

LAB 1: Sensors

Name

- นาย ชวนากร เจนกิจ 67340500007
- นางสาว เบญญา บุรณะบัญญัติ 67340500026
- นางสาว ชุติกาญจน์ ก้องกาจกำแหง 67340500069

Objectives

- เพื่อให้ เข้าใจหลักการทำงานของ Potentiometer
- เพื่อให้ เข้าใจหลักการทำงานของ Incremental Encoder
- เพื่อให้ เข้าใจหลักการทำงานของ Magnetic Sensor
- เพื่อให้ เข้าใจหลักการทำงานของ Load Cell

1.1 Potentiometer

การทดลองที่ 1 ผลขององศาการหมุน Rotary Potentiometer และระยะการเลื่อน Linear Potentiometer แต่ละชนิดต่อแรงดันไฟฟ้าขาออก

จุดประสงค์

1. เพื่ออธิบายหลักการทำงานของ Rotary Potentiometer และ Linear Potentiometer
2. เพื่อวิเคราะห์และระบุคุณสมบัติของ Rotary Potentiometer Type A, B, C และ Linear Potentiometer Type A, B
3. เพื่อศึกษาการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อองศาการหมุน Rotary Potentiometer และระยะการเลื่อน Linear Potentiometer

สมมติฐาน

เมื่อหมุน Rotary Potentiometer Type A, B และ C ไปด้วยองศาที่มากขึ้น แรงดันไฟฟ้าขาออกจะเพิ่มขึ้น แต่เพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ไม่เท่ากันในแต่ละชนิด ส่งผลต่อลักษณะความเป็นเชิงเส้นของ Rotary Potentiometer แต่ละชนิด

เมื่อเลื่อน Linear Potentiometer Type A และ B ไปด้วยระยะที่มากขึ้น แรงดันไฟฟ้าขาออกจะเพิ่มขึ้น แต่เพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ไม่เท่ากันในแต่ละชนิด ส่งผลต่อลักษณะความเป็นเชิงเส้นของ Linear Potentiometer แต่ละชนิด

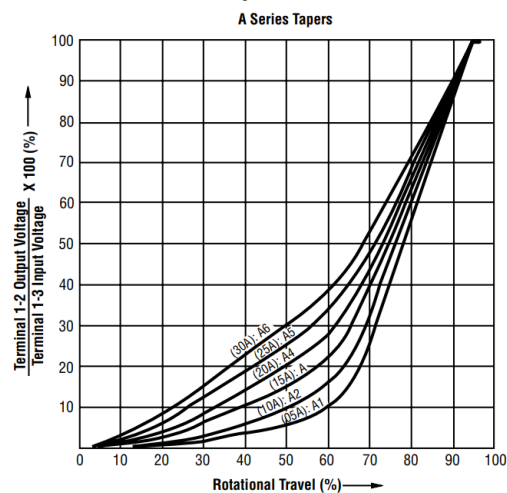
ตัวแปร

1. ตัวแปรต้น:
 - ชนิดของ Potentiometer
 - องศาการหมุนหรือระยะการเลื่อน
2. ตัวแปรตาม:
 - แรงดันไฟฟ้าขาออก
3. ตัวแปรควบคุม:
 - สเกลที่ใช้ระบุระยะของ Linear Potentiometer
 - ตำแหน่งที่หมุนไปในแต่ละองศาหรือตำแหน่งที่เลื่อนไปในแต่ละระยะ
 - อัตราการเพิ่มองศาที่หมุนหรือระยะที่เลื่อน
 - ผู้สังเกตและหมุนหรือเลื่อน Potentiometer
 - แรงดันไฟฟ้าขาเข้า
 - Potentiometer ที่ใช้

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

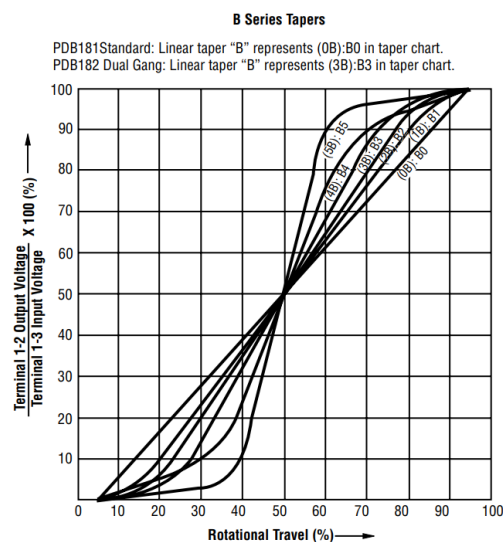
Rotary Potentiometer ที่ใช้ในการทดลองนี้มี 3 ตัว ได้แก่ PDB181-K420K-103A2, PDB181-K420K-103B และ PDB181-K420K-103C ทุกตัวมีค่าความต้านทานสูงสุด 10,000 โอห์ม โดยมีคุณสมบัติการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อองค์การหมุนที่แตกต่างกัน ดังนี้

- PDB181-K420K-103A2 เป็น Rotary Potentiometer Type A ซึ่งมีกราฟการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อองค์การหมุนเป็น Logarithm ดังแสดงในรูปที่ 1



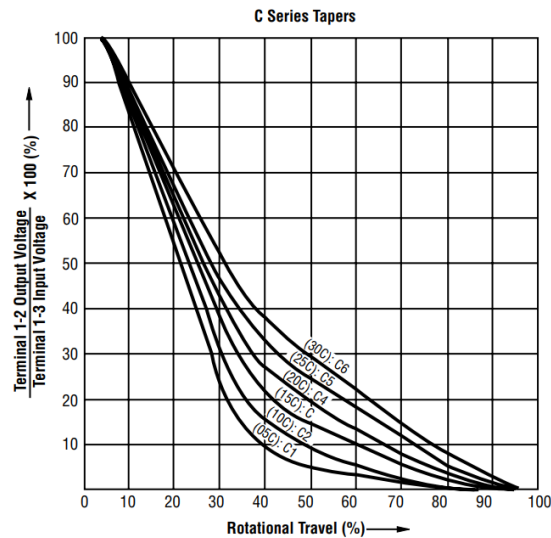
รูปที่ 1 กราฟแสดงร้อยละของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อร้อยละของการหมุน Rotary Potentiometer Type A

- PDB181-K420K-103B เป็น Rotary Potentiometer Type B ซึ่งมีกราฟการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อองค์การหมุนเป็น Linear ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟแสดงร้อยละของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อร้อยละของการหมุน Rotary Potentiometer Type B

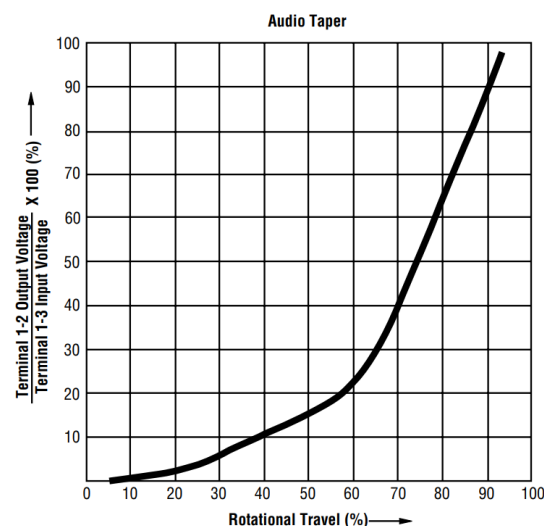
- PDB181-K420K-103C เป็น Rotary Potentiometer Type C ซึ่งมีกราฟการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อการหมุนเป็น Anti-Logarithm ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟแสดงร้อยละของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อร้อยละของการหมุน Rotary Potentiometer Type C

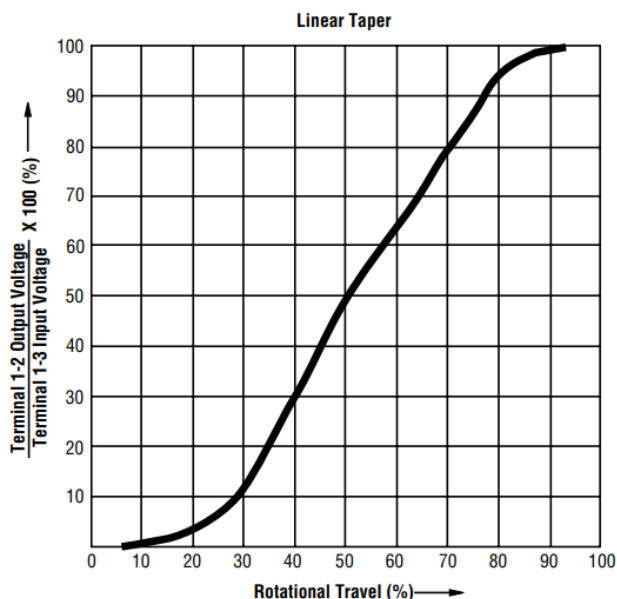
Linear Potentiometer ที่ใช้ในการทดลองนี้มี 2 ตัว ได้แก่ PTA6043-2015DPA103 และ PTA6043-2015DPB103 ทุกตัวมีค่าความต้านทานสูงสุด 10,000 โอห์ม โดยมีคุณสมบัติการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อระยะการเลื่อนที่แตกต่างกัน ดังนี้

- PTA6043-2015DPA103 เป็น Linear Potentiometer Type A ซึ่งมีกราฟการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อระยะการเลื่อนเป็น Logarithm ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟแสดงร้อยละของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อร้อยละของการเลื่อน Linear Potentiometer Type A

- PTA6043-2015DPB103 เป็น Linear Potentiometer Type B ซึ่งมีกราฟการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อระยะการเลื่อนเป็น Linear ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟแสดงร้อยละของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อร้อยละของการเลื่อน Linear Potentiometer Type B

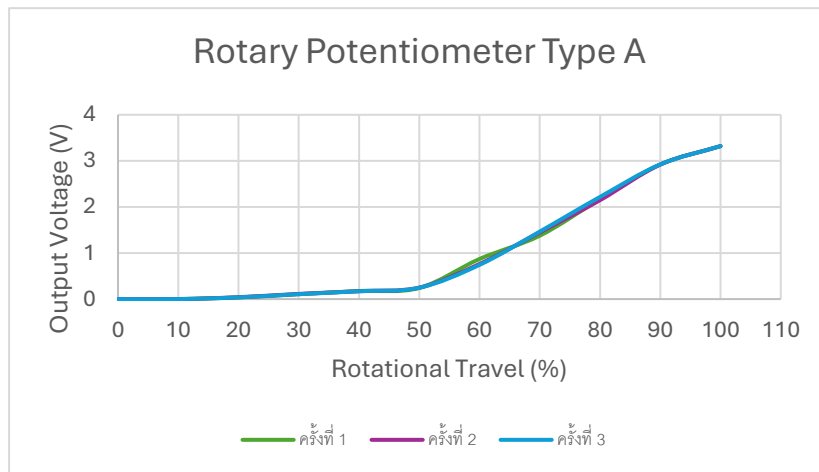
ขั้นตอนการดำเนินงาน (อธิบายขั้นตอนการทดลอง ใส่เฉพาะขั้นตอนที่จำเป็น)

1. เขียนระบุสเกลความละเอียด 1 มิลลิเมตร สำหรับ Linear Potentiometer
2. เชื่อมต่อบอร์ดทดลองเข้ากับคอมพิวเตอร์ เปิดไฟล์ Simulink เพื่ออ่านค่าจาก Display โดยหมุนและเลื่อน Potentiometer ทุกตัวไปที่สเกล 0 แล้วอ่านค่า หากอ่านค่าได้ประมาณ 4095 ต้องเปลี่ยนการต่อสายไฟ โดยสลับตำแหน่งสาย 3.3 V และ GND เพื่อให้ค่าที่อ่านได้เป็นไปในทางเดียวกันกับสเกลของ Sensor จริง
3. เนื่องจากค่าที่อ่านได้เป็นค่า ADC จึงต้องนำไปแปลงเป็น Voltage ก่อน โดยใช้ Gain เป็น $3.32/4095$ ค่า 3.32 มาจากแรงดันไฟฟ้าขาเข้าที่วัดได้ ส่วน 4095 มาจาก ADC 12 bits
4. หมุน Rotary Potentiometer Type A เพิ่มตามสเกลครั้งละ 10 หน่วย จนถึงสเกล 100 จากนั้นบันทึกกราฟแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อเวลาที่ได้ ทำซ้ำ 3 ครั้ง และทำเช่นเดียวกันนี้กับ Type B และ Type C
5. เลื่อน Linear Potentiometer Type A เพิ่มตามสเกลครั้งละ 5 มิลลิเมตร จนถึงสเกล 60 มิลลิเมตร จากนั้นบันทึกกราฟแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อเวลาที่ได้ ทำซ้ำ 3 ครั้ง และทำเช่นเดียวกันนี้กับ Type B
6. นำกราฟแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อเวลาที่ได้ มาแปลงเป็นกราฟแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อระยะสเกลที่หมุนหรือเลื่อนไป

ผลการทดลอง (สิ่งที่เกิดขึ้นจริงในการทดลอง)

- การหมุน Rotary Potentiometer Type A

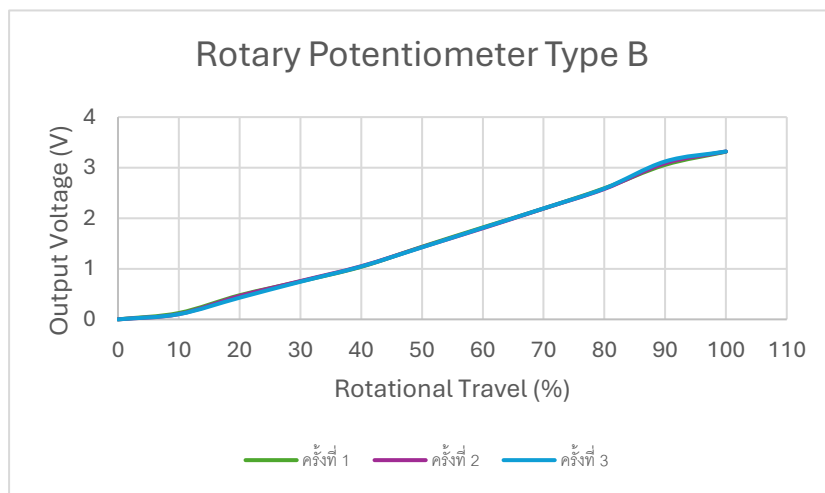
สามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 6 กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อระยะสเกลที่หมุนไปของ Rotary Potentiometer Type A

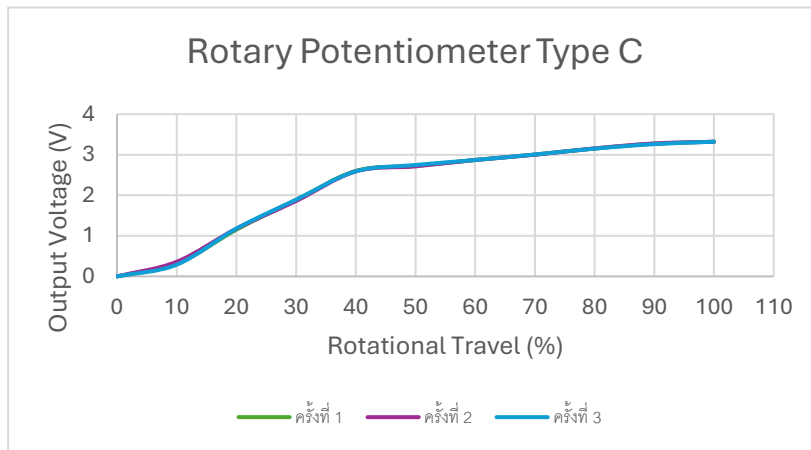
- การหมุน Rotary Potentiometer Type B

สามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังนี้



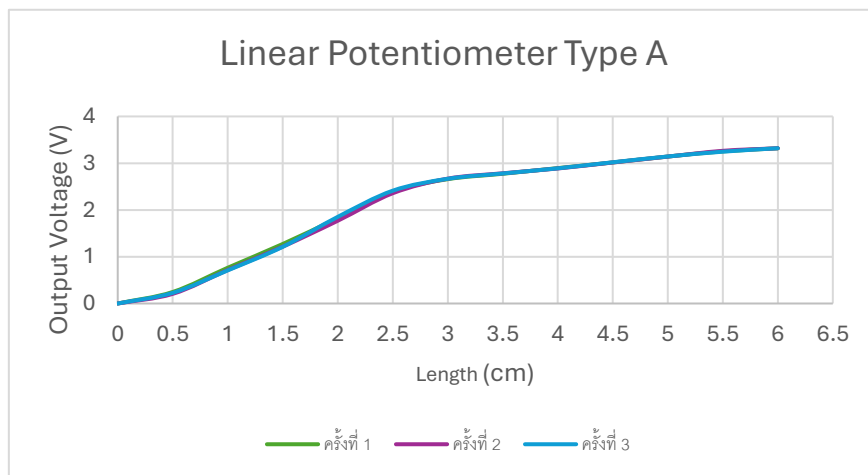
รูปที่ 7 กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อระยะสเกลที่หมุนไปของ Rotary Potentiometer Type B

