

## LAB 1: Sensor

### Name

- |               |          |             |
|---------------|----------|-------------|
| • นายก้องภพ   | ไก่อแก้ว | 67340500048 |
| • นายปรีดี    | พาหิระ   | 67340500057 |
| • นายศิววัฒน์ | พึงสีใส  | 67340500065 |

### Objectives

- เพื่อให้เข้าใจการทำงานของตัวต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้
- เพื่อให้เข้าใจชนิดและพฤติกรรมของ ตัวต้านทานปรับค่าได้
- เพื่อศึกษาการทำงานของ Encoder ในรูปแบบต่างๆ
- เพื่อศึกษาหลักการทำงานและคุณลักษณะการตอบสนองของเซ็นเซอร์แม่เหล็ก
- เพื่อศึกษาผลกระทบของแผ่นกันสนามแม่เหล็ก (Shielding) ที่มีต่อสัญญาณเอาต์พุตของเซ็นเซอร์
- เพื่อศึกษาหลักการทำงานและคุณลักษณะสมบัติของโพลดเซลล์ และวิธีการแปลงผลเพื่อให้สามารถนำไปใช้แบบแม่นยำ

## 1. Potentiometer

**การทดลองที่ 1** ทดสอบพฤติกรรมของตัวต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าในแต่ละชนิด

### จุดประสงค์

- 1.เข้าใจการทำงานของตัวต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้
- 2.เข้าใจชนิดและพฤติกรรมของ ตัวต้านทานปรับค่าได้

### สมมติฐาน

ถ้าหากเลื่อนก้าน หรือหมุนก้านตัวต้านทานปรับค่าได้ จะทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนไปตามระยะทาง หรือองศา ที่หมุนไป โดยในแต่ละชนิดของตัวต้านทานปรับค่าได้จะให้พฤติกรรมที่ต่างกันออกไป

### ตัวแปร

ตัวแปรต้น

- 1.ชนิดของตัวต้านทานแบบปรับค่าได้

ตัวแปรตาม

- 1.ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไป

ตัวแปรควบคุม

- 1.แรงดันไฟฟ้า 3.3V
2. ค่าความต้านทานสูงสุดของตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยมีค่า  $10k\Omega$
- 3.ระยะการหมุนของตัวต้านทานปรับค่าได้
- 4.STM32

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wiper หมายถึง ส่วนหน้าสัมผัสที่เคลื่อนที่ได้ ทำหน้าที่เชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่าง แถบตัวต้านทาน (Resistive Strip) กับขั้วต่อเอาต์พุต เพื่อกำหนดอัตราส่วนความต้านทาน

Resistive Element หมายถึง ส่วนประกอบที่ใช้เพื่อต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจร การทำงานของมันอาศัยปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ความร้อนจากจูล (Joule heating) ซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อน นำไปทำแถบตัวต้านทาน (Resistive Strip) ในตัวต้านทานปรับค่าได้

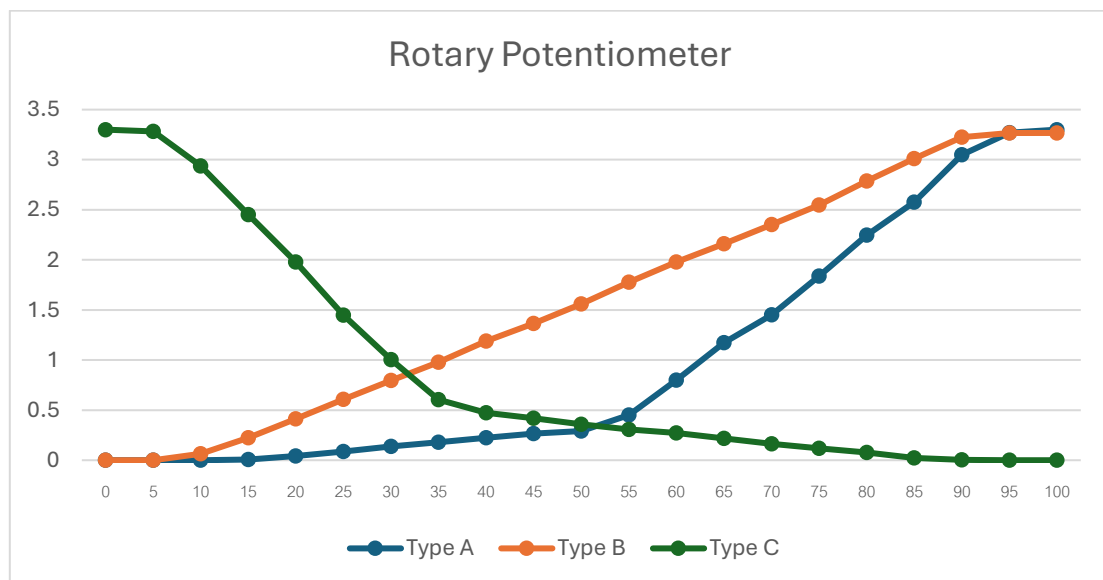
หลักการความต้านทานจากวัสดุ หมายถึง สิ่งที่เป็นปัจจัยที่ทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง

- **ชนิดของวัสดุ** วัสดุแต่ละชนิดมีสภาพต้านทานที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นค่าคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุนั้นๆ เช่น ทองแดงมีสภาพต้านทานต่ำทำให้เป็นตัวนำที่ดี ส่วนเซรามิกมีสภาพต้านทานสูงมากจนสามารถใช้เป็นฉนวนได้
- **ความยาว และ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ** ความต้านทานจะแปรผันตรงกับความยาวของวัสดุ นั่นคือ วัตถุที่ยาวกว่าจะมีความต้านทานมากกว่า และ ยิ่งพื้นที่หน้าตัดยิ่งมาก ความต้านทานยิ่งน้อย ตามสูตร  $R = \frac{\rho L}{A}$

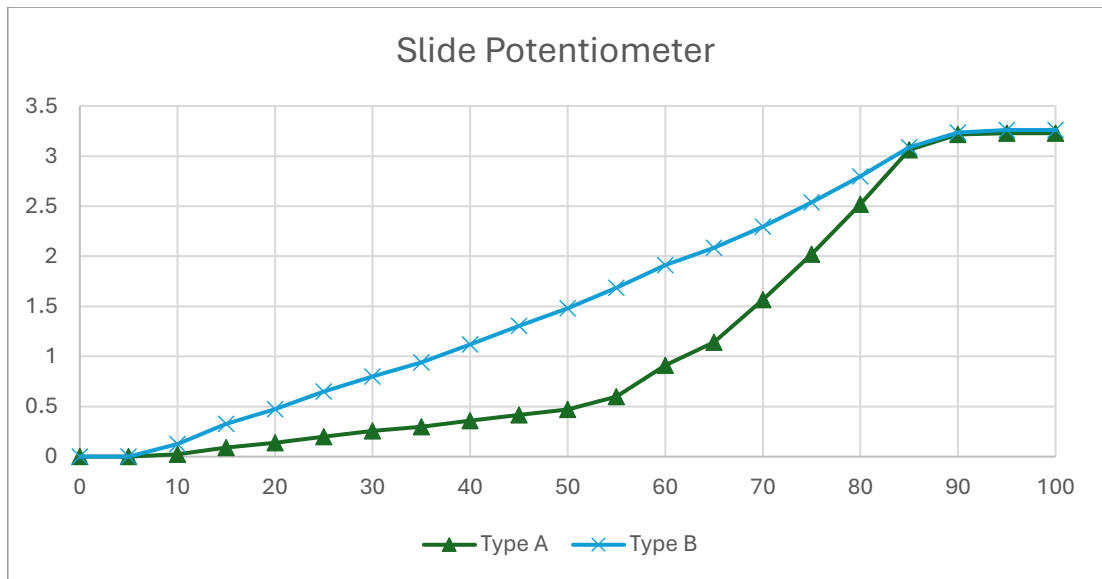
### ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตั้งค่าใน Simulink โดยเปลี่ยนแปลงค่าที่ได้จาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ 12 บิต มาเป็น ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปโดยใช้สมการ  $V = \left(\frac{\text{ค่าที่ได้รับ}}{4095}\right) * 3.3$  ทำให้สามารถรู้ค่าแรงดันไฟฟ้าได้ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับค่าองศาที่เปลี่ยนแปลงโดยตัวต้านทานปรับค่าได้แบบหมุนสามารถหมุนได้ 300 องศา และแบบตัวเลื่อนเลื่อนได้ 60 มิลลิเมตร โดยนำมาแปลงเป็น 100% โดยขยับเพิ่มทีละ 5% ดังนั้นการหมุนแต่ละครั้งจะเปลี่ยนองศาของตัวต้านทานปรับค่าได้แบบหมุนทีละ 15 องศา และ 3 มิลลิเมตรในตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเลื่อน

### ผลการทดลอง



ภาพที่ 1 แสดงพฤติกรรมตัวต้านทานปรับค่าได้แบบหมุน



ภาพที่ 2 แสดงพฤติกรรมตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเลื่อน

### สรุปผลการทดลอง

ตัวต้านทานปรับค่าได้มีลักษณะการทำงานโดยใช้ Wiper สัมผัสกับแถบตัวต้านทานเมื่อแรงดันไฟฟ้าวิ่งผ่านแถบตัวต้านทานจนไปถึง Wiper มากเท่าไรจะทำให้มีค่าความต้านทานมากขึ้นเท่านั้นโดยจะมีอยู่สามชนิดที่แตกต่างกัน

จากภาพที่ 1 สามารถสรุปได้ว่า ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบหมุนทั้งสามประเภท Type A, Type B และ Type C มีคุณลักษณะการตอบสนองต่อแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยที่

- Type A มีลักษณะกราฟเป็นแบบ ลอการิทึม (Logarithmic)
- Type B มีลักษณะกราฟเป็นแบบ เชิงเส้น (Linear)
- Type C มีลักษณะกราฟเป็นแบบ ลอการิทึมผกผัน (Inverse Logarithmic)

จากภาพที่ 2 สามารถสรุปได้ว่า ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเลื่อนทั้งสองประเภท Type A และ Type B เห็นได้ว่ามีลักษณะเดียวกัน ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบหมุน มีคุณลักษณะการตอบสนองต่อแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยที่

- Type A มีลักษณะกราฟเป็นแบบ ลอการิทึม (Logarithmic)
- Type B มีลักษณะกราฟเป็นแบบ เชิงเส้น (Linear)

## อภิปรายผล

จากผลการทดลอง พบว่า ตัวต้านทานปรับค่าได้ Type B แสดงลักษณะการตอบสนองแบบเชิงเส้นอย่างชัดเจน คือ ค่าแรงดันไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่คงที่สม่ำเสมอในขณะที่ Type A และ Type C แสดงลักษณะการตอบสนองแบบลอการิทึม (Logarithmic) ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าจะไม่คงที่กราฟที่ได้จากการทดลองจึงมีลักษณะปรากฏเป็นเส้นโค้งแบบขั้นบันได เมื่อทั้งสามชนิดวัดทุก 15 องศา หรือ 3 มิลลิเมตร ซึ่งค่าที่ได้จากการวัดตรงกับค่าคุณสมบัติที่ควรจะเป็น

## ข้อเสนอแนะ

เพิ่มความละเอียดในการเก็บข้อมูลควรทำการทดลองซ้ำโดยเพิ่มความละเอียดของขั้นตอนการวัดให้มากขึ้น เช่น ปรับค่าทุก 7.5 องศา หรือ 1.5 มิลลิเมตร แทนการวัดทุก 15 องศา หรือ 3 มิลลิเมตร วิธีนี้จะช่วยให้สามารถพล็อตกราฟคุณลักษณะของ Type A และ Type C ได้อย่างต่อเนื่องและแม่นยำยิ่งขึ้น

นำค่าไปเปรียบเทียบกับกรวัดค่าโดยตรงเช่น ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) เพื่อให้สามารถนำมาเปรียบเทียบได้มากยิ่งขึ้น

## อ้างอิง

- [https://www.digikey.co.th/en/products/detail/bourns-inc/PTA6043-2015DPA103/3781231?srltid=AfmBOooQ655hZqoVp2DIWPbW\\_2Zj6bgVyyjU3d3LBCYHiukitqD1EZO5](https://www.digikey.co.th/en/products/detail/bourns-inc/PTA6043-2015DPA103/3781231?srltid=AfmBOooQ655hZqoVp2DIWPbW_2Zj6bgVyyjU3d3LBCYHiukitqD1EZO5)
- [https://www.digikey.co.th/th/products/detail/bourns-inc/PTA6043-2015DPB103/3534247?srltid=AfmBOooE2joAFS\\_JklaWCGEIJ7TiejTbU2Z2ZPPIw6QiYCiYdM5bbTUC](https://www.digikey.co.th/th/products/detail/bourns-inc/PTA6043-2015DPB103/3534247?srltid=AfmBOooE2joAFS_JklaWCGEIJ7TiejTbU2Z2ZPPIw6QiYCiYdM5bbTUC)
- [https://www.digikey.co.th/en/products/detail/bourns-inc/PDB181-K420K-103A2/2564743?srltid=AfmBOoq\\_g4ssrpRruy56kiUIElbjfP\\_\\_qllKUfnYFOM35\\_qpEpEnVxcN](https://www.digikey.co.th/en/products/detail/bourns-inc/PDB181-K420K-103A2/2564743?srltid=AfmBOoq_g4ssrpRruy56kiUIElbjfP__qllKUfnYFOM35_qpEpEnVxcN)
- <https://www.digikey.co.th/en/products/detail/bourns-inc/PDB181-K420K-103B/2564744?srltid=AfmBOoqDJAzNqFL6Lpx3BEIfALgL63rtjupw2AlhnNBwq0TJVaaZOv3Z>
- [https://www.digikey.be/en/products/detail/bourns-inc/PDB181-K420K-103C/2564745?srltid=AfmBOorvXaH324wb2HcuTpcCP5Ke\\_Y7nWhHveTtRhF-pN3IKdBongM9P](https://www.digikey.be/en/products/detail/bourns-inc/PDB181-K420K-103C/2564745?srltid=AfmBOorvXaH324wb2HcuTpcCP5Ke_Y7nWhHveTtRhF-pN3IKdBongM9P)
- <https://eepower.com/resistor-guide/resistor-types/potentiometer/>
- <https://eepower.com/resistor-guide/resistor-types/potentiometer-taper/>
- <https://randomnerdtutorials.com/electronics-basics-how-a-potentiometer-works/>
- <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/resistive-element>

## การทดลองที่ 2 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลโดยใช้วงจรทริกเกอร์แบบชmitt จุดประสงค์

1. เพื่อให้เข้าใจการทำงานของ วงจรทริกเกอร์แบบชmitt (Schmitt trigger)
2. เพื่อให้ลองออกแบบวงจรทริกเกอร์แบบชmitt (Schmitt trigger) จากตัวต้านทานปรับค่าได้

### สมมติฐาน (ข้อสันนิษฐานเบื้องต้น)

ถ้าตำแหน่งการหมุนของตัวต้านทานปรับค่าได้ มีค่าน้อยกว่า 25% ของการหมุนทั้งหมด จะส่งผลให้สัญญาณเอาต์พุตมีสถานะเป็นต่ำ (LOW) และถ้ามีค่ามากกว่า 75% จะส่งผลให้สถานะเอาต์พุตเป็นสูง (HIGH) โดยในช่วงระหว่าง 25% ถึง 75% นั้น สัญญาณเอาต์พุตจะคงสภาพเดิมและไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ

### ตัวแปร

#### ตัวแปรต้น

1. ค่าตัวเลขที่ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านได้จากตัวต้านทานปรับค่าได้ ผ่านกระบวนการ ADC ด้วยความละเอียด 12 บิต ครอบคลุมช่วงค่าตั้งแต่ 0 ถึง 4095 ตัวแปรตาม

