

LAB1 : Sensor Report

Name

- | | | |
|---------------|---------------|-------------|
| ● นายวรภัทร | ภัทรเปรมเจริญ | 66340500049 |
| ● นายศุภวิชญ์ | แก้วปั้น | 66340500055 |
| ● นายภูริภัทร | โตะใบตะ | 66340500067 |

วัตถุประสงค์

1. นักศึกษาต้องสามารถออกแบบการทดลองโดยใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ในการ สืบเสาะ พฤติกรรม ปรากฏการณ์ ทดลอง บันทึกผลการทดลอง สรุปผล และอภิปรายผลการทดลอง เข้าใจหลักการ ทำงานของเซ็นเซอร์ และอุปกรณ์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องได้ ตลอดจนใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ สถิติ และศาสตร์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรม MATLAB เพื่อเก็บผลการทดลอง วิเคราะห์ผล การทดลอง วิเคราะห์ความเที่ยงตรง ความแม่นยำ ได้อย่างถูกต้อง และมีเหตุผลรองรับ ตรวจสอบความถูก ต้องเทียบกับทฤษฎีที่น่าเชื่อถือ
2. นักศึกษาต้องสามารถอธิบายความสามารถในการรับรู้ปริมาณทางฟิสิกส์ของเซ็นเซอร์ทั้งหมดตั้งแต่ต้นจนจบ กระบวนการได้ เช่น การอธิบายหลักการวัดความเร็วเชิงมุมของ Incremental Encoder และการอธิบายการ วัดน้ำหนักของ Load Cell (จากแรงดันไฟฟ้าแปลงเป็นน้ำหนักได้อย่างไร)
3. นักศึกษาต้องสามารถกำหนด ตัวแปรในการทดลองได้อย่างถูกต้องและสมเหตุสมผล ไม่ว่าจะเป็น ตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุม อธิบายจุดประสงค์การทดลอง อธิบายสมมติฐานให้สอดคล้องกับตัวแปรที่กำหนด นิยามเชิงปฏิบัติการ และมีทฤษฎีที่น่าเชื่อถือรองรับ เช่น ทฤษฎีทางฟิสิกส์ หรือข้อมูลจาก Datasheet
4. นักศึกษาต้องสามารถออกแบบวิธีการทดลองเพื่อหาคำตอบ ให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ย่อยทั้งหมดได้ด้วย ตนเองอย่างถูกต้องตามหลักวิทยาศาสตร์ รวมทั้ง บันทึกผล สรุปผล อภิปรายผล ตามข้อมูลที่บันทึกได้จริง มี กระบวนการทำซ้ำ อธิบายที่มาของผลการทดลองนั้นได้ โดยใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ ไฟล์ Simulink, mlx ฯลฯ และชุดการทดลองพร้อมบอร์ด Microcontroller ที่ TA จัดเตรียมให้เบื้องต้น
5. นักศึกษาต้องสามารถเขียนรายงาน สัญลักษณ์ และสมการทางวิทยาศาสตร์ ได้อย่างถูกต้อง ทั้งขนาด และ รูปแบบอักษร การเว้นช่องไฟ การเว้นขอบกระดาษ การเว้นระยะพิมพ์ ให้ได้ระยะที่เหมาะสมตามหลักสากล

1 Potentiometer

1.1 จุดประสงค์

1.1.1 นักศึกษาต้องทำตามการวิเคราะห์ผลการเรียนรู้หลัก

1.1.2 นักศึกษาต้องสามารถระบุชนิดของ โพลีโพรพิลีน ทรานซิสเตอร์ ทั้งหมดในชุดการทดลองได้

1.1.3 นักศึกษาต้องสามารถอธิบายหลักการทำงานของ Potentiometer ทั้งหมดในชุดการทดลองได้ ตลอดจนสามารถอธิบาย การตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อระยะทาง หรือ องค์การหมุนของ Potentiometer

1.1.4 นักศึกษาต้องสามารถแปลงสัญญาณ แอนาล็อก เป็นสัญญาณ ดิจิตอล ตามรูปแบบวงจร Schmitt-trigger ได้ โดยประยุกต์ใช้ MATLAB และ Simulink ในการสั่งการหรือรับค่า ร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจากการหมุน โพลีโพรพิลีน ทรานซิสเตอร์ ด้วยมือเป็น อินพุต และ สัญญาณ ดิจิตอล เป็น เอาต์พุต จากการ บันทึกการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ แสดงผลเป็นกราฟจาก Data Inspector ใน MATLAB Simulink แสดงให้เห็นว่าสัญญาณเอาต์พุต แปรผันตามสัญญาณ อินพุตตามเวลาจริง

1.2 สมมติฐาน

การเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง หรือการหมุน Potentiometer จะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการหมุนหรือระยะการเลื่อนไหม

1.3 ตัวแปร

ตัวแปรต้น : องค์การหมุนของโพลีโพรพิลีน ทรานซิสเตอร์แบบโรตารี(Rotary) และ ระยะการเลื่อนโพลีโพรพิลีน ทรานซิสเตอร์แบบเลื่อน

ตัวแปรตาม : ค่าเอาต์พุตจากโพลีโพรพิลีน ทรานซิสเตอร์ที่ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) อ่านค่าได้

ตัวแปรควบคุม : ทิศทางการหมุนสำหรับโพลีโพรพิลีน ทรานซิสเตอร์แบบโรตารี, ทิศทางการเลื่อนสำหรับโพลีโพรพิลีน ทรานซิสเตอร์แบบเลื่อน : บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์, โปรแกรมที่ใช้อ่านค่าดิจิตอลเอาต์พุต

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.4.1 โพลีโพรพิลีน ทรานซิสเตอร์ หมายถึง ตัวต้านทานทางไฟฟ้าที่สามารถปรับค่าได้โดยการหมุน หรือเลื่อน ขึ้นอยู่กับชนิดของ โพลีโพรพิลีน ทรานซิสเตอร์

1.4.2 ค่าความต้านทานของโพลีโพรพิลีน ทรานซิสเตอร์ หมายถึง ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปของโพลีโพรพิลีน ทรานซิสเตอร์เมื่อหมุน หรือเลื่อน

1.4.3 ค่าเอาต์พุต หมายถึง ค่า 12 บิต ที่ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าได้จากโพลีโพรพิลีน ทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 4095 หน่วย

1.4.4 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ หมายถึง ชุดอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก มีหน้าที่เสมือนคอมพิวเตอร์เครื่องจิ๋ว ทำหน้าที่ในการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้สำหรับการทดลอง และรับค่าเอาต์พุตต่างๆ

1.4.5 ทิศทางการหมุน หมายถึง ทิศทางการหมุนที่ใช้ในการหมุนปรับค่าต้านทานของโพเทนซิโอมีเตอร์แบบโรตารี ทิศทางการเลื่อน หมายถึง ทิศทางที่ใช้เลื่อนปรับค่าต้านทานของ โพเทนซิโอมีเตอร์แบบเลื่อน

1.5 นิยามเชิงปฏิบัติการ

1.5.1 โพเทนซิโอมีเตอร์แบบโรตารี หมายถึง ตัวต้านทานปรับค่าได้ ยี่ห้อ Bourns แบบโรตารี 3 รุ่น คือ PDB181-K420K-103A2, PDB181-K420K-103B , PDB181-K420K-103C มีค่าความต้านทานสูงสุด 10K โอห์ม มีระยะองศาการหมุนอยู่ที่ 0 ถึง 300 องศา ± 5 องศา โพเทนซิโอมีเตอร์แบบโรตารี หมายถึง ตัวต้านทานปรับค่าได้ ยี่ห้อ Bourns แบบโรตารี 3 รุ่น คือ PDB181-K420K-103A2, PDB181-K420K-103B , PDB181-K420K-103C มีค่าความต้านทานสูงสุด 10K โอห์ม มีระยะองศาการหมุนอยู่ที่ 0 ถึง 300 องศา ± 5 องศา

1.5.2 ค่าเอาต์พุต หมายถึง ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมกับ Potentiometer มีหน่วยเป็น โวลต์ ซึ่งเป็นค่า Analog และนำมาแปลงเป็นค่า Digital 12 บิต โดยใช้บอร์ด microcontroller ทิศทางการหมุน หมายถึง ทิศทางการหมุนปรับค่าต้านทานจากจุดเริ่มต้นของ Potentiometer แบบ Rotary ไปในทิศตามเข็มนาฬิกา โดยมีองศาการหมุนทั้งหมด 300 องศา ตั้งแต่จุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุด

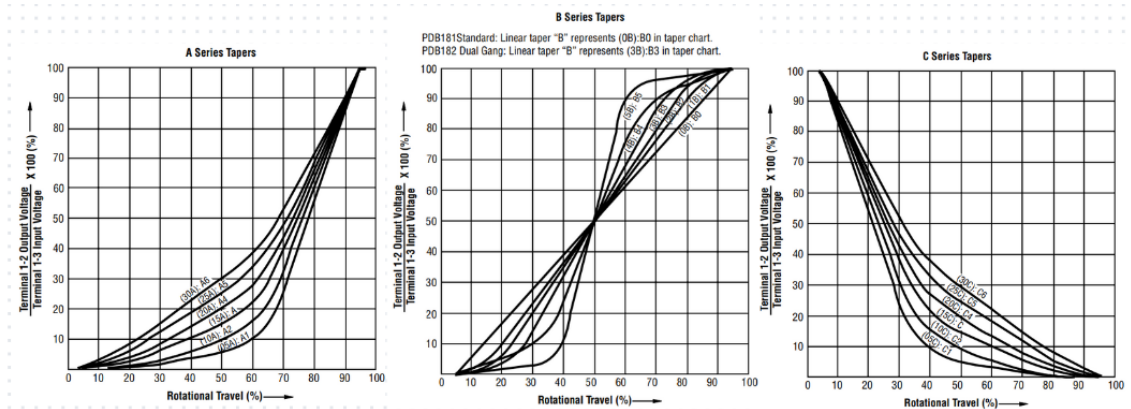
1.5.3 ทิศทางการเลื่อน หมายถึง ทิศทางที่ใช้เลื่อนปรับค่าต้านทานโพเทนซิโอมีเตอร์แบบเลื่อน ในทิศทางจากขวาไปซ้าย มีระยะการเลื่อนจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสิ้นสุดคือ 6 เซนติเมตร

1.6 แอ็กสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 ดาต้าชีทของโพเทนซิโอมีเตอร์แบบโรตารี

Electrical Characteristics	
Taper.....	Linear, audio
Standard Resistance Range	1 K ohms to 1 M ohms
Standard Resistance Tolerance.....	± 20 %
Residual Resistance	1 % max.
Environmental Characteristics	
Operating Temperature.....	-10 °C to +50 °C
Power Rating	
Linear	0.2 watt
Dual Section.....	0.125 watt
Audio.....	0.1 watt
Dual Section.....	0.06 watt
Maximum Operating Voltage	
Linear	200 V
Audio.....	150 V
Sliding Noise	47 mV max.
Mechanical Characteristics	
Mechanical Angle	300 ° ± 5 °
Rotational Torque	10 to 150 gf-cm
Detent Torque.....	150 to 500 g-cm
Stop Strength	5 kg-cm min.
Rotational Life	15,000 cycles
Soldering Condition	
.....	260 °C max. within 3 seconds
Hardware	One flat washer and mounting nut supplied per potentiometer with bushing

รูปที่ 1.1 ภาพคาแรคเตอร์สติกทางไฟฟ้า และทางกล ของ Potentiometer แบบโรตารี



รูปที่ 1.2 ภาพการเปลี่ยนแปลงของค่าต้านทานเทียบกับเปอร์เซ็นต์การหมุนที่เปลี่ยนไปของ Potentiometer แบบโรตารีแต่ละชนิด

Electrical Characteristics

Taper Linear, audio
Standard Resistance Range
..... 1 K ohms to 1 M ohms
Standard Resistance Tolerance $\pm 20\%$
Residual Resistance
..... 500 ohms or 1 % max.
Insulation Resistance
..... Min. 100 megohms at 250 V DC

