

## LAB1 : Sensor

---

### Name

- นายวาริส            วิภาวนิช            66340500050
- นายรัชชานนท์    บุญมี            66340500069
- นายศศิศ            แก้วสิงห์            66340500076

### Objective

- เพื่อสามารถออกแบบการทดลองโดยใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ในการ สืบเสาะพฤติกรรม ปรากฏการณ์ ทดลอง บันทึกผลการทดลอง สรุปผล และอภิปรายผลการทดลอง
- เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเซ็นเซอร์ และอุปกรณ์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องได้ ตลอดจนใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ สถิติ และศาสตร์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรม MATLAB เพื่อเก็บผลการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง วิเคราะห์ความเที่ยงตรง ความแม่นยำ ได้อย่างถูกต้อง และมีเหตุผลรองรับ ตรวจสอบความถูกต้องเทียบกับทฤษฎีที่น่าเชื่อถือเพื่อสามารถใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อเก็บผลการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง วิเคราะห์ความเที่ยงตรง ความแม่นยำ ได้อย่างถูกต้อง และมีเหตุผลรองรับตรวจสอบความถูกต้องเทียบกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- เพื่อสามารถอธิบายการรับรู้ปริมาณทางฟิสิกส์ของเซ็นเซอร์ทั้งหมดตั้งแต่ต้นจนจบกระบวนการได้ เช่น การอธิบาย หลักการวัดความเร็วเชิงมุมของ Incremental Encoder และการอธิบายการวัดน้ำหนักของ Load Cell (จากแรงดันไฟฟ้าแปลงเป็นน้ำหนักได้อย่างไร)

# 1. Potentiometer

## การทดลองที่ 1.1 Potentiometer

### จุดประสงค์

1. เพื่อสามารถระบุชนิดของ potentiometer ได้
2. ศึกษาการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อระยะทางหรือองศาการหมุนของ potentiometer
3. เรียนรู้การใช้งาน MATLAB, Simulink ร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE

### สมมติฐาน

1. การปรับค่าของ potentiometer จะส่งผลต่อแรงดันไฟฟ้าขาออกขึ้นอยู่กับแต่ละประเภทของ potentiometer

### ตัวแปร

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม	ตัวแปรควบคุม
- ตำแหน่งการปรับของ Potentiometer - ชนิดของ potentiometer	- แรงดันไฟฟ้าขาออกที่วัดได้	- แรงดันไฟฟ้าขาเข้า

### นิยามศัพท์เฉพาะ

1. Voltage (แรงดันไฟฟ้า)
  - ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองจุดในวงจรไฟฟ้า วัดเป็นโวลต์ (Volt) แรงดันนี้เป็นตัวขับเคลื่อนการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำไฟฟ้า
2. Analog
  - คือสัญญาณที่มีลักษณะเป็นค่าต่อเนื่อง สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างต่อเนื่องไม่มีการแบ่งเป็นช่วง กราฟไม่มีการกระโดดระหว่างค่าเป็นกราฟที่ต่อเนื่อง
3. Digital
  - คือสัญญาณที่ประกอบไปด้วยค่าไม่ต่อเนื่อง แสดงเป็นชุดของข้อมูลแบบไบนารี (binary) ส่วนมากเป็นสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave) ซึ่งสัญญาณจะอยู่ในค่าระดับสูงหรือค่าระดับต่ำเท่านั้น
4. Logarithmic Graph
  - ค่า y เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้นและค่อย ๆ ลดความชันลง

5. Linear Graph
  - ค่า  $y$  เพิ่มขึ้นสม่ำเสมอเป็นเส้นตรง ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงที่คงที่
6. Inverse-Logarithmic Graph
  - ค่า  $y$  เพิ่มขึ้นช้าในช่วงแรกและเร่งเร็วขึ้นในช่วงท้าย

## นิยามเชิงปฏิบัติการ

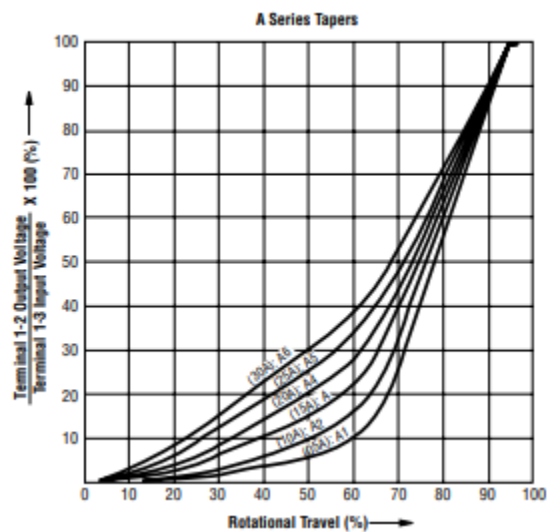
1. Potentiometer (โพเทนชิโอมิเตอร์)
  - อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ ใช้ในการปรับแรงดันไฟฟ้า (Voltage) หรือกระแสไฟฟ้า (Current) ในวงจรไฟฟ้า โดยสามารถควบคุมค่าความต้านทานได้จากการหมุนหรือเลื่อน เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ที่ขาออก
2. Rotary Potentiometer (โพเทนชิโอมิเตอร์แบบหมุน)
  - Potentiometer ที่มีลักษณะการปรับค่าโดยการหมุนแกน ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามมุมการหมุน
3. Linear Potentiometer (โพเทนชิโอมิเตอร์แบบเส้นตรง)
  - Potentiometer ที่มีการปรับค่าโดยการเลื่อนแกนเลื่อนไปตามทิศทางเส้นตรง แรงดันไฟฟ้าขาออกจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งที่เลื่อนแกน
4. Wiper
  - ส่วนที่เลื่อนหรือหมุนได้และเชื่อมต่อกับตัวนำภายในเพื่อปรับค่าความต้านทานระหว่างขั้วปลายทั้งสอง
5. STM32 Nucleo Board
  - บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาขึ้นโดย STMicroelectronics ใช้สำหรับการทดสอบและพัฒนาแอปพลิเคชันที่เกี่ยวกับการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยในที่นี้ใช้รุ่น STM32G474RE เพื่อควบคุมและเก็บข้อมูลการทดลอง
6. MATLAB
  - โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล การคำนวณเชิงตัวเลข และการแสดงผลกราฟฟิก ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในวงการวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์
7. Simulink
  - เครื่องมือเสริมในโปรแกรม MATLAB ใช้สำหรับการสร้างและจำลองโมเดลทางคณิตศาสตร์และระบบควบคุม ซึ่งช่วยในการวิเคราะห์และจำลองพฤติกรรมของระบบในรูปแบบของภาพกราฟิก
8. PotenXplorer

- คือฐานที่บรรจุบอร์ดควบคุม, Breadboard, Potentiometer, 3D-print ที่ใช้ในการควบคุมวัดการหมุนของ Potentiometer

## เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

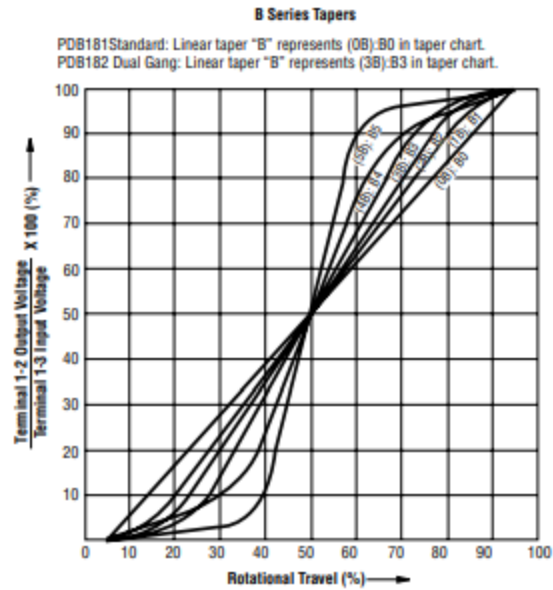
เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่ปรับค่าความต้านทานในวงจรไฟฟ้า ใช้ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าในวงจร โดยมีโครงสร้างหลักประกอบด้วยขั้ว 3 ขั้ว ขั้วหนึ่งต่อกับแหล่งจ่ายไฟ (แรงดัน) ขั้วที่สองต่อกับกราวด์ และขั้วกลางเป็นขั้วปรับค่า (wiper) ที่สามารถเคลื่อนที่ไปตามตัวต้านทาน เพื่อปรับค่าความต้านทานและควบคุมแรงดันที่ขาออก เมื่อมีการหมุน potentiometer ขาที่สามารถปรับได้จะเคลื่อนไปตามแนวความต้านทานภายในตัวเครื่อง ซึ่งตำแหน่งของขานี้จะกำหนดค่าความต้านทานระหว่างขาทั้งสาม เช่น หากหมุนให้ขาตรงกลางใกล้ขาข้างหนึ่งมากขึ้น ความต้านทานระหว่างขานั้นจะลดลง และในทางกลับกัน ค่าความต้านทานระหว่างขาอีกฝั่งจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ Rotary Potentiometer รุ่น PDB181-K420K-103A, PDB181-K420K-103B, และ PDB181-K420K-103C สามารถสรุปความแตกต่างของพ็อตเทนซิโอมิเตอร์แต่ละรุ่นได้ดังนี้



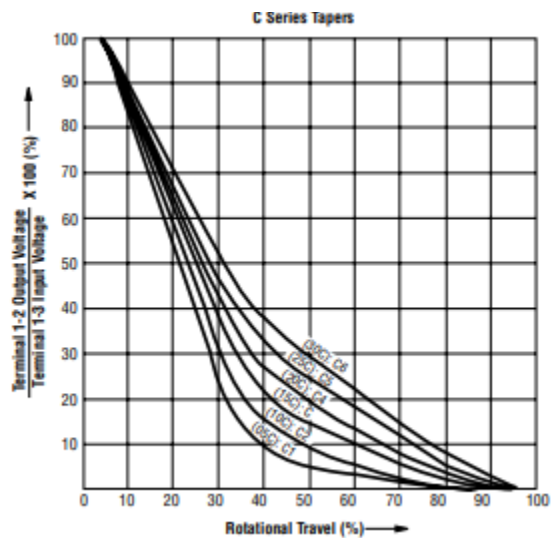
รูปแสดงลักษณะค่าสัญญาณของ PDB181-K420K-103A2

สัญญาณเป็น Logarithm ใช้สำหรับการควบคุมที่ต้องการการตอบสนองที่เป็นแบบลอการิทึม เช่น การควบคุมเสียงในเครื่องเสียง โดยการปรับเปลี่ยนระดับเสียงที่มีความรู้สึกสมจริงเมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระดับเสียง



รูปแสดงลักษณะค่าสัญญาณของ PDB181-K420K-103B

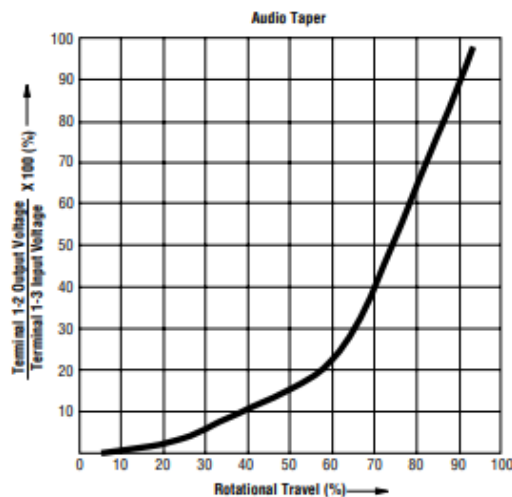
สัญญาณเป็น Linear มีการตอบสนองที่เป็นเชิงเส้น (linear response) ซึ่งหมายความว่าค่าความต้านทานจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟที่ส่งออกมา เหมาะสำหรับการใช้งานทั่วไปที่ต้องการความแม่นยำในการปรับ



รูปแสดงลักษณะค่าสัญญาณของ PDB181-K420K-103C

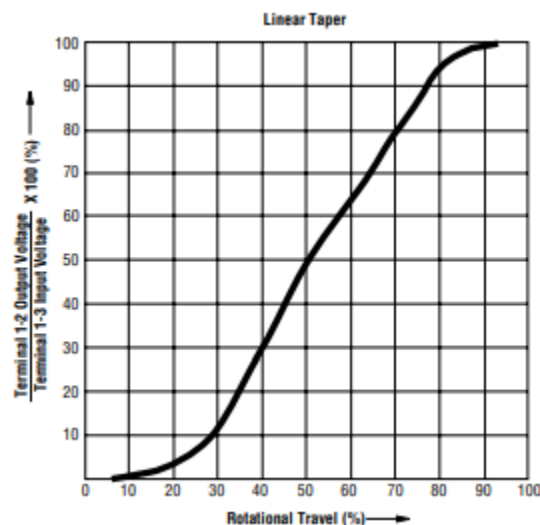
สัญญาณเป็น Inverse Logarithm มีการตอบสนองที่เป็นแบบลอการิทึมแบบผกผัน ซึ่งหมายความว่าค่าการปรับค่าความต้านทานจะทำให้การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟที่ส่งออกมาเป็นแบบลอการิทึมในทิศทางที่ตรงกันข้าม เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการการปรับเปลี่ยนที่ตอบสนองในลักษณะเฉพาะ

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ Linear Potentiometer PTA6043-2015DPA103, PTA6043-2015DPB103 สามารถสรุปความแตกต่างของพอตเทนชิโอมิเตอร์แต่ละรุ่นได้ดังนี้



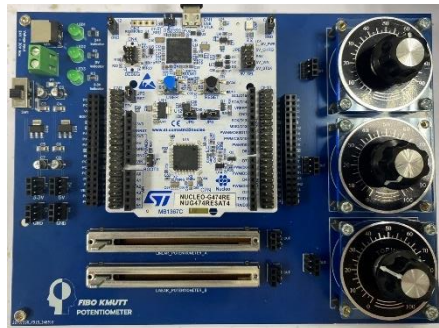
รูปแสดงลักษณะค่าสัญญาณของ PTA6043-2015DPA103

ประเภท Audio Taper (Logarithmic) ลักษณะการตอบสนอง มีการตอบสนองที่เป็นแบบลอการิทึม ซึ่งเหมาะสำหรับการควบคุมเสียงในอุปกรณ์เสียง (เช่น เครื่องเสียงหรือแอมพลิฟายเออร์) โดยการปรับค่าจะให้ผลลัพธ์ที่มีความรู้สึกสมจริงเมื่อเปรียบเทียบกับระดับเสียงที่ได้ยิน



ประเภท Linear Taper ลักษณะการตอบสนอง มีการตอบสนองแบบเชิงเส้น ซึ่งหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานจะสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟที่ส่งออกมา

## การทดลอง



รูปแสดงลักษณะของบอร์ด PotenXplorer

การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองของ potentiometer โดยการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าในระหว่างการหมุนและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการหมุนกับแรงดันไฟฟ้าที่ได้



รูปแสดงลักษณะของ Rotary และ Linear Potentiometer

## วัสดุอุปกรณ์

ลำดับ	ชื่อ	จำนวน	หน่วย
1	บอร์ด Nucleo STM32G474RE	1	อัน
2	บอร์ด PotenXplorer	1	อัน
3	ไม้บรรทัด	1	ชิ้น

## ขั้นตอนการทดลอง

### การทดลอง Rotary potentiometer

1. ทำการเชื่อมต่อ Rotary potentiometer เข้ากับบอร์ด Nucleo STM32G474RE เพื่อรับค่าแรงดันไฟฟ้า Analog ที่ได้จาก potentiometer



รูปแสดงลักษณะบอร์ด Nucleo STM32G474RE

2. ใช้ MATLAB Function ในการแปลงสัญญาณ Analog ให้เป็นค่า Voltage ในช่วง 0 - 3.3V โดยตรงตามค่าที่วัดได้

```
1  function y = fcn(u)
2      in_min= 0;
3      out_min=0;
4      out_max=3.3;
5      in_max=4095;
6      y= double(u - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
```

รูปแสดงลักษณะโปรแกรมใน Simulink

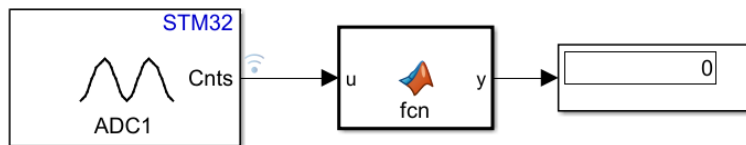
3. ทำการหมุน potentiometer ทีละ 5% ของช่วงการหมุน เพื่อให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วงต่าง ๆ ของ potentiometer





รูปแสดงลักษณะของการวัด Rotary Potentiometer

4. บันทึกค่าที่ได้จากการอ่านค่าใน Simulink ในแต่ละตำแหน่งเพื่อการวิเคราะห์ผลการทดลอง



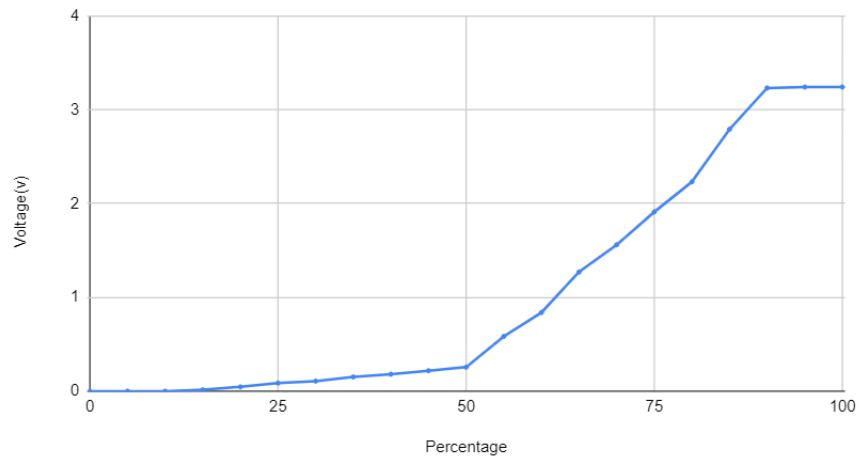
รูปแสดงลักษณะของ Simulink

5. บันทึกค่าที่ได้ในแต่ละตำแหน่งเพื่อการวิเคราะห์ผลการทดลอง
6. นำข้อมูล Voltage ที่บันทึกในแต่ละตำแหน่งของ potentiometer มาพลอตเป็นกราฟเส้น เพื่อดูแนวโน้มและลักษณะการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าในช่วงที่มีการเลื่อน potentiometer
7. วิเคราะห์ลักษณะกราฟที่ได้จากการพลอตแรงดันไฟฟ้ากับตำแหน่งการเลื่อนของ potentiometer

