การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ Waijung Blockset ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์
DC Motor Control Using Waijung Blockset and Microcontroller

วิชาญ เพ็ชรทอง*

1. บทนำ

การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมนั้น มีความซับซ้อนอยู่มาก กล่าวคือ ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุม เริ่มจากการพิจารณาถึงผลลัพธ์ของการควบคุม หรือตัวแปรที่ต้องการควบคุม เช่น ตำแหน่ง ความเร็ว อุณหภูมิ และตัวแปรหรือปริมาณที่เป็นอินพุตให้กับระบบ เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ต่อจากนั้นเป็นการเลือกอุปกรณ์ระบบควบคุมหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับความต้องการของปัญหาการควบคุม และการออกแบบตัวควบคุมหรือกฎการควบคุม ซึ่งโดยทั่วไปจะมี 4 ขั้นตอน คือ การหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบ การออกแบบตัวควบคุม การจำลองการทำงานและการทดสอบการควบคุมกับระบบจริง [1] ซึ่งขั้นตอนการหาสมการคณิตศาสตร์มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากผู้ออกแบบระบบควบคุมจะต้องนำไปใช้ในการออกแบบตัวควบคุมหรือกฎควบคุม ดังนั้น ถ้าสมการคณิตศาสตร์ของระบบไม่สอดคล้องกับระบบจริง ตัวควบคุมที่ออกแบบมาแล้วนั้นอาจจะไม่สามารถใช้งานได้ [2] หลังจากการหาสมการที่เหมาะสมกับระบบแล้ว ในขั้นตอนการออกแบบตัวควบคุม ผู้ออกแบบจะต้องมีความรู้เรื่องการวิเคราะห์สภาวะชั่วขณะ การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบ พื้นฐานการออกแบบระบบควบคุม การควบคุมพื้นฐานด้วยตัวควบคุม PID การออกแบบตัวชดเชยด้วยวิธีทางโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ ตลอดจนการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์ระบบ [3, 4] ขั้นตอนต่อมาเป็นการทดสอบการทำงานของการควบคุมโดยการจำลองการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันทั่วไป เช่น โปรแกรม MATLAB โปรแกรม LabVIEW และโปรแกรม Scilab [5] ขั้นตอนสุดท้าย คือการนำไปสร้างและทดสอบกับระบบจริง การออกแบบระบบควบคุมโดยทั่วไปจะใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดต่าง ๆ เช่น Arduino MCS51 PIC AVR ARM 68HC RABBIT Z80 DSP ซึ่งการเลือกใช้คอนโทรลเลอร์นั้นมักจะขึ้นอยู่กับความถนัดของผู้ออกแบบ ปัจจุบันมีบอร์ดคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาซอฟต์แวร์ในรูปแบบบล็อกเซ็ต เพื่อให้นักออกแบบใช้งานได้ง่าย เช่น Arduino DSP ARM ที่พัฒนาให้ใช้งานกับโปรแกรม LabVIEW และ MATLAB/Simulink [6] บทความนี้จึงนำเสนอการออกแบบพัฒนาระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรง โดยใช้ Waijung Blockset ร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น RABBITSTM32F4 และโปรแกรม MATLAB/Simulink

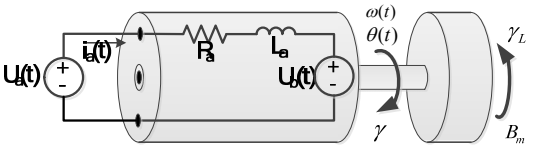
Waijung Blockset เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นและติดตั้งใช้งานร่วมกับ Simulink Library ของโปรแกรม MATLAB เพื่อใช้งานกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น RABBITSTM32F4 การใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยทั่วไปจะมีขั้นตอนที่ซับซ้อน เช่น ใช้ซอฟต์แวร์หนึ่งเพื่อสร้าง Source Files และใช้ซอฟต์แวร์อีกตัวหนึ่งเพื่อทำการตั้งค่าและ Compiler เพื่อให้ได้ File ที่เป็น *.hex *.bin และใช้ซอฟต์แวร์อีกตัวหนึ่งเพื่อดาวน์โหลดข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งกระบวนการที่ซับซ้อนทั้งหมดนี้จะแตกต่างกับการใช้งาน Waijung Blockset กล่าวคือ Waijung Blockset จะสร้าง Source Code จากโปรแกรมที่เป็นบล็อกเซ็ตบน Simulink จากนั้นก็จะ Compiler และ Download ข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ ช่วยทำให้การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมได้เร็วและง่ายขึ้น

