



## LAB 1: Sensors

### Name

1. นาย ดิษกร รัสมิ 67340500012
2. นาย ชววรรณ คุ่มแผน 6734050019
3. นาย ศรายุทธ สายนิยม 67340500040

### Objectives

- เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานของ Potentiometer
- เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานของ Incremental encoder
- เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานของ Magnetic sensor
- เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานของ Load cell
- เพื่อให้เข้าใจวิธีการใช้ Simulink ในการเก็บค่า

## Potentiometer

### การทดลองที่ 1 ศึกษาพฤติกรรมของ Rotary Potentiometer และ Slider Potentiometer

#### จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของ Rotary/Slider Potentiometer เมื่อร้อยละของ มุมองศา/ระยะทาง เปลี่ยนไป
2. เพื่อระบุชนิดของ Rotary Potentiometer
3. เพื่อระบุชนิดของ Slider Potentiometer

#### สมมติฐาน

Rotary Potentiometer A มีความสัมพันธ์แบบ log , Rotary Potentiometer B มีความสัมพันธ์แบบ linear, Rotary Potentiometer C มีความสัมพันธ์แบบ Anti-Log, Slider Potentiometer A มีความสัมพันธ์แบบ log และ Slider Potentiometer B มีความสัมพันธ์แบบ linear

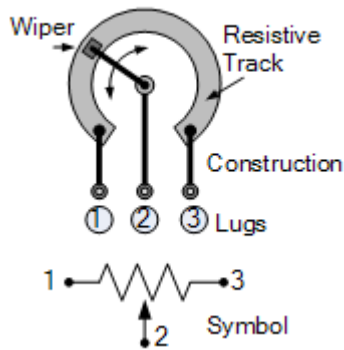
#### ตัวแปร

1. ตัวแปรต้น:
  - ร้อยละการหมุน สำหรับ Rotary Potentiometers
  - ร้อยละของระยะทาง สำหรับ Slider Potentiometers
2. ตัวแปรตาม:
  - ร้อยละของแรงดันไฟฟ้าขาออกเทียบกับแรงดันไฟฟ้าขาเข้าของ Potentiometers
3. ตัวแปรควบคุม:
  - แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้า Potentiometer

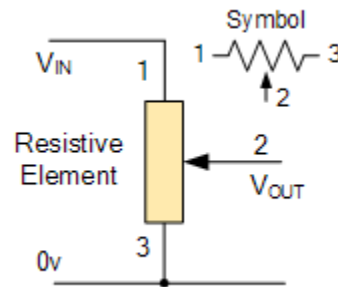
#### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทดลองครั้งนี้ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของ Potentiometer โดยได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับหลักการทำงานของ Potentiometer

Potentiometer คือ ตัวต้านทานที่สามารถปรับค่าได้เพื่อให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนไป ด้วยการหมุน หรือ การเลื่อน โดย Potentiometer สามารถปรับค่าความต้านทานได้ เนื่องจาก มีตัวต้านทานที่มีค่าคงที่ ( Resistive Track) และ ตัวต้านทานที่จะเคลื่อนที่ตามเส้นทางของตัวต้านทานคงที่ จากนั้นใช้หลักการ Voltage Divider ดังรูปที่ 2 เพื่อสามารถนำแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการมาใช้งานได้ จากการปรับ Potentiometer



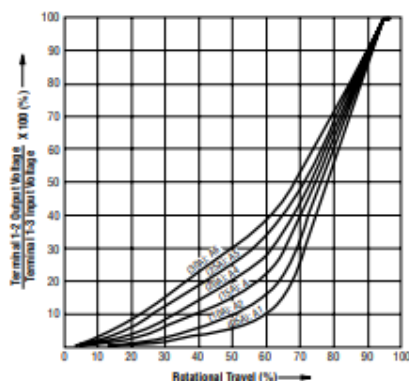
รูปที่ 1 ภายใน Rotary Potentiometer



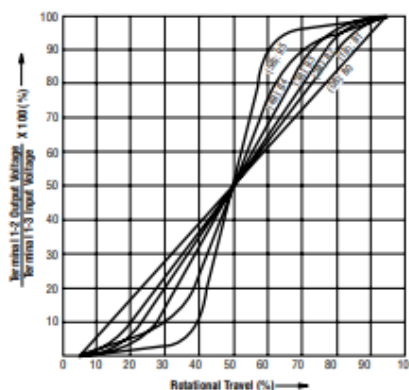
รูปที่ 2 แสดงวงจร Voltage Divider

Potentiometer สามารถแบ่งตามความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละของความต้านทาน เทียบกับ ร้อยละของตำแหน่ง โดยแบ่งตามหลักของ America ได้ทั้งหมด 3 แบบ ดังนี้

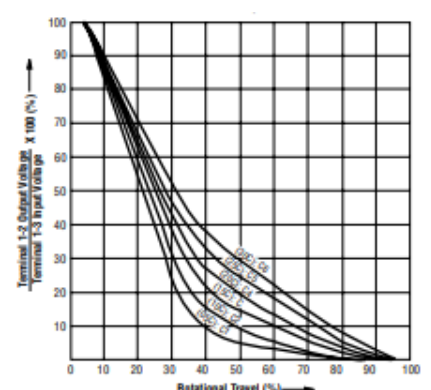
1. Potentiometer Taper A เป็นความสัมพันธ์ที่อัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างร้อยละของแรงดันขาออก กับ ร้อยละของตำแหน่ง ช้าในช่วงแรก และเร็วขึ้นในเวลาต่อมา หรือ เรียกว่าแบบ log
2. Potentiometer Taper B เป็นความสัมพันธ์ที่อัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างร้อยละของแรงดันขาออก กับ ร้อยละของตำแหน่งเป็นค่าคงที่
3. Potentiometer Taper C เป็นความสัมพันธ์ที่อัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างร้อยละของแรงดันขาออก กับ ร้อยละของตำแหน่ง เร็วในช่วงแรก และช้าลงในเวลาต่อมา หรือ เรียกว่าแบบ anti-log



รูปที่ 3 Potentiometer Taper A 5



รูปที่ 4 Potentiometer Taper B4



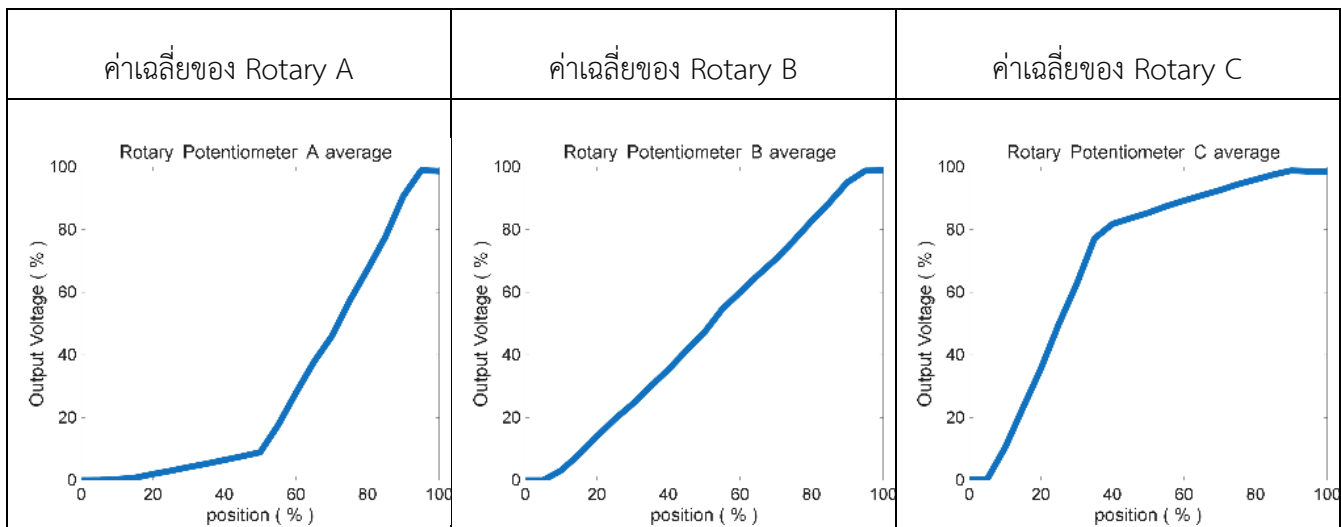
รูปที่ 3 Potentiometer Taper C

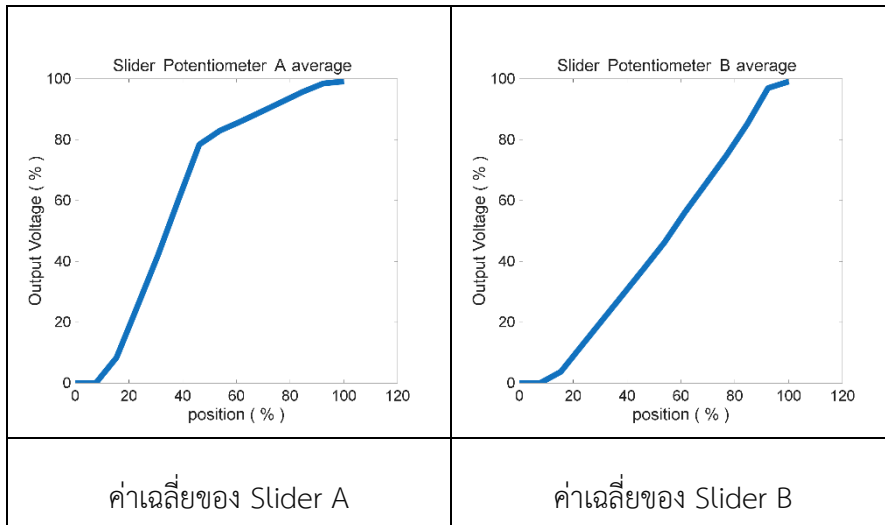
## ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 3.3 โวลต์ ที่ขา 3 ของ Potentiometer
2. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 0 โวลต์ ที่ขา 1 ของ Potentiometer
3. จ่ายแรงดันขาออกจาก Potentiometer เข้า STM32 NUCLEO-G474RE
4. หมุน Rotary Potentiometer และเลื่อน Linear Potentiometer ไป ร้อยละ 5 และร้อยละ 7.69( 5 มิลลิเมตร ) ต่อครั้ง ตามลำดับ จากนั้นค้างไว้ โดยเริ่มจากร้อยละ 0 ไปจนถึงร้อยละ 100
5. นำค่าที่ได้ในช่วงที่ค้างไว้ 500 ค่า มาหาค่าเฉลี่ย
6. ทำทั้งหมด 3 ครั้ง ต่อ potentiometer 1 ตัว
7. นำค่าที่ได้ในช่วงที่ค้างไว้ทั้ง 3 ครั้ง มาหาค่าเฉลี่ย โดยเลือกตัวอย่างในแต่ละช่วงมา 500 ตัวอย่าง
8. นำมาสร้างกราฟ โดยให้แกนแนวนอนเป็นร้อยละของระยะทางที่เคลื่อนที่เทียบกับระยะทางทั้งหมดสำหรับ Linear Potentiometer ในส่วนของ Rotary Potentiometer จะให้แกนแนวนอนเป็นร้อยละขององศาการหมุนเทียบกับ องศาทั้งหมดและแกนแนวตั้งเป็นร้อยละของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อแรงดันไฟฟ้าขาเข้า

## ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 แสดงกราฟจากการทดลองของ Linear/Slider Potentiometer ที่เป็นค่าเฉลี่ย





### สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองของ Rotary A มี อัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างร้อยละของแรงดันขาออก กับ ร้อยละของตำแหน่ง ช้าในช่วงแรก และเร็วขึ้นในเวลาต่อมา

จากผลการทดลองของ Rotary B มี อัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างร้อยละของแรงดันขาออก กับ ร้อยละของตำแหน่งคงที่ ในช่วงร้อยละ 15 ถึง ร้อยละ 95

จากผลการทดลองของ Rotary C มี อัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างร้อยละของแรงดันขาออก กับ ร้อยละของตำแหน่ง เร็วขึ้นในช่วงแรก และช้าลงในเวลาต่อมา

จากผลการทดลองของ Slider A มี อัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างร้อยละของแรงดันขาออก กับ ร้อยละของตำแหน่ง เร็วขึ้นในช่วงแรก และช้าลงในเวลาต่อมา

จากผลการทดลองของ Slider B มี อัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างร้อยละของแรงดันขาออก กับ ร้อยละของตำแหน่งคงที่ ในช่วงร้อยละ 15 ถึง ร้อยละ 95

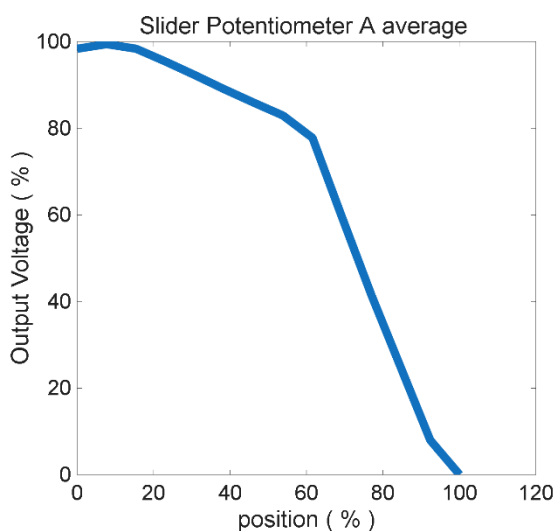
### อภิปรายผล (วิเคราะห์สิ่งที่เกิดขึ้นในการทดลอง)

จากผลการทดลองของ Rotary Potentiometer A เมื่อเทียบกับพฤติกรรมของ Rotary Potentiometer แบบ Taper นั้น สามารถระบุได้ว่ามีแนวโน้ม คล้ายกับแบบ Taper A หรือแบบ log ( รูปที่ 1 )

จากผลการทดลองของ Rotary Potentiometer B เมื่อเทียบกับพฤติกรรมของ Rotary Potentiometer แบบ Taper นั้น สามารถระบุได้ว่ามีแนวโน้ม คล้ายกับแบบ Taper B หรือแบบ linear ( รูปที่ 2 )

จากผลการทดลองของ Rotary Potentiometer C เมื่อเทียบกับพฤติกรรมของ Rotary Potentiometer แบบ Taper นั้น สามารถระบุได้ว่ามีแนวโน้ม คล้ายกับแบบ Taper C หรือแบบ Anti-log ( รูปที่ 3 )

