

การสร้างตัวควบคุมอัตโนมัติด้วยการหาค่าเหมาะที่สุดของการเคลื่อนที่กลุ่มอนุภาคบนพื้นฐานตัวควบคุมพีไอดีสำหรับระบบส่งกำลังไฟฟ้าสองพื้นที่* Automatic Generation Control Using Particle Swarm Optimization based PID Controller for Two Area Power System

จิตสรานู สีภูเกา^{1**}, ศิริพร แสนศรี², สาวินี แสงสุริยันต์³
รพีพงศ์ รัตนวรหิรัญกุล⁴, นิตยา เมืองนาค⁵
Jitsaran Seekuka^{1**}, Siriporn Sansri², Sawinee Sangsuriyan³
Rapeepong Rattanawaorahirunkul⁴, Nittaya Muangnak⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

59/5 หมู่ 1 ตำบลเชียงเครือ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000

^{1, 2, 3, 4, 5} Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University
Chalermphrakiat Sakhonnakhon Province Campus

59/5 Moo 1, Tambol ChiengKrue Muang District, Sakon Nakhon Province 47000

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมพีไอดีสำหรับระบบการส่งกำลังไฟฟ้าระยะไกลสองพื้นที่ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้กำลังไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ โดยตัวควบคุมพีไอดีเป็นตัวควบคุมที่ถูกใช้ควบคุมระบบการส่งกำลังไฟฟ้าระยะไกลสองพื้นที่ เนื่องจากมีโครงสร้างการควบคุมที่ง่ายกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม การปรับค่าอัตราขยายพีไอดีที่เหมาะสมยังเป็นประเด็นที่ยังได้รับการศึกษาเพื่อการปรับค่าให้ได้ค่าอัตราขยายที่มีประสิทธิภาพ บทความนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อทำการเลือกค่าอัตราขยายที่เหมาะสมโดยใช้การหาค่าเหมาะที่สุดของการเคลื่อนที่กลุ่มอนุภาคเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังสองพื้นที่ โดยระบบนี้เป็นระบบที่มีการส่งสัญญาณความถี่ในระยะไกลระหว่างพื้นที่ผ่านทางสายส่ง ซึ่งเมื่อเกิดผลกระทบจากพื้นที่หนึ่งจะเกิดผลกระทบต่ออีกพื้นที่ที่เหลือ

*ปรับปรุงเพิ่มเติมเนื้อหาจากบทความ เรื่อง AGC using Particle Swarm Optimization based PID controller design for two area power system ที่นำเสนอในการประชุมวิชาการ 2016 International Computer Science and Engineering Conference 2016 ณ โรงแรมเชียงใหม่ฮอริคิต 14-17 ธันวาคม 2559

** ผู้เขียนหลัก

อีเมล: jitsaran.see@ku.th



โดยในบทความนี้เลือกใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการเลือกอัตราขยายและเปรียบเทียบความถูกต้อง จากผลการจำลองและเปรียบเทียบพบว่า การควบคุมความถี่ของระบบส่งกำลังสองพื้นที่โดยพื้นฐานตัวควบคุมพีไอดีด้วยการเลือกอัตราขยายด้วยวิธีการเคลื่อนที่กลุ่มอนุภาค สามารถควบคุมสัญญาณตามความถี่อ้างอิงได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพภายใต้การเปลี่ยนแปลงโหลดในรูปแบบต่างๆ

คำสำคัญ

การสร้างตัวควบคุมอัตโนมัติ ตัวควบคุมพีไอดี การหาค่าเหมาะที่สุดของการเคลื่อนที่กลุ่มอนุภาค

Abstract

This paper presents a design of PID controllers for two area power systems with variation in the load. Currently, PID controller has been used to operate in two area power system because its structure is simpler compared to others. However, the issue of tuning and designing a PID controller adaptively and efficiently is still open. This paper presents an improved PID controller efficiency from tuning by Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm. The automatic generation control has been developed for two area thermal network using PSO based PID controller. The two control signals are thus developed by a PSO based PID controller, which are fed one to each area for frequency response enhancement. The errors between desired frequency response and actual frequency response are calculated by using the Mean Square Error (MSE). Simulation and comparison result shows that the active power control of the system with PSO based PID controller help to achieve the frequency at the reference frequency with variation in the load.

