

LAB 1: Sensor

Name

- | | | |
|----------------|---------------|-------------|
| 1. นายณพลสัญญา | จิระวัฒน์นนท์ | 66340500014 |
| 2. นายณสินธุ์ | รินทา | 66340500022 |
| 3. นายอริญชัย | สุวรรณ | 66340500062 |

Objectives

1. เพื่อให้สามารถออกแบบการทดลองโดยใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ในการ สืบเสาะพฤติกรรม ปรากฏการณ์ ทดลอง บันทึกผลการทดลอง สรุปผล และอภิปรายผลการทดลอง เข้าใจหลักการทำงานของ Sensor และอุปกรณ์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องได้ ตลอดจนใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ สถิติ และศาสตร์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรม MATLAB เพื่อเก็บผลการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง วิเคราะห์ความเที่ยงตรง ความแม่นยำ ได้อย่างถูกต้อง และมีเหตุผลรองรับ ตรวจสอบความถูกต้องเทียบกับทฤษฎีที่น่าเชื่อถือ
2. เพื่อให้สามารถอธิบายความสามารถในการรับรู้ปริมาณทางฟิสิกส์ของ Sensor ทั้งหมดของกระบวนการได้
3. เพื่อให้สามารถกำหนด ตัวแปรในการทดลองได้อย่างถูกต้องและสมเหตุสมผล อธิบายจุดประสงค์การทดลอง อธิบายสมมติฐานให้สอดคล้องกับตัวแปรที่กำหนด นิยามเชิงปฏิบัติการ และมีทฤษฎีที่น่าเชื่อถือรองรับ
4. เพื่อให้สามารถออกแบบวิธีการทดลองเพื่อหาคำตอบ ให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้อย่างน้อยทั้งหมดได้ด้วยตนเองอย่างถูกต้องตามหลักวิทยาศาสตร์ รวมทั้ง บันทึกผล สรุปผล อภิปรายผล ตามข้อมูลที่บันทึกได้จริง มีกระบวนการทำซ้ำ อธิบายที่มาของผลการทดลองนั้นได้ โดยใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ ไฟล์ Simulink, mlx ฯลฯ และชุดการทดลองพร้อมบอร์ด Microcontroller ที่ TA จัดเตรียมให้เบื้องต้น
5. เพื่อให้สามารถเขียนรายงาน สัญลักษณ์ และสมการทางวิทยาศาสตร์ ได้อย่างถูกต้อง ทั้งขนาด และรูปแบบอักษร การเว้นช่องไฟ การเว้นขอบกระดาษ การเว้นระยะพิมพ์ ให้ได้ระยะที่เหมาะสมตามหลักสากล

Potentiometer

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาชนิดของ Potentiometer ที่ใช้ในชุดการทดลองทั้งหมด และทำความเข้าใจหลักการทำงานของ Potentiometer แต่ละชนิด รวมถึงการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อระยะทางหรือองศาการหมุนของ Potentiometer
2. เพื่อออกแบบและประยุกต์การแปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital ด้วยวงจร Schmitt-trigger โดยใช้ MATLAB และ Simulink ในการควบคุมและรับค่าจากบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณการหมุนของ Potentiometer เป็น Input และสัญญาณ Digital เป็น Output เพื่อทดสอบ
3. เพื่อทดสอบการทำงานของระบบที่ออกแบบโดยใช้ Data Inspector ใน MATLAB Simulink เพื่อแสดงกราฟของสัญญาณ Output ที่แปรผันตามสัญญาณ Input แบบ Real Time

สมมติฐาน

การเปลี่ยนแปลงองศาหรือระยะของ Potentiometer จะส่งผลให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ออกมาเปลี่ยนแปลงไปด้วย

ตัวแปร

- ตัวแปรต้น : องศาหรือระยะที่เปลี่ยนแปลงไปของ Potentiometer
- ตัวแปรตาม : ค่าความต้านทาน และแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปตามองศาหรือระยะ
- ตัวแปรควบคุม : แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่วงจร ค่าความต้านทานรวมของ Potentiometer

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. Potentiometer
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานได้ผ่านการหมุนหรือเลื่อนตำแหน่งปุ่มปรับ ใช้เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสในวงจร
2. ความต้านทาน (Resistance)
ปริมาณที่แสดงถึงการขัดขวางการไหลของกระแสไฟฟ้าภายในวงจรมีหน่วยวัดเป็นโอห์ม (Ω)
3. แรงดันไฟฟ้า (Voltage)
ความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองจุดในวงจร ซึ่งทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้ามีหน่วยวัดเป็นโวลต์ (V)
4. ความต้านทานรวม (Total Resistance)
ค่าความต้านทานสูงสุดของ Potentiometer

5. Root Mean Square (RMS)

ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง เป็นวิธีการคำนวณค่าการกระจายของข้อมูล ใช้สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณและไฟฟ้า

นิยามเชิงปฏิบัติการ

1. Potentiometer

อุปกรณ์ที่สามารถหมุนหรือเลื่อนแขนปรับตำแหน่ง เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่วัดได้ระหว่างหัวเอาต์พุตสองจุด โดยค่าความต้านทานจะถูกตรวจสอบด้วยเครื่องวัดความต้านทาน (โอห์มมิเตอร์)

2. ตำแหน่งของแขนหมุน (Wiper Position)

ตำแหน่งทางกายภาพของแขนหมุนบน Potentiometer ซึ่งถูกกำหนดด้วยการหมุนหรือเลื่อนแขนปรับ โดยตำแหน่งสามารถถูกระบุเป็นเปอร์เซ็นต์จากตำแหน่งต่ำสุดไปยังตำแหน่งสูงสุด ซึ่งส่งผลต่อค่าความต้านทาน

3. ความต้านทานรวม (Total Resistance)

ค่าความต้านทานสูงสุดที่วัดได้ระหว่างหัวสองจุดที่ไม่ได้เชื่อมต่อกับแขนหมุน วัดโดยการตั้งตำแหน่งแขนหมุนไปที่ตำแหน่งสูงสุดและใช้โอห์มมิเตอร์วัดค่าความต้านทาน

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของตัวปรับ

1.1. การตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการเลื่อนเป็นทางตรง (Linear)

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งของตัวเลื่อนที่ถูกปรับ เช่น หากเลื่อนไปครึ่งหนึ่งของระยะทั้งหมด ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ก็จะเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันสูงสุด

1.2. การตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการหมุน (Rotary)

เมื่อมีการหมุนของปุ่มควบคุม ความต้านทานจะเปลี่ยนไปตามมุมมองคาที่ถูกหมุนไป ทำให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยใน potentiometer แบบเชิงเส้น ค่าแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มหรือลดอย่างสม่ำเสมอแต่ในแบบลอการิทึมค่าแรงดันจะเปลี่ยนไปแบบไม่สม่ำเสมอ

2. ข้อมูลชนิดของ Potentiometer ที่จำเป็นต่อการออกแบบการทดลอง

2.1. Low Profile Slide Potentiometer

2.1.1. Slide Potentiometers AUD (PTA6043-2015DPA103)

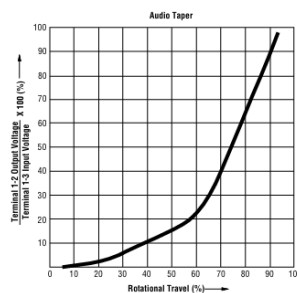
Product Attribute	Attribute Value
Manufacturer:	Bourns
Product Category:	Slide Potentiometers
RoHS:	 Details
Series:	PTA
Mounting Style:	PCB Mount
Termination Style:	PC Pin
Type:	Low Profile Slide Potentiometer
Travel:	60 mm
Resistance:	10 kOhms
Power Rating:	125 mW (1/8 W)
Tolerance:	20 %
Taper:	Audio
Length:	75 mm
Width:	9 mm
Height:	6.5 mm
Packaging:	Tray
Brand:	Bourns
Element Type:	Carbon
Life:	15000 Cycle
Product:	Slide Potentiometers/Faders
Product Type:	Slide Potentiometers
Factory Pack Quantity:	100
Subcategory:	Potentiometers, Trimmers & Rheostats
Tradename:	Pro Audio
Unit Weight:	400 mg

2.1.2. Slide Potentiometers LIN (PTA6043-2015DPB103)

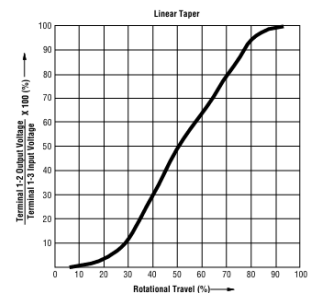
Product Attribute	Attribute Value
Manufacturer:	Bourns
Product Category:	Slide Potentiometers
RoHS:	RoHS Details
Series:	PTA
Mounting Style:	PCB Mount
Termination Style:	PC Pin
Type:	Low Profile Slide Potentiometer
Travel:	60 mm
Resistance:	10 kOhms
Power Rating:	250 mW (1/4 W)
Tolerance:	20 %
Taper:	Linear
Length:	75 mm
Width:	9 mm
Height:	6.5 mm
Packaging:	Tray
Brand:	Bourns
Element Type:	Carbon
Life:	15000 Cycle
Product:	Slide Potentiometers/Faders
Product Type:	Slide Potentiometers
Factory Pack Quantity:	100
Subcategory:	Potentiometers, Trimmers & Rheostats
Tradename:	Pro Audio
Unit Weight:	400 mg

- ความแตกต่างระหว่าง PTA6043-2015DPA103 และ PTA6043-2015DPB103

เนื่องจาก PTA6043-2015DPB103 มีค่า Power Rating สูงกว่า จึงเหมาะกับการใช้งานที่ต้องรับโหลดสูง ในขณะที่ PTA6043-2015DPA103 มีค่า Power Rating ต่ำกว่า จึงเหมาะกับการใช้งานที่มีโหลดน้อยกว่า อีกทั้ง Potentiometer ทั้งสองรุ่นยังมีลักษณะ Taper ที่ต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าตามตำแหน่งการปรับ เมื่อเปรียบเทียบการทำงานของทั้งสองรุ่นจะได้กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปตามการหมุนหรือการเลื่อน




กราฟ PTA6043-2015DPA103




กราฟ PTA6043-2015DPB103

2.2. Rotary Potentiometer


2.2.1. Potentiometers PANEL CONTROL (PDB181-K420K-103A2)

Product Attribute	Attribute Value
Manufacturer:	Bourns
Product Category:	Potentiometers
RoHS:	 Details
Mounting Style:	PCB Mount
Termination Style:	PC Pin
Product:	Potentiometers
Number of Gangs:	1 Gang
Resistance:	10 kOhms
Taper:	Audio
Orientation:	Vertical
Power Rating:	100 mW (1/10 W)
Voltage Rating:	150 VAC
Tolerance:	20 %
Element Type:	Carbon
Number of Turns:	1 Turn
Shaft Type:	Knurled / Serrated
Shaft Diameter:	6 mm
Shaft Length:	20 mm
Switch Type:	No Switch
Number of Detents:	Without Detent
Type:	Rotary
Life:	15000 Cycle
IP Rating:	IP30
Minimum Operating Temperature:	- 10 C
Maximum Operating Temperature:	+ 50 C
Series:	PDB18
Packaging:	Tray
Brand:	Bourns
Diameter:	17 mm
Height:	9.5 mm
Product Type:	Potentiometers
Factory Pack Quantity:	50
Subcategory:	Potentiometers, Trimmers & Rheostats
Tradename:	Pro Audio
Unit Weight:	10.705 g

2.2.2. Potentiometers 10K SINGLE (PDB181-K420K-103B)

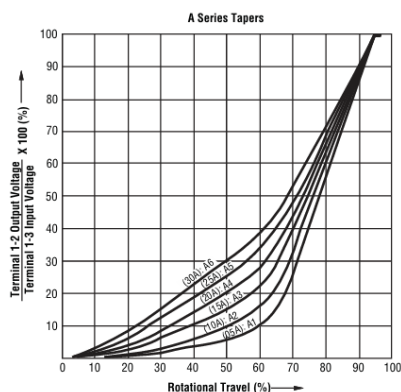
Product Attribute	Attribute Value
Manufacturer:	Bourns
Product Category:	Potentiometers
RoHS:	 Details
Mounting Style:	PCB Mount
Termination Style:	PC Pin
Product:	Potentiometers
Number of Gangs:	1 Gang
Resistance:	10 kOhms
Taper:	Linear
Orientation:	Vertical
Power Rating:	200 mW (1/5 W)
Voltage Rating:	150 VAC
Tolerance:	20 %
Element Type:	Carbon
Number of Turns:	1 Turn
Shaft Type:	Knurled / Serrated
Shaft Diameter:	6 mm
Shaft Length:	20 mm
Switch Type:	No Switch
Number of Detents:	Without Detent
Type:	Rotary
Life:	15000 Cycle
IP Rating:	IP30
Minimum Operating Temperature:	- 10 C
Maximum Operating Temperature:	+ 50 C
Series:	PDB18
Packaging:	Tray
Brand:	Bourns
Product Type:	Potentiometers
Factory Pack Quantity:	50
Subcategory:	Potentiometers, Trimmers & Rheostats
Tradename:	Pro Audio
Unit Weight:	10.705 g

2.2.3. Potentiometers PANEL CONTROL (PDB181-K420K-103C)

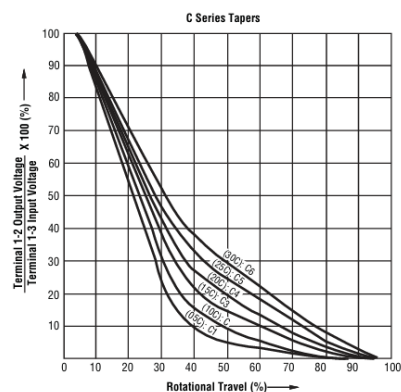
Product Attribute	Attribute Value
Manufacturer:	Bourns
Product Category:	Potentiometers
RoHS:	 Details
Mounting Style:	PCB Mount
Termination Style:	PC Pin
Product:	Potentiometers
Number of Gangs:	1 Gang
Resistance:	10 kOhms
Taper:	Reverse Audio
Orientation:	Vertical
Power Rating:	100 mW (1/10 W)
Voltage Rating:	150 VAC
Tolerance:	20 %
Element Type:	Carbon
Number of Turns:	1 Turn
Shaft Type:	Knurled / Serrated
Shaft Diameter:	6 mm
Shaft Length:	20 mm
Switch Type:	No Switch
Number of Detents:	Without Detent
Type:	Rotary
Life:	15000 Cycle
IP Rating:	IP30
Minimum Operating Temperature:	- 10 C
Maximum Operating Temperature:	+ 50 C
Series:	PDB18
Packaging:	Tray
Brand:	Bourns
Product Type:	Potentiometers
Factory Pack Quantity:	50
Subcategory:	Potentiometers, Trimmers & Rheostats
Tradename:	Pro Audio
Unit Weight:	10.705 g

2.2.4 ความแตกต่างระหว่าง PDB181-K420K-103A2 และ PDB181-K420K-103C

เนื่องจาก PDB181-K420K-103A2 มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ช้าในช่วงแรก และเร็วในช่วงหลัง แต่ PDB181-K420K-103C จะมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่เร็วในช่วงแรกและช้าลงในช่วงหลังซึ่งเป็นส่วนกลับของ PDB181-K420K-103A2 จะเห็นได้จากการกราฟที่แสดงถึงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาเทียบกับค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปตามการหมุนหรือการเลื่อนของปุ่มปรับดังนี้



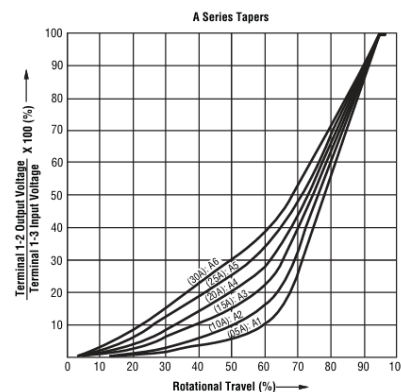
กราฟ PDB181-K420K-103A2



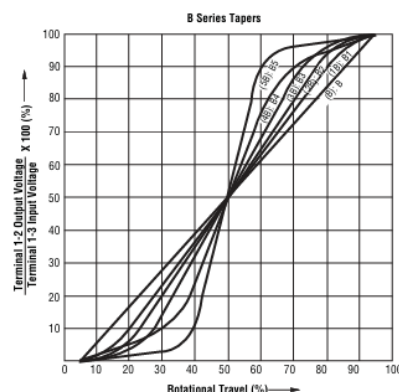
กราฟ PDB181-K420K-103C

2.2.5 ความแตกต่างระหว่าง PDB181-K420K-103A2 และ PDB181-K420K-103B

เนื่องจาก PDB181-K420K-103A2 มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ช้าในช่วงแรกและเร็วขึ้นในช่วงหลัง เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการการปรับละเอียดในช่วงต้น แต่ PDB181-K420K-103B มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนตรงตลอดการหมุน ทำให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างเท่า ๆ กันจะเห็นได้จากการกราฟที่แสดงถึงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาเทียบกับค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปตามการหมุนหรือการเลื่อนของปุ่มปรับดังนี้



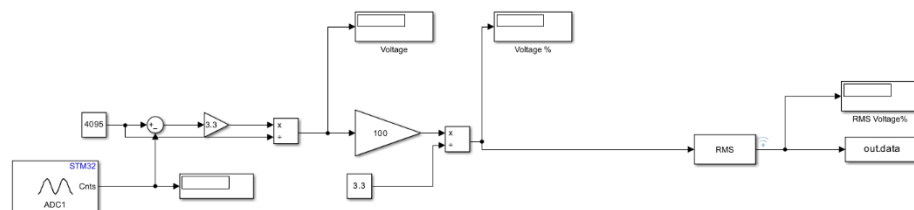
กราฟ PDB181-K420K-103A2



กราฟ PDB181-K420K-103B

วิธีการดำเนินการทดลอง

1. วัสดุ /อุปกรณ์ และเครื่องมือพิเศษ
 - 1.1. PTA6043-2015DPA103
 - 1.2. PTA6043-2015DPB103
 - 1.3. PDB181-K420K-103A2
 - 1.4. PDB181-K420K-103B
 - 1.5. PDB181-K420K-103C
 - 1.6. Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด
 - 1.7. PotenXplorer จำนวน 1 ชุด - ฐานสามารถบรรจุบอร์ดควบคุม, Breadboard, Potentiometer, 3D-Print ใช้สำหรับการวัดมุมการหมุนของ Potentiometer ลักษณะคล้ายไมโครแทกเตอร์
 - 1.8. สายจัมเปอร์
2. ขั้นตอนการดำเนินงาน
 - 2.1. ต่อวงจร Potentiometer แต่ละประเภทเข้ากับ STM32 Nucleo Board โดยเชื่อมต่อ Output ของ Potentiometer เข้ากับ Input ของวงจร เพื่อให้สามารถแปลงสัญญาณจาก Analog เป็น Digital ผ่าน STM32 Nucleo Board ได้ จากนั้นตั้งค่า MATLAB และ Simulink ให้สามารถรับค่าสัญญาณ Analog และแปลงเป็นสัญญาณ Digital ได้ และทำการทดสอบปรับสัญญาณจาก Potentiometer ด้วยการหมุนและเลื่อน
 - 2.2. ตั้งค่าพารามิเตอร์ใน Simulink โดยกำหนดให้ step size เท่ากับ 0.001 และ runtime เท่ากับ 1 วินาที Input รับสัญญาณ Digital จาก STM32 และนำมาคำนวณผ่าน function RMS ของ simulink และส่งค่าไปยัง workspace ต่อไป โดยจากการตั้งค่าดังกล่าวทำให้ในการเก็บค่า 1 ครั้ง มีการเก็บค่าทั้งหมด 1000 ค่าที่ถูกนำมาคิดค่า RMS ต่อไป



รูปการตั้งค่า Simulink

- 2.3. เก็บข้อมูลการทดลองโดยการหมุนหรือเลื่อน Potentiometer ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ โดยจะเก็บค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ทุก ๆ การหมุนหรือเลื่อนไปแล้ว 10% ขององศาหรือระยะทั้งหมด จากนั้นใช้ Simulink ในการทำกราฟเปรียบเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของทั้ง Linear Potentiometer และ Rotary Potentiometer

ผลการทดลอง

1. Linear Potentiometer

1.1. การตอบสนองของแรงดันไฟฟ้า

Linear Potentiometer จะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปแบบเชิงเส้น เมื่อมีการเลื่อนไปตามตำแหน่งต่าง ๆ

1.2. ผลกระทบจาก Power Rating

เนื่องจาก Linear Potentiometer แต่ละรุ่นมี Power Rating ไม่เท่ากัน ความต่างของ Power Rating นี้ส่งผลต่อความเสถียรของสัญญาณ output โดยหากใช้แรงดันไฟฟ้าสูงเกินกว่า Power Rating ที่กำหนดจะไม่สามารถให้สัญญาณที่แม่นยำได้ ในขณะที่รุ่นที่มี Power Rating สูงกว่าจะทำงานได้เสถียรมากกว่าเมื่อใช้ในสภาวะที่มีแรงดันไฟฟ้าสูง

2. Rotary Potentiometer

2.1. การตอบสนองของแรงดันไฟฟ้า

Rotary Potentiometer จะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามองศาการหมุน โดยลักษณะการตอบสนองจะคล้ายกันในแต่ละรุ่น แต่ความเสถียรอาจต่างกันเมื่อหมุนติดต่อกันหลายรอบ

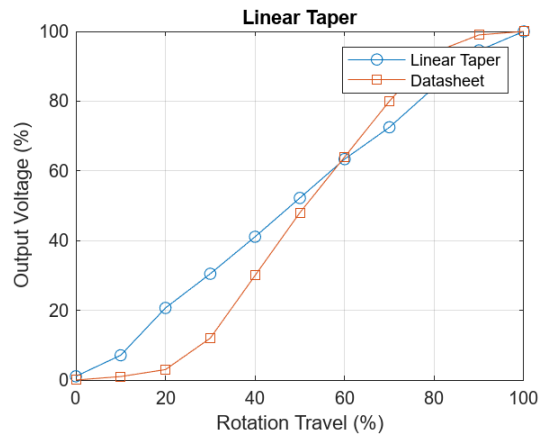
2.2. ผลกระทบจาก Power Rating

เนื่องจาก Rotary Potentiometer แต่ละรุ่นมี Power Rating ไม่เท่ากัน ความต่างของ Power Rating นี้ส่งผลต่อความเสถียรของสัญญาณ output โดยยังมีค่า Power Rating สูง ความเสถียรและความแม่นยำของสัญญาณก็จะดีขึ้นเมื่อนำไปใช้งานจริง

3. การเปรียบเทียบกราฟที่ได้มาจากการทดลอง กับกราฟของ Datasheet

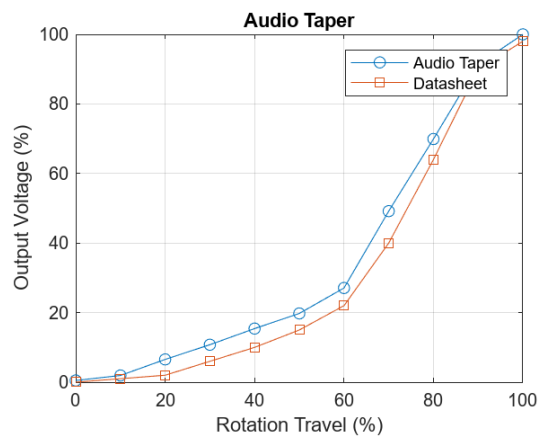
3.1. Linear Potentiometer

3.1.1. PTA6043-2015DPA103 (Linear Taper)



กราฟ Linear Taper ของการทดลองเทียบกับ Datasheet

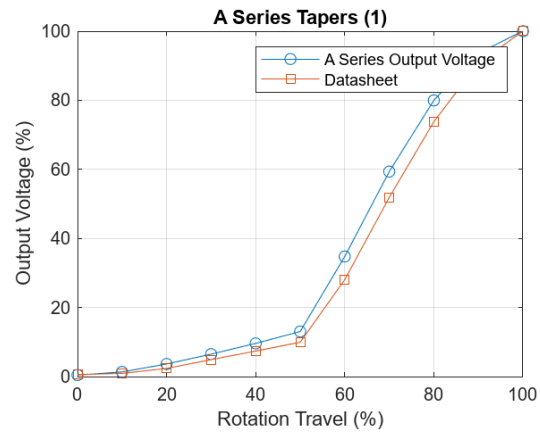
3.1.2. PTA6043-2015DPB103 (Audio Taper)



กราฟ Audio Taper ของการทดลองเทียบกับ Datasheet

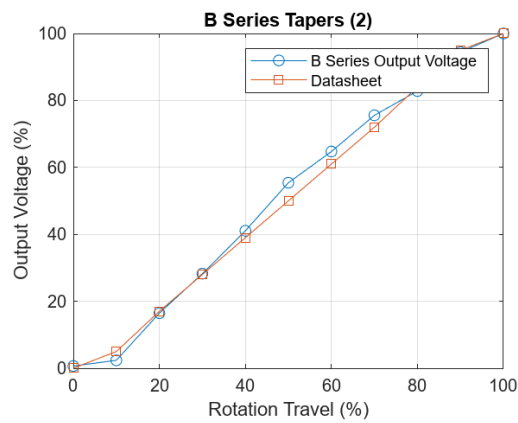
3.2. Rotary Potentiometer

3.2.1. PDB181-K420K-103A2 (A series Taper)



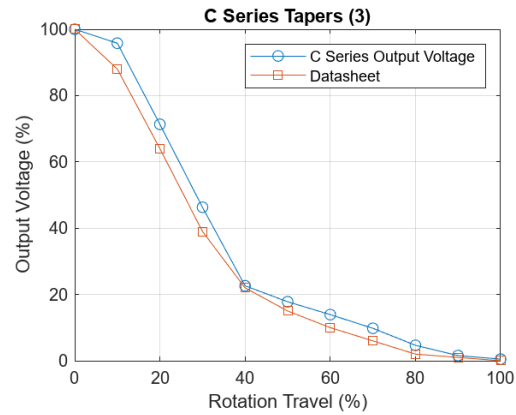
กราฟ A series Taper ของการทดลองเทียบกับ Datasheet

3.2.2. PDB181-K420K-103B (B series Taper)



กราฟ B series Taper ของการทดลองเทียบกับ Datasheet

3.2.3. PDB181-K420K-103C (C series Taper)

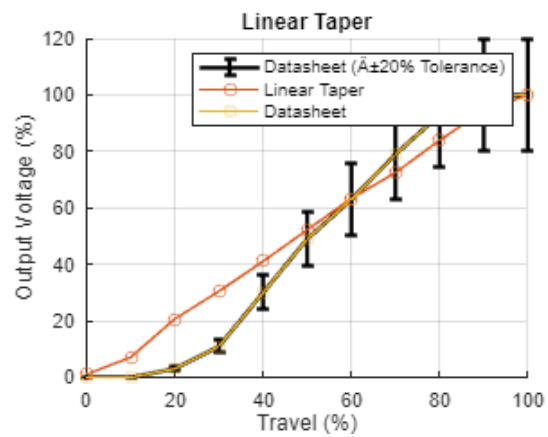


กราฟ C series Taper ของการทดลองเทียบกับ Datasheet

3.3. Potentiometer Error Graph

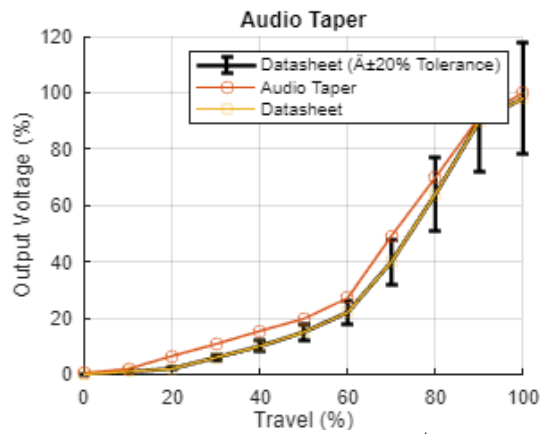
3.3.1. Linear Potentiometer

3.3.1.1. PTA6043-2015DPA103 (Linear Taper)



กราฟ Linear Taper ของการทดลองเทียบกับ Datasheet เพื่อดูความคลาดเคลื่อน (Error)

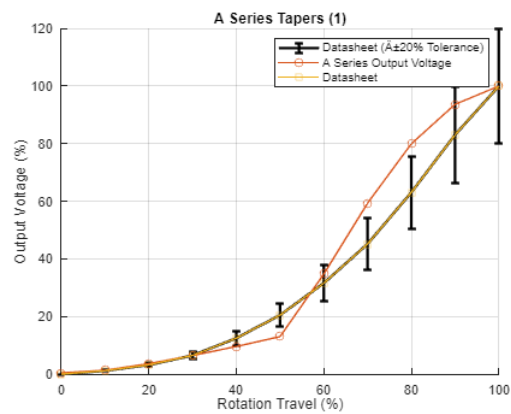
3.3.1.2. PTA6043-2015DPB103 (Audio Taper)



