

การออกแบบตัวควบคุมพีไอที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมความเร็วของเตอร์ เหนี่ยวนำเชิงเส้นโดยใช้วิธีกสุ่มอนุภาค

Optimum Design of PI Controller for Linear Induction Motor Speed Control using particle swarm approach

ทรงกลด ศรีปรังค์¹ วันชัย ทรัพย์สิงห์²

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวัง
ไกลักษณ์ ถนนเพชรเกษม ตำบลหนองแก อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110 โทร 0-3261-8500 โทรสาร 0-3261-8570

E-mail: songklod.sriprang@gmail.com

² ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหอก
อำเภออ้อซูบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3497 โทรสาร 0-2549-3432 E-mail: w.subsinghaa@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีกสุ่มอนุภาคในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมแบบพีไอ สำหรับควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น วิธีการที่นำเสนอันมีคุณสมบัติที่เหนือกว่ารวมถึงการปฏิบัติที่ง่าย คุณลักษณะการสู่เข้าที่มีเสถียรภาพและประสิทธิภาพการคำนวณที่ดี ทำการสร้างแบบจำลองของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นใน SIMULINK และขั้นตอนวิธีการของ PSO นั้นดำเนินการใน MATLAB ผลที่ได้จะเปรียบเทียบกับวิธีการจูนแบบดั้งเดิมคือ วิธี Ziegler – Nichols และพิสูจน์ว่าดีกว่า นอกจากนี้การจูนค่าพีไอโดยการใช้เทคนิคกสุ่มอนุภาคได้ค่าพุ่งเกินที่น้อยกว่า ระบบจะระลอกด้วยน้อยลงและมีค่าดัชนีสมรรถนะของระบบ แบบค่าปริพันธ์ของค่าผิดพร่องสัมบูรณ์ ประมาณเวลา (ITAE) ที่ดี

ค่าหลัก Linear Induction Motor, V/F Control, Particle Swarm Optimization

Abstract

This Paper presents a particle swarm optimization (PSO) method for determining the optimal proportional-integral (PI) controller parameters, for speed control of a linear induction motor. The proposed approach has superior features, including easy implementation, stable convergence characteristic and good computational efficiency. The Linear induction motor is modeled in Simulink and the PSO algorithm is implemented in MATLAB. The incurred value is compared with the traditional tuning techniques like Ziegler - Nichols and is proved better. Hence the results establishes that tuning the PI controller using PSO technique gives less

overshoot, system is less sluggish and reduces the ITAE.

Keywords: Linear Induction Motor, V/F Control, Particle Swarm Optimization

1. บทนำ

ในปัจจุบันมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น (LIM) นั้นมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ในงานอุตสาหกรรมจำนวนมากรวมถึงระบบการขับส่ง ระบบการเลื่อน และประตูเลื่อน เป็นต้น ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี ประโยชน์ที่เห็นได้ชัดเจนของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นคือ ไม่ต้องใช้ระบบเกียร์ ไม่จำเป็นต้องทำการเปลี่ยนแปลงระบบการเคลื่อนที่ เมื่อต้องการใช้งานเคลื่อนที่แบบเส้นตรง ให้แรงในขณะเดินทาง [1], [2] ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นนั้นจึงมีความสำคัญ การศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ชนิดนี้นั้นจะแบ่งออกเป็นสองกรณีคือ เมื่อมอเตอร์ทำงานที่ความเร็วสูง และที่ความเร็วต่ำ โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นนั้น พัฒนามาจากมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบหมุน คือนำมาทำการฝ่าและคลื่อออก [3] จากโครงสร้างของมอเตอร์ที่เปลี่ยนไปทำให้เกิดผลกระทบ (Effect) ที่ปลายสุดของมอเตอร์ แต่ผลกระทบนี้จะลดลงเมื่อมอเตอร์ทำงานที่ความเร็วต่ำ และระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นโดยใช้วิธีต่างๆ มากมาย แต่ส่วนใหญ่นั้นจะเป็นระบบควบคุมแบบพีไอที่ เนื่องจากเป็นระบบที่มีเสถียรภาพที่ดี สามารถทำงานได้ในช่วงกว้าง แต่ข้อเสียคือความยากลำบากในการหาค่าพารามิเตอร์ ของตัวควบคุมแบบพีไอที่ที่นำเสนอจากรายงานวิจัยที่ผ่านมาดังนี้ มีหลากหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีจะมีความยากง่าย ซับซ้อน และข้อดี ข้อเสียที่แตกต่างกัน เช่นการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอด้วยเทคนิคของ Roots locus วิธีการของ Ziegler และ