จากผลการทดลองของ Slider Potentiometer A เมื่อเทียบกับพฤติกรรมของ Linear Potentiometer แบบ Taper นั้น ไม่มีแนวโน้มที่คล้ายกับ ผลการทดลองแต่มีแนวโน้มที่ผกผันกับการทดลอง กล่าวคือ แนวโน้มแบบ log ( รูปที่ 1 )ทางคณะผู้จัดทำจึงทำการทดลอง โดยการเลื่อน Slider Potentiometer ด้านตรงข้ามกับการทดลองจาก ตารางที่ 1 พบว่าเมื่อเทียบกับพฤติกรรมของ Linear Potentiometer แบบ Taper นั้นจะคล้ายกับแบบ log ที่อัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างร้อยละของแรงดันขาออก กับ ร้อยละของตำแหน่ง ข้างในช่วงแรก และเร็วขึ้นในเวลาต่อมา ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า พฤติกรรมแบบ Slider Potentiometer A ขึ้นอยู่กับ ทิศทางการเลื่อน



รูปที่ 6 กราฟจากการทดลอง Slider Potentiometer A ทิศทางตรงข้ามกับ ตารางที่ 1

จากผลการทดลองของ Slider Potentiometer B เมื่อเทียบกับพฤติกรรมของ Linear Potentiometer แบบ Taper นั้น สามารถระบุได้ว่ามีแนวโน้ม คล้ายกับแบบ Taper B หรือแบบ linear ( รูปที่ 6 )

### ข้อเสนอแนะ

- ในการเก็บข้อมูลควรเริ่มเก็บที่เวลาเดียวกัน และระยะห่างของเวลาในการเก็บข้อมูลแต่ละการหมุนควรเท่ากัน เพื่อให้ง่ายต่อการเขียนโปรแกรมในการนำข้อมูลแต่ละช่วงมาวิเคราะห์

## อ้างอิง

<https://www.electronics-tutorials.ws/resistor/potentiometer.html>

<https://www.bourns.com/docs/Product-Datasheets/PDB18.pdf>

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

<https://eepower.com/resistor-guide/resistor-types/potentiometer/#>

## การทดลองที่ 2 การแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital ด้วยวงจร Schmitt Trigger

### จุดประสงค์

เพื่อศึกษาหลักการทำงานของวงจร Schmitt Trigger ใน simmulink

### สมมติฐาน

สามารถใช้วงจร Schmitt Trigger แปลงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลได้

### ตัวแปร

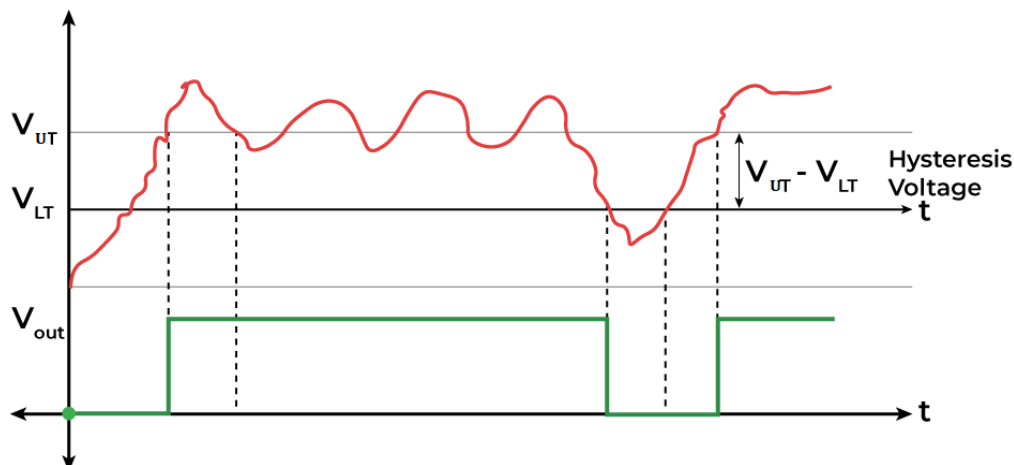
1. ตัวแปรต้น:
  - ค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า
2. ตัวแปรตาม:
  - ค่าสัญญาณดิจิทัล
3. ตัวแปรควบคุม:
  - ค่า Upper Threshold และค่า Lower Threshold

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทดลองครั้งนี้ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของ Potentiometer โดยได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องมีหัวข้อ ดังนี้

## 1. วงจร Schmitt Trigger

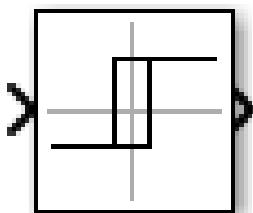
วงจร Schmitt Trigger คือ วงจรที่แปลงจากสัญญาณแอนะล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยการกำหนด Upper Threshold และ Lower Threshold เมื่อค่าสัญญาณแอนะล็อกที่เข้าวงจรมีค่ามากกว่า Upper Threshold สัญญาณดิจิทัลที่ได้จะมีค่าเป็น 1 และ เมื่อค่าสัญญาณแอนะล็อกที่เข้าวงจรมีค่าต่ำกว่า Lower Threshold สัญญาณ Digital ที่ได้จะมีค่าเป็น 0



รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างการใช้วงจร Schmitt Trigger ในการแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital

## 2. การสร้างวงจร Schmitt Trigger ในโปรแกรม simulink

การสร้างวงจร Schmitt Trigger ใน simulink สามารถใช้ Block Relay เพื่อเลียนแบบหลักการของวงจร Schmitt Trigger โดยตั้งค่า Switch on point เป็นค่า Upper Threshold ที่ต้องการ และ ตั้งค่า Switch off point เป็นค่า Lower Threshold ที่ต้องการ



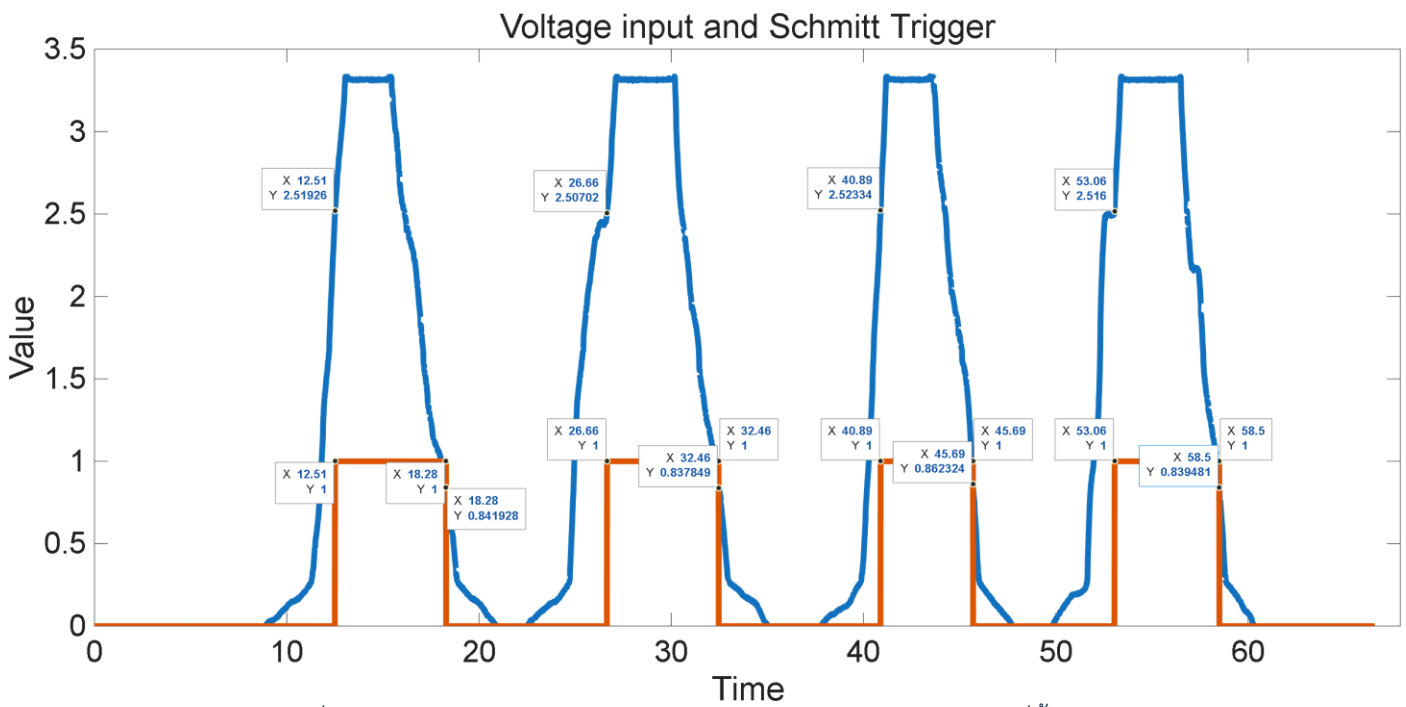
รูปที่ 8 สัญลักษณ์ Relay ใน simulink



## ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 3.3 โวลต์ ที่ขา 3 ของ Potentiometer
2. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 0 โวลต์ ที่ขา 1 ของ Potentiometer
3. จ่ายแรงดันขาออกจาก Potentiometer เข้า STM32 NUCLEO-G474RE
4. ตั้งค่า Switch on point ที่ ร้อยละ 75 ของแรงดันขาเข้า และ ตั้งค่า Switch off point ที่ร้อยละ 25 ของแรงดันขาเข้า
5. หมุน Rotary Potentiometer type A จนค่าสัญญาณดิจิทัลเปลี่ยน จาก 0 เป็น 1

## ผลการทดลอง



รูปที่ 9 แสดงการแปลงสัญญาณขาเข้าเป็นสัญญาณ Digital ตาม Threshold ที่ตั้งไว้

## สรุปผลการทดลอง

จากรูปที่ 9 สามารถสังเกตได้ว่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้าที่เปรียบเสมือนสัญญาณ Analog ( เส้นสีฟ้า ) สามารถเปลี่ยนเป็นสัญญาณ Digital ได้ ( เส้นสีส้ม )

## อภิปรายผล

จากรูปที่ 9 สามารถสังเกตได้ว่า สัญญาณ Digital จะเปลี่ยนเป็น 1 ก็ต่อเมื่อ แรงดันไฟฟ้าขาเข้ามีค่าประมาณ 2.5 Volt คิดเป็นประมาณ ร้อยละ 75 ของแรงดันไฟฟ้าเข้า และ สัญญาณ Digital จะเปลี่ยนเป็น 0 ก็ต่อเมื่อ แรงดันไฟฟ้าขาเข้ามีค่าประมาณ 0.84 Volt คิดเป็นประมาณ ร้อยละ 25 ของแรงดันไฟฟ้าเข้า ซึ่งตรงกับการตั้งค่า Switch on point, Switch off point ที่ ร้อยละ 75 ของแรงดันขาเข้า และ ที่ร้อยละ 25 ของแรงดันขาเข้า ตามลำดับ

## ข้อเสนอแนะ

- การเลือกค่า Threshold ควรคำนึงถึงการนำไปใช้จริง

## อ้างอิง

<https://www.geeksforgeeks.org/electronics-engineering/schmitt-trigger/>

<https://nl.mathworks.com/help/simulink/slref/relay.html>

## 2. Incremental Encoder

การทดลองที่ 1 Incremental Encoder (TH Sarabun New, 16, ตัวหนา)

### จุดประสงค์

เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจหลักการทำงานของ Incremental Encoder โดยมีหัวข้อหลักดังต่อไปนี้

1. การอ่านค่าและเปรียบเทียบสัญญาณ Encoder แบบ X1 X2 และ X4
2. เพื่อศึกษาและพัฒนาฟังก์ชัน WrapAround เพื่อป้องกันการ Overflow
3. เพื่อเขียน Homing Sequence กำหนดจุดอ้างอิงเริ่มต้นของ Encoder

### สมมติฐาน

การอ่านค่าสัญญาณ Encoder ในแต่ละแบบจะให้ความละเอียดที่ต่างกันโดยที่ X4 จะอ่านค่าได้ละเอียดมากที่สุด และ X1 อ่านค่าได้ละเอียดน้อยที่สุด

### ตัวแปร

1. ตัวแปรต้น:
  - ทิศทางการหมุนของ Encoder (ตามเข็มนาฬิกา และ ทวนเข็มนาฬิกา)
  - รูปแบบการอ่านค่า Quadrature ที่ตั้งค่าใน IOC (x1, x2, x4)
  - ความเร็วในการหมุน Encoder
2. ตัวแปรตาม:
  - ค่า Raw Counts ที่อ่านได้จาก TIM1, TIM3, TIM4 (x1, x2, x4) ตามลำดับ
  - ความสัมพันธ์เชิงเฟส (Phase Relationship) ของสัญญาณ A และ B
  - ตำแหน่งเชิงมุม (Angular Position)
  - คุณภาพสัญญาณที่อ่านได้

ตัวแปรควบคุม:

- บอร์ดควบคุม Nucleo STM32G474RE
- Incremental Encoder รุ่น AMT103-V และ BOURNS PEC11R-4220F-N0024
- แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Encoder (3.3V)
- ค่า Counter Period ที่ตั้งใน STM32CubeMX (เช่น 61439)

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

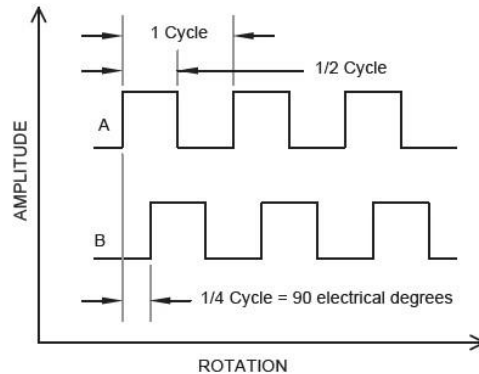
ในการทดลองครั้งนี้ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับหลักการทำงานของ Incremental Encoder โดยได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

1. Pulses Per Revolution (PPR) ของ BOURNS PEC11R-4220F-N0024 และ AMT103-V โดย

1.1. BOURNS PEC11R-4220F-N0024 มีค่า PPR อยู่ที่ 24 PPR

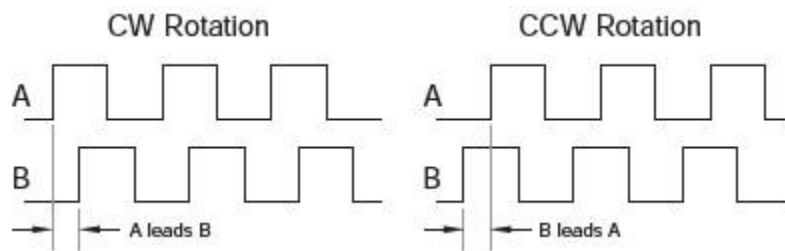
1.2. AMT103-V มีค่า PPR อยู่ 2048 PPR

2. Incremental Encoder เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดการเคลื่อนที่เชิงมุมหรือเชิงเส้น โดยจะแปลงการเคลื่อนที่ทางกายภาพให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบพัลส์ (Pulse) ดิจิทัลโดยทั่วไปจะมีสัญญาณเอาต์พุต 2 ช่องมักจะเรียกว่า ช่องสัญญาณ A (Channel A) และ ช่องสัญญาณ B (Channel B) โดยที่สัญญาณทั้ง 2 นี้จะมีเฟส(Phase) ต่างกัน 90 องศา