#### ตัวแปรตาม

1. ค่าสัญญาณที่ออกมาเป็นสูง (HIGH) กับต่ำ (LOW)

#### ตัวแปรควบคุม

1. แรงดันไฟฟ้า 3.3V
2. ระยะการหมุนของตัวต้านทานปรับค่าได้
3. STM32

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วงจรทริกเกอร์แบบชmitt (Schmitt trigger) เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า หรือ กระแสไฟฟ้า เพื่อรับสัญญาณอินพุตแบบอะนาล็อก และแปลงให้ออกมาเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบคลีน สี่เหลี่ยมโดยใช้หลักการ ฮิสเทอรีซิส

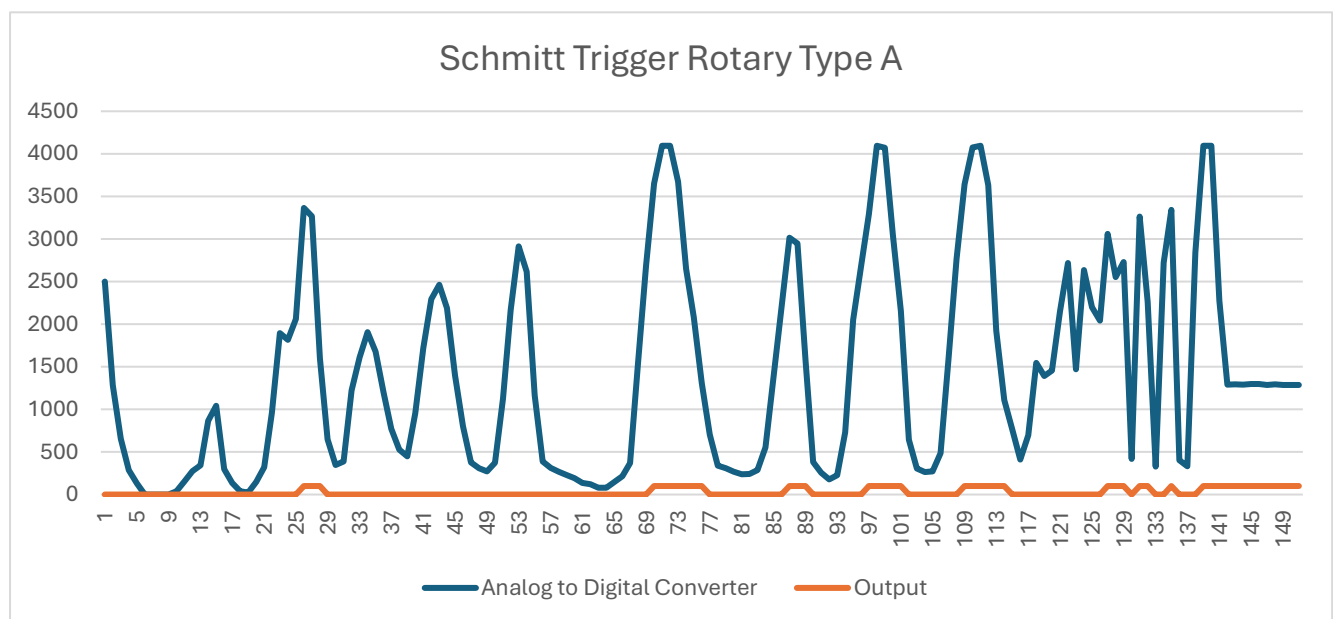
ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) เป็นปรากฏการณ์ที่ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของระบบ ขึ้นอยู่กับประวัติของระบบ เอาต์พุตของระบบไม่ขึ้นอยู่กัอินพุตปัจจุบันเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กัอินพุต ก่อนหน้า

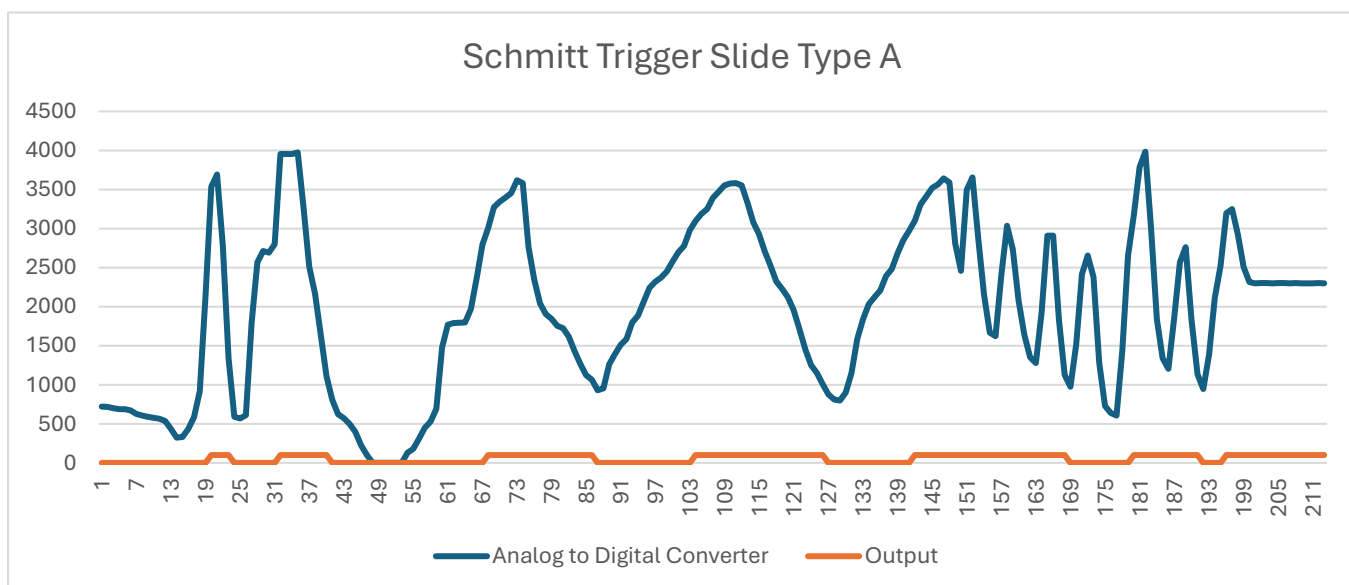
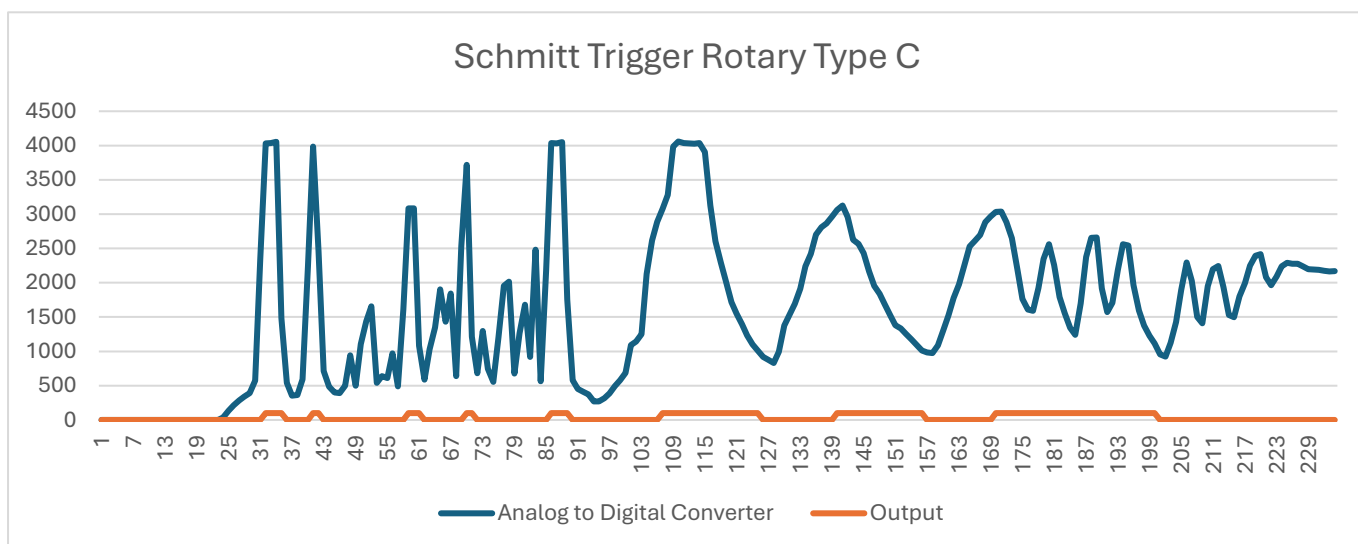
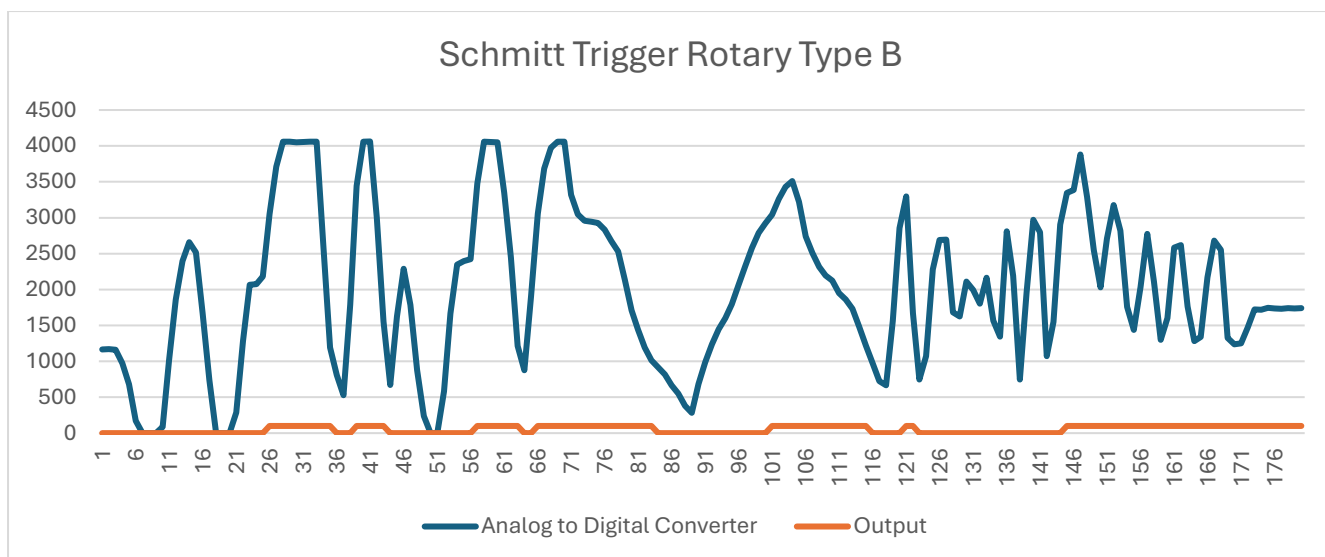
กระบวนการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล (ADC) คือ เป็นการแปลงค่าของตัวเซ็นเซอร์ที่ส่งค่ามาเป็นคลื่นสัญญาณโดยการแปลงเป็นเลขดิจิทัล 0 และ 1 เพื่อให้ตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำค่าไปใช้งานในการณคํานวณต่อไปได้

### ขั้นตอนการดำเนินงาน

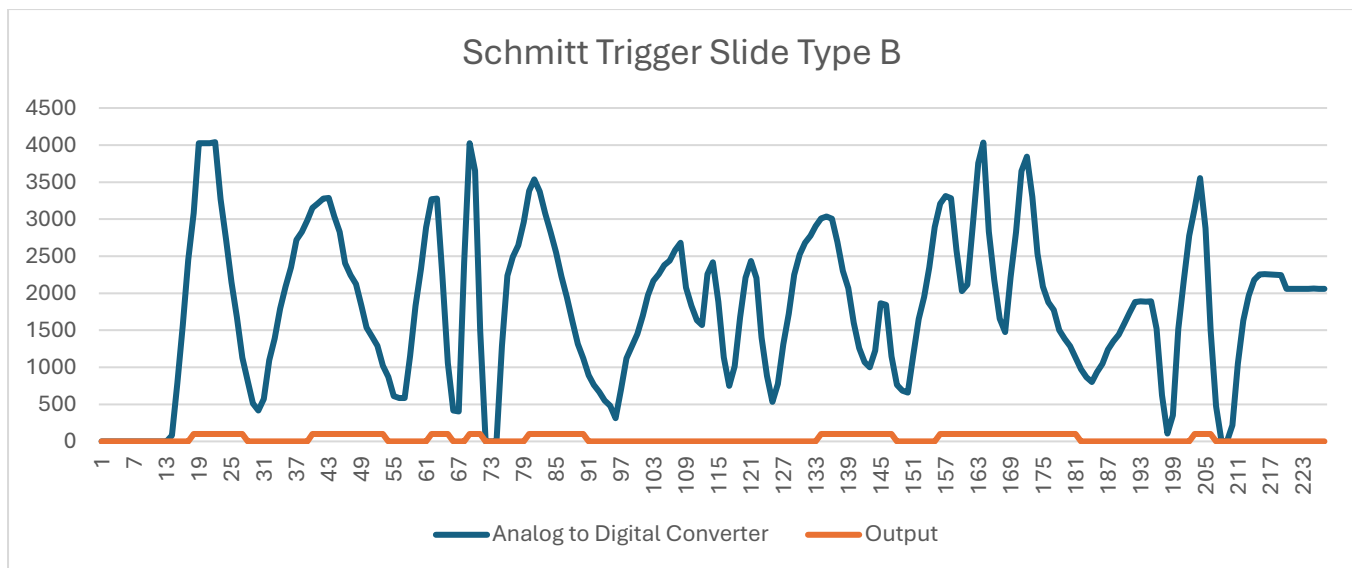
ตั้งค่าใน Simulink โดยเปลี่ยนแปลงค่าที่ได้จาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ 12 บิตค่าที่ได้จะเป็นค่า 0-4095 จะประมาณค่าเป็น 0-4000 เพื่อให้่ายต่อการคำนวณ โดยการแปลงเป็น วงจรรทริกเกอร์แบบชมิตต์ (Schmitt trigger) เมื่อค่าบิตที่ได้ต่ำกว่า 1000 หรือ 25% ให้มีค่าเป็นต่ำ LOW และเมื่อค่าบิตสูงกว่า 3000 หรือ 75% สูง HIGH

### ผลการทดลอง









## สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองทั้ง 5 ตัวที่ทดสอบสามารถแปลงเป็นสัญญาณ ดิจิตอล 0 1 ได้ทั้งหมด โดยเมื่อค่าที่รับมามีค่าสูงกว่า 101110111000 (3000) จะทำให้ได้ค่าออกมาเป็นสูง (HIGH) และเมื่อค่าต่ำกว่า 001111101000 (1000) จะทำให้ค่าออกมาเป็น ต่ำ (LOW) แต่เมื่อค่าอยู่ในช่วง 1000-3000 จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น

## อภิปรายผล

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า วงจรทริกเกอร์แบบชมิทต์ (Schmitt trigger) มีความสามารถในการแปลงสัญญาณ แอนาล็อก (Analog) ให้เป็นสัญญาณ ดิจิทัล (Digital) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยคุณสมบัติที่สำคัญคือ ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) ซึ่งการมีจุดทริกเกอร์ที่แตกต่างกันสองค่า โดยช่วยให้ กำจัดสัญญาณรบกวน ป้องกันไม่ให้สัญญาณเอาต์พุตเกิดการเปลี่ยนสถานะกลับไปมาอย่างไม่พึงประสงค์ (chattering) เมื่อสัญญาณเข้าแบบ แอนาล็อกมีความผันผวนเล็กน้อยลง

## ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) เพื่อให้เข้าใจในคุณสมบัติของหลักการนี้มากยิ่งขึ้นจะทำให้สามารถ เข้าใจการทำงานของวงจรทริกเกอร์แบบชมิทต์ (Schmitt trigger) ได้มากยิ่งขึ้น

ควรทดสอบการส่งสัญญาณแบบ แอนาล็อก (Analog) และสัญญาณแบบ แอนาล็อก (Analog) แปลงเป็น ดิจิทัล (Digital) โดยที่มีสัญญาณรบกวนเพื่อดูว่าสัญญาณแบบไหนจะแปลงออกมาแล้วมีได้ค่าที่ตรงกับต้นฉบับมากที่สุด

## อ้างอิง

<https://th.hwlibre.com/schmitt-trigger/>

<https://www.lorric.com/th/Articles/flowmeter-technology/flowmeter-technology/hysteresis-function>

<https://www.youtube.com/watch?v=hD98Z9UEBco>

<https://www.lorric.com/th/Articles/flowmeter-technology/flowmeter-technology/hysteresis-function>

## 2. Incremental Encoder

การทดลองที่ 1 การเปรียบเทียบการ decode ในแต่ละรูปแบบ

จุดประสงค์

- เพื่อสามารถระบุชนิดการ ถอดรหัส (Decode) ของ เข้ารหัส (Encoder) ได้
- เพื่อศึกษาการทำงานและพฤติกรรมของ เข้ารหัส (Encoder)

สมมติฐาน

ถ้าหาก shaft ของ encoder เกิดการหมุนโปรแกรมจะ decode ค่าในแบบที่ต่างกัน

ตัวแปร

ตัวแปรต้น:

- 1.องศาของ shaft encoder ที่เปลี่ยนไป
- 2.ความเร็วการหมุนของ shaft encoder

ตัวแปรตาม:

- 1.ชนิดของ encoder

ตัวแปรควบคุม:

- 2.แรงดันไฟฟ้า
- 3.STM32

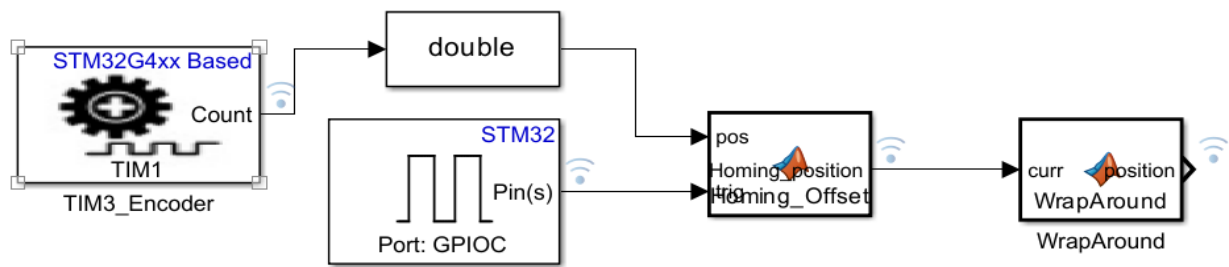
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตัวเข้ารหัส(Encoder) คืออุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้แปลงการเคลื่อนที่เชิงกล (การหมุน) ให้เป็น สัญญาณไฟฟ้า เพื่อวัดตำแหน่ง, องศา, ความเร็ว และทิศทาง สามารถวัดสัญญาณไฟฟ้าจากขา A และ B เพื่อให้รู้ว่า ตัวเข้ารหัส(Encoder) กำลังหมุนไปในทิศทางใด

ขั้นตอนการดำเนินงาน

เริ่มจากการนำตั้งค่าพอร์ตในระบบสำหรับรับค่าต่างๆใน STM32MX เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น ตัวถอดรหัสค่าที่ได้ค่าที่ได้จาก ตัวเข้ารหัส (Encoder) โดยหลังจากการตั้งค่าเสร็จ จะใช้ Simulink ใน MATLAB

ในการประมวลผลค่าต่างๆที่ได้จากการทดลอง โดยใน Simulink จะมี บล็อกฟังก์ชันดังนี้



ในการอ่านและจำลองค่าออกมาเป็นกราฟแล้วจึงนำค่าที่ได้ไปสร้างละจจัดระเบียบกราฟใหม่ใน Excel โดยค่าที่ได้จากการอ่านจากตัวเข้ารหัส (Encoder) เมื่อหมุนไปถึงจุดหนึ่งจะทำให้ไม่สามารถอ่านค่าต่อได้ จึงได้ มี บล็อก MathlabFunction ที่มีชื่อว่า WrapAround ในการจัดระเบียบค่าและทำให้สามารถอ่านต่อไปได้โดยจะมี block ที่ชื่อว่า Homing\_position เพื่อปรับค่ากลับไปที่ยังจุดเริ่ม

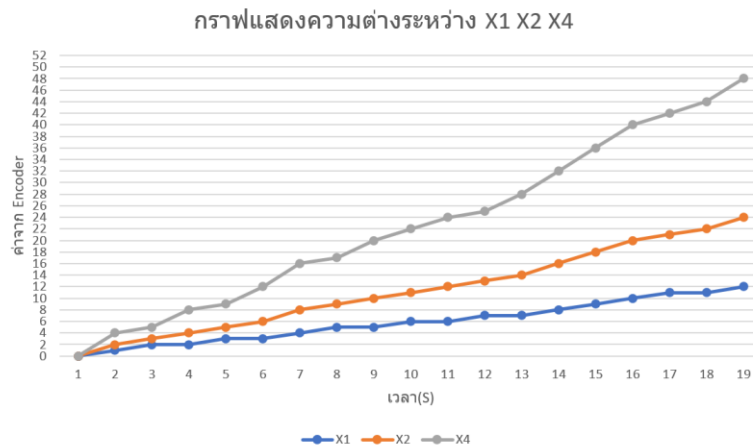
จากการที่ทำในรูปแบบข้างต้นทำให้เราสามารถอ่านค่าและตรวจสอบได้ว่าเป็นเป็นการ ถอดรหัส (Decode) ในรูปแบบไหน

โดยเก็บค่าจากการหมุนของเพลลา จะหมุนทีละ 1 ครั้ง ครั้งละ 15 องศาทุกๆวินาทีเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของค่าที่อ่านได้ในแต่ละรูปแบบ

**ผลการทดลอง**

X1	X2	X4
0	0	0
1	2	4
2	3	5
2	4	8
3	5	9
3	6	12
4	8	16
5	9	17
5	10	20
6	11	22
6	12	24
7	13	25
7	14	28
8	16	32
9	18	36
10	20	40
11	21	42
11	22	44
12	24	48

ภาพที่ 1 ค่าที่ได้จากการเก็บค่าในแต่ละแบบ



ภาพที่ 2 กราฟแสดงความต่างของการ decode แต่ละแบบ

### สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองทำให้เห็นว่า การถอดรหัส (decode) ในรูปแบบต่างๆทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ต่างต่างกัน โดยการถอดรหัสแบบ 3 แบบหลักๆ

โดยการถอดรหัสแบบ 4x จะได้ค่าสัญญาณมากที่สุด โดยจะจับขอบขาขึ้นและขอบขาลงของทั้งช่องสัญญาณ A และ B เมื่อนำไปคำนวณจะได้ค่าการหมุนที่ละเอียดมากที่สุด

ส่วนการถอดรหัสแบบ 2x นั้น จะให้ความละเอียดลดลงครึ่งหนึ่ง โดยจะนับเพียง 2 เหตุการณ์ต่อวัฏจักร ซึ่งมักจะเป็นการนับขอบขาขึ้นและขอบขาลงของช่องสัญญาณเดียว หรือในบางวิธี คือการนับเฉพาะขอบขาขึ้นของทั้งสองช่องสัญญาณ

การถอดรหัสแบบ 1x จะให้ความละเอียดต่ำที่สุด โดยจะนับเพียง 1 เหตุการณ์ต่อวัฏจักร เช่น การนับเฉพาะขอบขาขึ้นของช่องสัญญาณ A เพียงอย่างเดียว ทำให้ได้ค่าการหมุนที่หยาบที่สุด แต่ก็ใช้ทรัพยากรในการประมวลผลน้อยที่สุดเช่นกัน

### อภิปรายผล

จากการทดลองทำให้ได้รู้ว่าตรงตามคุณสมบัติของ ตัวเข้ารหัส (Encoder) โดยยังมีการจับสัญญาณที่ขอบขาขึ้นลงของ A และ B มากเท่าไรจะทำให้รู้มุมการหมุนมากยิ่งขึ้น

### ข้อเสนอแนะ

หาวิธีการอ่านค่าให้ได้ความละเอียดที่มากกว่านี้ ทดสอบความสามารถกระประมวลผลของไมโครคอน

### อ้างอิง

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/432663/CUI/AMT103.html>

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/556214/BOURNS/PEC11R.html>

## การทดลองที่ 2 การเปรียบเทียบระหว่างการหมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา

### จุดประสงค์

1. เพื่อสามารถแยกการหมุนในทิศทางที่ต่างกันได้
2. เพื่อศึกษาการทำงานและพฤติกรรมของ encoder

### สมมติฐาน (ข้อสันนิษฐานเบื้องต้น)

ถ้าหาก shaft ของ encoder เกิดการหมุนเกิดขึ้นจะทำให้ค่าที่ได้เปลี่ยนไป

### ตัวแปร

ตัวแปรต้น:

1. ทิศทางของ shaft encoder ที่เปลี่ยนไป
2. ความเร็วการหมุนของ shaft encoder

ตัวแปรตาม:

1. ชนิดของ encoder

ตัวแปรควบคุม:

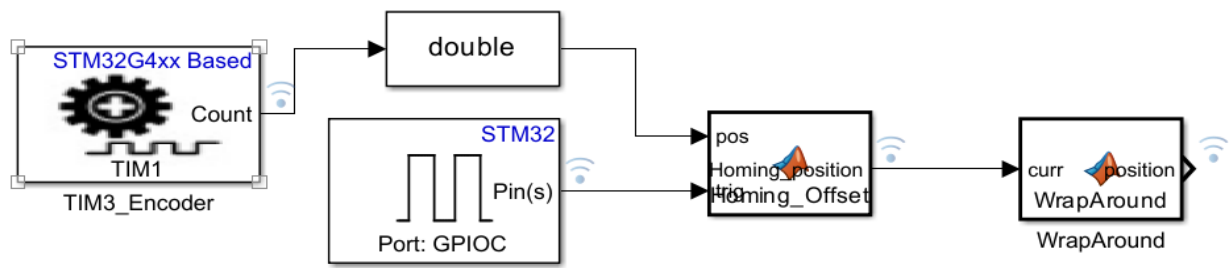
1. แรงดันไฟฟ้า

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตัวเข้ารหัส(Encoder) คืออุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้แปลงการเคลื่อนที่เชิงกล (การหมุน) ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า เพื่อวัดตำแหน่ง, องศา, ความเร็ว และทิศทาง โดยสามารถจับสัญญาณได้ 3 รูปแบบหลักๆ X1 X2 X4 ซึ่งจะมีผลต่อการวัดความละเอียดของมุมที่ ตัวเข้ารหัส(Encoder) เคลื่อนที่ไป

### ขั้นตอนการดำเนินงาน

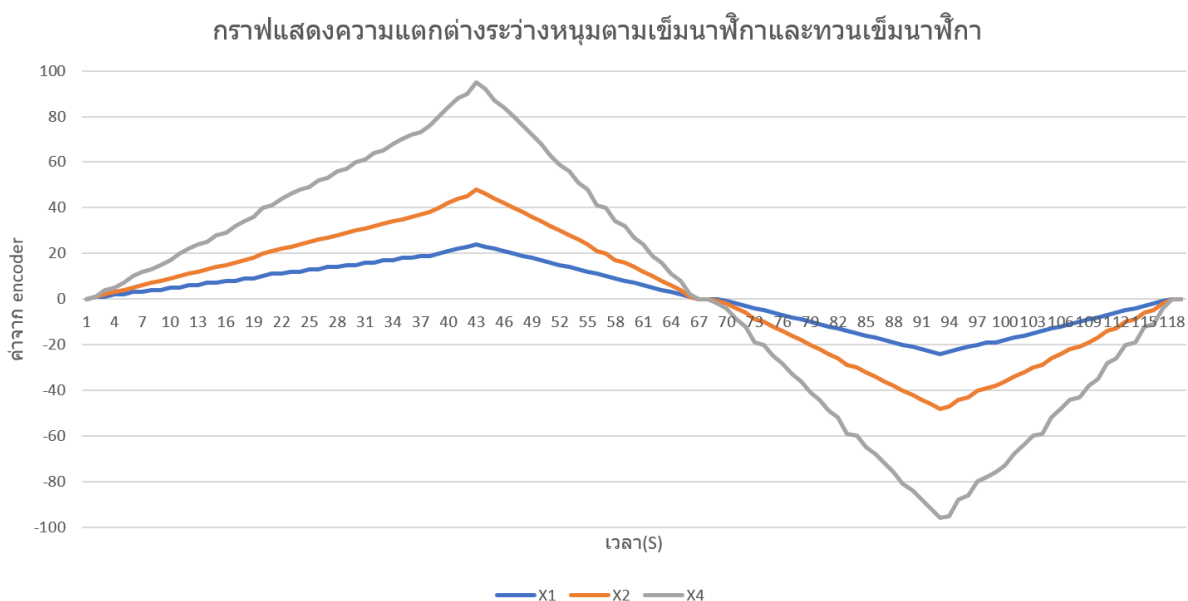
เริ่มจากการนำ setup port การ input ต่างๆใน STM32MX เพื่อให้ STM32 เป็นตัวกลางในการถอดรหัสค่าที่ได้จาก encoder โดยหลังจากการตั้งค่าเสร็จ จะใช้ Simulink ใน MATLAB ในการอ่านค่าต่างๆที่ได้จากการทดลอง โดยใน Simulink จะมี Block Code ดังนี้



ในการอ่านและจำลองค่าออกมาเป็นกราฟแล้วจึงนำค่าที่ได้ไปสร้างจะจัดระเบียบกราฟใหม่ใน Excel โดยค่าที่ได้จากการอ่านจาก Encoder เมื่อหมุนไปถึงจุดหนึ่งจะทำให้ไม่สามารถอ่านค่าต่อได้ จึงได้มี Block Mathlab Function ที่มีชื่อว่า WrapAround ในการจัดระเบียบค่าและทำให้สามารถอ่านต่อไปได้ และ จะมี Block ที่มีชื่อว่า Homing\_position เพื่อปรับค่ากลับไป 0

โดยจากการที่ทำในรูปแบบข้างต้นทำให้เราสามารถอ่านค่าและตรวจสอบได้ว่าเป็นการหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกาแน่นอน โดยจะหมุนเพลลาของ encoder ไปเรื่อยๆจนมาถึงจุดเริ่มต้นอีกครั้งแล้วจึงหมุนกลับในทิศทางตรงกันข้ามและเมื่อถึงจุดเริ่มต้นก็ทำอีกครั้งในรูปแบบเดิมในทิศทางตรงกันข้าม

## ผลการทดลอง



## สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทำให้ทราบว่าหากหมุน Encoder ไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา จะเห็นได้ว่า Microcontroller จะอ่านค่าได้จากขา A ของ Encoder ก่อน ทำให้ค่าที่ได้มาทิศทางที่เพิ่มมากขึ้น แต่หากหมุนทวนเข็มนาฬิกา จะเห็นได้ว่า Microcontroller จะได้อ่านค่าจากขา B ก่อนซึ่งจะทำให้ค่าที่ได้มีทิศทางที่ติดลบหรือลดลงนั่นเอง

