

การปรับปรุงตัวประกอบ PI-PD ในระบบมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน
ด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม
Design of PI-PD controller for brushless dc motor based
on Genetic Algorithm

วาทินี โลหะญาณจารี¹ และ วุฒิชัย อัศวินชัยโชค²

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร

E-mail: vathinee.loh@mail.kmutt.ac.th¹, wudhichai.asa@mail.kmutt.ac.th²

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุม PI-PD สำหรับปรับปรุงระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านในการหาค่าประมาณที่เหมาะสมที่สุดให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ด้วยวิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm: GA) ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้หลักการคัดเลือกแบบธรรมชาติและหลักการทางสายพันธุ์โดยอาศัยฟังก์ชันกำหนดค่าความเหมาะสม (Fitness function) ที่สอดคล้องกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) สำหรับประเมินค่าของโครโมโซมที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดซึ่งจะมีค่าตัวเลขจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่น้อยที่สุด โดยระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านจะถูกออกแบบและจำลองสถานการณ์ในโปรแกรม MATLAB / Simulink ในการปรับค่าอัตราขยาย PI-PD เปรียบเทียบกับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการแบบซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols: ZN) และการควบคุมระบบแบบไร้แปรงถ่านด้วยตัวควบคุม PID ด้วยวิธีการ GA จากผลการจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นว่าตัวควบคุม PI-PD ที่ออกแบบโดย GA ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ และมีประสิทธิภาพสูงกว่า

คำสำคัญ: มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน, ขั้นตอนเชิงพันธุกรรม, ตัวควบคุม PI-PD

Abstract

This paper presents PI-PD controller design to find the optimized PI-PD gains for increase the performance of brushless DC motor based on Genetic algorithm (GA) method. This algorithm using natural selection and genetics. The performance is evaluated by a fitness function which according to Objective function for estimate the best chromosome value. The brushless DC motor control system is using MATLAB/SIMULINK for tuning PI-PD parameter. The simulation results are shown the PI-PD controller optimized by GA was more efficient than

the Ziegler-Nichols tuning method and PID controller optimized by Genetic algorithm

Keywords: Brushless DC motor, Genetic algorithm, PI-PD controller

1. คำนำ

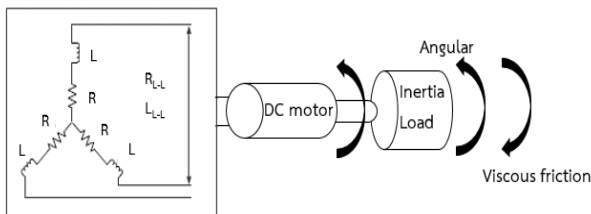
ปัจจุบันมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless dc motor)[1] ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นในระบบอุตสาหกรรมเพราะมีข้อดีมากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน (Brushled dc motor) เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าที่ไม่มีแปรงถ่านนี้มีขนาดเล็ก มีอายุการใช้งานยาวนาน และไม่จำเป็นต้องใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงสูงๆ ในการสร้างสนามแม่เหล็ก ทำให้กินไฟน้อย อีกทั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านจะให้พลังงานเชิงกลสูง แรงบิดของความเร็วรอบสูง ความต้านทานการหมุนต่ำ ดูแลรักษาง่าย ไม่ต้องจ่ายไฟฟ้ตลอดเวลา มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านนี้เหมาะที่จะนำมาใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป เช่น Hard disk, เครื่องเล่น CD/DVD, บีม, พัดลม, เครื่องดูดฝุ่น และเครื่องมือการแพทย์ โดยในปัจจุบันนี้มีการวิจัยที่ต้องการปรับปรุงคุณภาพมอเตอร์ไฟฟ้าแบบไร้แปรงถ่านโดยการควบคุมระบบด้วยตัวควบคุมแบบ PID[2] เป็นจำนวนมาก เพราะเป็นที่นิยมและง่ายต่อการนำมาประยุกต์ใช้งาน แต่เนื่องจากตัวควบคุม PID ยังมีปัญหาในการนำมาใช้งานกับระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นและแปรผันตามเวลา ในปัจจุบันมีหลายวิธีที่นำมาหาค่าที่เหมาะสมที่สุด เช่น ขั้นตอนวิธีการหาแบบซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols: ZN)[3] หรือวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบอนุภาค (Partical swarm optimization: PSO)[4] เป็นต้น แต่ยังคงมีปัญหาในการออกแบบด้วยตัวควบคุม PID อยู่ เช่น Rise time , Overshoot และ Settling time