2. การหาสมการจำลองคณิตศาสตร์ของมอเตอร์

การออกแบบและวิเคราะห์ระบบควบคุม NXT มอเตอร์ ซึ่งเป็นมอเตอร์ของ LEGO และภายในประกอบด้วยเกียร์ทดและ Encoder เป็นตัวตรวจจับ

* โปรแกรมวิชาอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร +66819696617 อีเมล: wichan.pe@skru.ac.th

ตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ สามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้าและทางกลเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ และจากวงจรสมมูลทางไฟฟ้าประกอบด้วยค่าคงที่และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจร และแสดงวงจรสมมูลทางไฟฟ้าดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

U_b คือ แรงดันไฟฟ้าต้านกลับ (V)

L_a คือ ความเหนี่ยวนำขดลวดอาเมเจอร์ (H)

R_a คือ ความต้านทานอาเมเจอร์ (Ohm)

θ คือ ตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ (rad)

ω คือ ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

J คือ แรงเฉื่อยของมอเตอร์ (kg m^2 / s^2)

B_m คือ แรงเสียดทานการหมุนของมอเตอร์ (Nm)

γ_l คือ โหลดของมอเตอร์ (Nm)

γ คือ แรงบิดของมอเตอร์ (Nm)

จากรูปที่ 1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของวงจรสมมูลทางไฟฟ้าและวงจรสมมูลทางกลเพื่อหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบมอเตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนถ่ายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ดังนั้นการหมุนของมอเตอร์จะเกิดจากความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้า และค่าคงที่ของมอเตอร์ เช่น ความเหนี่ยวนำขดลวดอาเมเจอร์ ความต้านทานอาเมเจอร์ เป็นต้น จากวงจรสมมูลทางไฟฟ้าสามารถเขียนสมการแรงดันของมอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้กฎ KVL (Kirchoff's Voltage Law) ดังต่อไปนี้

$$U(t) = R_a i(t) + L_a \frac{di(t)}{dt} + U_b(t) \quad (1)$$

กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์สามารถหาได้จากการแปลงลาปลาซ (Laplace Transform) สมการ (1)

$$I(s) = \frac{1}{R_a + L_a s}(U(s) - U_b(s)) \quad (2)$$

แรงดันไฟฟ้าต้านกลับเกิดจากการเคลื่อนที่ของขดลวดอาร์เมเจอร์ตัดกับสนามแม่เหล็ก

$$U_b(t) = K_b \omega(t) \quad (3)$$

แปลงลาปลาซสมการ (3)

$$U_b(s) = K_b \dot{\theta}(s) \quad (4)$$

แรงบิดของมอเตอร์เกิดจากค่าคงที่สนามแม่เหล็ก (K_e) กับกระแสอาร์เมเจอร์

$$\gamma(t) = K_e i(t) \quad (5)$$

แปลงลาปลาซสมการ (5)

$$\gamma(s) = K_e I(s) \quad (6)$$

และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวงจรสมมูลทางไฟฟ้าและทางกลในขณะที่มอเตอร์เริ่มเคลื่อนที่และเคลื่อนที่ เมื่อมอเตอร์เริ่มเคลื่อนที่แรงบิดของมอเตอร์จะต้องมีค่ามากกว่าแรงบิดของโหลดที่มีทิศทางสวนทางกันจึงจะทำให้มอเตอร์หมุนไปได้ ในขณะเดียวกันการหมุนของมอเตอร์ก็จะมีแรงเสียดทานที่ต้านการหมุนของมอเตอร์ด้วย และในขณะที่มอเตอร์เริ่มหยุดหมุนน้ำหนักของโหลดจะทำให้เกิดแรงเฉื่อยของมอเตอร์ จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$J\ddot{\theta}(t) + B\dot{\theta}(t) = \gamma(t) - \gamma_L(t) \quad (7)$$

