

RMXplorer

LAB1 : Sensor Report

สมาชิก

- นายกิตติคุณ วงศ์เลขา 66340500003
- นางสาวธัญญ์ณภัส เพียรชูพัฒน์ 66340500020
- นายธีร์รัช กมลทกาลัย 66340500021

วัตถุประสงค์

- เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานของ Potentiometer รวมถึงวิธีการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อระยะทาง หรือ องศาการหมุนของ Potentiometer และความแตกต่างระหว่าง Potentiometer แต่ละประเภท
- เพื่อให้เข้าใจหลักการแปลงค่าสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital โดยใช้วงจร Schmitt-trigger
- เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานของ Incremental Encoder รวมถึงอธิบายลักษณะสัญญาณ Output ของ Incremental Encoder จากการรับค่าด้วย QEI และ Polling Method จากนั้นเปรียบเทียบข้อดี และข้อเสียของวิธีรับค่าทั้งสองแบบ
- เพื่อสังเกตลักษณะของสัญญาณ Output ของ Incremental Encode ที่แปรผันตามสัญญาณ Input แบบ Real Time โดยสามารถวัด Output เป็น Raw Signal, Angular Position และ Angular Velocity
- เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor รวมถึงลักษณะสัญญาณ Output ของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor ได้ เมื่อ Magnetic Flux Density เปลี่ยนแปลงไป
- เพื่อให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Field Shielding และ Magnetic Flux Density

- เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานของ Load cell, วงจร Wheatstone Bridge, Strain Gauge, 2 Op-amps Differential Amplifier รวมถึงอธิบายค่าสัญญาณ Output ของ Load Cell ได้ เมื่อแรงที่กระทำต่อ Load Cell เปลี่ยนแปลง
- เพื่อให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Gain และค่าความต้านทานของ Single External Resistor ที่ส่งผลต่อการวัดค่าของ Load Cell
- เพื่อให้เข้าใจกระบวนการ Signal Conditioning ตั้งแต่ขั้นตอนการ Calibrate Sensor ไปจนถึงการรับข้อมูลมาเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อ Load Cell แรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจาก Load Cell ทั้งแบบที่ยังไม่ผ่าน INA125 และผ่าน INA125

การทดลองที่ 1 Potentiometers

จุดประสงค์

- เพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่าง Potentiometers ในแต่ละชนิด ผ่านการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า
- เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ตอบสนองผ่านองศาการหมุนหรือระยะทางการเคลื่อนที่ของ Potentiometers
- เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าจริงใน Potentiometers แต่ละประเภทเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าใน Datasheet เมื่อมีการตอบสนองผ่านองศาการหมุนหรือระยะทางการเคลื่อนที่ของ Potentiometers

สมมติฐาน

ถ้าการหมุนเปลี่ยนองศาของ Potentiometers ส่งผลต่อการเพิ่มหรือลดปริมาณแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อมีการหมุน Potentiometers ให้มีระยะองศาเปลี่ยนแปลงจากเดิม จะทำให้ปริมาณแรงดันไฟฟ้านั้นเกิดการเปลี่ยนแปลง

ตัวแปร

ตัวแปรต้น : องศาการหมุนของ Potentiometers (Degree)

ตัวแปรตาม : แรงดันไฟฟ้า (Volt)

ตัวแปรควบคุม : แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้าบอร์ด, ประเภทของ Potentiometers, แผ่นอะคริลิกที่บ่งบอกระยะองศา, ชนิดของสายจัมเปอร์ที่ใช้เชื่อมต่อสายไฟ และชนิดของบอร์ด Microcontroller

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. สายจัมเปอร์ (Jumpers) หมายถึง คือสายที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อระหว่าง Sensor เข้ากับบอร์ดทดลอง โมดูลต่าง ๆ หรือแหล่งจ่ายไฟเพื่อเชื่อมต่อวงจรเข้าด้วยกัน
2. บอร์ด Microcontroller หมายถึง อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งรวมเอาหน่วยประมวลผล, หน่วยความจำ และพอร์ต เข้าไว้ด้วยกัน เพื่อประพฤติคนทำหน้าที่สั่งงานคล้ายคลึงกับคอมพิวเตอร์
3. องศาการหมุน หมายถึง องศาที่ถูกหมุนเปลี่ยนไปโดยเทียบกับองศาในตำแหน่งแรก มีหน่วยวัดคือ องศา (Degree)
4. ตัวต้านทานปรับค่าได้ (Potentiometers) หมายถึง ตัวต้านทานที่สามารถปรับค่าความต้านทานได้ด้วยแรงทางกล

5. PotenXplorer หมายถึง บอร์ดการเรียนรู้ในรายวิชา FRA 231 : Robotics Modelling & Experimentation (RMX) สำหรับใช้ในการทดลองที่ 1 Potentiometers
6. Dimensions หมายถึง ขนาดของวัตถุ ซึ่งจะมีหน่วยต่อท้าย เช่น เมตร นิ้ว เซนติเมตร เป็นต้น
7. Schematic หมายถึง แผนภาพทางอิเล็กทรอนิกส์ของอุปกรณ์ในวงจรนั้น
8. Run หมายถึง การเริ่มการทำงานของโปรแกรม MATLAB
9. Stop Time หมายถึง การตั้งเวลาหยุดการทำงานของโปรแกรม MATLAB
10. Data Inspector หมายถึง Function สำหรับตรวจสอบ และเก็บค่า Output ใน Simulink
11. Exponential Growth หมายถึง การเติบโตเพิ่มขึ้นแบบทวีคูณ
12. Exponential Decay หมายถึง การถดถอยลดลงแบบทวีคูณ

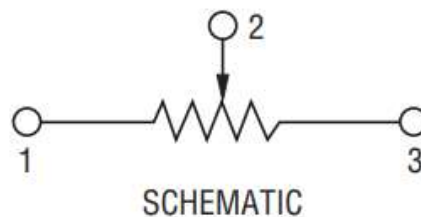
นิยามเชิงปฏิบัติการ

1. Rotary Potentiometers หมายถึง ตัวต้านทานปรับค่าได้ชนิด Rotary ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 มิลลิเมตร ใน Series PDB18
2. Low Profile Slide Potentiometer หมายถึง ตัวต้านทานปรับค่าได้ชนิด Slide ใน Series PTA
3. A Series Tapers หมายถึง Rotary Potentiometers ชนิด PDB181-K420K-103A2
4. B Series Tapers หมายถึง Rotary Potentiometers ชนิด PDB181-K420K-103B
5. C Series Tapers หมายถึง Rotary Potentiometers ชนิด PDB181-K420K-103C
6. Audio Taper หมายถึง Slide Potentiometer ชนิด PTA6043-2015DPA103
7. Linear Taper หมายถึง Slide Potentiometer ชนิด PTA6043-2015DPB103

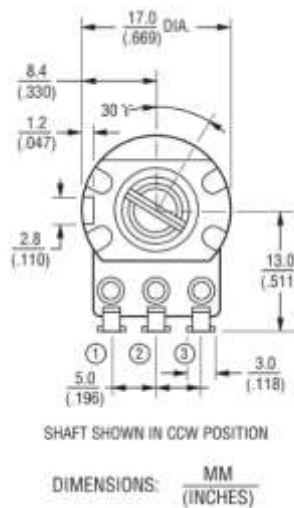
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Datasheet PDB18 Series – 17 mm Rotary Potentiometer

PDB18 Series – 17 mm Rotary Potentiometer คือตัวต้านทานปรับค่าได้ที่สามารถหมุน Shaft เพื่อปรับความต้านทานได้ 300 องศา โดยมีค่าความต้านทานคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้คือ $\pm 20\%$ โดยส่วนประกอบของตัวต้านทานจะประกอบไปด้วย 3 ขา สามารถใช้งานโดยการจ่ายไฟไปที่ขาที่ 1 หรือ ขาที่ 3 และปรับค่ารับสัญญาณไฟออกที่ขาที่ 2

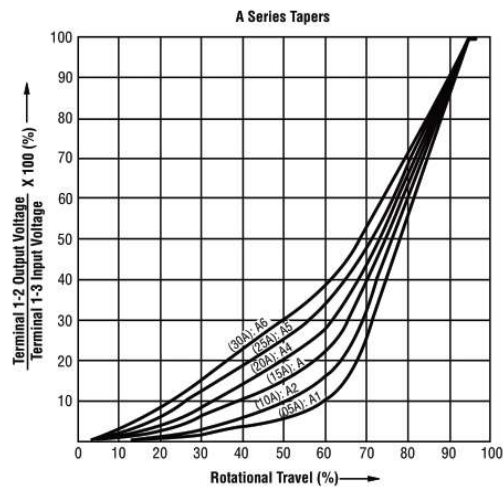


ภาพที่ 1 Schematic ของ Rotary Potentiometer

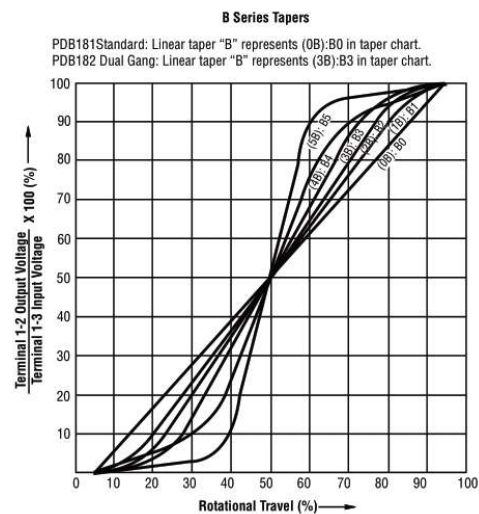


ภาพที่ 2 Dimensions ของ Rotary Potentiometer

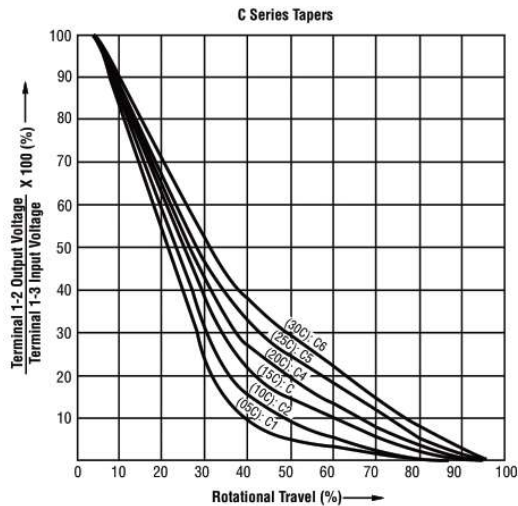
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Rotational Travel (%) กับ Output Voltage (%) ใน Rotary Potentiometer แต่ละประเภท ได้แก่ A Series Tapers, B Series Tapers และ C Series Tapers



ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Rotational Travel (%) กับ Output Voltage (%) ใน Rotary Potentiometer ประเภท A Series Tapers



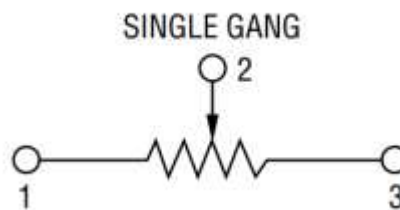
ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Rotational Travel (%) กับ Output Voltage (%) ใน Rotary Potentiometer ประเภท B Series Tapers



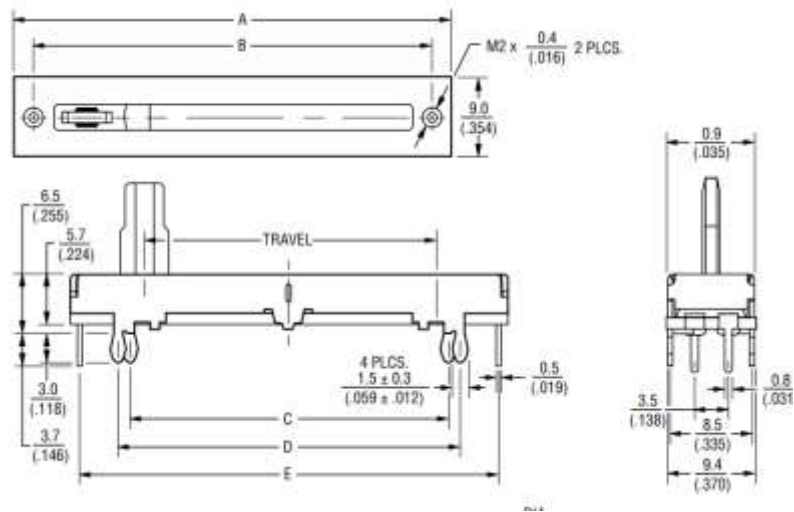
ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Rotational Travel (%) กับ Output Voltage (%) ใน Rotary Potentiometer ประเภท C Series Tapers

2. Datasheet PTA Series – Low Profile Slide Potentiometer

PTA Series – Low Profile Slide Potentiometer คือตัวต้านทางปรับค่าได้ที่สามารถเลื่อนแถบ Slide เพื่อปรับความต้านทานได้ โดยมีค่าคลาดเคลื่อนของความต้านทานที่ยอมรับได้จาก Datasheet คือ $\pm 20\%$ โดยส่วนประกอบของตัวต้านทานจะประกอบไปด้วย 3 ขา ใช้งานโดยการจ่ายไฟไปที่ขาที่ 1 หรือ ขาที่ 3 และปรับค่ารับสัญญาณไฟออกที่ขาที่ 2

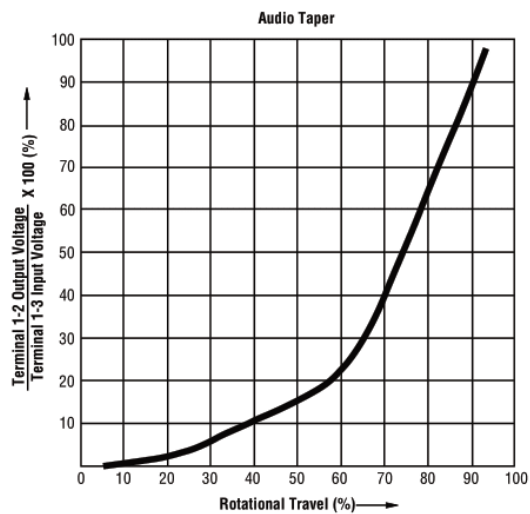


ภาพที่ 6 Schematic ของ Rotary Potentiometer

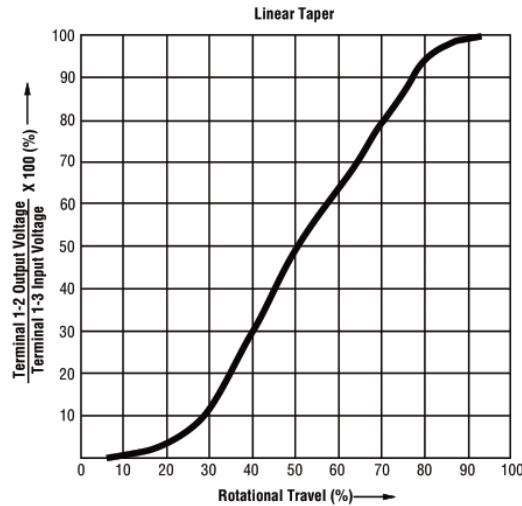


ภาพที่ 7 ขนาด dimensions ของ Low Profile Slide Potentiometer

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Rotational Travel (%) กับ Output Voltage (%) ใน Low Profile Slide Potentiometer แต่ละประเภท ได้แก่ Audio Taper และ Linear Taper



ภาพที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Rotational Travel (%) กับ Output Voltage (%) ใน Slide Potentiometer ประเภท Audio Taper



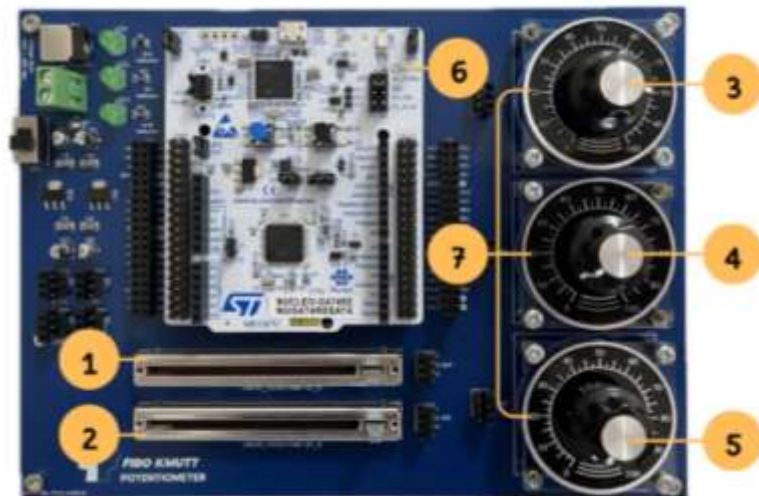
ภาพที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Rotational Travel (%) กับ Output Voltage (%) ใน Slide Potentiometer ประเภท Linear Taper

วิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองเรื่อง Potentiometers สามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรก คือ การต่อวงจรระหว่าง Potentiometers แต่ละประเภท รวมทั้งหมด 5 ชิ้น แบ่งเป็น Rotary Potentiometers จำนวน 3 ชิ้น และ Low Profile Slide Potentiometer จำนวน 2 ชิ้น เข้ากับบอร์ด Nucleo STM32G474RE ส่วนที่สอง คือ การปรับระดับค่าความต้านทานของ Potentiometers ซึ่งต้องการค่าแรงดัน Output จาก Potentiometers แต่ละชิ้น เป็นจำนวนขึ้นละ 11 ครั้ง โดย Potentiometers ประเภท Rotary Potentiometers จะวัดค่าระดับค่าการหมุนเป็นองศาเพิ่มทุก ๆ 30 องศา หรือ 10 % ตามที่มีระบุไว้บนแผ่นอะคริลิก จนครบ 300 องศา หรือ 100 % เพื่อให้สอดคล้องกับ datasheet ที่มีเส้นวัดระยะทุก ๆ 10 % และ Potentiometers ประเภท Low Profile Slide Potentiometer สามารถปรับระดับค่าการหมุนเป็นระยะทาง โดยระยะทางทั้งหมด คือ 6 เซนติเมตร ต้องทำการเพิ่มระยะทางครั้งละ 0.6 เซนติเมตร จนครบ 6 เซนติเมตร ส่วนที่สาม คือ การเก็บค่าแรงดัน Output ที่ได้เป็นเปรียบเทียบกับแรงดัน Input

วัสดุอุปกรณ์

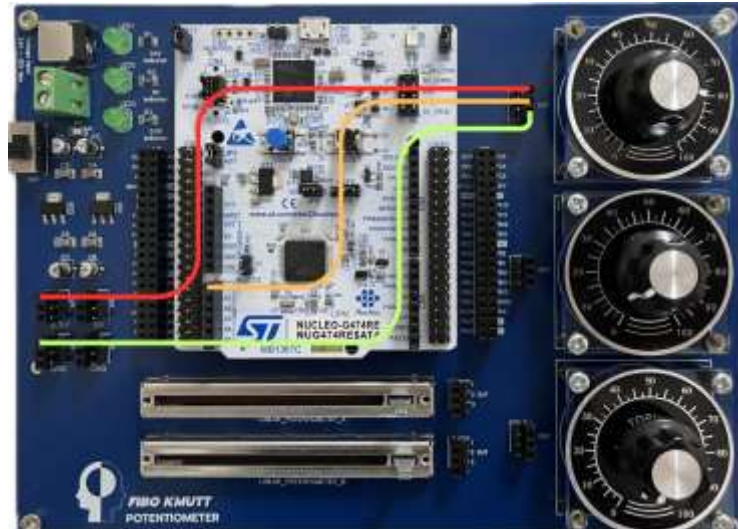
1. PTA6043-2015DPA103
2. PTA6043-2015DPB103
3. PDB181-K420K-103A2
4. PDB181-K420K-103B
5. PDB181-K420K-103C
6. Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด
7. PotenXplorer จำนวน 1 ชุด - ฐานสามารถบรรจุบอร์ดควบคุม, Breadboard, Potentiometer, 3D-Print ใช้สำหรับการวัดมุมการหมุนของ Potentiometer ลักษณะคล้ายไม้โปรแทกเตอร์
8. สายจัมเปอร์



ภาพที่ 10 ส่วนประกอบบนบอร์ด Potentiometer

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ต่อสายจัมเปอร์ระหว่าง PTA6043-2015DPA103 กับ Nucleo STM32G474RE ตามรูปภาพดังนี้



ภาพที่ 11 การต่อสายจัมเปอร์ระหว่าง PTA6043-2015DPA103 กับ Nucleo STM32G474RE

2. ใช้ Simulink ในการรับค่าจาก Potentiometer และแปลงการรับสัญญาณจากการหมุนเปลี่ยนองศาเป็น แรงดันไฟฟ้าดังรูป



ภาพที่ 12 การใช้ Simulink ในการรับค่าจาก Potentiometer

3. นำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากข้อ 2 มาแปลงหน่วยให้เป็น SI ผ่านสมการ ดังนี้

$$V_{in} = \frac{Read\ bit}{4095\ bit} \times 3.3\ Volt$$

เมื่อ

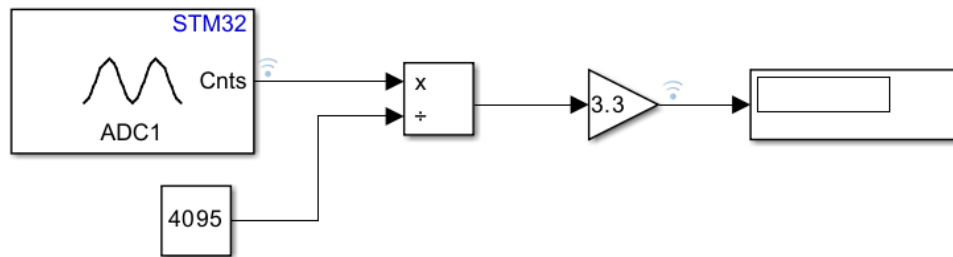
Read bit = จำนวน *bit* ที่อ่านค่าได้จริงจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

V_{in} = แรงดันที่อ่านค่าได้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อแปลงหน่วย

3.3 Volt = แรงดันสูงสุดที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถจ่ายได้

4095 bit = จำนวน bit สูงสุดที่สามารถอ่านค่าได้จริงจากบอร์ด Microcontroller

และใช้ Simulink ในการจำลองค่าออกมาดังรูป



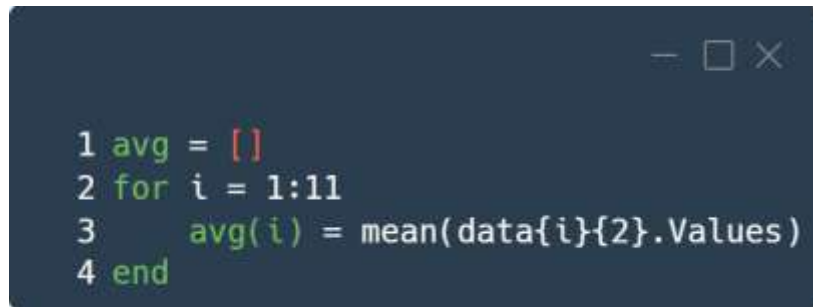
ภาพที่ 13 การใช้ Simulink ในการแปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

4. หมุน Potentiometer เพิ่มครั้งละ 10 % (30 องศา) ตามตัวเลขที่ระบุไว้บนแผ่นอะคริลีวงกลม และทำการ Run โดยตั้ง Stop Time ไว้ที่ 100 และทำวนจนครบทุกองศา



ภาพที่ 14 ตัวอย่างการหมุน Potentiometer เพิ่มครั้งละ 10 % (30 องศา) ตามตัวเลขที่ระบุไว้บนแผ่นอะคริลีวงกลม

5. นำข้อมูลที่เก็บค่าออกมาหาค่าเฉลี่ยโดยใช้ Data Inspector และทำซ้ำข้อ 1-5 โดยเปลี่ยนอุปกรณ์เป็น PTA6043-2015DPB103, PDB181-K420K-103A2, PDB181-K420K-103B, PDB181-K420K-103C
6. เมื่อได้ค่าที่มาจากการ Run แล้ว นำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำมาวาดเป็นกราฟ โดยใช้โปรแกรม MATLAB ตาม Code ดังนี้



```

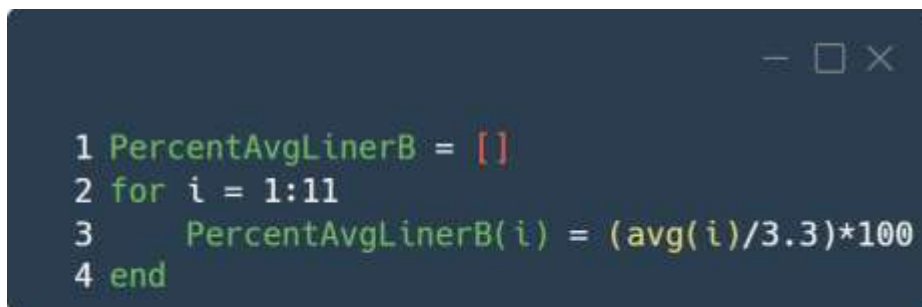
1 avg = []
2 for i = 1:11
3     avg(i) = mean(data{i}{2}.Values)
4 end

```

ภาพที่ 15 Code ส่วนที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลสัญญาณที่แปลงแล้วเพื่อนำมาวาดเป็นกราฟ

โดยจะสร้างตัวแปร avg ซึ่งเป็นตัวแปรประเภท Array มาเก็บค่าข้อมูลที่ได้จากข้อ 5 และทำการ Loop ตามจำนวนค่าที่ถูกเก็บมา โดยใช้ Function mean() ในการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละครั้ง

7. เพื่อให้กราฟเป็นตาม Datasheet จึงเปลี่ยนแกน y จาก Output Voltage ให้เป็นเปอร์เซ็นต์ของการเปรียบเทียบ Output Voltage กับ Input Voltage โดยใช้โปรแกรม MATLAB ตาม Code ดังนี้



```

1 PercentAvgLinerB = []
2 for i = 1:11
3     PercentAvgLinerB(i) = (avg(i)/3.3)*100
4 end

```

ภาพที่ 16 Code ส่วนที่ใช้ในการเปรียบเทียบ Output Voltage กับ Input Voltage

โดยจะสร้างตัวแปร avg ซึ่งเป็นตัวแปรประเภท Array มาเก็บค่า และทำการ Loop ตามจำนวนค่าข้อมูลสัญญาณที่แปลงแล้วที่ถูกเก็บมา โดยในแต่ละครั้ง จะนำค่าที่วัดได้ (Output Voltage) มาหารด้วย 3.3 (Input Voltage) และนำมาคูณ 100 เพื่อทำเป็นเปอร์เซ็นต์ของแรงดันที่อ่านค่าได้เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ส่งเข้าไปในตัวต้านทานปรับค่าได้

