

การประยุกต์ใช้มีมติกอัลกอริทึมเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

The Application of Memetic Algorithm for Induction Motor Parameter Estimation

วิวัฒน์ ทิพจร*, ชนะชน ไกลถิ่น, จักรพงษ์ เฉลิมกิจ

Wiwat Tippachon*, Chanachon Klaitthin, Jakrapong Chalermkit

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

Corresponding author: wiwat@rmutl.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอการประมาณค่าพารามิเตอร์ในวงจรสมมูลสถานะคงตัวของมอเตอร์ด้วยมีมติกอัลกอริทึมซึ่งใช้เทคนิคชัฟเฟิลฟรอกลิปปิงในการค้นหาเฉพาะที่ การประมาณค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์คำนวณได้จากเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ข้อมูลแรงบิดสูงสุด แรงบิดโหลดเต็มพิกัดและแรงบิดเริ่มหมุน ผลของวิธีการที่นำเสนอถูกนำไปเปรียบเทียบกับวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีชัฟเฟิลฟรอกลิปปิง ผลการทดสอบพบว่า การประมาณค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ด้วยมีมติกอัลกอริทึม มีความผิดพลาดเฉลี่ยสูงสุด 6.7 % เมื่อเปรียบเทียบกับพารามิเตอร์จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

คำสำคัญ : การประมาณค่าพารามิเตอร์ มอเตอร์เหนี่ยวนำ มีมติกอัลกอริทึม เจเนติกอัลกอริทึม ชัฟเฟิลฟรอกลิปปิงอัลกอริทึม

Abstract

This paper presents the estimation of the steady state equivalent circuit parameters of induction motor by memetic algorithm with shuffle frog-leaping technic for local search. Parameter estimation of the motors is calculated by the optimization technique using maximum torque, full load torque and starting torque data. The results of the proposed method are compared with genetic algorithm and shuffle frog-leaping algorithm. The results reveal that the parameter estimation of the motor using memetic algorithm has the mean percentage error 6.7 % compared with the parameters from the test in laboratory.

Keywords: Parameter estimation, Induction motor, Memetic algorithm, Genetic algorithm, Shuffle frog-leaping algorithm

1. บทนำ

ปัจจุบันมอเตอร์เหนี่ยวนำ ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน เนื่องจากมอเตอร์ชนิดนี้มีราคาถูก มีประสิทธิภาพสูง ดูแลรักษาง่าย ข้อมูลพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำประกอบด้วยความต้านทาน และความเหนี่ยวนำที่อยู่ในแบบจำลองวงจรสมมูลของมอเตอร์มีความสำคัญมากในการควบคุม การหาประสิทธิภาพ รวมถึงการตรวจจับความผิดปกติของมอเตอร์[1] แต่ส่วนมากพารามิเตอร์เหล่านี้มักจะไม่สามารถหาได้จากข้อมูลของผู้ผลิต[2] ดังนั้นหลายปีที่ผ่านมาจึงได้

มีการคิดค้นวิธีเพื่อหาหรือประมาณค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์หลากหลายวิธี

วิธีการดั้งเดิมในการหาพารามิเตอร์เหนี่ยวนำคือการทดสอบไโรโหลดและทดสอบยัดโรเตอร์[3] ข้อจำกัดของวิธีนี้คือผู้ทดสอบต้องเป็นผู้ที่มีทักษะและความชำนาญ และต้องยัดโรเตอร์ของมอเตอร์ไม่ให้หมุน เทคนิคทางเลือกอื่นในการหาพารามิเตอร์ของมอเตอร์จำแนกออกเป็นสองแบบคือแบบออฟไลน์และแบบออนไลน์[4] การหาพารามิเตอร์แบบออฟไลน์หมายถึงการหาขณะที่มอเตอร์หยุดทำงาน โดยทำการทดสอบด้วยการจ่ายไฟฟ้า

กระแสตรงหรือกระแสสลับเพื่อให้ได้พารามิเตอร์ของมอเตอร์ การหาพารามิเตอร์แบบออนไลน์หมายถึง การหาโดยการตรวจจับสัญญาณด้วยเซ็นเซอร์เพื่อทราบค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ในสภาพการใช้งานที่ต่างกัน

การหาพารามิเตอร์แบบออนไลน์แบ่งออกเป็นสามเทคนิค เทคนิคแรกคือการวิเคราะห์สเปกตรัม โดยการป้อนสัญญาณเข้าไปในมอเตอร์แล้ววิเคราะห์องค์ประกอบของสเปกตรัม เนื่องจากวิธีการนี้ไม่สามารถใช้งานได้ในสภาพการทำงานปกติ จึงแทบจะไม่มีการใช้งานจริง[4] เทคนิคที่สองคือ เทคนิคการเฝ้าสังเกต เช่น วิธีตัวกรองคาลมานแบบขยาย วิธีนี้ให้ความแม่นยำในการประมาณค่าแต่ต้องใช้เวลาในการคำนวณมาก สุดท้ายคือเทคนิคแบบจำลองอ้างอิงที่ปรับตัวได้ วิธีการนี้ให้ความแม่นยำและใช้การคำนวณน้อยกว่าวิธีที่สอง แต่อย่างไรก็ตามวิธีเหล่านี้บางวิธีต้องใช้ฟังก์ชันอนุพันธ์ซึ่งยากในการคำนวณ หรือเป็นวิธีระบบแน่นอน (Deterministic) ซึ่งมักจะไม่สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดเมื่อจัดการกับระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น[2]