## อภิปรายผล

จากการทดลองทำให้ได้รู้ว่าตรงตามคุณสมบัติของ ตัวเข้ารหัส (Encoder) โดยมีการจับสัญญาณที่ของขาขึ้นลงของ A และ B โดยจากการทดลองทำให้รู้ว่า Encoder จะส่งค่าเป็น Pulse ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามทิศทางการหมุน

## ข้อเสนอแนะ

หาวิธีหมุนในแบบอื่นที่ไม่ใช้มือหมุนเพื่อให้ค่าที่ได้ออกมานิ่งยิ่งขึ้น

## อ้างอิง

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/432663/CUI/AMT103.html>

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/556214/BOURNS/PEC11R.html>

<https://makerasia.com/dc-motor-control-speed-kit-2-read-speed-motor-with-sensor-encoder/>



### การทดลองที่ 3 การเปรียบเทียบระหว่างองศาที่เปลี่ยนแปลงกับความเร็วที่เพิ่มขึ้น

#### จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองศาที่เปลี่ยนไปกับความเร็ว
2. เพื่อศึกษาการทำงานและพฤติกรรมของ encoder

#### สมมติฐาน (ข้อสันนิษฐานเบื้องต้น)

ถ้าหาก shaft ของ encoder เกิดการหมุนเกิดขึ้นจะทำให้ค่าที่ได้เปลี่ยนไปซึ่งจะส่งผลกับความเร็ว

#### ตัวแปร

ตัวแปรต้น:

ความเร็วในการหมุนของ shaft encoder

ตัวแปรตาม:

ชนิดของ encoder

ตัวแปรควบคุม:

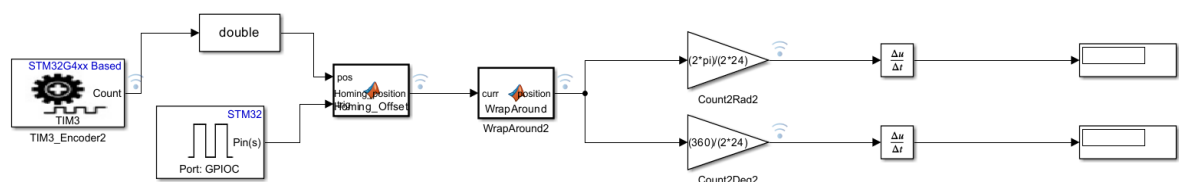
แรงดันไฟฟ้า

#### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตัวเข้ารหัส(Encoder) คืออุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้แปลงการเคลื่อนที่เชิงกล (การหมุน) ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า เพื่อวัดตำแหน่ง, องศา, ความเร็ว และทิศทาง โดยนำค่าที่วัดได้จากขอบขาขึ้นลงมาแปลงให้กลายเป็นมุม และเมื่อนำมุมเข้าสู่สมการ อนุพันธ์ (differential equation) จะทำให้ได้ค่าความเร็วเชิงมุม

#### ขั้นตอนการดำเนินงาน

เริ่มจากการนำ setup port การ input ต่างๆใน STM 32 MX เพื่อให้ STM 32 เป็นตัวกลางในการถอดรหัสค่าที่ได้จาก Encoder โดยหลังจากการตั้งค่าเสร็จ จะใช้ Simulink ใน Matlab ในการอ่านค่าต่างๆที่ได้จากการทดลอง โดยใน Simulink จะมี Block code ดังนี้

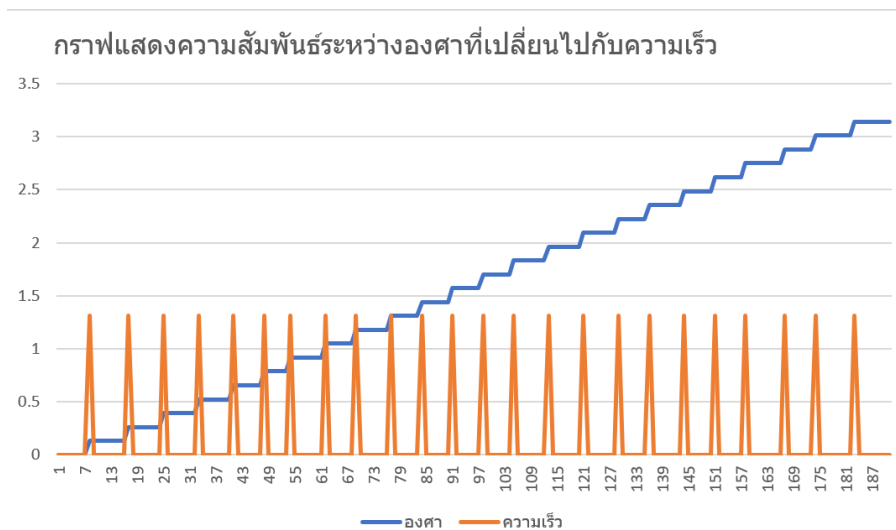


ในการอ่านและจำลองค่าออกมาเป็นกราฟแล้วจึงนำค่าที่ได้ไปสร้างละเอียดระเบียบกราฟใหม่ใน Excel โดยค่าที่ได้จากการอ่านจาก Encoder เมื่อหมุนไปถึงจุดๆหนึ่งจะทำให้ไม่สามารถอ่านค่าต่อได้ จึงได้มี Block Matlab Function ที่มีชื่อว่า WrapAround ในการจัดระเบียบค่าและทำให้สามารถอ่านต่อไปได้ และ จะมี block ที่มีชื่อว่า

Homing\_position เพื่อปรับค่ากลับไป 0

โดยจากค่าที่ได้มาจะสามารถนำไปเข้าสู่สูตรเพื่อเปลี่ยนเป็นองศาได้ด้วยสูตร  $\frac{360^\circ}{\text{รูปแบบการ Decode} \times \text{PPR}} \times data$  หรือเปลี่ยนเป็นเรเดียนได้ด้วยสูตร  $\frac{2\pi}{\text{รูปแบบการ Decode} \times \text{PPR}} \times data$  และเมื่อแปลงเป็นองศาหรือเรเดียนแล้วจะสามารถหาค่าการเปลี่ยนแปลงความเร็วได้จากการหาอนุพันธ์ของสมการตำแหน่งเทียบกับเวลา  $\frac{\Delta x}{\Delta t}$

### ผลการทดลอง



### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทำให้ทราบว่าค่าที่ได้จากทุกการหมุนหนึ่งครั้งจะสามารถนำไปหาค่าองศาของการหมุนได้จากสูตร  $\frac{360^\circ}{\text{รูปแบบการ Decode} \times \text{PPR}} \times data$  และเมื่อได้องศาแล้ว จะสามารถหาค่าการเปลี่ยนแปลงความเร็วได้จากการหาอนุพันธ์ของสมการตำแหน่งเทียบกับเวลา  $\frac{\Delta x}{\Delta t}$

### อภิปรายผล

จากการทดลองทำให้ได้รู้ผลว่าตรงตามคุณสมบัติของ ตัวเข้ารหัส (Encoder) โดยสามารถหาค่าตำแหน่งและความเร็วได้จากการที่ค่าที่อ่านได้เปลี่ยนแปลงไป

### ข้อเสนอแนะ

หาวิธีหมุนในแบบอื่นที่ไม่ใช้มือหมุนเพื่อให้ค่าที่ได้ออกมานิ่งยิ่งขึ้น

### อ้างอิง

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/432663/CUI/AMT103.html>

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/556214/BOURNS/PEC11R.html>

## 3. Magnetic Sensor

## การทดลองที่ 1 การเปรียบเทียบค่า $V_{out}$ ที่อ่านค่าส่งผลอย่างไรต่อค่า *Magnetic Flux Density*

### จุดประสงค์

เพื่อศึกษาพฤติกรรมของ sensor ที่มีที่ีมีความสูงที่ต่างกันในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีแผ่นป้องกัน

### สมมติฐาน (ข้อสันนิษฐานเบื้องต้น)

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

เมื่อ  $V_{out}$  คือ แรงดันไฟฟ้าขาออก (mV)

$V_Q$  คือ แรงดันไฟฟ้าครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าขาเข้า (mV)

$B$  คือ ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) (mT)

$Sensitivity_{25^\circ C}$  คือ ค่าความไวของเซนเซอร์ที่อุณหภูมิทั่วไป (25 °C)

$STC$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ ( $\frac{\%}{^\circ C}$ )

$T_A$  คือ อุณหภูมิแวดล้อม ( $^\circ C$ )

จากสมการเมื่อค่า  $V_{out}$  มากขึ้นจะส่งผลให้ค่า *Magnetic Flux Density* มีค่ามากขึ้นตาม

### ตัวแปร

ตัวแปรต้น:

1. ค่า *Magnetic Flux Density* ที่ได้จากการคำนวณผ่านโปรแกรม Simulink

ตัวแปรตาม:

1. ค่า *Magnetic Flux Density* ที่ได้จากการวัดโปรแกรม Simulink
2. ค่า  $V_{out}$  ที่ได้จากการวัดโปรแกรม Simulink

ตัวแปรควบคุม:

1. อุณหภูมิที่ทำการทดลอง  $26^\circ C$
2. ชุดการทดลองเดิม
3.  $V_Q = 3.3/2 V$
4.  $Sensitivity_{25^\circ C} = 1.3 \text{ mV/G}$
5.  $STC = 0.001 /^\circ C$
6.  $T_A = 26^\circ C$

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Magnetic Flux Direction คือ เส้นแม่แรงแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ตามแนวสนามแม่เหล็กจากขั้วเหนือและไปสิ้นสุดตรงขั้วใต้

Hall effect คือ ปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านทางเดียวและมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตั้งฉากจะทำให้ กระแสไฟฟ้ามีการขยับไปตามทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยสามารถค่าที่กระแสที่เปลี่ยนไปเพื่อนำไปใช้งานอื่นๆได้

Magnetic Flux Density คือความเข้มของสนามแม่เหล็ก จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วยพื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กพุ่งผ่านในแนวตั้งฉาก

### ขั้นตอนการดำเนินงาน

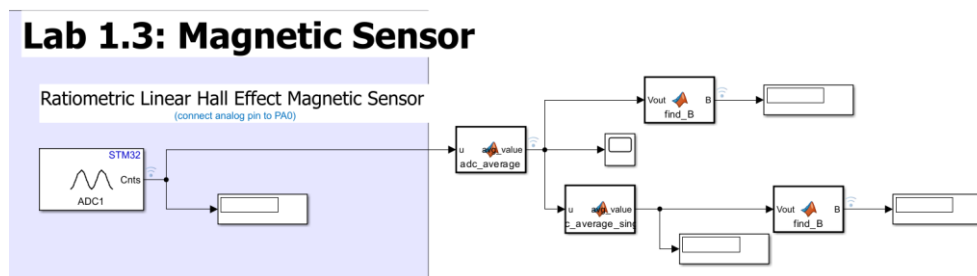
เริ่มจากการนำค่า ADC ที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเพราะว่าค่าที่อ่านมาได้มีการเพิ่มหรือลดอย่างรวดเร็วจากนั้นก็นำค่าที่ได้การเฉลี่ยโดยใช้เวลาในการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 10 วินาที โดยทำการทดลองความสูงครั้งละ 5 ครั้งและปรับความสูงจากสูงที่สุดลงมาครั้งละ 2 มิลลิเมตร จนถึง 12 มิลลิเมตร ต่อมาได้นำค่า *ADC* ที่ได้ไปแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าจากสมการ

$$V_{out} = \left( \frac{ADC_{input}}{ADC_{max}} \right) \times V_{ref} \times 1000$$

แทนค่าในสมการข้างต้นจะได้ค่า *V<sub>out</sub>* จากนั้นนำไปแทนค่าในสมการ

$$V_{out} = VQ + B \times (Sensitivity_{25^{\circ}C} \times (1 + STC(TA - 25^{\circ}C)))$$

จะได้ค่า *B* (*Magnetic Flux Density*) ออกมาออกมาเราจะนำข้อมูลที่ได้อ่านไปเปรียบเทียบกับโดยใช้แผนภูมิในการเปรียบเทียบ โดยใช้โปรแกรม Simulink ในการทำการทดลอง โดยมีโปรแกรมที่ใช้คือโปรแกรมเดียวกับการทดลองที่ 1 บันทึกผลการทดลองแต่ละครั้งไว้ใน Google Sheet แปลผลการทดลอง โดยใช้โปรแกรม Simulink ในการเก็บค่าโดยมีโปรแกรกดังนี้



โปรแกรม ADC ของ Magnetic sensor

จากนั้นทำการบันทึกผลของการทดลองใน Google Sheet เพื่อที่จะสรุปผลการทดลอง

### ผลการทดลอง

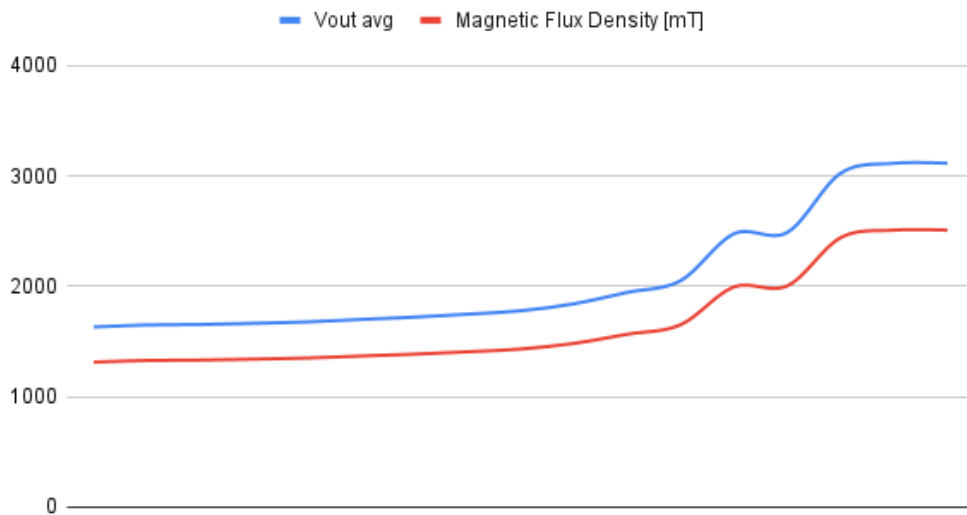
#	h	#	ค่า vout 1	#	ค่า B 1	ค่า vout 2	ค่า B 2	ค่า vout 3	ค่า B 3	ค่า vout 4	ค่า B 4	ค่า vout 5	ค่า B 5	Vout avg [V]	Magnetic F [V]
4	4.4	2595	1993	2606	2002	2606	2002	2603	1999	2609	2004	2603.8	2000		
	4.2	2677	2056	2636	2025	2611	2005	2612	2006	2605	2000	2628.2	2018.4		
	4	2600	1997	2606	2001	2601	1997	2606	2001	2608	2003	2604.2	1999.8		
3	3.8	1746	1340	1747	1341	1747	1341	1747	1341	1754	1346	1748.2	1341.8		
	3.6	1758	1350	1758	1350	1759	1350	1759	1350	1758	1350	1758.4	1350		
	3.4	1795	1378	1795	1378	1795	1378	1795	1378	1795	1378	1795	1378		
3	3.2	1811	1391	1812	1396	1815	1393	1811	1391	1811	1390	1812	1392.2		
	3	1866	1433	1884	1447	1886	1448	1887	1449	1899	1458	1884.4	1447		
	2.8	2475	1900	2492	1914	2492	1914	2542	1952	2519	1934	2504	1922.8		
2	2.6	2600	1997	2578	1980	2588	1987	2599	1996	2591	1990	2591.2	1990		
	2.4	2604	1999	2598	1995	2603	1999	2607	2002	2604	2000	2603.2	1999		
	2.2	2616	2009	2613	2007	2613	2006	2612	2006	2619	2011	2614.6	2007.8		
2	2	2581	1983	2609	2004	2613	2007	2607	2002	2600	1997	2602	1998.6		
	1.8	2653	2037	2616	2009	2610	2005	2602	1999	2609	2004	2618	2010.8		
	1.6	2662	2044	2618	2011	2605	2001	2602	1998	2609	2004	2619.2	2011.6		
1	1.4	2599	1996	2612	2006	2607	2002	2601	1998	2600	1997	2603.8	1999.8		
	1.2	3265	2508	3266	2508	3266	2508	3266	2508	3266	2508	3265.8	2508		