- การหมุน Rotary Potentiometer Type C สามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังนี้



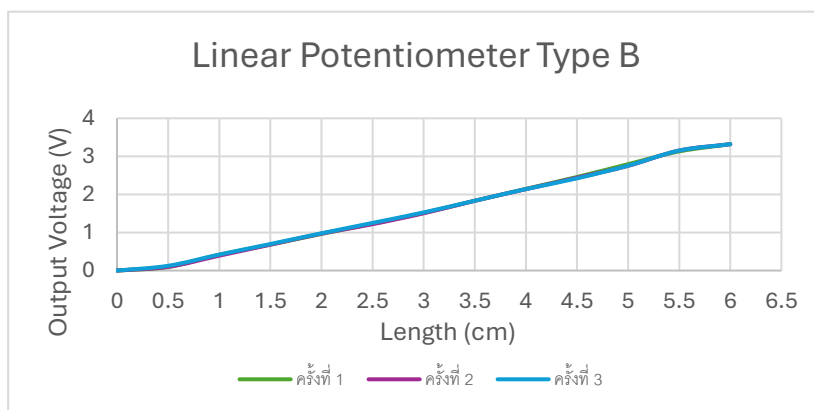
รูปที่ 8 กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อระยะสเกลที่หมุนไปของ Rotary Potentiometer Type C

- การเลื่อน Linear Potentiometer Type A สามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 9 กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อระยะสเกลที่เลื่อนไปของ Linear Potentiometer Type A

- การเลื่อน Linear Potentiometer Type B สามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 10 กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อระยะสเกลที่เลื่อนไปของ Linear Potentiometer Type B

สรุปผลการทดลอง

จากรูปที่ 6 กราฟ Rotary Potentiometer Type A ช่วง 0 ถึง 50 % มีความชันที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับ ช่วง 50 ถึง 100 % แสดงให้เห็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อระยะสเกลที่หมุนไปที่ไม่คงที่ โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น แสดงถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของกราฟ

จากรูปที่ 7 กราฟ Rotary Potentiometer Type B มีความชันที่ใกล้เคียงกันในทุก ๆ ช่วง แสดงให้เห็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อระยะสเกลที่หมุนไปที่คงที่ แสดงถึงความ เป็นเชิงเส้นของกราฟ

จากรูปที่ 8 กราฟ Rotary Potentiometer Type C ช่วง 0 ถึง 40 % มีความชันที่มากกว่าเมื่อเทียบกับ ช่วง 40 ถึง 100 % แสดงให้เห็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อระยะสเกลที่หมุนไปที่ไม่คงที่ โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ลดลง แสดงถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของกราฟ

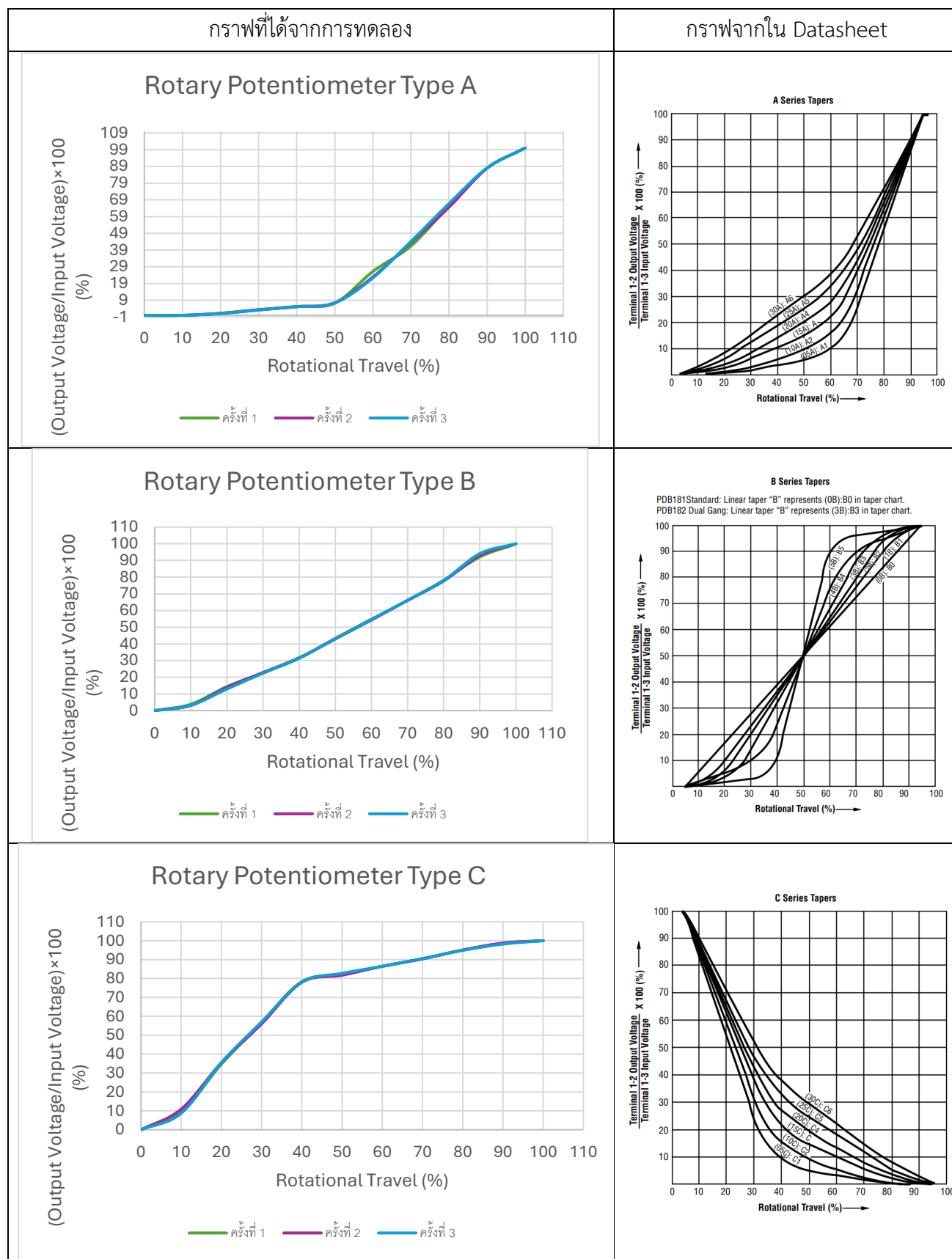
จากรูปที่ 9 กราฟ Linear Potentiometer Type A ช่วง 0 ถึง 2.5 เซนติเมตร มีความชันมากกว่าเมื่อเทียบกับ ช่วง 2.5 ถึง 6 เซนติเมตร แสดงให้เห็นถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อระยะสเกลที่เลื่อนไปที่ไม่คงที่ โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ลดลง แสดงถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของกราฟ

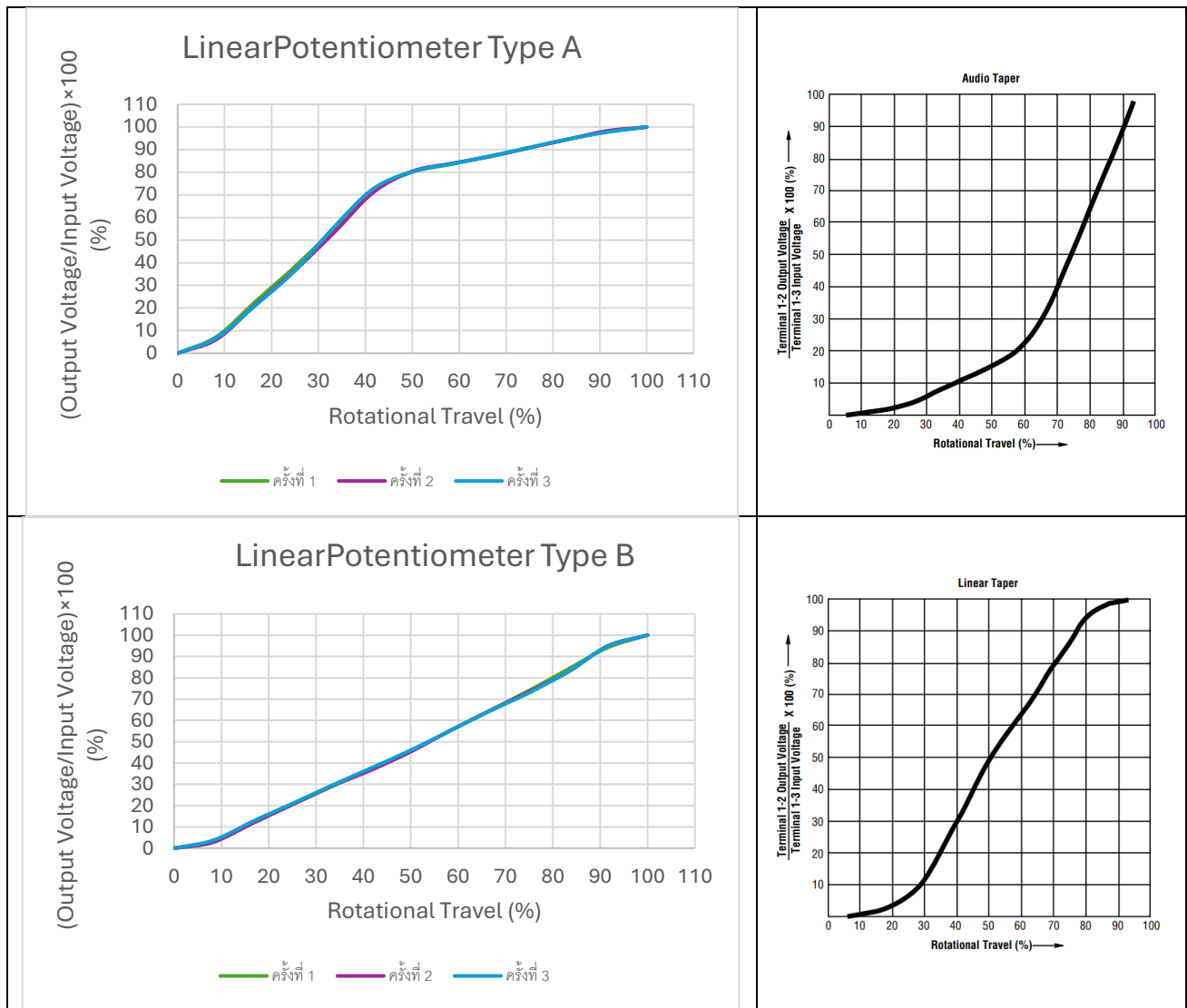
จากรูปที่ 10 กราฟ Linear Potentiometer Type B มีความชันที่ใกล้เคียงกันในทุก ๆ ช่วง แสดงให้เห็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อระยะสเกลที่หมุนไปที่คงที่ แสดงถึงความ เป็นเชิงเส้นของกราฟ

อภิปรายผล

จากการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นถึงหลักการทำงานของ Potentiometer ที่ไม่มีขั้วทางไฟฟ้าเพราะสามารถเปลี่ยนขั้วไฟที่จ่ายได้ และเมื่อหมุนหรือเลื่อนไปด้วยระยะต่าง ๆ จะส่งผลต่อค่าความต้านทานภายใน ทำให้แรงดันไฟฟ้าขาออกเปลี่ยนไป ตามหลักการ Voltage Divider นอกจากนี้หากนำกราฟที่ได้จากการทดลองมาเปลี่ยนค่าแกน Y ให้เป็น $\frac{\text{Output Voltage}}{\text{Input Voltage}} \times 100$ จะสามารถนำไปเปรียบเทียบกับกราฟใน Datasheet ได้ดังนี้

ตารางที่ 1 ตารางการเปรียบเทียบกราฟจาก Datasheet และกราฟจากการทดลอง



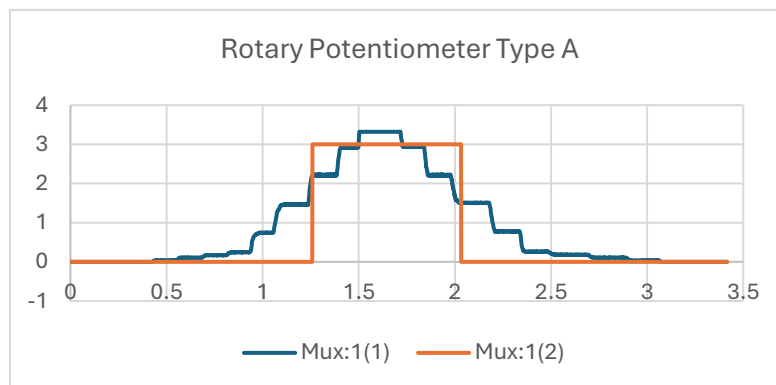


จากการเปรียบเทียบข้างต้นทำให้พบว่า Rotary Potentiometer Type A มีลักษณะกราฟเป็น Logarithm เช่นเดียวกับกราฟใน Datasheet แต่ Linear Potentiometer Type A มีลักษณะกราฟเป็น Anti-Logarithm ซึ่งตรงข้ามกับกราฟใน Datasheet คาดว่าเกิดจากการเลือกจุดเริ่มต้นในด้านที่ตรงข้ามกับ Datasheet เนื่องจาก Potentiometer ไม่มีขั้ว จึงสามารถเลือกจ่ายไฟและกำหนดให้ด้านใดเป็นจุดเริ่มที่มีค่าเป็นแรงดันขาออกเป็น 0 ก็ได้ ส่งผลให้ค่าที่เก็บได้มีทิศตรงข้ามกับ Datasheet ส่วนทั้ง Rotary และ Linear Potentiometer Type B มีลักษณะกราฟเป็น Linear เช่นเดียวกับกราฟใน Datasheet และ Rotary Potentiometer Type C มีลักษณะกราฟเป็น Anti-Logarithm เช่นเดียวกับกราฟใน Datasheet

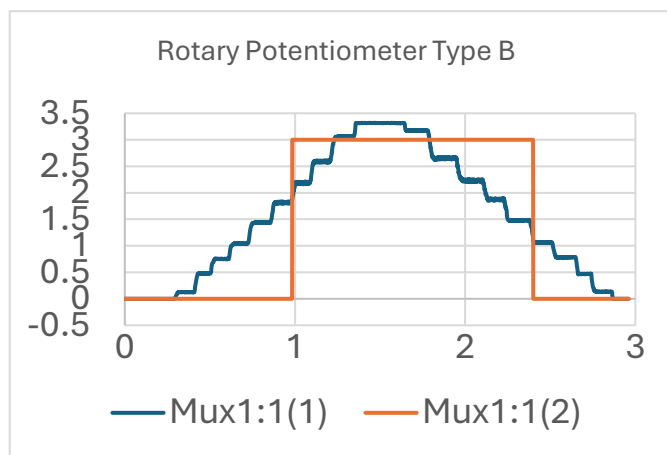
ข้อเสนอแนะ

1. ใช้เครื่องมือที่สามารถทำให้หมุนได้ตามระยะที่แม่นยำในการหมุนเพื่อลด error ที่เกิดจากความไม่แม่นยำในการหมุน

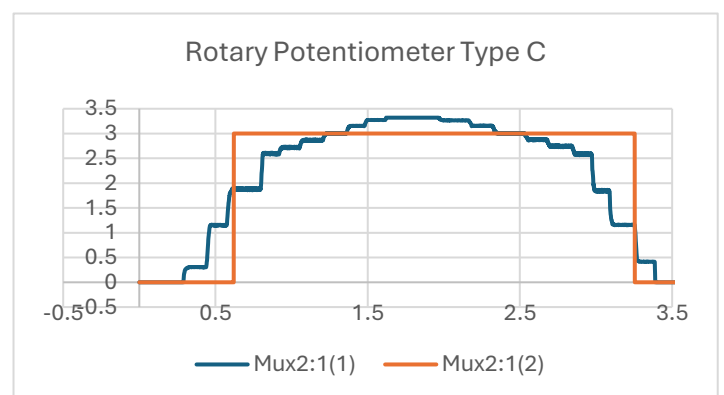
2. หากต้องการแปลงสัญญาณ Analog ของ Potentiometer เป็นสัญญาณ Digital สามารถทำได้โดยการต่อวงจร Schmitt Trigger และกำหนดค่า Upper และ Lower Threshold Voltage ที่เหมาะสมสำหรับ Potentiometer แต่ละชนิด โดยกำหนดค่า Upper และ Lower Threshold ของแต่ละชนิดจากระยะที่หมุนเพิ่มขึ้นตามสเกลครั้งละ 10 หน่วย หากสเกลที่หมุนไปมีค่าแรงดันขาออกมากกว่า 1.65 โวลต์ จะกำหนดให้สเกลนั้นเป็น Upper Threshold และหากสเกลที่หมุนไปมีค่าแรงดันขาออกน้อยกว่า 1.65 โวลต์ จะกำหนดให้สเกลนั้นเป็น Lower Threshold ดังนั้นหากจะทำให้สัญญาณ Digital เป็น High จะต้องหมุน Type A ไปที่สเกลที่มากกว่า B และ C โดยที่ C จะหมุนไปที่สเกลน้อยที่สุด และหากต้องการให้สัญญาณ Digital เป็น Low จะต้องหมุน Type C ไปที่สเกลที่มากกว่า A และ B โดยที่ A จะหมุนไปที่สเกลน้อยที่สุด



