

การพัฒนาชุดสาธิตการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูบปิด ด้วยวงจรออปแอมป์

The Development of Close Loop DC Motor Speed Control Demonstration Set Using Op-amp Circuits

สมศักดิ์ ปาวรรณ*

Somsak Pawan*

*สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคลพบุรี สถาบันการอาชีวศึกษาภาคกลาง 2 ลพบุรี 15000

*Electrical Power Department, Lopburi Technical college,

Institute of Vocational Education : Central Region 2, Lopburi 15000

Received : January 18, 2019 Revised : February 18, 2019 Accepted : April 22, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาชุดสาธิต การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูบปิดด้วยวงจรออปแอมป์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดสาธิตการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูบปิด และเพื่อศึกษาความเหมาะสมของชุดสาธิตในการนำไปใช้ในการเรียนการสอน

การดำเนินงานเริ่มต้นจากการออกแบบชุดสาธิตในส่วนของพลานต์ที่ประกอบไปด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์มีแกนเพลาด้านหนึ่งต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อทำหน้าที่เป็นโหลดให้แก่มอเตอร์ และแกนเพลาด้านหนึ่งต่อเข้ากับเทคโคเจนเนอเรเตอร์ จากนั้นจึงทำการออกแบบชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังคือมอสเฟตกำลัง แล้วทำการทดสอบผลตอบแทนด้านความเร็วของพลานต์ในลักษณะลูบเปิด เพื่อนำมาหาค่าพารามิเตอร์สำหรับออกแบบตัวควบคุมในลูบปิด โดยใช้อุปกรณ์หลักในการออกแบบตัวควบคุมคือออปแอมป์เมื่อออกแบบ ตัวควบคุมเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงทำการทดสอบผลตอบแทนด้านความเร็วของระบบควบคุมแบบลูบปิด รวมถึงผลตอบแทนของความเร็วเมื่อมอเตอร์ได้รับการทางกล โดยทำการเปรียบเทียบกับลูบเปิดเพื่อเปรียบเทียบให้ผู้เรียนเห็นความแตกต่าง

ผลการดำเนินงานพบว่า ชุดสาธิตที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นสามารถแสดงผลตอบแทนด้านความเร็วรอบของมอเตอร์ต่อสัญญาณขึ้นทั้งลูบเปิดและลูบปิด รวมถึงผลตอบแทนของความเร็วขณะรับภาระทางกล แบบทันทีทันใดสอดคล้องกับทฤษฎี และเมื่อนำชุดสาธิตดังกล่าวไปให้

*สมศักดิ์ ปาวรรณ

E-mail : spw4223@gmail.com

ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่านทำการประเมินความเหมาะสมของชุดสาธิต ผลการประเมินชุดสาธิตโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่ามีความเหมาะสมในระดับดี (ค่าเฉลี่ย 4.26 ตามมาตรวัดประเมินค่าของไลเกอร์ 5 ระดับ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.82)

คำสำคัญ : ชุดสาธิต, การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง, การควบคุมแบบลูบปิด

Abstract

The research objectives was to develop a demonstration set in which the close loop DC motor speed control via op-amp circuit and to study the suitability of the demonstration set as the teaching and learning tool.

The demonstration set was designed in the part of plant, consisting of DC motor with voltage rating of 24 volts. One shaft was connected to the DC generator while the other shaft was connected to the Techo-generator. Subsequently, electric motor drive set was created using power MOSFET. The response speed of the plant was tested in open loop to find out parameter which can be used to design the controller in the close loop. Op-amp was used as a main device in the design of controller. Then the designed controller with close loop speed control system was tested for its speed response with and without receiving

mechanical load. The results were compared between close and open loop to help learners see the differences.

This study showed that motor speed in demonstration set created by the researcher responded well to the step response in both open and close loop with similar and immediate response speed while receiving the mechanical load.