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการปรับปรุงระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน โดยการใช้ตัวควบคุม PI-PD[5] เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และหาค่าประมาณที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบด้วยวิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm:

GA[6] โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ในการนำมาวิเคราะห์ระบบ หลังจากนั้นจะนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการแบบ ZN[7] และการควบคุมระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านด้วยตัวควบคุม PID โดยวิธีการ GA[8]

2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน 3 เฟส ประกอบไปด้วยขดลวดอาร์เมเจอร์ที่อยู่กับที่ 3 ชุด และมีขั้วแม่เหล็กถาวรเป็นตัวเคลื่อนที่ โดยขดลวดอาร์เมเจอร์จะต่อกับวงจรสวิตซ์ซึ่งอิเล็กทรอนิกส์ เกิดกระแสไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์ที่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ของการสวิตซ์ของทรานซิสเตอร์กำลัง ส่งผลให้โรเตอร์ที่เป็นแม่เหล็กถาวรหมุนตามการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ จากรูปที่ (1) แสดงระบบไฟฟ้าทางกลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามเฟส



รูปที่ 1 ระบบไฟฟ้าทางกลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

จากรูปสามารถเขียนสมการ Transfer function $[G(s)]$ อัตราส่วนระหว่างค่าความเร็วเชิงมุม (ω_m) และแหล่งจ่ายแรงดัน (V_s) จะได้ว่า

$$G(s) = \frac{1/k_e}{\tau_m \cdot \tau_e \cdot s^2 + \tau_m \cdot s + 1} \quad (1)$$

$$\tau_m = \frac{J \times 3R_\phi}{k_e k_t} \quad (2)$$

$$\tau_e = \frac{L_\phi}{3R} \quad (3)$$

$$k_e = k_t \times 0.0605 \quad (4)$$

โดยที่ τ_m คือ ค่าคงที่ของเวลาเชิงกล (Mechanical time constant)

τ_e คือ ค่าคงที่ของเวลาเชิงไฟฟ้า (Electrical time constant)

k_e คือ ค่าคงที่แรงต้านกลับทางไฟฟ้า (Back emf. Constant)

J คือ ความเฉื่อยของโรเตอร์ (Rotor inertia)

k_t คือ ค่าคงที่แรงบิด (Torque constant)

โดยมีค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านดังตารางที่ 1[7]

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

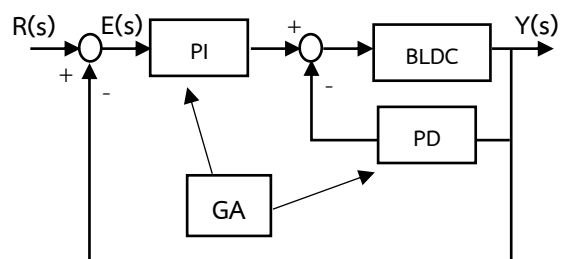
ความต้านทานระหว่างเฟส (R_ϕ)	1.20 Ω
ความเหนี่ยวนำระหว่างเฟส (L_ϕ)	0.560 mH
ค่าคงที่ของแรงบิด (k_t)	25.5 mNm/A
ค่าคงที่ของเวลาเชิงกล (τ_m)	17.1 ms
ความเฉื่อยของโรเตอร์ (J_{rotor})	92.5 $g \cdot cm^2$
จำนวนเฟส (N)	3