ตารางแสดงค่า  $V_{out}$  และ  $B$  ของแม่เหล็กขั้วใต้

#	h	#	ค่า vout 1	#	ค่า B 1	ค่า vout 2	ค่า B 2	ค่า vout 3	ค่า B 3	ค่า vout 4	ค่า B 4	ค่า vout 5	ค่า B 5	Vout avg [V]	Magnetic F
4.4		1643		1261		1643		1262		1643		1261		1643	1261.4
4.2		1632		1253		1632		1253		1632		1253		1632	1253
4		1620		1244		1621		1244		1620		1244		1620.4	1244
3.8		1611		1237		1610		1236		1610		1236		1610.4	1236.2
3.6		1597		1226		1596		1225		1597		1226		1596.4	1225.4
3.4		1568		1204		1568		1204		1568		1204		1568	1204
3.2		1538		1180		1538		1180		1534		1177		1535	1179.4
3		1508		1158		1508		1157		1508		1155		1504	1156.4
2.8		1438		1104		1438		1104		1439		1104		1436	1103.4
2.6		1387		1065		1388		1065		1388		1065		1388	1065
2.4		1228		942.4		1227		941.9		1227		941.4		1227	941.62
2.2		1036		794.9		1036		794.8		1034		793.7		2601	1997
2		2599		1996		2610		2004		2608		2003		2606	2006
1.8		2596		1994		2606		2001		2617		2010		2624	2015
1.6		2601		1998		2623		2014		2620		2012		2615	2008
1.4		2607		2002		2617		2010		2619		2012		2623	2015
1.2		2601		1998		2624		2015		2623		2014		2604	2000

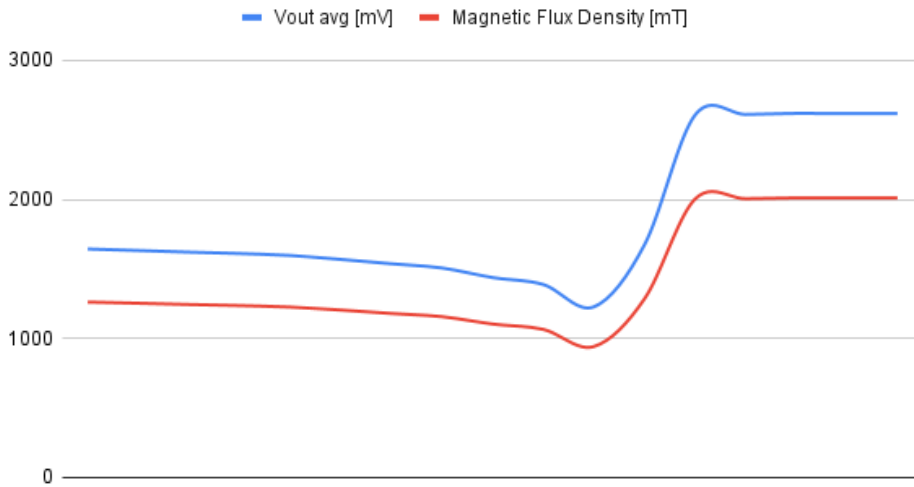
ตารางแสดงค่า  $V_{out}$  และ  $B$  ของแม่เหล็กขั้วเหนือ

## Relation between Vout and Magnetic Flux Density



กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{out}$  และ  $B$  ของแม่เหล็กขั้วใต้

## Relation Between $V_{out}$ Magnetic sensor



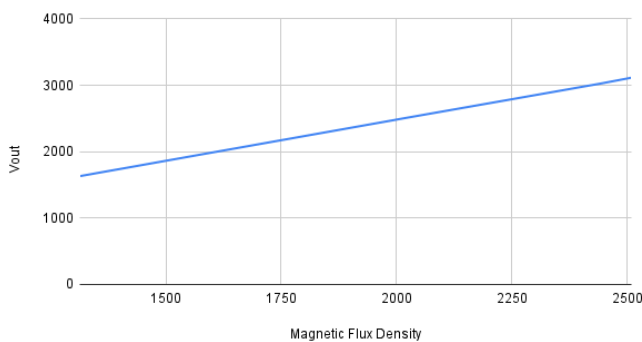
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{out}$  และ  $B$  ของแม่เหล็กชั่วคราว

จากกราฟทั้งสองมีการแปรผันตรงกันตามสมการของทั้งสองขั้วแม่เหล็ก

## สรุปผลการทดลอง

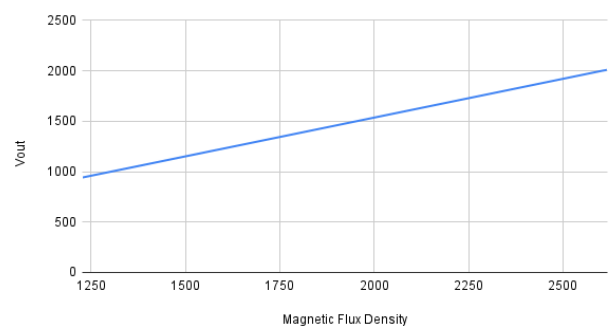
สัญญาณ Output ( $V_{out}$ ) ผันแปรตาม Input (*Magnetic Flux Density*) เมื่อเส้นสีแดง (*Magnetic Flux Density*) เพิ่มขึ้น เส้นสีน้ำเงิน ( $V_{out} \text{ avg}$ ) ก็จะเพิ่มขึ้นตามในทิศทางเดียวกัน ตลอดทั้งกราฟ โดยแกน x เป็นความสูงจากต่ำไปยังสูง

S Sheilded Relation between  $V_{out}$  and Magnetic Flux Density



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{out}$  และ  $B$  ของแม่เหล็กชั่วคราว

N No Sheild Relation Between  $V_{out}$  Magnetic sensor



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{out}$  และ  $B$  ของแม่เหล็กชั่วคราว

จากการทดลองวัดความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ  $(V)_{out}$  และสัญญาณ (*Magnetic Flux Density*) โดยไม่มีแผ่นกัน ของทั้งขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) ผลลัพธ์ที่ได้จากกราฟ แสดงความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง (**Linear Relationship**) ทั้งสองกรณีเพื่อเปรียบเทียบอัตราการตอบสนอง หรือ ค่าความไว (Sensitivity) ของเซ็นเซอร์ต่อสนามแม่เหล็กแต่ละขั้ว สามารถคำนวณได้จากค่าความชัน ของกราฟ ทั้งสอง

$$m = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta \text{Magnetic Flux Density}}$$

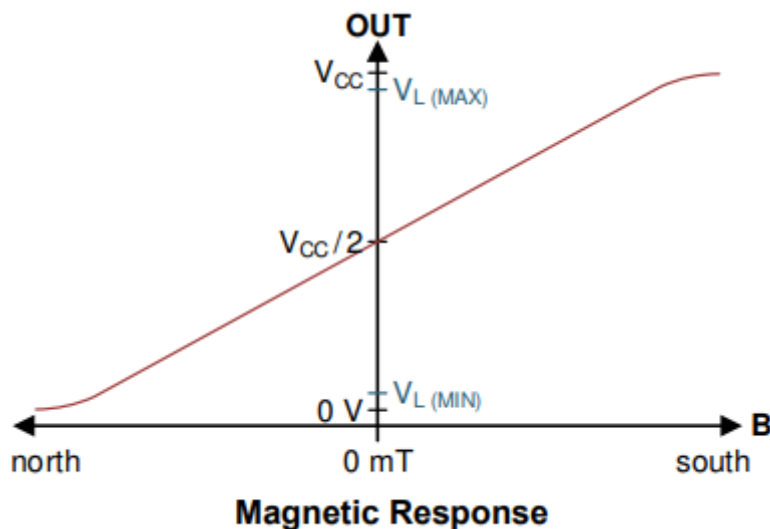
$$m_{South} = 1.20$$

$$m_{North} = 1.20$$

แสดงว่าทั้งสองมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงสามารถสรุปได้ว่าทั้งสอง **Magnetic Sensor** คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่แปลงปริมาณทางกายภาพ ซึ่งในที่นี้คือ **Magnetic Flux Density [mT]** ให้กลายเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า (Output) ซึ่งในที่นี้คือ **Vout** โดยมีคุณสมบัติการแปลงสัญญาณที่มีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนโดยตรง (Linear) และมี การตอบสนองแบบ Real Time

### อภิปรายผล

จากการทดลองวัดความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสนามแม่เหล็ก (Input) และสัญญาณทางไฟฟ้า (Output) ของ Magnetic Sensor โดยไม่มีแผ่นกั้น สามารถอภิปรายผลการทดลองได้ดังนี้ **คุณสมบัติความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Relationship):** ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุต (สนามแม่เหล็ก) และสัญญาณเอาต์พุต ผลลัพธ์ของการทดลอง Magnetic Sensor ที่ใช้ในการทดลองมีคุณสมบัติเป็น **ตัวแปลงสัญญาณเชิงเส้น (Linear Transducer)** สัญญาณ Output ที่ได้มีค่าแปรผันโดยตรงกับความเข้มของสนามแม่เหล็ก Input ดังแผนภาพตาม datasheet



### ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำให้ชุดการทดลองมีความแข็งแรงมากกว่านี้เพื่อให้ตัวแปรตามที่ออกมามีค่าน่าเชื่อถือ

## อ้างอิง

<https://th.x-fullstartech.com/info/hall-effect-current-and-position-sensing-41147190.html>

<https://www.helmut-fischer.com/applications/solutions/magnetic-measuring-method>

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/magnetic-flux-density>

<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv5055.pdf?ts=1761685105498>



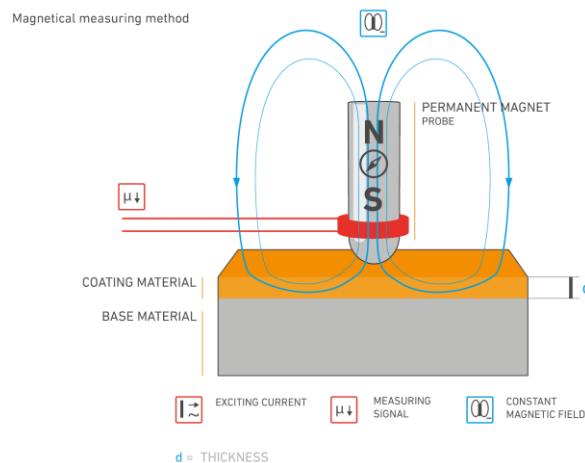
## การทดลองที่ 2 เมื่อ *Magnetic sensor* ที่มีแผ่นกันส่งผลอย่างไรต่อ *Magnetic Flux Density*

### จุดประสงค์

เพื่อศึกษาพฤติกรรมของ *Magnetic sensor* ที่มีแผ่นป้องกันเมื่อไม่มีแผ่นป้องกัน

### สมมติฐาน

จากสมการเมื่อค่าแม่เหล็กที่แผ่นมากนั้นจะส่งผลให้ค่า *Magnetic Flux Density* มีค่าน้อยลง  
เหมือนว่าแผ่นแม่เหล็กเปลี่ยนทิศทางของสนามแม่เหล็กเดิม



### ตัวแปร

ตัวแปรต้น:

การมีหรือไม่มีแผ่นเหล็กที่ติดอยู่กับแม่เหล็กเพื่อที่จะศึกษาพฤติกรรมของ *Magnetic Flux Density*

ตัวแปรตาม:

1. ค่า *Magnetic Flux Density* ที่ได้จากการวัดโปรแกรม Simulink

ตัวแปรควบคุม:

1. อุณหภูมิที่ทำการทดลอง  $26^{\circ}\text{C}$
2. ชุดการทดลองเดิม
3.  $V_Q = 3.3/2 \text{ V}$
4.  $Sensitivity_{25^{\circ}\text{C}} = 1.3 \text{ mV/G}$
5.  $STC = 0.001 /^{\circ}\text{C}$
6.  $T_A = 26^{\circ}\text{C}$

## เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Magnetic Field Shielding คือ วัสดุที่นำมาใช้เพื่อเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นฟลักซ์และป้องกันไม่ให้สนามแม่เหล็กทะลุผ่านไปอีกด้านหนึ่ง

### ขั้นตอนการดำเนินงาน

เริ่มจากการนำค่า ADC ที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเพราะว่าค่าที่อ่านมาได้มีการเพิ่มหรือลดอย่างรวดเร็วจากนั้นก็นำค่าที่ได้การเฉลี่ยโดยใช้เวลาในการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 10 วินาที โดยทำการทดลองความสูงครั้งละ 5 ครั้งและปรับความสูงจากสูงที่สุดลงมาครั้งละ 2 มิลลิเมตร จนถึง 12 มิลลิเมตร ต่อมาได้นำค่า ADC ที่ได้ไปแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าจากสมการ

$$V_{out} = \left( \frac{ADC_{input}}{ADC_{max}} \right) \times V_{ref} \times 1000$$

แทนค่าในสมการข้างต้นจะได้ค่า  $V_{out}$  จากนั้นนำไปแทนค่าในสมการ

$$V_{out} = VQ + B \times (Sensitivity_{25^{\circ}C} \times (1 + STC(TA - 25^{\circ}C)))$$

จะได้ค่า  $B$  (Magnetic Flux Density) ออกมาออกมาเราจะนำข้อมูลที่ได้อ่านไปเปรียบเทียบกับโดยใช้แผนภูมิในการเปรียบเทียบ โดยใช้โปรแกรม Simulink ในการทำการทดลอง โดยมีโปรแกรมที่ใช้คือโปรแกรมเดียวกับการทดลองที่ 1 บันทึกผลการทดลองแต่ละครั้งไว้ใน Google Sheet แปรผลการทดลอง

### ผลการทดลอง

S pole Shielded													
#	h	ค่า vout 1	ค่า B 1	ค่า vout 2	ค่า B 2	ค่า vout 3	ค่า B 3	ค่า vout 4	ค่า B 4	ค่า vout 5	ค่า B 5	Vout avg	Magnetic F
4.4		1711	1313	1710	1313	1712	1314	1711	1314	1711	1314	1631.6	570.3389831
4.2		1730	1328	1731	1329	1730	1328	1730	1328	1731	1329	1650	576.8578879
4		1735	1332	1735	1332	1734	1332	1735	1332	1735	1332	1654.2	578.1616688
3.8		1746	1340	1747	1341	1746	1341	1746	1341	1746	1340	1665	581.6384181
3.6		1759	1350	1760	1351	1760	1351	1759	1350	1760	1351	1677.8	586.4189483
3.4		1782	1368	1782	1368	1783	1369	1784	1369	1783	1369	1700	594.2416341
3.2		1804	1385	1805	1385	1804	1385	1805	1386	1805	1386	1720.8	601.6297262
3		1832	1407	1832	1407	1833	1407	1833	1407	1833	1407	1747.4	610.756193
2.8		1865	1432	1865	1432	1865	1432	1865	1432	1865	1432	1778.4	621.6210343
2.6		1932	1483	1931	1483	1932	1483	1931	1483	1931	1483	1841.8	643.7853107
2.4		2040	1566	2040	1566	2040	1567	2041	1567	2040	1566	1945.4	679.8565841
2.2		2152	1652	2153	1653	2151	1652	2152	1653	2152	1653	2052.2	717.6662321
2		2590	1989	2593	1992	2609	2004	2595	1993	2600	1996	2476.6	866.7318557
1.8		2600	1997	2617	2010	2608	2003	2624	2015	2603	1999	2489.6	868.0356367
1.6		3179	2442	3179	2442	3179	2441	3148	2441	3179	2442	3025.4	1060.560626
1.4		3266	2509	3266	2509	3266	2509	3266	2509	3266	2509	3114.6	1089.678401
1.2		3266	2509	3266	2509	3266	2509	3266	2509	3266	2509	3114.6	1089.678401