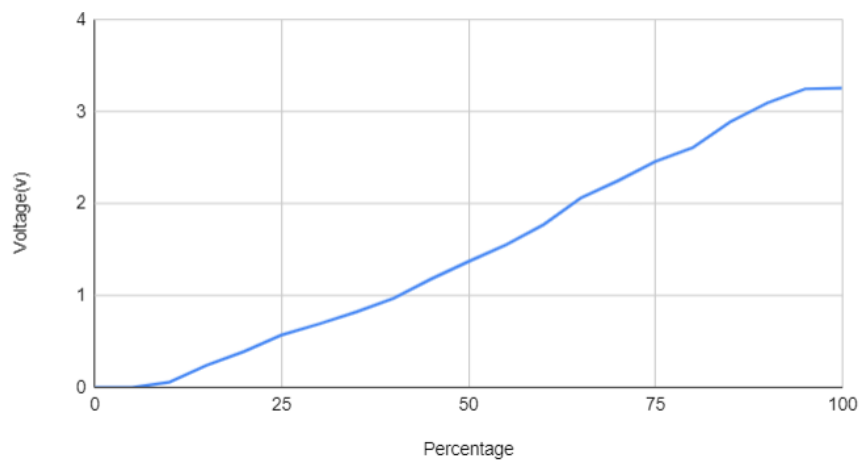
## ผลการทดลอง

เมื่อทดลองตรวจสอบค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกที่วัดได้หลังจากการปรับระยะของ Rotary Potentiometer โดยมี แนวนอน(แกน X) แสดงถึงระยะที่ปรับเป็นเปอร์เซ็นต์ และแนวตั้ง(แกน Y) แสดงถึงแรงดันหน่วยเป็นโวลต์ ได้ผลดังนี้

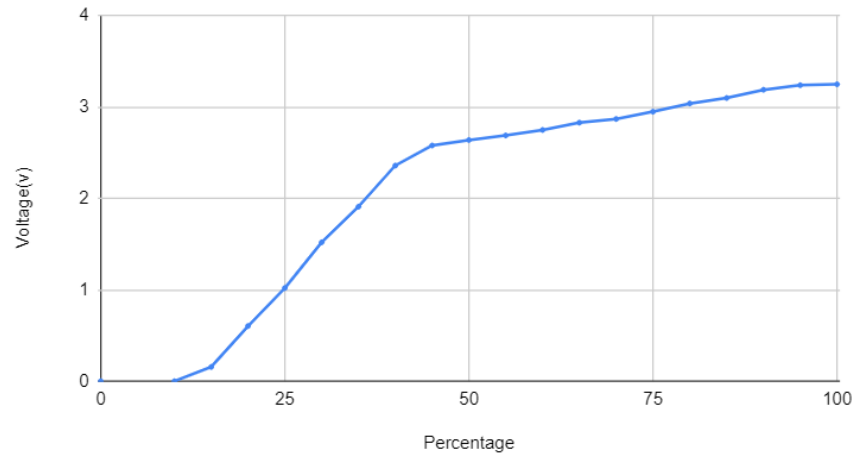
1. ผลจากการปรับค่า Rotary potentiometer A ทุกๆ 5%



2.ผลจากการปรับค่า Rotary potentiometer B ทุกๆ 5%



3.ผลจากการปรับค่า Rotary potentiometer C ทุกๆ 5%



ระยะ	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
แรงดันไฟฟ้า	0	0	0	0.15	0.60	1.02	1.52	1.91	2.36	2.58	2.64	2.69	2.75	2.83	2.87	2.95	3.04	3.1	3.19	3.24	3.25

### การทดลอง Linear potentiometer

1. ทำการเชื่อมต่อ Linear potentiometer เข้ากับบอร์ด Nucleo STM32G474RE เพื่อรับค่าแรงดันไฟฟ้า Analog ที่ได้จาก potentiometer



รูปแสดงลักษณะบอร์ด Nucleo STM32G474RE

2. ใช้ MATLAB Function ในการแปลงสัญญาณ Analog ให้เป็นค่า Voltage ในช่วง 0 - 3.3V โดยตรงตามค่าที่วัดได้

```

1 function y = fcn(u)
2   in_min= 0;
3   out_min=0;
4   out_max=3.3;
5   in_max=4095;
6   y= double(u - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;

```

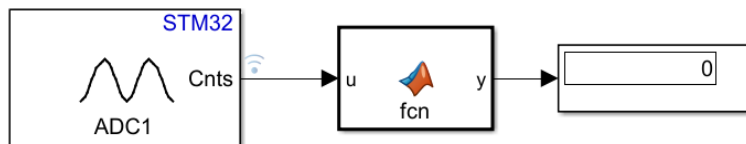
รูปแสดงลักษณะโปรแกรมใน Simulink

3. ทำการเลื่อน potentiometer ที่ละ 5% ของช่วงการเลื่อน (โดยประมาณ 3 มิลลิเมตรในแต่ละครั้ง) เพื่อให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วงต่าง ๆ ของ potentiometer



รูปแสดงลักษณะของการวัด Linear Potentiometer

4. บันทึกค่าที่ได้จากการอ่านค่าใน Simulink ในแต่ละตำแหน่งเพื่อการวิเคราะห์ผลการทดลอง



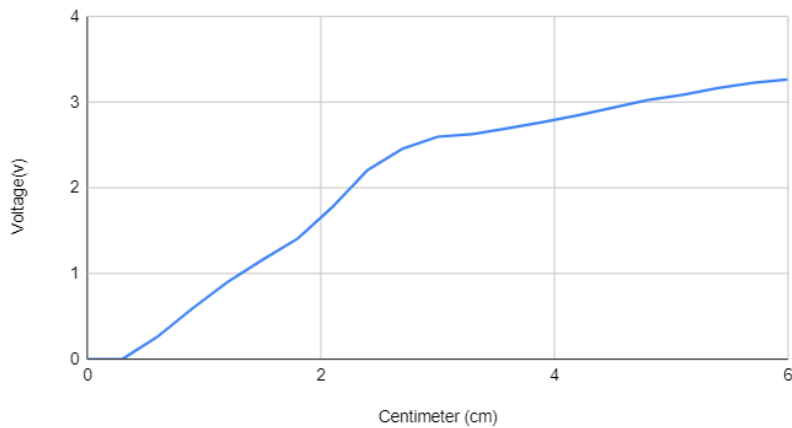
รูปแสดงลักษณะของ Simulink

5. นำข้อมูล Voltage ที่บันทึกในแต่ละตำแหน่งของ potentiometer มาพลอตเป็นกราฟเส้น เพื่อดูแนวโน้มและลักษณะการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าในช่วงที่มีการเลื่อน potentiometer
6. วิเคราะห์ลักษณะกราฟที่ได้จากการพลอตแรงดันไฟฟ้ากับตำแหน่งการเลื่อนของ potentiometer

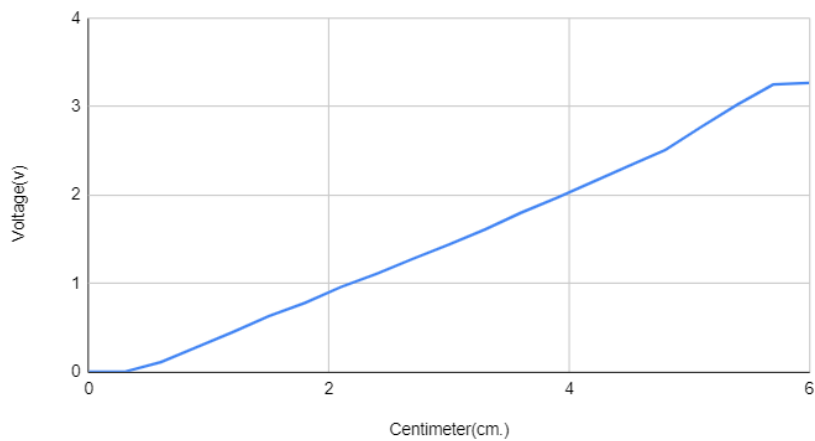
## ผลการทดลอง

เมื่อทดลองตรวจสอบค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกที่วัดได้หลังจากการปรับระยะของ Linear Potentiometer โดยมี แนวนอน(แกน X) แสดงถึงระยะทามีหน่วยเป็นเซนติเมตร และแนวตั้ง(แกน Y) แสดงถึงแรงดันหน่วยเป็นโวลต์ ได้ผลดังนี้

### 1.ผลจากการปรับค่า Linear potentiometer A ทุกๆ 5%



### 2.ผลจากการปรับค่า Linear potentiometer B ทุกๆ 5%



### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองตรวจสอบค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกหลังจากการปรับระยะของ Rotary Potentiometer และ Linear Potentiometer พบว่าแรงดันไฟฟ้าขาออกมีความสัมพันธ์กับประเภทของ potentiometer ที่ใช้ โดยสามารถสรุปผลได้ดังนี้:

- Rotary Potentiometer A: ให้กราฟลักษณะ Logarithmic ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็น Potentiometer type A
- Rotary Potentiometer B: ให้กราฟลักษณะ Linear ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็น Potentiometer type B
- Rotary Potentiometer C: ให้กราฟลักษณะ Inverse-Log ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็น Potentiometer type C
- Linear Potentiometer A: ให้กราฟลักษณะ Logarithmic ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็น Potentiometer type A
- Linear Potentiometer B: ให้กราฟลักษณะ Linear ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็น Potentiometer type B

## อภิปรายผล

ผลการทดลองนี้ยืนยันถึงลักษณะการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าขาออกของ potentiometer แต่ละประเภท โดยอิงจากพฤติกรรมของ Rotary Potentiometer และ Linear Potentiometer ซึ่งสามารถสรุปข้อคิดเห็นจากการทดลองได้ว่า

Rotary Potentiometer A, B, และ C มีลักษณะกราฟตามประเภท Logarithmic, Linear และ Inverse-Log ตามลำดับ ขณะที่ Linear Potentiometer A และ B มีลักษณะกราฟตามประเภท Logarithmic และ Linear ตามลำดับเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการทำงานของ potentiometer แต่ละประเภท

## ข้อเสนอแนะ

- ทำให้ Linear potentiometer มีที่วัดระยะติดตั้งคล้ายกับ Rotary potentiometer เพื่อง่ายต่อการเก็บข้อมูล
- การทดลองนี้สามารถต่อยอดได้โดยเพิ่มการทดสอบกับ potentiometer ประเภทอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติการตอบสนองแตกต่างกัน

## เอกสารอ้างอิง

- <https://www.digikey.co.th/th/articles/the-complete-guide-to-potentiometers>
- <https://eepower.com/resistor-guide/resistor-types/potentiometer-taper/#>
- <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/7247/potentiometer-โพเทนชิโอมิเตอร์>
- <https://www.bourns.com/docs/Product-Datasheets/PTA.pdf>
- <https://www.bourns.com/docs/Product-Datasheets/PTB.pdf>
- <https://th.mouser.com/datasheet/2/54/pta-778345.pdf>
-

## การทดลองที่ 1.2 Schmitt-Trigger

### จุดประสงค์

1. เพื่อสามารถแปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital ตามรูปแบบวงจร Schmitt-Trigger
2. ศึกษาวงจร Schmitt-Trigger และสามารถอ่านสัญญาณกราฟจาก Data Inspector
3. สามารถประยุกต์ใช้งาน Matlab, Simulink ร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE

### สมมติฐาน

เมื่อปรับค่าสัญญาณ Analog จะไม่ส่งผลถึงค่าสัญญาณ Digital จนกว่าจะถึงช่วงของวงจร Schmitt-Trigger กำหนดถึงจะส่งผลให้ค่าสัญญาณ Digital เกิดการเปลี่ยนแปลง

### ตัวแปร

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม	ตัวแปรควบคุม
- ตำแหน่งการปรับระยะของ Potentiometer	- แรงดันไฟฟ้าขาออกที่วัดได้ - สัญญาณ Digital	- แรงดันไฟฟ้าขาเข้า - ค่า Threshold

### นิยามศัพท์เฉพาะ

1. Voltage (แรงดันไฟฟ้า)
  - ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองจุดในวงจรไฟฟ้า วัดเป็นโวลต์ (Volt) แรงดันนี้เป็นตัวขับเคลื่อนการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำไฟฟ้า
2. Schmitt Trigger
  - วงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ใช้ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล
3. Threshold
  - ระดับแรงดันที่ตั้งไว้สำหรับการเปลี่ยนสถานะในวงจรที่มีการควบคุมด้วยแรงดัน
4. Analog
  - คือสัญญาณที่มีลักษณะเป็นค่าต่อเนื่อง สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างสลับไหลไม่มีการแบ่งเป็นช่วง กราฟไม่มีการกระโดดระหว่างค่าเป็นกราฟที่ต่อเนื่อง
5. Digital

- คือสัญญาณที่ประกอบไปด้วยค่าไม่ต่อเนื่อง แสดงเป็นชุดของข้อมูลแบบไบนารี (binary) ส่วนมากเป็นสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave) ซึ่งสัญญาณจะอยู่ในค่าระดับสูงหรือค่าระดับต่ำเท่านั้น

## นิยามเชิงปฏิบัติการ

1. Potentiometer (โพเทนชิโอมิเตอร์)
  - อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ ใช้ในการปรับแรงดันไฟฟ้า (Voltage) หรือกระแสไฟฟ้า (Current) ในวงจรไฟฟ้า โดยสามารถควบคุมค่าความต้านทานได้จากการหมุนหรือเลื่อน เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ที่ขาออก
2. STM32 Nucleo Board
  - บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาขึ้นโดย STMicroelectronics ใช้สำหรับการทดสอบและพัฒนาแอปพลิเคชันที่เกี่ยวกับการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยในที่นี้ใช้รุ่น STM32G474RE เพื่อควบคุมและเก็บข้อมูลการทดลอง
3. MATLAB
  - โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล การคำนวณเชิงตัวเลข และการแสดงผลกราฟฟิก ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในวงการวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์
4. Simulink
  - เครื่องมือเสริมในโปรแกรม MATLAB ใช้สำหรับการสร้างและจำลองโมเดลทางคณิตศาสตร์และระบบควบคุม ซึ่งช่วยในการวิเคราะห์และจำลองพฤติกรรมของระบบในรูปแบบของภาพกราฟิก
5. Data Inspector
  - เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ผู้ใช้งานวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบ ตรวจสอบคุณภาพสัญญาณ และประเมินค่าตัวแปรในรูปแบบเชิงกราฟิกที่มาจากการจำลอง (Simulink) หรือจาก workspace
6. Workspace
  - คือพื้นที่ที่จัดเก็บตัวแปร ข้อมูล และผลลัพธ์ต่าง ๆ ที่ถูกสร้างหรือไหลระหว่างการทำงานในโปรแกรม Matlab

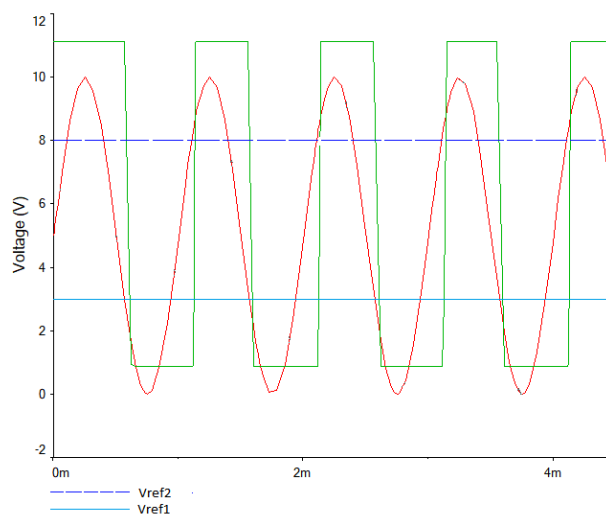
## เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Schmitt Trigger ทำหน้าที่เป็นกรองสัญญาณรบกวนและปรับสัญญาณที่มีความไม่แน่นอนให้เป็นสัญญาณดิจิทัลที่ชัดเจนมากขึ้น จุดเด่นของ Schmitt Trigger คือการทำงานแบบ Hysteresis ซึ่งช่วยให้วงจรสามารถตอบสนองต่อสัญญาณ



อินพุตได้อย่างมั่นคง การทำงานของ Schmitt Trigger ประกอบด้วยการกำหนดค่าแรงดันสองจุดคือ เมื่อสัญญาณอินพุตเกินค่า Upper Threshold เอาต์พุตจะเปลี่ยนเป็นสถานะ (สูง) เมื่อสัญญาณอินพุตลดลงต่ำกว่า Lower Threshold เอาต์พุตจะเปลี่ยนเป็นสถานะ (ต่ำ) Schmitt Trigger สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

1. Schmitt Trigger แบบทรานซิสเตอร์ (Transistor-based Schmitt Trigger) การออกแบบวงจรด้วยทรานซิสเตอร์ NPN หรือ PNP เพื่อสร้างจุดแรงดัน Upper และ Lower Threshold โดยมักพบในวงจรรวมแบบดิจิทัล (Digital IC)
2. Schmitt Trigger แบบ Op-Amp (Op-Amp Schmitt Trigger) ใช้ Operational Amplifier (Op-Amp) ร่วมกับการฟีดแบ็ค (Feedback) เพื่อสร้างการทำงานแบบ Hysteresis ซึ่งเหมาะกับวงจรที่ต้องการการตอบสนองที่ไวต่อสัญญาณอินพุต โดย Schmitt Trigger แบบ Op-Amp สามารถแบ่งออกเป็นแบบกลับขั้วและแบบไม่กลับขั้ว