เมื่อนำข้อมูลดังตารางที่ 1 มาแทนในสมการมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน สามารถเขียนสมการ open loop transfer function ได้ดังสมการที่ 5

$$G(s) = \frac{13.11}{2.66 \times 10^{-6} s^2 + 0.0171 s + 1} \quad (5)$$

3. การออกแบบระบบควบคุมแบบ PI-PD

จากรูปตัวควบคุม PI-PD จะคำนวณสัญญาณความคลาดเคลื่อน $E(s)$ ระหว่างสัญญาณที่วัดได้เมื่อเทียบกับสัญญาณขาเข้า โดยตัวควบคุมนี้จะหาค่าที่น้อยที่สุดโดยการปรับอัตราขยายโดยใช้วิธีการแบบ GA ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านด้วยตัวควบคุมแบบ PI-PD โดยวิธีการ GA

จากรูป ตัวควบคุมแบบ PD จะวางอยู่ในทิศทางป้อนกลับกับระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านเพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพ และตัวควบคุมแบบ PI จะวางอยู่ในทิศทางป้อนไปข้างหน้าเพื่อลดค่า Steady state error ซึ่งทั้งตัวควบคุมแบบ PI และ PD นี้ จะทำการปรับหาค่าอัตราขยายที่เหมาะสมที่สุดเพื่อลดค่าสัญญาณความคลาดเคลื่อนด้วยวิธีการ GA สามารถเขียนสมการสำหรับตัวควบคุมแบบ PI-PD ในโดเมน S ได้ดังนี้

$$PI = k_p + \frac{k_i}{s} \quad (6)$$

$$PD = k_f + k_d s \quad (7)$$

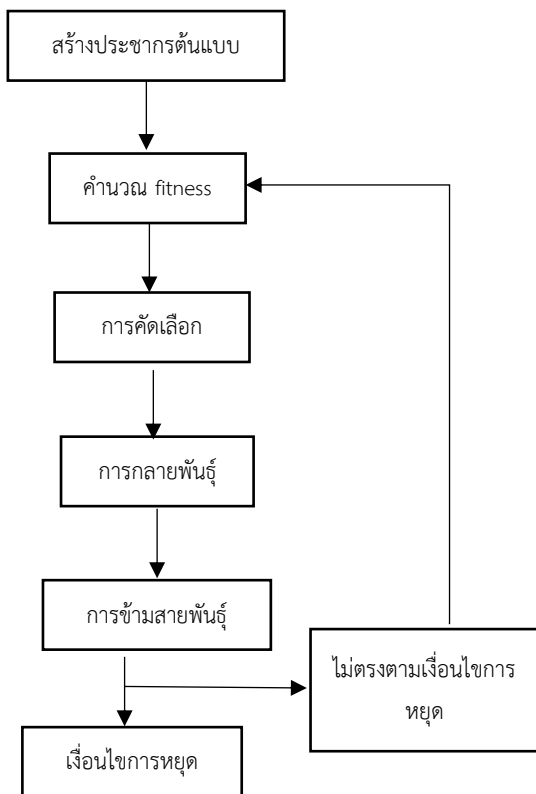
โดยที่ k_p คือ ตัวควบคุมเชิงสัดส่วน (Proportional)

k_i คือ ตัวควบคุมอินทิกรัล (Integral control)

k_f คือ ตัวควบคุมเชิงสัดส่วนอยู่ในทิศทางป้อนกลับ (Proportional)
 k_d คือ ตัวควบคุมอนุพันธ์ (Derivative control)

4. ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (GA)

Genetic algorithm เป็นวิธีการสุ่มค่าในการแก้ปัญหาที่ไม่เป็นเชิงเส้น และหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในงานที่มีความซับซ้อน โดยมีความน่าจะเป็นที่เลียนแบบการทำงานของโครโมโซม การแก้ปัญหาของอัลกอริทึมจะขึ้นอยู่กับจำนวนรุ่นของโครโมโซม ซึ่งการวิวัฒนาการของโครโมโซมที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมนี้จะใช้ฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness function) ที่สอดคล้องกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) และกระบวนการทางพันธุกรรม เช่น การแทนที่ของโครโมโซม (Reproduction), การกลายพันธุ์ (Mutation) และการสลับสายพันธุ์ (Crossover) ซึ่งขั้นตอนการทำงานของ GA แสดงได้ดังรูปที่ 3 เริ่มต้นด้วยการสุ่มค่าประชากร (Population) ซึ่งแทนด้วยค่าจำนวนจริงหรือชุดเลขฐานสองเรียกค่านี้อาโครโมโซมประสิทธิภาพในการพัฒนาแต่ละระบบจะกำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม ในฟังก์ชันความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมจะคำนวณหาค่าที่เหมาะสมที่สุด เพื่อนำไปใช้ต่อยังรุ่นถัดไป ในบทความวิจัยนี้จะใช้ค่าสัญญาณความคลาดเคลื่อนของระบบ (Error) เป็นฟังก์ชันความเหมาะสมในแต่ละโครโมโซม โดยที่ขั้นตอนของวิธีเชิงพันธุกรรมนี้ จะมี 3 ขั้นตอนหลักๆ คือ การแทนที่, การข้ามสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์