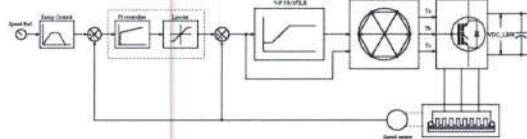
Nichole เป็นต้น แต่เมื่อไม่นานนี้มีการคิดค้นวิธีทางด้านปัญญาประดิษฐ์ เช่น โครงข่ายโยงไปประสาท และวิธีกลุ่มอนุภาค เป็นต้น ซึ่งหากกล่าวถึงทั้งสองวิธีนี้ วิธีกลุ่มอนุภาคจะมีข้อดีกว่าคือ ความง่ายของวิธีการใช้การคำนวณตัวดำเนินการ แล้วได้ระบบที่มีคุณสมบัติการสู้เข้าเป้าหมายได้ดีกว่าวิธีการสุ่มแบบอื่น จากข้อดังกล่าวจึงมีการนำวิธีกลุ่มอนุภาคมาใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมแบบพื้นที่ เช่น Iruthayarajan, M. W. and S. Baskar (2007) [5] นำวิธีกลุ่มอนุภาคมาใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพื้นที่ และเปรียบเทียบผลที่ได้กับวิธี Genetic Algorithm (GA) และ Mehdi Nasri (2007) [6] นำเสนอการนำวิธีกลุ่มอนุภาคหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมแบบพื้นที่ ในการควบคุม Linear Brushless DC Motor และทำการเบร์ยนเทียนผลที่ได้กับ Genetic Algorithm (GA) เชนเดียวกัน จากรายงานการวิจัยทั้งสองเรื่อง ซึ่งให้เห็นว่าวิธีกลุ่มอนุภาคนั้นสามารถนำมาหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพื้นที่ได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเอาวิธีกลุ่มอนุภาคมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมแบบพื้นที่ ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวเชิงเส้นแบบแรงดันต่อความถี่ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและทำการเบร์ยนเทียบผลที่ได้กับวิธีการอื่นที่ใช้ในการหาค่าเดียวกัน

2. ระบบควบคุมและฟังก์ชันถ่ายโอนระบบควบคุมความเร็วของ LIM

จากที่กล่าวในหัวข้อนี้ระบบควบคุมของ SLIM นั้นสามารถใช้หลักการเดียวกับ RIM ในงานวิจัยนี้นำเสนอระบบควบคุมแบบแรงดันต่อความถี่ ซึ่งเป็นระบบพื้นฐานที่ใช้ในการควบคุมความเร็วของเครื่องจักรกลกระแสสลับ (AC Machine) โดยใช้หลักการในการคงที่ค่าของแรงตามสมการที่ 1 [7]

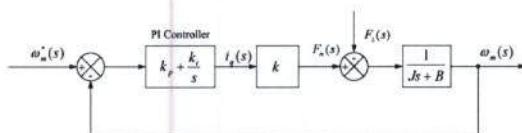
$$T_{em} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1-\sigma}{\sigma} \cdot \frac{V_s^2}{\omega_i^2 L_s} \cdot \frac{2}{S/S_p + S_p/S} \quad (1)$$

เมื่อ T_{em} คือ Electromagnetic Torque, σ คือ Total Leakage Factor, V_s คือ ค่าของแรงดันแหล่งจ่าย, ω_i คือ ค่าความถี่ของแหล่งจ่าย, L_s คือ Stator Self-Inductance S คือ ค่าสลิป, S_p คือ Pull-out slip, จากสมการที่ 1 จะเห็นว่าหากสามารถควบคุม V_s / ω_i ได้ทำให้แรงของเครื่องจักรกลนั้นมีค่าคงที่ได้ และเมื่อสามารถควบคุมแรงได้ก็สามารถควบคุมความเร็วของเครื่องจักรกลได้เช่นเดียวกัน จึงเป็นที่มาของ V/F Control และจุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือทำการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพื้นที่ของระบบควบคุมความเร็วแบบการควบคุมค่าสลิป (Slip control) และมีการเพิ่มในส่วนของ Ramp Control เพื่อช่วยลดการกระชากระยะเริ่มเดินของเครื่องจักรกล ระบบทั้งหมดแสดงเป็นล็อก-ໄ/doeagram ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ໄ/doeagram ระบบควบคุมแบบ V/F Control