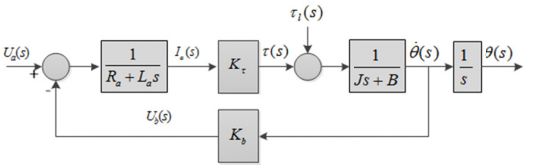
แปลงลาปลาซสมการ (7)

$$Js^2\theta(s) + Bs\theta(s) = \gamma(s) - \gamma_L(s) \quad (8)$$

ดังนั้นตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์เท่ากับ

$$\theta(s) = \frac{1}{Js^2 + Bs}(\gamma(s) - \gamma_L(s)) \quad (9)$$

แบบจำลองคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ (Input) กับความเร็วหรือตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ (Output) การหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบที่ต้องการควบคุม ที่มีสมการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งการหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ครั้งนี้ใช้วิธียุบแผนภาพบล็อกไดอะแกรม โดยวิธีดังต่อไปนี้ จากสมการ (4) สามารถเขียนแผนภาพบล็อกไดอะแกรมร่วมกับสมการ (2) (6) และ (9) ได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมสมการ (2) (4) (6) และ (9)

จากรูปที่ 2 สามารถใช้วิธีการยุบบล็อกไดอะแกรมเพื่อหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบเมื่อพิจารณาที่ความเร็วของมอเตอร์ ขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลด สามารถเขียนแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบได้ดังนี้

$$\frac{\dot{\theta}(s)}{U(s)} = \frac{K_e}{(L_as+R_a)(Js+B)+K_bK_e)}$$

ในกรณีที่ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดอาเมเจอร์มีค่าน้อยมาก ($L_a = 0$)

$$\frac{\dot{\theta}(s)}{U(s)} = \frac{K_e}{R_a(Js+B)+K_bK_e)}$$

จัดรูปสมการโดยยุบให้ค่าคงที่อยู่ด้วยกัน

$$\frac{\dot{\theta}(s)}{U(s)} = \frac{\frac{K_e}{R_aB+K_bK_e}}{\frac{R_aJs}{R_aB+K_bK_e}+1} \qquad (10)$$

จากสมการ (10) กำหนดให้

$$K_m = \frac{K_e}{R_aB+K_bK_e},\ T_m = \frac{R_aJ}{R_aB+K_bK_e}$$

แทนค่า K_m และ T_m ลงในสมการ (10) จะได้แบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบ

$$\frac{\dot{\theta}(s)}{U(s)} = \frac{K_m}{T_ms+1} \text{ หรือ } H(s) = \frac{K_m}{T_ms+1} \qquad (11)$$

ในกรณีเดียวสามารถใช้วิธีการยุบบล็อกไดอะแกรมเพื่อหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบ เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ ($\theta(s)$) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{K_m}{s(T_ms+1)} \text{ หรือ } H(s) = \frac{K_m}{s(T_ms+1)} \qquad (12)$$

จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สมการ (11) คือความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของมอเตอร์กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ เป็นสมการอันดับหนึ่ง (1st Order) ในที่นี้เรียกว่า สมการระบบ โดยที่ K_m และค่า T_m คือพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า ค่าพารามิเตอร์ของระบบนี้สามารถหาได้โดยป้อนสัญญาณฟังก์ชันขั้นบันไดเข้าไปกระตุ้นระบบเพื่อวิเคราะห์ผลตอบสนองของระบบ กำหนดให้ K_{m1} เป็นค่าอินพุตที่ป้อนให้กับระบบ แทนลงในสมการ (11) และคำนวณหาสมการผลตอบสนองของระบบดังนี้

$$\dot{\theta}(s) = \frac{K_m}{T_ms+1} \times \frac{K_{m1}}{s} \qquad (13)$$

จัดรูปสมการ กำหนดให้ $\frac{K_mK_{m1}}{T_m} = K$ เป็นค่าคงที่แทนค่าลงในสมการที่ (13) และแปลงลาปลาซผกผัน (Inverse Laplace Transform) โดยการแยกเศษส่วนย่อย (Partial Fraction)

