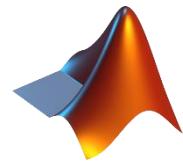


RMXplorer



LAB1: Sensor Report

Name

- นายณัฐพุทธ พุทธิวรดม 66340500018
- นางสาวนันท์นภัส คำสอน 66340500023
- นางสาวบุญวิลัย ปานทอง 66340500030

Objectives

- สามารถออกแบบการทดลองโดยใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ในการ สืบเสาะพกติกรรม ประภากรณ์ ทดลอง บันทึกผลการทดลอง สรุปผล และอภิปรายผลการทดลอง เข้าใจหลักการทำงานของเซ็นเซอร์ และอุปกรณ์ ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องได้ ตลอดจนใช้หลักการทำงานทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ สถิติ และศาสตร์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรม MATLAB เพื่อกีบผลการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง วิเคราะห์ความเที่ยงตรง ความแม่นยำ ได้อย่างถูกต้อง และมีเหตุผลรองรับ ตรวจสอบความถูกต้องเทียบกับทฤษฎีที่น่าเชื่อถือ
- สามารถอธิบายความสามารถในการรับรู้ปริมาณทางฟิสิกส์ของเซ็นเซอร์ทั้งหมดตั้งแต่ต้นจนจบกระบวนการได้ เช่น การอธิบายหลักการวัดความเร็วเชิงมุมของ Incremental Encoder และการอธิบายการวัดน้ำหนักของ Load Cell (จากแรงดันไฟฟ้าแปลงเป็นน้ำหนักได้อย่างไร)
- สามารถกำหนด ตัวแปรในการทดลองได้อย่างถูกต้องและสมเหตุสมผล ไม่ว่าจะเป็น ตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุม อธิบายจุดประสงค์การทดลอง อธิบายสมมติฐานให้สอดคล้องกับตัวแปรที่กำหนด นิยามเชิง ปฏิบัติการ และมีทฤษฎีที่น่าเชื่อถือรองรับ เช่น ทฤษฎีทางฟิสิกส์ หรือข้อมูลจาก Datasheet
- นักศึกษาต้องสามารถออกแบบวิธีการทดลองเพื่อหาคำตอบ ให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้อยู่ทั้งหมดได้ด้วย ตนเองอย่างถูกต้องตามหลักวิทยาศาสตร์ รวมทั้ง บันทึกผล สรุปผล อภิปรายผล ตามข้อมูลที่บันทึกได้จริง มีกระบวนการทำซ้ำ อธิบายที่มาของผลการทดลองนั้นได้ โดยใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ ไฟล์ Simulink, mlx ฯลฯ และ ชุดการทดลองพร้อมบอร์ด Microcontroller ที่ TA จัดเตรียมให้เบื้องต้น
- นักศึกษาต้องสามารถเขียนรายงาน สัญลักษณ์ และสมการทางวิทยาศาสตร์ ได้อย่างถูกต้อง ทั้งขนาด และรูปแบบ อักษร การเว้นช่องไฟ การเว้นขอบกระดาษ การเว้นระยะพิมพ์ ให้ได้ระยะที่เหมาะสมตามหลักสากล

Part 1: Potentiometer

Experiment 1 : การทดลองการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าจากอุกต่อระยะเวลา หรือองค์การหมุนของ Potentiometer จุดประสงค์

- เพื่อศึกษาชนิดของ Potentiometer ทั้งหมดที่มีในชุดการทดลอง
- เพื่อศึกษาหลักการทำงานของ Potentiometer ตลอดจนสามารถอธิบายการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าจากอุกต่อระยะเวลา หรือองค์การหมุนของ Potentiometer

สมมติฐาน

ค่าของแรงดันไฟฟ้าจากอุกของ Potentiometer จะมีการแปรผันค่าตามการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลา หรือองค์การหมุน Potentiometer

ตัวแปร

- ตัวแปรต้น : ระยะเวลา หรือองค์การหมุนของ Potentiometer
- ตัวแปรตาม : แรงดันไฟฟ้าจากอุกของ Potentiometer
- ตัวแปรควบคุม : แรงดันไฟฟ้าเข้าของ Potentiometer, อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดระยะเวลาหรือองค์, อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง, อุณหภูมิและสภาพแวดล้อม

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. Rotary Potentiometer

อุปกรณ์ที่สามารถปรับความต้านทานได้โดยการหมุนแกนปรับองศาเพื่อเพิ่มหรือลดค่าความต้านทาน โดยทั่วไปจะมีโครงสร้างเป็นวงกลม เมื่อต้องการปรับค่าความต้านทาน สามารถทำได้โดยหมุนไปตามแกน

2. Linear Potentiometer

อุปกรณ์ที่สามารถปรับความต้านทานได้โดยการหมุนแกนปรับองศาเพื่อเพิ่มหรือลดค่าความต้านทาน โดยทั่วไปจะมีโครงสร้างเป็นวงกลม เมื่อต้องการปรับค่าความต้านทาน สามารถทำได้โดยหมุนไปตามแกน

3. Wiper ใน Potentiometer

ส่วนที่สัมผัสกับແບต้านทานภายใน Potentiometer ทำให้มีเวลาปรับระยะ ทำให้ความต้านทานมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย

นิยามเชิงปฏิบัติการ

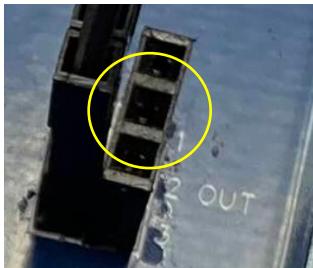
1. ช่องที่ 1 ของ Potentiometer

ช่องที่มีไว้สำหรับกระไฟจากบอร์ด Nucleo STM32G474RE ในตำแหน่งบนสุด



2. ช่องที่ 2 ของ Potentiometer

ช่องที่มีไว้สำหรับรับกระแสไฟฟ้าจากบอร์ด Nucleo STM32G474RE ในตำแหน่งตรงกลาง



3. ช่องที่ 3 ของ Potentiometer

ช่องที่มีไว้สำหรับรับกระแสไฟฟ้าจากบอร์ด Nucleo STM32G474RE ในตำแหน่งล่างสุด



4. เพิ่มขึ้นทีละ 10 %

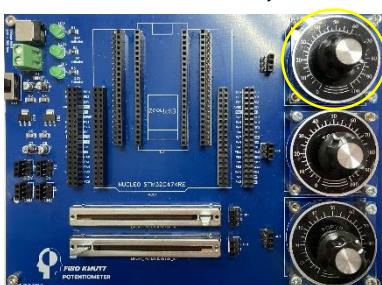
$$\text{ค่าในรอบที่ } n = A \times (1.1)^n$$

โดยที่ n แทน ค่าในรอบ

A แทน ค่าคงที่เดิม

5. Rotary ตัวที่ 1

Potentiometer Rotary ในตำแหน่งบนสุด



6. Rotary ตัวที่ 2

Potentiometer Rotary ในตำแหน่งตรงกลาง



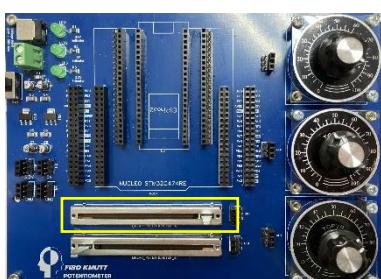
7. Rotary ตัวที่ 3

Potentiometer Rotary ในตำแหน่งด้านล่างสุด



8. Linear ตัวที่ 1

Potentiometer Linear ในตำแหน่งด้านบน



9. Linear ตัวที่ 2

Potentiometer Linear ในตำแหน่งด้านล่าง



10. Vout

แรงดันขาออก โดยเป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จาก โปรแกรม MATLAB ผ่านการใช้ Block Display มีหน่วยเป็น Volt

11. V ratio

แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างกราฟ มีหน่วยเป็น % ที่จะใช้มื่อต้องการนำกราฟไปเปรียบเทียบกับ Datasheet โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$V \text{ ratio} = \frac{\text{Output Voltage}}{\text{Input Voltage}} \times 100$$

12. Root Mean Square

ค่าเฉลี่ยกำลังสอง สามารถหาได้จากสูตร

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}$$

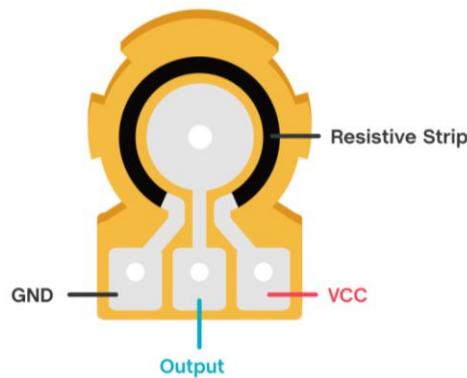
โดยที่ RMS แทน Root Mean Square

n แทน จำนวนสมาชิก

x แทน สมาชิกแต่ละตัว

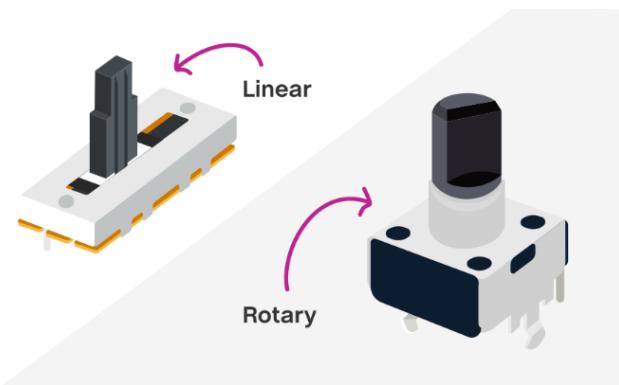
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Potentiometer



รูป การทำงานภายในทั่วไปของโพเทนชิโอมิเตอร์แบบหมุน

ความต้านทานของวัตถุขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย และเมื่อปัจจัยอื่น ๆ คงที่ ความต้านทานของวัตถุจะแปรผันตรงกับความยาวของวัตถุ เช่น วัสดุเดียวกันมีความยาว 10 เซนติเมตร จะมีความต้านทานครึ่งหนึ่งของวัตถุอีกขึ้นหนึ่งที่มีความยาว 20 เซนติเมตร Potentiometer ใช้หลักการนี้ Output ที่ปรับได้ของ Potentiometer นั้น ทำได้โดยการเปลี่ยนตำแหน่งเชิงเส้นหรือหมุนแบบเลื่อนผ่านองค์ประกอบความต้านทานที่สม่ำเสมอประเภทของ Potentiometer ที่มีจำหน่าย จะมีให้เลือก 2 รูปแบบหลัก ได้แก่ Analog และ Digital โดย Potentiometer Analog แบบดั้งเดิมใช้ขั้นส่วนกลไกที่สามารถควบคุม Output ได้ด้วยมือ Potentiometer Analog มีให้เลือกทั้งแบบเชิงเส้น และแบบหมุน



รูป Potentiometer แบบเชิงเส้นกับแบบหมุน

- Potentiometer แบบหมุน ใช้การเคลื่อนที่เชิงมุ่งจากลูกบิดหมุนและเพลาที่เชื่อมต่อกับ wiper element การหมุนเพลาจะเปลี่ยนความต้านทาน และ Output
- Potentiometer เชิงเส้น ใช้การเคลื่อนที่เชิงเส้น หรือเส้นตรง ผ่านสไลด์เพื่อสัมผัสกับ resistive element และเปลี่ยนแปลงความต้านทานและ Output

2. ชนิดของ Potentiometer ที่ใช้ในการทดลอง

- PTA6043 - 2015DPA103



รูป PTA6043-2015DPA103

โดย PTA6043 เป็นรหัสที่บอกรถึงประเภทของ Potentiometer ที่สามารถปรับได้แบบแม่นนวลด้วยไฟฟ้าหรือความเข้มของสัญญาณ
ต้องการควบคุมแรงดันไฟฟ้าหรือความเข้มของสัญญาณ

ส่วน 2015DPA เป็นรหัสที่บอกรถึง ลักษณะทางกายภาพ และ คุณสมบัติเฉพาะของการติดตั้ง เช่น ขนาดและรูปแบบ
ของ Potentiometer

ส่วนสุดท้าย คือ 103 เป็นรหัสส่วนท้ายที่แสดงถึง ค่าความต้านทานของ Potentiometer

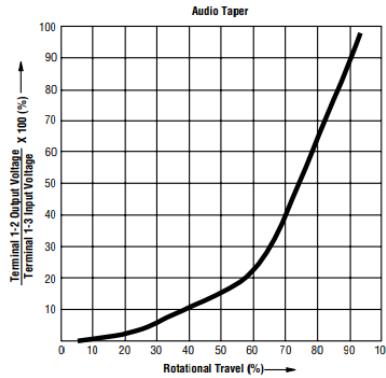
สรุปแล้ว PTA6043 - 2015DPA103 ชนิดนี้ คือ Potentiometer แบบปรับหมุนได้ ที่มีความต้านทาน **10 kΩ** ใช้
ในงานที่ต้องการปรับแรงดันไฟฟ้าอย่างละเอียด

โดยมีรายละเอียดและ Tech Specifications ของรุ่นนี้ดังนี้ :

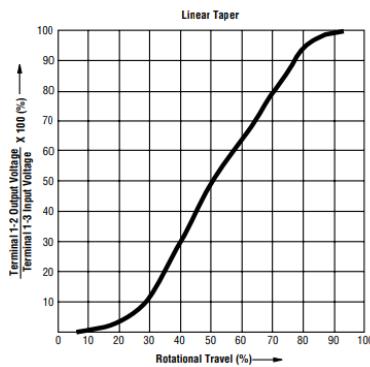
Tech Specifications

Description	Product Attribute	Search Similar
Manufacturer	Bourns	<input type="checkbox"/>
Product Category	Slide Potentiometers	<input type="checkbox"/>
Series	PTA	<input type="checkbox"/>
Mounting Style	PCB Mount	<input type="checkbox"/>
Termination Style	PC Pin	<input type="checkbox"/>
Type	Low Profile Slide Potentiometer	<input type="checkbox"/>
Travel	60 mm	<input type="checkbox"/>
Resistance	10 kOhms	<input type="checkbox"/>
Power Rating	250 mW (1/4 W)	<input type="checkbox"/>
Tolerance	20 %	<input type="checkbox"/>
Taper	Linear	<input type="checkbox"/>
Length	75 mm	<input type="checkbox"/>
Width	9 mm	<input type="checkbox"/>
Height	6.5 mm	<input type="checkbox"/>
Packaging	Tray	<input type="checkbox"/>
Element Type	Carbon	<input type="checkbox"/>
Life	15000 Cycle	<input type="checkbox"/>
Product Type	Slide Potentiometers	<input type="checkbox"/>
Product	Slide Potentiometers/Faders	<input type="checkbox"/>
Subcategory	Potentiometers, Trimmers & Rheostats	<input type="checkbox"/>
Tradename	Pro Audio	<input type="checkbox"/>

รูป Tech Specifications ของ PTA6043-2015DPA103



รูป กราฟ Audio Taper ของ PTA6043 - 2015DPA103



รูป กราฟ Linear Taper ของ PTA6043 - 2015DPA103

- PTA6043-2015DPB103



รูป PTA6043-2015DPB103

โดย PTA6043 เป็นรหัสที่บอกร่องประเภทของ Potentiometer ที่สามารถปรับได้แบบแม่นวลด้วยใช้ในงานทั่วไปที่ต้องการควบคุมแรงดันไฟฟ้าหรือความเข้มของสัญญาณ

ส่วน 2015DPB เป็นรหัสที่บอกร่อง ลักษณะทางกายภาพ และ คุณสมบัติเฉพาะของการติดตั้ง เช่น รุ่น DPB บอกร่องรูปร่างของปุ่มปรับ (Knob Style) หรือรูปแบบเฉพาะของตัวต้านทาน

ส่วนสุดท้าย คือ 103 เป็นรหัสส่วนท้ายที่แสดงถึง ค่าความต้านทานของ Potentiometer

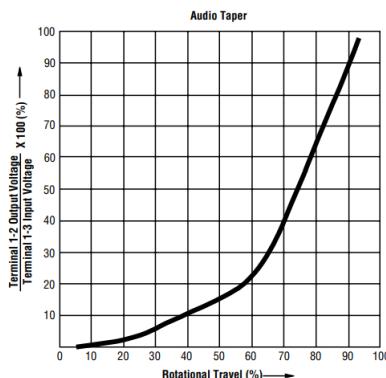
สรุปแล้ว PTA6043 - 2015DPB103 ชนิดนี้ คือ Potentiometer ที่มีความต้านทาน $10 \text{ k}\Omega$ ใช้ในงานที่ต้องการปรับแรงดันไฟฟ้าอย่างละเอียด

โดยมีรายละเอียดและ Tech Specifications ของรุ่นนี้ดังนี้ :

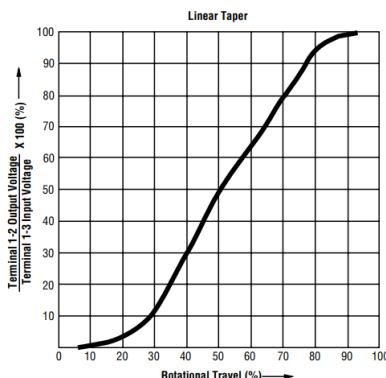
Tech Specifications

Description	Product Attribute	Search Similar
Manufacturer	Bourns	<input type="checkbox"/>
Product Category	Slide Potentiometers	<input type="checkbox"/>
Series	PTA	<input type="checkbox"/>
Mounting Style	PCB Mount	<input type="checkbox"/>
Termination Style	PC Pin	<input type="checkbox"/>
Type	Low Profile Slide Potentiometer	<input type="checkbox"/>
Travel	60 mm	<input type="checkbox"/>
Resistance	10 kOhms	<input type="checkbox"/>
Power Rating	250 mW (1/4 W)	<input type="checkbox"/>
Tolerance	20 %	<input type="checkbox"/>
Taper	Linear	<input type="checkbox"/>
Length	75 mm	<input type="checkbox"/>
Width	9 mm	<input type="checkbox"/>
Height	6.5 mm	<input type="checkbox"/>
Packaging	Tray	<input type="checkbox"/>
Element Type	Carbon	<input type="checkbox"/>
Life	15000 Cycle	<input type="checkbox"/>
Product Type	Slide Potentiometers	<input type="checkbox"/>
Product	Slide Potentiometers/Faders	<input type="checkbox"/>
Subcategory	Potentiometers, Trimmers & Rheostats	<input type="checkbox"/>
Tradename	Pro Audio	<input type="checkbox"/>

รูป Tech Specifications ของ PTA6043-2015DPB103



รูป กราฟ Audio Taper ของ PTA6043 - 2015DPB103



รูป กราฟ Linear Taper ของ PTA6043 - 2015DPB103

- PDB181-K420K-103A2



รูป PDB181-K420K-103A2

โดย PDB181 เป็นรหัสที่บอกรถีของ Potentiometer ซึ่งอาจใช้เพื่อบอกขนาด รูปแบบการใช้งาน หรือลักษณะ การออกแบบ

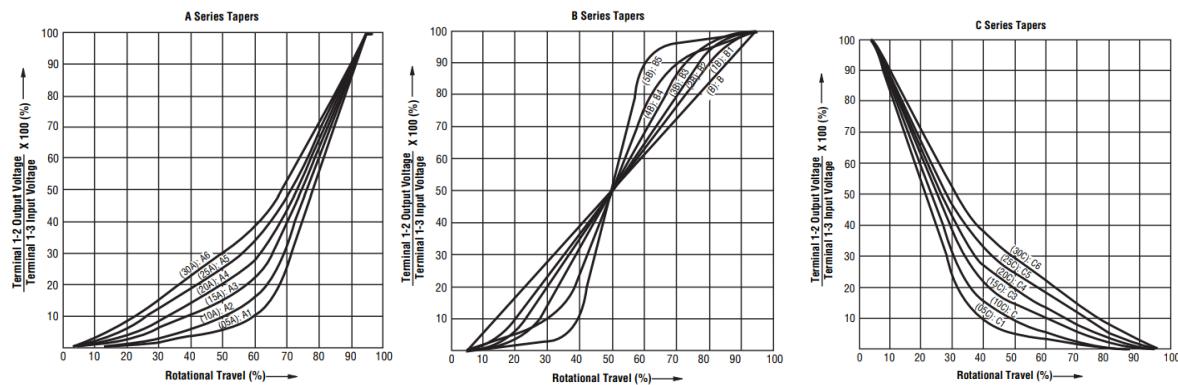
ส่วน K420K เป็นรหัสที่บอกรถี ตัวกำหนดค่าโวัตต์ของ Potentiometer หรือประเภทของการหมุนหรือปรับค่า และส่วนสุดท้าย 103A2 โดยปกติแล้วเป็นตัวเลขและตัวอักษร อาจบอกรถีรายละเอียดที่เหลือ เช่น ความแม่นยำ, ความต้านทาน หรือประเภทการติดตั้งและการหมุน

ส่วนสุดท้าย คือ 103 เป็นรหัสส่วนท้ายที่แสดงถึง ค่าความต้านทานของ Potentiometer

โดยมีรายละเอียดและ Tech Specifications ของรุ่นนี้ดังนี้ :

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

รูป Tech Specifications ของ PDB181-K420K-103A2



รูป กราฟ A, B, C Series Tapers ตามลำดับ ของ PDB181-K420K-103A2

- PDB181-K420K-103B



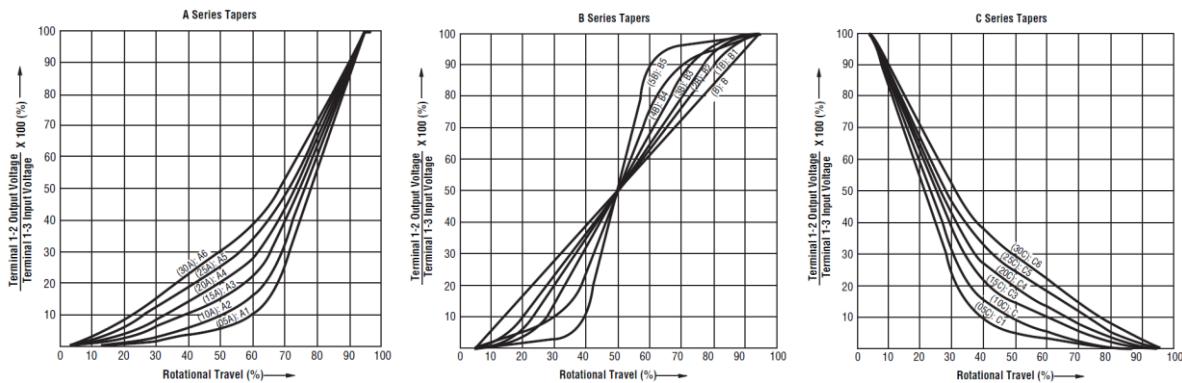
รูป PDB181-K420K-103B

โดย PDB181 เป็นรหัสที่บอกถึงประเภทของ Potentiometer ที่ใช้เพื่อบอกกลักษณะทางกายภาพ หรือรูปแบบการใช้งาน ส่วน K420K เป็นรหัสที่บอกถึง ตัวกำหนดค่าโอมของ Potentiometer หรือประเภทของการหมุนหรือปรับค่า และส่วนสุดท้าย 103B โดยปกติแล้วเป็นตัวเลขและตัวอักษร ตัวเลขหมายถึงค่าโอม์ม ส่วนตัวอักษรอาจแสดงถึง ความแม่นยำ หรือลักษณะพิเศษ

โดยมีรายละเอียดและ Tech Specifications ของรุ่นนี้ดังนี้ :