รูปแสดงลักษณะสัญญาณจาก Schmitt-Trigger

## การทดลอง



รูปแสดงลักษณะบอร์ด PotenXplorer

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการทำงานของวงจร Schmitt Trigger โดยใช้ potentiometer เพื่อสร้างค่าแรงดันไฟฟ้าแบบ Analog ควบคุมผ่าน Simulink ซึ่งจะเปลี่ยนสัญญาณให้เป็น Digital โดยใช้เกณฑ์ Upper และ Lower Threshold ที่กำหนดไว้

### วัสดุอุปกรณ์

ลำดับ	ชื่อ	จำนวน	หน่วย
1	บอร์ด Nucleo STM32G474RE	1	อัน
2	บอร์ด PotenXplorer	1	อัน

### ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการเชื่อมต่อ Potentiometer เข้ากับบอร์ด Nucleo STM32G474RE เพื่อรับค่าแรงดันไฟฟ้า Analog ที่ได้จาก potentiometer



รูปแสดงลักษณะบอร์ด Nucleo STM32G474RE

2. แปลงค่า ADC ที่ได้มาเป็นแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0 - 1V แทนที่จะเป็น 0 - 3.3V เพื่อให้เหมาะสมกับการควบคุม Schmitt Trigger ที่เราจะสร้างใน Simulink

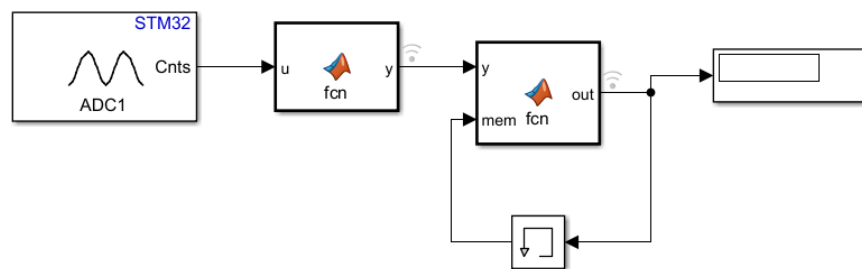
```

MATLAB Function1
MATLAB Function1
function y = fcn(u)
in_min= 0;
out_min=0;
out_max=1;
in_max=4095;
y= double(u - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;

```

รูปแสดงลักษณะโปรแกรมใน Simulink

- นำสัญญาณที่ได้จาก MATLAB เข้าสู่ Simulink เพื่อออกแบบการทำงานของ Schmitt Trigger โดย Simulink จะทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณ Analog ให้เป็น Digital



รูปแสดงลักษณะ Simulink

- ตั้งเงื่อนไขใน Simulink ให้ Schmitt Trigger เปลี่ยนสัญญาณเป็น 1 (High) เมื่อแรงดันสูงกว่า Upper Threshold และเป็น 0 (Low) เมื่อแรงดันต่ำกว่า Lower Threshold เมื่อแรงดันเกิน 0.7V สัญญาณจะเปลี่ยนเป็น 1 และเมื่อแรงดันลดลงต่ำกว่า 0.3V สัญญาณจะเปลี่ยนเป็น 0 หากแรงดันอยู่ในช่วงระหว่าง 0.3V ถึง 0.7V สัญญาณจะรักษาค่าเดิมไว้

```

function out = fcn(y,memmory)
if y >= 0.7
    out=1;
elseif y <= 0.3
    out=0;
else
    out=memmory;
end

```

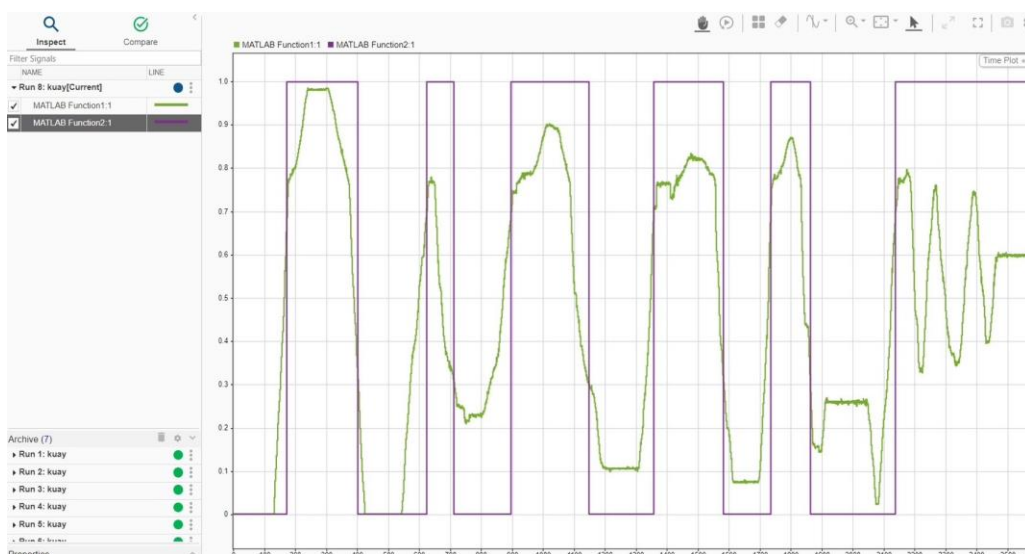
รูปแสดงลักษณะโปรแกรมใน Simulink

- ตรวจสอบสัญญาณ Digital ที่ได้จาก Schmitt Trigger

6. ใช้ MATLAB Data Inspector เพื่อตรวจสอบกราฟและบันทึกข้อมูลการทดลองที่ได้ โดยแสดงกราฟของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและสัญญาณ Digital ที่เกิดขึ้น
7. วิเคราะห์ผลจากการทดลอง

### ผลการทดลอง

เมื่อทดลองตรวจสอบค่าที่ได้จาก Data Inspector โดยในแนวตั้ง(แกน X)เส้นสีเขียวแสดงถึงค่าสัญญาณ Analog และเส้นสีม่วงแสดงถึงค่าสัญญาณ Digital มาเทียบกับแนวนอน(แกน Y) แสดงถึงเวลา ได้ผลดังนี้



### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองด้วย Schmitt Trigger โดยใช้ Data Inspector ใน MATLAB เพื่อสังเกตการตอบสนองของสัญญาณ Digital ที่ขึ้นกับค่าของสัญญาณ Analog ที่เข้ามา พบว่า:

- เมื่อสัญญาณ Analog มีค่า สูงกว่าช่วง Upper Threshold (0.7V) จะทำให้สัญญาณ Digital มีสถานะเป็น High (1V)
- เมื่อสัญญาณ Analog มีค่า ต่ำกว่าช่วง Lower Threshold (0.3V) จะทำให้สัญญาณ Digital มีสถานะเป็น Low (0V)
- หากสัญญาณ Analog มีค่าอยู่ในช่วง 0.3V - 0.7V สัญญาณ Digital จะ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

### อภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลองนี้ สามารถวิเคราะห์ได้ว่า Schmitt Trigger มีบทบาทสำคัญในการกำจัด สัญญาณรบกวน (Noise) และช่วย เพิ่มความเสถียรของการเปลี่ยนแปลงสถานะสัญญาณ โดยข้อสังเกตที่สำคัญคือ:

### 1. ลักษณะการทำงานของ Schmitt Trigger

- Schmitt Trigger ถูกออกแบบมาให้มี Hysteresis ซึ่งหมายถึงช่วงแรงดันที่ต้องเปลี่ยนแปลงมากพอสมควรก่อนที่สัญญาณ Digital จะเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งช่วยลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวนที่อาจทำให้สัญญาณ Digital เปลี่ยนสถานะไปมาอย่างไม่แน่นอน

### 2. ผลของการตั้งค่าช่วง Upper และ Lower Threshold

- การตั้งค่า Upper Threshold ที่ 0.7V และ Lower Threshold ที่ 0.3V ทำให้สัญญาณ Digital มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ Analog อย่างชัดเจน โดยเมื่อสัญญาณเกินค่าที่กำหนด การเปลี่ยนแปลงของสถานะจะไม่กลับไปทันที ช่วยเพิ่มความเสถียรในระบบการทำงานของวงจร

### 3. การใช้ Schmitt Trigger ในงานที่ต้องการความเสถียร

- Schmitt Trigger เหมาะสำหรับใช้ในวงจรที่ต้องการความเสถียรในการตรวจจับระดับแรงดันไฟฟ้า หรือ การประมวลผลสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน (Noise) เช่น สัญญาณจาก potentiometer หรือเซนเซอร์ที่มีค่าผันผวนสูง โดยสามารถตั้งค่า Upper และ Lower Threshold ตามที่ต้องการเพื่อให้เหมาะสมกับเงื่อนไขการทำงานที่หลากหลาย

### ข้อเสนอแนะ

- สามารถพิจารณาการทดลองเพิ่มเติมโดยปรับค่าช่วง Upper และ Lower Threshold หรือทดสอบกับ potentiometer ที่มีช่วงการปรับละเอียดมากขึ้นเพื่อวิเคราะห์การตอบสนองของ Schmitt Trigger ในสถานการณ์ต่าง ๆ

### เอกสารอ้างอิง

- <https://www.electrical4u.com/schmitt-trigger/>
- <https://howtomechatronics.com/how-it-works/electrical-engineering/schmitt-trigger/>

## 2.Incremental Encoder

### จุดประสงค์

1. เพื่อเข้าใจและสามารถอธิบายหลักการการทำงานของ Encoder
2. เพื่อเข้าใจวิธีการอ่านค่าจาก Incremental Encoder ในรูปแบบการสัญญาณแบบ Quadrature encoder ได้ทุกรูปแบบ (QEI และ Polling Method)
3. เพื่อทดลองการอ่านค่า Raw Signal ของ QEI Method และแปลงเป็น Relative Position(pulses) ด้วยการ Integrate Discrete Velocity(diff\_counts) และแสดงผลพร้อมกันได้
4. เพื่อวิเคราะห์ ข้อดี-เสีย ของการอ่านด้วย QEI และ Polling Method ได้

## สมมติฐาน

1. การอ่านค่าสัญญาณแบบ QEI จาก Incremental Encoder มีความแม่นยำสูงกว่าวิธีการอ่านค่าตำแหน่งหรือความเร็วแบบทั่วไป Polling Method
2. การอ่านค่าสัญญาณแบบโหมด x4 จะเปลี่ยนช้ากว่าโหมด x2 และ x1 เพราะมีความละเอียดในการวัดตำแหน่งได้มากกว่า เนื่องจากการนับทุกขอบของสัญญาณจากช่อง A และ B

## ตัวแปร

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม	ตัวแปรควบคุม
<ul style="list-style-type: none"> <li>- การอ่านค่าจาก Incremental Encoder แบบ QEI Method หรือ Polling Method</li> <li>- ความละเอียดของ Encoder: จำนวนพัลส์ ต่อต่อรอบ ( Pulses Per Revolution, PPR) ของ Encoder ที่ใช้</li> <li>- ความเร็วในการหมุนของ Encoder: ความเร็วหรืออัตราการหมุนของ Encoder</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ค่าตำแหน่งสัมพัทธ์ (Relative Position, Pulses): ตำแหน่งที่คำนวณได้จากการ Integrate Discrete Velocity (การสะสมค่าของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง)</li> <li>- ค่าความเร็วที่คำนวณได้ (Pulses Per Second, PPS): ความเร็วที่คำนวณได้จากค่า diff_counts</li> <li>- ความแม่นยำของการอ่านค่าค่าที่อ่านได้ถูกต้องและตรงกับความจริงมากน้อยแค่ไหน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ประเภทของ Encoder ที่ใช้</li> <li>- ค่าพารามิเตอร์ในระบบ</li> </ul>

## นิยามศัพท์เฉพาะ

### 1. QEI Method

- เทคนิคที่ใช้ในการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ตำแหน่งเชิงมุมหรือเซ็นเซอร์การหมุนที่เรียกว่า Quadrature Encoder โดย QEI ทำงานโดยการตรวจจับสัญญาณสองสัญญาณ (A และ B) ที่มีความสัมพันธ์กันในลักษณะของการหมุนและทิศทางการเคลื่อนที่

### 2. Polling Method

- Polling Method เป็นเทคนิคการตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์หรือเซ็นเซอร์ในช่วงเวลาหนึ่ง โดยระบบจะ "สอบถาม" (poll) สถานะของอุปกรณ์อย่างต่อเนื่องหรือในช่วงเวลาเฉพาะเพื่อให้ได้ข้อมูลปัจจุบัน วิธีนี้จะใช้กันทั่วไปในระบบที่มีการสื่อสารแบบไม่ทันที

### 3. X1

- คือความละเอียดต่ำสุดในการอ่านค่าจาก Encoder โดยนับการขึ้นของสัญญาณ จาก Encoder ขา A ก่อน

### 4. X2

- คือความละเอียดระดับกลางในการอ่านค่าจาก Encoder โดยนับจากการขึ้นและลงของสัญญาณจาก Encoder ขา A

### 5. X4

- คือความละเอียดสูงสุดในการอ่านค่าจาก Encoder โดยนับจากการขึ้นและลงของสัญญาณจาก ขา Encoder ขา A และ B

### 6. Relative Position

- การวัดตำแหน่งสัมพัทธ์เมื่อเทียบกับตำแหน่งก่อนหน้า

### 7. Pulses

- รูปแบบสัญญาณที่เป็นสัญญาณไฟฟ้าคลื่นสี่เหลี่ยม ได้มาจากการวัดค่าจาก เซนเซอร์ Encoder รูปแบบต่างๆ

## นิยามเชิงปฏิบัติการ

### 1. ENCODER

- เซนเซอร์สำหรับการตรวจจับการหมุนรอบตัวเองเพื่อหาค่าต่างๆ เช่น ความเร็วเชิงมุม องศาการหมุน ระยะทางการเคลื่อนที่

### 2. Port

- พอร์ต ช่องสำหรับใช้ต่อสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อให้อุปกรณ์สามารถรับรู้หรือกำหนดสัญญาณทางไฟฟ้าได้

### 3. STM32 Nucleo Board

- บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาขึ้นโดย STMicroelectronics ใช้สำหรับการทดสอบและพัฒนาแอปพลิเคชันที่เกี่ยวกับการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยในที่นี้ใช้รุ่น STM32G474RE เพื่อควบคุมและเก็บข้อมูลการทดลอง

### 4. MATLAB

- โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล การคำนวณเชิงตัวเลข และการแสดงผลกราฟฟิก ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในวงการวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์

### 5. Simulink

- เครื่องมือเสริมในโปรแกรม MATLAB ใช้สำหรับการสร้างและจำลองโมเดลทางคณิตศาสตร์และระบบควบคุม ซึ่งช่วยในการวิเคราะห์และจำลองพฤติกรรมของระบบในรูปแบบของภาพกราฟิก

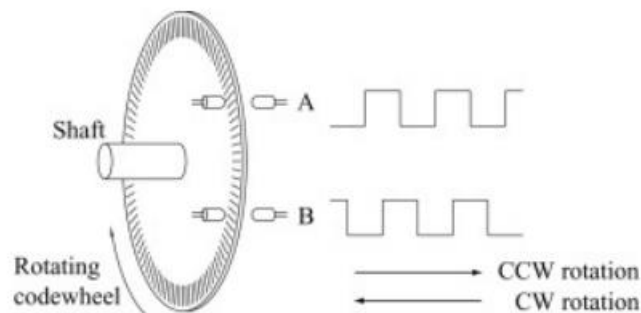
### 6. Data Inspector

- เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ผู้ใช้งานวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบ ตรวจสอบคุณภาพสัญญาณ และประเมินค่าตัวแปรในรูปแบบเชิงกราฟิกที่มาจากการจำลอง (Simulink) หรือจาก workspace

### 7. Workspace

- คือพื้นที่ที่จัดเก็บตัวแปร ข้อมูล และผลลัพธ์ต่าง ๆ ที่ถูกสร้างหรือไหลระหว่างการทำงานในโปรแกรม MATLAB

## เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

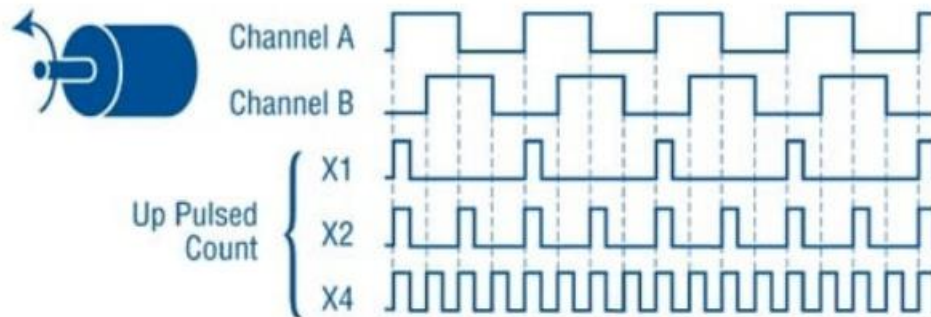


รูปแสดงการเข้ารหัสของ Encoder

ตัวเข้ารหัสแบบควอดรატูรประกอบด้วยสัญญาณพัลส์ A และ B ที่อยู่นอกเฟสกัน ซึ่งช่วยกำหนดทิศทางการหมุนของตัวเข้ารหัส โดยทิศทางนี้ถูกกำหนดจากการเลื่อนลำดับเฟสของพัลส์ A และ B หากขอบขึ้นของพัลส์ B เกิดขึ้นหลังขอบขึ้นของพัลส์ A แสดงว่าตัวเข้ารหัสหมุนในทิศทางหนึ่ง ในขณะที่ขอบขึ้นของ B เกิดหลังขอบลงของ A แสดงว่าตัว



เข้ารหัสหมุนไปในทิศทางตรงข้าม หากขอบขึ้นของ B ตามด้วยขอบลงของ B โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงในพัลส์ A จะหมายความว่าตัวเข้ารหัสไม่ได้เคลื่อนที่