รูปที่ 10 Two-channel incremental encoder waveform

3. การอ่านสัญญาณ Encoder ทั้ง 3 แบบ X1, X2 และ X4 ซึ่งการอ่านค่าในแต่ละแบบจะส่งผลต่อค่า Count Per Revolution (CPR) โดยจะมีรายละเอียดดังนี้
- 3.1. การอ่านแบบ X1 คือ การอ่านโดยนับขอบสัญญาณเพียงขอบเดียวจากช่องสัญญาณเดียว ซึ่งจะทำให้ค่า CPR เท่ากับค่า PPR
- 3.2. การอ่านแบบ X2 คือ การอ่านโดยนับทั้งขอบขาขึ้นและขอบขาลงของช่องสัญญาณเดียวซึ่งจะทำให้ค่า CPR จะเป็น 2 เท่าของค่า PPR
- 3.3. การอ่านแบบ X4 คือ การอ่านโดยนับทั้งขอบขาขึ้นและขอบขาลงของทั้ง 2 ช่องสัญญาณเดียวซึ่งจะทำให้ค่า CPR จะเป็น 4 เท่าของค่า PPR
4. ลักษณะของสัญญาณเมื่อหมุนตามเข็มนาฬิกา (CW) และทวนเข็มนาฬิกา (CCW)



รูปที่ 11 Encoder waveforms indicating a change in direction

5. สามารถแปลงค่า Raw Counts ที่อ่านได้เพื่อหาค่าอื่นๆได้ดังนี้

5.1. Relative Position (Pulses)

$$\text{Relative Position (Pulses)} = \frac{\text{Raw Counts}}{\text{Count Per Pulse}}$$

โดย Count Per Pulse จะขึ้นอยู่กับวิธีการอ่านสัญญาณ Encoder

5.2. Angular Position(Radians)

$$\text{Angular Position(Radians)} = \frac{\text{Raw Counts}}{\text{Count Per Revolution}} \times 2\pi$$

โดยค่า Count Per Revolution จะขึ้นอยู่กับวิธีการอ่านสัญญาณ Encoder และ PPR ของ Encoder

5.3. Angular Velocity (Radians/Second)

$$\omega(t) = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

6. การหา Angular Resolution(Radian/Counts)

$$\text{Angular Resolution(Radian/Counts)} = \frac{2\pi}{\text{Count Per Revolution}}$$

## ขั้นตอนการดำเนินงาน

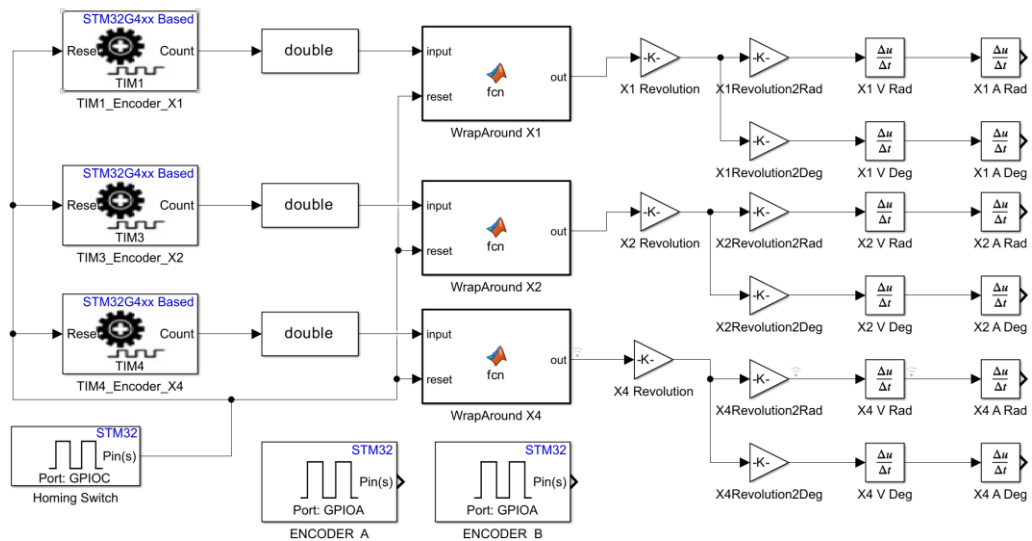
1. การเชื่อมต่อ Hardware

1. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 3.3 โวลต์ ที่ขา + ของ BOURNS PEC11R-4220F-N0024 และ AMT103-V
2. GND เข้าที่ที่ขา - ของ BOURNS PEC11R-4220F-N0024
3. ต่อขาสัญญาณ A ของ Encoder เข้ากับขา PA6, PA8 และ PA11 และ สัญญาณ B เข้ากับขา PA7, PA9 และ PA12 ของ STM32G474RE

2. การตั้งค่า IOC

1. ตั้งค่าขา TIMER ทั้ง 3 ชุด
  1. ตั้งค่า PA6 เป็น TIM3\_CH1, PA7 เป็น TIM3\_CH2
  2. ตั้งค่า PA8 เป็น TIM1\_CH1, PA9 เป็น TIM1\_CH2
  3. ตั้งค่า PA11 เป็น TIM4\_CH1, PA12 เป็น TIM4\_CH2
2. ตั้งค่า Combined Channels ของ TIM1, TIM2, TIM3 เป็น Encoder Mode
  1. ตั้งค่า Encoder Mode ของ TIM1 เป็น Encoder Mode x1\_TI1 สำหรับการอ่านแบบ X1
  2. ตั้งค่า Encoder Mode ของ TIM3 เป็น Encoder Mode TI1 สำหรับการอ่านแบบ X2
  3. ตั้งค่า Encoder Mode ของ TIM4 เป็น Encoder Mode TI1 and TI2 สำหรับการอ่านแบบ X4

### 3. การเตรียมการ Simulink



รูปที่ 12 Simulink Block Diagram

1. ใช้ Encoder ทั้ง 3 บล็อกในการอ่านค่า Counts ที่อ่านด้วยวิธีแบบ X1, X2 และ X4 พร้อมๆ กัน
2. matlabfunction WrapAround จะเป็นฟังก์ชันที่ทางผู้จัดทำได้เขียนขึ้นมาเพื่อป้องกันการ overflow ของข้อมูล และมีการรับค่าจาก Digital Port Read เพื่อเป็นสัญญาณ input ในการทำงานของ Homing-Sequence โดยมีรายละเอียดโค้ดดังนี้

```

1 function out = fcn(input, reset)
2 persistent carry;
3 persistent prev;
4 persistent offset;
5 if isempty(carry)
6     carry = 0;
7 end
8 if isempty(prev)
9     prev = 0;
10 end
11 if isempty(offset)
12     offset = 0;
13 end
14
15 diff = input - prev;
16 if diff > 30720
17     carry = carry - 1;
18 elseif diff < -30720
19     carry = carry + 1;
20 end
21
22 if reset == 1
23     offset = input + (carry * 61440);
24 end
25
26 prev = input;
27 out = input + (carry * 61440) - offset;
28

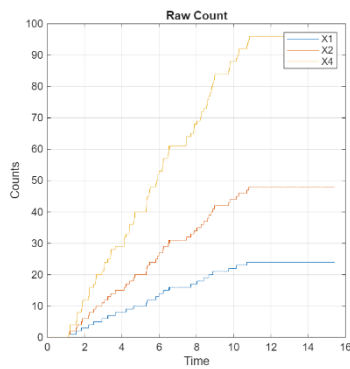
```

รูปที่ 13 WrapAround source code

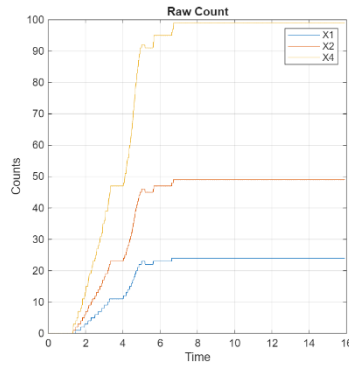
3. ในส่วนบล็อก Gain ที่ชื่อ Revolution จะเป็นการหารด้วย CPR ของ Encoder เพื่อนำค่า Revolution ไปใช้ในการคำนวณต่อไป
4. Digital Port Read ที่ชื่อ ENCODER A และ ENCODER B จะเป็นขาสัญญาณ A และ B ที่อ่านได้จาก Encoder ตามลำดับ
4. ทำการทดลองและเก็บค่า

## ผลการทดลอง

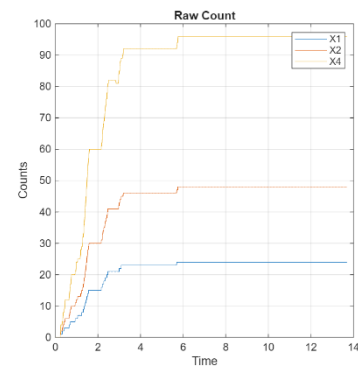
1. หมุน BOURNS PEC11R-4220F-N0024 1 รอบตามเข็มนาฬิกาเปรียบเทียบ X1 X2 และ X4 เพื่อวัดและคำนวณค่า PPR และ CPR



รูปที่ 14 กราฟ BOURNS 1

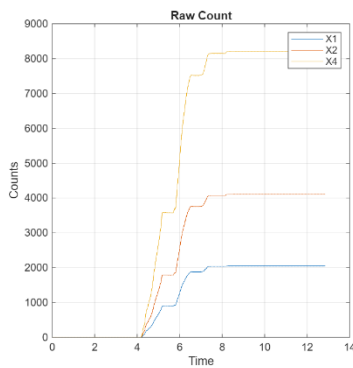


รูปที่ 15 กราฟ BOURNS 216

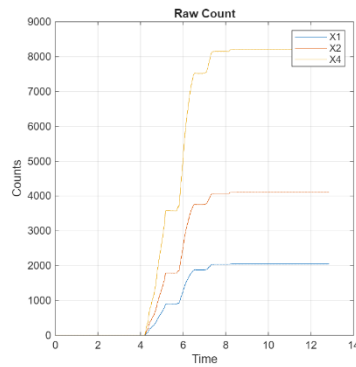


รูปที่ 16 กราฟ BOURNS 315

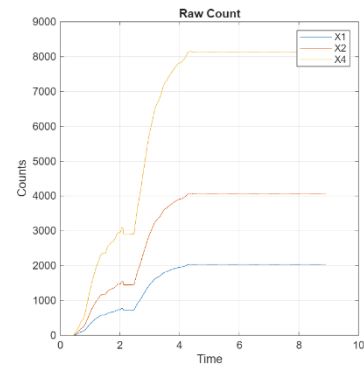
2. หมุน AMT103-V 1 รอบตามเข็มนาฬิกาเปรียบเทียบ X1 X2 และ X4 วัดและคำนวณค่า PPR และ CPR



รูปที่ 17 รูปที่ 17 กราฟ AMT 1

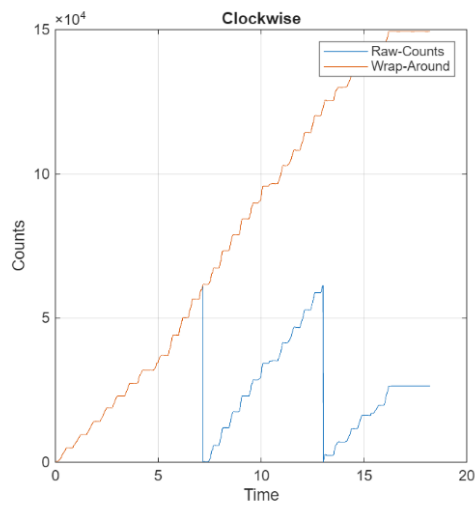


รูปที่ 18 รูปที่ 18 กราฟ AMT 2

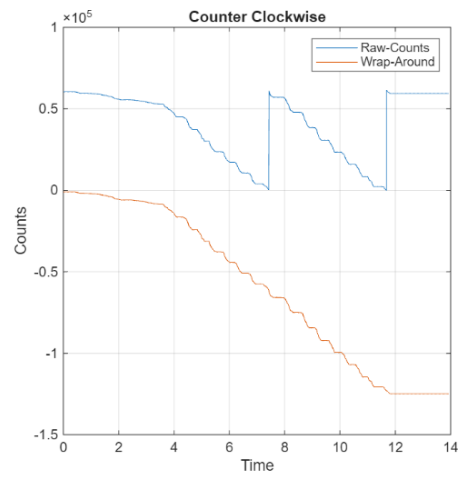


รูปที่ 19 กราฟ AMT 3

3. การทดสอบการทำงานของฟังก์ชัน wraparound โดยการหมุน Encoder ไปเรื่อยๆ ทั้ง 2 ทิศทาง