Keywords

Automatic Generation Control, PID Controller, Particle Swarm Optimization.

บทนำ

ระบบไฟฟ้ากำลังเป็นระบบที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในปัจจุบัน การรักษาคุณภาพของไฟฟ้าที่ดีจะต้องสามารถรักษาระดับแรงดันและความถี่ให้สามารถอยู่ในระดับมาตรฐานตลอดเวลาในเครือข่ายระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมต่อระหว่างระบบไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ การเชื่อมต่อบริเวณไฟฟ้าหลายพื้นที่เข้าด้วยกันเป็นการช่วยเพิ่มความเชื่อถือได้เข้ามาในระบบเพื่อเป็นการสำรองไฟฟ้าให้กันและกันในแต่ละพื้นที่ การสร้างตัวควบคุมอัตโนมัติเป็นวิธีการที่สามารถช่วยให้ระบบไฟฟ้ากำลังสามารถรักษาคุณภาพไฟฟ้าให้ได้มาตรฐานคือสามารถทำให้ค่าความถี่ของระบบกลับเข้าสู่ค่ามาตรฐานตามเดิมหลังจากที่ระบบเกิดการเปลี่ยนแปลง

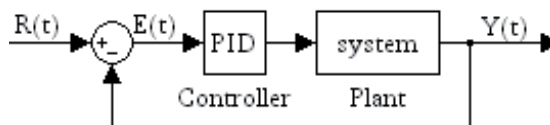
อัตราการใช้ไฟ หรือเกิดปัญหาขึ้นกับระบบไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ โดยทำการควบคุมความถี่ของระบบในพื้นที่ต่างๆ ผ่านทางสายส่ง ในระบบไฟฟ้าที่มีพื้นที่การส่งจ่ายไฟฟ้าสองพื้นที่ซึ่งมีขนาดใหญ่ เมื่อเกิดปัญหากับพื้นที่หนึ่งจะส่งผลกระทบไปยังอีกพื้นที่ด้วย การศึกษาเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากถ้าสามารถทำให้ระบบไฟฟ้าทุกจุดกลับเข้าสู่ค่ามาตรฐานได้เร็วจะช่วยลดโอกาสในการที่จะทำให้อุปกรณ์ต่างๆที่อยู่ในระบบเกิดการเสียหายหรือคุณภาพของไฟฟ้าลดต่ำลงซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ไฟฟ้าได้ โดยตัวควบคุมพีไอดีเป็นตัวควบคุมที่ได้รับความนิยมเนื่องจากมีโครงสร้างการควบคุมที่ง่ายและมีประสิทธิภาพในการใช้งานสะดวกต่อการบำรุงรักษา อีกทั้งการหาค่าเหมาะที่สุดของการเคลื่อนที่กลุ่มอนุภาคเป็นอีกวิธีการในการหาค่าเหมาะที่สุดที่ได้รับความนิยมในการปรับค่าที่เหมาะสมสำหรับระบบใดๆ

ปัจจุบัน นักวิจัยได้พยายามหาตัวควบคุมแบบต่างๆ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตามตัวควบคุมพีไอดียังเป็นตัวควบคุมที่ได้รับความนิยมในการควบคุมระบบทั่วไป รวมถึงระบบไฟฟ้าในปัจจุบัน แต่ปัญหาการเลือกอัตราขยายพีไอดีเป็นอีกประเด็นที่ต้องศึกษาเนื่องจากเกิดประเด็นที่ว่าอัตราขยายเท่าไรจึงจะเหมาะสมที่สุดกับระบบส่งกำลังไฟฟ้าแบบสองพื้นที่ เพื่อแก้ปัญหานี้ นักวิจัยจึงได้เลือกใช้การหาค่าเหมาะที่สุดของการเคลื่อนที่กลุ่มอนุภาคในการหาค่าอัตราขยายดังกล่าว

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ตัวควบคุมพีไอดี (Jingqing, Shiqiao, Fenglin, Chuang & Haipeng, 2010)