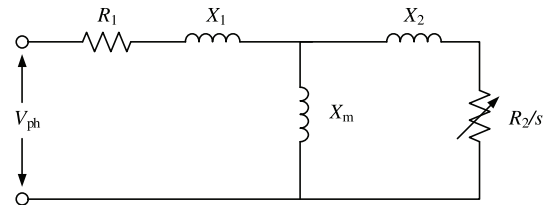
เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด(Optimization)เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่นำมาหาพารามิเตอร์ของมอเตอร์ ตัวอย่างเช่น เจเนติกอัลกอริทึม[5] ระบบภูมิทัศน์หาค่าเหมาะที่สุด [6] ซัฟเฟิลฟรอกลิปปีง [7] ผูกมัดเทียม [8] ซึ่งเทคนิคเหล่านี้สามารถหาพารามิเตอร์ของมอเตอร์ได้อย่างรวดเร็ว แต่วิธีการเหล่านี้อาจจะไม่ได้ผลเฉลยที่ดีที่สุดเสมอไป แต่เป็นค่าที่ใกล้เคียงค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่สามารถยอมรับได้เท่านั้น จึงมีการพัฒนาเพื่อช่วยในการค้นหาค่าผลเฉลยให้ได้ใกล้เคียงค่าที่ดีที่สุด [9]

บทความนี้เสนอวิธีการประยุกต์ใช้เมมติกอัลกอริทึม (Memetic algorithms: MA) หรือวิธีไฮบริด ที่เป็นการผสมผสานระหว่างเจเนติกอัลกอริทึม(Genetic algorithm: GA) และซัฟเฟิลฟรอกลิปปีง(Shuffle frog-leaping algorithm: SFL) ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ในกรณีที่ทราบข้อมูลแรงบิดสูงสุด แรงบิดโหลดเต็มพิกัดและแรงบิดเริ่มหมุน โดยได้ทดสอบวิธีการดังกล่าวกับมอเตอร์แบบจำลองในคอมพิวเตอร์ และมอเตอร์จริงในห้องปฏิบัติการ ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบไร้อโหลดและทดสอบยัดโรเตอร์

2. สมการวัตถุประสงค์ในการประมาณค่าพารามิเตอร์

การคำนวณหาพารามิเตอร์ในวงจรสมมูลในสภาวะคงตัวของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในการศึกษาครั้งนี้เป็นกรณีที่ทราบ

ค่าแรงบิดเต็มพิกัดโหลด(T_{flm}) แรงบิดขณะสตาร์ท(T_{stm}) ค่าแรงบิดสูงสุด(T_{maxm}) และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์(Pf_{flm}) ของมอเตอร์จากข้อมูลผู้ผลิต ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์หาได้จากผลของความผิดพลาดน้อยที่สุดจากการคำนวณและข้อมูลจากผู้ผลิต โดยใช้รูปแบบวงจรสมมูลตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรสมมูลของมอเตอร์ [7]

โดยที่

- R_1 คือ ความต้านทานขดลวดด้านสเตเตอร์
- R_2 คือ ความต้านทานขดลวดด้านโรเตอร์
- X_1 คือ ความต้านทานเหนี่ยวนำด้านสเตเตอร์
- X_2 คือ ความต้านทานเหนี่ยวนำด้านโรเตอร์
- X_m คือ ความต้านทานเหนี่ยวนำในแกนเหล็ก
- V_{ph} คือ แรงดันต่อเฟสที่ป้อนเข้ามอเตอร์
- s คือ ค่าสลิป

จากรูปวงจรสมมูลสามารถคำนวณหาค่าแรงบิดเต็มพิกัดโหลด(T_{flc}) จากสมการที่ (1)

$$T_{flc} = \frac{K_t R_2}{s \left[\left(R_{th} + \frac{R_2}{s} \right)^2 + (X_{th} + X_2)^2 \right]} \quad (1)$$

คำนวณหาค่าแรงบิดแรงบิดขณะสตาร์ท(T_{stc})จากสมการที่ (2)

$$T_{stc} = \frac{K_t R_2}{\left[(R_{th} + R_2)^2 + (X_{th} + X_2)^2 \right]} \quad (2)$$

คำนวณหาค่าแรงบิดสูงสุด(T_{maxc}) จากสมการที่ (3)

$$T_{maxc} = \frac{K_t}{2 \left[R_{th} + \sqrt{R_{th}^2 + (X_{th} + X_2)^2} \right]} \quad (3)$$

และคำนวณหาค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Pf_{flc}) จากสมการที่ (4)

$$Pf_{flc} = \cos \left(\tan^{-1} \left(\frac{(X_2 + X_{th})}{R_{th} + \frac{R_2}{s}} \right) \right) \quad (4)$$

เมื่อ

$$K_t = \frac{3V_{th}^2}{\omega_s} ; \quad V_{th} = \frac{V_{ph} X_m}{X_1 + X_m}$$

$$R_{th} = \frac{R_1 X_m}{X_1 + X_m} ; \quad X_{th} = \frac{X_1 X_m}{X_1 + X_m}$$

ดังนั้นสมการวัตถุประสงค์คำนวณได้จากสมการที่ (5)

$$\min F = f_1^2 + f_2^2 + f_3^2 + f_4^2 \quad (5)$$

โดยที่

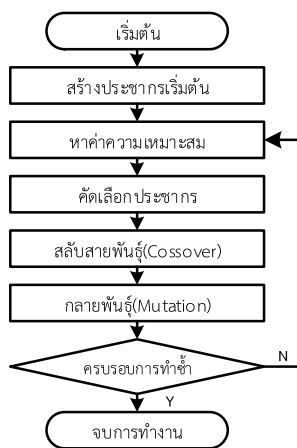
$$f_1 = \frac{T_{flm} - T_{flc}}{T_{flc}} ; \quad f_2 = \frac{T_{stm} - T_{stc}}{T_{stc}}$$

$$f_3 = \frac{T_{maxm} - T_{maxc}}{T_{maxc}} ; \quad f_4 = \frac{Pf_{flm} - Pf_{flc}}{Pf_{flc}}$$

3. การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยมีมติกอัลกอริทึม (MA) ซึ่งเป็นการผสมผสานระหว่างวิธีเจเนติกอัลกอริทึม (GA) กับ ซอฟต์แวร์ฟรอกลิปปิงอัลกอริทึม (SFL) โดยเปรียบกับวิธี GA และ SFL แบบดั้งเดิมในหัวข้อต่อไปนี้เป็นการกล่าวถึง ขั้นตอนวิธี GA ขั้นตอนวิธี SFL และขั้นตอนวิธี MA เพื่อให้เข้าใจการทำงานของแต่ละวิธีการ

3.1 เจเนติกอัลกอริทึม

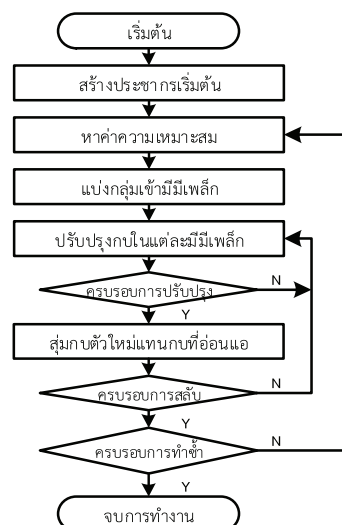


รูปที่ 2 ขั้นตอนของเจเนติกอัลกอริทึม (GA)

เจเนติกอัลกอริทึม (GA) เป็นวิธีการค้นหาคำตอบโดยมีพื้นฐานมาจากกระบวนการคัดเลือกตามธรรมชาติ (Natural selection) และ กระบวนการคัดเลือกทางพันธุศาสตร์ (Natural genetics selection) รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนของ GA เริ่มต้นจากการสร้างกลุ่มโครโมโซมซึ่งเป็นประชากรต้นแบบด้วยการสุ่ม ต่อมาคือกระบวนการเลือก (Selection) โดยทำการวิเคราะห์ค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมด้วยการคำนวณค่าความเหมาะสมจากฟังก์ชันความเหมาะสมหรือสมการวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ต่อมาคัดเลือกประชากรต้นแบบจากประชากรทั้งหมดถ้าโครโมโซมใดมีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีโอกาสถูกคัดเลือกเป็นต้นแบบมาก ขั้นตอนต่อมาคือกระบวนการทางพันธุกรรมเป็นการจับคู่ประชากรต้นแบบเข้าสู่กระบวนการสลับสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) เพื่อสร้างประชากรรุ่นใหม่ วนรอบทำซ้ำกระบวนการทั้งหมดตามรอบที่กำหนดไว้

3.2 ซอฟต์แวร์ฟรอกลิปปิงอัลกอริทึม

กระบวนการซอฟต์แวร์ฟรอกลิปปิงอัลกอริทึม (SFL) แสดงในรูปที่ 3 เริ่มต้นโดยการสุ่มประชากรกบซึ่งเปรียบเทียบกับโครโมโซมของ GA คำนวณค่าความเหมาะสมหรือความแข็งแรงของกบแต่ละตัว ผ่านสมการวัตถุประสงค์ จากนั้นแบ่งกลุ่มโดยเรียกแทนกลุ่มนั้นว่า มีมิเพล็กซ์ (Memeplex) ในการแบ่งกลุ่มจัดให้กบที่มีค่าความเหมาะสมหรือความแข็งแรงสูงสุดเป็นลำดับที่หนึ่ง กบตัวที่สองจัดให้อยู่ในมิมิเพล็กซ์ที่สอง ในแต่ละมิมิเพล็กซ์กบตัวใดมีค่าความเหมาะสมมากที่สุดแทนเป็น X_b และกบตัวใดมีค่าความเหมาะสมน้อยที่สุด แทนเป็น X_w ส่วน X_g คือกบที่มีค่าความเหมาะสมมากที่สุดของกบทั้งหมด



รูปที่ 3 ขั้นตอนของซอฟต์แวร์ฟรอกลิปปิงอัลกอริทึม (SFL)

จากนั้นทำการปรับปรุงค่าความเหมาะสมของกบตัวที่มีความเหมาะสมน้อยที่สุด X_w ให้มีความเหมาะสมมากขึ้นตามสมการที่ (6) และ (7)

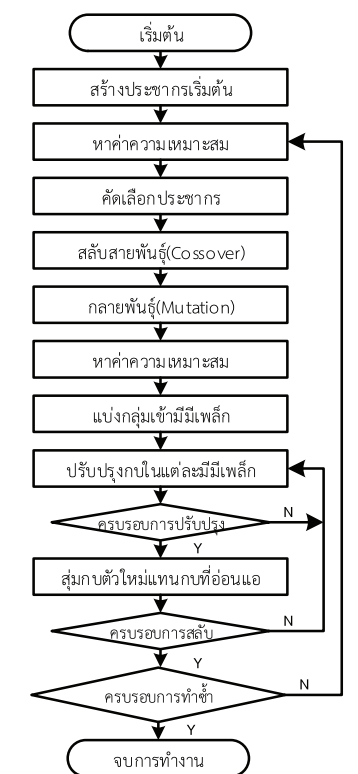
$$D_i = rand() * (X_b - X_w) \quad (6)$$

$$\text{ตำแหน่งใหม่ } X_w = \text{ตำแหน่งเก่าของ } X_w + D_i \quad (7)$$

ปรับปรุงตามรอบที่กำหนดหากปรับปรุงแล้วค่าความเหมาะสมไม่ดีเท่า X_g ให้กำจัดออกและสุ่มตัวใหม่เข้ามาแทนที่ทำจนครบทุกมีมีเพิลิกแล้ว จากนั้นก็นำมาสลับอีกครั้งโดยนำกบที่มีมีเพิลิกมาเรียงลำดับใหม่ทำซ้ำตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้เพื่อให้ได้ประชากรกบที่ดีที่สุดออกมา