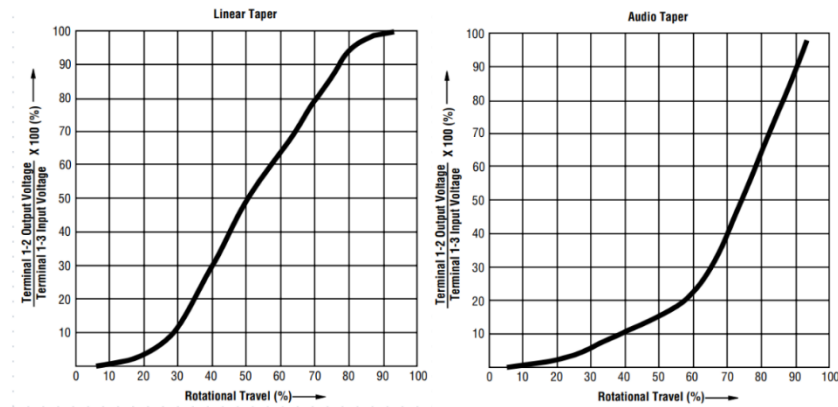
Environmental Characteristics

Operating Temperature
..... -10°C to $+50^{\circ}\text{C}$
Power Rating, Linear
15 mm 0.05 W (0.025 W Dual Gang)
20 mm 0.1 W (0.05 W)
30 mm 0.2 W (0.1 W)
45 mm 0.25 W (0.125 W)
60 mm 0.25 W (0.125 W)
Power Rating, Audio
15 mm 0.025 W (0.015 W Dual Gang)
20 mm 0.05 W (0.025 W)
30 mm 0.1 W (0.05 W)
45 mm 0.125 W (0.06 W)
60 mm 0.125 W (0.06 W)
Maximum Operating Voltage, Linear
15 mm 100 V DC
20-60 mm 200 V DC
Maximum Operating Voltage, Audio
15 mm 50 V DC
20-60 mm 150 V DC
Withstand Voltage, Audio
..... 1 Min. at 300 V AC
Sliding Noise 100 mV maximum
Tracking Error 3 dB at -40 to 0 dB

Mechanical Characteristics

Operating Force 30 to 250 gf
Stop Strength 5 kgf min.
Sliding Life 15,000 cycles
Soldering Condition
..... 350°C max. within 3 ± 0.5 seconds
Travel 15, 20, 30, 45, 60 mm

รูปที่ 1.3 คาแรคเตอร์ิสติกทางไฟฟ้า และทางกล ของ Potentiometer แบบเลื่อน



รูปที่ 1.4 ภาพการเปลี่ยนแปลงของค่าต้านทานเทียบกับเปอร์เซ็นต์ของระยะทาง ของ Potentiometer แบบเลื่อนแต่ละชนิด

1.7 วิธีดำเนินการทดลอง

ประกอบไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับบอร์ดการเรียนรู้สำเร็จรูป Poten_exploror ตั้งค่าโปรแกรม Simulink ให้สามารถใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ตามคู่มือที่ได้รับจาก TA ทดลองอ่านค่าดิจิตอลเอาต์พุตจากขา Out ของโพเทนซิโอमीเตอร์เพื่อเช็คว่าคุณสามารถใช้งานได้ตามที่

เริ่มทดลองและเก็บค่าโพเทนซิโอमीเตอร์แต่ละตัว โดยเริ่มเก็บที่ 0 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มขึ้นทีละ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามแถวตอสาที่ติดไว้บนโพเทนซิโอमीเตอร์ และนำค่าที่เก็บได้มาพล็อตกราฟเพื่อพิจารณาค่า

1.8 วัสดุอุปกรณ์

1. Potentiometer แบบโรตารีทั้งหมด 3 ตัว ประกอบด้วย
 - a. Potentiometer รุ่น PDB181-K420K-103A2
 - b. Potentiometer รุ่น PDB181-K420K-103B
 - c. Potentiometer รุ่น PDB181-K420K-103C
2. Potentiometer แบบเลื่อนทั้งหมด 2 ตัว ประกอบด้วย
 - a. Potentiometer รุ่น PTA6043-2015DPA103
 - b. Potentiometer รุ่น PTA6043-2015DPB103
3. STMicrocontroller Nucleo G474re (ต่อไปจะเรียกว่า คอนโทรลเลอร์)
4. สายไมโคร USB
5. คอมพิวเตอร์
6. สายจัมป์เปอร์
7. โปรแกรม MATLAB
8. โปรแกรม STM32CubeMX

1.9 ขั้นตอนการดำเนินงาน

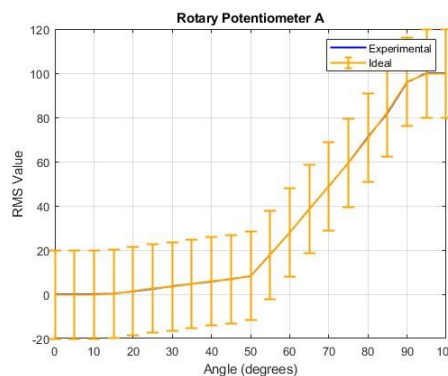
ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง Potentiometer แต่ละตัว มีขั้นตอนดังนี้

1. ต่อคอนโทรลเลอร์เข้ากับชุดการเรียนรู้สำเร็จรูป และต่อสายจัมป์เปอร์จาก Potentiometer เข้ากับคอนโทรลเลอร์ โดยต่อขา 1 และ 3 เข้ากับขา Vcc หรือ Gnd ก็ได้ และขา out ต่อเข้ากับพิน A0 ของคอนโทรลเลอร์
2. ตั้งค่าโปรแกรม Simulink ให้สามารถใช้งานร่วมกับคอนโทรลเลอร์ได้ โดยทำตามคู่มือที่ได้จาก TA
3. เขียนโปรแกรม Simulink เพื่ออ่าน และเก็บค่าดิจิตอลเอาต์พุตที่ได้จาก Potentiometer โดยเขียนโปรแกรมให้สามารถระบุจำนวนข้อมูลที่ต้องการเก็บได้ และสามารถคำนวณค่าดิจิตอลเอาต์พุตตามสมการเปอร์เซ็นต์แรงดัน
4. เก็บค่าที่ 50 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 100 ครั้ง และนำมาหารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS) ทำซ้ำโดยเพิ่มจำนวนการเก็บค่าขึ้นทีละ 100 ครั้ง จนมีจำนวนถึง 10000 ครั้ง นำมาหาค่า RMS ที่มากที่สุด และเก็บจำนวนข้อมูลทีละระยะต่างๆตามจำนวนที่มีค่า Rms เยอะที่สุด
5. ปรับ Potentiometer ที่ระยะ 0 เปอร์เซ็นต์ และเก็บค่า ดิจิตอลเอาต์พุตตามจำนวนที่มีค่า RMS มากที่สุด ทำซ้ำโดยเพิ่มเปอร์เซ็นต์ระยะเพิ่มขึ้นทีละ 5 เปอร์เซ็นต์
6. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4 และ 5 เมื่อทดสอบ Potentiometer ตัวใหม่
7. บันทึกค่าดิจิตอลเอาต์พุตที่ได้ และนำมาพล็อตกราฟ เพื่อพิจารณาข้อมูลที่ได้ต่อไป

1.10 ผลการทดลอง

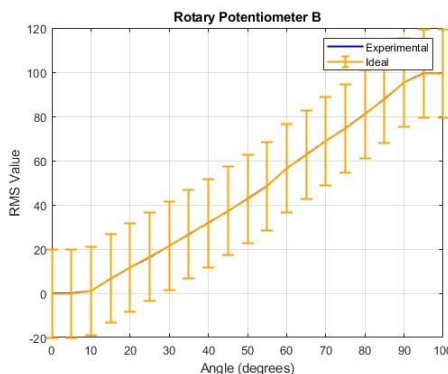
จากการทดลองข้างต้น ทำให้เราสามารถพล็อตกราฟความสัมพันธ์ของค่าต้านทานกับระยะที่เปลี่ยนไปของ Potentiometer แต่ละตัวได้ดังนี้

1.10.1 Potentiometer แบบโรตารี รุ่น PDB181-K420K-103A2 ลักษณะกราฟที่ได้ เทียบกับเปอร์เซ็นต์การหมุน มีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อเนื่องกัน แต่ความชันของเส้นตรงไม่เท่ากัน โดยในช่วงเปอร์เซ็นต์ที่ 50 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีความชันของกราฟมากกว่าในช่วง 0 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์



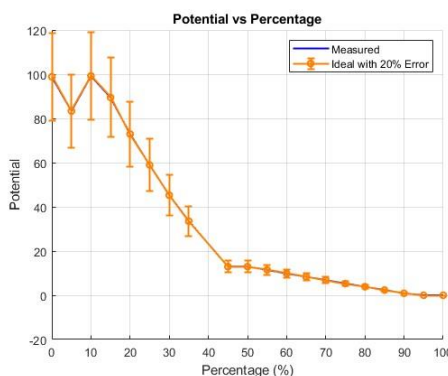
รูปที่ 1.5 ภาพกราฟค่าต้านทานจากการทดลองเทียบระยะการหมุนของ Potentiometer รุ่น PDB181-K420K-103A2

1.10.2 Potentiometer แบบโรตารี รุ่น PDB181-K420K-103B ลักษณะกราฟที่ได้ มีความสัมพันธ์เชิงเส้น ต่อเนื่องในช่วง 10 ถึง 95 เปอเซ็นต์ นอกเหนือจากในช่วงนี้ เป็นกราฟเส้นตรงราบขนานกับแกน X



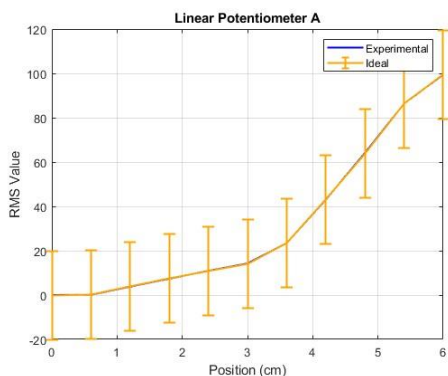
รูปที่ 1.6 ภาพกราฟค่าต้านทานจากการทดลองเทียบระยะการหมุนของ Potentiometer รุ่น PDB181-K420K-103B

1.10.3 Potentiometer แบบโรตารี รุ่น PDB181-K420K-103C จากกราฟที่ได้ Potentiometer ชนิด C มีค่าต้านทานเทียบเปอร์เซ็นต์การหมุน แบบผกผัน คือ เมื่ออยู่ที่ระยะเปอร์เซ็นต์ต่ำสุด จะมีค่าต้านทานสูงที่สุด และเมื่ออยู่ที่ระยะเปอร์เซ็นต์สูงสุด จะได้ค่าความต้านทานต่ำสุดเช่นกัน



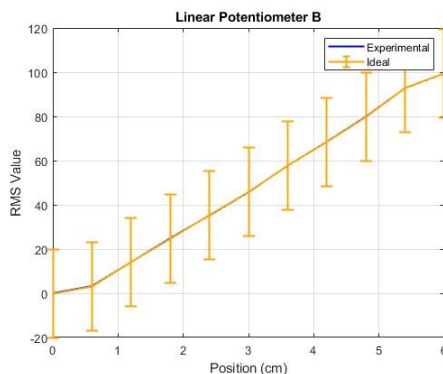
รูปที่ 1.7 ภาพกราฟค่าต้านทานจากการทดลองเทียบระยะการหมุนของ Potentiometer รุ่น PDB181-K420K-103C

1.10.4 Potentiometer แบบเลื่อน รุ่น PTA6043-2015DPA103 จากกราฟ จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานเทียบเปอร์เซ็นต์ระยะที่ใช้ไป เป็นลักษณะเอ็กโปเนนเชียล



รูปที่ 1.8 ภาพกราฟค่าต้านทานจากการทดลองเทียบระยะเลื่อนของ Potentiometer รุ่น PTA6043-2015DPA103

1.10.5 Potentiometer แบบเลื่อน รุ่น PTA6043-2015DPB103 จากกราฟที่ได้ เห็นได้ชัดเจนว่ามีความเป็น Linear มากในช่วง 1.5 เซนติเมตร ถึง 6 เซนติเมตร



รูปที่ 1.9 ภาพกราฟค่าต้านทานจากการทดลองเทียบระยะเลื่อนของ Potentiometer รุ่น PTA6043-2015DPB103