รูปที่ 11 การแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital ของ Rotary Potentiometer Type A



รูปที่ 12 การแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital ของ Rotary Potentiometer Type B



รูปที่ 13 การแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital ของ Rotary Potentiometer Type C

อ้างอิง

<https://www.mouser.com/datasheet/3/40/1/PDB18.pdf>

<https://www.mouser.com/datasheet/3/40/1/pta.pdf>

<https://www.mathworks.com/help/sps/ref/schmitttrigger.html>

1.2: Incremental Encoder

การทดลองที่ 1 เทียบผลของ Pulse การหมุนของ Encoder แต่ละตัวที่ผ่านโปรแกรม Wrap Around ต่อองศาที่หมุนจริง

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานและการอ่านค่าของ Encoder
2. เพื่อศึกษาโหมดการอ่านของ Encoder (X1, X2 และ X4)
3. เพื่อพัฒนาโปรแกรม Wrap Around และ Homing Sequence

สมมติฐาน

หากหมุน Encoder ไปด้วยองศาที่มากขึ้นเรื่อย ๆ ค่าอ่านที่ได้ก็ควรจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามองศาหมุนที่มากขึ้น

ตัวแปร

1. ตัวแปรต้น:
 - องศาการหมุน
 - ชนิดของ Encoder (BOURNS PEC11R-4220F-N0024 และ AMT103-V)
 - ความเร็วในการหมุน
2. ตัวแปรตาม:
 - ค่า Pulse ที่อ่านได้หลังจากผ่านโปรแกรม Wrap Around
3. ตัวแปรควบคุม:
 - VCC 3.3V
 - Encoder Mode คือ Encoder Mode TI1 and TI2 (X4)
 - NUCLEO-G474RE

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- 1 Incremental Encoder เป็น Encoder ที่ใช้แปลงตำแหน่งหรือการเคลื่อนที่เชิงมุมของเพลลาเป็นรหัสดิจิทัล เพื่อรับรู้การเคลื่อนที่หรือตำแหน่ง หลักการทำงานของ Incremental Encoder คือ ทำงานโดยการเปลี่ยนตำแหน่งเชิงมุมของเพลลาเป็นสัญญาณพัลส์หรือสัญญาณดิจิทัลผ่านแผ่นดิสก์ออปติคัล ในแต่ละรอบ จะมีการสร้างพัลส์จำนวนหนึ่ง โดยพัลส์แต่ละพัลส์จะเป็นค่าเพิ่มตามความละเอียดที่กำหนด โดยระบุเป็นจำนวน "พัลส์ต่อรอบ" (PPR)

- 2 การเข้ารหัสแบบ Quadrature เป็นเทคนิคที่ใช้ในเครื่องอ่านการหมุนของ Encoder โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้
 - 1.1. X1 Encoding: จะนับแค่ขอบเขต (Edge) ของช่องเดียว (ช่อง A หรือ B) ซึ่งทำให้ความละเอียดต่ำสุด
 - 1.2. X2 Encoding: นับทั้งขอบเขตขึ้น (Rising) และขอบเขตลง (Falling) ของช่องเดียว ซึ่งทำให้ความละเอียดเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า
 - 1.3. X4 Encoding: นับทั้งขอบเขตขึ้นและลงของทั้งสองช่อง (A และ B) ทำให้ความละเอียดเพิ่มขึ้นเป็นสี่เท่า
- 3 Quadrature Encoder ทำงานโดยการสร้างสัญญาณพัลส์จากช่องสัญญาณหลักสองช่อง คือ Channel A และ Channel B ซึ่งถูกเข้ารหัสให้มี เฟสต่างกัน 90 องศา การต่างเฟสนี้เป็นกลไกสำคัญที่ทำให้สามารถตรวจจับทิศทางการเคลื่อนที่ได้ อย่างแม่นยำ
 - การระบุทิศทาง: หาก Channel A นำหน้า Channel B แสดงว่าหมุนไปทิศทางหนึ่ง (เช่น ตามเข็มนาฬิกา) และหาก Channel B นำหน้า Channel A แสดงว่าหมุนไปอีกทิศทางหนึ่ง
 - การระบุตำแหน่งอ้างอิง: นอกจากนี้ ยังมีสัญญาณที่สามคือ Channel Z (Index) ซึ่งจะสร้างพัลส์ออกมาเพียง หนึ่งครั้งต่อการหมุนครบ 360 องศา เพื่อใช้ในการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นหรือตำแหน่งอ้างอิงที่แน่นอน

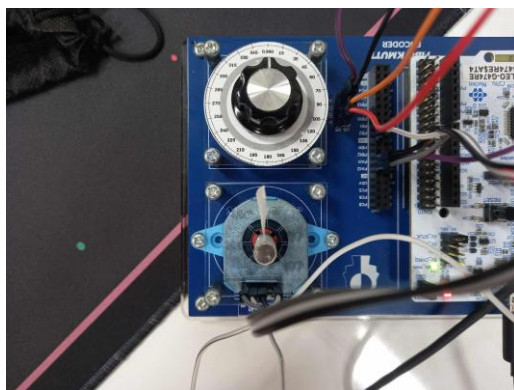
ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.1. ตั้งค่า PC13 เป็น GPIO_Input สำหรับ Homing Sequence
- 1.2. เลือก Timer เป็น TIM3 สำหรับ BOURNS PEC11R-4220F-N0024 และ TIM4 สำหรับ AMT103-V
- 1.3. ใน Mode ตั้งค่า Combined Channels เป็น Encoder Mode
- 1.4. ใน Configuration ตั้งค่า Encoder Mode เป็น Encoder Mode TI1 and TI2 และค่า Counter Period ของ BOURNS PEC11R-4220F-N0024 (TIM3) และ AMT103-V (TIM4) เป็น 96 และ 8192 ตามลำดับ โดยค่า Counter Period คำนวณจากสมการ $CPR = PPR * 4$ เนื่องจากใช้ Encoder Mode แบบ X4 และค่า PPR ของ Encoder หาได้จาก Data sheet ของแต่ละ Encoder
- 1.5. ออกแบบโปรแกรม Wrap Around (อยู่ในภาคผนวก)
- 1.6. ออกแบบโปรแกรม Homing Sequence (อยู่ในภาคผนวก)
- 1.7. การต่อวงจร ทำการต่อสายกับช่อง Port ของ NUCLEO-G474RE ตามตาราง ดังนี้

ตารางที่ 2 ตารางการต่อวงจร

	VCC	GND	A	B
BOURNS PEC11R-4220F-N0024	3V3	GND	PA6	PA4
AMT103-V	3V3	GND	PA11	PA12

- 1.8. การตั้งค่าบอร์ดทดลองด้วยค่าเริ่มต้น โดยหมุนให้ลูกศรของ Encoder ชี้ไปที่ 0 หรือ 360 องศา ทั้ง 2 ตัว ดังภาพ

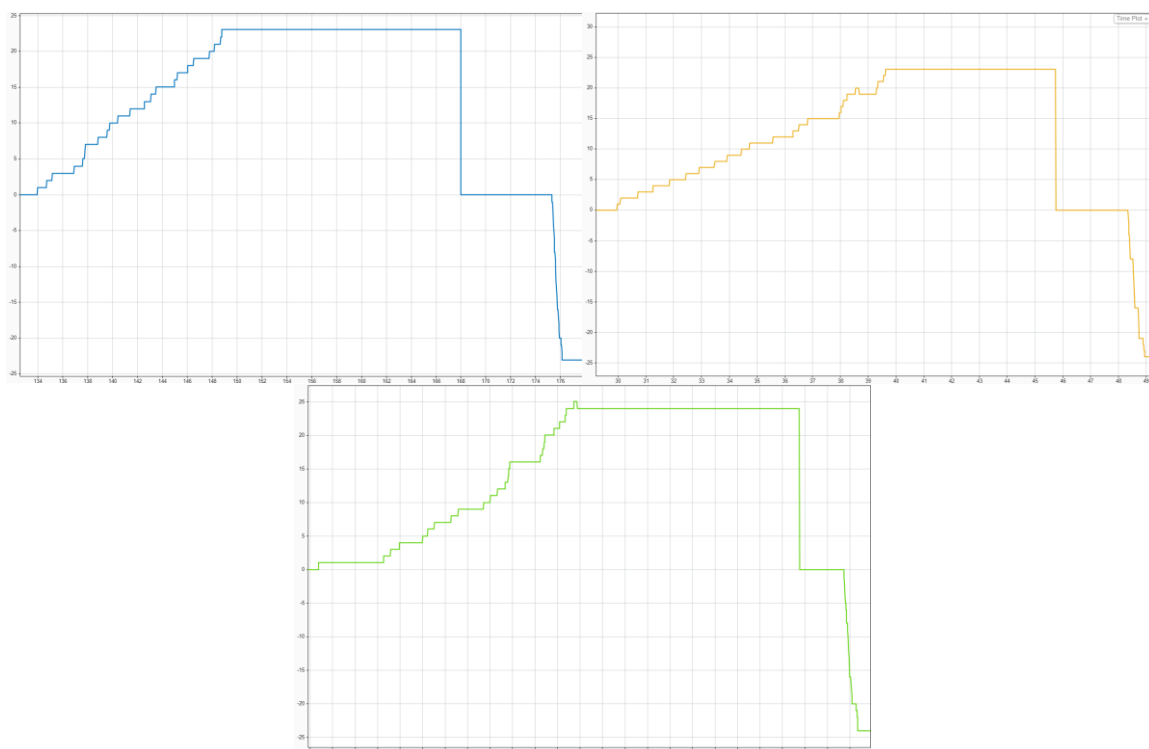


รูปที่ 14 การตั้งค่าบอร์ดทดลองด้วยค่าเริ่มต้น

- 1.9. ทำการทดลองโดยการหมุน Encoder แบบตามเข็มนาฬิกา 90 องศาด้วยความเร็วต่ำ จนถึง 90 องศาแล้วทำการกดปุ่ม Homing Sequence เพื่อให้ผลลัพธ์ที่กลับมาเป็นศูนย์ แล้วจึงทำการหมุนใหม่ด้วยการหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกา 90 องศาด้วยความเร็วสูง ซึ่งจะทำให้การทดลอง 3 ครั้งต่อ 1 Encoder
- 1.10. เก็บผลการทดลองด้วย Data Inspector ใน Simulink

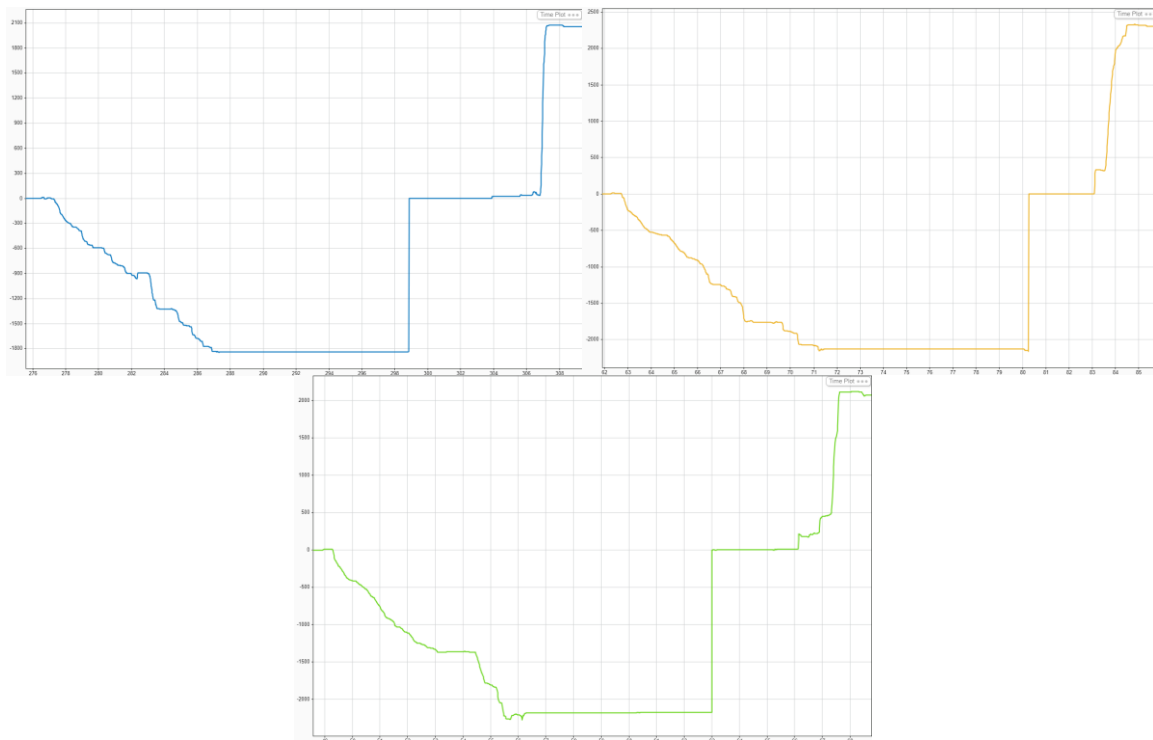
ผลการทดลอง

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองหมุน BOURNS PEC11R-4220F-N0024 ทั้ง 3 ครั้ง ดังภาพ



รูปที่ 15 ผลลัพธ์ BOURNS PEC11R-4220F-N0024

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองหมุน AMT103-V ทั้ง 3 ครั้ง ดังภาพ



รูปที่16 ผลลัพธ์ AMT103-V

สรุปผลการทดลอง

3. การทดลองทั้งหมด 6 รอบ ดำเนินการโดยมีการแบ่งช่วงเวลาการกระทำในแต่ละลำดับขั้นตอน เพื่ออำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ผลการตอบสนองของระบบ โดยแต่ละรอบประกอบด้วย 3 ลำดับการกระทำ ได้แก่:
 1. การหมุนตามเข็มนาฬิกา (Clockwise Rotation) ด้วยความเร็วต่ำ เป็นมุม 90 องศา
 2. การสั่งงาน Homing Sequence เพื่อปรับค่าผลลัพธ์ให้เป็นศูนย์
 3. การหมุนทวนเข็มนาฬิกา (Counter-Clockwise Rotation) ด้วยความเร็วสูง เป็นมุม 90 องศาผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์ พบว่า:
 - การหมุนตามเข็มนาฬิกาส่งผลให้ค่าที่อ่านได้จาก BOURNS PEC11R-4220F-N0024 เพิ่มขึ้น แต่ค่าจาก AMT103-V ลดลง
 - ในทางกลับกัน การหมุนทวนเข็มนาฬิกาส่งผลให้ค่าที่อ่านได้จาก BOURNS PEC11R-4220F-N0024 ลดลง แต่ค่าจาก AMT103-V เพิ่มขึ้น

อภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองหมุน BOURNS PEC11R-4220F-N0024 ในทางทฤษฎีในองศาที่ 90 จะได้ค่า pulse เท่ากับ 24 ด้วยการบัญญัติไตรยางศ์ $\frac{x}{CPR} = \frac{x}{96} = \frac{90}{360}$ หมายความว่า BOURNS PEC11R-4220F-N0024 ใน Mode X4 จะมีค่า Angular Resolution อยู่ที่ $\frac{90}{\text{pulse}} = \frac{90}{24} = 3.75 \text{ degrees/pulse}$

จากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองหมุน AMT103-V ในทางทฤษฎีในองศาที่ 90 จะได้ค่า pulse เท่ากับ 2048 ด้วยการบัญญัติไตรยางศ์ $\frac{x}{CPR} = \frac{x}{8192} = \frac{90}{360}$ หมายความว่า AMT103-V ใน Mode X4 จะมีค่า Angular Resolution อยู่ที่ $\frac{90}{\text{pulse}} = \frac{90}{2048} \approx 0.0439 \text{ degrees/pulse}$

ซึ่งจากกราฟผลลัพธ์ที่ได้ของทั้ง 2 Encoder จะเห็นได้ว่าในช่วงการหมุนตามเข็มนาฬิกา 90 องศาด้วยความเร็วสูง กับการหมุนทวนเข็มนาฬิกา 90 องศาด้วยความเร็วสูง จะได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันในเชิงของคุณภาพสัญญาณที่ได้ คือในช่วงการหมุนตามเข็มนาฬิกา 90 องศาด้วยความเร็วสูง จะเห็นได้ว่าค่าผลลัพธ์ที่ได้จะมีการสั่นขึ้นลงไปมาเหมือนมี Noise แต่ในช่วงการหมุนทวนเข็มนาฬิกา 90 องศาแบบเร็ว จะได้ผลลัพธ์ที่โดดไปเลยไม่ค่อยมี Noise ซึ่งทำให้ค่าผลลัพธ์ที่ได้ไม่เป็นการคำนวณทางทฤษฎี เช่น BOURNS PEC11R-4220F-N0024 ในทางทฤษฎีในองศาที่ 90 จะได้ค่า pulse เท่ากับ 24 แต่ค่าผลลัพธ์ที่ได้จริง มีค่าอยู่ที่ 23 และ 24 เป็นต้น โดยปัจจัยที่ทำให้เกิดผลลัพธ์เหล่านี้ คาดว่ามาจากความผิดพลาดในการประกอบตัว Encoder เช่น การ Misalignment เป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