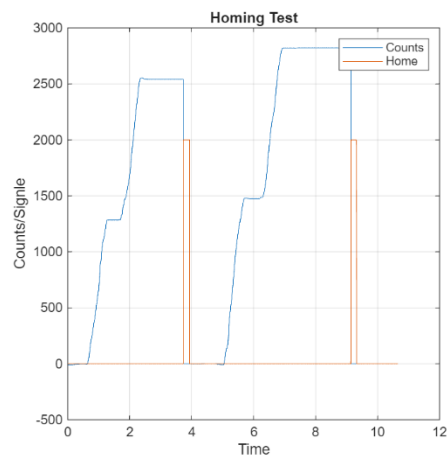


รูปที่ 21 Wrap-Around Clockwise



รูปที่ 20 Wrap-Around Counter Clockwise

4. การทดสอบ Homing-Sequence

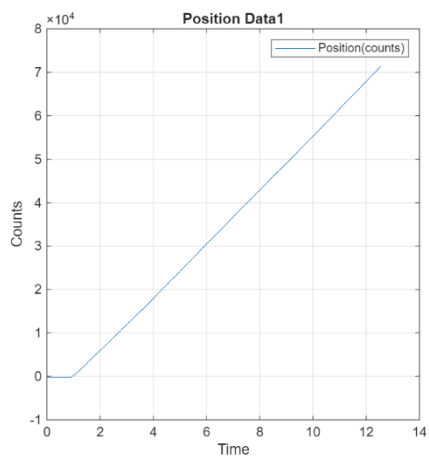


รูปที่ 22 Counts and Homing-Sequence

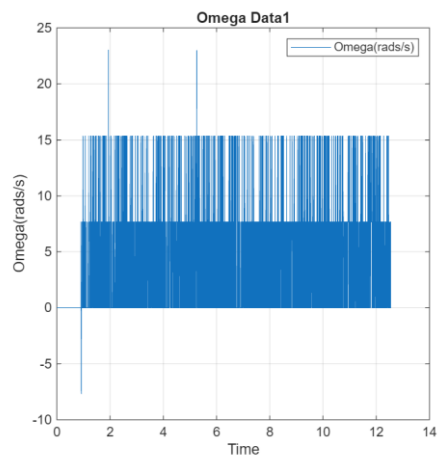


## 5. การเปรียบเทียบคุณภาพสัญญาณความของEncoder

### 5.1. หมุน Encoder ด้วยความเร็วต่ำ

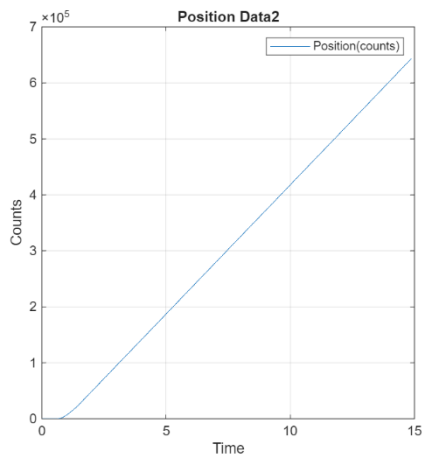


รูปที่ 23 Position Data 1

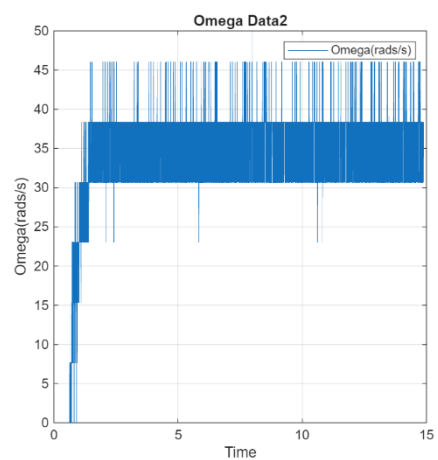


รูปที่ 26 Omega Data 1

### 5.2. หมุน Encoder ด้วยความเร็วสูง



รูปที่ 27 Omega Data 1



รูปที่ 28 Omega Data 2

## สรุปผลการทดลอง

1. จากผลการทดลองเมื่อหมุน BOURNS PEC11R-4220F-N0024 ตามเข็มนาฬิกา 1 รอบจะได้รับสัญญาณดังนี้

Quadrature	Counts			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
X1	24	24	24	24
X2	48	48	48	48
X4	96	96	96	96

และ สามารถคำนวณ Angular Resolution ดังนี้

Resolution	X1	X2	X4
Deg/Count	15	7.5	3.75
Rad/Count	0.2618	0.1309	0.0654

2. จากผลการทดลองเมื่อหมุน BOURNS PEC11R-4220F-N0024 ตามเข็มนาฬิกา 1 รอบจะได้รับสัญญาณดังนี้

Quadrature	Counts			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
X1	2033	2052	2023	2036
X2	4066	4104	4046	4072
X4	8132	8204	8092	8144

และ สามารถคำนวณ Angular Resolution ดังนี้

Resolution	X1	X2	X4
Deg/Count	0.18	0.09	0.04
Rad/Count	0.0031	0.0015	0.0008

3. จากการทดลองเมื่อค่า Raw-Counts เพิ่มขึ้นถึง 61439 และมีการเพิ่มขึ้นไปอีกจะทำให้เกิดการ Overflow ของข้อมูล และในการทางกลับกันถ้าค่า Raw-Counts ลดลงถึง 0 ละมีการลดลงจะทำให้เกิดการกระโดดของข้อมูล
4. จากการทดสอบการทำงานของ Homing Sequence เมื่อสัญญาณ Home ถูกส่งเข้ามาจะทำให้ค่า Count ถูกกำหนดให้เป็นค่า 0 (จุดอ้างอิง)
5. ในส่วนของการทดลองคุณภาพของสัญญาณที่ได้นั้นยังมีสัญญาณลบกวนและไม่เห็นแนวโน้มที่ต่างกันอย่างชัดเจนว่าความเร็วมีผลกับคุณภาพสัญญาณอย่างไร

## อภิปรายผล

ในการอ่านค่าสัญญาณ Encoder แต่ละแบบจะให้ความละเอียดที่ต่างกันไปโดยที่ X4 จะให้ความละเอียดสูงที่สุด โดยค่า CPR จะเป็น 4 เท่าของ PPR

ในส่วนของการทำงานของฟังก์ชัน WrapAround สามารถทำงานได้อย่างที่คาดหวังไว้โดยสามารถป้องกันการ Overflow และการขาดช่วงของข้อมูลได้

การทำงานของ Homing Sequence สามารถทำงานได้ตามที่คาดหวังไว้เมื่อมีการสั่งการทำงาน จะทำการกำหนดจุดนั้นเป็นจุดที่ค่า Count เป็น 0 (อ้างอิง)

## ข้อเสนอแนะ

- ในการอ่านค่าเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพสัญญาณควรมีการอ่านค่าที่รวดเร็วและละเอียดมากกว่านี้
- การเก็บค่าเพื่อทดสอบหาค่า PPR หรือ CPR ควรมีวิธีการที่แม่นยำกว่านี้ในการหมุน Encoder เพื่อที่จะได้ค่าที่แม่นยำมากขึ้น

อ้างอิง (ใส่แค่ Link)

[https://www.cncdrive.com/downloads/AMT103\\_datasheet.pdf](https://www.cncdrive.com/downloads/AMT103_datasheet.pdf)

<https://www.alldatasheet.com/html-pdf/556214/BOURNS/PEC11R/215/1/PEC11R.html>

<https://www.linearmotiontips.com/what-is-quadrature-encoding/>

<https://www.haydonkerkpittman.com/learningzone/whitepapers/incremental-encoder-signals>

### 3. Magnetic Sensor

การทดลองที่ 1 การทดลองค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่แปรผันตาม ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับ Linear Hall Effect Magnetic Sensor ขั้วของแม่เหล็ก และการติด Shield ให้กับแม่เหล็ก ตามลำดับ

#### จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก เมื่อมีระยะห่างจากเซนเซอร์ที่เปลี่ยนไป
2. เพื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก เมื่อสลับขั้วแม่เหล็ก
3. เพื่อศึกษาค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก เมื่อติด Shield
4. เพื่อศึกษาการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้า เป็นค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก

#### สมมติฐาน

เมื่อระยะห่างระหว่างสนามแม่เหล็ก กับ เซนเซอร์น้อยลง ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เซนเซอร์อ่านได้จะมีค่ามากขึ้น

เมื่อสลับขั้วแม่เหล็ก ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่อ่านได้จะมีทิศทางตรงข้ามกับค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กก่อนสลับ

เมื่อติด Shield ที่ขั้วแม่เหล็กแล้วจะทำให้ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่อ่านได้มีค่าลดลง

#### ตัวแปร

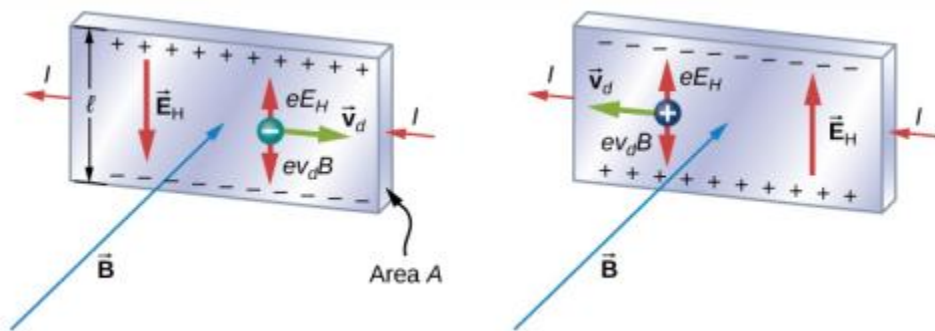
1. ตัวแปรต้น
  - ระยะทางระหว่างสนามแม่เหล็ก กับ เซนเซอร์
  - ขั้วแม่เหล็ก
  - การติด Shield
2. ตัวแปรตาม:
  - ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก
3. ตัวแปรควบคุม:
  - ปรับระยะห่างที่ละ 0.5 เซนติเมตร
  - จุดที่วางเซนเซอร์เพื่อทดลองเป็นจุดเดียวกันทุกครั้ง
  - อุณหภูมิในห้องที่ทดลอง 25 องศาเซลเซียส
  - แรงดันไฟฟ้าขาเข้า

## เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทดลองครั้งนี้ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของ Magnetic Sensor โดยได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องมีหัวข้อ ได้แก่ หลักการทำงานของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor วิธีการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นความเข้มของสนามแม่เหล็ก, พฤติกรรมของสนามแม่เหล็กในแม่เหล็ก และ Shield ส่งผลต่อความเข้มของสนามแม่เหล็กอย่างไร

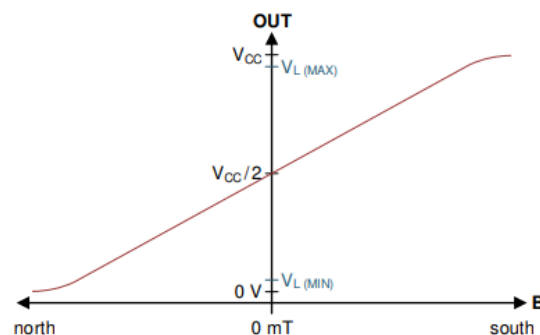
### 1. หลักการทำงานของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

Hall Effect เกิดจากสนามแม่เหล็กภายนอกกระทำกับแผ่นที่มี electron ( กระแสไฟฟ้า ) ซึ่งจะเกิดแรงกระทำต่อ electron ที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก ถ้ามีกระแสไฟฟ้าไหลอยู่จะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่เปลี่ยนไป จะส่งผลให้กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้มีค่าเปลี่ยนแปลงไป ซึ่ง Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor สามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้านี้ และส่งสัญญาณขาออกเป็นแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 31 แสดงการเกิด Hall Effect

จาก Datasheet ( รูปที่ 28) Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor ( DRV5055 ) สามารถระบุขั้วได้ โดยถ้าค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กเป็นบวกจะเป็นทิศใต้ แต่ถ้าค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กเป็นลบจะเป็นทิศเหนือ



รูปที่ 32 แสดงค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กของขั้วเหนือ และขั้วใต้

## 2. วิธีการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นความเข้มของสนามแม่เหล็ก

สามารถแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าในหน่วย mV เป็น ความเข้มของสนามแม่เหล็กในหน่วย mT ได้จากสมการดังต่อไปนี้

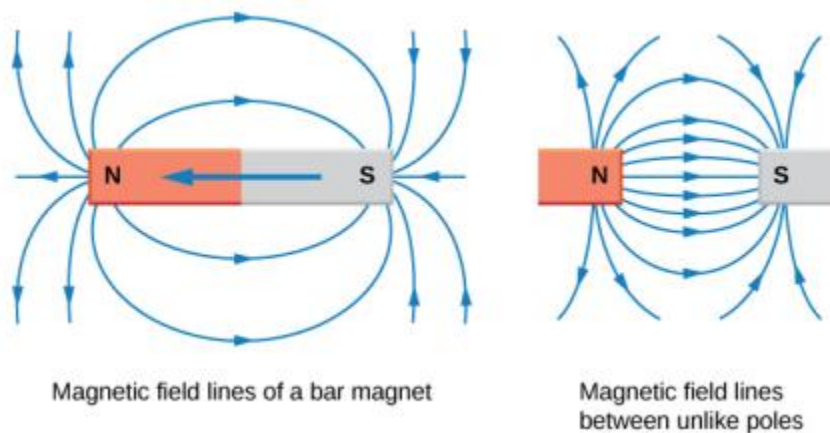
$$V_{OUT} = V_Q + B \times (Sensitivity_{(25^{\circ}C)} \times (1 + S_{TC} \times (T_A - 25^{\circ}C)))$$

โดย

$V_{out}$	คือ	ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากเซนเซอร์
$V_Q$	คือ	ร้อยละ 50 ของแรงดันไฟฟ้าที่เข้าเซนเซอร์
$B$	คือ	ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก
$Sensitivity_{(25^{\circ}C)}$	คือ	ค่า Sensitivity ที่ 25 องศาเซลเซียส
$S_{TC}$	คือ	อัตราการเพิ่มขึ้นของ Sensitivity ต่อ อุณหภูมิ
$T_A$	คือ	อุณหภูมิภายนอก

## 3. พฤติกรรมของสนามแม่เหล็กในแม่เหล็ก

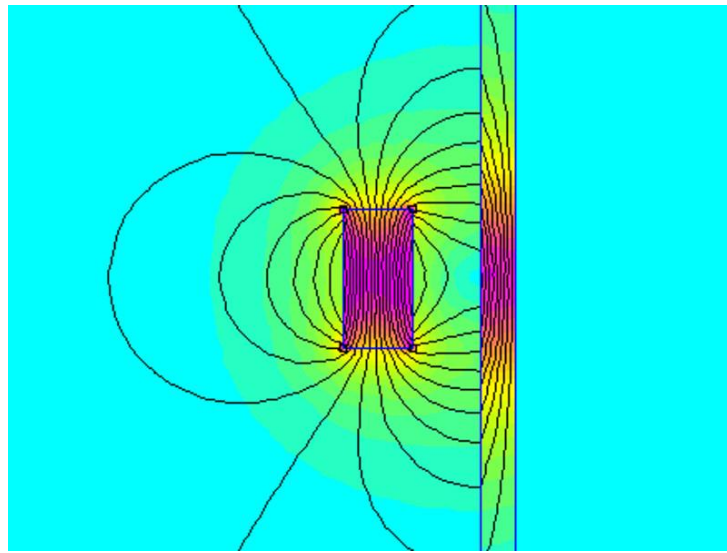
พฤติกรรมของสนามแม่เหล็กในแม่เหล็กนั้น จะมีทิศทางพุ่งออกจากขั้วเหนือสู่ขั้วใต้เสมอ ความเข้มของสนามแม่เหล็กนั้นจะแปรผกผันกับระยะห่างจากขั้วแม่เหล็ก หรือกล่าวคือ ในบริเวณที่ใกล้ขั้วแม่เหล็กมาก จะมีค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กมาก



รูปที่ 33 แสดงเส้นของสนามแม่เหล็ก

#### 4. Shield ส่งผลต่อความเข้มของสนามแม่เหล็กอย่างไร

Shield ที่ติดกับแม่เหล็ก ทำจากวัสดุที่เป็นเหล็ก ซึ่งเหล็กมีความสามารถในการดูดซับสนามแม่เหล็กได้ ความสามารถในการดูดซับสนามแม่เหล็กนั้นขึ้นอยู่กับความหนาของวัสดุที่นำมาทำ Shield