8. ใช้ Tracker ในการหาค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับการปรับ Potentiometers เพื่อนำค่ามาวาดกราฟเปรียบเทียบ
9. วาดเป็นกราฟด้วยโปรแกรม MATLAB ตาม Code ดังนี้

```

1 figure
2 xlabel('Rotational Travel (%)'), ylabel('Output Voltage (%)')
3 legend('Datasheet','PercentAvgLinerB','linearL_y')
4
5 title('Graph Between Rotational and Voltage of Potentiometer Linear Taper')
6 hold on
7 plot(percent,PercentAvgLinerB,'Black')
8 plot(linearL_x,linearL_y,'--y')
9 errorbar(linearL_x,linearL_y,0.2*linearL_y)
10 grid on

```

ภาพที่ 17 Code ส่วนที่ใช้ในการวาดกราฟ

โดยเป็นการสร้างกราฟระหว่าง Rotational Travel (%) กับ Output Voltage (V) มีการกำหนดตัวแปรเพื่อเก็บค่าข้อมูลที่วัดได้ คือ แรงดันไฟฟ้า จากการหมุนหรือเลื่อน Potentiometers ซึ่งจากบรรทัดที่ 7 คือ การวาดกราฟระหว่างระยะทางการหมุนของ Potentiometers กับ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ บรรทัดที่ 8 คือ การวาดกราฟระหว่างระยะทางการหมุนของ Potentiometers กับ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ้างอิงจาก Datasheet บรรทัดที่ 9 คือ การวาดกราฟค่าคลาดเคลื่อนระหว่างระยะทางการหมุนของ Potentiometers กับ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ้างอิงจาก Datasheet โดยชื่อตัวแปรจะเปลี่ยนไปตามประเภทของ Potentiometers นั้น ๆ ได้แก่ PercentAvgLinerB, linearL_x และ linearL_y

10. นำกราฟที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟที่ระบุใน Datasheet เพื่อระบุประเภทของ Potentiometer

ผลการทดลอง

Rotary Potentiometer A Series Tapers

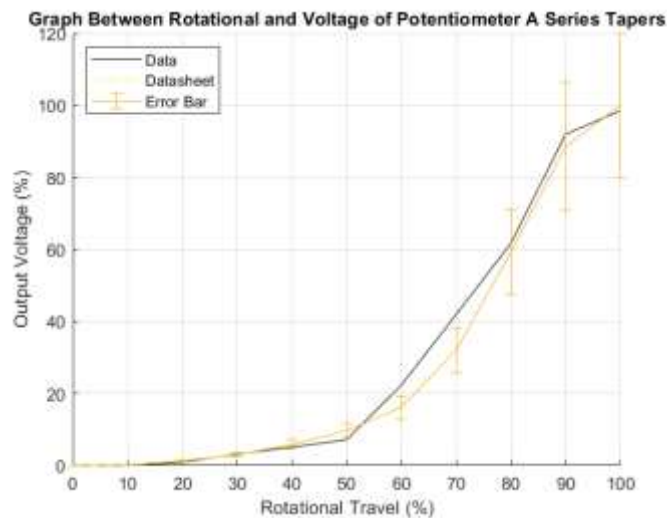
ได้ข้อมูลเมื่อมีการปรับการหมุนของ Potentiometers และวัดค่าแรงดันไฟฟ้าออกมา ดังนี้

แรงดันไฟฟ้า (V)	0	0.04	1.18	2.9	5.87	9.69	16.05	31.99	59.31	88.57	100
ระยะการหมุน (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

ค่าข้อมูลของกราฟที่ถูกตัดจาก Datasheet มีดังนี้

แรงดันไฟฟ้า (V)	0	0.04	1.18	2.90	5.87	9.69	16.05	31.99	59.31	88.57	100
ระยะการหมุน (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

นำข้อมูลจากตารางทั้งสองมาเปรียบเทียบ และใส่ค่าความคลาดเคลื่อนออกเป็นกราฟ ดังนี้



ภาพที่ 18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างองศาการหมุนที่เปลี่ยนไป และแรงดัน Output ที่วัดได้ บน Rotary Potentiometer A Series Tapers

Rotary Potentiometer B Series Tapers

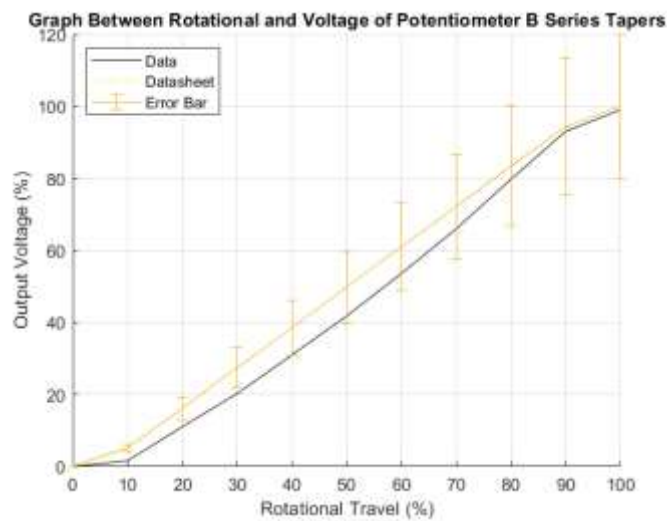
ได้ข้อมูลเมื่อมีการปรับการหมุนของ Potentiometers และวัดค่าแรงดันไฟฟ้าออกมา ดังนี้

แรงดันไฟฟ้า (V)	0	5.07	16.07	27.39	38.49	49.74	61.06	72.13	83.51	94.44	100
ระยะการหมุน (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

ค่าข้อมูลของกราฟที่ถูกต้องจาก Datasheet มีดังนี้

แรงดันไฟฟ้า (V)	0.00	5.07	16.07	27.39	38.49	49.74	61.06	72.13	83.51	94.44	100.00
ระยะการหมุน (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

นำข้อมูลจากตารางทั้งสองมาเปรียบเทียบ และใส่ค่าความคลาดเคลื่อนออกเป็นกราฟ ดังนี้



ภาพที่ 19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างองศาการหมุนที่เปลี่ยนไป และแรงดัน Output ที่วัดได้ บน Rotary Potentiometer B Series Tapers

Rotary Potentiometer C Series Tapers

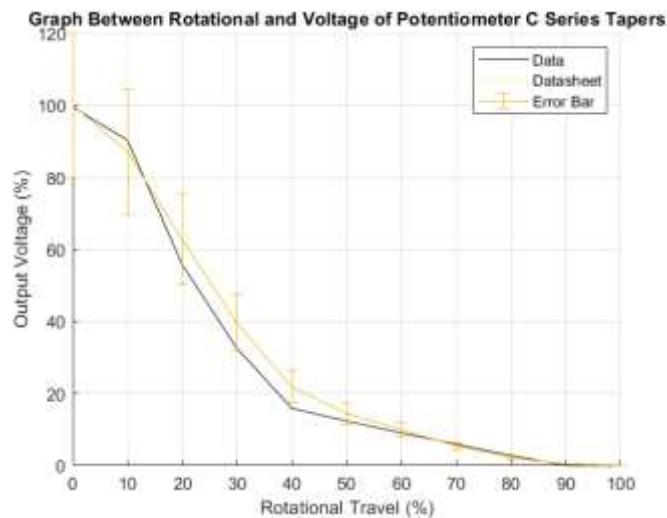
ได้ข้อมูลเมื่อมีการปรับการหมุนของ Potentiometers และวัดค่าแรงดันไฟฟ้าออกมา ดังนี้

แรงดันไฟฟ้า (V)	100	86.98	62.76	39.61	21.77	14.33	9.88	5.35	2.03	0.37	0
ระยะการหมุน (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

ค่าข้อมูลของกราฟที่ถูกต้องจาก Datasheet มีดังนี้

แรงดันไฟฟ้า (V)	100.00	86.98	62.76	39.61	21.77	14.33	9.88	5.35	2.03	0.37	0.00
ระยะการหมุน (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

นำข้อมูลจากตารางทั้งสองมาเปรียบเทียบ และใส่ค่าความคลาดเคลื่อนออกเป็นกราฟ ดังนี้



ภาพที่ 20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างองศาการหมุนที่เปลี่ยนไป และแรงดัน Output ที่วัดได้ บน Rotary Potentiometer C Series Tapers

Linear Potentiometer Audio Taper

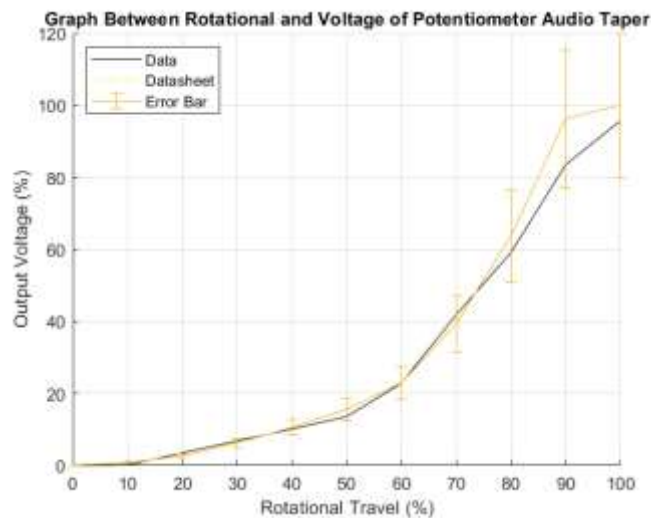
ได้ข้อมูลเมื่อมีการปรับการหมุนของ Potentiometers และวัดค่าแรงดันไฟฟ้าออกมา ดังนี้

แรงดันไฟฟ้า (V)	0	0.81	2.74	6.19	10.57	15.49	22.79	39.48	63.68	96.26	100
ระยะการหมุน (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

ค่าข้อมูลของกราฟที่ถูกต้องจาก Datasheet มีดังนี้

แรงดันไฟฟ้า (V)	0.00	0.81	2.74	6.19	10.57	15.49	22.79	39.48	63.68	96.26	100.00
ระยะการหมุน (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

นำข้อมูลจากตารางทั้งสองมาเปรียบเทียบ และใส่ค่าความคลาดเคลื่อนออกเป็นกราฟ ดังนี้



ภาพที่ 21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างองศาการหมุนที่เปลี่ยนไป และแรงดัน Output ที่วัดได้ บน Linear Potentiometer Linear Taper

Slide Potentiometer Linear Taper

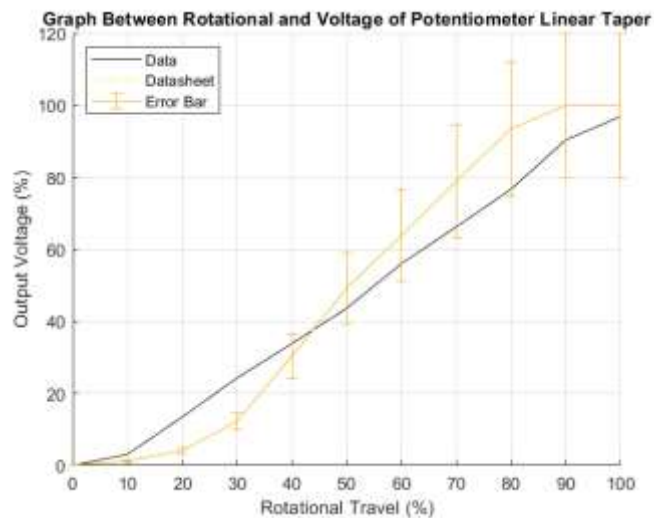
ได้ข้อมูลเมื่อมีการปรับการหมุนของ Potentiometers และวัดค่าแรงดันไฟฟ้าออกมา ดังนี้

แรงดันไฟฟ้า (V)	0.14	1.18	4.07	12.32	30.48	49.12	63.84	78.96	93.37	100	100
ระยะการหมุน (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

ค่าข้อมูลของกราฟที่ถูกต้องจาก Datasheet มีดังนี้

แรงดันไฟฟ้า (V)	0.00	1.18	4.07	12.32	30.48	49.12	63.84	78.96	93.37	100.00	100.00
ระยะการหมุน (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

นำข้อมูลจากตารางทั้งสองมาเปรียบเทียบ และใส่ค่าความคลาดเคลื่อนออกเป็นกราฟ ดังนี้



ภาพที่ 22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างองศาการหมุนที่เปลี่ยนไป และแรงดัน Output ที่วัดได้ บน Slide Potentiometer Audio Taper

สรุปผล

จากการทดลองเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการหมุนเปลี่ยนองศาของ Potentiometers นั้นมีการเพิ่มหรือลดเกิดขึ้น ซึ่งแต่ละประเภทจะมีรูปร่างกราฟที่ต่างกัน สามารถจำแนกได้ตามนี้

1. ภาพที่ 18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างองศาการหมุนที่เปลี่ยนไป และแรงดัน Output ที่วัดได้ บน Rotary Potentiometer A Series Tapers จะเห็นได้ว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็น Exponential Growth และค่าที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์ที่ค่าคลาดเคลื่อนรับได้ จำนวน 8 จุด

2. ภาพที่ 19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างองศาการหมุนที่เปลี่ยนไป และแรงดัน Output ที่วัดได้ บน Rotary Potentiometer B Series Tapers จะเห็นได้ว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็น Exponential Growth และค่าที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์ที่ค่าคลาดเคลื่อนรับได้ จำนวน 8 จุด

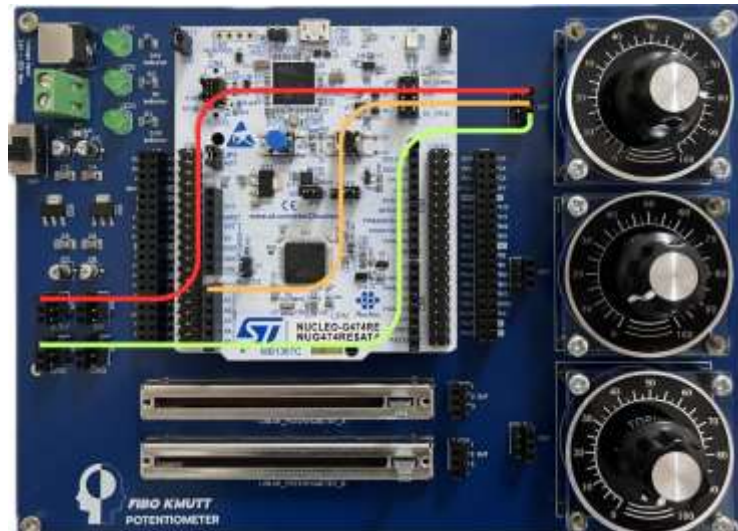
3. ภาพที่ 20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างองศาการหมุนที่เปลี่ยนไป และแรงดัน Output ที่วัดได้ บน Rotary Potentiometer C Series Tapers จะเห็นได้ว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็น Exponential Decay และค่าที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์ที่ค่าคลาดเคลื่อนรับได้ จำนวน 10 จุด

4. ภาพที่ 21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างองศาการหมุนที่เปลี่ยนไป และแรงดัน Output ที่วัดได้ บน Linear Potentiometer Linear Taper จะเห็นได้ว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็น Exponential Growth และค่าที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์ที่ค่าคลาดเคลื่อนรับได้ จำนวน 11 จุด

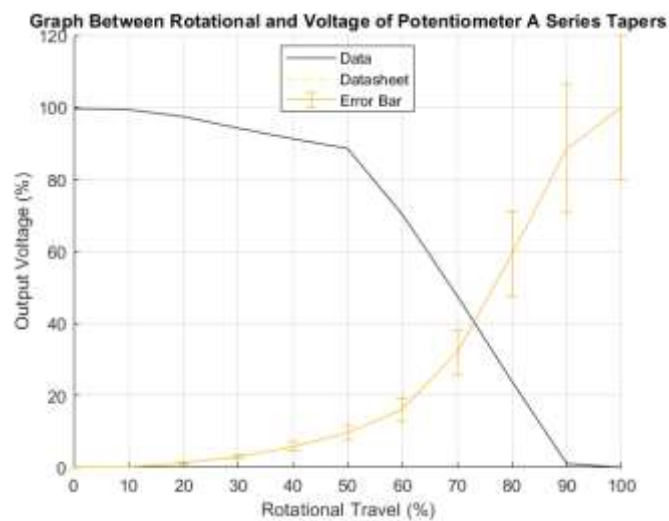
5. ภาพที่ 22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างองศาการหมุนที่เปลี่ยนไป และแรงดัน Output ที่วัดได้ บน Linear Potentiometer Linear Taper จะเห็นได้ว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็น Linear และค่าที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์ที่ค่าคลาดเคลื่อนรับได้ จำนวน 8 จุด

อภิปรายผล

เนื่องจากการต่อ Potentiometers สามารถต่อสายจัมเปอร์ขา 1 และ 3 ดังที่กล่าวไว้ในเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากการทำการทดลอง กราฟของ Rotary Potentiometer C Series Tapers หากต่อตามวงจรที่กล่าวไว้ข้างต้น กราฟจะออกมาสลับด้าน ดังรูป

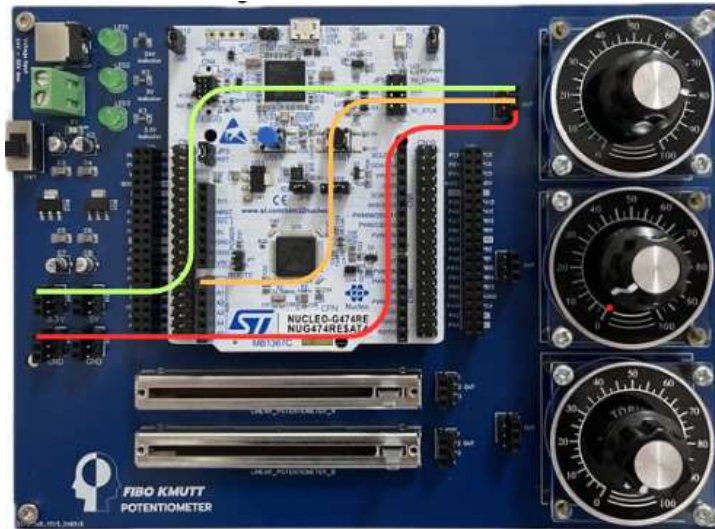


ภาพที่ 23 การต่อสายจัมเปอร์ระหว่าง PTA6043-2015DPA103 กับ Nucleo STM32G474RE ในรูปแบบเดิม



ภาพที่ 24 กราฟของข้อมูลที่ได้จากการต่อสายจัมเปอร์รูปแบบเดิม

ทำให้คณะผู้จัดทำจึงต้องทำการสลับสายในการต่อเพื่อให้กราฟถูกต้องตาม Datasheet ดังรูปนี้



ภาพที่ 25 การต่อสายจัมเปอร์ระหว่าง PTA6043-2015DPA103 กับ Nucleo STM32G474RE ในรูปแบบใหม่

จากผลการทดลองกราฟทั้งหมด 5 กราฟ ควรจะมีความสอดคล้องกับ Datasheet ของประเภทรุ่น ๆ ซึ่งมีค่าความผิดพลาดที่รับได้ $\pm 20\%$ จะเห็นได้ว่า Rotary Potentiometers ทั้งหมด 3 ชนิด และ Low Profile Slide Potentiometers ทั้งหมด 2 ชนิด มีความเป็นไปในทิศทางเดียวกับ Datasheet ทั้งหมด

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเช็ควัดค่า R ของ Potentiometer ดูก่อนว่าเรากำลังใช้ด้านที่ต้องการ
2. ควรตรวจสอบแหล่งจ่ายให้ต่อถูกขั้วกับ Potentiometer ก่อนวัดผลการทดลอง

เอกสารอ้างอิง(แนบ link)

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

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

การทดลองที่ 2 Schmitt-trigger

จุดประสงค์

- เพื่อศึกษาวงจรการทำงานของ Schmitt-trigger ที่สามารถแปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital ได้
- เพื่อศึกษาการรับส่งค่าสัญญาณ Analog ผ่านการหมุนของ Potentiometers
- เพื่อศึกษาการทำงานของ State Flow ในการสร้าง Condition
- เพื่อศึกษาการทำงานของ MATLAB และ Simulink

สมมติฐาน

ถ้าการต่อวงจร Schmitt-trigger สามารถแปลงสัญญาณจากค่า Analog เป็น Digital ผ่านการหมุนของ Potentiometers ดังนั้นเมื่อเริ่มหมุน Potentiometers ค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่า Digital เป็น 0 จนกระทั่งหมุนถึงปริมาณแรงดันไฟฟ้าถึงค่าที่กำหนดไว้จะมีค่า Digital เป็น 1

ตัวแปร

ตัวแปรต้น : สัญญาณ Analog ที่ส่งเข้าวงจร Schmitt-trigger

ตัวแปรตาม : สัญญาณ Digital ที่ส่งค่าออกมาจากวงจร Schmitt-trigger

ตัวแปรควบคุม : แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้าบอร์ด, ประเภทของ Potentiometers, แผ่นอะคริลิกที่บ่งบอกระยะของค่า, ชนิดของสายจัมเปอร์ที่ใช้เชื่อมต่อสายไฟ และชนิดของบอร์ด Microcontroller

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. Schmitt-trigger หมายถึง วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองสัญญาณ (signal conditioning) โดยการสร้างขอบเขตแรงดัน (threshold) สองระดับสำหรับการทำงานเพื่อแปลงสัญญาณ Analog เป็น สัญญาณ Digital
2. สัญญาณ Analog หมายถึง สัญญาณที่สามารถแปรเปลี่ยนได้หลายความถี่ และความเข้มของสัญญาณ ทำให้ได้สัญญาณที่มีความละเอียดแต่เสี่ยงต่อการเกิดสัญญาณรบกวน
3. สัญญาณรบกวน หมายถึง สัญญาณไม่พึงประสงค์ที่อาจเกิดขึ้นเมื่อใช้ Sensor รับข้อมูลใด ๆ จากธรรมชาติ
4. สัญญาณ Digital หมายถึง สัญญาณที่มีการแสดงข้อมูลในรูปแบบของค่าที่ไม่ต่อเนื่อง โดยจะมีเพียงสองสถานะหลัก คือ High หรือ Low ซึ่งมักแทนด้วยตัวเลข 1 และ 0 ตามลำดับ

5. Simulink หมายถึง โปรแกรมซอฟต์แวร์ที่เป็นส่วนหนึ่งของ MATLAB ซึ่งใช้ในการจำลอง (simulation) โดยการสร้างแบบจำลองด้วยกราฟิกบล็อกไดอะแกรม (block diagram)
6. สายจัมเปอร์ (Jumpers) หมายถึง คือสายที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อระหว่าง Sensor เข้ากับบอร์ดทดลอง โมดูลต่าง ๆ หรือแหล่งจ่ายไฟเพื่อเชื่อมต่อวงจรเข้าด้วยกัน
7. บอร์ด Microcontroller หมายถึง อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งรวมเอาหน่วยประมวลผล, หน่วยความจำ และพอร์ต เข้าไว้ด้วยกัน เพื่อประพัตินทำหน้าที่สั่งงานคล้ายคลึงกับคอมพิวเตอร์
8. องศาการหมุน หมายถึง องศาที่ถูกหมุนเปลี่ยนไปโดยเทียบกับองศาในตำแหน่งแรก มีหน่วยวัดคือ องศา (Degree)
9. ตัวต้านทานปรับค่าได้ (Potentiometers) หมายถึง ตัวต้านทานที่สามารถปรับค่าความต้านทานได้ด้วยแรงทางกล
10. PotenXplorer หมายถึง บอร์ดการเรียนรู้ในรายวิชา FRA 231 : Robotics Modelling & Experimentation (RMX) สำหรับใช้ในการทดลองที่ 1 Potentiometers
11. Run หมายถึง การเริ่มการทำงานของโปรแกรม
12. Stop Time หมายถึง การตั้งเวลาหยุดการทำงานของโปรแกรม
13. Data Inspector หมายถึง Function สำหรับตรวจสอบ และเก็บค่า Output ใน Simulink
14. แรงดัน Threshold หมายถึง แรงดันที่กำหนดไว้เพื่อให้วงจรทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งเมื่อถึงแรงดันที่กำหนด
15. Linear หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เป็นเส้นตรง
16. Exponential หมายถึง การเปลี่ยนแปลงอย่างทวีคูณ
17. Smooth หมายถึง ลักษณะที่ราบรื่น ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน
18. State Flow หมายถึง แผนภาพสถานะซึ่งสั่งให้ตัวแปรเป็นสถานะใดสถานะหนึ่ง เมื่อเงื่อนไขตรงตามที่กำหนด

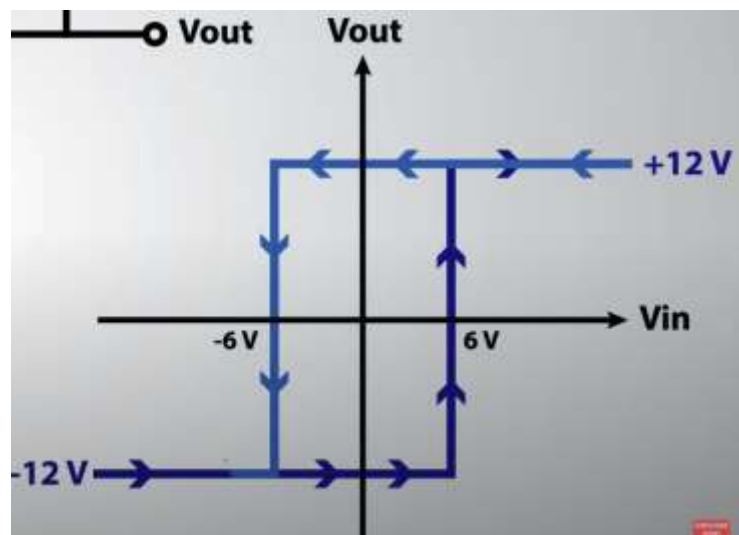
นิยามเชิงปฏิบัติการ

1. Rotary Potentiometers หมายถึง ตัวต้านทานปรับค่าได้ชนิด Rotary ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 มิลลิเมตร ใน Series PDB18
2. Low Profile Slide Potentiometer หมายถึง หมายถึง ตัวต้านทานปรับค่าได้ชนิด Slide ใน Series PTA
3. A Series Tapers หมายถึง Rotary Potentiometers ชนิด PDB181-K420K-103A2
4. B Series Tapers หมายถึง Rotary Potentiometers ชนิด PDB181-K420K-103B
5. C Series Tapers หมายถึง Rotary Potentiometers ชนิด PDB181-K420K-103C
6. Audio Taper หมายถึง Slide Potentiometer ชนิด PTA6043-2015DPA103
7. Linear Taper หมายถึง Slide Potentiometer ชนิด PTA6043-2015DPB103