1.11 สรุปผล

จากการทดลอง พบว่าลักษณะกราฟค่าความต้านทานเทียบกับเปอร์เซ็นต์การหมุน หรือการเลื่อนของ Potentiometer ในแต่ละตัวนั้นมีลักษณะกราฟเฉพาะที่เป็นเอกลักษณ์ของแต่ละรุ่น แต่ละรูปแบบ โดยไม่ได้ขึ้นอยู่กับรูปแบบการเลื่อนหรือหมุน แต่ขึ้นอยู่กับ ค่าแรงดันไฟฟ้าภายในของ Potentiometer

1.12 อภิปรายผล

จากผลการทดลองข้างต้น ทำให้เห็นว่ากราฟค่าต้านทานเทียบเปอร์เซ็นต์ระยะที่เปลี่ยนแปลงไป ไม่ได้มีแค่ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นเท่านั้น ซึ่งไม่ตรงกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่า ค่าแรงดันที่ได้ จะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไป เพราะขึ้นอยู่กับ ค่าแรงดันไฟฟ้าภายในของ Potentiometer

1.13 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองนี้ ค่ากราฟของ Potentiometer แบบ โรตารี ชนิด C มีค่าคลาดเคลื่อนมาก จนต้องทำการทดลองใหม่ถึงสองครั้ง เพราะในการเปลี่ยนไปทดลอง Potentiometer ตัวอื่น สายจัมป์เปอร์ที่ใช้ต่อ Vcc และ Gnd สลับกัน ทำให้ค่าที่อ่านได้ผกผันกัน

จากสถานการณ์ข้างต้น ทำให้เห็นว่าการเพิ่ม รูปแบบการต่อสายจัมป์เปอร์ เข้าไปในตัวแปรควบคุมก็มี ความสำคัญต่อการทดลอง Potentiometer

1.14 เอกสารอ้างอิง (แนบลิงก์ตามที่เกี่ยวข้อง)

ดาต้าชีทของ Potentiometer แบบ rotary ทั้ง 3 รุ่น

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

ดาต้าชีทของ Potentiometer แบบ linear ทั้ง 2 รุ่น

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

2 Magnetic Sensor

2.1 จุดประสงค์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่าง Hall Effect Magnetics Sensor กับแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก ว่ามีผลต่อสัญญาณเอาต์พุตอย่างไร, ถ้ามีสิ่งกีดขวางมากี่ระหว่าง แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กกับ Hall effect magnetics sensor ค่าเอาต์พุตที่ได้จะมีลักษณะเปลี่ยนไปอย่างไร

2.1.1 นักศึกษาต้องทำตามการวิเคราะห์ผลการเรียนรู้หลัก

2.1.2 นักศึกษาต้องสามารถอธิบายหลักการทำงานของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor ได้

2.1.3 นักศึกษาต้องสามารถอธิบายลักษณะสัญญาณ Output ของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor ได้ เมื่อ Magnetic Flux Density เปลี่ยนแปลงไป

2.1.4 นักศึกษาต้องสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Field Shielding และ Magnetic Flux Density

2.1.5 นักศึกษาต้องสามารถเขียนโปรแกรม โดยประยุกต์ใช้ MATLAB และ Simulink ในการสั่งการหรือรับค่า ร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจาก Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor เป็น Input และ แสดงสัญญาณ Output จากการ Log สัญญาณ แสดงผลเป็นกราฟจาก Data Inspector ใน MATLAB Simulink แสดงให้เห็นว่าสัญญาณ Output แปรผันตามสัญญาณ Input แบบ Real Time โดยมี Output เป็น Raw Signal, Magnetic Flux Density ในหน่วย SI derived

2.2 สมมุติฐาน

2.2.1 เมื่อระยะห่างระหว่าง Hall Effect Sensor กับแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เซ็นเซอร์ ตรวจจับได้จะลดลง

2.2.2 การเปลี่ยนขั้วของแม่เหล็กที่ความสูงเท่าเดิมจะส่งผลให้ค่าดิจิตอลเอาต์พุตที่อ่านได้มีค่าเท่ากันแต่จะมีค่าติดลบในด้านขั้วได้

2.2.3 การมีแผ่นเหล็กติดกับแม่เหล็กจะทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เซ็นเซอร์ตรวจจับได้ลดลง เนื่องจากแผ่นเหล็กมีผลต่อการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กและอาจรบกวนทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็ก

2.3 ตัวแปร

2.3.1 ตัวแปรต้น: ระยะห่างระหว่าง Hall effect Magnetics sensor กับแม่เหล็กขั้วเหนือ, ระยะห่างระหว่าง Hall effect Magnetics sensor กับแม่เหล็กขั้วใต้

2.3.2 ตัวแปรตาม: ค่าดิจิตอลเอาต์พุตที่อ่านได้

2.3.3 ตัวแปรควบคุม: แม่เหล็กถาวร, บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์,

2.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

2.4.1 Hall Effect Sensor หมายถึง อุปกรณ์ที่สามารถตรวจจับสนามแม่เหล็กและแปลงข้อมูลออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของสนามแม่เหล็กที่กระทำต่อเซ็นเซอร์

2.4.2 Magnetic Flux Density หมายถึง ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กในหน่วยมิลลิเทสลา (mT) ซึ่งสัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าที่เซ็นเซอร์ตรวจจับได้

2.5 นิยามเชิงปฏิบัติการ

ค่าดิจิตอลเอาต์พุต หมายถึง ค่าแอนาล็อกที่แปลงเป็น ดิจิตอล ขนาด 12 บิต หรือค่าตั้งแต่ 0 ถึง 4095 หน่วย

ชุดการเรียนรู้สำเร็จรูป Hall effect sensor หมายถึง

ชุดการทดลองที่รวบรวมอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทดลองทั้งหมดไว้ เช่น ช่อง Vcc 3.3 และ 5 โวลต์, ช่อง Gnd, Hall effect magnetic sensor, โครงสร้าง 3Dprint ที่รองรับแม่เหล็กถาวร เป็นต้น

บอร์ดคอนโทรลเลอร์ หมายถึง บอร์ด STMicrocontroller รุ่น Nucleo G474Re

แม่เหล็กถาวร หมายถึง วัตถุที่มีความสามารถในการสร้างสนามแม่เหล็กได้เอง

โครงสร้าง 3Dprint หมายถึง โครงสร้างที่ถูกขึ้นด้วยวิธี 3D printing มีหน้าที่เป็นตัวยึดจับแม่เหล็กถาวร สามารถเลื่อนขึ้น ลง ในแนวตั้งได้ด้วยการหมุนโบลต์ขนาด M5*6 เซนติเมตร

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Datasheet ของ DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

2.6.1 Datasheet ของเซ็นเซอร์ DRV5055 ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับหลักการทำงานของเซ็นเซอร์ ความไว (Sensitivity) การตอบสนองต่อสนามแม่เหล็ก รวมถึงข้อมูลการเชื่อมต่อและค่าแรงดันที่สัมพันธ์กับฟลักซ์แม่เหล็ก

สูตรคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก:

$$B = \frac{V_{out} - V_q}{Sensitivity}$$

- V_{out} : แรงดันไฟฟ้าที่เซ็นเซอร์อ่านได้
- V_q : ค่ากลางแรงดันไฟฟ้าเมื่อไม่มีสนามแม่เหล็ก
- Sensitivity: ความไวของเซ็นเซอร์ในหน่วย mV/mT (ตัวอย่างเช่น 30 mV/mT)

2.7 วิธีดำเนินการทดลอง

2.7.1 ติดตั้งบอร์ดคอนโทรลเลอร์ลงบนชุดการเรียนรู้สำเร็จรูป Hall Effect Sensor

2.7.2 ใช้โปรแกรม MATLAB, Simulink และ STM32CubeMX เพื่อใช้บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์

2.7.3 ทำการทดลองในสองสถานะ คือสถานะที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง กับมีสิ่งกีดขวาง รวมถึงกลับขั้วแม่เหล็กถาวร และทำการทดลองซ้ำ บันทึกผลการทดลอง

2.8 วัสดุอุปกรณ์

2.8.1 DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor (ต่อไปจะเรียกว่า Hall effect)

2.8.2 Nucleo STM32G474RE พร้อมสายเชื่อมต่อ (ต่อไปจะเรียกว่า บอร์ดคอนโทรลเลอร์)

2.8.3 โครงสร้าง 3D print สำหรับควบคุมระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและเซ็นเซอร์

2.8.4 แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กถาวร)

2.8.5 แผ่นเหล็กสำหรับกีดขวางสนามแม่เหล็ก

2.8.6 โปรแกรม MATLAB และ Simulink สำหรับบันทึกข้อมูล

2.9 ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.9.1 ติดตั้งบอร์ดคอนโทรลเลอร์ลงบนชุดการเรียนรู้ Hall effect sensor และเชื่อมต่อคอนโทรลเลอร์กับ Hall effect โดยต่อขา 3.3V เข้ากับขา Vcc ขา Gnd เข้ากับ Gnd และขา A0 เข้ากับขา out

2.9.2 ตั้งค่าโปรแกรม Simulink ใน MATLAB เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อกับคอนโทรลเลอร์ได้ และเขียนโปรแกรมเพื่ออ่าน และบันทึกค่า โดยจะต้องเขียนโปรแกรมให้สามารถบันทึกค่าต่อเนื่องตามจำนวนที่กำหนดได้ และต้องสามารถนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณค่าความเข้มข้นสนามแม่เหล็กได้

2.9.3 หมุนโบลต์ปรับระดับให้คานแม่เหล็กอยู่ที่ระดับ 2 เซนติเมตร ใช้โปรแกรมเก็บค่าที่จุดนี้ ทั้งหมด 100 ครั้ง บันทึก และนำมาหาค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS) ทำซ้ำ และเพิ่มจำนวนครั้งที่เก็บข้อมูลทีละ 100 ครั้ง จนมีจำนวนครั้งที่เก็บข้อมูลถึง 10000 ค่า เพื่อหาจำนวนข้อมูลที่ให้ค่า RMS สูงที่สุด และใช้จำนวนนั้นในการเก็บข้อมูลในการทดลอง

2.9.3 (2.9.4) ทดลองโดยเริ่มจากกรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวางสนามแม่เหล็ก อ่านค่าดิจิตอลเอาต์พุตที่ระยะทุกๆ 5 มิลลิเมตร และบันทึกผล เมื่อเก็บค่าจนครบ เก็บข้อมูลนั้นเป็น N_{no_shield} และเริ่มทดลองกรณีที่มีสิ่งกีดขวางสนามแม่เหล็กเก็บค่าที่ทุกระยะ 5 มิลลิเมตร และบันทึกผลเป็น N_{w_shield}

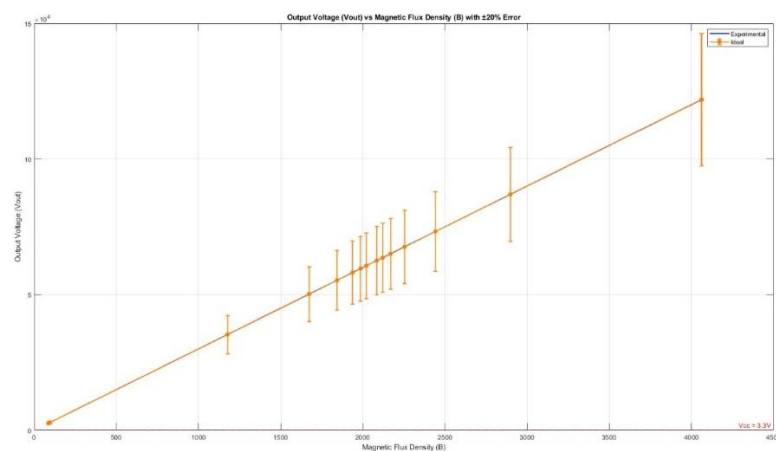
(2.9.5) แกะแม่เหล็กถาวรออกและเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กถาวร ทำการทดลองในข้อ 2.9.4 ซ้ำอีกครั้ง โดยจะเก็บข้อมูลแบบไม่มีสิ่งกีดขวางเป็น S_{no_shield} และข้อมูลเมื่อมีสิ่งกีดขวางเป็น S_{w_shield}