รูปที่ 3 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

ขั้นตอนการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรม

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้นสุ่มค่าพารามิเตอร์จากจำนวนประชากร, อัตราการข้ามสายพันธุ์, อัตราการกลายพันธุ์, จำนวนรุ่น และทำการเข้ารหัสแบบสายอักขระเลขฐานสอง (Binary string)

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณและหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันความเหมาะสม

ขั้นตอนที่ 3 หลังจากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการคัดเลือก การกลายพันธุ์และการข้ามสายพันธุ์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโครโมโซม

ขั้นตอนที่ 4 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 จนกว่าจะได้ค่าที่ดีที่สุดตรงตามฟังก์ชันความเหมาะสมที่ต้องการ

5. การควบคุมระบบด้วย PI-PD แบบวิธีเชิงพันธุกรรม

ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PI-PD จะประกอบไปด้วย อัตราการขยาย k_p , k_i , k_f , k_d โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดให้กับระบบโดยอาศัย Optimization tool-GA ซึ่งเป็น GUI (Graphic user interface) ที่ช่วยทำให้สามารถใช้ GA ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของค่าตัวแปรที่เราสนใจโดยอาศัยฟังก์ชันความเหมาะสมมาช่วยกำหนดในการหาค่าอัตราการขยายของตัวควบคุม PI-PD โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์ของวิธีเชิงพันธุกรรม

กำหนดค่าพารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมใน Optimization tool-GA สำหรับการพัฒนาแบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านเพื่อหาค่าอัตราการขยาย k_p , k_i , k_f , k_d ในการออกแบบระบบตัวควบคุมแบบ PI-PD(GA) แสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ของวิธีเชิงพันธุกรรม

จำนวนประชากร	50
อัตราการข้ามสายพันธุ์	0.8
อัตราการกลายพันธุ์	0.02
จำนวนตัวแปร	4
ค่าขอบต่ำ [k_p k_i k_f k_d]	[0 0 0 0]
ค่าขอบสูง [k_p k_i k_f k_d]	[10 10 10 10]

5.2 ฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness function)

ในการคำนวณหาค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมจำเป็นต้องเลือกฟังก์ชันความเหมาะสมเพื่อใช้หาค่าอัตราการขยายที่ดีที่สุดให้กับระบบ เพื่อให้ระบบมีความผิดพลาดระหว่างสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกน้อยที่สุด โดยปกติทั่วไปแล้วมีหลายฟังก์ชันที่นำมาใช้ในการหาค่าที่ดีที่สุด เช่น ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Mean square error: MSE), อินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (Integral absolute error: IAE) หรือ อินทิกรัลของค่าผิดพลาดยกกำลังสอง (Integral-squared error: ISE) บทความวิจัยนี้จะใช้ฟังก์ชันความ

เหมาะสมอินทิกรัลของค่าผิดพลาดยกกำลังสอง (Integral-squared error: ISE) ซึ่งค่าฟังก์ชันความเหมาะสมนี้จะสนใจเฉพาะขนาดของสัญญาณผิดพลาด และไม่สนใจเครื่องหมายว่าเป็นค่าบวกหรือค่าลบ โดยการนำค่าความผิดพลาด $E(t)$ ระหว่างสัญญาณขาเข้ากับสัญญาณขาออกที่วัดได้จากระบบควบคุมมายกกำลังสอง ทำให้ค่าสัญญาณมีค่าเป็นบวกตลอดเวลาและมีความต่อเนื่องของรูปสัญญาณ โดยที่ฟังก์ชันความเหมาะสมอินทิกรัลของค่าผิดพลาดยกกำลังสอง เขียนได้ดังสมการที่ 8