1. ควรยึด Shaft ของ Encoder ให้มั่นคง
2. ควรมีเครื่องมือที่ใช้ช่วยในการหมุน Encoder

อ้างอิง

- <https://www.sameskydevices.com/product/resource/amt10-v.pdf>
- <https://www.bourns.com/docs/product-datasheets/pec11r.pdf>
- https://www.youtube.com/watch?v=m_2GKHqBmM0
- https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/54/0f/67/eb/47/34/45/40/DM00042534.pdf/files/DM00042534.pdf/jcr:content/translations/en.DM00042534.pdf
- <https://www.mathworks.com/help/releases/R2025a/ecoder/stmicroelectronicsstm32f4discovery/ref/digitalportread.html>
- <https://www.mathworks.com/help/simulink/slref/detectfallnonpositive.html>
- <https://os.mbed.com/platforms/ST-Nucleo-G474RE/>

- <https://www.linearmotiontips.com/what-is-quadrature-encoding/>
- <https://www.elprocus.com/incremental-encoder/>
- <https://www.dynapar.com/knowledge/encoder-basics/encoder-output/quadrature-encoders/>

การทดลองที่ 2 เฟสของ A และ B ของ Encoder แต่ละตัวต่อทิศการหมุน

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานและการอ่านค่าของ Encoder
2. เพื่อศึกษาโหมดการอ่านของ Encoder (X1, X2 และ X4)
3. เพื่อศึกษา Phase Relationship ของ A และ B

สมมติฐาน

หากหมุน Encoder ในแต่ละทิศการหมุนค่าที่อ่านได้จาก A และ B ควรจะมีเฟสที่ต่างกัน

ตัวแปร

1. ตัวแปรต้น:
 - ทิศการหมุน
 - ชนิดของ Encoder (BOURNS PEC11R-4220F-N0024 และ AMT103-V)
 - Encoder Mode (X1, X2 และ X4)
2. ตัวแปรตาม:
 - ค่าที่อ่านได้จาก A และ B
3. ตัวแปรควบคุม:
 - VCC 3.3V
 - NUCLEO-G474RE

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ใช้เอกสารและงานวิจัยเดียวกันกับการทดลองที่ 1

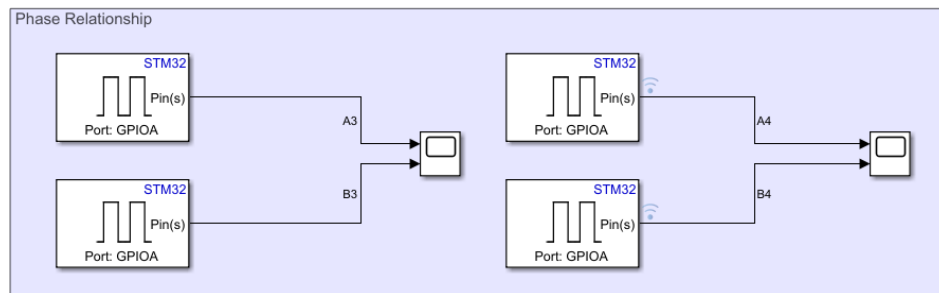
ขั้นตอนการดำเนินงาน

4. Setup IOC ตั้งค่าเหมือนกับการทดลองที่ 1 แต่ใน Configuration ตั้งค่า Encoder Mode และ Counter Period เป็นตามตาราง ดังนี้

	X1	X2	X4
Encoder Mode	Encoder Mode x1_TI1	Encoder Mode TI1	Encoder Mode TI1 and TI2
Counter Period	PPR * 1	PPR * 2	PPR * 4

ตารางที่ 3 ตารางการตั้งค่า Encoder Mode และ Counter Period

5. ต่อวงจรเหมือนกับการทดลองที่ 1
6. การตั้งค่าบอร์ดทดลองด้วยค่าเริ่มต้นเหมือนกับการทดลองที่ 1
7. ออกแบบโปรแกรมอ่าน A และ B ใน Simulink ได้ ดังภาพ



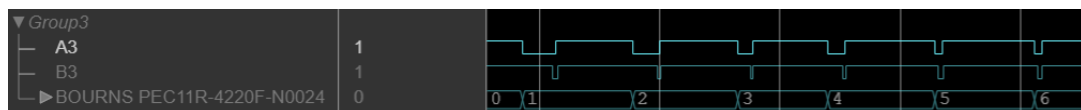
รูปที่ 17 โปรแกรมอ่าน A และ B

8. ทำการทดลองโดยการหมุน Encoder แบบตามเข็มนาฬิกา 90 องศา และหมุนกลับด้วยการหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกา 90 องศา
9. เก็บผลการทดลองด้วย Logic Analyzer ใน Simulink

ผลการทดลอง

ผลลัพธ์ที่ได้การจากทดลองหมุน BOURNS PEC11R-4220F-N0024 ด้วย Encoder Mode X1 ได้ผลลัพธ์ดังนี้

- หมุนแบบตามเข็มนาฬิกา (CW)



รูปที่ 18 BOURNS PEC11R-4220F-N0024 X1 CW

- หมุนแบบทวนนาฬิกา (CCW)



รูปที่ 19 BOURNS PEC11R-4220F-N0024 X1 CCW

ผลลัพธ์ที่ได้การจากทดลองหมุน AMT103-V ด้วย Encoder Mode X1 ได้ผลลัพธ์ดังนี้

- หมุนแบบตามเข็มนาฬิกา (CW)



รูปที่ 20 AMT103-V X1 CW

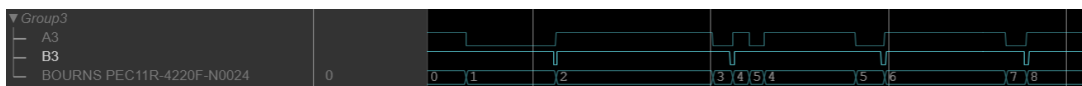
- หมุนแบบทวนนาฬิกา (CCW)



รูปที่ 21 AMT103-V X1 CCW

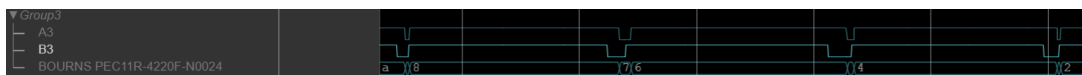
ผลลัพธ์ที่ได้การจากทดลองหมุน BOURNS PEC11R-4220F-N0024 ด้วย Encoder Mode X2 ได้ผลลัพธ์ดังนี้

- หมุนแบบตามเข็มนาฬิกา (CW)



รูปที่ 22 BOURNS PEC11R-4220F-N0024 X2 CW

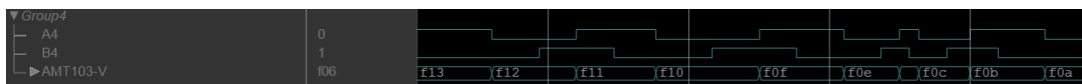
- หมุนแบบทวนนาฬิกา (CCW)



รูปที่ 23 BOURNS PEC11R-4220F-N0024 X2 CCW

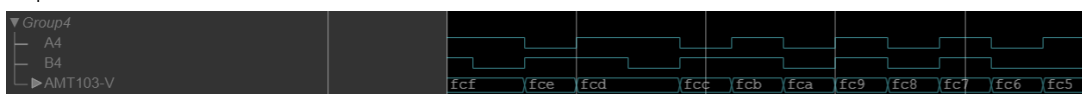
ผลลัพธ์ที่ได้การจากทดลองหมุน AMT103-V ด้วย Encoder Mode X2 ได้ผลลัพธ์ดังนี้

- หมุนแบบตามเข็มนาฬิกา (CW)



รูปที่ 24 AMT103-V X2 CW

- หมุนแบบทวนนาฬิกา (CCW)



รูปที่ 25 AMT103-V X2 CCW

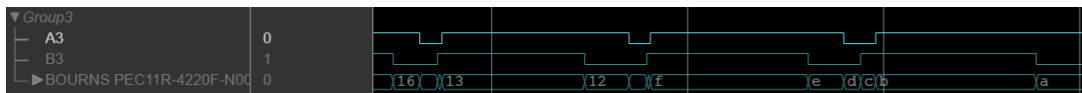
ผลลัพธ์ที่ได้การจากทดลองหมุน BOURNS PEC11R-4220F-N0024 ด้วย Encoder Mode X4 ได้ผลลัพธ์ดังนี้

- หมุนแบบตามเข็มนาฬิกา (CW)



รูปที่ 26 BOURNS PEC11R-4220F-N0024 X4 CW

- หมุนแบบทวนนาฬิกา (CCW)



รูปที่ 27 BOURNS PEC11R-4220F-N0024 X4 CCW

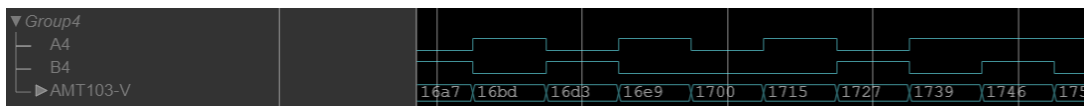
ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองหมุน AMT103-V ด้วย Encoder Mode X4 ได้ผลลัพธ์ดังนี้

- หมุนแบบตามเข็มนาฬิกา (CW)



รูปที่ 28 AMT103-V X4 CW

- หมุนแบบทวนนาฬิกา (CCW)



รูปที่ 29 AMT103-V X4 CCW

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะทำให้ทราบว่า Encoder ในแต่ละ Mode จะมีวิธีนับค่าที่แตกต่างกันตามการเข้ารหัสแบบ Quadrature เมื่อมีการหมุน Encoder ลักษณะของค่าที่อ่านได้จากช่อง A และ B จะมีการเปลี่ยนแปลงตามหลักการ “นำ” และ “ตาม”

- นำ: หมายถึงช่องสัญญาณที่ เปลี่ยนสถานะเป็น 1 ก่อน ในขณะที่อีกช่องสัญญาณยังคงมีสถานะเป็น 0
- ตาม: หมายถึงช่องสัญญาณที่ เปลี่ยนสถานะเป็น 1 ทีหลัง ในขณะที่อีกช่องสัญญาณเป็น 1

โดยจะแสดงตามตาราง ดังนี้

	หมุนแบบตามเข็มนาฬิกา (CW)		หมุนแบบทวนนาฬิกา (CCW)	
	A	B	A	B
BOURNS PEC11R-4220F-N0024	นำ	ตาม	ตาม	นำ
AMT103-V	ตาม	นำ	นำ	ตาม

ตารางที่ 4 ลักษณะของค่าที่อ่านได้จากช่อง A และ B

อภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ Encoder จะสามารถระบุทิศทางการหมุนได้จากหลักการ “นำ” และ “ตาม” โดยอาศัยสิ่งที่เรียกว่าความแตกต่างของเฟส ซึ่งจากผลลัพธ์ที่ได้จะสามารถระบุได้ว่าความแตกต่างของเฟสระหว่าง

สัญญาณ A และ B มีค่าอยู่ที่ $0 < \text{phase} < 360$ องศา แต่โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ที่ 90 องศา และผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า Encoder แต่ละ Mode มีวิธีการนับที่แตกต่างกัน ซึ่งสะท้อนถึงการใช้ขอบสัญญาณ (Edge) ที่ไม่เท่ากันเพื่อเพิ่มความละเอียดในการวัดตำแหน่ง

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเดียวกันกับการทดลองที่ 1

อ้างอิง

ใช้อ้างอิงเดียวกันกับการทดลองที่ 1

1.3: Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

การทดลองที่ 1 ศึกษาพฤติกรรมและความสัมพันธ์ของเซ็นเซอร์กับความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก, แรงดันไฟฟ้าออกและระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์กับแม่เหล็ก

จุดประสงค์

1. ศึกษาหลักการทำงานของ Magnetic Sensor ได้
2. ศึกษาลักษณะสัญญาณ Output ของ Magnetic Sensor เมื่อ Magnetic Flux Density เปลี่ยนแปลงไป
3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Field Shielding และ Magnetic Flux Density ได้

สมมติฐาน

1. หากระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์กับแม่เหล็กเพิ่มมากขึ้นขนาดของความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กจะลดลง
2. หากแรงดันขาออกเพิ่มมากขึ้นความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กจะเพิ่มมากขึ้น
3. เมื่อนำแผ่น shield มาติดบริเวณแม่เหล็กค่าแรงดันขาออกจะเปลี่ยนแปลงไป

ตัวแปร

1. ตัวแปรต้น:
 - ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและเซ็นเซอร์
 - ขั้วของแม่เหล็ก
 - การติด shield
2. ตัวแปรตาม:
 - แรงดันไฟฟ้าออก
 - ความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก
3. ตัวแปรควบคุม:
 - สถานที่ในการทดลอง
 - อุณหภูมิของสถานที่ที่ใช้ในการทดลอง
 - แนวการเคลื่อนที่ของระยะที่ปรับเปลี่ยน
 - อุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับระยะ
 - ระยะห่างของแม่เหล็กและเซ็นเซอร์ที่สนใจ
 - แรงดันไฟฟ้าเข้า 3.3 V
 - เซ็นเซอร์

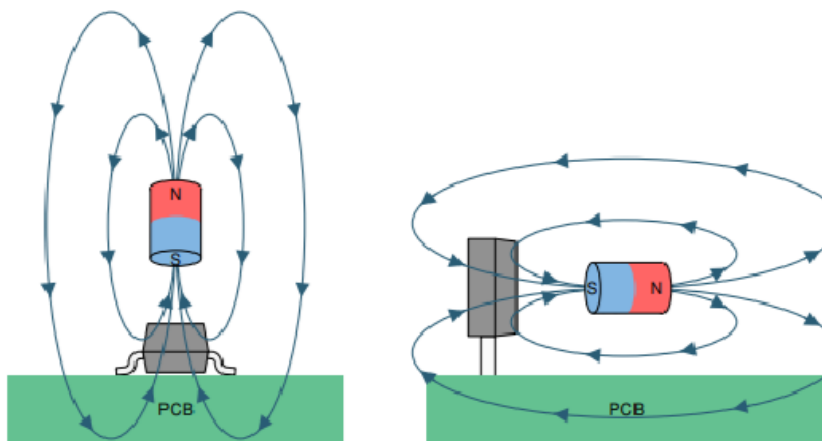
- ชนิดขนาดและรูปร่างของ Shield
- ผู้ทำการทดลองในการอ่านค่าและปรับระยะแม่เหล็ก
- ทิศทางของหน้าเซ็นเซอร์

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เซ็นเซอร์ที่ใช้คือ DRV5055 โดยเป็น Hall effect sensor ซึ่งมีการตอบสนองต่อค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กเพื่อใช้ในการตรวจจับตำแหน่ง เซ็นเซอร์จะทำงานจากแหล่งจ่ายไฟ 3.3 โวลต์ หรือ 5 โวลต์ โดย out put จะส่งสัญญาณเป็นอนาล็อก

1. Magnetic Flux Direction

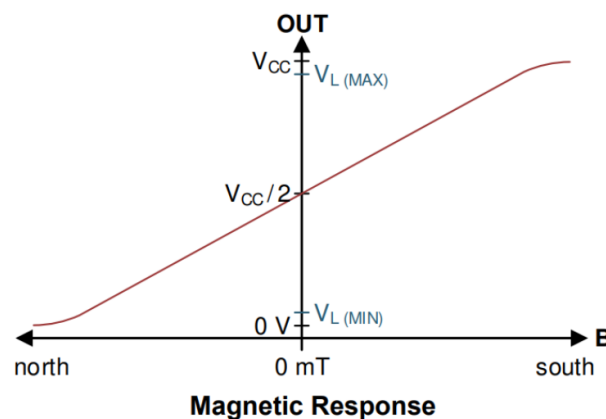
ถ้าฟลักซ์แม่เหล็กที่เคลื่อนที่จากด้านล่างไปด้านบนของเซ็นเซอร์จะได้ค่า output เป็นค่าบวกหรือก็คือเกิดขึ้นตอนแม่เหล็กขั้วใต้อยู่ด้านหน้าของเซ็นเซอร์ดังภาพ



รูปที่ 30 รูปแสดงทิศทางของความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กที่อยู่ในช่วงมากกว่า 0

2. Sensitivity Linearity

เซ็นเซอร์จะแสดง output เป็นเชิงเส้นเมื่อแรงดันขาออกอยู่ในช่วง V_L ถ้าหากเกินช่วงนี้ค่าที่ได้จะไม่เชิงเส้น



รูปที่ 31 รูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กและความดันขาออก

สูตรในการหา magnetic response คือ

$$V_{out} = V_Q + B \times (\text{sensitivity}_{25^{\circ}\text{C}} \times (1 + S_{TC}(T_A - 25^{\circ}\text{C})))$$

เมื่อ V_{out} คือ แรงดันไฟฟ้าขาออก (mV)

V_Q คือ แรงดันไฟฟ้าครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าขาเข้า (mV)

B คือ ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก(mT)

$\text{sensitivity}_{25^{\circ}\text{C}}$ คือ ค่าความไวของเซ็นเซอร์ที่อุณหภูมิทั่วไป (25°C)

S_{TC} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ ($\frac{\%}{^{\circ}\text{C}}$)

T_A คือ อุณหภูมิแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$)