(2.9.6) นำข้อมูลที่ได้มาพล็อตกราฟ โดยจับคู่ค่าที่วัดได้เมื่อมีสิ่งกีดขวางเข้าด้วยกัน และค่าที่ไม่มีสิ่งกีดขวางเข้าด้วยกัน

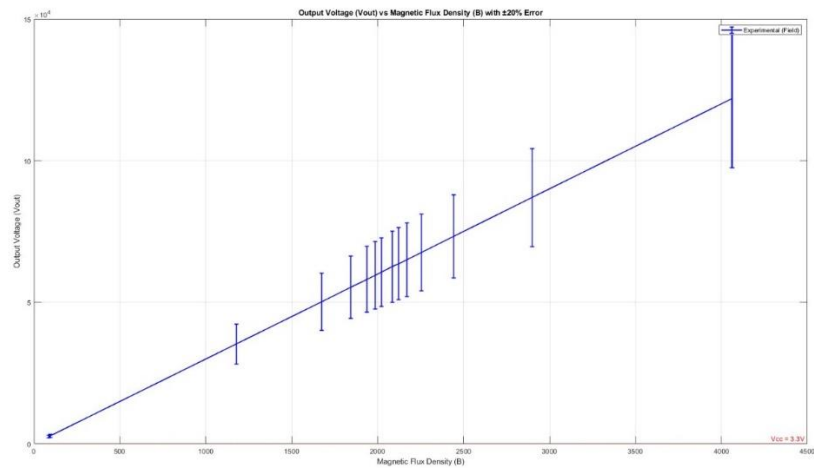
2.10 ผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ เราได้นำค่าที่บันทึกได้มาจับคู่กันแล้วพล็อตกราฟเข้าด้วยกัน

จะเห็นว่ากราฟในกรณีที่ไม่มีแผ่นเหล็กกีดขวาง กับมีแผ่นเหล็กกีดขวาง ลักษณะกราฟมีความใกล้เคียงกันมาก

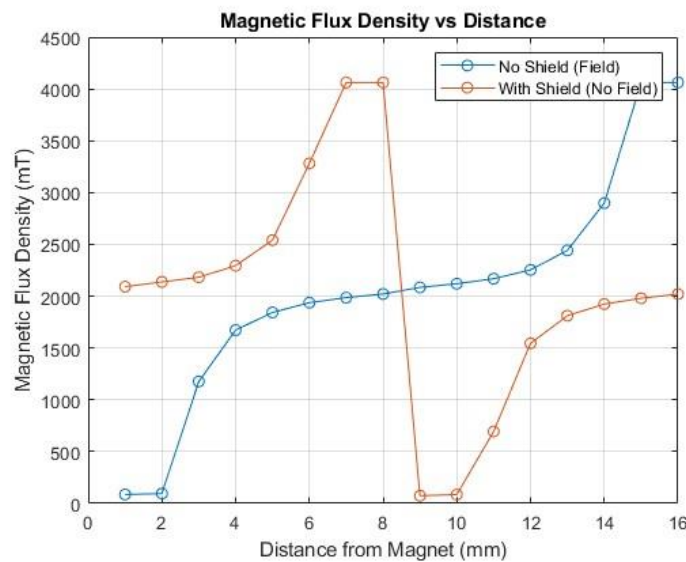


รูปที่ 2.1 รูปกราฟแสดง Magnetic Flux Density Magnetic Field Shield



รูปที่ 2.2 รูปกราฟแสดง Magnetic Flux Density No Magnetic Field Shield

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่ตรวจจับได้จาก Hall Effect จะเห็นได้ว่าในสถานะที่ไม่มีแผ่นเหล็กครอบกวน (เส้นสีน้ำเงิน) ความเข้มสนามแม่เหล็กมีค่ามากกว่าสถานะที่มีแผ่นเหล็กครอบกวน (เส้นสีส้ม) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากการมีแผ่นเหล็กเป็นสิ่งที่กีดขวาง ที่ทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เซ็นเซอร์ตรวจจับได้ลดลง



รูปที่ 2.3 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็ก และระยะห่างจากแม่เหล็กในสถานะที่ไม่มีแผ่นเหล็กครอบกวน และมีแผ่นเหล็กครอบกวน

2.11 สรุปผล

จากการบันทึกค่าและนำค่ามาพล็อตกราฟ พบว่าระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Hall effect ส่งผลโดยตรงต่อค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก ส่วนผลกระทบที่เกิดจากการมีสิ่งกีดขวางมาขวางระหว่างแม่เหล็กและ Hall effect แทบไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการรับรู้ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กต่อ Hall effect เลย

2.12 อภิปรายผล

เราพิจารณาถึงสาเหตุที่ทำให้แผ่นเหล็กกีดขวางไม่มีผลต่อความเข้มของสนามแม่เหล็ก เราคาดว่า เป็นเพราะวัสดุที่นำมาเป็นสิ่งกีดขวาง สามารถดึงดูดสนามแม่เหล็กได้ และเมื่อแผ่นเหล็กถูกดูดติดอยู่กับแม่เหล็กถาวร จึงเกิดสนามแม่เหล็กแบบเดียวกับกรณีไม่มีสิ่งกีดขวาง

2.13 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองครั้งนี้ ตัวโครงสร้าง 3D print ไม่มีความแข็งแรง และความเที่ยงตรง เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่เกิดจากชิ้นส่วนสองชิ้นมาประกอบเข้าด้วยกัน จึงอาจจะทำให้เกิด Miss alignment ตรงบริเวณจุดเลื่อน ส่งผลให้ระยะห่างจาก Hall effect กับแม่เหล็กถาวรไม่เป็นไปตามมาตรวัดที่ติดมากับชิ้นส่วนอยู่แล้ว

2.14 เอกสารอ้างอิง (แนบลิงก์ตามที่เกี่ยวข้อง)

[DRV5055-Q1 Automotive Ratiometric Linear Hall Effect Sensor datasheet \(Rev. D\)](#)

3 Incremental Encoder

3.1 จุดประสงค์

- 3.1.1 นักศึกษาต้องสามารถอธิบายหลักการทำงานของ Incremental Encoder ได้
- 3.1.2 นักศึกษาต้องสามารถอธิบายหลักการทำงาน และความหมายของการ config parameter ใน IOC ได้
- 3.1.3 นักศึกษาต้องสามารถอธิบายลักษณะสัญญาณ Output ของ Incremental Encoder ได้ เมื่อทิศทางและความเร็วการหมุนเปลี่ยนแปลงไป เจาะลึกไปที่รูปแบบเฟสของสัญญาณในแต่ละช่อง Output ของ Incremental Encoder
- 3.1.4 นักศึกษาต้องสามารถหาค่า Pulses Per Revolution และ Resolution ของ Incremental Encoder ในชุดการทดลองได้
- 3.1.5 นักศึกษาต้องสามารถอ่านค่าจาก Incremental Encoder ในรูปแบบการสัญญาณแบบ Quadrature encoder ได้ทุกรูปแบบ และทุกวิธีการ (QEI และ Polling Method)
- 3.1.6 นักศึกษาต้องสามารถอ่านค่า Raw Signal ของ QEI Method และแปลงเป็น Relative Position(pulses) ด้วยการ Integrate Discrete Velocity(diff_counts) และแสดงผลพร้อมกันได้
- 3.1.7 นักศึกษาต้องสามารถเขียนโปรแกรม โดยประยุกต์ใช้ MATLAB และ Simulink ในการสั่งการหรือรับค่าร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจากการหมุน Incremental Encoder ด้วยมือเป็น Input และ แสดงสัญญาณ Output จากการ Log สัญญาณ แสดงผลเป็นกราฟจาก Data Inspector ใน MATLAB Simulink แสดงให้เห็นว่าสัญญาณ Output แปรผันตามสัญญาณ Input แบบ Real Time โดยมี Output เป็น Raw Signal, Angular Position, Angular Velocity ในหน่วย SI
- 3.1.8 นักศึกษาต้องสามารถวิเคราะห์ ข้อดี-เสีย ของการอ่านด้วย QEI และ Polling Method ได้
- 3.1.9 นักศึกษาต้องสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อ Homing Incremental Encoder ได้

3.2 สมมุติฐาน

ถ้าอ่านค่าจาก Incremental Encoder ในรูปแบบการสัญญาณแบบ Quadrature encoder วิธีการ QEI จะมีข้อมูลที่แม่นยำกว่าวิธีการ Polling

3.3 ตัวแปร

3.3.1 ตัวแปรต้น : การอ่านค่าจาก Incremental Encoder

3.3.2 ตัวแปรตาม : ความแม่นยำที่ได้จากการอ่านค่า

3.3.3 ตัวแปรควบคุม : พารามิเตอร์ของ Incremental Encoder

3.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

3.4.1 ความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity) หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของมุมในหน่วยเวลา มักถูกวัดเป็น เรเดียนต่อวินาที (rad/s) หรือรอบต่อนาที (RPM) โดยระบุถึงความเร็วที่วัตถุหมุนรอบจุดศูนย์กลาง

3.4.2 จำนวน Pulse (Pulse Count) หมายถึง จำนวนสัญญาณพัลส์ที่ถูกสร้างขึ้นโดย Incremental Encoder ในระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งแสดงถึงการเคลื่อนไหวนของ Encoder โดยมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งและความเร็วการหมุน

3.4.3 ตำแหน่งเชิงมุม (Angular Position) หมายถึง มุมที่วัตถุหมุนไปจากตำแหน่งอ้างอิง มักจะถูกวัดเป็น องศา (degrees) หรือเรเดียน (radians) และคำนวณจากจำนวน Pulse ที่อ่านได้จาก Encoder

3.4.4 PPR (Pulse Per Revolution) หมายถึง จำนวน Pulse ที่ Incremental Encoder สร้างขึ้นในหนึ่งรอบการหมุน ซึ่งเป็นตัวกำหนดความละเอียดของการวัดตำแหน่งและความเร็วเชิงมุม

3.4.5 Quadrature Encoder หมายถึง ประเภทของ Encoder ที่ใช้สองช่องสัญญาณ (Channel A และ Channel B) เพื่อกำหนดทิศทางการหมุนและความเร็ว โดยสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งได้แม่นยำยิ่งขึ้น

3.4.6 QEI Method หมายถึง วิธีการอ่านค่าจาก Quadrature Encoder ซึ่งใช้การวิเคราะห์สัญญาณจากช่อง A และ B เพื่อกำหนดตำแหน่งและความเร็วการหมุน โดยสามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็วและมีความแม่นยำสูง

3.4.7 Polling Method หมายถึง วิธีการอ่านค่าจาก Encoder โดยการตรวจสอบสถานะสัญญาณอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งอาจทำให้เกิดการล่าช้าในข้อมูลและความแม่นยำน้อยกว่าการใช้ QEI Method

3.4.8 Relative Position หมายถึง ตำแหน่งที่สัมพันธ์กับตำแหน่งเริ่มต้น โดยคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงของ Pulse ที่อ่านได้ ซึ่งแสดงถึงการเคลื่อนที่ในทิศทางที่กำหนด

3.4.9 Discrete Velocity หมายถึง การวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งในช่วงเวลาที่กำหนด โดยมักใช้ในระบบที่มีการประมวลผลสัญญาณเชิงดิจิทัล เช่น การอ่านค่าจาก Incremental Encoder หรือเซ็นเซอร์อื่นๆ

3.5 นิยามเชิงปฏิบัติการ

3.5.1 ความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity) หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของมุมในหน่วยเวลา มักถูกวัดเป็น เรเดียนต่อวินาที (rad/s) หรือรอบต่อนาที (RPM) โดยระบุถึงความเร็วที่วัตถุหมุนรอบจุดศูนย์กลาง

3.5.2 จำนวน Pulse (Pulse Count) หมายถึง จำนวนสัญญาณพัลส์ที่ถูกสร้างขึ้นโดย Incremental Encoder ในระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งแสดงถึงการเคลื่อนไหวยของ Encoder โดยมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งและความเร็วการหมุน

3.5.3 ตำแหน่งเชิงมุม (Angular Position) หมายถึง มุมที่วัตถุหมุนไปจากตำแหน่งอ้างอิง มักจะถูกวัดเป็น องศา (degrees) หรือเรเดียน (radians) และคำนวณจากจำนวน Pulse ที่อ่านได้จาก Encoder

