



“Increasing Research to Sustainable Economic and Society”
“การยกระดับงานวิจัยเพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมอย่างยั่งยืน”

RATTANAKOSIN RMUTR

The 4th National RMUTR Conference and The 1st International RMUTR Conference

การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 4 และ
การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 1

รายงานสืบเนื่อง

วันที่ 26 - 28 มิถุนายน 2562
ณ โรงแรมรอยัล ริเวอร์ กรุงเทพมหานคร



การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้การออกแบบตัวควบคุมพีไอที่มีค่าฟุงเกินน้อยที่สุด

DC Motor Speed Control Using Minimum Overshoot PI Controller Design

วิภาวัลย์ นาคทรัพย์^{1*} ยงยุทธ นาราชภูรี¹ พกิจ สุวัฒน์¹ และ นลินรัตน์ วิศวกิตติ²

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

¹E-mail: wipavan.nar@siam.edu, yongyuth.nar@siam.edu, pakit.suw@siam.edu

²ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

²E-mail: nalinrat.wit@siam.edu

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้การออกแบบตัวควบคุมพีไอที่มีค่าฟุงเกินน้อยที่สุด โดยทำการออกแบบตัวควบคุมพีไอบนพื้นฐานการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการฟุงเกินในระบบควบคุมวงรอบปิดที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และทำการวิเคราะห์เฟสให้มีค่าน้อยที่สุด เมื่ออินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันได ระบบที่นำเสนอประกอบด้วย ตัวควบคุมพีไอ วงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ชนิดกระตุ้นแยกฟักัด 1.1 kW, 220 V, 6.5 A, 3,000 rpm ตัววัดความเร็วรอบโดยใช้แสง และวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันจากการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอที่จะนำมาควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง นำไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink และทำการทดสอบระบบที่นำเสนอ พบว่าการฟุงเกินของผลตอบสนองต่ำกว่า 5% ได้ผลใกล้เคียงกับค่าคาดการณ์ไว้

คำสำคัญ: การควบคุมความเร็วรอบ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ตัวควบคุมพีไอ ค่าฟุงเกิน เอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์

Abstract

This paper presents a DC motor speed control using minimum overshoot PI controller design. The design method was based on adjusting the PI controller parameters to avoid overshoot in the closed-loop system step response for controlling DC motor including minimum phase analysis. The proposed system consists of PI controller, AC to DC converter, separately excited DC motor rated at 1.1 kW, 220 V, 6.5 A, 3000 rpm, optical tachometer and frequency to voltage converter (F/V). The mathematical model was derived from the designed parameters of PI controller to control DC motor by MATLAB/Simulink program. The experimental results are found that the step response overshoot is below 5% and agree with predicted value.

Keywords: Speed Control, DC Motor, PI Controller, Overshoot, AC to Dc Converter

* Corresponding author, e-mail: wipavan.nar@siam.edu

1. ที่มาและความสำคัญ

ระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ในทางอุตสาหกรรม แบ่งเป็น 2 ประเภทได้แก่ระบบควบคุมแบบเปิดและระบบควบคุมแบบปิด โดยที่ระบบควบคุมแบบเปิดนั้น เป็นระบบควบคุมที่ง่ายไม่ซับซ้อน เอาต์พุตยอมรับได้ตามค่าที่ได้ ส่วนระบบควบคุมแบบปิดนั้นเอาต์พุตที่ได้จะป้อนกลับมายังอินพุตหรือสัญญาณกระตุ้นเพื่อควบคุมระบบให้ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นน้อยที่สุดเท่าที่เป็นได้ ในการออกแบบระบบนั้นเริ่มด้วยการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ จากนั้นออกแบบระบบโดยแบบจำลอง และนำไปทดสอบจริง ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นตัวขับเคลื่อนชนิดหนึ่งที่นิยมใช้งานอุตสาหกรรม เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถควบคุมความเร็วได้ง่าย ตัวควบคุมที่ใช้ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นนิยมใช้กันมากคือตัวควบคุมแบบสัดส่วน – ปริพันธ์หรือตัวควบคุมพีไอ (Proportional – Integral Controller ; PI) เทคนิคการออกแบบในการปรับค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมได้อย่างเหมาะสม ที่นิยมใช้คือ วิธีของ Ziegler-Nichols, (Ziegler and Nichols, 1993) เมื่อกำหนดให้อินพุตเป็นสัญญาณขั้นบันได ซึ่งวิธีการนี้พบว่าให้ค่าเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินที่สูง (Sabbariya and Paliwal, 2016) ในบทความนี้จึงได้นำเสนอระบบควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอที่ให้ค่าพุ่งเกินน้อยที่สุดโดยใช้ การจำลองแบบโดยโปรแกรม MATLAB/Simulink และทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับกรจำลองการทำงานของระบบ

