, 1995, pp. 39–43, doi: 10.1109/MHS.1995.494215.
- [11] J. Seekuka, P. Piamsa-Nga, R. Rattanawaorahirunkul, "Automatic voltage regulator using PID controller based on particle swarm optimization," in *2017 9th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, Phuket, Thailand, Oct 12–13, 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICITEED.2017.8250498
- [12] R. Rapeepong, J. Seekuka and K-L. Areerak, "The Optimal Cascade PI Controller Design of buck converters," in *2012 9th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, Phetchaburi, Thailand, May 16–18, 2012, pp.1–4, doi: 10.1109/ECTICon.2012.6254130.