

การปรับแต่งพีไอดีด้วยวิธีกลุ่มอนุภาคบนเทคนิคการควบคุมคงทวนชนิด
ติดตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์

PARTICLE SWARM OPTIMIZATION FOR PID CONTROLLER ENHANCEMENT BASED ROBUST NOMINAL MODEL FOLLOWING CONTROL WITH THE POSITION CONTROL

เรืองยศ เกตุรักษา

สาขาวิชาวิศวกรรมกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ (สาละยา)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

96 หมู่ 3 ถ.พุทธมณฑลสาย 5 ต.สาละยา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

Ruangyos Keteruksa

Department of Instrumentation Engineering Faculty of Engineer (Salaya)

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

96 Moo 3, Phuttamonthon 5 Road, Salaya, Nakhon Pathom, 73170, THAILAND

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับแต่งตัวควบคุมพีไอดีด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค โดยวิธีกลุ่มอนุภาคถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการค้นหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดให้กับตัวควบคุมพีไอดีแบบอัตโนมัติบนเทคนิคการควบคุมคงทวนชนิดติดตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ถูกระบุเอกลักษณ์ด้วยฟังก์ชันถ่ายโอน และใช้วิธีกลุ่มอนุภาคค้นหาค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการควบคุม ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กับสัญญาณจริงที่วัดได้ หาได้จากการอินทิเกรตค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เชิงอินทิกรัลของความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ทำให้ได้ค่าตัวพารามิเตอร์ของการควบคุมแบบพีไอดีที่เหมาะสมที่สุด โดยกำหนดจำนวนของอนุภาคเท่ากับ 50 การวนซ้ำมากที่สุดคือ 100 รอบ, $c_1 = 2$, $c_2 = 2$, $w_{min} = 0.4$ และ $w_{max} = 0.9$ ผลการจำลองระบบที่ศึกษาวิธีกลุ่มอนุภาคสามารถค้นหาค่าพารามิเตอร์ แบบพี แบบไอ และแบบดี ที่เหมาะสมที่สุดให้กับกระบวนการโดยยืนยันผลการสู่เข้าหาค่าตอบให้กับกระบวนการ และยังเป็นค่าที่มีผลการตอบสนองต่อการทำงานของกระบวนการเพื่อรักษาความคงทวนอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ตัวควบคุมคงทวน, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์, ตัวควบคุมพีไอดี, วิธีกลุ่มอนุภาค

ABSTRACT

The aim of this research was to tune PID controller based on particle swarm optimization (PSO). To control the position DC motor, PSO was applied to optimize parameters for PID Controller automation based on Robust Nominal Model Following Control (RNMFC). Mathematical model for controlling the position of DC motor was identified by transfer function and PSO was used for searching the controlled parameters. The error between mathematical model and true signal was calculated using minimize Integral Absolute Error (IAE). The optimized parameters of PID control were Number of Particle = 50, Maximum Number of Iteration = 100, $c_1 = 2$, $c_2 = 2$, $w_{min} = 0.4$ และ $w_{max} = 0.9$. The simulation system using PSO technique provided the optimized parameters; Proportional Control (P-Control), Integral Control (I-Control) and Derivative Control (D-Control), confirmed by the convergence characteristic. In addition, the value of optimized parameters response to operation process for maintaining the robustness of stability.

KEYWORDS: Robust Control, Nominal Model, PID Control, Particle Swarm Optimization

1. บทนำ

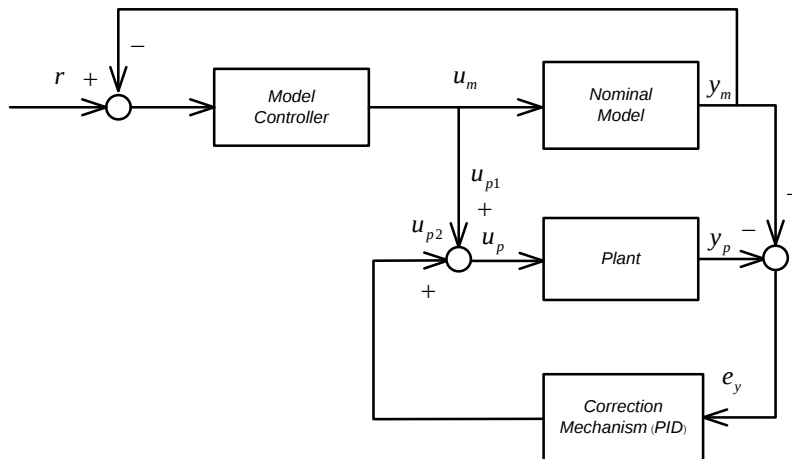
การควบคุมแบบที่ปรับตัวได้เป็นวิธีการควบคุมขั้นสูงสำหรับกระบวนการที่มีความไม่แน่นอน ในกรณีกระบวนการของเซอร์โวมอเตอร์นั้น การควบคุมชนิดติดตามแบบจำลองที่ปรับตัวได้ ได้รับการพิสูจน์ว่าเป็นเทคนิคการควบคุมที่มีประสิทธิภาพ ถูกนำเสนอโดย K. M. Tsang and Guomin Li [1] ดังนั้นต่อมาตัวควบคุมที่มีผลตอบสนองที่รวดเร็วจึงเป็นสิ่งที่ต้องการในการควบคุมกระบวนการ ถึงแม้ว่าการควบคุมชนิดติดตามแบบจำลองแบบที่ปรับตัวได้ จะได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แต่โครงสร้างที่ง่ายของกระบวนการควบคุม และการลดความซับซ้อนของกฎการปรับตัวก็ยังเป็นสิ่งที่ต้องวิจัยพัฒนาอย่างต่อเนื่องต่อไป [2-5] ในปัจจุบันมีความพยายามอีกมากมายเพื่อจะหาวิธีในการเลือกแบบจำลองอ้างอิงที่เหมาะสม และลดความซับซ้อนของกฎการปรับตัวให้กับกระบวนการ ดังนั้นบทความนี้จะนำเสนอเทคนิคออกแบบตัวควบคุมคงทนชนิดติดตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งวิธีการควบคุมดังกล่าวมีความแตกต่าง และมีโครงสร้างการควบคุมพลาเน็ตที่ง่ายกว่าการควบคุมชนิดติดตามแบบจำลองที่ปรับตัวได้ เนื่องจากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Nominal Model) ของกระบวนการเป็นแบบจำลองอ้างอิง (Model Reference) โดยตรง จากนั้นสัญญาณอินพุตของแบบจำลองอ้างอิง และกระบวนการจะไม่ใช้สัญญาณที่ป้อนจากสัญญาณอ้างอิง แต่เป็นสัญญาณจากตัวควบคุมแบบจำลอง ซึ่งออกแบบโดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการโดยเงื่อนไขการติดตามของกระบวนการกับแบบจำลองอ้างอิง เมื่อพิจารณาการควบคุมความเร็วดีซี