โครงสร้างโดยทั่วไปของตัวควบคุมพีไอดีแบบวงปิดแสดงดังภาพที่ 1



จากการควบคุมแบบวงปิดโดยตัวควบคุมพีไอดีตามภาพที่ 1 จะได้สมการตัวควบคุมและค่าความคลาดเคลื่อนดังนี้

$$u(t) = K_p[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt}] \quad (1)$$

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (2)$$

เมื่อ $u(t)$ คือสัญญาณควบคุม, $r(t)$ คือสัญญาณอินพุท, $y(t)$ คือสัญญาณเอาต์พุท, K_p คือ proportional coefficient, T_i คือ integration time constant, T_d คือ differentiating time constant, T คือ sampling period เมื่อ Discretize สมการ (1) จะได้



$$u(n) = K_p \{ e(n) + \frac{T}{T_i} \sum_{k=0}^n e(k) + \frac{T_d}{T} [e(n) - e(n-1)] \} \quad (3)$$

$$\Delta u(n) = K_p \{ [e(n) - e(n-1)] + \frac{T}{T_i} e(n) \} + \frac{T_d}{T} [e(n) - 2e(n-1) + e(n-2)] \quad (4)$$

กำหนดให้
$$K'_p = K_p \left(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T} \right) \quad (5)$$

$$K_I = K_p \left(1 + \frac{2T_d}{T} \right) \quad (6)$$

$$K_D = K_p \frac{T_d}{T} \quad (7)$$

แทนค่า (5), (6), (7) ใน (4) จะได้

$$\Delta u(n) = K'_p e(n) - K_p e(n-1) + K_D e(n-2) \quad (8)$$

เมื่อทำการ Discretize สมการ (2) และกำหนด $r(t)$ เป็นค่าคงที่โดยให้ $r(t) = e_0$ จะได้

$$e(n) = e_0 - y(n) \quad (9)$$

$$e(n-1) = e_0 - y(n-1) \quad (10)$$

$$e(n-2) = e_0 - y(n-2) \quad (11)$$

โดยสมการ (8), (9), (10), (11) เป็นสมการที่ใช้ปรับค่าเพื่อควบคุมระบบ

2. การหาค่าเหมาะที่สุดด้วยการเคลื่อนที่กลุ่มอนุภาค

การหาค่าเหมาะที่สุดด้วยการเคลื่อนที่กลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization, PSO) เป็นวิธีการแก้ปัญหาทางคอมพิวเตอร์ (J. Kennedy, 1995) โดยมีสมการดังนี้

$$V_i(t+1) = w * V_i(t) + c_1 * rand1() * (p_{best_i} - X_i(t)) + c_2 * rand2() * (g_{best} - X_i(t)) \quad (12)$$

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t+1) \quad (13)$$

เมื่อ x_i, v_i คือตำแหน่งและความเร็วของอนุภาคที่ i , p_{best_i} คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคที่ i , g_{best} คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดของทั้งกลุ่ม, c_1, c_2 คือ สัมประสิทธิ์ค่าคงที่, w คือ ค่า Weight Factor, $rand1(), rand2()$ คือค่าที่สุ่มในช่วง $[0,1]$ กำหนดให้ ps เป็นขนาดของสมาชิกทั้งหมด NE เป็นจำนวนรอบในการคำนวณ และ MAX_{NE} เป็นจำนวนรอบสูงสุดในการคำนวณ โดยอัลกอริทึมของ PSO มีดังนี้ (Xiaoling & Zhong, 2009)

Begin

while $NE < MAX_{NE}$ do

for each particle i do

Update the velocity according equation (12);

Update position according to equation (13);

Calculate the fitness value;

$NE + +$;