กราฟ Audio Taper ของการทดลองเทียบกับ Datasheet เพื่อดูความคลาดเคลื่อน (Error)

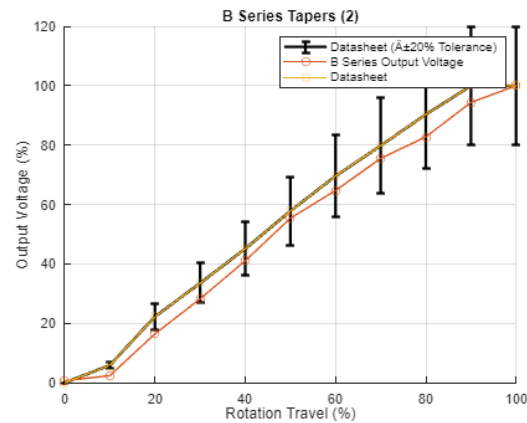
3.4. Rotary Potentiometer

3.4.1. PDB181-K420K-103A2 (A series Taper)



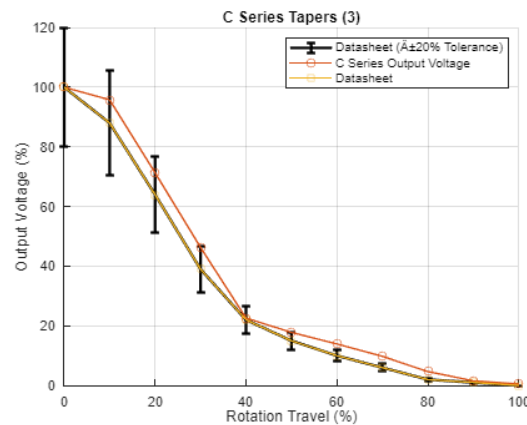
กราฟ A series Taper ของการทดลองเทียบกับ Datasheet เพื่อดูความคลาดเคลื่อน (Error)

3.4.2. PDB181-K420K-103B (B series Taper)



กราฟ B series Taper ของการทดลองเทียบกับ Datasheet เพื่อดูความคลาดเคลื่อน (Error)

3.4.3. PDB181-K420K-103C (C series Taper)



กราฟ C series Taper ของการทดลองเทียบกับ Datasheet เพื่อดูความคลาดเคลื่อน (Error)

ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ plot หา Error ของกราฟ

```
x = linspace(0, 100, 11);
output_voltage = [1.074, 7.106, 20.68, 30.48, 41.1, 52.23, 63.37, 72.5, 83.96, 94.55, 100];
rotation_travel = linspace(0, 100, length(output_voltage));

datasheet = [0, 0, 3, 11, 30, 49, 63, 79, 93, 100, 100];

figure;
tolerance = 0.20 * datasheet;
hold on;
errorbar(x, datasheet, tolerance, '-k', 'DisplayName', 'Datasheet ( $\pm 20\%$  Tolerance)', 'LineWidth', 2);
plot(rotation_travel, output_voltage, '-o', 'DisplayName', 'Linear Taper');
plot(rotation_travel, datasheet, '-s', 'DisplayName', 'Datasheet');

xlabel('Travel (%)');
ylabel('Output Voltage (%)');
title('Linear Taper');
legend;
grid on;
hold off;
```


หลักการทำงาน

1. ตั้งค่าข้อมูล

- 1.1 ให้ x เป็นเวกเตอร์ที่มีระยะห่างเชิงเส้นตั้งแต่ 0 ถึง 100 โดยมี 11 จุด
- 1.2 ให้ output voltage คือเวกเตอร์ค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไว้ล่วงหน้า
- 1.3 ให้ rotation travel คือเวกเตอร์ที่มีระยะห่างเชิงเส้นตั้งแต่ 0 ถึง 100 โดยมีความยาวเท่ากับ output voltage
- 1.4 ให้ datasheet คือเวกเตอร์ที่มีค่าเฉพาะเจาะจง

2. สร้างกราฟ

- 2.1 ค่าความคลาดเคลื่อนจะคำนวณเป็น 20% ของค่าใน Datasheet
- 2.2 สร้างกราฟแท่งแสดง error สำหรับ Datasheet โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 20\%$
- 2.3 สร้างกราฟเส้นสำหรับการเคลื่อนที่ของการหมุนเทียบกับแรงดันไฟขาออก
- 2.4 สร้างกราฟเส้นอีกเส้นสำหรับการเคลื่อนที่ของการหมุนเทียบกับแผ่นข้อมูล

3. ตั้งค่ากราฟ

- 3.1 กำหนดแกน x และแกน y ถูกกำหนดเป็น "การเคลื่อนที่ (%)" และ "แรงดันขาออก (%)" ตามลำดับ
- 3.2 ให้กราฟชื่อ "Linear Taper"
- 3.3 เพิ่มคำอธิบายเพื่อแยกความแตกต่างระหว่างชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน
- 3.4 เปิดใช้งานเส้นกริด เพื่อให้สามารถอ่านได้ง่ายขึ้น

จากการเปรียบเทียบกราฟแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองกับกราฟใน Datasheet ของ Potentiometer แต่ละรุ่น พบว่าผลการทดลองมีความแตกต่างจากข้อมูลใน Datasheet เล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ข้อจำกัดของ Power Rating

ในบางครั้งการทดสอบ Potentiometer อาจอยู่ในช่วงใกล้กับขีดจำกัด Power Rating ทำให้เกิดสัญญาณเบี่ยงเบนจากปกติ เนื่องจาก Potentiometer อาจเริ่มมีการสูญเสียความเสถียร หรือเกิดการรบกวนภายในเมื่อใช้งานที่กำลังสูง

2. การสูญเสียกำลังภายในวงจร

ในการใช้งานจริง อาจมีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจากสายไฟหรืออุปกรณ์ต่อพ่วงที่อาจทำให้ค่าแรงดันที่ได้แตกต่างไปจากที่แสดงใน Datasheet แม้จะเป็นการสูญเสียเล็กน้อย แต่ก็สามารถทำให้ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อน

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษา Potentiometer ทั้งแบบ Linear และ Rotary พบว่า Potentiometer ทั้งสองแบบมีการตอบสนองที่ต่างกันต่อการเปลี่ยนแปลงระยะหรือองศาการหมุน

1.1. Linear Potentiometer

Linear Potentiometer จะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปแบบเชิงเส้นตามตำแหน่งของตัวเลื่อน อย่างไรก็ตาม แต่ละรุ่นมี Power Rating ไม่เท่ากัน โดย Power Rating นี้จะกำหนดความสามารถในการทนแรงดันไฟฟ้าสูงสุด หากใช้แรงดันไฟฟ้าเกินกว่าค่าที่กำหนด Potentiometer อาจให้สัญญาณที่ไม่แม่นยำหรือไม่เสถียร รุ่นที่มี Power Rating สูงกว่าจึงสามารถทำงานได้อย่างเสถียรในสถานะที่มีแรงดันไฟฟ้าสูง

1.2. Rotary Potentiometer

แรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามการหมุน ซึ่งเหมาะกับงานควบคุมสัญญาณที่ต้องการการปรับแต่งทีละน้อยและสามารถทำงานในวงรอบได้ อย่างไรก็ตาม แต่ละรุ่นมี Power Rating ที่ไม่เท่ากัน โดย Power Rating นี้จะกำหนดความสามารถในการทนแรงดันไฟฟ้าสูงสุด รุ่นที่มี Power Rating สูงกว่าจะให้สัญญาณที่เสถียรและแม่นยำมากกว่ารุ่นที่มี Power Rating ต่ำ

2. อภิปรายผลการทดลอง

2.1. การตอบสนองของสัญญาณ output

Potentiometer ทั้งแบบ Linear และ Rotary แสดงให้เห็นถึงการตอบสนองที่ต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดย Linear Potentiometer จะให้แรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงอย่างเชิงเส้นตามตำแหน่งตัวเลื่อน ทำให้สามารถ คำนวณค่า output ได้ง่าย ในขณะที่ Rotary Potentiometer จะเปลี่ยนแปลงแรงดันไปตามมุม ซึ่งมีลักษณะการปรับทีละเอียดยกกว่า

2.2. Power Rating

มีผลอย่างมากต่อความเสถียรของสัญญาณ output โดยรุ่นที่มี Power Rating สูงสามารถ รองรับแรงดันไฟฟ้าสูงได้ดีกว่า ซึ่งช่วยลดความเบี่ยงเบนของสัญญาณเมื่อใช้งานในสถานะกำลังไฟฟ้าสูง ในขณะที่รุ่นที่มี Power Rating ต่ำกว่าอาจเกิดการเบี่ยงเบนหรือสัญญาณไม่เสถียรเมื่อเจอแรงดันสูง

2.3. ความเบี่ยงเบนไปจาก datasheet

เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลใน datasheet อาจมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย เนื่องจากผลของการสูญเสียกำลังไปในวงจรจริง

3. ข้อเสนอแนะ

3.1. การเลือก Power Rating ที่เหมาะสม

ควรเลือก Potentiometer ที่มี Power Rating สอดคล้องกับการใช้งานจริง เพื่อให้สัญญาณ output มีความเสถียรและลดโอกาสเกิดความเบี่ยงเบนเมื่อใช้งานในสถานะที่มีกำลังไฟฟ้าสูง

3.2. การปรับแต่งสัญญาณ Output

ควรทดสอบและปรับแต่งสัญญาณ output ให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน และบันทึกผลการทดลองในหลายสถานการณ์เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความเสถียรและความแม่นยำของสัญญาณ

อ้างอิง

1. Linear Potentiometer

1.1 PTA6043-2015DPA103

[PTA6043-2015DPA103 Bourns | Mouser Thailand](#)

1.2 PTA6043-2015DPB103

[PTA6043-2015DPB103 Bourns | Mouser Thailand](#)

2. Rotary Potentiometer

2.1 PDB181-K420K-103A2

[PDB181-K420K-103A2 Bourns | Mouser Thailand](#)

2.2 PDB181-K420K-103A2

[PDB181-K420K-103B Bourns | Mouser Thailand](#)

2.3 PDB181-K420K-103A2

[PDB181-K420K-103C Bourns | Mouser Thailand](#)

Incremental Encoder

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของ Incremental Encoder รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ Output เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางและความเร็วในการหมุน
2. เพื่อศึกษาทำความเข้าใจรูปแบบเฟสของสัญญาณในแต่ละช่อง Output ของ Incremental Encoder ในระบบการเข้ารหัสแบบ Quadrature
3. เพื่อศึกษาศึกษาวิธีการคำนวณค่า Pulses Per Revolution (PPR) และ Resolution ของ Incremental Encoder
4. เพื่อออกแบบการทดลองเพื่อใช้งาน Incremental Encoder และประยุกต์ใช้ MATLAB และ Simulink ในการสั่งการและรับข้อมูลจาก Incremental Encoder ผ่านบอร์ด Nucleo STM32G474RE
5. เพื่อประยุกต์ใช้การ Log ข้อมูลและแสดงผลสัญญาณในรูปแบบกราฟแบบ Real-Time เพื่อวิเคราะห์ Raw Signal, Angular Position, Angular Velocity, และ Angular Acceleration ในหน่วย SI
6. เพื่อทดสอบการใช้งาน Incremental Encoder ในการอ่านสัญญาณ Output แบบ Quadrature Encoder ทุกรูปแบบ
7. เพื่อทดสอบการเชื่อมต่อและการแสดงผลข้อมูลที่ได้รับจาก Incremental Encoder ใน MATLAB Simulink โดยให้แสดงสัญญาณ Output ตามสัญญาณ Input แบบ Real-Time

สมมติฐาน

1. การเปลี่ยนแปลงทิศทางและความเร็วในการหมุนของ Incremental Encoder จะส่งผลให้สัญญาณ Output (ช่อง A และ B) มีการเปลี่ยนเฟสและความถี่
2. การอ่านค่าสัญญาณ Output จาก Incremental Encoder โดยใช้ QEI Method จะมีประสิทธิภาพและแม่นยำมากกว่า Polling Method

ตัวแปร

- ตัวแปรต้น : ความเร็วในการหมุน, ทิศทางการหมุน, ค่า Pulses Per Revolution (PPR) ของ Encoder
- ตัวแปรตาม : สัญญาณ Output (Raw Signal, Angular Position, Angular Velocity, Relative Position)
- ตัวแปรควบคุม : แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ขับ Encoder, ความเสถียรของการเชื่อมต่อระหว่าง Encoder และ Nucleo STM32G474RE, ความถี่ในการอ่านค่าข้อมูลจาก Encoder

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. Incremental Encoder

อุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดตำแหน่งเชิงมุม ความเร็วเชิงมุม และทิศทางการหมุนของวัตถุ โดยอาศัยการนับจำนวนพัลส์สัญญาณที่เกิดขึ้นตามการหมุน

2. Quadrature Encoding

ระบบการเข้ารหัสแบบสี่เท่า โดยสัญญาณ Output จะประกอบด้วย 2 ช่อง (Channel A และ Channel B) ซึ่งเฟสของสัญญาณจะมีการเลื่อนกัน 90 องศา ช่วยให้สามารถระบุทิศทางการหมุนได้

3. Pulses Per Revolution (PPR)

จำนวนพัลส์สัญญาณที่ Incremental Encoder ผลิตได้ต่อการหมุนครบหนึ่งรอบ ใช้ในการกำหนดความละเอียดของ Encoder ยิ่งค่า PPR สูง ยิ่งมีความละเอียดในการวัดตำแหน่งมากขึ้น

4. Resolution

ความละเอียดในการวัดตำแหน่งเชิงมุมของ Encoder ซึ่งสัมพันธ์กับค่า PPR โดย Resolution จะบอกถึงจำนวนองศาต่อพัลส์ (Degrees per Pulse)

5. Raw Signal

สัญญาณดิบที่ได้รับจาก Incremental Encoder โดยยังไม่ได้ผ่านการประมวลผล สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เฟสและรูปแบบการทำงานของ Encoder ได้

6. Angular Position

ตำแหน่งเชิงมุมของวัตถุที่ถูกวัด มักจะอยู่ในหน่วยองศาหรือเรเดียน

7. Angular Velocity

ความเร็วเชิงมุมของการหมุนที่แสดงความเร็วในการเปลี่ยนตำแหน่งเชิงมุม มีหน่วยเป็นองศาต่อวินาทีหรือเรเดียนต่อวินาที

8. Relative Position

ตำแหน่งของวัตถุหนึ่งเมื่อเทียบกับตำแหน่งของวัตถุอีกชิ้นหนึ่ง โดยไม่ได้กำหนดเป็นค่าตำแหน่งที่แน่นอนในระบบพิกัดตายตัว แต่พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุสองชิ้น

นิยามเชิงปฏิบัติการ

1. Incremental Encoder

อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงมุมที่ใช้ระบบการเข้ารหัสแบบ Incremental โดยส่งสัญญาณ Output แบบ Quadrature (ช่องสัญญาณ A และ B) เพื่อระบุทิศทางและความเร็วในการหมุน ใช้ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลง ตำแหน่งเชิงมุม ความเร็ว และความเร่ง

2. Pulses Per Revolution (PPR)

จำนวนพัลส์สัญญาณที่ผลิตขึ้นต่อการหมุนหนึ่งรอบของ Encoder ค่านี้ใช้เพื่อคำนวณความละเอียดในการวัดตำแหน่งเชิงมุมและค่าความเร็วที่ Encoder สามารถวัดได้

3. Quadrature Encoding

ระบบการเข้ารหัสที่ใช้สัญญาณ 2 ช่อง (ช่อง A และ B) โดยมีเฟสที่ต่างกัน 90 องศา เพื่อระบุทิศทางและความเร็วในการหมุนของ Encoder เมื่อตรวจสอบลำดับของเฟสสามารถบอกได้ว่าหมุนไปในทิศทางใด

4. Angular Position (ตำแหน่งเชิงมุม)

ตำแหน่งการหมุนของเพลลา Encoder ที่คำนวณได้จากจำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้น โดยใช้ค่า PPR เป็นตัวกำหนดตำแหน่งเชิงมุมในแต่ละช่วงของการหมุน

5. Angular Velocity (ความเร็วเชิงมุม)

อัตราการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งเชิงมุมต่อเวลา วัดได้จากอัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นตามเวลาในหน่วย SI (เช่น rad/s)

6. Real-Time Logging

กระบวนการบันทึกข้อมูลสัญญาณที่เกิดขึ้นในขณะนั้น เพื่อวิเคราะห์การทำงานของ Incremental Encoder แบบ Real-Time ซึ่งรวมถึงการบันทึกข้อมูล Raw Signal, Angular Position และ Angular Velocity

7. Relative Position

ตำแหน่งของวัตถุหนึ่งที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของวัตถุอื่นโดยตรง แทนที่จะกำหนดตำแหน่งเป็นจุดที่แน่นอน (Absolute Position) ตำแหน่งสัมพันธ์จะอธิบายความสัมพันธ์ในเชิงระยะทาง ทิศทาง หรือมุมกับวัตถุอ้างอิง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Incremental Encoder AMT103-V

1.1. ข้อมูลทั่วไป

ELECTRICAL					
parameter	conditions/description	min	typ	max	units
power supply	VDD	3.6	5	5.5	V
current consumption	with unloaded output		6		mA
output high level		VDD-0.8			V
output low level				0.4	V
output current	CMOS sink/source per channel			2	mA
rise/fall time			30		ns

INCREMENTAL CHARACTERISTICS					
parameter	conditions/description	min	typ	max	units
channels	quadrature A, B, and X index				
waveform	CMDS voltage square wave				
phase difference	A leads B for CCW rotation (viewed from front)		90		degrees
quadrature resolutions ¹	48, 96, 100, 125, 192, 200, 250, 256, 384, 400, 500, 512, 800, 1000, 1024, 2048				PPR
index ²	one pulse per 360 degree rotation				
accuracy			0.25		degrees
quadrature duty cycle (at each resolution)	256, 512, 1024, 2048 48, 96, 100, 125, 192, 200, 250, 256, 384, 400, 500, 800, 1000	49 47 43	50 50 50	51 53 56	%

Notes: 1. Resolution selected via adjustable DIP switch, pre-set to 2048 PPR. All resolutions are listed as pre-quadrature, meaning the final number of counts is PPR x 4.
2. Some stepper motors may leak a magnetic field causing the AMT index pulse to not function properly (non-magnetic version available with 8 pulses per revolution).

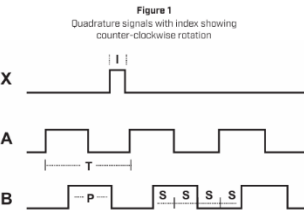
MECHANICAL					
parameter	conditions/description	min	typ	max	units
motor shaft length		9			mm
motor shaft tolerance			NOM +0/-0.015		mm
weight	AMT102 AMT103		20.5 14.0		g
axial play				+0.3	mm
rotational speed (at each resolution)	192, 384, 400, 500, 800, 1000, 1024, 2048 48, 96, 100, 125, 200, 250, 256, 512			7500 15000	RPM

ENVIRONMENTAL					
parameter	conditions/description	min	typ	max	units
operating temperature ¹		-40		100	°C
humidity	non-condensing			95	%
vibration	20-500 Hz, 1 hour on each XYZ			10	G
shock	11 ms, ±XYZ direction			50	G
RoHS	yes				

Note: 1. Encoders with operating temperature of -40-125°C are available as a custom order

1.2. ลักษณะของคลื่นสัญญาณ (Pulse)

WAVEFORMS



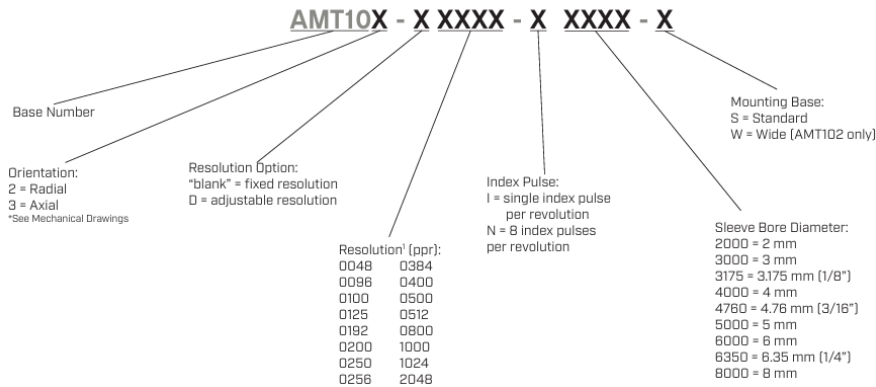
The following parameters are defined by the resolution selected for each encoder. The encoders resolution is listed as Pulses Per Revolution (PPR), which is the number of periods (or high pulses) over the encoders revolution.

Parameter	Description	Expression	Units	Notes
PPR	resolution		Pulses Per Revolution	This is the user selected value and the format all resolutions are listed in
CPR	counts	PPR x 4	Counts Per Revolution	This is the number of quadrature counts the encoder has
T	period	360/R	mechanical degrees	
P	pulse width	T/2	mechanical degrees	
S	A/B state width	T/4	mechanical degrees	This is the width of a quadrature state
I	index width	T/4	mechanical degrees	The width of a once per turn index is the state width for A & B lines

1.3. วิธีการดูค่าจากชื่อ AMT103-V และรหัส

PART NUMBER KEY

For customers that prefer a specific AMT10 configuration, please reference the custom configuration key below.



2. BOURNS PEC11R-4220F-N0024

2.1. ข้อมูลทั่วไป

Electrical Characteristics	
Output.....	2-bit quadrature code
Contact Rating.....	10 mA @ 5 VDC
Insulation Resistance	
.....	100 megohms @ 250V DC
Dielectric Withstanding Voltage	
Sea Level.....	300 VAC min.
Electrical Travel.....	Continuous
Contact Bounce (15 RPM).....	2.0 ms max.**
RPM (Operating)	60 max.**
Environmental Characteristics	
Operating Temperature Range	
.....	-30 °C to +70 °C (-22 °F to +158 °F)
Storage Temperature Range	
.....	-40 °C to +85 °C (-40 °F to +185 °F)
Humidity	
....	MIL-STD-202, Method 103B, Condition B
Vibration	
...	10~55~10 Hz / 1 min. / Amplitude 1.5 mm
Shock.....	100 G
IP Rating.....	IP 40
Mechanical Characteristics	
Mechanical Angle	360 ° Continuous
Torque	
Detent ..	30 to 90 gf-cm (0.41 to 1.25 oz.-in.)
Running ...	10-70 gf-cm (0.14 to 0.97 oz.-in.)
Mounting.....	10.2 kgf-cm (8.83 lb.-in.) max.
Shaft Side Load (Static)	
.....	2.04 kgf (4.5 lbs.) min.
Weight	5 gm (0.17 oz.) max.
Terminals	Printed circuit board terminals
Soldering Condition	
Wave Soldering	Sn95.5/Ag2.8/Cu0.7
solder with no-clean flux: 260 °C max. for	
3 ± 1 sec.	
Hand Soldering.....	Not recommended
Hardware ..	One flat washer and one mounting nut supplied with each encoder
Rotational Life.....	30,000 cycles min.
Switch Life	20,000 cycles min.
Switch Characteristics	
Switch Type	
.....	Contact Push ON Momentary SPST
Power Rating (Resistive Load)	
.....	10 mA at 5 VDC
Switch Travel	0.5 ± 0.3 mm
Switch Actuation Force	
.....	610 ± 306 gf (8.47 ± 4.24 oz.in.)
Contact Resistance ...	100 milliohms @ 5 VDC

2.2. วิธีการดูค่าจากชื่อ PEC11R-4220F-N0024 และรหัส

How To Order		PEC11R 4 0 20 F - S 0012	
Model			
Terminal Configuration	1 = PC Pin Vertical / Side Facing 7 mm 4 = PC Pin Horizontal / Rear Facing 2 = PC Pin Vertical / Side Facing 10 mm		
Detent Option	0 = No Detents (12, 18, 24 pulses) 2 = 24 Detents (12, 24 pulses) 1 = 18 Detents (18 pulses) 3 = 12 Detents (12, 24 pulses)		
Standard Shaft Length	15 = 15.0 mm 25 = 25.0 mm 20 = 20.0 mm 30 = 30.0 mm		
Shaft Style	F = Metal Flatted Shaft K = Metal Knurled Shaft ¹		
Switch Configuration	S = Push Momentary Switch N = No Switch		
Resolution	0012 = 12 Pulses per 360 ° Rotation 0024 = 24 Pulses per 360 ° Rotation 0018 = 18 Pulses per 360 ° Rotation		

¹Metal knurled shaft without switch is available in 15, 20 and 30 mm shaft lengths.
 Metal knurled shaft with push momentary switch is available in 15 and 20 mm shaft lengths.