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

รูป Tech Specifications ของ PDB181-K420K-103B



รูป กราฟ A, B, C Series Tapers ตามลำดับ ของ PDB181-K420K-103B

- PDB181-K420K-103C



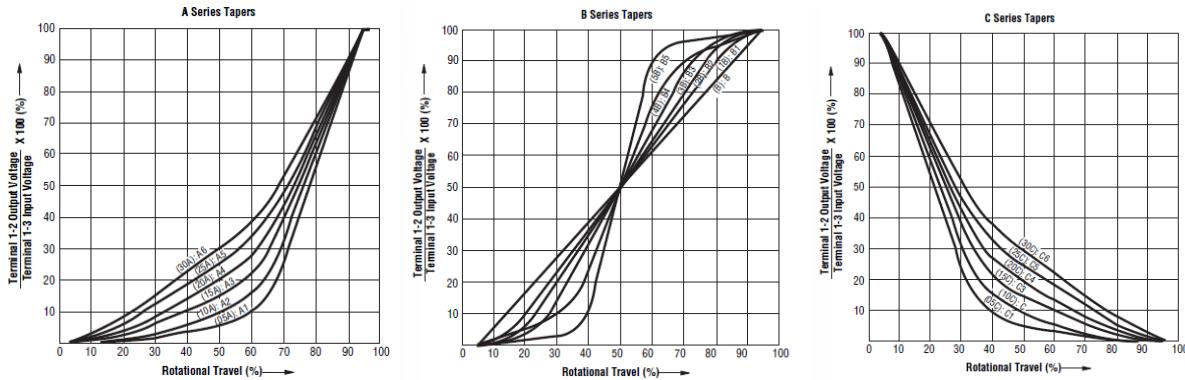
รูป PDB181-K420K-103C

โดย PDB181 เป็นรหัสที่บอกถึงประเภทของ Potentiometer ที่ใช้เพื่อบอกกลักษณะทางกายภาพ หรือรูปแบบการใช้งาน ส่วน K420K เป็นรหัสที่บอกถึง ตัวกำหนดค่าโอมของ Potentiometer หรือประเภทของการหมุนหรือปรับค่า และส่วนสุดท้าย 103C โดยปกติแล้วเป็นตัวเลขและตัวอักษร ตัวเลขหมายถึงค่าโอม ส่วนตัวอักษรอาจแสดงถึง ความแม่นยำ หรือลักษณะพิเศษ

โดยมีรายละเอียดและ Tech Specifications ของรุ่นนี้ดังนี้ :

Specifications	
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:	
Shaft Type:	
Shaft Diameter:	
Shaft Length:	
Switch Type:	
Number of Detents:	
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

รูป Tech Specifications ของ PDB181-K420K-103C



รูป กราฟ A, B, C Series Tapers ตามลำดับ ของ PDB181-K420K-103C

3. การตอบสนองของแรงดันไฟฟ้า เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งหรือระยะของตัวปรับใน Potentiometer เมื่อมีการปรับตำแหน่งของตัวปรับใน Potentiometer แรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก wiper จะแปรผันตามตำแหน่งที่ตั้งของตัวปรับ โดยการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าจะเป็นไปดังนี้

- การตอบสนองแบบเส้นตรง สำหรับ Potentiometer ที่มีคุณสมบัติ Linear Taper เมื่อหมุนตัวปรับ ความต้านทานจะเปลี่ยนในอัตราส่วนที่คงที่
- การตอบสนองแบบลอการิทึม สำหรับ Potentiometer ที่มีคุณสมบัติ Logarithmic Taper เมื่อหมุนตัวปรับ แรงดัน Output จะเปลี่ยนแปลงในอัตราที่เป็นลอการิทึม โดยส่วนมากใช้ในการควบคุมเสียงในอุปกรณ์ที่ต้องการตอบสนองของเสียงที่เป็นไปตามการรับรู้ของมนุษย์

วิธีดำเนินการทดลอง

ในการดำเนินการทดลองการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าข้าอกต่อระยะทาง หรือองศาการหมุนของ Potentiometer อันดับแรกหากเข้มงวดกับ Potentiometer แต่ละชนิดที่ได้ โดย Potentiometer มีทั้งหมด 3 Type ได้แก่ Type A, Type B และ Type C หลักจากนั้นก็ถูกเกี่ยวกับ Taper ของแต่ละชนิด เมื่อศึกษาข้อมูลของ Potentiometer ครบแล้ว ต่อมาก็มาดูว่า การเก็บข้อมูลต้องใช้อะไรบ้าง เช่น ใช้โปรแกรมอะไร ต้องเขียนโค้ดแบบไหน เป็นต้น ในขั้นตอนการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ ภาพนี้จะต้องมีการต่อสายจัมเปอร์เข้ากับบอร์ด Nucleo STM32G474RE และ Potentiometer ชนิดที่ต้องการเก็บข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลที่เก็บค่าได้มาเทียบกับข้อมูลที่มีใน Datasheet เพื่อดูว่า Potentiometer ชนิดที่กำลังทดสอบอยู่นั้น คือ Potentiometer ชนิดไหนและ Type ไหน ก็นำวิเคราะห์ให้ลงลำดับถัดไป จากนั้นเมื่อเรารู้ว่ามันคือ Potentiometer ชนิดไหนและ Type ไหนแล้ว ก็นำข้อมูลเกี่ยวกับค่า Error ที่สามารถเกิดขึ้นได้มาสร้าง Error Bars จากนั้นนำชุดข้อมูลทั้งที่เก็บค่าได้ และจาก Datasheet มาอยู่ในกราฟเดียวกัน และวิเคราะห์ว่าข้อมูลที่เก็บมาได้นั้น อยู่ในขอบเขตที่สามารถคลาดเคลื่อนได้หรือไม่ ถ้าไม่อยู่สาเหตุมาจากอะไร เมื่อเราได้ข้อมูลทั้งหมดมาแล้ว ก็นำข้อมูลนั้นมาสรุป ใส่ในรายงาน และอภิปรายผลข้อมูล พร้อมข้อเสนอแนะ อาจจะเป็นข้อผิดพลาด หรือเป็นสิ่งที่อยากพัฒนาในอนาคตก็เป็นได้

วัสดุอุปกรณ์

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

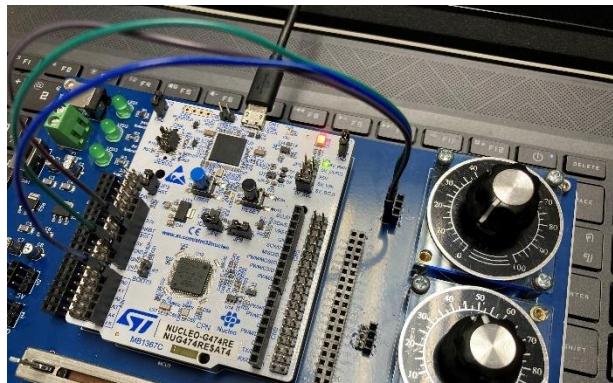
ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ PotenXplorer, บอร์ด Nucleo STM32G474RE, สายอัปโหลด, สายจัมเปอร์ และโน๊ตบุ๊ก หรือ คอมพิวเตอร์ใช้สำหรับเก็บข้อมูล



รูป อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

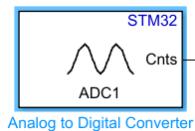
2. ก่อนเสียบสายจัมเปอร์เข้ากับบอร์ด Nucleo STM32G474RE และ PotenXplorer ต้องทราบเกี่ยวกับบอร์ดก่อนว่าเราจะใช้อะไรบ้าง โดยมีขั้นตอนในการเตรียมอุปกรณ์ดังนี้
 - 2.1 ใช้สายจัมเปอร์เสียบระหว่าง GND จากบอร์ดและช่องที่ 1 ของ Potentiometer ที่เราต้องการเก็บข้อมูล
 - 2.2 ใช้สายจัมเปอร์เสียบระหว่าง A0 จากบอร์ดและช่องที่ 2 ของ Potentiometer ที่เราต้องการเก็บข้อมูล
 - 2.3 ใช้สายจัมเปอร์เสียบระหว่าง 3V3 จากบอร์ดและช่องที่ 3 ของ Potentiometer ที่เราต้องการเก็บข้อมูลโดยที่สามารถเสียบ 3V3 และ GND สลับกันได้ เนื่องจากว่า Potentiometer ไม่มีขัว แต่ข้อมูลจะมีการสลับกันเมื่อเสียบสายจัมเปอร์และตรวจเช็คเรียบร้อยแล้วว่าสายไม่มีการหักใน จำนวนให้เสียบสายอัปโหลดระหว่างโน๊ตบุ๊ก และบอร์ด Nucleo STM32G474RE เพื่อจ่ายไฟให้กับบอร์ด



รูป การเสียบสายจัมเปอร์ระหว่างบอร์ด Nucleo STM32G474RE และ PotenXplorer

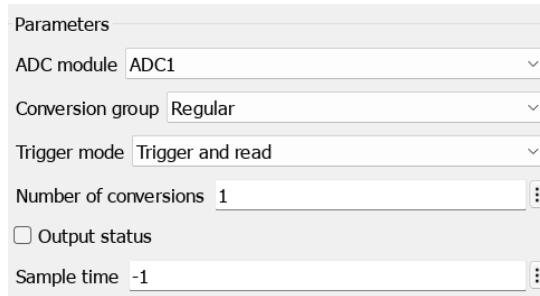
3. หลังจากที่ทำขั้นตอนที่ 2 เสร็จแล้ว ให้เปิดโปรแกรม MATLAB R2024B แล้วกดไปที่ Simulink เพื่อเก็บข้อมูลของ Potentiometer แต่ละชนิด ข้อมูลที่ได้ในขั้นตอนนี้ คือข้อมูลที่ได้จากการปรับระยะหรือหมุนองศา Potentiometer ตามที่เราต้องการ โดย Block ที่ใช้มีดังนี้

3.1 Analog to Digital Converter ทำหน้าที่แปลงสัญญาณ Analog ให้เป็นสัญญาณ Digital เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลข้อมูลที่มาจาก Sensor ได้

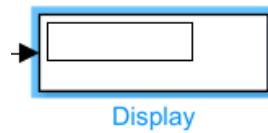


รูป Block Analog to Digital Converter

โดยสามารถตั้งค่าได้ดังนี้

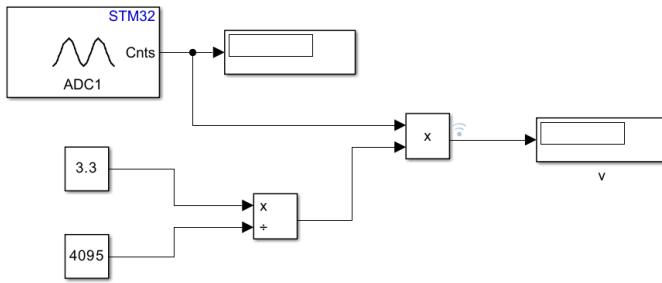


3.2 Display ทำหน้าที่เป็นจอแสดงผลที่ใช้แสดงข้อมูล



รูป Block Display

4. ข้อมูลที่จะนำไปใช้ คือ ค่าของแรงดันไฟฟ้า สามารถคิดได้ดังนี้



หรือ สามารถเขียนเป็นสมการได้

$$\frac{x \times 3.3}{4095} = V$$

โดยที่

x แทน ค่าของสัญญาณ Analog 0 ถึง 12 bits

V แทน ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ออกมามีหน่วยเป็น Volt

3.3 คือ ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแหล่งจ่ายไฟ

4095 คือ ตัวเลขฐานสิบที่มีความละเอียด 12 bits ซึ่งค่านี้เป็นค่าสูงสุดที่สามารถอ่านได้

5. เมื่อจะทำการเก็บค่า เราจะเก็บค่า Potentiometer แต่ละชนิดโดยการ ปรับระยะหรือองศาในการหมุนเพิ่มขึ้นที่ละ 10 % แล้วค่าที่ได้จะเป็นค่าของแรงดัน Output จากนั้นนำค่าไปสร้างกราฟ V_{out} เทียบกับการปรับระยะเพิ่มขึ้นที่ละ 10 %
6. เนื่องจากค่าของ V_{out} ที่ได้มาจากการปรับระยะเพิ่มขึ้นที่ละ 10 % มีค่าไม่คงที่ เลยต้องหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลโดยใช้ Root Mean Square โดยใช้ข้อมูล 100 ค่า เพื่อหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล
7. จากนั้นนำค่าของ V_{out} ที่ได้มาหาค่าของ Voltage Gain โดยใช้สมการ

$$V_{out} = \frac{Output\ Voltage}{3.3} \times 100$$

โดย

Output Voltage คือ ค่าที่ได้จากการปรับระยะเพิ่มขึ้นที่ละ 10 %

3.3

คือ ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแหล่งจ่ายไฟ

100

คือ ค่าที่ทำให้ข้อมูลการเป็น %

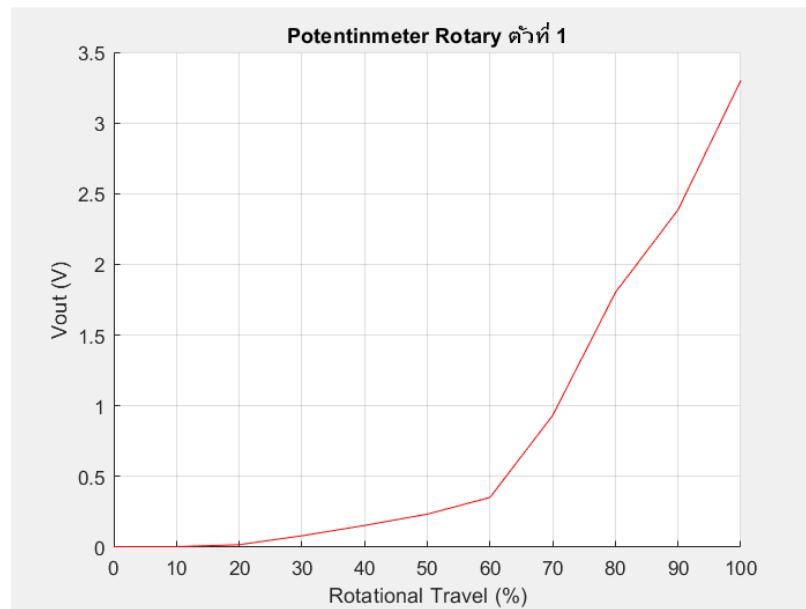
8. เมื่อได้ค่าของ V_{out} แล้ว นำข้อมูลมาใส่ใน โปรแกรม MATLAB และสร้างกราฟที่ V ratio เทียบกับการปรับระยะเพิ่มขึ้นที่ละ 10 %
9. หลังจากนั้นนำกราฟที่ได้นั้นไปเทียบกับข้อมูลที่มีใน Datasheet ของ Potentiometer แต่ละชนิด
10. วิเคราะห์กราฟที่เกิดขึ้น แล้วนำข้อมูลมาสรุปผลและอภิปรายผลลงในรายงาน

ผลการทดลอง

1. พฤติกรรมของ Rotary ตัวที่ 1 เมื่อมีการปรับค่าเพิ่มขึ้นที่ละ 10 % ได้ผลลัพธ์ดังนี้

เพิ่มขึ้นที่ละ 10 %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
V_{out} (V)	0.004	0.004	0.018	0.081	0.154	0.234	0.352	0.932	1.801	2.386	3.3

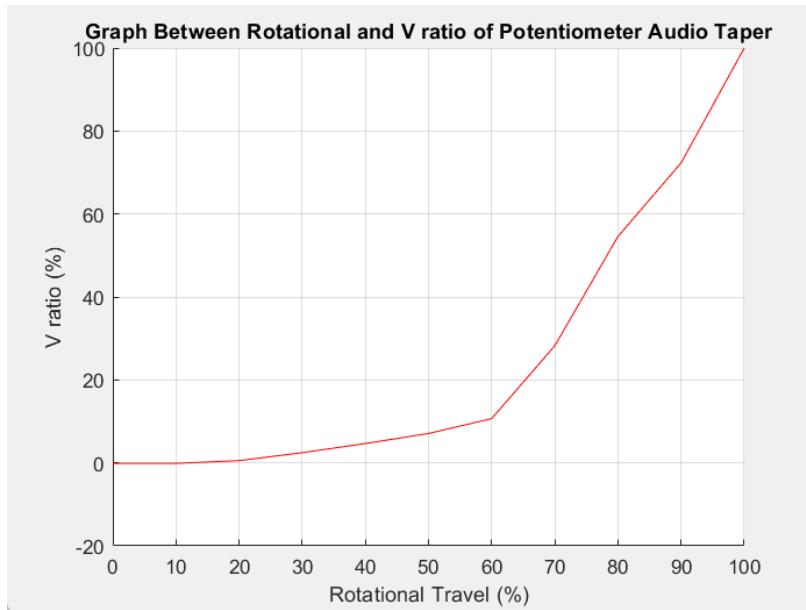
เมื่อนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟ จะได้กราฟดังนี้



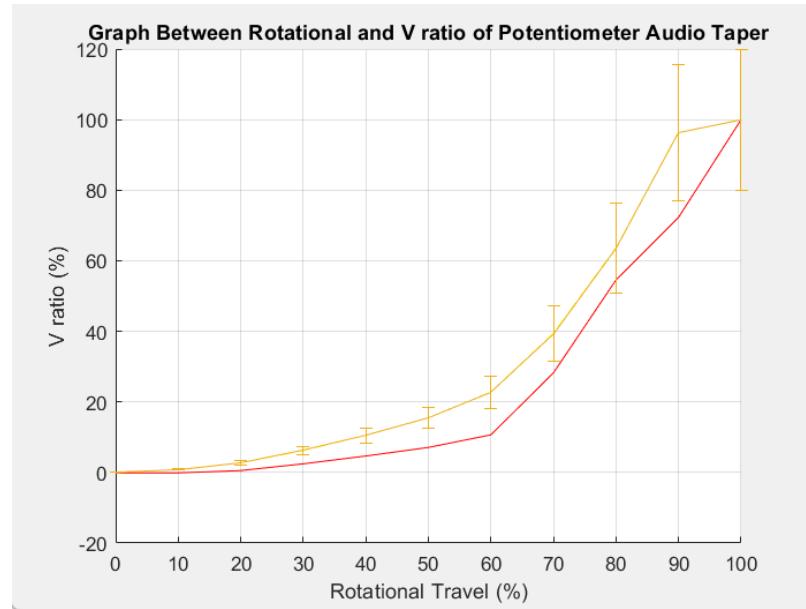
จากนั้นนำค่าของแรงดันไฟฟ้าได้ไปหาค่า V ratio

เพิ่มขึ้นทีละ 10 %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
V ratio (V)	0.121	0.121	0.545	2.454	4.667	7.091	10.667	28.242	54.576	72.303	100

เมื่อนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟ จะได้กราฟดังนี้



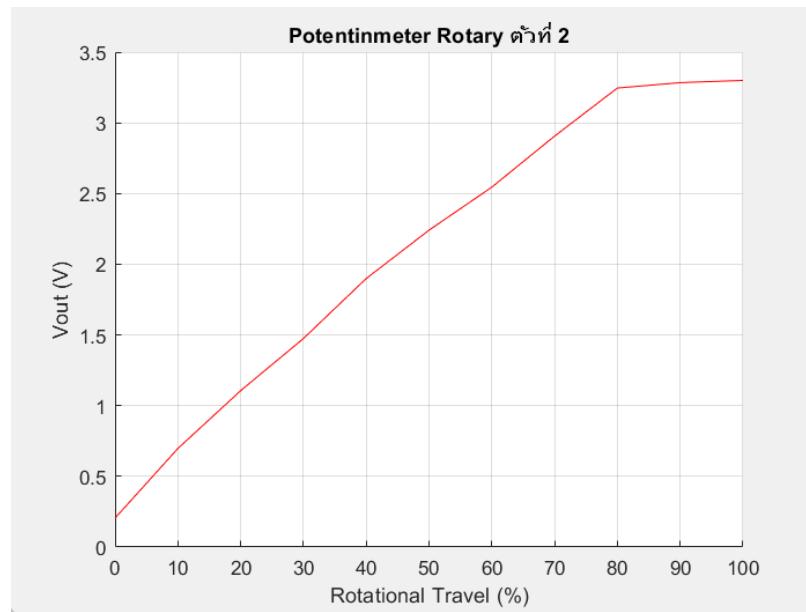
เมื่อนำกราฟที่ได้จาก Rotary ตัวที่ 1 มาทำการเปรียบเทียบกับกราฟจาก Datasheet โดยเส้นสีแดง คือ ค่าที่อ่านได้จาก Potentiometer Rotary ตัวที่ 1 และเส้นสีเหลือง คือค่าจาก Datasheet ของ Potentiometer Type A



2. พฤติกรรมของ Rotary ตัวที่ 2 เมื่อมีการปรับค่าเพิ่มขึ้นทีละ 10 % ได้ผลลัพธ์ดังนี้

เพิ่มขึ้นทีละ 10 %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Vout (V)	0.205	0.697	1.106	1.475	1.899	2.241	2.545	2.906	3.246	3.284	3.3

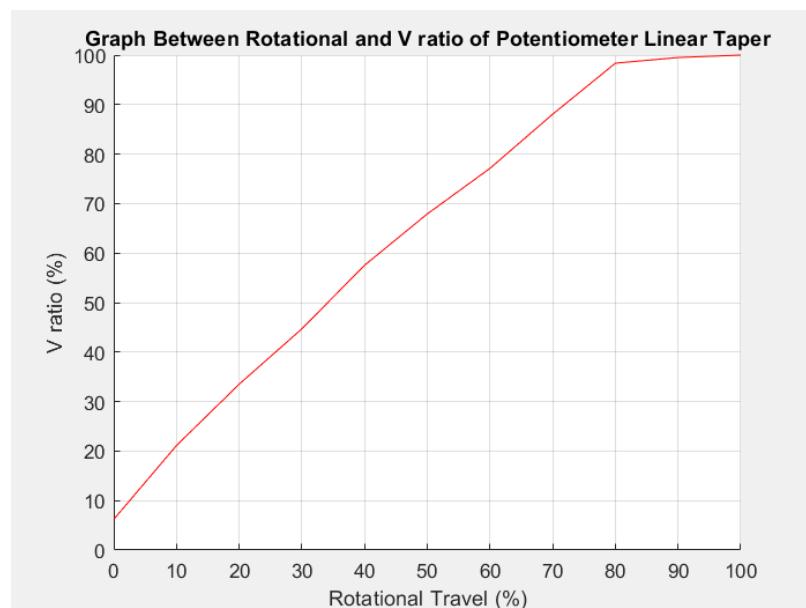
เมื่อนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟ จะได้กราฟดังนี้



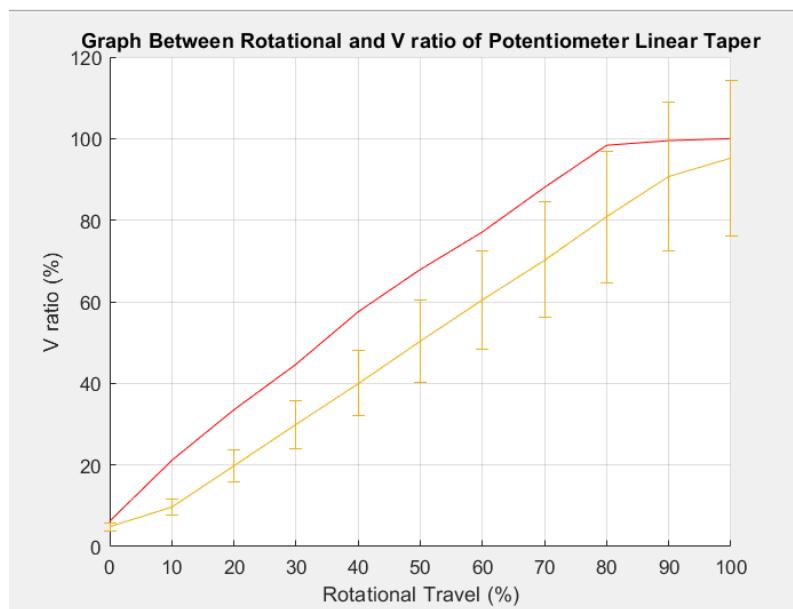
จากนั้นนำค่าของแรงดันไฟฟ้าได้ไปหาค่า V ratio

เพิ่มขึ้นทีละ 10 %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
V ratio (V)	6.212	21.121	33.515	44.696	57.545	67.909	77.121	88.060	98.363	99.515	100

เมื่อนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟ จะได้กราฟดังนี้



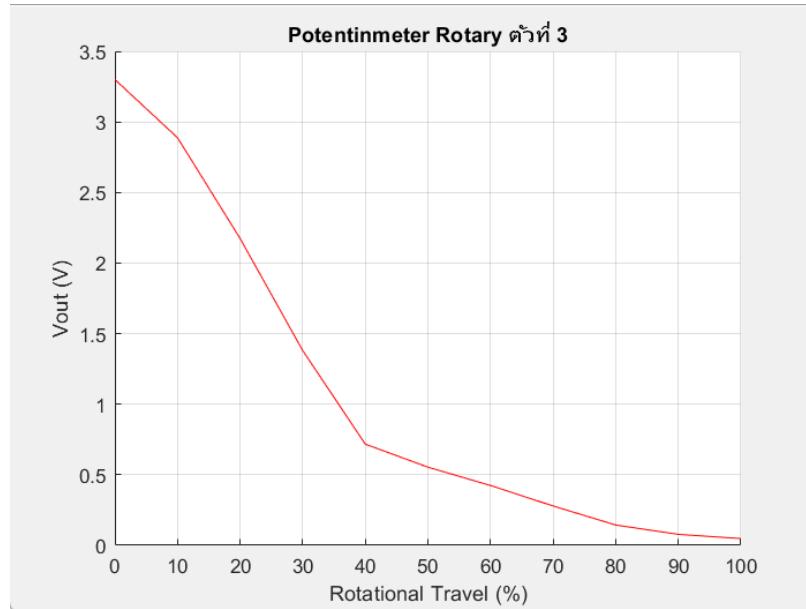
เมื่อนำกราฟที่ได้จาก Rotary ตัวที่ 2 มาทำการเปรียบเทียบกับกราฟจาก Datasheet โดยเส้นสีแดง คือ ค่าที่อ่านได้จาก Potentiometer Rotary ตัวที่ 2 และเส้นสีเหลือง คือค่าจาก Datasheet ของ Potentiometer Type B