มอเตอร์นั้น พบข้อบกพร่องของแนวความคิดนี้ คือความยากในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมของตัวควบคุมแบบพีไอดี และความไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจากการประมาณค่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการจากวิธีการของ Ziegler และ Nichols วิธีการหาค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เชิงอินทิกรัล (Integral Absolute Error : IAE) ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการออกแบบค่าตัวควบคุมพีไอดีที่เหมาะสมแบบอัตโนมัติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ขนาดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยบทความนี้จะทำการศึกษาผลการจำลองโดยทำการเปรียบเทียบผลตอบสนองการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ระหว่างระเบียบวิธีการควบคุมแบบพีไอดี (แบบดั้งเดิม) กับระเบียบวิธีการปรับแต่งพีไอดีด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค (แบบที่ปรับปรุงใหม่) บนเทคนิคการควบคุมคงทวนชนิดติดตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์กรณีเกิดความไม่แน่นอน สำหรับเทคนิคการควบคุมคงทวนชนิดติดตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกนำมาใช้ เพื่อเป็นการยืนยันว่ากระบวนการจะมีความคงทนอย่างมีประสิทธิภาพต่อกระบวนการควบคุม

2. การทบทวนวรรณกรรม

2.1 การควบคุมคงทวนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การพัฒนาแนวคิดนี้เป็นเทคนิคการออกแบบตัวควบคุมคงทวนชนิดติดตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Robust Nominal Model Following Control) ถูกนำเสนอโดย K. M. Tsang and Guomin Li [1] และ S. Phanphairoje [4] ซึ่งมีโครงสร้างที่แตกต่างไปมากเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างเดิมของการควบคุมชนิดติดตามแบบจำลองที่ปรับตัวได้ [1, 4] โดยค่ากลางที่ได้จากการจำลองของพลาเน็ตจะทำหน้าที่เป็นแบบจำลองอ้างอิงในกระบวนการ ตัวควบคุมแบบจำลอง (Model Controller) คือตัวควบคุมที่ออกแบบมาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยสามารถเลือกใช้เทคนิคในการออกแบบใดๆ ก็ได้ และมีหน้าที่หลักสองประการคือ เพื่อประกันสัญญาณออก y_m ให้เป็นไปตามข้อกำหนดทางสมรรถนะทั้งหมดที่ตั้งโดยผู้ออกแบบ อีกหน้าที่หนึ่งคือเป็นส่วนในการสร้างสัญญาณเข้าเพื่อใช้ควบคุมกระบวนการ และตัวปรับแก้ชนิดพีไอดี (PID Correction Mechanism) จะเป็นตัวสร้างสัญญาณเพิ่มเข้ามาในพลาเน็ต เพื่อปรับแก้ให้สัญญาณออกของพลาเน็ตจริงยังคงติดตามสัญญาณออกของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยพิจารณาในรูปค่าความผิดพลาดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 1 โครงสร้างตัวควบคุมคงทนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากรูปที่ 1 กำหนดให้ $y_p = y_m$ นั่นคือพลาเน็ตติดตามแบบจำลองอ้างอิงอย่างสมบูรณ์แบบ และทำให้ $e_y = 0$ $u_{p2} = 0$ และ $u_p = u_{p1} = u_m$ ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า u_{p1} คือสัญญาณการติดตามแบบจำลองที่สมบูรณ์แบบ ในขณะที่ u_{p2} ซึ่งเป็นสัญญาณปรับแก้ที่เพิ่มเข้าจะมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากการพิจารณากรณีพลาเน็ตทางคณิตศาสตร์ เมื่อเปรียบเทียบกับ การควบคุมชนิดติดตามแบบจำลองแบบที่ปรับตัวได้จะพบว่าจุดที่คล้ายคลึงกับ การออกแบบตัวควบคุมคงทนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือสัญญาณเข้าของพลาเน็ตจริงจะประกอบ ด้วยสองสัญญาณคือ ส่วนการติดตามแบบจำลองที่สมบูรณ์แบบ u_{p1} และสัญญาณปรับแก้ที่เพิ่มเข้ามา u_{p2} โดยสัญญาณการติดตามแบบจำลองที่สมบูรณ์แบบ u_{p1} จะเท่ากับสัญญาณเข้าเพื่อควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ u_m และสัญญาณปรับแก้ที่เพิ่มเข้ามา u_{p2} จะถูกสร้างโดยตัวปรับแก้สัญญาณปรับแก้ดังกล่าวมีหน้าที่ทำให้สัญญาณออกของพลาเน็ต y_p ติดตามสัญญาณออกของแบบจำลอง y_m เมื่อพิจารณารวมความไม่แน่นอนเชิงพารามิเตอร์ของพลาเน็ต และเพื่อลดขั้นตอนการออกแบบตัวปรับแก้จึงเลือกใช้หลักการควบคุมแบบพีไอดีซึ่งเป็นเทคนิคที่ง่าย และเป็นที่รู้จักกันดีมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบตัวปรับแก้ โดยตัวปรับแก้ชนิดพีไอดีมีโครงสร้างอ้างอิง [2-5] ดังนี้

