

การออกแบบระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยโปรแกรม MATLAB

THE DESIGN OF THE SPEED CONTROL SYSTEM FOR A DC MOTOR BY MATLAB PROGRAMS

Received: April 19, 2023

Revise: May 2, 2023

Accepted: May 19, 2023

วิโรจน์ ขาวละออ^{1*}, กิตติยา นาคพันธ์², ฐกฤต ปานขลิบ³

Wiroj Khawlaor^{1*}, Kittiya Nakphan², Thakrit Panklib³

^{1*} สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

² สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

³ สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

46 ถนนเจริญสุขนิทวงศ์ แขวงท่าพระ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพมหานคร 10600

* Corresponding author, Email: kaola_or@yahoo.com

บทคัดย่อ

ด้วยความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีฝังตัวทำให้การใช้งานในระบบการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีความสะดวกมากขึ้น ซึ่งวิธีการที่ใช้ทั่วไปจะเริ่มเปลี่ยนจากการควบคุมแบบ analog ไปสู่การควบคุมแบบ digital โดยการออกแบบจะใช้หลักการของ pulse width modulation การออกแบบและการศึกษาของงานวิจัยฉบับนี้แสดงถึงการทำงานของระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง การออกแบบการควบคุมด้วยโปรแกรม MATLAB และ Simulink เพื่อให้สอดคล้องกับ ฮาร์ดแวร์ และการโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้ได้การทำงานตามต้องการ โดยใช้การควบคุมความเร็วรอบปิดแบบ PID และใช้การทำงานของสัญญาณ PWM เพื่อให้ได้การหมุนและความเร็วของมอเตอร์ตามต้องการ โดยที่ระบบจะมีโครงสร้างไม่ซับซ้อน และมีความสามารถในการป้องกันการรบกวนจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB และ Simulink แสดงถึงผลของการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อให้สะดวกในการทำความเข้าใจและมีเสถียรภาพมากขึ้น และผลการทำงานที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 9 พบว่าระบบควบคุมทำงานที่ความเร็ว 100 rpm จากนั้นทำการเปลี่ยนสถานะของระบบให้ควบคุมที่ความเร็วรอบ 30 rpm พบว่าระบบค่อยๆ ลดความเร็วลงดังรูปที่ 10 และรักษาสถานะคงที่ ที่ความเร็วรอบ 30 rpm โดยมีค่า rise time = 5 sec และ setting time = 9 sec ตามที่กำหนด