3. พฤติกรรมของ Rotary ตัวที่ 3 เมื่อมีการปรับค่าเพิ่มขึ้นทีละ 10 % ได้ผลลัพธ์ดังนี้

เพิ่มขึ้นทีละ 10 %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Vout (V)	0.205	0.697	1.106	1.475	1.899	2.241	2.545	2.906	3.246	3.284	3.3

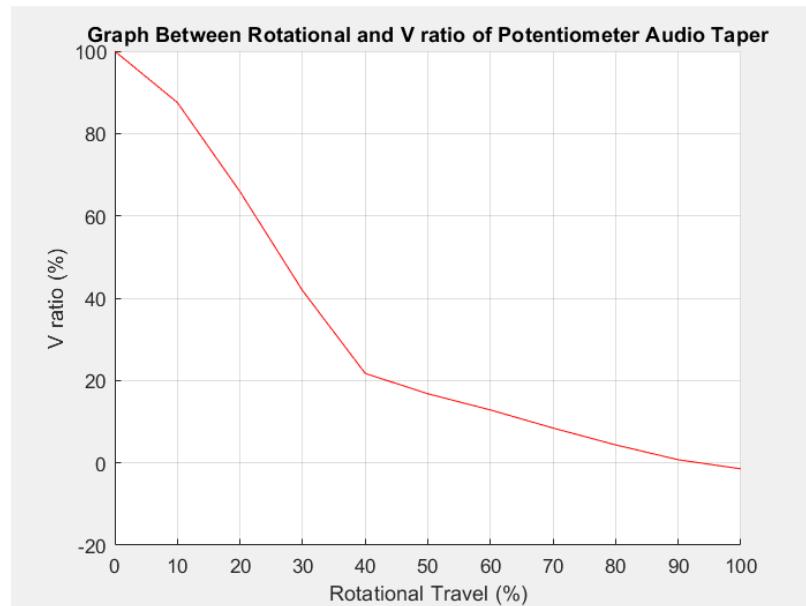
เมื่อนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟ จะได้กราฟดังนี้



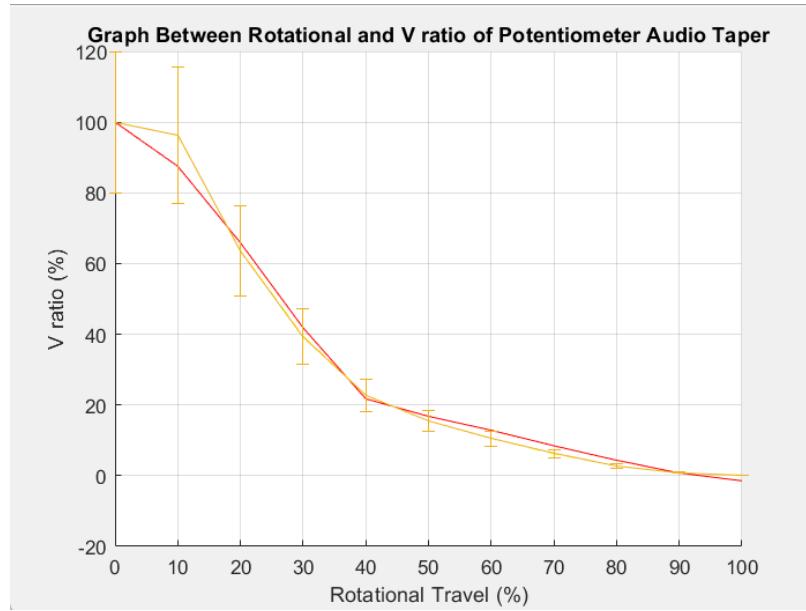
จากนั้นนำค่าของแรงดันไฟฟ้าได้ไปหาค่า V ratio

เพิ่มขึ้นทีละ 10 %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
V ratio (V)	6.212	21.121	33.515	44.696	57.545	67.909	77.121	88.060	98.363	99.515	100

เมื่อนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟ จะได้กราฟดังนี้



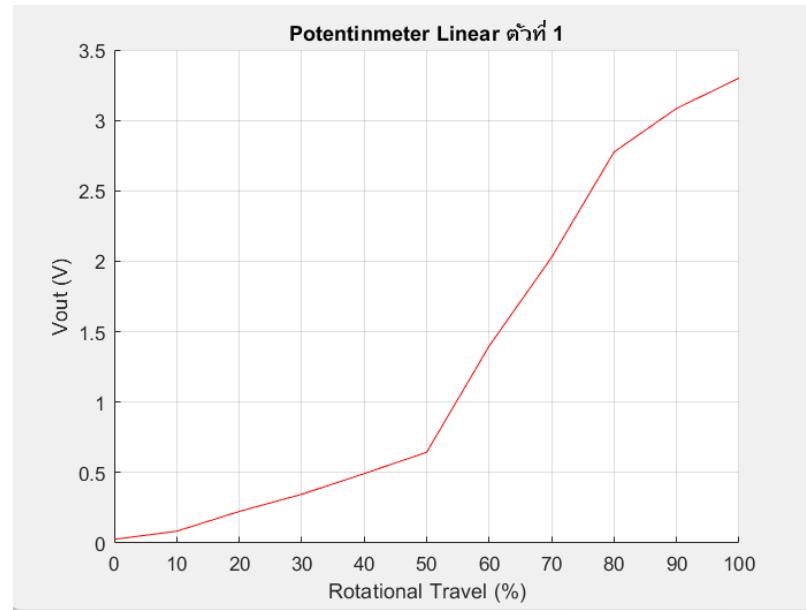
เมื่อนำกราฟที่ได้จาก Rotary ตัวที่ 3 มาทำการเปรียบเทียบกับกราฟจาก Datasheet โดยเส้นสีแดง คือ ค่าที่อ่านได้จาก Potentiometer Rotary ตัวที่ 3 และเส้นสีเหลือง คือค่าจาก Datasheet ของ Potentiometer Type C



4. พฤติกรรมของ Linear ตัวที่ 1 เมื่อมีการปรับค่าเพิ่มขึ้นทีละ 10 % ได้ผลลัพธ์ดังนี้

เพิ่มขึ้นทีละ 10 %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Vout (V)	0.026	0.084	0.224	0.346	0.493	0.644	1.398	2.028	2.776	3.085	3.3

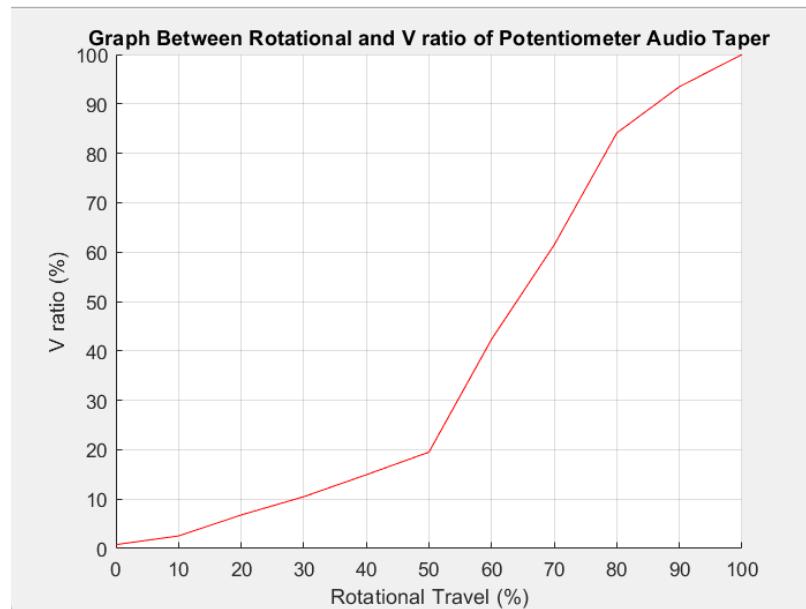
เมื่อนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟ จะได้กราฟดังนี้



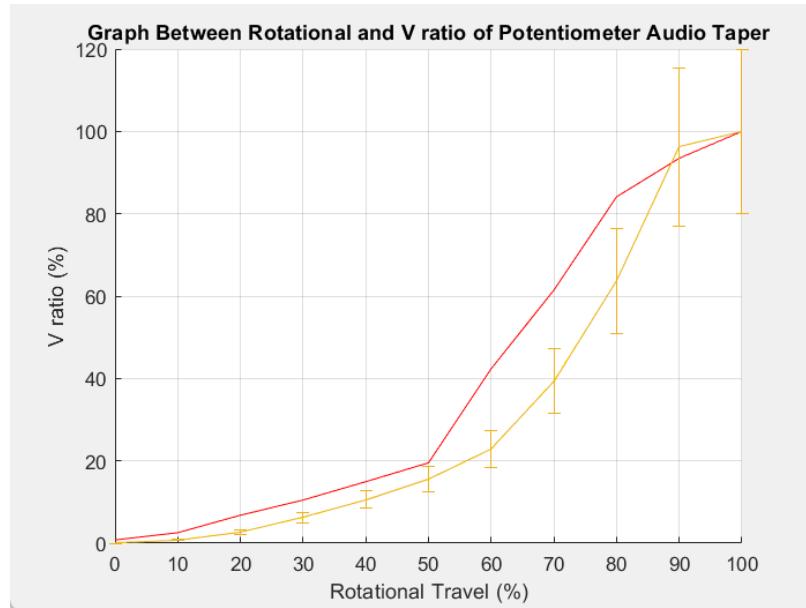
จากนั้นนำค่าของแรงดันไฟฟ้าได้ไปหาค่า V ratio

เพิ่มขึ้นทีละ 10 %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
V ratio (V)	0.788	2.545	6.788	10.485	14.939	19.515	42.364	61.454	84.121	93.484	100

เมื่อนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟ จะได้กราฟดังนี้



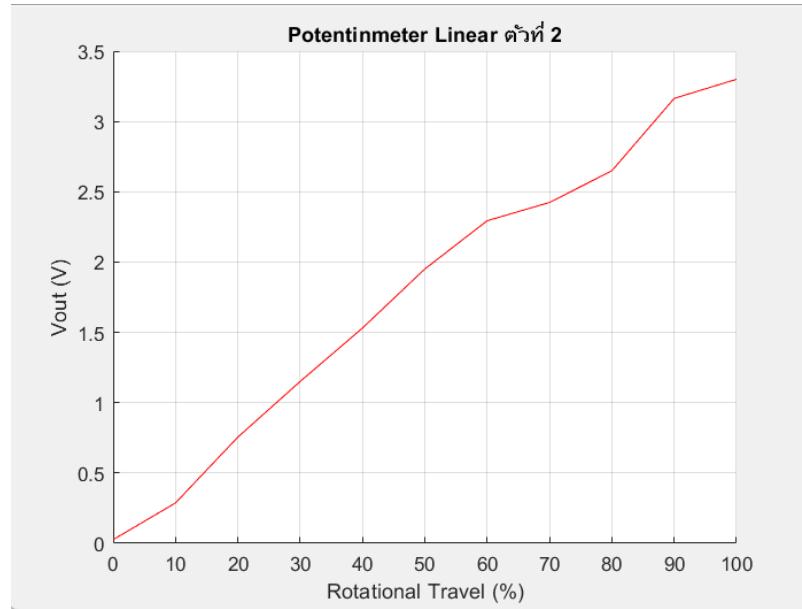
เมื่อนำกราฟที่ได้จาก Linear ตัวที่ 1 มาทำการเปรียบเทียบกับกราฟจาก Datasheet โดยเส้นสีแดง คือ ค่าที่อ่านได้จาก Potentiometer Linear ตัวที่ 1 และเส้นสีเหลือง คือค่าจาก Datasheet ของ Potentiometer Type A



5. พฤติกรรมของ Linear ตัวที่ 2 เมื่อมีการปรับค่าเพิ่มขึ้นทีละ 10 % ได้ผลลัพธ์ดังนี้

เพิ่มขึ้นทีละ 10 %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Vout (V)	0.026	0.287	0.755	1.151	1.531	1.951	2.294	2.424	2.649	3.085	3.3

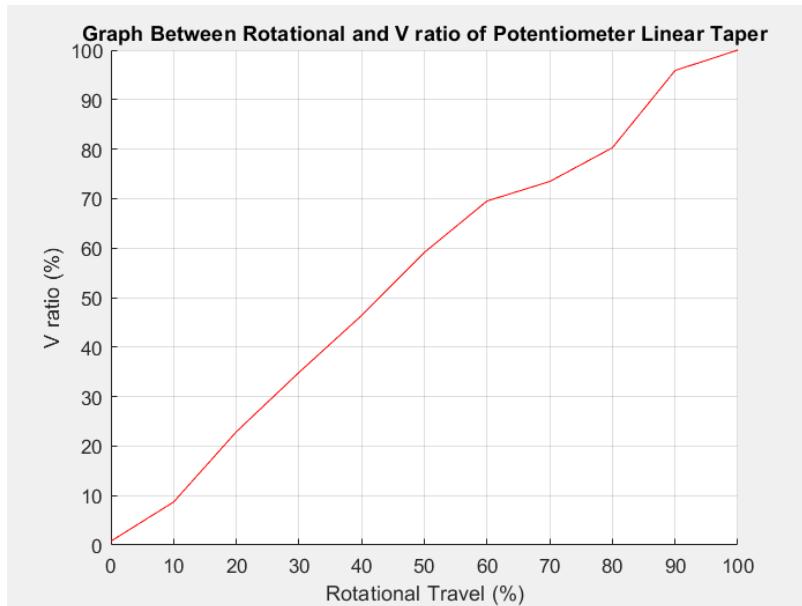
เมื่อนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟ จะได้กราฟดังนี้



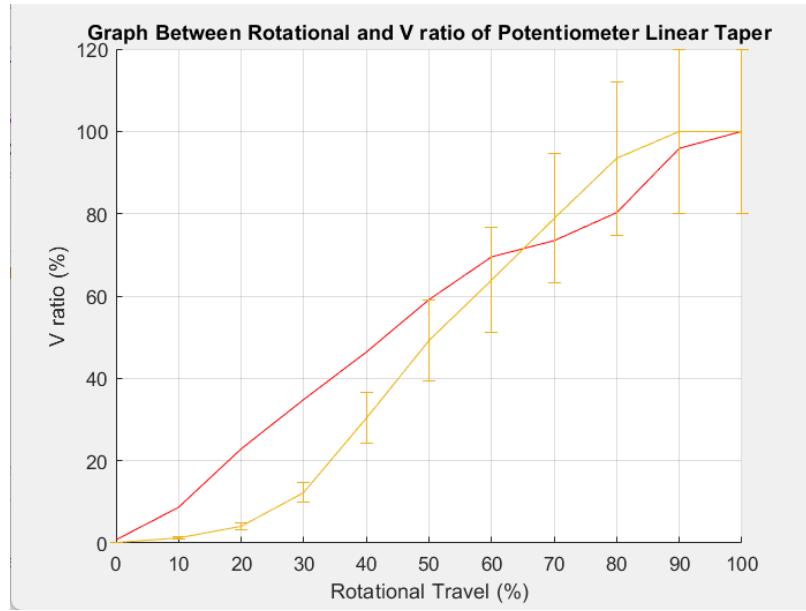
จากนั้นนำค่าของแรงดันไฟฟ้าได้ไปหาค่า V ratio

เพิ่มขึ้นทีละ 10 %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
V ratio (V)	0.788	8.6970	22.879	34.879	46.364	59.121	69.515	73.454	80.273	95.879	100

เมื่อนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟ จะได้กราฟดังนี้



เมื่อนำกราฟที่ได้จาก Linear ตัวที่ 2 มาทำการเปรียบเทียบกับกราฟจาก Datasheet โดยเส้นสีแดง คือ ค่าที่อ่านได้จาก Potentiometer Linear ตัวที่ 2 และเส้นสีเหลือง คือค่าจาก Datasheet ของ Potentiometer Type B



สรุปผล

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า กราฟของ Potentiometer แต่ละชนิดมีค่าต่างกัน ส่งผลให้กราฟที่ออกแบบมีความแตกต่าง กันด้วย โดยจะแบ่งชนิดของ Potentiometer ได้ดังนี้

1. Potentiometer Rotary ตัวที่ 1 กราฟที่ V ratio เทียบกับการปรับระยะเพิ่มขึ้นทีละ 10 % มีลักษณะเป็น Exponential Growth ซึ่งตรงกับ Potentiometer Rotary Type A
2. Potentiometer Rotary ตัวที่ 2 กราฟที่ V ratio เทียบกับการปรับระยะเพิ่มขึ้นทีละ 10 % มีลักษณะเป็น Linear ซึ่งตรงกับ Potentiometer Rotary Type B
3. Potentiometer Rotary ตัวที่ 3 กราฟที่ V ratio เทียบกับการปรับระยะเพิ่มขึ้นทีละ 10 % มีลักษณะเป็น Exponential Decay ซึ่งตรงกับ Potentiometer Rotary Type C
4. Potentiometer Linear ตัวที่ 1 กราฟที่ V ratio เทียบกับการปรับระยะเพิ่มขึ้นทีละ 10 % มีลักษณะเป็น Exponential Growth ซึ่งตรงกับ Potentiometer Linear Type A
5. Potentiometer Linear ตัวที่ 2 กราฟที่ V ratio เทียบกับการปรับระยะเพิ่มขึ้นทีละ 10 % มีลักษณะเป็น Linear ซึ่งตรงกับ Potentiometer Linear Type B

และ Error Bars ที่ได้มาจากการทดลอง เมื่อนำมาเทียบกับข้อมูลที่ได้มาจากการทดลอง ทำให้เห็นว่า มีข้อมูลบางส่วน ที่คลาดเคลื่อนออกไปจาก Error Bars เกิดได้จากหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิและสภาพแวดล้อม การใช้งานและการ เชื่อมต่อ หรือเกิดจากความผิดพลาดในการวัด

อภิรายผล

จากสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ คือ ค่าของแรงดันไฟฟ้าข้ออกของ Potentiometer จะมีการแปรผันค่าตามการเปลี่ยนแปลงของระยะทาง หรือองศาการหมุน Potentiometer โดยจากการทดลองที่ได้ทำไปแสดงให้เห็นว่า

Potentiometer Rotary Type A เมื่อเริ่มหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกาพบว่า กราฟมีการเปลี่ยนค่าไปเป็นรูปแบบ เส้นโค้งตามรูปแบบของ Logarithm ซึ่งตรงตาม Datasheet ของ Potentiometer Rotary ชนิดนี้

Potentiometer Rotary Type B เมื่อเริ่มหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกาพบว่า กราฟมีการเปลี่ยนค่าไปเป็นรูปแบบ เส้นตรงตามรูปแบบของ Linear ซึ่งตรงตาม Datasheet ของ Potentiometer Rotary ชนิดนี้

Potentiometer Rotary Type C เมื่อเริ่มหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกาพบว่า กราฟมีการเปลี่ยนค่าไปเป็นรูปแบบ เส้นโค้งตามรูปแบบของ Anti - Logarithm ซึ่งตรงตาม Datasheet ของ Potentiometer Rotary ชนิดนี้

Potentiometer Linear Type A เมื่อเริ่มหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกาพบว่า กราฟมีการเปลี่ยนค่าไปเป็นรูปแบบ เส้นโค้งตามรูปแบบของ Logarithm ซึ่งตรงตาม Datasheet ของ Potentiometer Linear ชนิดนี้

Potentiometer Linear Type B เมื่อเริ่มหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกาพบว่า กราฟมีการเปลี่ยนค่าไปเป็นรูปแบบ เส้นตรงตามรูปแบบของ Linear ซึ่งตรงตาม Datasheet ของ Potentiometer Linear ชนิดนี้

ข้อเสนอแนะ

1. เวลาที่เก็บข้อมูลระวังข้อผิดพลาดจาก Human Error
2. เวลาที่เก็บค่าให้เช็คการจ่ายไฟเลี้ยงและ GND เพื่อให้ได้ค่าที่อ่านและเข้าใจได้ง่าย

เอกสารอ้างอิง

1. <https://www.hioki.com/th-th/learning/electricity/resistance.html>
2. <https://eepower.com/resistor-guide/resistor-types/potentiometer/#>
3. <https://www.slideshare.net/slideshow/introduction-to-lvdtrvdt-and-potentiometer/231359387>
4. <https://www.sameskydevices.com/blog/all-you-need-to-know-about-potentiometers>
5. https://th.mouser.com/ProductDetail/Bourns/PDB181-K420K-103A2?qs=ZTdx6reOWK%2F91p994fqu2g%3D%3D&srsltid=AfmBOorodWxKeG-5nkOOejOc2esK_dWc1rhC6G_Ofh7RlqRjdwwVqOu8
6. <https://th.mouser.com/datasheet/2/54/PDB18-1013655.pdf>
7. <https://th.mouser.com/ProductDetail/Bourns/PTA6043-2015DPA103?qs=U%2FacTlguYxapXI1x524WqA%3D%3D&srsltid=AfmBOophKhPZTJzkknvpqVBSdk7j0V2DP2fr3PUKHKVhoc7PDslEYaPT>
8. <https://th.mouser.com/datasheet/2/54/pta-778345.pdf>

9. https://www.tti.com/content/ttiinc/en/apps/part-detail.html?partsNumber=PTA6043-2015DPB103&mfgShortname=BOU&utm=PNC2024&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwj4K5BhDYARIsAD1Ly2q7sPYxISgN57ZCA4k5lb1hiMK1KfzClADx8fgzGgWv-Fc9XGS1OkaArftEALw_wcB
10. <https://www.bourns.com/docs/Product-Datasheets/PTA.pdf>
11. https://th.mouser.com/ProductDetail/Bourns/PDB181-K420K-103B?qs=Ivs1Be2ZGq6RflNsykxUA%3D%3D&srsltid=AfmBOopewyoxQVMVEbg_UJ6j7QltDQks5G8GiksgYWqEyyDymJ4iSVH6
12. <https://th.mouser.com/datasheet/2/54/PDB18-1013655.pdf>
13. <https://th.mouser.com/ProductDetail/Bourns/PDB181-K420K-103C?qs=Ivs1Be2ZGq7NWK18gilWvg%3D%3D>
14. <https://th.mouser.com/ProductDetail/Bourns/PDB181-K420K-103B?qs=Ivs1Be2ZGq6RflNsykxUA%3D%3D>
15. <https://th.mouser.com/datasheet/2/54/PDB18-1013655.pdf>

Experiment 2 : การทดลองการแปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital ตามรูปแบบวงจร Schmitt - trigger

จุดประสงค์

- เพื่อศึกษาชนิดของ Potentiometer ทั้งหมดที่มีในชุดการทดลอง
- เพื่อศึกษาวิธีการแปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital ตามรูปแบบวงจร Schmitt – trigger โดยประยุกต์ใช้ MATLAB และ Simulink ในการสังการหรือรับค่าร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจากการหมุน Potentiometer ด้วยมือเป็น Input และสัญญาณ Digital เป็น Output จากการ Log สัญญาณ แสดงผลเป็นกราฟจาก Data Inspector ใน MATLAB Simulink แสดงให้เห็นว่าสัญญาณ Output แปรผันตามสัญญาณ Input แบบ Real Time

สมมติฐาน

ค่าของแรงดันไฟฟ้าขาออกจะเปลี่ยนจาก Low เป็น High และ High เป็น Low ตามที่ได้กำหนดค่าไว้ในโค้ด
ตัวแปร

ตัวแปรต้น	:	แรงดันไฟฟ้าขาเข้าของ Potentiometer
ตัวแปรตาม	:	แรงดันไฟฟ้าขาออกของ Potentiometer, Output State
ตัวแปรควบคุม	:	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง, อุณหภูมิและสภาพแวดล้อม

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. Rotary Potentiometer

อุปกรณ์ที่สามารถปรับความต้านทานได้โดยการหมุนแกนปรับองศาเพื่อเพิ่มหรือลดค่าความต้านทาน โดยทั่วไปจะมีโครงสร้างเป็นวงกลม เมื่อต้องการปรับค่าความต้านทาน สามารถทำได้โดยหมุนไปตามแกน