$$u_{p2} = k_{pa} \left(e_y + \frac{1}{T_{ia}} \int e_y d\tau + T_{da} \frac{de_y}{dt} \right) \quad (1)$$

เมื่อ k_{pa} คือ อัตราขยายของตัวปรับแก้ชนิดพีไอดี

T_{ia} คือ ค่าเวลาอินทิกรัลของตัวปรับแก้พีไอดี

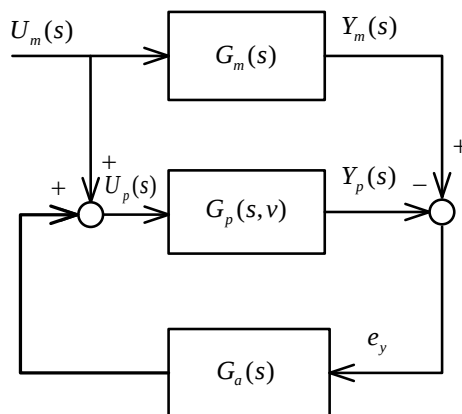
T_{da} คือ ค่าเวลาอนุพันธ์ของตัวปรับแก้พีไอดี

เมื่อเปรียบเทียบกับ การควบคุมชนิดติดตามแบบจำลองแบบที่ปรับตัวได้จะพบข้อแตกต่างระหว่างการควบคุมดังกล่าว กับการออกแบบตัวควบคุมคงทนชนิดติดตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [1, 4] ดังนี้

- 1) แบบจำลองอ้างอิงสามารถทำได้ง่าย เนื่องจากใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของพลาเน็ตโดยตรง และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการสามารถทดสอบหาได้ง่ายไม่ว่าจะเป็นวิธีทางโดเมนเวลา หรือทางความถี่
- 2) ตัวปรับแก้อาศัยเพียงค่าผิดพลาดระหว่างสัญญาณออกของกระบวนการกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เท่านั้น
- 3) ตัวปรับแก้ชนิดพีไอดีมีลักษณะเป็นเชิงเส้นและสร้างได้ง่าย
- 4) การสังเคราะห์ตัวควบคุมเพื่อติดตามสัญญาณอ้างอิง และความคงทนสามารถแยกการพิจารณาออกจากกันได้อย่างเป็นอิสระ นั่นคือสมรรถนะในการติดตามสัญญาณอ้างอิงซึ่งจะถูกประกันโดยการออกแบบตัวควบคุมแบบจำลองที่ดีโดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และความคงทนของกระบวนการจะถูกประกันโดยตัวปรับแก้ชนิดพีไอดีที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาความไม่แน่นอนของกระบวนการ

2.2 เงื่อนไขการติดตามแบบจำลองอย่างสมบูรณ์แบบ

กำหนดให้แบบจำลองอ้างอิง พลาเน็ต และตัวปรับแก้ชนิดพีไอดี สามารถแทนด้วยฟังก์ชันถ่ายโอน $G_m(s)$, $G_p(s, v)$ และ $G_a(s)$ ตามลำดับอ้างอิง [4] ดังแสดงในรูปที่ 2 โดย v แทนเวกเตอร์พารามิเตอร์ของกระบวนการ



รูปที่ 2 โครงสร้างอย่างง่ายตัวควบคุมคงทนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.3 ทฤษฎีเงื่อนไขการติดตามแบบจำลองอย่างสมบูรณ์แบบ

สัญญาณออกของกระบวนการ $y_p(t)$ จะติดตามสัญญาณออกของแบบจำลอง $y_m(t)$ เงื่อนไขที่ 1 เมื่อแบบจำลองและกระบวนการจะต้องไม่รวมโพลที่อยู่ในระนาบผั่งขวา และที่อยู่บนแกนจินตภาพโดยยกเว้นกรณีที่จุดออริจินเงื่อนไขที่ 2 กระบวนการควบคุมป้อนกลับซึ่งประกอบด้วยกระบวนการ และตัวปรับแก้ชนิดพีไอดี ดังกล่าวซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมป้อนกลับอย่างมี “เสถียรภาพ” เงื่อนไขที่ 3 สัญญาณออกของตัวควบคุมแบบจำลองมีขอบเขตเมื่อเข้าสู่อนันต์ หรือ

$$\lim_{t \rightarrow \infty} u_m(t) = k, \quad (2)$$

ข้อพิสูจน์ จากรูปที่ 2

$$Y_m(s) = G_m(s)U_m(s), \quad (3)$$

$$Y_p(s) = G_p(s, v)[U_m(s) + G_a(s)e_y(s)], \quad (4)$$

$$e_y(s) = Y_m(s) - Y_p(s) \quad (5)$$

ดังนั้นฟังก์ชันการถ่ายโอนของค่าผิดพลาดสัญญาณออก $e_y(s)$ ต่อสัญญาณเข้าของแบบจำลอง $U_m(s)$ คือ

$$\frac{e_y(s)}{U_m(s)} = \frac{G_m(s) - G_p(s, v)}{1 + G_p(s, v)G_a(s)} \quad (6)$$