คำสำคัญ: Pulse Width Modulation, PID, การควบคุมความเร็ว

Abstract

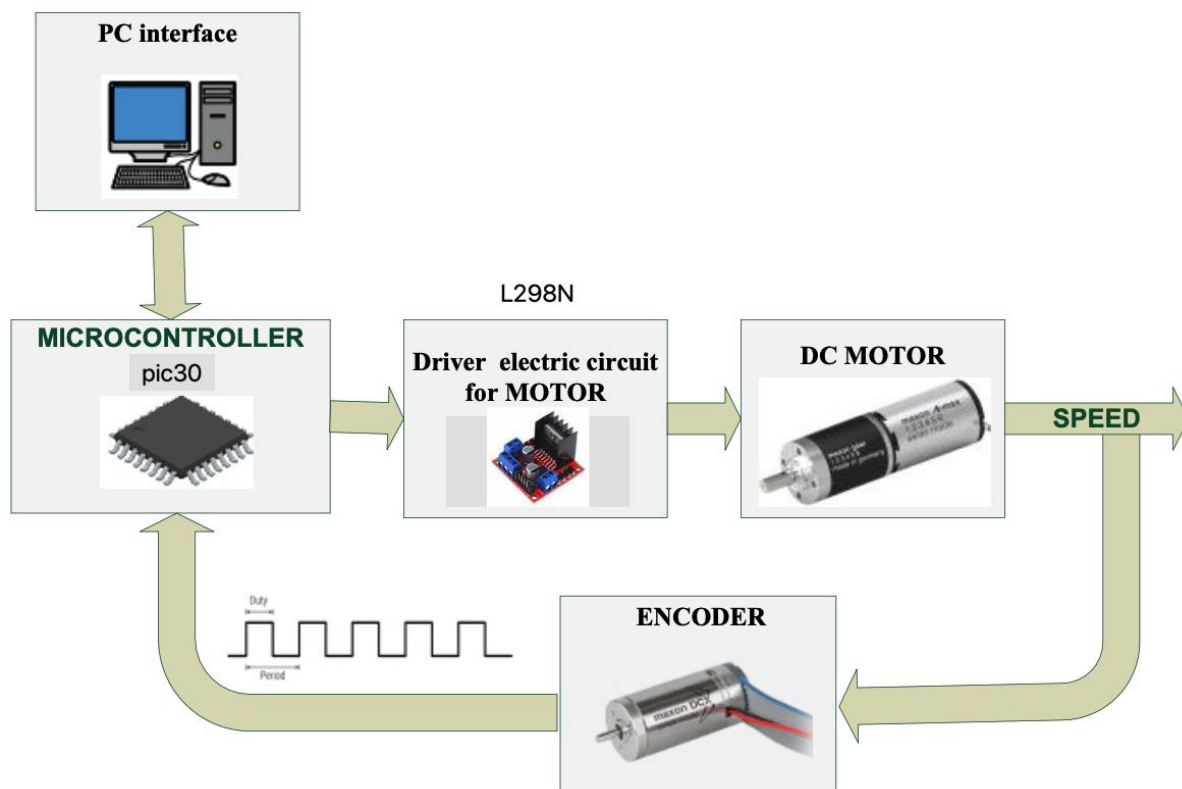
With advancements in embedded technology, it has become more convenient to operate DC motor control systems. The commonly used method is to shift from analog control to digital control. The design is based on the principle of pulse-width modulation. DC electric motor Programmable control design using MATLAB and Simulink to match the hardware and microcontroller programming to achieve the desired operation by using PID closed-loop speed control and PWM signal operation to achieve the desired rotation and speed of the motor has a simple structure. and has the ability to prevent interference from the environment.

The result of simulation by MATLAB and Simulink shows the effect of speed control on a DC electric motor. To make it easier to understand and more stable. The results of the operation are shown in Figure 9. It was found that the control system was running at a speed of 100 rpm. After changing the state of the system to control at a speed of 30 rpm, it was found that the system gradually slowed down as in Figure 10 and maintained a steady state. at 30 rpm with a rise time of 5 sec and a setting time of 9 sec as specified.

Keywords: pulse width modulation, PID, speed control

1. บทนำ

การใช้งานในภาคอุตสาหกรรม มีความต้องการระบบควบคุมที่มีความน่าเชื่อถือ และสอดคล้องกับข้อกำหนดของระบบที่แตกต่างกันเป็นอย่างมาก ซึ่งในปัจจุบันมีความต้องการอย่างสูง [1] โดยในงานวิจัยฉบับนี้จะเกี่ยวข้องกับ การใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อทำการขับเคลื่อนโหลดทางกลแบบเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้นโดยใช้การควบคุมแบบ PID โดยใช้การตอบสนองผ่านกราฟฟิก เพื่อความสะดวกในการเข้าใจ และสามารถนำไปพัฒนาต่อยอด เพื่อนำเสนอผลการตอบสนองและเพื่อรับประกันความน่าเชื่อถือของระบบควบคุม [2] เนื่องจาก มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงถูกใช้ในสายงานที่หลากหลายรูปแบบ เช่น การควบคุมความเร็ว การใช้งานแบบ start stop หรือเรียกว่า on off control การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของเสถียรภาพของระบบ ใช้งานแรงบิดโดยเป็นรอบความเร็วต่ำ หรือใช้งานถึงความสามารถในการรับน้ำหนักได้มากขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีความแม่นยำสูง และ algorithm โดยส่วนใหญ่ จะรับมาจากการควบคุม PID แบบดั้งเดิม ซึ่งมีโครงสร้างของอุปกรณ์ ของระบบประกอบด้วย main board ที่มี microcontroller pic30 และบอร์ดขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง L298N , Encoder , Maxon Motor DC 12 V , และ PC interface ด้วยโปรแกรม MATLAB และ Simulink โดยโครงสร้างของอุปกรณ์ของระบบแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 : ระบบโครงสร้างของการควบคุม Motor [1]