3.3 มีมีติกอัลกอริทึม

งานวิจัยนี้เสนอการประยุกต์ใช้ MA ที่ใช้เทคนิค SFL ในการค้นหาเฉพาะที่เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ขั้นตอนของ MA คล้ายกับ GA โดยมีขั้นตอนเพิ่มขึ้นมาคือส่วนของการค้นหาเฉพาะที่หลังจากกระบวนการทางพันธุกรรม การทำงานของ MA แสดงในรูปที่ 4 โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 4 ขั้นตอนของวิธีมีมีติกอัลกอริทึม(MA)

1. สร้างประชากรเริ่มต้นด้วยการสุ่ม โดยกำหนดให้แต่ละโครโมโซมประกอบด้วยพารามิเตอร์ของมอเตอร์ห้าส่วนคือ

R_1	R_2	X_1	X_2	X_m
-------	-------	-------	-------	-------

2. คำนวณค่าความเหมาะสมจากสมการวัตถุประสงค์หรือสมการที่ (5)

3. คัดเลือกประชากรต้นแบบจากประชากรทั้งหมด โดยโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมดีที่สุดมีโอกาสถูกเลือกมากที่สุด

4. จับคู่เพื่อเข้ากระบวนการทางพันธุกรรมคือการสลับสายพันธุ (Crossover) และการกลายพันธุ์(Mutation) เพื่อสร้างประชากรรุ่นใหม่

5. คำนวณค่าความเหมาะสมของประชากรรุ่นใหม่จากสมการวัตถุประสงค์หรือสมการที่ (5)

6. แปลงโครโมโซมของ GA เป็นประชากรกบเพื่อแบ่งประชากรกบทั้งหมดเข้ากลุ่ม มีมีเพิลิก

7. ปรับปรุงความแข็งแรงของกบ X_w ในทุกมีมีเพิลิก ตามสมการที่ (6) หากค่าความเหมาะสมน้อยกว่า X_g ให้กำจัดกบตัวนั้นออกและสุ่มกบตัวใหม่เข้ามาแทน

8. สลับประชากรกบในมีมีเพิลิกและทำซ้ำกระบวนการที่ 5 ตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้

9. แปลงประชากรกบเป็นโครโมโซมเพื่อทำซ้ำกระบวนการที่ 2 ตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้

4. การทดลอง

วิธีการทดสอบการประมาณหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าสามเฟสด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ทำได้ด้วยการเขียนคำสั่งการทำงานของ GA SLF และ MA ตามโพลชาร์ตที่แสดงในรูปที่ 2 รูปที่ 3 และ รูปที่ 4 โดยในการทดสอบนี้แบ่งเป็น 2 กรณี คือ

การทดลองที่ 1

ทดสอบกับมอเตอร์ในแบบจำลองของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยเลือกมอเตอร์ขนาด 5.4 แรงม้า และ 10 แรงม้า ขับเคลื่อนด้วยแรงดันไฟฟ้า 400 V ความถี่ 50 Hz ค่าพารามิเตอร์ R_1, R_2, X_1, X_2 และ X_m ของมอเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 3 ค่าแรงบิดสูงสุด แรงบิดโหลดเต็มพิกัดและแรงบิดเริ่มหมุน คำนวณได้จากพารามิเตอร์ของมอเตอร์[10] แสดงไว้ในตารางที่ 1

การทดลองที่ 2

ทดสอบกับมอเตอร์สามเฟสในห้องปฏิบัติการเครื่องกลไฟฟ้า ขนาด 1 แรงม้าและ 2 แรงม้า ขับเคลื่อนด้วยแรงดันไฟฟ้า 380 V ความถี่ 50 Hz ค่าพารามิเตอร์ R_1, R_2, X_1, X_2 และ X_m ซึ่งหาได้จากการทดสอบไร้อโหลด ทดสอบยัดโรเตอร์ และการทดสอบจ่ายไฟกระแสตรง แสดงไว้ในตารางที่ 4 ค่าแรงบิดสูงสุด แรงบิดโหลดเต็มพิกัดและแรงบิดเริ่มหมุน หาได้จากข้อมูลของผู้ผลิตมอเตอร์ แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของมอเตอร์แบบจำลองที่ใช้ทดสอบ

ข้อมูลจำเพาะ	แบบจำลอง	
	M1	M2
กำลังไฟฟ้า (HP)	5.4	10
แรงดันไฟฟ้า (V)	400	400
กระแสไฟฟ้า (A)	8.4	13.2
ตัวประกอบกำลัง (Pf)	0.75	0.8
ความถี่ (Hz)	50	50
ความเร็วรอบ(rpm)	1430	1440
จำนวนขั้ว	4	4
แรงบิดโหลดเต็ม(Nm)	28.42	48.17
แรงบิดเริ่มต้น(Nm)	64.57	125.92
แรงบิดสูงสุด(Nm)	91.41	176.98

ตารางที่ 2 ข้อมูลจำเพาะของมอเตอร์จริงที่ใช้ทดสอบ

ข้อมูลจำเพาะ	มอเตอร์จริง	
	M3	M4
กำลังไฟฟ้า (HP)	1	2
แรงดันไฟฟ้า (V)	380	380
กระแสไฟฟ้า (A)	1.9	3.7
ตัวประกอบกำลัง (Pf)	0.8	0.8
ความถี่ (Hz)	50	50
ความเร็วรอบ(rpm)	1400	1400
จำนวนขั้ว	4	4
แรงบิดโหลดเต็ม(Nm)	5.83	10.10
แรงบิดเริ่มต้น(Nm)	11.78	16.47
แรงบิดสูงสุด(Nm)	15.10	23.87