end for

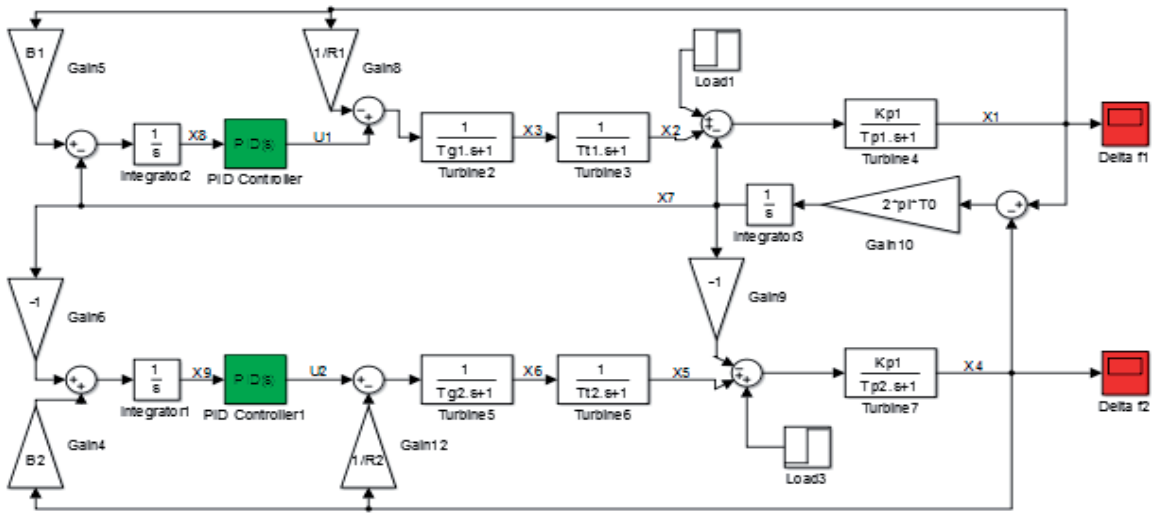
Update the p_{best} and g_{best} in the population;

end while

End

3. ระบบส่งกำลังไฟฟ้าสองพื้นที่

ในระบบส่งกำลังไฟฟ้าสองพื้นที่ที่สามารถมองได้ว่ามีระบบไฟฟ้าสองชุด ซึ่งทำการเชื่อมต่อเข้าด้วยกันผ่านทางสายส่งเพื่อเพิ่มความมั่นคงของระบบไฟฟ้าและความเชื่อถือได้ของระบบโดยรวม (Saadat, 2010) จากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงโหลดของในแต่ละพื้นที่ย่อมส่งผลให้พื้นที่ที่เหลือได้รับผลกระทบด้วย (Kalyani, Nagalakshmi & Marisha, 2012) ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำการแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นดังกล่าว



ภาพที่ 2: โครงสร้างและการเชื่อมต่อระบบส่งกำลังไฟฟ้าสองพื้นที่

ค่าสถานะของระบบและสมการเอาพุตของระบบกำหนดดังสมการ (13)

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx. \end{aligned} \tag{13}$$

4. การจำลองและวิเคราะห์ผล

จากภาพที่ 2 สามารถจัดระบบให้อยู่ในรูป State Matrix A , Input Matrix B, Output Matrix C ได้ดังนี้ (Kumari & Jha, 2014)

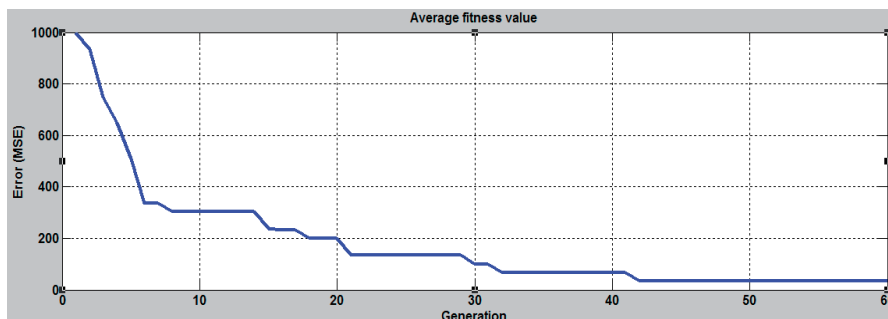
$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{Tp1} & \frac{Kp1}{Tp1} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{Kp1}{Tp1} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{Tt1} & \frac{1}{Tt1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{R1Tg1} & 0 & -\frac{1}{Tg1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{Tp2} & \frac{Kp2}{Tp2} & 0 & \frac{Kp2}{Tp2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{Tt2} & \frac{1}{Tt2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{R2Tg2} & 0 & -\frac{1}{Tg2} & 0 & 0 & 0 \\ 2\pi T & 0 & 0 & -2\pi T & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ B1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & B2 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{1}{Tg1} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{Tg2} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad C = [1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