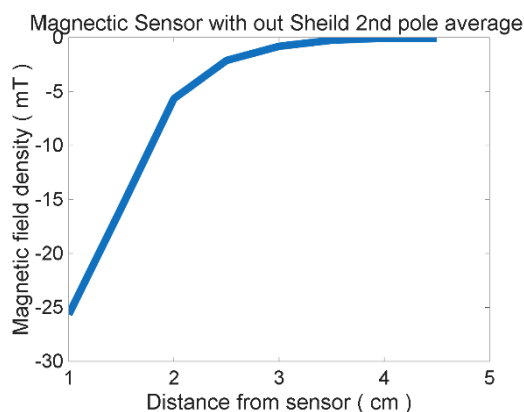
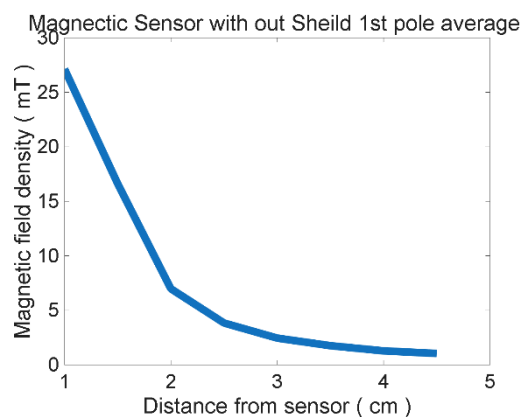
รูปที่ 34 การดูดซับสนามแม่เหล็ก

#### ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 3.3 โวลต์ ที่ขา VCC ของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor
2. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 0 โวลต์ ที่ขา GND ของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor
3. จ่ายแรงดันไฟฟ้าขาออกจาก Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor เข้า STM32 NUCLEO-G474RE
4. หมุนน็อตให้แม่เหล็กต่ำลงทีละ 0.5 เซนติเมตร โดยเริ่มจาก 4.5 เซนติเมตร แล้วค้างไว้
5. แปลงค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นความเข้มสนามแม่เหล็ก
6. ทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยในช่วงที่ค้างไว้
7. ติด Shield ที่แม่เหล็ก จากนั้นทำขั้นตอนที่ 1-5 ซ้ำ 3 ครั้ง
8. นำ Shield ที่แม่เหล็กออก แล้วสลับด้านแม่เหล็ก จากนั้นทำขั้นตอนที่ 1-5 ซ้ำ 3 ครั้ง
9. ติด Shield ที่แม่เหล็ก จากนั้นทำขั้นตอนที่ 1-5 ซ้ำ 3 ครั้ง

#### ผลการทดลอง

1. เปรียบเทียบ ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับเซนเซอร์ และความเข้มของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 36 กราฟแสดงค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กของ  
ขั้วที่ 1 ต่อ ระยะห่างของแม่เหล็กกับเซนเซอร์

รูปที่ 35 กราฟแสดงค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กของ  
ขั้วที่ 2 ต่อ ระยะห่างของแม่เหล็กกับเซนเซอร์

2. เปรียบเทียบ ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก เมื่อใส่ Shield และไม่ใส่ Shield

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มของสนามแม่เหล็ก เมื่อใส่ Shield และไม่ใส่ Shield ของขั้วใต้

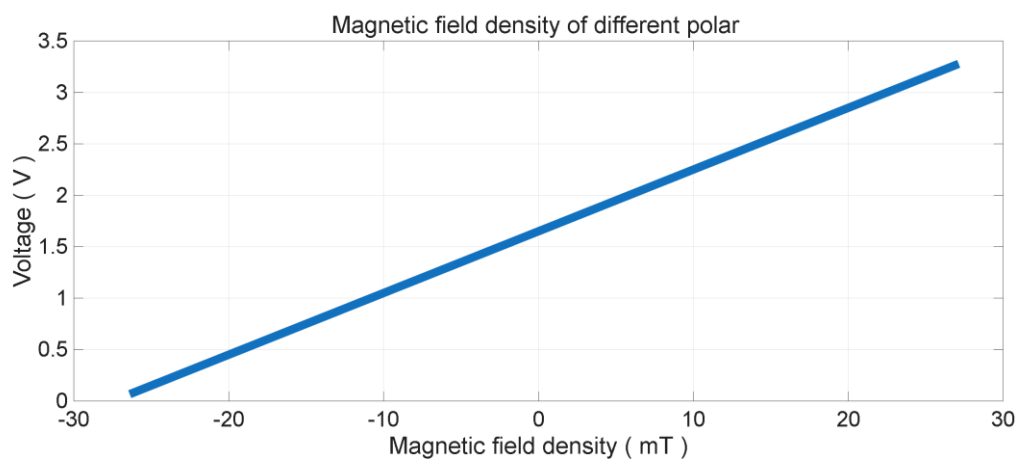
ระยะห่างจากเซนเซอร์ ( cm )	ค่าเฉลี่ย เมื่อ ไม่ใส่ Shield ( mT )	ค่าเฉลี่ย เมื่อ ใส่ Shield ( mT )
4.5	1.04	1.07
4	1.28	1.23
3.5	1.76	1.72
3	2.45	2.34
2.5	3.84	3.55
2	6.98	6.25
1.5	16.62	13.29
1	27.13	27.19



ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มของสนามแม่เหล็ก เมื่อใส่ Shield และไม่ใส่ Shield ของขั้วเหนือ

ระยะห่างจากเซนเซอร์ ( cm )	ค่าเฉลี่ยความเข้มของ สนามแม่เหล็ก เมื่อ ไม่ใส่ Shield ( mT )	ค่าเฉลี่ยความเข้มของ สนามแม่เหล็ก เมื่อ ใส่ Shield ( mT )
4.5	-0.10	-0.05
4	-0.23	-0.08
3.5	-0.71	-0.62
3	-2.40	-1.92
2.5	-5.84	-4.51
2	-16.10	-12.92
1.5	-25.96	-26.22
1	-26.39	-26.33

3. เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าขาเข้า และความเข้มของสนามแม่เหล็ก ของทั้ง 2 ขั้ว



รูปที่ 37 รูปแสดงความเข้มของสนามแม่เหล็กทั้งขั้วเหนือ และขั้วใต้

## สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ 1 เปรียบเทียบ ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับเซนเซอร์ และความเข้มของสนามแม่เหล็ก สามารถสรุปได้ว่า เมื่อระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับแม่เหล็กลดลงจะทำให้ขนาดความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ทั้ง ขั้วเหนือ และขั้วใต้

จากผลการทดลองที่ 2 เปรียบเทียบ ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก เมื่อใส่ Shield และไม่ใส่ Shield สามารถสรุปได้ว่า เมื่อใส่ Shield ที่แม่เหล็กแล้ว ขนาดความเข้มของสนามแม่เหล็กจากการเฉลี่ยทั้ง 3 ครั้ง ของขั้วใต้ ( ตารางที่ 2 ) จะ มีค่าน้อยกว่า ขนาดความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ไม่ใส่ Shield ในช่วงที่เซนเซอร์มีระยะห่างจากแม่เหล็ก 1.5-4 เซนติเมตร ส่วนขั้วเหนือ ( ตารางที่ 3 ) เมื่อใส่ Shield ที่แม่เหล็กแล้ว ขนาดความเข้มของสนามแม่เหล็กจากการเฉลี่ยทั้ง 3 ครั้ง จะมี ค่าน้อยกว่า ขนาดความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ไม่ใส่ Shield ในช่วงที่เซนเซอร์มีระยะห่างจากแม่เหล็ก 2-4.5 เซนติเมตร

จากผลการทดลองที่ 3 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าขาเข้า และความเข้มของสนามแม่เหล็ก ของทั้ง 2 ขั้ว ( รูปที่ 37 ) สามารถสรุปได้ว่า ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ได้จากขั้วใต้เป็นบวก แต่ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ได้จากขั้วเหนือจะเป็นลบ

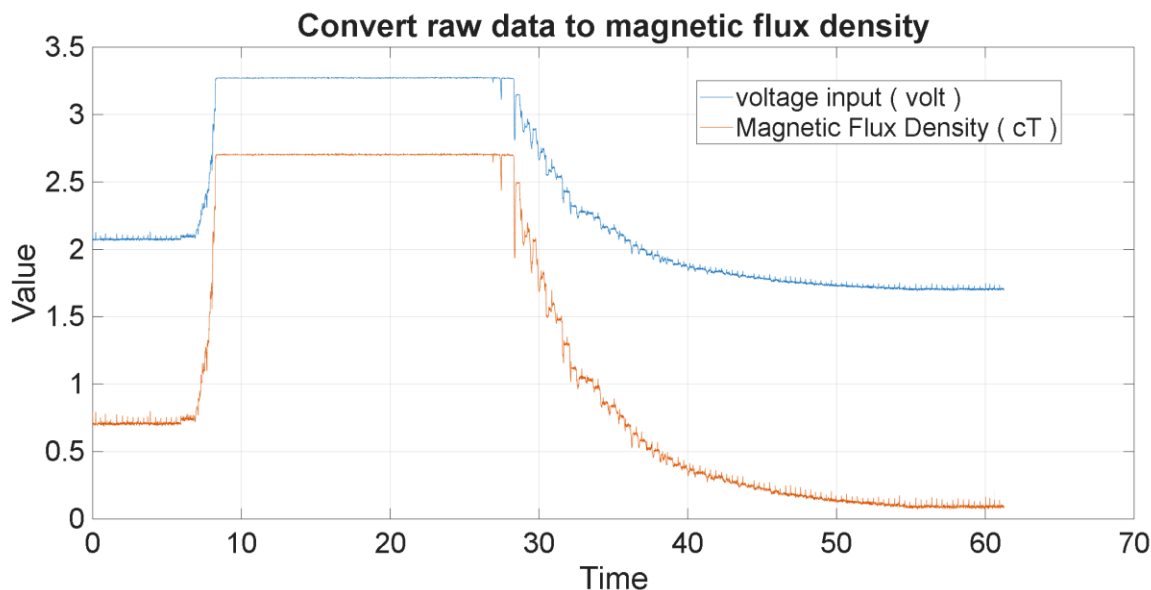
## อภิปรายผล

จากผลการทดลองที่ 1 เปรียบเทียบ ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับเซนเซอร์ และความเข้มของสนามแม่เหล็กนั้น เมื่อแม่เหล็กอยู่ใกล้กับเซนเซอร์ เซนเซอร์จะอ่านค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กได้มากตรงกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ เนื่องจาก ความเข้มของสนามแม่เหล็กในบริเวณใกล้กับขั้วแม่เหล็กนั้นมีความเข้มมาก หรือกล่าวคือ ความเข้มของสนามแม่เหล็กนั้น แปรผกผันกับระยะห่างจากขั้วแม่เหล็ก

จากผลการทดลองที่ 2 เปรียบเทียบ ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก เมื่อใส่ Shield และไม่ใส่ Shield สามารถสรุปได้ว่า เมื่อใส่ Shield แล้วค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กมีแนวโน้มลดลงตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ เนื่องจาก Shield ที่ติดกับแม่เหล็กนั้นเป็นโลหะ ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับสนามแม่เหล็ก ดังนั้นเมื่อสนามแม่เหล็กถูกดูดซับ ความเข้มของสนามแม่เหล็กจะลดลง แต่เนื่องจากแผ่น Shield บาง จึงสามารถดูดซับสนามแม่เหล็กได้เพียงเล็กน้อย

จากผลการทดลองที่ 3 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าขาเข้า และความเข้มของสนามแม่เหล็ก ของทั้ง 2 ขั้ว สามารถสรุปได้ว่า ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ได้จากขั้วใต้เป็นบวก แต่ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ได้จากขั้วเหนือจะเป็นลบ ตรงตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ เนื่องจากทิศของสนามแม่เหล็กจะพุ่งออกจากขั้วเหนือ และพุ่งเข้าหาขั้วใต้ ดังรูปที่ 33 ทำให้ค่าที่อ่านได้มีทิศทางตรงข้ามกัน เมื่อเอาข้อมูลที่ได้ ดังรูปที่ 37 มาเทียบกับ datasheet ดังรูปที่ 32 นั้นพบว่าแนวโน้มไปในทางเดียวกัน

เพื่อให้ง่ายต่อการดูแนวโน้มระหว่างสัญญาณขาเข้ากับค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก ทางคณะผู้จัดทำได้เขียนโปรแกรมใน Matlab Function เพื่อให้เห็นการแปลงระหว่าง Raw Signal กับ ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กในหน่วยเซนติเทสลา ( การแปลงหน่วยนี้เพื่อให้สามารถเห็นค่าการเปลี่ยนแปลงในสเกลที่ใกล้เคียงกัน ) ดังรูปที่ 38



รูปที่ 38 แสดงการแปลงสัญญาณแบบ real time

#### ข้อเสนอแนะ

- เก็บค่า Sample Time ในแต่ละช่วงให้เท่ากัน เพื่อให้ง่ายต่อการเขียนโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล

#### อ้างอิง (ใส่แค่ Link)

<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv5055.pdf?ts=1753064339462>  
<https://www.physicsclassroom.com/class/Magnetic-Fields-and-Electromagnetism/Lesson-1-Magnetism/Magnetic-Fields>  
[University Physics Volume 2](#)  
<https://www.coolmagnetman.com/magshield.htm>  
<https://www.kjmagnetics.com/blog/magnetic-shielding-materials>  
<https://hq-magnet.com/shield-the-magnetic-field-of-permanent-magnets/>  
<https://uk.rs-online.com/web/content/discovery/ideas-and-advice/hall-effect-sensors-guide>  
<https://www.youtube.com/watch?v=wpAA3qeOYil>

## 4. load cell

การทดลองที่ 1 การทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของแรงที่กระทำกับ Load cell กับสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ออกมาจาก INA125

### จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของ Load cell เมื่อมีแรงมากระทำ
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของแรงที่กระทำ และสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ออกมาจาก INA125
3. เพื่อศึกษาค่า Gain ที่เหมาะสมในการรับสัญญาณ Output จาก Load cell  
ให้อยู่ในช่วงแรงดันที่สามารถอ่านค่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. เพื่อคำนวณหาค่าความต้านทานที่เหมาะสมกับค่า Gain ที่ได้

### สมมติฐาน

สัญญาณแรงดันเอาต์พุตจาก Loadcell ชนิด Single point load cell รุ่น YZC-131A จะแปรผันตรงกับน้ำหนักที่มากระทำเป็นเชิงเส้น

### ตัวแปร

1. ตัวแปรต้น:
  - แรงที่ถูกรายกระทำกับ Load cell
2. ตัวแปรตาม:
  - แรงดัน Output ที่ออกมาจาก Op Amp INA125
3. ตัวแปรควบคุม:
  - ค่าความต้านทานของ Op Amp
  - ค่า Gain ของ Op Amp
  - แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้า Load cell
  - แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้า Op Amp
  - ทิศทางของแรงที่กระทำกับ load cell
  - อุณหภูมิและสภาพแวดล้อม

## เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทำการทดลองในครั้งนี้ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของ Load cell โดยได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องได้แก่ การทำงานของ Load cell และ Strain gauge , การทำงานของวงจร Wheatstone bridge, การทำงานของ INA125 และการทำ Signal Conditioning