ในการออกแบบระบบควบคุมของเครื่องจักรกล หรือไม่ว่าจะเป็นระบบอะไรก็ตามสิ่งที่ต้องทราบคือ ฟังก์ชันถ่านออนไลน์ (Transfer function) ของระบบ ฟังก์ชันถ่านออนไลน์ของระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวเชิงเส้นแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 บล็อกໄ/doeagram ระบบควบคุมความเร็วของ LIM

ในรูปที่ 2 เมื่อ $k = \frac{2}{3} \omega_i \frac{L_m}{L_r} \lambda_{dr}$ ค่า J คือ ค่า Inertia ของระบบ และ B คือ Friction ดังนั้นฟังก์ชันถ่านออนไลน์เปิดของระบบควบคุมความเร็วของ LIM เมื่อให้ค่าของ $G(s)$ จะได้ว่า

$$G(s) = \left(\frac{k_p + k_i}{s} \right) \left(\frac{k}{Js + B} \right) \quad (2)$$

เมื่อทราบฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมของ LIM เป็นที่เรียบร้อยแล้วขั้นตอนต่อไปคือการหาค่าพารามิเตอร์ และแทนค่าพารามิเตอร์ที่ได้ลงในสมการ

3. การหาค่าที่เหมาะสมโดยวิธีกลุ่มอนุภาค

Kennedy และ Eberhart [8] ได้นำเสนอแนวคิดของวิธีของกลุ่มอนุภาคเป็นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 1995 ซึ่งมาจากพฤติกรรมการอยู่ร่วมกันของสัตว์ เช่นผุ้งนก วิธีกลุ่มอนุภาคนี้เป็นวิธีการหารากที่เหมาะสม อาศัยการค้นหาแบบกลุ่มประชากร แต่ละตัวดำเนินการเรียกว่า “อนุภาค” ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายตำแหน่งได้ อนุภาคนี้จะรวมตัวกันเป็นกลุ่ม บินอยู่ในขอบเขตที่ต้องการค้นหา ระหว่างบินอนุภาคจะเคลื่อนย้ายตำแหน่ง โดยอ้างอิงถึงตำแหน่งของตัวเอง และตำแหน่งของอนุภาคใกล้เคียงที่บินผ่านมาแล้ว เพื่อใช้ในการหาทิศทางการเคลื่อนที่ต่อไป จนกว่าจะค้นตำแหน่งที่ดีที่สุด ซึ่งอาจค้นพบด้วยตนเองหรืออนุภาคใกล้เคียง โดยสมการที่เกี่ยวข้องการวิธีกลุ่มอนุภาคมีดังนี้

$$\begin{aligned} v_{i,m}^{(t+1)} &= w \cdot v_{i,m}^{(t)} + c_1 \times rand() \times (pbest_{i,m} - x_{i,m}^{(t)}) \\ &+ c_2 \times rand() \times (gbest - x_{i,m}^{(t)}) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} x_{i,m}^{(t+1)} &= v_{i,m}^{(t+1)} = x_{i,m}^{(t)} + v_{i,m}^{(t+1)} \\ i &= 1, 2, \dots, n; m = 1, 2, \dots, d \end{aligned} \quad (4)$$

กำหนดให้

n คือจำนวนของอนุภาคในกลุ่ม

d คือมิติ (Dimension) หรือกลุ่มในขอบเขตที่ค้นหา

i คือตัวแหน่งจุดของรอบของการค้นหา

$v_{i,d}^{(t)}$ คืออัตราเร็วของอนุภาคที่รอบของการค้นหาโดยที่

$$v_d^{\min} \leq v_{i,d}^{(t)} \leq v_d^{\max}$$

w คือแฟคเตอร์น้ำหนักความเนื่อย (Inertia weight factor)

c_1, c_2 คือค่าคงที่ของอัตราเร่ง

$rand$ คือค่าที่ได้จากการสุ่มในช่วง 0 และ 1

$x_{i,d}^{(t)}$ คือตำแหน่งของอนุภาคที่รอบของการค้นหา

$pbest$ คือตำแหน่งที่ดีที่สุดของการค้นหาของอนุภาค

$gbest$ คืออนุภาคที่ค้นหานำาถูกที่สุดจากอนุภาคที่ดีที่สุด

3. การดำเนินการหาค่าเกณฑ์ดั้วยอดความคุณภาพโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค

ในการออกแบบดั้วยอดความคุณภาพโดยการใช้วิธีกลุ่มอนุภาคนั้นมีการใช้ฟังก์ชันวัดคุณภาพ (Objective Function) ใน การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของดั้วยอดความคุณ โดยฟังก์ชันวัดคุณภาพนั้นเกิดจากการใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของระบบควบคุม ซึ่งที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ค่าปริมาณของค่าผิดพろงสัมบูรณ์แบบเวลา (ITAE) เนื่องจากค่าผิดพろงของระบบแม้เพียงเล็กน้อยก็จะเปรียบเท่ากันเนื่องจากพิจารณาตามเวลาใช้งาน

$$ITAE = \int_0^\infty |e(t)| dt \quad (5)$$

เมื่อทราบฟังก์ชันวัดคุณภาพซึ่งต้องไปปีกิ้อ ทำการเขียนโปรแกรมของการหาค่าพารามิเตอร์ของดั้วยอดความคุณโดยมีขั้นตอนและโฟล์ชาร์ดังนี้

- 1) กำหนดดั้วยอดความคุณเพื่อเก็บค่าของ จำนวนรอบสูงสุด (Max iteration) จำนวนของอนุภาค (Number of Particle) ค่าคงที่ของอัตราเร่ง (c_1, c_2) ค่าเริ่มต้นของแฟคเตอร์ความเนื่อย (w) ขอบเขตบนและขอบเขตล่างของค่าเกณฑ์ระยะหกตัว k_p และ k_i ,
- 2) ทำการรันแบบจำลองของมอเตอร์เห็นี่ยวนานาเชิงเส้นใน Simulink
- 3) ทำการหาค่าสูงสุดของเกณฑ์ประสิทธิภาพ
- 4) ทำการอัปเดตค่าที่ได้จาก 4) เป็น $pbest$
- 5) ทำการค้นหาค่าที่ดีที่สุดของทุกอนุภาคเป็น $gbest$
- 6) ทำการปรับปรุงค่าความไวของทุกอนุภาคจากสมการที่ 2 และ ตำแหน่งของอนุภาคจากสมการที่ 3
- 7) ค้นหาจนถึงรอบสูงสุด (Maximum iteration) จะได้ค่าของ $gbest$

4. ผลการจำลองและประเมินผล

ทำการแทนค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เห็นี่ยวนานาเชิงเส้นลง

ในฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิดสมการที่ 2 และกำหนดทำการค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของวิธีกลุ่มอนุภาคดังนี้

$$\frac{\omega_m}{\omega_m^*} = \frac{8.503}{s^2 + 8.506s + 8.503} \quad (6)$$

ขนาดของประชากร: 20

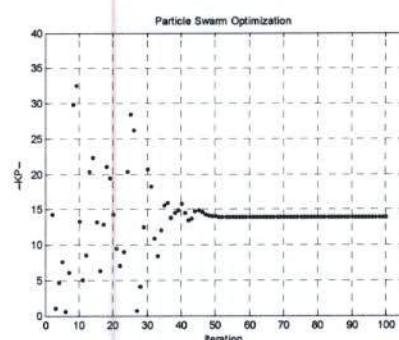
$$W_{\max} = 0.9, W_{\min} = 0.4$$

$$C_1 = 1.2, C_2 = 1.2$$

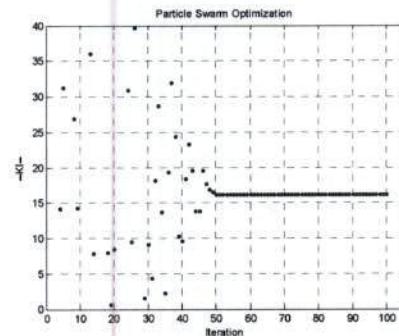
Iteration = 100

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จาก PSO-PI Controller

Method	Kp	Ki	ITAE	%Mp
PSO	14.0270	16.1959	0.0075	13.6%
ZN	15.5	64	0.1685	62.12%



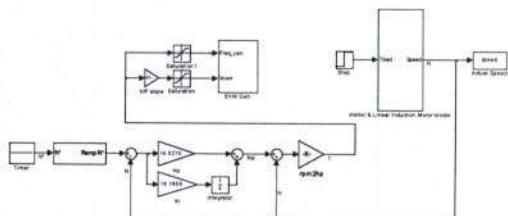
(n)