2. วัตถุประสงค์

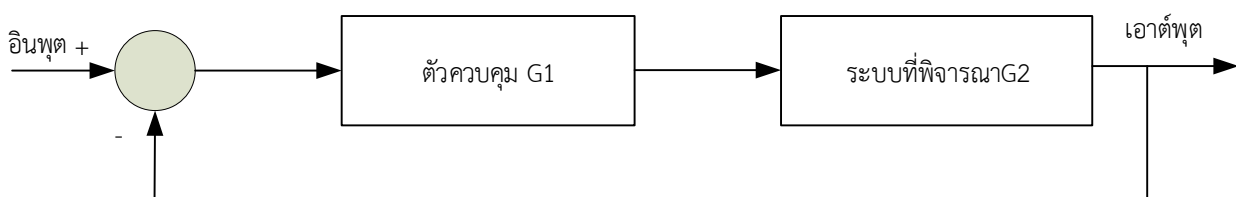
เพื่อวิเคราะห์หาผลตอบสนองของระบบควบคุมลูปิดที่ออกแบบด้วยตัวควบคุมพีไอมีค่าพุ่งเกินต่ำสุด

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ตัวควบคุมพีไอที่นำเสนอมีค่าพุ่งเกินน้อยที่สุด

ตัวควบคุมพีไอถูกออกแบบเพื่อที่จะให้มีเสถียรภาพในระบบปิดและทำให้ผลตอบสนองฟังก์ชันขั้นบันไดเกิดการพุ่งเกินน้อยที่สุด กับระบบอันดับสอง

พิจารณาบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมป้อนกลับหนึ่งแบบแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบปิดหนึ่งหน่วย

จากรูปที่ 1 นั้นตัวควบคุมควรออกแบบให้เหมาะสมเพื่อให้ระบบที่พิจารณามีค่าเฟสที่น้อยที่สุด ส่งผลทำให้ระบบเกิดการพุ่งเกินน้อยที่สุดเมื่อป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันได เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์นี้ พารามิเตอร์ของตัวควบคุมจะต้องสามารถปรับลดลงอย่างต่อเนื่องสำหรับขนาดของผลตอบสนองทางความถี่ ดังสมการ (1)

$$|T(j\omega_1)| > |T(j\omega_2)|, \quad \omega_1 < \omega_2 \quad (1)$$

เมื่อ $T(j\omega)$ ฟังก์ชันถ่ายโอนของผลตอบสนองทางความถี่ระบบลูปิด

จากสมการ (1) จะสังเกตได้ว่า

- 1) เมื่อความถี่ ω เพิ่มขึ้น ตัวเศษของขนาดฟังก์ชันถ่ายโอนจะเพิ่มขึ้นน้อยกว่าตัวส่วน
- 2) ใช้งานได้เมื่อระบบที่พิจารณาเป็นระบบปิตมีค่าเฟสน้อยที่สุด
- 3) ระบบที่เหมาะสมเมื่อผลตอบสนองฟังก์ชันขั้นบันไดที่มีการพุ่งเกินน้อยมาก

โดยที่ ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมพีไอเป็นดังนี้

$$G1(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (2)$$

เมื่อ K_p , T_i คืออัตราขยายของตัวควบคุมพีและค่าคงตัวทางเวลาของตัวควบคุมไอ ตามลำดับ