3. ความแตกต่างระหว่าง Incremental Encoder AMT103-V กับ BOURNS PEC11R-4220F-N0024

3.1. Pulses Per Revolution (PPR)

3.1.1. AMT103-V

มีค่า PPR สูงถึง 2048 ซึ่งหมายความว่าในหนึ่งรอบการหมุนของ Encoder จะผลิตสัญญาณ 2048 Pulses ทำให้ความละเอียดสูงมาก เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความแม่นยำในระดับสูง เช่น การควบคุมตำแหน่ง

3.1.2. BOURNS PEC11R-4220F-N0024

มีค่า PPR ที่ต่ำกว่าเพียง 24 Pulses ต่อการหมุนหนึ่งรอบ ทำให้มีความละเอียดต่ำกว่า AMT103-V ซึ่งอาจไม่เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความแม่นยำสูง

3.2. ความละเอียดในการอ่านค่า (Resolution)

3.2.1. AMT103-V

ความละเอียดอยู่ที่ประมาณ 0.175° ต่อ Pulse (มีความละเอียดมาก)

3.2.2. BOURNS PEC11R-4220F-N0024

ความละเอียดประมาณ 15° ต่อ Pulse (มีความละเอียดน้อย)

วิธีการดำเนินการทดลอง

1. วัสดุ / อุปกรณ์ และเครื่องมือพิเศษ

- 1.1. Incremental Encoder AMT103-V จำนวน 1 อัน
- 1.2. BOURNS PEC11R-4220F-N0024 จำนวน 1 อัน
- 1.3. Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด
- 1.4. EncoderXplorer จำนวน 1 ชุด ฐานสามารถบรรจุบอร์ดควบคุม, Breadboard, Incremental Encoder, 3D-Print ใช้สำหรับการวัดมุมการหมุนของ Incremental Encoder ลักษณะคล้าย ไมโครแทกเตอร์
- 1.5. สายจัมเปอร์

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

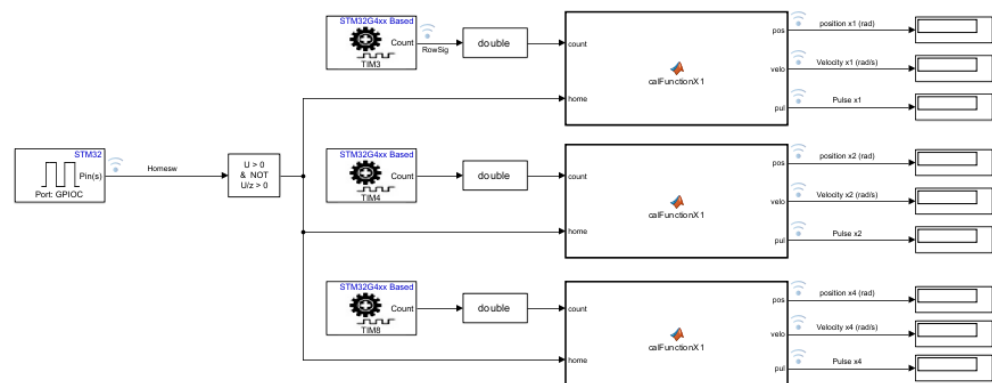
2.1. การตั้งค่าพารามิเตอร์ใน STM32 CubeMX (IOC Configurations)

โดยกำหนดขา I/O ที่จะใช้เชื่อมต่อกับ Encoder และตั้งค่าความละเอียดให้ตรงกับ Encoder ที่ต้องการทดลอง และตั้งค่าให้ Tim3 ,Tim4 และ Tim8 ให้อ่านค่า Encoder โดยจะอ่านค่า Encoder แบบ X4 ,X2 และ X1 ตามลำดับ แล้วทำการ Generate code

2.2. การตั้งค่า Simulink สำหรับการอ่านค่า Encoder

ตั้งค่า Simulink เพื่อรับค่าจาก STM32G474RE โดยใช้ Encoder เป็น input และส่งค่า output กลับไปแสดงผลแบบ real-time บน Simulink's Data Inspector

2.2.1. Simulink สำหรับการอ่านค่า Encoder แบบ QEI



รูปการตั้งค่า Simulink สำหรับการอ่านค่า Encoder แบบ QEI

หลักการทำงานของ Simulink

1. อ่านค่าที่ได้รับจากบล็อก STM32G4xx Based โดยใช้เป็นตัวแปร Count
2. Count จะแปลงค่าด้วยบล็อก double
3. รับค่า Count ที่ถูกแปลงออกมาเข้าบล็อก Matlab function เพื่อทำการแปลงสัญญาณเป็นค่า output ต่างๆ
4. Log สัญญาณเพื่อดูค่าบน Display
5. แสดงผล Output ออกมาในรูปแบบของ Pulse Count ,Angular velocity, Angular position และRelative Position
6. ตั้งค่า Home Configuration เพื่อสั่งให้ Encoder กลับตำแหน่งเริ่มต้น (0 องศา)

MATLAB function:

```
function [pos, velo, pul] = calFunctionX1(count, home)
persistent pulse lastpulse lastrad home_position;

if isempty(pulse)
    pulse = 0;
    lastpulse = 0;
    lastrad = 0;
    home_position = 0;
end

pulse_diff = count - lastpulse;
if abs(pulse_diff) > 10000
    pulse = pulse + (65520 * sign(pulse_diff) - pulse_diff);
else
    pulse = pulse + pulse_diff;
end

if home == 1
    home_position = pulse;
end

pul = pulse - home_position;
pos = pul * (2 * pi / 24);
velo = (pos - lastrad) / 0.1;

lastpulse = count;
lastrad = pos;
end
```

หลักการทำงาน

1. การตรวจสอบทิศทางการหมุนจะใช้เป็นค่า pulse ปัจจุบัน - ค่า pulse ก่อนหน้า
2. เนื่องจากการอ่านค่าโดยใช้ QEI ค่าจะเริ่มนับใหม่ทุกรอบที่ถึงค่าสูงสุดทั้งค่าที่เป็นบวกและลบ คณะผู้จัดทำจึงตั้งเงื่อนไขไว้ว่าเมื่อค่า pulse_diff มากกว่าหรือน้อยกว่าค่ามากที่สุดจะทำการเก็บค่าเพื่อให้ค่าที่ได้ไม่ย้อนไปเริ่มใหม่
3. มีการคำนวณค่าจากค่า pulse ทั้งหมด 3 ส่วน ดังนี้
 - 3.1. ค่า pulse ที่ไม่เกิดการ reset โดยอ้างอิงจากข้อ 1 และ 2
 - 3.2. ตำแหน่งเชิงมุมในหน่วย rad
 - 3.3. ความเร็วเชิงมุมในหน่วย rad/s

- Resolution Calculation

$$Resolution = \frac{360^\circ}{Pulses Per Revolution}$$

Pulses Per Revolution = จำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นเมื่อหมุน Encoder ครบ 1 รอบ

- Angular Position & Velocity

$$Angular Position(\theta) = \frac{Counts}{Pulses per Revolution} \times 2\pi$$

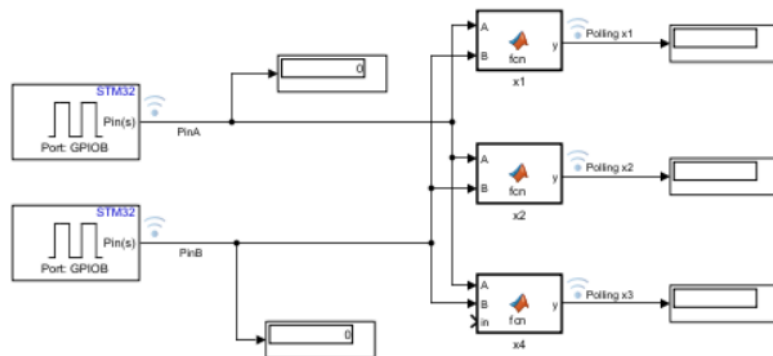
$$Angular Velocity(\omega) = \frac{Counts}{\Delta t \times Pulses per Revolution} \times 2\pi$$

Counts = จำนวนพัลส์ที่นับได้จาก Encoder ตั้งแต่เริ่มต้น

Pulses Per Revolution = จำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นเมื่อหมุน Encoder ครบ 1 รอบ

Δt = ช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง (หน่วยเป็นวินาที)

2.2.2. Simulink สำหรับการอ่านค่า Encoder แบบ Polling



รูปการตั้งค่า Simulink สำหรับการอ่านค่า Encoder แบบ Polling

หลักการทำงานของ Simulink

1. บล็อก Digital Port Reading ทำการอ่านค่าที่ได้รับจาก Pin แล้วส่งค่าเข้าบล็อก Matlab function
2. รับค่า Pin เข้าบล็อก Matlab function เพื่อทำการแปลงไปเป็น Polling
3. Log สัญญาณเพื่อดูค่าบน Display

4. แสดงผล Output ออกมาในรูปแบบของ Pulse Count ,Angular velocity และ Angular position

MATLAB function:

```
function y = pollingX1(A, B)
    persistent c stageA
    if isempty(c)
        c = 0;
        stageA = 1;
    end

    if A == 0 && stageA
        stageA = 0;
        c = c + 2 * B - 1;
    elseif A == 1
        stageA = 1;
    end

    y = c;
end
```

หลักการทำงาน

การอ่านค่าของ input polling จะใช้การอ่านค่าโดยสร้างเงื่อนไขการอ่านโดยอ้างอิงจากลำดับของค่าที่อ่านได้ใน A และ B เช่น A และ B ก่อนหน้าเท่ากัน แต่ปัจจุบันเป็นการหมุนแบบทวนเข็ม โดยการอ่าน encoder แบบ polling จะมีการเพิ่มเงื่อนไขขึ้นไปเรื่อย ๆ จาก x1 x2 และ x4

- Resolution Calculation

$$Resolution = \frac{360^\circ}{\text{Pulses Per Revolution}}$$

Pulses Per Revolution = จำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นเมื่อหมุน Encoder ครบ 1 รอบ

- Angular Position & Velocity

$$\text{Angular Position}(\theta) = \frac{\text{Counts}}{\text{Pulses per Revolution}} \times 2\pi$$

$$\text{Angular Velocity}(\omega) = \frac{\text{Counts}}{\Delta t \times \text{Pulses per Revolution}} \times 2\pi$$

Counts = จำนวนพัลส์ที่นับได้จาก Encoder ตั้งแต่เริ่มต้น

Pulses Per Revolution = จำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นเมื่อหมุน Encoder ครบ 1 รอบ

Δt = ช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง (หน่วยเป็นวินาที)

2.3. การทดลองเพื่อหาค่าที่ได้จากการอ่านแบบ QEI

2.3.1. วิธีทำการทดลอง

2.3.1.1. ทำการหมุน BOURNS PEC11R-4220F-N0024 แบบสุ่ม

2.3.1.2. ทำการหมุน Incremental Encoder AMT103-V แบบสุ่ม

2.3.1.3. เปิด Data Inspector เพื่อทำการดูข้อมูลที่ได้ในรูปแบบของกราฟ

2.4. การทดลองเพื่อหาค่า PPR ของ Incremental Encoder AMT103-V

2.4.1. วิธีทำการทดลอง

2.4.1.1. ทำการหมุน Incremental Encoder AMT103-V 1 รอบ

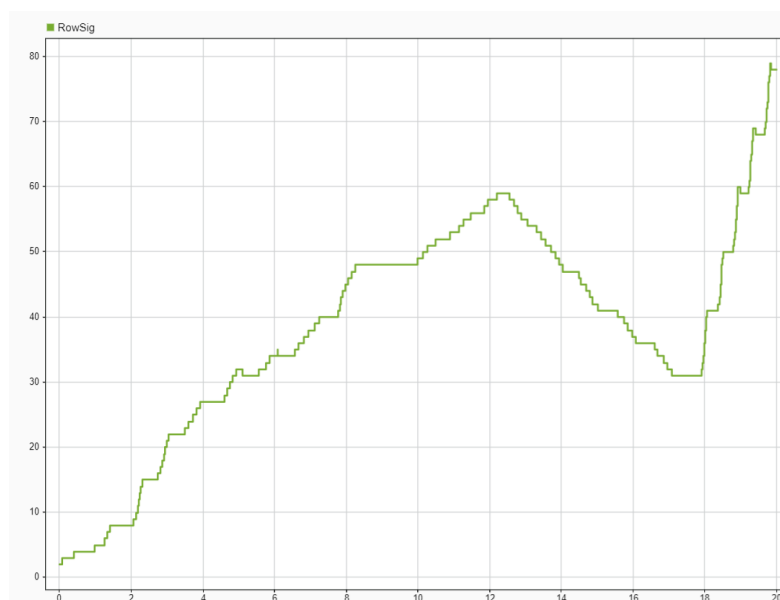
2.4.1.2. เปิด Data Inspector เพื่อทำการดูข้อมูลที่ได้ในรูปแบบของกราฟ

ผลการทดลอง

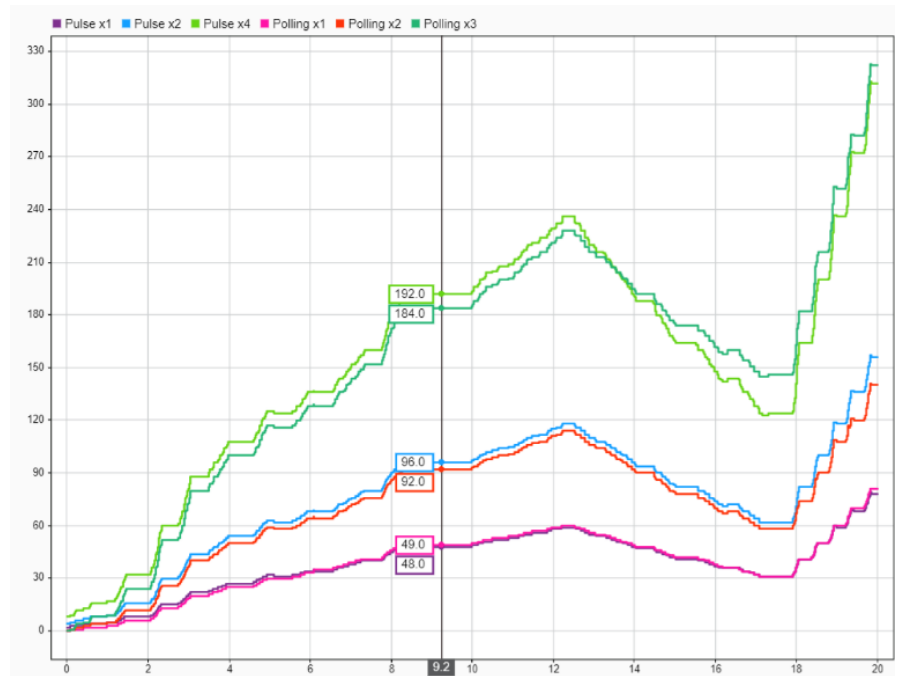
1. การทดลองเพื่อหาค่าที่ได้จากการอ่านแบบ QEI โดยดูได้จาก Data Inspector

1.1. BOURNS PEC11R-4220F-N0024

1.1.1. Raw Signal

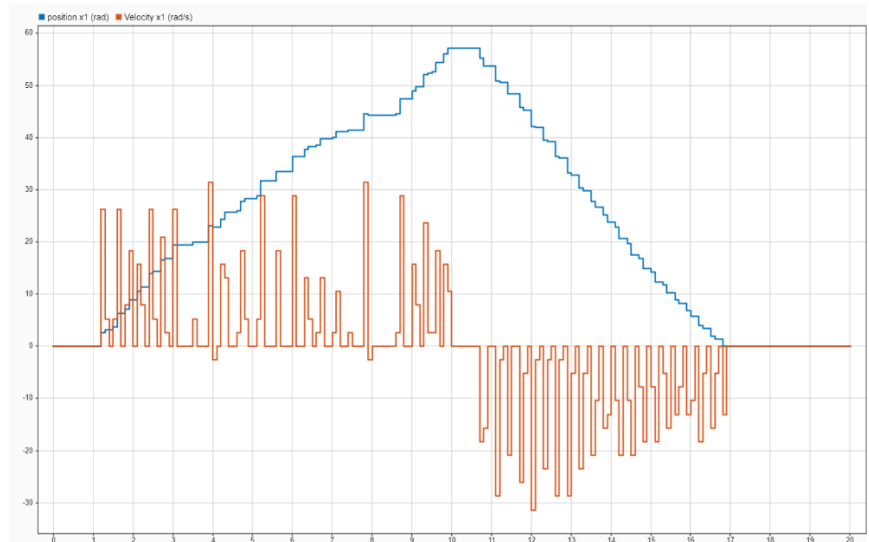


1.1.2. Pulse Count

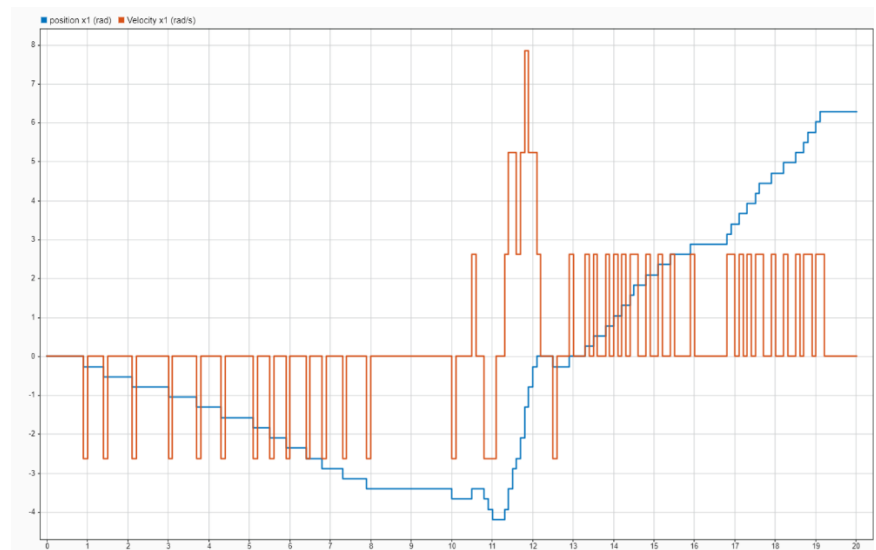


1.1.3. Angular Velocity

1.1.3.1. Fast (compare with position for better description)



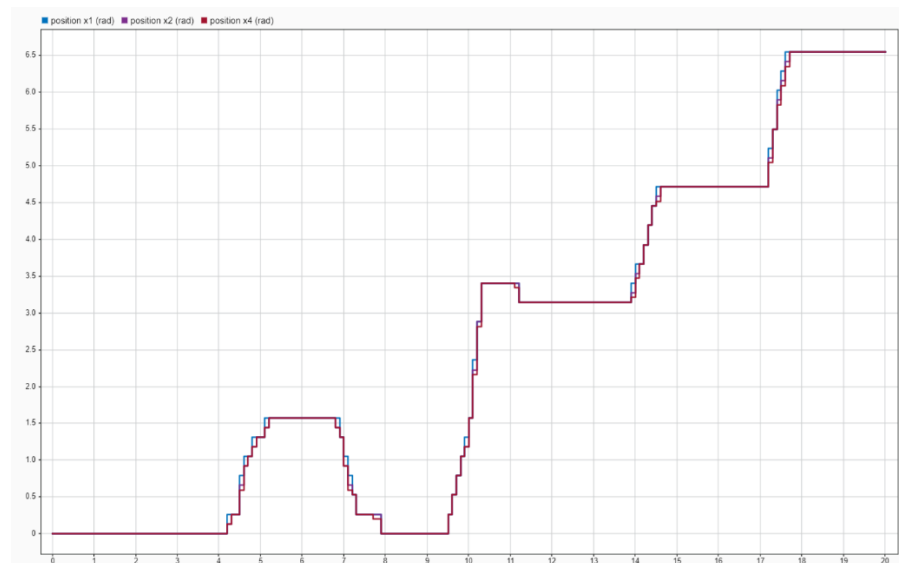
1.1.3.2. Slow (compare with position for better description)



กราฟ Angular Velocity (Slow) ของ BOURNS PEC11R-4220F-N0024

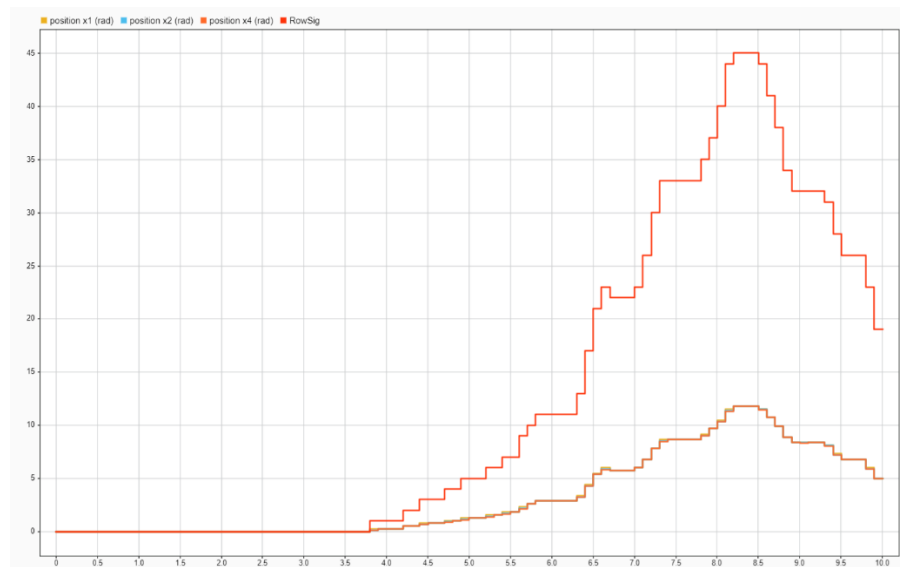
1.1.4. Angular Position

CW90->CCW90->CW180->CW270->CW360



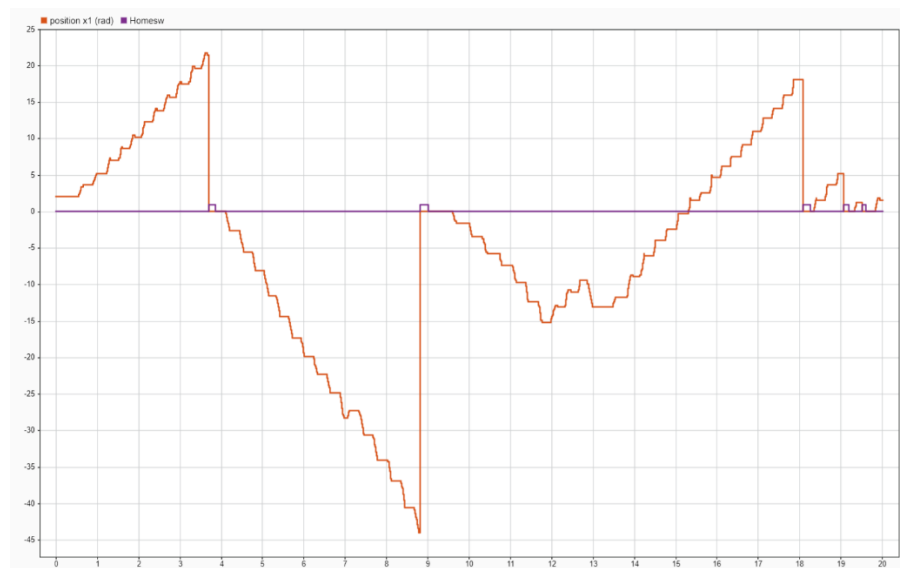
กราฟ Angular Position ของ BOURNS PEC11R-4220F-N0024

1.1.5. Relative Position vs Raw Signal



กราฟ Relative Position vs Raw Signal ของ BOURNS PEC11R-4220F-N0024

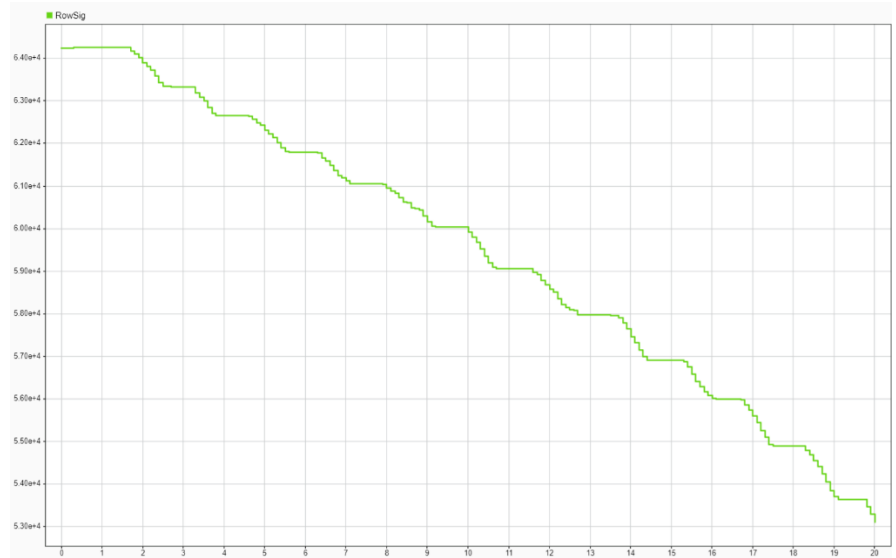
1.1.6. Homing Configuration



กราฟ Homing Configuration ของ BOURNS PEC11R-4220F-N0024

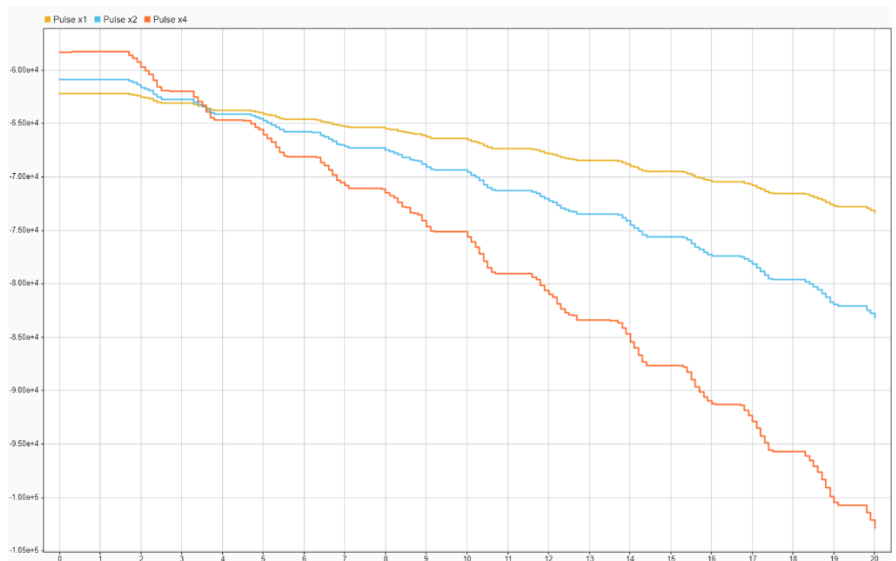
1.2. Incremental Encoder AMT103-V

1.2.1. Raw Signal



กราฟ Raw Signal ของ Incremental Encoder AMT103-V

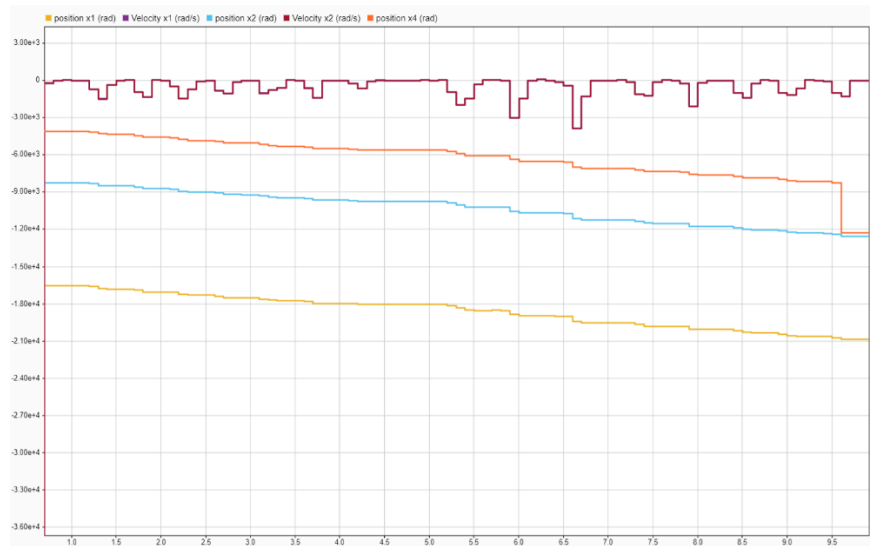
1.2.2. Pulse Count



กราฟ Pulse Count ของ Incremental Encoder AMT103-V

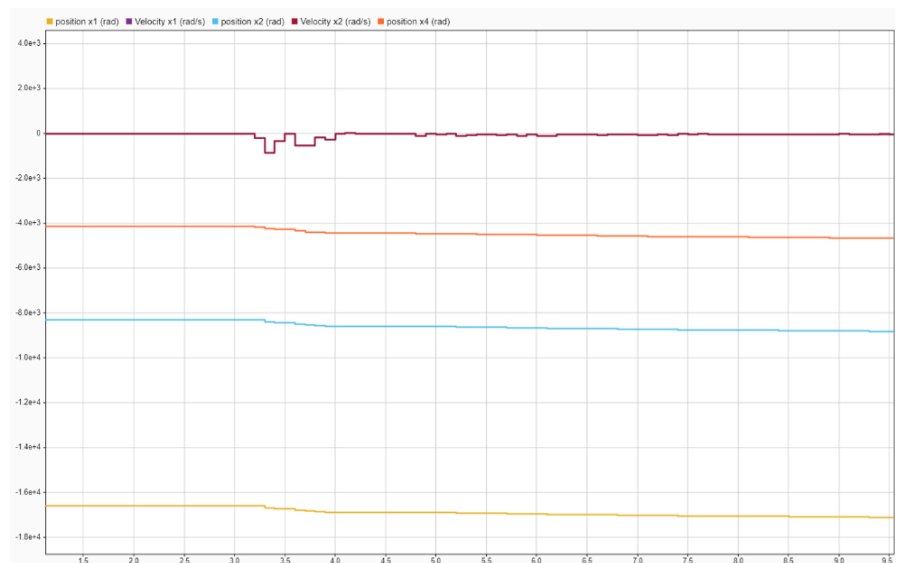
1.2.3. Angular Velocity

1.2.3.1. Fast (compare with position for better description)



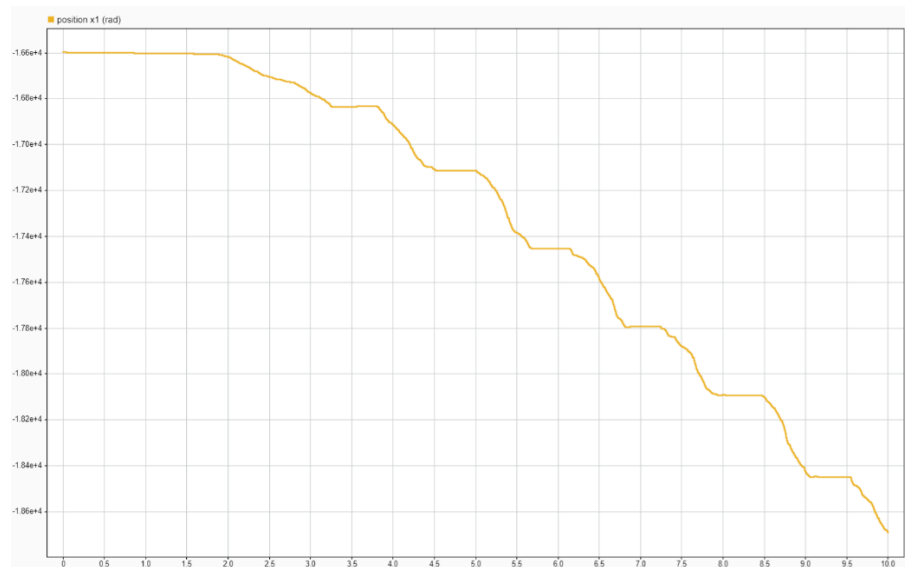
กราฟ Angular Velocity (Fast) ของ Incremental Encoder AMT103-V

1.2.3.2. .Slow (compare with position for better description)