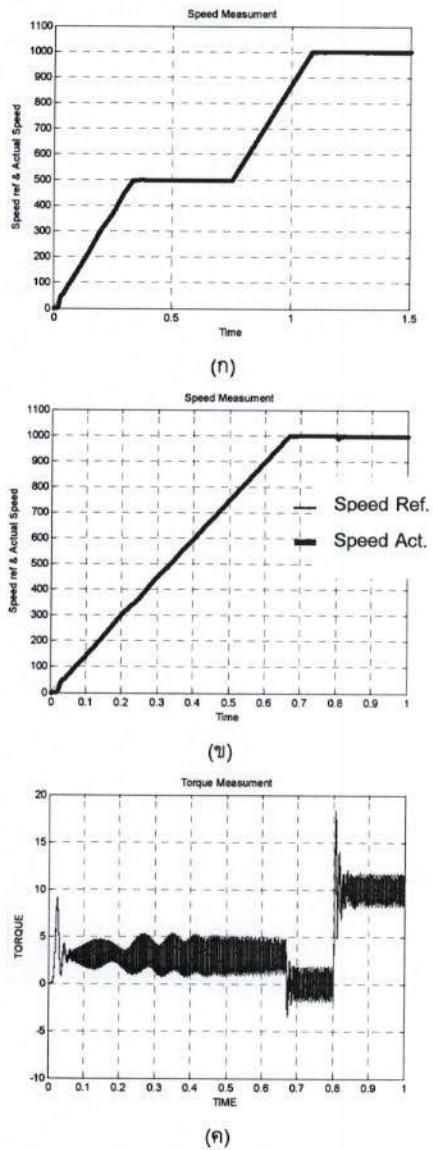
(x)

รูปที่ 5 (n) ค่าพารามิเตอร์ k_p และ (x) ค่าพารามิเตอร์ k_i ,

เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์ของดั้วยอดความคุณเป็นที่เรียบอ้ายกันมา ทำการจำลองด้วยระบบควบคุมความเร็วของ LIM ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 บล็อกไซเดียมของระบบควบคุมความเร็วของ LIM แบบ Slip Regulator



รูปที่ 7 (ก) ผลการปรับเปลี่ยนความเร็วจาก 500 rpm เป็น 1000 rpm (ข) ผลของความเร็วของ SLIM ที่ 1000 rpm เปรียบเทียบกับความเร็วอ้างอิง (ค) แรงของ SLIM และทำการเพิ่มแรงโน้มถ่วงตัด 10 NM ที่เวลา 0.8 วินาที

5. สรุป

จากการทดลองจะเห็นว่าค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพื้นที่ได้จากการสูழอนุภาค (PSO) นั้นทำให้ระบบมีผลตอบสนองที่ดี และเมื่อเปรียบกับวิธีของ Ziegler-Nichols ระบบมีค่าผุ่งเกินที่ต่ำกว่า ค่าซึ่งนิสัยรักษาของระบบที่ตีก้าว และเมื่อ拿来ค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาใช้ในระบบจำลองการทำงานของมอเตอร์เห็นว่าใช้เวลาเริ่มต้น 500 ms ก็สามารถตามค่าที่ต้องการได้เป็นอย่างดี สรุปการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีสูழอนุภาคเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุม ได้ผลที่ดี และเป็นวิธีการที่ง่าย การทำงานของระบบใช้เวลาอ้อย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Boldea, I. and S. A. Nasar (1997). Linear electric actuators and generators. Electric Machines and Drives Conference Record, 1997. IEEE International.
- [2] Qingchao, W., W. Yingjie, et al. (2007). A Dynamic Simulation Model of Linear Metro System with ADMAS/Rail. Mechatronics and Automation, 2007. ICMA 2007. International Conference on.
- [3] Nasar, S.A. and Boldea, I., Linear Electric Motors, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1987.
- [4] Mi Ching, T. and C. Jeng Hu (1999). A practical implementation of a linear induction motor drive using new generation DSP controller. Control Applications, 1999. Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on.
- [5] Iruthayarajan, M. W. and S. Baskar (2007). Optimization of PID parameters using Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization. Information and Communication Technology in Electrical Sciences (ICTES 2007), 2007. ICTES. IET-UK International Conference on.
- [6] Mehdi Nasri, Hossein Nezamabadi-pour, and Malihe Maghfoori. 2007. A PSO-Based Optimum Design of PID Controller for a Linear Brushless DC Motor. World Academy of Science, Engineering and Technology 26 2007.
- [7] W. Leonhard, Control of Electric Drives, Second Edition, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany, 2001.
- [8] Kennedy, J. and R. Eberhart (1995). Particle swarm optimization. Neural Networks, 1995. Proceedings., IEEE International Conference on.