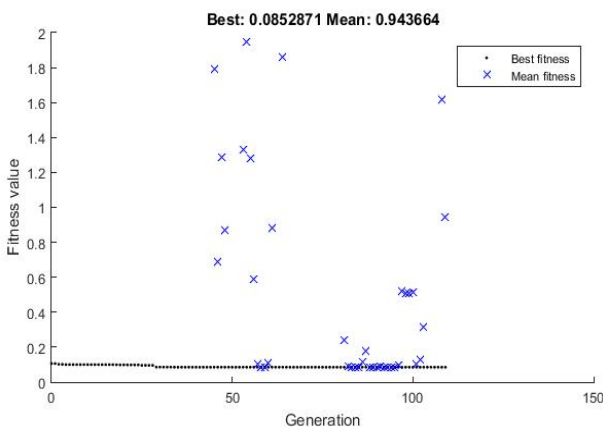
$$ISE = \int E^2(t) dt \quad (8)$$

6. ผลการทดลอง

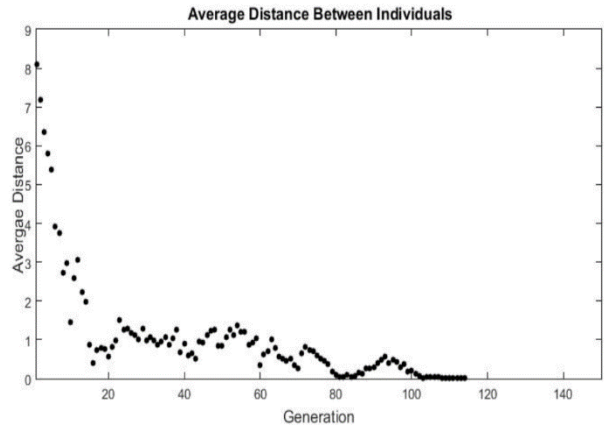
หัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดสอบระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านที่ควบคุมด้วยตัวควบคุม PI-PD โดยใช้วิธีการแบบ GA บนโปรแกรม MATLAB เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ โดยแบ่งออกเป็น การหาอัตราการขยายที่เหมาะสมที่สุด และนำผลที่ได้ไปหาผลตอบสนองของระบบเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ

6.1 การหาอัตราการขยายสำหรับตัวควบคุม PI-PD(GA)

การออกแบบตัวควบคุม PI-PD สำหรับควบคุมระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านโดยใช้ GA มีกระบวนการโดยเริ่มต้นจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ GA ดังตารางที่ 2 เพื่อใช้ในการสุ่มอัตราการขยายโดยการอาศัยฟังก์ชันเป้าหมายเป็นสมการในการกำหนดทิศทางการลู่เข้าสู่ค่าตอบที่เหมาะสม โดยกำหนดให้มีขอบเขตของอัตราการขยาย $(k_p, k_i, k_f, k_d) \in [0,10]$ ผลของการหาค่าอัตราการขยายด้วยวิธีการแบบ GA นี้ จะทำการจำลองโปรแกรมและเก็บผลการทดลองที่ได้ โดยการซ้ำทั้งหมด 10 รอบ ใน Optimization tool-GA บนโปรแกรม MATLAB หลังจากนั้นเลือกค่าอัตราการขยายในรอบการทำงานที่มีค่า Objective function value (Best value) ที่เข้าใกล้ 0 ที่สุด จากรูปที่ 4 แสดงค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดในแต่ละรอบของระบบ PI-PD จะเห็นได้ว่ากราฟลู่เข้าเพื่อหาค่าตอบที่ดีที่สุดในแต่ละรอบ