3.2 การออกแบบตัวควบคุมพีไอมีค่าพุ่งเกินน้อยที่สุดสำหรับระบบอันดับสอง

พิจารณาระบบอันดับสองที่เสถียรภาพแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$G2(s) = \frac{a}{s^2 + bs + c} \quad (3)$$

เมื่อ a , b , c เป็นค่าคงที่เลขบวกใด ๆ หาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบลูปิดของระบบจากสมการ (2) และ (3) ได้เป็นดังนี้

$$T(s) = \frac{aK_p(T_i s + 1)}{T_i s^3 + T_i b s^2 + T_i(c + aK_p)s + aK_p} \quad (4)$$

จากสมการ (4) จะเห็นได้ง่ายในการตรวจสอบระบบว่าเสถียรหรือไม่ในช่วงตอบสนองชั่วขณะดังนี้

$$K_p > 0, T_i > 0$$

$$T_i > \frac{aK_p}{b(c + aK_p)} \quad (5)$$

แทนค่า $s = j\omega$ ในสมการ (4)

$$T(j\omega) = \frac{aK_p(j\omega T_i + 1)}{-jT_i\omega^3 - T_i b\omega^2 + jT_i(c + aK_p)\omega + aK_p}$$

$$|T(j\omega)|^2 = \frac{a^2 K_p^2 (\omega^2 T_i^2 + 1)}{(aK_p - T_i b\omega^2)^2 + T_i^2 (c + aK_p)^2 \omega^2 - T_i \omega^3)^2}$$

$$= \frac{a^2 K_p^2 (\omega^2 T_i^2 + 1)}{\alpha(\omega)}$$

$$\text{เมื่อ } \alpha(\omega) = a^2 K_p^2 - 2abK_p T_i \omega^2 + b^2 T_i^2 \omega^4 + T_i^2 (c + aK_p)^2 \omega^2 - 2T_i (c + aK_p) \omega T_i \omega^3 + T_i^2 \omega^6 \quad (6)$$

จากเงื่อนไขของพารามิเตอร์ของตัวควบคุมลดลงอย่างต่อเนื่องตามสมการ (1) จะได้

$$T_i^2 (\omega_2^6 - \omega_1^6) + T_i^2 (b^2 - 2(c + aK_p))(\omega_2^4 - \omega_1^4) + T_i (T_i (c + aK_p)^2 - 2abK_p)(\omega_2^2 - \omega_1^2) > 0 \quad (7)$$

จากสมการ (4) และ (7) เพื่อให้ได้ผลตอบสนองขั้นบันไดที่มีค่าพุ่งเกินสูงสุดน้อยที่สุด พบว่าเงื่อนไขของพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอเป็นดังนี้

นั่นคือ

$$b^2 - 2c - 2aK_p > 0$$

หรือ

$$-b^2 + 2c + 2aK_p < 0$$

$$0 < K_p \leq \frac{b^2 - 2c}{2a} \quad (9)$$

$$T_I \geq \frac{aK_p}{b(c + aK_p)} \quad (10.1)$$

และ

$$T_I \geq \frac{2abK_p}{c^2 + 2acK_p} \quad (10.2)$$

3.3 เงื่อนไขการออกแบบ

เงื่อนไขในการออกแบบตัวควบคุมพีไอ คือผลตอบสนองของขนาดตัดข้ามของลูปเกน (Loop gain) และการเปลี่ยนแปลงของเฟสรอบความถี่ตัดข้าม, ω_c ในรูปที่ 1 เขียนแทนด้วยสมการดังนี้

$$|G_1(j\omega)G_2(j\omega)| = 1 \quad (11)$$

$$\frac{d}{d\omega} \angle |G_1(j\omega)G_2(j\omega)| \Big|_{\omega=\omega_c} = 0 \quad (12)$$

ซึ่งผลตอบสนองที่สภาวะชั่วขณะของระบบด้วยความเร็วรอบที่ต้องการ และละทิ้งการเปลี่ยนแปลงของเฟสรอบความถี่ตัดข้าม, ω_c