### 1. การทำงานของ Load Cell และ Strain gauge

1.1. Load cell คือ ทรานสดิวเซอร์(Transducer) หรือตัวแปลงสัญญาณที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าสามารถวัดค่าได้ โดยจะมีโครงสร้างที่ทำจากวัสดุ เช่น อะลูมิเนียม เพื่อทำให้เกิดการบิดเบี้ยวหรือเสียรูปเมื่อมีแรงมากระทำในจุดที่กำหนด

1.2. Strain gauge จะถูกติดตั้งบนวัตถุและเมื่อวัตถุนั้นเกิดการยืดตัว (Tension) ลวดตัวนำใน Strain gauge จะถูกดึงให้ยาวขึ้นและมีพื้นที่หน้าตัดเล็กลง ส่งผลให้ **ค่าความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น** ในทางกลับกัน เมื่อวัตถุเกิดการหดตัวหรือถูกอัด (Compression) ลวดตัวนำจะสั้นลงและมีพื้นที่หน้าตัดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้ **ค่าความต้านทานไฟฟาลดลง** โดยจะมีความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความต้านทานกับการยืดตัว

คือ

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta L}{L}$$

โดย

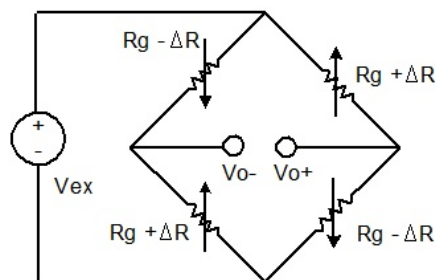
$K$  คือ Gauge Factor (GF) อัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานต่อ Strain

$\frac{\Delta L}{L}$  คือ Strain (การยืดตัวของวัสดุ)

$\frac{\Delta R}{R}$  คือ การเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ของตัวต้านทาน

### 2. วงจร Wheatstone Bridge

#### 2.1. การต่อวงจร Full Bridge Configuration

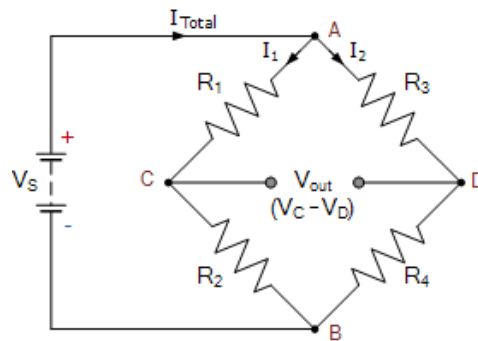


F3. Full Bridge

รูปที่ 39 รูปการต่อ Strain gauge แบบ full bridge ในวงจร wheatstone bridge

วงจร Wheatstone full bridge คือการต่อ Strain Gauge 4 ตัวดังรูปที่ 39 โดยทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานเปลี่ยนค่าเมื่อเกิดแรงกระทำ แปลงแรงเชิงกลเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยวงจร Wheatstone bridge มีข้อดีคือ เมื่อไม่มีแรงมากระทำวงจรจะอยู่ในสภาวะสมดุล  $V_{out} = 0$  ทำให้การวัดแรงสามารถอ้างอิงจากศูนย์ได้ และโดยปกติ เมื่อมีแรงมา กระทำกับ Strain gauge จะเปลี่ยนค่าความต้านทานเพียงเล็กน้อย การใช้วงจร Wheatstone bridge จะช่วยให้การเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กน้อยสามารถเปลี่ยนเป็นแรงดันที่สามารถวัดได้ทางไฟฟ้า

## 2.2. สมการในการคำนวณ Output voltage



รูปที่ 40 รูปวงจร wheatstone bridge

<https://www.electronics-tutorials.ws/blog/wheatstone-bridge.html>

สมการของแรงดัน Output คือ

$$V_{out} = V_S \left( \frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

$V_{out}$  คือ แรงดันต่างศักย์ระหว่างจุด C กับ D

$V_S$  คือ แรงดัน Supply

$R_1, R_2, R_3, R_4$  คือ ค่าความต้านทาน

สมการประยุกต์สำหรับ Strain gauge

(A) Quarter Bridge

$$V_{out} = V_S \left( \frac{2R}{4R + 2\Delta R} - \frac{2R + \Delta R}{4R + 2\Delta R} \right)$$

แทน  $\Delta R = R G_f \epsilon$

จะได้

$$V_{out} = V_S \left( \frac{G_f \varepsilon}{4 + 2G_f \varepsilon} \right)$$

(B) Half Bridge

$$V_{out} = V_S \left( \frac{R - \Delta R}{R + \Delta R + R - \Delta R} - \frac{R}{2R} \right)$$

แทน  $\Delta R = RG_f \varepsilon$

จะได้

$$V_{out} = V_S \left( \frac{-G_f \varepsilon}{2} \right)$$

(C) Full Bridge

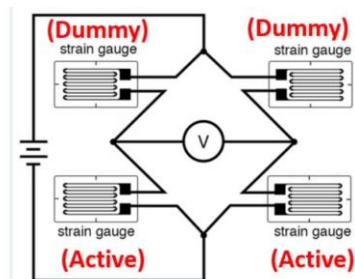
$$V_{out} = V_S \left( \frac{R - \Delta R - (R + \Delta R)}{R + \Delta R + R - \Delta R} \right)$$

แทน  $\Delta R = RG_f \varepsilon$

จะได้

$$V_{out} = V_S (-G_f \varepsilon)$$

### 2.3. Temperature Compensation ด้วย Dummy Gauges



รูปที่ 41 รูปการต่อ Dummy Gauge

<https://media.cheggcdn.com/study/7ef/7ef6ac77-34fa-4bc2-b5ba-63e12d3c1765/image>

หลักการทำงาน

1. Active gauge ถูกติดตั้งบนโครงสร้างหรือวัตถุที่เราต้องการวัดแรง
2. Dummy gauge ถูกติดตั้งใกล้ๆกับ Active gauge เพื่อให้ได้รับผลจากอุณหภูมิใกล้เคียงกัน แต่ต้องไม่ได้รับแรงกระทำ (Strain) ใดๆ

เมื่ออุณหภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลงเช่น ร้อนขึ้น ค่าความต้านทานของ Active gauge และ Dummy gauge ก็จะเพิ่มขึ้นในปริมาณที่เท่ากัน และเนื่องจาก Active gauge และ Dummy อยู่ในแขน Bridge เดียวกันการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่เหมือนกัน ที่เกิดจากอุณหภูมิก็จะหักล้างกัน เหลือแต่การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่เกิดจากแรงกระทำ (Strain) เท่านั้นที่เกิดกับ Active gauge

## 2.4. ข้อดีของ Full Bridge เทียบกับ Quarter Bridge หรือ Half Bridge

2.4.1. สัญญาณที่ได้มีแรงดันที่สูงกว่าจากการใช้ Active strain gauge ทั้ง 4 ตัวทำให้  $\Delta R$  รวมกันแล้วมีค่ามากขึ้น

2.4.2. ขดเคี้ยวผลกระทบจากอุณหภูมิได้ดีกว่าโดยการต่อ Dummy gauge

2.4.3. วัดได้ทั้งแรงดึง (Tension) และแรงกด (Compression) จากตำแหน่งในการติด Strain gauge ทั้ง 4 ตัว

## 3. Instrumentation Amplifier

### 3.1. โครงสร้าง 2 Op-amp Differential Amplifier

#### วงจรร 2 Op - amp Differential Amplifier

เป็นวงจรขยายสัญญาณที่มีหน้าที่หลักในการขยายความต่างศักย์ระหว่างสัญญาณอินพุตสองขา คือ  $V_{IN}^+$  และ  $V_{IN}^-$  โดยพยายามลดผลกระทบจากสัญญาณร่วม (Common-mode signal) ให้น้อยที่สุด โครงสร้างของวงจรนี้ใช้ **Op-amp จำนวน 2 ตัว** ทำงานร่วมกัน โดย Op-amp ตัวแรกทำหน้าที่เป็น **non-inverting amplifier** เพื่อขยายสัญญาณอินพุตตัวหนึ่ง ส่วน Op-amp ตัวที่สองทำหน้าที่เป็น **inverting amplifier** เพื่อขยายและกลับเฟสของสัญญาณอีกตัวหนึ่ง จากนั้นเอาต์พุตของทั้งสองจะถูกนำมารวมกันผ่านเครือข่ายตัวต้านทาน เพื่อให้ได้แรงดัน Output สุดท้ายที่แสดงถึงความต่างศักย์ระหว่างสัญญาณทั้งสองขา

### 3.2. Input/Output Voltage Range

จาก Datasheet ของ INA125

$$V_o = (V_{IN}^+ - V_{IN}^-)G$$
$$G = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G}$$

โดย  $V_o$  คือแรงดันขาออก (V)

$(V_{IN}^+ - V_{IN}^-)$  คือผลต่างของแรงดันขาเข้า (V)

$G$  คืออัตราขยายสัญญาณ

$R_G$  คือค่าของตัวต้านทานที่ต่อกับ INA125 ( $\Omega$ )

## 4. Signal conditioning

4.1 Amplifier คือการ ขยายสัญญาณ (Amplification) โดยเฉพาะสัญญาณที่มีขนาดเล็กมาก ซึ่งมีแรงดันเพียงไม่กี่มิลลิโวลต์ ถ้านำสัญญาณดังกล่าวไปเข้าวงจรประมวลผลโดยตรง อาจทำให้ค่าที่อ่านได้ไม่แม่นยำ ดังนั้นจึงต้องใช้ Amplifier เพื่อเพิ่มระดับแรงดันให้เหมาะสมก่อน



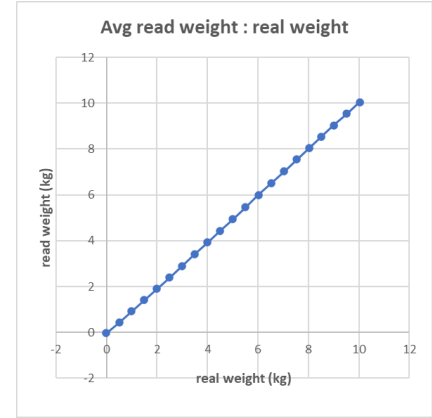
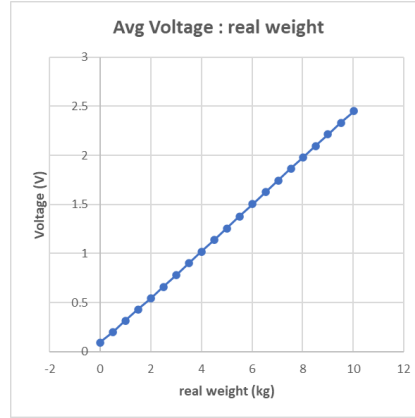
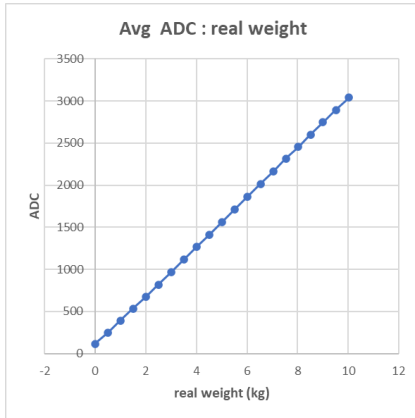
## ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. Wiring สายไฟระหว่าง Board Nucleo g474re กับ INA125
  - 1.1. ขา 3V3 ของ Nucleo กับ ขา + ของ INA125
  - 1.2. ขา GND ของ Nucleo กับ ขา GND ของ INA125
  - 1.3. ขา PA0 ของ Nucleo กับ ขา  $V_o$  ของ INA125
2. ทำการหาช่วง Saturation ของ Load cell
  - 1.1. วางถุงทรายมวล 500 กรัม เข้าไปบน Load cell ที่ละถุงจนกว่าค่าที่อ่านได้ไม่เพิ่ม
  - 1.2 ใช้มัลติมิเตอร์ วัดขา A+ และขา A- ที่เป็นขา IN ของ Comparator
  - 1.3 ใช้มัลติมิเตอร์ วัดขา  $V_o$  ของ INA125
  - 1.4 นำค่าที่ได้มาแทนลงในสูตร  $V_o = (V_{IN}^+ - V_{IN}^-)G$  เพื่อหาค่า Gain
  - 1.5 จากนั้นนำค่า Gain มาแทนลงในสูตร  $G = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G}$  เพื่อหา  $R_G$
  - 1.6 หมุน Trimpot ให้ได้ตามค่า R ที่คำนวณออกมา
3. เขียน Matlab function เพื่อ map ค่าจาก ADC เป็น กิโลกรัม
4. ใช้เครื่องชั่งดิจิตอลชั่งน้ำหนักถุงทรายแล้ววางลงบน Load cell ที่ละถุง แล้ววางแซ่ไว้ ทำจนครบ 10 กิโลกรัม แล้วทำซ้ำ 3 รอบ
5. นำค่าแต่ละช่วงมาหาค่าเฉลี่ยแล้วนำมา plot กราฟ

## ผลการทดลอง

### 1. กราฟแสดงน้ำหนักที่อ่านได้จาก Load cell เทียบกับ น้ำหนักที่อ่านด้วยเครื่องชั่ง Digital

#### 1.4. Average

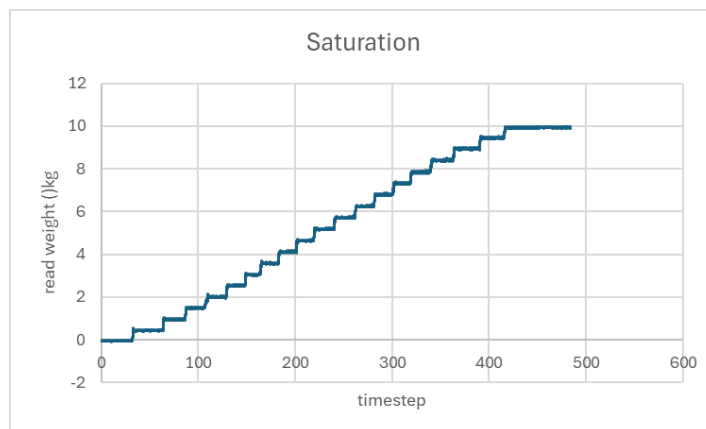


รูปที่ 42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ADC (Analog to digital) เทียบกับ น้ำหนักที่อ่านได้โดยเครื่องชั่ง Digital (กราฟเฉลี่ย)

รูปที่ 43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า แรงดันขาเอาต์พุตจาก INA125 เทียบกับ น้ำหนักที่อ่านได้โดยเครื่องชั่ง Digital (กราฟเฉลี่ย)

รูปที่ 44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า น้ำหนักที่อ่านได้จาก load cell เทียบกับ น้ำหนักที่อ่านได้โดยเครื่องชั่ง Digital (กราฟเฉลี่ย)