$$y(t) = T_mK(1-e^{-\frac{t}{T_m}}) \qquad (14)$$

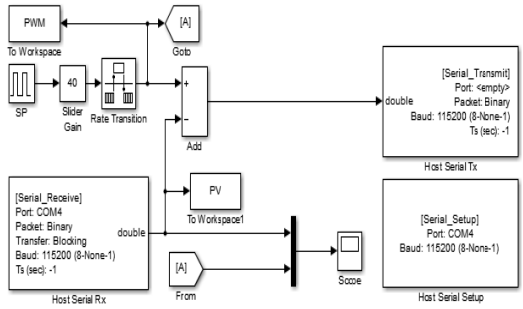
จัดรูปสมการ กำหนดให้ $\frac{1}{T_m} = a$; $T_mK = y_m$ แทนลงในสมการที่ (14) จะได้

$$y(t) = y_m(1-e^{-at}) \qquad (15)$$

จากสมการที่ (15) เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันได ผลตอบสนองของระบบจะอยู่ในรูปของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential function) ค่า y_m และค่า a สามารถหาได้จากกราฟผลตอบสนองของระบบ เมื่อทราบค่า y_m และค่า a แล้วสามารถแทนค่าลงในสมการที่ (15) เพื่อย้อนกลับไปหาค่า K_m และค่า T_m ก็จะได้สมการแบบจำลองคณิตศาสตร์ของมอเตอร์

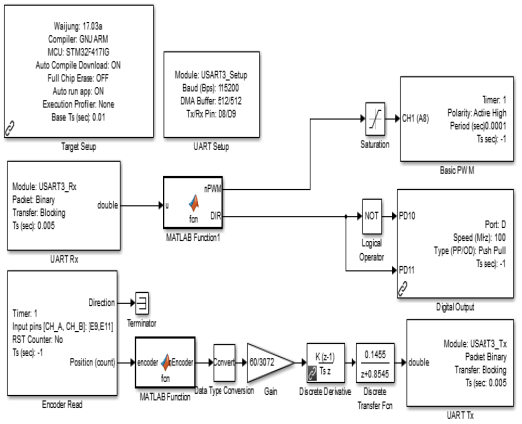
จากสมการ (11) (12) และ (15) ค่า K_m T_m y_m และ a เป็นพารามิเตอร์ของระบบ ถ้าหากทราบค่า พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของมอเตอร์ ก็จะสามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของระบบได้ ในที่นี้จะนำเสนอการหาค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวโดยใช้ MATLAB /Simulink ร่วมกับ Waijung Blockset ซึ่งมีวิธีการดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเก็บข้อมูลของระบบ (Data Logger) ข้อมูลของระบบประกอบด้วย ข้อมูลอินพุต เป็นสัญญาณขั้นบันได และข้อมูลเอาต์พุต เป็นสัญญาณความเร็วของมอเตอร์ เก็บข้อมูลโดยการควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control)



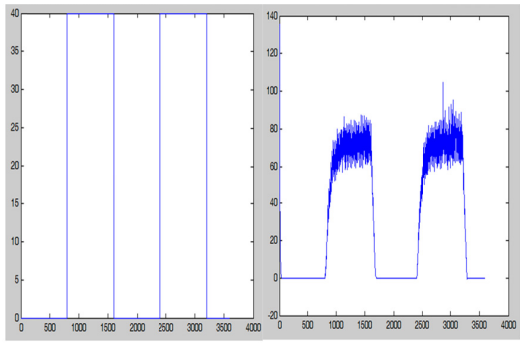
รูปที่ 3 การเก็บข้อมูลของระบบโดยใช้ Wijung Blockset

จากรูปที่ 3 เป็นโปรแกรม Simulink ที่ทำงานบนคอมพิวเตอร์ โดย Host Serial Tx จะส่งข้อมูลอินพุตไปควบคุมมอเตอร์ และ Host Serial Rx รับข้อมูลเอาต์พุตมาแสดงผล ข้อมูลอินพุตคือ SP ซึ่งจะเก็บเป็นตัวแปรที่ชื่อว่า PWM ส่วนข้อมูลเอาต์พุตคือ PV จะถูกเก็บเป็นตัวแปรที่ชื่อว่า PV ข้อมูลทั้งสองส่วนจะถูกเก็บอยู่ใน Workspace