โดยค่าพารามิเตอร์ของระบบสามารถศึกษาได้จาก (Naresh Kumari, 2014) และค่าพารามิเตอร์สำหรับ PSO กำหนดดังนี้ จำนวนสมาชิก = 50, จำนวนรอบสูงสุดในการคำนวณ = 60 รอบ, Sampling time = 1 ms, $c1 = c2 = 1.49618$, $w = 0.72984$. โดยในงานวิจัยนี้ใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error, MSE) ตามสมการ (14)

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [y(t_k) - r(t_k)]^2 \times 100 \quad (14)$$

เมื่อ $y(t_k)$ คือ ค่าสัญญาณเอาพุทขาออกที่เวลา t_k , $r(t_k)$ คือ ค่าสัญญาณอ้างอิงที่เวลา t_k , และ N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่เปรียบเทียบ จากการใช้ PSO หาค่าอัตราขยายที่เหมาะสมได้ผล ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยในแต่ละรอบการคำนวณดังนี้



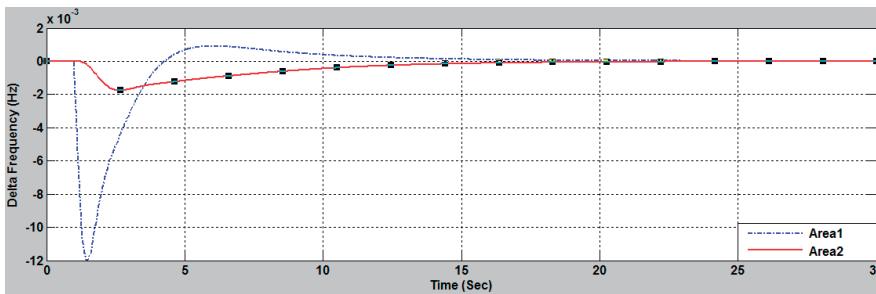
ภาพที่ 3: ผลการหาค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ด้วย PSO



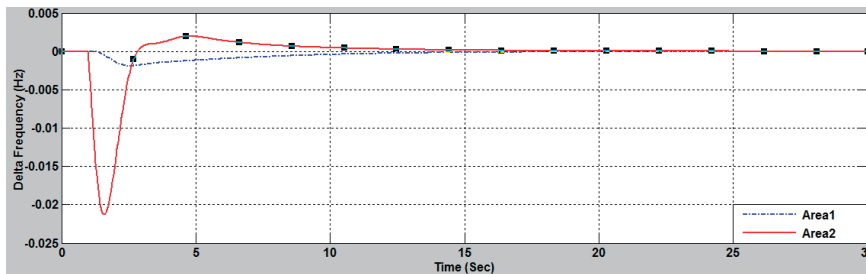
จากผลการคำนวณจะได้ค่าเวกเตอร์ควบคุม (Control vector) ตามสมการ (15)

$$K = \begin{bmatrix} 0.5008, 1.2558, 0.6339, 0.2058, 0.0659, 0.0108, -1.0075, 0.1223, 0.0514 \\ 0.2161, 0.0684, 0.0108, 0.9128, 1.6557, 0.6979, 0.9055, 0.6974, 0.7061 \end{bmatrix} \quad (15)$$

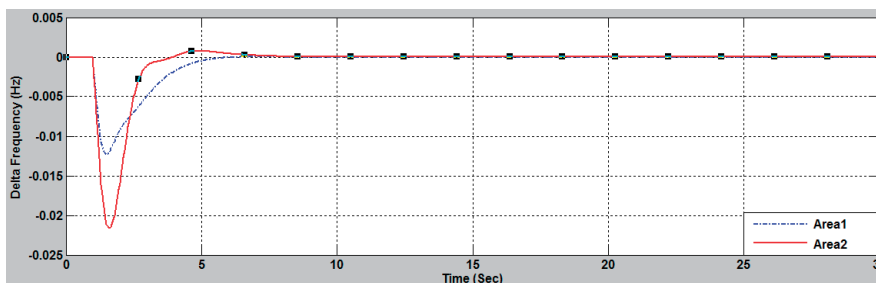
หลังจากได้ค่าตัวควบคุมของระบบจากกระบวนการข้างต้น ขั้นตอนต่อไปเป็นการทดสอบผลการควบคุม ซึ่งโดยทั่วไปอัตราการเปลี่ยนแปลงโหลดในสภาวะจริงมีค่าไม่เกินร้อยละ 1 ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเปลี่ยนแปลงโหลดในพื้นที่ต่างๆ และสรุปผลการควบคุมดังภาพที่ 4-9 ตามลำดับ