กำหนดให้

$$G_m(s) = \frac{N_m(s)}{D_m(s)} \quad (7)$$

$$G_p(s, v) = \frac{N_p(s, v)}{D_p(s, v)} \quad (8)$$

$$G_a(s) = \frac{N_a(s)}{D_a(s)} \quad (9)$$

และจากเงื่อนไขสามารถแสดงในเทอมของส่วนคือ

$$D_m(s) = s^n D'_m(s), \quad (10)$$

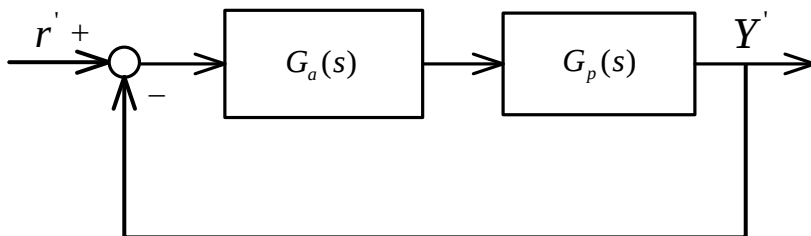
$$D_p(s, v) = s^n D'_p(s, v), \quad (11)$$

เมื่อ n คือจำนวนเต็มที่มีค่ามากกว่า หรือเท่ากับศูนย์ โดยในที่นี้กำหนดให้กระบวนการ และแบบจำลองมีจำนวนของโพลที่ออร์จินเท่ากัน และ $D'_m(s)$, $D'_p(s)$ คือ โพลโนเมียลที่เสถียร จากนั้นสมการที่ (6) สามารถแสดงในเทอมของโพลโนเมียลอ้างอิง [5] ข้างต้นดังนี้

$$\frac{e_y(s)}{U_m(s)} = \frac{D_a(s) [D'_p(s, v) N_m(s) - D'_m(s) N_p(s, v)]}{D'_m(s) [D_p(s, v) D_a(s) + N_p(s, v) N_a(s)]} \quad (12)$$

กำหนดพลาต์ป้อนกลับกระบวนการหนึ่งซึ่งประกอบด้วยกระบวนการ และตัวปรับแก้พีไอดี ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมป้อนกลับดังแสดงในรูปที่ 2 และมีฟังก์ชันถ่ายโอนวงรอบปิดดังนี้

$$\frac{Y'(s)}{r'(s)} = \frac{N_p(s, v) N_a(s)}{D_p(s, v) D_a(s) + N_p(s, v) N_a(s)} \quad (13)$$



รูปที่ 3 กระบวนการควบคุมป้อนกลับ

เนื่องจาก $D'_m(s)$ คือโพลโนเมียลที่เสถียร ดังนั้นจากสมการที่ (12) และ (13) พบว่าค่าความผิดพลาดของสัญญาณออก e_y ในตัวควบคุมคงทนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทาง

คณิตศาสตร์ที่มีคุณสมบัติของความเสถียร เช่นเดียวกับกระบวนการควบคุมป้อนกลับ ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการ และตัวปรับแก้ชนิดพีไอดีที่เหมือนกันดังแสดงในรูปที่ 2 นั่นคือถ้ากระบวนการควบคุมป้อนกลับดังกล่าวเสถียร และค่าความผิดพลาดของสัญญาณออก e_y ในตัวควบคุมคงทนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะได้สมการใหม่คือ

$$\lim_{s \rightarrow 0} se_y(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{D_a(s) [D_p'(s, v) N_m(s) - D_m'(s) N_p(s, v)]}{D_m'(s) [D_p(s, v) D_a(s) + N_p(s, v) N_a(s)]} s U_m(s) \quad (14)$$

เมื่อพิจารณาเงื่อนไขที่ 3 สามารถจัดสมการที่ (14) ได้ใหม่ดังนี้

$$\lim_{s \rightarrow 0} se_y(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{D_a(s) [D_p'(s, v) N_m(s) - D_m'(s) N_p(s, v)]}{D_m'(s) [D_p(s, v) D_a(s) + N_p(s, v) N_a(s)]} \lim_{s \rightarrow 0} s U_m(s) \quad (15)$$

และจากสมการที่ (4) เทอมของส่วนของตัวปรับแก้ชนิดพีไอดีคือ

$$u_{p2} = k_{pa} \left(e_y + \frac{1}{T_{ia}} \int_0^1 e_y d\tau + T_{da} \frac{de_y}{dt} \right) \quad \text{นั่นคือ } D_a(s) = T_{ia}(s). \quad (16)$$

ดังนั้น

$$\lim_{s \rightarrow 0} se_y(s) = 0 \quad (17)$$

จากเงื่อนไขและสมการที่ (12) จะปรากฏขอบเขตที่จำกัดบนค่าความผิดพลาดของสัญญาณออก $e_y(t)$ เมื่อเวลาเข้าสู่นันต์ดังนี้

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e_y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} se_y(s) = 0 \quad (18)$$

เพราะฉะนั้นคือ ด้วยเงื่อนไขตามทฤษฎีตัวควบคุมคงทนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถบรรลุเงื่อนไขการติดตามแบบจำลองที่สมบูรณ์แบบ