2. Linear Potentiometer

อุปกรณ์ที่สามารถปรับความต้านทานได้โดยการหมุนแกนปรับองศาเพื่อเพิ่มหรือลดค่าความต้านทาน โดยทั่วไปจะมีโครงสร้างเป็นวงกลม เมื่อต้องการปรับค่าความต้านทาน สามารถทำได้โดยหมุนไปตามแกน

3. Wiper ใน Potentiometer

ส่วนที่สัมผัสกับແບບต้านทานภายใน Potentiometer ทำให้เมื่อเวลาปรับระยะ ทำให้ความต้านทานมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย

4. Schmitt – trigger

ใช้สำหรับแปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital

5. Low

เพื่อกำหนดสถานะที่สัญญาณ Output จะเป็นเมื่อแรงดัน Input มีค่าต่ำกว่า Lower Trigger Potential

6. High

เพื่อกำหนดสถานะที่สัญญาณ Output จะเป็นเมื่อแรงดัน Input มีค่าสูงกว่า Upper Trigger Potential

นิยามเชิงปฏิบัติการ

1. ช่องที่ 1 ของ Potentiometer

ช่องที่มีไว้สำหรับรับกระแสไฟฟ้าจากบอร์ด Nucleo STM32G474RE ในตำแหน่งบนสุด



2. ช่องที่ 2 ของ Potentiometer

ช่องที่มีไว้สำหรับรับกระแสไฟฟ้าจากบอร์ด Nucleo STM32G474RE ในตำแหน่งตรงกลาง



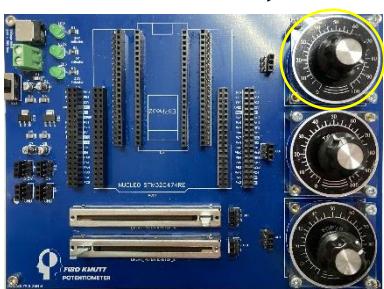
3. ช่องที่ 3 ของ Potentiometer

ช่องที่มีไว้สำหรับรับกระแสไฟฟ้าจากบอร์ด Nucleo STM32G474RE ในตำแหน่งล่างสุด



4. Rotary ตัวที่ 1

Potentiometer Rotary ในตำแหน่งบนสุด



5. Rotary ตัวที่ 2

Potentiometer Rotary ในตำแหน่งตรงกลาง



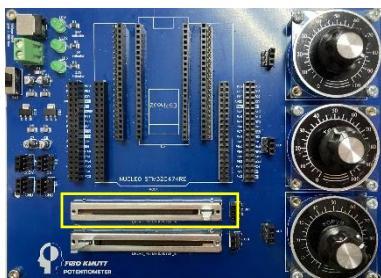
6. Rotary ตัวที่ 3

Potentiometer Rotary ในตำแหน่งด้านล่างสุด



7. Linear ตัวที่ 1

Potentiometer Linear ในตำแหน่งด้านบน



8. Linear ตัวที่ 2

Potentiometer Linear ในตำแหน่งด้านล่าง



9. Vout

แรงดันขาออก โดยเป็นแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จาก โปรแกรม MATLAB ผ่านการใช้ Block Display มีหน่วยเป็น Volt

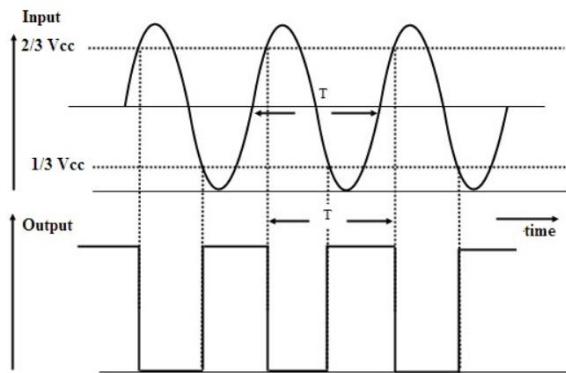
10. แปลงสัญญาณ

เปลี่ยนจากสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Schmitt – trigger

เป็นวงจรที่มีการป้อนกลับของค่าเป็นค่าบวก และสามารถรักษาระดับของ Output ได้ จนกว่าสัญญาณที่ใช้จะสูงกว่าเกณฑ์ที่มีการกำหนดไว้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแปลงสัญญาณ Analog ให้เป็น Digital วงจรเหล่านี้สามารถใช้เป็นสวิตช์ธรรมชาติและใช้เป็นตัวควบคุมการเปิด - ปิด ในการปรับสัญญาณเพื่อที่จะจัดสัญญาณควบคุม



โดยใน Schmitt – trigger จะมีค่า Parameter ดังนี้

- การกำหนดค่า U.T.P.

Upper Trigger Potential คือระดับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไว้ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใน Schmitt – trigger โดยเมื่อสัญญาณ Input มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนดไว้ สัญญาณ Output จะเปลี่ยนจาก Low เป็น High

- การกำหนดค่า L.T.P.

Lower Trigger Potential คือระดับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไว้ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใน Schmitt – trigger โดยเมื่อสัญญาณ Input มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนดไว้ สัญญาณ Output จะเปลี่ยนจาก High เป็น Low

วิธีดำเนินการทดลอง

หลังจากที่ทำการทดลองที่ 1 เสร็จแล้วเราจะได้ข้อมูลในแรงดัน Output มา ซึ่งในการทดลองนี้ ข้อมูล Output จะถูกลายมาเป็นข้อมูลแรงดัน Input แทน หลังจากนั้นนำข้อมูลมาเข้าวงจร Schmitt – trigger เพื่อตรวจสอบว่า สัญญาณได้มีการเปลี่ยนแปลงตามที่ได้กำหนดไว้หรือไม่ และตรงกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ในข้างต้นหรือปัลล่า และเก็บข้อมูลเหล่านั้นเอาไว้ เพื่อนำมาวิเคราะห์และอภิปรายผลต่อไป

วัสดุอุปกรณ์

1. Potentiometer ชนิด PTA6043-2015DPA103
2. Potentiometer ชนิด PTA6043-2015DPB103
3. Potentiometer ชนิด PDB181-K420K-103A2

4. Potentiometer ชนิด PDB181-K420K-103B
5. Potentiometer ชนิด PDB181-K420K-103C
6. บอร์ด Nucleo STM32G474RE และสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด
7. PotenXplorer จำนวน 1 ชุด - ฐานสามารถบรรจุบอร์ดควบคุม, Breadboard, Potentiometer, 3D-Print ใช้สำหรับการวัดค่าการหมุนของ Potentiometer ลักษณะคล้ายไมโครแทกเตอร์
8. สายจัมเปอร์

ขั้นตอนการทดลอง

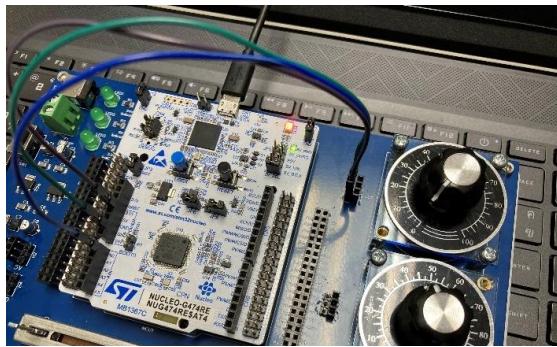
1. เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ PotenXplorer, บอร์ด Nucleo STM32G474RE, สายอัปโหลด, สายจัมเปอร์ และโน้ตบุ๊ก หรือ คอมพิวเตอร์ใช้สำหรับเก็บข้อมูล



รูป อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2. ก่อนเสียบสายจัมเปอร์เข้ากับบอร์ด Nucleo STM32G474RE และ PotenXplorer ต้องทราบเกี่ยวกับบอร์ดก่อนว่าเราจะใช้อะไรบ้าง โดยมีขั้นตอนในการเตรียมอุปกรณ์ดังนี้
 - 2.1 ใช้สายจัมเปอร์เสียบระหว่าง GND จากบอร์ดและช่องที่ 1 ของ Potentiometer ที่เราต้องการเก็บข้อมูล
 - 2.2 ใช้สายจัมเปอร์เสียบระหว่าง A0 จากบอร์ดและช่องที่ 2 ของ Potentiometer ที่เราต้องการเก็บข้อมูล
 - 2.3 ใช้สายจัมเปอร์เสียบระหว่าง 3V3 จากบอร์ดและช่องที่ 3 ของ Potentiometer ที่เราต้องการเก็บข้อมูล

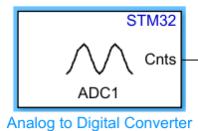
โดยที่สามารถเสียบ 3V3 และ GND สลับกันได้ เนื่องจากว่า Potentiometer ไม่มีขัว แต่ข้อมูลจะมีการสลับกัน เมื่อเสียบสายจัมเปอร์และตรวจเช็คเรียบร้อยแล้วว่าสายไม่มีการหักใน จากนั้นให้เสียบสายอัปโหลดระหว่างโน้ตบุ๊ก และบอร์ด Nucleo STM32G474RE เพื่อจ่ายไฟให้กับบอร์ด



รูป การเสียบสายจัมเปอร์ระหว่างบอร์ด Nucleo STM32G474RE และ PotenXplorer

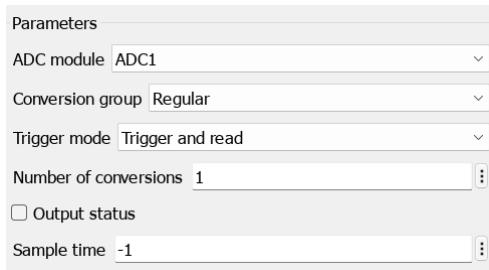
3. หลังจากทำขั้นตอนที่ 2 เสร็จแล้ว เปิดโปรแกรม MATLAB R2024B แล้วกดไปที่ Simulink เก็บข้อมูลของ Potentiometer แต่ละชนิด ข้อมูลที่ได้ในขั้นตอนนี้ คือข้อมูลที่ได้จากการปรับระยะหรือหมุนของ Sensor ตามที่เราต้องการ โดย Block ที่ใช้มีดังนี้

3.1 Analog to Digital Converter ทำหน้าที่แปลงสัญญาณ Analog ให้เป็นสัญญาณ Digital เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลข้อมูลที่มาจากการ Sensor ได้

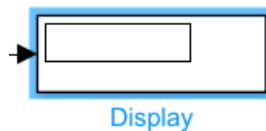


รูป Block Analog to Digital Converter

โดยสามารถตั้งค่าได้ดังนี้

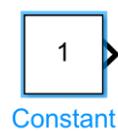


3.2 Display ทำหน้าที่เป็นจอแสดงผลที่ใช้แสดงข้อมูล



รูป Block Display

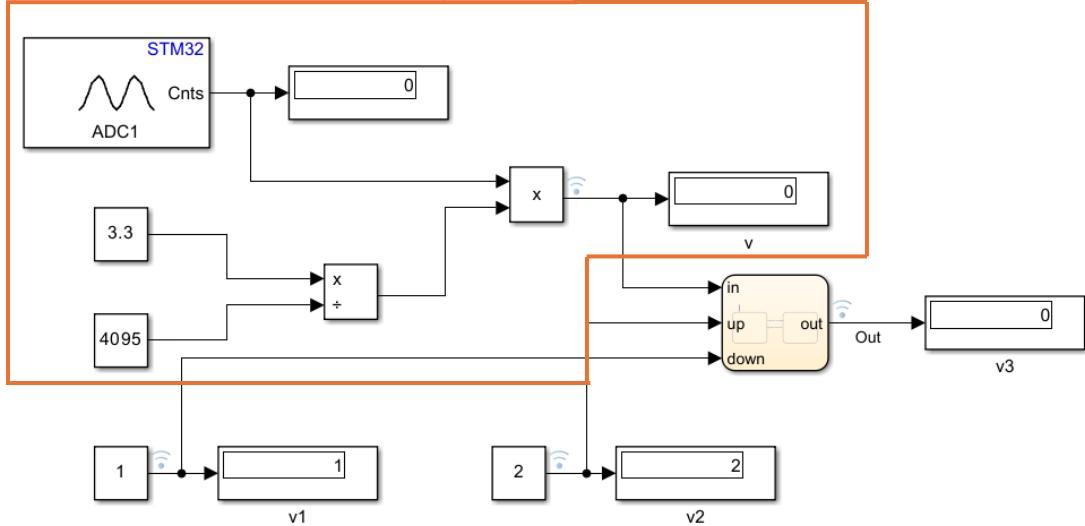
3.3 Constant ทำหน้าที่ เป็นค่าคงที่



รูป Block Constant

4. Block ที่ใช้ใน Simulink

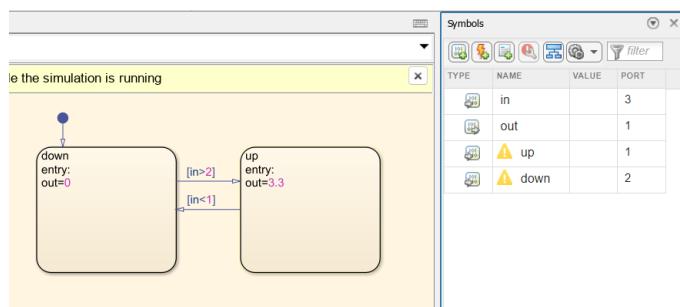
4.1 โดยในส่วนแรกคือ หาก่าแรงดัน Output เหมือนการทดลองที่ 1



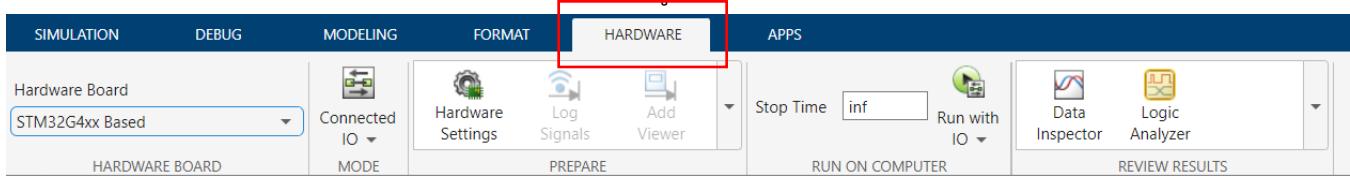
4.2 ส่วนที่สอง คือส่วนในการสร้างกราฟ Schmitt – trigger

ในการสร้าง Schmitt – trigger สิ่งที่จะต้องมีในกราฟได้แก่ Upper Trigger Potential, Lower Trigger Potential, แรงดัน Input และ แรงดัน Output

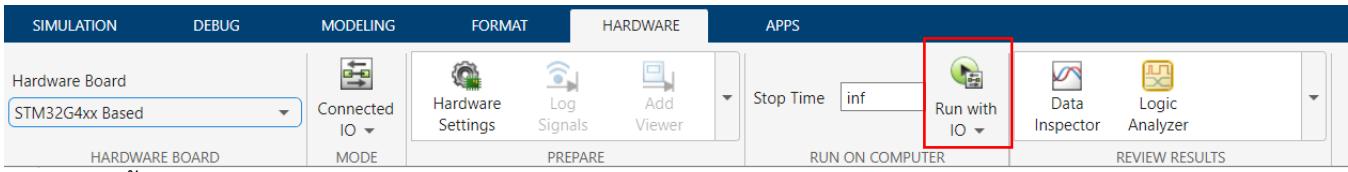
- สิ่งที่ต้องใส่ใน Chart คือ Code ที่ใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณจาก Low เป็น High และ High เป็น Low โดยกำหนดให้ Upper Trigger Potential เกิดขึ้นเมื่อสัญญาณมากกว่า 2 Lower Trigger Potential เกิดขึ้นเมื่อสัญญาณน้อยกว่า 1



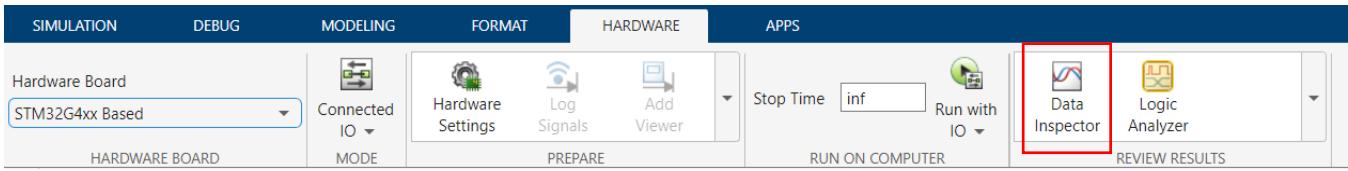
6. เมื่อทำ Simulink เสร็จแล้ว หลังจากนั้นให้กดแถบเมนู HARDWARE



7. จากนั้นกด Run with IO



6. จากนั้นกด Data Inspector

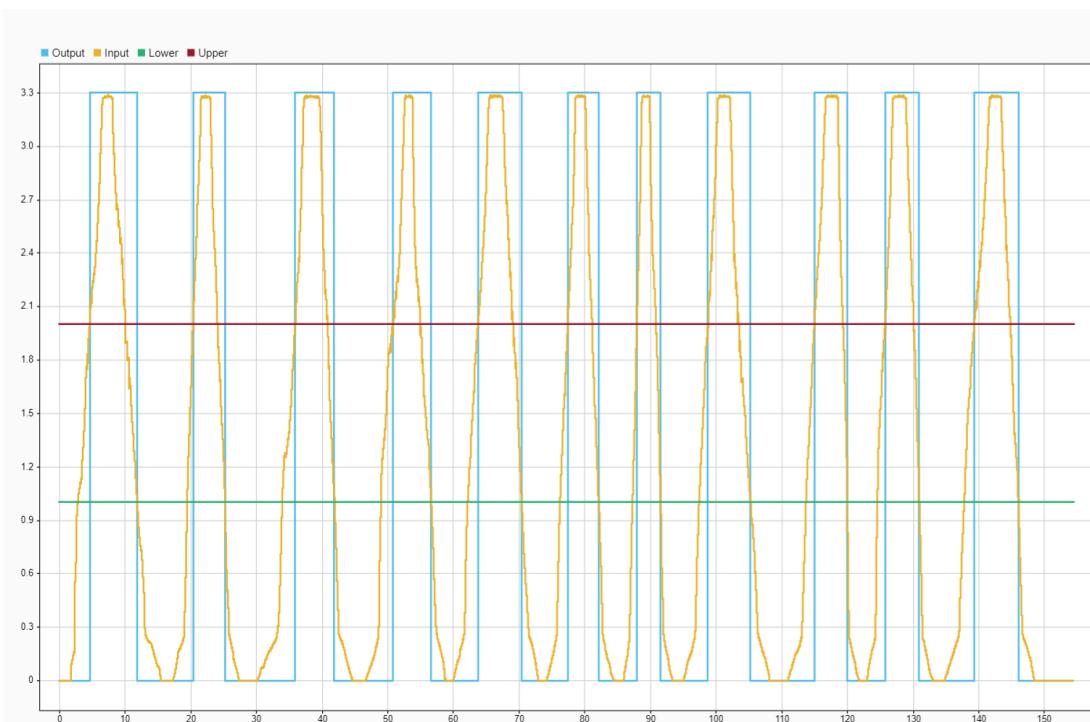


8. เมื่อทำการขั้นตอนด้านบนเรียบร้อยแล้ว ให้ลองปรับระยะหรือหมุนเปลี่ยนองศา Potentiometer ที่มีใน PotenXplorer เมื่อปรับระยะเรียบร้อยแล้ว ให้ Export ข้อมูลมาที่ MATLAB

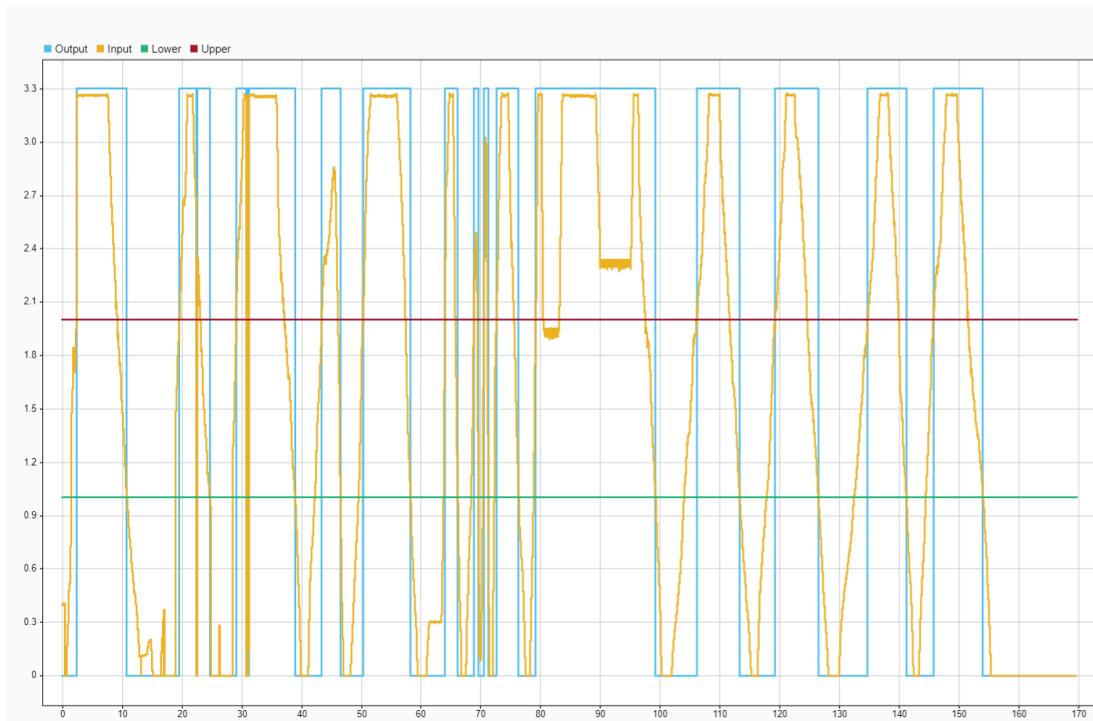
9. วิเคราะห์กราฟที่เกิดขึ้น แล้วนำข้อมูลมาสรุปผลและอภิปรายผลลงในรายงาน

ผลการทดลอง

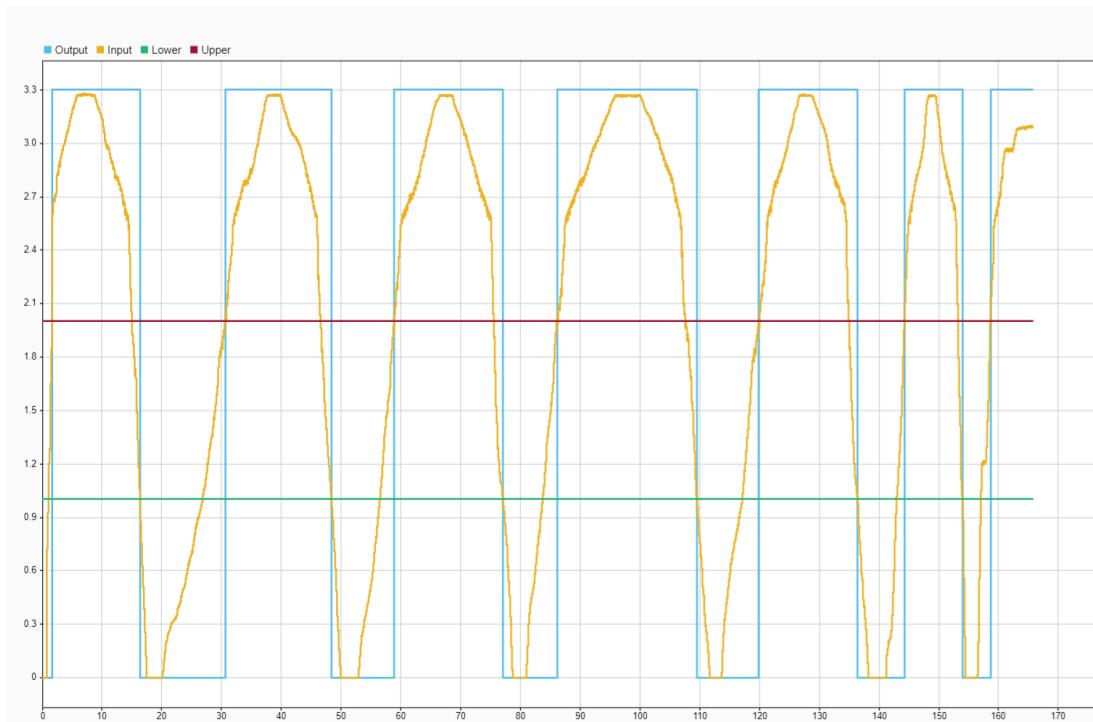
1. พฤติกรรมของ Rotary ตัวที่ 1 เมื่อมีการหมุนปรับองศา