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ในวงจรสมมูลของมอเตอร์แบบจำลอง

ค่าพารามิเตอร์	M1	M2
$R_1 (\Omega)$	1.405	0.7384
$R_2 (\Omega)$	1.395	0.7402
$X_1 (\Omega)$	1.833	0.9566
$X_2 (\Omega)$	1.833	0.9566
$X_m (\Omega)$	54.07	39.987

ตารางที่ 4 พารามิเตอร์ในวงจรสมมูลของมอเตอร์จริงที่ได้จากการทดสอบไร้อโหลด ทดสอบยัดโรเตอร์

ค่าพารามิเตอร์	M3	M4
$R_1 (\Omega)$	8.56	4.16
$R_2 (\Omega)$	8.52	4.79
$X_1 (\Omega)$	7.47	5.24
$X_2 (\Omega)$	11.21	7.87
$X_m (\Omega)$	219.93	101.03

ตารางที่ 5 พารามิเตอร์ของ GA SFL และ MA ที่ใช้ในการทดสอบ

Parameters	GA	SFL	MA
Population size	100	100	100
Generations	1000	1000	1000
Crossover rate	0.8	-	0.8
Mutation rate	0.05	-	0.05
Memeplex Size	-	20	20
Number of Memeplexes	-	5	5

5. ผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ทำการเปรียบเทียบการประมาณค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสระหว่าง GA SFL และ MA โดยตารางที่ 5 คือค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของอัลกอริทึมทั้งสาม

ผลการทดลองที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้ของมอเตอร์ ขนาด 5.4 HP และ ขนาด 10 HP แสดงในตารางที่ 6 และตารางที่ 8 ตามลำดับ จากผลการทดลองค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์จำลองขนาด 5.4 แรงม้า ผลที่ได้จาก MA มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด(MPE) ต่ำที่สุดคือ 0.63% รองลงมาคือ SFL 0.72% และ GA 2.10 % ส่วนมอเตอร์จำลองขนาด 10 แรงม้าผล

จาก SFL มีความผิดพลาดเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 0.91% รองลงมาคือ MA 0.93% และ GA 1.80 %

ตารางที่ 7 และตารางที่ 9 แสดงค่าแรงบิดจากพารามิเตอร์ที่ประมาณได้ของมอเตอร์ขนาด 5.4 แรงม้า และ 10 แรงม้า ตามลำดับ จากตารางพบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของ MA ต่ำที่สุด รูปที่ 5 และ 8 แสดงกราฟความผิดพลาดของแรงบิดเต็มพิกัดโหลด แรงบิดขณะสตาร์ท และค่าแรงบิดสูงสุดจากการคำนวณ

ตารางที่ 6 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์มอเตอร์ขนาด 5.4 HP

พารามิเตอร์		GA	SFL	MA
R_1	Estimated	1.368	1.406	1.404
	Error%	2.61	0.09	0.08
R_2	Estimated	1.378	1.398	1.393
	Error%	1.24	0.19	0.17
X_1	Estimated	1.826	1.836	1.831
	Error%	0.36	0.14	0.13
X_2	Estimated	1.826	1.836	1.831
	Error%	0.36	0.14	0.13
X_m	Estimated	50.857	55.721	52.647
	Error%	5.94	3.05	2.63
MPE%		2.10	0.72	0.63

ตารางที่ 7 ค่าแรงบิดจากการประมาณของมอเตอร์ 5.4 HP

แรงบิด		GA	SFL	MA
T_{fl}	Estimated	28.48	28.49	28.35
	Error%	0.24	0.24	0.25
T_{st}	Estimated	64.56	64.6	64.58
	Error%	0.02	0.04	0.01
T_{max}	Estimated	92.09	91.91	91.51
	Error%	0.75	0.56	0.11
MPE%		0.34	0.28	0.12

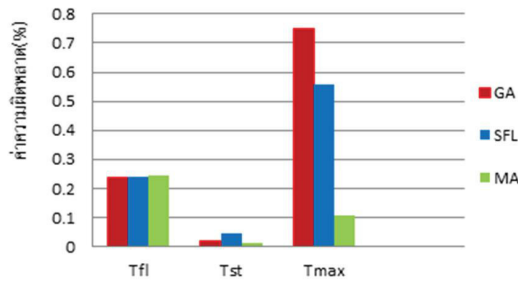
เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสของโรเตอร์กับ สลิปของมอเตอร์ขนาด 5.4 แรงม้า และ 10 แรงม้า แสดงในรูปที่ 6 และ 9 จากกราฟพบว่าการทดสอบมอเตอร์ 5.4 แรงม้า ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจาก MA น้อยที่สุดเท่ากับ 0.07% ขณะที่มอเตอร์ 10 แรงม้า ผลจาก SFL มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.01% เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับ สลิปของมอเตอร์ที่แสดงในรูปที่ 7 และรูปที่ 10

ตารางที่ 8 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์มอเตอร์ขนาด 10 HP

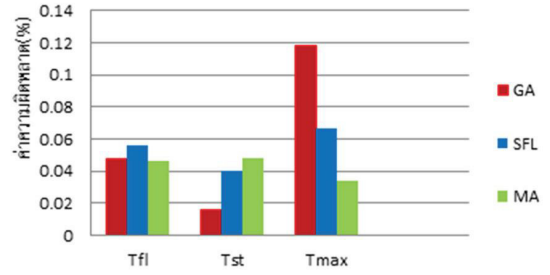
พารามิเตอร์		GA	SFL	MA
R_1	Estimated	0.734	0.737	0.739
	Error%	0.57	0.14	0.08
R_2	Estimated	0.738	0.739	0.742
	Error%	0.35	0.18	0.25
X_1	Estimated	0.955	0.955	0.959
	Error%	0.14	0.12	0.2
X_2	Estimated	0.955	0.955	0.959
	Error%	0.14	0.12	0.2
X_m	Estimated	36.866	38.393	38.413
	Error%	7.81	3.99	3.94
MPE%		1.80	0.91	0.93