2.4 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค

วิธีกลุ่มอนุภาคได้นำเสนอครั้งแรกโดย J.Kennedy และ R. Eberhart [6] ในปี ค.ศ.1995 ซึ่งได้รับแรงบันดาลใจมาจากพฤติกรรมการอยู่รวมกันเป็นกลุ่มของสัตว์ เช่นฝูงนก หรือฝูงปลา เป็นต้น วิธีกลุ่มอนุภาคเป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสม โดยอาศัยการค้นหาแบบกลุ่มประชากร (Population) แต่ละตัวดำเนินการเรียกว่าอนุภาค (Particle) ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายตำแหน่งได้ อนุภาคนี้จะรวมตัวกันเป็นกลุ่ม และบินอยู่ในขอบเขตที่ต้องการค้นหา ในระหว่างบินนั้นแต่ละอนุภาคจะเคลื่อนย้ายตำแหน่งโดยอาศัยการอ้างอิงตำแหน่งของตัวเอง และตำแหน่งของอนุภาคใกล้เคียงที่บินผ่านมาแล้ว เพื่อใช้หาทิศทางในการเคลื่อนที่ต่อไป จนกว่าจะค้นพบคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งอาจจะค้นพบด้วยตนเอง หรืออนุภาคใกล้เคียง และวิธีกลุ่มอนุภาคยังสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้ง่าย และมีคุณลักษณะการลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence Characteristic) และประสิทธิภาพของการคำนวณที่ดีมากกว่าการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization ; PSO) [2,5-6] เป็นระเบียบวิธีในการแก้ไขปัญหาทางคอมพิวเตอร์โดยมีสมการในการแก้ปัญหาต่อไปนี้

$$V_i(t+1) = w * V_i(t) + c_1 * rand1() * (pbest_i - X_i(t)) + c_2 * rand2() * (gbest_i - X_i(t)) \quad (19)$$

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t+1) \quad (20)$$

เมื่อ X_i , V_i คือตำแหน่ง และความเร็วของอนุภาคที่ i , $pbest_i$ คือตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค ที่ i , $gbest_i$ คือตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของทั้งกลุ่ม c_1 , c_2 คือสัมประสิทธิ์ค่าคงที่ w คือค่าตัวแปรถ่วงน้ำหนัก (Weight factor) $rand1()$, $rand2()$ คือค่าที่สุ่มในช่วง (0,1) กำหนดให้ ps เป็นขนาดของสมาชิกทั้งหมด NE เป็นจำนวนรอบในการคำนวณ และ MAX_{NE} เป็นจำนวนในการคำนวณสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยอัลกอริทึมของ PSO ดังแสดงในรูปที่ 4

//The Standard PSO Algorithm

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**

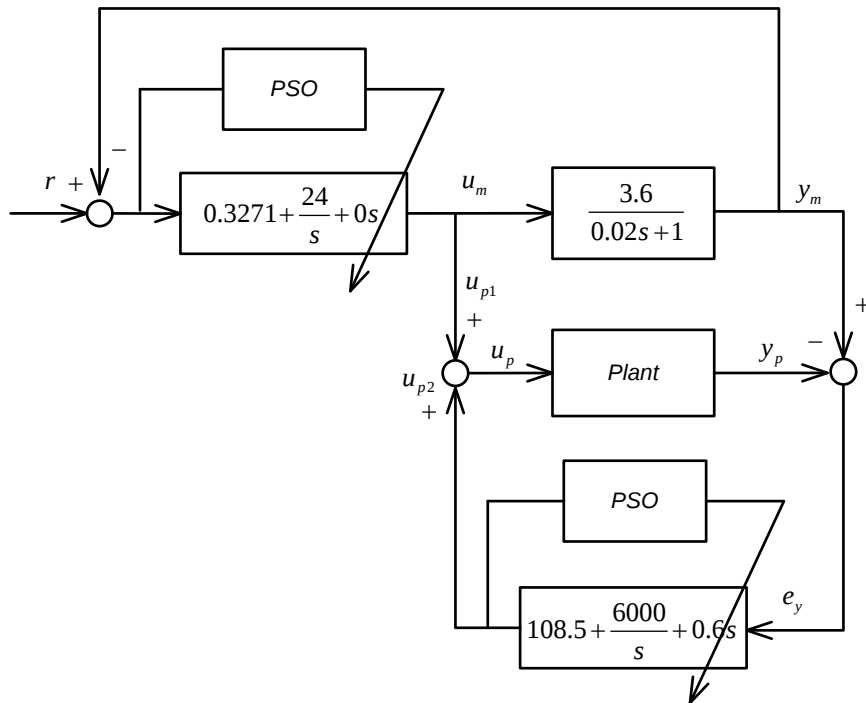
End

รูปที่ 4 อัลกอริธึมของ PSO

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การปรับแต่งตัวควบคุมพีไอดีด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค

ขั้นตอนในการปรับแต่งตัวควบคุมพีไอดีนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ผลตอบสนองเป็นไปตามวัตถุประสงค์ [2-3, 7] ในรูปที่ 5 แบบโครงสร้างของตัวควบคุมคอนโทรลเลอร์ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์ (MATLAB) และวิธีกลุ่มอนุภาคช่วยในการปรับแต่งตัวควบคุมพีไอดีแบบอัตโนมัติแบบออฟไลน์ (Offline) จากรูปที่ 5 จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์กรณีเกิดความไม่แน่นอน ช่วยในการจำลองสถานการณ์เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค สำหรับโครงสร้างของตัวควบคุมคอนโทรลเลอร์ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังรูป