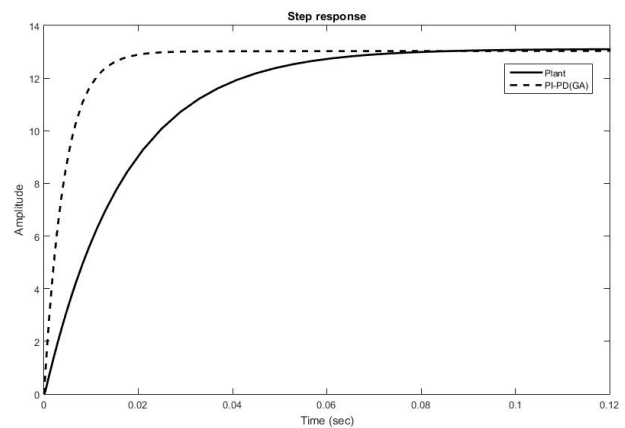
รูปที่ 4 ค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดในแต่ละรอบของระบบ PI-PD



รูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยระยะทางระหว่างโครโมโซมในแต่ละรอบ

จากรูปที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยของระยะทางระหว่างโครโมโซมในแต่ละรอบการทำงาน เป็นการแสดงให้เห็นว่าชุดโครโมโซมใหม่ในแต่ละรุ่นมีการพัฒนาปรับปรุงสายพันธุ์ให้ดีขึ้น และมีระยะทางระหว่างโครโมโซมลดลง นั้นแสดงให้เห็นว่าโครโมโซมกำลังพยายามที่จะปรับตัวเข้าหาค่าตอบที่ดีที่สุด

เมื่อนำค่าอัตราการขยาย k_p, k_i, k_f, k_d ที่ได้จากการทำงานบน Optimization tool-GA ไปจำลองในระบบควบคุม PI-PD ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน บนโปรแกรม MATLAB-Simulink เพื่อทำการเปรียบเทียบให้เห็นว่าระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านที่ควบคุมด้วยตัวควบคุม PI-PD(GA) นั้นให้ผลตอบสนองที่ดีกว่าระบบที่ไม่มีตัวควบคุม แสดงได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลตอบสนองการควบคุมแบบ PI-PD(GA) เปรียบเทียบกับระบบแบบที่ไม่มีตัวควบคุม

ทำการเปรียบเทียบผลการตอบสนองของระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านแบบไม่มีตัวควบคุม กับระบบที่ควบคุมแบบ PI-PD(GA) จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองของ PI-PD(GA) เข้าสู่สภาวะสมดุล

(Settling time) ที่เวลา 0.0134 วินาที และเวลาช่วงขึ้น (Rise time) 0.0093 วินาที แต่ระบบที่ไม่มีตัวควบคุมเข้าสู่สภาวะสมดุลที่เวลา 0.0664 วินาที และมีค่า Rise time ที่เวลา 0.0372 วินาที ซึ่งผลตอบสนองของระบบที่ควบคุมแบบ PI-PD(GA) เข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วกว่าระบบที่ไม่มีตัวควบคุม โดยใช้เวลาเพียงแค่ 20.18% ของระบบที่ไม่มีตัวควบคุม และค่าเวลา Rise time โดยใช้เวลาประมาณ 25% ของระบบที่ไม่มีตัวควบคุม

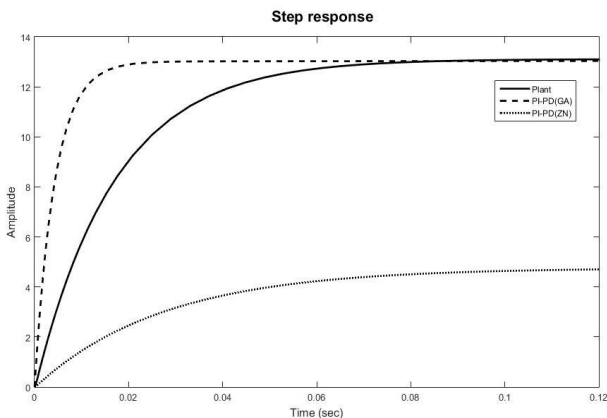
6.2 การเทียบผลการตอบสนองของระบบ PI-PD(GA)

ทำการหาค่าอัตราขยาย k_p, k_i, k_f, k_d ด้วยตัวควบคุม PI-PD(GA) ,อัตราขยายสำหรับตัวควบคุมแบบ PI-PD(ZN) และอัตราขยาย k_p, k_i, k_d ด้วยตัวควบคุม PID แบบ GA แสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าอัตราขยายด้วยวิธีการต่างๆ