ส่วนโปรแกรม Simulink เป็นโปรแกรมย่อย (Tool Block) ชุดหนึ่งของโปรแกรม MATLAB ที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาค่าผลตอบสนองของระบบควบคุม ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาค่าจากบล็อกไดอะแกรมได้โดยตรง ทำให้ลดความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรมในลักษณะเป็นคำสั่ง หรือการคำนวณหาค่าสมการต่างๆ ที่มีความซับซ้อน

2. อุปกรณ์ในงานวิจัย

2.1) มอเตอร์

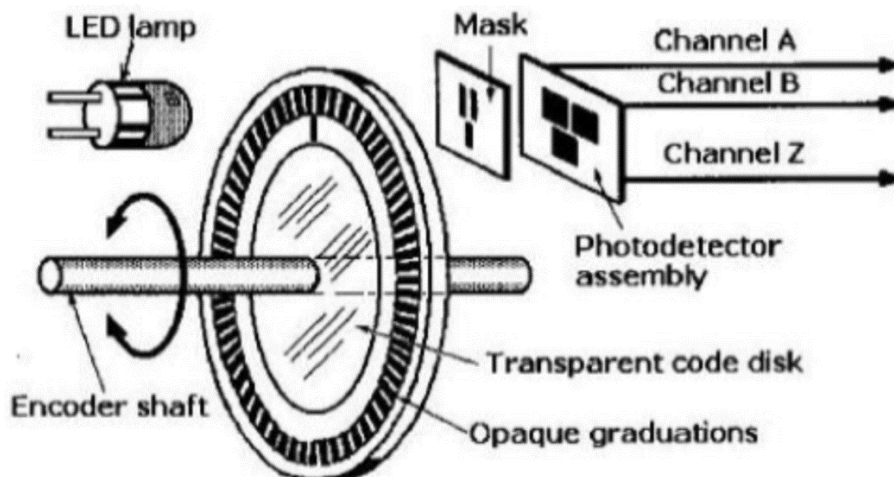
โครงสร้างของฮาร์ดแวร์ ประกอบด้วย เมนบอร์ด ที่มี ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC30 และวงจรการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง Encoder , Motor ของ Maxon motor ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ากระแสตรงที่แรงดัน 12 Vdc แรงบิดที่กำหนด 46.9 mNm กระแสที่กำหนด 4.5 A และมีประสิทธิภาพสูงสุด 88%



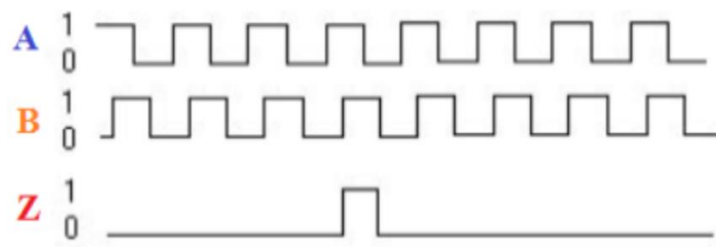
รูปที่ 2 : Maxon DC motor 12 Vdc [6]

2.2) Encoder

เนื่องจากตัวมอเตอร์ไม่มีชุด เอนโคเดอร์ ติดมากับตัวมอเตอร์ ทางผู้วิจัยจึงทำการสร้างชุด เอนโคเดอร์ เพื่อใช้ในการทดสอบเบื้องต้นโดยเป็น อินครีเมนทัล เอนโคเดอร์ แบบหมุนโดยจานหมุนจะมีช่องเล็กๆ เมื่อเพลลาของมอเตอร์หมุนจะทำให้จานหมุนไปตัดกับแสงของเซ็นเซอร์ ออปติคอล ทำให้ชุดรับแสงได้รับสัญญาณเป็นช่วงๆ จึงทำให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นสัญญาณพัลส์ต่อรอบ (PPR) โดยใช้ 6 พัลส์ ต่อรอบ ซึ่งถ้าสามารถเลือกใช้ตัวมอเตอร์ที่มาพร้อมกับชุด เอนโคเดอร์ ก็จะทำให้สะดวกในการติดตั้งแต่จะมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 3 : แสดงส่วนประกอบของ เอนโคเดอร์ [7]



รูปที่ 4 : ตัวอย่าง พัลส์ เอาต์พุตของ อินครีเมนทัล เอนโคเดอร์ [7]