### 2. Saturation กราฟแสดงน้ำหนักที่อ่านได้จาก Load cell เทียบกับ เวลา



รูปที่ 45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า น้ำหนักที่อ่านได้จาก load cell เทียบกับ เวลา แบบ Realtime

## สรุปผลการทดลอง

1. จากผลการทดลอง ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ADC (Analog to digital) แรงดันขาเอาต์พุตจาก INA125 และน้ำหนักที่อ่านได้จาก load cell เทียบกับ น้ำหนักที่อ่านได้โดยเครื่องชั่ง Digital ในช่วง 0 – 10 กิโลกรัม พบว่า

1. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า ADC (Analog to digital) แรงดันขา Output จาก INA125 และน้ำหนักที่อ่านได้จาก Load cell เทียบกับ น้ำหนักที่อ่านได้โดยเครื่องชั่งที่ได้ มีความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linearity) ตลอดช่วงที่ทำการทดสอบ (ตั้งแต่ 0-10 กิโลกรัม) ซึ่งตรงตามสมมติฐานที่ตั้งไว้
2. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักที่อ่านได้จาก load cell เทียบกับ น้ำหนักที่อ่านได้โดยเครื่องชั่ง Digital ที่ได้มีความชันใกล้เคียงกับ 1 แสดงให้เห็นว่า ค่าน้ำหนักที่ Load cell อ่านได้ (แกน y) มีความใกล้เคียงกับค่าน้ำหนักจริง (แกน x)
3. จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักที่อ่านได้จาก Load cell เทียบกับ น้ำหนักที่อ่านได้โดยเครื่องชั่ง Digital จะเห็นได้ว่า Offset มีค่าเป็น 0 เนื่องจากการ Calibrate และที่กราฟสามารถเริ่มที่น้ำหนัก เป็น 0 จนถึง 10 kg ได้เกิดจาก กลุ่มผู้ทดลองได้ทำการลบ offset ออกตั้งแต่ต้น โดยเมื่อทำการหาค่า sat ของ Load cell พบว่าตอนที่ยังไม่ได้ใส่อะไรเลย Load cell มี offset อยู่ที่ 0.16 V ทางกลุ่มผู้ทดลองจึงได้นำเลข 0.16 V ไปลบออกจาก  $V_{OUT}$  จากสูตร  $V_{OUT} = (V_{IN}^+ - V_{IN}^-)G$  ก่อนที่จะหาค่า Gain ออกมา

2. จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Timestep กับ น้ำหนักที่อ่านได้จาก Load cell พบว่า เมื่อค่อยๆ ใส่ถุงทรายมวล 500 กรัมเข้าไปที่ละถุง โดยเริ่มตั้งแต่ 0 kg เมื่อใส่จนถึง 10 kg ค่าน้ำหนักที่ Load cell อ่านได้ ยังแปรผันตรงกับน้ำหนักของถุงทรายที่ใส่ได้ตามปกติแต่เมื่อใส่ถุงทรายเพิ่มเข้าไปอีกถุงพบว่าค่าที่ Load cell อ่านได้ไม่มีการเพิ่มขึ้น จึงสามารถสรุปได้ว่า Load cell จะเข้าสู่ช่วง saturation เมื่อมีวางถุงทรายลงบน Load cell 10 kg

3. จากการนำถุงทรายมวล 10 kg วางลงบน load cell

พบว่า  $V_{out}$  ที่วัดได้จากขา Output ของ INA125 คือ 2.55 V ลบกับ  $V_{offset}$  0.16 V ได้ 2.39 V  $(V_{IN}^+ - V_{IN}^-)$  ที่วัดได้จากขา Input ของ INA125 คือ 0.0041V

เมื่อนำไปแทนในสูตร  $V_o = (V_{IN}^+ - V_{IN}^-)G$  จะได้ค่า Gain ออกมา 582.927

และเมื่อนำค่า Gain ที่ได้มาแทนในสูตร  $G = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G}$  จะได้  $R_G$  เท่ากับ 103.64  $\Omega$

## อภิปรายผล (วิเคราะห์สิ่งที่เกิดขึ้นในการทดลอง)

จากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่อ่านได้จาก Load cell เทียบกับ น้ำหนักที่อ่านได้โดยเครื่องชั่ง Digital ในช่วง 0 – 10 กิโลกรัม สามารถอภิปรายผลการทดลองได้ดังนี้

### 1. การตอบสนองเชิงเส้นและความสอดคล้องทางทฤษฎี

เมื่อมีแรง (น้ำหนัก) มากระทำ โครงสร้างของ Load cell จะเกิด Strain ที่แปรผันตรงกับแรงนั้น Strain นี้จะถูกส่งต่อไปยัง Strain gauge ทำให้ค่าความต้านทาน เปลี่ยนแปลงตามสมการ  $\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta L}{L}$  และเมื่อต่อเข้ากับวงจร Wheatstone bridge จะได้สัญญาณแรงดันไฟฟ้า โดยมีความสัมพันธ์กับ Strain ตามสมการ  $V_{out} = V_s(-G_f \epsilon)$  ที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนัก

### 2. ประสิทธิภาพของการ Caribration

กราฟเริ่มต้นที่จุดกำเนิด (0, 0) พอดี และสิ้นสุดที่จุด (10, 10) โดยประมาณ แสดงให้เห็นว่ากระบวนการสอบเทียบ (Calibration) ที่ทำการทดลองนั้น **ประสบความสำเร็จ** โดยวิธีที่ใช้ในการ Calibrate คือหลังจากที่ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ADC กับน้ำหนักจริง ก็ทำการ Calibrate จาก ADC เป็นกิโลกรัม โดยใช้บล็อก Matlab function ใน Simulink โดยใช้ สูตร

`map_scale=(max_kg-min_kg)/(max_measure_ADC-min_measure_ADC);`

`kg=(ADC_input_double-ADC_offset)*map_scale;`

max\_kg คือ น้ำหนักมากที่สุดที่เป็นไปได้ ใช้ 10 kg

min\_kg คือ น้ำหนักน้อยสุดที่เป็นไปได้ ใช้ 0 kg

max\_measure\_ADC คือ ค่า ADC ที่มากที่สุดที่อ่านได้ ใช้  $=(\text{max\_measure\_volt} \times 4095)/3.3$ ;

min\_measure\_ADC คือ ค่า ADC ที่น้อยที่สุดที่อ่านได้ ใช้  $=(\text{min\_measure\_volt} \times 4095)/3.3$ ;

ADC\_offset คือ ค่า ADC ที่อ่านได้ตอนที่ยังไม่ใส่มวล ใช้ 125

### 3. การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน

แม้ว่าโดยรวมกราฟจะดูเป็นเส้นตรงสมบูรณ์แบบ แต่หากพิจารณาในระดับจุลภาค จะเห็นว่าจุดข้อมูล (Data Points) ไม่ได้เรียงตัวอยู่บนเส้นตรงในอุดมคติ (Ideal Line ความชันเท่ากับ 1) เสมอไป แต่มีการเบี่ยงเบนเล็กน้อย โดยมีสาเหตุที่เป็นไปได้คือ

1. อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม เนื่องจากตอนทดลองอาจมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิรอบๆ
2. จุดที่นำถ่วงทรายไปวางบน Strain gauge เนื่องจากจุดที่วางถ่วงทรายมีผลต่อความยาวของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไป
3. สัญญาณรบกวน (Noise) ในการทดลองนี้มี Noise เข้ามาทำให้ต้องประมาณค่าด้วยการใช้ค่าเฉลี่ย

### ข้อเสนอแนะ

- ในการเก็บข้อมูลควรเก็บในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิเท่ากัน เนื่องจาก Strain gauge มีความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิ

อ้างอิง

<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina125.pdf> //ina125

<https://engfac.cooper.edu/pages/tzavelis/uploads/Strain-Gage%20instrumentation0.pdf> //strain guage

## ภาคผนวก

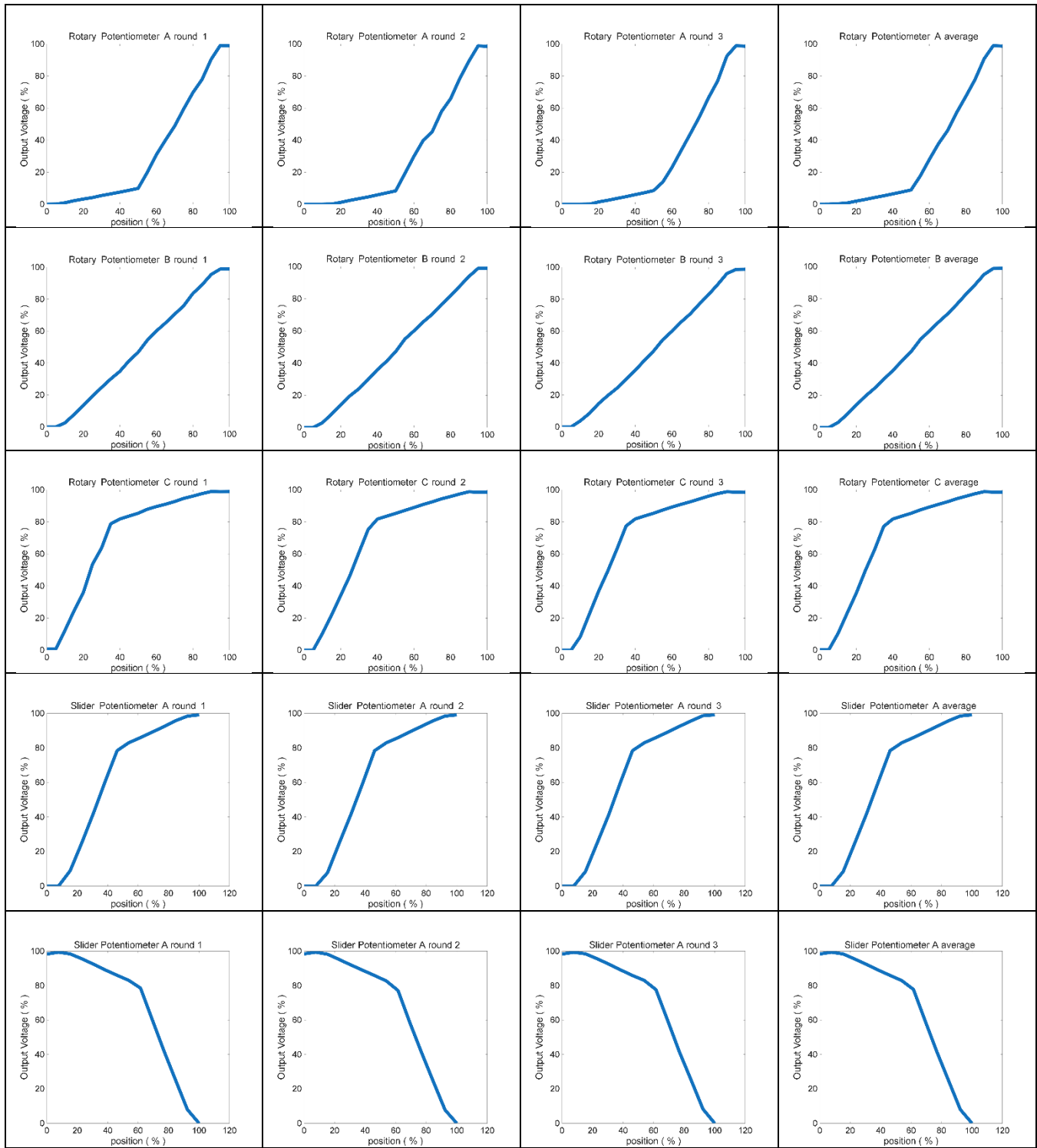
ภาคผนวก ก การทดลอง Potentiometers

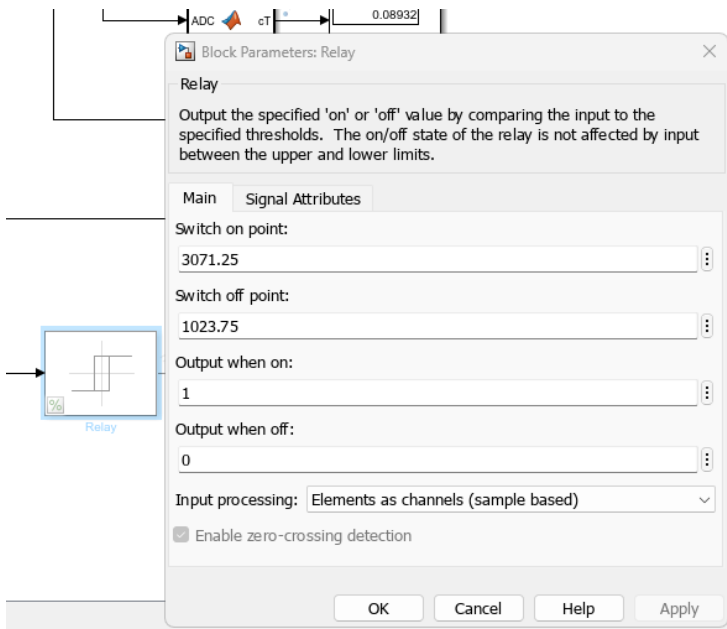
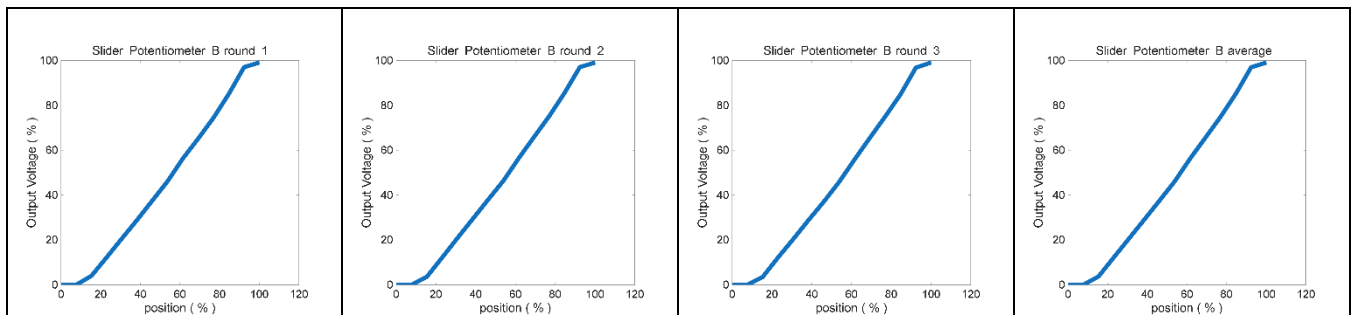
ภาคผนวก ข การทดลอง Magnetic Sensor