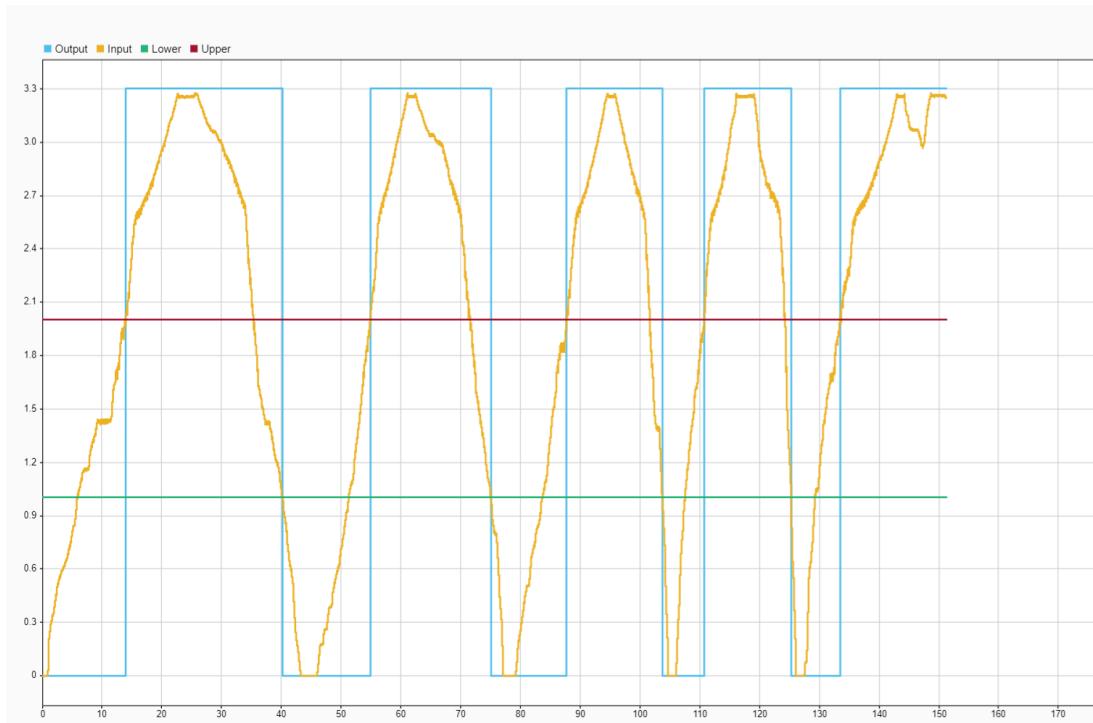
2. พฤติกรรมของ Rotary ตัวที่ 2 เมื่อมีการหมุนปรับองศา



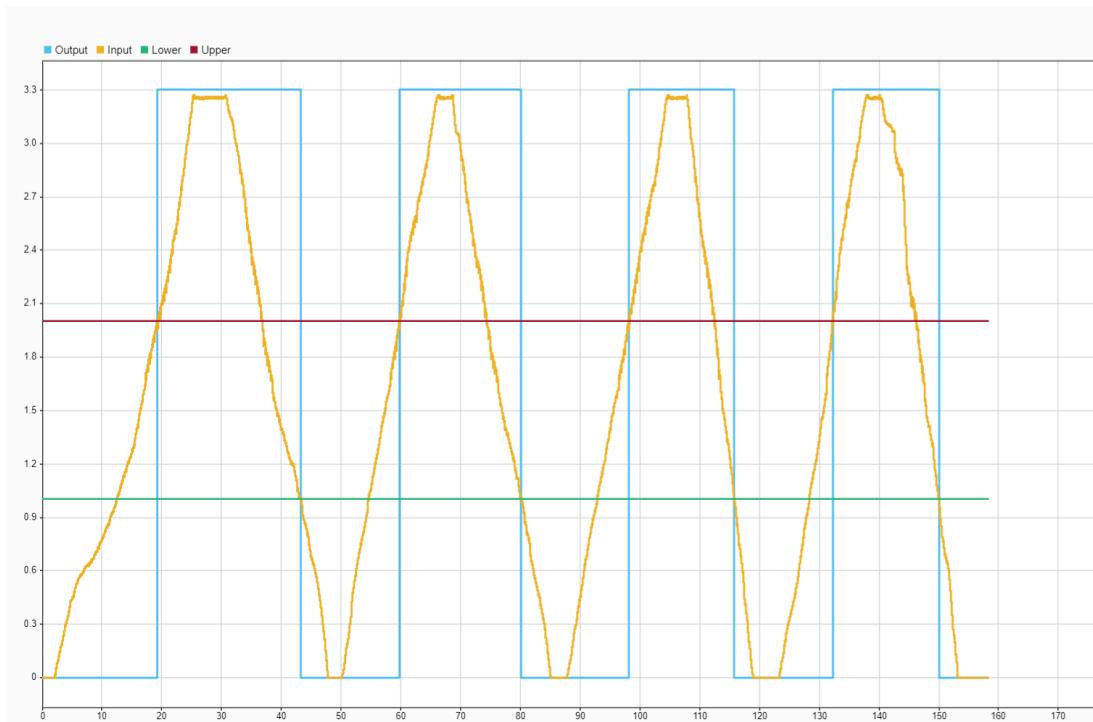
3. พฤติกรรมของ Rotary ตัวที่ 3 เมื่อมีการหมุนปรับองศา



4. พฤติกรรมของ Linear ตัวที่ 1 เมื่อมีการปรับเปลี่ยนระยะ



5. พฤติกรรมของ Linear ตัวที่ 2 เมื่อมีการปรับเปลี่ยนระยะ



สรุปผล

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า กราฟของ Potentiometer แต่ละชนิดมีการเปลี่ยนสัญญาณจาก Low เป็น High เมื่อมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนดไว้ และ High เป็น Low เมื่อมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนดไว้อภิรายผล

วงจร Schmitt – Trigger สามารถทำให้สัญญาณที่ไม่ค่อยเสถียรภายในระบบ ให้มีความเสถียรมากขึ้น โดยที่เราสามารถกำหนดค่าได้เอง ว่าต้องการให้มันเสถียรที่เท่าไหร่ โดยจากการที่เราทดลองมา ทำให้เห็นว่า กราฟได้ตรงกับที่เรากำหนดค่าไว้ และสังเกตเห็นได้ว่า กราฟมีการตัดสัญญาณรบกวนออกไปด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. เวลาที่เก็บข้อมูลระวังข้อผิดพลาดจาก Human Error
2. ให้กำหนดเวลาที่ใช้ในการเก็บค่า
3. ทำสเกลในการบันทึกผลที่เท่ากัน

เอกสารอ้างอิง

1. <https://th.fmuser.net/wap/content/?21083.html>
2. http://www.tatc.ac.th/files/09011219194805_11052610102636.pdf

Part 2: Incremental Encoder

จุดประสงค์

- เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจหลักการทำงานของ Incremental Encoder
- เพื่อศึกษาลักษณะสัญญาณ Output ของ Incremental Encoder เมื่อทิศทางและความเร็วการหมุนเปลี่ยนแปลง
- เพื่อศึกษารูปแบบการอ่านสัญญาณของ Quadrature Encoder
- เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมโดยประยุกต์ใช้ MATLAB และ Simulink ในการสั่งการหรือรับค่าร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจากการหมุน Incremental Encoder ด้วยมีอเป็น Input
- เพื่อทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการอ่านค่าของ Incremental Encoder ด้วย QEI (Quadrature Encoder Interface) และ Polling Method
- เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมเพื่อ Homing Incremental Encoder

สมมติฐาน

เมื่อความเร็วและทิศทางการหมุนของ Incremental Encoder มีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อการอ่านสัญญาณ Output จาก Incremental Encoder โดยการอ่านด้วยวิธี QEI จะมีความแม่นยำและต่อเนื่องมากกว่าวิธี Polling เนื่องจาก QEI สามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของทิศทางและความเร็วได้แบบเรียลไทม์ในขณะที่วิธี Polling จะตรวจจับการนับ pulse พลาดเมื่อเพิ่มความเร็วการหมุนของ Incremental Encoder

ตัวแปร

ตัวแปรต้น	:	ความเร็วและทิศทางการหมุนของ Incremental Encoder
ตัวแปรตาม	:	ความแม่นยำและความต่อเนื่องของการอ่านสัญญาณ Output ที่ได้จาก Incremental Encoder
ตัวแปรควบคุม	:	วิธีการอ่านสัญญาณ (QEI และ Polling), ค่า Pulses Per Revolution (PPR), การตั้งค่า Home Position, การตั้งค่า Input/Output Control (IOC) ในบอร์ด STM32G474RE, และการตั้งค่า MATLAB Simulink

นิยามคัพเพ็จพา

1. Incremental Encoder

อุปกรณ์ดัดแปลงที่ใช้หลักการส่งสัญญาณพัลส์ดิจิทัลเพื่อบอกตำแหน่งและทิศทางการหมุนของแกน โดยการเคลื่อนที่ของแกนจะทำให้เกิดการสลับสัญญาณพัลส์ตามจำนวน Pulses Per Revolution (PPR) ซึ่งบ่งบอกการเคลื่อนที่จริงๆของตัว Incremental Encoder แบบสัมผัท์

2. Pulses

สัญญาณดิจิทัลที่เกิดจากการหมุนของ Incremental Encoder ซึ่งใช้ในการระบุการเคลื่อนที่จริงๆโดยแต่ละพัลส์แทนการเคลื่อนที่เป็นส่วนหนึ่งของการหมุน

3. Pulses Per Revolution (PPR)

จำนวนพลัสร์ที่เกิดขึ้นต่อการหมุนครบทุนรอบของ Incremental Encoder

4. Quadrature Signal

สัญญาณจาก Incremental Encoder ที่ประกอบด้วยสองช่องสัญญาณ (Channel A และ Channel B) โดยมีเฟสต่างกัน 90 องศา ใช้สำหรับการระบุทิศทางการหมุน

5. Quadrature Encoder Interface (QEI)

ระบบการอ่านสัญญาณแบบ Quadrature โดยตรงจาก Incremental Encoder ที่มีการรองรับทั้งการอ่านทิศทางและตำแหน่งแบบเรียลไทม์

6. Polling Method

วิธีการอ่านข้อมูลจาก Incremental Encoder ด้วยการสุมตัวอย่างหรือการอ่านค่าเป็นระยะๆตามเวลาที่กำหนดไม่ได้อ้างอิงกับสัญญาณแบบต่อเนื่อง

7. Home Position

ตำแหน่งเริ่มต้นที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการวัดการหมุนของ Incremental Encoder

8. Angular Velocity

ความเร็วเชิงมุมที่แสดงถึงความเร็วในการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเชิงมุมของ Incremental Encoder ในหน่วย radians ต่อวินาที หรือ degrees ต่อวินาที

9. Raw Signal

สัญญาณพื้นฐานที่ได้จากการนับพลัสร์ของ Incremental Encoder โดยตรงก่อนที่จะผ่านกระบวนการได้ ๆ

10. MATLAB Data Inspector

เครื่องมือใน MATLAB ที่ใช้สำหรับแสดงผลและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองแบบเรียลไทม์

11. Wrap-around

ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อค่าการนับของ Encoder ถึงขีดจำกัดสูงสุดหรือต่ำสุด แล้วกลับไปเริ่มนับใหม่

12. Unwrap

กระบวนการแก้ไขข้อมูลที่มีการ Wrap-around โดยการปรับค่าให้เป็นไปอย่างต่อเนื่องไม่กลับไปเริ่มนับใหม่

13. Resolution

ความละเอียดในการวัดตำแหน่งเชิงมุมของ Encoder ซึ่งกำหนดโดยจำนวนพลัสร์ต่อการหมุนครบ 1 รอบ ยิ่งมีค่า PPR สูง Resolution ยิ่งละเอียดมาก

นิยามเชิงปฏิบัติการ

1. การตั้งค่า PPR ของ Incremental Encoder

ในการทดลองนี้ตั้งค่า Pulses Per Revolution ของ Incremental encoder ตัวบนไว้ที่ 24 พัลส์ตาม data sheet และตั้งค่า Pulses Per Revolution ของ Incremental encoder ตัวล่างไว้ที่ 2048 พัลส์ตาม data sheet

2. การคำนวณค่า Angular Position และ Angular Velocity

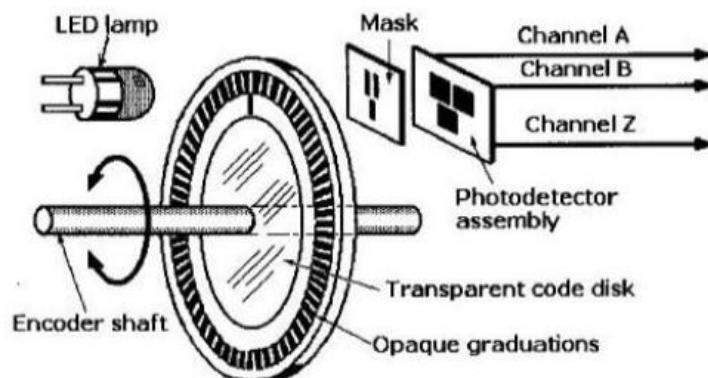
- Angular Position คำนวนโดยใช้สมการ $\theta = \frac{\text{จำนวนพัลส์ที่นับได้จาก Encoder}}{\text{Pulses Per Revolution}} \times 2\pi$
- Angular Velocity คำนวนโดยใช้สมการ $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$

3. Incremental encoder ตัวบนหมายถึง BOURNS PEC11R-4220F-N0024

4. Incremental encoder ตัวล่างหมายถึง Incremental Encoder AMT103-V

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

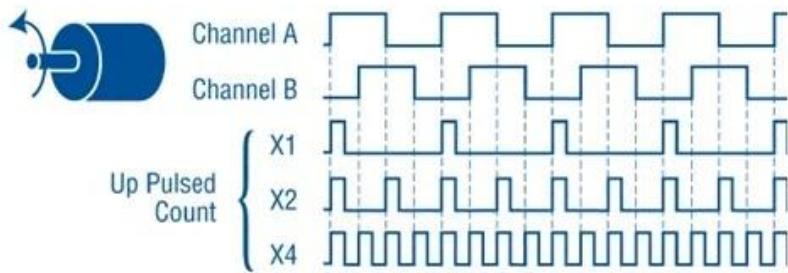
1. หลักการทำงานของ Incremental Encoder



รูป ส่วนประกอบของ Incremental Encoder

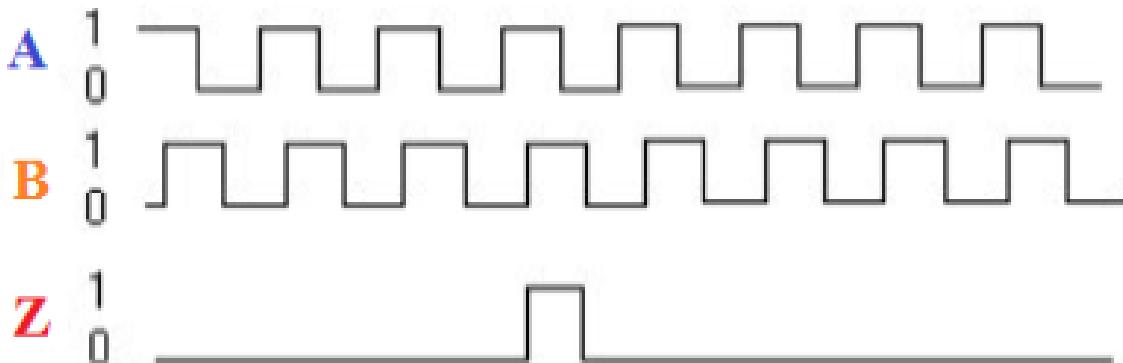
Incremental Encoder เป็นอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้สำหรับการวัดการหมุนของเพลา โดยจะทำการแปลงการเคลื่อนที่ของมุมของเพลา成อัตรารotate ให้เป็นสัญญาณ pulse ซึ่งเป็นการแสดงการหมุนของเพลาแบบสัมพัทธ์เมื่อเทียบกับตำแหน่งเริ่มต้น โครงสร้างของ Incremental Encoder ประกอบด้วยajanหมุน (rotary disk) ที่มีการเจาะช่องขนาดเล็กที่ระยะห่างคงที่ ตลอดรอบของajan และอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ ซึ่งมักเป็นเซนเซอร์แสงหรือเซนเซอร์แม่เหล็ก โดยเมื่อเพลาหมุนไปajan หมุนก็จะตัดผ่านเซนเซอร์ตรวจจับทำให้เกิดการสับเปลี่ยนระหว่างสัญญาณเปิด - ปิด (On - Off) ในรูปแบบของpulse ตามตำแหน่งการหมุนของเพลา โดยจำนวน pulse ที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบของการหมุน (Pulses Per Revolution) จะเปรียบเทียบตามตำแหน่งเชิงมุมและทิศทางการหมุน

2. รูปแบบการอ่านสัญญาณ Quadrature Encoding



รูป รูปแบบการอ่านสัญญาณ Quadrature Encoding

Quadrature Encoder เป็นชนิดของ Incremental Encoder ที่มีสัญญาณ Output 2 ช่องหลัก คือช่อง A และ B ซึ่งมีเฟสต่างกัน 90 องศาทางไฟฟ้า ใช้เพื่อวัดตำแหน่งและทิศทางของการหมุนอย่างละเอียด โดยอาศัยการนำหรือการตามของเฟสระหว่างสัญญาณช่อง A และ B เพื่อบอกทิศทางของการหมุน ตัวอย่างเช่น หากเพลาหมุนตามเข็มนาฬิกา สัญญาณช่อง A จะนำหน้าช่อง B แต่หากเพลาหมุนวนเข็มนาฬิกา สัญญาณช่อง B จะนำหน้าช่อง A



รูป ตัวอย่างสัญญาณ pulse Output ของ Incremental Encoder

ลักษณะเฉพาะของ Incremental Encoder คือ จะมีช่องสัญญาณ Z หรือ Index ซึ่งเป็นช่องสัญญาณที่ส่ง pulseเพียงครั้งเดียวในแต่ละรอบการหมุน ทำหน้าที่เป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการคำนวณตำแหน่ง ช่วยให้สามารถตรวจสอบตำแหน่งสัมบูรณ์ได้ทุกครั้งที่เพลาหมุนครบรอบหนึ่งรอบ และ Incremental Encoder ยังสามารถเพิ่มความละเอียดในการนับ pulse ได้โดยการใช้โหมดการนับ pulse ที่ต่างกัน ซึ่งช่วยในการตรวจสอบตำแหน่งและทิศทางที่มีความละเอียดสูงขึ้นดังนี้

- โหมด x1: นับเพียงขอบขาเดียวของสัญญาณ (ขอบขาขึ้นหรือขอบขาลง) ของช่อง A โดยจำนวนพัลส์ที่นับได้ต่อรอบจะเท่ากับค่าของ Pulses Per Revolution (PPR) ของ Incremental Encoder
- โหมด x2: นับทั้งขอบขาขึ้นและขอบขาลงของสัญญาณในช่อง A ทำให้จำนวนพัลส์เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าของค่า Pulses Per Revolution (PPR) ของ Incremental Encoder
- โหมด x4: นับขอบขาขึ้นและขอบขาลงของทั้งสองช่อง (A และ B) ทำให้จำนวนพัลส์เพิ่มขึ้นเป็นสี่เท่าของค่า Pulses Per Revolution (PPR) ของ Incremental Encoder

2. Pulses Per Revolution (PPR)

Pulses Per Revolution (PPR) ของ Incremental Encoder หมายถึงจำนวน pulse ที่ Incremental Encoder จะสร้างขึ้นต่อการหมุนเพลาหนึ่งรอบ (360 องศา) โดยค่า PPR จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความละเอียดของ Incremental Encoder ในการวัดตำแหน่งเชิงมุมหรือระยะการเคลื่อนที่ของเพลาซึ่งสามารถได้จาก data sheet ของอุปกรณ์ หากค่า PPR สูง ความละเอียดและความแม่นยำของการวัดก็จะสูงเช่นกัน

3. Resolution ของ Incremental Encoder

Resolution ของ Incremental Encoder คือความละเอียดในการตรวจจับการหมุน ซึ่งสามารถคำนวณความละเอียดเชิงมุมได้จากสูตร

$$\text{Resolution} = \frac{360^\circ}{PPR}$$

4. การอ่านความเร็วโมเตอร์จากค่าตำแหน่งที่ Wrap - around ด้วยการ Unwrap

Incremental encoder จะรายงานตำแหน่งโดยนับค่าไปเรื่อยๆ ตั้งแต่ 0 จนถึงจำนวน pulse สูงสุดที่กำหนดในหนึ่งรอบแล้ววนกลับไปเริ่มนับที่ 0 ใหม่หากหมุนเกินหนึ่งรอบเรียกว่า wrap-around ดังนั้นจึงต้องใช้การ unwrap ซึ่งเป็นวิธีการประมวลผลที่ช่วยเปลี่ยนค่าตำแหน่งที่นับได้จาก Incremental encoder ให้เป็นค่าตำแหน่งเชิงมุมที่ต่อเนื่อง แม้ว่าจะหมุนหลายรอบหรือหมุนย้อนกลับก็ตาม โดยการ unwrap สามารถทำได้โดยการตรวจจับทิศทางของสัญญาณ A และ B จาก Incremental encoder และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งที่นับได้ หากพบ wrap - around ระบบจะเพิ่มหรือลดจำนวนรอบที่นับไว้และรวมเข้ากับตำแหน่งปัจจุบันเพื่อให้ได้ค่าที่แสดงถึงตำแหน่งต่อเนื่องตามจำนวนรอบที่หมุน

5. MATLAB Simulink Run on Board / Connect IO mode

ใน MATLAB Simulink มีโหมด Connect IO ซึ่งสามารถเชื่อมต่อแบบเรียลไทม์กับฮาร์ดแวร์ที่รองรับได้โดยจะใช้โหมดนี้ในการตรวจสอบสัญญาณและปรับแต่งค่าพารามิเตอร์โดยตรงกับฮาร์ดแวร์โดยที่ไม่ต้องสร้างโค้ดและอัปโหลดลงบอร์ดก่อน (เช่นเดียวกับโหมด Run on Board) โหมดนี้จะเหมาะสมสำหรับการพัฒนาและการทดลองแบบรวดเร็วในงานออกแบบ Model - Based Design ที่ต้องการการตรวจสอบและการปรับแต่งแบบ

- Run on Board จะสร้างโค้ดและส่งไปยังฮาร์ดแวร์ทำให้โค้ดนั้นทำงานบนบอร์ดจริง เหมาะกับการทดสอบระบบที่ต้องการความเร็วสูงหรือระบบควบคุมแบบเรียลไทม์เต็มรูปแบบ
- Connect IO จะให้การเชื่อมต่อแบบง่ายสำหรับการทดสอบสัญญาณและการปรับแต่งพารามิเตอร์ในช่วงของการพัฒนาโดยไม่ต้องสร้างและส่งโค้ดไปที่บอร์ด ทำให้สามารถปรับค่าต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วในขณะที่เชื่อมต่อ กับฮาร์ดแวร์

6. QEI และ Polling Method

- Quadrature Encoder Interface (QEI) เป็นระบบที่ใช้ในการอ่านค่าจาก Incremental encoder โดยจะใช้การเปรียบเทียบสัญญาณจาก encoder เพื่อติดตามตำแหน่งและความเร็วของการหมุน ข้อดีของการอ่าน

แบบ QEI คือ สามารถให้ข้อมูลตำแหน่งและความเร็วได้อย่างแม่นยำ และไม่ต้องใช้เซ็นเซอร์เพิ่มเติมในการตรวจสอบทิศทาง

- Polling Method เป็นวิธีการที่ระบบจะตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์หรือเซ็นเซอร์ต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง โดยจะตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ในระยะเวลาที่กำหนด เช่น ทุก ๆ 10 มิลลิวินาที โดยจะตรวจสอบการทำงานผ่านอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่ ข้อดีของการอ่านแบบ Polling คือ ง่ายต่อการ implement และไม่ต้องใช้ Interrupts แต่มีข้อเสียคือ ใช้เวลามากและไม่สามารถตอบสนองได้ทันทีหากค่าที่ได้ไม่แม่นยำ

7. STM32 Timer Encoder Mode: position and velocity estimation

- การประมาณตำแหน่ง (Position Estimation): Timer จะทำการนับจำนวน pulse ที่ได้รับจาก Incremental Encoder และสะสมค่าใน Counter Register ของ Timer เพื่อให้ทราบตำแหน่งการหมุนในปัจจุบัน ซึ่งตำแหน่งนี้สามารถแสดงเป็นหน่วยของ pulse หรือแปลงเป็นองศาหรือเรเดียนได้ตามการตั้งค่า มีสูตรดังนี้

$$\theta = \frac{\text{จำนวนพัลส์ที่นับได้จาก Encoder}}{\text{Pulses Per Revolution}} \times 2\pi$$

- การประมาณความเร็ว (Velocity Estimation): ทำได้โดยการตรวจสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่ง (นับ pulse ที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาหนึ่ง) หรือนำค่าตำแหน่งที่ได้มาใช้คำนวณความเร็วเชิงมุมตามสูตรดังนี้

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

โดย $\Delta\theta$ คือ ตำแหน่งเชิงมุมที่เปลี่ยนแปลงไป
 Δt คือ ช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป

8. Home Configuration for Incremental Encoder

Home Configuration เป็นกระบวนการที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงหรือตำแหน่งเริ่มต้นให้กับ Incremental Encoder ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในระบบที่ต้องการการระบุตำแหน่งที่แน่นอน เนื่องจาก Incremental Encoder จะวัดตำแหน่งจากจำนวน pulse ที่นับได้จากสัญญาณ A และ B ซึ่งจะบอกทิศทางและการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่ง แต่ไม่สามารถระบุตำแหน่งสัมบูรณ์ได้เมื่อเริ่มต้นระบบใหม่เนื่องจากไม่มีข้อมูลอ้างอิงก่อนหน้านี้ ดังนั้นมีระบบเริ่มทำงานใหม่ จึงจำเป็นต้องกำหนดตำแหน่งเริ่มต้น (Home Position) เสมอ เพื่อให้ระบบทราบว่าตำแหน่งนั้นอยู่ที่จุดใด และสามารถคำนวณตำแหน่งต่อไปได้อย่างถูกต้อง โดยการทำ Home Configuration นั้นจะอาศัยการใช้งานสัญญาณ Index Pulse เมื่อระบบตรวจสอบจับสัญญาณนี้ได้ จะถือว่าตำแหน่งในขณะนั้นเป็นจุดเริ่มต้น (Home) ซึ่งจะทำให้ระบบสามารถนับ pulse จากจุดดังกล่าวไปยังตำแหน่งใหม่ได้โดยไม่เกิดความคลาดเคลื่อน

9. Data sheet ឧទេ AMT103-V

FEATURES

- patented capacitive ASIC technology
- low power consumption
- CMOS outputs
- 16 DIP switch selectable resolutions
- index pulse
- modular package design
- straight (radial) and right-angle (axial) versions
- 9 mounting hole options for radial version
- 8 mounting hole options for axial version
- -40-100°C operating temperature



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	CMOS 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, 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 × 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

10. Data Sheet ឧប់ BOURNS PEC11R-4220F-N0024

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

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) 1 = 18 Detents (18 pulses) 2 = 24 Detents (12, 24 pulses) 3 = 12 Detents (12, 24 pulses)	
Standard Shaft Length	15 = 15.0 mm 20 = 20.0 mm	25 = 25.0 mm 30 = 30.0 mm
Shaft Style	F = Metal Flatted Shaft K = Metal Knurled Shaft*	
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	

*Metal 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.