รูปแสดงตัวอย่างของ x1 x2 x4

การอ่านแบบ QEI ทั้งหมด 3 รูปแบบที่ใช้ คือ x1 x2 x4 ในโหมด X1 จะนับเฉพาะสัญญาณที่เพิ่มขึ้นของช่องสัญญาณ A เท่านั้น ตัวอย่างเช่น หากช่องสัญญาณ A เพิ่มขึ้นในขณะที่ช่องสัญญาณ B อยู่ในระดับต่ำ จะถือเป็นการนับบวก (ทิศตามเข็มนาฬิกา) แต่ถ้าช่องสัญญาณ A เพิ่มขึ้นในขณะที่ช่องสัญญาณ B อยู่ในระดับสูง จะถือเป็นการนับลบ (ทิศทวนเข็มนาฬิกา) สำหรับโหมด X2 จะพิจารณาทั้งการเพิ่มขึ้นและลดลงของสัญญาณในช่อง A ทำให้การนับในโหมดนี้เป็นสองเท่าของโหมด X1 สุดท้ายในโหมด X4 จะพิจารณาทั้งการเพิ่มขึ้นและลดลงของสัญญาณในช่อง A และช่อง B ทำให้การนับในโหมดนี้เป็นสี่เท่าของโหมด X1

### การทดลอง

1. ทดลองความแตกต่างของความละเอียดของ QEI และ Polling
2. ความเร็วและความแม่นยำของสัญญาณของ QEI
3. การทดสอบทิศทางการหมุนสามารถระบุทิศการหมุนได้ถูกต้อง
4. เปรียบเทียบของสัญญาณของ QEI แบบ x4 x2 x1

### วัสดุอุปกรณ์

ลำดับ	ชื่อ	จำนวน	หน่วย
1	บอร์ด Nucleo STM32G474RE	1	อัน
2	Incremental Encoder AMT103-V	1	อัน
3	BOURNS PEC11R-4220F-N0024	1	อัน

## ขั้นตอนการดำเนินงาน

### 1. รายละเอียดการต่อสาย

การต่อสายระหว่างบอร์ด จำเป็นต้องใช้ขาสัญญาณทั้งหมด 4 ของ encoder ซึ่งประกอบด้วยขา 5V, ขา G (กราวด์), ขา A และ ขา B ตามรายละเอียดดังนี้

- ขา 5V: เป็นขาไฟเลี้ยงของ encoder โดยจะทำการจ่ายไฟที่ 3.3V ซึ่งเป็นแรงดันที่เหมาะสมในการใช้งานร่วมกับบอร์ด STM32G474RE
- ขา G (Ground): เป็นขากราวด์ซึ่งจะช่วยให้วงจรสมบูรณ์และเชื่อมกราวด์ระหว่าง encoder และ บอร์ด STM32G474RE
- ขา A: เป็นสัญญาณ Pulse Channel A ของ encoder ที่จะใช้ในการระบุทิศทางและนับพัลส์จะต่อกับขา PA6 ของบอร์ด STM32G474RE
- ขา B: เป็นสัญญาณ Pulse Channel B ของ encoder ที่ทำงานร่วมกับ Channel A ในการระบุทิศทางหมุนและนับพัลส์จะต่อกับขา PA7 ของบอร์ด STM32G474RE

### 2. การต่อสายแบบขนาน

เพื่อเพิ่มความละเอียดในการอ่านค่าจาก encoder ขาสัญญาณ A และ B จะถูกต่อแบบขนานกับพอร์ตเพิ่มเติมบนบอร์ด STM32G474RE ซึ่งช่วยให้สามารถเลือกความละเอียดได้ตั้งแต่ X1, X2, และ X4 โดยการจับคู่พอร์ตต่าง ๆ ดังนี้:

- ขา A ต่อกับพอร์ต PA6, PA11 และ PA8
- ขา B ต่อกับพอร์ต PA7, PA12 และ PA9

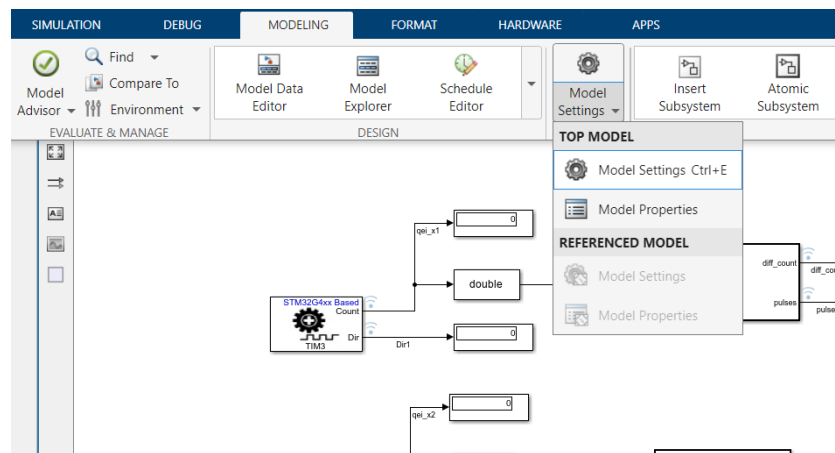
### 3. การอธิบายการตั้งค่าและการใช้งาน

การตั้งค่าพอร์ตสำหรับการอ่านค่า encoder สามารถตั้งค่าได้ผ่านโค้ดโปรแกรม โดยการกำหนดให้พอร์ต PA6, PA11, PA8 สำหรับขา A และพอร์ต PA7, PA12, PA9 สำหรับขา B จะสามารถเลือกใช้พอร์ตได้ตามความต้องการของระดับความละเอียดในการอ่านค่า encoder แบบQEI ได้ 3 รูปแบบ ดังนี้:

1. คู่พอร์ต PA6 และ PA7 (X1): การต่อขาสัญญาณ A กับพอร์ต PA6 และขาสัญญาณ B กับพอร์ต P7 จะทำให้สามารถอ่านพัลส์แบบ X1 การต่อแบบนี้มีความละเอียดพื้นฐาน
2. คู่พอร์ต PA11 และ PA12 (X2): การต่อขาสัญญาณ A กับพอร์ต PA11 และขาสัญญาณ B กับพอร์ต PA12 จะทำให้สามารถอ่านพัลส์แบบ X2 เพิ่มความละเอียดการนับพัลส์ได้เป็น 2 เท่า
3. คู่พอร์ต PA8 และ PA9 (X4): การต่อขาสัญญาณ A กับพอร์ต PA8 และขาสัญญาณ B กับพอร์ต P9 จะทำให้สามารถอ่านพัลส์แบบ X4 ความละเอียดสูงสุดในการอ่านพัลส์ได้เป็น 4 เท่า

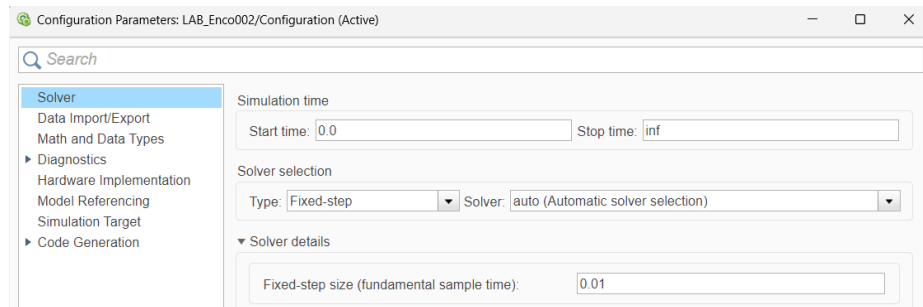
การตั้งค่าในโปรแกรม MATLAB โดย Simulink โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. กดที่ MODELING และกด Model setting



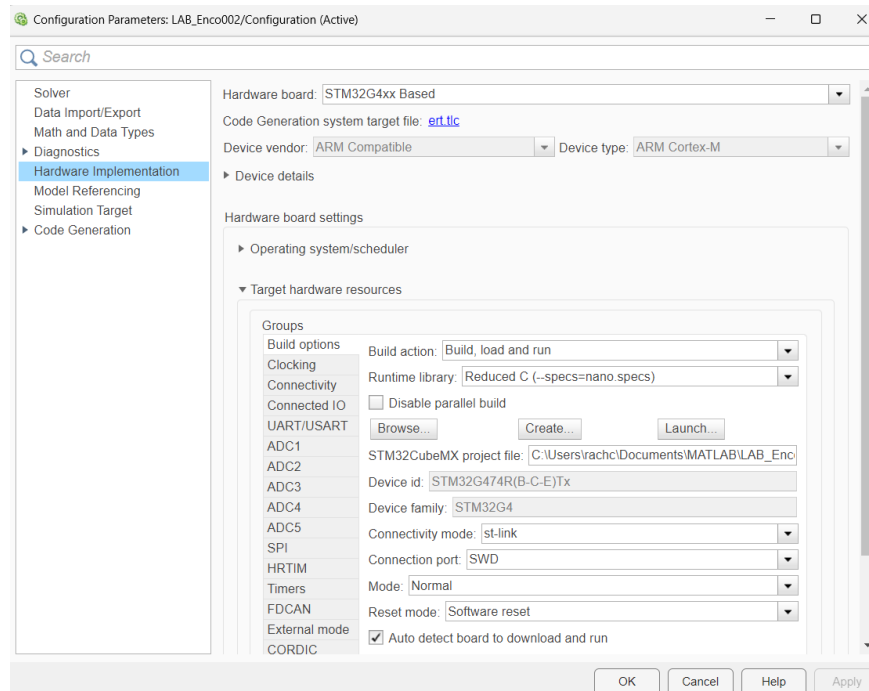
รูปการกดตั้งค่า Modeling Setting

2. การตั้งค่า step โดยกดที่ Solver กด Type เลือกเป็น Fixed-step และตั้งFixed-step size เป็น 0.01 เพื่อให้สามารถอ่านค่าได้ทัน



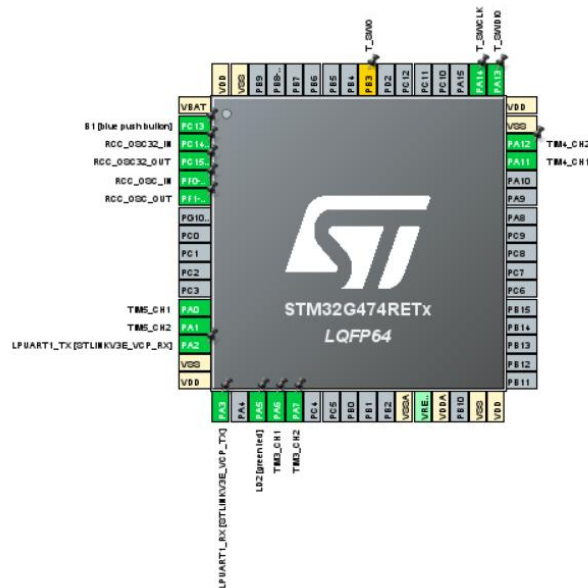
รูปการตั้งค่า Fixed-step

### 3. การตั้งค่า Hardware Implementation



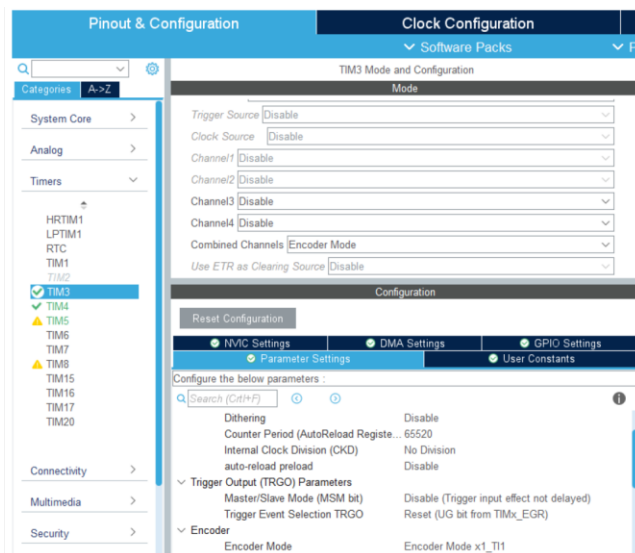
รูปตัวอย่างการตั้งค่า Hardware Implementation

#### 4. การตั้งค่า pin ใน โปรแกรม STM32



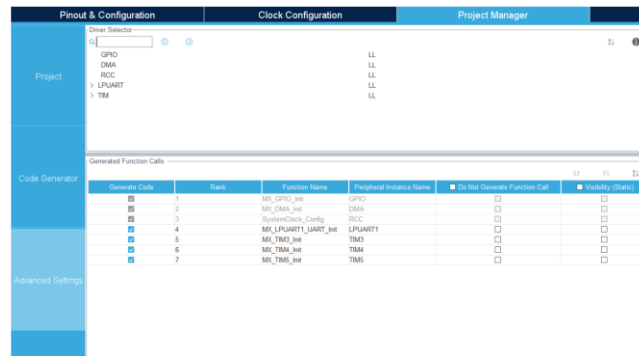
รูปการตั้ง PIN

#### 5. การตั้งค่า TIM



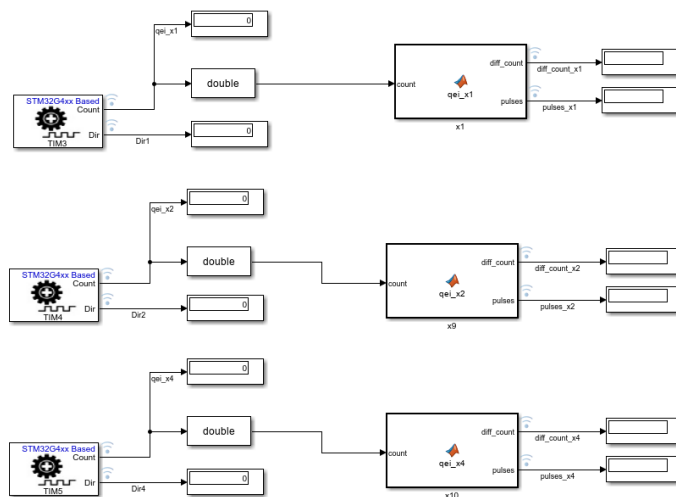
รูปตัวอย่างการตั้งค่า TIM

## 6. การตั้งค่า Project Manager

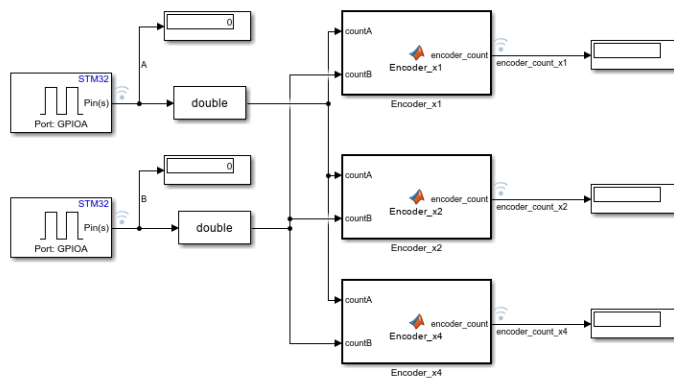


รูปตัวอย่างการตั้งค่า Project Manager

## 7. ตัวโปรแกรม simulink



รูปแสดงการทำงานของ Simulink แบบ QEI



รูปแสดงการทำงานของ Simulink แบบ Polling

## 8. การเขียนโปรแกรมในbox MATLAB Function

```

LAB_Enco002 ▶ x1
1 function [diff_count,pulses] = qei_x1(count)
2 persistent prev_count
3 persistent prev_pulses
4 enc = 65520;
5
6     if isempty(prev_count)
7         prev_count = 0;
8     end
9     if isempty(prev_pulses)
10        prev_pulses = 0;
11    end
12
13    diff_count = count- prev_count;
14    if diff_count > enc / 2
15        diff_count = diff_count - enc;
16    elseif diff_count < -enc / 2
17        diff_count = diff_count + enc;
18    end
19
20    prev_pulses = prev_pulses + diff_count;
21    prev_count = count;
22    pulses = prev_pulses
23
24 end
25
26

```

รูปแสดงโค้ดของ QEI x1 x2 x4

```
LAB_Enco002 ▸ Encoder_x1

1 function encoder_count = Encoder_x1(countA, countB)
2 persistent prev_countA prev_pulses
3 if isempty(prev_countA) prev_countA = countA; end
4 if isempty(prev_pulses) prev_pulses = 0; end
5
6 diff_countA = countA - prev_countA;
7 if diff_countA == -1
8     if countB == 1
9         prev_pulses = prev_pulses + 1;
10    else
11        prev_pulses = prev_pulses - 1;
12    end
13 else
14     prev_pulses = prev_pulses;
15
16 end
17
18 encoder_count = prev_pulses;
19 prev_countA = countA;
20
21 end
```

รูปแสดงโค้ดของ Encoder\_x1

```
LAB_Enco002 ▸ Encoder_x2

1 function encoder_count = Encoder_x2(countA, countB)
2 persistent prev_countA prev_pulses
3 if isempty(prev_countA), prev_countA = countA; end
4 if isempty(prev_pulses), prev_pulses = 0; end
5
6 if countA ~= prev_countA
7     if countA ~= countB
8         prev_pulses = prev_pulses + 1;
9     else
10        prev_pulses = prev_pulses - 1;
11    end
12 end
13
14 encoder_count = prev_pulses;
15 prev_countA = countA;
16 end
```

รูปแสดงโค้ดของ Encoder\_x2



```

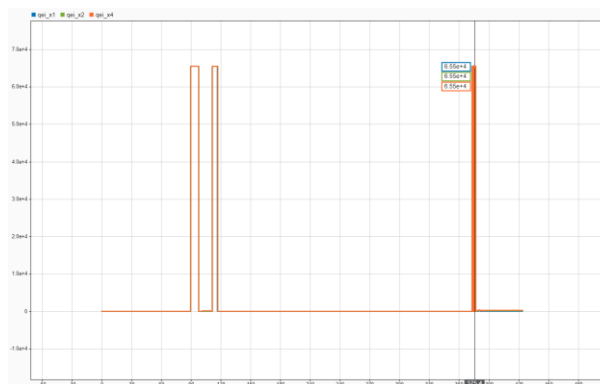
LAB_Enco002 ▶ Encoder_x4
1 function encoder_count = Encoder_x4(countA, countB)
2     persistent prev_countA prev_countB prev_pulses
3     if isempty(prev_countA), prev_countA = countA; end
4     if isempty(prev_countB), prev_countB = countB; end
5     if isempty(prev_pulses), prev_pulses = 0; end
6
7
8     if countA ~= prev_countA
9         if countA ~= countB
10            prev_pulses = prev_pulses + 1;
11        else
12            prev_pulses = prev_pulses -1;
13        end
14    end
15    if countB ~= prev_countB
16        if countB == countA
17            prev_pulses = prev_pulses +1;
18        else
19            prev_pulses = prev_pulses -1;
20        end
21    end
22
23    encoder_count = prev_pulses;
24    prev_countA = countA;
25    prev_countB = countB;
26 end