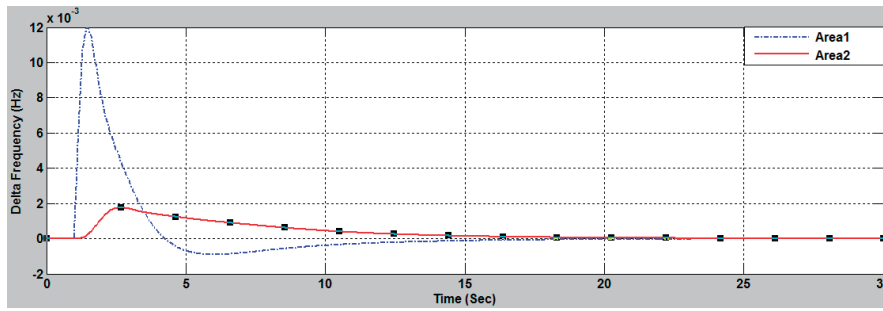
ภาพที่ 4: ผลตอบสนองความถี่กรณีโหลดเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ในพื้นที่ 1



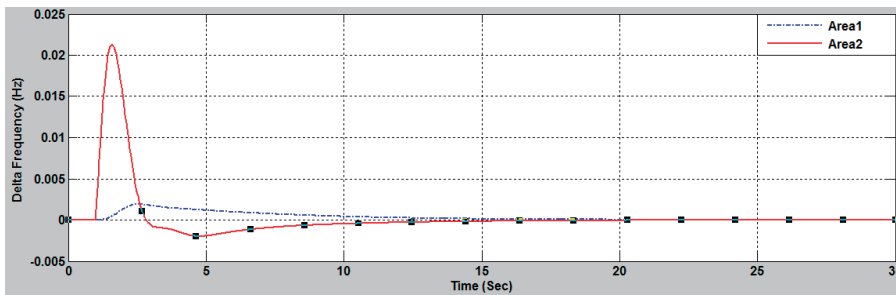
ภาพที่ 5: ผลตอบสนองความถี่กรณีโหลดเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ในพื้นที่ 2



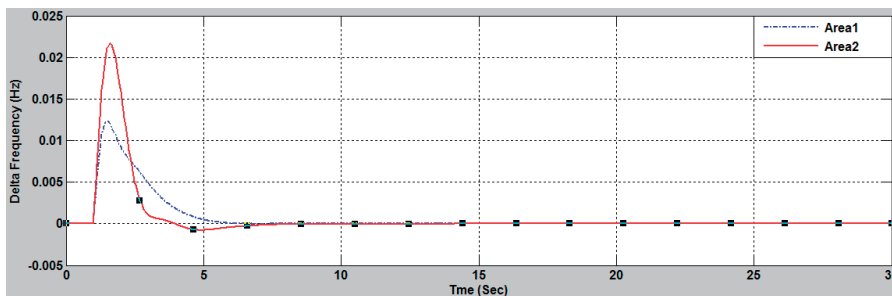
ภาพที่ 6: ผลตอบสนองความถี่กรณีโหลดเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ในพื้นที่ 1 และ 2 พร้อมกัน



ภาพที่ 7: ผลตอบสนองของความถี่กรณีไหลลดลงร้อยละ 1 ในพื้นที่ 1



ภาพที่ 8: ผลตอบสนองของความถี่กรณีไหลลดลงร้อยละ 1 ในพื้นที่ 2



ภาพที่ 9: ผลตอบสนองของความถี่กรณีไหลลดลงร้อยละ 1 ในพื้นที่ 1 และ 2 พร้อมกัน

งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลการควบคุมโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error, MAE) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error, MSE) ตามสมการ (14) และ (16) นอกจากนี้ ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิตย (Steady-State Error, e_{ss}) ได้ถูกนำมาพิจารณาเช่นเดียวกัน

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |y(t_k) - r(t_k)| \times 100 \quad (16)$$

โดยสามารถสรุปผลความคลาดเคลื่อนในการควบคุมได้ตามตารางที่ 1 และ 2.