សូម Data Sheet ឧប់ BOURNS PEC11R-4220F-N0024

วิธีดำเนินการทดลอง

ในการทดลองนี้จะมีการอ่านค่าตำแหน่งจาก Incremental Encoder ในรูปแบบสัญญาณ Quadrature แบบ x1, x2, และ x4 ด้วยวิธีการอ่านค่าที่แตกต่างกัน คือ Quadrature Encoder Interface (QEI) ซึ่งอาศัยฮาร์ดแวร์เพื่อการอ่านค่าอย่างต่อเนื่องและแม่นยำ และ Polling Method ซึ่งเป็นการอ่านค่าโดยใช้ซอฟต์แวร์ที่สแกนข้อมูลสัญญาณ การทดลองจะเริ่มจากการตั้งค่า Encoder เพื่อส่งสัญญาณ pulse ตามรูปแบบที่กำหนด จากนั้นทำการนับจำนวน pulses ที่เกิดขึ้นและแปลงสัญญาณดิบเหล่านั้นเป็นตำแหน่งสัมพัทธ์ (relative position) โดยพิจารณาลำดับของเฟสสัญญาณ A และ B เพื่อระบุทิศทางการหมุน เมื่อได้ข้อมูลแล้วจะนำมาแปลงเป็นข้อมูลตำแหน่งเชิงมุมและความเร็วเชิงมุม รวมถึงปรับเปลี่ยนความแม่นยำและประสิทธิภาพของแต่ละโหมดในแต่ละวิธีการอ่าน

วัสดุอุปกรณ์

1. Incremental Encoder AMT103-V จำนวน 1 อัน
2. BOURNS PEC11R-4220F-N0024 จำนวน 1 อัน
3. Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด
4. EncoderXplorer จำนวน 1 ชุด
5. สายจัมเปอร์

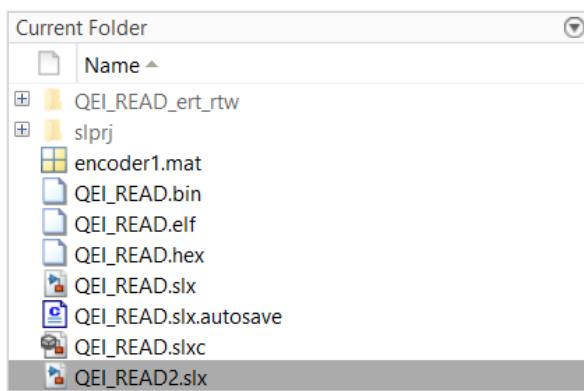
ขั้นตอนการทดลอง

1. เชื่อมต่อ Incremental Encoder เข้ากับบอร์ด STM32G474RE โดย
 - เชื่อมต่อสาย สัญญาณ A จาก Incremental Encoder เข้ากับพินที่ตั้งค่าให้ทำงานกับ Timer สำหรับ QEI
 - พิน PA6 สำหรับการอ่านโหมด x1
 - พิน PA11 สำหรับการอ่านโหมด x2
 - พิน PB6 สำหรับการอ่านโหมด x4
 - เชื่อมต่อสาย สัญญาณ B จาก Incremental Encoder เข้ากับพินที่กำหนดให้เป็นสัญญาณ B ของ Timer Module เดียวกัน (PA7)
 - พิน PA7 สำหรับการอ่านโหมด x1
 - พิน PA12 สำหรับการอ่านโหมด x2
 - พิน PC7 สำหรับการอ่านโหมด x4
 - เชื่อมต่อสาย สัญญาณ A จาก Incremental Encoder เข้ากับพิน PB10 สำหรับ Polling Method
 - เชื่อมต่อสาย สัญญาณ B จาก Incremental Encoder เข้ากับพิน PB4 สำหรับ Polling Method
 - เชื่อมต่อสาย GND ของ Incremental Encoder เข้ากับ GND ของบอร์ด STM32G474RE
 - เชื่อมต่อสาย VCC ของ Incremental Encoder เข้ากับขา VCC 3.3 V ของบอร์ด STM32G474RE



รูป การซ่อมต่อ Incremental Encoder เข้ากับบอร์ด STM32G474RE

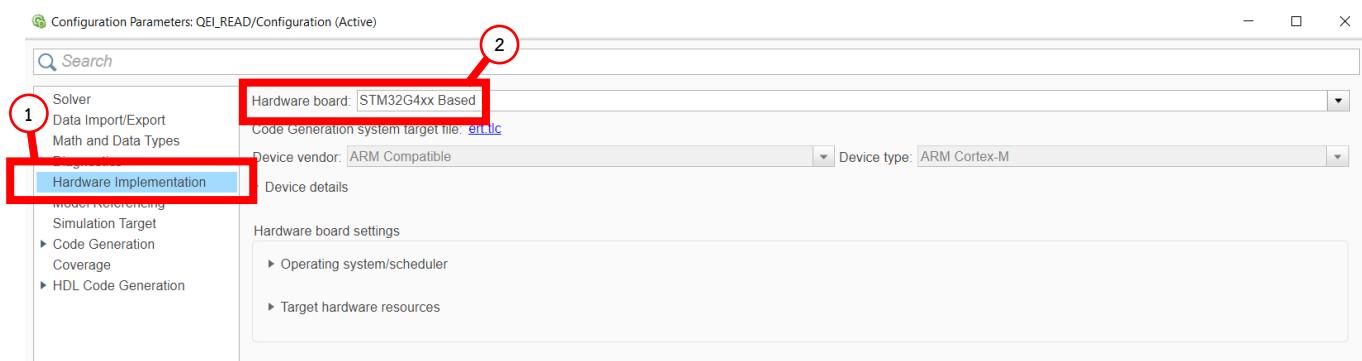
2. สร้างโปรเจกต์ใหม่ใน MATLAB สำหรับทำการทดลอง Incremental Encoder



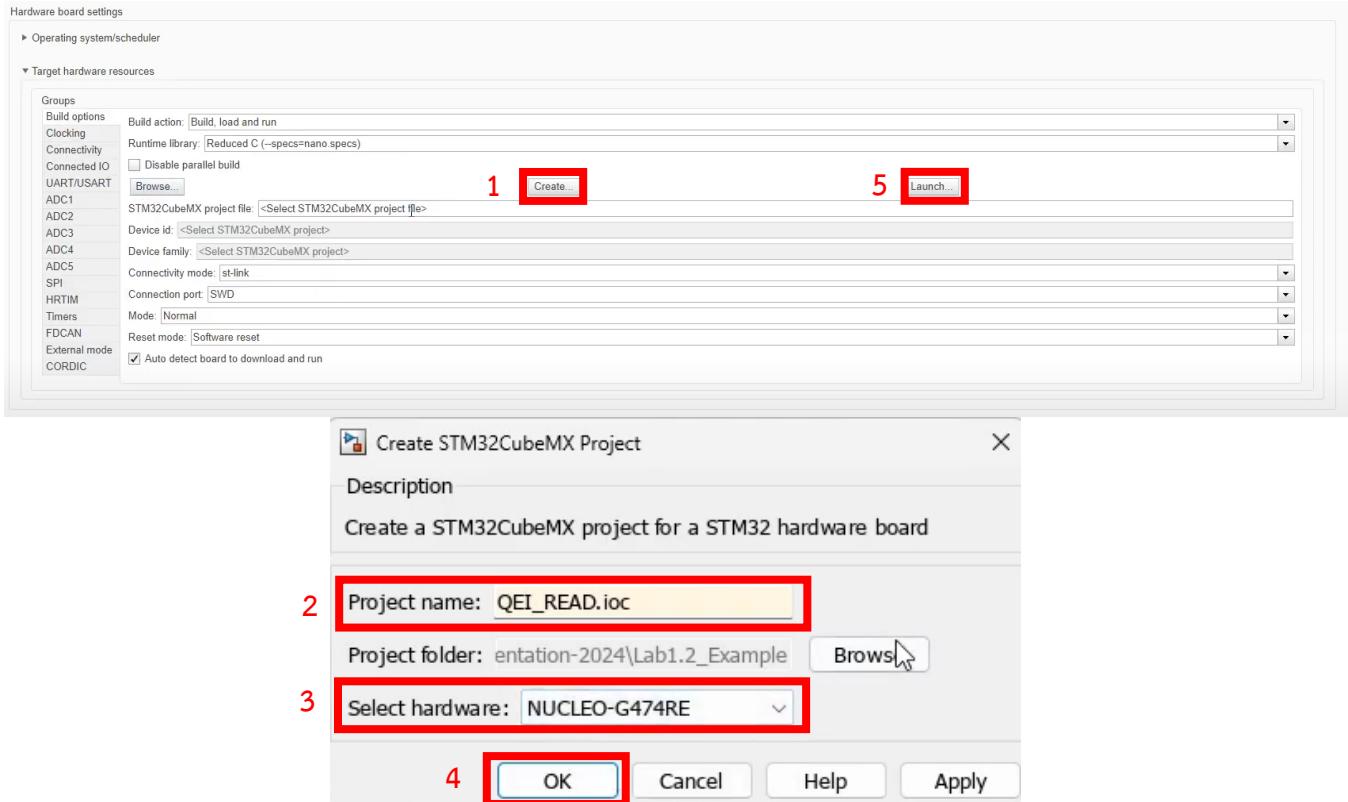
รูป สร้างโปรเจกต์ใน MATLAB

3. ตั้งค่า IOC

3.1 ไปที่ Model Settings >> Hardware Implementation >> เลือก Hardware board เป็น STM32G4xx Based



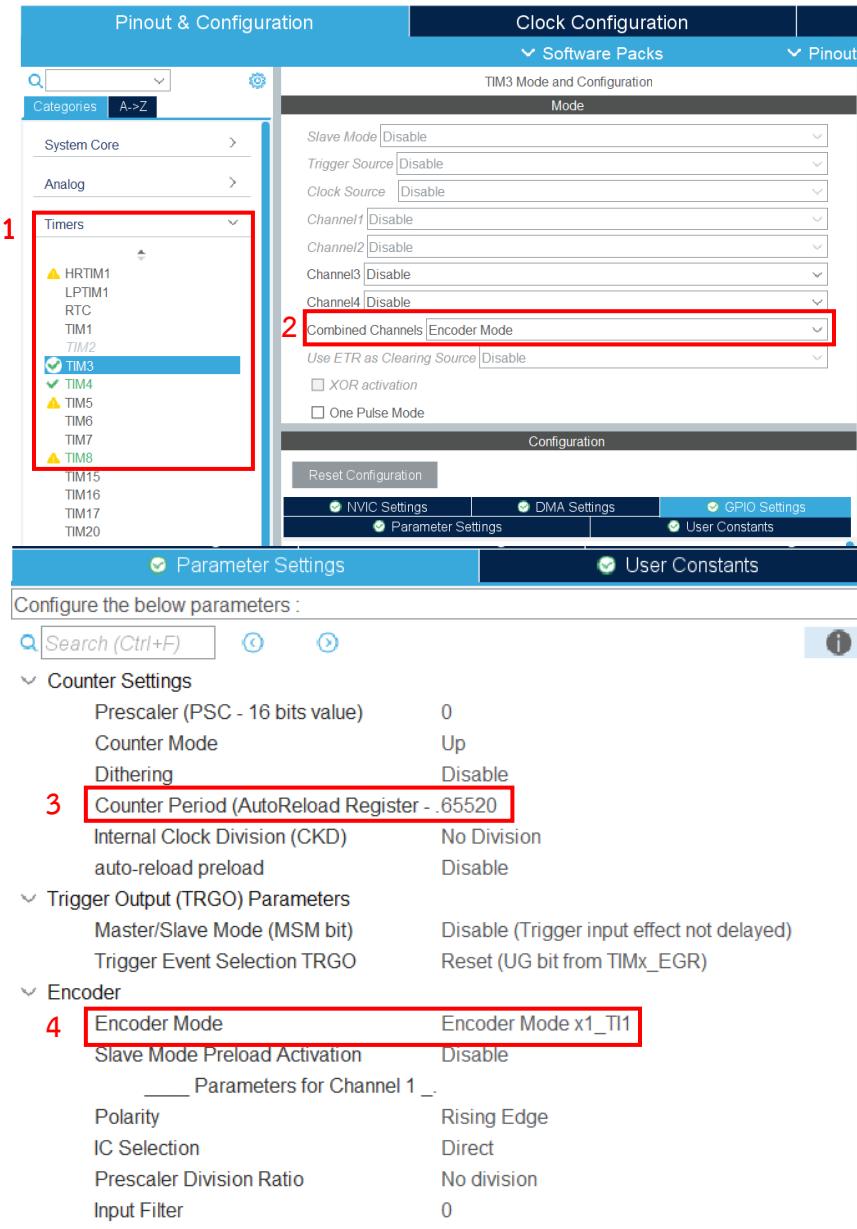
3.2 ไปที่ Create >> ตั้งชื่อไฟล์ >> เลือก Select hardware เป็น NUCLEO-G474RE >> กด OK >> กด Launch



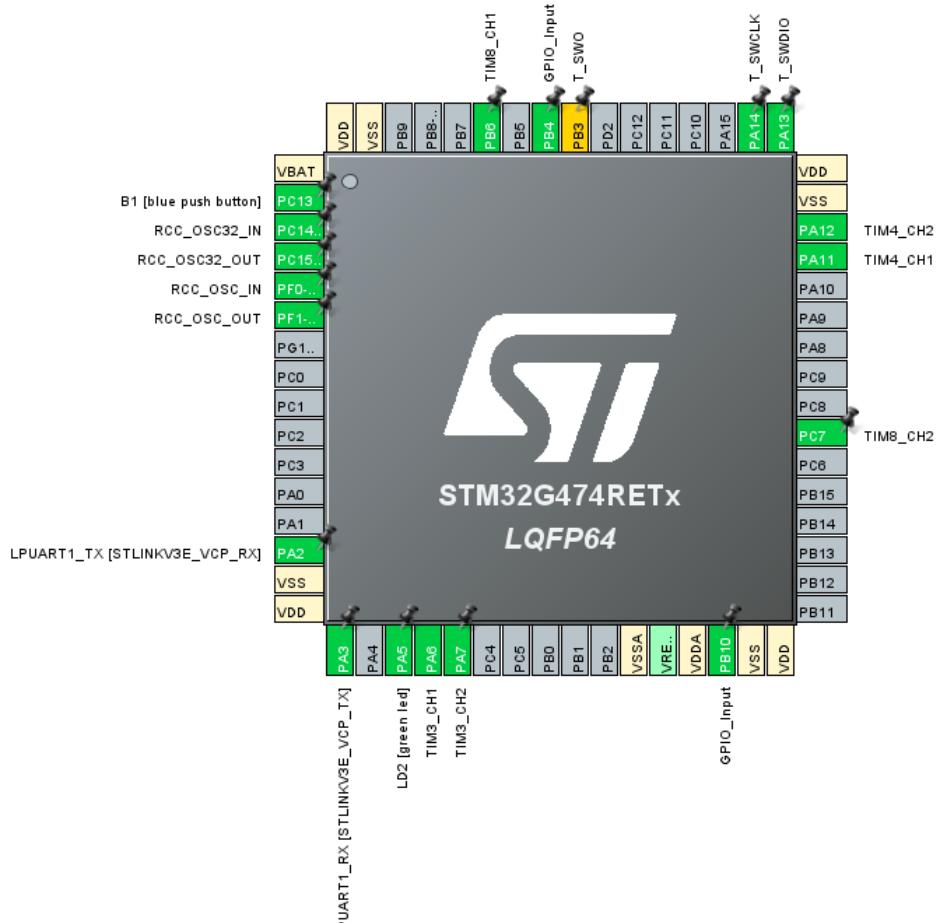
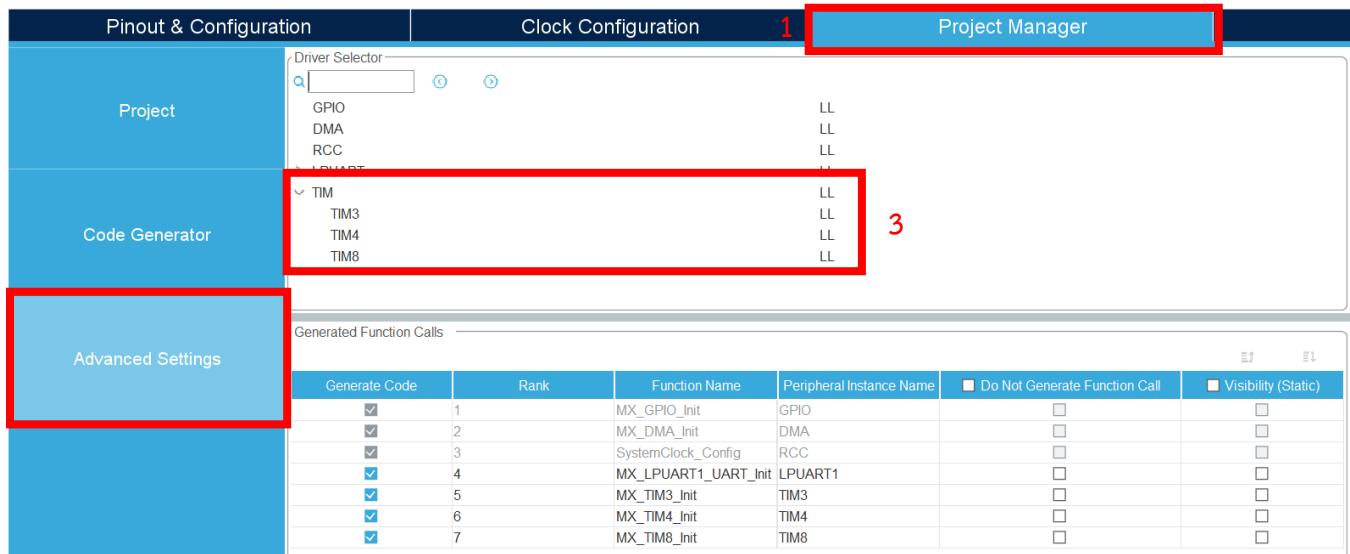
3.3 ตั้งค่า Timers สำหรับโหมด QEI โดยเลือกใช้ TIM3, TIM4 และ TIM8 โดยกำหนดให้

- TIM3 อ่านค่าสัญญาณ Quadrature แบบ x1 (Encoder Mode x1_TI1)
- TIM4 อ่านค่าสัญญาณ Quadrature แบบ x2 (Encoder Mode TI1)
- TIM8 อ่านค่าสัญญาณ Quadrature แบบ x4 (Encoder Mode TI1 and TI2)

และตั้งค่า Counter Period เป็น 65520 สำหรับ Incremental encoder ตัวล่าง และ 65536 สำหรับ Incremental encoder ตัวบน



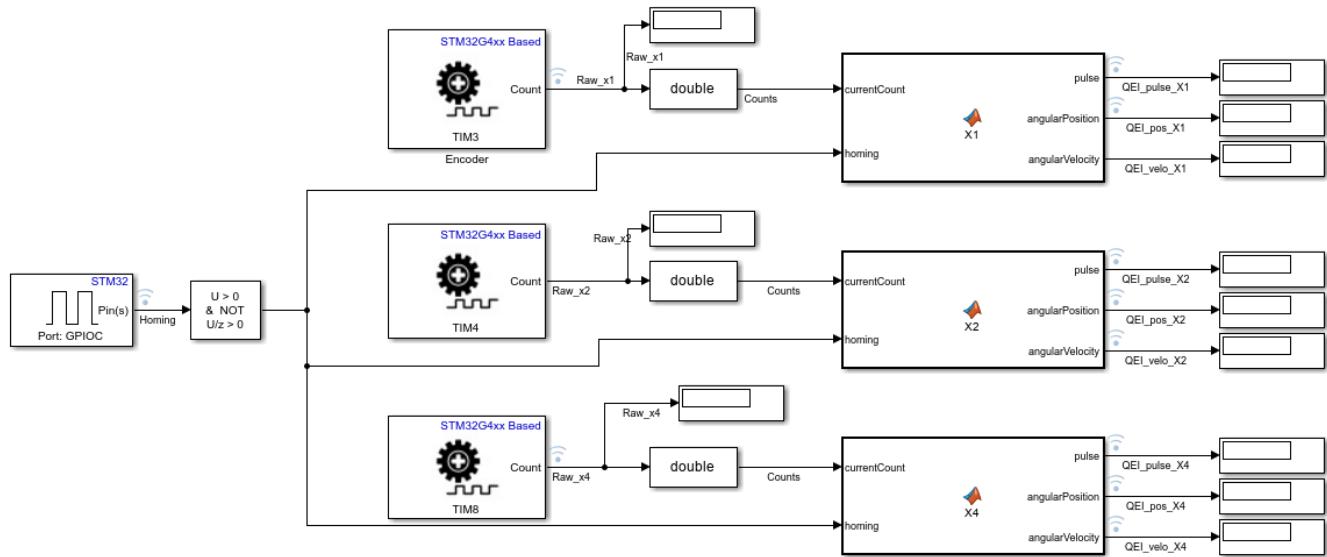
3.4 ไปที่ Project Manager >> Advanced Settings >> เลือก LL >> กด GENERATE CODE



รูป การตั้งค่าขา GPIO

4. ตั้งค่า MATLAB Simulink เพื่อรับข้อมูลจาก Encoder โดยสร้างโปรเจกต์ Simulink ใหม่เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อกับบอร์ด STM32G474RE