```

รูปแสดงโค้ดของ Encoder\_x4

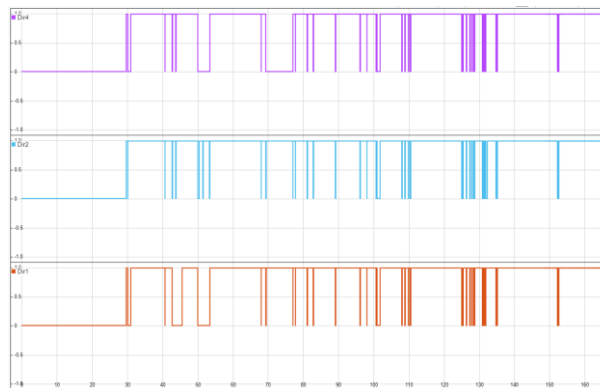
## ผลการทดลอง

1. ผลการทดลองที่เก็บค่าจาก Encoder พบว่าช่วงของค่าที่ Encoder สามารถอ่านได้อยู่ระหว่าง 0 ถึง 65520 ซึ่งแสดงถึงลักษณะของการนับแบบวงกลม (circular counting) ดังนี้
  - a. ค่าเริ่มต้นจะเริ่มที่ 0 และสามารถหมุน Encoder ได้ทั้งตามเข็มนาฬิกา (เพิ่มค่า) และทวนเข็มนาฬิกา (ลดค่า) ขึ้นอยู่กับทิศทางที่ Encoder หมุน
  - b. เมื่อค่าเพิ่มขึ้นไปจนถึงขอบเขตสูงสุดที่ 65520 หากมีการเพิ่มค่าเกินกว่านี้ ค่า Encoder จะ "วนกลับ" ไปเป็น 0 ใหม่ (wrap-around) ซึ่งเป็นการกลับสู่ค่าต่ำสุดอีกครั้ง
  - c. ในทางตรงกันข้าม หากค่าเริ่มลดลงจนต่ำกว่า 0 ค่า Encoder จะ "กระโดด" ไปยัง 65520 ซึ่งเป็นค่ามากสุดในช่วง



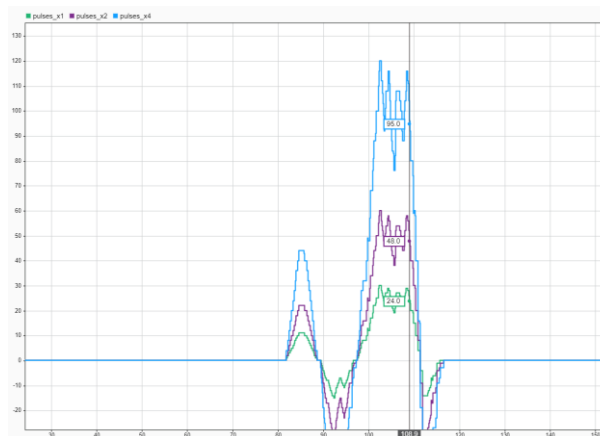
### รูปแสดงค่าที่ได้จาก Encoder

2. ดูการเปรียบเทียบของสัญญาณของ QEI แบบ  $x4 \times 2 \times 1$  ตามลำดับในโหมดการนับแบบ  $x4$ ,  $x2$  และ  $x1$  โดย
- กราฟสัญญาณ Dir4 (สีม่วง): แสดงโหมดการนับแบบ  $x4$  ซึ่งเป็นโหมดที่ละเอียดที่สุด เนื่องจากทุกการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณจะถูกนับ ทำให้มีจำนวนการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าโหมดอื่น
  - กราฟสัญญาณ Dir2 (สีฟ้า): แสดงโหมดการนับแบบ  $x2$  โดยในโหมดนี้จะนับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นครึ่งหนึ่งของโหมด  $x4$  ทำให้กราฟมีจำนวนการเปลี่ยนแปลงน้อยลง
  - กราฟสัญญาณ Dir1 (สีส้ม): แสดงโหมดการนับแบบ  $x1$  ซึ่งเป็นโหมดที่ละเอียดน้อยที่สุด เนื่องจากจะนับเฉพาะการเปลี่ยนแปลงทิศทางที่เกิดขึ้นครั้งเดียวในแต่ละรอบ ทำให้กราฟมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด



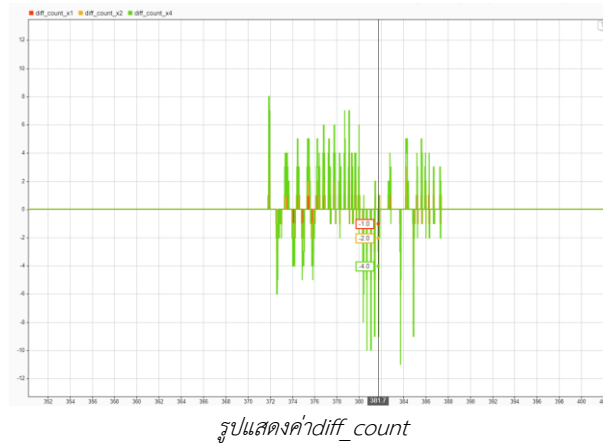
รูปเปรียบเทียบค่าที่ได้จาก Encoder แบบ  $x4 \times 2 \times 1$  ตามลำดับ

3. การกราฟจะเห็นได้ว่าค่าของ  $x4$  นั้นมีการเปลี่ยนค่าก่อน  $x2$  และ  $x1$  ในบ้าง เป็นเพราะค่า  $x4$  ความละเอียดมากที่สุดจึงทำให้เห็นค่าที่เปลี่ยนแปลงได้ดีกว่า

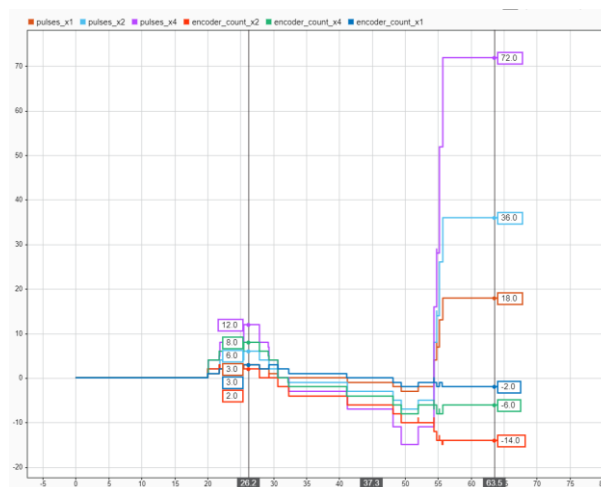


รูปแสดงค่าpulses ของ  $x1 \times 2 \times 4$

4. การทำงานของ diff\_count ในแต่ละโหมดค่าของ diff\_count ในโหมด x1, x2 และ x4 มีความสัมพันธ์กัน โดยโหมดที่มีความละเอียดมากกว่า (เช่น x4) จะให้ค่า diff\_count ที่สูงกว่าในสถานการณ์ที่มีความเร็วการหมุนเท่ากัน นอกจากนี้ หากเพิ่มความเร็วการหมุน ค่า diff\_count จะยิ่งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยโหมด x4 จะแสดงค่า diff\_count สูงสุด รองลงมาคือ x2 และ x1 ตามลำดับ



5. จากการทดลองเปรียบเทียบระหว่างวิธีการนับแบบ Polling Method และ QEI พบว่าเมื่อหมุนด้วยความเร็วต่ำ วิธี Polling Method สามารถนับค่าได้ใกล้เคียงกับ QEI แม้ว่าจะมีความคลาดเคลื่อนบ้างในบางครั้ง แต่ค่าโดยรวมยังคงใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการหมุนด้วยความเร็วสูง จะเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน โดย QEI ยังคงสามารถนับค่าได้อย่างถูกต้อง ในขณะที่ Polling Method มีความคลาดเคลื่อนสูงและเกิดความผิดพลาดในการนับ



## สรุปผล

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการอ่านค่าจาก Incremental Encoder โดยใช้วิธีการอ่านแบบ QEI (Quadrature Encoder Interface) กับวิธี Polling Method ในด้านความละเอียดและความแม่นยำของสัญญาณ โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า

1. QEI มีความแม่นยำสูงกว่า Polling Method โดยเฉพาะเมื่อมีการหมุน Encoder ด้วยความเร็วสูง ซึ่ง QEI สามารถนับค่าได้อย่างถูกต้อง ขณะที่ Polling Method มีความคลาดเคลื่อนมากขึ้น
2. การทดลองยังแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างในความละเอียดของการนับในโหมดต่าง ๆ ( $x1$ ,  $x2$ ,  $x4$ ) โดยโหมด  $x4$  มีความละเอียดสูงสุด ทำให้สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณได้ดีมากที่สุด
3. การทดลองยังสามารถระบุทิศทางการหมุนของ Encoder ได้อย่างถูกต้อง

## อภิปรายผล

ผลการทดลองชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกใช้วิธีการอ่านค่าจาก Encoder ที่เหมาะสมกับลักษณะการทำงานของระบบ โดย QEI แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการให้ข้อมูลที่แม่นยำและละเอียดมากขึ้น ซึ่งเหมาะสำหรับงานที่ต้องการความแม่นยำสูง เช่น ระบบควบคุมตำแหน่งหรือความเร็ว ในขณะที่ Polling Method แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดเมื่อมีการหมุนด้วยความเร็วสูง เนื่องจากวิธีนี้อาจไม่สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ทันทั่วทั้งที่ ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนและการนับที่ผิดพลาด ในการออกแบบระบบที่ต้องการความแม่นยำและการตอบสนองที่รวดเร็ว จึงควรพิจารณาการใช้ QEI เป็นทางเลือกที่ดีกว่านอกจากนี้ การเปรียบเทียบระหว่างโหมดการนับ ( $x1$ ,  $x2$ ,  $x4$ ) ยังแสดงให้เห็นว่าโหมด  $x4$  มีความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงที่ดีกว่า จึงควรพิจารณาการใช้โหมดนี้ในงานที่ต้องการความละเอียดสูงสุด แม้ว่าจะมีข้อจำกัดในเรื่องของความเร็วในการประมวลผลข้อมูล เนื่องจากต้องมีการนับการเปลี่ยนแปลงทุกขอบสัญญาณจากผลการทดลองทั้งหมด การเลือกวิธีการอ่านค่าจึงควรพิจารณาตามลักษณะของงานและความต้องการด้านความละเอียดและความแม่นยำ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูงสุดในระบบที่ต้องการใช้งาน.

## ข้อเสนอแนะ

- Polling Method อาจมีประสิทธิภาพที่ดีกว่านี้ขึ้นอยู่กับความเร็วในการเขียนโค้ด

## เอกสารอ้างอิง(แนบ link)

- <https://www.usdigital.com/support/resources/reference/technical-docs/white-papers/resolution-accuracy-and-precision-of-encoders/>

- <https://dewesoft.com/blog/measure-digital-encoder-and-counter-sensors>
- <https://www.motioncontroltips.com/faq-what-do-x1-x2-and-x4-position-encoding-mean-for-incremental-encoders/>
- <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/incremental-encoder>
- <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/432661/CUI/AMT103-V.html>

### 3. Magnetic Sensor

#### จุดประสงค์

1. ศึกษาหลักการทำงานของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor
2. ศึกษาการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าขาออก Magnetic Flux Density เปลี่ยนแปลง
3. สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Field Shielding และ Magnetic Flux Density
4. สามารถประยุกต์ใช้ MATLAB และ ร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจาก Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

#### สมมติฐาน

แรงดันไฟฟ้าขาออกจะแปรผกผันกับระยะของ Hall sensor กับแม่เหล็ก และจะแปรผันตรงกับความหนาแน่นของแม่เหล็ก

#### ตัวแปร

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม	ตัวแปรควบคุม
- ตำแหน่งการปรับระยะของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor	- แรงดันไฟฟ้าขาออกที่วัดได้	- แรงดันไฟฟ้าขาเข้า

## นิยามศัพท์เฉพาะ

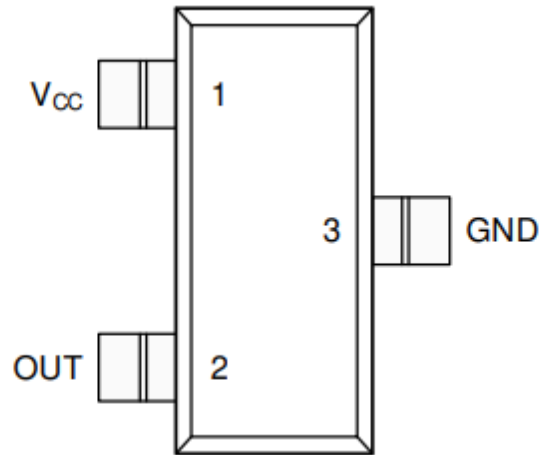
1. Hall Effect
  - เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะสร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้เกิดขึ้นในแนวตั้งฉากกับทั้งทิศทางของกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก
2. North and South pole magnetic
  - เป็นตำแหน่งที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กสูงสุด โดยทั้งสองขั้วนี้จะมีคุณสมบัติตรงข้ามกันและดึงดูดขั้วตรงข้าม ในขณะที่ขั้วเดียวกันจะผลักกัน
3. Voltage (แรงดันไฟฟ้า)
  - ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองจุดในวงจรไฟฟ้า วัดเป็นโวลต์ (Volt) แรงดันนี้เป็นตัวขับเคลื่อนการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำไฟฟ้า
4. Threshold
  - ระดับแรงดันที่ตั้งไว้สำหรับการเปลี่ยนสถานะในวงจรที่มีการควบคุมด้วยแรงดัน
5. Analog
  - คือสัญญาณที่มีลักษณะเป็นค่าต่อเนื่อง สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างลื่นไหลไม่มีการแบ่งเป็นช่วง กราฟไม่มีการกระโดดระหว่างค่าเป็นกราฟที่ต่อเนื่อง
6. Sensitivity Linearity
  - กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Output Voltage กับ Magnetic Flux Density เป็นรูปแบบเส้นตรงในช่วงเฉพาะของ Linear range of output voltage เพื่ออธิบายความแม่นยำของเซ็นเซอร์
7. Linear Graph
  - ค่า y เพิ่มขึ้นสม่ำเสมอเป็นเส้นตรง ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงที่คงที่
8. Ratio metric
  - คุณสมบัติของเซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์ที่แรงดันขาแปรผันตามแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่ใช้กับระบบ
9. Supply Voltage
  - แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์หรือวงจรเพื่อให้ทำงานได้
10. Magnetic flux density
  - ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กคือการวัดความแรงของสนามแม่เหล็กที่กระจายอยู่ในพื้นที่หนึ่ง ๆ โดยแสดงเป็นปริมาณฟลักซ์แม่เหล็กต่อหน่วยพื้นที่
11. Magnetic flux direction
  - ทิศทางการไหลของสนามแม่เหล็กจากขั้วเหนือ (North) ไปยังขั้วใต้ (South) ของแม่เหล็ก

## นิยามเชิงปฏิบัติการ

1. Ratiometric Linear Hall Effect Sensor
  - คือเซ็นเซอร์วัดสนามแม่เหล็กที่ให้สัญญาณขาออกเชิงเส้นตามสนามแม่เหล็กที่ตรวจจับได้ โดยแรงดันขาออกจะเป็นสัดส่วนกับแรงดันอ้างอิง
2. Shield
  - วัสดุป้องกันเพื่อป้องกันอุปกรณ์หรือวงจรจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวน (EMI) หรือสนามแม่เหล็กที่อาจกระทบต่อสัญญาณหรือการทำงาน
3. STM32 Nucleo Board
  - บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาขึ้นโดย STMicroelectronics ใช้สำหรับการทดสอบและพัฒนาแอปพลิเคชันที่เกี่ยวกับการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยในที่นี้ใช้รุ่น STM32G474RE เพื่อควบคุมและเก็บข้อมูลการทดลอง
4. MATLAB
  - โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล การคำนวณเชิงตัวเลข และการแสดงผลกราฟฟิก ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในวงการวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์
5. Simulink
  - เครื่องมือเสริมในโปรแกรม MATLAB ใช้สำหรับการสร้างและจำลองโมเดลทางคณิตศาสตร์และระบบควบคุม ซึ่งช่วยในการวิเคราะห์และจำลองพฤติกรรมของระบบในรูปแบบของภาพกราฟิก
6. MagneticXplorer
  - คือฐานที่บรรจุบอร์ดควบคุม,Breadboard,DRV5055A2,3D-print ใช้ในการปรับระยะแม่เหล็กกับ Sensor

## เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

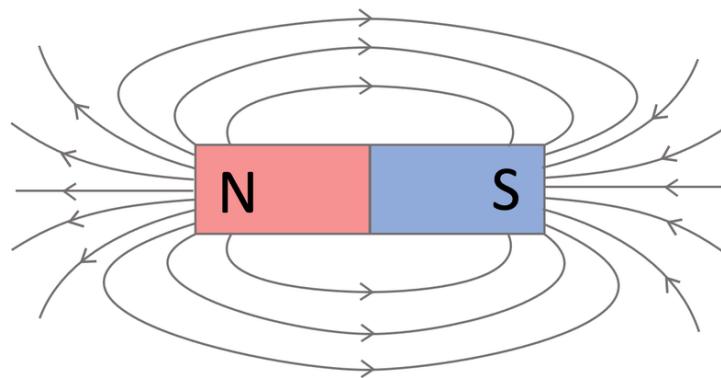
DRV5055 เป็นเซ็นเซอร์วัดสนามแม่เหล็กแบบฮอลล์เอฟเฟกต์ (Hall Effect Sensor) ที่ใช้สำหรับตรวจจับ Flux Magnetic Density หรือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก ในทิศทางที่กำหนด โดยเซ็นเซอร์จะให้สัญญาณแรงดันเอาต์พุตเป็นค่าอะนาล็อกที่สัมพันธ์กับขนาดของฟลักซ์แม่เหล็กที่ตรวจจับได้