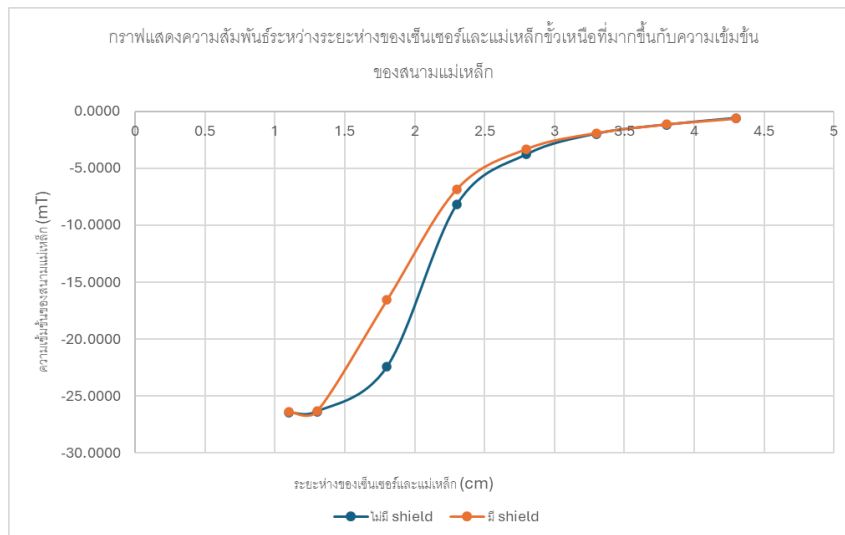
ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. เชื่อมต่อบอร์ดทดลองเข้ากับคอมพิวเตอร์ เปิดไฟล์ Simulink และใช้ Gain เป็น 3300/4095 เพื่อแปลงค่าจาก ADC เป็นค่าความดันขาออก โดย 3300 มาจากแรงดันขาเข้าในหน่วย mV และ 4095 มาจาก ADC 12 bits
2. อ่านค่าแรงดันขาออกตอนที่ไม่มีแม่เหล็ก
3. ติดตั้งแม่เหล็กชั่วคราวเหนือให้เจอกับเซ็นเซอร์
4. เปลี่ยนระยะห่างของแม่เหล็กให้ลดลงจาก 4.3 เซนติเมตร จนถึง 1.1 เซนติเมตร โดยขยับให้ทีละ 0.5 เซนติเมตร และบันทึกข้อมูลของความดันขาออกที่อ่านได้จาก Simulink
5. ทำซ้ำทั้งหมดรวมเป็น 3 รอบ และทำแบบติดตั้ง shield ที่แม่เหล็กซ้ำอีก 3 รอบ
6. เปลี่ยนชั่วคราวแม่เหล็กจากเหนือเป็นใต้ และทำข้อ 4 และ 5
7. นำข้อมูลความดันขาออกมาคำนวณหาความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก

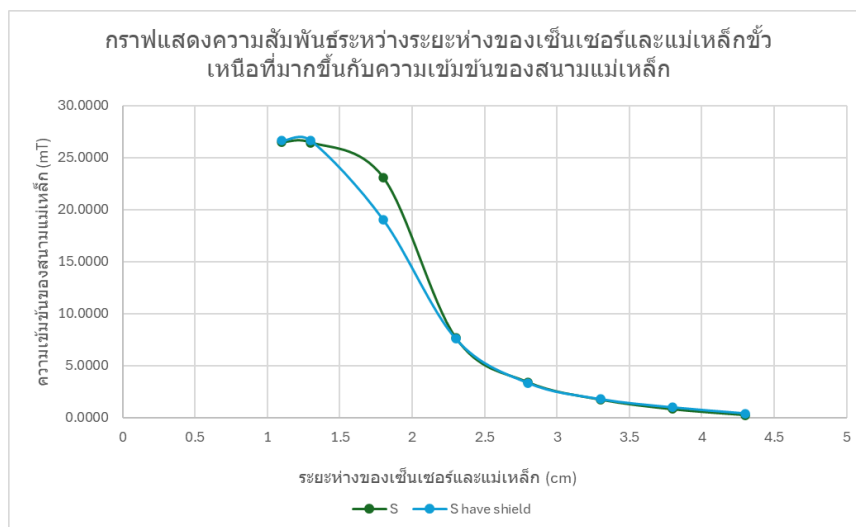
ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าค่าความดันขาออกที่เซ็นเซอร์อ่านได้ตอนที่ยังไม่มีมีการติดตั้งแม่เหล็กนั้นคือ 1650 mV ซึ่งเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันขาเข้า

ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของเซ็นเซอร์และแม่เหล็กชั่วคราวเหนือและใต้ที่มากขึ้นกับความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กในสถานะที่ไม่มีและ shield

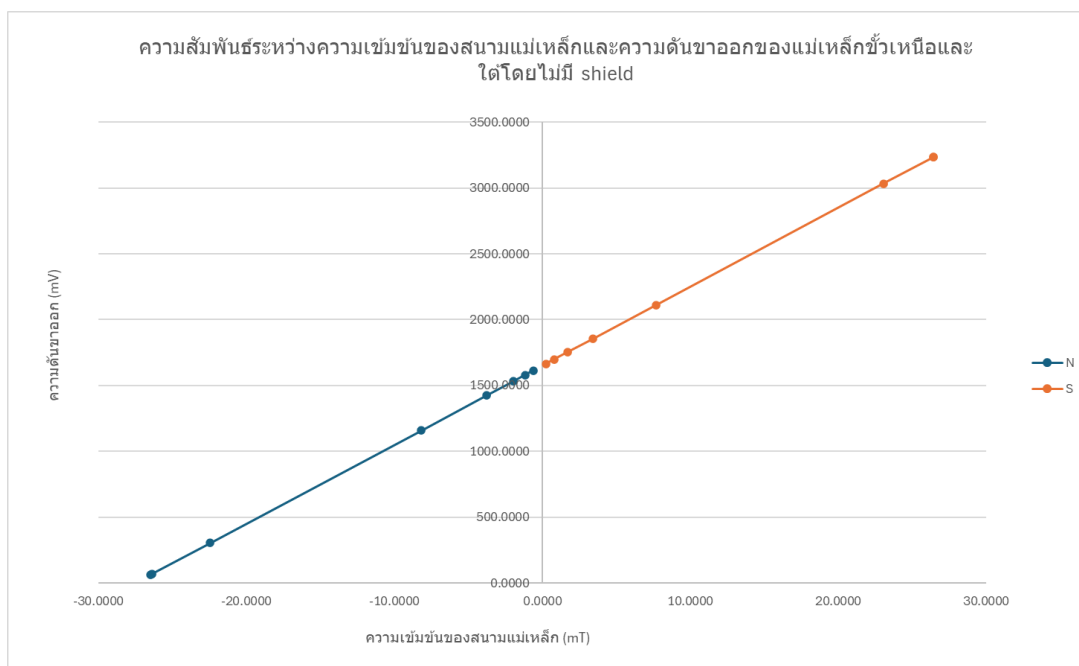


รูปที่ 32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของเซ็นเซอร์และแม่เหล็กชั่วคราวเหนือที่มากขึ้นกับความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก

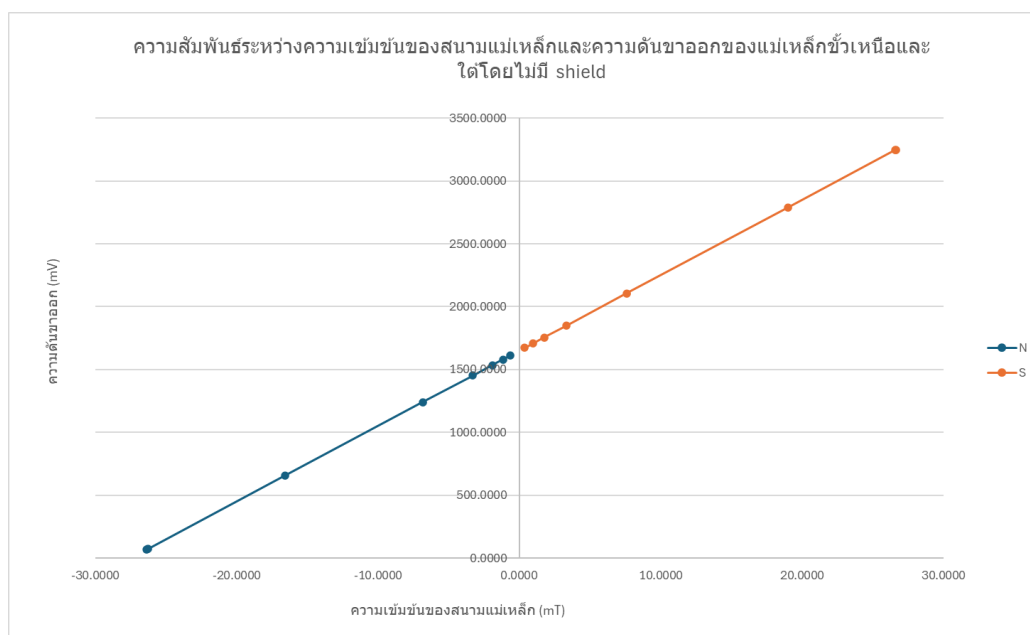


รูปที่ 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของเซ็นเซอร์และแม่เหล็กชั่วคราวใต้ที่มากขึ้นกับความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก

และเมื่อพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างความดันขาออกและความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก จะได้กราฟดังนี้

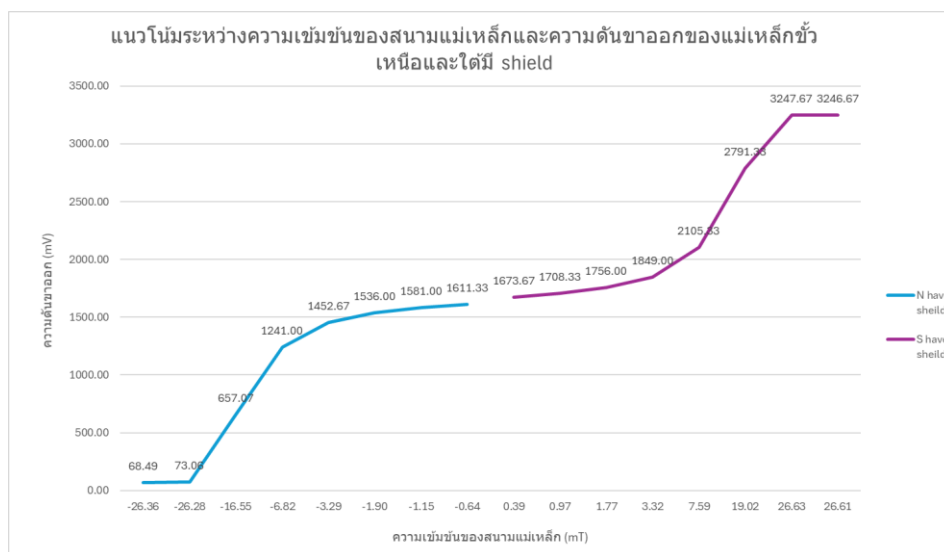


รูปที่ 34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กและความดันขาออกโดยไม่มี shield

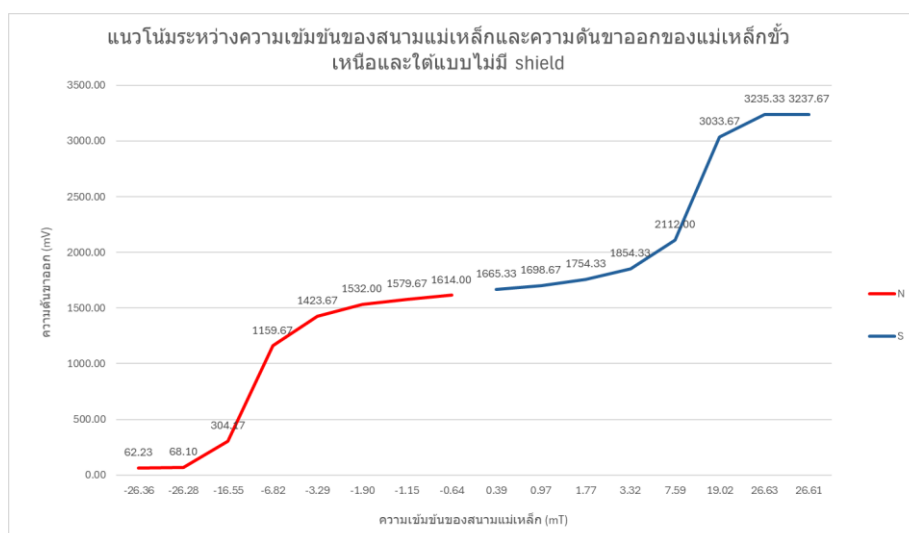


รูปที่ 35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กและความดันขาออกโดยมี shield

และพล็อตแนวโน้มของความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กและความดันขาออก

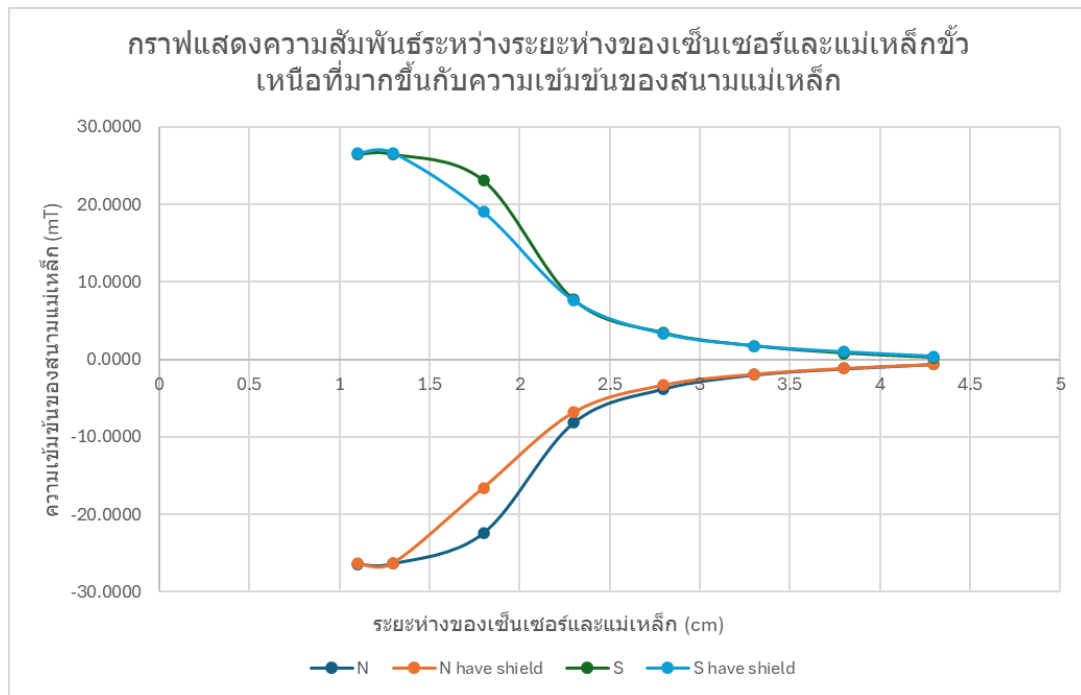


รูปที่ 36 กราฟแสดงแนวโน้มระหว่างความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กและความดันขาออกโดยไม่มี shield



รูปที่ 37 กราฟแสดงแนวโน้มระหว่างความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กและความดันขาออกโดยมี shield

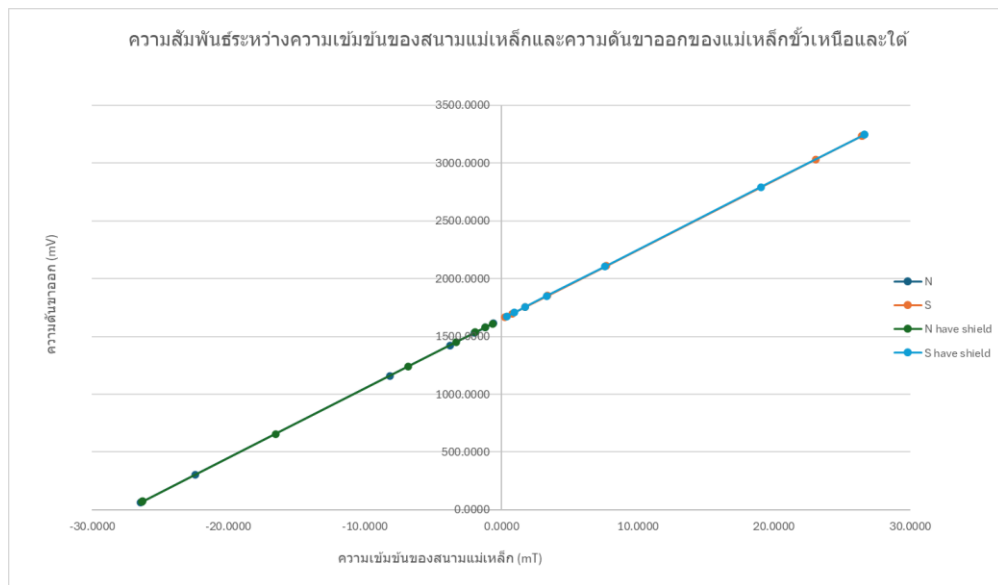
สรุปผลการทดลอง



รูปที่ 38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของเซ็นเซอร์และแม่เหล็กขั้วใต้ที่มากขึ้น
กับความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก

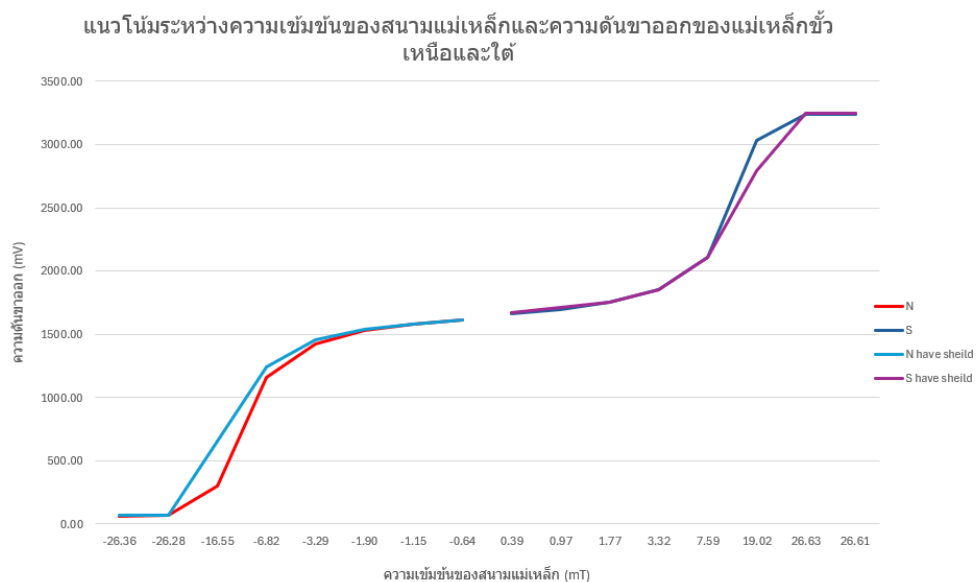
จากการทดลองทำให้ทราบว่าในระยะห่างที่มากขึ้นระหว่างเซ็นเซอร์และแม่เหล็ก จะทำให้ขนาดความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กจะน้อยลงทั้งขั้วเหนือและใต้

เซ็นเซอร์จะอ่านค่าของความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กขั้วเหนือได้ค่าน้อยกว่า 0 แต่ในขั้วใต้กลับมีค่ามากกว่า 0 โดยแม่เหล็กที่มี shield และไม่มี นั้นไม่ได้แสดงความแตกต่างของความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กมาก แต่ แม่เหล็กที่ติด shield จะมีค่ามากกว่าในเชิงขนาดของช่วง 1.3 – 2.3 เซนติเมตรทั้งขั้วเหนือและใต้



รูปที่ 39 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กและความดันขาออก

ซึ่งถ้าสังเกตความสัมพันธ์ของความดันขาออกกับความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นค่าความดันขาออกที่อ่านได้จะมีค่ามากขึ้นทั้งในแม่เหล็กทั้งสองขั้ว โดยการติด shield ที่แม่เหล็กนั้นไม่ได้ส่งผลทำให้ความสัมพันธ์ของความดันขาออกของและความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไป และจากกราฟจะสังเกตุดูเห็นว่ามีช่องว่างระหว่างข้อมูลแม่เหล็กเหนือและใต้



รูปที่ 40 กราฟแสดงแนวโน้มระหว่างความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กและความดันขาออกโดยมีและไม่มี shield

และเมื่อมาสังเกตแนวโน้มของสนามแม่เหล็กและความดันขาออกจะเห็นว่ากราฟจะมีช่วงที่ไม่ต่อกันช่วงนี้ระหว่างแม่เหล็กขั้วเหนือและใต้

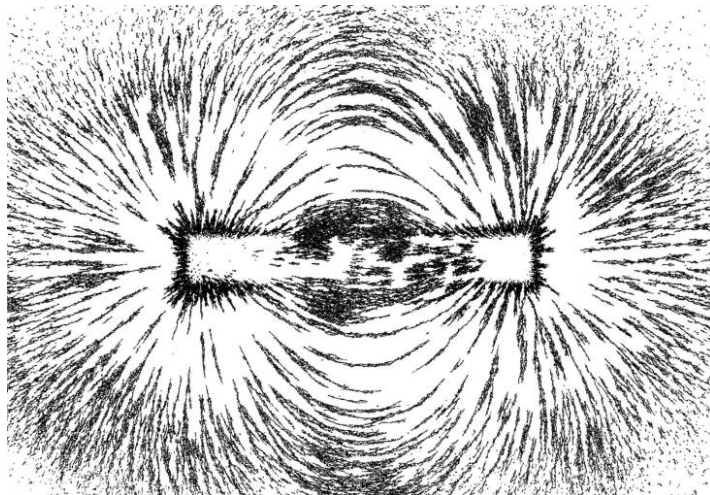
แม่เหล็กขั้วเหนือที่ไม่มี shield นั้นจะมีช่วงที่แรงดันขาออกลดลงอย่างรวดเร็วและลู่เข้าค่าหนึ่งเมื่อความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กลดลง ซึ่งแนวโน้มพฤติกรรมของมันตอน มี shield นั้นก็เป็นเป็นแนวโน้มเช่นเดียวกัน แต่อาจมีช่วงที่ค่า offset ขึ้นมาช่วงนี้

ซึ่งแม่เหล็กขั้วใต้ที่ไม่มี shield นั้นก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกับแม่เหล็กขั้วเหนือเมื่อความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นกล่าวคือ จะมีช่วงที่ความดันขาออกเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ช่วงหนึ่งก่อนที่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วก่อนลู่เข้าค่า ๆ หนึ่ง และแนวโน้มพฤติกรรมของมันตอน มี shield นั้นก็เป็นเป็นแนวโน้มเช่นเดียวกัน แต่มีค่าที่ offset ขึ้นมาช่วงนี้

ซึ่งค่าความดันขาออกเริ่มมีพฤติกรรมที่เพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วของแม่เหล็กทั้งสองขั้วเริ่มเกิดขึ้นตอนวัตถุและแม่เหล็กมีระยะห่างกันอยู่ที่ 2.5 เซนติเมตร

อภิปรายผล

จากการทดลองทำให้เราพบว่าระยะห่างที่มากขึ้นระหว่างเซ็นเซอร์และแม่เหล็ก จะทำให้ขนาดความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กจะน้อยลงทั้งขั้วเหนือและใต้ซึ่งสาเหตุที่ทำให้เกิดเช่นนั้นจะอธิบายในย่อหน้าถัดไป



รูปที่ 41 รูปเศษเหล็กโรยบนกระดาษเหนียวแม่เหล็ก

หากเราสังเกตจากรูปจะเห็นว่าเศษเหล็กนั้นมีการเรียงตัวเป็นเส้นรอบแท่งแม่เหล็กเป็นเส้นแนวยาว แต่พอเศษแม่เหล็กห่างจากแม่เหล็กมากขึ้น ทำให้เศษแม่เหล็กเรียงตัวกันเป็นเส้นที่สั้นขึ้นเรื่อย ๆ จะไม่เกิดการเรียงเส้นของเศษเหล็กอีกต่อไปรวมถึงความหนาแน่นของเศษเหล็กก็ลดลง ทำให้เรารู้ว่าความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กจะมีขนาดน้อยลงเมื่อออกห่างจากแม่เหล็กมากขึ้นทำให้เมื่อนำเซ็นเซอร์เข้าใกล้แม่เหล็กมากขึ้นเซ็นเซอร์จะสามารถอ่านขนาดความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กจะมากขึ้นตามด้วย

และเมื่อแม่เหล็กเป็นทิศเหนือให้อ่านค่าจากเซ็นเซอร์ได้ค่าน้อยกว่า 0 เป็นเพราะทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นและทิศของหน้าเซ็นเซอร์ ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเคลื่อนที่จากด้านบนของเซ็นเซอร์ลงมาด้านล่างของเซ็นเซอร์ แต่เซ็นเซอร์ตัวนี้จะให้สนามแม่เหล็กที่เคลื่อนที่จากด้านล่างเคลื่อนที่ไปด้านบนจะได้ค่ามากกว่า 0 ทำให้แม่เหล็กทิศเหนือถูกอ่านค่าที่เกิดขึ้นน้อยกว่า 0

จากการทดลองเรายังพบอีกว่าสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นค่าความดันขาออกที่อ่านได้จะมีค่ามากขึ้น นั่นเป็นเพราะสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดฉากกับเซ็นเซอร์ทำให้เกิดแรงแม่เหล็กมากกระทำกับอิเล็กตรอนอยู่บริเวณขอบด้านหนึ่ง ทำให้เกิดความต่างศักย์เกิดขึ้นระหว่างสองขอบ ซึ่งเมื่อสนามแม่เหล็กมากขึ้นทำให้แรงที่กระทำกับอิเล็กตรอนมากขึ้นส่งผลให้ความต่างศักย์ก็มากขึ้นด้วยเช่นกัน ในส่วนของช่องว่างที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากเป็นช่วงข้อมูลที่ไม่ทราบค่าเนื่องจากข้อจำกัดของการทดลอง ซึ่งในการติด shield นั้นจะไม่เกิดการส่งผลต่อความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นของความดันขาออกและความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก

แม่เหล็กขั้วที่ไม่มี shield นั้นจะมีช่วงที่อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขาออกสูงและช่วงที่ลู่เข้าค่า 1650 mV ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้ตอนที่เซ็นเซอร์วัดได้ตอนที่ไม่มีสนามแม่เหล็ก ซึ่งเมื่อแม่เหล็กมีการติดตั้ง shield แนวโน้มของความดันขาออกและสนามแม่เหล็กที่อ่านได้นั้นมีการ offset ซึ่งเกิดเมื่อระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์และแม่เหล็กอยู่ในช่วง 2.3 ถึง 1.3 เซนติเมตร ซึ่งเกิดจาก hard iron effect

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำให้สามารถปรับระยะที่มีความละเอียดมากขึ้นเพื่อสามารถเก็บค่าจากเซ็นเซอร์ได้มากขึ้นและละเอียดขึ้น
2. ควรใช้เครื่องมือในการปรับระยะทางที่สามารถปรับได้ละเอียดและแม่นยำเพื่อลดค่า error ที่อาจจะเกิดขึ้น

อ้างอิง (ใส่แค่ Link)

https://beckassets.blob.core.windows.net/product/readingsample/9549483/9780199601202_excerpt_001.pdf

<https://www.monolithicpower.com/en/learning/resources/hall-effect-sensors-a-comprehensive-guide>

<https://www.monolithicpower.com/en/learning/resources/hall-effect-sensors-a-comprehensive-guide>

<https://share.google/9lO7XPigggCM0TqEB>

1.4: Single Point Load Cell with INA125 Instrumentation Amplifier

การทดลองที่ 1 คำน้หนักที่แปลงจาก Load Cell เทียบน้ำหนักจริงด้วยเครื่องชั่ง Digital

จุดประสงค์

1. ศึกษาหาค่า Gain ที่เหมาะสมสำหรับการอ่านค่าในช่วงที่ Load cell สามารถรับได้ไหว
2. ศึกษาหาปัจจัยและช่วงที่ทำให้เกิด Saturation
3. จำลอง Load cell เป็นเครื่องชั่งน้ำหนัก

สมมติฐาน

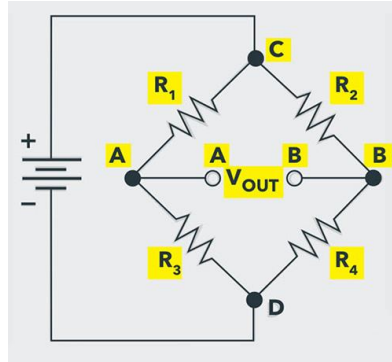
น้ำหนักบน Load cell มีค่าเท่ากับน้ำหนักที่ Load cell อ่านค่าได้

ตัวแปร

10. ตัวแปรต้น:
 - น้ำหนักที่วางลงบน Load cell
11. ตัวแปรตาม:
 - คำน้หนักที่แสดงผลใน Simulink
12. ตัวแปรควบคุม:
 - รูปแบบในการวางถุงทราย
 - ค่าความต้านทาน
 - VCC 3.3V
 - NUCLEO-G474RE
 - น้ำหนักที่วางลงบน Load cell ไม่เกิน 10 kg

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. หลักการทำงานของ Load Cell คือ การวัดแรงที่กระทำกับเซนเซอร์ แล้วแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถนำไปประมวลผลต่อได้ โดยภายใน Load Cell จะมีส่วนประกอบหลักคือ Strain Gauge ซึ่งจะตอบสนองต่อการเสียรูปของวัสดุเมื่อมีแรงมากระทำ ส่งผลให้ความต้านทานในวงจรเปลี่ยนแปลง จากนั้นระบบจะอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป
2. วงจรสะพานวีทสโตน (Wheatstone Bridge) เป็นวงจรไฟฟ้าที่ใช้หลักการแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) เพื่อวัดค่าความต้านทานที่ไม่ทราบค่าอย่างแม่นยำ หรือใช้ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยของความต้านทานในเซนเซอร์ เช่น สเตรนเกจ (Strain Gauge)



รูปที่ 42 วงจรสะพานวีทสโตน

วงจรนี้ประกอบด้วยตัวต้านทาน 4 ตัว โดยมีแหล่งจ่ายไฟต่อระหว่างจุด C และ D และมีโวลต์มิเตอร์ต่อวัดแรงดันระหว่างจุด A และ B ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของวงจรทั้งสองแขน ข้างละสองตัวต้านทาน เมื่อวงจรอยู่ในสภาวะสมดุล (Balanced Condition) หมายถึงแรงดันไฟฟ้าระหว่างจุด A และ B เท่ากัน ทำให้โวลต์มิเตอร์อ่านค่าเป็นศูนย์ เงื่อนไขนี้เกิดขึ้นเมื่ออัตราส่วนของตัวต้านทานในแต่ละแขนเท่ากัน คือ

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

แต่ถ้าวงจรไม่สมดุล (Unbalanced Bridge) จะเกิดแรงดันไฟฟ้าต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปได้ด้วย

3. สเตรนเกจ (Strain Gauge) คืออุปกรณ์วัดการยืดหรือหดตัวของวัสดุเมื่อมีแรงมากระทำ โดยอาศัยหลักการค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวนำจะเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างหรือขนาดของมัน
4. วงจรขยายแบบผลต่าง (Differential Amplifier แบบใช้ Op-amp 2 ตัว) เป็นวงจรที่ใช้ 2 Op-amps ทำงานร่วมกัน เพื่อขยายสัญญาณผลต่างของแรงดันสองขาเข้า ในวงจรจะออกแบบให้ Op-amp ตัวแรกทำหน้าที่เป็น Buffer (หรือ Non-inverting amplifier) และ Op-amp ตัวที่สองทำหน้าที่คำนวณผลต่างจริงๆ
5. INA125 เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบ Instrumentation Amplifier ที่ออกแบบมาเพื่อขยายสัญญาณไฟฟ้าระดับต่ำจากเซนเซอร์ประเภทสะพาน เช่น สเตรนเกจ (Strain Gauge) หรือ โหลดเซลล์ (Load Cell) โดยมีจุดเด่นคือมี แหล่งอ้างอิงแรงดัน (Precision Voltage Reference) ภายในตัว ซึ่งช่วยให้วงจรทำงานได้อย่างเสถียรและแม่นยำมากขึ้น อัตราขยาย (Gain) ของวงจรถูกกำหนดโดยตัวต้านทานภายนอก R_G ตามสมการ

$$G = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G}$$

โดยยิ่งค่า R_G มาก อัตราขยายที่ได้จะยิ่งน้อยตาม

ขั้นตอนการดำเนินงาน

13. การต่อวงจร ทำการต่อสายกับช่อง Port ของ NUCLEO-G474RE ตามตาราง ดังนี้

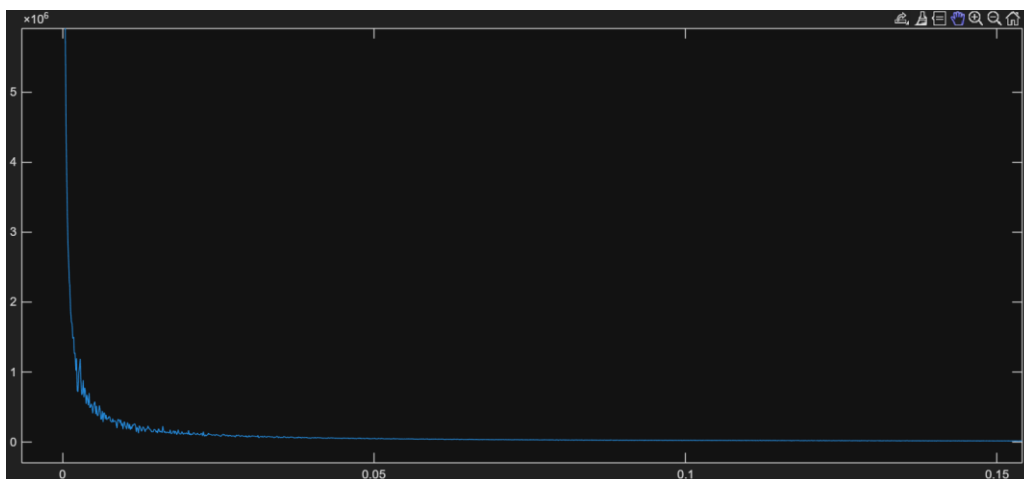
	+	GND	OUT
Amplifier	3V3	GND	PA0

ตารางที่ 52 ตารางการต่อวงจร

- คำนวณหาค่า Gain และค่าความต้านทานที่เหมาะสม โดยคำนวณค่า Gain จาก $V_o = (V^+_{IN} - V^-_{IN})G$ ซึ่งจะใช้ค่าต่างๆ ดังนี้
 - $V^+_{IN} - V^-_{IN} = 0.004\text{ V}$ โดยค่าที่ได้หาจากการใช้โวลต์มิเตอร์วัดความต่างศักย์ที่ขา V^+_{IN} และ V^-_{IN} ของ INA125 โดยตรง
 - $V_o = 2.5\text{ V}$ โดยเป็นค่าโวลต์สูงสุดที่วัดได้จาก INA125
- ทำให้ได้อัตราการขยายอยู่ที่ 625 เท่าซึ่งสามารถหาค่าความต้านทานต่อได้ด้วยสมการ $G = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G}$ ซึ่งจะได้อัตราความต้านทานภายนอก R_G อยู่ที่ $\approx 97\Omega$