รูปที่ 5 โครงสร้างของตัวควบคุมคงทนชนิดติดตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากรูปที่ 5 หลักการทำงานของโครงสร้างนี้จะเริ่มจากเมื่อไม่มีค่าความผิดพลาดของสัญญาณจากพลาเน็ต e_y จะทำให้ลูปของสัญญาณปรับแก้ u_{p2} เท่ากับศูนย์ เพราะฉะนั้นจะมีผลให้ลูปสัญญาณออกของพลาเน็ต y_p เท่ากับสัญญาณออกของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ y_m แต่เมื่อมีค่าความผิดพลาดของสัญญาณจากพลาเน็ต e_y เกิดขึ้นทำให้ลูปของสัญญาณปรับแก้ u_{p2} ไม่เท่ากับศูนย์จะส่งผลให้สัญญาณของพลาเน็ตจริง u_p สัญญาณการติดตามแบบจำลอง u_{p1} และสัญญาณปรับแก้ u_{p2} ไม่มีค่าเท่ากับศูนย์ไปด้วยทำให้สัญญาณออกของพลาเน็ต y_p จะเท่ากับสัญญาณของพลาเน็ตจริง u_p รวมกับสัญญาณการติดตามแบบจำลอง u_{p1} โดยที่สัญญาณปรับแก้ u_{p2} จะเพิ่มสัญญาณปรับแก้เพื่อให้สัญญาณออกของพลาเน็ต y_p มีหน้าที่ติดตามสัญญาณออกของแบบจำลอง y_m ต่อไป และจากรูปที่ 5 การปรับแต่งตัวควบคุมพีไอดีด้วยวิธีกลุ่มอนุภาคโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยในการจำลองสถานการณ์เพื่อควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์พิจารณากรณีเกิดความไม่แน่นอนสำหรับการค้นหาค่าตัวแปรในการควบคุมมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1) กำหนดขอบเขตบนและขอบเขตล่างของตัวแปรในการควบคุม K_P , K_I และ K_D ซึ่งเป็นสมาชิกของแต่ละกลุ่มอนุภาค และกำหนดค่าเริ่มต้นแบบสุ่มของอนุภาคประชากรประกอบด้วยค่าความเร็ว p_{best} และค่า g_{best}

2) การประเมินค่าของแต่ละอนุภาคนั้น สามารถทำได้ด้วยวิธีการหาค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เชิงอินทิกรัล (Integral Absolute Error :IAE)

$$\text{Minimize IAE} = \int_{t=0}^{t_{sim}} |e(t)| dt$$

3) เปรียบเทียบค่าที่มี IAE ต่ำสุดให้เป็นค่าที่มีความเหมาะสมที่สุดในแต่ละอนุภาค และทำการปรับปรุงค่านี้เป็นค่า p_{best} ใหม่อยู่เสมอในแต่ละรอบ

4) ทำการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของทุกอนุภาคในข้อที่ 3) เพื่อปรับเป็นค่า g_{best}

5) ปรับปรุงค่าความไวของแต่ละอนุภาคด้วยสมการที่ (1)

6) ทำการปรับปรุงค่าตัวแปรเพื่อใช้ในการควบคุม

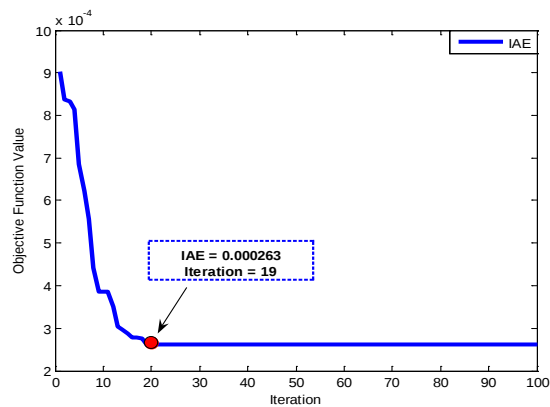
7) ทำการค้นหจนถึงจำนวนรอบสูงสุด ซึ่งจะได้ค่า g_{best} สุดท้าย ซึ่งค่านี้คือค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรในการควบคุมกระบวนการ

4. ผลการจำลองที่ศึกษา

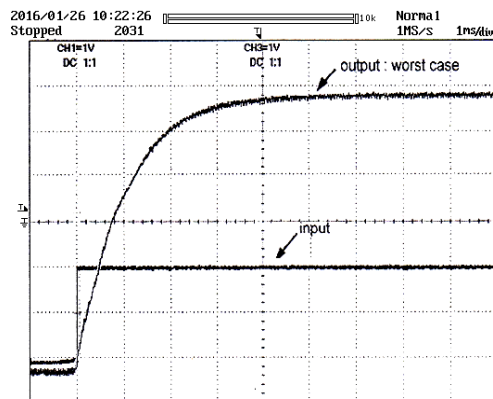
กำหนดค่าพารามิเตอร์ ค่าพารามิเตอร์คงที่ของวิธีกลุ่มอนุภาค ถูกกำหนดให้เป็นจำนวนของอนุภาค = 50, การวนซ้ำมากที่สุด = 100, $c_1 = 2$, $c_2 = 2$, $w_{min} = 0.4$ และ $w_{max} = 0.9$ หลังจากทำการแก้ปัญหาโดยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้กราฟการลู่เข้าหาค่าตอบที่เหมาะสมสามารถพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 6