- สร้าง Block ใน Simulink สำหรับอ่านค่าแบบ QEI



รูป บล็อกสำหรับการอ่านค่าแบบ QEI

```

function [pulse, angularPosition, angularVelocity] = X1(currentCount, homing)
    % ฟาร์มเดอร์ที่ใช้ในการคำนวณ
    maxCount = 65520; % ค่าสูงสุดที่สามารถบันได้ก่อนจะ wrap-around
    timeInterval = 0.1; % ช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณความเร็วเฉลี่ย (หน้าที่)
    PPR = 24; % จำนวนพลสต์ต่อรอบของ Encoder (Pulses Per Revolution)

    % Persistent Variables เพื่อเก็บผู้ต่อหน้า
    persistent previousCount totalCount previousRadians homepos

    % ตั้งค่าเริ่มต้น Persistent Variables
    if isempty(previousCount)
        previousCount = currentCount;
        totalCount = 0;
        previousRadians = 0;
        homepos = 0;
    end

    % คำนวณความแปรผันระหว่าง currentCount และ previousCount
    diffCount = currentCount - previousCount;

    % ตรวจสอบการเกิด wrap-around
    if diffCount < -maxCount/2
        totalCount = totalCount + (maxCount + diffCount); % Wrap-around จาก maxCount กลับไปที่ 0
    elseif diffCount > maxCount/2
        totalCount = totalCount + (diffCount - maxCount); % Wrap-around จาก 0 ไปที่ maxCount
    else
        totalCount = totalCount + diffCount; % กรณีปกติ ไม่มีการ wrap-around
    end

    % ตั้งค่าโฮม (Home Position) เมื่อ homing == 1
    if homing == 1
        homepos = totalCount;
    end

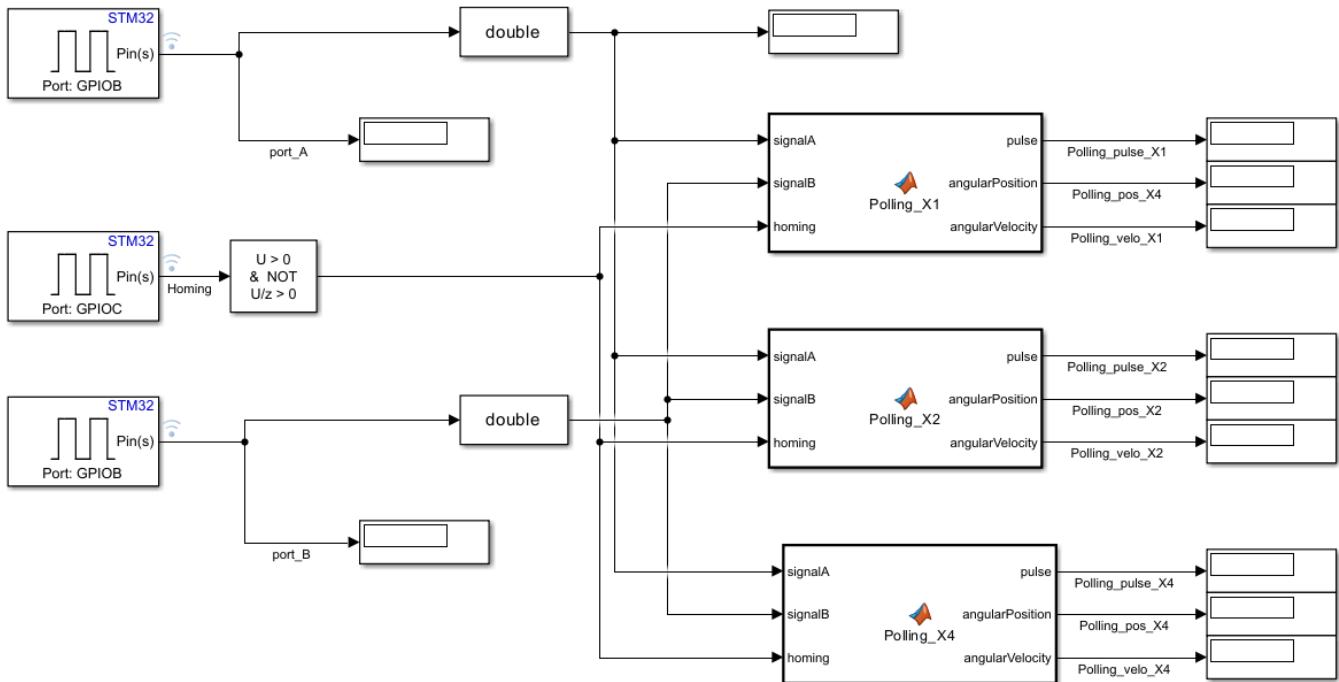
    % คำนวณองศาและ弧度 (Angular Position) และความเร็วเฉลี่ย (Angular Velocity)
    pulse = totalCount - homepos; % จำนวนพลสต์นับจากค่าตำแหน่งปัจจุบัน
    angularPosition = (pulse / PPR) * 2 * pi; % แปลงจำนวนพลสต์เป็นดีกรี弧度 (radians)
    angularVelocity = (angularPosition - previousRadians) / timeInterval; % คำนวณความเร็วเฉลี่ย

    % อัปเดตค่าก่อนหน้า
    previousCount = currentCount;
    previousRadians = angularPosition;
end

```

รูป โค้ดการทำงานภายใน MATLAB Function สำหรับการอ่านค่าแบบ QEI x1, x2 และ x4

- สร้างบล็อกใน Simulink สำหรับอ่านค่าแบบ Polling Method



รูป บล็อกสำหรับการอ่านค่าแบบ Polling

```

function [pulse, angularPosition, angularVelocity] = Polling_X1(signalA, signalB, homing)
    % กำหนดค่าพารามิเตอร์
    PPR = 24;           % จำนวนพลสต์ต่อรอบ
    timeInterval = 0.1; % ช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณความเร็วเฉลี่ย

    % ตัวแปร persistent เพื่อเก็บค่าก่อนหน้าและจำนวนพลสต์ต่อรอบ
    persistent previousCount totalCount homepos previousRadians

    % กำหนดค่าเริ่มต้นเมื่อฟังก์ชันถูกเรียกครั้งแรก
    if isempty(previousCount)
        previousCount = 0;
        totalCount = 0;
        homepos = 0;
        previousRadians = 0;
    end

    % คำนวณจำนวนพลสต์เมื่อจราจร A และ B
    if signalA == 1 && signalB == 0
        totalCount = previousCount + 1; % หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา
    elseif signalA == 0 && signalB == 1
        totalCount = previousCount - 1; % หมุนในทิศทางตรงกันข้าม
    else
        totalCount = previousCount; % ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
    end

    % กำหนดตำแหน่งเริ่มต้น (home position) หากอยู่ในโหมด homing
    if homing == 1
        homepos = totalCount;
    end

    % คำนวณค่าพลสต์และตำแหน่งเฉลี่ย
    pulse = totalCount - homepos;
    angularPosition = (pulse / PPR) * 2 * pi;

    % คำนวณความเร็วเฉลี่ยจาก การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเฉลี่ย
    angularVelocity = (angularPosition - previousRadians) / timeInterval;

    % อัปเดตค่าก่อนหน้าสำหรับรอบถัดไป
    previousCount = totalCount;
    previousRadians = angularPosition;
end

```

รูป โค้ดการทำงานภายใน MATLAB Function สำหรับการอ่านค่าแบบ Polling x1

```

function [pulse, angularPosition, angularVelocity] = Polling_X2(signalA, signalB, homing)
    % กำหนดค่าพารามิเตอร์
    PPR = 24;           % จำนวนฟลัตต์รอบ
    timeInterval = 0.1;   % ช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณความเร็วเชิงอนุ

    % ตัวแปร persistent เพื่อเก็บค่าก่อนหน้าและจำนวนฟลัตต์ต่อเมื่อ
    persistent previousCount totalCount homepos previousRadians

    % กำหนดค่าเริ่มต้นเมื่อฟังก์ชันถูกเรียกครั้งแรก
    if isempty(previousCount)
        previousCount = 0;
        totalCount = 0;
        homepos = 0;
        previousRadians = 0;
    end

    % คำนวณจำนวนฟลัตต์ต่อเมื่อของตามสัญญาณ A และ B
    if signalA == 1 && signalB == 0
        totalCount = previousCount + 2; % หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา
    elseif signalA == 0 && signalB == 1
        totalCount = previousCount - 2; % หมุนในทิศทางตรงกันข้าม
    else
        totalCount = previousCount; % ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
    end

    % กำหนดค่าแห่งเริ่มต้น (home position) หากยังไม่แน่ใจ
    if homing == 1
        homepos = totalCount;
    end

    % คำนวณค่าฟลัตต์และตำแหน่งเชิงอนุ
    pulse = totalCount - homepos;
    angularPosition = (pulse / PPR) * 2 * pi;

    % คำนวณความเร็วเชิงอนุจากการปัจจุบันของค่าแห่งเริ่มต้นและเวลา
    angularVelocity = (angularPosition - previousRadians) / timeInterval;

    % อัปเดตค่าก่อนหน้าสำหรับครั้งต่อไป
    previousCount = totalCount;
    previousRadians = angularPosition;
end

```

รูป โค้ดการทำงานภายใน MATLAB Function สำหรับการอ่านค่าแบบ Polling x2

```

function [pulse, angularPosition, angularVelocity] = Polling_X4(signalA, signalB, homing)
    % กำหนดค่าพารามิเตอร์
    PPR = 24;           % จำนวนฟลัตต์รอบ
    timeInterval = 0.1;   % ช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณความเร็วเชิงอนุ

    % ตัวแปร persistent เพื่อเก็บค่าก่อนหน้าและจำนวนฟลัตต์ต่อเมื่อ
    persistent previousCount totalCount homepos previousRadians

    % กำหนดค่าเริ่มต้นเมื่อฟังก์ชันถูกเรียกครั้งแรก
    if isempty(previousCount)
        previousCount = 0;
        totalCount = 0;
        homepos = 0;
        previousRadians = 0;
    end

    % คำนวณจำนวนฟลัตต์ต่อเมื่อของตามสัญญาณ A และ B
    if signalA == 1 && signalB == 0
        totalCount = previousCount + 4; % หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา
    elseif signalA == 0 && signalB == 1
        totalCount = previousCount - 4; % หมุนในทิศทางตรงกันข้าม
    else
        totalCount = previousCount; % ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
    end

    % กำหนดค่าแห่งเริ่มต้น (home position) หากยังไม่แน่ใจ
    if homing == 1
        homepos = totalCount;
    end

    % คำนวณค่าฟลัตต์และตำแหน่งเชิงอนุ
    pulse = totalCount - homepos;
    angularPosition = (pulse / PPR) * 2 * pi;

    % คำนวณความเร็วเชิงอนุจากการปัจจุบันของค่าแห่งเริ่มต้นและเวลา
    angularVelocity = (angularPosition - previousRadians) / timeInterval;

    % อัปเดตค่าก่อนหน้าสำหรับครั้งต่อไป
    previousCount = totalCount;
    previousRadians = angularPosition;
end

```

รูป โค้ดการทำงานภายใน MATLAB Function สำหรับการอ่านค่าแบบ Polling x4

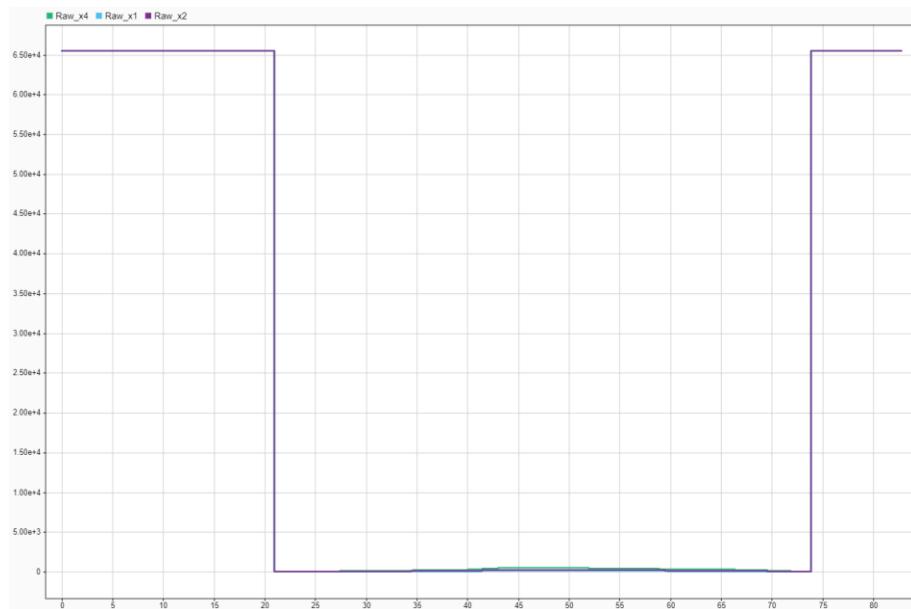
5. รันและทดสอบการทำงานด้วยปุ่ม Monitor & Tune และดูกราฟผ่าน Data Inspector
6. วิเคราะห์กราฟที่เกิดขึ้น แล้วนำข้อมูลมาสรุปผลและอภิปรายผลงานในรายงาน

ผลการทดลอง

1. Incremental Encoder AMT103-V

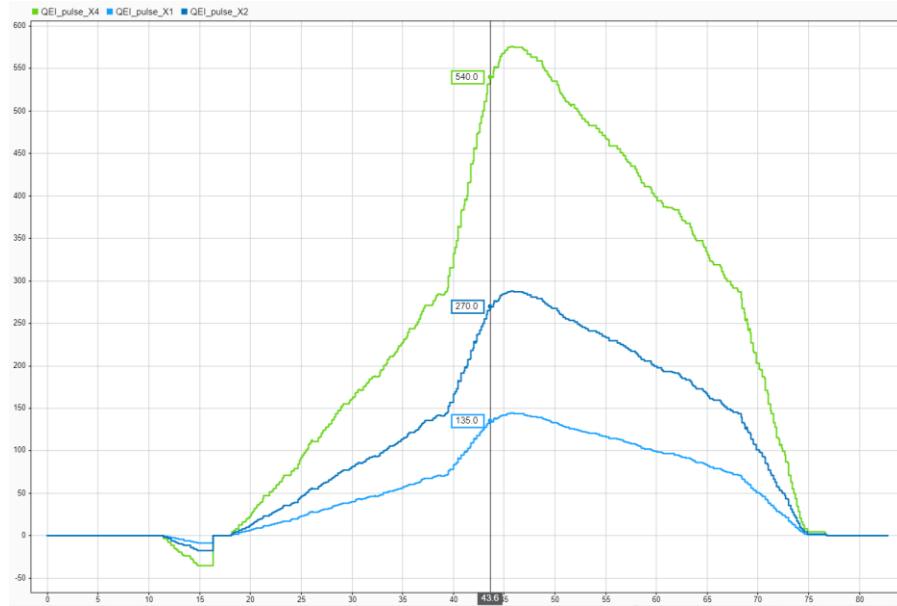
วิธี QEI

- Raw Signal Graph



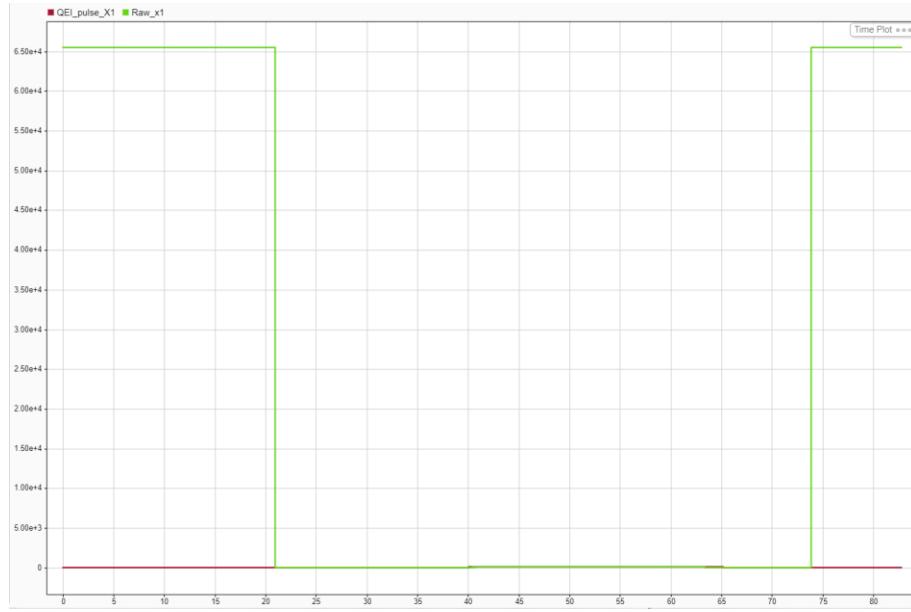
จากการแสดงให้ว่าเมื่อหมุน Incremental encoder และอ่านค่าไปจนถึงจำนวน pulse สูงสุด ซึ่งคือ 65,530 แล้วค่าที่อ่านได้จะวนกลับไปเริ่มนับที่ 0 ใหม่

- Pulses

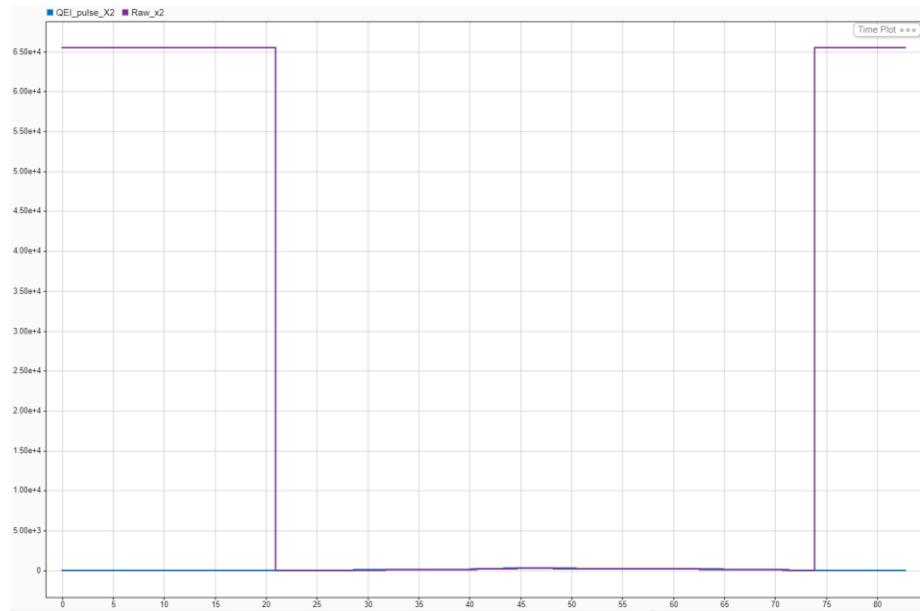


จากการภาพแสดงให้เห็นถึงการ unwrapping ค่าที่อ่านได้จาก Incremental encoder ซึ่งเมื่ออ่านค่าไปจนถึงจำนวน pulse สูงสุดซึ่งคือ 65530 และค่าที่อ่านได้จะไม่วนกลับไปเริ่มนับที่ 0 ใหม่แต่จะนับต่อไปเรื่อยๆ