ตารางที่ 1

สรุปค่าความคลาดเคลื่อนการควบคุมในพื้นที่ 1

| การเปรียบเทียบ | e_{ss} | MAE (%) | MSE (%) |
|----------------|----------|---------|---------|
| ภาพที่ 4 | 0 | 0.7104 | 0.8372 |
| ภาพที่ 5 | 0 | 0.1295 | 0.3437 |
| ภาพที่ 6 | 0 | 0.6941 | 0.3235 |
| ภาพที่ 7 | 0 | 0.5202 | 0.1542 |
| ภาพที่ 8 | 0 | 0.3142 | 0.5488 |
| ภาพที่ 9 | 0 | 0.6634 | 0.6298 |

ตารางที่ 2

สรุปค่าความคลาดเคลื่อนการควบคุมในพื้นที่ 2

| การเปรียบเทียบ | e_{ss} | MAE (%) | MSE (%) |
|----------------|----------|---------|---------|
| ภาพที่ 4 | 0 | 0.1704 | 0.3372 |
| ภาพที่ 5 | 0 | 0.6295 | 0.8437 |
| ภาพที่ 6 | 0 | 0.5041 | 0.1235 |
| ภาพที่ 7 | 0 | 0.3202 | 0.3542 |
| ภาพที่ 8 | 0 | 0.6642 | 0.5288 |
| ภาพที่ 9 | 0 | 0.3134 | 0.2294 |

สรุปผลการทดลอง

จากผลการจำลองทั้งหมดพบว่า การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีโดยการหาค่าอัตราขยายด้วย PSO และประยุกต์ใช้กับระบบส่งกำลังไฟฟ้าสองพื้นที่ สามารถปรับปรุงผลตอบสนองความถี่ของระบบให้กลับเข้าสู่ค่าความถี่ที่เหมาะสม คือ มีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่เป็นศูนย์เมื่อเทียบกับความถี่ตั้งต้นในทุกกรณี ไม่ว่าจะมียุทธการเปลี่ยนแปลงโหลดเพิ่มขึ้นหรือลดลง และสามารถควบคุมได้ทั้งกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดพื้นที่เดียวหรือทั้งสองพื้นที่ภายในเวลาอันสั้น นั่นคือระบบสามารถเข้าสู่สภาวะปกติได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลดีต่อระบบส่งไฟฟ้ากำลังและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการสร้างตัวควบคุมอัตโนมัติด้วยการหาค่าเหมาะที่สุดของการเคลื่อนที่กลุ่มอนุภาคบนพื้นฐานตัวควบคุมพีไอดีสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังในสองพื้นที่ โดยสามารถทำการควบคุมได้อย่างถูกต้อง เหมาะสม เชื่อถือได้ และมีประสิทธิภาพ



เอกสารอ้างอิง

- Jingqing, D. ; Shiqiao, G. ; Fenglin, Y. ; Chuang, L. & Haipeng, L. (2010). An improved control method based on PID algorithm. In **Advanced Computer Control (ICACC), 2010 2nd International Conference on.** (Volume 3). (pp. 124-129). IEEE.
- Kalyani, S. ; Nagalakshmi, S. & Marisha, R. (2012). Load frequency control using battery energy storage system in interconnected power system. **2012 Third International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT'12).** (pp. 1-6).
- Kennedy, J. & Eberhart, R. C. (1995). Particle swarm optimization. In **IEEE International Conference on Neural.** (pp. 33-43). Networks: Perth, Australia.
- Kumari, N. & Jha, A. N. (2014). Automatic generation control using LQR based PI controller for multi area interconnected power system. **Advance in Electronic and Electric Engineering.** 4(2), 149-154.
- Saadat, H. (2010). **Power System Analysis.** n.p: PSA publishing.
- Wu, X. & Zhong, M. (2009). A hybrid particle swarm optimizer. In **Second Asia-Pacific Conference on Computational Intelligence and Industrial Applications.** (pp. 279-282.).