4.1 การทดสอบเพื่อการระบุเอกลักษณ์ให้กับกระบวนการ

การระบุเอกลักษณ์ให้กับกระบวนการ [2, 4-5] เพื่อใช้ในการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ จะใช้ระเบียบวิธีของ Ziegler และ Nichols ในการออกแบบ โดยทำการเปรียบเทียบกับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยกลุ่มอนุภาค (PSO) เพื่อใช้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ขั้นตอนในการทดสอบสามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณทดสอบแบบขั้นบันไดด้วยแรงดันขนาด 1 โวลต์ให้กับกระบวนการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ แล้วทำอ่านค่าอินพุตและเอาต์พุตที่ได้จากการวัดผลตอบสนองของกระบวนการ โดยค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการจะถูกประมาณค่าเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนระบบอันดับสอง เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีโครงสร้างเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งจากการทดลองจะได้ผลตอบสนองดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 กราฟการลู่เข้าหาคำตอบที่เหมาะสม



รูปที่ 7 ผลตอบสนองการควบคุมด้วยวิธีของ Ziegler & Nich

4.2 ผลการทดลองค่าตัวแปรควบคุมพีไอดี ที่ได้จากการค้นหาด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค

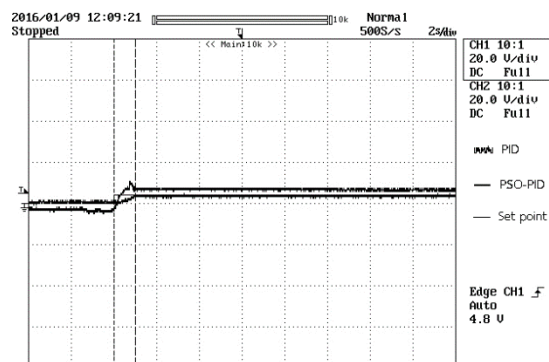
จากตารางที่ 1 เมื่อโปรแกรมทางวิศวกรรมทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีกลุ่มอนุภาคแล้วนำค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอดีที่ได้ไปแทนในโครงสร้างของตัวควบคุมลงบนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังรูปที่ 5

ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรควบคุมพีไอดี ที่ได้จากการค้นหาด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค

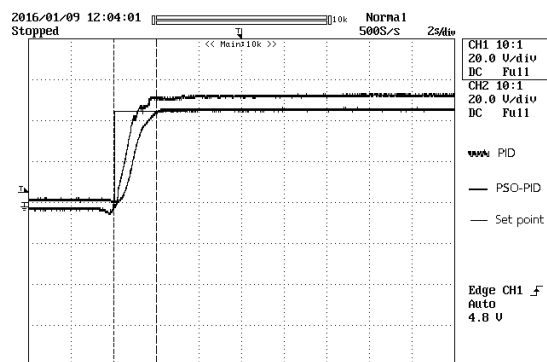
K_P	K_I	K_D	τ_s (Simulation)	τ_s (Experiment)	Over-shoot
201.1432	0.0001	1.3145	1.0872	1.5641	0%
190.1342	0.0002	1.2653	1.0932	1.6923	0%

4.3 ผลตอบสนองของการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ในสถานการณ์ที่กำหนด

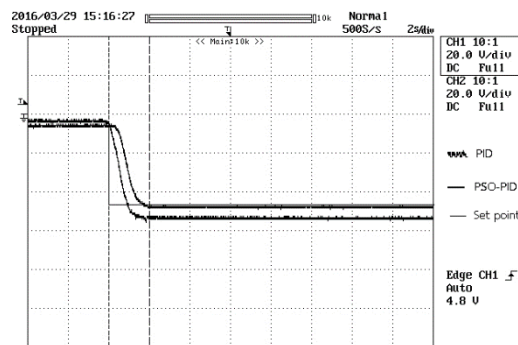
กรณีที่ 1 สมมุติป้อนสัญญาณอ้างอิงระดับเพื่อทำการทดสอบการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID) ดั้งเดิม กับตัวควบคุมคอนทนต์ติดตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค (PSO-PID) โดยป้อนสัญญาณอ้างอิงระดับเพื่อควบคุมตำแหน่งที่ 15 องศา, 120 องศา (ตามเข็มนาฬิกา) และที่ 90 องศา, 165 องศา (ทวนเข็มนาฬิกา) ตามลำดับ สุดท้ายจากผลการจำลองที่ศึกษา เปรียบวิธี PSO-PID จะให้ประสิทธิภาพความคงทนต่อความไม่แน่นอน เพื่อทำการรักษาเสถียรภาพของการควบคุมที่ดีที่สุด ดังรูปที่ 8 – 11



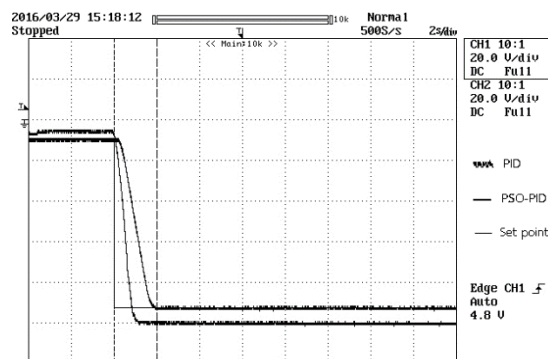
รูปที่ 8 ผลตอบสนองการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ที่ 15 องศา (ตามเข็มนาฬิกา)



รูปที่ 9 ผลตอบสนองการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ที่ 120 องศา (ตามเข็มนาฬิกา)