ตารางที่ 9 ค่าแรงบิดจากการประมาณของมอเตอร์ 10 HP

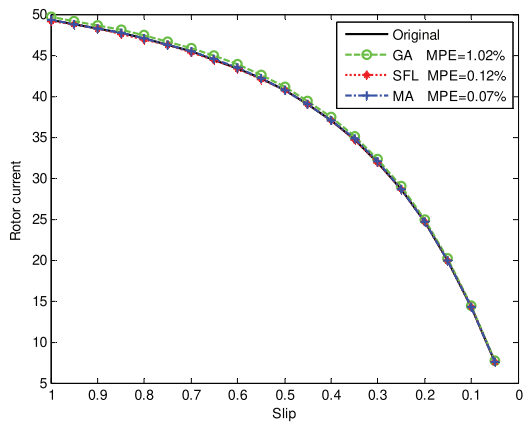
แรงบิด		GA	SFL	MA
T_{fl}	Estimated	48.26	48.26	48.26
	Error%	0.05	0.06	0.05
T_{st}	Estimated	125.94	125.97	125.86
	Error%	0.02	0.04	0.05
T_{max}	Estimated	177.85	177.76	177.7
	Error%	0.12	0.07	0.03
MPE%		0.06	0.06	0.04



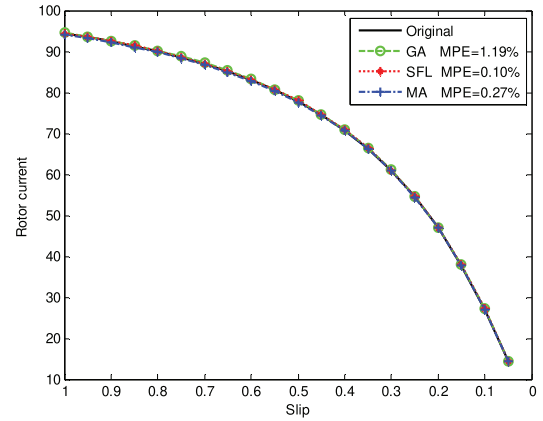
รูปที่ 5 การเปรียบเทียบความผิดพลาดของแรงบิด
ของมอเตอร์ขนาด 5.4 แรงม้า



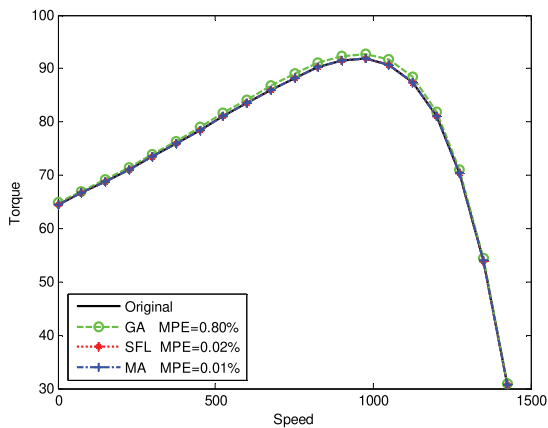
รูปที่ 8 การเปรียบเทียบความผิดพลาดของแรงบิด
ของมอเตอร์ขนาด 10 แรงม้า



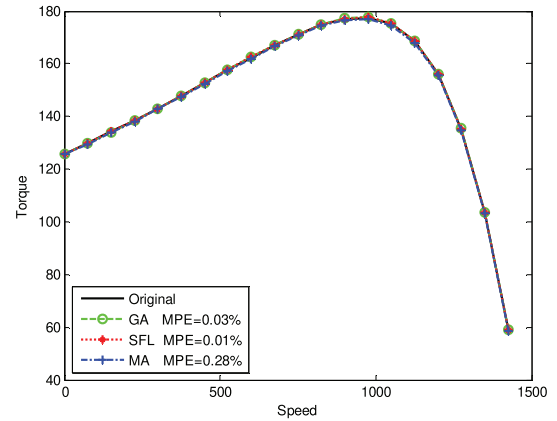
รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสโรเตอร์กับสลลล
ของมอเตอร์ขนาด 5.4 แรงม้า



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสโรเตอร์กับสลลล
ของมอเตอร์ขนาด 10 แรงม้า



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ
ของมอเตอร์ขนาด 5.4 แรงม้า



รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ
ของมอเตอร์ขนาด 10 แรงม้า

ผลการทดลองที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณของมอเตอร์จริงขนาด 1 และ 2 แรงม้าแสดงในตารางที่ 10 และ 12 จากตารางแสดงให้เห็นว่ามอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ผลจาก SFL มีความผิดพลาดเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 6.38% รองลงมาคือ MA 6.70% และ GA 15.56 % ส่วนมอเตอร์ขนาด 2 แรงม้าผลจาก MA มีความผิดพลาดเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 0.76% รองลงมาคือ SFL 3.7% และ GA 11.40 % ค่าแรงบิดที่ประมาณได้ของมอเตอร์แสดงในตารางที่ 11 และ 13 กราฟความผิดพลาดของแรงบิดการคำนวณแสดงในรูปที่ 11 และรูปที่ 14

ตารางที่ 10 การประมาณค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ 1 HP

พารามิเตอร์		GA	SFL	MA
R_1	Estimated	8.52	8.62	8.58
	Error%	0.47	0.7	0.23
R_2	Estimated	8.57	8.63	8.55
	Error%	0.59	1.29	3.64
X_1	Estimated	5.18	6.51	6.5
	Error%	30.66	12.85	12.99
X_2	Estimated	13.57	12.33	12.21
	Error%	21.05	9.99	8.92
X_m	Estimated	164.9	235.48	202.95
	Error%	25.02	7.07	7.72
MPE%		15.56	6.38	6.70

เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสของโรเตอร์กับ สลิปของมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า และ 2 แรงม้า แสดงในรูปที่ 12 และ 15 จากกราฟพบว่าการทดสอบมอเตอร์ทั้งสองตัวค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจาก MA น้อยที่สุดเท่ากับ 0.28% และ 0.09% เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับ สลิปของมอเตอร์ที่แสดงในรูปที่ 13 และ 16 ส่วนในตารางที่ 14 แสดงค่าความเหมาะสม(Fitness)และเวลาในการคำนวณหาพารามิเตอร์ของแต่ละวิธี จากตาราง MA ได้ค่าความเหมาะสมน้อยกว่า GA และใช้เวลาน้อยกว่า SFL

ตารางที่ 12 การประมาณค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ 2 HP

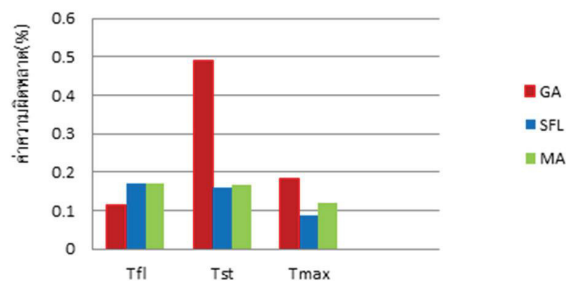
พารามิเตอร์		GA	SFL	MA
R_1	Estimated	4.14	4.14	4.17
	Error%	0.43	1.09	0.24
R_2	Estimated	4.74	4.73	4.8
	Error%	1.08	2.45	0.18
X_1	Estimated	6.03	4.93	5.27
	Error%	15.11	3.01	0.59
X_2	Estimated	6.95	8.41	7.86
	Error%	11.66	5.14	0.17
X_m	Estimated	130.07	106.76	103.67
	Error%	28.74	6.81	2.61
MPE%		11.40	3.70	0.76

ตารางที่ 11 ค่าแรงบิดต่างๆ ของมอเตอร์ 1 HP

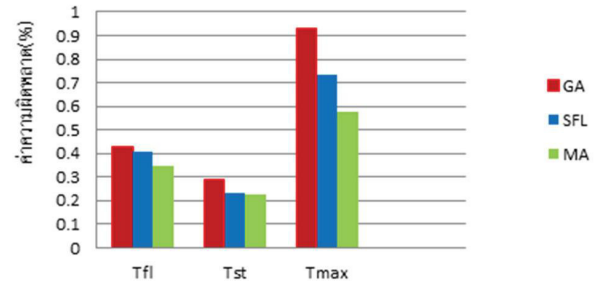
แรงบิด		GA	SFL	MA
T_{fl}	Estimated	5.83	5.84	5.84
	Error%	0.11	0.17	0.17
T_{st}	Estimated	11.72	11.64	11.7
	Error%	0.49	0.16	0.17
T_{max}	Estimated	15.12	15.08	15.11
	Error%	0.19	0.09	0.12
MPE%		0.26	0.14	0.15

ตารางที่ 13 ค่าแรงบิดต่างๆ ของมอเตอร์ 2 HP

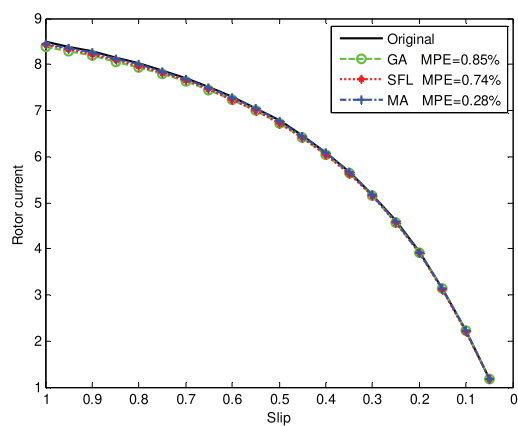
แรงบิด		GA	SFL	MA
T_{fl}	Estimated	10.15	10.14	10.14
	Error%	0.43	0.41	0.35
T_{st}	Estimated	16.52	16.43	16.43
	Error%	0.29	0.23	0.22
T_{max}	Estimated	24.09	24.05	24.01
	Error%	0.93	0.73	0.57
MPE%		0.55	0.46	0.38



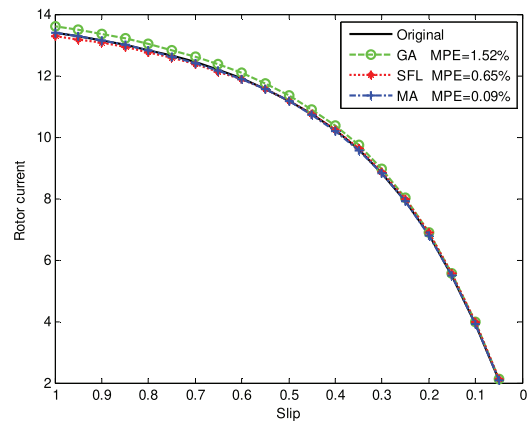
รูปที่ 11 การเปรียบเทียบความผิดพลาดของแรงบิด
ของมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า