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Schmitt-trigger

Schmitt-trigger คือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองสัญญาณ (Signal Conditioning) โดยการสร้างขอบเขตแรงดัน (Threshold) สองระดับในสัญญาณอินพุตเพื่อลดการสลับสถานะผิดพลาดที่เกิดจากสัญญาณรบกวนในระบบ ตัว Schmitt Trigger สามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ ทรiggerแบบไม่กลับขั้ว (Inverting) และ ทรiggerแบบกลับขั้ว (Non-Inverting) โดยมีการทำงานผ่านสองจุดทรigger คือ Upper Trigger Point (UTP) และ Lower Trigger Point (LTP) มีขั้นตอนการทำงานคือ เมื่อแรงดันขาเข้ามีแรงดันมากกว่า Upper Trigger Point แรงดันที่ขาออกจะให้สัญญาณออกมาเป็นสัญญาณ High และจะคงสถานะไว้จนกว่าแรงดันขาเข้าจะมีค่าน้อยกว่า Lower Trigger Point จนทำให้แรงดันขาออกแสดงออกมาเป็นสถานะ Low ซึ่งการเปลี่ยนสถานะไปมาดังกล่าวต้องทำให้ค่ามากกว่า หรือน้อยกว่า Trigger Point ทั้งคู่เท่านั้นจึงจะสามารถเปลี่ยนสถานะได้ ทำให้ลดโอกาสในการเกิดการสลับสถานะผิดพลาดที่เกิดจากสัญญาณรบกวนในระบบ



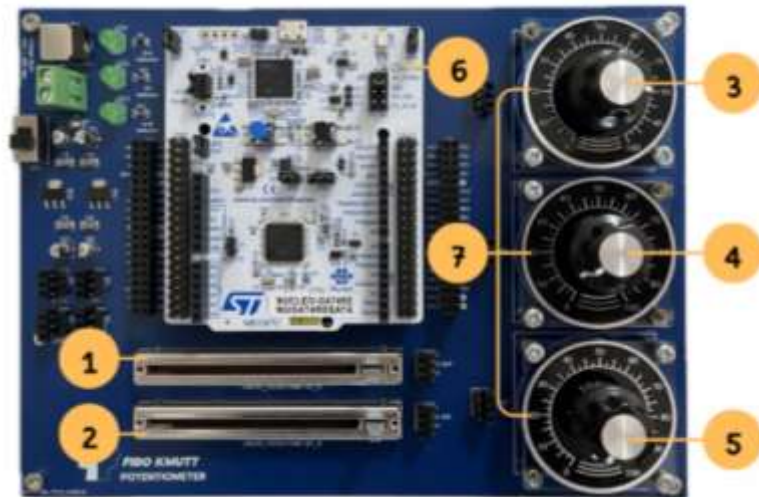
ภาพที่ 26 ตัวอย่างรูปแบบการทำงานของ Output เมื่อมีการ Input แรงดันใน Schmitt-trigger

วิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองเรื่อง Schmitt-trigger สามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรก คือ การต่อวงจรระหว่าง Potentiometers ซึ่งทางคณะผู้จัดทำเลือกมาหนึ่งประเภท คือ PTA6043-2015DPB103 หรือ Rotary Potentiometers B Series Tapers เข้ากับบอร์ด Nucleo STM32G474RE ส่วนที่สอง คือ การสร้าง Simulink เพื่อแปลงค่าจากการปรับ Potentiometers ซึ่งคือแรงดันไฟฟ้าที่มีหน่วยจาก Bit เป็น Volt ผ่านสมการ ส่วนที่สาม คือ การสร้าง State Flow เพื่อแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าเป็นสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital โดยกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าไว้ค่าหนึ่ง หากค่าแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าเป็นสัญญาณ Analog มีค่ามากกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไว้ ค่าจะถูกแปลงเป็นสัญญาณ Digital ที่มีค่าเป็น 1 แต่ถ้าค่าแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าเป็นสัญญาณ Analog มีค่าน้อยกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไว้ ค่าจะถูกแปลงเป็นสัญญาณ Digital ที่มีค่าเป็น 0

วัสดุอุปกรณ์

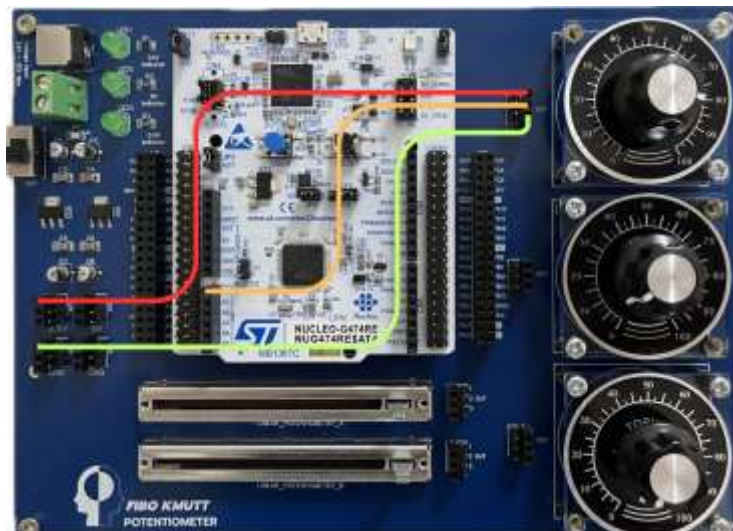
1. PTA6043-2015DPA103
2. PTA6043-2015DPB103
3. PDB181-K420K-103A2
4. PDB181-K420K-103B
5. PDB181-K420K-103C
6. Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด
7. PotenXplorer จำนวน 1 ชุด - ฐานสามารถบรรจุบอร์ดควบคุม, Breadboard, Potentiometer, 3D-Print ใช้สำหรับการวัดมุมการหมุนของ Potentiometer ลักษณะคล้ายไม้โปรแทกเตอร์
8. สายจัมเปอร์



ภาพที่ 27 ส่วนประกอบบนบอร์ด Potentiometer

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ต่อสายจัมเปอร์ระหว่าง PTA6043-2015DPA103 กับ Nucleo STM32G474RE ตามรูปภาพ ดังนี้



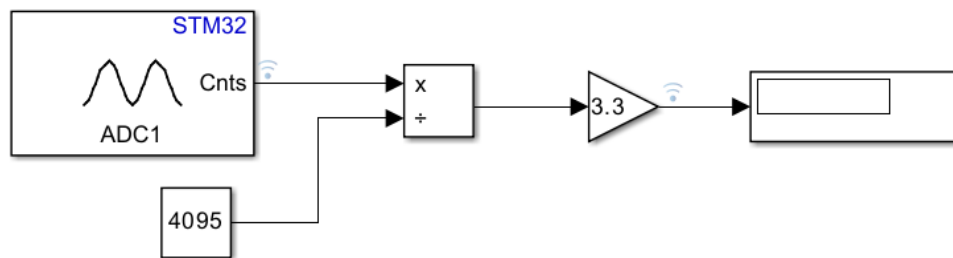
ภาพที่ 28 การต่อสายจัมเปอร์ระหว่าง PTA6043-2015DPA103 กับ Nucleo STM32G474RE

2. ใช้ Simulink ในการรับค่าจาก Potentiometer และแปลงการรับสัญญาณจากการหมุนเปลี่ยนองศา เป็น แรงดันไฟฟ้า ตามรูปภาพ ดังนี้



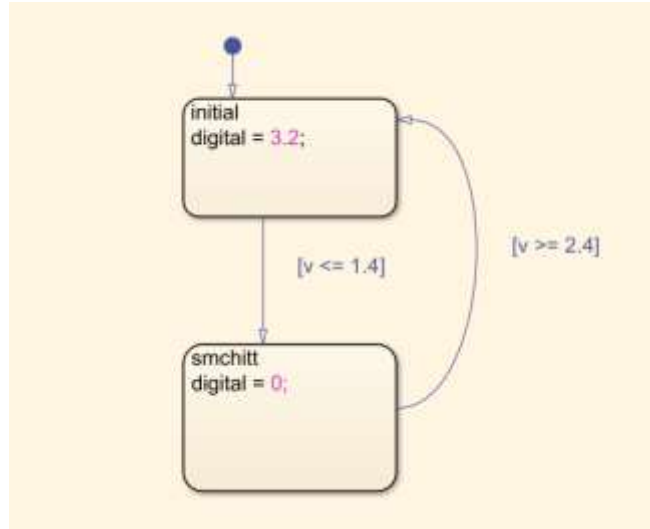
ภาพที่ 29 การใช้ Simulink ในการรับค่าจาก Potentiometer

3. นำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากข้อ 2 มาแปลงหน่วยให้เป็น SI ผ่านสมการ และใช้ Simulink ในการจำลองค่าออกมา ตามรูปภาพ ดังนี้



ภาพที่ 30 การใช้ Simulink ในการแปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

4. สร้าง State Flow เพื่อจำลองการทำงานของ Schmitt-trigger โดยจำลองว่า ถ้า Output Voltage ของ Potentiometer มีค่ามากกว่า 2.4 V ให้ Output Voltage เป็น 3.2 V ออกมา จนกว่า Output Voltage ของ Potentiometer มีค่าต่ำกว่า 1.4 จากนั้นให้ Output Voltage เป็น 0 V จนกว่า Output Voltage ของ Potentiometer มีค่ามากกว่า 2.4 V อีกครั้ง โดยทำเป็น State Flow ได้ ดังนี้

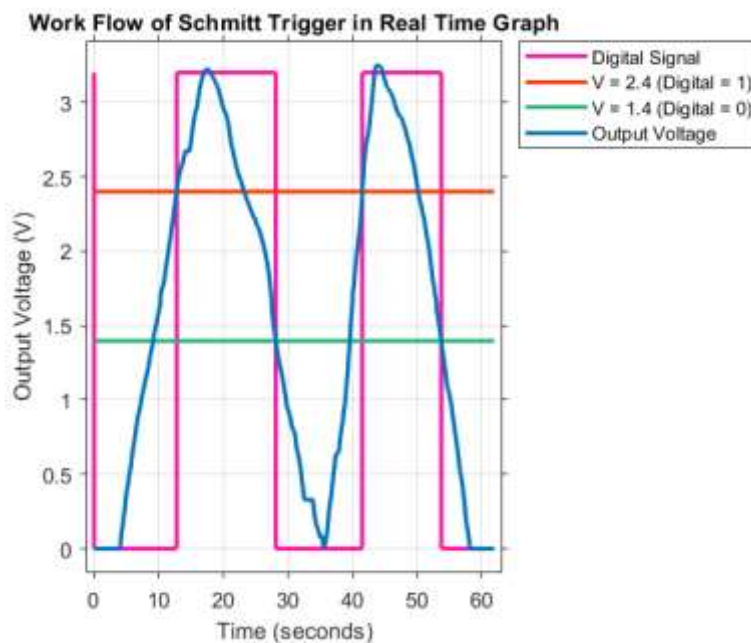


ภาพที่ 31 การใช้ State Flow เพื่อจำลองการทำงานของ Schmitt-trigger

5. หมุน Potentiometer และดูค่า Output Voltage ที่ออกมาผ่าน Data Inspector

ผลการทดลอง

ได้ข้อมูลจากการรับค่าแรงดันไฟฟ้าผ่านการหมุน Potentiometers และแปลงสัญญาณจาก Analog เป็นสัญญาณ Digital แบบ Real Time ได้ตามกราฟ ดังนี้



ภาพที่ 32 การทำงานของ Schmitt-trigger แบบ Real Time ใน Simulink

สรุปผล

การหมุน Potentiometers ในองศาที่มากขึ้นหรือลดลง จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า จากกราฟจะเห็นว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าจะอยู่ระหว่าง 0 – 3.3 V เมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าเกินกว่าที่กำหนดไว้คือ 2.4 V สัญญาณ Digital จะมีค่าเป็น 1 แต่เมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่า 1.4 V สัญญาณ Digital จะมีค่าเป็น 0 โดยค่าสัญญาณ Digital จะเปลี่ยนค่าระหว่าง 0 และ 1 ทันทีเมื่อแรงดันไฟฟ้ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้

อภิปรายผล

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการปรับ Potentiometers ในช่วงที่เริ่มมีแรงดันไฟฟ้าสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงจากสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital ที่มีค่าเป็น 0 จนกว่าการปรับ Potentiometers ถึงช่วงแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไว้ สัญญาณจะเปลี่ยนแปลงจากสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital ที่มีค่าเป็น 1 ซึ่งการเลือกประเภทของ Potentiometers B Series Tapers เพราะว่าจากการทดลองที่ 1 เห็นได้ว่ากราฟระหว่างการปรับ Potentiometer กับแรงดันไฟฟ้า กราฟมีลักษณะเป็น Linear มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ A Series Tapers และ C Series Tapers ที่มีลักษณะกราฟเป็น Exponential มากกว่า ดังนั้นการเลือกใช้ประเภทของ Potentiometers นี้ ทำให้แรงดันไฟฟ้ามีลักษณะที่ Smooth และมีความแม่นยำในการเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้ามากที่สุด เพื่อที่จะใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital ที่สมบูรณ์

ข้อเสนอแนะ

1. ควรกำหนดค่าแรงดัน Threshold ของการเปลี่ยนสัญญาณ ให้มีระยะห่างที่เหมาะสมกับการใช้งานจริง
2. การกำหนดค่าแรงดัน Threshold ควรคำนึงจากค่าการแกว่งของสัญญาณในความเป็นจริงเป็นหลัก
3. วงจร Schmitt-trigger เหมาะสมกับการทำงานแบบ Digital แต่ไม่เหมาะกับงานที่ต้องการสัญญาณ Analog

เอกสารอ้างอิง(แนบ link)

<https://th.fmuser.net/wap/content/?21083.html>

การทดลองที่ 3 Incremental Encoder

จุดประสงค์

- เพื่อศึกษาวงจรการทำงาน และลักษณะสัญญาณ Output ของ Incremental Encoder
- เพื่อศึกษาการอ่านค่า Output ของ Incremental Encoder ด้วยวิธี QEI และ Polling และวิเคราะห์ข้อดี-ข้อเสียของการวัดผลทั้ง 2 วิธี
- เพื่อศึกษาการแปลงสัญญาณ Raw Signal ของ Incremental Encoder ให้เป็น Relative Position, Angular Position และ Angular Velocity
- เพื่อศึกษาการทำงานของ MATLAB และ Simulink

สมมติฐาน

ถ้าการหมุนเปลี่ยนองศาของ Incremental Encoder ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งและความเร็วเชิงมุม ดังนั้นเมื่อมีการหมุน Incremental Encoder ให้มีระยะองศาเปลี่ยนแปลงจากเดิม จะทำให้ตำแหน่งและความเร็วเชิงมุม นั้นเกิดการเปลี่ยนแปลง

ถ้าการอ่านค่าแบบ QEI มีความแม่นยำและเสถียรภาพมากกว่า การอ่านค่าแบบ Polling ดังนั้นค่าที่ออกมาจากการอ่านค่าแบบ QEI จะมีค่าที่ตรงกับการหมุนเปลี่ยนองศาของ Incremental Encoder มากกว่า การอ่านค่าแบบ Polling

และถ้าเพิ่มความละเอียดในการอ่าน จาก x1 ไปจนถึง x4 จะเพิ่มความแม่นยำในการค่าของ Incremental Encoder ดังนั้นค่าที่ได้จากการเพิ่มความละเอียดจะมีค่าที่เพิ่มขึ้นตามความละเอียดที่ใช้

ตัวแปร

ตัวแปรต้น : ตำแหน่งการหมุนของ Incremental Encoder , ความละเอียดในการอ่านค่า

ตัวแปรตาม : การเปลี่ยนของตำแหน่งและความเร็วเชิงมุมที่อ่านได้จาก Incremental Encoder

ตัวแปรควบคุม : แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้าบอร์ด, ประเภทของ Incremental Encoder, ชนิดของสายจัมเปอร์ที่ใช้เชื่อมต่อสายไฟ และชนิดของบอร์ด Microcontroller

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. สายจัมเปอร์ (Jumpers) หมายถึง คือสายที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อระหว่าง Sensor เข้ากับบอร์ดทดลอง โมดูลต่าง ๆ หรือแหล่งจ่ายไฟเพื่อเชื่อมต่อวงจรเข้าด้วยกัน
2. บอร์ด Microcontroller หมายถึง อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งรวมเอาหน่วยประมวลผล, หน่วยความจำ และพอร์ต เข้าไว้ด้วยกัน เพื่อประพติดนทำหน้าที่สั่งงานคล้ายคลึงกับคอมพิวเตอร์
3. Encoder หมายถึง Sensor ชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่วัดระยะทางจากการหมุนรอบตัวเอง และแปลงออกมาเป็นรหัสในรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้า
4. EncoderXplorer หมายถึง บอร์ดการเรียนรู้ในรายวิชา FRA 231 : Robotics Modelling & Experimentation (RMX) สำหรับใช้ในการทดลองที่ 3 Incremental Encoder
5. Run on board หมายถึง การสั่งงานให้โปรแกรมทำงานบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรง
6. Counter Period หมายถึง ช่วงเวลาในการสั่งงานการนับ
7. Raw Data หมายถึง ข้อมูลดิบที่ได้รับจาก Sensor
8. Angular Position หมายถึง ตำแหน่งเชิงมุม
9. Angular Velocity หมายถึง ความเร็วเชิงมุม
10. Driver Selector หมายถึง ตัวเลือกการเลือก Driver ที่ใช้ในการทำงาน อยู่ใน Advance setting ของ MATLAB
11. Log สัญญาณ หมายถึง การเก็บบันทึกข้อมูลสัญญาณที่ได้รับไว้เพื่อตรวจสอบบันทึกย้อนหลัง
12. Derivative หมายถึง ฟังก์ชันหนึ่งใน Simulink ใช้เพื่อหาอนุพันธ์ของข้อมูล
13. Persistent หมายถึง ตัวแปรรูปแบบที่จะบันทึกไว้ในหน่วยความจำขณะเรียกใช้ฟังก์ชัน
14. Rising Edge หมายถึง ขอบขาขึ้นของรูปแบบสัญญาณที่เพิ่มจาก 0 เป็น 1
15. Falling Edge หมายถึง ขอบขาลงของรูปแบบสัญญาณที่ลดจาก 1 เป็น 0
16. Real Time หมายถึง เวลาตามจริงที่ข้อมูลถูกบันทึก

นิยามเชิงปฏิบัติการ

1. Encoder หมายถึง Incremental Encoder ชนิด AMT103-V หรือ BOURNS PEC11R-4220F-N0024
2. Encoder x1 หมายถึง การอ่านค่าจาก Encoder แบบ QEI ที่ตรวจจับขอบ Rising Edge หรือ Falling Edge เพียงขอบใดขอบหนึ่ง ของสัญญาณ A หรือ B อย่างใดอย่างหนึ่ง
3. Encoder x2 หมายถึง การอ่านค่าจาก Encoder แบบ QEI ที่ตรวจจับขอบ Rising Edge และ Falling Edge ของสัญญาณ A หรือ B อย่างใดอย่างหนึ่ง
4. Encoder x4 หมายถึง การอ่านค่าจาก Encoder แบบ QEI ที่ตรวจจับทั้ง Rising Edge และ Falling Edge ของทั้งสัญญาณ A และ B ซึ่งจะเพิ่มความละเอียดมากที่สุด

5. Board Nucleo หมายถึง บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Nucleo STM32G474RE

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

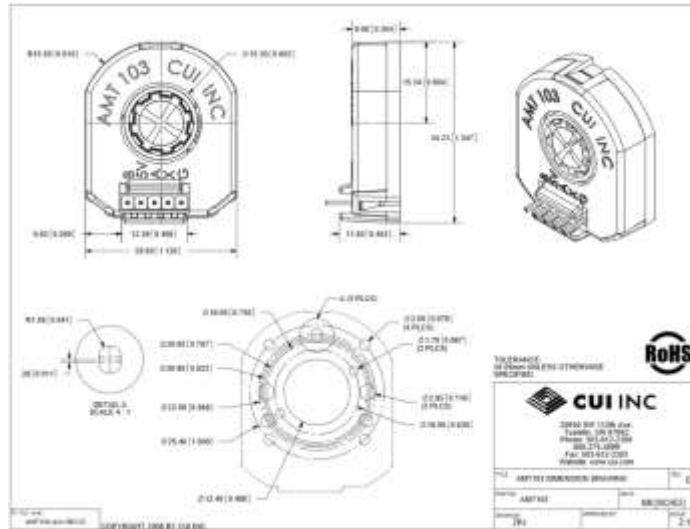
1. Incremental Encoder AMT103-V

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดการหมุนหรือมุมของวัตถุที่กำลังหมุน โดยส่งสัญญาณในรูปแบบของสัญญาณ Pulse ต่อการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้น ซึ่งการใช้งาน Encoder ประเภทนี้จะช่วยให้สามารถตรวจจับและวัดตำแหน่งเชิงมุม ความเร็ว และการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ได้



ภาพที่ 33 Incremental Encoder AMT103-V

โครงสร้างภายใน AMT103-V มีการออกแบบที่แตกต่างจาก Encoder แบบ Optical ทั่วไป โดยจะมีการใช้ระบบ Capacitive ที่สามารถต้านทานต่อฝุ่นและการสั่นสะเทือนได้ดี ซึ่งเป็นคุณสมบัติเด่นสำหรับการใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่อาจมีการปนเปื้อนจากฝุ่นหรือสิ่งสกปรกได้ง่าย โดยประเภทนี้จะทำงานโดยการตรวจจับการหมุนของเพลา (Shaft) ที่ติดตั้งกับตัว Encoder และส่งสัญญาณ Pulse ออกมาเป็นจำนวนครั้งที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่นั้น โดยทั่วไปแล้ว Pulse เหล่านี้จะถูกส่งออกมาเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) ผ่านขั้วสัญญาณ A และ B ซึ่งจะมีการสลับเฟสกันเพื่อให้สามารถระบุทิศทางการหมุนได้



ภาพที่ 34 Dimension ของ Incremental Encoder AMT103-V

สัญญาณ A และ B (Quadrature): Encoder AMT103-V มีสัญญาณ Output เป็นแบบ Quadrature ซึ่งหมายความว่าสัญญาณสองชุดคือ A และ B ที่ออกมาเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมโดยที่สัญญาณ B จะมีการสลับเฟสไป 90 องศาจากสัญญาณ A ทำให้สามารถระบุทิศทางของการหมุนได้ ตัวอย่างเช่น หาก A นำ B หมายความว่าเพลาหมุนไปในทิศทางหนึ่ง และหาก B นำ A หมายความว่าเพลาหมุนไปในทิศทางตรงกันข้าม

ความละเอียด (Resolution): AMT103-V สามารถตั้งค่าความละเอียดได้สูงสุดถึง 2048 Pulses Per Revolution (PPR) หมายถึงการหมุนหนึ่งรอบของเพลาจะสร้างสัญญาณ Pulse ได้สูงสุด 2048 ครั้ง ซึ่งสามารถเลือกการตั้งค่า PPR ได้หลายระดับเพื่อตอบสนองความต้องการในการวัดที่แตกต่างกัน

การใช้งาน: เนื่องจาก Encoder รุ่นนี้มีโครงสร้างที่ทนทานและสามารถปรับความละเอียดได้ จึงเหมาะกับการใช้งานในงานที่ต้องการความแม่นยำในการวัดตำแหน่งและความเร็ว เช่น ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ (Motion Control) หุ่นยนต์ เครื่อง CNC หรือเครื่องจักรที่มีการหมุนของเพลา ซึ่งสามารถใช้ในการคำนวณตำแหน่งเชิงมุม (Angular Position) ความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity) และจำนวน Pulse ต่อการหมุน (Pulse per Revolution - PPR) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การติดตั้งและเชื่อมต่อ: ตัว Encoder นี้ออกแบบมาให้ติดตั้งได้ง่าย โดยสามารถต่อเข้ากับเพลาของมอเตอร์หรืออุปกรณ์หมุนอื่นๆ และใช้ขั้วต่อ (Terminal) ในการรับและส่งสัญญาณ การต่อสัญญาณจะมีขั้ว A, B และ Z ซึ่งขั้ว Z จะใช้เพื่อบอกตำแหน่งศูนย์ (Index) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีการระบุว่เพลาหมุนมาครบรอบหนึ่งครั้งพอดี

STEP 1

1. Insert Tool A to a position that defines the distance in the mounting surface.
 2. Insert appropriate sized Shim over shaft all the way down to Tool A.
 3. Slide Thrust Adapter over Shim.
 4. Push Tool A to compress Thrust Adapter onto Shim and flush with Tool A.

STEP 2

5. Remove Tool A and B.
 6. Place Base on tool, with Tool A used as a mounting tool.

STEP 3

7. Align Tool A with Base on Shim.
 8. Push Base and Tool A into motor, ensuring entry into the Thrust Adapter.

STEP 4

9. Push the Base on the motor.
 10. Remove Tool B.

STEP 5

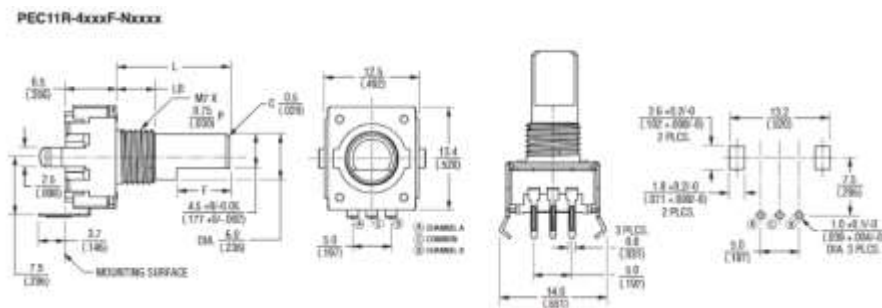
11. Slide the Thrust Adapter into the Base, carefully observing that the shaft of the Thrust Adapter align with the grooves in the hub.

STEP 6

12. Make sure the wings are fully engaged and the Top Cover is flush with the Base.
 13. When assembly is complete, the Thrust Adapter should be aligned flush with the face of the Locator and the Motor Shaft should extend.