2.3) PIC30

ไมโครคอนโทรลเลอร์ pic30F2012 ถูกนำมาใช้เพื่อรับมือกับการควบคุมที่เปลี่ยนแปลงในงานวิจัยฉบับนี้ ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในงานควบคุมทั้งในเรื่องของการควบคุมความเร็วรอบและการควบคุมตำแหน่ง โดยตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นขนาด 16 bit และมีความเร็วนาฬิกา ที่ 3.8 kHz และเนื่องจากบอร์ดควบคุมถูกออกแบบมาเพื่อจุดประสงค์นี้ จึงมี อินพุต เพื่อใช้ในการควบคุม มอเตอร์ และสำหรับของ เอนโคเดอร์ เพื่อรับสัญญาณ PWM จาก เอนโคเดอร์ และ ฟิน ทั้งหมดสามารถที่จะนำไปใช้งานได้หลากหลายฟังก์ชันการทำงาน

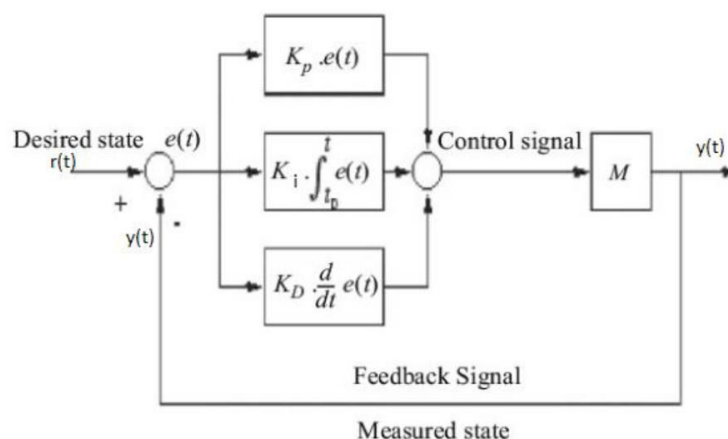
2.4) วงจรขับ มอเตอร์

บอร์ดวงจรได้ถูกออกแบบและผลิตขึ้นเพื่อจุดประสงค์ในการควบคุมและขับเคลื่อนมอเตอร์ และเนื่องจากถูกออกแบบให้ทำงานได้หลากหลาย ตัวบอร์ดจึงมีฟังก์ชันที่ใช้ในการทำงานได้หลายสายงาน ซึ่งจะประกอบด้วยตัวควบคุม pic30 , 2 H-bridge ที่สามารถขับเคลื่อนมอเตอร์ได้ 2 ตัว , 2 encoder อินพุต , UART communication และแหล่งจ่ายไฟ 5V DC-DC

3. อุปกรณ์และหลักการที่ใช้ในการทำงาน

3.1) การทำงานของ PID

กฎการทำงานหลักที่ใช้ในการควบคุมระบบอัตโนมัติ คือการทำงานแบบเชิงเส้นโดยจะเกิดขึ้นจาก ผลรวม และผลต่างของค่าความผิดพลาด จากการทำงานบนพื้นฐานดังกล่าว การควบคุม PID จึงถูกนำไปพัฒนาต่อยอดได้มากมาย โดยมีตัวแปรหลักที่ถูกใช้ในการควบคุม PID คือค่าผลผิดพลาดต้น เอาต์พุต ซึ่งเป็นปริมาณพื้นฐานที่แสดงถึงค่าความแตกต่างระหว่างตำแหน่งที่เกิดขึ้นจริงกับตำแหน่งที่ต้องการของเฟลมอเตอร์ ในกรณีนี้ คือความเร็วเชิงมุม



รูปที่ 5 : บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุม PID

โดยที่ค่าผิดพลาดสามารถคำนวณได้ด้วยสมการ ดังนี้

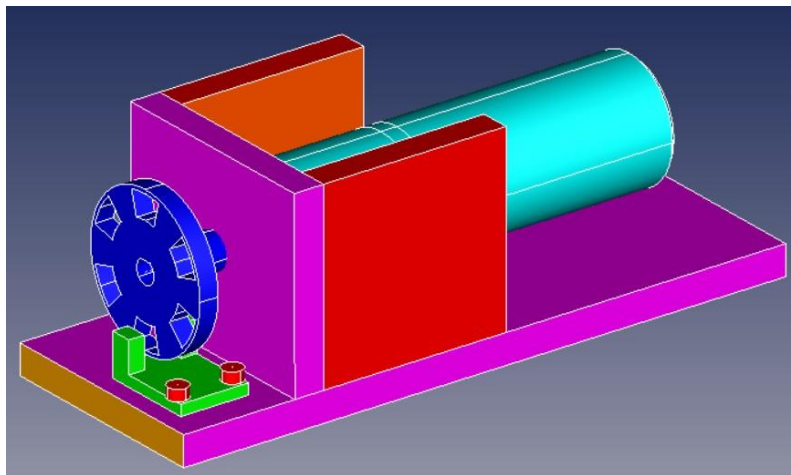
$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (1)$$