รูปแสดงลักษณะขาของ DRV5055

Magnetic Flux Density หรือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก คือปริมาณที่บ่งบอกถึงความแรงของสนามแม่เหล็ก ในบริเวณที่เซนเซอร์ตรวจจับได้ โดยหน่วยของความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กคือเทสลา (Tesla; T) หรือมิลลิเทสลา (mT) ซึ่งสัญญาณแรงดันจาก DRV5055 จะแสดงตามขนาดของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในบริเวณที่เซนเซอร์ติดตั้ง เมื่อฟลักซ์แม่เหล็กที่เข้ามามีความหนาแน่นสูง ค่าความแรงดันเอาต์พุตจะสูงขึ้นเช่นกัน และหากความหนาแน่นต่ำ แรงดันเอาต์พุตจะลดลงตามไปด้วย

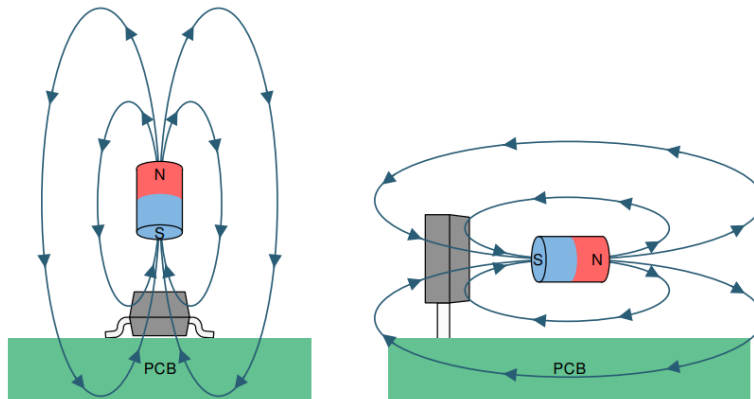
DRV5055 สามารถตรวจจับ Magnetic Flux Direction ทิศทางของสนามแม่เหล็ก ในทิศทางเดียว ซึ่งหมายความว่าเซนเซอร์นี้มีการตอบสนองในทิศทางที่ตั้งฉากกับแผงเซนเซอร์ โดยทิศทางนี้เป็นไปตามตำแหน่งของสนามแม่เหล็ก เมื่อทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนไป ความหนาแน่นฟลักซ์ที่ตรวจจับได้จะเปลี่ยนแปลงเช่นกัน ส่งผลให้แรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนตาม



รูปแสดงลักษณะสนามแม่เหล็ก



Hall Effect คือปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านแผ่นตัวนำหรือเซมิคอนดักเตอร์ในทิศทางหนึ่ง และมีสนามแม่เหล็กมากระทำในทิศทางที่ตั้งฉากกับการไหลของกระแส กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำจะถูกเบี่ยงเบนทิศทาง ทำให้อิเล็กตรอนสะสมตัวอยู่ด้านหนึ่งของแผ่นตัวนำ ซึ่งจะเกิดเป็นแรงดันที่เรียกว่า แรงดันฮอลล์ (Hall Voltage) ในทิศทางที่ตั้งฉากทั้งกับกระแสและสนามแม่เหล็ก แรงดันฮอลล์นี้สามารถวัดค่าได้และนำมาใช้เพื่อบ่งบอกขนาดของสนามแม่เหล็กที่มากระทำ



รูปแสดงตัวอย่างการทำงานของเซนเซอร์

Magnetic Response การตอบสนองของเซนเซอร์หรืออุปกรณ์ต่อสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งมักเกี่ยวข้องกับการวัดความเข้มและทิศทางของสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น mV/G (มิลลิโวลต์ต่อเกาส์) หมายความว่าแรงดันขาออกจะเปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มของสนามแม่เหล็ก มีสมการดังนี้

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

$V_{out}$ : แรงดันขาออกจากเซนเซอร์ที่ต้องการวัด

$V_Q$ : แรงดันที่เซนเซอร์อ่านได้เมื่อไม่มีสนามแม่เหล็ก (Quiescent Voltage)

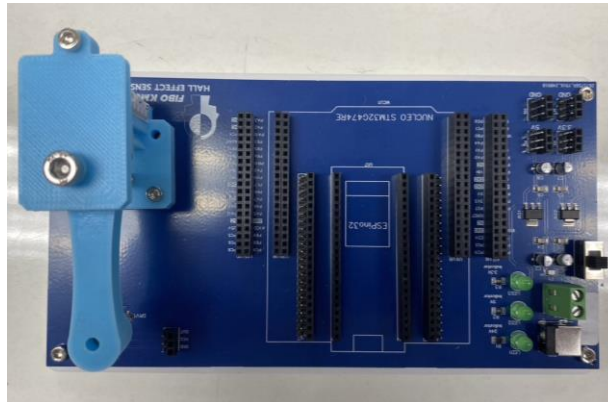
$B$ : Magnetic Flux Density (ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก) ในหน่วยที่เซนเซอร์อ่านได้

$Sensitivity(25^{\circ}C)$ : ค่าความไวของเซนเซอร์ที่อุณหภูมิ 25°C (ปกติจะให้มีในเอกสารข้อมูลของเซนเซอร์ เช่น mV/G หรือ mV/T)

$STC$ : ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงความไวต่ออุณหภูมิ (Sensitivity Temperature Coefficient) ซึ่งแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อองศาเซลเซียส

$T_A$ : อุณหภูมิแวดล้อมที่ทำการวัด (Ambient Temperature) ในหน่วยองศาเซลเซียส

## การทดลอง



รูปแสดงลักษณะบอร์ด MagneticXplorer

การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองของ DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor และเปรียบเทียบค่าที่ได้ระหว่างการใส่ Shield กับไม่ใส่ Shield

## วัสดุอุปกรณ์

ลำดับ	ชื่อ	จำนวน	หน่วย
1	บอร์ด Nucleo STM32G474RE	1	อัน
2	บอร์ด MagneticXplorer	1	อัน
3	แผ่นแม่เหล็กถาวร	1	แผ่น

## ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ทำการเชื่อมต่อ DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor เข้ากับบอร์ด Nucleo STM32G474RE เพื่อรับค่าแรงดันไฟฟ้า Analog ที่ได้จาก Magnetic Sensor



รูปแสดงลักษณะบอร์ด Nucleo STM32G474RE

- ใช้ฟังก์ชัน MATLAB เพื่ออ่านค่าแรงดันไฟฟ้า Analog จากเซนเซอร์ผ่านพิน ADC ของบอร์ด Nucleo STM32G474RE ทำการแปลงค่า ADC ที่ได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0 - 3.3V โดยตรงตามค่าที่วัดได้ เพื่อให้สามารถประมวลผลและนำไปวิเคราะห์ได้

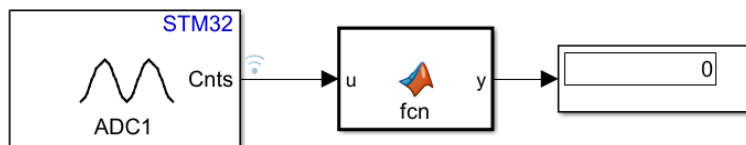
```

1 function y = fcn(u)
2     in_min= 0;
3     out_min=0;
4     out_max=3.3;
5     in_max=4095;
6     y= double(u - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;

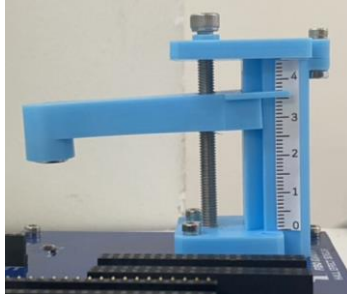
```

รูปแสดงลักษณะโปรแกรมใน Simulink

- ทำการเก็บค่าแรงดันที่เซนเซอร์ส่งออกมาทุกๆ 5 มิลลิเมตรของระยะห่างระหว่างเซนเซอร์และแหล่งแม่เหล็กเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างกับแรงดันที่เซนเซอร์ส่งออกมาได้อย่างละเอียด และบันทึกค่าที่ได้ทั้งในกรณีที่ใส่ Shield และไม่ใส่ Shield เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์ได้



รูปแสดงลักษณะ Simulink



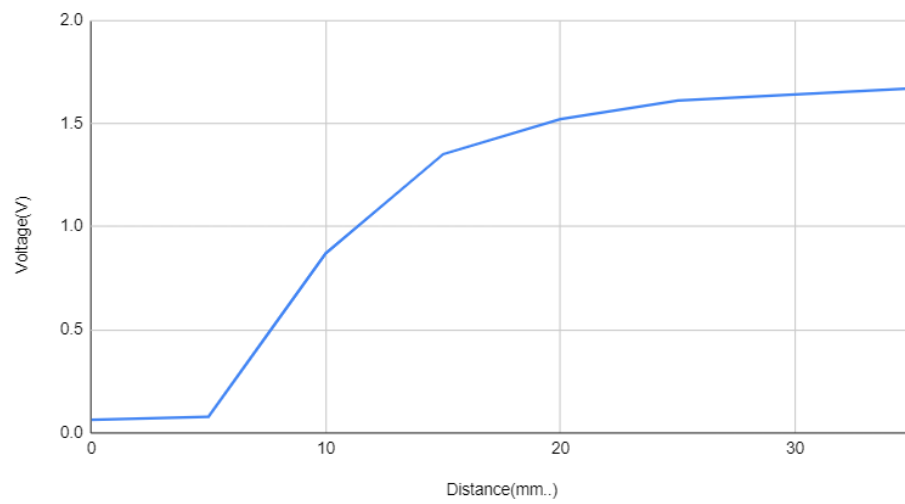
รูปแสดงวัตรยะของ DRV5055

4. นำค่าแรงดันที่ได้จากเซนเซอร์ในแต่ละระยะห่างไปพล็อตเป็นกราฟเส้นใน Excel เพื่อดูแนวโน้มของการตอบสนองแรงดันไฟฟ้าต่อระยะห่างจากแหล่งแม่เหล็ก
5. ใช้สมการหรือตารางการแปลงที่กำหนดไว้ในข้อมูลทางเทคนิคของ DRV5055 เพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ได้เป็นค่าเทียบกับความเข้มของสนามแม่เหล็ก
6. นำค่าที่แปลงได้จากแรงดันเป็นความเข้มสนามแม่เหล็กมาพล็อตเป็นกราฟเพื่อตรวจสอบการตอบสนองความแม่นยำของเซนเซอร์
7. ตรวจสอบและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง

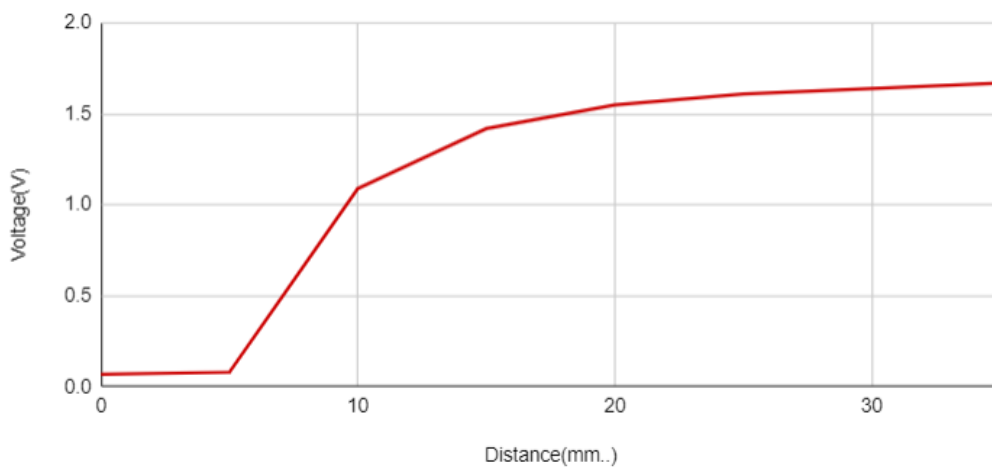
## ผลการทดลอง

เมื่อทดลองตรวจสอบค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกที่วัดได้หลังจากการปรับระยะของ Ratiometric Linear Hall Effect Sensor โดยมีแกน (แกน X) เป็นระยะทางหน่วยเป็นมิลลิเมตร และแกนตั้ง (แกน Y) เป็นแรงดันหน่วยเป็นโวลต์ เส้นสีแดงแสดงถึงการมีแผ่นแม่เหล็กถาวร (With Shield) และเส้นสีฟ้าแสดงถึงการไม่ได้ใช้แผ่นแม่เหล็กถาวร (Without Shield) ได้ผลดังนี้

1. North Pole without Shield

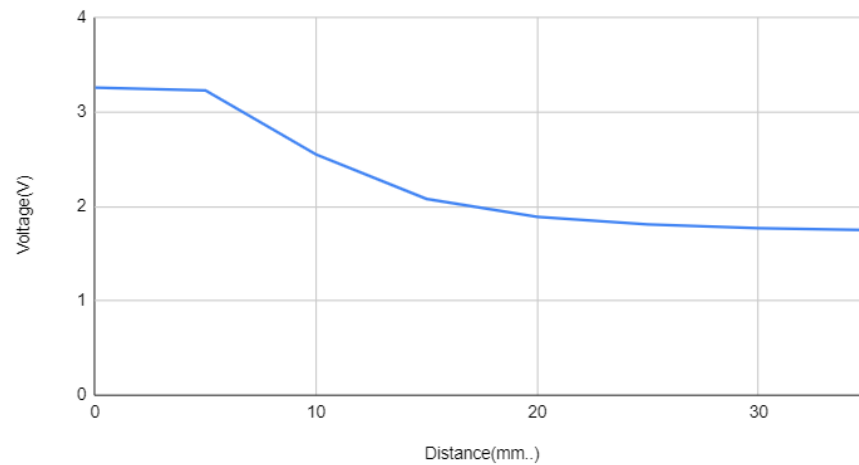


## 2.North Pole with Shield



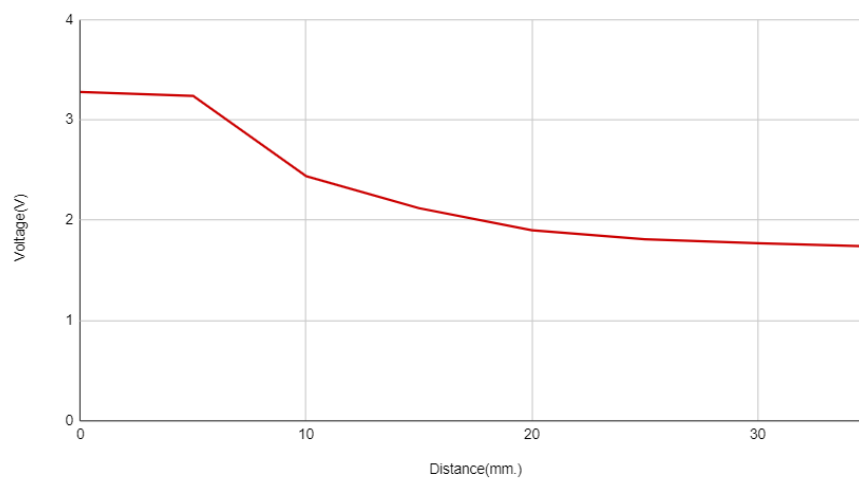
ระยะ mm	0	5	10	15	20	25	30	35
แรงดันไฟฟ้า	0.07	0.08	1.09	1.42	1.55	1.61	1.64	1.67

## 3. South Pole without Shield



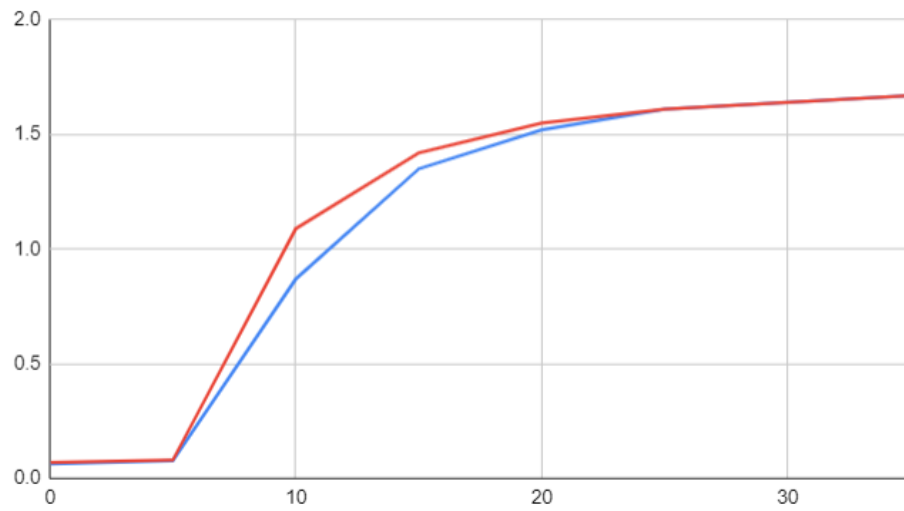
ระยะ mm	0	5	10	15	20	25	30	35
แรงดันไฟฟ้า	3.26	3.23	2.55	2.08	1.89	1.81	1.77	1.75