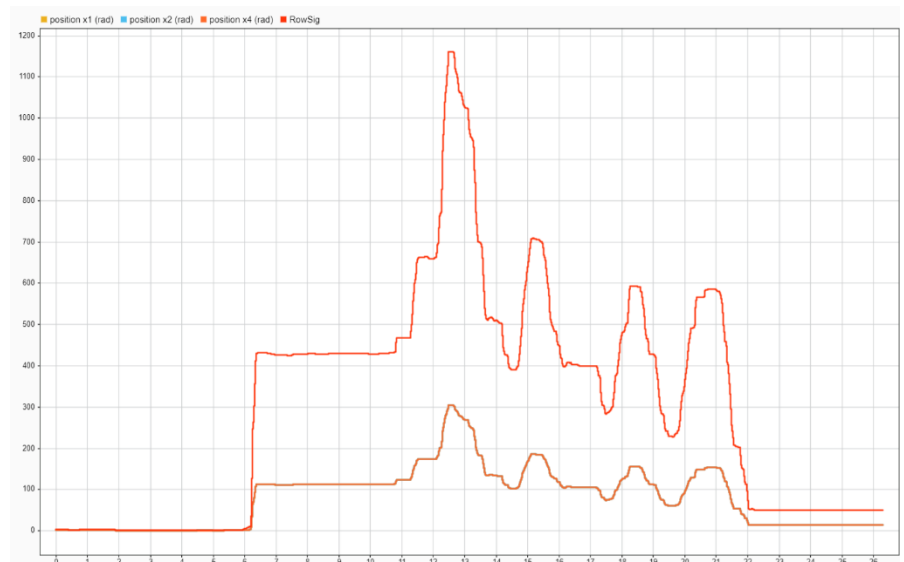
กราฟ Angular Velocity (Slow) ของ Incremental Encoder AMT103-V

1.2.4. Angular Position



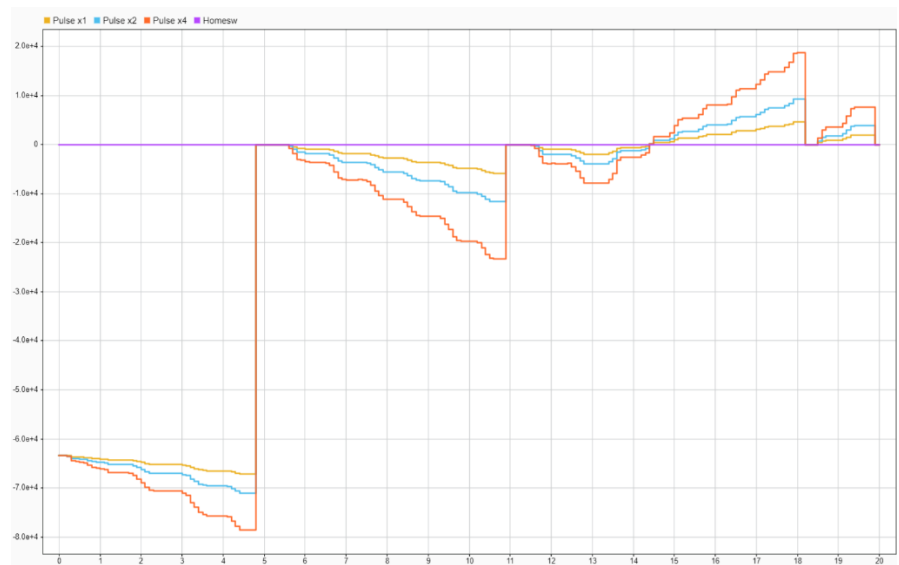
กราฟ Angular Position ของ Incremental Encoder AMT103-V

1.2.5. Relative Position vs Raw Signal



กราฟ Relative Position vs Raw Signal ของ Incremental Encoder AMT103-V

1.2.6. Homing Configuration



กราฟ Homing Configuration ของ Incremental Encoder AMT103-V

2. การทดลองเพื่อหาค่า PPR ของ Incremental Encoder AMT103-V

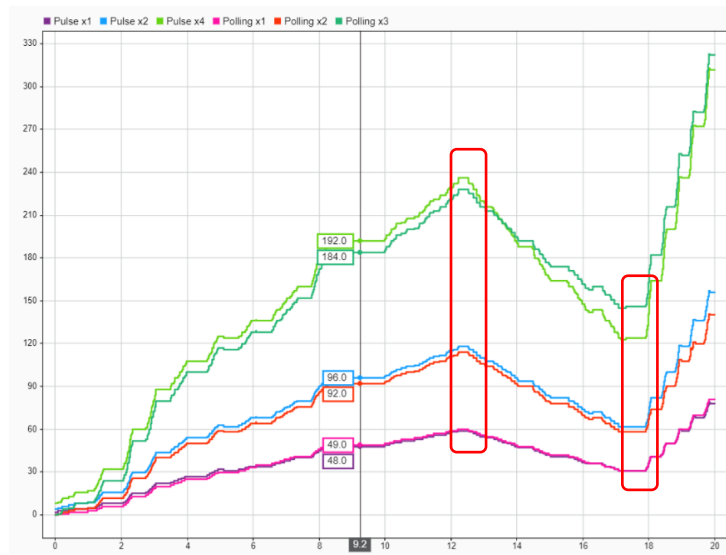
รูปแบบการอ่านแบบ QEI	จำนวน Counts ที่ได้จากการอ่าน (Counts)			PPR ที่ได้จากการคำนวณ (PPR)			PPR เฉลี่ย
	X1	X2	X4	X1	X2	X4	
ครั้งที่ 1	2060	4120	8239	2060	2060	2059	2060
ครั้งที่ 2	2011	4021	8041	2011	2010	2010	2010
ครั้งที่ 3	2123	4244	8486	2123	2122	2121	2122
เฉลี่ย							2064

ตารางแสดงการเก็บค่า Count ,PPR จากการทดลอง

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการทดลอง

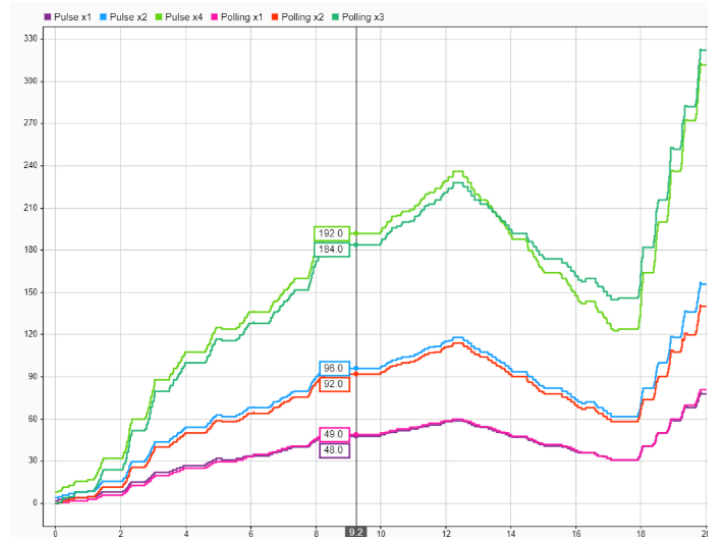
- 1.1. จากสมมติฐานที่ 1: การเปลี่ยนแปลงทิศทางและความเร็วในการหมุนของ Incremental Encoder จะส่งผลให้สัญญาณ Output (ช่อง A และ B) มีการเปลี่ยนเฟสและความถี่



กราฟ Pulse Count ของ BOURNS PEC11R-4220F-N0024

จากกราฟแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการหมุน สัญญาณช่อง A และ B จะสลับเฟสกัน ซึ่งยืนยันว่าทิศทางการหมุนส่งผลให้ลำดับเฟสของสัญญาณเปลี่ยนแปลง และเมื่อความเร็วในการหมุนเปลี่ยนความถี่ของพัลส์ก็เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามความเร็วของการหมุน

- 1.2. จากสมมติฐานที่ 2: การอ่านค่าสัญญาณ Output จาก Incremental Encoder โดยใช้ QEI Method จะมีประสิทธิภาพและแม่นยำมากกว่า Polling Method



กราฟ Pulse Count ของ BOURNS PEC11R-4220F-N0024

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการใช้ QEI Method สามารถอ่านค่าจาก encoder ได้อย่างต่อเนื่อง และมีความแม่นยำสูงกว่า Polling Method โดย QEI สามารถอ่านค่าได้ครบทุกพัลส์ที่เกิดขึ้น แม้ในกรณีที่มีการหมุนที่ความเร็วสูง ขณะที่ Polling Method มีแนวโน้มที่จะพลาดพัลส์ที่มีความถี่สูง เนื่องจากข้อจำกัดของความเร็วในการวนลูป

2. อภิปรายผลการทดลอง

2.1 การเปลี่ยนแปลงทิศทางการหมุนและความเร็วของการหมุนของ Incremental Encoder (สมมติฐานที่ 1)

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าทิศทางการหมุนของ Incremental Encoder ส่งผลให้สัญญาณช่อง A และ B สลับเฟสกัน ซึ่งหมายความว่าทิศทางการหมุนส่งผลให้ลำดับเฟสของสัญญาณเปลี่ยนไปอย่างชัดเจน นอกจากนี้ เมื่อความเร็วในการหมุนเปลี่ยนไป ความถี่ของพัลส์ก็เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามความเร็วในการหมุน แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของสัญญาณ Output และความเร็วในการหมุน encoder

จากข้อมูลนี้สามารถยืนยันได้ว่า Incremental Encoder มีความสามารถในการระบุทิศทางการหมุนผ่านการวิเคราะห์เฟสของสัญญาณ Output รวมถึงสามารถใช้ความถี่ของพัลส์ในการประเมินความเร็วในการหมุน ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้

2.2 ประสิทธิภาพและความแม่นยำของ QEI Method เทียบกับ Polling Method (สมมติฐานที่ 2)

จากกราฟจะเห็นว่าการใช้ QEI Method ให้ค่าการอ่านที่ต่อเนื่องและครบทุกพัลส์ที่เกิดขึ้น แม้ในกรณีที่มีการหมุนด้วยความเร็วสูง โดย QEI สามารถคำนวณค่า Pulse ได้ตามสัดส่วนที่ถูกต้อง (Pulse x1, x2, และ x4) แสดงถึงความแม่นยำและประสิทธิภาพในการอ่านสัญญาณ Output ขณะที่ Polling Method มีแนวโน้ม

ที่จะพลาดการอ่านพัลส์ที่มีความถี่สูง เนื่องจากข้อจำกัดของความเร็วในการวนลูป ซึ่งทำให้ค่าการอ่าน Pulse ของ Polling Method ไม่สอดคล้องกับค่าจริงในบางกรณี

การที่ QEI สามารถอ่านค่าได้ครบถ้วนทุกพัลส์ แสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีกว่าในการเก็บข้อมูลที่แม่นยำมากกว่าการใช้ Polling Method โดยเฉพาะในกรณีที่มีความถี่สูงและจำเป็นต้องตอบสนองทันที

ข้อสรุปโดยรวม

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า Incremental Encoder สามารถตรวจจับทิศทางและความเร็วของการหมุนได้อย่างแม่นยำ โดยการใช้ QEI Method จะให้ความแม่นยำในการอ่านข้อมูลที่สูงกว่า Polling Method ซึ่งเป็นประโยชน์ในการใช้งานที่ต้องการการวัดค่าแบบเรียลไทม์และมีความถี่สูง

3. ข้อเสนอแนะ

3.1. การใช้ QEI Method ในการอ่านสัญญาณ Output

จากการทดลองพบว่า QEI Method มีประสิทธิภาพสูงกว่า Polling Method โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการความแม่นยำและความต่อเนื่องในสัญญาณ Output ดังนั้น ควรใช้ QEI Method เป็นหลักในงานที่ต้องการการอ่านสัญญาณที่มีความถี่สูง หรือในระบบที่ต้องการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งหรือความเร็วในแบบเรียลไทม์

3.2. การปรับปรุง Polling Method สำหรับงานที่ไม่ต้องการความแม่นยำสูง

แม้ Polling Method จะมีข้อจำกัดในเรื่องการตอบสนองต่อความถี่สูง แต่ในงานที่ไม่ต้องการความแม่นยำมาก เช่น การวัดตำแหน่งที่มีความถี่ต่ำ Polling Method อาจยังมีประโยชน์เนื่องจากโครงสร้างง่ายและสามารถลดภาระการคำนวณจากฮาร์ดแวร์ได้ ควรพิจารณาใช้ในงานที่มีข้อกำหนดไม่สูงมาก

3.3. การทดสอบเพิ่มความเร็วสูงสุดที่ QEI Method และ Polling Method สามารถรองรับได้

ควรทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาค่าความเร็วสูงสุดของแต่ละวิธีการอ่านสัญญาณสามารถรองรับได้ โดยอาจใช้เครื่องมือหรือวิธีการจำลองที่สามารถปรับความเร็วในการหมุนของ Incremental Encoder ได้ เพื่อจะได้เข้าใจถึงขีดจำกัดของแต่ละวิธีอย่างชัดเจน

อ้างอิง

1. Incremental Encoder AMT103-V

[AMT103-V Same Sky | Mouser](#)

2. BOURNS PEC11R-4220F-N0024

[PEC11R-4220F-N0024 Bourns | Mouser](#)

Magnetic Sensor

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor รวมถึงการวิเคราะห์และอธิบายสัญญาณ Output ที่เกิดขึ้นเมื่อ Magnetic Flux Density เปลี่ยนแปลงไป
2. เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Field Shielding และ Magnetic Flux Density
3. เพื่อออกแบบและประยุกต์ใช้ MATLAB และ Simulink ในการส่งการและรับข้อมูลจากบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจาก Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor เป็น Input
4. เพื่อออกแบบระบบที่สามารถแสดงสัญญาณ Output เป็นกราฟ Real-Time โดยแสดงค่าทั้ง Raw Signal, Magnetic Flux Density, Position, Angular Velocity, และ Angular Acceleration ในหน่วย SI
5. เพื่อทดสอบการทำงานของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor และวิเคราะห์การตอบสนองของสัญญาณ Output เมื่อได้รับ Input จาก Magnetic Flux Density
6. เพื่อทดสอบระบบที่พัฒนาโดยการ Log สัญญาณและแสดงผลแบบ Real-Time ผ่าน MATLAB Simulink

สมมติฐาน

1. Magnetic Flux Density และ Voltage จาก Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor จะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor
2. การป้องกันสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Shielding) มีผลต่อ Magnetic Flux Density ซึ่งจะทำให้สัญญาณ Output เปลี่ยนแปลงไปตามสัดส่วนที่ชัดเจน
3. เมื่อสลับฝั่งแม่เหล็กที่หันเข้าหา Sensor จะส่งผลให้ Magnetic Flux Density มีแนวโน้มเปลี่ยนไปตามระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor

ตัวแปร

ตัวแปรต้น : ระยะห่างระหว่าง Sensor และแม่เหล็ก, ฝั่งของแม่เหล็กที่หันเข้าหา Sensor

ตัวแปรตาม : Raw Signal, แรงดันไฟฟ้า, Magnetic Flux Density

ตัวแปรควบคุม : การเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่าง Sensor และแม่เหล็ก, อุณหภูมิภายในห้องทดลอง, ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บค่าในแต่ละระยะห่าง, ช่วงเวลาที่พิจารณาในการวิเคราะห์ค่า

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

Sensor วัดสนามแม่เหล็กที่ใช้หลักการ Hall Effect ซึ่งเมื่อมีสนามแม่เหล็กเข้ามากระทบจะสร้างสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับความเข้มของสนามแม่เหล็ก ทำให้สามารถวัดได้อย่างแม่นยำในลักษณะ Linear

2. Magnetic Flux Density (ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก)

ปริมาณฟลักซ์แม่เหล็กที่ไหลผ่านพื้นที่หนึ่ง โดยปกติหน่วยที่ใช้คือ เทสลา (Tesla)

3. Magnetic Field Shielding

การใช้วัสดุป้องกันสนามแม่เหล็กเพื่อจำกัดหรือควบคุมทิศทางของสนามแม่เหล็กและลดการรบกวนจากสนามแม่เหล็กภายนอก

4. Magnetic Flux Direction

ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เคลื่อนที่จากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ ซึ่งมีความสำคัญต่อการวัดและการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้สนามแม่เหล็ก

5. Real-Time

การประมวลผลหรือแสดงผลสัญญาณแบบเรียลไทม์ที่เกิดขึ้นในเวลาปัจจุบัน ทำให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณได้ทันที

6. Raw Signal

ข้อมูลที่ได้จาก Sensor โดยยังไม่ได้ผ่านการประมวลผลใดๆ ซึ่งจะถูกใช้ในการวิเคราะห์เพิ่มเติม

7. ADC (Analog-to-Digital Converter)

ค่าดิจิทัลที่ได้จากการแปลงสัญญาณอนาล็อก (Analog Signal) เป็นสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal)

8. ค่า Resolution

ค่าดิจิทัลสูงสุดตามความละเอียดของ ADC เช่น 10-bit = 1024 (0-1023), 12-bit = 4096 (0-4095)

9. Distance (D)

ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor ในแนวดิ่ง

10. ค่า Resolution

ความละเอียดหรือจำนวนระดับดิจิทัลที่ ADC สามารถแยกแยะได้ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งบอกเป็นจำนวน บิต (bit) เช่น 8-bit, 10-bit, 12-bit หรือ 16-bit เป็นต้น โดย

- 8-bit ADC มีความละเอียด 256 ระดับ ค่า ADC จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 255
- 10-bit ADC มีความละเอียด 1024 ระดับ ค่า ADC อยู่ในช่วง 0 ถึง 1023

- 12-bit ADC มีความละเอียด 4096 ระดับ ค่า ADC อยู่ในช่วง 0 ถึง 4095
- 16-bit ADC มีความละเอียด 65536 ระดับ ค่า ADC อยู่ในช่วง 0 ถึง 65535

นิยามเชิงปฏิบัติการ

1. Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

Sensor นี้จะวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กโดยให้สัญญาณไฟฟ้าเป็น Output ที่มีค่าเชิงเส้นตรงตามการเปลี่ยนแปลงของ Magnetic Flux Density ซึ่งจะถูกนำไปวิเคราะห์ในระบบเพื่อดูผลลัพธ์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในสนามแม่เหล็ก

2. Magnetic Flux Density (B)

ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ได้จาก Sensor นำมาวิเคราะห์ค่า Output ของ Sensor นี้ในหน่วยเทสลา เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีสนามแม่เหล็กมากระทบ โดยค่า B จะถูกแปลงสัญญาณและเก็บเป็นข้อมูลในการทดลอง

3. Magnetic Field Shielding

ใช้วัสดุหรืออุปกรณ์ในการควบคุมการรั่วไหลของสนามแม่เหล็กและป้องกันการรบกวนจากสนามแม่เหล็กภายนอก เมื่อใช้จะทำการวัดค่า Output ของ Sensor เพื่อดูผลกระทบจากการป้องกันสนามแม่เหล็ก

4. Real-Time

กระบวนการที่แสดงข้อมูลที่ได้รับจาก Sensor ในเวลาจริง ซึ่งผู้ทดลองจะสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเมื่อ Magnetic Flux Density เปลี่ยนแปลงได้ทันทีบนหน้าจอ

5. Raw Signal

ค่าสัญญาณเริ่มต้นที่ได้จาก Sensor แม่เหล็ก ซึ่งจะนำมาใช้วิเคราะห์และแปลงให้เป็นข้อมูลในรูปแบบอื่น ๆ เช่น Magnetic Flux Density, Position, Angular Velocity และ Angular Acceleration

6. การจำลอง Model ใน Simulink

การสร้างและทดสอบแบบจำลองของระบบต่าง ๆ ในที่นี้นำมาใช้ในการเก็บค่า Raw Signal, Voltage และ Magnetic Flux Density จาก DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

7. การ Plot กราฟ

ขั้นตอนหรือกระบวนการที่ใช้ในการแสดงข้อมูลในรูปแบบภาพ (กราฟ) เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลและทำความเข้าใจข้อมูลเชิงลึกได้ง่ายขึ้น

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลจาก Datasheet ของ DRV5055 โดยในการทดลองนี้จะใช้ DRV5055A2 ในการทดลอง

3.1. Electrical Characteristics

6.5 Electrical Characteristics

for $V_{CC} = 3\text{ V}$ to 3.63 V and 4.5 V to 5.5 V , over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS ⁽¹⁾	MIN	TYP	MAX	UNIT
I_{CC}	Operating supply current			6	10	mA
t_{ON}	Power-on time (see Figure 11)	$B = 0\text{ mT}$, no load on OUT		175	330	μs
f_{BW}	Sensing bandwidth			20		kHz
t_d	Propagation delay time	From change in B to change in OUT		10		μs
B_{ND}	Input-referred RMS noise density	$V_{CC} = 5\text{ V}$		130		$\text{nT}/\sqrt{\text{Hz}}$
		$V_{CC} = 3.3\text{ V}$		215		
B_N	Input-referred noise	$B_{ND} \times 6.6 \times \sqrt{20\text{ kHz}}$	$V_{CC} = 5\text{ V}$	0.12		mT_{PP}
			$V_{CC} = 3.3\text{ V}$	0.2		
V_N	Output-referred noise ⁽²⁾	$B_N \times S$	DRV5055A1	12		mV_{PP}
			DRV5055A2	6		
			DRV5055A3	3		
			DRV5055A4	1.5		

Electrical Characteristics

ข้อมูลนี้แสดงถึง คุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical Characteristics) ของเซนเซอร์ในตระกูล DRV5055 ภายใต้เงื่อนไขการทำงานที่กำหนด โดยอธิบายถึงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเซนเซอร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. Operating Supply Current (I_{CC})

- กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงานของเซนเซอร์ โดยมีค่าต่ำสุด (MIN) ที่ 6 mA ค่าปกติ (TYP) ที่ 10 mA
- หมายความว่าเซนเซอร์ต้องการกระแสไฟฟ้าประมาณ 6-10 mA ในการทำงาน

2. Power-on Time (t_{ON}):

- เวลาในการเปิดเครื่อง หรือเวลาในการเริ่มต้นทำงานของเซนเซอร์ เมื่อ $B = 0\text{ mT}$ และไม่มีโหลดที่เอาต์พุต
- โดยปกติอยู่ที่ 175 μs และสูงสุดไม่เกิน 330 μs

3. Sensing Bandwidth (f_{BW}):

- ความถี่สูงสุดที่เซนเซอร์สามารถตรวจจับสนามแม่เหล็กได้อย่างแม่นยำ
- มีค่าอยู่ที่ 20 kHz ซึ่งแสดงว่าเซนเซอร์สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กได้สูงสุดในช่วงความถี่นี้

4. Propagation Delay Time (t_d):

- เวลาหน่วงของการตอบสนองจากการเปลี่ยนแปลงของ B ไปยังการเปลี่ยนแปลงในเอาต์พุต
- มีค่าโดยประมาณอยู่ที่ 10 μ s ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเซนเซอร์มีการตอบสนองค่อนข้างรวดเร็วต่อการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก

5. Input-referred RMS Noise Density (B_{ND}):

- ค่าความหนาแน่นของสัญญาณรบกวนใน RMS ที่อ้างอิงที่อินพุต
- สำหรับ $V_{CC} = 5$ V มีค่า 130 nT/√Hz และสำหรับ $V_{CC} = 3.3$ V มีค่า 215 nT/√Hz

6. Input-referred Noise (B_N):

- ค่าสัญญาณรบกวนที่อินพุต ซึ่งสัมพันธ์กับความถี่ในการทำงาน (20 kHz) และค่าความหนาแน่นของสัญญาณรบกวนใน RMS
- สำหรับ $V_{CC} = 5$ V มีค่า 0.12 mT_RMS และสำหรับ $V_{CC} = 3.3$ V มีค่า 0.2 mT_RMS

7. Output-referred Noise (V_N):

- สัญญาณรบกวนที่อ้างอิงที่เอาต์พุต ซึ่งเป็นผลมาจากค่า B_N คูณด้วยค่าความไว (Sensitivity)
- คำนี้นขึ้นอยู่กับรุ่นย่อยของ DRV5055:
 - DRV5055A1: 12 mV_RMS
 - DRV5055A2: 6 mV_RMS
 - DRV5055A3: 3 mV_RMS
 - DRV5055A4: 1.5 mV_RMS

3.2. Magnetic Characteristics

6.6 Magnetic Characteristics

for $V_{CC} = 3\text{ V}$ to 3.63 V and 4.5 V to 5.5 V , over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS ⁽¹⁾	MIN	TYP	MAX	UNIT
V _Q	Quiescent voltage	B = 0 mT, T _A = 25°C	V _{CC} = 5 V	2.43	2.5	V
			V _{CC} = 3.3 V	1.59	1.65	
V _{QAT}	Quiescent voltage temperature drift	B = 0 mT, T _A = -40°C to 125°C versus 25°C	±1% × V _{CC}			V
V _{QRE}	Quiescent voltage ratiometry error ⁽²⁾		±0.2%			
V _{QAL}	Quiescent voltage lifetime drift	High-temperature operating stress for 1000 hours	<0.5%			
S	Sensitivity	V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C	DRV5055A1	95	100	mV/mT
			DRV5055A2	47.5	50	
			DRV5055A3	23.8	25	
			DRV5055A4	11.9	12.5	
		V _{CC} = 3.3 V, T _A = 25°C	DRV5055A1	57	60	
			DRV5055A2	28.5	30	
			DRV5055A3	14.3	15	
			DRV5055A4	7.1	7.5	
B _L	Linear magnetic sensing range ⁽³⁾⁽⁴⁾	V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C	DRV5055A1	±21		mT
			DRV5055A2	±42		
			DRV5055A3	±85		
			DRV5055A4	±169		
		V _{CC} = 3.3 V, T _A = 25°C	DRV5055A1	±22		
			DRV5055A2	±44		
			DRV5055A3	±88		
			DRV5055A4	±176		
V _L	Linear range of output voltage ⁽⁴⁾		0.2		V _{CC} - 0.2	V
S _{TC}	Sensitivity temperature compensation for magnets ⁽⁵⁾			0.12		%/°C
S _{LE}	Sensitivity linearity error ⁽⁴⁾	V _{OUT} is within V _L		±1%		
S _{SE}	Sensitivity symmetry error ⁽⁴⁾	V _{OUT} is within V _L		±1%		
S _{RE}	Sensitivity ratiometry error ⁽²⁾	T _A = 25°C, with respect to V _{CC} = 3.3 V or 5 V	-2.5%		2.5%	
S _{AL}	Sensitivity lifetime drift	High-temperature operating stress for 1000 hours		<0.5%		%

Magnetic Characteristics

ข้อมูลนี้แสดงถึง คุณลักษณะทางแม่เหล็ก (Magnetic Characteristics) ของเซนเซอร์ DRV5055 ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ โดยสรุปพารามิเตอร์สำคัญดังนี้

1. Quiescent Voltage (V_Q) แรงดันขณะไม่มีสนามแม่เหล็ก (B = 0) ที่แรงดัน 5V จะมีค่า 2.5V และที่แรงดัน 3.3V จะมีค่า 1.65V
2. Sensitivity (S) ความไวของเซนเซอร์ในการตรวจจับสนามแม่เหล็ก ซึ่งขึ้นอยู่กับรุ่นย่อยและแรงดันที่ใช้ เช่น DRV5055A1 มีความไวสูงสุดที่ 100 mV/mT (สำหรับ 5V)
3. Linear Magnetic Sensing Range (B_L) ช่วงของสนามแม่เหล็กที่เซนเซอร์สามารถวัดได้ในช่วงเชิงเส้น เช่น DRV5055A1 วัดได้ในช่วง ±21 mT (ที่ 5V)

4. Error Characteristics

- Sensitivity Temperature Compensation (S_{TC}): การชดเชยความไวตามอุณหภูมิ โดยมีค่า $\pm 0.12\% / ^\circ\text{C}$
- Sensitivity Linearity and Symmetry Errors (S_{LE}, S_{SE}): ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงเส้นและความสมมาตร $\pm 1\%$
- Sensitivity Ratiometry Error (S_{RE}): ความคลาดเคลื่อนของการวัดตามแรงดันที่จ่าย $\pm 2.5\%$

5. Sensitivity Lifetime Drift (S_{AL}): การเปลี่ยนแปลงความไวเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูง ($< 0.5\%$ ภายใน 1000 ชั่วโมง)

3.3. Magnetic Response

สมการการตอบสนองของสนามแม่เหล็ก (Magnetic Response) ของเซนเซอร์ DRV5055 ซึ่งอธิบายการคำนวณแรงดันเอาต์พุต (V_{OUT}) ที่เซนเซอร์จะส่งออกมาเมื่อได้รับสนามแม่เหล็ก โดยมีสมการดังนี้

$$V_{out} = V_Q + B \times \text{Sensitivity}_{25^\circ\text{C}} \times \left(1 + S_{TC} \times (T_A \pm 25^\circ\text{C}) \right)$$

รายละเอียดของแต่ละตัวแปรในสมการ

- V_Q แรงดันขณะไม่มีสนามแม่เหล็ก ซึ่งปกติจะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันจ่าย (V_{CC})
- B ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) ที่เซนเซอร์ตรวจจับได้
- $\text{Sensitivity}_{25^\circ\text{C}}$ ค่าความไวของเซนเซอร์ที่อุณหภูมิ 25°C ซึ่งขึ้นอยู่กับรุ่นย่อยของอุปกรณ์และแรงดันที่จ่าย
- S_{TC} อัตราการเปลี่ยนแปลงความไวของเซนเซอร์ตามอุณหภูมิ โดยทั่วไปมีค่า 0.12% ต่อ $^\circ\text{C}$
- TAT_ATA อุณหภูมิแวดล้อม (Ambient Temperature)
- V_{out} แรงดันเอาต์พุตของเซนเซอร์ ซึ่งจะอยู่ในช่วงแรงดันที่เซนเซอร์กำหนดให้เป็น V_L

3.4. Magnetic Response

Feature Description (continued)

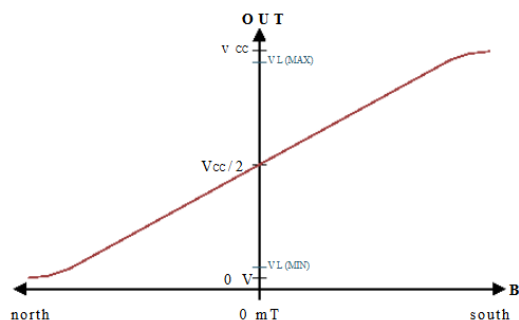


Figure 10. Magnetic Response

การตอบสนองของแรงดันเอาต์พุต (Output Voltage) ของเซนเซอร์ต่อสนามแม่เหล็ก (Magnetic Flux Density, B) ซึ่งเป็นกราฟเชิงเส้นที่บ่งบอกลักษณะการทำงานของ Hall Effect เมื่อสัมผัสกับสนามแม่เหล็กในทิศทางต่าง ๆ (North และ South)

3.5. Simulated Magnetic Flux

8.2.3 Application Curve

Figure 15 shows the simulated magnetic flux from a NdFeB magnet.