3.5.4 PPR (Pulse Per Revolution) หมายถึง จำนวน Pulse ที่ Incremental Encoder สร้างขึ้นในหนึ่งรอบการหมุน ซึ่งเป็นตัวกำหนดความละเอียดของการวัดตำแหน่งและความเร็วเชิงมุม

3.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.6.1 Resolution

คือความละเอียดของ Encoder ซึ่งบ่งบอกถึงจำนวนองศาหรือระยะทางที่แต่ละพัลส์แสดงถึง การมี Resolution ที่สูงหมายความว่าแต่ละพัลส์จะแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่น้อยลง

สูตรในการหาคือ

$$Resolution = \frac{(2 * \pi)}{PPR}$$

PPR คือ Pulses Per Revolution

3.6.2 Position

คือตำแหน่งเชิงมุมหรือระยะทางที่วัดได้จาก Encoder โดยมักอยู่ในรูปองศา (degrees) หรือเรเดียน (radians) ขึ้นอยู่กับการใช้งาน

สูตรในการหาคือ

$$Position = Resolution \times n_{pulse}$$

n_{pulse} คือ จำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นจากการหมุนของ Encode

3.6.3 Velocity

คือ ความเร็วเชิงมุมหรือความเร็วเชิงเส้นที่วัดได้จาก Encoder โดยมักจะแสดงเป็นองศาต่อวินาที (degrees per second) หรือเรเดียนต่อวินาที (radians per second) ขึ้นอยู่กับการใช้งาน

สูตรในการหาค่าคือ

$$Velocity = Resolution + \frac{d}{dt} \times n_{pulse}$$

3.6.4 Angular Position

คือ ความเร็วที่วัดในมิติที่กำหนด โดยบ่งบอกถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งตามเวลา Encoder โดยมักจะแสดงเป็นองศาต่อวินาที (degrees per second) หรือเรเดียนต่อวินาที (radians per second)

สูตรในการหาค่าคือ

$$\text{Angular Position} = \left(\frac{\text{count}}{\text{PPR}} \right) * (2)$$

Count คือ จำนวนสัญญาณ pulse

3.6.5 Angular Velocity

คือ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งเชิงมุมของวัตถุเมื่อเวลาผ่านไป โดยทั่วไปจะใช้เพื่ออธิบายความเร็วของการหมุนของวัตถุ เช่น มอเตอร์, วงล้อ หรือระบบหมุนอื่นๆ

สูตรในการหาค่าคือ

$$\text{Angular Velocity} = \left(\frac{\text{diff_count}}{\text{PPR}} \right) * (2\pi)$$

Diff_count คือ การเปลี่ยนแปลงระหว่าง count ปัจจุบัน และมูลค่าการตรวจวัดได้

3.7 วิธีดำเนินการทดลอง

ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการออกแบบการทดลองในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการอ่านค่าของ Incremental Encoder ในรูปแบบ Quadrature Encoder ทั้งสองรูปแบบคือแบบ QEI และ Polling โดยทำการเปรียบเทียบค่าในหมุน Encoder ให้ครบหนึ่งรอบ 360 องศา แล้วทำการบันทึกค่าและเปรียบเทียบข้อมูลทั้งสองกับค่า PPR ตามที่ระบุไว้ใน datasheet ของ sensor โดยคณะผู้จัดทำได้นำ MATLAB และ Simulink มาประยุกต์ใช้ในการสั่งการ sensor หรือการรับข้อมูลจาก sensor ร่วมกับบอร์ด NUCLEO-G474RE เพื่อช่วยในการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

3.8 วัสดุอุปกรณ์

3.8.1 1.Incremental Encoder AMT103-V จำนวน 1 อัน

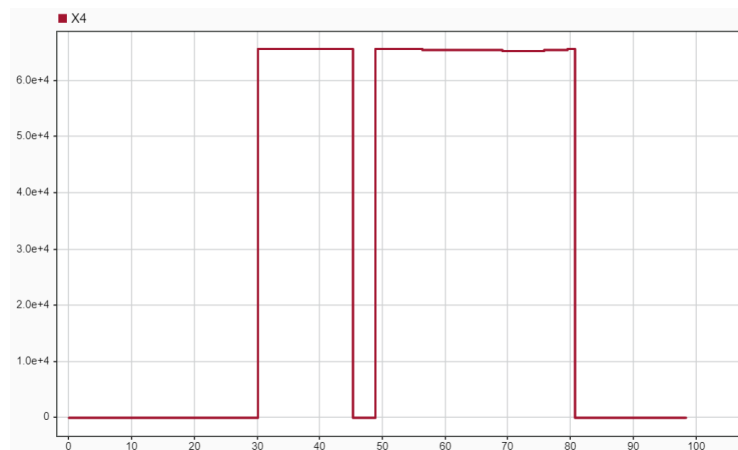
3.8.2 2.BOURNS PEC11R-4220F-N0024 จำนวน 1 อัน

3.8.3 3.Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด

3.8.4 4.EncoderXplorer จำนวน 1 ชุด ฐานสามารถบรรจุบอร์ดควบคุม, Breadboard, IncrementalEncoder, 3D-Print ใช้สำหรับการวัดมุมการหมุนของ Incremental Encoder ลักษณะคล้าย ไมโครแทกเตอร์

3.8.5 5.สายจัมเปอร์ นักศึกษาหยิบได้ในกล่องสายไฟรีไซเคิล ห้อง 501 ภายในคาบเรียน

2) การทำ Unwrapped



รูปที่ 3.2 รูปกราฟที่เกิดการ Overflow / Underflow

การทำ Unwrapped คือ การแก้ปัญหาเรื่อง Overflow / Underflow สัญญาณ ด้วยการเกิด Overflow / Underflow จะเกิดก็ต่อเมื่อ กราฟสัญญาณของเราวิ่งไปชนกับ Count Period คือ 0 และ 65520 ซึ่งเมื่อกราฟสัญญาณวิ่งไปชนจะทำให้กราฟไปเริ่มที่ Count Period อีกตัว ซึ่งการจะแก้ปัญหาเรื่องนี้ได้เราต้องใช้ Unwrap Technic ดังรูป

```
function [pulse, velocity] = X1(blue_in, count)

    persistent previousCount unwrappedPositionPrev;

    if isempty(previousCount)
        previousCount = count;
        unwrappedPositionPrev = 0;
    end

    % กำหนดคอมเพนดของ encoder
    encoderMax = 65520;
    threshold = encoderMax / 2; % ค่า threshold สำหรับเช็คการเกิด overflow หรือ underflow

    % คำนวณค่าความแตกต่างระหว่างค่าปัจจุบันกับค่าก่อนหน้า
    diff_count = count - previousCount;

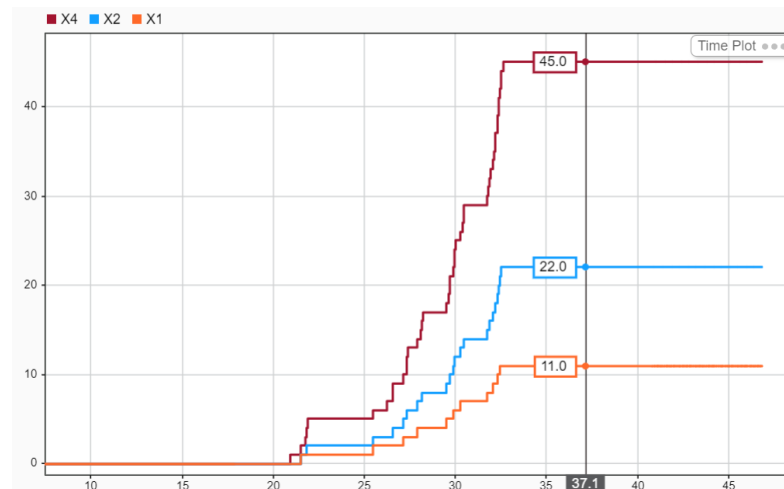
    velocity = ((diff_count / 24) / 0.01) * 60;
    if diff_count > threshold
        % พบการ overflow (เช่น count เปลี่ยนจาก 65535 กลับไปที่ 0)
        pulse = unwrappedPositionPrev + (diff_count - encoderMax);
    elseif diff_count < -threshold
        % พบการ underflow (เช่น count เปลี่ยนจาก 0 เป็น 65535)
        pulse = unwrappedPositionPrev + (diff_count + encoderMax);
    else
        pulse = unwrappedPositionPrev + diff_count;
    end

    if blue_in == 1
        pulse = 0;
        velocity = 0;
    end

    previousCount = count;
    unwrappedPositionPrev = pulse;
end
```

รูปที่ 3.3 รูปโค้ดการทำ Unwrap เพื่อแก้ Overflow / Underflow

เมื่อทำการ Unwrap เสร็จแล้วเราจะได้กราฟที่ไม่ติด Count Period อีกทำให้เราได้กราฟมาดังรูป



รูปที่ 3.4 รูปแสดงกราฟสัญญาณ X1 X2 และ X4 ของ Encoder

3) ทำการเปรียบเทียบกราฟระหว่าง QEI และ Polling Method

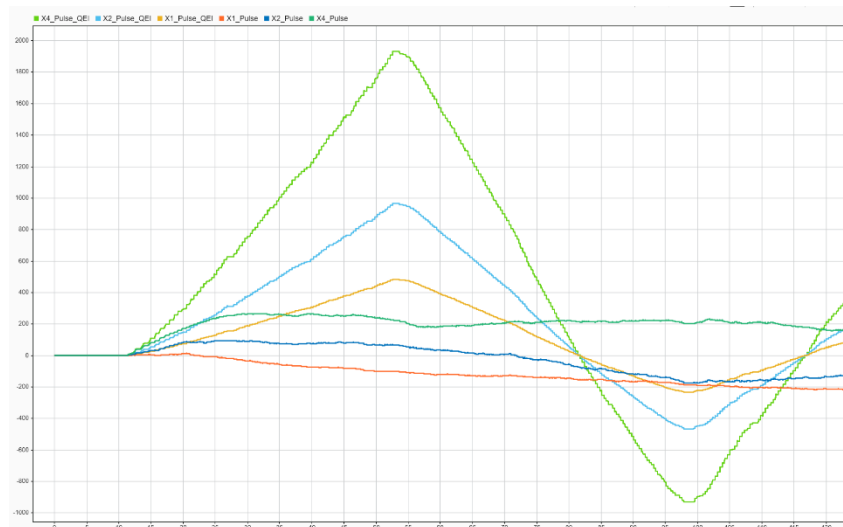
ทำการหมุน Encoder ครั้งละ 15 องศาแล้วทำการบันทึกผลการทดลองเปรียบเทียบค่าแล้วสรุปผลการทดลอง

3.10 ผลการทดลอง

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงผลบันทึกค่าที่อ่านได้โดยวิธีการ QEI และ Polling

องศา	QEI_X1	QEI_X2	QEI_X4	Polling_X1	Polling_X2	Polling_X4
0	0	0	0	-1	-1	0
15	2	4	8	1	3	8
30	4	8	16	3	7	16
45	6	12	24	5	11	24
60	7	14	28	6	13	28
75	8	16	32	7	15	32
90	9	18	36	8	17	36
105	10	20	40	9	19	40
120	12	24	48	11	23	48
135	13	26	52	12	25	52
150	14	28	56	13	27	56
165	15	30	60	14	29	60
180	16	32	64	15	31	64
195	17	34	68	16	33	68
210	18	36	72	17	35	72

องศา	QEI_X1	QEI_X2	QEI_X4	Polling_X1	Polling_X2	Polling_X4
225	19	38	76	18	37	76
240	20	40	80	19	39	80
255	21	42	84	20	41	84
270	22	44	88	21	43	88
285	23	46	92	22	45	92
300	24	48	96	23	47	96
315	25	50	100	24	49	100
330	26	52	104	25	51	104
345	27	54	108	26	53	108
360	28	56	112	27	55	112