$$y(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2)$$

$$U(s) = \left(K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d s \right) E(s) \quad (3)$$

โดยที่ K_p , K_i , K_d แสดงถึงสัมประสิทธิ์ของ ค่าสัดส่วน ค่าอินทิกรัล และค่าอนุพันธ์

3.2) โครงสร้างของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน

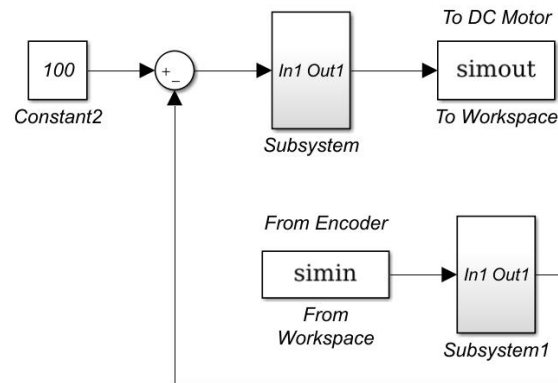


รูปที่ 6 : แสดงส่วนประกอบทางกล ของระบบควบคุมความเร็วรอบ

การควบคุมความเร็วรอบ มีขอบเขตการควบคุมดังนี้โดยจะควบคุมที่ช่วงของความเร็ว 30 – 100 rpm โดยใช้ตัวควบคุม PID ด้วยโปรแกรม MATLAB และ Simulink ได้กราฟการควบคุมที่ความเร็ว 100 กราฟแสดงการตอบสนองของระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว และกราฟการควบคุมที่ความเร็ว 30 rpm

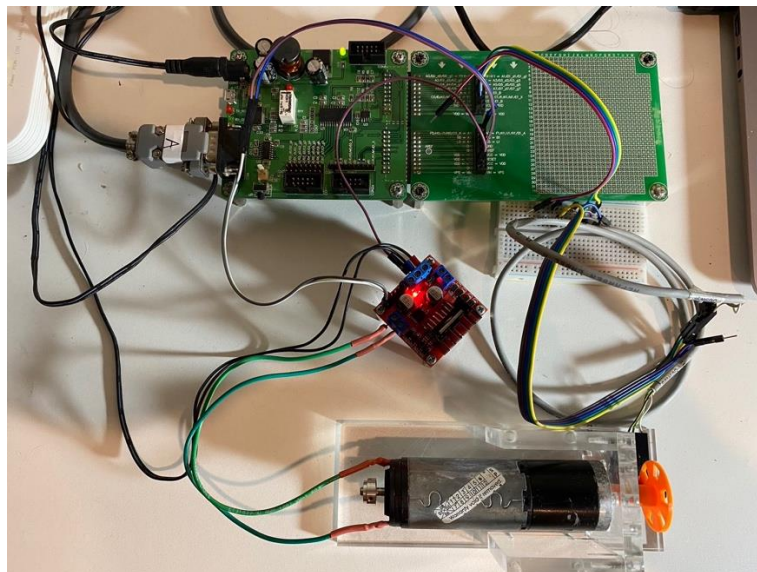
4. ผลการวิจัย

1. สร้างชุดวงจรทางไฟฟ้า เพื่อควบคุมการทำงานความเร็วรอบของ
2. สร้างโครงสร้างทางกล
3. สร้างโค้ดเพื่อสั่งการให้โครงสร้างทางกลกับวงจรทางไฟฟ้าทำงานสอดคล้องและได้ผลลัพธ์ตามต้องการ