2. BOURNS PEC11R-4220F-N0024

โครงสร้างภายนอก: มีการออกแบบมาให้ติดตั้งง่าย โดยทั่วไปจะมีขนาดกะทัดรัดเหมาะกับการใช้งานที่มีพื้นที่จำกัด มีขั้วต่อ (Terminal) ที่ง่ายสำหรับการติดตั้ง และเชื่อมต่อ โดยมักจะมีขั้วสัญญาณ A, B และ GND



การทำงาน: เป็น Encoder แบบ Incremental Encoder AMT103-V ที่ให้สัญญาณ Pulse ต่อการหมุนหนึ่งรอบ การทำงานคล้ายคลึงกับ Encoder แบบ Incremental อื่นๆ โดยเมื่อมีการหมุนในทิศทางที่ต่างกัน สัญญาณ output ของช่อง A และ B จะสลับเฟสกัน ทำให้สามารถตรวจจับทิศทางการหมุนได้ เช่น หาก A นำ B จะหมายถึงการหมุนในทิศทางหนึ่ง และหาก B นำ A หมายถึงหมุนไปในทิศทางตรงกันข้าม

ความละเอียด (Resolution) : โดยรุ่นนี้มีความละเอียดอยู่ที่ 24 PPR (Pulses Per Revolution) หมายความว่าในการหมุนครบหนึ่งรอบจะได้สัญญาณออกมา 24 ครั้ง ซึ่งเพียงพอสำหรับการควบคุมพื้นฐานและใช้งานทั่วไปที่ไม่ต้องการความละเอียดสูงมาก

สัญญาณ Output และการใช้งาน: มีสัญญาณออกเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Square Wave) ที่มาจากขั้ว A และ B ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการคำนวณตำแหน่งหมุน (Rotation Position) หรือทิศทางหมุนได้สามารถนำไปใช้กับ Microcontroller หรือระบบควบคุมที่รองรับสัญญาณ Pulse สำหรับการตรวจนับและควบคุมทิศทางได้

การใช้งาน: เหมาะสำหรับการติดตั้งในงานอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการควบคุมการหมุนหรือตำแหน่งแบบง่ายๆ เช่นในหน้าปัดปรับค่าเสียงหรือความเร็ว สามารถใช้งานได้กับการปรับค่าต่างๆ ที่ไม่ต้องการความแม่นยำสูง หรือมีการเคลื่อนที่ช้าๆ เช่นในแผงควบคุมของเครื่องเสียงหรืออุปกรณ์ปรับแต่งอื่นๆ

3. การอ่านค่าแบบ Quadrature Encoder Interface (QEI)

เป็นเทคนิคที่ใช้กับ Incremental Encoder ซึ่งมีสองสัญญาณหลักคือสัญญาณ A และ B โดยจะมีการออกแบบเพื่อให้อ่านทิศทางและตำแหน่งหมุนได้อย่างละเอียด โดย QEI จะใช้สัญญาณ A และ B ซึ่งเป็นสัญญาณ pulse แบบสี่เหลี่ยม (Square Wave) ที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา ซึ่งการอ่านค่าแบบ QEI มีขั้นตอนและหลักการดังนี้

จับสัญญาณ A และ B: สัญญาณทั้งสองจะมีเฟสต่างกันอยู่ 90 องศา ทำให้สามารถระบุทิศทางการหมุนได้โดยที่:

- ถ้าสัญญาณ A นำสัญญาณ B จะหมายถึงการหมุนไปในทิศทางหนึ่ง เช่น ตามเข็มนาฬิกา
- ถ้าสัญญาณ B นำสัญญาณ A จะหมายถึงการหมุนในทิศทางตรงกันข้าม เช่น ทวนเข็มนาฬิกา

Quadrature Counting: ระบบ QEI จะตรวจนับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ A และ B ที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา และนับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟส สามารถนับตำแหน่งได้มากถึง 4 ครั้งต่อ Cycle ของ Pulse (เรียกว่า x4 Resolution) ซึ่งจะได้ตำแหน่งที่ละเอียดมากขึ้น ซึ่งการนับแบบ x4 Resolution จะใช้การตรวจนับสัญญาณทั้งสองขอบ (Rising และ Falling Edge) ของสัญญาณ A และ B เพื่อเพิ่มความละเอียดในการนับ

โดยการอ่านค่าแบบ QEI สามารถตั้งค่าให้มีความละเอียดในการอ่านได้หลายแบบ เช่น

- x1 Resolution: ตรวจนับแค่ขอบเดียว เช่น Rising Edge ของสัญญาณ A หรือ B
- x2 Resolution: ตรวจนับขอบ Rising และ Falling Edge ของสัญญาณ A หรือ B

- x4 Resolution: ตรวจจับทั้ง Rising และ Falling Edge ของทั้งสัญญาณ A และ B ซึ่งจะเพิ่มความละเอียดมากที่สุด

การอ่านทิศทางและตำแหน่ง : โดยการใช้ QEI ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น STM32 จะสามารถอ่านทิศทางการหมุนได้จากลำดับของสัญญาณ A และ B และคำนวณตำแหน่งได้จากการนับ Pulse ที่เกิดขึ้น ค่าตำแหน่งที่อ่านได้จะถูกเก็บในตัวนับ (Counter) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะเพิ่มหรือลดตามทิศทางการหมุน

4. การอ่านค่าแบบ Polling

เป็นวิธีการอ่านค่าจากอุปกรณ์หรือ Sensor ที่ใช้งานง่ายและตรงไปตรงมา โดยการอ่านค่าแบบนี้จะทำการตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์เป็นระยะๆ ตามที่กำหนด ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้เมื่อเราต้องการอ่านค่าจาก Encoder หรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่ไม่ต้องการการอ่านข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการอ่านค่าแบบ Polling การอ่านค่าแบบ Polling จะทำงานโดยการตั้งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบสถานะของสัญญาณที่ออกมาจาก Encoder หรืออุปกรณ์ตามที่กำหนด เช่น ตรวจสอบขอบ (Edge) ของสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้จาก Encoder ตัวโปรแกรมจะวนลูปและคอยตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสถานะ เช่น หากมีการเปลี่ยนแปลงจาก Low เป็น High (Rising Edge) หรือจาก High เป็น Low (Falling Edge) จะทำให้รู้ว่ามี การหมุนและนับตำแหน่งได้ ซึ่งโค้ดสำหรับ Polling มักจะอยู่ในรูปของลูปที่ทำงานต่อเนื่อง เช่นใน While Loop ซึ่งจะคอยตรวจสอบสถานะของขา Input ที่รับสัญญาณ A และ B จาก Encoder การวน Loop ปนี้จะทำให้โปรแกรมสามารถตรวจจับสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งเราสามารถตั้งเวลาให้เหมาะสมกับความเร็วในการอ่านค่า

5. ข้อดีและข้อเสียของการอ่านค่าแบบ QEI (Quadrature Encoder Interface)

ข้อดี:

- การอ่านค่าแบบ QEI ใช้การนับสัญญาณจาก Encoder อย่างละเอียด สามารถนับได้ถึง 4 ขอบของสัญญาณ A และ B ทำให้ได้ความละเอียดสูง
- QEI สามารถระบุทิศทางการหมุนได้อย่างแม่นยำจากลำดับของสัญญาณ A และ B
- โดยทั่วไป QEI จะใช้งานร่วมกับ Timer ใน Microcontroller ซึ่งทำให้การทำงานรวดเร็วและไม่ต้องใช้ทรัพยากรมากจาก CPU
- QEI สามารถทำงานได้ดีกับสัญญาณจาก Encoder ที่มีความถี่สูง ทำให้เหมาะสำหรับงานที่มีการหมุนเร็ว

ข้อเสีย:

- การตั้งค่า QEI ต้องมีการตั้งค่า Timer หรือ Peripheral ที่ใช้งานให้ถูกต้อง อาจทำให้การเริ่มต้นใช้งานซับซ้อนกว่า Polling
- ในกรณีที่ Encoder มีความละเอียดต่ำ การใช้ QEI อาจไม่แสดงประสิทธิภาพมากนัก
- Microcontroller ทุกตัวไม่ได้รองรับ QEI โดยตรง ทำให้ต้องเลือก Microcontroller ที่มีคุณสมบัตินี้เพื่อใช้งาน
- ค่าที่ได้มาถ้าหมุนเมื่อถึงจุดหนึ่งจะ Reset กลับมาที่ 0 ทำให้จำเป็นต้องหาวิธีการในการทำให้ค่าให้สามารถดำเนินต่อไปได้อย่างต่อเนื่อง

6. ข้อดีและข้อเสียของ Polling

ข้อดี:

- ใช้งานง่าย: Polling มีวิธีการเขียนโค้ดที่ง่ายและตรงไปตรงมา โดยไม่ต้องตั้งค่าพิเศษใน Microcontroller
- รองรับอุปกรณ์หลากหลาย: สามารถใช้ Polling กับอุปกรณ์และ Sensor ได้หลายประเภท ไม่จำกัดเฉพาะ Encoder
- เหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความถี่สูง: Polling เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการอ่านค่าในงานที่ไม่ต้องการความถี่ในการอ่านสูง เช่น การอ่านสถานะของปุ่มหรือการตรวจนับตำแหน่งแบบพื้นฐาน

ข้อเสีย:

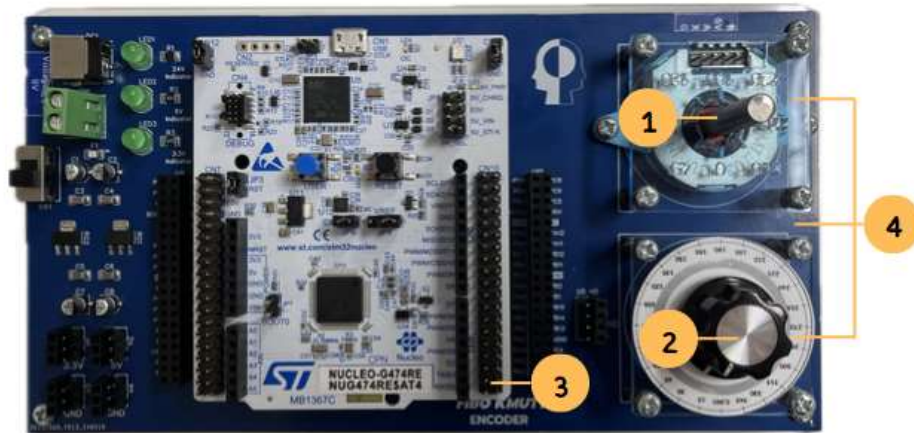
- เปลืองทรัพยากร CPU: Polling ใช้การวน Loop เพื่อตรวจสอบสถานะตลอดเวลา ทำให้ CPU ต้องทำงานหนักและเสียพลังงานมากกว่า QEI
- ประสิทธิภาพต่ำกับสัญญาณความถี่สูง: Polling อาจพลาดการตรวจนับสัญญาณบางครั้งในกรณีที่ Encoder หมุนเร็วเกินไป
- ไม่เหมาะกับงานที่ต้องการความแม่นยำสูง: Polling มีข้อจำกัดในเรื่องของความแม่นยำและประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเทียบกับ QEI

วิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองเรื่อง Incremental Encoder สามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรก คือ การต่อวงจรระหว่าง Incremental Encoder แต่ละประเภท รวมทั้งหมด 2 ชิ้น เข้ากับบอร์ด Nucleo STM32G474RE และตั้งค่าขา pin ของบอร์ด Nucleo STM32G474RE ให้รับสัญญาณของ Incremental Encoder ได้ ส่วนที่สอง คือการอ่านค่าแบบ QEI และ Polling โดยการอ่านค่าแบบ QEI จะต้องทำให้ค่าที่ได้จาก Incremental Encoder ไม่กลับไป 0 ด้วย จากนั้นนำค่าที่ได้มาแปลงให้เป็น องศาและความเร็วเชิงมุม ส่วนการอ่านค่าแบบ Polling ต้องอ่านค่า Pulse ที่มาจาก Incremental Encoder และทำให้ออกมาเป็นค่าที่สามารถดูได้ว่าหมุนไปเท่าไร และต้องทำให้สามารถอ่านค่าของ Encoder x1 x2 และ x4 ได้ ส่วนที่สาม หมุน Incremental Encoder และดูค่าที่ออกมาและนำมาวิเคราะห์

วัสดุอุปกรณ์

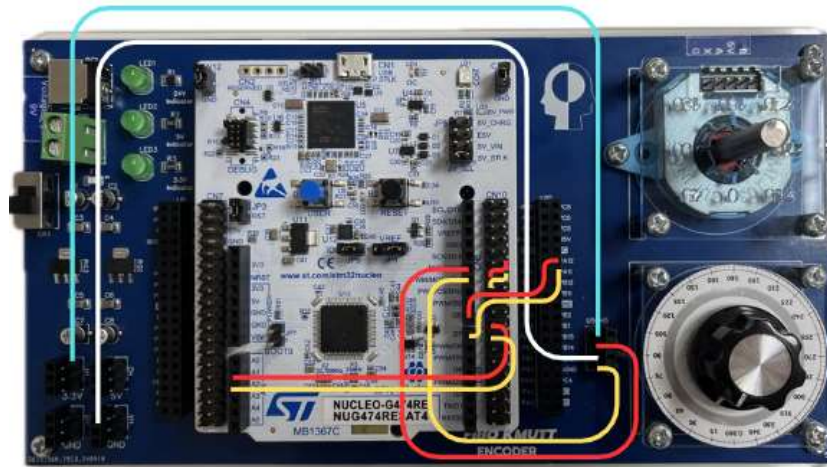
1. Incremental Encoder AMT103-V จำนวน 1 อัน
2. BOURNS PEC11R-4220F-N0024 จำนวน 1 อัน
3. Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด
4. EncoderXplorer จำนวน 1 ชุด - ฐานสามารถบรรจุบอร์ดควบคุม, Breadboard, Incremental Encoder, 3D-Print ใช้สำหรับการวัดมุมการหมุนของ Incremental Encoder ลักษณะคล้ายไมโครแทกเตอร์
5. สายจัมเปอร์



ภาพที่ 37 ส่วนประกอบบนบอร์ด Incremental Encoder

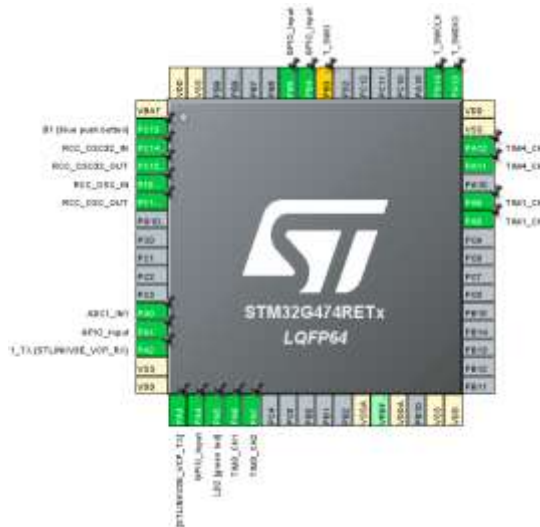
ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ต่อสายจัมเปอร์ Encoder กับ Nucleo STM32G474RE ตามรูปภาพ ดังนี้



ภาพที่ 38 การต่อสายจัมเปอร์ระหว่าง Incremental Encoder AMT103-V และ BOURNS PEC11R-4220F-N0024 กับ Nucleo STM32G474RE

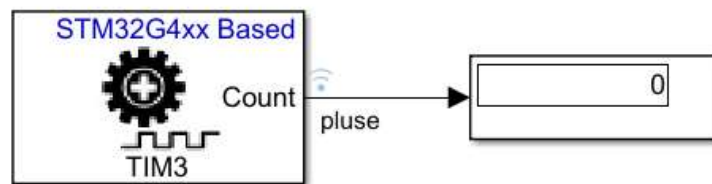
2. ตั้งขาใน Board Nucleo ดังนี้



ภาพที่ 39 การตั้งขา Pin ของ Board Nucleo สำหรับการทดลอง

การรับสัญญาณแบบ QEI

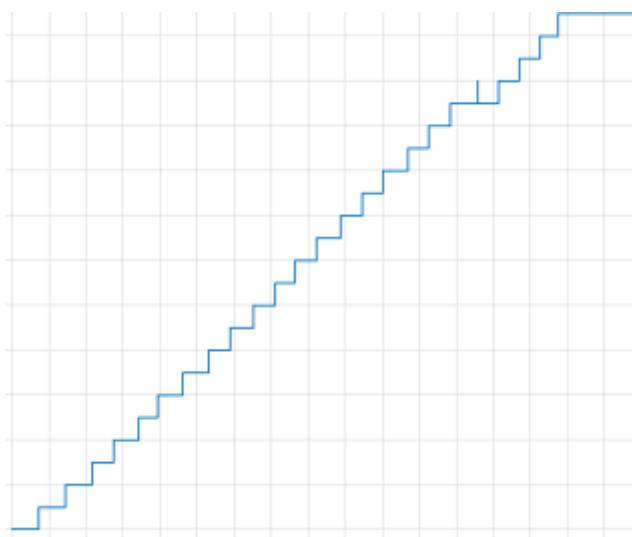
3. ตั้ง Encoder mode ของ TIM3 เป็น Encoder mode x1_TI1 (Encoder x1)
TIM4 เป็น Encoder mode TI1 (Encoder x2)
TIM1 เป็น Encoder mode TI1 and TI2 (Encoder x4)
4. ในหน้า Advanced settings ปิด Visibility (Static) ทั้งหมด และแก้ Driver Selector ทั้งหมดให้เป็น LL และกด Generate Code
5. ใช้ Block Encoder ของ Simulink ในการรับค่าแบบ QEI ของ Encoder ดังนี้



ภาพที่ 40 การใช้ block Encoder ของ Simulink ในการรับค่าแบบ QEI ของ Encoder

ตั้งให้ Block Encoder รับค่าจากขา TIM3

6. ตั้งโหมดรันของ Simulink เป็นแบบ Run on Board
7. กดรัน จากนั้นหมุน Encoder ให้ครบ 1 รอบ และนำกราฟที่ได้จากการ Log สัญญาณออกมาเพื่อดูว่า Encoder นี้มี Pulse Per Resolution เท่าไร



ภาพที่ 41 กราฟที่ได้จากการ Log สัญญาณออกมาเพื่อดู Pulse Per Resolution ของ Encoder

จากภาพเราจะเห็นได้ว่า ในการหมุน 1 รอบของ BOURNS PEC11R-4220F-N0024 จะมีทั้งหมด 24 pulse

8. แก้ไข Counter Period ใน Configuration ของขา TIM1 TIM3 TIM4 เป็น 65520 เนื่องจาก 16 bit จะได้ค่าทั้งหมด 65535 ซึ่งหาร 24 ไม่ลงตัว จึงนำ 65535 ไปหารเอาเศษและนำมาลบ ซึ่งจะทำให้ได้ 65520 จากนั้นกด Generate Code
6. เพื่อไม่ให้ค่าของ Encoder กลับมาที่ 0 จึงใช้ MATLAB ใน Simulink ในการทำให้ค่านั้น Run ต่อไปเรื่อย ๆ และโดยใช้ Code ใน MATLAB ดังนี้



```
1 function continuousCount = QEI_DifferenceMethod(currentCount, maxCount)
2     persistent previousCount totalCount
3
4     if isempty(previousCount)
5         previousCount = currentCount;
6         totalCount = 0;
7     end
8
9     diffCount = currentCount - previousCount;
10
11     if diffCount < -maxCount/2
12         totalCount = totalCount + (maxCount + diffCount);
13     elseif diffCount > maxCount/2
14         totalCount = totalCount + (diffCount - maxCount);
15     else
16         totalCount = totalCount + diffCount;
17     end
18     previousCount = currentCount;
19     continuousCount = totalCount;
20
21 end
```

ภาพที่ 42 Code ส่วนที่ใช้ป้องกันไม่ให้ค่าของ Encoder กลับมาที่ 0

โดยเริ่มจากประกาศตัวแปร previousCount และ totalCount เป็น Persistent ซึ่งทำให้ค่าของตัวแปรนี้ไม่ถูก Reset เมื่อฟังก์ชันถูกเรียกใหม่ในครั้งถัดไป แต่จะเก็บค่าเดิมไว้ ประกาศตัวแปร previousCount เก็บค่าของตำแหน่งก่อนหน้า (Previous position count) ประกาศตัวแปร totalCount เก็บค่าตำแหน่งเชิงต่อเนื่อง (Continuous position count) ต่อมาใช้ isempty(previousCount) เพื่อตรวจสอบว่าฟังก์ชันนี้ถูกเรียกครั้งแรกหรือไม่ ถ้าใช่จะตั้งค่าเริ่มต้นของ previousCount เป็น currentCount และตั้ง totalCount เป็น 0 ค่า diffCount คือค่าความแตกต่างระหว่างค่าปัจจุบัน (currentCount) กับค่าก่อนหน้า (previousCount) ซึ่งใช้เพื่อตรวจสอบว่าการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นการเกินขีดจำกัดหรือไม่ และการตรวจสอบการเกินขีดจำกัด (Wrap-Around) โดยใช้เงื่อนไขดังนี้

- ถ้า $\text{diffCount} < -\text{maxCount}/2$: หมายความว่ามีการข้ามขีดจำกัดด้านล่าง (เช่น จาก 1 ไป maxCount) จะทำให้ totalCount เพิ่มขึ้นโดยการบวก $\text{maxCount} + \text{diffCount}$
 - ถ้า $\text{diffCount} > \text{maxCount}/2$: หมายความว่ามีการข้ามขีดจำกัดด้านบน (เช่น จาก maxCount ไป 1) จะทำให้ totalCount เพิ่มขึ้นโดยการบวก $\text{diffCount} - \text{maxCount}$
 - กรณีอื่น ๆ จะเพิ่ม diffCount เข้าไปใน totalCount โดยตรง
- จากนั้น Update ค่า previousCount หลังจากการคำนวณทั้งหมด ค่าของ currentCount จะถูกเก็บใน previousCount เพื่อใช้ในรอบถัดไป

7. ใช้สูตรแปลงค่าเพื่อหาค่าเป็นหน่วย Radians ตามสมการ ดังนี้

$$\text{Radians} = \frac{2\pi \times \text{count}}{\text{PPR}}$$

เมื่อ

Radians = องศาการหมุน (rads)

Count = จำนวนรอบที่นับได้

PPR = Pulse per Revolution

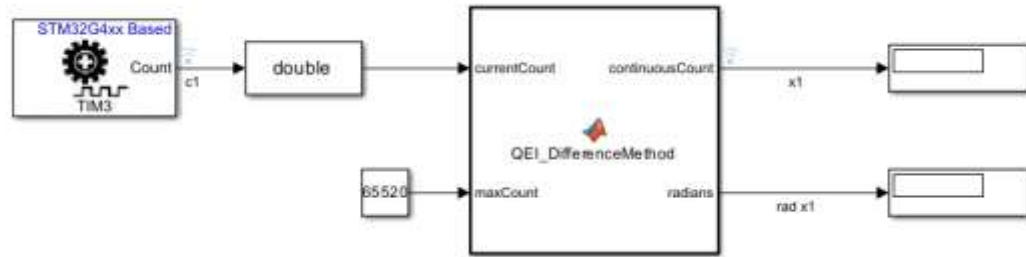
เพื่อแปลงค่าที่ได้มาเป็นหน่วย rads โดยเขียนในรูปแบบ Code ดังนี้ในการแปลง

```
radians = (totalCount / 24) * 2 * pi;
```

ภาพที่ 43 Code ส่วนที่ใช้สร้างสมการแปลงค่าหน่วย rad

และเพิ่มเข้าไปใน Code ข้อ 6.

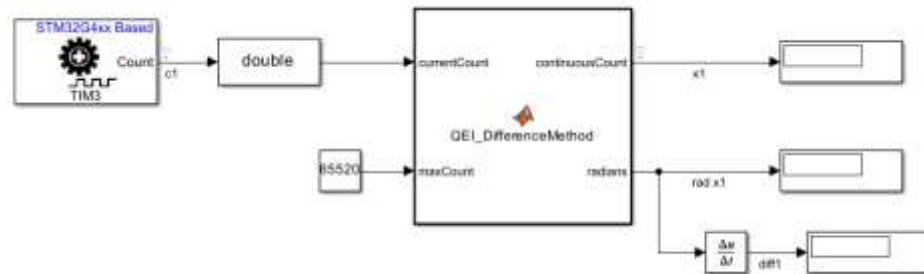
8. ต่อ Simulink ดังนี้



ภาพที่ 44 การต่อ Block Diagram ใน Simulink เพื่อรับค่าจาก Encoder

โดยค่า maxCount คือค่าของ Counter Period ที่ตั้งไว้ในตอนแรก

9. ใช้ Derivative ของ Simulink ในการแปลงค่าจาก rads เป็น Velocity

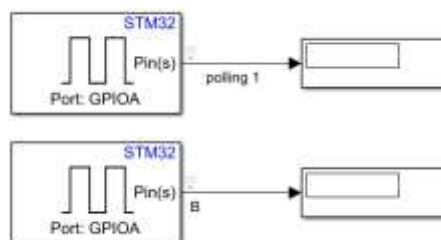


ภาพที่ 45 การต่อ Block Diagram ใน Simulink เพื่อแปลงค่า rad เป็น Velocity

10. ทำส่วนของ TIM 1 และ TIM4 ตาม TIM3

การรับสัญญาณแบบ Polling

11. ใช้ Block Digital Port Read ของ Simulink ในการรับค่า Polling ของ Encoder ดังนี้



ภาพที่ 46 การต่อ Block Diagram ใน Simulink เพื่อรับค่า Polling จาก Encoder

โดยตั้งให้ Block รับค่าจากขา GPIO 1 และ GPIO 4

12. ใช้โปรแกรม MATLAB ในเพื่อนับ Count ของ Encoder x1 โดยใช้ code ดังนี้

```
1 function count = readEncoder1x(A, B)
2
3 persistent lastA encoderCount
4
5 if isempty(encoderCount)
6     encoderCount = 0;
7     lastA = A;
8 end
9
10 currentA = A;
11
12 if lastA == 0 && currentA == 1
13
14     if B == 0
15         encoderCount = encoderCount + 1;
16     else
17         encoderCount = encoderCount - 1;
18     end
19 end
20
21 lastA = currentA;
22
23 count = encoderCount;
```

ภาพที่ 47 Code ส่วนที่ใช้นับ count ของ Encoder x1

ประกาศตัวแปร lastA และ encoderCount และกำหนดให้เป็น Persistent เพื่อเก็บค่าไว้ข้ามการเรียกฟังก์ชันและ lastA ใช้เพื่อตรวจสอบสถานะของสัญญาณ A ในการเรียกฟังก์ชันครั้งก่อนหน้า ประกาศ encoderCount ใช้เพื่อเก็บค่าตำแหน่งของ Encoder ใช้ isempty(encoderCount) ในการตรวจสอบว่าเป็นการเรียกฟังก์ชันครั้งแรกหรือไม่ ถ้าใช่ ตั้งค่า encoderCount เริ่มต้นเป็น 0 และตั้งค่า lastA เป็นค่าเริ่มต้นของสัญญาณ A ปัจจุบัน ตั้งค่า currentA เท่ากับ A ซึ่งเป็นสถานะของสัญญาณ A ปัจจุบัน จากนั้นการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ A โดยเงื่อนไข if lastA == 0 && currentA == 1 ตรวจสอบว่ามีการเปลี่ยนจาก 0 ไป

1 ในสัญญาณ A ซึ่งจะเป็นการตรวจจับขอบสัญญาณที่เพิ่มขึ้น (Rising Edge) จากนั้นการตรวจสอบทิศทางของการหมุน

- ถ้า B == 0 หมายถึงการหมุนในทิศทางหนึ่ง จะเพิ่ม encoderCount ขึ้น 1
- ถ้า B == 1 หมายถึงการหมุนในทิศทางตรงกันข้าม จะลด encoderCount ลง 1

หลังจากตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงแล้ว lastA ถูก Update ให้เท่ากับ currentA เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบในรอบถัดไป