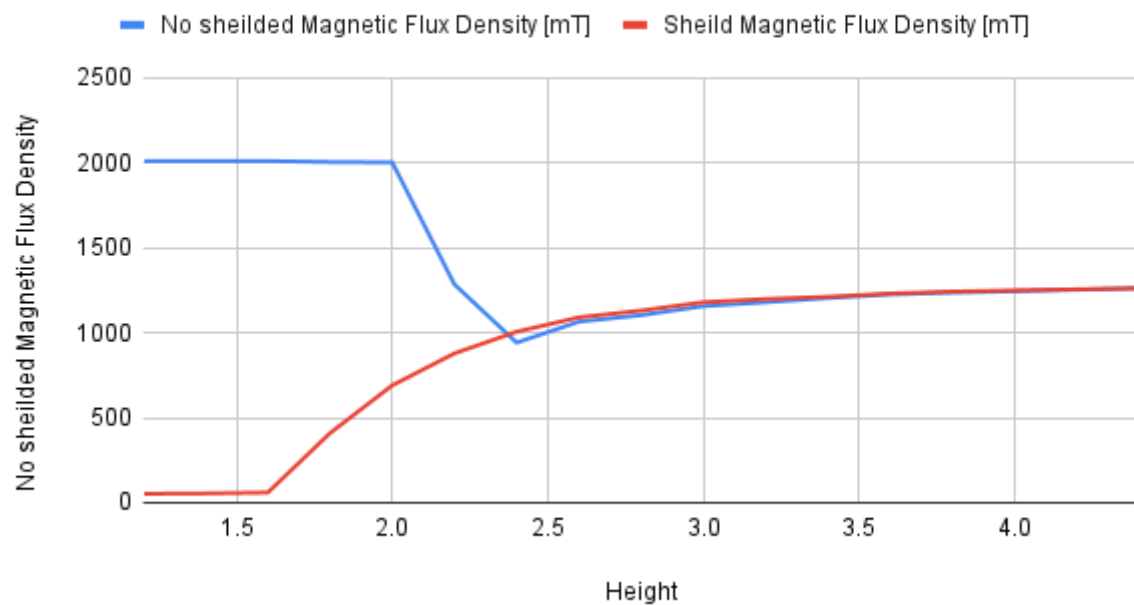
ตารางผลการทดลองของแม่เหล็กขั้วใต้เมื่อมีแผ่นกัน

S pole No shield													
#	h	ค่า vout 1	ค่า B 1	ค่า vout 2	ค่า B 2	ค่า vout 3	ค่า B 3	ค่า vout 4	ค่า B 4	ค่า vout 5	ค่า B 5	Vout avg [n]	Shielded M
	4.4	2595	1993	2606	2002	2606	2002	2603	1999	2609	2004	2603.8	1130.877879
	4.2	2677	2056	2636	2025	2611	2005	2612	2006	2605	2000	2628.2	1141.481964
	4	2600	1997	2606	2001	2601	1997	2606	2001	2608	2003	2604.2	1131.051717
	3.8	1746	1340	1747	1341	1747	1341	1747	1341	1754	1346	1748.2	759.039548
	3.6	1758	1350	1758	1350	1759	1350	1759	1350	1758	1350	1758.4	763.4724033
	3.4	1795	1378	1795	1378	1795	1378	1795	1378	1795	1378	1795	779.3785311
	3.2	1811	1391	1812	1396	1815	1393	1811	1391	1811	1390	1812	786.7666232
	3	1866	1433	1884	1447	1886	1448	1887	1449	1899	1458	1884.4	818.2312038
	2.8	2475	1900	2492	1914	2492	1914	2542	1952	2519	1934	2504	1087.505432
	2.6	2600	1997	2578	1980	2588	1987	2599	1996	2591	1990	2591.2	1125.401999
	2.4	2604	1999	2598	1995	2603	1999	2607	2002	2604	2000	2603.2	1130.617123
	2.2	2616	2009	2613	2007	2613	2006	2612	2006	2619	2011	2614.6	1135.571491
	2	2581	1983	2609	2004	2613	2007	2607	2002	2600	1997	2602	1130.095611
	1.8	2653	2037	2616	2009	2610	2005	2602	1999	2609	2004	2618	1137.049109
	1.6	2662	2044	2618	2011	2605	2001	2602	1998	2609	2004	2619.2	1137.570621
	1.4	2599	1996	2612	2006	2607	2002	2601	1998	2600	1997	2603.8	1130.877879
	1.2	3265	2508	3266	2508	3266	2508	3266	2508	3266	2508	3265.8	1418.578879

ตารางผลการทดลองของแม่เหล็กขั้วใต้เมื่อไม่มีแผ่นกัน

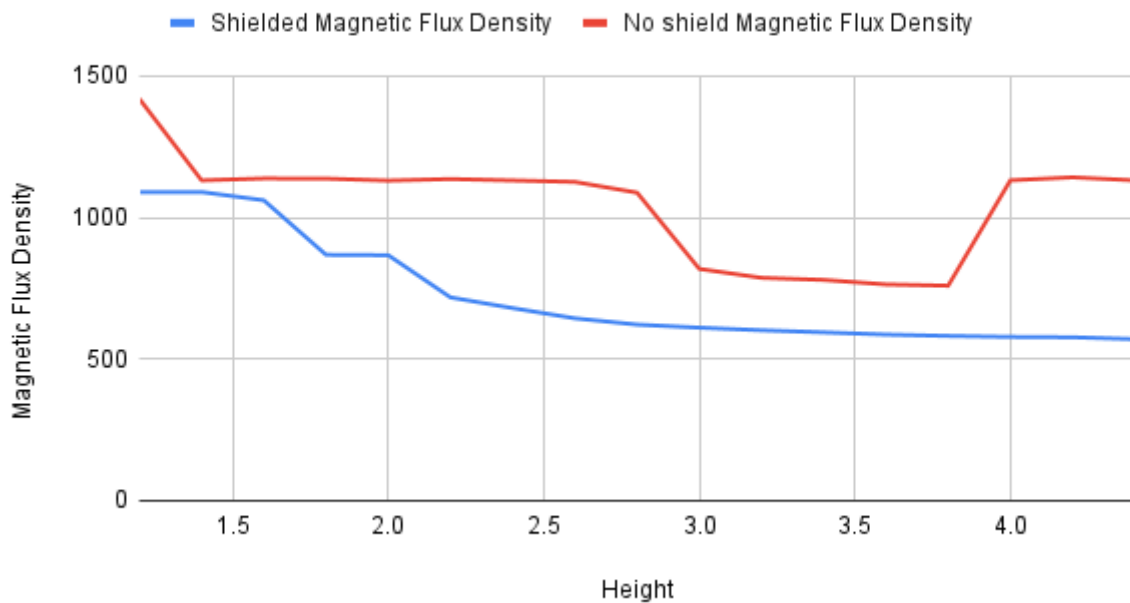
## อภิปรายผล

### North pole Magnetic Flux Density shield or no shield Chart



แผนภูมิแสดงค่าพฤติกรรมของ Magnetic Flux Density ขั้วเหนือเมื่อมีแผ่นกันและไม่มีแผ่นกัน

## South pole Magnetic Flux Density shield or no shield Chart



แผนภูมิแสดงค่าพฤติกรรมของ Magnetic Flux Density ขั้วใต้เมื่อมีแผ่นกันและไม่มีแผ่นกัน

### 1. กราฟขั้วใต้ (South Pole)

- เส้น มีแผ่นกัน (สีน้ำเงิน) มีค่า *Magnetic Flux Density* ต่ำกว่า เส้น ไม่มีแผ่นกัน (สีแดง) ตลอดทุกช่วงความสูง
- ทำให้การทดลองสอดคล้องกับหลักการทางวิทยาศาสตร์ อย่างสมบูรณ์ แผ่นกำบัง (Shield) ทำหน้าที่เบี่ยงเบนเส้นแรงแม่เหล็กออกจากบริเวณที่วัด ทำให้ค่าสนามแม่เหล็กลดลง

### 2. กราฟขั้วเหนือ (North Pole)

- ผลลัพธ์: กราฟมีความซับซ้อน โดยที่ความสูง  $h$  ประมาณ 2.4 cm กราฟเกิดการตัดกัน (Crossover)
  - ช่วง  $h < 2.4 \text{ cm}$  มีแผ่นกันทำงานได้ผล
  - ช่วง  $h > 2.4 \text{ cm}$  ค่า มีแผ่นกัน (สีแดง) กลับ สูงกว่า ไม่มีแผ่นกัน (สีน้ำเงิน)
- คำอธิบาย: ปรากฏการณ์นี้ไม่ได้หมายความว่าชิลด์ล้มเหลว แต่แสดงถึง "ผลกระทบที่ขอบ" (Edge Effect) หรือ "การกระจุกตัวของฟลักซ์" (Flux Concentration)

- หลักการคือ: แผ่นชีลด์จะ "ดึง" เส้นแรงแม่เหล็กให้มารวมที่ตัวมันเพื่อเบี่ยงเบนเส้นทาง ที่ความสูง  $h > 2.4 \text{ cm}$  เซ็นเซอร์อาจกำลังวัดค่า ณ ตำแหน่ง ขอบ ของแผ่นชีลด์ ซึ่งเป็นจุดที่เส้นแรงแม่เหล็ก ถูกรวมศูนย์และกระจุกตัวอยู่ ทำให้ค่าที่วัดได้สูงกว่าค่าสนามแม่เหล็กปกติ (No shield) ณ ความสูง เดียวกัน

การทดลองชี้ให้เห็นการทำงานของแผ่นกัน คือ การลดสนามทำให้การทดลองชี้เห็นแสดง ปรากฏการณ์จริงที่ชีลด์สามารถทำให้สนามแม่เหล็ก ณ บางจุด เช่น บริเวณขอบ มีความเข้มข้นสูงขึ้นได้

#### ข้อเสนอแนะ

1. เลื่อนเซ็นเซอร์ในแนวนอนผ่านขอบแผ่นชีลด์ เพื่อพิสูจน์ทฤษฎี การกระจุกตัวของฟลักซ์ที่ขอบ
2. ทดลองใช้แผ่นกำบังรูปทรงปิด (เช่น ครอบเป็นกล่อง) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลด สนามแม่เหล็ก และดูว่าสามารถลด Edge Effect ได้หรือไม่

#### อ้างอิง

<https://www.helmut-fischer.com/applications/solutions/magnetic-measuring-method>

<https://www.kjmagnetics.com/blog/magnetic-shielding->

[materials?srsId=AfmBOop0Nu3cLNIW2zZldtqaXKjYrz9CdPF3xQ3JmU8jm\\_1qD7dhgH2q](https://www.kjmagnetics.com/blog/magnetic-shielding-materials?srsId=AfmBOop0Nu3cLNIW2zZldtqaXKjYrz9CdPF3xQ3JmU8jm_1qD7dhgH2q)

#### 4. Load cell

การทดลองที่ 1 การเปรียบเทียบค่า  $V_{out}$  ที่อ่านค่าส่งผลอย่างไรต่อค่า *Magnetic Flux Density*

##### จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Relationship) ระหว่างมวล (น้ำหนัก) ที่กระทำต่อโหลด เซลล์ (ในช่วง 500g ถึง 10kg) กับค่าดิจิทัล (ADC) ที่อ่านได้จากวงจรขยายสัญญาณ
2. เพื่อทำความเข้าใจและอธิบายหลักการทำงานของ Strain Gauge, การต่อวงจร Wheatstone Bridge ภายในโหลดเซลล์, และการทำงานของ Differential Amplifier
3. เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างสมการสอบเทียบ (Calibration Equation) สำหรับการแปลงค่า ADC กลับไปเป็นค่ามวล (g หรือ kg)

##### สมมติฐาน

หากนำน้ำหนักที่คำนวณมาจาก ADC และค่าน้ำหนักจริง มาพล็อตเป็นกราฟ ความสัมพันธ์ที่ได้ควรมีลักษณะเป็น กราฟเส้นตรง ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ  $y = mx + c$

##### ตัวแปร

###### ตัวแปรต้น

1. น้ำหนักของตุ้มน้ำหนักที่ใช้ในการทดลอง

###### ตัวแปรตาม

1. สัญญาณ ADC ที่ได้จาก Strain gauge ผ่าน MCU

##### ตัวแปรควบคุม

1. แรงดันไฟฟ้าเลี้ยงวงจร ( $V_{cc}$ )
2. วงจรขยายสัญญาณ โดยค่าตัวต้านทานจะต้องเท่าเดิม
3. ชุดการทดลองเดิม

4. อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมการทดลอง

5. การวางต้องมามีวิธีการวางถ่วงทรายแบบเดิม

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สเตรนเกจ (Strain Gauge) คือตัววัดค่าการเสียรูปของวัตถุซึ่งเป็นเชิงกลจะเปลี่ยนให้กลายเป็นไฟฟ้า โดยจะวัดจากความเครียดที่เกิดขึ้นแล้วจะแปลงออกมาเป็นค่าความต้านทานในกระแสไฟฟ้า

สะพานวีตสโตน (Wheatstone bridge) ใช้ในการวัดค่าความต้านทานที่ไม่รู้ภายในโดยจะวัดจากความสมดุลภายในวงจร ถ้าหากความต้านทานภายในสมดุลกันจะทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่านตัวต้านทานที่อยู่ตรงกลาง แต่ถ้าหากมีความไม่สมดุลจะทำให้มีกระแสไหลผ่านเข้าไป

### ขั้นตอนการดำเนินงาน

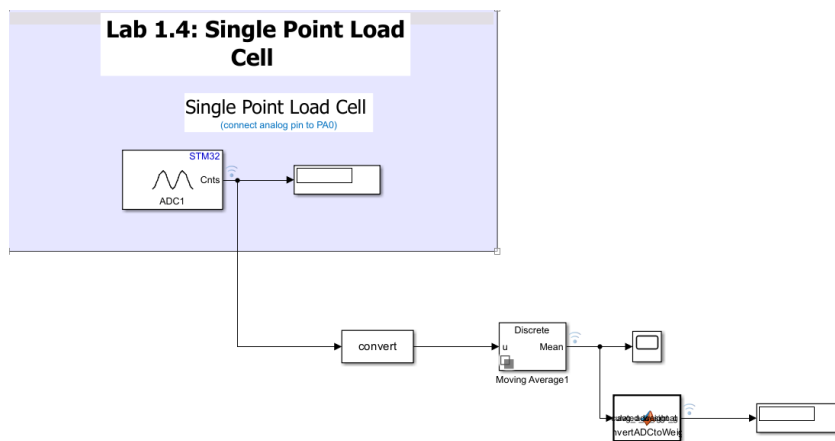
1. ปรับค่าตัวต้านทานตามสมการ

$$V_o = (V_{IN}^+ - V_{IN}^-)G$$

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

โดยใช้น้ำหนักที่ใช้ในการปรับค่า  $R$  คือ  $10\text{ kg}$  จากการคำนวณได้ค่า  $R$  ที่  $95.76\ \Omega$