The designed demonstration set were used 5 expert instructors to evaluate suitability for teaching and learning tool. The average assessment score was at good level (mean as 4.26, according to 5 levels of Likert's rating and standard deviation as 0.82)

Keywords : Demonstration Set, Motor speed control, Close loop Control

1. บทนำ

ในปัจจุบันมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานต่าง ๆ หรือในอุปกรณ์ที่ใช้งานในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าทางด้านการแพทย์และทางด้านเครื่องจักรกลอุตสาหกรรมล้วนแต่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบสำคัญ จึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญต่อระบบขับเคลื่อนที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ได้ไม่เพียงแต่ขับเคลื่อนเพียงอย่างเดียว ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ก็มีส่วนสำคัญต่องานที่ใช้ความละเอียดงานที่ต้องการความเร็วที่เหมาะสม ดังนั้นมอเตอร์ที่มีการควบคุมที่ง่ายเหมาะกับงานที่ต้องการปรับความเร็วที่กว้างและมีแรงบิดที่เกือบจะคงที่ทุกย่านความเร็วนั้นคือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่สามารถแปลงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกลโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ ดังนั้นการศึกษาเรื่องของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงกลายเป็นปัจจัยหลักสำคัญ เนื่องจากเป็นหลักการพื้นฐานเบื้องต้นในการเรียนรู้การควบคุมมอเตอร์แบบลูปปิด (Close Loop) และสามารถต่อยอดความรู้ไปจนถึงการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับได้ ดังนั้นในการจะนำระบบควบคุมไปใช้งานจริงนั้น ผู้เรียนควรที่จะมีความรู้และทักษะในการทำการจำลองการทำงานตลอดจนการปรับตั้ง (Tuning) ตัวควบคุมของระบบรวมถึงทำนายพฤติกรรมที่จะเกิดขึ้นกับการทำงานของ

มอเตอร์และระบบการควบคุมได้อย่างถูกต้อง (พรจิต ปรทุมสุวรรณ, 2555)

ในการควบคุมระบบต่าง ๆ โดยทั่วไป จะต้องมีการวิเคราะห์และทำการออกแบบตัวควบคุม (Controller) โดยผ่านกระบวนการของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematic Model) ซึ่งในกระบวนการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะต้องทำความเข้าใจจากการใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูงมาวิเคราะห์ จึงทำให้ผู้เรียนบางส่วนที่มีพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ไม่ดีนัก ไม่สามารถเข้าใจหลักการออกแบบตัวควบคุมได้อย่างลึกซึ้ง แต่หากให้ผู้เรียนได้เห็นผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้น (Step Response) ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และทำการออกแบบตัวควบคุมจากผลตอบสนองในลูปเปิด (Open Loop) นี้ ก็จะเป็นการง่ายต่อการทำความเข้าใจของผู้เรียน แต่หากให้ทดสอบกับมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้งานจริงอาจเกิดอันตรายกับผู้ใช้งานได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการจัดทำชุดสาธิตการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิดโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำพวกออปแอมป์เป็นตัวควบคุม จะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจพฤติกรรมของตัวควบคุมและมีความปลอดภัยกับผู้ใช้งาน

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาชุดสาธิตการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิดด้วยวงจรออปแอมป์

2.2 เพื่อศึกษาความเหมาะสมของชุดสาธิตการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิดด้วยวงจรออปแอมป์ในการนำไปใช้ในการเรียนการสอน

3. สมมติฐานของการวิจัย

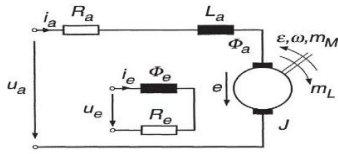
ความเหมาะสมของชุดสาธิตในการนำไปใช้ในการเรียนการสอนจากแบบประเมินความพึงพอใจที่มีต่อชุดสาธิตการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิดด้วยวงจรออปแอมป์จากผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดีขึ้นไป (ค่าเฉลี่ยมากกว่า 3.5 ตามมาตรวัดประเมินค่าของไลเกอร์ 5 ระดับ)

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

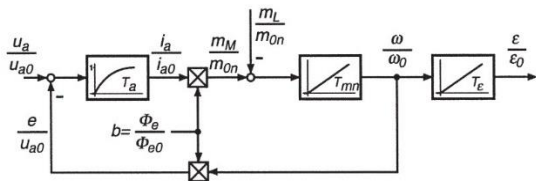
4.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบการควบคุมระบบโดยทั่วไปจะต้องทราบตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบเสียก่อนซึ่ง Schematic Diagram ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแสดงดังภาพที่ 1 และสามารถเขียนเป็นแผนภาพบล็อก (Block Diagram) ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามไฟฟ้าเป็นแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Field) ได้ดังภาพที่ 2

(นิรุจน์ ลักษณะ และศักดิ์ดา ธนาสุวรรณ, 2555)



ภาพที่ 1 ภาพแสดง Schematic Diagram ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก



ภาพที่ 2 ภาพแสดงแผนภาพบล็อกตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามแม่เหล็กถาวร

จากแผนภาพบล็อกดังภาพที่ 2 นำมาเขียนเป็นฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) $F(s) = \frac{\omega'}{V_a}$ ได้ตามสมการ (1)

$$F(s) = K_{dcm} \cdot \left[\frac{1}{\frac{T_a T_m s^2 + T_m s + 1}{b^2}} \right] \quad (1)$$

โดยที่

K_{dcm} คือ ค่าคงที่, $K_{dcm} = \frac{1}{b}$

T_a คือ ค่าเวลาคงตัวทางไฟฟ้า (วินาที)

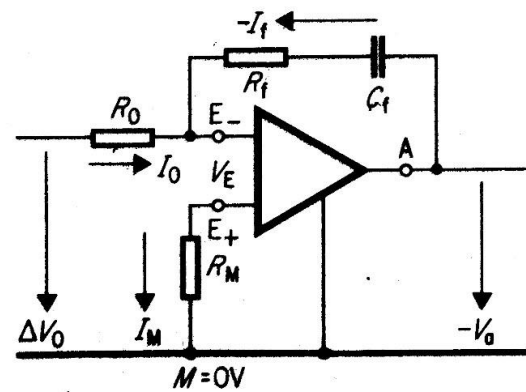
T_m คือ ค่าเวลาคงตัวทางกล (วินาที)

จากสมการ (1) จะเห็นได้ว่าแผนภาพบล็อกของตัวแบบทางคณิตศาสตร์การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามไฟฟ้าเป็นแม่เหล็กถาวรเป็นระบบลำดับสอง (2nd Order System) และหากกำหนดให้มีค่าคงที่ $b=1$ สมการที่ (1) จะเปลี่ยนรูปเป็น

$$F(s) = \left[\frac{1}{T_a T_m s^2 + T_m s + 1} \right] \quad (2)$$

เมื่อใช้วิธีการควบคุมแบบป้อนกลับ (Close Loop) โดยใช้การป้อนกลับจากเทคนิคเอนเนอร์เรเตอร์สามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม (Controller) โดยใช้โอปแอมป์ได้ดังนี้

ตัวควบคุมแบบพีไอ (PI Controller) เขียนเป็นวงจรโอปแอมป์ได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ภาพแสดงวงจรโอปแอมป์ของตัวควบคุมแบบพีไอ

โดยมีสมการของตัวควบคุมแบบพีไอดังนี้

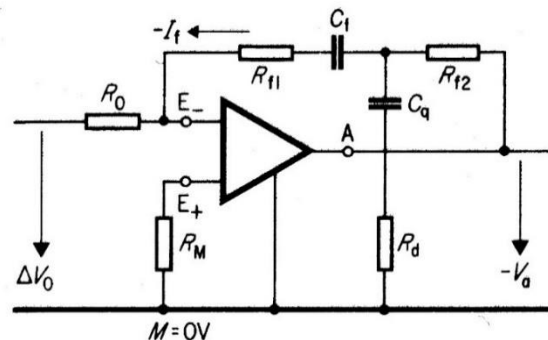
$$F_R(s) = \frac{-V_a(s)}{\Delta V_0(s)} = \frac{R_f}{R_0} + \frac{1}{s R_0 C_f} = A_R + \frac{1}{s T_I} \quad (3)$$

ดังนั้นหากทราบค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมคือ อัตราการขยาย A_R และเวลาในการอินทิเกรต T_I ก็จะสามารถสร้างตัวควบคุมแบบพีไอโดยใช้โอปแอมป์ได้

ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller) เขียนเป็นวงจรได้ดังภาพที่ 4

โดยมีสมการของตัวควบคุมแบบพีไอดังนี้

$$F_R(s) = \frac{-V_a(s)}{\Delta V_0(s)} = A_R \cdot \frac{(1+sT_n)(1+sT_v)}{sT_n(1+sT_d)} \quad (4)$$



ภาพที่ 4 ภาพแสดงวงจรโอปแอมป์ของตัวควบคุมแบบพีไอดี

โดยที่

$$A_R = R_{f1}/R_0$$

$$T_I = R_0 C_f$$

$$T_n = R_{f1} C_f$$

$$T_v = R_{f2} C_q$$

$$t_d = R_d C_q$$

4.2 วิธีดำเนินการวิจัย

เริ่มต้นจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาชุดสาธิตการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