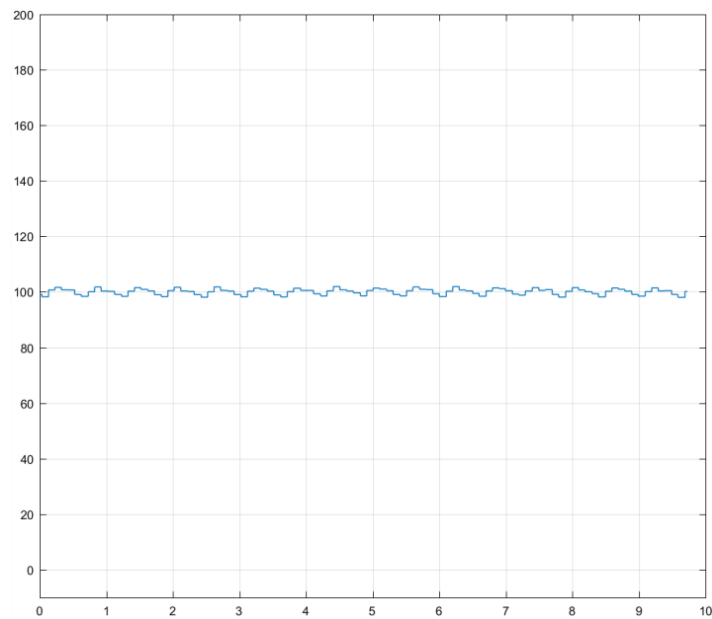
รูปที่ 7 : แสดงการออกแบบระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

รูปที่ 7 แสดงการออกแบบระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยโปรแกรม MATLAB โดยมีค่าความเร็วรอบอ้างอิงที่ 100 rpm และมีชุดควบคุมอยู่ในชุด Subsystem ที่รับค่า In1 และส่งค่าการควบคุมออกไปที่ Out1 ส่งออกไปยัง Workspace เพื่อส่งต่อไปยังชุดทดสอบและทำการรับค่าความเร็วรอบจากชุดทดสอบโดยเอนโคเดอร์ เข้ามายัง Workspace และส่งค่าต่อไปยัง Subsystem1 เพื่อนำไปทำการเปรียบเทียบกับค่าความเร็วอ้างอิงที่ได้ตั้งเอาไว้แล้วส่งผลการเปรียบเทียบต่อไปยังชุดควบคุมเพื่อสร้างสัญญาณในการควบคุมความเร็วรอบในวงลูปต่อไป



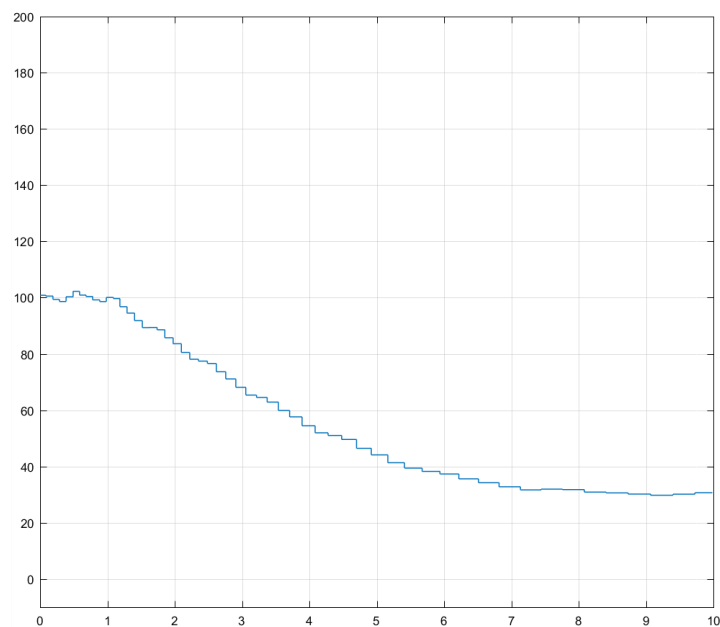
รูปที่ 8 : การประกอบชุดอุปกรณ์ทั้งหมดของระบบควบคุมความเร็วรอบ DC Motor

รูปที่ 8 แสดงการประกอบชุดอุปกรณ์ทั้งหมดในการควบคุมความเร็วรอบ DC Motor ดังนี้ 1) ชุดบอร์ดควบคุม 2) บอร์ดขับ DC Motor 3) Sensor 4) DC Motor 5) Proto board จากนั้นทำการต่อบอร์ดควบคุมเข้ากับ computer เพื่อทำการเชื่อมต่อระหว่าง Hardware กับ Software ที่ทำการควบคุมเพื่อสั่งการให้ motor ทำงานที่ความเร็วรอบที่กำหนด