ภาคผนวก ค การทดลอง Load Cell

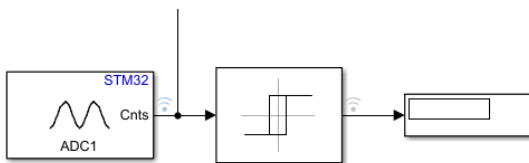
## ภาคผนวก ก การทดลอง Potentiometers

### ตารางแสดงการทำซ้ำของ Potentiometer





แสดงการตั้งค่าในวงจร Schmitt Trigger

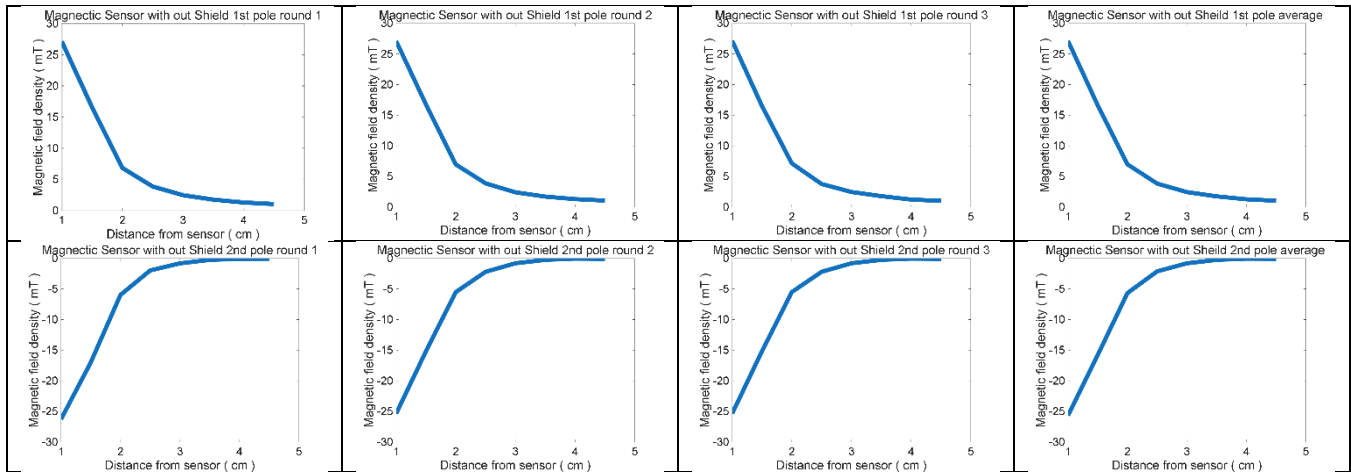


แสดงการต่อวงจร Schmitt Trigger



## ภาคผนวก ข การทดลอง Magnetic Sensor

แสดงการทำซ้ำ



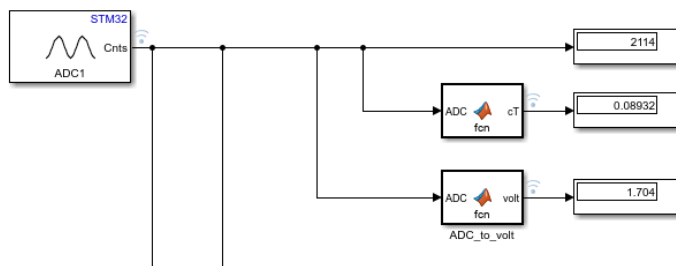
แสดงการทำซ้ำของการใส่ Shield และไม่ใส่ Shield ขั้วใต้

ระยะห่าง จาก เซนเซอร์	ไม่ใส่ Shield ครั้งที่ 1	ใส่ Shield ครั้งที่ 1	ไม่ใส่ Shield ครั้งที่ 2	ใส่ Shield ครั้งที่ 1	ไม่ใส่ Shield ครั้งที่ 3	ใส่ Shield ครั้งที่ 1	ค่าเฉลี่ย เมื่อ ไม่ใส่ Shield	ค่าเฉลี่ย เมื่อ ใส่ Shield
4.5	1.04	1.09	1.07	1.07	1.02	1.04	1.04	1.07
4	1.30	1.29	1.31	1.20	1.24	1.22	1.28	1.23
3.5	1.76	1.79	1.72	1.69	1.79	1.68	1.76	1.72
3	2.47	2.44	2.42	2.16	2.47	2.42	2.45	2.34
2.5	3.86	3.69	3.87	3.48	3.77	3.49	3.84	3.55
2	6.84	6.27	6.96	6.17	7.14	6.30	6.98	6.25
1.5	16.57	13.69	16.76	13.47	16.51	12.71	16.62	13.29
1	27.13	27.19	27.11	27.19	27.16	27.19	27.13	27.19

แสดงการทำซ้ำของการใส่ Shield และไม่ใส่ Shield ขั้วเหนือ

ระยะห่างจากเซนเซอร์	ไม่ใส่ Shield ครั้งที่ 1	ใส่ Shield ครั้งที่ 1	ไม่ใส่ Shield ครั้งที่ 2	ใส่ Shield ครั้งที่ 1	ไม่ใส่ Shield ครั้งที่ 3	ใส่ Shield ครั้งที่ 1	ค่าเฉลี่ย เมื่อ ไม่ใส่ Shield	
4.5			-0.07	-0.07	-0.10	-0.03	-0.14	
4			-0.23	-0.17	-0.18	0.03	-0.27	
3.5			-0.61	-0.77	-0.59	-0.53	-0.94	
3			-2.37	-2.07	-2.32	-2.09	-2.50	
2.5			-6.11	-4.82	-5.63	-4.81	-5.77	
2			-17.00	-13.00	-15.17	-13.63	-16.12	
1.5			-26.27	-26.21	-25.36	-26.23	-26.25	
1			-26.41	-26.33	-26.35	-26.33	-26.42	

แสดงการทำงานของบล็อก Simmulink

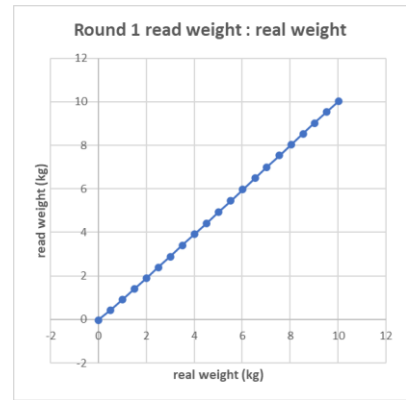
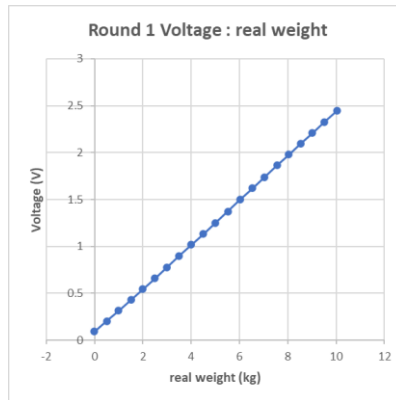
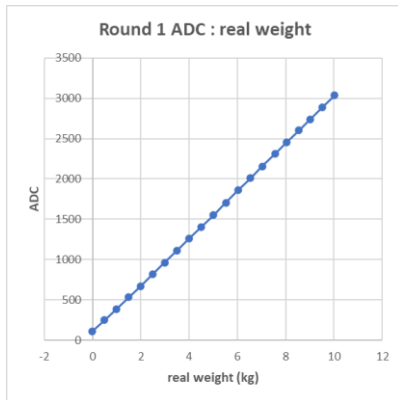


แสดงการเขียนโปรแกรม ใน matlab function

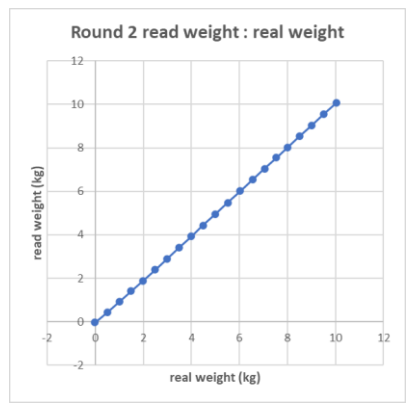
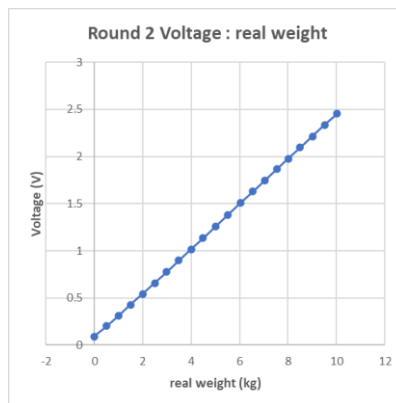
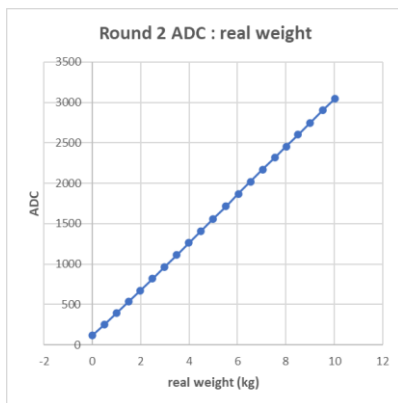
```
function cT = fcn(ADC)
ADC=double(ADC);
Vq=((4095/2)/4095)*3.3*1000;
Sensitivity=60;
cT=(((ADC/4095)*3.3*1000)-Vq)/Sensitivity)/10;
```

## ภาคผนวก ค การทดลอง Load Cell

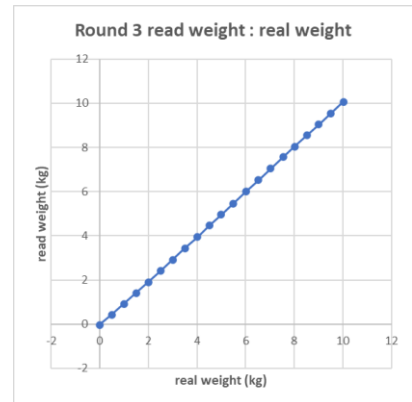
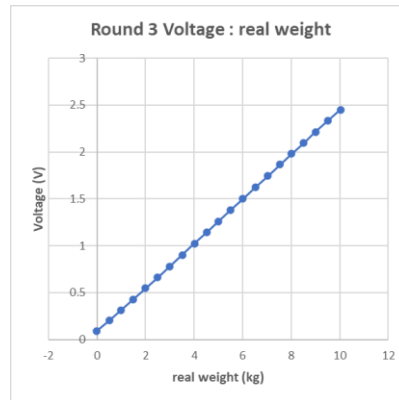
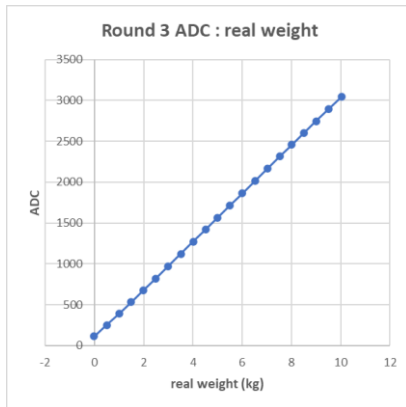
### 1.1. การทดลองครั้งที่ 1



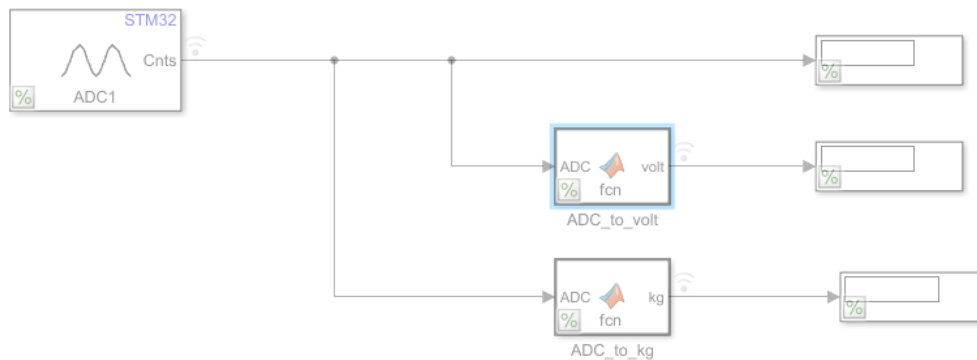
### 1.2. การทดลองครั้งที่ 2



### 1.3. การทดลองครั้งที่ 3



การทำงานของบล็อกในโปรแกรม simulink



Block ADC1 ทำหน้าที่อ่านค่าสัญญาณ analog เป็น Digital

1. Block ADC\_to\_volt

ADC\_reader\_simulink\_1\_1 ▶ ADC\_to\_volt

```

1 function volt = fcn(ADC)
2 ADC_double=double(ADC);
3 volt = (ADC_double/4095.00)*3.3;
4

```

ทำหน้าที่ Map ค่าจาก ADC เป็น Voltage (V)

อธิบายตัวแปร

1. ADC\_double คือ ตัวแปรเอาไว้เก็บค่า ADC ที่ส่งมาจาก Block ADC1

2. volt คือตัวแปรเอาไว้เก็บค่าที่ได้จากการ Map

Block ADC\_to\_kg

```
ADC_reader_simulink_1_2 ▸ ADC_to_kg
1  function kg = fcn(ADC)
2
3      ADC_input_double=double(ADC);
4      max_kg=10.008;
5      min_kg=0;
6      max_measure_volt=2.44;
7      min_measure_volt=0.1;
8      max_measure_ADC=(max_measure_volt*4095)/3.3;
9      min_measure_ADC=(min_measure_volt*4095)/3.3;
10     ADC_offset=125;
11     % convert ADC to kg
12     map_scale=(max_kg-min_kg)/(max_measure_ADC-min_measure_ADC);
13
14     kg=(ADC_input_double-ADC_offset)*map_scale;
```

ทำหน้าที่ Calibrate ค่าจาก ADC เป็น น้ำหนัก (kg)

อธิบายตัวแปร

1. max\_kg คือ ตัวแปรเอาไว้เก็บค่า น้ำหนักมากที่สุดที่เป็นไปได้
2. min\_kg คือ ตัวแปรเอาไว้เก็บค่า น้ำหนักน้อยสุดที่เป็นไปได้
3. max\_measure\_ADC คือ ตัวแปรเอาไว้เก็บค่า ADC ที่มากที่สุดที่อ่านได้  
= (max\_measure\_volt\*4095)/3.3;
4. min\_measure\_ADC คือ ตัวแปรเอาไว้เก็บค่า ADC ที่น้อยที่สุดที่อ่านได้ =  
(min\_measure\_volt\*4095)/3.3;
5. ADC\_offset คือ ตัวแปรเอาไว้เก็บค่า ADC ที่อ่านได้ตอนที่ยังไม่ใส่มวล
6. Map\_scale คือ ตัวแปรเอาไว้เก็บค่าความชัน
7. Kg คือ ตัวแปรเอาไว้เก็บค่าที่ได้จากการ calibrate