รูปที่ 4 การควบคุมมอเตอร์โดยใช้ Wijung Blockset

จากรูปที่ 4 เป็นโปรแกรมควบคุมมอเตอร์ซึ่งจะทำงานอยู่บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดย UART Rx จะรับสัญญาณควบคุมจากคอมพิวเตอร์ และ Basic PWM จะส่งสัญญาณไปควบคุมความเร็วของมอเตอร์ โดย Encoder Read จะรับสัญญาณมาจากมอเตอร์ทำให้เป็นรอบต่อนาที และกรองสัญญาณรบกวน ก่อนใช้ UART Tx ส่งข้อมูลไปแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 5

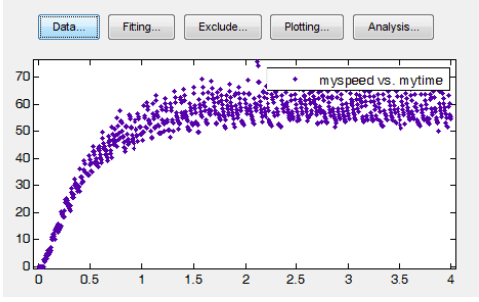


(a) อินพุต (b) เอาต์พุต

รูปที่ 5 ข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตของระบบ

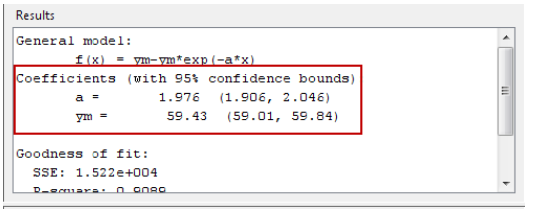
ขั้นตอนที่ 2 การจัดการข้อมูล ข้อมูลอินพุตและข้อมูลเอาต์พุตของระบบใช้ข้อมูลที่อยู่ในช่วงเวลาเดียวกันคือ ข้อมูลในช่วง 800 ถึง 1600 โดย mypwm เป็นตัวแปรของข้อมูลอินพุต myspeed เป็นตัวแปรของข้อมูลเอาต์พุตและ mytime เป็นตัวแปรของช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลทั้งหมด ซึ่งข้อมูลจะถูกเก็บไว้บน Workspace เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่า Y_m และค่า a ในสมการที่ (15)

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย Curve Fitting Tool การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของสมการระบบโดยนำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาวิเคราะห์โดยใช้วิธี Curve Fitting Tool ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย Curve Fitting Tool

การ Fitting โดยกำหนดสมการ Fitting ตามสมการที่ (15) โดยการเลือก Custom Equations ที่ช่อง Type of Fit เลือก General Equations เพิ่มสมการที่ (15) คือ $y = y_m - y_m * \exp(-a * x)$ จากการทำ Curve Fitting เราสามารถให้โปรแกรมคำนวณหาค่า y_m และค่า a ได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ค่า y_m และค่า a

ค่า y_m และค่า a เป็นพารามิเตอร์ของสมการ (17) นำไปคำนวณย้อนกลับไปหาค่าพารามิเตอร์ K_m และค่า T_m ของสมการ (11) สมการจำลองของระบบควบคุมมอเตอร์ของมอเตอร์ดังนี้

จาก $\frac{1}{T_m} = a$, $T_m K = y_m$ และ $K = \frac{K_m K_{m1}}{T_m}$

แทนค่า a = 1.976, y_m = 59.43 และ K_{m1} = 40

$$\frac{1}{T_m} = 1.976 \quad \text{และ} \quad 0.506K = 59.43$$
$$T_m = 0.506 \qquad K = 117.45$$

แทนค่า K, T_m และ K_{m1} เพื่อหาค่า K_m จะได้

$$117.45 = \frac{K_m 40}{0.506}$$
$$K_m = 1.485$$

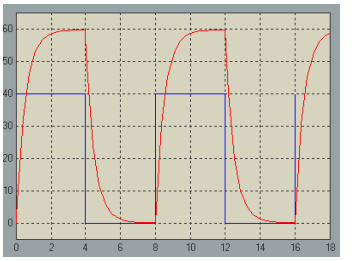
แทนค่า K_m และ T_m ลงในสมการ (11) จะได้

$$H(s) = \frac{1.485}{0.506s + 1} \quad \text{หรือ} \quad H(s) = \frac{2.934}{s + 1.967}$$