ในระบบอันดับสองตามสมการ (3) กำหนดให้พารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอ เป็นดังสมการ

$$K_p = \frac{T_I \omega_c \sqrt{(c - \omega_c^2)^2 + b\omega_c^2}}{a\sqrt{1 + T_I^2 \omega_c^2}} \quad (13)$$

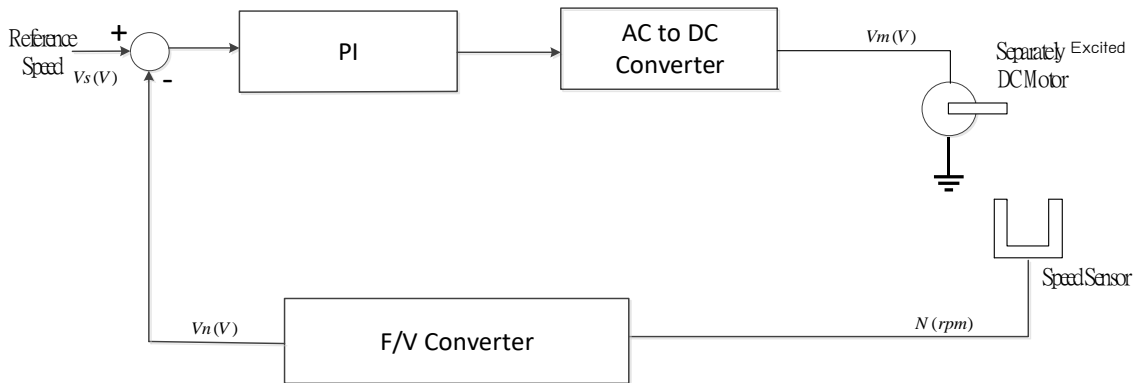
$$T_I = \frac{-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4a_0a_2}}{2a_2} \quad (14)$$

$$\text{เมื่อ } a_0 = \frac{b(c + \omega_c^2)}{(c - \omega_c^2)^2 + b^2\omega_c^2}, a_1 = -1, a_2 = a_0\omega_c^2$$

จากสมการ (13) และ (14) พบว่าความถี่ตัดข้ามของอัตราขยาย จะใช้ได้ตามเงื่อนไขของสมการ (10)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบคุณสมบัติของตัวควบคุมพีไอที่ได้ออกแบบ โดยให้ผลตอบสนองที่ได้มีค่าฟุ้งเกินน้อยที่สุด นำไปทดสอบกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกพิกัด 1.1 kW, 220 V, 6.5 A, 3,000 rpm เพื่อทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์ บล็อกไดอะแกรมรวมของระบบแสดงดังรูปที่ 2

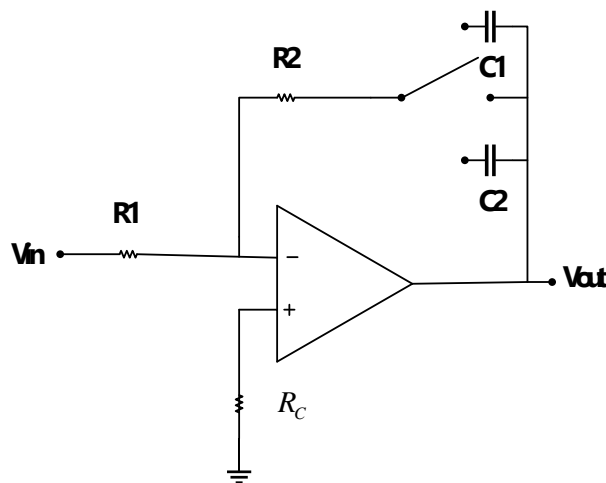


รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรม

จากบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก ประกอบด้วย ตัวควบคุมพีไอที่ต่อแบบอนุกรม วงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ (AC to DC Converter) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก แทคโคเจนเนอเรเตอร์ (Tachogenerator) เป็นทรานสดิวเซอร์ที่เปลี่ยนสัญญาณความเร็วรอบของมอเตอร์เป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยอัตราคงที่ (หน่วยเป็น V/rpm) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงที่ตั้งไว้ โดยได้ทำการจำลองการทำงานของตัวควบคุมพีไอ และระบบควบคุม ด้วยโปรแกรมจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวควบคุมและระบบที่เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่าที่เป็นได้ แล้วทำการทดสอบระบบจริง เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้