รวมถึงทฤษฎีการออกแบบการควบคุมแบบลูปปิด จากนั้นจึงเริ่มต้นสร้างพลาเน็ต (Plant) ที่ประกอบไปด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 0.35 แอมป์แสดงดังภาพที่ 5 จากนั้นนำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงดังภาพที่ 5 มาต่อร่วมกับเพลาเดียวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์เพื่อทำเป็นโหลดทางกล และที่เพลาอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับเทคโคเจนเนอเรเตอร์ (Techogenerator) ขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ เพื่อทำการป้อนกลับความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าในรูปของแรงดันไฟฟ้าระบบพลาเน็ตดังที่ได้อธิบายมาแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 ภาพแสดงต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์



ภาพที่ 6 ภาพแสดงพลาเน็ตของระบบการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

หลังจากที่ดำเนินการออกแบบและสร้างพลาเน็ตเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการออกแบบและสร้างบอร์ดขับเคลื่อนทางไฟฟ้า (Electric Drive) งานวิจัยนี้เลือกใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นชุดมอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) จำนวน 4 ตัวต่อกันแบบบริดจ์เต็ม (Full Bridge) ซึ่งสามารถทำให้การควบคุมมอเตอร์ทำได้ครบทั้ง 4 ภาค (4 Quadrant) มีวงจรเชื่อมโยงทางแสงเป็นไอซีออปโตคัปเปิล (Opto Couple) เพื่อทำการแยกโดด

(Isolation) ระหว่างภาคควบคุมออกจากภาคกำลังแสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ภาพแสดงบอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อออกแบบและสร้างบอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงนำไปทดสอบวัดหาค่าผลตอบแทนต่อสัญญาณโดยใช้บอร์ดขับเคลื่อนที่สร้างขึ้นเป็นชุดขับพลาเน็ต จากนั้นจึงทำการวัดหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจากวิธีการของ CHR (Chien-Hrones and Reswick) เพื่อนำค่าดังกล่าวไปออกแบบตัวควบคุมต่อไป

เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแล้วจึงใช้สมการที่ (3) และ (4) เพื่อออกแบบวงจรไฟฟ้าของตัวควบคุมโดยใช้โอปแอมป์ จากนั้นจึงทำการทดสอบและประกอบลงกล่อง แสดงดังภาพที่ 8 แล้วจึงให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสมของชุดสาคิตต่อไป



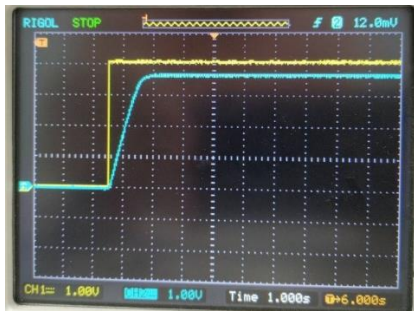
ภาพที่ 8 ภาพแสดงการทดสอบชุดสาคิตการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูปปิด

5. ผลการวิจัย

หลังจากที่ดำเนินการสร้างชุดสาคิตเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก่อนที่จะนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน ประเมินความเหมาะสมของชุดสาคิต ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบผลตอบแทนต่อสัญญาณ

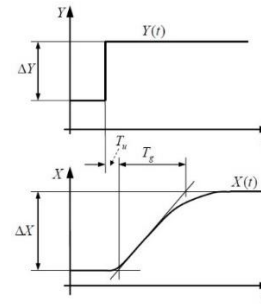
ทั้งในส่วนของลูปเปิด, ลูปปิด และการรับภาระทางกล โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 ผลตอบสนองความถี่รอบของมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงต่อสัญญาณขึ้น ขณะลูปเปิด การทดสอบ ดำเนินการโดยการป้อนสัญญาณขึ้นให้แก่บอร์ดขับเคลื่อน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยไม่มีตัวควบคุม แล้ววัด ผลตอบสนองจากเทคโคเจนเนอร์เรเตอร์เปรียบเทียบกับ สัญญาณขึ้นจากอินพุตแสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ภาพแสดงผลตอบสนองความถี่รอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงต่อสัญญาณขึ้นขณะลูปเปิด

จากภาพที่ 9 ทำการวัดค่าเวลา T_u และ T_g ดังภาพที่ 10 เพื่อนำไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของ ตัวควบคุมตามตารางของ CHR ที่แสดงในตารางที่ 1