13. ในส่วนของ Encoder x2 ใช้ Code ดังนี้

```
1 function count = readEncoder2x(A, B)
2 persistent lastA lastB encoderCount
3
4 if isempty(encoderCount)
5     encoderCount = 0;
6     lastA = A;
7     lastB = B;
8 end
9 currentA = A;
10 currentB = B;
11 if lastA ~= currentA
12
13     if currentA == 1
14         if currentB == 0
15             encoderCount = encoderCount + 1;
16         else
17             encoderCount = encoderCount - 1;
18         end
19
20     elseif currentA == 0
21         if currentB == 1
22             encoderCount = encoderCount + 1;
23         else
24             encoderCount = encoderCount - 1;
25         end
26     end
27 end
28 lastA = currentA;
29 lastB = currentB;
30
31 count = encoderCount;
```

ภาพที่ 48 Code ส่วนที่ใช้นับ count ของ Encoder x2

ประกาศค่า lastB เพิ่มขึ้นและ กำหนดให้เป็น Persistent ใช้เพื่อตรวจสอบสถานะก่อนหน้าของสัญญาณ B ตั้ง currentB ให้เท่ากับค่า B ปัจจุบันเพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ ใช้เงื่อนไข if lastA \sim currentA เพื่อตรวจสอบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสถานะของสัญญาณ A หรือไม่ หากมีการเปลี่ยนแปลง จะแสดงว่ามีการเลื่อนตำแหน่งของ Encoder ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง จากนั้นตรวจสอบทิศทางการหมุนโดยอ้างอิงสัญญาณ B ถ้า currentA เปลี่ยนเป็น 1 (เกิด Rising Edge ในสัญญาณ A) จะดูว่า

- ถ้า currentB == 0 หมายถึงหมุนไปในทิศทางหนึ่ง จะเพิ่ม encoderCount ขึ้น 1
- ถ้า currentB == 1 หมายถึงหมุนในทิศทางตรงกันข้าม จะลด encoderCount ลง 1

และถ้า currentA เปลี่ยนเป็น 0 (เกิด Falling Edge ในสัญญาณ A):

- ถ้า currentB == 1 หมายถึงหมุนไปในทิศทางหนึ่ง จะเพิ่ม encoderCount ขึ้น 1
- ถ้า currentB == 0 หมายถึงหมุนในทิศทางตรงกันข้าม จะลด encoderCount ลง 1

หลังจากตรวจสอบและคำนวณตำแหน่งแล้ว ค่า currentA และ currentB จะถูกเก็บไว้ใน lastA และ lastB ตามลำดับ เพื่อใช้เปรียบเทียบในการเรียกฟังก์ชันครั้งถัดไป

14. และในส่วนของ Encoder x4 ใช้ Code ดังนี้

```
1 function count = readEncoder4x(A, B)
2 persistent lastA lastB encoderCount
3
4 if isempty(encoderCount)
5     encoderCount = 0;
6     lastA = A;
7     lastB = B;
8 end
9 currentA = A;
10 currentB = B;
11 if currentA ~= lastA || currentB ~= lastB
12
13     if lastA == 0 && currentA == 1
14         if currentB == 0
15             encoderCount = encoderCount + 1;
16         else
17             encoderCount = encoderCount - 1;
18         end
19     elseif lastA == 1 && currentA == 0
20         if currentB == 1
21             encoderCount = encoderCount + 1;
22         else
23             encoderCount = encoderCount - 1;
24         end
25     elseif lastB == 0 && currentB == 1
26         if currentA == 1
27             encoderCount = encoderCount + 1;
28         else
29             encoderCount = encoderCount - 1;
30         end
31     elseif lastB == 1 && currentB == 0
32         if currentA == 0
33             encoderCount = encoderCount + 1;
34         else
35             encoderCount = encoderCount - 1;
36         end
37     end
38 end
39 lastA = currentA;
40 lastB = currentB;
41 count = encoderCount;
```

ภาพที่ 49 Code ส่วนที่ใช้นับ Count ของ Encoder x4

เปลี่ยนไปใช้เงื่อนไข if currentA \neq lastA || currentB \neq lastB เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณใดสัญญาณหนึ่ง (A หรือ B) ซึ่งหมายถึง encoder มีการเคลื่อนที่ จากนั้นการตรวจสอบทิศทางของการหมุน โดยใช้เงื่อนไขย่อยเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงขอบของสัญญาณแต่ละขอบทั้ง Rising Edge และ falling edge สำหรับทั้ง A และ B:

ในส่วนขอบขึ้นของ A ถ้า lastA = 0 และ currentA = 1 จะดูว่า

- ถ้า currentB == 0 หมายถึงหมุนไปในทิศทางหนึ่ง จะเพิ่ม encoderCount ขึ้น 1
- ถ้า currentB == 1 หมายถึงหมุนไปในทิศทางตรงกันข้าม จะลด encoderCount ลง 1

ในส่วนขอบลงของ A ถ้า lastA = 1 และ currentA = 0 จะดูว่า

- ถ้า currentB == 1 หมายถึงหมุนไปในทิศทางหนึ่ง จะเพิ่ม encoderCount ขึ้น 1
- ถ้า currentB == 0 หมายถึงหมุนไปในทิศทางตรงกันข้าม จะลด encoderCount ลง 1

ในส่วนขอบขึ้นของ B ถ้า lastB = 0 และ currentB = 1 จะดูว่า

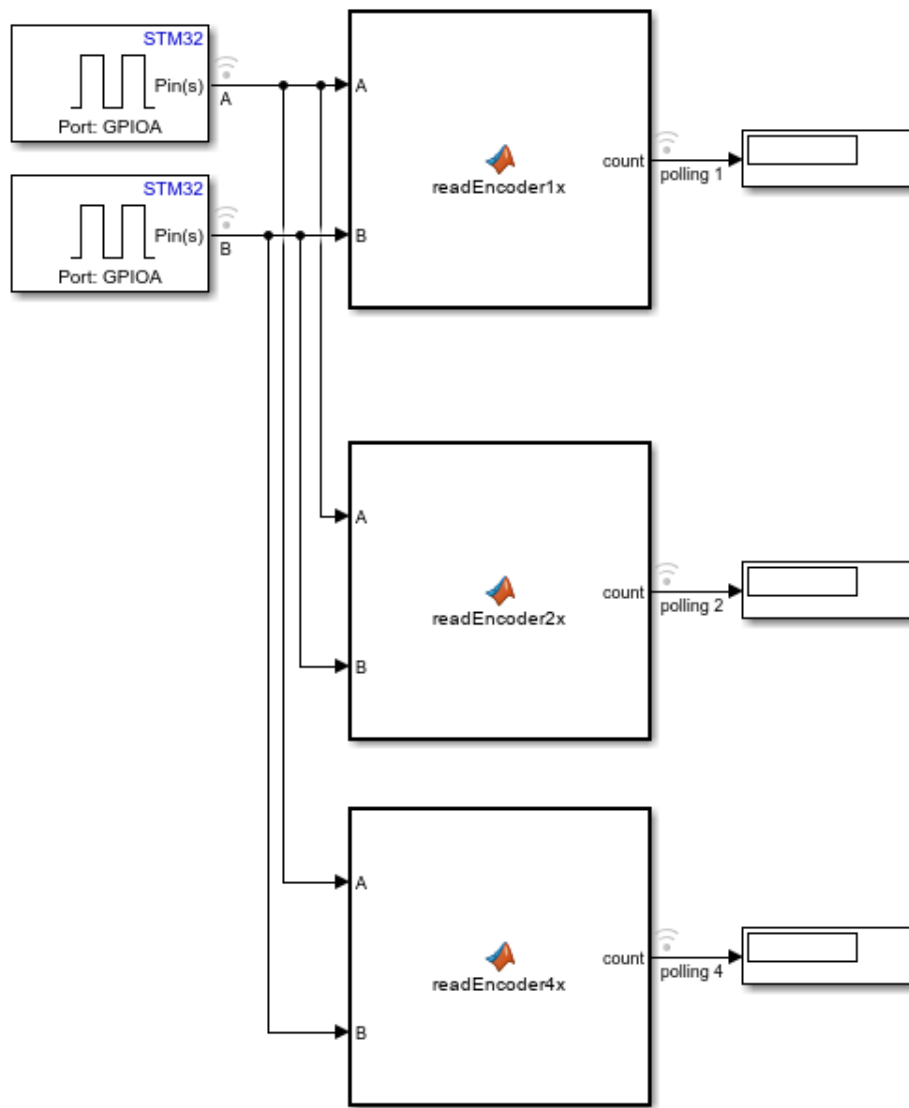
- ถ้า currentA == 1 หมายถึงหมุนไปในทิศทางหนึ่ง จะเพิ่ม encoderCount ขึ้น 1
- ถ้า currentA == 0 หมายถึงหมุนไปในทิศทางตรงกันข้าม จะลด encoderCount ลง 1

ในส่วนขอบลงของ B ถ้า lastB = 1 และ currentB = 0 จะดูว่า

- ถ้า currentA == 0 หมายถึงหมุนไปในทิศทางหนึ่ง จะเพิ่ม encoderCount ขึ้น 1
- ถ้า currentA == 1 หมายถึงหมุนไปในทิศทางตรงกันข้าม จะลด encoderCount ลง 1

หลังจากคำนวณตำแหน่งเสร็จสิ้น ค่า currentA และ currentB จะถูกบันทึกใน lastA และ lastB ตามลำดับเพื่อใช้เปรียบเทียบในการเรียกฟังก์ชันครั้งถัดไป

15. ต่อ Simulink ดังนี้



ภาพที่ 50 การต่อ Block Diagram ใน Simulink เพื่อรับค่า Polling ของ Encoder x1 x2 และ X4

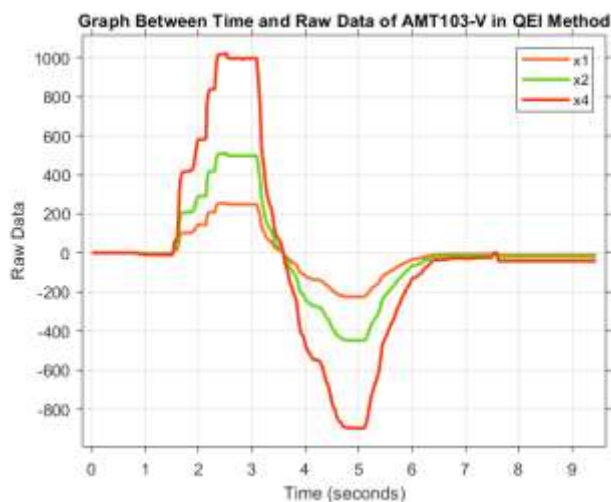
16. จากนั้น Run และดูค่าที่ออกมาจาก Data Inspector โดยค่าที่ออกมาจะมี Raw Input , rads , Velocity, ค่าที่ได้จาก Polling ของ Encoder x1 x2 และ X4

ผลการทดลอง

การเก็บค่าของ Incremental Encoder AMT103-V สามารถแบ่งการเก็บค่าออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

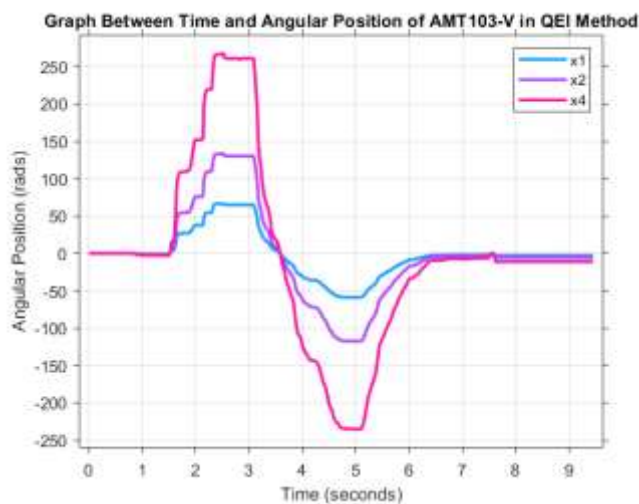
1. การเก็บค่าแบบ QEI Method ซึ่งสามารถแบ่งการเก็บค่าออกเป็น Raw Data, Angular Position และ Angular Velocity

1.1 การเก็บค่า Raw Data แบบ QEI Method



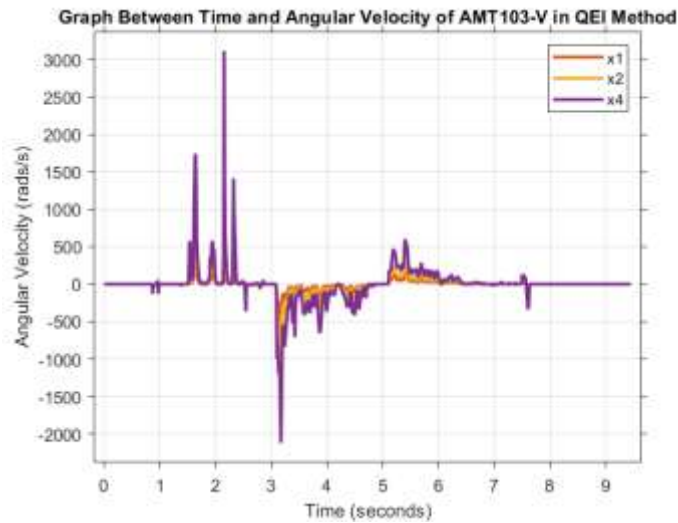
ภาพที่ 51 กราฟเปรียบเทียบระหว่างเวลาและ Raw Data แบบ Real Time ด้วย QEI Method ของ AMT103-V

1.2 การเก็บค่า Angular Position แบบ QEI Method



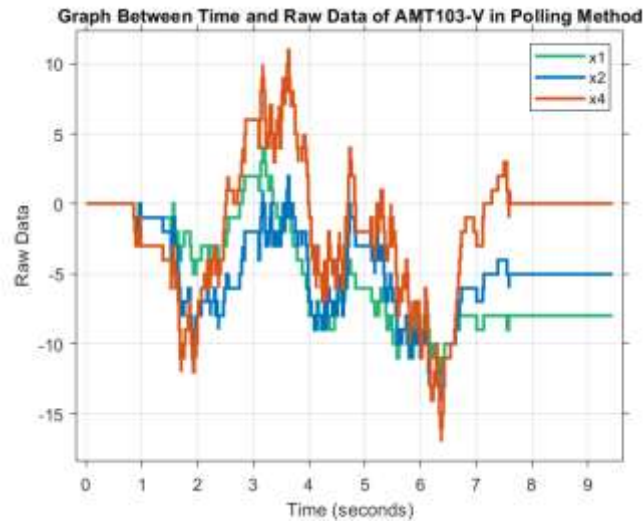
ภาพที่ 52 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างเวลาและ Raw Data แบบ Angular Position ด้วย QEI Method ของ AMT103-V

1.3 การเก็บค่า Angular Velocity แบบ QEI Method



ภาพที่ 53 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างเวลาและ Raw Data แบบ Angular Velocity ด้วย QEI Method ของ AMT103-V

2. การเก็บค่าแบบ Polling Method ซึ่งสามารถแบ่งการเก็บค่าออกเป็น Raw Data ดังนี้

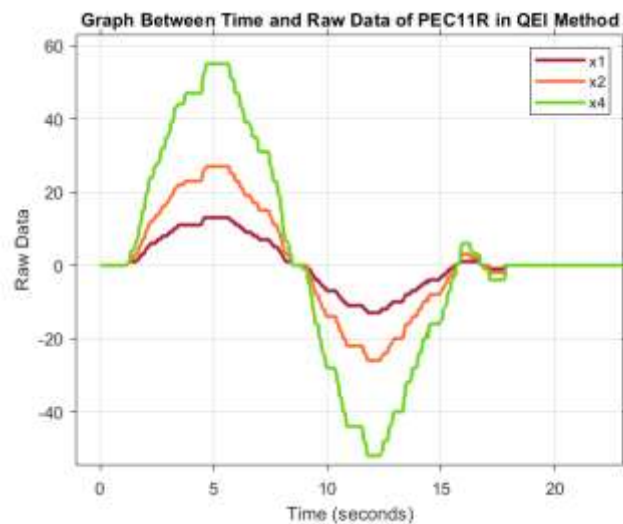


ภาพที่ 54 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างเวลาและ Raw Data แบบ Polling Method ด้วย QEI Method ของ AMT103-V

การเก็บค่าของ BOURNS PEC11R-4220F-N0024 สามารถแบ่งการเก็บค่าออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

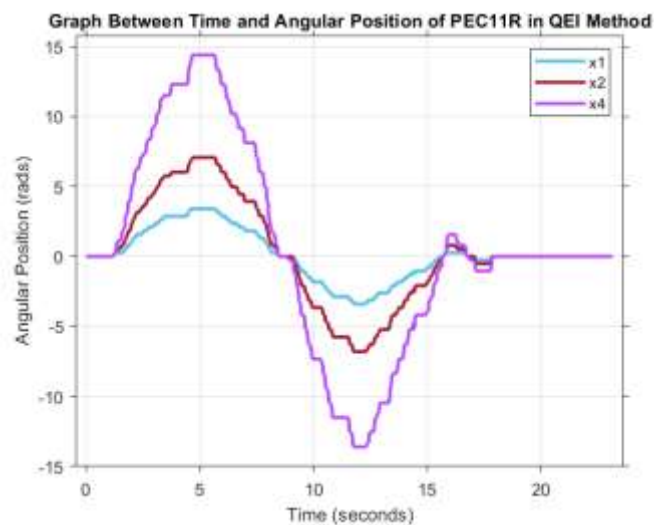
1. การเก็บค่าแบบ QEI Method ซึ่งสามารถแบ่งการเก็บค่าออกเป็น Raw Data, Angular Position และ Angular Velocity

1.1 การเก็บค่า Raw Data แบบ QEI Method



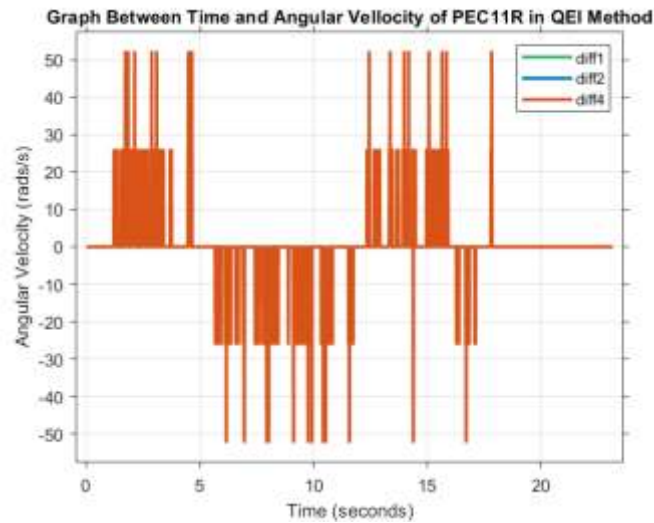
ภาพที่ 55 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างเวลาและ Raw Data แบบ Real Time ด้วย QEI Method ของ PEC11R

1.2 การเก็บค่า Angular Position แบบ QEI Method



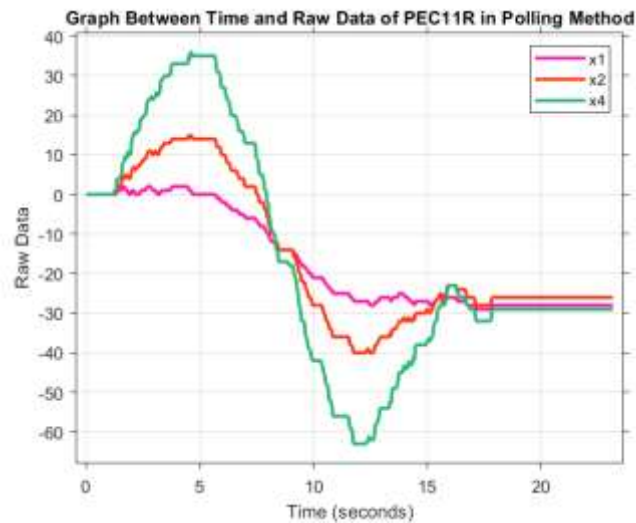
ภาพที่ 56 การเปรียบเทียบระหว่างเวลาและ Angular Position แบบ Real Time ด้วย QEI Method ของ PEC11R

1.3 การเก็บค่า Angular Velocity แบบ QEI Method



ภาพที่ 57 การเปรียบเทียบระหว่างเวลาและ Angular Velocity แบบ Real Time ด้วย QEI Method ของ PEC11R

2. การเก็บค่าแบบ Polling Method ซึ่งสามารถแบ่งการเก็บค่าออกเป็น Raw Data ดังนี้



ภาพที่ 58 การเปรียบเทียบระหว่างเวลาและ Raw Data แบบ Real Time ด้วย Polling Method ของ PEC11R

สรุปผล

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าจากการเก็บค่า โดยใช้ QEI Method นั้นมีความแม่นยำและถูกต้องที่มากกว่าการเก็บค่าด้วย การใช้ Polling Method และเห็นได้อย่างชัดเจนจากการเก็บค่าของ Incremental Encoder AMT103-V และการใช้ Polling Method นั้นทำให้เห็นว่าค่าที่ออกมามีค่าคลาดเคลื่อนมากกว่าที่จะนำไปใช้ในการตรวจสอบของการหมุนได้ และในส่วนถัดไปคือการอ่านค่าแบบ Encoder x1 x2 x4 ยังมีความละเอียดมากค่าที่ได้ออกมาจะมีค่าที่มากขึ้นตามและค่าของการแปลงเป็นให้อยู่ในรูป SI Unit นั้นก็สอดคล้องกับองศาการหมุนของ Incremental Encoder และนอกจากนี้ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า Incremental Encoder AMT103-V มีความละเอียดในการเก็บค่ามากกว่า BOURNS PEC11R-4220F-N0024

อภิปรายผล

จากการทดลองนี้ได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างวิธีการเก็บข้อมูลด้วย QEI Method และ Polling Method รวมถึงการเปรียบเทียบความละเอียดของการอ่านค่าด้วยการตั้งค่า x1, x2, และ x4 สำหรับ Incremental Encoder สองรุ่น ได้แก่ AMT103-V และ BOURNS PEC11R-4220F-N0024

1. การเก็บข้อมูลด้วย QEI Method แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำที่สูงกว่าอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับการใช้ Polling Method ซึ่งในกราฟแสดงผลข้อมูลพบว่า QEI Method สามารถให้ผลลัพธ์ที่เสถียรและแม่นยำมากขึ้น ส่วนการใช้ Polling Method มีแนวโน้มให้ค่าที่มีความผันผวนและไม่เสถียร การที่ผลลัพธ์ที่ได้จาก Polling Method มีค่าคลาดเคลื่อนมากกว่านั้นเกิดจากการประมวลผลไม่เร็วพอ ซึ่งทำให้การอ่านค่าองศาของการหมุนไม่ละเอียดและแม่นยำพอที่จะใช้งานในกรณีที่ต้องการความแม่นยำสูง
2. จากผลการทดลองเมื่อใช้การตั้งค่าความละเอียดต่างๆ พบว่าการตั้งค่าให้มีความละเอียดสูงขึ้นจาก x1 ไปยัง x2 และ x4 ทำให้ค่าที่ได้จากการวัดมีความละเอียดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยจากภาพที่ 55 x4 จะมีจำนวนข้อมูลที่อ่านได้มากที่สุดและละเอียดกว่าการตั้งค่าแบบ x1 และ x2 โดย x2 จะมีค่ามากกว่า x1 2 เท่า และ x4 จะมีค่ามากกว่า x1 4 เท่า
3. ในการทดลองนี้พบว่า Incremental Encoder AMT103-V มีความสามารถในการเก็บข้อมูลที่ละเอียดและแม่นยำมากกว่า BOURNS PEC11R-4220F-N0024 โดยจากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จาก AMT103-V มีความละเอียดสูงและมีเสถียรภาพในการวัดมากกว่า PEC11R ซึ่งมีการผันผวนของค่ามากกว่า AMT103-V จึงเหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความละเอียดและความแม่นยำในการวัดที่สูงกว่า

4. ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าจากการแปลงเป็นให้อยู่ในรูป SI Unit นั้นก็สอดคล้องกับองศาการหมุนของ Incremental Encoder ถ้าเกิดหมุน Incremental Encoder ไปทางใดทางหนึ่งค่าจะเพิ่มขึ้นตามแต่ในทางกลับกันถ้าหมุนในทิศทางตรงกันข้าม ค่าก็จะลดลงตามองศาที่หมุน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรรู้ specification ความละเอียดของ Encoder ที่จะใช้ก่อนนำไปใช้งานจริง
2. การเลือกการรับค่าสัญญาณแบบ QEI Method มีประสิทธิภาพกว่า Polling Method แต่มีวิธีใช้งานที่ซับซ้อนกว่า การนำไปใช้งานจริง ควรพิจารณาจากงานที่ใช้ และความสามารถในการเขียนการทำงานของผู้ใช้

เอกสารอ้างอิง(แนบ link)

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/432661/CUI/AMT103-V.html>

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

การทดลองที่ 4 Magnetic Sensor

จุดประสงค์

- เพื่อศึกษาหลักการทำงานของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor ผ่านการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า
- เพื่อศึกษาลักษณะสัญญาณ Output ของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor เมื่อ Magnetic Flux Density เปลี่ยนแปลงไป
- เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Field Shielding และ Magnetic Flux Density

สมมติฐาน

ถ้าการปรับระยะทางระหว่างแม่เหล็ก กับ Magnetic Sensor ส่งผลต่อการปริมาณแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นการเพิ่มและลดระยะทางจะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยทิศของขั้วแม่เหล็กยังส่งผลต่อแรงดันไฟฟ้าอีกด้วย

ตัวแปร

ตัวแปรต้น : ระยะระหว่างแม่เหล็ก กับ Magnetic Sensor

ตัวแปรตาม : แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จาก Sensor (Volt)

ตัวแปรควบคุม : แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้าบอร์ด, ประเภทของ Magnetic Sensor, ประเภทของแม่เหล็กที่ใช้งาน, ขั้วของแม่เหล็กที่ใช้งาน, ชนิดของสายจัมเปอร์ที่ใช้เชื่อมต่อสายไฟ และชนิดของบอร์ด Microcontroller

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. สายจัมเปอร์ (Jumpers) หมายถึง คือสายที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อระหว่าง Sensor เข้ากับบอร์ดทดลอง โมดูลต่าง ๆ หรือแหล่งจ่ายไฟเพื่อเชื่อมต่อวงจรเข้าด้วยกัน
2. บอร์ด Microcontroller หมายถึง อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งรวมเอาหน่วยประมวลผล, หน่วยความจำ และพอร์ต เข้าไว้ด้วยกัน เพื่อประพடுத்தทำหน้าที่สั่งงานคล้ายคลึงกับคอมพิวเตอร์
3. Magnetic Sensor หมายถึง Sensor ชนิดหนึ่งที่แปลงขนาดและการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กเป็นสัญญาณไฟฟ้า
4. Hall Effect หมายถึง การผลิตแรงดันไฟฟ้าข้ามตัวนำไฟฟ้าที่มีทิศทางขวางกับกระแสไฟฟ้าในตัวนำ และสนามแม่เหล็ก ที่ตั้งฉากกับกระแสไฟฟ้า
5. Magnetic Flux Density หมายถึง จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วยพื้นที่ที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กตกตั้งฉาก