#### 8. South Pole with Shield

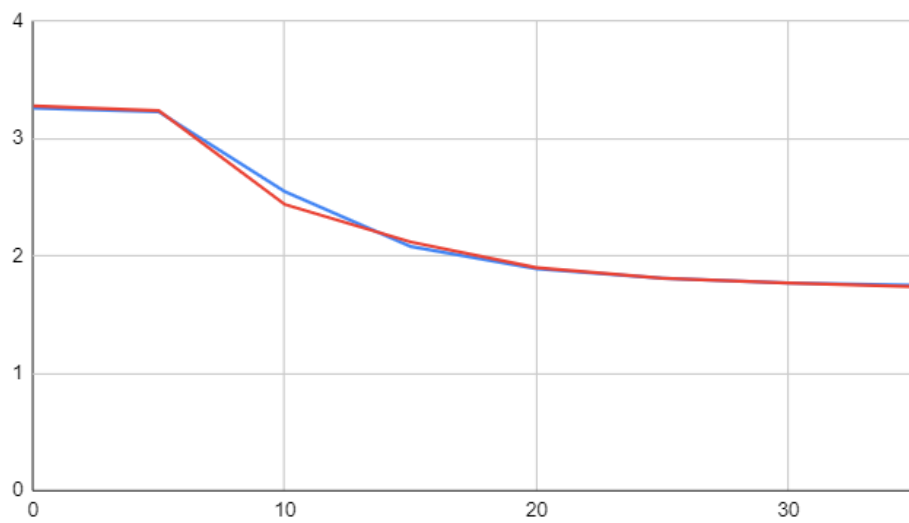


ระยะ mm	0	5	10	15	20	25	30	35
แรงดันไฟฟ้า	3.28	3.24	2.44	2.12	1.9	1.81	1.77	1.74

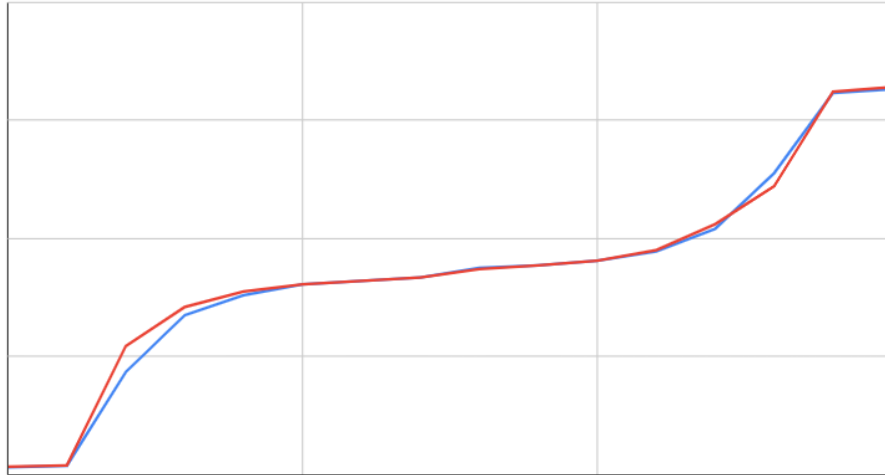
#### 5. North pole without Shield & North pole with Shield



6. South pole without Shield & South pole with Shield



7. เมื่อนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาพล็อตเป็นกราฟเดียวจะได้ผลดังนี้



8.นำค่า Voltage ขาออกที่ได้ใส่ในสมการเพื่อหาค่า Flux magnetic density

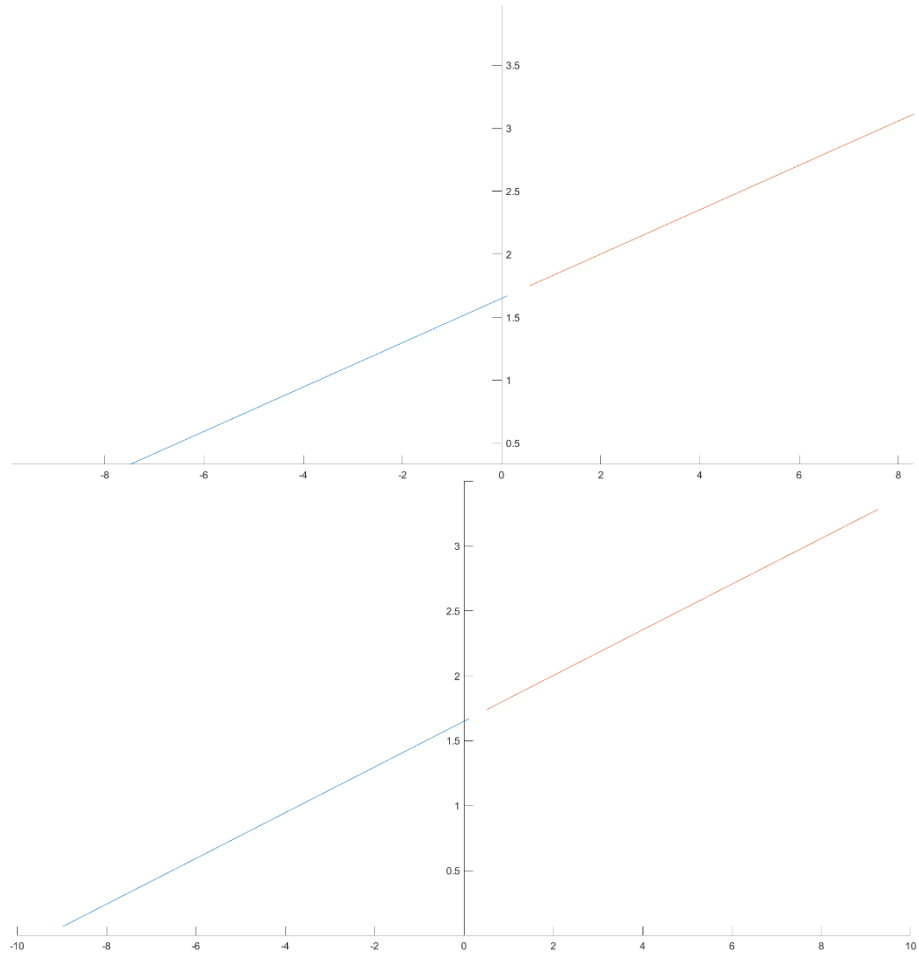
$$V_{out} = V_Q + B \times Sensitivity(25^\circ C) \times (1 + STC \times (T_A - 25^\circ C))$$

แทน  $T_A = 25$  ,  $Sensitivity(25^\circ C) = 176$  ,  $V_Q = 1650$  จะได้เป็น

$$B = \frac{V_{out} - 1650}{176}$$

9.นำค่าที่ได้ไปทำเป็นกราฟ Sensitivity Linear โดยมีแกน x เป็น ค่า Flux magnetic density และแกน y เป็น ค่า Voltage ขาออก





## สรุปผล

การทดลองนี้ได้แสดงให้เห็นถึงความสามารถของเซนเซอร์ DRV5055 ในการตรวจจับความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) และความสัมพันธ์ของค่าแม่เหล็กกับแรงดันไฟฟ้าขาออก (Output Voltage) ที่สามารถแปรผันได้ตามระยะห่างระหว่างเซนเซอร์และแม่เหล็ก

ทดลองแสดงให้เห็นว่า:

- เมื่อใช้แม่เหล็กขั้วเหนือ ค่า Magnetic Flux Density จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น แรงดันขาออกที่วัดได้จะต่ำกว่าเกณฑ์ (Threshold)
- เมื่อใช้แม่เหล็กขั้วใต้ ค่า Magnetic Flux Density จะลดลงเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น แรงดันขาออกที่วัดได้จะสูงกว่าเกณฑ์ (Threshold)

- การใส่แผ่นแม่เหล็กถาวรส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อ Magnetic Flux Density แต่สามารถช่วยกระจายฟลักซ์ได้ดีขึ้น ซึ่งทำให้สัญญาณมีความเสถียร
- นอกจากนี้ การคำนวณ Sensitivity Linear โดยใช้ค่าความไวของเซนเซอร์ที่อุณหภูมิ 25°C และปรับตามความแปรผันอุณหภูมิ ช่วยให้ค่าที่วัดได้มีความแม่นยำยิ่งขึ้น ซึ่งสนับสนุนผลการทดลองที่ได้และช่วยให้การออกแบบระบบมีความถูกต้องมากขึ้น

## อภิปรายผล

การตอบสนองของแรงดันขาออกที่แตกต่างกันตามขั้วแม่เหล็กที่ใช้ แสดงให้เห็นถึงความไวต่อขั้วของเซนเซอร์ DRV5055 ในการตรวจจับทิศทางและความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก โดยพบว่าขั้วเหนือและขั้วใต้ทำให้เกิดการแปรผันที่ต่างกัน ข้อมูลนี้มีประโยชน์สำหรับการกำหนดตำแหน่งและการติดตั้งเซนเซอร์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน

แม้ว่าการใส่แผ่นแม่เหล็กถาวรจะมีผลเพียงเล็กน้อยต่อ Magnetic Flux Density ที่วัดได้ แต่กลับส่งผลดีในแง่ของการทำให้สัญญาณแรงดันขาออกมีเสถียรมากขึ้น ซึ่งสำคัญสำหรับการวัดที่ต้องการความแม่นยำในการประเมินค่าอย่างต่อเนื่อง

การปรับค่า Sensitivity Linear ด้วยสมการข้างต้นที่คำนึงถึงอุณหภูมิ ทำให้ค่าที่วัดได้มีความแม่นยำสูงขึ้น การวิเคราะห์ Sensitivity Linear ช่วยให้สามารถแปลงสัญญาณ Magnetic Flux Density เป็นแรงดันขาออกได้อย่างแม่นยำ ทำให้การวัดค่า Magnetic Flux Density ตอบสนองต่อการใช้งานในสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดีขึ้น

## ข้อเสนอแนะ

-เก็บข้อมูลของแรงดันต่อระยะทางให้ละเอียดขึ้นจะได้ค่ากราฟแม่นยำมากขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- [https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv5055.pdf?ts=1730121215073&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv5055.pdf?ts=1730121215073&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)
- <https://th.ahest.org/info/hall-sensor-purpose-83350346.html>
- [https://www-ablic-com.translate.goog/en/semicon/products/sensor/magnetism-sensor-ic/intro3/?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=th&\\_x\\_tr\\_hl=th&\\_x\\_tr\\_pto=tc](https://www-ablic-com.translate.goog/en/semicon/products/sensor/magnetism-sensor-ic/intro3/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=th&_x_tr_hl=th&_x_tr_pto=tc)

# Single Point Load Cell with INA125 Instrumentation Amplifier

## จุดประสงค์

1. ศึกษาและทำความเข้าใจหลักการทำงานของ Load Cell แบบ Strain Gauge
2. ศึกษาและประยุกต์ใช้หลักการ Signal Conditioning
3. เรียนรู้เกี่ยวกับ Wheatstone Bridge
4. สามารถประยุกต์ใช้ MATLAB และ ร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจาก Single point load cell ที่ผ่าน INA125 Instrumentation Amplifier

## สมมติฐาน

แรงดันไฟฟ้าขาออกจะแปรผันตรงกับน้ำหนักที่ใส่เพิ่ม และการใช้ INA125 Instrumentation Amplifier จะช่วยขยายสัญญาณ Output ของ Load Cell ให้อยู่ในระดับที่สามารถอ่านค่าได้อย่างชัดเจน

## ตัวแปร

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม	ตัวแปรควบคุม
- น้ำหนักที่ใส่ลงไปใน Load Cell - การตั้งค่าความต้านทาน $R_g$ ของ INA125	- แรงดันไฟฟ้าขาออกที่วัดได้ - ค่า Gain ที่คำนวณจาก $V_{out}$ -	- แรงดันไฟฟ้าขาเข้า

## นิยามศัพท์เฉพาะ

1. Voltage (แรงดันไฟฟ้า)
  - ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองจุดในวงจรไฟฟ้า วัดเป็นโวลต์ (Volt) แรงดันนี้เป็นตัวขับเคลื่อนการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำไฟฟ้า
2. Strain Gauge
  - เซนเซอร์ที่ใช้ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงในรูปทรงของวัตถุ โดยจะวัดจากการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน
3. Wheatstone Bridge
  - เป็นวงจรไฟฟ้าที่ใช้หลักการของการสมดุลของแรงดันไฟฟ้า เพื่อช่วยในการวัดความต้านทานที่ไม่ทราบค่าได้อย่างแม่นยำ

#### 4. Instrumentation Amplifier

- แอมพลิฟายเออร์ที่ออกแบบมาเพื่อขยายสัญญาณที่อ่อนหรือมีความแตกต่างน้อยมากในสภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณรบกวนสูง

#### 6. Gain

- อัตราการขยายสัญญาณในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต

### นิยามเชิงปฏิบัติการ

#### 1. Load Cell

- อุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงแรง (force) หรือมวล (mass) ให้กลายเป็นสัญญาณไฟฟ้า

#### 2. Multimeter

- เครื่องมือวัดที่สามารถวัดค่าทางไฟฟ้าหลัก ๆ ได้ เช่น แรงดันไฟฟ้า (Voltage), กระแสไฟฟ้า (Current), และความต้านทาน (Resistance)

#### 3. STM32 Nucleo Board

- บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาขึ้นโดย STMicroelectronics ใช้สำหรับการทดสอบและพัฒนาแอปพลิเคชันที่เกี่ยวกับการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยในที่นี้ใช้รุ่น STM32G474RE เพื่อควบคุมและเก็บข้อมูลการทดลอง

#### 4. MATLAB

- โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล การคำนวณเชิงตัวเลข และการแสดงผลกราฟฟิก ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในวงการวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์

#### 5. Simulink

- เครื่องมือเสริมในโปรแกรม MATLAB ใช้สำหรับการสร้างและจำลองโมเดลทางคณิตศาสตร์และระบบควบคุม ซึ่งช่วยในการวิเคราะห์และจำลองพฤติกรรมของระบบในรูปแบบของภาพกราฟิก

#### 6. Trimpot

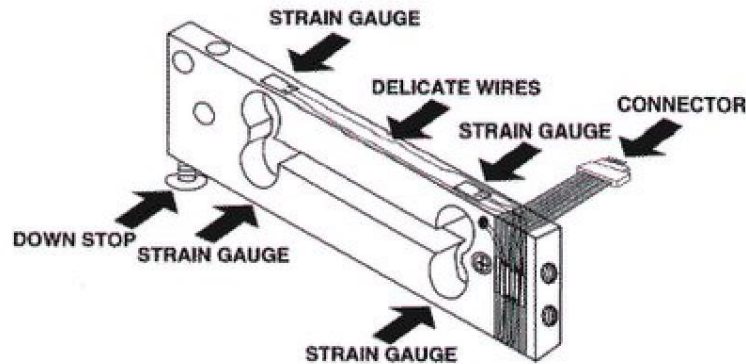
- โพรเทนซิโอมิเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถปรับความต้านทานได้ มีขนาดกะทัดรัดและถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการปรับแต่งค่าความต้านทานของวงจรอย่างละเอียด

#### 7. LoadCellXplorer

- คือฐานที่บรรจุบอร์ดควบคุม, Breadboard, DRV5055A2, 3D-print ใช้สำหรับการประกอบกับ Load cell

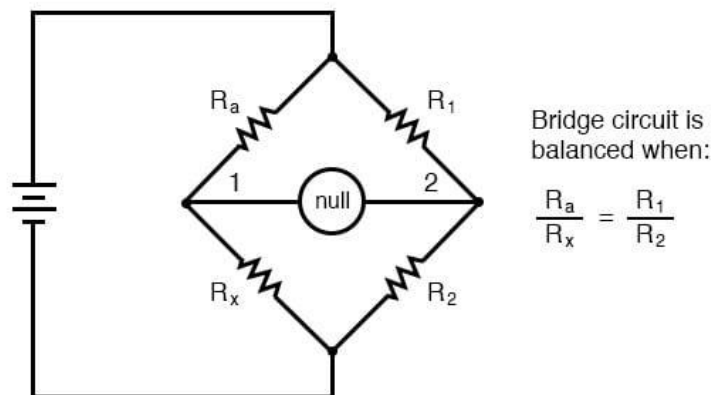
## เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Load Cell แบบ Strain Gauge เป็นอุปกรณ์วัดแรงที่ทำงานโดยใช้ Strain Gauge ซึ่งเป็นเซนเซอร์ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัตถุที่เกิดจากการกระทำของแรง แรงที่มากระทำจะทำให้โครงสร้างโลหะภายในโหลดเซลล์เกิดการยืดหรือหด Strain Gauge ที่ติดอยู่บนโครงสร้างโลหะนี้จะตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างและแปลงเป็นการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานไฟฟ้า ซึ่งจะถูกแปลงสัญญาณอีกครั้งเป็นแรงหรือน้ำหนัก



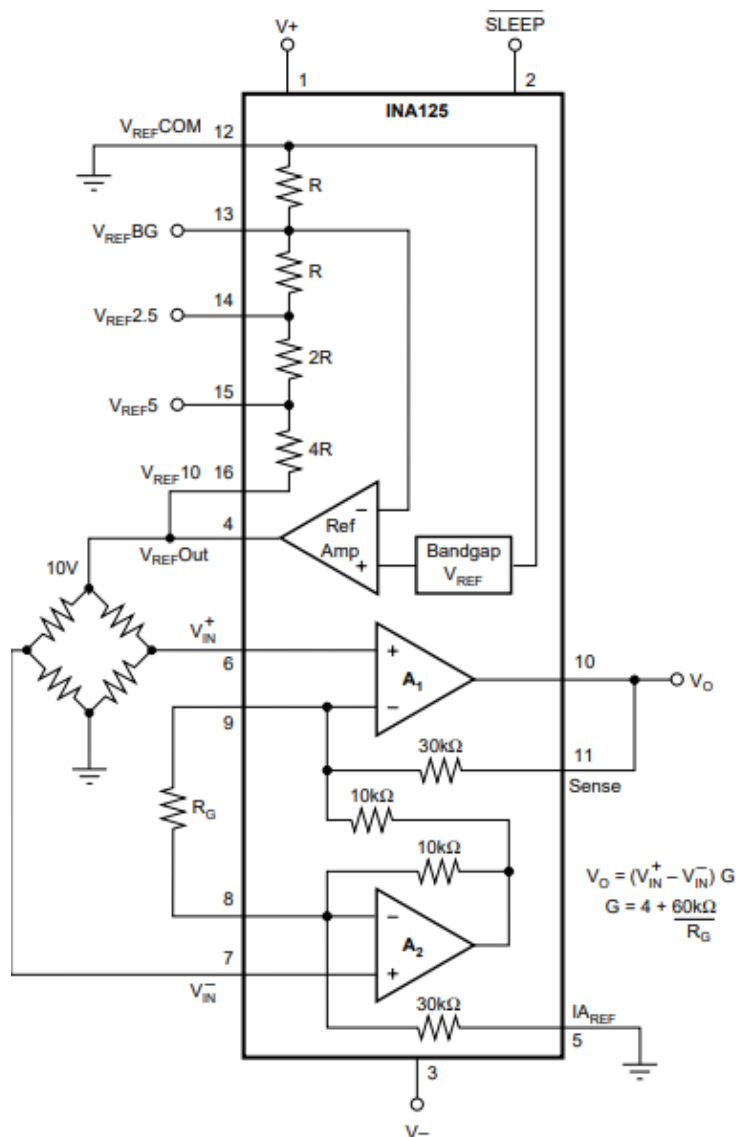
รูปแสดงลักษณะ Load cell

วงจร Wheatstone Bridge เป็นวงจรไฟฟ้าที่ใช้หลักการของการสมดุลของแรงดันไฟฟ้า เพื่อช่วยในการวัดความต้านทานที่ไม่ทราบค่าได้อย่างแม่นยำ ประกอบด้วยตัวต้านทาน 4 ตัวที่เรียงต่อกันในลักษณะรูปสี่เหลี่ยม ในกรณีที่ตัวต้านทานทั้งสี่ตัวมีค่าเท่ากัน วงจรจะสมดุล กระแสไฟฟ้าจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างจุดกลางของวงจร แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานในแขนใดแขนหนึ่งของวงจร ความต้านทานจะเปลี่ยนไปตามแรงที่มากระทำ ความไม่สมดุลนี้จะสร้างแรงดันไฟฟ้าต่างศักย์ขึ้นระหว่างจุดวัดกลางของวงจรข้างสามารถวัดได้ และนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงหรือหาค่าแรงที่มากระทำ