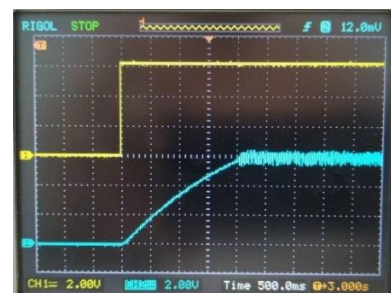
ภาพที่ 10 ภาพแสดงการหาค่าเวลา T_u และ T_g จากผลตอบสนองต่อสัญญาณขึ้นขณะลูปเปิด

จากตารางที่ 1 เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์แล้วขั้นตอนต่อไปคือการนำไปกำหนดค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุของออปแอมป์ที่ใช้เป็นตัวควบคุมตามสมการ (3) และ (4) จากนั้นจึงทำการทดสอบผลตอบสนองความถี่รอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงต่อสัญญาณขึ้นขณะลูปปิดต่อไป

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ตัวควบคุมตามวิธีของ CHR

ตัวควบคุม	ค่าพารามิเตอร์เมื่อให้มีค่าฟังก์เกิน 0%		
	K_P	T_n	T_v
พี	$\frac{0.3 T_g}{K_s T_u}$	-	-
พีไอ	$\frac{0.35 T_g}{K_s T_u}$	$1.2 \times T_g$	-
พีไอดี	$\frac{0.6 T_g}{K_s T_u}$	T_g	$0.5 \times T_u$

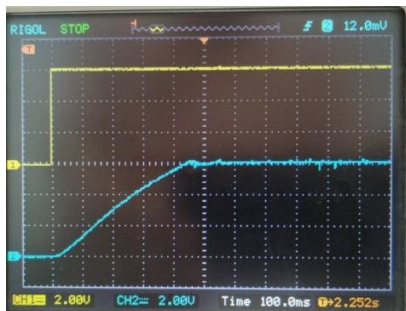
5.2 ผลตอบสนองความถี่รอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงต่อสัญญาณขึ้นขณะลูปปิด ดำเนินการ โดยเชื่อมต่อชุดสาธิตให้เป็นลูปปิดจากนั้นทำการวัด สัญญาณผลตอบสนองความถี่จากเปรียบเทียบกับ สัญญาณขึ้นที่ส่งไปที่อินพุตโดยเลือกใช้เป็นตัวควบคุม แบบพี, พีไอ และ พีไอดี แสดงดังภาพที่ 11, 12 และ 13 ตามลำดับ



ภาพที่ 11 ภาพแสดงผลตอบสนองความถี่รอบของมอเตอร์ต่อสัญญาณขึ้นขณะลูปปิด : ตัวควบคุมพี



ภาพที่ 12 ภาพแสดงผลตอบสนองความเร็วรอบของมอเตอร์ต่อสัญญาณขั้นขณะลูปปิด : ตัวควบคุมพีไอ

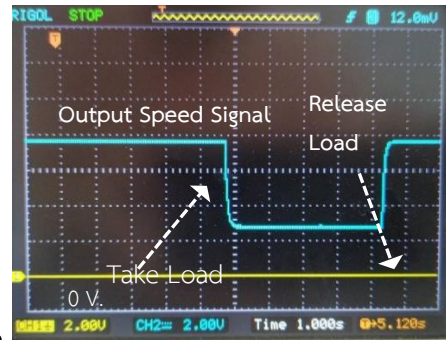


ภาพที่ 13 ภาพแสดงผลตอบสนองความเร็วรอบของมอเตอร์ต่อสัญญาณขั้นขณะลูปปิด : ตัวควบคุมพีไอดี

จากภาพที่ 11 จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองความเร็วรอบของมอเตอร์ต่อสัญญาณขั้น เกิดค่าความผิดพลาด (Error) ขึ้นระหว่างความเร็วรอบที่เอาต์พุตของมอเตอร์กับสัญญาณคำสั่ง (Command Signal) แต่หากปรับให้ค่าอัตราขยายสูงมากไป อาจทำให้เกิดการแกว่ง (Oscillate) ที่ด้านเอาต์พุตได้แต่ค่าความผิดพลาดดังกล่าวสามารถทำให้หายไปได้ด้วยการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ ดังภาพที่ 12 ขณะเดียวกันเมื่อนำตัวควบคุมแบบพีไอดีมาใช้งานดังภาพที่ 13 กลับพบว่าความเร็วรอบที่เอาต์พุตของมอเตอร์เกิดมีค่าพุ่งเกิน (Overshoot) เกิดขึ้นซึ่งคือข้อจำกัดของตัวควบคุมแต่ละแบบนั่นเอง