3.1 ตัวควบคุมพีไอ

ในบทความนี้เลือกใช้ตัวควบคุมพีไอแบบอนุกรมโดยสามารถเลือกค่าตัวเก็บประจุได้ 2 ค่า วงจรแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวควบคุมพีไอที่ใช้

วงจรตัวควบคุมแบบพีไอแสดงดังรูปที่ 3 เป็นตัวควบคุมแบบอนุกรม ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ 2 ลักษณะที่ขึ้นอยู่กับค่าตัวเก็บประจุ C1 และ C2 กำหนดให้ C1 = C2 = C, ทำการวิเคราะห์ห้วงจรในรูปที่ 3 ได้เป็นดังนี้

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{Z_f}{R_1}$$

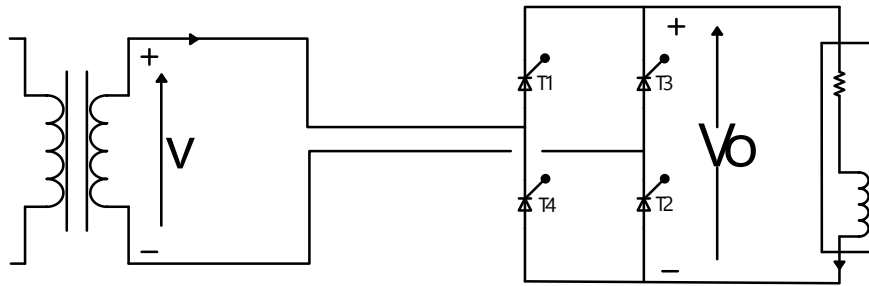
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1} \left[1 + \frac{1}{R_2 C s} \right] \quad (15)$$

เมื่อ $Z_f = R_2 + ZC = \frac{R_2 C s + 1}{sC}$, $K_p = \frac{R_2}{R_1}$, $T_I = R_2 C$, จะสังเกตได้ว่าในสมการ (19) ค่าอัตราขยายของตัว

ควบคุมพีไอมีผลต่อค่าคงตัวทางเวลาของตัวควบคุมไอ และสามารถปรับค่าอัตราขยายของตัวควบคุมพีไอโดยปรับที่ตัวต้านทาน R_2

3.2 วงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์

วงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ (AC/DC Converter) เป็นแบบ Single-phase half-wave controlled rectifier หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า วงจร Zero Order Hold :ZOH อุปกรณ์ที่ใช้คือ Thyristor (Silicon controlled rectifiers :SCR) จำนวน 4 ตัว ต่อแบบบริดจ์ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 วงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้

วงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ ใช้เวลาการหน่วงในช่วงเวลาในการสุ่ม T มีค่าเป็น σ ความถี่ของแหล่งจ่ายมีค่าเป็น $f = 50 \text{ Hz}$ และการหน่วงเวลา $T = \sigma = 20 \text{ ms}$ ได้ฟังก์ชันถ่ายโอนในระบบหนึ่งหน่วยเป็นดังนี้

$$G(s) = e^{-Ts} = e^{-\sigma s} \quad (16)$$

เมื่อ T = ช่วงเวลาการสุ่ม (Sampling interval)

σ = คาบเวลาในการเปลี่ยน (Commutation Period)

ในการควบคุมกระแสหรือควบคุมความเร็วมีผลตอบสนองเป็น 0.1-1 s จะพิจารณาว่าการสุ่มสัญญาณ 20 ms มีค่าน้อยมาก ๆ นั่นคือ $T_s = \sigma s \rightarrow 0$ สมการ (16) เขียนใหม่ได้เป็น

$$G(s) = e^{-\sigma s} = 1 - \sigma s = \frac{1}{1 + \sigma s} = 1$$

(17)