แทนค่า K_m และ T_m ลงในสมการ (12) จะได้

$$H(s) = \frac{1.485}{0.506s^2 + s} \quad \text{หรือ} \quad H(s) = \frac{2.934}{s^2 + 1.967s}$$

ขั้นตอนที่ 4 จำลองการทดสอบสมการคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ เพื่อให้แน่ใจว่าสมการคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ถูกต้อง ซึ่งทดสอบโดยการจำลองและนำผลการจำลองแบบ Open loop เปรียบเทียบกับผลตอบสนองของมอเตอร์ในขั้นตอนที่ 1 ดังรูปที่ 8



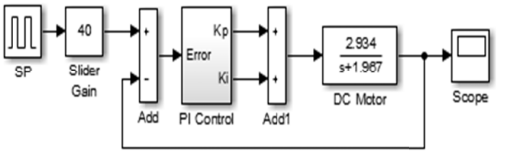
รูปที่ 8 ผลการทดสอบสมการจำลองของระบบควบคุมมอเตอร์

ผลการทดสอบสมการจำลองคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ที่สัญญาณอินพุต 40 รอบต่อนาที พบว่า มีค่าสัญญาณเอาต์พุตที่ประมาณ 60 รอบต่อนาที ซึ่งมีค่าประมาณใกล้เคียงกับผลตอบสนองของระบบในขั้นตอนที่ 1 สามารถนำสมการจำลองคณิตศาสตร์ของมอเตอร์นี้ไปออกแบบตัวควบคุมเพื่อทดสอบตัวควบคุมก่อนนำไปใช้ควบคุมระบบจริง

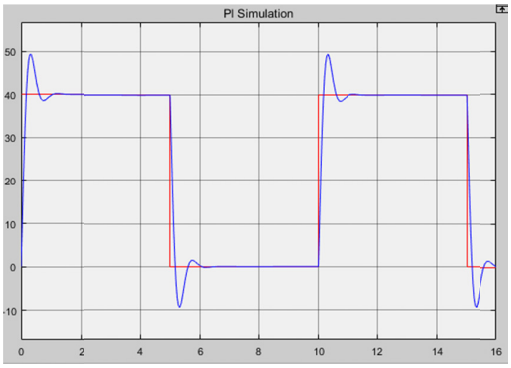
การหาสมการจำลองคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ จากขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 4 โดยใช้ Waijung Blockset ร่วมกับ MATLAB/Simulink เป็นเครื่องมือช่วยในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของสมาการจำลองของมอเอตร์ โดยไม่จำเป็นต้องทราบค่าพารามิเตอร์และค่าคงที่ต่าง ๆ ของมอเตอร์ ช่วยลดความซับซ้อนและเวลาในการคำนวณและมีผลการคำนวณที่แม่นยำ

3. การจำลองออกแบบตัวควบคุมด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การจำลองระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยหาค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบ PI ด้วยวิธีรูตโลคัส โดยกำหนด (Requirement Controller) Overshoot ไม่เกิน 1 % และ settling time เท่ากับ 1 วินาที ดังรูปที่ 9 และรูปที่ 10



รูปที่ 9 การจำลองควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วย Matlab/Simulink

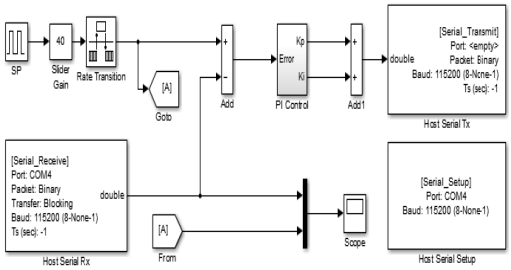


รูปที่ 10 ผลการจำลองควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วย Matlab/Simulink

จากผลการจำลองการควบคุมมอเตอร์ด้วยตัวควบคุมแบบ PI พบว่า ค่า Overshoot ไม่เกิน 1 % และ settling time ไม่เกิน 1 วินาที สามารถนำค่าอัตราขยายของตัวควบคุม PI ไปใช้กับระบบจริงได้