รูปที่ 9 : กราฟแสดงความเร็วรอบ DC Motor 100 rpm

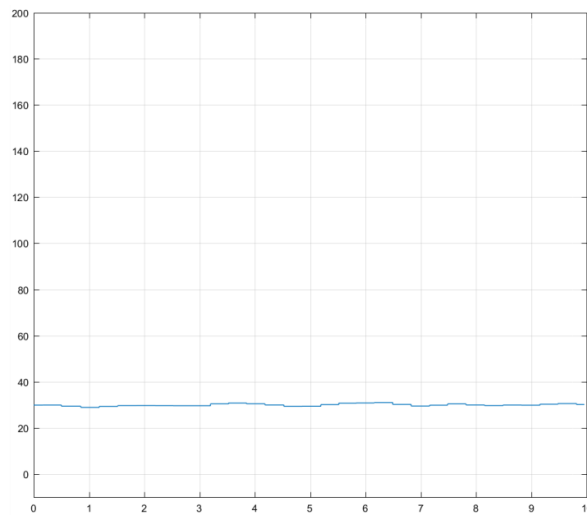
รูปที่ 9 แสดงกราฟการควบคุมความเร็วรอบของ DC Motor ที่ความเร็วรอบ 100 rpm โดยแกน X คือ เวลา (sec) และแกน Y คือค่าความเร็วรอบ (rpm) จากกราฟสังเกตได้ว่าระบบควบคุมทำงานได้ตามต้องการ โดยเมื่อทำการกำหนดความเร็วรอบที่ต้องการคือ 100 rpm แล้วระบบสามารถควบคุมการตอบสนอง output ออกมาได้ 100 rpm



รูปที่ 10 : กราฟแสดงการเปลี่ยนความเร็วจาก 100 เป็น 30 rpm

รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (sec) และผลการตอบสนองของระบบในรูปของความเร็วรอบ (rpm) ซึ่งถูกควบคุมโดยระบบควบคุมที่ได้ทำการออกแบบ โดยทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ DC Motor จาก 100

เป็น 30 rpm จากกราฟพบว่า ระบบมีช่วงเวลา rise time ประมาณ 5 sec และระบบไม่มี overshoot และมี steady time ที่เวลาประมาณ 9 sec



รูปที่ 11 : กราฟแสดงความเร็วรอบ DC Motor 30 rpm

รูปที่ 11 กราฟแสดงการควบคุมความเร็วรอบ DC Motor ที่ความเร็ว 30 rpm โดยกราฟแกน X คือ เวลา (sec) และแกน Y คือค่าความเร็วรอบ