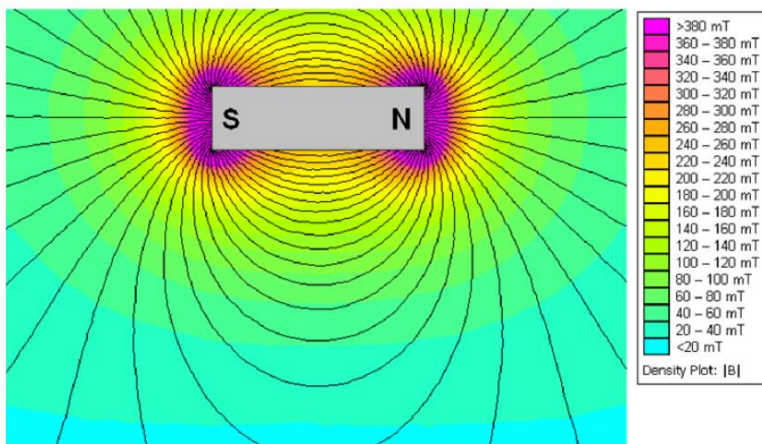


Figure 15. Simulated Magnetic Flux

Simulated Magnetic Flux

การจำลองนี้แสดงให้เห็นว่าความเข้มของสนามแม่เหล็กจะสูงที่สุดใกล้กับขั้วของแม่เหล็ก และลดลงเมื่อระยะห่างจากขั้วแม่เหล็กเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนสีในแต่ละระดับของแถบความเข้มทางขวามือเป็นการแสดงความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ลดลงเรื่อย ๆ เมื่อออกห่างจากขั้วแม่เหล็ก และบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กเข้มสูง (ใกล้ขั้ว S และ N) จะมีการกระจายฟลักซ์แม่เหล็กอย่างหนาแน่น ในขณะที่บริเวณที่อยู่ห่างออกไปจะมีสนามแม่เหล็กที่เข้มต่ำลง

วิธีการดำเนินการทดลอง

3.6. วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือพิเศษ

3.6.1. วัสดุอุปกรณ์

- DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor จำนวน 1 อัน
- Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด
- MagneticXplorer จำนวน 1 ชุด - ฐานสามารถบรรจุบอร์ดควบคุม, Breadboard, DRV5055, 3D Print ใช้สำหรับการปรับระยะแม่เหล็กถาวรกับ Sensor
- สายจัมเปอร์

3.6.2. Software

- MATLAB
- Simulink
- Excel

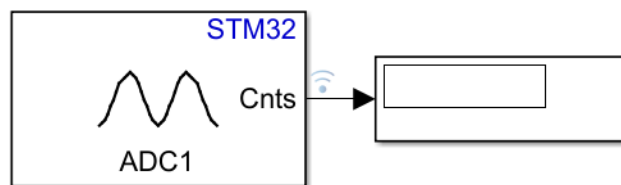
3.7. ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.7.1. ต่อสายจัมเปอร์

- GND (Nucleo STM32G474RE) to GND (DRV5055)
- 3V3 (Nucleo STM32G474RE) to Vin (DRV5055)
- A0 (Nucleo STM32G474RE) to Out (DRV5055)

3.7.2. การจำลองโมเดล

ในการทดลองเพื่อพิสูจน์สมมติฐานทั้ง 3 ข้อ จำเป็นต้องเก็บค่าที่ได้จาก Sensor เพื่อนำมาวิเคราะห์ โดยใช้ Simulink ในการสร้างโมเดลจำลองการเก็บค่าขึ้นมา



โมเดลจำลองอ่านค่า Raw Signal จาก Sensor

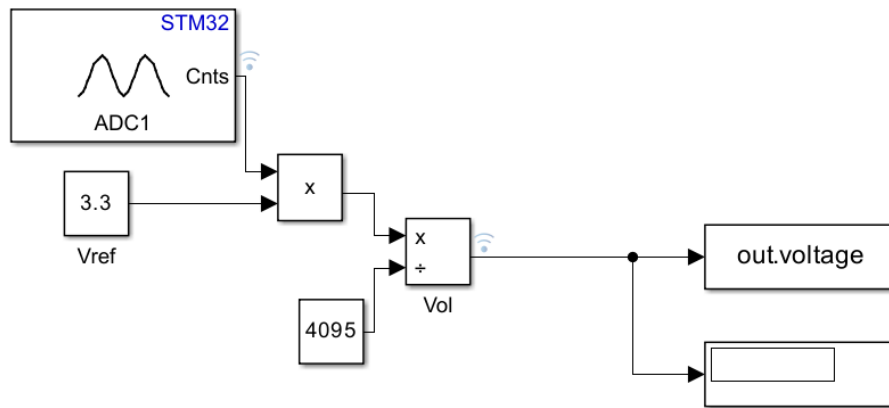
เมื่อต้องการนำ Raw Signal ไปวิเคราะห์เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้า ต้องทำการแปลง Raw Signal ให้เป็นแรงดันไฟฟ้า ดังสมการ

$$Voltage = \frac{Raw\ Signal}{2^{Resolution}} \times V_{ref}$$

โดยที่

- $2^{\text{Resolution}}$ คือ จำนวนระดับทั้งหมดที่สามารถแปลงสัญญาณได้ใน ADC ตามจำนวนบิตความละเอียดของ ADC (ในที่นี้จะแทนค่าเป็น 4095)
- V_{ref} คือ แรงดันอ้างอิงที่กำหนดขอบเขตสูงสุดในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (ในที่นี้จะแทนค่าเป็น 3.3 V ซึ่งเป็นแรงดันที่จ่ายเข้า Sensor)

ซึ่งสามารถสร้างเป็นโมเดลจำลองการแปลงค่าจาก Raw Signal เป็น Voltage ได้ดังนี้



โมเดลจำลองการแปลงค่า Raw Signal เป็น Voltage

เมื่อต้องการนำ Raw Signal ไปวิเคราะห์เพื่อให้ได้มาซึ่งค่า Magnetic Flux Density สามารถทำได้โดยใช้ Voltage ที่แปลงได้จากสมการก่อนหน้า มาแทนในสมการการหา Magnetic Response บน Datasheet ของ DRV5055 ดังต่อไปนี้

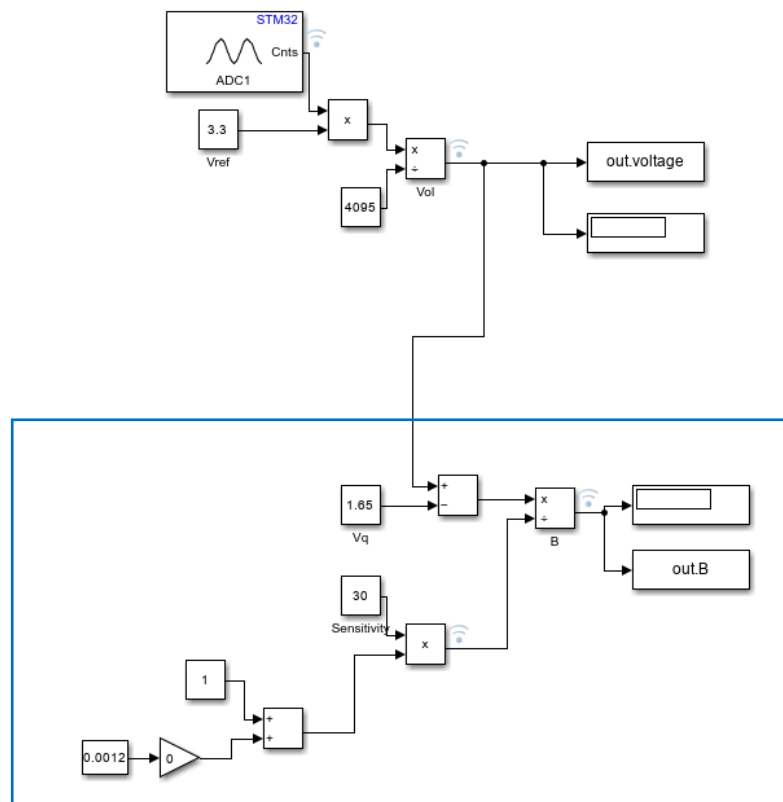
$$V_{out} = V_Q + B \times \text{Sensitivity}(25^\circ\text{C}) \times (1 + S_{ic} \times (T_A \pm 25^\circ\text{C}))$$

โดยที่

- V_{OUT} คือ แรงดันเอาต์พุตที่วัดได้จาก Sensor
- V_Q คือ แรงดันที่ Sensor ให้เมื่อไม่มีสนามแม่เหล็ก (Quiescent Voltage) หรือเมื่อ $B = 0$ โดยทั่วไปมักจะเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันอ้างอิง (ในที่นี้คือ 1.65 V)
- B คือ Magnetic Flux Density (ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก) มีหน่วยเป็น เทสลา (Tesla, T) หรือ มิลลิเทสลา (mT)

- Sensitivity คือ ค่าความไวของ Sensor ที่อุณหภูมิ 25°C (มีหน่วยเป็น V/mT) (ในที่นี้คือ 30 mV/mT)
- STC (Sensitivity Temperature Coefficient): อัตราการเปลี่ยนแปลงของความไวตามอุณหภูมิ (มีหน่วยเป็น %/°C) (ในที่นี้คือ 0.12 %/°C)
- TA คือ อุณหภูมิแวดล้อมในขณะวัด (°C) (ในที่นี้คือ 25°C)

ซึ่งสามารถสร้างเป็นโมเดลจำลองการแปลงค่าจาก Raw Signal เป็น Magnetic Flux Density ได้ดังนี้

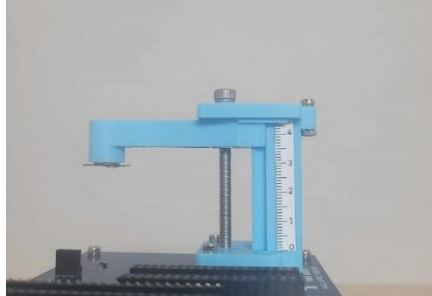


โมเดลจำลองการแปลงค่าจาก Raw Signal เป็น Magnetic Flux Density

3.7.3. เก็บค่า Raw Signal จาก DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

ออกแบบการเก็บค่าโดยตั้งให้แม่เหล็กอยู่บนสุดแล้วจึงหมุนสกรูเพื่อให้แม่เหล็กเคลื่อนที่ลงมาใกล้ Sensor โดยจะเคลื่อนที่ลงมาครั้งละ 1 cm. (อ้างอิงจาก Scale ที่ติดกับชุดการทดลอง) และเก็บค่า Raw Signal ที่ตำแหน่งนั้น ๆ เป็นเวลา 13 วินาที โดยมีความละเอียดของการเก็บข้อมูลอยู่ที่ 0.01 ดังนั้นจะได้ค่า Raw Signal ทั้งหมด 1,300 ค่า

โดยจะเลือกพิจารณาค่าจากวินาทีที่ 3 จนถึงวินาทีที่ 10 เพื่อเป็นการเลือกช่วงเวลาที่เหมือนกันของการเก็บค่า และลด Error หรือความแปรปรวนในช่วงเริ่มต้นการทำงานของ Sensor ได้ ดังนั้นจะได้ค่า Raw Signal ที่พิจารณาในแต่ละตำแหน่งทั้งหมด 1,000 ค่า



Scale ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor

โดยแบ่งการเก็บค่าออกเป็น 4 รูปแบบ (โดยกำหนดให้ A และ B แทนฝั่งของแม่เหล็ก เนื่องจากไม่สามารถระบุได้ว่าแม่เหล็กที่ติดตั้งกับชุดการทดลองหันขั้วไหนเข้าหา Sensor) ดังนี้

- 3.7.3.1. หันแม่เหล็กฝั่ง A เข้าหา Sensor (ไม่ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)
- 3.7.3.2. หันแม่เหล็กฝั่ง B เข้าหา Sensor (ไม่ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)
- 3.7.3.3. หันแม่เหล็กฝั่ง A เข้าหา Sensor (ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)
- 3.7.3.4. หันแม่เหล็กฝั่ง B เข้าหา Sensor (ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)
- 3.7.4. แปลงค่า Raw Signal เป็นแรงดันไฟฟ้าจากโมเดลที่ได้สร้างขึ้น
- 3.7.5. หาค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละระยะห่างระหว่าง Sensor และแม่เหล็ก
- 3.7.6. แปลงค่า Raw Signal เป็นค่า Magnetic Flux Density (ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก) จากโมเดลที่ได้สร้างขึ้น
- 3.7.7. หาค่าเฉลี่ยของ Magnetic Flux Density ในแต่ละระยะห่างระหว่าง Sensor และแม่เหล็ก
- 3.7.8. Plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของแม่เหล็กและ Sensor กับค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของแต่ละระยะห่างระหว่าง Sensor และแม่เหล็ก
- 3.7.9. Plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของแม่เหล็กและ Sensor กับค่า Magnetic Flux Density ของแต่ละระยะห่างระหว่าง Sensor และแม่เหล็ก
- 3.7.10. Plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยและค่า Magnetic Flux Density ของแต่ละระยะห่างระหว่าง Sensor กับแม่เหล็กทั้ง 2 ฝั่ง
- 3.7.11. สรุปผลการทดลอง
- 3.7.12. อภิปรายผลการทดลอง

ผลการทดลอง

จากการเก็บค่า Raw Signal จาก DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor ทั้ง 4 รูปแบบ ได้ผลการทดลองดังนี้

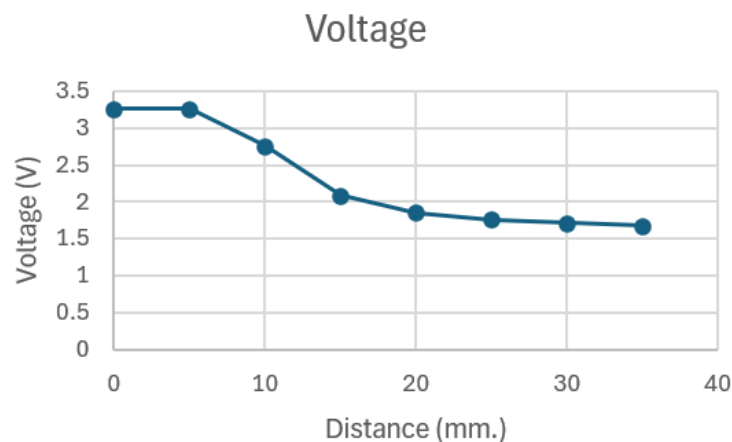
4.1. กรณีที่ไม่ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก

4.1.1. หินแม่เหล็กฝั่ง A เข้าหา Sensor

ระยะห่างระหว่างแม่เหล็ก และ Sensor (cm.)	Raw Signal ADC เฉลี่ย	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (V)	Magnetic Flux Density เฉลี่ย (T)
35	4174.170874	1.681900352	0.001063345
30	4251.068378	1.712884694	0.002096156
25	4372.727234	1.761904746	0.003730158
20	4593.614344	1.850906879	0.006696896
15	5175.006681	2.085167527	0.014505584
10	6852.884407	2.761235476	0.037041183
5	8091.795732	3.260430515	0.053681017
0	8093.950524	3.261298746	0.053709958

ค่าจากการวิเคราะห์ กรณีที่หินแม่เหล็กฝั่ง A เข้าหา Sensor (ไม่ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)

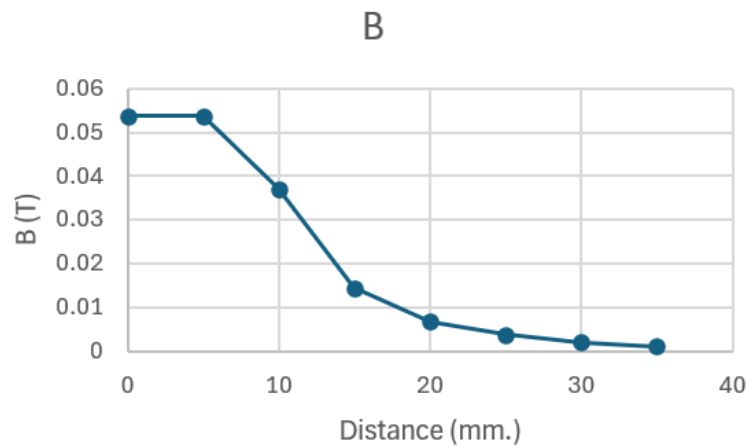
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor ที่เปลี่ยนไป จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังนี้



กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor

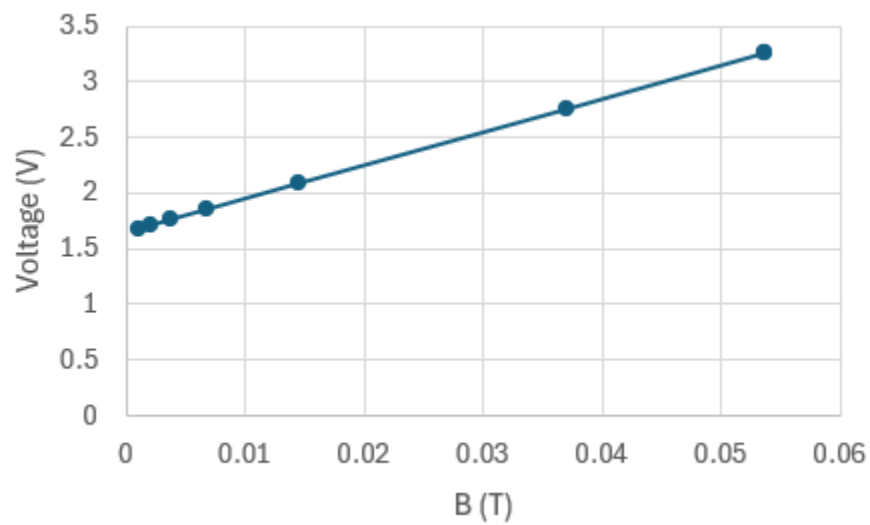
กรณีที่หินแม่เหล็กฝั่ง A เข้าหา Sensor (ไม่ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Magnetic Flux Density และระยะห่างระหว่างแม่เหล็ก และ Sensor ที่เปลี่ยนไป จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังนี้



กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density และระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor
กรณีที่หันแม่เหล็กฝั่ง A เข้าหา Sensor (ไม่ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Magnetic Flux Density และแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแต่ละตำแหน่ง จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังนี้



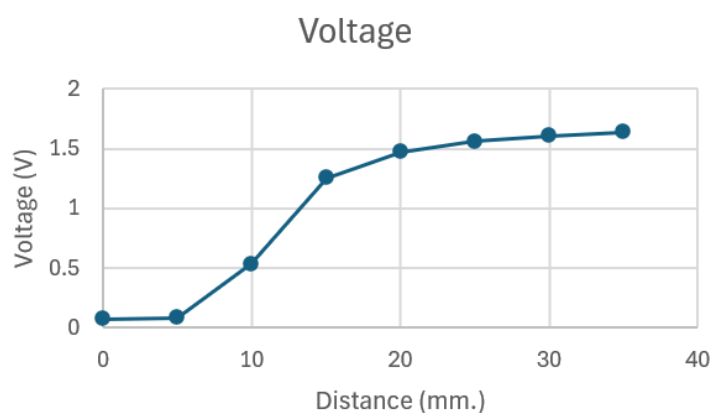
กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density และแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแต่ละตำแหน่ง
กรณีที่หันแม่เหล็กฝั่ง A เข้าหา Sensor (ไม่ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)

4.1.2. หินแม่เหล็กฝั่ B เข้าหา Sensor

ระยะห่างระหว่างแม่เหล็ก และ Sensor (cm.)	Raw Signal ADC เฉลี่ย	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (V)	Magnetic Flux Density เฉลี่ย (T)
35	4062.06779	1.636730611	-0.000442313
30	3988.241713	1.60698384	-0.001433872
25	3874.523034	1.561163127	-0.002961229
20	3650.181068	1.470768929	-0.005974369
15	3108.379782	1.252460718	-0.013251309
10	1326.053574	0.534307301	-0.037189757
5	207.6628008	0.083673656	-0.052210878
0	184.9586061	0.074525446	-0.052515818

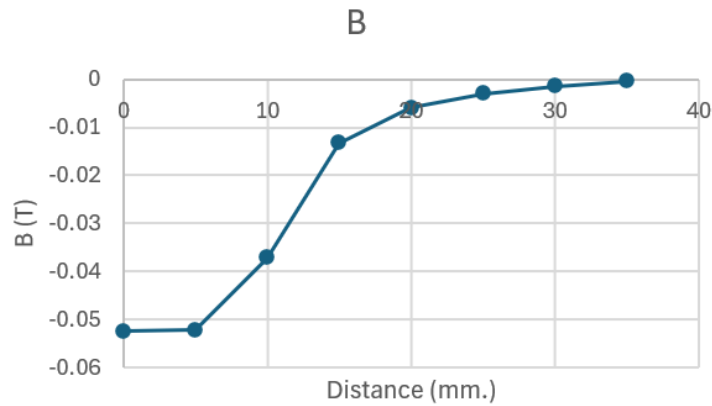
ค่าจากการวิเคราะห์ กรณีที่หินแม่เหล็กฝั่ B เข้าหา Sensor (ไม่ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor ที่เปลี่ยนไป จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังนี้



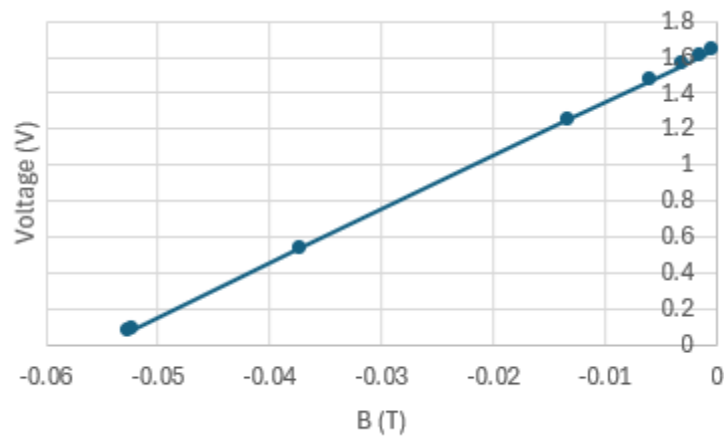
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor
กรณีที่หินแม่เหล็กฝั่ B เข้าหา Sensor (ไม่ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Magnetic Flux Density และระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor ที่เปลี่ยนไป จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังนี้



กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density และระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor
กรณีที่หันแม่เหล็กฝั่ง B เข้าหา Sensor (ไม่ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Magnetic Flux Density และแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแต่ละตำแหน่ง จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังนี้



กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density และแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแต่ละตำแหน่ง
กรณีที่หันแม่เหล็กฝั่ง B เข้าหา Sensor (ไม่ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)

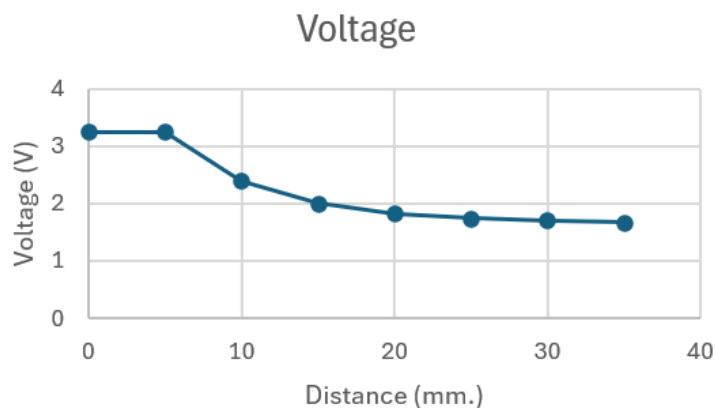
4.2. กรณีที่ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก

4.2.1. หันแม่เหล็กฝั่ง A เข้าหา Sensor (ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)

ระยะห่างระหว่างแม่เหล็ก และ Sensor (cm.)	Raw Signal ADC เฉลี่ย	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (V)	Magnetic Flux Density เฉลี่ย (T)
35	4153.256015	1.67347312	0.000782437
30	4241.618448	1.70907703	0.001969234
25	4346.130835	1.751188248	0.003372942
20	4544.10606	1.830958486	0.00603195
15	4974.321491	2.004305363	0.011810179
10	5963.249029	2.402774334	0.025092478
5	8088.199087	3.258981317	0.053632711
0	8071.356166	3.252194792	0.053406493

ค่าจากการวิเคราะห์ กรณีที่หันแม่เหล็กฝั่ง A เข้าหา Sensor (ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)

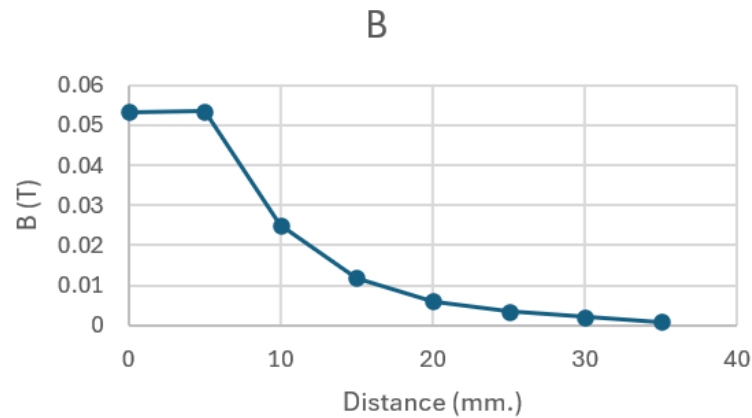
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor ที่เปลี่ยนไป จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังนี้



กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor

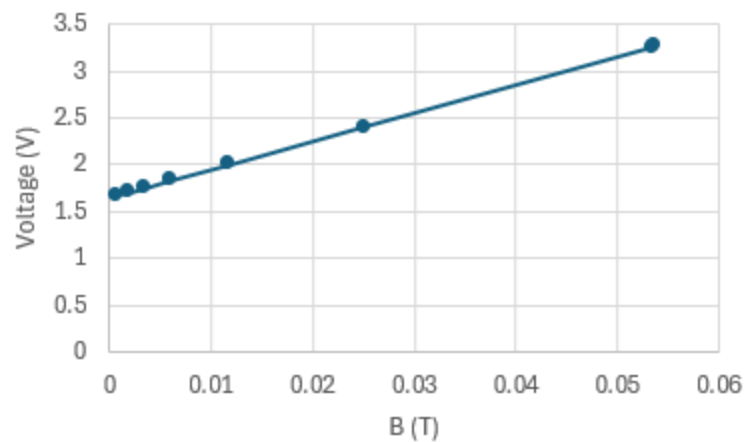
กรณีที่หันแม่เหล็กฝั่ง A เข้าหา Sensor (ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Magnetic Flux Density และระยะห่างระหว่างแม่เหล็ก และ Sensor ที่เปลี่ยนไป จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังนี้



กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density และระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor
กรณีที่หันแม่เหล็กฝั่ง A เข้าหา Sensor (ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Magnetic Flux Density และแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแต่ละตำแหน่ง จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังนี้