รูปที่ 3.5 รูปเปรียบเทียบกราฟระหว่างการอ่านโดยวิธี QEI และ Polling

3.11 สรุปผล

จากการทดลองอ่านค่าจาก Incremental Encoder พบว่า

3.11.1 การอ่านด้วยวิธี QEI

- 1) สามารถตรวจจับทิศทางและจำนวนพัลส์ (pulses) ได้อย่างแม่นยำและต่อเนื่อง เนื่องจาก QEI ใช้ฮาร์ดแวร์ในการอ่านข้อมูลสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงแบบเรียลไทม์ จึงลดความล่าช้าของการอ่านค่าที่เกิดจากการประมวลผลในซอฟต์แวร์
- 2) มีการใช้ state transition ในการคำนวณ ซึ่งช่วยให้ระบบสามารถอ่านการเปลี่ยนแปลงได้ทุกขั้นของสัญญาณ A และ B ทำให้ได้ค่าที่แม่นยำกว่าเมื่อสัญญาณมีการสลับเปลี่ยนบ่อยครั้ง
- 3) QEI สามารถทำงานร่วมกับตัวนับ (counter) ในฮาร์ดแวร์ จึงมีการตรวจจับพัลส์ที่สม่ำเสมอและแม่นยำสูงกว่าในกรณีที่ความถี่ของสัญญาณสูง

3.11.2 การอ่านด้วยวิธี Polling

- 1) Polling ต้องการการเรียกอ่านค่าซ้ำๆ ผ่านซอฟต์แวร์ ซึ่งขึ้นกับความเร็วของการประมวลผลในแต่ละรอบ (sampling rate) ทำให้ความแม่นยำลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อความถี่ของสัญญาณสูง
- 2) Polling มีโอกาสพลาดการอ่านสัญญาณระหว่างการสลับเปลี่ยนของ A และ B หากการอ่านไม่ได้เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่เหมาะสม อาจทำให้จำนวนพัลส์ที่นับได้ไม่ถูกต้อง ส่งผลต่อค่าความเร็ว (velocity) และทิศทาง (direction)

3.12 อภิปรายผล

จากการทดลองและการเปรียบเทียบวิธีการ QEI และ Polling พบว่า

- 3.12.1 ความแม่นยำ : QEI มีความแม่นยำสูงกว่ามาก เนื่องจากสามารถอ่านสัญญาณได้ทุกพัลส์ในขณะที่ Polling มีโอกาสพลาดการอ่านที่สำคัญเมื่อมีการหมุนเร็ว
- 3.12.2 ความเสถียร : QEI สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่จำเป็นต้องหยุดรอการอ่านซ้ำ ในขณะที่ Polling จะต้องมีการหยุดประมวลผลเพื่ออ่านค่าใหม่ ทำให้ QEI สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้ดีขึ้น
- 3.12.3 การประยุกต์ใช้: QEI เหมาะสำหรับระบบที่ต้องการการควบคุมที่มีความแม่นยำสูง เช่น ในหุ่นยนต์, ระบบอัตโนมัติในโรงงาน และมอเตอร์ที่ต้องการความเร็วและตำแหน่งที่ถูกต้อง ในขณะที่ Polling อาจเหมาะกับการใช้งานที่ไม่ต้องการความเร็วหรือความแม่นยำสูง เช่น การอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงช้า

3.13 ข้อเสนอแนะ

3.13.1 การตั้ง Sampling Time :

- 1) ควรทำความเข้าใจเกี่ยวกับ Sampling Time
- 2) พิจารณาความถี่ของสัญญาณที่จำเป็นต่ออุปกรณ์ ยกตัวอย่างเช่น การอ่านแบบ QEI จะมีประสิทธิภาพเมื่ออยู่ในความถี่สูง แต่ในขณะเดียวกัน การอ่านแบบ Polling ก็มีประสิทธิภาพด้อยลงเมื่ออยู่ในความถี่สูง

3.14 เอกสารอ้างอิง(แนบลิงก์ตามที่เกี่ยวข้อง)

Encoder:

<https://www.motioncontroltips.com/faq-what-do-x1-x2-and-x4-position-encoding-mean-for-incremental-encoders/>

Datasheet1:

[PEC11R Series 12 mm Incremental Encoder](#)

Datasheet:2

[AMT102-V Datasheet - Modular | Incremental | Same Sky](#)

QEI:

[Section 15. Quadrature Encoder Interface \(QEI\)](#)

Sampling Time:

[Specify Sample Time - MATLAB & Simulink](#)

4 Loadcell

4.1 จุดประสงค์

4.1.1 เพื่อศึกษาลักษณะ พฤติกรรม ของค่า Output ที่ได้จาก Loadcell พิจารณาค่า Analog to digital ที่ได้ผ่าน Microcontroller โปรแกรม Matlab และ Simulink รวมถึงการใช้ Signalcondition เพื่อให้ค่าสัญญาณที่ได้สามารถนำมาใช้ต่อได้ง่ายยิ่งขึ้น

4.1.2 นักศึกษาต้องทำตามการวิเคราะห์ผลการเรียนรู้หลัก

4.1.3 นักศึกษาต้องสามารถอธิบายหลักการทำงานของ Load cell, วงจร Wheatstone bridge, Strain Gauge, 2 Op-amps Differential Amplifier ได้ · นักศึกษาต้องสามารถอธิบายค่าสัญญาณ Output ของ Load Cell ได้ เมื่อแรงที่กระทำต่อ Load Cell เปลี่ยนแปลงไป

4.1.4 นักศึกษาต้องสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Gain และ ค่าความต้านทานของ Single External Resistor และส่งผลอย่างไรกับการวัดค่าของ Load Cell

4.1.5 นักศึกษาต้องสามารถอธิบายกระบวนการ Signal Conditioning ทั้งหมดได้ตั้งแต่ต้นจนจบกระบวนการ ว่าค่าที่อ่านได้จาก Load Cell มีที่มาอย่างไร อธิบายให้เห็นถึงวิธีคิดและขั้นตอนทั้งหมด ทั้งก่อนและ หลัง Calibrate Sensor หรือ วิธีจัดการข้อมูลที่ได้มา จัดการอย่างไร รวมถึงหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อ Load Cell แรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจาก Load Cell ทั้งแบบที่ยังไม่ผ่าน INA125 และผ่าน INA125

4.1.6 นักศึกษาต้องสามารถเขียนโปรแกรม โดยประยุกต์ใช้ MATLAB และ Simulink ในการสั่งการหรือรับค่า ร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจาก INA125 Instrumentation Amplifier ที่ต่อเข้ากับ Single Point Load Cell เป็น Input และ แสดงสัญญาณ Output จากการ Log สัญญาณ แสดงผลเป็น กราฟจาก Data Inspector ใน MATLAB Simulink แสดงให้เห็นว่าสัญญาณ Output แปรผันตามสัญญาณ Input แบบ Real Time โดยมี Output เป็นน้ำหนัก ในหน่วย SI derived

4.2 สมมุติฐาน

การออกแรงกดที่ Load cell ของวงจรขยายสัญญาณมีการเปลี่ยนไปแบบเชิงเส้นที่ไม่มีสัญญาณรบกวน และสามารถใช้อาขยายสัญญาณที่ค่าใดค่าหนึ่งเพื่อระบุแรงที่กดลงมาบน Load cell ได้อย่างแม่นยำ

4.3 ตัวแปร

4.3.1 ตัวแปรต้น : แรงที่กดลงบน Load cell (Kg)

4.3.2 ตัวแปรตาม : ค่า Analog to digital ที่อ่านได้จาก STMICROCONTROLLER

4.3.3 ตัวแปรควบคุม : ค่าขยายสัญญาณ, แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้าภาคขยายสัญญาณ INA125P, ชุดการทดลอง Load cell, บอร์ด STMICROCONTROLLER

4.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

- 4.4.1 บอร์ดการเรียนรู้สำเร็จรูป Load cell หมายถึง บอร์ดวงจรสำเร็จรูปที่ใช้สำหรับการทดลอง Load cell พร้อมภาคขยายสัญญาณ (Amplifier)
- 4.4.2 Load cell หมายถึง เครื่องมือวัดแรงอิเล็กทรอนิกส์ ที่เปลี่ยนการยืดตัวของวัตถุ มาเป็นแรงดันไฟฟ้า
- 4.4.3 คอนโทรลเลอร์ หมายถึง บอร์ดประมวลผลขนาดเล็ก ทำหน้าที่รับค่ารับค่าอินพุตจาก
- 4.4.4 IC INA125P หมายถึง วงจรรวมที่มีหน้าที่ ขยายสัญญาณที่เข้ามา
- 4.4.5 ค่า Analog to digital หมายถึง ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านค่าได้ เป็นค่า แอนาล็อกและถูกแปลงเป็นค่าดิจิทัล 16 บิต

4.5 นิยามเชิงปฏิบัติการ

บอร์ดการเรียนรู้สำเร็จรูป Load cell คือ บอร์ดส่วนเสริมที่ใช้งานร่วมกับ STMicrocontroller ภายในประกอบด้วยอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทดลอง Loadcell เช่น Load cell, IC Amplifier, ช่องไฟเลี้ยง, ตัวต้านทานปรับค่าได้ เป็นต้น

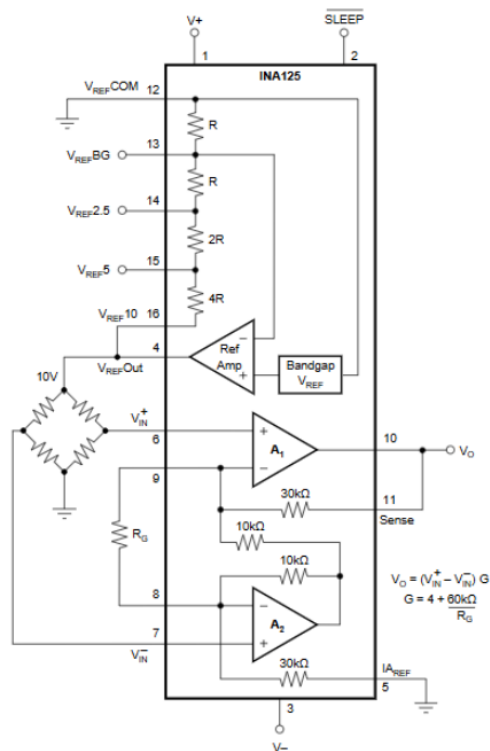
น้ำหนักที่กดลงบน Load cell หมายถึง วัตถุที่มีน้ำหนักที่สามารถวัดได้ในหน่วย SI เพื่อความง่ายต่อการคำนวณและทำกราฟ

ค่าขยายสัญญาณ หมายถึง ค่าขยายสัญญาณจาก IC INA125P มีค่าแปรผันตาม ตัวต้านทานปรับค่าได้ ค่าดิจิทัลเอาต์พุต หมายถึง ค่าแอนาล็อกที่คอนโทรลเลอร์อ่านค่าได้ แล้วแปลงให้เป็นดิจิทัล 12 บิต

4.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

YZC-131A Series Product Specifications	
Mechanical	
Housing Material	Aluminum Alloy
Load Cell Type	Strain Gauge
Capacity	1/2/3/5 kg
Dimensions	Lx12.7x12.7 mm
Mounting Holes	M5 (Screw Size)
Cable Length	210 mm
Cable Size	30 AWG (0.2mm)
Cable - no. of leads	4
Electrical	
Precision	0.05%
Rated Output	1.0±0.15 mV/V
Non-Linearity	0.05% FS
Hysteresis	0.03% FS
Non-Repeatability	0.03% FS
Creep (per 5 minutes)	0.1% FS
Temperature Effect on Zero (per 10°C)	0.02% FS
Temperature Effect on Span (per 10°C)	0.05% FS Zero
Balance	±1.5% FS
Input Impedance	1000±50 Ohm
Output Impedance	1000±50 Ohm
Insulation Resistance (Under 50VDC)	≥2000 MOhm
Excitation Voltage	5 VDC
Compensated Temperature Range	-10 to ~+40°C
Operating Temperature Range	-21 to ~+40°C
Safe Overload	120% Capacity
Ultimate Overload	150% Capacity

รูปที่ 4.1 ดาต้าชีทของ Load cell



รูปที่ 4.2 รูป IC amplifier

4.7 วิธีดำเนินการทดลอง

4.8 วัสดุอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่คณะผู้จัดทำใช้ในการทดลอง Load cell มีดังนี้