2. ทำโปรแกรมในการอ่านสัญญาณ ADC โดยใช้



โดยนำสัญญาณ ADC มาเข้า Convert Block โดย Block จะทำการปรับชนิดของตัวแปรที่ต้องการอ่านให้เข้ากับตัวแปรที่ต้องการใช้เองจากนั้นก็ทำการหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณโดยที่ไม่ใช่ Signal Condition เพราะวาระหว่างการทดลองไม่มีค่าที่ Spike เลยจึงคิดว่าจะนำมาใช้ได้

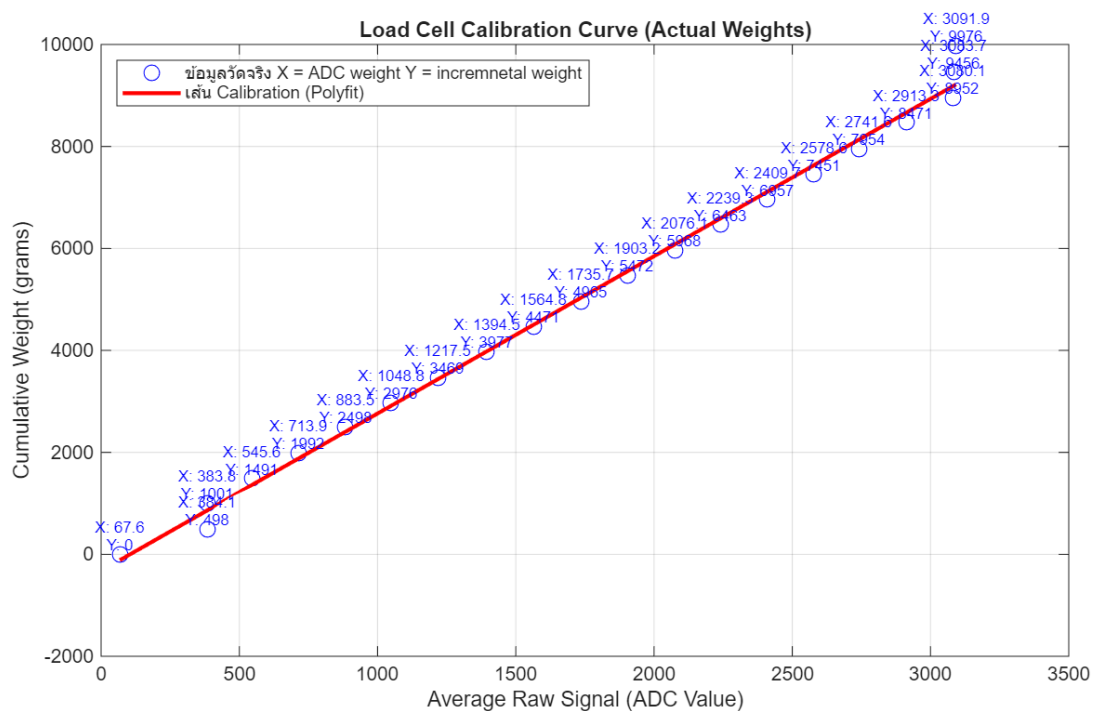
- นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับน้ำหนักจริงโดยจะทำการเก็บค่าน้ำหนักจริงไว้แล้ว
- เมื่อค่าที่ออกมาผ่านโปรแกรม Simulink จะทำการ Calibrate ให้ตรงกับค่าจริง ๆ โดยใช้สมการ

$$y = mx + c$$

โดยใช้ MATLAB ในการคำนวณ `polyfit(ADC_signal,Real_weight,1)` จากคำสั่งนี้เราจะได้  $m$  และ  $c$  ออกมา ต่อมานำค่าที่ได้ไปใส่ใน MATLAB function ใน Simulink เพื่อต้องการปรับค่าให้ตรงกับน้ำหนักจริง

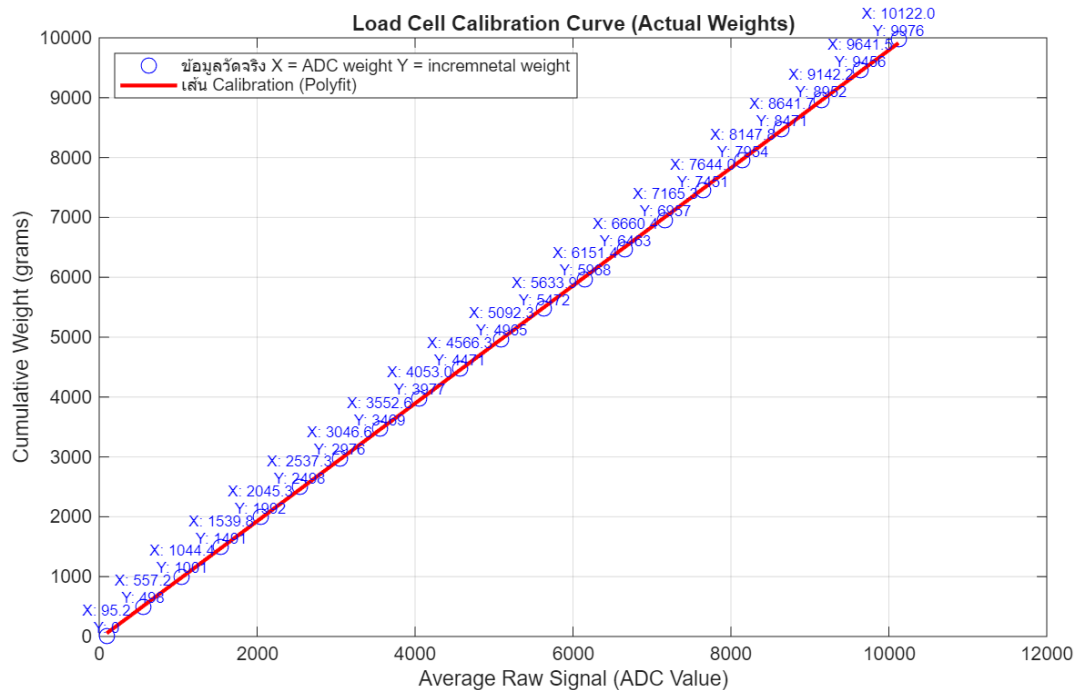
- ถ้าหากยังมีค่า Error จะทำการปรับค่าตรงโดยใช้วิธีการเทียบอัตราส่วนในการแก้ไข
- ทำการลองซ้ำโดยเขียนไฟล์ script ในการหาค่าเฉลี่ยที่ Export ออกมาจาก Simulink
- ทำการบันทึกค่าที่ ADC ผ่านโปรแกรม Simulink โดยเริ่มต้นที่ 0 g เพิ่มครั้งละน้ำหนัก 500 g จนถึง 10 kg

## ผลการทดลอง



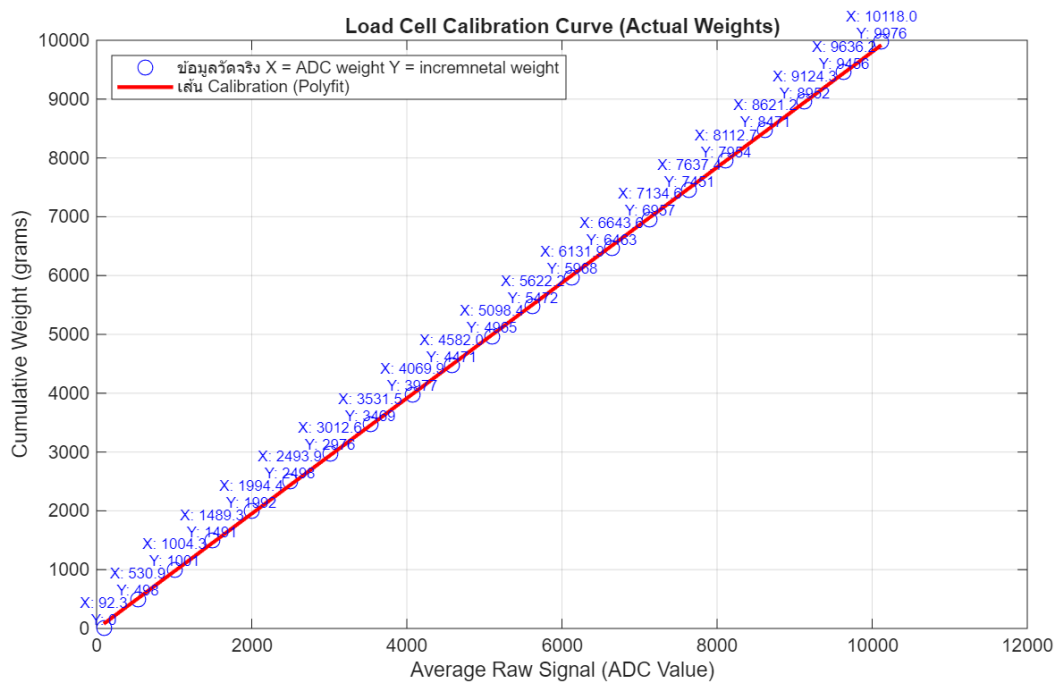


## การทดลองก่อนการใช้สมการช่วย



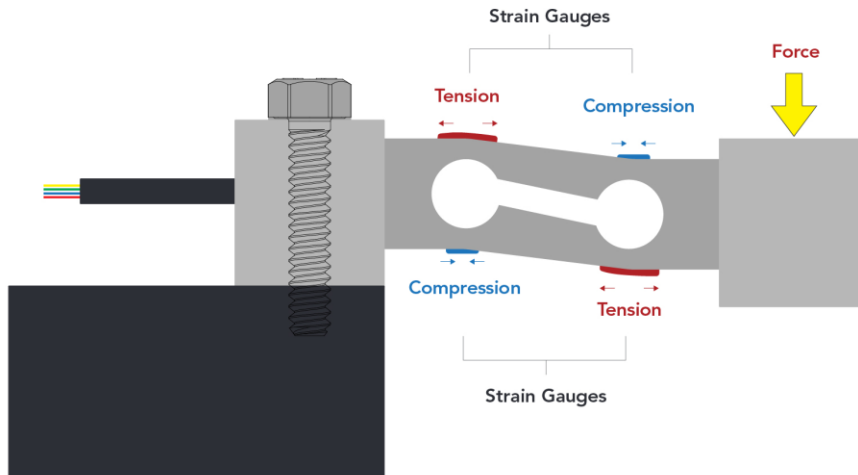
หลังจากการใช้สมการช่วยครั้งที่ 1

โดยมีการ Calibration อีกครั้งวิธีการ คือ ค่าที่อ่านได้ =  $(1200 \times \text{น้ำหนักจริง}[kg]) - 200$   
 เพราะว่าเมื่อทำการทดลองมีค่า Error อยู่ที่ 500 - 600 กรัมจะได้ส่วนที่ใช้ในการ Calibration 2 ส่วน

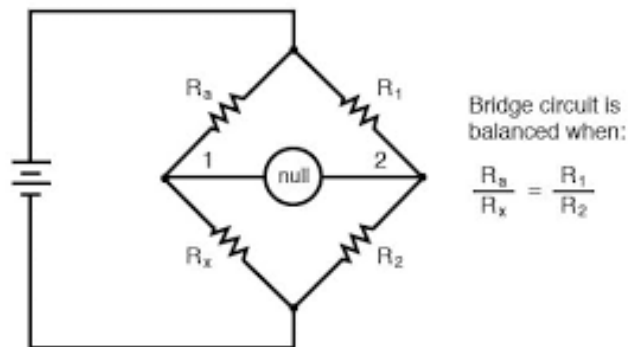


หลังจากการใช้สมการช่วยครั้งที่ 2

## อภิปรายผล



สเตรนเกจ (Strain Gauges) จะมีค่าตัวต้านทานเปลี่ยนไปเมื่อเกิดการหดหรือยืด ถูกนำไปต่อเข้ากับ วงจรวีทสโตนบริดจ์ (Wheatstone bridge) เมื่อใช้งานในโหนดเซลล์ วงจรวีทสโตนบริดจ์คือ การเปรียบเทียบค่า ความต้านทานในวงจรเพื่อหาค่าความต้านทานที่ไม่ทราบค่าในกรณีของโหนดเซลล์ เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงค่า ความต้านทานที่เกิดขึ้น



เมื่อไม่มีน้ำหนักวางบนโหนดเซลล์ สเตรนเกจทั้ง 4 ตัวมีค่า  $R$  เท่ากันหมด วงจรจะสมดุล  $V_{out}$  จึงเป็น  $0\text{ V}$  หากมีน้ำหนักมาวางจะทำให้ Strain gauges เกิดการยืดหดทำให้  $R$  ไม่เท่ากันส่งผลให้เกิดค่า  $V$  เกิดขึ้น สัญญาณที่ออกมาจากวีทสโตนบริดจ์ ( $V_{out}$ ) เมื่อมีน้ำหนักมาก มีค่าน้อยมาก ๆ อยู่ในช่วง มิลลิโวลต์ ใช้ค่าตัวต้านทานจากการคำนวณขณะที่ขั้นตอนการดำเนินงาน กล่าวคือการใช้ Strain gauge ในการสร้าง Wheatstone bridge เพื่อนำสัญญาณที่เกิดขึ้นมาใช้ต่อมาใช้ Op-Amp ในการขยายสัญญาณแล้วเข้าสู่วิธีการแปรผลของค่าสัญญาณ

### ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากอุณหภูมิทำให้ค่า Strain ของ Load cell มีค่าเปลี่ยนแปลงควรหาค่าคงที่
2. จากกราฟก่อนที่จะ calibration จะเห็นได้ว่าเราควรแบ่งช่วงการทำการก่อน 6 kg และหลัง 6 kg เพื่อความแม่นยำเพื่อให้ตรงกับเส้นที่สร้างขึ้นมาจาก function  $\text{poly}(x,y,1)$
3. ค่า R ที่คลาดเคลื่อนไปเพราะสภาพแวดล้อมของการทำการทดลอง

### อ้างอิง

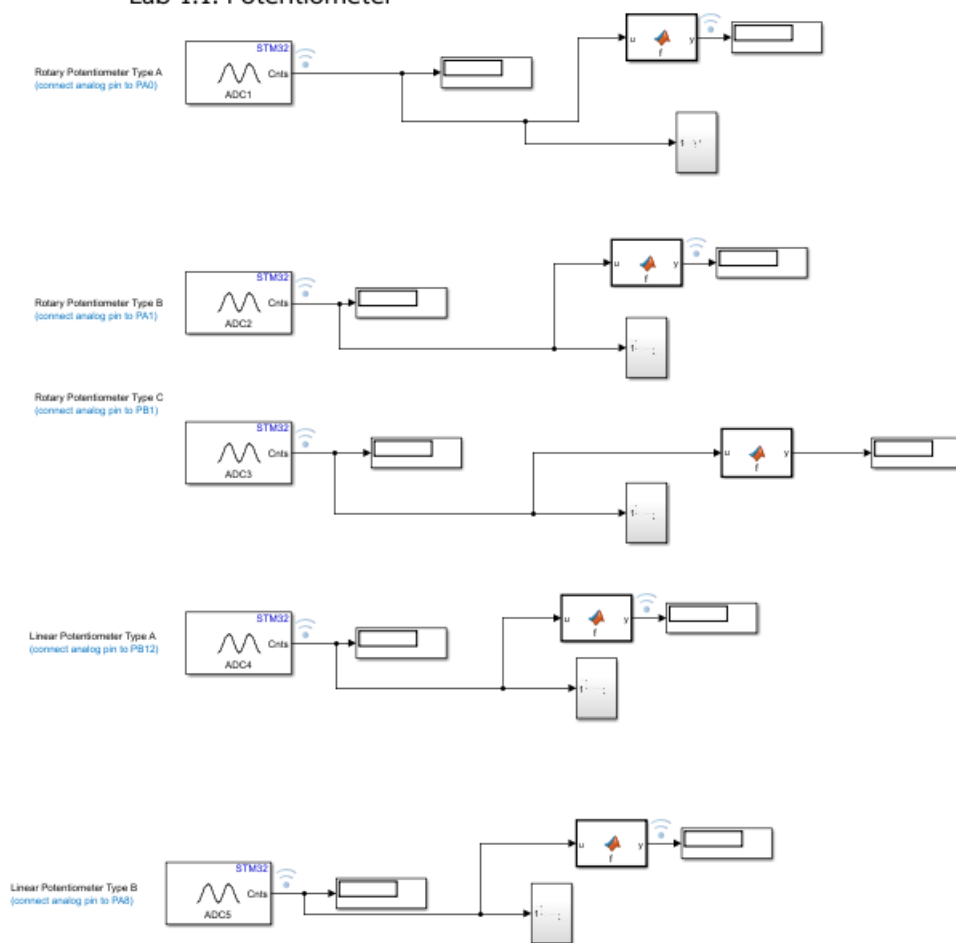
<https://www.anyload.com/how-does-a-load-cell-work/#how-does-a-strain-gauge-load-cell-work>