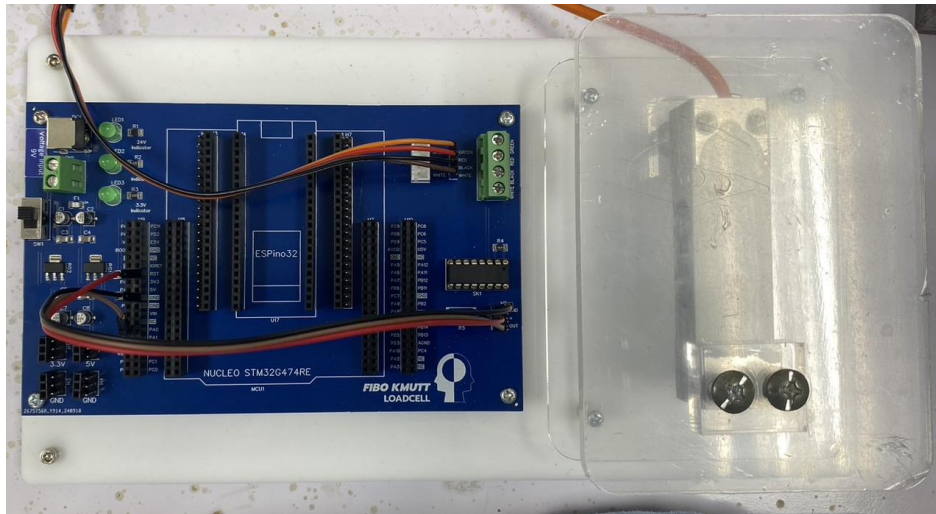
รูปแสดงลักษณะ Wheatstone Bridge

INA125 Instrumentation Amplifier เป็นชิปแอมพลิฟายเออร์ที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับการขยายสัญญาณจากเซนเซอร์แบบบริดจ์ เช่น โหลดเซลล์ (Load Cells) และ strain gauge โดยจะขยายสัญญาณแรงดันที่ได้จากวงจร Wheatstone Bridge ซึ่งสัญญาณจากเซนเซอร์เหล่านี้มักมีขนาดเล็กมาก ทำให้ต้องใช้แอมพลิฟายเออร์ที่มีความแม่นยำสูงในการขยายสัญญาณ



รูปแสดงลักษณะ INA125

## การทดลอง



รูปแสดงลักษณะบอร์ด LoadCellXplorer

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองของ Single Point Load Cell YZC-131A เมื่อตรวจจับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น โดยใช้ INA125 Instrumentation Amplifier ในการขยายสัญญาณที่ได้รับจากเซนเซอร์ เพื่อให้ได้ค่าแรงดันที่สามารถนำไปวิเคราะห์และใช้งานได้

## วัสดุอุปกรณ์

ลำดับ	ชื่อ	จำนวน	หน่วย
1	บอร์ด Nucleo STM32G474RE	1	อัน
2	บอร์ด LoadCellXplorer	1	อัน
3	เครื่องชั่งน้ำหนัก	1	อัน
4	ถุงทราย 500 กรัม	20	ถุง
5	Multimeter	1	ตัว

## ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. เชื่อมต่อเซนเซอร์ Load Cell YZC-131A เข้ากับ INA125 Instrumentation Amplifier เพื่อเพิ่มความไวของสัญญาณแรงดันที่ส่งออกจากเซนเซอร์และ ต่อสัญญาณเอาต์พุตจาก INA125 เข้ากับพิน Analog ของบอร์ด Nucleo STM32G474RE เพื่อให้สามารถอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าได้ในภายหลัง



รูปแสดงลักษณะบอร์ด Nucleo STM32G474RE

- ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากเซนเซอร์เมื่อมีแรงกระทำสูงสุด (10 กิโลกรัม) และเมื่อไม่มีแรงกระทำ และนำค่าแรงดันที่วัดได้มาคำนวณหาค่า Gain โดยใช้สมการใน Datasheet

$$V_{out} = (V_{In}^+ - V_{In}^-)Gain$$

- จากค่า Gain ที่คำนวณได้ นำมาหาค่าความต้านทาน RGR\_GRG ที่ต้องการใช้กับ INA125 เพื่อให้ได้การขยายสัญญาณตามที่ต้องการ โดยใช้สมการ

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

- จากค่าความต้านทานที่คำนวณได้ ปรับค่า Trimpot หรือ Resistor ภายนอกให้ตรงตามที่คำนวณเพื่อให้ได้การขยายที่เหมาะสม
- ใช้ฟังก์ชัน MATLAB เพื่ออ่านค่าแรงดันไฟฟ้า Analog จากเซนเซอร์ผ่านพิน ADC ของบอร์ด Nucleo STM32G474RE ทำการแปลงค่า ADC ที่ได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0 - 3.3V โดยตรงตามค่าที่วัดได้ เพื่อให้สามารถประมวลผลและนำไปวิเคราะห์ได้

```

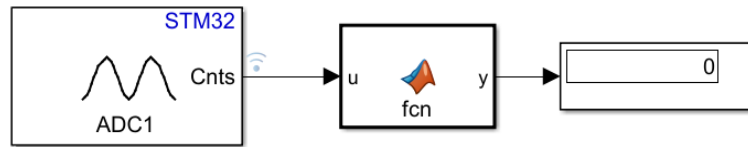
1  function y = fcn(u)
2      in_min= 0;
3      out_min=0;
4      out_max=3.3;
5      in_max=4095;
6      y= double(u - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;

```

รูปแสดงลักษณะโปรแกรมใน Simulink



6. วางอุ้งทรายหนัก 500 กรัมบนเซนเซอร์ที่ละถู และบันทึกค่าแรงดันที่ได้ในแต่ละน้ำหนัก เพื่อให้สามารถเห็นการตอบสนองของ Load Cell ต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักได้อย่างละเอียด



รูปแสดงลักษณะ Simulink

7. นำค่าแรงดันที่ได้จากการทดลองมาพล็อตเป็นกราฟเส้น โดยแกนนอนแสดงน้ำหนัก และแกนตั้งแสดงค่าแรงดัน เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับน้ำหนัก และช่วยในการวิเคราะห์ความสม่ำเสมอของการตอบสนองของ Load Cell
8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจากกราฟ เพื่อพิจารณาความแม่นยำและเสถียรภาพของ Load Cell และ INA125

### ผลการทดลอง

1. ใช้ Multimeter วัดค่า  $V_{Out}$  ที่บริเวณจุดสีแดงได้ค่ามาเป็น 2.47 V ไปคำนวณหา Gain ด้วยสมการนี้



รูปแสดงลักษณะการวัดแรงดัน

2. ใช้ Multimeter วัดค่า  $V_{In}^+ - V_{In}^-$  เมื่อใส่น้ำหนัก 10 กิโลกรัม โดยการวัดคร่อมที่บริเวณจุดสีแดงและได้ค่ามาเป็น 0.0046



รูปแสดงลักษณะการวัดแรงดัน

3. นำค่าที่วัดได้ไปคำนวณหา Gain ด้วยสมการนี้

$$V_{out} = (V_{in}^+ - V_{in}^-)Gain$$

แทนค่า  $V_{out} = 2.47 \text{ V}$ ,  $V_{in}^+ - V_{in}^- = 0.0046$  จะได้เป็น

$$Gain = \frac{2.47}{0.0046}$$

$$Gain = 536.95$$

4. นำค่า Gain ที่ได้ไปหาหาความต้านทาน( $R_G$ ) จากสมการ

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

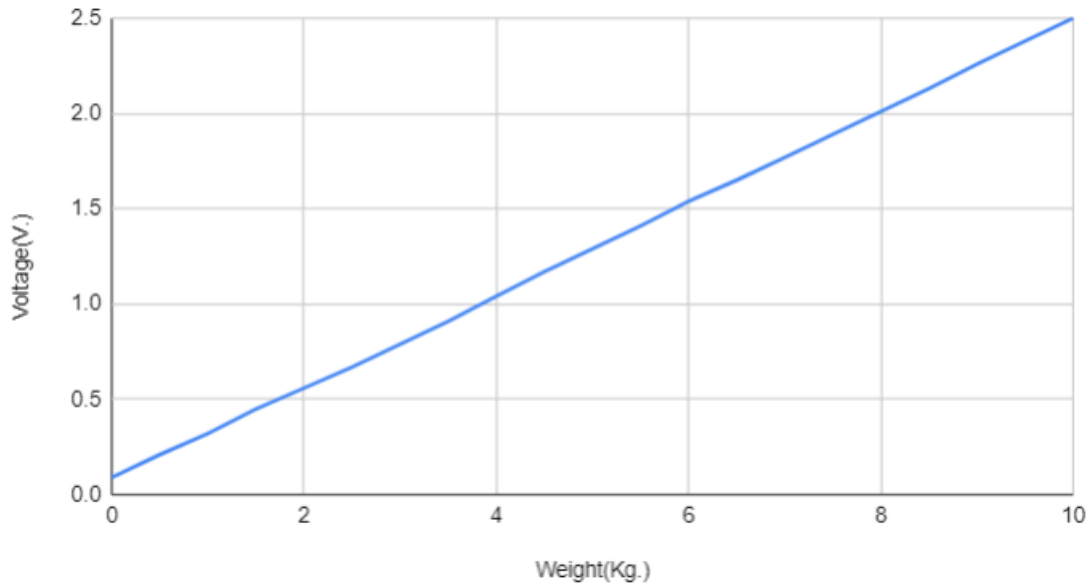
แทนค่า  $Gain = 536.95$  จะได้เป็น

$$536.95 = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G}$$

$$R_G = \frac{60k\Omega}{536.95 - 4}$$

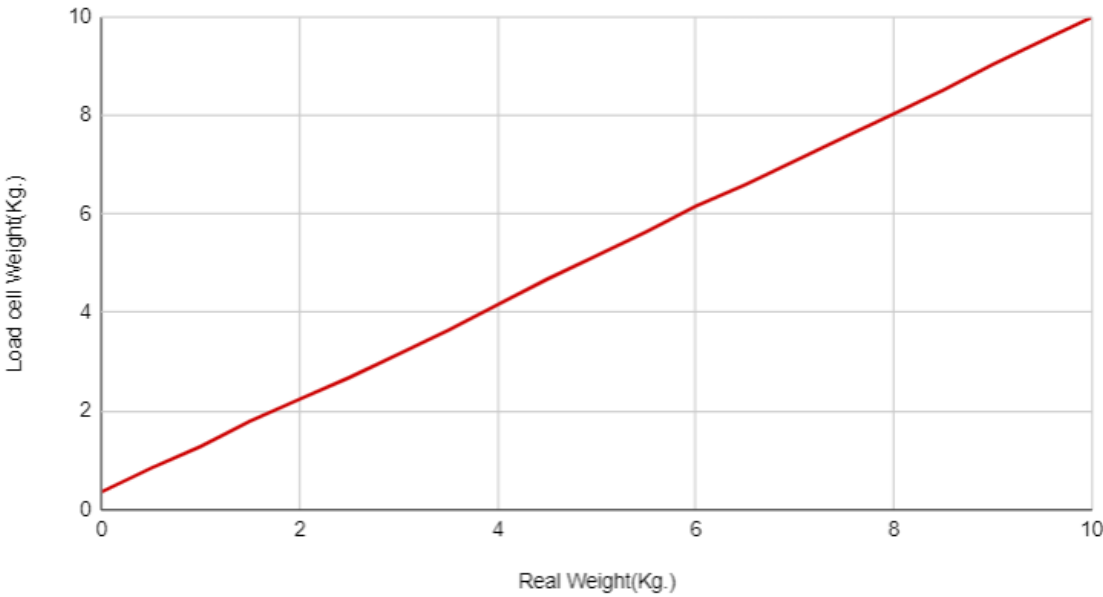
$$R_G = 112.58$$

5. ปรับ Trimpot ตามค่าความต้านทาน( $R_G$ ) ที่ได้
6. เมื่อทดลองตรวจสอบค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกที่วัดได้หลังจากการวางถุงทราย 500 กรัมทีละ 1 ถุงโดยมีแวนอน (แกน X) เป็นน้ำหนักหน่วยเป็นกิโลกรัม และแนวตั้ง(แกน Y) เป็นแรงดันหน่วยเป็นโวลต์ ได้ผลดังนี้



น้ำหนัก (Kg.)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
แรงดันไฟฟ้า (V)	0.09	0.2	0.32	0.45	0.56	0.67	0.79	0.91	1.04	1.17	1.29	1.41	1.54	1.65	1.77	1.89	2.01	2.13	2.26	2.38	2.5

7. หาค่า Load cell weight ซึ่งหาได้จากการนำ Voltage สูงสุดที่วัดได้มาหารกับน้ำหนักสูงสุดที่รับได้ ไปคูณกับค่าแรงดันขาออก มาเทียบกับ Real Weight (น้ำหนักจริง) แล้วนำไปพล็อตเป็นกราฟโดยมีแนวนอน (แกน X) เป็น Real Weight หน่วยเป็นกิโลกรัม และแนวตั้ง (แกน Y) เป็น Ideal Weight หน่วยเป็นกิโลกรัม ได้ผลดังนี้



Load cell Weight	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
Real Weight	0.36	0.84	1.28	1.8	2.24	2.68	3.16	3.64	4.16	4.68	5.16	5.64	6.16	6.6	7.08	7.56	8.04	8.52	9.04	9.52	10

8. นำกราฟสองกราฟมาเทียบกันโดยเส้นสีแดงแสดงถึงน้ำหนักจาก Load Cell และเส้นสีฟ้าแสดงถึงน้ำหนักจริง พร้อมกัน



### สรุปผล

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มน้ำหนักที่กระทำต่อ Load Cell ค่า Voltage Output ที่อ่านได้จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีแนวโน้มเชิงเส้นที่ชัดเจน ค่าที่อ่านได้จาก Voltage Output มีความแม่นยำและสอดคล้องกับน้ำหนักที่วัด โดยที่เส้น Linear มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยอาจจะเป็นเพราะมาจากถ่วงทราย 500 กรัมที่มีโอกาสทรายจะมีหลุดออกจากถ่วงทำให้ไม่เป็น 500 กรัมตลอดการทดลอง

### อภิปรายผล

ผลลัพธ์ที่ได้แสดงความสอดคล้องกับการทำงานของ Load Cell ตามทฤษฎีที่กล่าวว่า Strain Gauge จะเกิดการยืดหรือหดตัวเมื่อถูกน้ำหนักมากระทำ ทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปและส่งผลให้ Voltage Output เปลี่ยนตาม การตอบสนองนี้ทำให้ Voltage Output มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงออกมาในลักษณะเชิงเส้นและสนับสนุนความถูกต้องในการวัด โดยการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การตอบสนองของ Load Cell มีความแม่นยำสูง และสัญญาณเอาต์พุตมีความสัมพันธ์กับน้ำหนัก ในระดับที่เชื่อถือได้

แม้ว่าผลลัพธ์ส่วนใหญ่จะแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างชัดเจน แต่มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยในค่าที่อ่านได้ สาเหตุหลักที่อาจเป็นไปได้คือปัจจัยภายนอก เช่น ความไม่คงที่ของน้ำหนักถ่วงทราย 500 กรัมที่ใช้ในทดลอง ซึ่งอาจเกิดจาก

ทรายที่ร่วนหรือหลุดออกระหว่างการทดลอง ทำให้น้ำหนักที่กระทำบน Load Cell ลดลงบ้างในบางช่วง ซึ่งเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงในการตั้งค่าวัตถุหรือมาตรฐานน้ำหนักที่มีความคงที่และเชื่อถือได้มากขึ้น

การทดลองนี้ที่ใช้ INA125 เป็นการขยายสัญญาณที่ได้จาก Load Cell ช่วยเพิ่มความชัดเจนของข้อมูลที่สามารถอ่านได้ ทำให้ข้อมูลที่ได้มีประโยชน์มากยิ่งขึ้นในด้านการนำไปพัฒนาระบบวัดน้ำหนัก

### ข้อเสนอแนะ

- ควรทำการปรับ Calibration ของ Load Cell ให้แม่นยำอยู่เสมอเพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่า
- ใช้วัสดุน้ำหนักที่คงที่มากกว่าถ่วงทรายเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เสถียรมากยิ่งขึ้น
- เพิ่มจำนวนรอบการทดลองและใช้ชุดวัดน้ำหนักหลายชุดจะช่วยตรวจสอบและยืนยันความแม่นยำของ Load Cell ในสถานการณ์การวัดที่หลากหลาย

### เอกสารอ้างอิง(แนบ link)

- [https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina125.pdf?ts=1730185372802&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.mouser.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina125.pdf?ts=1730185372802&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.mouser.com%252F)
- <https://www.gotronic.fr/pj-460.pdf> (Load cell CZL635)
- <https://mall.factomart.com/load-cell-design-not-only-from-strain-gauge/>
- <https://byjus.com/physics/wheatstone-bridge/>
- [https://physlab.bogazici.edu.tr/sites/physlab.boun.edu.tr/files/physfiles/3 - phyl2 0 1 - wheatstonebridge-f23.pdf](https://physlab.bogazici.edu.tr/sites/physlab.boun.edu.tr/files/physfiles/3_phyl2_0_1_wheatstonebridge-f23.pdf)