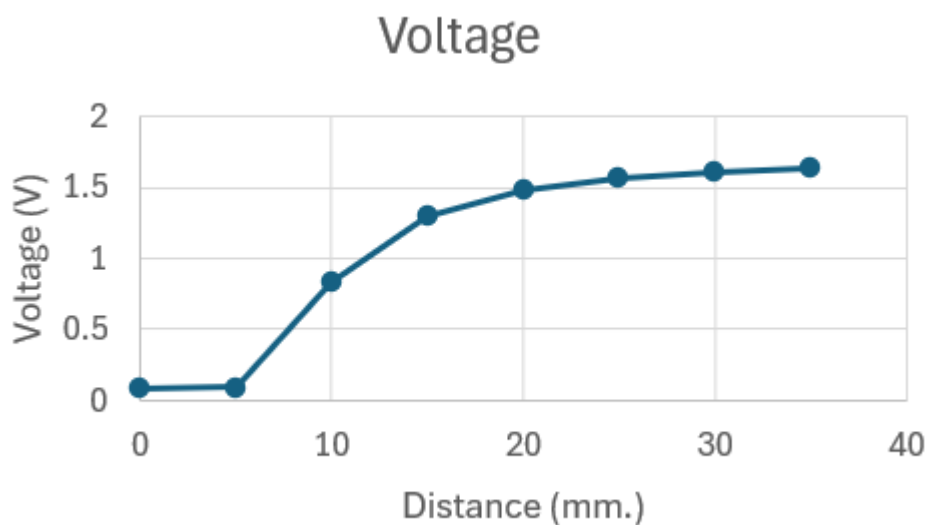
กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density และแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแต่ละตำแหน่ง
กรณีที่หันแม่เหล็กฝั่ง A เข้าหา Sensor (ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)

4.2.2. หินแม่เหล็กฝั่ B เข้าหา Sensor (ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)

ระยะห่างระหว่างแม่เหล็ก และ Sensor (cm.)	Raw Signal ADC เฉลี่ย	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (V)	Magnetic Flux Density เฉลี่ย (T)
35	4056.681809	1.634560436	-0.000514652
30	3991.738507	1.608392805	-0.001386907
25	3884.709867	1.565267712	-0.00282441
20	3683.926822	1.484366119	-0.005521129
15	3233.463539	1.302860767	-0.011571308
10	2047.661138	0.825064927	-0.027497836
5	221.3923582	0.089205712	-0.052026476
0	209.9533902	0.084596604	-0.052180113

ค่าจากการวิเคราะห์ กรณีที่หินแม่เหล็กฝั่ B เข้าหา Sensor (ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)

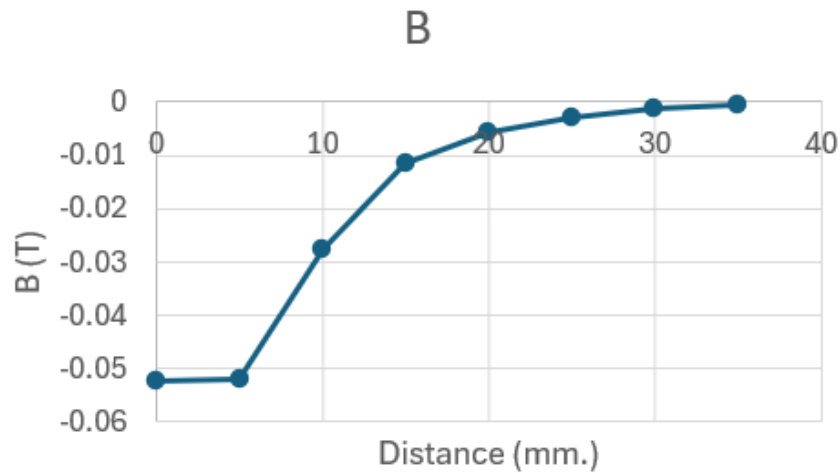
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor ที่เปลี่ยนไป จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังนี้



กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor

กรณีที่หินแม่เหล็กฝั่ B เข้าหา Sensor (ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)

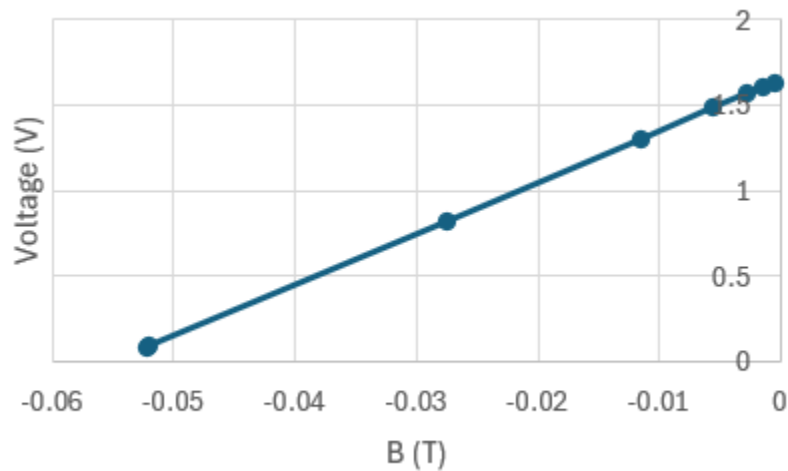
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Magnetic Flux Density และระยะห่างระหว่างแม่เหล็ก และ Sensor ที่เปลี่ยนไป จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังนี้



กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density และระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor

กรณีที่หันแม่เหล็กฝั่ง B เข้าหา Sensor (ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Magnetic Flux Density และแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแต่ละตำแหน่ง จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังนี้

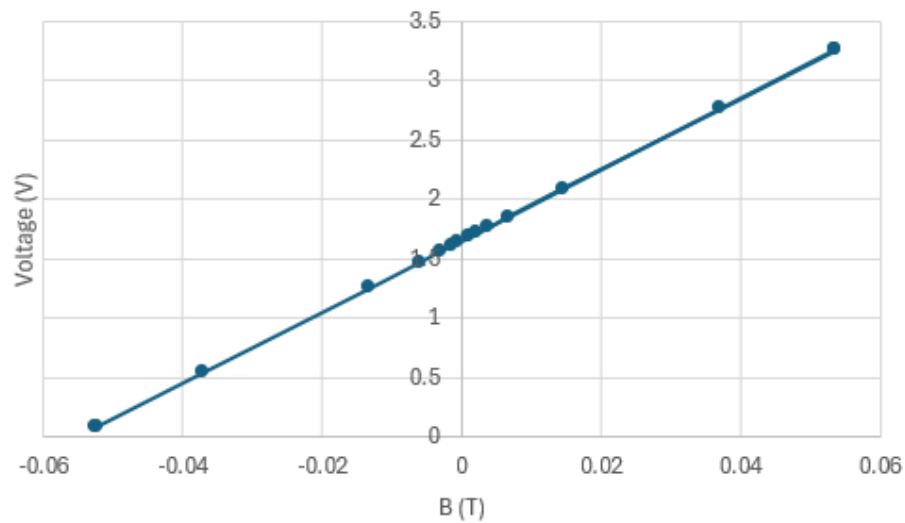


กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density และแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแต่ละตำแหน่ง

กรณีที่หันแม่เหล็กฝั่ง B เข้าหา Sensor (ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)

เมื่อนำค่า Magnetic Flux Density และแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 ผังแม่เหล็กในแต่ละกรณี มา Plot รวมกันจะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Magnetic Flux Density และแรงดันไฟฟ้า หรือ Magnetic Response ดังนี้

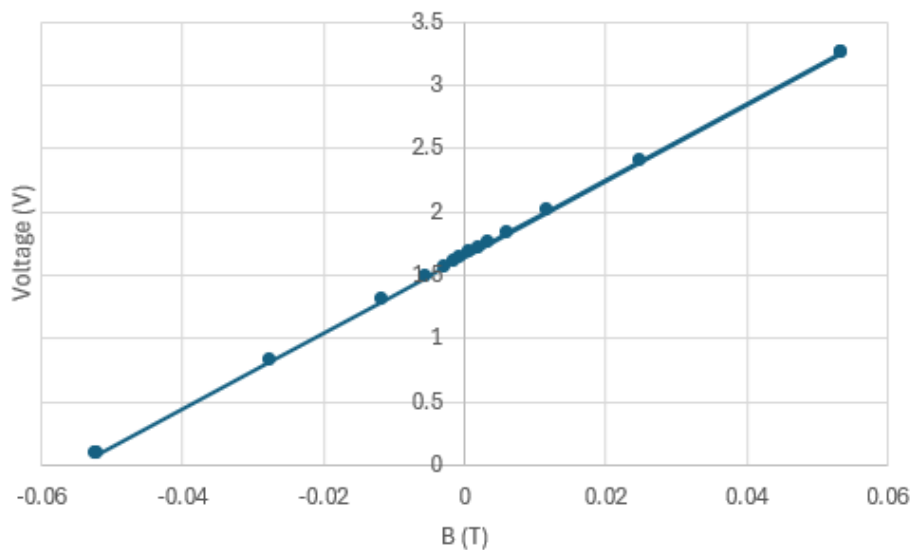
กรณีที่ 1 ไม่ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก



กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density และแรงดันไฟฟ้า

กรณีที่ 1 ไม่ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก

กรณีที่ 2 ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก



กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density และแรงดันไฟฟ้า

กรณีที่ 2 ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก

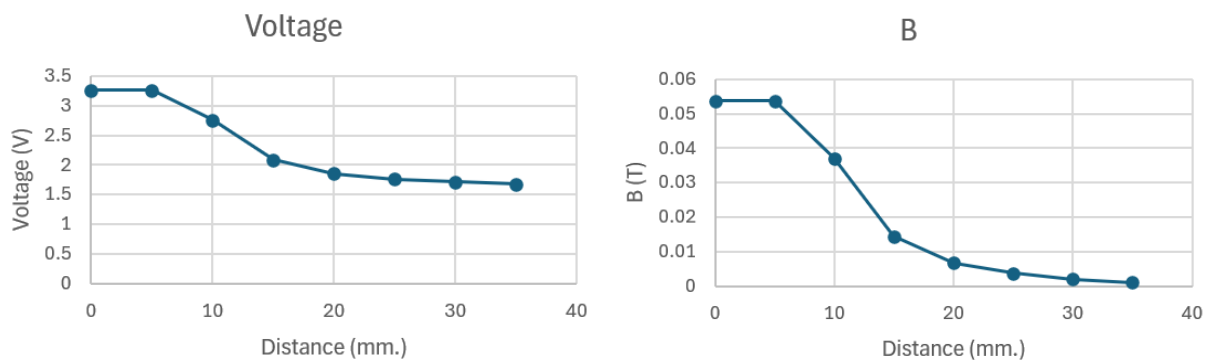
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผลการทดลอง

5.1.1. **สมมติฐานที่ 1:** Magnetic Flux Density และ Voltage จาก Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor จะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor

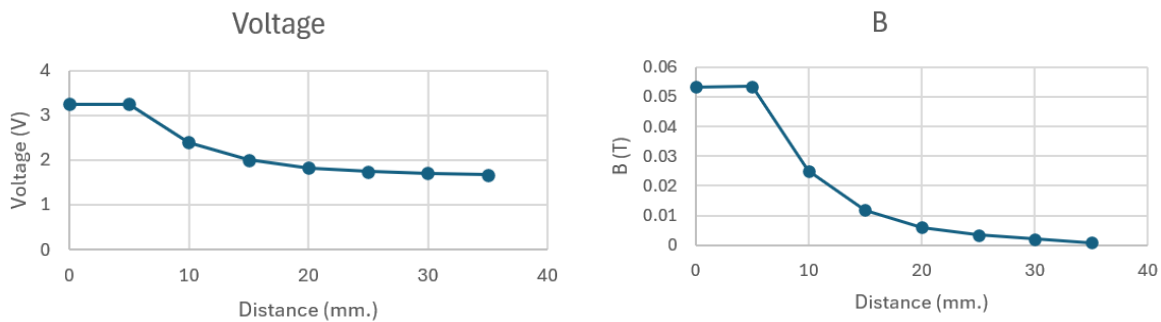
จากการทดลองเห็นได้ว่า Magnetic Flux Density และ Voltage จาก Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor จะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor เป็นจริง

กรณีที่ 1 หันแม่เหล็กฝั่ง A เข้าหา Sensor



กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า และ Magnetic Flux Density กับระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor

กรณีที่หันแม่เหล็กฝั่ง A เข้าหา Sensor (ไม่ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)



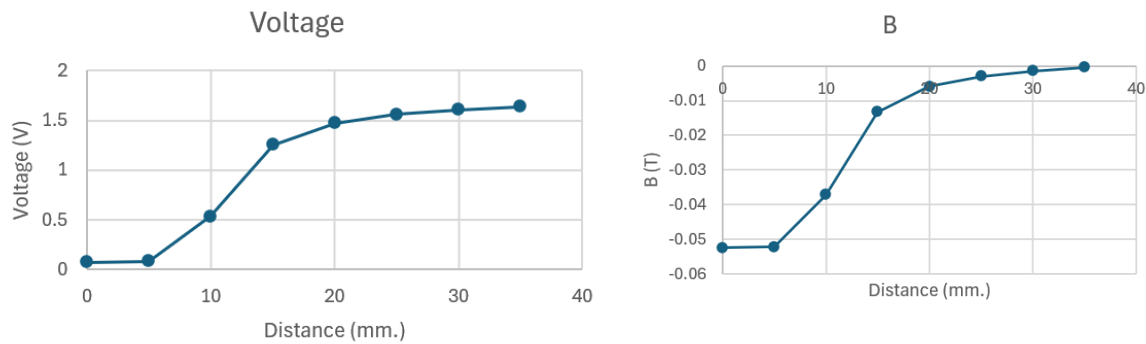
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า และ Magnetic Flux Density กับระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor

กรณีที่หันแม่เหล็กฝั่ง A เข้าหา Sensor (ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)

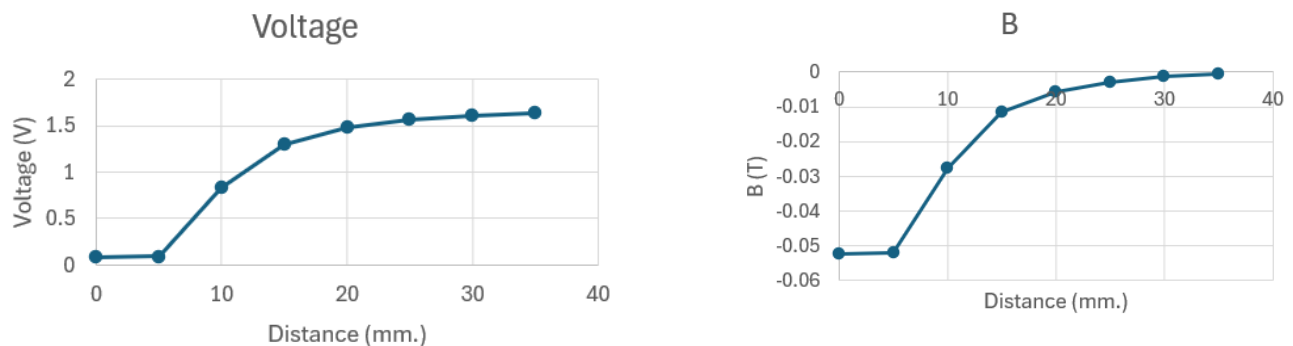
จากกราฟและข้อมูลของทั้งการทดลองที่ติดและไม่ติดแผ่นเหล็ก พบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับ Sensor ลดลง (แม่เหล็กเข้าใกล้ Sensor มากขึ้น) แรงดันไฟฟ้าที่ Sensor มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างชัดเจน

ในทางกลับกัน เมื่อระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับ Sensor เพิ่มขึ้น (แม่เหล็กอยู่ห่างจาก Sensor มากขึ้น) แรงดันไฟฟ้าจะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของความเข้มสนามแม่เหล็กที่ Sensor ตรวจจับได้

กรณีที่ 2 หันแม่เหล็กฝั่ง B เข้าหา Sensor



กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า และ Magnetic Flux Density กับระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor
กรณีที่หันแม่เหล็กฝั่ง B เข้าหา Sensor (ไม่ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)



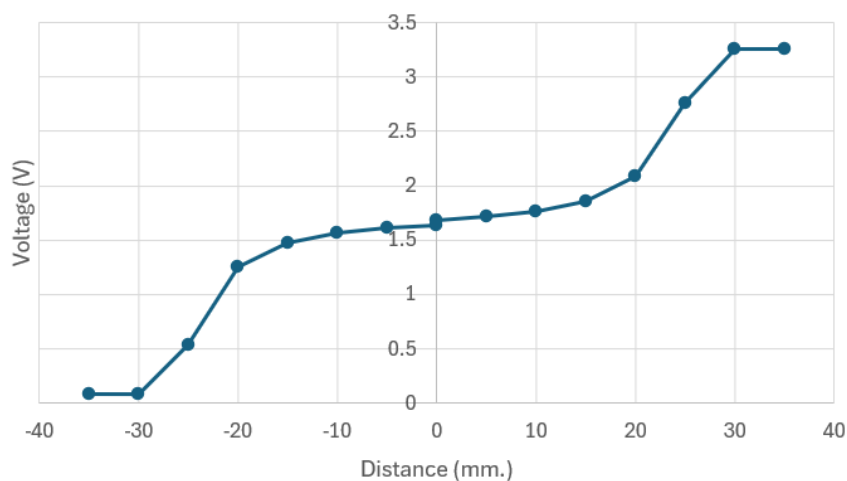
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า และ Magnetic Flux Density กับระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor
กรณีที่หันแม่เหล็กฝั่ง B เข้าหา Sensor (ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก)

จากกราฟและข้อมูลของทั้งการทดลองที่ติดและไม่ติดแผ่นเหล็ก พบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับ Sensor ลดลง (แม่เหล็กเข้าใกล้ Sensor มากขึ้น) แรงดันไฟฟ้าที่ Sensor มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน และเมื่อถึงระยะที่ใกล้กับ Sensor มาก ๆ ค่าแรงดันจะคงที่และมีค่าเข้าใกล้ศูนย์

ในทางกลับกัน เมื่อระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับ Sensor เพิ่มขึ้น (แม่เหล็กอยู่ห่างจาก Sensor มากขึ้น) แรงดันไฟฟ้าจะเพิ่ม โดยจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในช่วง 5–15 mm. หลังจากนั้นค่าจะเริ่มคงที่ (มีการเปลี่ยนแปลงน้อยลง)

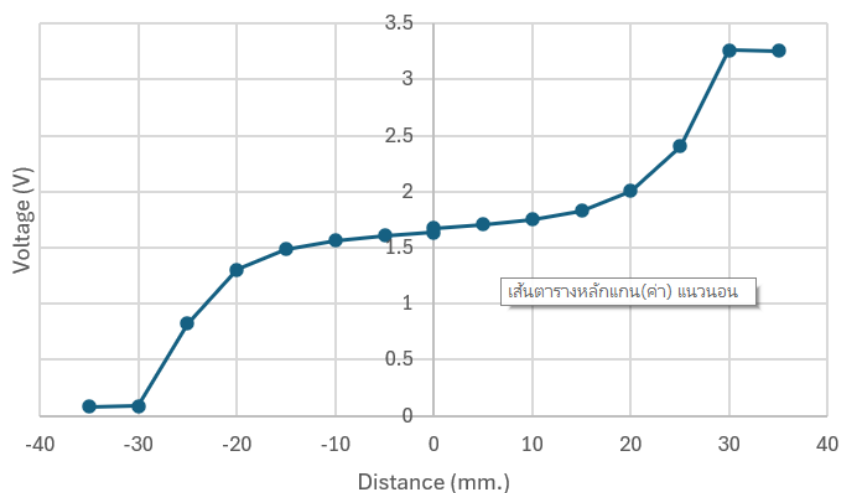
ซึ่งเมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและระยะห่างระหว่าง Sensor และแม่เหล็ก ของการทดลองทั้ง 2 ฝั่งแม่เหล็ก มา Plot กราฟรวมกัน โดยแยกกรณีการติดและไม่ติดแผ่นเหล็ก จะได้กราฟดังนี้

กรณีที่ 1 ไม่ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก



กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor
กรณีไม่ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก

กรณีที่ 2 ติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก



กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor
กรณีติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก

จะเห็นว่าช่วงของแรงดันจะอยู่ระหว่าง 0-3.3 V ซึ่งเป็นแรงดัน Input ของระบบ และที่ระยะ 0 mm. แรงดันจาก Sensor จะอยู่กึ่งกลางของแรงดัน Input ซึ่งมีค่าประมาณ 1.65 V

- 5.1.2. **สมมติฐานที่ 2:** การป้องกันสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Shielding) มีผลต่อ Magnetic Flux Density ซึ่งจะทำให้สัญญาณ Output เปลี่ยนแปลงไปตามสัดส่วนที่ชัดเจน

จากผลการทดลองในกรณีที่มีการติดแผ่นเหล็กที่แม่เหล็ก และไม่ติดแผ่นเหล็กที่แม่เหล็ก พบว่าสัญญาณ Output และกราฟมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเดียวกัน แต่ค่าที่ได้จากกรณีที่ติดแผ่นเหล็กจะมีค่าน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีติดแผ่นเหล็กเล็กน้อยในทุก ๆ ระยะห่างระหว่าง Sensor และแม่เหล็ก

แต่ในช่วง 5-15 mm. ของทั้ง 2 กรณี กราฟมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

- 5.1.3. **สมมติฐานที่ 3:** เมื่อสลับฝั่งแม่เหล็กที่หันเข้าหา Sensor จะส่งผลให้ Magnetic Flux Density มีแนวโน้มเปลี่ยนไปตามระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor

จากผลการทดลองพบว่าการสลับฝั่งแม่เหล็กที่หันเข้าหา Sensor จะส่งผลให้ Magnetic Flux Density มีแนวโน้มเปลี่ยนไปตามระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor เป็นจริง

โดยที่เมื่อหันแม่เหล็กฝั่ง A เข้าหา Sensor ทั้งแรงดันไฟฟ้าและค่า Magnetic Flux Density จะมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ เมื่อระยะห่างระหว่าง Sensor และแม่เหล็กเพิ่มขึ้น

ในทางกลับกันเมื่อหันแม่เหล็กฝั่ง B เข้าหา Sensor ทั้งแรงดันไฟฟ้าและค่า Magnetic Flux Density จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อระยะห่างระหว่าง Sensor และแม่เหล็กเพิ่มขึ้น

5.2. อภิปรายผลการทดลอง

- 5.2.1. **สมมติฐานที่ 1:** Magnetic Flux Density และ Voltage จาก Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor จะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor

จากการทดลองเห็นได้ว่า Magnetic Flux Density และ Voltage จาก Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor จะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor เป็นจริง ทั้งนี้เป็นเพราะระยะห่างมีผลต่อการวัดค่าสนามแม่เหล็ก ซึ่งสาเหตุหลัก ๆ มีดังนี้

- การลดทอนของสนามแม่เหล็กตามระยะห่าง
เนื่องจากความเข้มของสนามแม่เหล็กจะลดลงตามระยะทางจากแหล่งกำเนิด (แม่เหล็ก)
ซึ่งเป็นไปตามกฎการกระจายของสนามแม่เหล็กในระยะไกลออกไป

8.2.3 Application Curve

Figure 15 shows the simulated magnetic flux from a NdFeB magnet.

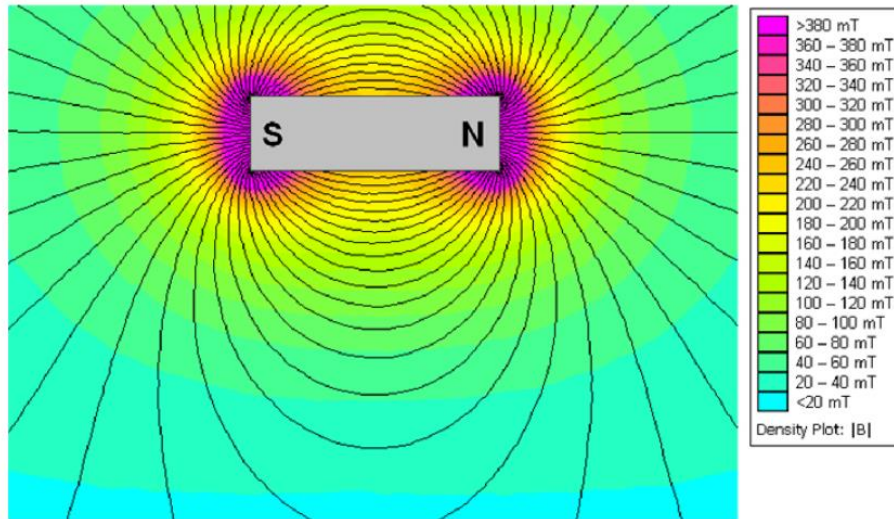


Figure 15. Simulated Magnetic Flux

การจำลองเส้นฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux)

ในการวัดของ Hall Effect หรือ Sensor แม่เหล็กอื่น ๆ เมื่อระยะห่างระหว่าง Sensor กับแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ Sensor รับรู้ได้จะลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้ค่าของ Magnetic Flux Density ลดลงตามระยะห่างที่เพิ่มขึ้น

- ผลกระทบของระยะห่างต่อแรงดันเอาต์พุตของ Sensor
Hall Effect จะแปลงสนามแม่เหล็กที่วัดได้ให้เป็นแรงดัน Output โดยแรงดัน Output นี้จะมีความสัมพันธ์กับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ตรวจจับได้
เมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น สนามแม่เหล็กที่ Sensor วัดได้จะลดลง ส่งผลให้แรงดันที่ Sensor จ่ายออกมาลดลงด้วย ในขณะที่หากระยะห่างลดลง สนามแม่เหล็กจะมีความเข้มสูงขึ้น และแรงดันที่ Sensor จ่ายออกมาจะสูงขึ้น
- การลดลงของ Magnetic Flux Density ตามกฎผกผันกำลังสอง
สนามแม่เหล็กจะลดลงตามระยะทางจากแหล่งกำเนิดโดยเป็นอัตราผกผันกำลังสองของระยะทาง (Inverse Square Law) ซึ่งหมายความว่าหากเพิ่มระยะห่างเป็นสองเท่า ความเข้มของสนามแม่เหล็กจะลดลงเป็นสี่เท่า

ดังนั้น เมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กจะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลต่อแรงดันที่ Sensor วัดได้

5.2.2. **สมมติฐานที่ 2:** การป้องกันสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Shielding) มีผลต่อ Magnetic Flux Density ซึ่งจะทำให้สัญญาณ Output เปลี่ยนแปลงไปตามสัดส่วนที่ชัดเจน

จากข้อมูลที่แสดง การที่ค่า แรงดันไฟฟ้า (Voltage) และ Magnetic Flux Density (B) ในกรณี ที่ติดแผ่นเหล็กมีค่าต่ำกว่ากรณีที่ไม่ได้ติดแผ่นเหล็กอาจเกิดจากสาเหตุดังนี้

- การกระจายสนามแม่เหล็กของแผ่นเหล็ก

แผ่นเหล็กจะทำให้สนามแม่เหล็กกระจายไปในทิศทางที่ไม่มุ่งตรงไปยัง Sensor โดยตรง ซึ่งทำให้ Sensor รับสนามแม่เหล็กได้น้อยลง

แผ่นเหล็กมีคุณสมบัติในการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก แต่ในบางกรณีอาจทำให้ สนามแม่เหล็กกระจายไปในทิศทางอื่นแทนที่จะแรงเข้มข้นไปในแนวเดียวกับ Sensor

- การลดทอนของสนามแม่เหล็ก

แผ่นเหล็กที่ติดอยู่กับแม่เหล็กทำให้สนามแม่เหล็กถูกลดทอนลงก่อนถึง Sensor โดยเฉพาะถ้าแผ่นเหล็กอยู่ในตำแหน่งที่สนามแม่เหล็กส่วนหนึ่งต้องผ่านแผ่นเหล็กก่อนถึง Sensor

ในกรณีที่แผ่นเหล็กทำให้สนามแม่เหล็กกระจายตัวออกไป การเหนี่ยวนำของ สนามแม่เหล็กไปยัง Sensor จะลดลง ส่งผลให้ค่า Magnetic Flux Density และแรงดันที่ วัดได้ต่ำลง

- ผลกระทบของความหนาของแผ่นเหล็ก

หากแผ่นเหล็กมีความหนา จะสามารถดูดซับสนามแม่เหล็กได้มากขึ้นและอาจทำให้ สนามแม่เหล็กที่ส่งไปยัง Sensor ลดลง ส่งผลให้ค่าที่ Sensor วัดได้ต่ำลง

5.2.3. **สมมติฐานที่ 3:** เมื่อสลับฝั่งแม่เหล็กที่หันเข้าหา Sensor จะส่งผลให้ Magnetic Flux Density มีแนวโน้มเปลี่ยนไปตามระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor

จากผลการทดลองพบว่าการสลับฝั่งแม่เหล็กที่หันเข้าหา Sensor จะส่งผลให้ Magnetic Flux Density มีแนวโน้มเปลี่ยนไปตามระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ Sensor เป็นจริง เนื่องจากการกลับ ฝั่งแม่เหล็ก (เปลี่ยนขั้วแม่เหล็ก) จะส่งผลให้ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่ Sensor ตรวจจับมีการ เปลี่ยนแปลง ทิศทางของสนามแม่เหล็กส่งผลโดยตรงต่อการวัดของ Hall Effect ที่ใช้ในการตรวจจับ สนามแม่เหล็ก โดยมีเหตุผลดังนี้