6. MagneticXplorer หมายถึง บอร์ดการเรียนรู้ในรายวิชา FRA 231 : Robotics Modelling & Experimentation (RMX) สำหรับใช้ในการทดลองที่ 4 Magnetic Sensor
7. ขั้ว S หมายถึง ขั้วแม่เหล็กใต้
8. ขั้ว N หมายถึง ขั้วแม่เหล็กเหนือ
9. Workspace หมายถึง ส่วนที่เก็บค่าตัวแปรชั่วคราวของ MATLAB
10. Data Inspector หมายถึง Function สำหรับตรวจสอบ และเก็บค่า Output ใน Simulink
11. Run หมายถึง การเริ่มการทำงานของโปรแกรม
12. Stop Time หมายถึง การตั้งเวลาหยุดการทำงานของโปรแกรม
13. Duplicate หมายถึง การเพิ่มสำเนาของข้อมูล

นิยามเชิงปฏิบัติการ

1. Hall Effect หมายถึง Hall Effect ที่เกิดขึ้นบนบอร์ด MagneticXplorer
2. Magnetic Sensor หมายถึง Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor รุ่น DRV5055A2
3. แม่เหล็ก หมายถึง แม่เหล็กทรงกระบอกความแรงสูงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm บนบอร์ด MagneticXplorer
4. Shield หมายถึง การที่มีแผ่นโลหะหนา 1 mm ที่ปิดบังแม่เหล็กบนบอร์ด MagneticXplorer
5. No Shield หมายถึง การที่ไม่มีแผ่นโลหะหนา 1 mm ที่ปิดบังแม่เหล็กบนบอร์ด MagneticXplorer

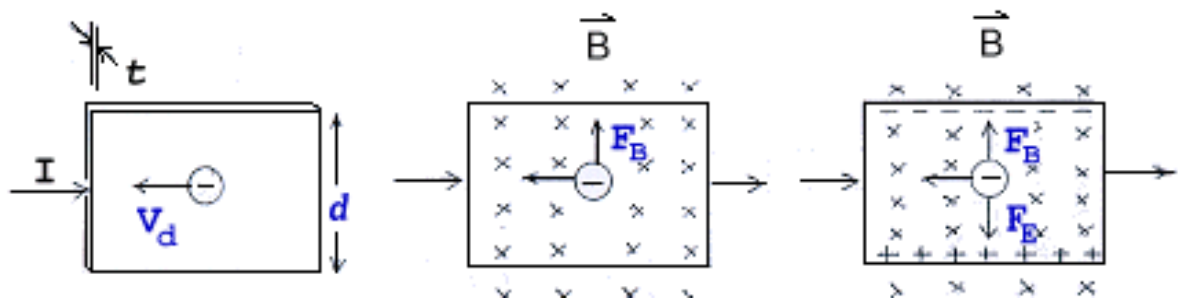
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect)

หมายถึง การเกิดสนามไฟฟ้าในตัวนำบางในทิศทางที่ตั้งฉากกับทั้งกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ค้นพบในปีค.ศ. 1879 โดยคุณเอ็ดวิน ฮอลล์ (Edwin Hall) นักศึกษามหาวิทยาลัยจอห์น ฮอปคินส์ อายุ 24 ปี พบว่าเมื่อนำแผ่นตัวนำบางที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านไปวางไว้ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก พาหะประจุ (Charge Carriers) ในตัวนำสามารถเบนไปจากแนวทางเดิมได้ และทำให้เกิดปรากฏการณ์ฮอลล์

จากรูปด้านล่างแสดงแผ่นตัวนำบางที่มีขนาดความกว้าง d หนา t และมีกระแสไฟฟ้า ขนาด I ผ่านในทิศจากด้านซ้ายไปด้านขวา พาหะประจุคืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ ในทิศตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้า I จากด้านขวาไปด้านซ้าย

ต่อมาเมื่อใส่สนามแม่เหล็ก B ในทิศพุ่งเข้าหาและตั้งฉากกับระนาบแผ่นตัวนำบางหรือกระดาษ จะเกิดแรงแม่เหล็ก F_B กระทำกับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนเบนไปทางขอบด้านบนของแผ่นตัวนำบางเมื่อเวลาผ่านไปจะมีจำนวนอิเล็กตรอนถูกผลักไปที่ขอบด้านบนมากขึ้น ส่วนขอบด้านล่างของกระดาษจะเกิดประจุไฟฟ้าบวกจำนวนมากขึ้นแทนที่อิเล็กตรอน การที่มีประจุไฟฟ้าต่างชนิดรวมตัวกันในขอบตำแหน่งทั้งสอง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ (Hall Field) ในแผ่นตัวนำบางมีทิศจากขอบด้านล่างไปขอบด้านบน สนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงไฟฟ้า F_E กระทำกับอิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนถูกผลักไปทางขอบด้านล่าง เมื่อแรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กมีขนาดเท่ากัน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในทิศไปทางซ้ายโดยไม่เบนออกข้าง



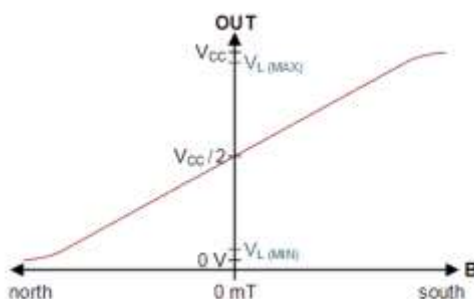
ภาพที่ 59 ภาพแสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์

2. Datasheet DRV5055A2 Linear Hall Effect Sensor

DRV5055A2 Linear Hall Effect Sensor เป็น Sensor ตรวจวัดสนามแม่เหล็กที่อิงกับหลักการ Hall Effect โดย Sensor รุ่นนี้ออกแบบมาเพื่อตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของสนามแม่เหล็กและส่งสัญญาณออกมาในรูปแบบสัญญาณแรงดันไฟฟ้า DRV5055A2 ใช้หลักการของ Hall Effect คือเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางหนึ่งผ่านสารกึ่งตัวนำ หากมีสนามแม่เหล็กตั้งฉากกับทิศทางการไหลของกระแส จะเกิดแรงที่ผลักให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปยังอีกด้านหนึ่ง ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น ซึ่งแรงดันนี้จะแปรผันตามความเข้มของสนามแม่เหล็ก

คุณสมบัติหลักของ DRV5055A2

1. ส่งสัญญาณออกในรูปแบบสัญญาณแรงดันที่แปรผันตรงกับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มสนามแม่เหล็ก โดย DRV5055A2 สามารถตรวจจับสนามแม่เหล็กได้ในช่วงที่กำหนด



ภาพที่ 60 ภาพแสดงช่วงของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกสัมพันธ์กับการตรวจจับสนามแม่เหล็ก

โดยสามารถหาแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาได้จากสูตร

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

เมื่อ

B = ค่า Magnetic Flux Density (Tesla)

V_{OUT} = แรงดันที่อ่านค่าได้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Volt)

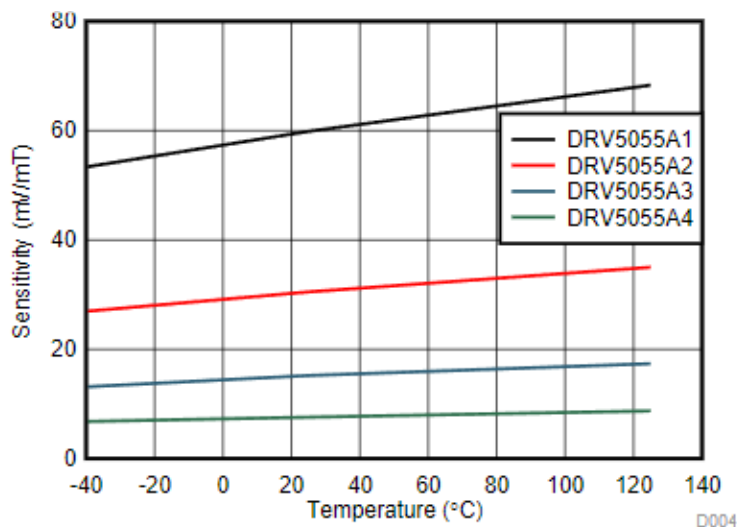
V_Q = แรงดันไฟฟ้าครึ่งหนึ่งจาก V_{CC} (Volt)

$Sensitivity_{(25^{\circ}C)}$ = ค่า Sensitivity จาก Datasheet

S_{TC} = ค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ คือ 1.2 %

T_A = อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (Degree)

โดยสามารถหาค่า $Sensitivity_{(25^{\circ}C)}$ ได้จาก Datasheet ดังรูป



ภาพที่ 61 ภาพแสดงช่วงของค่า Sensitivity เมื่อเทียบกับอุณหภูมิของ Sensor ที่เปลี่ยนไป

2. มีความแม่นยำสูง สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กได้อย่างละเอียดและส่งสัญญาณออกได้อย่างแม่นยำ
3. DRV5055A2 ออกแบบมาให้ทำงานที่แรงดันไฟฟ้าประมาณ 2.7V ถึง 38V
4. สามารถชดเชยผลกระทบของอุณหภูมิที่อาจส่งผลต่อการวัดค่าแม่เหล็กได้

การใช้งานทั่วไป ของ DRV5055A2 สามารถนำไปใช้งานในระบบต่างๆ ที่ต้องการตรวจวัดสนามแม่เหล็กหรือการเคลื่อนไหว เช่น

- การตรวจวัดตำแหน่ง: เช่น ตรวจจับตำแหน่งของแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง
- การวัดกระแสไฟฟ้า: การตรวจจับกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำที่สร้างสนามแม่เหล็กรอบตัวนำ
- Sensor วัดความเร็วรอบมอเตอร์: ตรวจจับการหมุนของแม่เหล็กในมอเตอร์ไฟฟ้า

สัญญาณออกของ DRV5055A2 จะแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของความเข้มสนามแม่เหล็ก โดยหากมีสนามแม่เหล็กเข้าใกล้และเพิ่มความเข้มในทิศทางที่ต้องการ แรงดันจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ตรวจจับได้ ในทางกลับกันหากสนามแม่เหล็กมีการลดความเข้มลง แรงดัน Output จะลดลงตามลำดับ

วิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองเรื่อง Magnetic Sensor สามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ส่วนแรก คือ การต่อวงจรระหว่าง DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor เข้ากับบอร์ด Nucleo STM32G474RE ส่วนที่สอง คือ กำหนดทิศของขั้วแม่เหล็กเป็นทิศเหนือ จากนั้นจึงปรับระยะระหว่างแม่เหล็กกับ Magnetic Sensor ส่วนที่สาม คือ การนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้เข้าสมการใน Datasheet เพื่อหาค่าของ Magnetic Flux Density ส่วนที่สี่ คือ การนำค่า Magnetic Flux Density กับ ปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ มาเปรียบเทียบกับกราฟการตอบสนองของแม่เหล็กใน Datasheet จากนั้นจึงทำซ้ำแต่เปลี่ยนทิศของขั้วแม่เหล็กเป็นทิศใต้ และนำค่าแรงดันไฟฟ้า และ Magnetic Flux Density ของขั้วแม่เหล็กทิศเหนือและทิศใต้รวมกัน เพื่อทำเป็นกราฟรูปแบบเดียวกับใน Datasheet

วัสดุอุปกรณ์

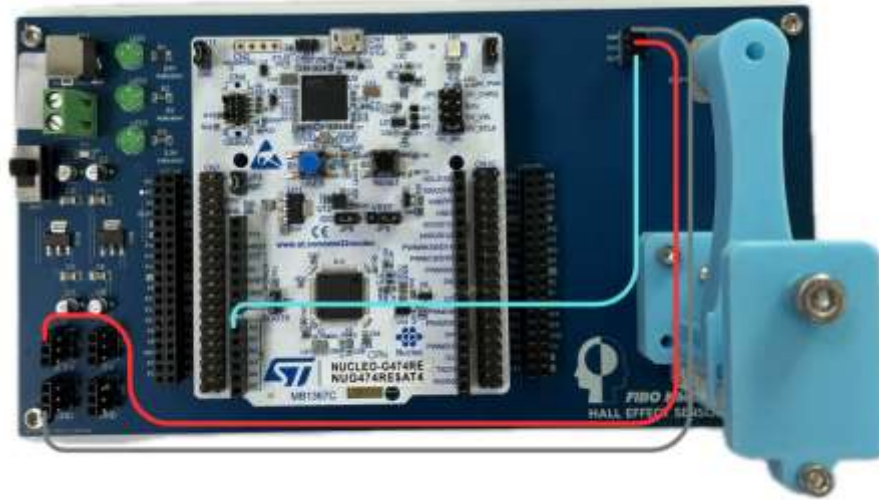
1. DRV5055A2 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor จำนวน 1 อัน
2. Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด
3. MagneticXplorer จำนวน 1 ชุด - ฐานสามารถบรรจุบอร์ดควบคุม, Breadboard, DRV5055A2, 3D-Print ใช้สำหรับการปรับระยะแม่เหล็กถาวรกับ Sensor
4. สายจัมเปอร์



ภาพที่ 62 ส่วนประกอบบนบอร์ด Magnetic Sensor

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ต่อสายจัมเปอร์ระหว่าง DRV5055A2 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor กับ Nucleo STM32G474RE ตามรูปภาพ ดังนี้



ภาพที่ 63 การต่อสายจัมเปอร์ระหว่าง DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor กับ Nucleo STM32G474RE

2. ใช้ Simulink ในการรับค่าจาก Magnetic Sensor และแปลงการรับสัญญาณจากการหมุนเปลี่ยนองศาเป็น แรงดันไฟฟ้า ดังรูป



ภาพที่ 64 การใช้ Simulink ในการรับค่าจาก Magnetic Sensor

3. นำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากข้อ 2 มาแปลงหน่วยให้เป็น SI ผ่านสมการ

$$V_{in} = \frac{Read\ bit}{4095\ bit} \times 3.3\ Volt$$

เมื่อ

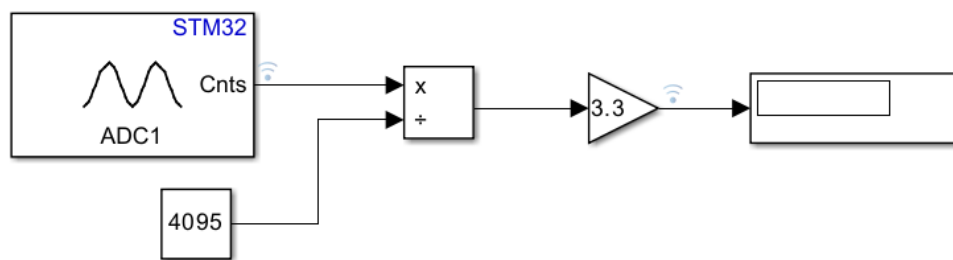
Read bit = จำนวน *bit* ที่อ่านค่าได้จริงจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

V_{in} = แรงดันที่อ่านค่าได้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อแปลงหน่วย

3.3 Volt = แรงดันสูงสุดที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถจ่ายได้

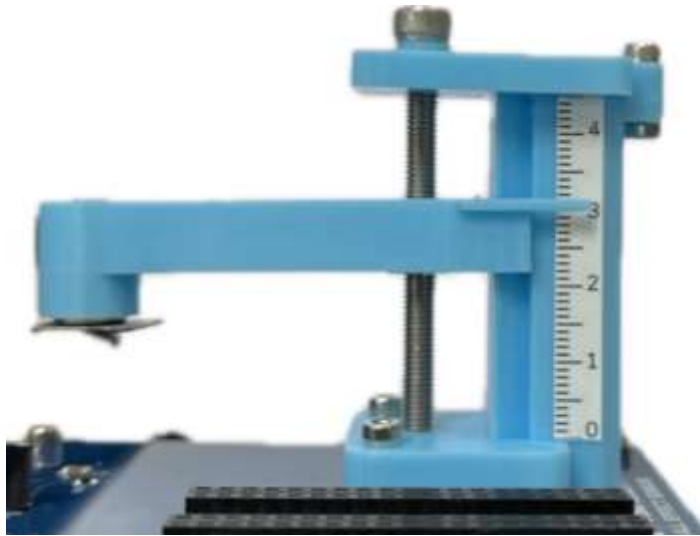
4095 bit = จำนวน *bit* สูงสุดที่สามารถอ่านค่าได้จริงจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

และใช้ Simulink ในการจำลองค่าออกมา ดังรูป



ภาพที่ 65 การใช้ Simulink ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

4. หมุนสกรู เพื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับ Sensor โดยจะเพิ่มหรือลดครั้งละ 12.5 % (5 มิลลิเมตร) ตามตัวเลขที่ระบุไว้ โดยเริ่มวัดที่ 1 เซนติเมตร เนื่องจากถ้าเริ่มวัดค่าต่ำกว่า 1 เซนติเมตรจะทำให้แม่เหล็กจะชนกับ Sensor และจากนั้นทำการ Run โดยตั้ง Stop Time ไว้ที่ 1000 และทำวนจนครบ 4.5 เซนติเมตร และจะทำทั้งหมด 4 รอบ โดยจะเก็บค่าของแม่เหล็กทั้งสองชั่ว แบบมี Shield และไม่มี Shield



ภาพที่ 66 ขีดระยะเพื่อบอกระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับ Sensor

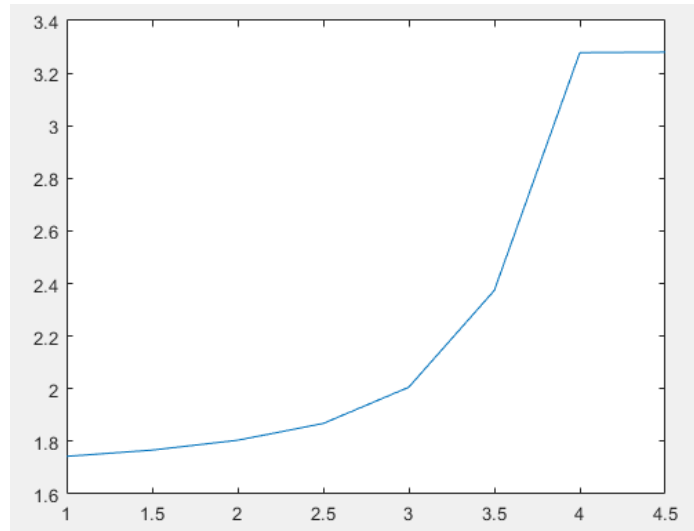
5. นำข้อมูลที่เก็บค่าออกมาหาค่าเฉลี่ยโดยใช้ Data Inspector
6. เมื่อได้ค่าที่มาจากการ Run แล้ว นำมาหาค่าเฉลี่ยโดยใช้โปรแกรม MATLAB ตาม Code ดังนี้

```
1 for i = 1:8
2 avg(i) = mean(data{i}{2}.Values)
3 end
```

ภาพที่ 67 Code ส่วนที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลสัญญาณที่แปลงแล้วเพื่อนำมาวาดเป็นกราฟ

โดยจะสร้างตัวแปร avg ที่เป็น Array มาเก็บค่าข้อมูลที่ได้จากข้อ 5 และทำการ Loop ตามจำนวนค่าที่ถูกเก็บมา โดยใช้ Function mean() ในการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละครั้ง

7. นำค่า avg มา plot กราฟ โดยให้แกน X เป็นระยะห่างระหว่าง Sensor กับแม่เหล็ก และแกน Y เป็นค่า Output Voltage ที่ออกมาโดยใช้ Function plot () จะได้กราฟ ดังนี้



ภาพที่ 68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง และ Output Voltage ของแม่เหล็ก ขั้ว S มี Shield

8. เพื่อเก็บค่าของ Magnetic Flux Density จึงต้องทำการแทนค่าลงสมการใน Datasheet ดังนี้

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

จากนั้นย้ายข้างสมการเพื่อหาค่า Magnetic Flux Density จะได้สมการ ดังนี้

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

เมื่อ

B = ค่า Magnetic Flux Density (Tesla)

V_{OUT} = แรงดันที่อ่านค่าได้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Volt)

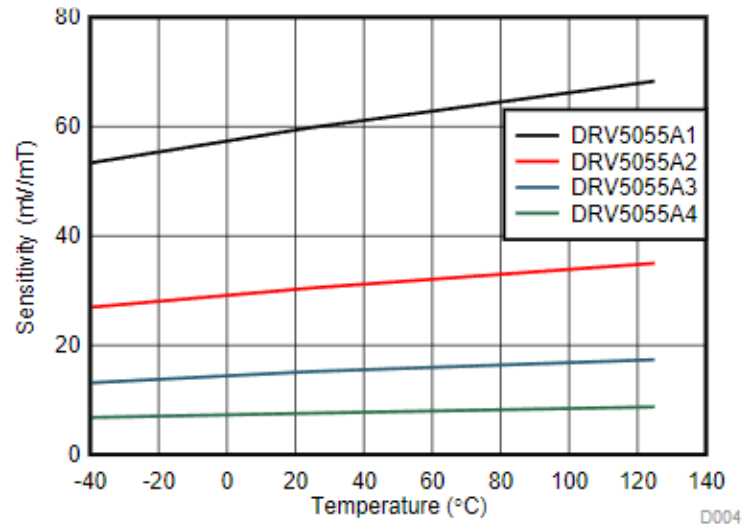
V_Q = แรงดันไฟฟ้าครึ่งหนึ่งจาก V_{CC} (Volt)

$Sensitivity_{(25^{\circ}C)}$ = ค่า Sensitivity จาก Datasheet

S_{TC} = ค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ คือ 1.2 %

T_A = อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (Degree)

โดยสามารถหาค่า $Sensitivity_{(25^{\circ}C)}$ ได้จาก Datasheet ดังรูป



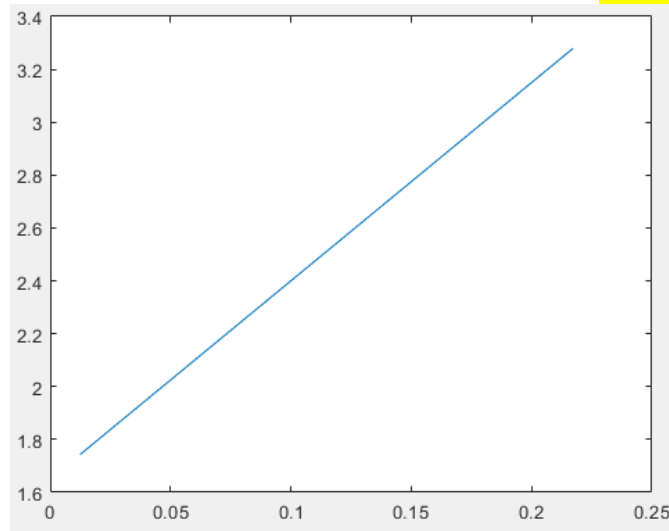
ภาพที่ 69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Temperature และ Sensitivity จาก Datasheet

โดย Sensor ที่เราใช้คือ DRV5055A2 และวัดค่าที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อมมีค่า 25 องศา จะทำให้ค่า $sensitivity$ มีค่า 30 mV/mT จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่า Magnetic Flux Density โดยเขียนสมการและแทนค่าต่างๆในโปรแกรม MATLAB ตาม Code ดังนี้

```
1 for i = 1:8
2 B(i) = (avg(i) - 1.65) / (30 * (1 + 0.0012 * (25 - 25)));
3 end
```

ภาพที่ 70 Code ส่วนที่ใช้ในการหาค่า Magnetic Flux Density

9. เพื่อให้กราฟเป็นตาม Datasheet จึงให้แกน y เป็นค่า Output Voltage และให้แกน x เป็นค่า Magnetic Flux Density โดยใช้คำสั่ง plot() ในโปรแกรม MATLAB จะได้กราฟมาดังนี้ [Edit Photo](#)



ภาพที่ 71 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density และ Output Voltage ของแม่เหล็ก ขั้ว S มี Shield

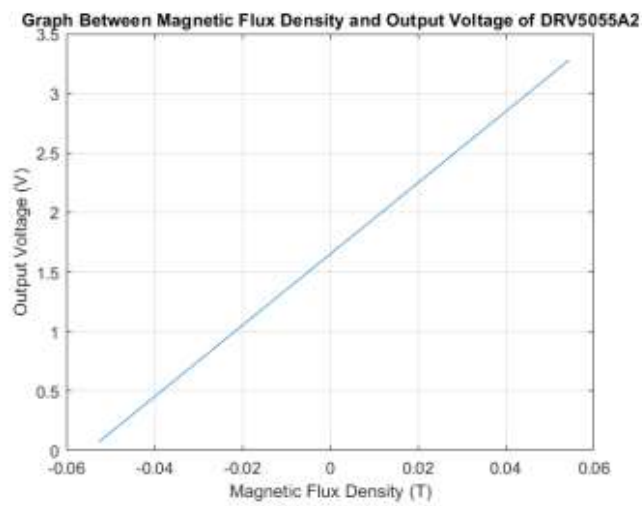
โดยจะทำขั้นตอนในข้อที่ 6,7,8 ให้ครบทั้งหมด 4 Data ที่ได้มาจากการเก็บค่า

10. Duplicate ค่า avg ของแม่เหล็กฝั่ง S ไว้ที่ workspace และ นำค่า avg ของแม่เหล็กฝั่ง N จากนั้นทำการรวมค่า avg ของแม่เหล็กฝั่ง S และค่า avg ของแม่เหล็กฝั่ง N ไว้ที่ avgall และทำการหาค่า Magnetic Flux Density และ Plot กราฟ เพื่อที่จะทำทั้งสองค่าให้อยู่ในกราฟเดียวกัน โดยใช้โปรแกรม MATLAB ตาม Code ดังนี้

```
1 allavg = []
2 for i = 1:8
3 allavg(i) = avg(i)
4 end
5 for i = 9:16
6 allavg(i) = avgCopy(i-8)
7 end
8 for i = 1:16
9 B(i) = (allavg(i) - 1.65) / (30 * (1 + 0.0012 * (25 - 25)));
10 end
11 plot(B , allavg)
```

ภาพที่ 72 Code ส่วนที่ใช้ Plot กราฟ เพื่อที่จะรวมข้อมูลแม่เหล็ก 2 ขั้วให้อยู่ในกราฟเดียวกัน