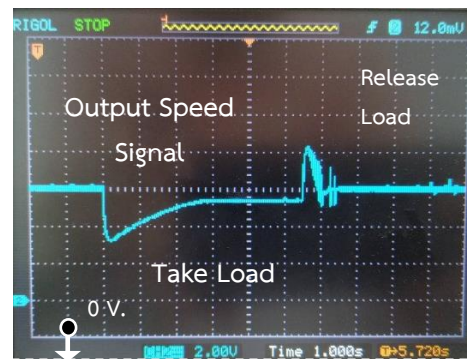
5.3 การรับภาระทางกลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
ทำการทดสอบโดยการจ่ายภาระทางไฟฟ้า (โหลดไฟฟ้จำนวน 3 หลอด) ให้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่

ต่อร่วมเพลาเดียวกันกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแสดงดังภาพที่ 14 กรณีลูปเปิด และภาพที่ 15 เป็นกรณีลูปปิด



ภาพที่ 14 ภาพแสดงการรับภาระทางกลทันทีทันใดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขณะลูปเปิด

การจ่ายภาระจะใช้การปิด (Close) สวิตซ์ทันทีทันใดซึ่งเปรียบเสมือนการจ่ายภาระเป็นสัญญาณขั้นนั่นเองเมื่อเปรียบเทียบภาพที่ 14 และ 15 จะเห็นได้ว่าการควบคุมแบบลูปปิดมีการรักษา (Regulation) ความเร็วรอบของมอเตอร์ให้มีค่าคงที่แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงภาระซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีระบบการควบคุม



ภาพที่ 15 ภาพแสดงการรับภาระทางกลทันทีทันใดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขณะลูปปิด

5.4 ผลการประเมินความเหมาะสมของชุดสาธิตจากผู้เชี่ยวชาญ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยจากการประเมินชุดสาธิต

รายการประเมินชุดสาธิต	ผลเฉลี่ย	แปลความ
ด้านการออกแบบชุดสาธิต		
1.1 ชุดสาธิตมีขนาดเหมาะสม	4.4	ระดับดี
1.2 ความปลอดภัยในการใช้ขณะทำการสาธิต	4.6	ระดับดีมาก
1.3 ความเหมาะสมของการจัดตำแหน่งอุปกรณ์ต่าง ๆ บนชุดสาธิต	4.4	ระดับดี
1.4 ความแข็งแรงของชุดสาธิต	4.2	ระดับดี
1.5 ความสะดวกในการติดตั้งและถอดเก็บเมื่อเสร็จการสาธิต	4.2	ระดับดี
1.6 ความสะดวกในการบำรุงรักษา	4	ระดับดี
1.7 วัสดุที่ใช้ในการผลิตชุดประลองที่มีความเหมาะสม	4.2	ระดับดี
เฉลี่ยความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ	4.26	ระดับดี

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยรวมจาก 7 หัวข้อที่ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่านทำการประเมินมีค่า 4.26 ที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) 0.82 แปลผลได้ว่าชุดสาธิตที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีความเหมาะสมในระดับดี ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้

6. สรุปผลการวิจัย

ชุดสาธิตที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นสามารถแสดงผลตอบสนองด้านความเร็วรอบของมอเตอร์ต่อสัญญาณขึ้นทั้งลูบเปิดและลูบปิด รวมถึงผลตอบสนองของความเร็วขณะรับภาระทางกล แบบทันทีทันใดสอดคล้องกับทฤษฎี และเมื่อนำชุดสาธิตดังกล่าวไปให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่านทำการประเมินความเหมาะสมของชุดสาธิตผลการประเมินชุดสาธิตโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า มีความเหมาะสมในระดับดี (ค่าเฉลี่ย 4.26 ตามมาตรวัดประเมินค่าของโลเกิร์ต 5 ระดับ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.82)

7. การอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยการพัฒนาชุดสาธิตการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูบปิดด้วยวงจรออปแอมป์นั้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ ยुरาพร ผดุงกรณ์, เอกกมล บุญยะพลานันท์ และพูนศักดิ์ โกษิยาภรณ์ (2560, หน้า 61-66) ที่ใช้รูปแบบการเขียนโปรแกรมภาษารูปภาพแทนการเขียนโปรแกรมที่เป็นตัวอักษรทำให้ผู้เรียนเข้าใจมากขึ้น นอกจากนี้ หากให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง จะช่วยให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจระบบที่ต้องใช้สมการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน สามารถเข้าใจพฤติกรรมของระบบและตัวควบคุมได้เป็นอย่างดี ซึ่งการใช้วงจรออปแอมป์ สามารถ

ทำให้ผู้เรียนเข้าใจพฤติกรรมและตัวควบคุมได้เป็นอย่างดี เนื่องจากผู้เรียนจะต้องทำการออกแบบตัวควบคุมจากพฤติกรรมของระบบ เมื่อทราบค่าก็สามารถนำมาออกแบบตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุให้แก่ออปแอมป์ก็สามารถสร้างตัวควบคุมได้เลย ทำให้การออกแบบสามารถทำได้ง่าย เหมาะกับผู้เรียนสายอาชีวศึกษาแต่สามารถเข้าใจพฤติกรรม รวมถึงผลตอบสนองจากตัวควบคุมสอดคล้องกับทฤษฎี ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจการควบคุมระบบได้อย่างแท้จริงผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ พัสกร พูลสวัสดิ์ (2560) ได้ศึกษาเรื่องการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรออปแอมป์ ทดสอบด้วยมอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร จากผลการทดลองจะเห็นว่าความเร็วที่สามารถควบคุมได้จะอยู่ในช่วง 1500 รอบต่อนาทีถึง -1500 รอบต่อนาทีและสามารถควบคุมเร็วมอเตอร์ตามโปรไฟล์ของความเร็วได้

8. ข้อเสนอแนะ

การดำเนินการพัฒนาชุดสาธิตการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลูบปิดด้วยวงจรออปแอมป์ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทไวงาน (Active Device) มาประกอบเป็นตัวควบคุมทำให้ง่ายต่อการประยุกต์ใช้งานเพราะสามารถที่จะเลือกออกแบบให้มีค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมโดยการปรับเปลี่ยนค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเท่านั้น ขณะเดียวกันสามารถควบคุมระบบได้เช่นเดียวกับตัวควบคุมที่เป็นดิจิทัล แต่ราคาประหยัดกว่า ทำให้ผู้เรียนเห็นพฤติกรรมของตัวควบคุมได้ใกล้เคียงกับงานอุตสาหกรรม

จริงแต่ทั้งนี้ผู้วิจัยเลือกพลาตันต์เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงขนาดพิกัด 24 โวลต์เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งานชุดสาธิตทำให้อาจจะยังไม่เห็นผลตอบสนอง เหมือนกับงานอุตสาหกรรมจริงได้ ซึ่งหากนำไปใช้ ควบคุมพลาตันต์ที่มีสภาพเหมือนกับงานอุตสาหกรรมจริง จะทำให้ผู้เรียนมีทักษะการเลือกใช้ตัวควบคุมได้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น จะช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสนใจ และ ตื่นตัวในการที่จะรับข้อมูลจากผู้สอน

9. เอกสารอ้างอิง

นิรุจน์ ลักษณะ และศักดิ์ดา ธนาสุวรรณ. (2555).

ชุดสาธิตมอเตอร์ไฟฟ้าอย่างง่าย.

ปริญญาานิพนธ์ ปริญญาอุตสาหกรรม

ศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี

อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ภาควิชาเทคโนโลยี

วิศวกรรมไฟฟ้า วิทยาลัยเทคโนโลยี

อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

พระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

พรจิต ประทุมสุวรรณ. (2555). **อุปกรณ์เครื่องกล**

ไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

พัสกร พูลสวัสดิ์. (2560). **การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า**

กระแสตรงด้วยวงจรช้อปเปอร์.

ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา.

ยุราพร ผดุงกรณ์, เอกกมล บุญยะพลานันท์

และพูลศักดิ์ โกษียาภรณ์. (2560).

การสร้างชุดสื่อการสอนการเรียนรู้ เรื่อง

การเขียนโปรแกรมภาษารูปภาพ สำหรับระบบ

ควบคุมอัตโนมัติพื้นฐาน. ใน **การประชุมวิชา**

ครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติครั้งที่ 10

(23 พฤศจิกายน หน้า 61-66). กรุงเทพฯ:

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.