4.8.1 บอร์ดการเรียนรู้สำเร็จรูป Load cell ภายในประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญ ดังนี้

1) ภาควิทยาสัญญาณ IC INA125P

2) Load Cell รุ่น YZC-131A รับน้ำหนัก 10 กิโลกรัม

3) ตัวต้านทานปรับค่าได้ Bourns 3296

4.8.2 STMicrocontroller รุ่น Nucleo G474RE ต่อไปจะเรียกว่า บอร์ดคอนโทรลเลอร์

4.8.3 คอมพิวเตอร์

4.8.4 โปรแกรม MATLAB และ โปรแกรม STM32CubeMX

4.8.5 สายจัมป์เปอร์ ชนิด ผู้-เมีย หรือ ผู้-ผู้

4.8.6 วัสดุเพิ่มน้ำหนักให้แก่ Load cell ในการทดลองนี้ใช้ขวดน้ำพลาสติกบรรจุน้ำ ขนาด 1.5 ลิตร จำนวน 6 ขวด และขนาด 500 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด

4.9 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ทางคณะผู้จัดทำ มีขั้นตอนการทดลองอ่านค่าจาก Load cell หลังจากผ่านภาคขยายสัญญาณ ดังนี้

4.9.1 ประกอบบอร์ด STMicrocontroller เข้ากับชุดการเรียนรู้สำเร็จรูป Load cell จากนั้น

ต่อสายจัมป์เปอร์จากชุดภาคขยายสัญญาณ เข้ากับบอร์ดคอนโทรลเลอร์ โดยจะต่อขา GND เข้ากับ GND ต่อขา + เข้ากับ VCC 3.3 โวลต์ และขา out เข้ากับขา A0 ของบอร์ดคอนโทรลเลอร์

4.9.2 เปิดโปรแกรม MATLAB เพื่อเข้าไปใช้งานโปรแกรม Simulink

ตั้งค่าโมเดลลิงให้สามารถใช้ร่วมกับบอร์ดคอนโทรลเลอร์ได้ ตามคู่มือที่ได้รับมาจาก TA

4.9.3 เปิดโปรแกรม STM32CubeMX เพื่อตั้งค่าขาพินของคอนโทรลเลอร์สำหรับอ่านค่าให้เป็น ADC1_IN1

ซึ่งหมายความว่า ให้พินนั้นอ่านค่าจากภาคขยายที่เป็นสัญญาณแบบ แอนาล็อก แล้วเปลี่ยนเป็น ดิจิตอล ซึ่งเป็นค่าดิจิตอล 12 บิต (Analog to Digital converter)

4.9.4 ปรับค่าอัตราขยายสัญญาณ โดยการปรับค่าต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้

ในการทดลองนี้จะใช้ค่าต้านทานที่ 150 โอห์ม แทนลงในสมการจากตาต้าซีทของ INA125P คือ

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

G คือ ค่าขยายสัญญาณ

R_g คือ ค่าความต้านทานจากตัวต้านทานปรับค่าได้

ได้ค่าอัตราขยายสัญญาณ คือ 404 เท่า

4.9.5 เขียนโปรแกรม Simulink เพื่ออ่านค่าสัญญาณดิจิตอลที่ได้ และนำมาทำกราฟสัญญาณเทียบเวลา

โดยทำแค่เฉพาะสภาวะปกติที่ไม่มีน้ำหนักบน Load cell เพื่อดูลักษณะสัญญาณเอาท์พุตที่ได้

4.9.6 ขั้นตอนต่อไปเก็บค่าเฉลี่ยของค่าสัญญาณดิจิตอลในช่วงน้ำหนักเดิม โดยเริ่มจากจำนวนข้อมูล 100 ครั้ง

แล้วนำมาหาค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS)

ทำซ้ำและเพิ่มจำนวนครั้งการเก็บข้อมูลที่ละ 100 ครั้ง ไปจนถึง 1000 ครั้ง

เพื่อหาช่วงจำนวนครั้งของข้อมูลที่มีค่า RMS มากที่สุด และเก็บค่าของสัญญาณดิจิตอลในขั้นตอนถัดไปตามจำนวนครั้งที่มีค่า RMS สูงสุด

ในการทดลองเก็บค่านี้ ได้จำนวนข้อมูลที่ต้องเก็บคือ 200 ครั้งต่อการเก็บค่าแต่ละช่วงน้ำหนัก

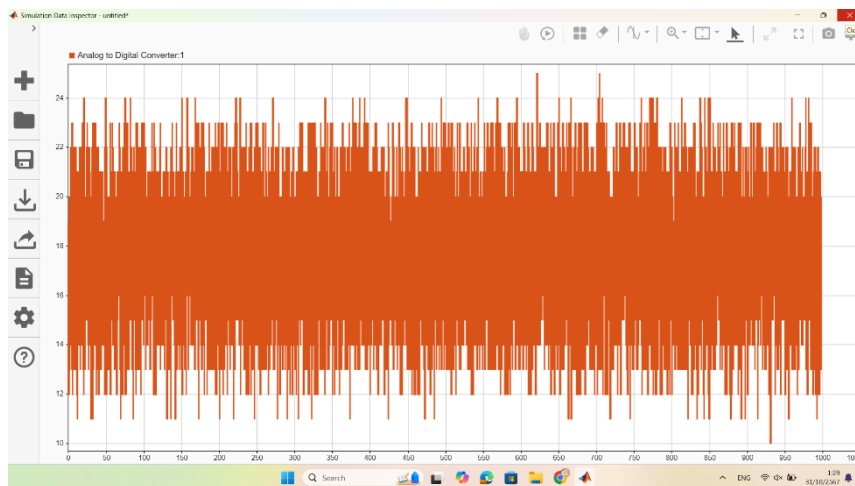
เก็บจำนวน(ครั้ง)	ค่าที่ได้ (RMS)		
100	22.37096332	max	22.52332125
200	22.52332125	min	22.05085032
300	22.37543296		
400	22.05085032		
500	22.18413848		
600	22.29906575		
700	22.16016374		
800	22.24480276		
900	22.15771749		
1000	22.24135787		

รูปที่ 4.3 การหาค่า RMS ที่มากที่สุดของแต่ละจำนวนข้อมูล

4.9.7 เก็บค่า RMS ของค่าสัญญาณดิจิตอลแต่ละช่วงน้ำหนัก โดยเริ่มทดลองจากสภาวะปกติไม่มีน้ำหนัก และเพิ่มน้ำหนักครั้งละ 500 กรัม แล้วบันทึกผล ทำซ้ำจนน้ำหนักที่เพิ่มมีค่าเท่ากับ 10 กิโลกรัม และนำข้อมูลที่ได้มาทำกราฟค่าเฉลี่ยสัญญาณที่ได้เทียบกับน้ำหนัก

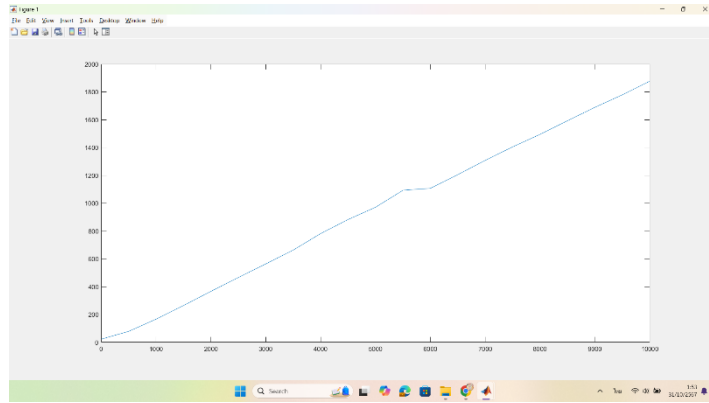
4.10 ผลการทดลอง

จากการทดลองในขั้นตอนที่ 5 และสร้างกราฟจากสัญญาณที่ได้เทียบเวลา ทำให้ได้กราฟออกมาตามภาพที่ 4.2 เห็นได้ว่าในขณะที่ไม่มีแรงมากกดทับบน Load cell ค่าที่ได้มีการเลื่อนขึ้นจากจุดกำเนิด ($Y=0$) ขึ้นมาเป็นระยะประมาณ 18 หน่วย และมีความถี่ของสัญญาณรบกวนอีกเป็นจำนวนมาก ซึ่งไม่ตรงกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้



รูปที่ 4.4 สัญญาณดิจิตอลเอาต์พุตที่อ่านได้เมื่อไม่มีแรงมากกดทับ

ผลการทดลองในขั้นตอนที่ 6 และ 7 เราได้ทำกราฟดิจิตอลเอาต์พุตเทียบน้ำหนัก ได้ตามรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าน้ำหนัก และค่าดิจิตอลเอาต์พุตมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกัน ยกเว้นช่วงน้ำหนัก 5500 กรัม ถึง 6000 กรัม ที่มีค่าใกล้เคียงกันมาก



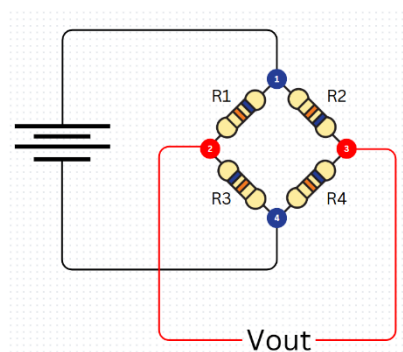
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักร และค่าดิจิตอลเอาต์พุต

4.11 สรุปผล

ในการทดลองแรก ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ว่า ไม่มีสัญญาณรบกวน แต่การเปลี่ยนแปลงของค่าดิจิตอลเอาต์พุตต่อน้ำหนักร มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกันตามสมมุติฐาน ยกเว้นช่วง 5500 กรัม ถึง 6000 กรัม

4.12 อภิปรายผล

การทดลองในขั้นตอนที่ 5 เห็นได้ว่าค่าดิจิตอลเอาต์พุตที่ได้ มีความถี่ของสัญญาณรบกวนมาก และมีการเลื่อนขึ้นมาจากจุดกำเนิดเป็นระยะ 18 หน่วย เราจึงพิจารณาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่จะทำให้เกิดเหตุการณ์ดังกล่าว พบว่า ในไดต้าชีทของ Load cell รุ่น YZC-131A ที่ความสมดุลศูนย์ (Zero Balance) หรือสถานะที่ไม่มี น้ำหนักกดทับ ยังคงให้เอาต์พุตออกมาอยู่ประมาณ ± 0.1 มิลลิโวลต์ เมื่อนำมาคูณค่าอัตราขยาย $\pm 0.1e-3 \times 404 = \pm 0.04$ โวลต์ โดยประมาณ สาเหตุที่ยังมีแรงดันเอาต์พุตออกมาแม้จะไม่มีน้ำหนักกดทับ คาดว่าเป็น เพราะหลักการทำงานของ Load cell ที่ใช้ Strain gauge สี่ตัวต่อรวมกันเป็นวงจร Wheatstone bridge แบบ Full-Bridge โดยที่ $R1=R2$ และ $R3=R4$ แต่ค่าความต้านทานในความเป็นจริงมักจะมีค่าคลาดเคลื่อน ส่งผลให้ค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัวเกิดการเปลี่ยนแปลง และทำให้ให้แรงดันที่จุด 2 เทียบกับจุดที่ 3 มีค่าเปลี่ยนไป 0.1 มิลลิโวลต์ ตามในไดต้าชีท



รูปที่ 4.6 วงจร Wheatstone bridge

อีกสาเหตุหนึ่งคาดว่ามาจากเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากตัวต้านทานปรับค่าได้ คือ $\pm 10\%$ เมื่อใช้มัลติมิเตอร์ (Multimeter) วัดค่าความต้านทานที่ตัวต้านทานปรับค่าได้ พบว่าค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดประมาณ ± 5 โอห์ม ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่าอัตราขยายสัญญาณ จากทั้งสองสาเหตุนี้ เราจึงสรุปได้ว่าสาเหตุที่ค่าดิจิตอลเอาต์พุตที่อ่านได้มีสัญญาณรบกวนมาก เป็นเพราะความคลาดเคลื่อนจากอุปกรณ์ที่ใช้งาน เพื่อพิสูจน์ว่าสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น มาจากจากความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์จริง เราได้ออกแบบการทดลองโดยตั้งสมมุติฐานว่า ถ้าเราอ่านค่าแรงดันเอาต์พุตที่ Load cell โดยตรง และนำมาคำนวณอัตราขยายด้วยโปรแกรม Simulink โดยไม่ผ่านวงจรขยายสัญญาณจะสามารถลดความแรงของสัญญาณรบกวนในบางช่วงที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ได้ เนื่องจากไม่ได้ใช้ภาคขยายสัญญาณจากตัวต้านทานปรับค่าได้