เมื่อนำมาวาดกราฟจะได้กราฟ ดังนี้

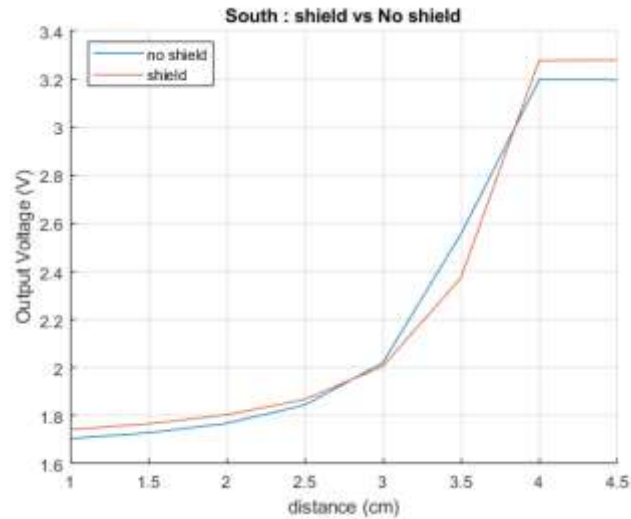


ภาพที่ 73 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density และ Output Voltage ของแม่เหล็ก ขั้ว N มี Shield

11. จากนั้นเปิด Data Inspector เพื่อนำค่าแรงดันไฟฟ้าของแม่เหล็กแบบมี Shield และ No Shield และแม่เหล็กขั้ว N และขั้ว S และ Run เพื่อเก็บข้อมูล

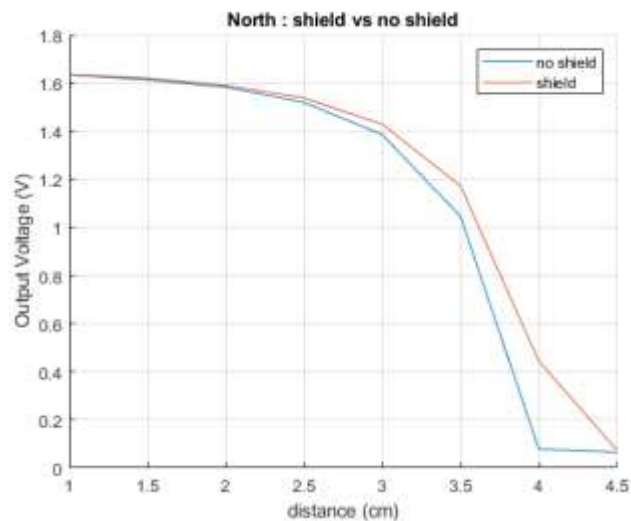
ผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถเก็บค่าข้อมูลของแม่เหล็กขั้ว S ในรูปแบบมี Shield และ No Shield คือ แรงดันไฟฟ้า และระยะห่างระหว่างแม่เหล็ก กับ Sensor ตามตาราง และกราฟ ดังนี้



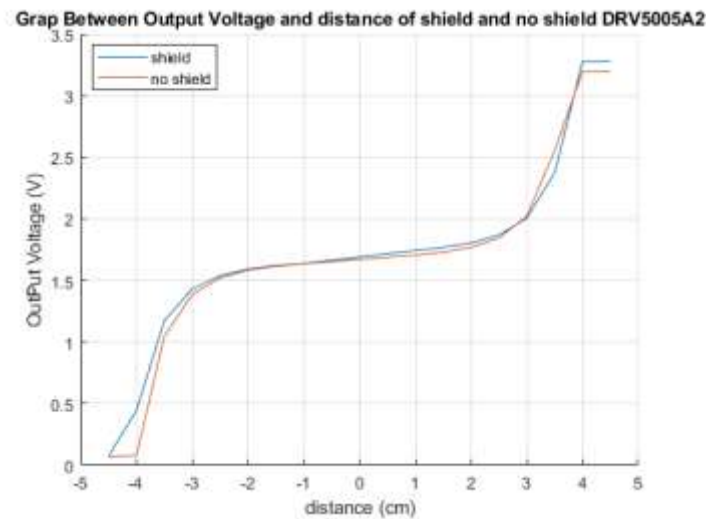
ภาพที่ 74 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างระยะห่างของแม่เหล็ก และ Sensor กับแรงดันไฟฟ้า ของแม่เหล็กขั้ว S เมื่อมี Shield และ No Shield

จากการทดลองสามารถเก็บค่าข้อมูลของแม่เหล็กขั้ว N ในรูปแบบมี Shield และ No Shield คือ แรงดันไฟฟ้า และระยะห่างระหว่างแม่เหล็ก กับ Sensor ตามตาราง และกราฟ ดังนี้



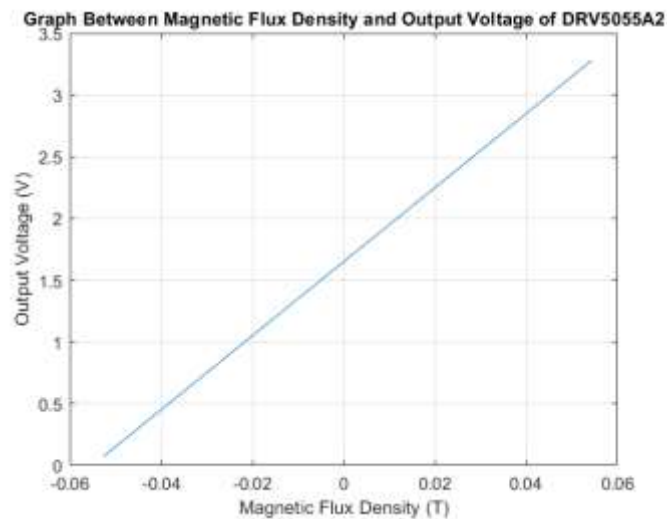
ภาพที่ 75 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างระยะห่างของแม่เหล็ก และ Sensor กับแรงดันไฟฟ้า ของแม่เหล็กขั้ว N เมื่อมี Shield และ No Shield

หลังจากนั้นทำการเอากกราฟเปรียบเทียบจากภาพที่ 74 และภาพที่ 75 มารวมอยู่ในกราฟเดียวกันออกมาเป็นกราฟ ดังนี้



ภาพที่ 76 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างระยะห่างของแม่เหล็ก และ Sensor กับแรงดันไฟฟ้า ของแม่เหล็กขั้ว N และ ขั้ว S เมื่อมี Shield และ No Shield

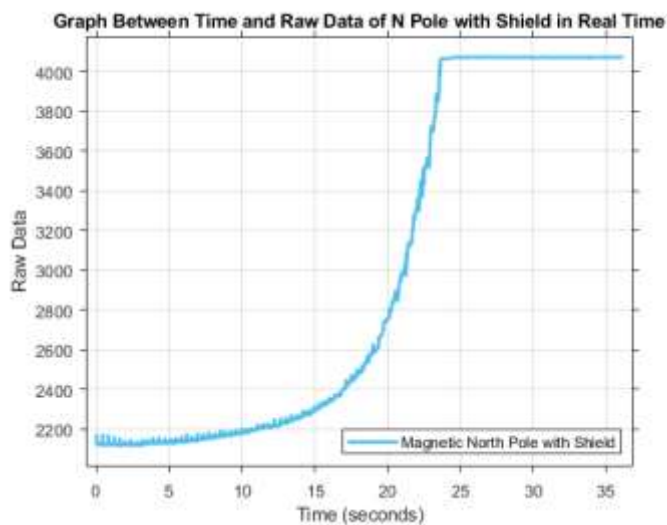
หลังจากหาแรงดันไฟฟ้าได้จากการทำการทดลองเพื่อหาแรงดันไฟฟ้าของแม่เหล็กขั้ว S และแม่เหล็กขั้ว N นำค่าเหล่านั้นมาเข้าสมการใน Datasheet เพื่อแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าเป็น Magnetic Flux Density ได้ตามกราฟ ดังนี้



ภาพที่ 77 กราฟการเปรียบเทียบระหว่าง Magnetic Flux Density กับแรงดันไฟฟ้า ของแม่เหล็กขั้ว N และ ขั้ว S

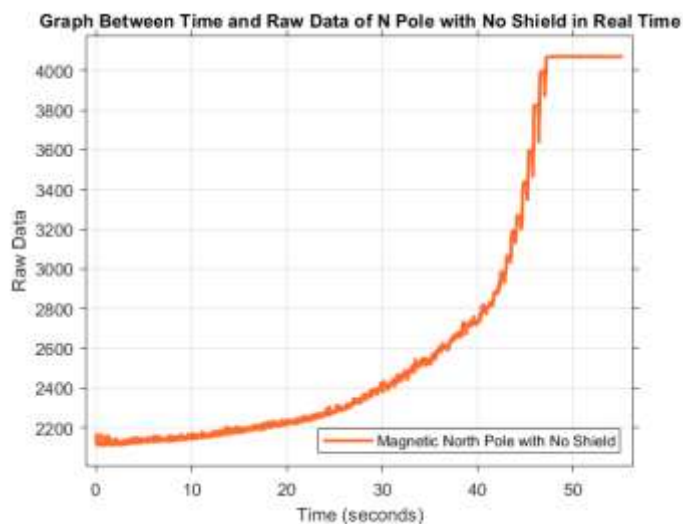
จากการเก็บค่าแบบ Real Time ใน Data Inspector ทั้งหมด 4 แบบ ได้แก่ แม่เหล็กขั้ว N แบบมี Shield, แม่เหล็กขั้ว N แบบ No Shield, แม่เหล็กขั้ว S แบบมี Shield และ แม่เหล็กขั้ว S แบบ No Shield ซึ่งได้ออกมา ดังนี้

1. แม่เหล็กขั้ว N แบบมี Shield



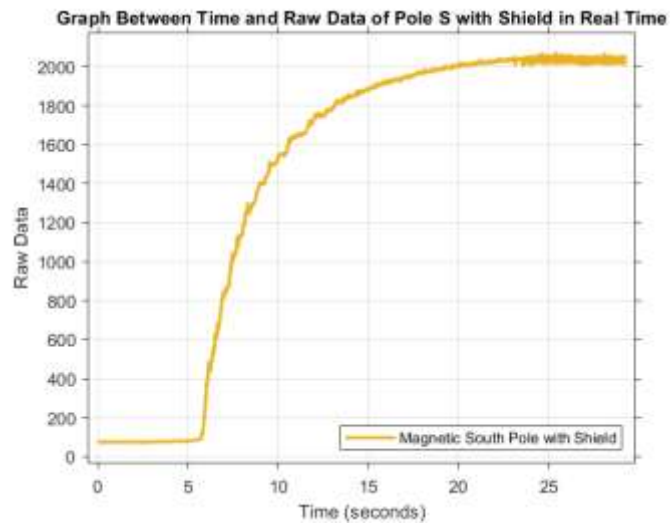
ภาพที่ 78 กราฟระหว่างเวลา และ Raw Data ของแม่เหล็กขั้ว N แบบมี Shield แบบ Real Time

2. แม่เหล็กขั้ว N แบบ No Shield



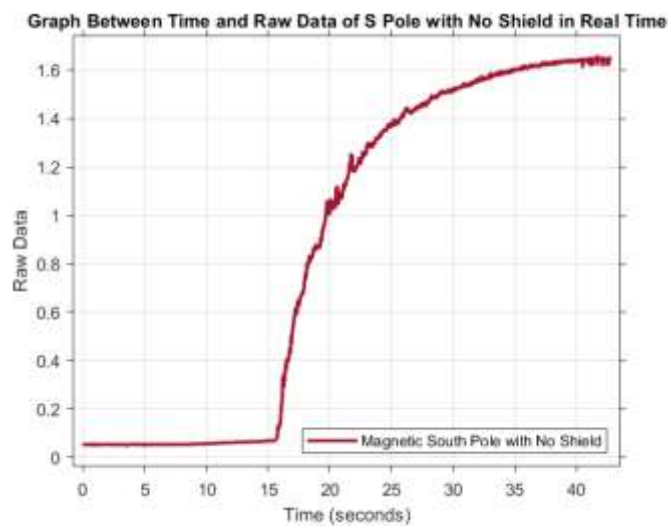
ภาพที่ 79 กราฟระหว่างเวลา และ Raw Data ของแม่เหล็กขั้ว N แบบ No Shield แบบ Real Time

3. แม่เหล็กขั้ว S แบบมี Shield



ภาพที่ 80 กราฟระหว่างเวลา และ Raw Data ของแม่เหล็กขั้ว S แบบมี Shield แบบ Real Time

4. แม่เหล็กขั้ว S แบบ No Shield



ภาพที่ 81 กราฟระหว่างเวลา และ Raw Data ของแม่เหล็กขั้ว S แบบ No Shield แบบ Real Time

สรุปผล

จากภาพที่ 74 แสดงให้เห็นถึงระยะของแม่เหล็กกับ Sensor เปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าของแม่เหล็กขั้ว S ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ได้ว่า

แม่เหล็กแบบมี Shield ค่าแรงดันไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับระยะห่างของแม่เหล็กกับ Sensor โดยการปรับระยะห่างที่ 1 เซนติเมตร ค่าแรงดันไฟฟ้า คือ 1.705 V และแนวโน้มของแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มระยะห่าง จนกระทั่งที่ระยะห่างที่ 4.5 เซนติเมตร แรงดันไฟฟ้าจะค้างอยู่ที่ 3.196 V

แม่เหล็กแบบ No Shield ค่าแรงดันไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับระยะห่างของแม่เหล็กกับ Sensor โดยการปรับระยะห่างที่ 1 เซนติเมตร ค่าแรงดันไฟฟ้า คือ 1.742 V และแนวโน้มของแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มระยะห่าง จนกระทั่งที่ระยะห่างที่ 4 เซนติเมตร แรงดันไฟฟ้าจะค้างอยู่ที่ 3.279 V

จากภาพที่ 75 แสดงให้เห็นถึงระยะของแม่เหล็กกับ Sensor เปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าของแม่เหล็กขั้ว N ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ได้ว่า

แม่เหล็กแบบมี Shield ค่าแรงดันไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับระยะห่างของแม่เหล็กกับ Sensor โดยการปรับระยะห่างที่ 1 เซนติเมตร ค่าแรงดันไฟฟ้า คือ 1.6367V และแนวโน้มของแรงดันไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มระยะห่าง จนกระทั่งที่ระยะห่างที่ 4.5 เซนติเมตร แรงดันไฟฟ้าจะค้างอยู่ที่ 0.073 V

แม่เหล็กแบบ No Shield ค่าแรงดันไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับระยะห่างของแม่เหล็กกับ Sensor โดยการปรับระยะห่างที่ 1 เซนติเมตร ค่าแรงดันไฟฟ้า คือ 1.635 V และแนวโน้มของแรงดันไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มระยะห่าง จนกระทั่งที่ระยะห่างที่ 4 เซนติเมตร แรงดันไฟฟ้าจะค้างอยู่ที่ 0.065 V

อภิปรายผล

แต่จากผลการทดลองภาพที่ 77 เมื่อเปรียบเทียบกับ Magnetic Response ใน Datasheet จะเห็นได้ว่ากราฟที่ได้ออกมาในช่วงต้นและช่วงปลายไม่สามารถวัดได้ เนื่องจากข้อมูล Datasheet ระบุไว้ว่าค่าที่สามารถแสดงออกมาเป็น Linear magnetic sensing range เมื่อมีการจ่ายไฟเข้า 3.3 V ให้กับ Sensor และสภาพแวดล้อมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่าจะเริ่มนับตั้งแต่ค่า Magnetic Flux Density ± 44 mT แต่ว่ากราฟที่ได้ออกมามีค่าตรงกับใน Datasheet คือลักษณะของเส้นกราฟมีความเป็น Linear

จากการเปรียบเทียบแม่เหล็กแบบมี Shield และ No Shield จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อมี Shield ในตอนแรกจะน้อยกว่า No Shield แต่ว่าในตอนท้ายแรงดันไฟฟ้าเมื่อมี Shield จะมากกว่า No Shield เพราะว่า Shield จะทำหน้าที่บล็อกหรือสะท้อนสนามแม่เหล็กบางส่วนไม่ให้ไปถึง Sensor โดยตรง ทำให้ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) ที่ Sensor รับได้นั้นลดลง

ข้อเสนอแนะ

1. หากต้องการสัญญาณที่มีความละเอียดสูงในระยะใกล้ ควรติด Shield ไว้ที่ Sensor ขณะใช้งาน
2. ควรตรวจสอบลักษณะแรงดันสัญญาณ Output ของ Sensor เมื่อเจอแม่เหล็กแต่ละตัวก่อนใช้งานจริง
3. ควรระวังค่าคลาดเคลื่อนของการวัดแรงดันสัญญาณ Output เมื่อมีสนามแม่เหล็กในระยะใกล้มาก ๆ

เอกสารอ้างอิง(แนบ link)

[DRV5055 pdf](#), [DRV5055 Description](#), [DRV5055 Datasheet](#), [DRV5055 view](#) ::: ALLDATASHEET :::

การทดลองที่ 5 Single Point Load Cell with INA125 Instrumentation Amplifier

จุดประสงค์

- เพื่อศึกษาวงจรการทำงาน และลักษณะสัญญาณ Output ของ Load cell
- เพื่อศึกษาการอ่านค่า Output ของ Incremental Encoder ด้วยวิธี QEI และ Polling
- เพื่อศึกษาการแปลงสัญญาณ Raw Signal ของ Incremental Encoder ให้เป็น Relative Position, Angular Position และ Angular Velocity
- เพื่อศึกษาการทำงานของ MATLAB และ Simulink

สมมติฐาน

ถ้าน้ำหนักของวัตถุที่วางบน Load Cell ส่งผลต่อปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จาก Sensor ดังนั้นการเพิ่มปริมาณน้ำหนัก

ตัวแปร

ตัวแปรต้น : น้ำหนักที่ชั่งลงบน Load Cell (Kilogram)

ตัวแปรตาม : แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จาก Sensor (Volt)

ตัวแปรควบคุม : แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้าบอร์ด, ประเภทของ Load Cell, ค่าของตัวต้านทานที่ใช้ขยายสัญญาณ, ไอซีที่ใช้ในการขยายสัญญาณ, ชนิดของสายจัมเปอร์ที่ใช้เชื่อมต่อสายไฟ และชนิดของบอร์ด Microcontroller

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. สายจัมเปอร์ (Jumpers) หมายถึง คือสายที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อระหว่าง Sensor เข้ากับบอร์ดทดลอง โมดูลต่าง ๆ หรือแหล่งจ่ายไฟเพื่อเชื่อมต่อวงจรเข้าด้วยกัน
2. บอร์ด Microcontroller หมายถึง อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งรวมเอาหน่วยประมวลผล, หน่วยความจำ และพอร์ต เข้าไว้ด้วยกัน เพื่อประพடுத்தินทำหน้าที่สั่งงานคล้ายคลึงกับคอมพิวเตอร์
3. Load Cell หมายถึง Sensor ชนิดหนึ่งที่น้ำหนักที่กระทำต่อตัวโหลดเซลล์เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า
4. MagneticXplorer หมายถึง บอร์ดการเรียนรู้ในรายวิชา FRA 231 : Robotics Modelling & Experimentation (RMX) สำหรับใช้ในการทดลองที่ 4 Magnetic Sensor
5. Op-Amp หมายถึง Operational Amplifier หรือ อุปกรณ์ที่ใช้ขยายสัญญาณ
6. Differential หมายถึง ผลต่างของสัญญาณ

7. Linear หมายถึง การที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นเส้นตรง
8. Linearization หมายถึง การทำให้สัญญาณเปลี่ยนแปลงเป็นเส้นตรง
9. Offset หมายถึง ค่าคลาดเคลื่อนของ Load Cell

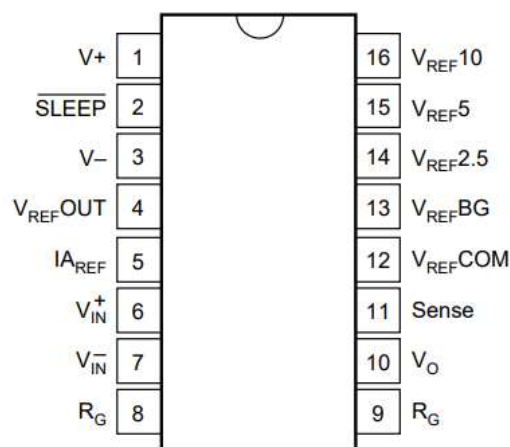
นิยามเชิงปฏิบัติการ

1. Load Cell หมายถึง Load Cell ที่รองรับน้ำหนักสูงสุดได้ 10 Kg
2. Strain Gauge หมายถึง Strain Gauge ที่อยู่ใน Load Cell
3. Trimpot หมายถึง Trimpot รุ่น 100 K 25 Turns
4. Simulink หมายถึง โปรแกรมจำลองสำหรับรับค่าข้อมูล เพื่อนำมาประมวลผล
5. Data Inspector หมายถึง Function สำหรับตรวจสอบ และเก็บค่า Output ใน Simulink
6. INA125 หมายถึง อุปกรณ์ขยายสัญญาณในรูปแบบแรงดันไฟฟ้า

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Datasheet INA125

INA125 คือวงจรรวม (Integrated Circuit) ที่สามารถทำหน้าที่ขยายสัญญาณแรงดันด้วยแรงดันอ้างอิงที่แม่นยำ (Instrumentation Amplifier With Precision Voltage Reference) สามารถปรับเลือกขนาดการขยายสัญญาณได้ตั้งแต่ 4 เท่า ถึง 10,000 เท่าด้วยการเลือกต่อตัวต้านทางภายนอกเพียงตัวเดียว แรงดันอ้างอิงสามารถปรับเลือกได้จากภายนอกด้วยการเลือกแรงดันจากพินเป็น 2.5 V, 5 V หรือ 10 V ทำให้สามารถใช้งานร่วมกับทรานสดิวเซอร์หลากหลายชนิดได้ โดยแรงดันอ้างอิงมีความแม่นยำสูงสุดถึง $\pm 0.5\%$ INA125ประกอบไปด้วยขา Pin ดังนี้



ภาพที่ 82 รายละเอียดขา Pin ของ INA125

1. V_+ คือ แรงดันไฟบวกที่จ่ายให้กับวงจร
2. \overline{SLEEP} คือ พินสำหรับการเข้าสู่ Sleep Mode เพื่อประหยัดพลังงานเมื่อไม่ได้ใช้งาน
3. V_- คือ แรงดันไฟลบที่จ่ายให้กับวงจรหรือต่อกับกราวด์ในกรณีที่ใช้แหล่งจ่ายไฟเดียว
4. $V_{REF}Out$ คือ แรงดันอ้างอิงขาออกที่ใช้เป็นแรงดันสำหรับกระตุ้นการทำงานของ Sensor
5. IA_{REF} คือ พินสำหรับการปรับแรงดันอ้างอิงของกระแส
6. V_{IN}^+ คือ ขาอินพุตบวกของสัญญาณ Input แบบ Differential
7. V_{IN}^- คือ ขาอินพุตลบของสัญญาณ Input แบบ Differential
8. R_G คือ ขาสำหรับการตั้งค่าการขยายสัญญาณ โดยการเชื่อมต่อกับตัวต้านทานภายนอก
9. R_G คือ ขาสำหรับการตั้งค่าการขยายสัญญาณเพิ่มเติม ใช้ร่วมกับ RG ในขาที่ 8
10. V_O คือ ขาส่งออกแรงดันของสัญญาณที่ถูกขยายแล้ว
11. $Sense$ คือ ขาที่ใช้สำหรับการตรวจจับ และคุมการทำงานของแรงดันอ้างอิง
12. $V_{REF}COM$ คือ ขาที่ทำหน้าที่เป็นจุดอ้างอิงของแรงดันอ้างอิงที่มีค่า 0V หรือ GND ของแรงดันอ้างอิง
13. $V_{REF}BG$ คือ ขาแรงดันอ้างอิงภายในแบบ Band-Gap
14. $V_{REF}2.5$ คือ ขาแรงดันอ้างอิง 2.5 V
15. $V_{REF}5$ คือ ขาแรงดันอ้างอิง 5 V
16. $V_{REF}10$ คือ ขาแรงดันอ้างอิง 10 V

การคำนวณค่า Gain และค่าตัวต้านทานที่ต้องการในการขยายสัญญาณ สามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$V_0 = (V_{IN}^+ - V_{IN}^-)G$$

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

เมื่อ

G = ค่าการขยายสัญญาณ

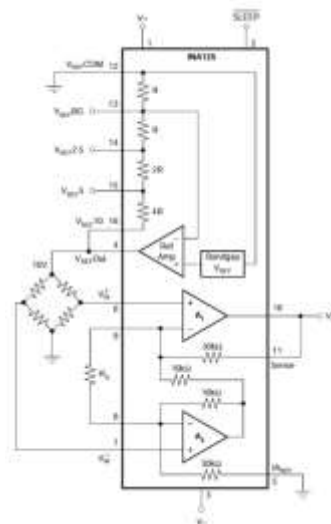
R_G = ความต้านทานที่ต้องการในการขยายสัญญาณ (Ohm)

V_0 = แรงดันไฟฟ้าที่ส่งออก (Volt)

V_{IN}^+ = แรงดันไฟฟ้าที่ขา Input ผีง + (Volt)

V_{IN}^- = แรงดันไฟฟ้าที่ขา Input ผีง - (Volt)

โดยมีการเชื่อมต่อการทำงานภายในไอซีดังรูปด้านล่าง ซึ่งใช้การต่อที่ขา 4, 6, 7 และ GND ด้วยวงจร Full Wheatstone Bridge เพื่อทำการเทียบค่าแรงดันที่เปลี่ยนไปหลังจากผ่าน Load Cell

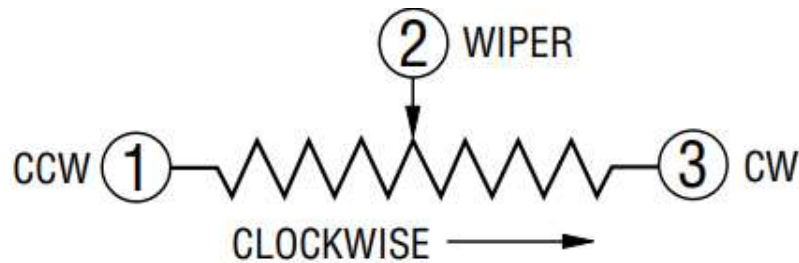


ภาพที่ 83 รายละเอียดวงจรภายใน ของ INA125

Full Wheatstone Bridge คือ การต่อวงจรที่ช่วยแปลงความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงจาก Sensor (เช่น Load Cell) เป็นแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานที่แตกต่างกันระหว่างขา V_{IN}^+ และ V_{IN}^- ของ INA125 ซึ่งเป็นสัญญาณขาเข้า Op-Amp ที่สามารถขยายสัญญาณแรงดันได้โดยตรง โดยใช้สัญญาณขาเข้า Wheatstone Bridge จาก VREFOUT ที่สามารถเลือกได้ตั้งแต่ย่าน 2.5V, 5V, หรือ 10V