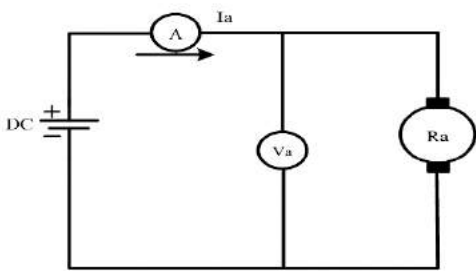
จากสมการ (17) แสดงให้เห็นว่าฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรถูกตีซ้อนเวอร์เตอร์ ที่ใช้นี้มีค่าอัตราขยายเป็นหนึ่ง

3.3 การหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

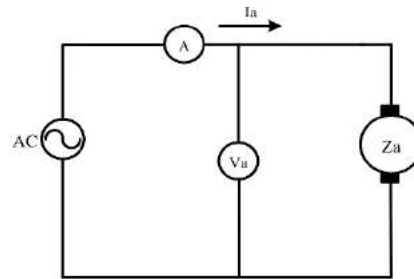
ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจำเป็นต้องทราบค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ก่อน เพื่อที่จะได้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบไปออกแบบเป็นระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์

3.3.1 การทดสอบหาค่าความต้านทานอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ (R_a)

วงจรถูกทดสอบหาค่าความต้านทานอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ (R_a) แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 วงจรถูกทดสอบความต้านทานอาร์เมเจอร์



รูปที่ 6 วงจรถูกทดสอบหาค่าอินดักแตนซ์ของมอเตอร์

เมื่อขนาดพิกัดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงพิกัดแรงดัน 220V_{DC} พิกัดกระแส 6.5 A พิกัดกำลังไฟฟ้า 1,100W ความเร็วรอบสูงสุด 3,000 rpm ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับวงจรได้เท่ากับขนาดกระแสพิกัดในขณะที่มอเตอร์หยุดนิ่งแล้ววัดกระแสและแรงดัน ได้แรงดันที่วัดได้ 20.25V และกระแสที่วัดได้ 6.52A ได้ค่าความต้านทานอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ได้เป็น

$$R_a = V_a / I_a = 3.10 \Omega$$

3.4.2 การทดสอบเพื่อหาค่าอินดักแตนซ์ของมอเตอร์ต่อวงจรถูกทดสอบ (L_a)

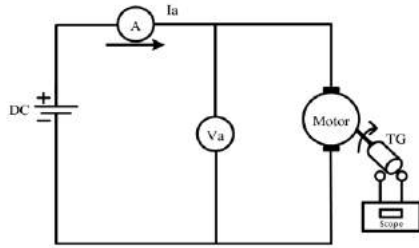
วงจรถูกทดสอบเพื่อหาค่าอินดักแตนซ์ของมอเตอร์โดยต่อวงจรถูกทดสอบ (L_a) ดังรูปที่ 6 ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับวงจรได้เท่ากับขนาดกระแสพิกัดในขณะที่มอเตอร์หยุดนิ่งวัดกระแสและแรงดันโดยแรงดันที่วัดได้ 93 V และกระแสที่วัดได้ 6.5 A หาค่าอิมพีแดนซ์ของมอเตอร์ $Z_a = \frac{93}{6.5} = 14.31 \Omega$ และค่ารีแอคแตนซ์ของมอเตอร์ $X_L =$

$$\sqrt{Z_a^2 - R_a^2} = \sqrt{(14.31)^2 - (3.1)^2} = 13.97 \Omega \text{ ค่าอินดักแตนซ์ของมอเตอร์ } L_a = \frac{13.97}{2\pi(50)} = 44.47 \text{ mH}$$

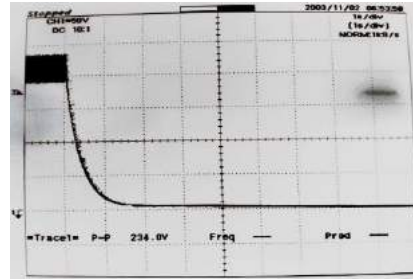
$$\text{เวลาของวงจรถูกทดสอบ } T_a = \frac{L_a}{R_a} = \frac{44.47 \text{ mH}}{3.1 \Omega} = 14.34 \text{ ms}$$