4.12.1 ตัวแปร

- 1) ตัวแปรต้น : รูปแบบภาคขยายสัญญาณ ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์, ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
- 2) ตัวแปรตาม : ขนาดของสัญญาณรบกวน
- 3) ตัวแปรควบคุม : Load cell, STMicrocontroller, ค่าต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้

4.12.2 ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ใช้วงจรภาคขยายเดิม บันทึกค่าที่อ่านได้จำนวน 200 ครั้ง
- 2) เขียนโปรแกรมสำหรับการขยายสัญญาณแทนวงจรภาคขยาย โดยเราจะรับค่าแอนาล็อก จากช่อง V^+ และ V^- ของ Load cell โดยใช้บล็อกคำสั่ง ADC2 และ ADC4 ตามลำดับ ซึ่งจะได้อ่านค่าเป็นดิจิตอล 12 บิต เราต้องเอามาแปลงให้กลับมาเป็นค่าแอนาล็อกอีกครั้งโดยใช้สูตร

$$V_{out} = \frac{ADC}{(2^n - 1)} \cdot V_{in}$$

V_{out} คือ ค่าแรงดันที่อ่านได้

ADC คือ ค่าดิจิตอลที่อ่านได้

n คือ จำนวนบิตที่ใช้ในการอ่าน

V_{in} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ใช้

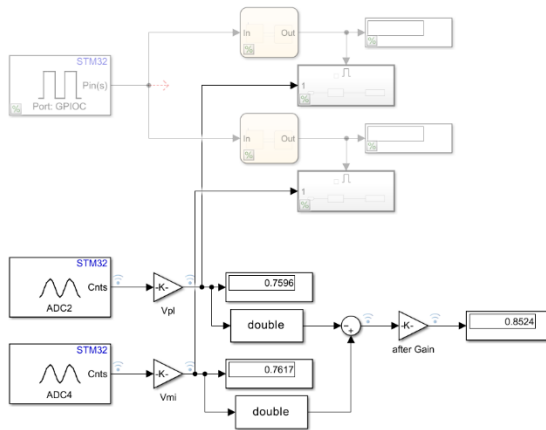
โดยกำหนด V_{in} มีค่าเท่ากับ 3.3 โวลต์ n มีค่าเท่ากับ 12 บิต แทนค่าลงในสมการข้างต้นเข้าไปยังโปรแกรม

โดยใช้บล็อก Gain ชื่อว่า Vpl แทน V^+ และ Vmi แทน V^-

ค่าทั้งสองที่ได้หลังจากคำนวณจะเป็น uint12 (Unsign int 12 bit)

ซึ่งมีความละเอียดไม่พอสำหรับค่าที่เป็นทศนิยม จึงต้องแปลงเป็นชนิด Double โดยใช้บล็อก Double

นำค่าทั้งสองมาลบกัน ด้วยบล็อก sum ที่ตั้งค่าให้สองตัวแปรลบกัน แล้วคูณด้วยค่าขยายสัญญาณ ตามสูตร $(V^+ - V^-) \times G$ โดย G คือค่าอัตราขยายสัญญาณ มีค่าเท่ากับ 404 เท่า

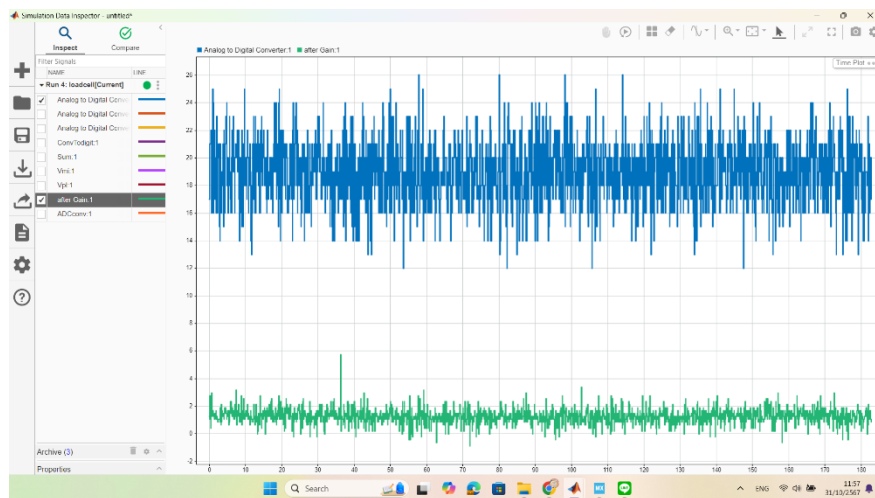


ภาพที่ 4.7 โปรแกรม Simulink ที่ใช้คำนวณค่าแรงดันเอาต์พุตโดยไม่ผ่านวงจรขยายสัญญาณ

บันทึกค่าดิจิทัลที่อ่านได้ และนำข้อมูลทั้งสองรูปแบบมาเปรียบเทียบกัน

4.12.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองข้างต้น เมื่อนำมาพล็อตกราฟตามรูปที่ 4.6 กราฟสีน้ำเงินคือ ค่าดิจิทัลเอาต์พุตเมื่อผ่านวงจรขยาย และเส้นกราฟสีเขียวคือค่าดิจิทัลเอาต์พุตที่ใช้โปรแกรม Simulink คำนวณค่าจะเห็นว่าเส้นกราฟสีเขียว มีขนาดคลื่นเล็กกว่าเส้นกราฟสีน้ำเงิน และระยะการเลื่อนจากจุดกำเนิดก็น้อยลงด้วยเช่นกัน แต่การตอบสนองต่อแรงกดก็กลับน้อยลงด้วย ซึ่งเป็นผลเสียที่ส่งผลต่อการวัดน้ำหนักอย่างมาก วิธีการลดขนาดของสัญญาณรบกวนด้วยวิธีนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งาน

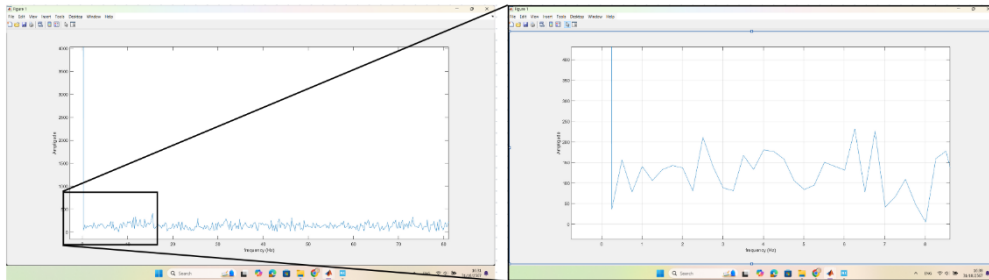


รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบค่าดิจิทัลเอาต์พุตที่ผ่านวงจรขยายสัญญาณ

และค่าที่ใช้โปรแกรม Simulink คำนวณการขยายสัญญาณ

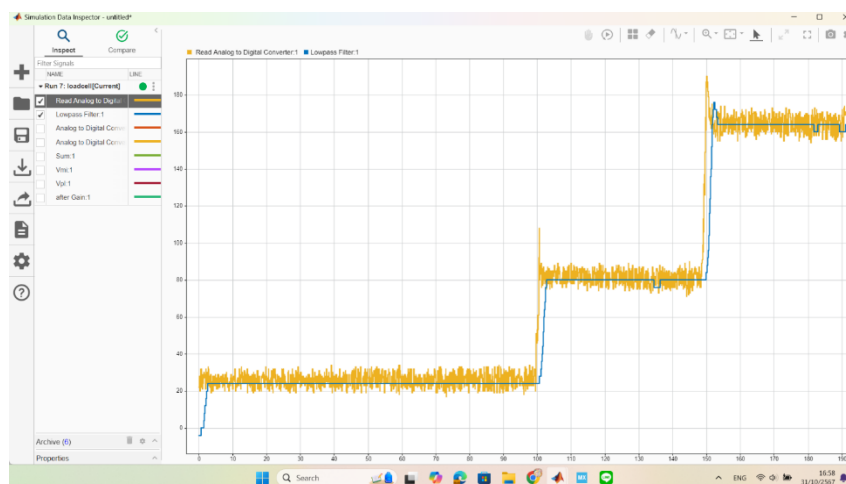
เราจึงพิจารณาวิธีตัดสัญญาณรบกวนออก เหลือไว้เพียงสัญญาณความถี่ต่ำ และค่าที่ได้ไม่มีการเลื่อนจากจุดกำเนิด โดยไม่ส่งผลเสียต่อค่าสัญญาณที่เราสนใจ โดยใช้วิธี Low-pass Filter คือวิธีการที่ลดขนาดของสัญญาณที่มีความถี่สูงลง แต่เรายังไม่รู้ว่าจะควรใช้ Low-pass filter ที่ความถี่เท่าไร เราจึงได้ทำการเก็บค่าดิจิทัลขณะที่ไม่มีน้ำหนักกดทับ และใช้ฟังก์ชัน `fft()` (Fast Fourier Transform) ของโปรแกรม

MATLAB เพื่อแปลงค่าที่เก็บได้ในโดเมนเวลาให้อยู่ในโดเมนความถี่ และพล็อตขนาดของสัญญาณในโดเมนของความถี่ โดยใช้คำสั่ง `plot(freq, data)` ทำให้ได้กราฟดังรูปที่ 4.7 ช่วงความถี่ที่เราไม่ต้องการจะอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 0.2 เฮิรตซ์ขึ้นไป และช่วงความถี่ที่ต้องการจะอยู่ที่ 0 เฮิรตซ์ จนถึง 0.2 เฮิรตซ์



รูปที่ 4.9 กราฟขนาดและความถี่ของสัญญาณที่แปลงโดยใช้ฟังก์ชัน Fast Fourier transform

ต่อมา เราได้นำค่าความถี่ต่ำสุด และสูงสุดที่ต้องการ หลังจากพิจารณากราฟโดเมนความถี่ มาใช้กับ บล็อก Lowpass filter ในโปรแกรม Simulink โดยแทนค่าต่ำสุดที่ต้องการ ในช่อง Passband edge frequency (ขอบเขตยอมให้ความถี่ผ่าน) และแทนค่ามากสุดในช่อง Stopband edge (ขอบเขตที่ไม่ยอมให้ความถี่ผ่าน) และพล็อตกราฟ โดยแทนก่อน Lowpass filter เป็นสีเหลือง และสีน้ำเงินแทนหลังจาก Lowpass filter จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าค่าหลังจากผ่าน Lowpass filter แล้ว ค่าที่ได้มีความเรียบมากกว่าก่อน Lowpass filter แต่กราฟยังมีการเลื่อนจากจุดกำเนิดไปทางขวา ทำให้กราฟยังไม่สามารถแสดงผลแบบเรียลไทม์ได้



รูปที่ 4.10 กราฟค่าก่อน Lowpass filter เทียบกับหลังจาก Lowpass Filter

4.13 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองนี้ การหาสิ่งของที่นำมากดทับลงบน Load cell ยังเป็นเรื่องที่ยาก เนื่องจากวัสดุที่สามารถวางลงบนแผ่นรองน้ำหนักได้จำเป็นต้องมีขนาดที่พอดีกับแผ่นน้ำหนัก หรือหากมีขนาดที่ไม่พอดี ก็จำเป็นต้องใช้ส่วนเสริมเพื่อเพิ่มพื้นที่ให้พอดีต่อวัตถุถ่วงน้ำหนัก ซึ่งในขั้นตอนนี้ มักจะมีข้อผิดพลาดในการอ่านค่าได้เสมอ

4.14 เอกสารอ้างอิง (แนบลิงก์ตามที่เกี่ยวข้อง)

Datasheet ของ Load cell :

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

Datasheet ของ INA125P Amplifier :

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/847623/TI1/INA125P.html>