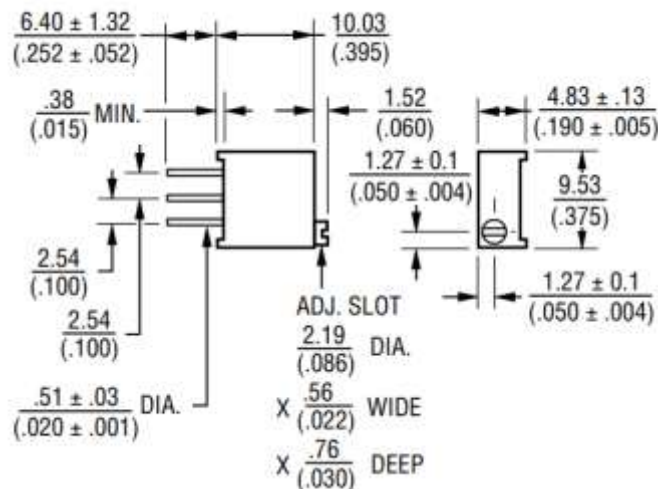
2. Datasheet Trimpot 100 K 25 Turns

Trimpot 100 K 25 Turns คือตัวต้านทานปรับค่าได้ที่มีส่วนปรับความต้านทานที่ด้านบนของตัวต้านทานโดยมีค่าความต้านทานคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้จาก Datasheet คือ $\pm 10\%$ โดยส่วนประกอบของตัวต้านทานจะประกอบไปด้วย 3 ขา ใช้งานโดยการจ่ายไฟไปที่ขาที่ 1 หรือ ขาที่ 3 และปรับค่ารับสัญญาณไฟออกที่ขาที่ 2



ภาพที่ 84 Schematic ของ Trimpot 100 K 25 Turns

Common Dimensions

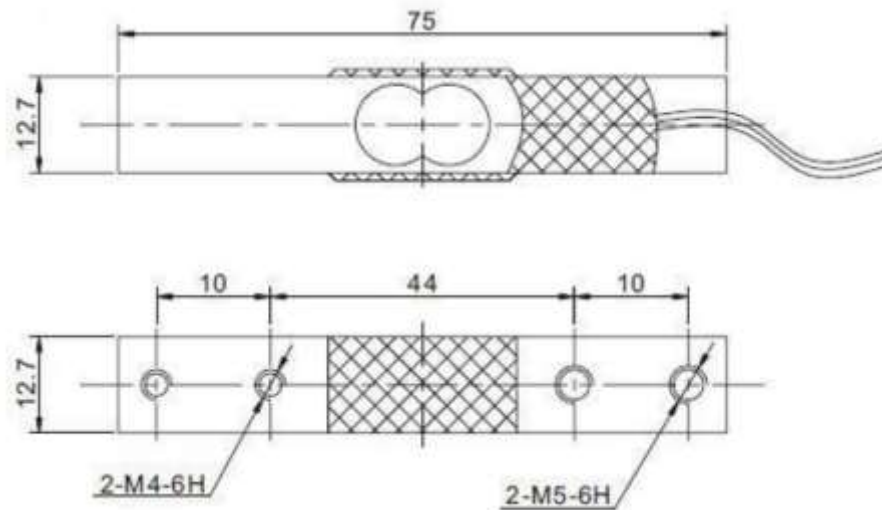


ภาพที่ 85 ขนาด dimensions ของ Trimpot 100 K 25 Turns

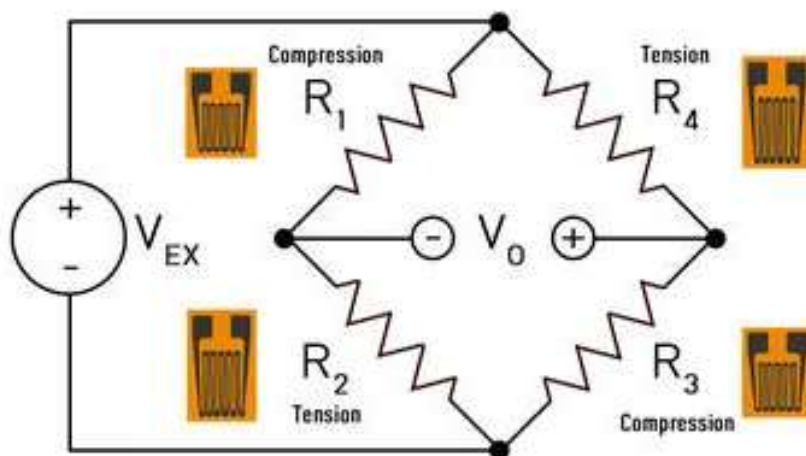
3. Datasheet YZC-131A Load Cells

YZC-131A Load Cells คือ Sensor สำหรับวัดแรง หรือน้ำหนักที่เกิดขึ้นบน Sensor เพื่อแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า สร้างมาจากตัวต้านทานขนาดเล็กชนิด Strain Gauge ที่มีความยืดหยุ่นสูง เซลล์จะยึดกับคานหรือชิ้นส่วนโครงสร้างซึ่งจะเสียรูปเมื่อมีการใช้แรง ส่งผลให้ Strain Gauge เสียรูปไปด้วย หาก Strain Gauge เสียรูป ความต้านทานไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนของแรง จากนั้นการเปลี่ยนแปลงของวงจรที่เกิดจากแรงจะน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมาก

Load Cells ที่ดีจะหักล้างผลกระทบของอุณหภูมิโดยใช้ 2 เทคนิค เทคนิคแรกคือการจับคู่อัตราการขยายตัวของ Strain Gauge กับอัตราการขยายตัวของโลหะที่ติดตั้งไว้ให้เหมาะสมกัน จะสามารถหลีกเลี่ยงความเครียดที่ไม่เหมาะสมบนเกจได้เมื่อเซลล์โหลดร้อนขึ้นและเย็นลง วิธีการลดผลกระทบจากอุณหภูมิที่อาจทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนได้อีกวิธีที่สำคัญที่สุดคือการต่อ Strain Gauge ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเท่ากัน 4 ตัว บางตัวรับแรงอัด บางตัวรับแรงดึง ซึ่งเพิ่มความไวของ Load Cells สูงสุดกับแรงที่เกิดขึ้น แต่ยกเลิกผลกระทบของอุณหภูมิโดยอัตโนมัติ เรียกวิธีจัดเรียงวงจรนี้ว่ารูปแบบวงจร Wheatstone Bridge ทำให้สัญญาณที่ได้ออกมาเสถียร



ภาพที่ 86 ขนาด dimensions ของ YZC-131A Load Cells



ภาพที่ 87 การต่อ Strain Gauge ในรูปแบบ Wheatstone Bridge ภายใน Load Cells

YZC-131A Load Cells มีสมการในการปรับเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำ และแรงดันขาออกที่วัดได้ คือ

$$\text{Measured Force} = A \times \text{Measured Output} + \text{Offset}$$

เมื่อ

$$\text{Measured Force} = \text{แรงที่วัดได้บน Sensor (Kg)}$$

$$\text{Measured Output} = \text{แรงดันไฟฟ้าที่ส่งออก (mV/V)}$$

$$A = \text{ค่าคงที่ของ Load Cells}$$

$$\text{Offset} = \text{ค่าคลาดเคลื่อนของ Load Cells}$$

โดยค่าคงที่ A ของ Load Cells หาได้จาก

$$\text{Capacity} = A \times \text{Rated Output}$$

เมื่อ

$$\text{Capacity} = \text{แรงสูงสุดที่วัดได้บน Sensor (Kg) ซึ่ง Sensor ที่ใช้ระบุไว้ 10 Kg}$$

$$\text{Rated Output} = 1.0 \pm 0.15 \text{ mV/V ตาม datasheet}$$

$$A = \text{ค่าคงที่ของ Load Cells}$$

เมื่อแทนค่าจะได้

$$10 = A \times 1$$

$$A = 10$$

โดยค่า *Offset* ของ Load Cells หาได้โดยวัด Load Cells ในขณะที่ไม่มีน้ำหนักหรือแรงกระทำมากกดทับ จากนั้นวัดค่า *Rated Output*

$$\text{Offset} = 0 - 5 * \text{Measured Output}$$

เมื่อ

$$\text{Measured Output} = \text{แรงดันไฟฟ้าที่ส่งออก (mV/V)}$$

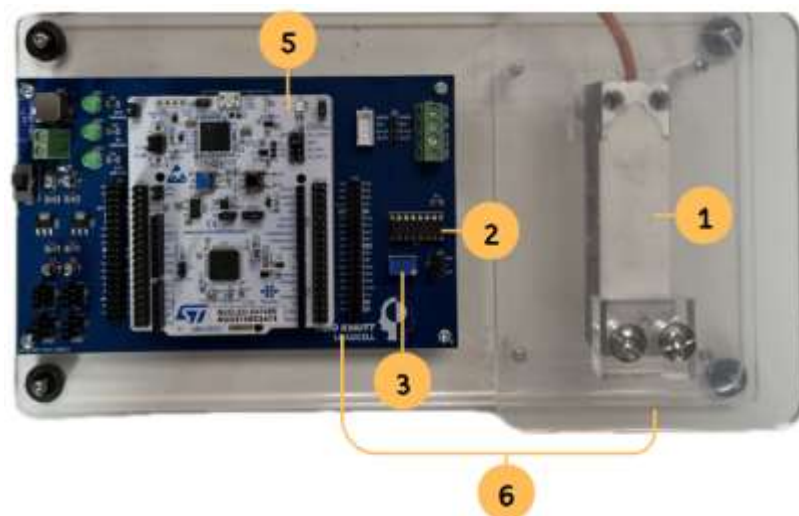
$$\text{Offset} = \text{ค่าคลาดเคลื่อนของ Load Cells}$$

วิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองเรื่อง Single Point Load Cell with INA125 Instrumentation Amplifier สามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ส่วนแรก คือ การต่อวงจรระหว่าง Single Point Load Cell YZC-131A และ INA125 Instrumentation Amplifier เข้ากับบอร์ด Nucleo STM32G474RE ส่วนที่สอง คือ การคำนวณหาค่า Gain สูงสุด จากสมการใน Datasheet จากนั้นจึงคำนวณหาตัวต้านทานจากสมการใน Datasheet และปรับค่า Trimpot ให้ถูกต้อง ส่วนที่สาม คือ การเก็บค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามน้ำหนักวัตถุที่วางบน Load Cell และทำออกมาเป็นกราฟระหว่างน้ำหนักของวัตถุ กับแรงดันไฟฟ้าที่ได้ ส่วนที่สี่ คือ การแก้ไขกราฟด้วยการ Linearization เพื่อให้ได้ค่าข้อมูลที่ถูกต้อง

วัสดุอุปกรณ์

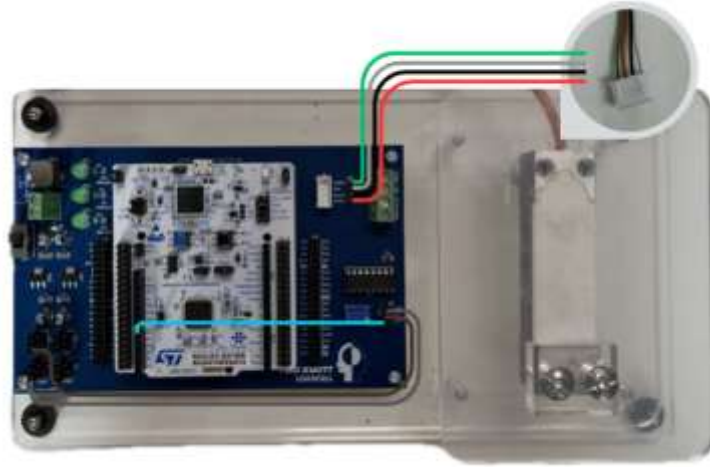
1. Single Point Load Cell YZC-131A จำนวน 1 อัน
2. INA125 Instrumentation Amplifier จำนวน 1 อัน
3. Trimpot 100 K 25 Turns จำนวน 1 อัน
4. Resistor 4.7K Ohm จำนวน 1 อัน
5. Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด
6. LoadCellXplorer จำนวน 1 ชุด - ฐานสามารถบรรจุบอร์ดควบคุม, Breadboard, 3D-Print ใช้สำหรับการประกอบกับ Load Cell
7. สายจัมเปอร์



ภาพที่ 88 ส่วนประกอบบนบอร์ด Load Cell

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ต่อสายจัมเปอร์ระหว่าง Load Cell กับ Nucleo STM32G474RE ตามรูปภาพ ดังนี้



ภาพที่ 89 การต่อสายจัมเปอร์ระหว่าง Load Cell กับ Nucleo STM32G474RE

2. หาค่า Gain ที่น้ำหนักสูงสุด โดยอ้างอิงสูตรการคำนวณจาก datasheet

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

$$G = \frac{2.54 \text{ V}}{4 \text{ mV}}$$

$$G = 635$$

เมื่อ

G = ค่าการขยายสัญญาณ

R_G = ความต้านทานที่ต้องการในการขยายสัญญาณ (Ohm)

V_o = แรงดันไฟฟ้าที่ส่งออก (Volt)

V_{IN}^+ = แรงดันไฟฟ้าที่ขา Input ฝั่ง + (Volt)

V_{IN}^- = แรงดันไฟฟ้าที่ขา Input ฝั่ง - (Volt)

หาค่า V_{in} โดยวัด Voltage ที่ขา Pin 6 และ 7 ของ INA125 และค่า V_0 โดยวัด Voltage ขา Pin 10 เทียบกับ Ground จากนั้น นำค่าที่ได้การวัดมาเข้าสู่สูตรหาค่า Gain (G)

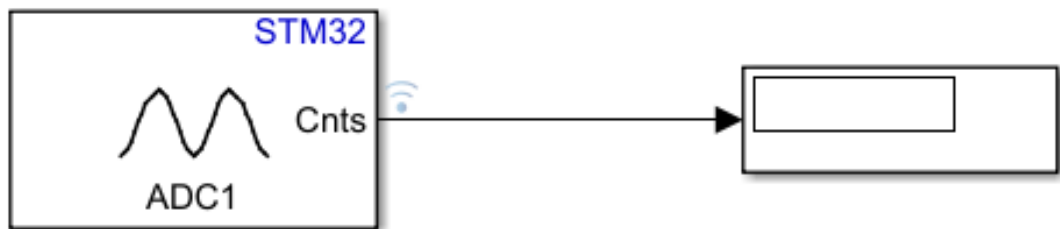
3. หาค่า R_G ที่ใช้โดยอ้างอิงสูตรการคำนวณจาก Datasheet

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

$$635 = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G}$$

$$R_G = 95.087 \Omega$$

4. ปรับค่า R ของ Trimpot 100 K 25 Turns ตามค่า R_G ที่หาได้ โดนสามารถวัดค่า R ของ Trimpot ได้จาก ขา 8 และ 9 ของ INA125
5. ใช้ Simulink ในการรับค่าจาก Load Cell และแปลงการรับสัญญาณจากการหมุนเปลี่ยนองศาเป็น แรงดันไฟฟ้า ดังรูป



ภาพที่ 90 การใช้ Simulink ในการรับค่าจาก Load Cell

6. นำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากข้อ 5 มาแปลงหน่วยให้เป็น SI ผ่านสมการ

$$V_{in} = \frac{Read\ bit}{4095\ bit} \times 3.3\ Volt$$

เมื่อ

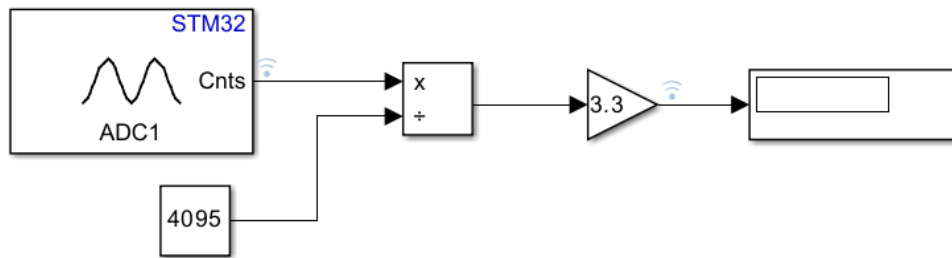
$Read\ bit$ = จำนวน bit ที่อ่านค่าได้จริงจากบอร์ด Microcontroller

V_{in} = แรงดันที่อ่านค่าได้บอร์ด Microcontroller เมื่อแปลงหน่วย

$3.3\ Volt$ = แรงดันสูงสุดที่บอร์ด Microcontroller สามารถจ่ายได้

$4095\ bit$ = จำนวน bit สูงสุดที่สามารถอ่านค่าได้จริงจากบอร์ด Microcontroller

และใช้ Simulink ในการจำลองค่าออกมาดังรูป

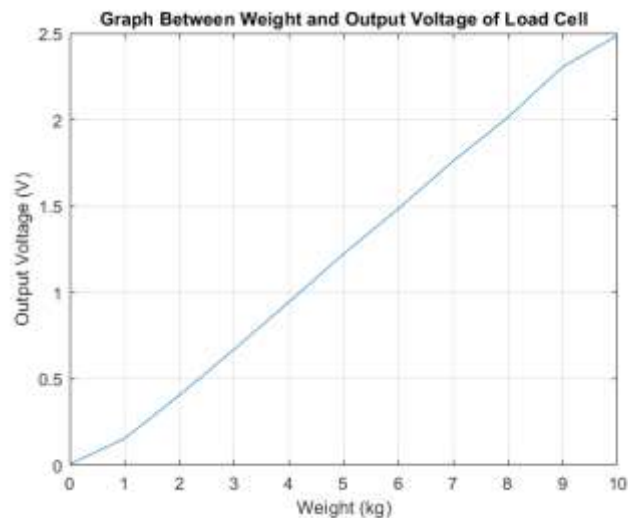


ภาพที่ 91 การใช้ Simulink ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

7. ทำการ plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักและแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จาก Loadcell โดยใช้ Function Plot() ใน MATLAB

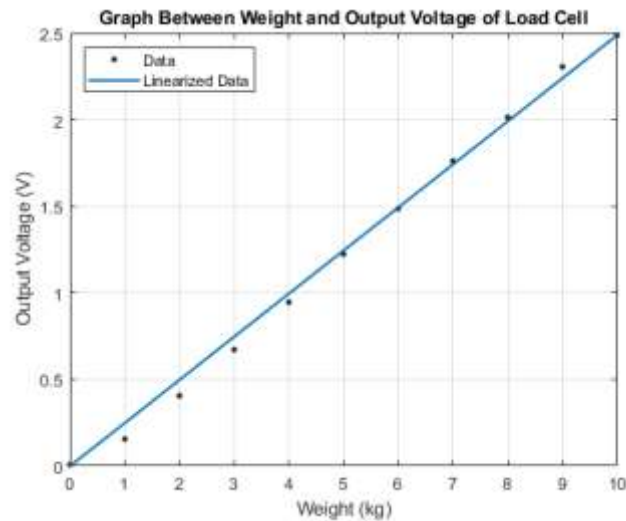
ผลการทดลอง

จากการวางน้ำหนักจาก 0 กิโลกรัม ถึง 10 กิโลกรัม จะได้ปริมาณแรงดันไฟฟ้าเป็นตามกราฟ ดังนี้



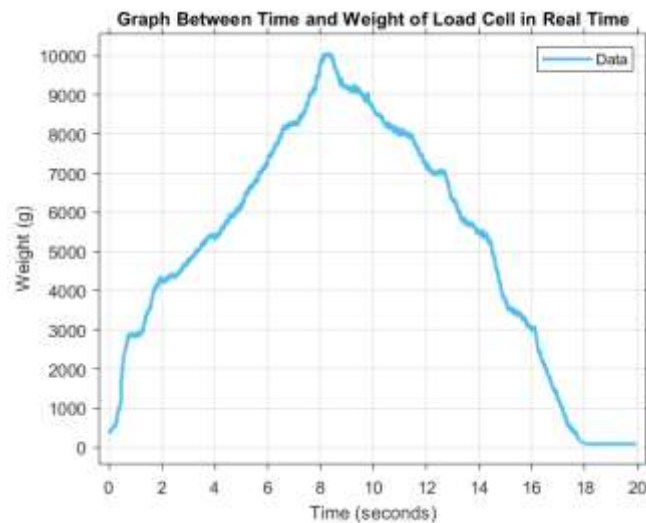
ภาพที่ 92 กราฟเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนัก และแรงดันขาออกจาก Load Cell

เนื่องจากผลลัพธ์ที่วัดค่าได้มีลักษณะไม่เป็น Linear จึงต้องทำการ Linearization เพื่อให้เส้นกราฟมีลักษณะเป็น Linear ทั้งเส้น ซึ่งจะเป็นตามกราฟ ดังนี้



ภาพที่ 93 กราฟเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนัก และแรงดันขาออกจาก Load Cell หลังจาก Linearization

กราฟที่ได้จากการวัดค่าเมื่อน้ำหนักวางบน Load Cell แบบ Real Time โดยทำการแปลงค่าออกมาเป็นหน่วยกรัมออกมาเป็นกราฟ ดังนี้



ภาพที่ 94 กราฟระหว่างเวลา และน้ำหนัก แบบ Real Time

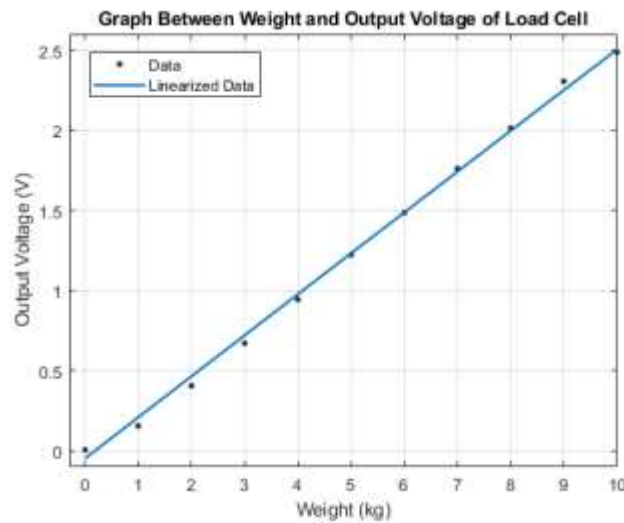
สรุปผล

จากภาพที่ 88 เมื่อทำการทดลองและเก็บค่าข้อมูล เพื่อนำมาสร้างกราฟระหว่างน้ำหนักที่วางไว้บนแผ่นอะคริลิกที่มี Load Cell รองรับ โดยเริ่มจากไม่มีการวางน้ำหนักจนกระทั่งวางน้ำหนักครบ 10 กิโลกรัม ซึ่งเพิ่มน้ำหนักครั้งละ 1 กิโลกรัม โดยค่า Output ที่วัดออกมาได้จาก INA125 Instrumentation Amplifier จะเป็นตามกราฟ

แต่จากภาพที่ 89 ลักษณะของกราฟไม่เป็น Linear ทำให้ต้องนำกราฟเดิมมาเข้า Curve Filter เลือก Fit Type เป็น Custom Equation เพื่อให้กราฟเป็น Linear ซึ่งโปรแกรมจะทำการคิดสมการเส้นตรงขึ้นมาให้ โดยสมการเส้นตรงที่ได้จะเป็น ดังนี้

$$y = a \times e^{(-b \times x)} + c$$

ทำให้กราฟออกมา ดังนี้



ภาพที่ 95 กราฟเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนัก และแรงดันขาออกจาก Load Cell หลังจาก Linearization

แต่ว่าจุดเริ่มต้นของกราฟยังไม่ใช่จุด (0,0) จึงต้องหาค่า Offset ให้กราฟขยับขึ้นมายู่ในจุดเริ่มต้นที่ถูกต้อง จากการนำตำแหน่งของจุดแรกในกราฟ คือ (0,0) ซึ่งคือในตอนที่ไม่มีการวางน้ำหนักเข้ามาแทนในสมการ ดังนี้

$$Off\ set = a \times e^{(-b \times x)} + c$$

$$Off\ Set = a \times e^{(-b \times 0)} + c$$

$$Off\ Set = a + c$$

จากนั้นจึงนำค่า a และ c จากตารางด้านล่างมาแทนในสมการ ดังนี้

Coefficients and 95% Confidence Bounds			
	Value	Lower	Upper
a	-221.8850	-5.6764e+...	5.2326e+03
b	0.0012	-0.0274	0.0298
c	221.8393	-5.2327e+...	5.6764e+03

ภาพที่ 96 ค่า Coefficient 95% Confidence Bounds

$$Off Set = a + c$$

$$Off Set = -221.8850 + 221.8393$$

$$Off Set = -0.0457$$

จากนั้นนำ offset ที่ได้ไปบวกกับค่า Output Voltage ทำให้จะได้กราฟที่ถูกต้องดังภาพที่ 89

อภิปรายผล

กราฟเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนัก และแรงดันขาออกจาก Load Cell ในช่วงแรก และช่วงท้ายมีลักษณะกราฟที่ไม่เป็น Linear ทั้งที่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจาก Load Cell จะต้องแปรผันตรงกับน้ำหนักอย่างคงที่ แต่กราฟที่ได้ไม่ออกมาเป็นอย่างที่ควร ซึ่งสามารถพิจารณาถึงสาเหตุที่อาจจะเป็นไปได้ทั้งหมด 2 อย่าง ได้แก่ INA125 และ Load Cell ที่ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ออกมาไม่แปรผันตรงกับน้ำหนัก

จากนั้นคณะผู้จัดทำถึงต้องทำ Linearization เพื่อหาสมการเส้นตรง และค่า Offset เพื่อให้ได้ค่าถูกต้องตามทฤษฎี คือ แรงดันไฟฟ้าขาออกจะแปรผันตรงกับน้ำหนักที่วางบน Load Cell อย่างคงที่

ข้อเสนอแนะ

1. ควรตรวจสอบค่า Offset ของ Load Cell ก่อนนำไปใช้งานจริง เพื่อลดโอกาสการเกิดค่าคลาดเคลื่อน
2. ไม่ควรใช้งาน Load Cell ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิมากกว่า 40 องศาเซลเซียส หรือน้อยกว่า -20 องศาเซลเซียส เนื่องจาก Sensor อาจคลาดเคลื่อนได้จากการขยายตัวของโลหะ
3. หากต้องการรู้ถึงสาเหตุที่ทำให้กราฟไม่มีลักษณะเป็น Linear ต้องทำการทดลองเพิ่มเติม เพื่อดูแรงดันไฟฟ้าขาออกจาก INA125 และ Load Cell เพื่อนำค่าแรงดันไฟฟ้ากับน้ำหนักที่วางบน Load Cell มาทำเป็นกราฟ เพื่อดูลักษณะของกราฟว่าเป็น Linear ถูกต้องเมื่อแรงดันไฟฟ้าออกจาก INA125 หรือ Load Cell

เอกสารอ้างอิง(แนบ link)

<https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/YZC-131A.pdf>

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/847622/TI1/INA125.html>

<https://www.farnell.com/datasheets/2061261.pdf>