วิธี	k_p	k_i	k_f	k_d
PI-PD(GA)	4.68200	9.99600	0.00100	0.01900
PI-PD(ZN)	0.01740	0.00001	-0.04576	0.00001
PID(GA)	9.99600	8.64000	-	5.71900

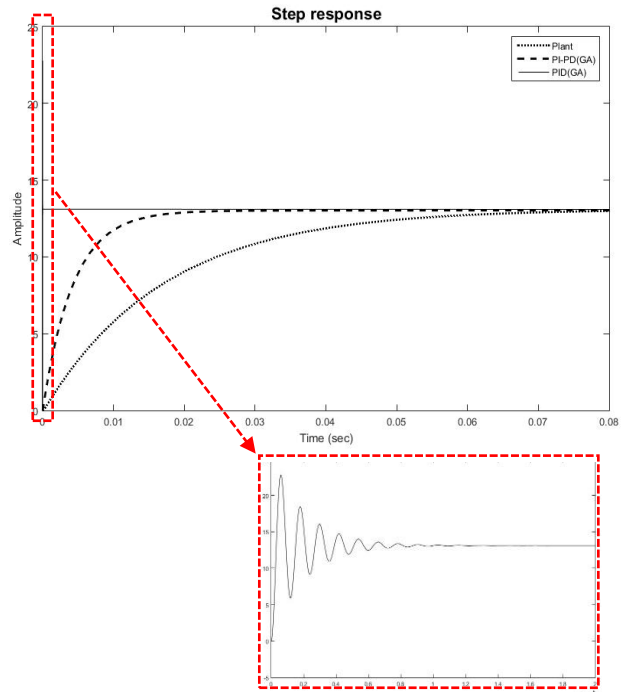
เมื่อนำค่าอัตราขยายด้วยวิธีการต่างๆ ในตารางที่ 3 ไปทำการจำลองระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านบนโปรแกรม MATLAB-Simulink ได้ผลการตอบสนองของระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านด้วยวิธีการแบบ PI-PD(GA), PI-PD(ZN) และ PID(GA) ทำการเปรียบเทียบกับระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านแบบไม่มีตัวควบคุม ได้ดังรูปที่ 7 และดังรูปที่ 8



รูปที่ 7 ผลตอบสนองการควบคุมแบบ PI-PD(GA) เปรียบเทียบกับ PI-PD(ZN)

จากรูปที่ 7 แสดงผลตอบสนองของระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านเมื่อใช้วิธีการ PI-PD(GA), PI-PD(ZN) และระบบที่ไม่มีตัวควบคุม จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ PI-PD(GA) มีค่า Settling time ที่เวลา 0.0134 วินาที, ค่า Rise time ที่เวลา

0.0093 วินาที, %overshoot ประมาณ 0.3040% และมีค่าแอมพลิจูดในสภาวะสมดุล (Steady state) อยู่ที่ 12.9790 ให้ผลการตอบสนองที่ดีกว่าตัวควบคุมแบบ PI-PD(ZN) ซึ่งมีค่า Settling time ที่เวลา 0.0016 วินาที, ค่า Rise time ที่เวลา 0.0610 วินาที, %overshoot 0.3260% และค่าแอมพลิจูดของ steady state อยู่ที่ 4.7220 ทำให้แอมพลิจูดที่สภาวะสมดุลของระบบ PI-PD(ZN) มีค่าน้อยกว่าระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านที่ไม่มีตัวควบคุมอยู่มาก



รูปที่ 8 ผลตอบสนองการควบคุมแบบ PI-PD(GA) เปรียบเทียบกับ PID(GA)