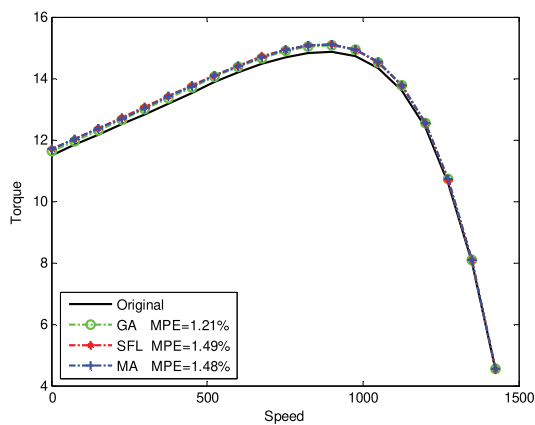
รูปที่ 14 การเปรียบเทียบความผิดพลาดของแรงบิด
ของมอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า



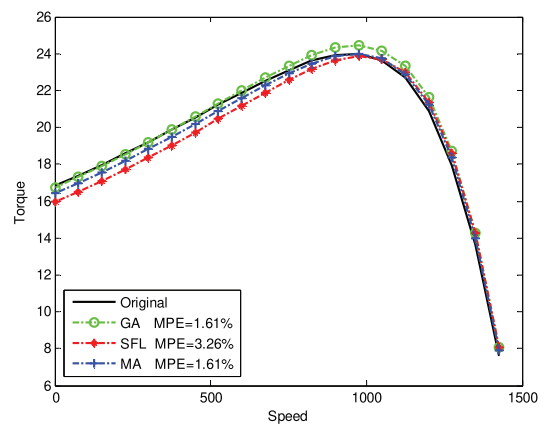
รูปที่ 12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสโรเตอร์กับสลลิป
ของมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า



รูปที่ 15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสโรเตอร์กับสลลิป
ของมอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า



รูปที่ 13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ
ของมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า



รูปที่ 16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ
ของมอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า

ตารางที่ 14 ค่าความเหมาะสมและเวลาในการคำนวณ

Motors	GA		SFL		MA	
	fitness	เวลา	fitness	เวลา	fitness	เวลา
M1	7.76×10^{-9}	1.9	6.35×10^{-12}	17.5	6.35×10^{-12}	15.9
M2	1.62×10^{-8}	1.9	6.76×10^{-10}	17.8	6.76×10^{-10}	15.1
M3	5.15×10^{-6}	1.7	1.24×10^{-11}	17.6	1.24×10^{-11}	16.7
M4	1.65×10^{-7}	1.8	9.31×10^{-11}	18.9	1.14×10^{-11}	17.1

5. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการประมาณค่าพารามิเตอร์ในวงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟส ในกรณีที่ทราบข้อมูลแรงบิดสูงสุด แรงบิดโหลดเต็มพิกัดและแรงบิดเริ่มหมุนเปรียบเทียบวิธีการสามวิธีคือ GA SFL และ MA โดยเทียบเคียงกับการหาพารามิเตอร์จากการทดสอบไ่ว์โหลดและทดสอบยึดโรเตอร์จากผลการทดลองพบว่า วิธี MA และ SFL สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ ได้ผลความผิดพลาดเฉลี่ยน้อยกว่าวิธี GA แต่ใช้เวลาในการคำนวณมากกว่า โดยการทดสอบกับแบบจำลองมอเตอร์ SFL มีความผิดพลาดเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.72% และในมอเตอร์จริง MA มีความผิดพลาดเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.76% ซึ่งจะเห็นว่าวิธี MA ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานเหมือนกับวิธี GA แต่เพิ่มความสามารถในการค้นหาเฉพาะที่เข้าไบนั้น หาผลเฉลี่ยได้ใกล้เคียงกับวิธี SFL แบบดั้งเดิมแต่เวลาในการคำนวณลดลงวิธีการหาพารามิเตอร์ที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ได้โดยสะดวกรวดเร็วไม่ต้องหยุดการทำงานของมอเตอร์หรือทดสอบในห้องปฏิบัติการ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับทุนวิจัยภายใต้โครงการส่งเสริมการผลิตผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย ที่ให้อุปกรณ์สถานที่ และเครื่องมือในการทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Treerong, J. (2010). Induction motor fault detection based on parameter identification using genetic algorithm. The Journal of KMUTNB, 20(3), 400-408.
- [2] Sakthivel, V. P., Bhuvaneswari, R., & Subramanian, S. (2010). Multi-objective parameter estimation of induction motor using particle swarm optimization. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 23, 302-312.
- [3] Reza Mohammadi, H., & Akhavan, A. (2014). Parameter estimation of three-phase induction motor using hybrid of genetic algorithm and particle swarm optimization. Journal of Engineering, 2014.
- [4] Duan, F. (2014). Induction motor parameters estimation and faults diagnosis using optimisation algorithms (Doctoral dissertation, The University of Adelaide, Australia). Retrieved from <https://digital.library.adelaide.edu.au/dspace/bitstream/2440/92052/3/02whole.pdf>
- [5] Jangjit, S., & Laohachai, P. (2009). Parameter estimation of three-phase induction motor by using genetic algorithm. Journal of Electrical Engineering & Technology, 4(3), 360-364.
- [6] Sakthivel, V. P., Bhuvaneswari, R., & Subramanian S. (2010). Artificial immune system for parameter estimation of induction motor. Expert Systems with Applications, 37, 6109–6115.
- [7] Gomez-Gonzalez, M., Jurado, F., & Perez I. (2012). Shuffled frog-leaping algorithm for parameter estimation of a double-cage asynchronous machine. IET Electric Power Applications, 6, 484–490.
- [8] Jamadi, M., & Merrikh-Bayat, F. (2014). New method for accurate parameter estimation of induction motors based on artificial bee colony algorithm. Retrieved from <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1402/1402.4423.pdf>
- [9] Chompum, S., Itthipong, P., & Pongcharoen, P. (2007). The application of shuffled frog-leaping technic to improve the performance of a memetic algorithm, Proceedings of National Operations Research Conference 2007, 162-174.
- [10] Fitzgerald, A. E. (2005). Electric machinery (6th ed.). New York: McGraw-Hill.