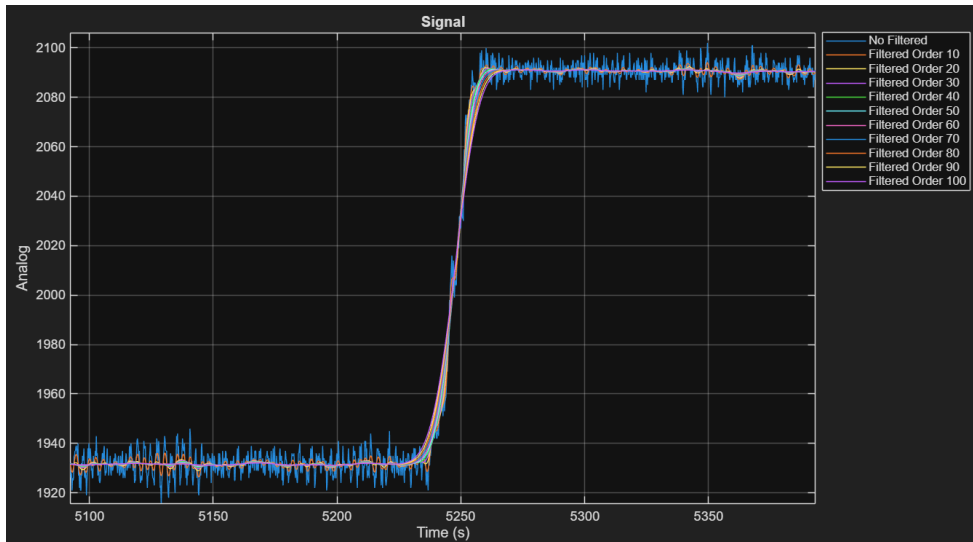
14. กระบวนการทำ Signal Conditioning (เพิ่มเติมในภาคผนวก)

ในขั้นตอนนี้เป็นการประมวลผลสัญญาณจาก Load Cell เพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลก่อนนำไปใช้งานต่อ โดยเริ่มจากการนำสัญญาณดิบ (raw signal) ที่ได้จากการวัดเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ความถี่ด้วย Fast Fourier Transform (FFT) ในโปรแกรม MATLAB เพื่อศึกษาช่วงความถี่ของสัญญาณและใช้เป็นข้อมูลในการเลือกค่าความถี่ตัด (cutoff frequency) ของฟิลเตอร์



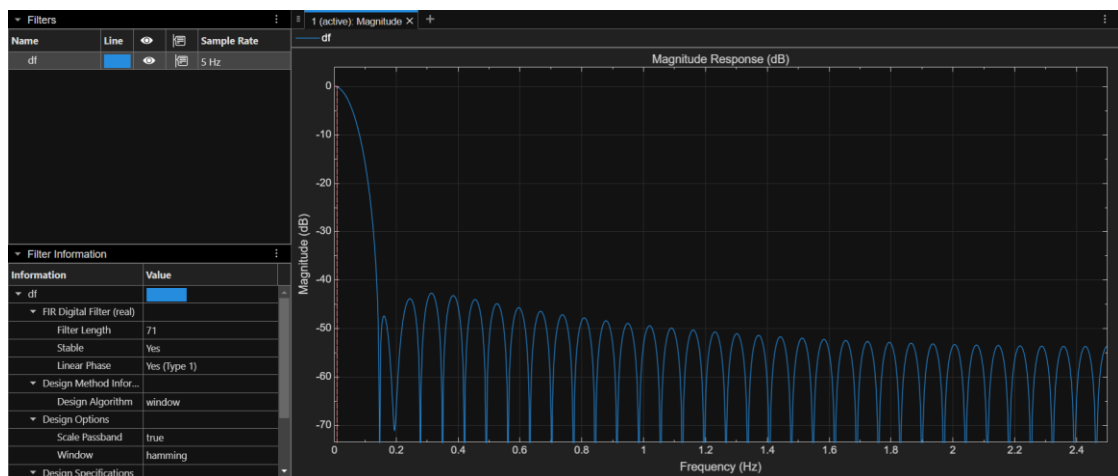
รูปที่ 43 ภาพ FFT

จากผลการวิเคราะห์พบว่าสัญญาณดิบมีลักษณะเป็นสัญญาณขั้นบันได (step signal) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่ต่อเนื่องและแทบไม่มีความถี่สูง ดังนั้นจึงเลือกใช้ low-pass filter เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนหรือความถี่สูงที่ไม่ต้องการออก โดยกำหนดค่าความถี่ตัดเป็น Cutoff Frequency = 0.01



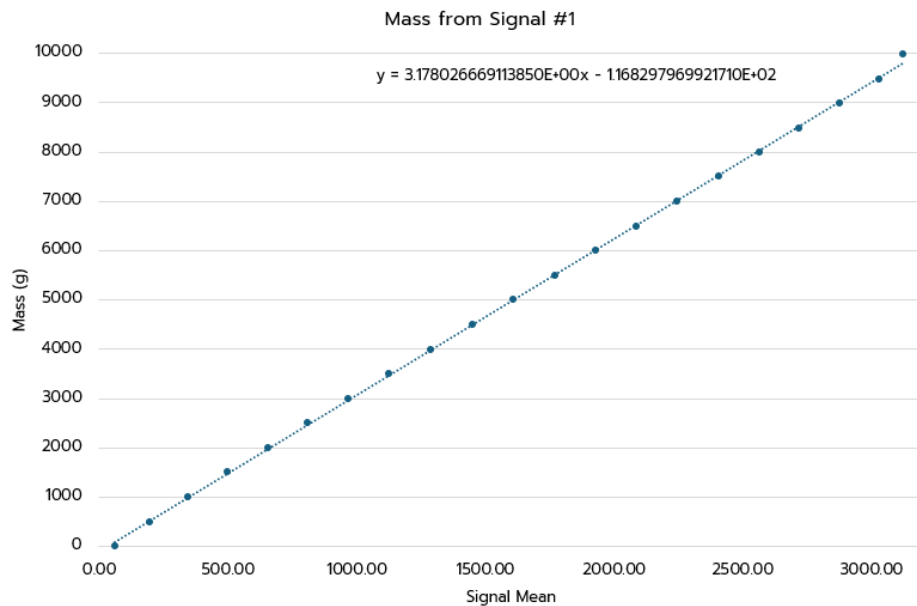
รูปที่ 44 ภาพแสดงการเลือก order

จากนั้นได้ทำการทดสอบค่าลำดับของฟิลเตอร์ (filter order) โดยสุ่มเลือกค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ทีละ 10 เพื่อสังเกตผลของการกรองในแต่ละระดับ และพิจารณาค่าที่ให้ผลลัพธ์เรียบเนียนแต่ยังคงรูปแบบของสัญญาณต้นฉบับไว้อย่างเหมาะสม พบว่าค่าที่ให้ผลดีที่สุดคือ order = 70



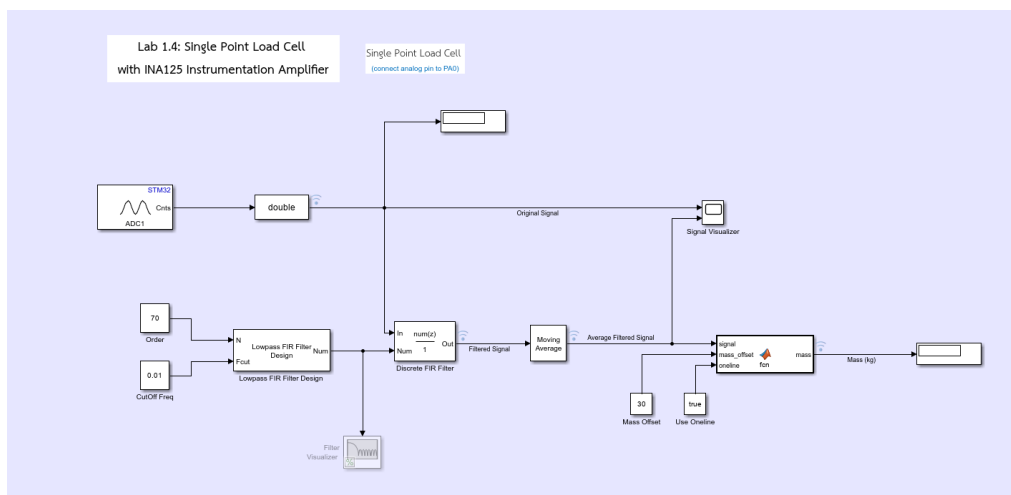
รูปที่ 45 ภาพแสดง low-pass filter

เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการแปลงโค้ดจาก MATLAB ไปเป็นแบบจำลองใน Simulink เพื่อใช้ในขั้นตอนการจำลองสัญญาณจริงและเก็บข้อมูลหลังการกรอง (filtered signal) สามชุด เพื่อนำไปใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าจาก Load Cell กับน้ำหนักจริง



รูปที่ 46 ภาพสมการที่ได้จาก Excel

ข้อมูลที่ได้จาก Simulink ถูกนำเข้าไปใน Microsoft Excel เพื่อทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลขและสร้างสมการเชิงเส้นในการแปลงสัญญาณจาก Load Cell ให้เป็นค่าน้ำหนัก จากนั้นนำสมการที่ได้กลับไปเพิ่มในแบบจำลองของ Simulink เพื่อให้ระบบสามารถคำนวณค่าน้ำหนักได้โดยอัตโนมัติจากสัญญาณ Load Cell ที่ผ่านการกรองแล้ว



รูปที่ 47 ภาพโปรแกรมใน Simulink

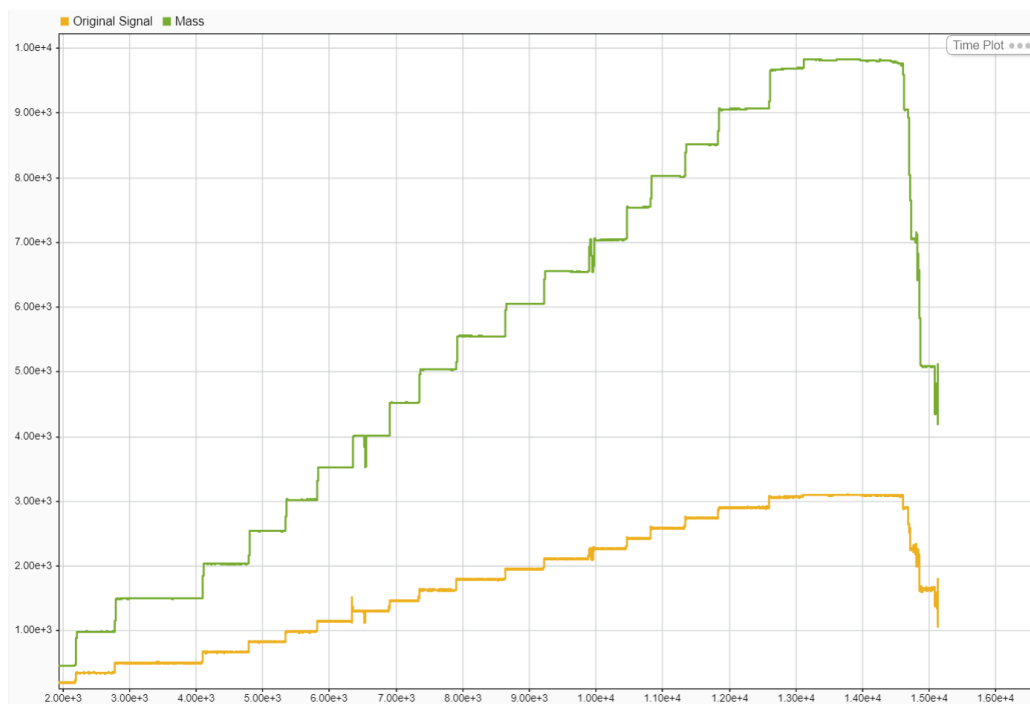
15. ทำการทดลองโดยการเพิ่มน้ำหนักบน Load Cell ด้วยถุงทรายหนักที่วัดน้ำหนักใหม่ตลอดทุกครั้งด้วยเครื่องชั่ง Digital ทำไปเรื่อยๆ ทีละถุงจนครบ 20 ถุง ทำซ้ำทั้งหมด 2 ครั้ง

16. เก็บผลการทดลองด้วย Data Inspector ใน Simulink และ Export ไป Excel

ผลการทดลอง

โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองจะมีดังนี้

- กราฟแสดงการแปลงสัญญาณเป็นน้ำหนักในหน่วยกรัมแบบ Real-time



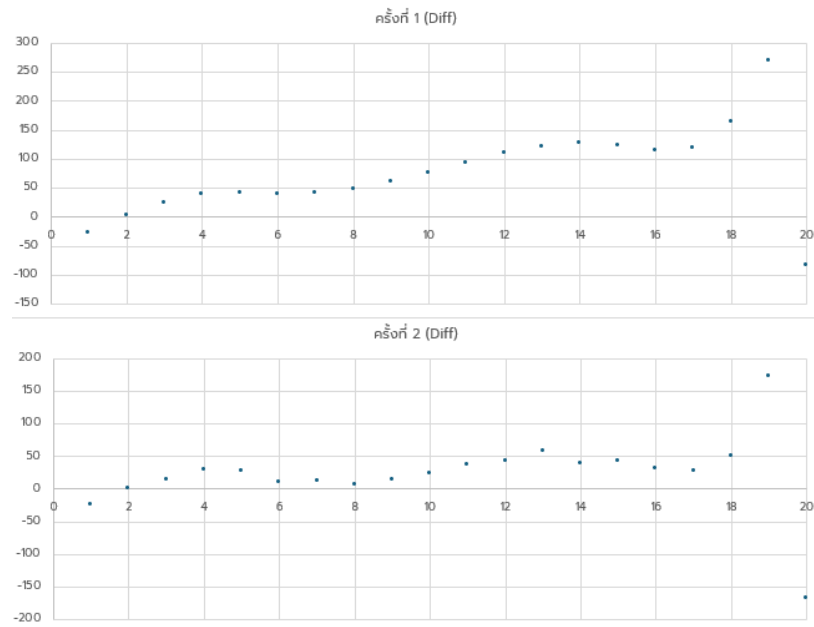
รูปที่ 48 กราฟแสดงน้ำหนักจากสัญญาณแบบ Real-time

- ตารางผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง เป็นดังนี้

ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2		
น้ำหนักจริงตุ้มน้ำหนัก (g)	น้ำหนักตุ้มน้ำหนักรวม (g)	Load Cell (g)	น้ำหนักจริงตุ้มน้ำหนัก (g)	น้ำหนักตุ้มน้ำหนักรวม (g)	Load Cell (g)
494	494	467	484	484	460
498	992	995	503	987	988
494	1486	1510	499	1486	1500
492	1978	2017	521	2007	2037
498	2476	2517	511	2518	2545
509	2985	3025	499	3017	3027
494	3479	3520	497	3514	3527
496	3975	4022	499	4013	4020
503	4478	4540	503	4516	4530
504	4982	5059	500	5016	5040
499	5481	5574	507	5523	5560
499	5980	6090	495	6018	6060
503	6483	6605	491	6509	6567
500	6983	7110	496	7005	7045
494	7477	7600	503	7508	7550
511	7988	8103	494	8002	8034
503	8491	8610	500	8502	8530
499	8990	9154	507	9009	9060
506	9496	9765	499	9508	9680
493	9989	9905	493	10001	9834

รูปที่ 49 ตารางน้ำหนักจาก Load Cell เทียบเครื่องชั่ง Digital

- กราฟผลต่างของผลลัพธ์จาก Load Cell และน้ำหนักจริง



รูปที่ 50 กราฟผลต่างของผลลัพธ์กับน้ำหนักจริง

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ทำการวัดค่าน้ำหนักในหน่วยกรัม เพื่อให้กราฟผลการทดลองมีความละเอียดและสามารถสังเกตแนวโน้มของสัญญาณได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ทั้งนี้สามารถแปลงค่าดังกล่าวให้เป็นหน่วยมาตรฐานสากล (SI Derived Unit) ได้โดยการนำค่าที่ได้หารด้วย 1,000 เพื่อแปลงจากกรัมเป็นกิโลกรัม