จากรูปที่ 8 แสดงผลตอบสนองของระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านของระบบด้วยวิธีการ PI-PD(GA), PID(GA) และระบบที่ไม่มีตัวควบคุม จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ PID(GA) ถึงแม้ว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วกว่าเนื่องจากมีค่า Rise time และค่า Settling time น้อยกว่าระบบที่ควบคุมแบบ PI-PD(GA) ก็จริง แต่กลับมีค่า %overshoot สูงถึง 74.5610% ซึ่งสูงกว่าระบบที่ควบคุมด้วยระบบ PI-PD(GA) ถึง 74.257% ทำให้ผลการตอบสนองของสัญญาณมีการแกว่งไกวมาก ก่อนที่ระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุล การแกว่งไกวของสัญญาณนี้อาจส่งผลเสียให้กับอุปกรณ์ได้

จากการเปรียบเทียบผลการตอบสนองของระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านด้วยวิธีการแบบ PI-PD(GA), PI-PD(ZN) และแบบ PID(GA) ดังรูปที่ 7 และ 8 สามารถสรุปผลการเปรียบเทียบค่า %Overshoot, ค่า Rise time, ค่า Settling time และค่า Steady state ได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการตอบสนองของระบบด้วยวิธีการต่างๆ

วิธี	PI-PD(GA)	PI-PD(ZN)	PID(GA)
%Overshoot	0.3040	0.3260	74.5610
Rise time	0.0093	0.0610	0.0000
Settling time	0.0134	0.0016	0.0000
Steady state	12.9790	4.7220	12.9790

7. สรุป

ระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านที่ควบคุมด้วยตัวควบคุม PI-PD(GA) ที่ได้นำเสนอในบทความนี้ เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีตัวควบคุม จะเห็นได้ว่าระบบที่ควบคุมแบบ PI-PD(GA) มีค่า Rise time, Settling time และยังเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วกว่าระบบที่ไม่มีตัวควบคุม ส่วนระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุม PI-PD(ZN) พบว่าระบบที่ออกแบบด้วยวิธีการแบบ PI-PD(GA) มีค่า %Overshoot, Rise time, Settling time และ Steady state error ที่ดีกว่าแบบ PI-PD(ZN) ทำให้มีผลการตอบสนองของระบบและเข้าสู่สภาวะสมดุลด้วยวิธีการแบบ PI-PD(GA) ดีกว่าแบบ PI-PD(ZN) ส่วนตัวควบคุมแบบ PID(GA) ถึงแม้ว่าจะให้ค่า Rise time และ Settling time ที่ดีกว่าการใช้ตัวควบคุมแบบ PI-PD(GA) แต่ก็พบว่าค่า %Overshoot สูงกว่ามากทำให้เกิดการแกว่งไกวของสัญญาณก่อนเข้าสู่สภาวะสมดุล ซึ่งอาจเกิดผลเสียต่ออุปกรณ์ภายในมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Yedamale, "Brushless DC motor fundamentals", Microchip Technology Incorporated, 2003.
- [2] K. Ang, G. Chong, and Y. li, "PID control system analysis, design, and technology", IEEE Trans.Control System Technology, Vol. 13, pp.559-576, July, 2005.
- [3] J. G. Ziegler and N. B. Nichols, "Optimum Settings for Automatic Controllers", Transactions of the ASME, vol. 64, 1942, pp. 759-768.
- [4] J. Kennedy and R. C. Eberhart, "Particle Swarm Optimization", Proceedings of Fourth IEEE International Conference on Neural Networks, vol. 4, 1995, pp. 1942-1948.
- [5] N. K. Vastrakar and P. K. Padhy, "Simplified PSO PI-PD Controller for Unstable Processes", 4th International Conference on Intelligent Systems Modelling and Simulation, 2013.
- [6] D. E. Goldberg, "Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison-Wesley Publishing, 1989.

- [7] O. J. Oguntoyinbo, "PID Control of Brushless DC Motor and Robot Trajectory Planning and Simulation with MATLAB/SIMULINK", Technology and Communication, 2009.
- [8] S. Srikanth and G. R. Chandra, "Modeling and PID Control of the Brushless DC Motor with the help of Genetic Algorithm", IEEE Science And Management, March 30-31, 2012.



วาทีณี โลหะญาณจารี: กำลังศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี งานวิจัยที่สนใจได้แก่ ระบบควบคุม



วุฒิชัย อัครวินชัยโชติ: ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี งานวิจัยที่สนใจได้แก่ H-infinity Control, Fuzzy Modeling and Control