5. สรุปผลและวิเคราะห์

จากรายงานวิจัยเป็นการควบคุมความเร็วรอบ DC Motor โดยมีช่วงความเร็วที่ 30 – 100 rpm โดยการใช้โปรแกรม MATLAB และ Simulink ซึ่งในปัจจุบันมีความสะดวกและง่ายในการใช้งานรวมถึงสามารถเข้าถึงได้มากกว่าที่ผ่านมา เนื่องจากไม่ต้องทำการเขียน code แบบที่ผ่านมา จึงทำให้โปรแกรมหางานเป็นที่ยอมรับและมีการใช้งานมากยิ่งขึ้น ซึ่งจากรายงานวิจัยพบว่าระบบควบคุมความเร็วรอบสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เนื่องจากตัวระบบมีความเสถียร และสามารถปรับความเร็วได้ตามที่ต้องการ โดยชุดการควบคุมผู้วิจัยได้แสดงผลแบบกราฟโดยแสดงเป็นแบบ real time เพื่อดู sensitivity ของระบบว่ามีการตอบสนองได้รวดเร็วเพียงใด พบว่ามีค่า rise time = 5 วินาที โดยที่ไม่มี over shoot และมีค่าระยะเวลาในสภาวะคงตัวที่ 9 วินาที ซึ่งพบว่าระบบที่ทำการสร้างเป็นระบบที่มีความเสถียร โดยค่าความเร็วรอบจะวิ่งขึ้นลง อยู่ระหว่างค่าที่กำหนด และเนื่องจากระบบเป็นระบบที่สร้างขึ้นได้เองทั้งระบบทำให้สามารถปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ ให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในแต่ละสายงาน รวมถึงราคาของอุปกรณ์ในการสร้างส่วนประกอบของระบบควบคุมที่ลดลงอย่างมาก เนื่องจาก ต้นทุนราคาของชุด เอนโคเดอร์มีราคาสูงทำให้ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญถึงการพัฒนาองค์ความรู้ที่สามารถสร้างขึ้นได้เองภายในประเทศจึงเป็นที่มาของงานวิจัยฉบับนี้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณวิทยาลัยเทคโนโลยีสยามที่ให้การสนับสนุนในเรื่องสถานที่และเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ขอขอบพระคุณท่านอธิการบดีวิทยาลัยเทคโนโลยีสยามที่ให้การสนับสนุนในการทำงานที่หลากหลาย รวมถึงท่านคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้คำแนะนำในการทำงานด้วยความกรุณาเสมอมา ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีทุกๆ ท่านที่อำนวยความสะดวกในด้านธุรการต่างๆ ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] He chun hong, Ren Bin (2018). Design of DC motor speed regulation system base on arm. *IEEE (2018)*
- [2] Vladimir Rajs, Nikola Lj, Rašević, Milan Z Bodić, Miodrag M. Zuković, Kalman B. Babković (2022). PID controller design for motor speed Regulation with linear and nonlinear load. *IEEE (2022)*
- [3] Chong Zhao, Zhaoxi Hua (2022). Design of motor speed control system base on STM32 Microcontorller. *IEEE (2022)*
- [4] Mohamed Elhaj Ahmed Mohamed, Guo Yanling, Babekir A.rahman Osman, Abdelmotalib Ahmed Mohamed (2019). Design of Speed Control System of DC motor Based on PID tuning with fuzzy define weighting point. *IEEE (2019)*
- [5] Yavuz Bahadır, Koca Yılmaz Aslan; Bariş Gökçe (2021). Speed Control Based PID Configuration of a DC Motor for An Unmanned Agricultural Vehicle. *IEEE (2021)*
- [6] <https://www.distrelec.de/en/dc-motor-26-mm-maxon-506387/p/30062853>
- [7] <https://www.primusthai.com/primus/Knowledge/info?ID=157>
- [8] https://www.researchgate.net/figure/The-Model-of-a-PID-Controller-Configuration-From-Figure-3-the-mathematical-expression_fig3_344378374
- [9] Zhou Yanfei, YUAN Wenyu, Sun Xiaoting, Huang Yi. Design of DC Servo Motor Speed Control System Based on DSP Technology [J]. *Electronic Technology and Software Engineering*, 2020(03): 240-242.
- [10] A. Abdulameer, M. Sulaiman, M. S. M. Aras, and D. Saleem, "Tuning methods of PID controller for DC motor speed control," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 343–349, 2016.
- [11] S. D. Sahputro, F. Fadilah, N. A. Wicaksono, and F. Yusivar, "Design and implementation of adaptive PID controller for speed control of DC motor," *QiR 2017 - 2017 15th Int. Conf. Qual. Res. Int. Symp. Electr. Comput. Eng.*, vol. 2017-Decem, no. 1, pp. 179–183, 2017, doi: 10.1109/QIR.2017.8168478.
- [12] Ronghui Xue. Design of DC Motor Speed Control System Based on PWM Control [J]. *International Core Journal of Engineering*, 2020 (8).
- [13] Nishant Kumar Sinha; P. M. Tiwari, Multiple motor synchronization using nonlinear PID control, 2017 3rd International Conference on Advances in Computing, Communication & Automation (ICACCA), DOI: 10.1109/ICACCAF.2017.8344713
- [14] Md Mahmud; S. M. A. Motakabber; A. H. M. Zahirul Alam; Anis Nurashikin Nordin, Adaptive PID Controller Using for Speed Control of the BLDC Motor, 2020 IEEE International Conference on Semiconductor Electronics, DOI: 10.1109/ICSE49846.2020.9166883
- [15] M. A. H. Azman, J. M. Aris, Z. Hussain, A. A. A. Samat, and A. M. Nazelan, "A comparative study of fuzzy logic controller and artificial neural network in speed control of separately excited DC motor," in 2017 7th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE), 2017, pp. 336-341.