- การตรวจจับสนามแม่เหล็กของ Sensor

Hall Effect มักจะตรวจจับสนามของสนามแม่เหล็ก ซึ่งทิศทางที่เข้ามาจากขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) ของแม่เหล็กจะให้ผลการวัดที่ต่างกัน

เมื่อเปลี่ยนขั้วของแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กที่ส่งมาถึง Sensor จะกลับทิศ ส่งผลให้แรงดันที่ Sensor อ่านได้เปลี่ยนไปตามทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็กนั้น ๆ

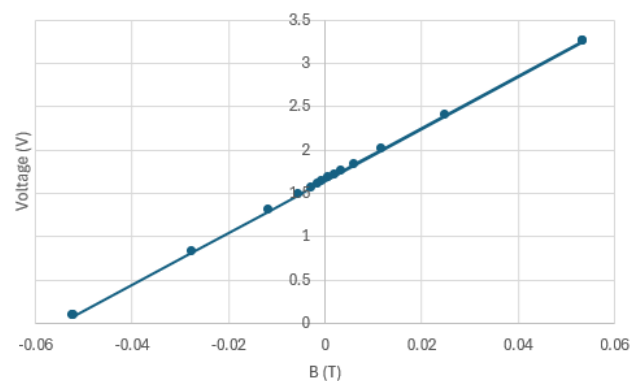
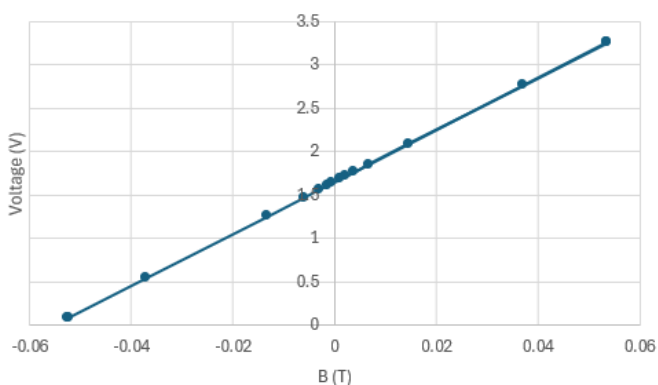
- ผลลัพธ์เป็นขั้วบวกหรือลบของสนามแม่เหล็ก

การกลับขั้วแม่เหล็กทำให้ค่า Magnetic Flux Density (B) ที่ Sensor วัดได้เปลี่ยนทิศ โดยปกติขั้วหนึ่งของแม่เหล็กจะสร้างค่า B เป็นบวก และอีกขั้วหนึ่งจะสร้างค่า B เป็นลบ ซึ่งแสดงถึงทิศทางที่ตรงข้ามกันของสนามแม่เหล็ก

ดังนั้น เมื่อกลับขั้วแม่เหล็ก ค่า B ที่ Sensor วัดได้ก็จะเปลี่ยนขั้วเช่นกัน จากบวกเป็นลบ หรือจากลบเป็นบวก ทำให้กราฟของค่า B มีลักษณะต่างกัน

ดังนั้นการกลับขั้วของแม่เหล็กทำให้ทิศทางและขั้วของสนามแม่เหล็กที่ Sensor วัดได้เปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ค่า Magnetic Flux Density และแรงดันไฟฟ้าที่ Sensor อ่านได้แตกต่างกัน ซึ่งจะสะท้อนออกมาในกราฟที่มีลักษณะแตกต่างกัน

โดยจากการนำผลทดลองไปเทียบกับ Datasheet จะพบว่าฝั่งของแม่เหล็กที่แทนเป็น A ซึ่งให้ค่า Magnetic Flux Density เป็นบวก และฝั่งของแม่เหล็กที่แทนเป็น B ซึ่งให้ค่า Magnetic Flux Density เป็นลบ เมื่อเปรียบเทียบกับ Datasheet สามารถสรุปได้ว่าแม่เหล็กฝั่ง A เป็นแม่เหล็กขั้วใต้ และแม่เหล็กฝั่ง B เป็นแม่เหล็กขั้วเหนือ



กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density และแรงดันไฟฟ้า

กรณีที่ไม่ได้ติดแผ่นเหล็กและติดแผ่นเหล็กกับแม่เหล็ก ตามลำดับ

Feature Description (continued)

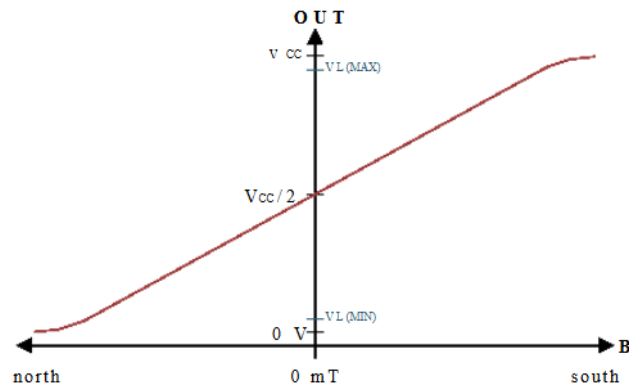


Figure 10. Magnetic Response

กราฟ Magnetic Response

จากกราฟใน Datasheet ที่ช่วงต้นและช่วงปลายของกราฟคงที่ซึ่งเกิดขึ้นจากการทำงานของ Sensor ในขอบเขตของแรงดันไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่ Sensor สามารถตรวจจับได้ตามข้อจำกัดของอุปกรณ์ โดยสาเหตุที่ช่วงต้นและปลายคงที่ มีดังนี้

- Saturation (การอิ่มตัวของ Sensor)

ในช่วงที่สนามแม่เหล็กมีความเข้มสูงมาก (มากกว่าช่วงการทำงานของ Sensor) Sensor จะเข้าสู่สภาวะอิ่มตัว (Saturation) ทำให้แรงดันเอาต์พุตไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้อีก แม้ว่าค่า B จะเพิ่มขึ้นก็ตาม

ช่วงปลายด้านบวกของกราฟจะคงที่เมื่อสนามแม่เหล็กเข้าสู่จุดอิ่มตัวทางบวก และช่วงต้นด้านลบของกราฟจะคงที่เมื่อสนามแม่เหล็กเข้าสู่จุดอิ่มตัวทางลบ

- Limits of Output Voltage (ขีดจำกัดของแรงดันเอาต์พุต)

Hall Effect มีแรงดัน Output สูงสุดและต่ำสุดที่สามารถส่งออกได้ เช่น V_{cc} (แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของวงจร) และ $0V$ (แรงดันต่ำสุด)

เมื่อสนามแม่เหล็กแรงเกินกว่าช่วงที่ Sensor สามารถตรวจจับได้ แรงดัน Output จะถึงขีดจำกัดสูงสุด (V_{cc}) หรือขีดจำกัดต่ำสุด ($0V$) ส่งผลให้กราฟคงที่ในช่วงต้นและปลาย

- Linear Range of Operation (ช่วงการทำงานเชิงเส้น):

Hall Effect มีช่วงการทำงานเชิงเส้นที่จำกัด ในช่วงนี้กราฟจะแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่า B กับแรงดันเอาต์พุต

เมื่อออกนอกช่วงการทำงานเชิงเส้น (ทั้งทางบวกและทางลบ) Sensor จะไม่ตอบสนองตามเส้นตรงอีกต่อไป ทำให้กราฟคงที่

ทั้งนี้ในการทดลองจริงและสร้างกราฟจากผลการทดลองจะไม่เห็นช่วงที่มีค่าคงที่ เนื่องจากข้อจำกัดด้านการปรับระยะห่างระหว่าง Sensor และแม่เหล็ก ซึ่งปรับได้สูงสุดเพียง 35 mm. ซึ่งยังทำให้สนามแม่เหล็กอยู่ในขอบเขตการทำงานของ Sensor

และค่า Magnetic Flux Density ที่ได้จากการทดลอง จะอยู่ในช่วง -52 mT ถึง 53 mT ซึ่งแตกต่างจากค่า Linear magnetic sensing range (BL) ของ DRV5055A2 ที่ VCC 3.3 V และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่ระบุไว้ในช่วง -44 mT ถึง 44 mT เนื่องด้วยสาเหตุดังนี้

- อาจระบุได้ว่าช่วง -44 mT ถึง 44 mT เป็นช่วงที่ Sensor สามารถวัดได้อย่างแม่นยำและตอบสนองเชิงเส้นตามค่าความไว (Sensitivity) ที่กำหนด
- Sensor อาจมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่จ่ายหรืออุณหภูมิ แม้ว่าการทดลองจะระบุอุณหภูมิที่ 25°C แต่การเบี่ยงเบนเพียงเล็กน้อยอาจส่งผลกระทบต่อช่วงการตรวจจับของ Sensor นอกจากนี้ หากมีการเปลี่ยนแปลงในแรงดันที่จ่าย (V_{CC}) หรือเกิดการรบกวนในระบบ ก็อาจทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อนออกนอกช่วงปกติ
- ความผิดพลาดในการคำนวณหรือแปลงค่าจากแรงดัน Output เป็น Magnetic Flux Density มีความคลาดเคลื่อน เช่น ตัวแปรอุณหภูมิที่อาจไม่ตรงกับสภาพแวดล้อมที่ทดลองจริง และแรงดันที่จ่าย เป็นต้น

5.3. ข้อเสนอแนะ

- 3D Print ที่ใช้สำหรับยึดติดแม่เหล็กและใช้สำหรับปรับความสูงของแม่เหล็กไม่มั่นคงซึ่งส่งผลให้ Scale ที่เกิดขึ้นจริงและ Scale จากชุดทดลองต่างกันเล็กน้อย
- บริเวณช่องใส่แม่เหล็ก เมื่อใส่แม่เหล็กลงในช่องจะสังเกตได้ว่าแม่เหล็กไม่ได้ตั้งขนานกับพื้น ซึ่งอาจส่งผลต่อค่า Magnetic Flux Density ที่คลาดเคลื่อนได้
- แผ่นเหล็กที่ใช้สำหรับทดลองมีขนาดบางกว่า 1 mm. ซึ่งอาจทำให้เห็นความแตกต่างของ Output ระหว่างการติดแผ่นเหล็กไว้ที่แม่เหล็กและไม่ติดแผ่นเหล็กไว้ที่แม่เหล็กได้น้อย หากเพิ่มความหนาของแผ่นเหล็ก อาจทำให้เห็นความแตกต่างระหว่าง 2 กรณีได้ชัดเจน

อ้างอิง

1. DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Sensor

[DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Sensor datasheet \(Rev. B\)](#)

Single Point Load Cell with INA125 Instrumentation Amplifier

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจหลักการทำงานของ Load Cell, วงจร Wheatstone Bridge, Strain Gauge, และ 2 Op-amps Differential Amplifier รวมถึงวิธีการวัดสัญญาณ Output ที่ได้จาก Load Cell เมื่อแรงที่กระทำเปลี่ยนแปลง
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Gain และค่าความต้านทานของ Single External Resistor และผลกระทบต่อ การวัดค่าของ Load Cell
3. เพื่อศึกษากระบวนการ Signal Conditioning ตั้งแต่การอ่านค่า จัดการข้อมูล จนถึงการ Calibrate Sensor เพื่อ เข้าใจที่มาของข้อมูลจาก Load Cell
4. เพื่อออกแบบและประยุกต์การใช้งาน Load Cell ร่วมกับ INA125 Instrumentation Amplifier เพื่อเพิ่มความ แม่นยำของการวัดแรงที่กระทำต่อ Load Cell
5. เพื่อประยุกต์การใช้งาน MATLAB และ Simulink เพื่อสั่งการและรับค่าสัญญาณจากบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจาก Load Cell ผ่าน INA125 เป็น Input และแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของ สัญญาณแบบ Real-Time
6. เพื่อทดสอบการเชื่อมต่อและการทำงานของ Load Cell กับวงจร Signal Conditioning เพื่อตรวจสอบความ ถูกต้องของค่าที่วัดได้
7. เพื่อทดสอบการ Log สัญญาณจาก Load Cell ใน MATLAB Simulink และตรวจสอบว่าสัญญาณ Output แปรผันตามสัญญาณ Input ตามเวลาจริง พร้อมแสดงผลเป็นน้ำหนักในหน่วย SI derived

สมมติฐาน

1. การตอบสนองของ Load Cell มีการตอบสนองที่เชิงเส้นเมื่อมีแรงมากระทำ โดย Output Voltage จะแปรผันตามแรงที่กระทำแบบเป็นสัดส่วนตรงกัน
2. ประสิทธิภาพของ INA125 Amplifier สามารถขยายสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่เกิดสัญญาณรบกวน หรือข้อผิดพลาดเชิงอนุกรม ส่งผลให้ค่า Output ที่ได้จาก Load Cell มีความแม่นยำสูง
3. ความเสถียรของค่า Output ที่ได้จาก Load Cell มีความเสถียรในการเปลี่ยนแปลงตาม Input และไม่มีการ เบี่ยงเบนอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้งาน

ตัวแปร

- ตัวแปรต้น : แรงจากมวลที่กระทำต่อ Load Cell
- ตัวแปรตาม : ค่าสัญญาณที่เปลี่ยนไปตามแรงที่กระทำบน Load Cell ซึ่งจะถูกขยายและส่งออกเป็นข้อมูลที่สามารถอ่านได้ใน MATLAB หรือ Simulink
- ตัวแปรควบคุม : ค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันที่จ่ายเข้าสู่วงจร Load Cell, ค่าคงที่ใน INA125 Instrumentation Amplifier, ค่าความต้านทานของ Single External Resistor, ค่า Gain ของ Differential Amplifier

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. Load Cell

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดแรงหรือน้ำหนัก โดย Load Cell ที่พบบ่อยมักมี Strain Gauge ที่ติดตั้งในวงจร Wheatstone Bridge ซึ่งเมื่อแรงกระทำบน Load Cell จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับน้ำหนักหรือแรงที่กระทำ

2. Wheatstone Bridge

วงจรไฟฟ้าที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน 4 ตัวที่เชื่อมต่อกันเป็นรูปเพชร ใช้ในการวัดค่าความต้านทานที่ไม่ทราบค่าได้แม่นยำ โดยการหาความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดต่าง ๆ ภายในวงจร นิยมใช้ในการวัดสัญญาณจาก Strain Gauge เพื่อให้ได้สัญญาณที่แม่นยำ

3. Strain Gauge

อุปกรณ์ Sensor ที่สามารถวัดการยืดหรือหดตัวของวัสดุ โดยการเปลี่ยนแปลงการยืดตัวของวัสดุจะส่งผลให้ค่าความต้านทานของ Strain Gauge เปลี่ยนไป สัญญาณที่ได้สามารถนำไปใช้เพื่อคำนวณแรงที่กระทำได้อย่างแม่นยำ

4. Differential Amplifier

วงจรขยายสัญญาณที่มีความสามารถในการขยายความต่างศักย์ระหว่างสัญญาณสองจุด วงจรนี้จะช่วยขยายสัญญาณที่มีความต่างศักย์น้อย เช่น สัญญาณจาก Load Cell ให้มีค่าที่สูงขึ้นและง่ายต่อการประมวลผลในขั้นตอนต่อไป

5. INA125 Instrumentation Amplifier

แอมพลิฟายเออร์ที่ใช้ขยายสัญญาณไฟฟ้าที่มีความแม่นยำสูง มีความต้านทาน Input สูง เหมาะสำหรับการขยายสัญญาณจาก Sensor ที่มีแรงดันต่ำ โดย INA125 ยังรองรับการปรับค่า Gain เพื่อเพิ่มความแม่นยำของการวัด

6. Signal Conditioning

กระบวนการปรับแต่งและแปลงสัญญาณไฟฟ้าเพื่อให้ได้สัญญาณที่เหมาะสมสำหรับการประมวลผล โดยจะรวมถึงการขยายสัญญาณ (Amplification), การกรอง (Filtering), และการ Calibrate เพื่อลด Noise และปรับความแม่นยำ

7. Gain

ค่าที่บ่งบอกถึงการขยายสัญญาณในวงจร โดยค่า Gain ที่มากขึ้นจะทำให้สัญญาณ Output มีค่าที่สูงขึ้น ทำให้การวัดและแสดงผลสัญญาณชัดเจนยิ่งขึ้น

8. Mass (Comparator)

มวลของวัตถุที่ชั่งโดยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล โดยเป็นมวลจากวัตถุที่จะนำมาวางบน Load Cell เพื่อใช้เปรียบเทียบกับมวลที่ชั่งได้จาก Load Cell

นิยามเชิงปฏิบัติการ

1. Load Cell

อุปกรณ์ที่ติดตั้งบนโครงสร้างสำหรับการทดลอง ซึ่งเมื่อมีการออกแรงกดหรือดึงบน Load Cell สัญญาณไฟฟ้าจะถูกส่งออกมาและแปลงเป็นค่าน้ำหนักหรือแรงในหน่วย Newton (N) โดยจะวัดสัญญาณ Output จาก Load Cell ผ่านการแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นแรงในขั้นตอนการทดลอง

2. Wheatstone Bridge

วงจรที่เชื่อมต่อกับ Load Cell ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทานที่จัดเรียงเป็นรูปเพชร ใช้ในการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงที่กระทำต่อ Load Cell ในหน่วยแรงดันไฟฟ้า (Voltage) และทำหน้าที่แปลงค่าความต่างศักย์ที่ได้ให้เหมาะสมกับการวัดแรงที่ส่งไปยัง Differential Amplifier

3. Strain Gauge

Sensor ที่ติดตั้งบน Load Cell ซึ่งเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตามการยืดหรือหดตัว โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้า วัดได้จากการเชื่อมต่อ Strain Gauge เข้ากับวงจร Wheatstone Bridge

4. Differential Amplifier

วงจรขยายสัญญาณที่เชื่อมต่อกับ Wheatstone Bridge และ Load Cell ในการทดลอง โดยขยายค่าสัญญาณ Output ของ Load Cell ให้มีแรงดันไฟฟ้า (Voltage) สูงพอที่จะสามารถวัดได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยค่าที่วัดได้จะเป็นสัญญาณ Output ที่ผ่านการขยายสัญญาณเรียบร้อยแล้ว

5. INA125 Instrumentation Amplifier

อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Amplifier) ที่เชื่อมต่อกับวงจร Differential Amplifier ในการทดลองเพื่อขยายสัญญาณ Output ของ Load Cell ให้ได้ค่า Gain ที่ปรับค่าได้ตามความต้องการ วัดได้จากการปรับค่าของ External Resistor และการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า Output

6. Signal Conditioning

กระบวนการที่ประกอบด้วยการขยายสัญญาณ การกรองสัญญาณ (Filtering) และการปรับแต่งเพื่อลด Noise โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นสัญญาณ Output ที่สามารถใช้ประมวลผลต่อไปได้โดยตรงใน MATLAB หรือ Simulink และมีความแม่นยำที่สูงขึ้น

7. Gain

ค่าที่ได้จากการปรับแต่งใน INA125 Instrumentation Amplifier เพื่อกำหนดระดับการขยายสัญญาณ Output ของ Load Cell ในการทดลอง โดยค่านี้จะถูกวัดเป็นอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นจากสัญญาณ Input ที่ได้จาก Load Cell

8. Real-Time Processing

การประมวลผลสัญญาณ Output ที่ได้จาก Load Cell ผ่าน Nucleo STM32G474RE และแสดงผลใน MATLAB Simulink โดยในขั้นตอนนี้จะมีการเก็บค่าแรงหรือแรงดันที่ได้ตามช่วงเวลาจริง (Real-Time) วัดได้จากการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ Output ต่อหน่วยเวลา

9. การจำลอง Model ใน Simulink

การสร้างและทดสอบแบบจำลองของระบบต่าง ๆ ในที่นี้นำมาใช้ในการเก็บค่า Raw Signal, Voltage และ Magnetic Flux Density จาก DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

10. การ Plot กราฟ

ขั้นตอนหรือกระบวนการที่ใช้ในการแสดงข้อมูลในรูปแบบภาพ (กราฟ) เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลและทำความเข้าใจข้อมูลเชิงลึกได้ง่ายขึ้น

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลจาก Datasheet ของ YZC-131A โดยในการทดลองนี้จะใช้ YZC-131A ในการทดลอง

2.1. ข้อมูลสเปคของ YZC-131A Load Cell

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

ข้อมูลคุณลักษณะของ YZC-131A Load Cell

2.1.1. คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical)

- วัสดุที่ใช้: ทำจาก Aluminum Alloy ซึ่งเป็นวัสดุที่ทนทานและมีน้ำหนักเบา เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความแม่นยำ
- ประเภทของ Load Cell: ใช้ Strain Gauge ในการตรวจจับแรง
- ความจุ (Capacity): รองรับน้ำหนักได้หลายระดับ เช่น 1 กิโลกรัม, 2 กิโลกรัม, 3 กิโลกรัม และ 5 กิโลกรัม ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ตามการใช้งาน

- ขนาด: ขนาดของ Load Cell อยู่ที่ 12.7x12.7 mm. ซึ่งเหมาะกับการติดตั้งในพื้นที่จำกัด
- รูยึด (Mounting Holes): ใช้สกรูขนาด M5 ในการยึด Load Cell เข้ากับโครงสร้าง
- ความยาวของสาย (Cable Length): สายยาว 210 mm.
- ขนาดและประเภทของสาย (Cable Size and Leads): ใช้สายขนาด 30 AWG (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 mm.) และมีจำนวนเส้นสายทั้งหมด 4 เส้น ซึ่งเป็นการต่อแบบมาตรฐานสำหรับวงจร Wheatstone Bridge

2.1.2. คุณสมบัติเชิงไฟฟ้า (Electrical)

- Precision: มีความแม่นยำที่ 0.05% ซึ่งหมายถึงสามารถวัดค่าได้อย่างละเอียดในระดับสูง
- Rated Output: มีค่า Rated Output อยู่ที่ 1.0 ± 0.15 mV/V ซึ่งหมายถึงว่าเมื่อใช้งานที่แรงดันอ้างอิง (Excitation Voltage) ค่าขาออกสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 1 mV ต่อ 1 V ของแรงดันอ้างอิง
- Non-Linearity: ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงเส้น 0.05% ของ Full Scale (FS) หมายถึงค่าผิดพลาดของสัญญาณที่เกิดจากความไม่เป็นเชิงเส้นตรง
- Hysteresis: ค่าฮิสเทอรีซิส 0.03% FS เป็นค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการกลับทิศทางของแรงกระทำ
- Non-Repeatability: มีค่า Non-Repeatability อยู่ที่ 0.03% FS ซึ่งหมายถึงความคลาดเคลื่อนในการวัดที่เกิดขึ้นเมื่อนำแรงกลับมาใช้ใหม่ที่เคยวัด
- Creep: มีค่า Creep ที่ 0.1% FS ต่อ 5 นาที ซึ่งเป็นค่าคลาดเคลื่อนของสัญญาณเมื่อมีการวางน้ำหนักไว้นานๆ
- Temperature Effect on Zero: ผลกระทบของอุณหภูมิที่ 0.02% FS ต่อการเปลี่ยนแปลงทุก 10°C บ่งบอกถึงการเบี่ยงเบนของค่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน
- Temperature Effect on Span: ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการขยายของสัญญาณ 0.05% FS ต่อ 10°C
- Balance: ค่าความสมดุล $\pm 1.5\%$ FS หมายถึงความสมดุลของแรงดันที่ขาออกเมื่อไม่มีแรงกระทำ
- Input/Output Impedance: ค่าความต้านทานขาเข้าและขาออกอยู่ที่ 1000 ± 50 โอห์ม
- Insulation Resistance: ค่าความต้านทานฉนวนที่มากกว่า 2000 M Ω ภายใต้แรงดัน 50V DC ซึ่งช่วยป้องกันการรั่วของกระแส
- Excitation Voltage: ใช้แรงดันอ้างอิงที่ 5V DC
- Compensated Temperature Range: ช่วงอุณหภูมิที่ชดเชยแล้วอยู่ที่ -10 ถึง +40°C

- Operating Temperature Range: ช่วงอุณหภูมิที่สามารถทำงานได้ -21 ถึง +40°C
- Safe Overload: สามารถรับน้ำหนักเกินได้ถึง 120% ของความจุ
- Ultimate Overload: รองรับน้ำหนักสูงสุดได้ถึง 150% ของความจุ

2.2. Setting The Gain INA125

SETTING THE GAIN

Gain of the INA125 is set by connecting a single external resistor, R_G , between pins 8 and 9:

$$G = 4 + \frac{60 \text{ k}\Omega}{R_G} \quad (1)$$

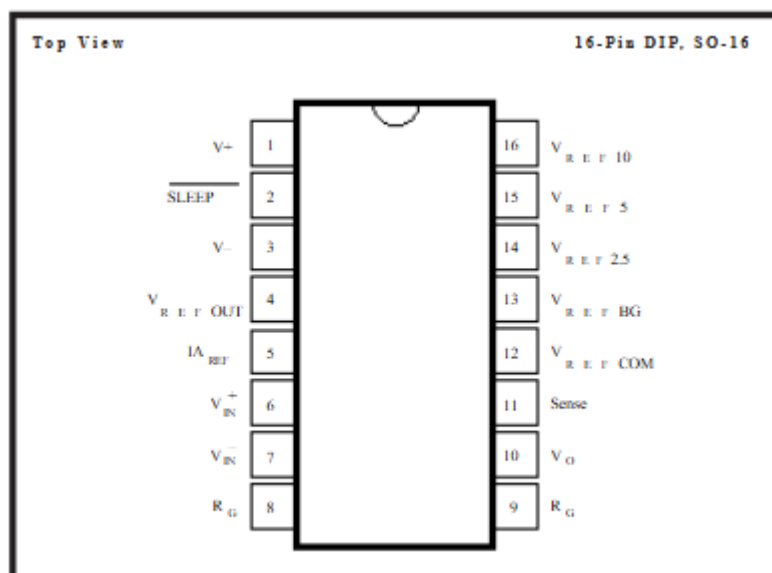
Setting The Gain INA125

$$G = 4 + \frac{60,000}{R_G}$$

โดยที่

- G คือ ค่า Gain
- R_G คือ ค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่ต่อระหว่างขา 8 และขา 9 ของ INA125

2.3. Pin Configuration INA125



Pin Configuration INA125

2.4. INA125 Specification $V_S = +5V$

SPECIFICATIONS: $V_S = +5V$

At $T_A = +25^\circ C$, $V_S = +5V$, I_A common at $V_S/2$, V_{REF} common = $V_S/2$, $V_{CM} = V_S/2$, and $R_L = 10k\Omega$ to $V_S/2$, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	INA125P, U			INA125PA, UA			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
INPUT								
Offset Voltage, RTI			± 75	± 500		T	± 750	μV
Initial			± 0.25			T		$\mu V/^\circ C$
vs Temperature	$V_S = +2.7V$ to $+36V$		3	20		T	50	$\mu V/V$
vs Power Supply			See Text			T		
Input Voltage Range						T		
Common-Mode Rejection	$V_{CM} = +1.1V$ to $+3.6V$					T		
	$G = 4$	78	84		72	T		dB
	$G = 10$	86	94		80	T		dB
	$G = 100$	100	114		90	T		dB
	$G = 500$	100	114		90	T		dB
GAIN								
Gain Error	$V_O = +0.3V$ to $+3.8V$		± 0.01			T		%
	$G = 4$							
OUTPUT								
Voltage, Positive		$(V^+) - 1.2$	$(V^+) - 0.8$		TT			V
Negative		$(V^-) + 0.3$	$(V^-) + 0.15$		TT			V
POWER SUPPLY								
Specified Operating Voltage			+5			T		V
Operating Voltage Range		+2.7		+36	TT			V
Quiescent Current	$I_O = I_{REF} = 0mA$		460	525		TT		μA
Sleep Current ($V_{SLEEP} \leq 100mV$)	$R_L = 10k\Omega$, $RefLoad = 2k\Omega$			± 2.5		TT		μA

T Specification same as INA125P, U.