จากกราฟผลการทดลองพบว่า โปรแกรมสามารถแปลงสัญญาณจาก Load Cell ให้เป็นค่าน้ำหนักได้แบบ Real-time โดยสัญญาณจาก Load Cell มีค่ามากขึ้นตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นบน Load Cell ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ที่ถูกต้องระหว่างแรงที่กระทำกับค่าที่วัดได้

อภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ พบว่าช่วงค่ากลางของกราฟมีความใกล้เคียงกับค่าน้ำหนักที่วัดได้จากเครื่องชั่งดิจิทัลมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถแปลงสัญญาณจาก Load Cell เป็นค่าน้ำหนักได้อย่างถูกต้องในช่วงการทำงานปกติของเซนเซอร์

อย่างไรก็ตาม บริเวณช่วงต้นและช่วงท้ายของกราฟมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าช่วงกลาง โดยความคลาดเคลื่อนใน ช่วงท้ายของกราฟ อาจเกิดจากภาวะ Saturation ของวงจร INA125 ซึ่งทำให้แรงดันเอาต์พุตไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้อีกเมื่อถึงขีดจำกัดของแรงดันจ่าย ส่งผลให้ค่าที่อ่านได้จาก Load Cell หยุดนิ่งแม้น้ำหนักที่แท้จริงจะยังเพิ่มขึ้นอยู่ โดยความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นระหว่างค่าน้ำหนักจาก Load Cell และเครื่องชั่ง Digital อาจเกิดจากข้อจำกัดทางกายภาพของอุปกรณ์ (Load Cell, INA125, Trimpot)

ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้ตัวต้านทานภายนอกแบบค่าคงที่
17. ควรมีพื้นผิวในการรองรับน้ำหนักบน Load Cell ได้มากกว่านี้

อ้างอิง

- https://www.mathworks.com/help/signal/ref/designfilt.html#mw_444f68ae-2af6-4189-add8-6a66f002b14a
- <https://www.mathworks.com/help/signal/ug/practical-introduction-to-digital-filter-design.html>
- https://www.researchgate.net/publication/344062677_Load_cells_calibration_with_a_low_cost_data_acquisition_system/fulltext/5f5abbb9299bf1d43cf98287/Load-cells-calibration-with-a-low-cost-data-acquisition-system.pdf
- <https://scma.co.th/blog/post/what-is-load-cell>
- <https://www.micro-tess.com/th/wheatstone-bridge/>
- <https://th.michsci.com/what-is-a-strain-gauge/>
- <https://www.eeeguide.com/differential-amplifier-with-two-op-amps/>
- <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina125.pdf>

ภาคผนวก

1.1 Potentiometer

การทดลองที่ 1 ผลขององศาการหมุน Rotary Potentiometer และระยะการเลื่อน Linear Potentiometer แต่
ละชนิดต่อแรงดันไฟฟ้าขาออก

ตารางที่ 6 ผลการทดลองการหมุน Rotary Potentiometer Type A

ระยะ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	0	0	0
10	0	0	0
20	0.035262739	0.040115533	0.037015184
30	0.105434218	0.112196611	0.106199144
40	0.174407883	0.17134575	0.170093751
50	0.240404419	0.24875139	0.245847492
60	0.869878169	0.761474188	0.742207623
70	1.37644538	1.446512849	1.464959172
80	2.167363836	2.146635025	2.21741129

ตารางที่ 7 ผลการทดลองการหมุน Rotary Potentiometer Type B

ระยะ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	0	0	0
10	0.125772	0.10341	0.102947
20	0.47701	0.46262	0.428695
30	0.751451	0.75759	0.744239
40	1.039591	1.051209	1.046108
50	1.435883	1.427624	1.42458
60	1.818163	1.80187	1.810228
70	2.192236	2.191173	2.19424
80	2.593298	2.579029	2.587928
90	3.056373	3.087307	3.123326
100	3.315887	3.31999	3.31999

ตารางที่ 8 ผลการทดลองการหมุน Rotary Potentiometer Type C

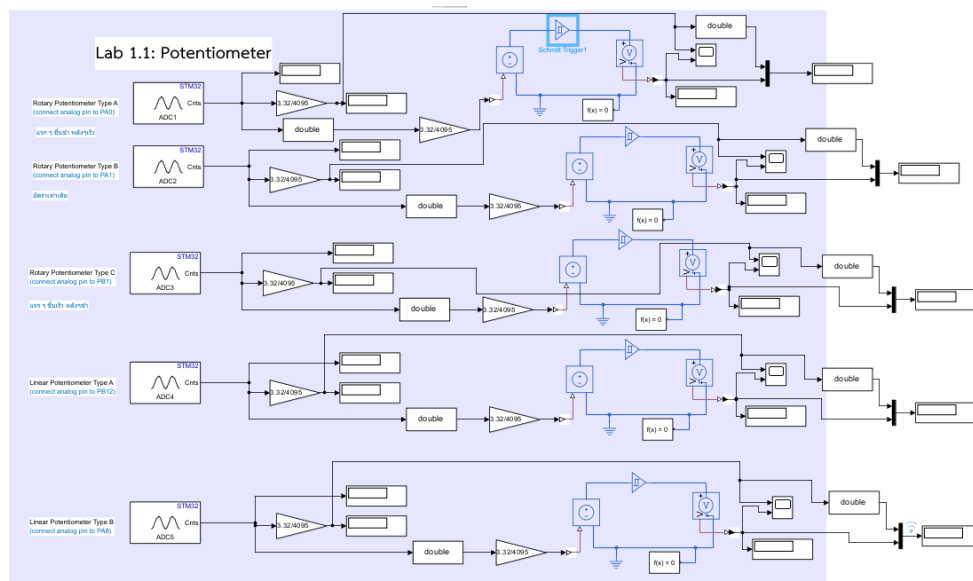
ระยะ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	0	0	0
10	0.30577925	0.361035592	0.289461014
20	1.152319984	1.177488969	1.179166879
30	1.882679765	1.860184799	1.892882561
40	2.600938357	2.588985102	2.590710379
50	2.724157979	2.713274926	2.746381533
60	2.869755442	2.870926592	2.869931007
70	3.002961812	3.000132103	3.005681687
80	3.15389402	3.156107475	3.149931347
90	3.272696733	3.27767184	3.26055989
100	3.319990039	3.319990039	3.319990039

ตารางที่ 9 ผลการทดลองการเลื่อน Linear Potentiometer Type A

ระยะ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	0	0	0
0.5	0.246175417	0.206599178	0.227784827
1	0.765087807	0.715542514	0.708130077
1.5	1.272789865	1.215753237	1.212079998
2	1.82428751	1.769262823	1.852462101
2.5	2.392437419	2.35785149	2.412395129
3	2.658639353	2.669837901	2.666545194
3.5	2.774017184	2.784476761	2.780372385
4	2.895109393	2.887155865	2.890219365
4.5	3.016080707	3.015129188	3.019687944
5	3.142114535	3.1412023	3.143647335
5.5	3.252543994	3.264510314	3.246536779
6	3.318254997	3.319604705	3.319990039

ตารางที่ 10 ผลการทดลองการเลื่อน Linear Potentiometer Type B

ระยะ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	0	0	0
0.5	0.094167055	0.098041321	0.125145362
1	0.416313117	0.389942138	0.419646829
1.5	0.681191865	0.68073083	0.696910288
2	0.962878829	0.970666026	0.97934076
2.5	1.231839396	1.218683621	1.251331224
3	1.512075073	1.504729136	1.527901922
3.5	1.833056087	1.832933795	1.833735289
4	2.146468212	2.138392057	2.139351929
4.5	2.457794773	2.438851268	2.422278849
5	2.795807088	2.751049298	2.755920743
5.5	3.130125653	3.154005014	3.152366276
6	3.319990039	3.319990039	3.319990039



รูปที่ 51 การออกแบบวงจร Schmitt Trigger เพื่อแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital

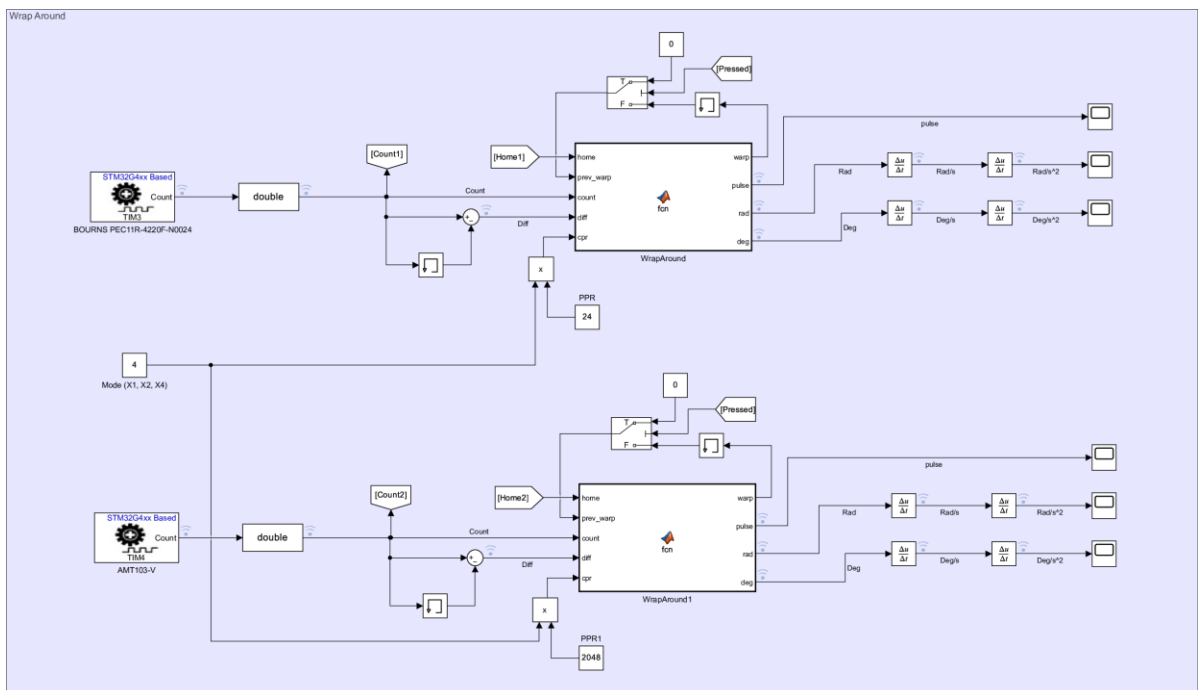
1.2 Incremental Encoder

1. การออกแบบโปรแกรม Wrap Around

โดยการออกแบบโปรแกรม Wrap Around จะอาศัยการนับจำนวนจำนวนครั้งที่เกิดการ Overflow ของค่าที่อ่านได้โดยตรงจาก Encoder ซึ่งค่าผลลัพธ์ที่ได้หลังจากผ่านโปรแกรม Wrap Around จะเป็นไปตามสมการดังนี้

$$\text{pulse}_n = \begin{cases} \text{count}_n + ((\text{wrap}_{n-1} + 1) * \text{CPR}), & \text{count}_n - \text{count}_{n-1} \leq -\text{CPR}/2 \\ \text{count}_n - ((\text{wrap}_{n-1} - 1) * \text{CPR}), & \text{count}_n - \text{count}_{n-1} \geq \text{CPR}/2 \\ \text{count}_n + (\text{wrap}_{n-1} * \text{CPR}) & \end{cases}$$

โดยที่ n คือจำนวนครั้ง และ wrap คือจำนวนครั้งที่เกิดการ Overflow และในโปรแกรม Wrap Around ได้มีการนำผลลัพธ์ที่ได้ไปทำการแปลงเป็นค่ามุมองศา Degrees และ Radius แล้วเพื่อที่จะได้นำไปแปลงเป็น Angular Velocity และ Angular Acceleration ได้ ซึ่งได้ออกแบบโปรแกรมใน Simulink และ MATLAB Function Block ได้ดังภาพนี้



รูปที่ 52 โปรแกรม Wrap Around

```

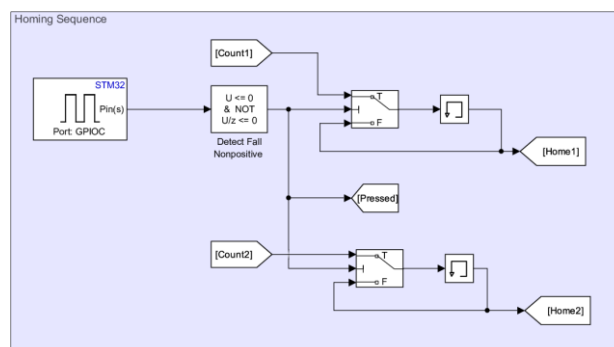
Encoder_X4 ▶ WrapAround
1 function [warp, pulse, rad, deg]= fcn(home, prev_warp, count, diff, cpr)
2
3 if diff <= -cpr * 0.5
4     warp = prev_warp + 1;
5     pulse = count + (warp * cpr);
6 elseif diff >= cpr * 0.5
7     warp = prev_warp - 1;
8     pulse = count - (warp * cpr);
9 else
10    warp = prev_warp;
11    pulse = count + (warp * cpr);
12 end
13
14 pulse = pulse - home;
15 rad = (pulse * 2 * pi) / cpr;
16 deg = rad2deg(rad);

```

รูปที่ 53 เงื่อนไขในโปรแกรม Wrap Around

18. การออกแบบโปรแกรม Homing Sequence

โดยการออกแบบโปรแกรม Homing Sequence จะอาศัยการนับ Falling Edge ของการกดปุ่มจาก PC13 เพื่อทำการบันทึกค่า Count ปัจจุบันเพื่อเก็บเป็นค่า Home เอาไปลบกับผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม Wrap Around และมีการรีเซ็ตค่า wrap ให้กลับเป็นศูนย์ด้วย ซึ่งได้ออกแบบโปรแกรมใน Simulink ได้ดังภาพนี้



รูปที่ 54 โปรแกรม Homing Sequence

1.4 Incremental Encoder

1. โปรแกรมที่ใช้ในการทำ Fast Fourier Transform (FFT) ใน Matlab

```
%
%
%
%
%
%
n = 1:length(analog);
ts = data.TimeInfo.Increment; % Timestep
fs = 1/(ts); % Sampling Frequency

FFT_analog = analog(n);
FFT_time = time(n);
FFT = fft(FFT_analog);

f = (0:length(FFT)-1)' * fs/length(FFT); % Corresponding frequency array

figure(1);
ax_raw = subplot(2, 1, 1);
ax_fft = subplot(2, 1, 2);
ax = [ax_raw; ax_fft];

plot_title = ["Raw" "Fourier"];
labal_y = ["Analog" "Magnitude"];
labal_x = ["Time (s)" "Frequency (Hz)"];
plot_y = [FFT_analog abs(FFT)];
plot_x = [FFT_time f];
color = 'rgb';

for i = 1:size(plot_y, 2)
    plot(ax(i), plot_x(:, i), plot_y(:, i), color(i));
    grid(ax(i), 'on');
    xlabel(ax(i), labal_x(i));
    ylabel(ax(i), labal_y(i));
    title(ax(i), plot_title(i));
end
```

รูปที่ 55 โปรแกรม FFT

19. โปรแกรมที่ใช้ในการทำ low-pass filter ใน Matlab

```

function filtered = lowpass_filter(signal, order, sampling_freq, cutoff_freq, show)
%UNTITLED Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here
arguments (Input)
    signal;
    order;
    sampling_freq;
    cutoff_freq;
    show = false;
end

df = designfilt('lowpassfir', 'FilterOrder', order, ...
    'CutoffFrequency', cutoff_freq, ...
    'SampleRate', sampling_freq);
filtered = filtfilt(df, signal);

if show
    filterAnalyzer(df)
end

end

```

รูปที่ 56 โปรแกรม low-pass

20. โปรแกรมที่ใช้การหาค่า Mean ของข้อมูลในช่วง range ที่กำหนด ใน Matlab

```

%
% [L O O A]
% [L O O C]
% [L O C C]
% [L C C C]
%
datas = [load("data\Good_#1.mat") load("data\Reverse_Good_#1.mat") load("data\Reverse_Good_#2.mat")];
ranges = [ ... ];

n = size(datas, 2);
max_m = size(ranges, 1);
m = max_m / n;
result = zeros(m, n);
for i = 1:n
    data = datas(i).data;
    analog = reshape(double(data.Data), [data.Length, 1]);
    time = data.Time;

    Ts = data.TimeInfo.Increment; % Timestep
    Fs = 1/(Ts); % Sampling Frequency

    cutoff_freq = 0.01;
    filt = lowpass_filter(analog, 70, Fs, cutoff_freq);

    range = ranges(1 + (i - 1) * m:m * i, :);

    range = range.*Fs;
    means = zeros(m, 1);
    for j = 1:m
        means(j) = mean(filt(range(j, 1):range(j, 2)));
    end
    result(:, i) = means;
end

```

รูปที่ 57 โปรแกรม Mean sampling