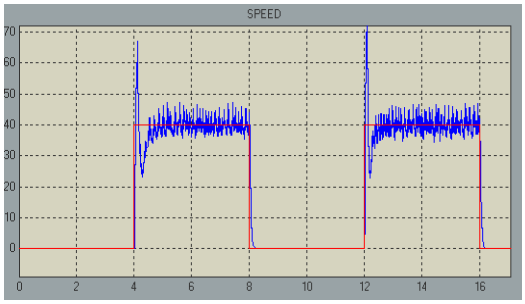
4. การทดลองระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากการจำลองระบบควบคุมด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถนำตัวควบคุมจากการจำลองมาใช้กับระบบจริงโดยการใช้ Waijung Blockset ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 การทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วย Waijung Blockset

จากรูปที่ 11 เป็นการส่งสัญญาณควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่ 40 รอบต่อนาที ผ่าน Host Serial Tx และใช้โปรแกรมควบคุมความเร็วมอเตอร์ตามรูปที่ 8 จากผลการทดลอง พบว่า ผลตอบสนองของการควบคุมความเร็วมอเตอร์ มอเตอร์หมุนด้วยความเร็ว 40 รอบต่อนาที ภายในเวลาไม่เกิน 1 วินาที และค่า Overshoot ไม่เกิน 1 % ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ผลการทดลองควบคุมความเร็ว มอเตอร์

จากรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองของการควบคุมความเร็วมอเตอร์มีค่าใกล้เคียงกับผลตอบสนองของการจำลองการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในรูปที่ 10 อย่างไรก็ตาม การนำตัวควบคุมมาใช้กับระบบจริงนั้นจะมีสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ร่วมกับระบบ ซึ่งจำเป็นต้องออกแบบวงจรกรองสัญญาณความถี่ที่เหมาะสม

5. สรุป

การออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีความยุ่งยากและซับซ้อน และในกระบวนการออกแบบระบบจำเป็นต้องใช้ทั้งซอฟแวร์และฮาร์ดแวร์ ซึ่งการนำ Waijung Blockset ร่วมกับ MATLAB/Simulink มาใช้ช่วยในกระบวนการออกแบบระบบควบคุม เริ่มจากการหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ การจำลองแบบจำลองคณิตศาสตร์ การออกแบบตัวควบคุม การจำลองตัวควบคุม และการนำตัวควบคุมมาทดลองใช้กับระบบจริง ทำให้การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น เนื่องจากเป็นการเขียนโปรแกรมแบบกราฟิก การสร้างโปรแกรมการจำลองทำได้ง่ายและรวดเร็ว ฮาร์ดแวร์มีราคาถูก ประกอบกับซอฟแวร์และฮาร์ดแวร์เป็นมาตรฐานทางอุตสาหกรรม อีกทั้งยังสามารถนำไปพัฒนาเป็นสื่อการเรียนการสอนในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุม เพื่อช่วยให้ผู้เรียนสามารถออกแบบและเชื่อมโยงระหว่างพารามิเตอร์ของระบบ อัตราขยายของตัวควบคุม และผลตอบสนองของระบบได้ง่ายขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สรรพงศ์ ทานอก เป็นอย่างสูง ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นที่ปรึกษา ช่วยเหลือเรื่องการออกแบบและเขียนโปรแกรม รวมทั้งการให้ใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อให้ได้ผลการพัฒนาชุดทดลองการควบคุมมอเตอร์ในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Kultonpreeda, Automatic Control Engineering, Bangkok: Technology Promotion Association (Thailand-Japan), 2013. (in Thai)

[2] G. C. Goodwin, S. F. Graebe and M. E. Salgodo, Control System Design, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000.

[3] S. A. Wadoo and R. Jain, "A Lego Based Undergraduate Control System Laboratory," in *IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference (LISAT)*, New York, 2012.

[4] J. Ding, Z. Li and T. Pan, "Control System Teaching and Experiment Using LEGO MINDSTORMS NXT Robot," *International Journal of Information an Education Technotogy,* vol. 7, no. 4, pp. 309-313, 2017.

[5] M. A. Alia, T. M. Younes and S. A. Alsabbah, "A Design of a PID Self-Tuning Controller Using LabVIEW," *Journal of Software Engineering and Applications,* vol. 4, pp. 161-171, 2011.

[6] V. Boonpranchoo, V. Kongratana, V. Tipsuwanporn and A. Numsomran, "Design of Temporal Logic embedded controller for small oven process," in *1^{1th} International Conference on Control, Automation and Systems*, Gyeonggi-do, 2011.