INA125 Specification $V_S = +5V$

Input (อินพุต)

- Offset Voltage, RTI: ค่าแรงดัน Offset เริ่มต้น โดยค่าเริ่มต้นจะอยู่ที่ประมาณ $75 \mu V$ (ทั่วไป) และสูงสุดถึง $500 \mu V$ ในรุ่น INA125P, U ส่วนรุ่น INA125PA, UA จะมีค่า Offset สูงสุดที่ $750 \mu V$
- vs Temperature: ความเปลี่ยนแปลงของแรงดัน Offset ตามอุณหภูมิ อยู่ที่ประมาณ $\pm 0.25 \mu V/^\circ C$
- vs Power Supply: ความเปลี่ยนแปลงของแรงดัน Offset ตามการเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่ายไฟ มีค่าประมาณ $3 \mu V/V$
- Input Voltage Range: ช่วงแรงดันขาเข้าที่สามารถรองรับได้ ตั้งแต่ $+2.7V$ ถึง $+36V$
- Common-Mode Rejection (CMR): ความสามารถในการปฏิเสธสัญญาณ Common-Mode โดยมีค่าขึ้นอยู่กับค่า Gain (G) ที่ตั้งไว้ โดยมีค่า CMR ที่ 78 dB สำหรับ $G = 4$ และสูงสุดถึง 100 dB สำหรับ $G = 500$ ซึ่งหมายถึงความสามารถในการลดสัญญาณรบกวนที่มีค่าแรงดันเท่ากันที่ Input ทั้งสองขา

Gain (อัตราขยาย)

- Gain Error: ค่าความคลาดเคลื่อนในการขยายสัญญาณอยู่ที่ $\pm 0.01\%$ สำหรับ $G = 4$ ซึ่งหมายถึงความแม่นยำในการขยายสัญญาณในกรณีที่ตั้งค่า Gain ไว้ที่ 4

Output (Output)

- Voltage, Positive/Negative: ขา Output มีช่วงแรงดันที่สามารถส่งออกได้โดยมีค่าสูงสุดประมาณ $V_s - 1.2$ สำหรับแรงดันบวก และ $V_s + 0.3$ สำหรับแรงดันลบ ขึ้นอยู่กับค่าที่ใช้ในการตั้งค่า Load และวงจร

Power Supply (การใช้พลังงาน)

- Specified Operating Voltage: กำหนดการใช้งานที่ $V_s = +5V$
- Operating Voltage Range: ช่วงแรงดันที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ $+2.7V$ ถึง $+36V$
- Quiescent Current: กระแสที่ใช้งานอยู่เมื่อไม่มีโหลดอยู่ที่ประมาณ $460 \mu A$
- Sleep Current: กระแสที่ใช้เมื่ออยู่ในโหมด Sleep ต่ำกว่า $100 \mu A$

วิธีการดำเนินการทดลอง

3.3. วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือพิเศษ

3.3.1. วัสดุอุปกรณ์

- Single Point Load Cell YZC-131A จำนวน 1 อัน
- INA125 Instrumentation Amplifier จำนวน 1 อัน
- Trimpot 100 K 25 Turns จำนวน 1 อัน
- Resistor 4.7K Ohm จำนวน 1 อัน
- Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด
- LoadCellXplorer จำนวน 1 ชุด
- สายจัมเปอร์
- ถ่วงทราย 500 g จำนวน 8 ถัง
- เหล็กดัมเบล 2.5 kg. จำนวน 2 อัน
- เหล็กดัมเบล 1.5 kg. จำนวน 2 อัน
- ชุดลูกตุ้มถ่วงน้ำหนัก 1 ชุด
- เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล 1 เครื่อง

3.3.2. Software

- MATLAB
- Simulink
- Excel

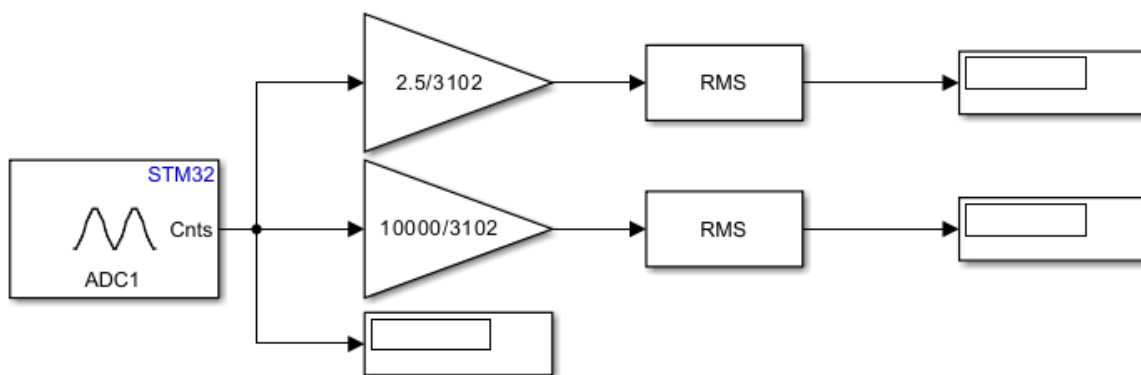
3.4. ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.4.1. ต่อสายจัมเปอร์

- GND (Nucleo STM32G474RE) to GND (Load Cell YZC-131A)
- 3V3 (Nucleo STM32G474RE) to Vin (Load Cell YZC-131A)
- A0 (Nucleo STM32G474RE) to Out (Load Cell YZC-131A)
- Green (ชุดทดลอง) to Green (Load Cell YZC-131A)
- Red (ชุดทดลอง) to Red (Load Cell YZC-131A)
- Black (ชุดทดลอง) to Black (Load Cell YZC-131A)
- White (ชุดทดลอง) to White (Load Cell YZC-131A)

3.4.2. การจำลองโมเดลเพื่อเก็บค่า

ในการทดลองเพื่อพิสูจน์สมมติฐานทั้ง 3 ข้อ จำเป็นต้องเก็บค่าที่ได้จาก Sensor เพื่อนำมาวิเคราะห์ โดยใช้ Simulink ในการสร้างโมเดลจำลองการเก็บค่าขึ้นมา



โมเดลจำลองอ่านค่า Raw Signal จาก Sensor

โดยจากโมเดลข้างต้นจะทำการแปลง Raw Signal ออกมาเป็น 2 ค่า คือ

- แรงดันไฟฟ้า (V) โดยใช้อัตราส่วน $2.5/3,102$ ในการแปลง Raw Signal เป็นแรงดันไฟฟ้า
- มวล (g) โดยใช้อัตราส่วน $10,000/3,102$ ในการแปลง Raw Signal เป็นมวลของวัตถุบน Load Cell

3.4.3. เก็บค่า Raw Signal จาก Single Point Load Cell YZC-131A

ในการเก็บค่า Raw Signal ออกแบบโดยการเปรียบเทียบมวลของชุดทดลอง Load Cell และเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล โดยเริ่มต้นชั่งน้ำหนักจากมวล 500 กรัม และเพิ่มน้ำหนักขึ้นทีละ 500 กรัม จนถึง 10,000 กรัม หรือ 10 กิโลกรัม โดยแบ่งการเก็บค่าออกเป็นดังนี้

3.4.3.1. เก็บค่า Raw Signal ที่ยังไม่ผ่าน INA125 Instrumentation Amplifier

3.4.3.2. เก็บค่า Raw Signal ที่ผ่าน INA125 Instrumentation Amplifier

ทั้งนี้การเก็บค่าทั้ง 2 รูปแบบ ทำขึ้นเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของสัญญาณ Output ทั้งก่อนและหลังการขยายสัญญาณได้

3.4.4. คำนวณค่า Gain

โดยการคำนวณค่าเกนจะคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$G = 4 + \frac{60,000}{R_G}$$

โดยที่

- G คือ ค่า Gain
- R_G คือ ค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่ต่อระหว่างขา 8 และขา 9 ของ INA125

โดยในการทดลองนี้ใช้ค่าความต้านทานอยู่ที่ 104 Ohm จึงทำให้สามารถคำนวณ Gain ออกมาได้ 580.923 ซึ่งสามารถใช้ค่า Gain ดังกล่าวในการคูณกับสัญญาณที่ได้จากการเก็บค่า Raw Signal ที่ยังไม่ผ่าน INA125 Instrumentation Amplifier

3.4.5. แปลงค่า Raw Signal เป็นแรงดันไฟฟ้าจากโมเดลที่สร้างขึ้น

3.4.6. แปลงค่า Raw Signal เป็นมวลของวัตถุที่ได้จาก Single Point Load Cell YZC-131A

3.4.7. Plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลที่เพิ่มขึ้นบน Load Cell และแรงดันไฟฟ้าที่ได้

3.4.8. วิเคราะห์สมการเชิงเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Raw Signal และมวลที่ใช้

3.4.9. เปรียบเทียบค่ามวลที่ได้กับค่ามวลที่ควรจะเป็น

3.4.10. สรุปผลการทดลอง

3.4.11. อภิปรายการทดลอง

ผลการทดลอง

จากการเก็บค่า Raw Signal จาก Single Point Load Cell YZC-131A ทั้ง 2 รูปแบบ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1. เก็บค่า Raw Signal ที่ยังไม่ผ่าน INA125 Instrumentation Amplifier

Mass (Comparator) (g)	Raw Signal ADC	แรงดันไฟฟ้า (V)
500	0.340921369	0.000274735
1000	0.597466836	0.000481475
1499.8	0.864265577	0.000696478
1999.7	1.131064318	0.00091148
2500.6	1.39615418	0.001125106
3000.7	1.675128684	0.001349921
3500.2	1.933383029	0.001558038
4000	2.221542758	0.001790254
4500	2.484282911	0.002001986
5000.3	2.75556746	0.002220604
5500.3	3.033260304	0.002444386
6001.3	3.319497544	0.002675053
6500.3	3.597190389	0.002898835
7000.3	3.872747135	0.003120895
7498.7	4.103445806	0.003306806
8002.3	4.462310405	0.003596001
8504.3	4.695145175	0.003783633
9000.3	4.97283802	0.004007415
9495.3	5.231305976	0.004215704
9995.3	5.378696793	0.004334481

ค่าจากการวิเคราะห์ กรณีที่เก็บค่า Raw Signal ที่ยังไม่ผ่าน INA125 Instrumentation Amplifier

4.2. เก็บค่า Raw Signal ที่ผ่าน INA125 Instrumentation Amplifier

โดยค่าแรงดันไฟฟ้าและ Raw Signal ที่ผ่าน INA125 Instrumentation Amplifier สามารถคำนวณได้โดยการนำแรงดันไฟฟ้าและ Raw Signal ที่ไม่ผ่าน INA125 Instrumentation Amplifier มาคูณด้วยค่า Gain ซึ่งในที่นี้ คือ 580.923

Mass (Comparator) (g)	Raw Signal ADC	แรงดันไฟฟ้า (V)
500	198.0490909	0.1596
1000	347.0822727	0.2797
1499.8	502.0718182	0.4046
1999.7	657.0613636	0.5295
2500.6	811.0581818	0.6536
3000.7	973.1209091	0.7842
3500.2	1123.146818	0.9051
4000	1290.545455	1.04
4500	1443.177273	1.163
5000.3	1600.772727	1.29
5500.3	1762.090909	1.42
6001.3	1928.372727	1.554
6500.3	2089.690909	1.684
7000.3	2249.768182	1.813
7498.7	2383.786364	1.921
8002.3	2592.259091	2.089
8504.3	2727.518182	2.198
9000.3	2888.836364	2.328
9495.3	3038.986364	2.449
9995.3	3124.609091	2.518

ค่าจากการวิเคราะห์ กรณีกี่เก็บค่า Raw Signal ที่ผ่าน INA125 Instrumentation Amplifier

ในขั้นตอนของการแปลง Raw Signal ให้เป็นมวลที่ชั่งได้ จำเป็นต้องสร้างสมการเส้นตรงของการทำงานของ Load Cell ในรูปแบบ

$$y = mx + c$$

โดยที่

- y คือ น้ำหนักที่ต้องการ
- x คือ ค่า Raw Signal จาก ADC
- m คือ ความชันของเส้นตรง ซึ่งสามารถหาได้จากการเปรียบเทียบ
- c คือ ค่าจุดตัดแกน y หรือค่าที่ได้จาก raw signal เมื่อไม่มีน้ำหนัก (ค่า offset)

พิจารณา ที่มวล 500 กรัม Raw Signal เท่ากับ 198.0490909 และมวล 1000 กรัม Raw Signal เท่ากับ 347.0822727 จะได้สมการเชิงเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Raw Signal และมวลที่ใช้ของ Sensor ดังนี้

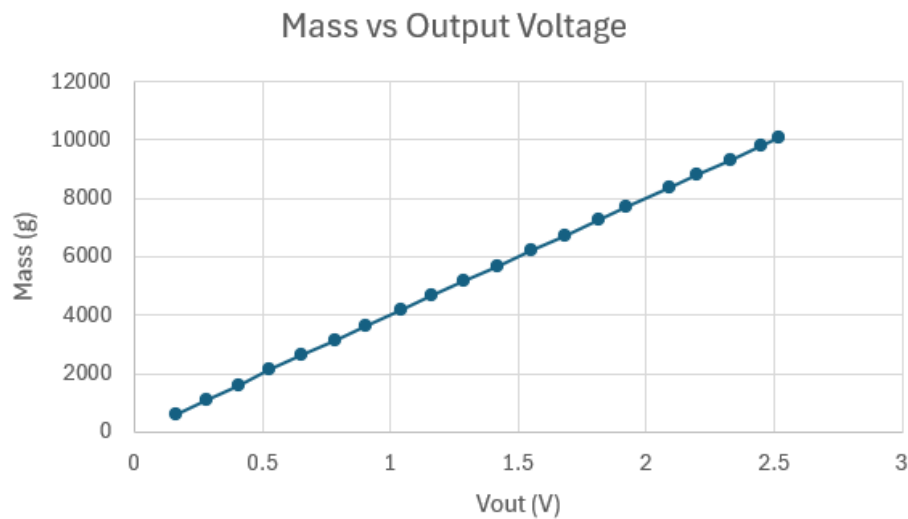
$$y = 3.35496x - 45.44677$$

ซึ่งจะสามารถหาค่ามวลที่ชั่งได้จาก Load Cell ได้ดังนี้

Mass (Comparator) (g)	Raw Signal ADC	แรงดันไฟฟ้า (V)	Mass (output) (g)
500	198.0490909	0.1596	619
1000	347.0822727	0.2797	1119
1499.8	502.0718182	0.4046	1618
1999.7	657.0613636	0.5295	2118
2500.6	811.0581818	0.6536	2616
3000.7	973.1209091	0.7842	3127
3500.2	1123.146818	0.9051	3620
4000	1290.545455	1.04	4159
4500	1443.177273	1.163	4652
5000.3	1600.772727	1.29	5161
5500.3	1762.090909	1.42	5680
6001.3	1928.372727	1.554	6215
6500.3	2089.690909	1.684	6734
7000.3	2249.768182	1.813	7253
7498.7	2383.786364	1.921	7682
8002.3	2592.259091	2.089	8356
8504.3	2727.518182	2.198	8791
9000.3	2888.836364	2.328	9310
9495.3	3038.986364	2.449	9797
9995.3	3124.609091	2.518	10071

การเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักของมวลจริง และน้ำหนักของมวลที่ชั่งได้จาก Load Cell

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นและน้ำหนักที่ชั่งได้จาก Load Cell จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังนี้



กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นและน้ำหนักที่ชั่งได้จาก Load Cell

และเมื่อเปรียบเทียบค่าระหว่างมวลที่ชั่งได้จากเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล และมวลที่ชั่งได้จาก Load Cell จะมีความแตกต่างกัน โดยค่ามวลที่ได้จาก Load Cell จะมีค่ามากกว่ามวลที่ชั่งได้จากเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ซึ่งคิดเป็น %Error ได้ดังนี้

Vout_after_INA (V)	Mass (output) (g)	Mass (Comparator) (g)	Error (%)
500	619	500	23.8
1000	1119	1000	11.9
1499.8	1618	1499.8	7.881050807
1999.7	2118	1999.7	5.915887383
2500.6	2616	2500.6	4.614892426
3000.7	3127	3000.7	4.209017896
3500.2	3620	3500.2	3.422661562
4000	4159	4000	3.975
4500	4652	4500	3.377777778
5000.3	5161	5000.3	3.213807172
5500.3	5680	5500.3	3.267094522
6001.3	6215	6001.3	3.560895139
6500.3	6734	6500.3	3.595218682

Vout_after_INA (V)	Mass (output) (g)	Mass (Comparator) (g)	Error (%)
7000.3	7253	7000.3	3.609845292
7498.7	7682	7498.7	2.4444237
8002.3	8356	8002.3	4.419979256
8504.3	8791	8504.3	3.371235728
9000.3	9310	9000.3	3.440996411
9495.3	9797	9495.3	3.177361431
9995.3	10071	9995.3	0.757355957

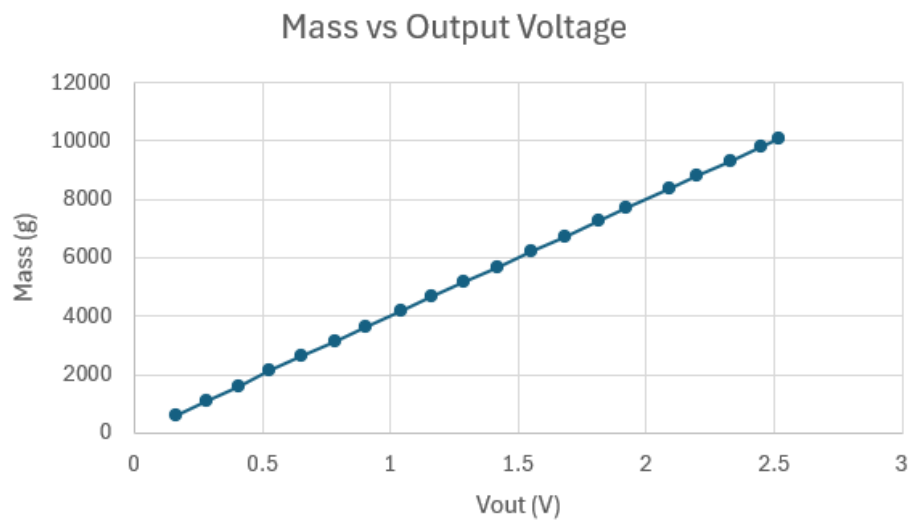
ตารางแสดง %Error ที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งที่ทดสอบ

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.4. สรุปผลการทดลอง

5.4.1. **สมมติฐานที่ 1:** การตอบสนองของ Load Cell มีการตอบสนองที่เชิงเส้นเมื่อมีแรงมากระทำ โดย Output Voltage จะแปรผันตามแรงที่กระทำแบบเป็นสัดส่วนตรงกัน

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า การตอบสนองของ Load Cell มีการตอบสนองที่เชิงเส้นเมื่อมีแรงมากระทำ โดย Output Voltage จะแปรผันตามแรงที่กระทำแบบเป็นสัดส่วนตรงกันเป็นจริง โดยเมื่อสังเกตจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและมวลที่ชั่งได้จาก Load Cell จะได้กราฟเส้นตรง ดังรูป



กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นและน้ำหนักที่ชั่งได้จาก Load Cell

- 5.4.2. **สมมติฐานที่ 2:** ประสิทธิภาพของ INA125 Amplifier สามารถขยายสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่เกิดสัญญาณรบกวนหรือข้อผิดพลาดเชิงอุณหภูมิ ส่งผลให้ค่า Output ที่ได้จาก Load Cell มีความแม่นยำสูง

จากการทดลองเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของ INA125 Amplifier สามารถขยายสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่เกิดสัญญาณรบกวนหรือข้อผิดพลาดเชิงอุณหภูมิ ส่งผลให้ค่า Output ที่ได้จาก Load Cell มีความแม่นยำสูง ไม่เป็นความจริง ซึ่งสังเกตได้จาก %Error ที่เกิดขึ้นของแต่ละการชั่งมวล จะพบว่าค่ามวลที่ได้จากการชั่งด้วย Load Cell จะมีค่าที่คลาดเคลื่อนจากค่ามวลที่ชั่งได้จากเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

- 5.4.3. **สมมติฐานที่ 3:** ความเสถียรของค่า Output ที่ได้จาก Load Cell มีความเสถียรในการเปลี่ยนแปลงตาม Input และไม่มีการเบี่ยงเบนอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้งาน

จากการทดลองเห็นได้ว่า ความเสถียรของค่า Output ที่ได้จาก Load Cell มีความเสถียรในการเปลี่ยนแปลงตาม Input และไม่มีการเบี่ยงเบนอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้งาน ไม่เป็นความจริง ซึ่งสังเกตได้จาก %Error ที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน โดยที่เมื่อเริ่มชั่งตั้งแต่มวลน้อย จะมี %Error สูงกว่าเมื่อชั่งด้วยมวลที่มีปริมาณมาก

5.5. อภิปรายผลการทดลอง

- 5.5.1. **สมมติฐานที่ 1:** การตอบสนองของ Load Cell มีการตอบสนองที่เชิงเส้นเมื่อมีแรงกระทำ โดย Output Voltage จะแปรผันตามแรงที่กระทำแบบเป็นสัดส่วนตรงกัน

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า การตอบสนองของ Load Cell มีการตอบสนองที่เชิงเส้นเมื่อมีแรงกระทำ โดย Output Voltage จะแปรผันตามแรงที่กระทำแบบเป็นสัดส่วนตรงกันเป็นจริง โดยการตอบสนองของ Load Cell ต่อแรงกระทำเป็นเชิงเส้นตรง (linear) ระหว่างแรงที่กระทำและแรงดันไฟฟ้า (Output Voltage) เป็นเพราะ การทำงานของ Strain Gauge และวงจร Wheatstone Bridge ซึ่งมีคุณสมบัติที่ให้ผลลัพธ์เป็นแบบเชิงเส้นภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม ดังนี้

- การตอบสนองของ Strain Gauge

Strain Gauge ทำงานโดยการเปลี่ยนความต้านทานเมื่อมีแรงกระทำ ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของ Strain Gauge และค่าความต้านทานเปลี่ยนไปตามแรงที่กระทำ

การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับแรงที่กระทำในช่วงที่วัสดุยังไม่เสียรูปถาวร (Elastic Range) ซึ่งเป็นช่วงที่ Load Cell สามารถรับแรงได้โดยไม่เสียหาย

ดังนั้น ความต้านทานของ Strain Gauge จึงเปลี่ยนแปลงในลักษณะเชิงเส้นตามแรงที่กระทำ

- การทำงานของวงจร Wheatstone Bridge

วงจร Wheatstone Bridge ที่ใช้ในการแปลงค่าความต้านทานจาก Strain Gauge เป็นแรงดันไฟฟ้าขาออก (Output Voltage) จะทำให้เกิดแรงดันที่มีสัดส่วนกับความต่างของความต้านทาน

เมื่อความต้านทานใน Strain Gauge เปลี่ยนแปลงในลักษณะเชิงเส้น วงจร Wheatstone Bridge ก็จะสร้างแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนตรงกับความต้านทาน ทำให้ Output Voltage มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับแรงที่กระทำบน Load Cell

- การขยายสัญญาณแบบเชิงเส้นของ Amplifier

เมื่อแรงดันไฟฟ้าจากวงจร Wheatstone Bridge ถูกส่งไปยัง Amplifier เพื่อขยายสัญญาณ การขยายนี้จะทำในลักษณะเชิงเส้น กล่าวคือ Output Voltage ที่ขยายแล้วยังคงความสัมพันธ์เชิงเส้นกับแรงที่กระทำ ทำให้สัญญาณมีความสม่ำเสมอและแม่นยำ

- การปรับเทียบ (Calibration)

เมื่อ Load Cell ได้รับการปรับเทียบ ค่า Output Voltage ที่ได้จะมีสัดส่วนตรงกับน้ำหนักหรือแรงที่วัดได้ ทำให้เกิดกราฟเชิงเส้นตรงที่แสดงในรูป

การปรับเทียบนี้ช่วยให้เราสามารถตีความสัญญาณ Output Voltage ในหน่วยของแรงหรือน้ำหนักได้อย่างแม่นยำ

ดังนั้นการที่กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V_{out}) และมวล (Mass) เกิดจากคุณสมบัติของ Strain Gauge และวงจร Wheatstone Bridge ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในการตอบสนองต่อแรงที่กระทำ โดยเมื่อเราทำการปรับเทียบให้ตรงกับน้ำหนักหรือแรงที่วัดได้แล้ว กราฟที่ได้จึงมีลักษณะเป็นเส้นตรง

5.5.2. **สมมติฐานที่ 2:** ประสิทธิภาพของ INA125 Amplifier สามารถขยายสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่เกิดสัญญาณรบกวนหรือข้อผิดพลาดเชิงอุณหภูมิ ส่งผลให้ค่า Output ที่ได้จาก Load Cell มีความแม่นยำสูง

จากการทดลองเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของ INA125 Amplifier สามารถขยายสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่เกิดสัญญาณรบกวนหรือข้อผิดพลาดเชิงอุณหภูมิ ส่งผลให้ค่า Output ที่ได้จาก Load Cell มีความแม่นยำสูง ไม่เป็นความจริง โดยอาจเกิดได้จากหลายสาเหตุดังต่อไปนี้

- ข้อจำกัดของ INA125 Amplifier

INA125 เป็น Amplifier ที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ก็มีข้อจำกัด เช่น Offset Error และ Non-linearity Error ที่อาจส่งผลต่อความแม่นยำของการขยายสัญญาณเมื่อทำการวัดแรงหรือมวลที่มีค่าสูงหรือต่ำมาก

ข้อผิดพลาดเชิงเส้น (linearity error) ของ INA125 อาจทำให้การขยายสัญญาณในบางช่วงน้ำหนักไม่เป็นไปตามที่คาดไว้ จึงทำให้เกิด %error ในผลการวัดที่มากกว่าที่ควร

- Noise (สัญญาณรบกวน)

สัญญาณที่ได้รับจาก Load Cell อาจมีสัญญาณรบกวนเล็กน้อยจากแหล่งภายนอก เช่น สัญญาณรบกวนจากไฟฟ้า หรือ การรบกวนจากสภาพแวดล้อม

แม้ว่า INA125 จะมีความสามารถในการกรอง Noise ในระดับหนึ่ง แต่ Noise เล็กน้อยนี้ยังอาจส่งผลให้ค่า Output ทำให้มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงมวลน้อย ซึ่งสัญญาณที่วัดได้มีขนาดเล็ก ทำให้ Noise มีผลมากขึ้น

- การปรับเทียบที่อาจไม่สมบูรณ์แบบ

การปรับเทียบ (Calibration) มีผลอย่างมากต่อความแม่นยำของผลการวัด หากการปรับเทียบไม่แม่นยำเพียงพอ หรือไม่มีการปรับเทียบในช่วงน้ำหนักที่กว้างพอ จะทำให้ %Error ยังคงสูงขึ้น

โดยเฉพาะหากใช้ค่าอัตราส่วนการขยายที่ตั้งค่ามาจากช่วงน้ำหนักเพียงช่วงหนึ่ง เมื่อมีการขยายช่วงน้ำหนัก อัตราการขยายอาจจะไม่สอดคล้องกับช่วงน้ำหนักทั้งหมด

- ข้อผิดพลาดในอุปกรณ์หรือการติดตั้ง

เนื่องจากชุดทดลองมีการต่อขาตั้งขึ้นมาจากพื้น ทำให้เมื่อรับน้ำหนักอาจทำให้ชุดทดลองเกิดการงอ (Bending) ซึ่งจะส่งผลให้ค่าที่วัดได้จาก Load Cell เกิดความคลาดเคลื่อนได้

5.5.3. สมมติฐานที่ 3: ความเสถียรของค่า Output ที่ได้จาก Load Cell มีความเสถียรในการเปลี่ยนแปลงตาม Input และไม่มีการเบี่ยงเบนอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้งาน

จากการทดลองเห็นได้ว่า ความเสถียรของค่า Output ที่ได้จาก Load Cell มีความเสถียรในการเปลี่ยนแปลงตาม Input และไม่มีการเบี่ยงเบนอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้งาน ไม่เป็นความจริง อันเนื่องมาจากปัจจัยดังนี้

- Noise (สัญญาณรบกวน) จากแหล่งภายนอก

สัญญาณรบกวนจากสิ่งแวดล้อมหรือจากอุปกรณ์อื่นๆ อาจส่งผลกระทบต่อสัญญาณที่อ่านจาก Load Cell โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่น้ำหนักต่ำ ซึ่งสัญญาณ Output มีขนาดเล็ก ทำให้ Noise มีผลต่อค่าที่วัดได้มากขึ้น

- การขยายสัญญาณที่ไม่เพียงพอของ Amplifier

หาก Amplifier ขยายสัญญาณไม่เพียงพอในช่วงมวลต่ำ จะทำให้สัญญาณที่อ่านได้มีค่าใกล้เคียงกับ Noise Level ส่งผลให้ค่า Output ไม่เสถียร

การที่สัญญาณขนาดเล็กมีการขยายไม่มากพอ ทำให้การเปลี่ยนแปลงของแรงดันขาออก (Output Voltage) จาก Amplifier ไม่ชัดเจนจึงมีโอกาสเกิด %Error สูง

5.6. ข้อเสนอแนะ

- โครงสร้างของชุดทดลอง เนื่องจากเมื่อวางมวลเพิ่มมากขึ้น แผ่นอะคริลิกของชุดทดลองจะเริ่มเกิดการโก่งงอ (Bending) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสัญญาณที่วัดได้จาก Sensor
- ในการวางมวลเพื่อชั่งน้ำหนัก จำเป็นต้องวางให้มวลมีแรงกระทำต่อ Load Cell ในแนวตรง เพื่อให้แรงที่กระทำต่อ Load Cell เป็นแรงจริง ๆ ที่ได้จากมวลปริมาณนั้น ๆ

อ้างอิง

1. Single Point Load Cell YZC-131A
Single Point Load Cell YZC-131A
2. INA125 Instrumentation Amplifier
INA125 Instrumentation Amplifier