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

ภาคผนวก ก

**Potentiometer**

## Lab 1.1: Potentiometer



โปรแกรมที่รับค่ามาเป็นบิตแล้วแปลงไปเป็นอื่นๆ

```

function y = f(u)

% 1. ประกาศตัวแปร 'persistent' เพื่อให้มัน "จำ" สถานะก่อนหน้าได้
persistent previousState;

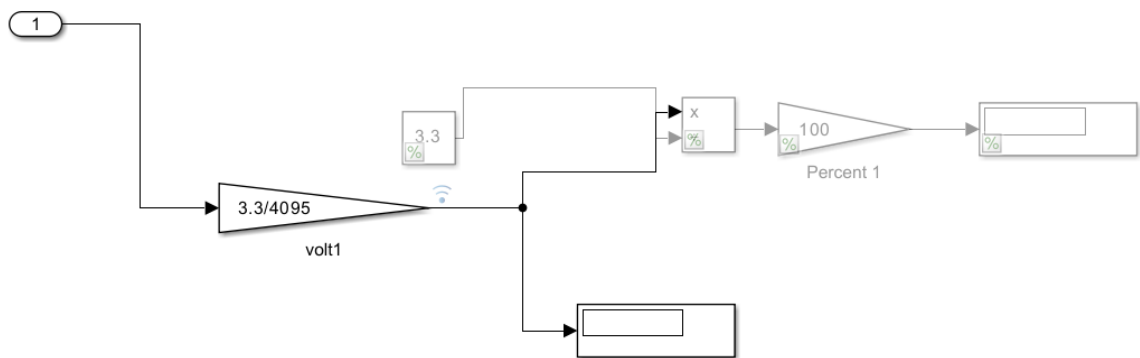
% 2. ตรวจสอบและตั้งค่าเริ่มต้น (ถ้าเป็นการรันครั้งแรก)
if isempty(previousState)
    previousState = 0; % สมมติว่าเริ่มที่ 0
end

% 3. ตรรกะ Schmitt Trigger
if u > 3000
    y = 100;
elseif u < 1000
    y = 0;
else
    % ถ้าค่าอยู่ระหว่าง 1000 ถึง 3000 (Hysteresis)
    % -> y จะคงค่าเดิมไว้
    y = previousState;
end % <--- ✅ นี่คือนิพจน์ที่แก้ไขแล้ว (MUST BE 'end')

% 4. อัปเดตสถานะ "จำ" ค่า y ล่าสุดไว้สำหรับรอบถัดไป
previousState = y;
end

```

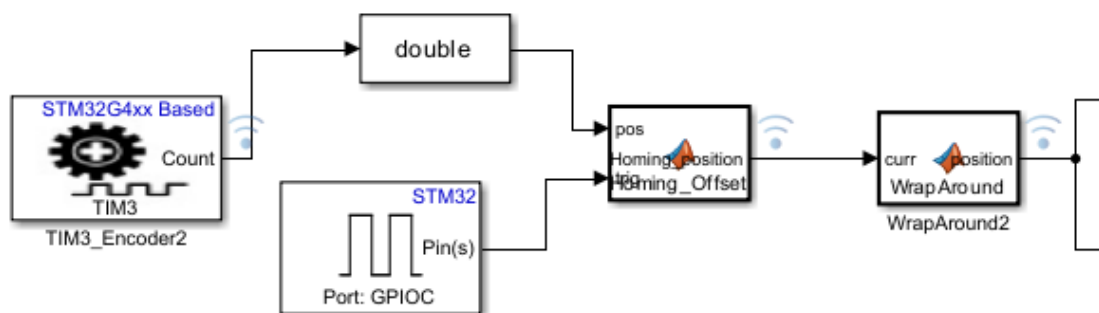
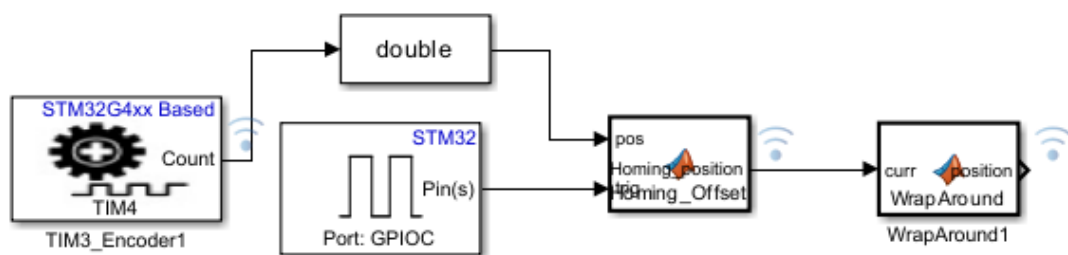
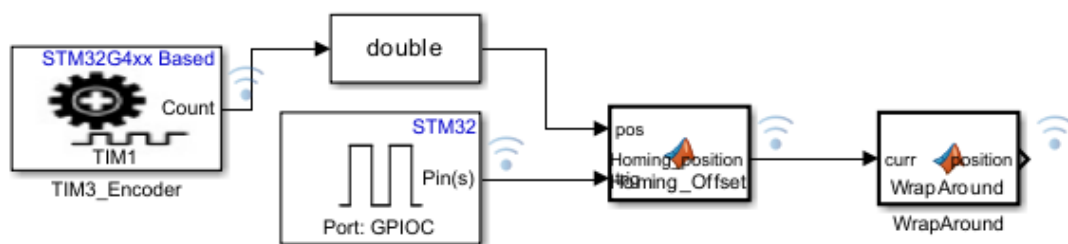
โปรแกรมที่ใช้แปลงบิตไปเป็นวงจรทริกเกอร์แบบฮิสเทรีซิส (Schmitt trigger)



โปรแกรมที่ใช้แปลงบิตไปเป็นแรงดันไฟฟ้า

ลิงก์ GitHub: <https://github.com/FifaKongphopKaikaew/FRA271-LAB1-B08-48-57-65.git> /56

**ภาคผนวก ข**  
**Incremental Encoder**



โปรแกรมที่ใช้อ่านค่า X1 X2 X4 CW CCW



```
MATLAB Function
Encoder_reader_simulink ▶ MATLAB Function

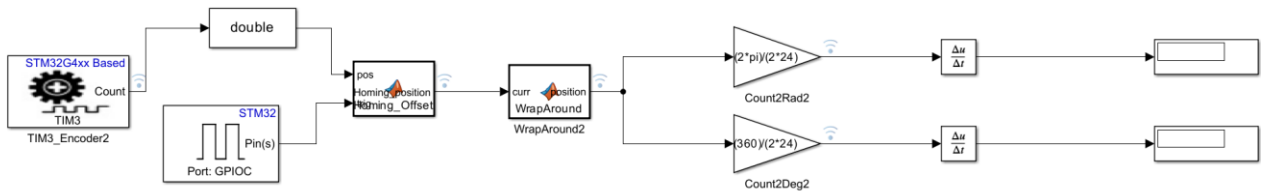
1  function Homing_position = Homing_Offset(pos, trig)
2      %#codegen
3      persistent offset
4      if isempty(offset), offset = 0; end
5
6      % trigger = 1 → ตั้ง home ใหม่
7      if trig
8          offset = pos;
9      end
10
11     % คำนวณตำแหน่งสัมพัทธ์จาก home
12     Homing_position = pos - offset;
13 end
```

โปรแกรม Homing\_position

```
WrapAround
Encoder_reader_simulink ▶ WrapAround

1  function position = WrapAround(curr)
2      %#codegen
3      persistent last offset
4      if isempty(last)
5          last = curr;
6          offset = 0;
7      end
8
9      MAX_COUNT = 61439;
10     diff = double(curr) - double(last);
11
12     % ตรวจจับ overflow/underflow อย่างปลอดภัย
13     if diff > MAX_COUNT/2
14         offset = offset - (MAX_COUNT + 1);
15     elseif diff < -MAX_COUNT/2
16         offset = offset + (MAX_COUNT + 1);
17     end
18
19     % ป้องกันกรณี spike ใหญ่ที่ไม่ใช่ overflow
20     if abs(diff) > MAX_COUNT*0.9
21         diff = 0;
22     end
23
24     position = double(curr) + offset;
25     last = curr;
26 end
```

โปรแกรมที่ใช้ Wrap Around



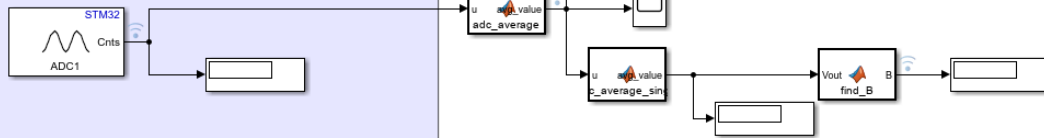
โปรแกรมที่ใช้หาค่าตำแหน่งและความเร็วที่เปลี่ยนไป

ลิงค์ GitHub: <https://github.com/FifaKongphopKaikaew/FRA271-LAB1-B08-48-57-65.git> /65

ภาคผนวก ค  
**Magnetic sensor**

## Lab 1.3: Magnetic Sensor

Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor  
(connect analog pin to PA0)



โปรแกรมที่ใช้ในการทำการทดลอง

```
ADC_reader_simulink ▶ MATLAB Function

1  function avg_value = adc_average(u)
2
3  persistent sumVal count
4
5  if isempty(sumVal)
6      sumVal = 0;
7      count = 0;
8  end
9
10 sumVal = sumVal + double(u);
11 count = count + 1;
12
13 avg_value = sumVal / count;
14 end
```

โปรแกรมที่ใช้การหาค่าเฉลี่ย

```

1 function avg_value = adc_average_single(u)
2 % u - ADC reading (e.g., 0-4095)
3 % avg_value - final average value
4 Vref = 3.3;
5 ADC_max = 4095;
6 Nmax = 1000;
7
8 persistent sumVal count avgVal done
9
10 if isempty(sumVal)
11     sumVal = 0;
12     count = 0;
13     avgVal = 0;
14     done = false;
15 end
16
17 if ~done
18     % mV
19     Vout_mV = (double(u) / ADC_max) * Vref * 1000;
20
21     sumVal = sumVal + Vout_mV;
22     count = count + 1;
23
24     % compute average
25     if count >= Nmax
26         avgVal = sumVal / count;
27         done = true;
28     end
29 end
30
31 % Output
32 avg_value = avgVal;
33
34 end

```

โปรแกรมรวมค่าที่เก็บและแปลงเป็น Vout

```

1 function B = find_B(Vout)
2 % Constants
3 VQ = 3.3/2;
4 Sensitivity_25C = 1.3;
5 STC = 0.001;
6 TA = 25;
7
8 % Calculation
9 B = (Vout - VQ) ./ (Sensitivity_25C * (1 + STC * (TA - 25)));
10 end

```

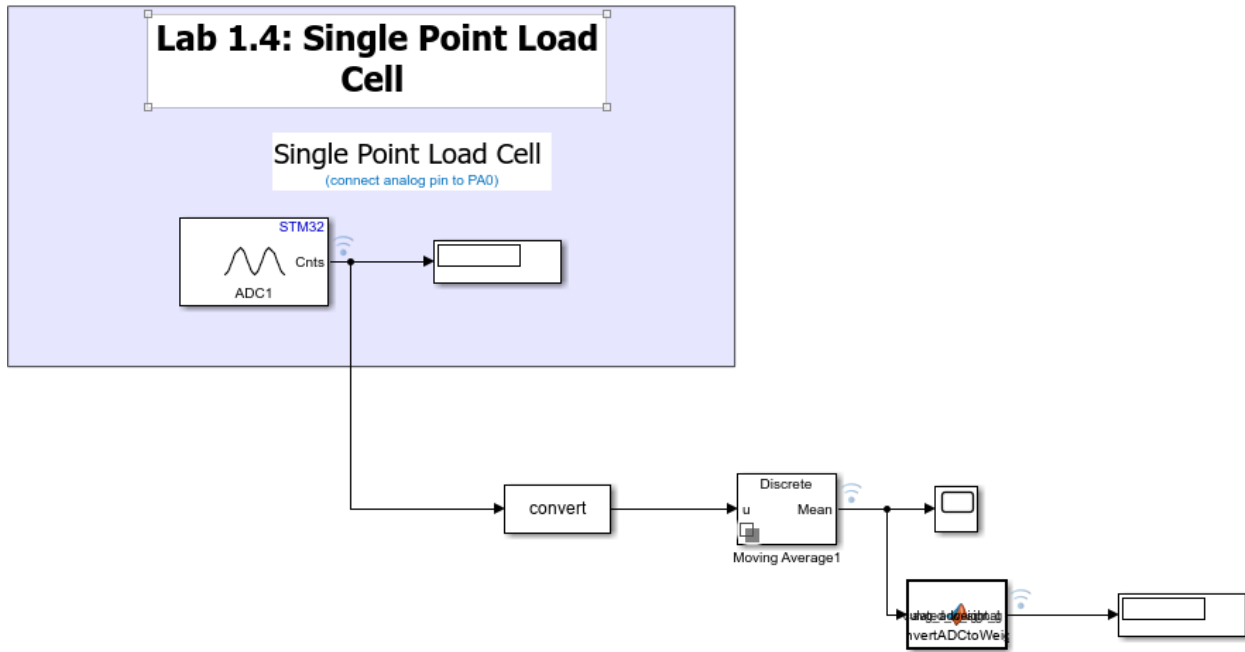
โปรแกรมสมการหาค่า Magnetic Flux Density

ถึง GitHub : <https://github.com/FifaKongphopKaikaew/FRA271-LAB1-B08-48-57-65.git> /48



**ภาคผนวก ง**

**Load cell**



### โปรแกรมการทำการทดลอง

```

1  function calculated_weight_g = convertADctoWeight(avg_adc_signal)
2
3  % โดยใช้สมการ Calibration (y = mx + c)
4
5  m_slope = 1906562422;3.08549
6  c_offset = -3.236277211858530e+02;
7
8  % ผลลัพธ์ตรงนี้คือ "ค่าฝั่งขวา" ในตารางของคุณ
9  incorrect_weight_g = (m_slope * avg_adc_signal) + c_offset;
10
11 % อัตราส่วนของน้ำหนักที่ error เมื่อเทียบกับน้ำหนักที่ถูกต้อง
12 calculated_weight_g = (incorrect_weight_g + 200) / 1.2;
13
14 if calculated_weight_g < 0
15     calculated_weight_g = 0;
16 end
17 end

```

### โปรแกรมการ Calibration ADC\_weight

ลิงก์ GitHub: <https://github.com/FifaKongphopKaikaew/FRA271-LAB1-B08-48-57-65.git> /48