3.4.3 การหาค่าคงที่ของเวลาทางกลของการเคลื่อนของมอเตอร์

จ่ายแรงดันไฟฟ้า 200 V ให้กับวงจรวัดค่าต่าง ๆ ของวงจรถูกทดสอบที่วัดได้คือ 200 V กระแสที่วัดได้คือ 1.2 A และความเร็วยุติที่วัดได้คือ 3,000 rpm หยุดจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรทันทีบันทึกผลของแรงดันเอาต์พุตดังรูปที่ 8



รูปที่ 7 วงจรทดสอบหาค่าคงที่ของเวลาทางกลของมอเตอร์

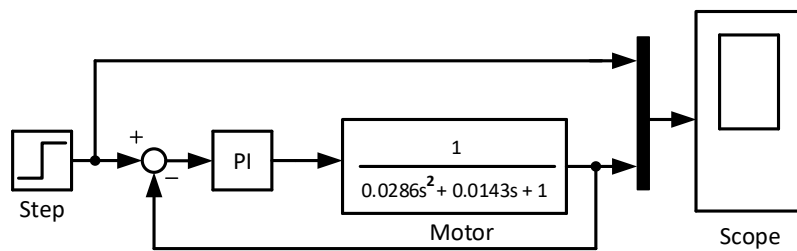


รูปที่ 8 รูปคลื่นเอาต์พุตหาค่าคงที่ทางกล

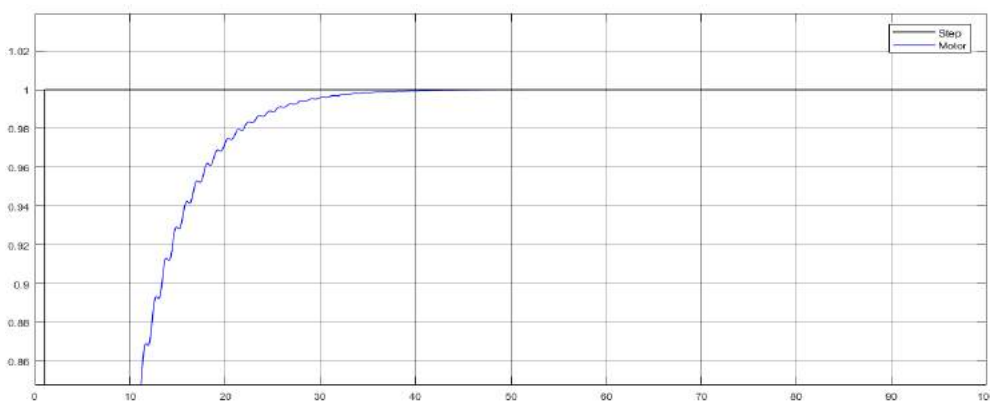
จากสัญญาณเอาต์พุตที่ได้นำมาคำนวณหาค่าคงที่ของเวลาทางกลของมอเตอร์ สัญญาณ 1 ช่องมีค่าเท่ากับ 1.0 s ได้ T_m มีค่าเท่ากับ 2 ช่อง \times 1.0 s = 2 s

5. ผลและวิจารณ์

จากรูปที่ 2 และจากการออกแบบตัวควบคุมพีไอและหาความสัมพันธ์ของฟังก์ชันถ่ายโอนของมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยกในหัวข้อที่ผ่านมา นำมาจำลองแบบโดยโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อวิเคราะห์หาผลตอบสนองฟังก์ชันขั้นบันได โดยกำหนดให้ค่า $K_p=1$, $T_I=1$ s ดังรูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับ



รูปที่ 9 บล็อกไดอะแกรมของระบบใช้จำลองแบบ



รูปที่ 10 ผลการจำลองแบบของระบบ

ในการทดสอบจริงของระบบควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก พิกัด 1.1 kW, 3,000 rpm และแทคโคเจนเนอเรเตอร์ พิกัด 0.75 kW, 2,850 rpm ทำการทดสอบระบบในกรณีไม่มีตัว

ควบคุมและมีตัวควบคุมในระบบ หาคความสัมพันธ์ของสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ตามรูปที่ 1 ได้ผลแสดงดังตารางที่ 1, 2 ตามลำดับ และทำการวัดค่าความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุต แสดงดังรูปที่ 11