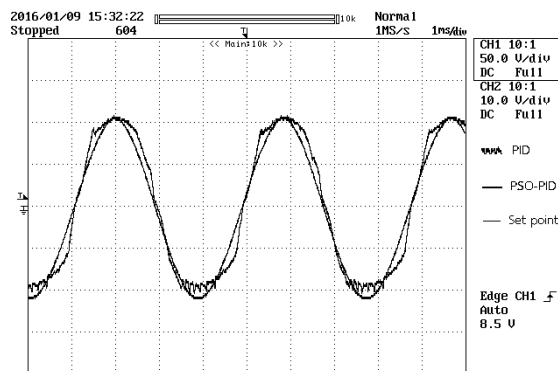


รูปที่ 10 ผลตอบสนองการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ที่ 90 องศา (ทวนเข็มนาฬิกา)

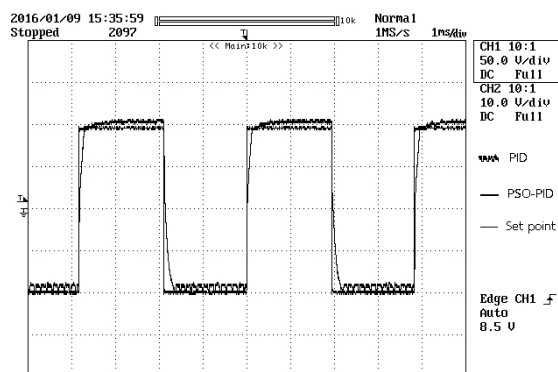


รูปที่ 11 ผลตอบสนองการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ที่ 165 องศา (ทวนเข็มนาฬิกา)

กรณีที่ 2 สมมุติกระบวนการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์รับสัญญาณอ้างอิงจากภายนอกคือ ไซค์เวฟ และสี่เหลี่ยม เพื่อเป็นการยืนยัน และประกันความคงทนอย่างมีประสิทธิภาพ ของโครงสร้างตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID) ดังเดิม กับตัวควบคุมคงทนชนิดติดตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค (PSO-PID) ซึ่งระเบียบวิธี PSO-PID จะให้ประสิทธิภาพความคงทนต่อความไม่แน่นอน เพื่อทำการรักษาเสถียรภาพของการควบคุมที่ดีที่สุด ดังรูปที่ 12 - 13 ตามลำดับ



รูปที่ 12 บ่อนสัญญาณไซเคิลเวฟให้กับกระบวนการ



รูปที่ 13 บ่อนสัญญาณสี่เหลี่ยมให้กับกระบวนการ

5. บทสรุป

บทความนี้นำเสนอการปรับแต่งตัวควบคุมพีไอดีที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค โดยทำการหาค่าที่เหมาะสมแบบอัตโนมัติให้กับตัวควบคุมพีไอดีเพื่อใช้ในการควบคุม กระบวนการที่มีความไม่แน่นอนเชิงพารามิเตอร์ ผลการจำลองที่ศึกษาเมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการปรับแต่งตัวควบคุมพีไอดี (แบบดั้งเดิม) เปรียบเทียบการปรับแต่งตัวควบคุมพีไอดีด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค (แบบที่ปรับปรุงใหม่) ระเบียบวิธีของกลุ่มอนุภาคให้ค่าพารามิเตอร์มีการลู่เข้าหาคำตอบที่เหมาะสม และเป็นค่าของผลตอบสนองที่ดีที่สุดจากกระบวนการ โดยอาศัยการระบุเอกลักษณ์ให้กับกระบวนการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ และเมื่อทำการจำลองสถานการณ์ที่กำหนดในรูปแบบต่างๆ ให้กับกระบวนการ พบว่าการปรับแต่งตัวควบคุมพีไอดีที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค สามารถรักษาความคงทนได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อกระบวนการ

References

- [1] K. M. Tsang and Guomin Li. (2001). "Robust Nonlinear Nominal-Model Following Control to Overcome Deadzone Nonlinearities". **IEEE Transaction on Industrial Electronics**. Vol. 48 (1).
- [2] Ruangyos Kateruksa. (2014). "Hybrid Particle Swarm Optimization-based PID Controller Enhancement for Identification Plant Uncertainty". **6th Electrical Engineering Network 2014 of Rajamangala University of Technology Conference**.
- [3] Rapeepong Rattanawaorahirunkul and other. (2013). "Optimal PID Controller design for Automatic Voltage Regulator Systems". **Journal of Information Science and Technology**. Vol. 4 (Jan-Jun).
- [4] S. Phanphairoje, K. Wittheephanch and et.al. (2004). "A Robust Control Structure Enhancing Nominal Model Following Scheme for Induction Servomotor Drive". **SICE Annual Conference in Sapporo**. August 2004. Hokkaido Institute of Technology, Japan.
- [5] Z. Lee Gaing.(2004). "A Particle Swarm Optimization Approach for Optimum Design of PID Controller in AVR System". **IEEE Transaction on Energy Conversion**. Vol. 19 (No.2).
- [6] J. Kennedy and R. Eberhart. (1995). "Particle Swarm Optimization" in **Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks**. Vol. 4.
- [7] Lee,Y.,Lee,J., Park, S. (2000). "PID Controller tuning for Integrating and Unstable Processes with Time Delay". **Chemical Engineering Science**. Vol. 55.

ประวัติผู้เขียนบทความ



เรืองยศ เกตุรักษา อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ทรศัพท 02-889-4585-7 ต่อ 2690 โทรสาร 02-889-4585-7 ต่อ 2620 E-Mail: ruangyos.k@rmutr.ac.th งานวิจัยที่สนใจ Robust Control, Simultaneous Stabilization.