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบระบบกรณีไม่มีตัวควบคุม

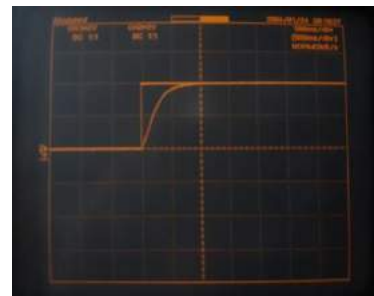
Vs (V)	1.38	1.55	1.73	1.96	2.14	2.32	2.51	2.69	2.92	3.11	3.35
Vm (V)	20	30	44	62	74	86	100	114	126	140	155
N (rpm)	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Vn (V)	-0.82	-1.34	-1.9	-2.65	-3.18	-3.78	-4.35	-4.9	-5.54	-6.06	-6.67

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบระบบโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ

Vs (V)	0.69	1.34	1.95	2.54	3.16	3.72	4.31	4.88	5.45	6.02	6.61
Vm (V)	15	31	45	59	73	86	100	114	125	140	155
N (rpm)	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Vn (V)	-0.69	-1.35	-1.96	-2.56	-3.18	-3.74	-4.35	-4.92	-5.5	-6.06	-6.68



$T_i=1$ s



$T_i=10$ s

รูปที่ 11 ผลตอบสนองของระบบเมื่ออินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันได

จากตารางที่ 1 และ 2 กำหนดความเร็วที่ต้องการทั้ง 2 กรณีเท่ากัน ในกรณีที่ไม่มีตัวควบคุมในระบบ จะทำให้เอาต์พุตที่ได้ไม่ตามค่าที่ตั้งไว้ ส่วนกรณีที่เลือกใช้ตัวควบคุมพีไอควบคุมในระบบ จะทำให้เอาต์พุตที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ตั้งไว้ และจากรูปที่ 11 เอาต์พุตที่ได้นั้นจะเกิดการค่าพุ่งเกินได้ขึ้นอยู่กับค่าปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอให้เหมาะสมตามที่ได้ออกแบบไว้

6. สรุปผล

บทความนี้นำเสนอการควบคุมความเร็วรอบโดยใช้การออกแบบตัวควบคุมพีไอที่มีค่าพุ่งเกินน้อยที่สุด จากการจำลองแบบการทำงานของระบบจากค่าที่ได้ออกแบบตัวควบคุมพีไอและคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก และจากการทดลองทั้งกรณีที่มีตัวควบคุมและไม่มีตัวควบคุมในระบบ พบว่าความเร็วรอบของมอเตอร์จะเข้าสู่ค่าที่ตั้งไว้โดยไม่เกิดค่าความผิดพลาดเมื่อเลือกค่าตัวควบคุมพีไอที่เหมาะสมตามที่ได้ออกแบบไว้

7 เอกสารอ้างอิง

- นางสาวสุนิศา สอนเมือง. 2553. การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีเอแบบเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีพีชคณิต. **วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, คณะวิศวกรรมศาสตร์.
- จิรายุทธ แก้วอาสา. 2549. ชุดสาคิตการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ ลูบปีตบนจอกอมพิวเตอรืด้วย
โปรแกรม Visual Basic. **วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ**, 49(4), 26-28.
- Ziegler, J.G., Nichols, N.B., Optimum Settings for Automatic Controllers. **Journal of Dynamic Systems,
Measurement, and Control**.220-222.
- Sambrariya, D.K., Paliwal D., 2016. Comparative Design and Analysis of PIDA Controller Using Kitti's and
Jung-Dorf Approach for Third Order Practical Systems. **British Journal off Mathematics & Computer
Science**.1-16.
- Lu Y.S., Cheng C.M., Cheng C.H., 2005. Non -overshooting PI Control of Variable-speed Motor Drives with
Sliding Perturbation Observers. **Mechatronics**.1143-1158.
- Mohammad T., Reza B.B., 2018. Non -overshooting PD and PID Controllers Design. **Journal for Control,
Measurement, Electronics Computing and Communications**. 400-409.