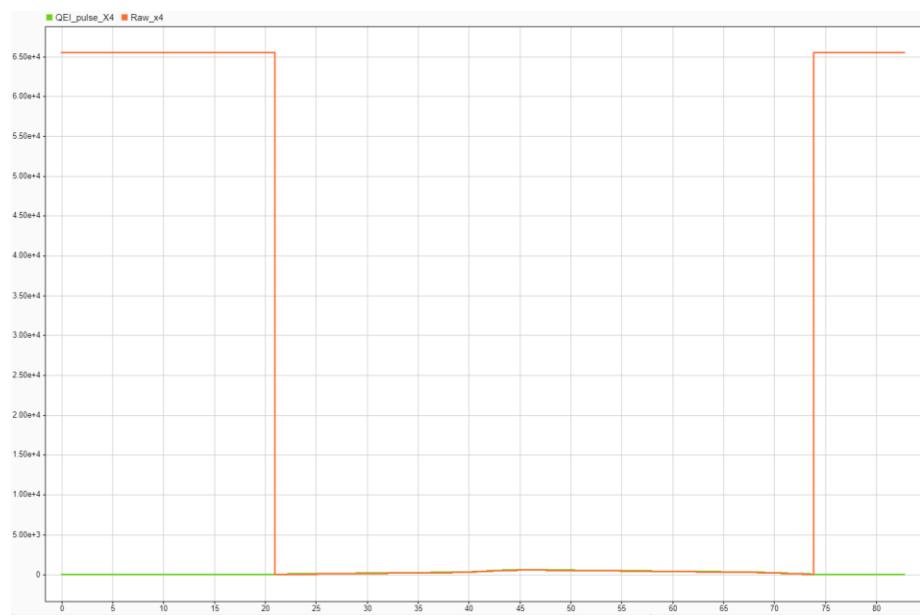
- Raw Signal & pulse x1



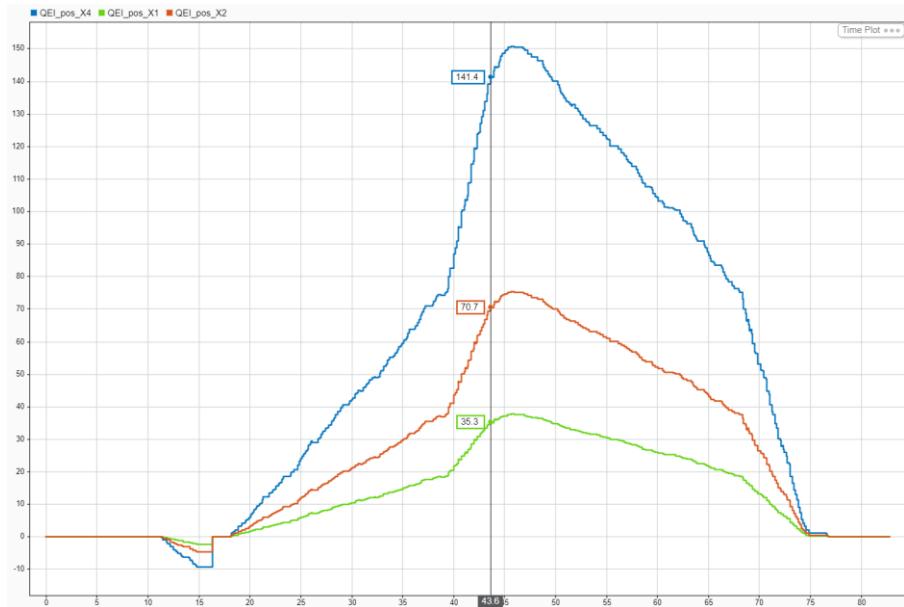
- Raw Signal & pulse x2



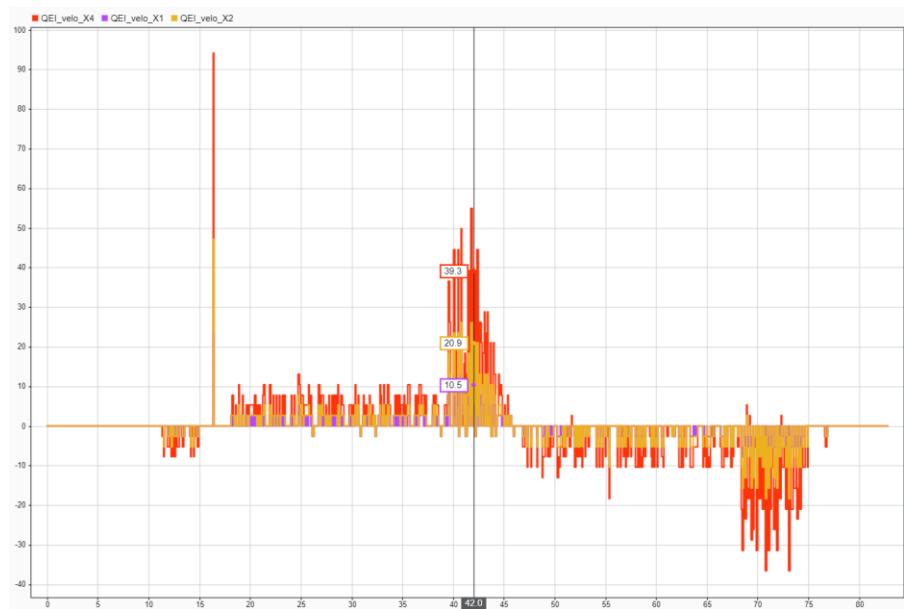
- Raw Signal & pulse x4



- Angular Position Graph

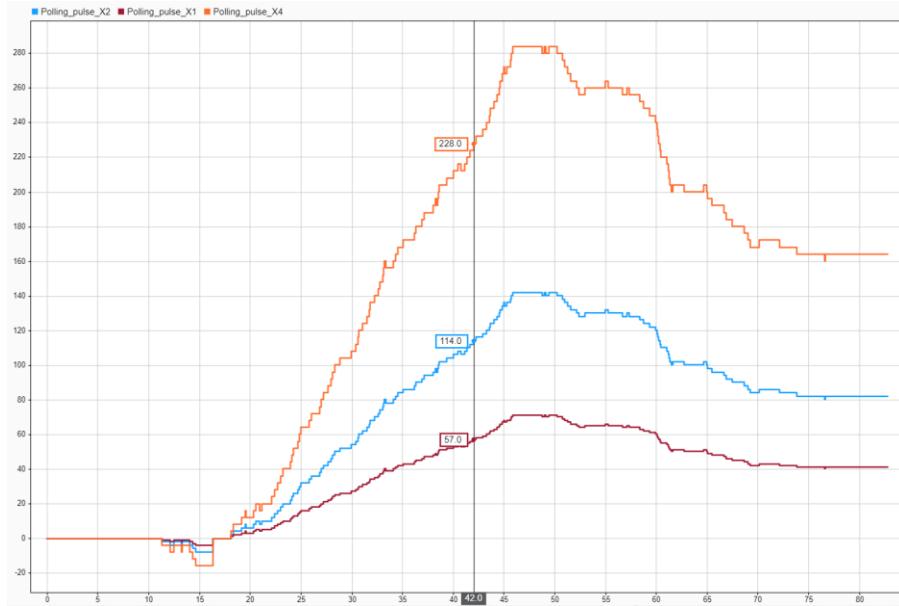


- Angular Velocity Graph



ቃድ Polling

- Pulses

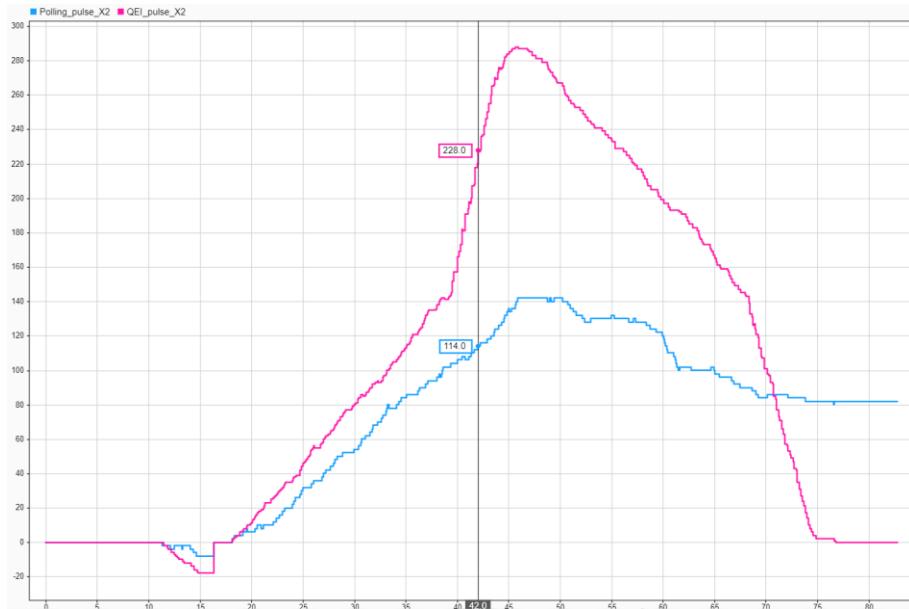


QEI VS Polling

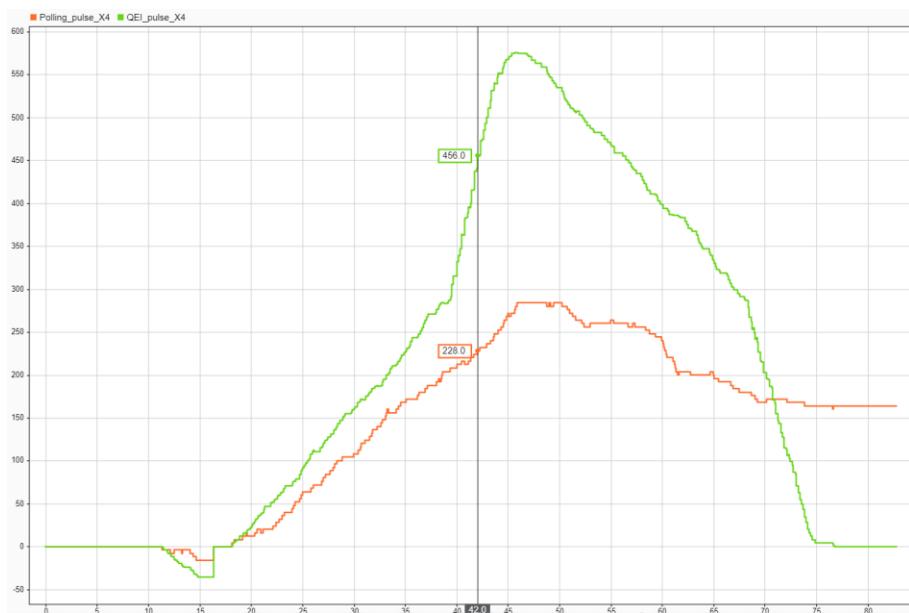
- Pulses x1



- Pulses x2



- Pulses x4

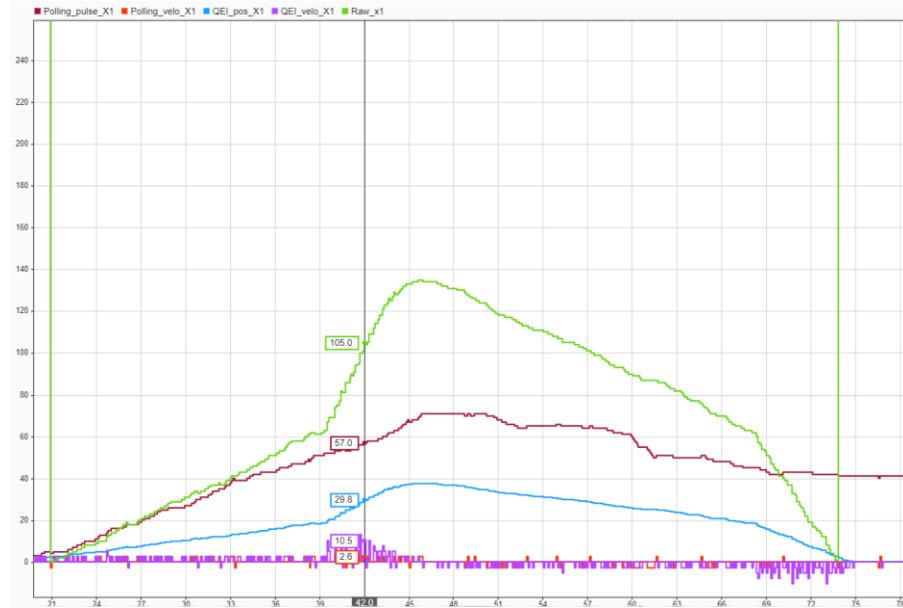


Homing



จากราฟจะเห็นว่า ตำแหน่งมีการลดลงก่อนถึงจุด Homing และจากนั้น ค่าตำแหน่งจะเริ่มนับใหม่จากจุดที่ตั้งไว้ ทำให้ตำแหน่งเป็นบวกเมื่อเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

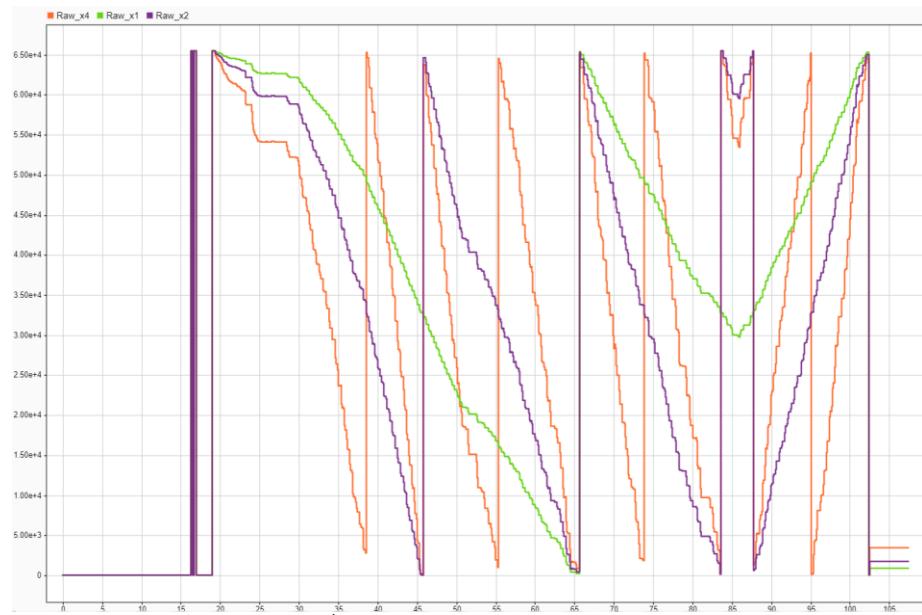
- กราฟภาพรวมของ Raw Signal, Angular Position, Angular Velocity ของการอ่านโหมด x1



2. BOURNS PEC11R-4220F-N0024

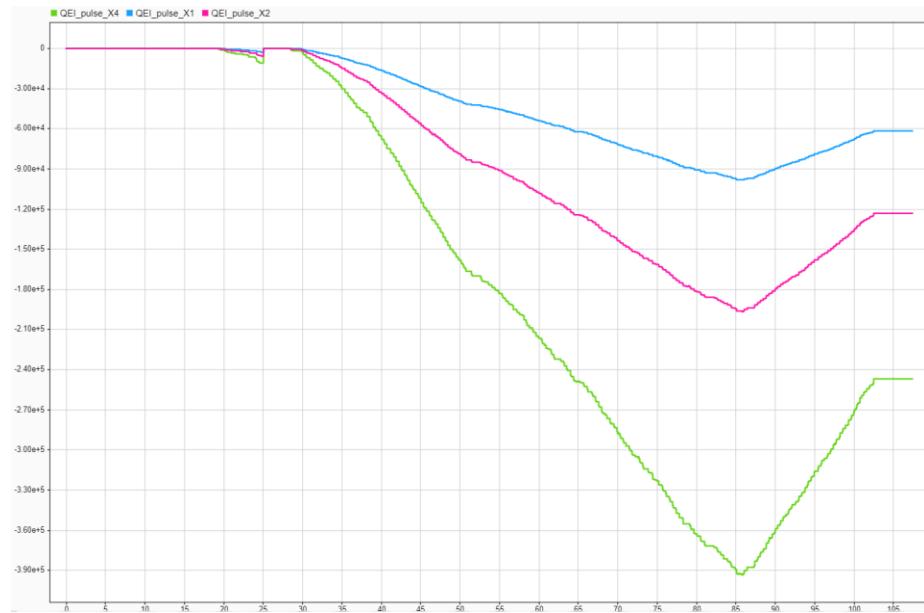
วิธี QEI

- Raw Signal Graph



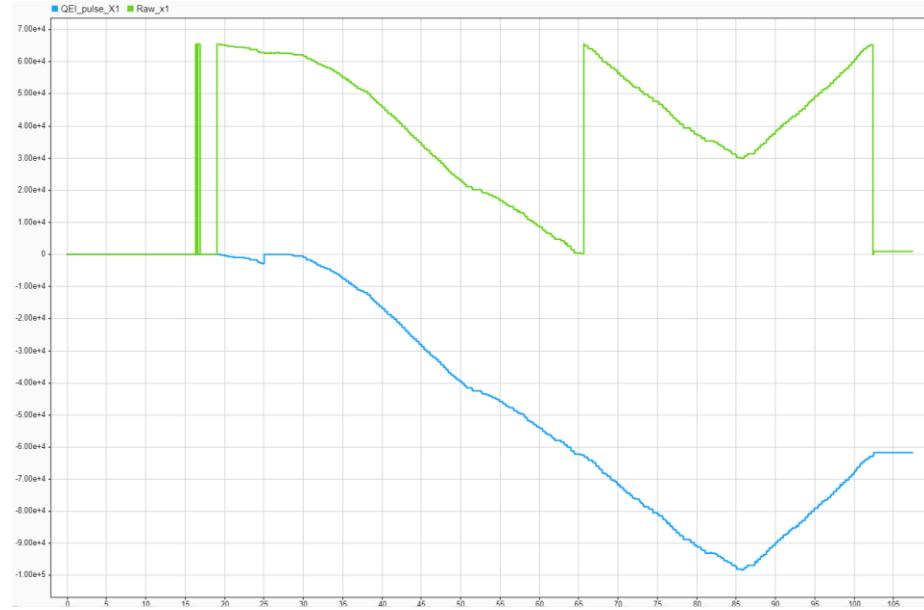
จากกราฟแสดงให้ว่ามีอุปกรณ์ Incremental encoder และอ่านค่าไปจนถึงจำนวน pulse สูงสุด
ซึ่งคือ 65,534 แล้วค่าที่อ่านได้จะวนกลับไปเริ่มนับที่ 0 ใหม่

- Pulses

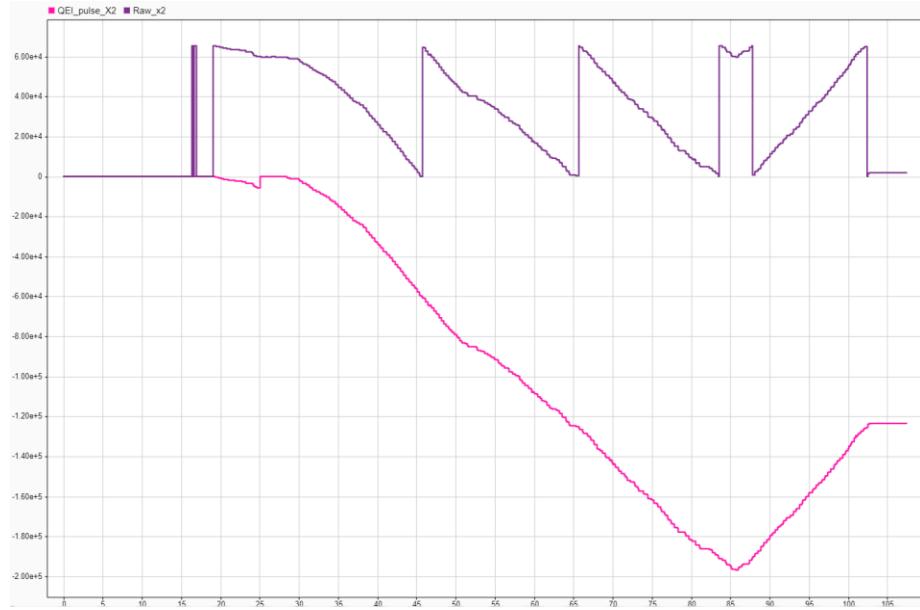


จากการภาพแสดงให้เห็นถึงการ unwrap ค่าที่อ่านได้จาก Incremental encoder ซึ่งเมื่ออ่านค่าไปจนถึงจำนวน pulse สูงสุดซึ่งคือ 65534 แล้วค่าที่อ่านได้จะไม่วนกลับไปเริ่มนับที่ 0 ใหม่แต่จะนับต่อไปเรื่อยๆ

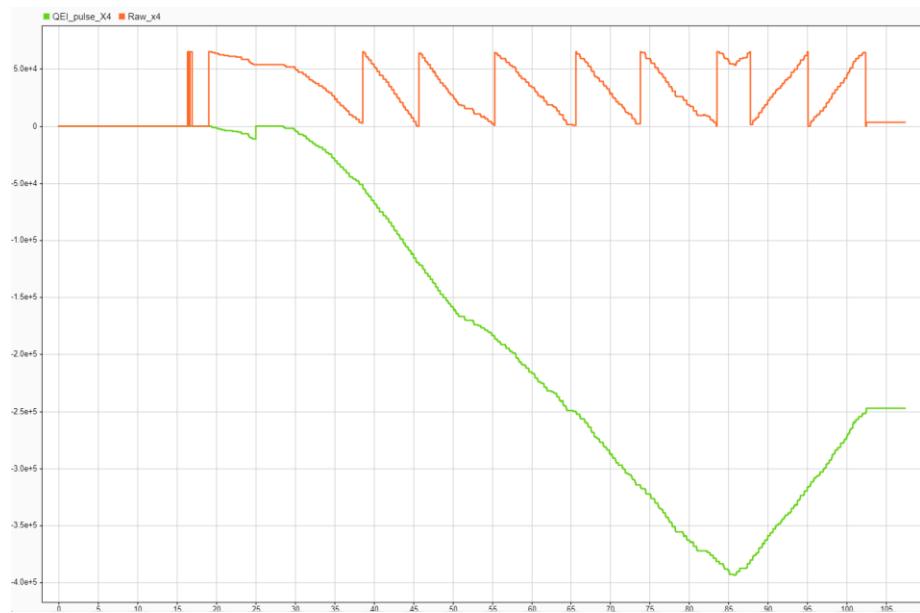
- Raw Signal & pulse x1



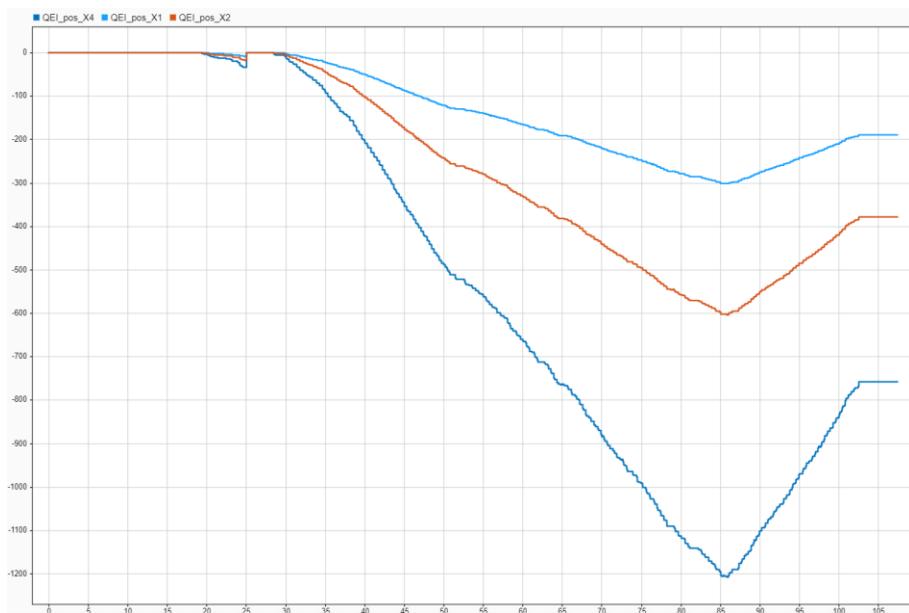
- Raw Signal & pulse x2



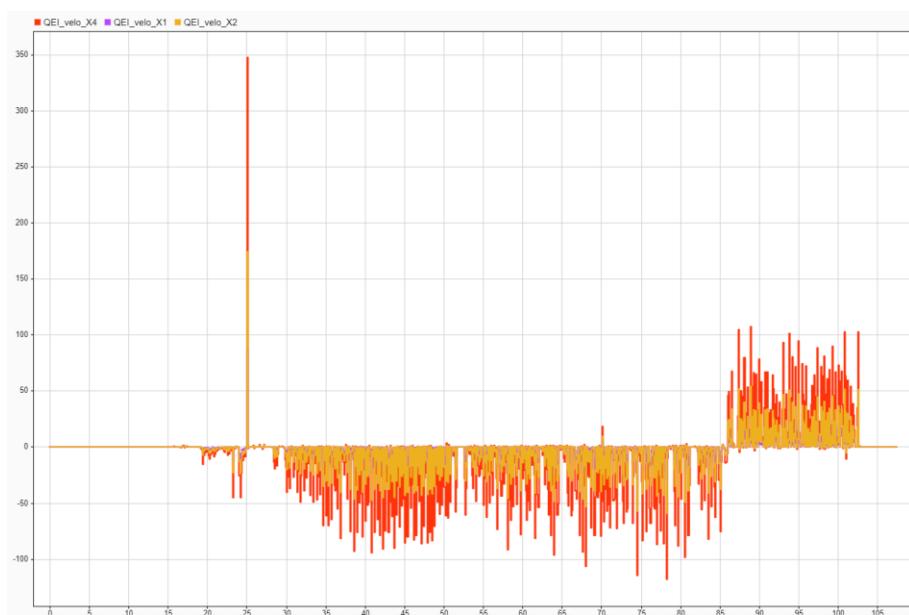
- Raw Signal & pulse x4



- Angular Position Graph

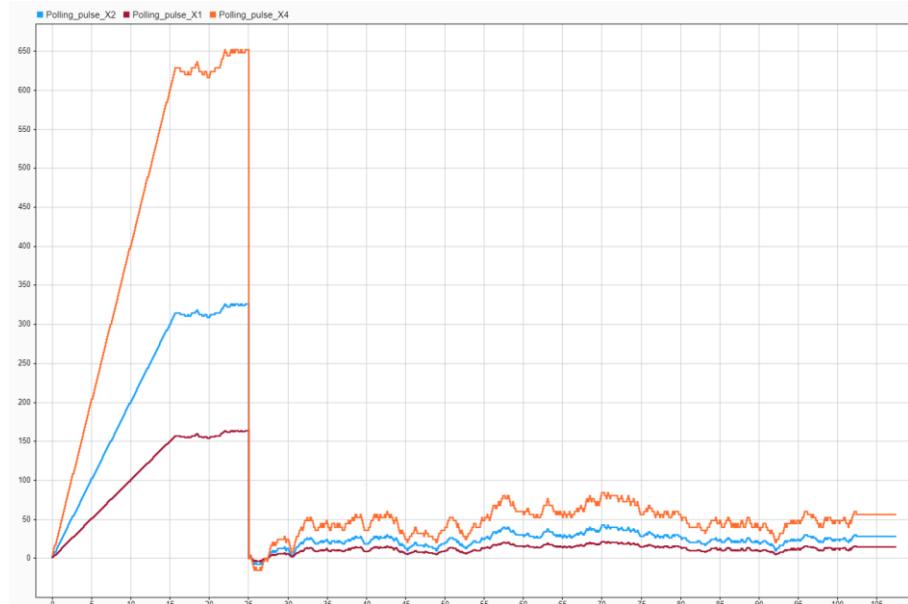


- Angular Velocity Graph



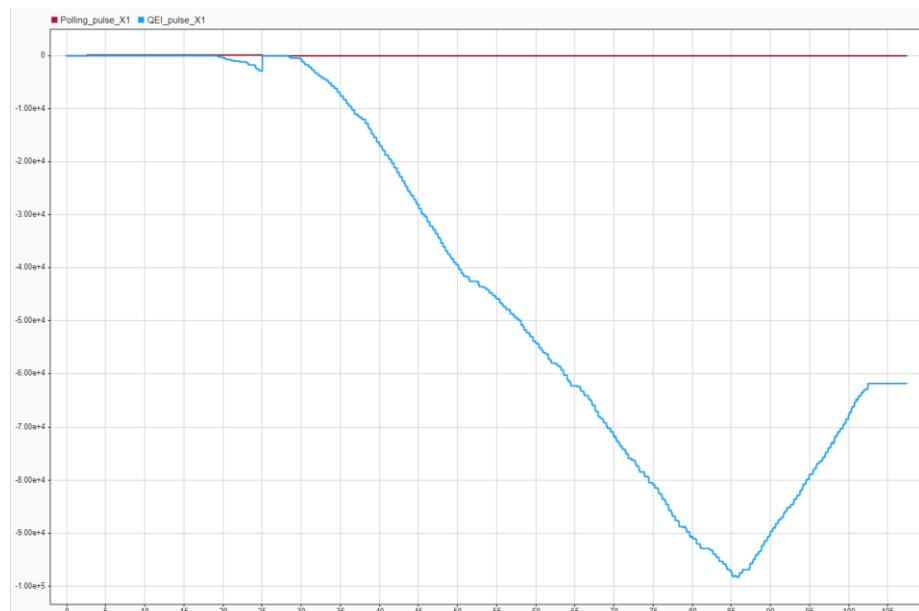
ቃድ Polling

- Pulses



QEI VS Polling

- Pulses x1



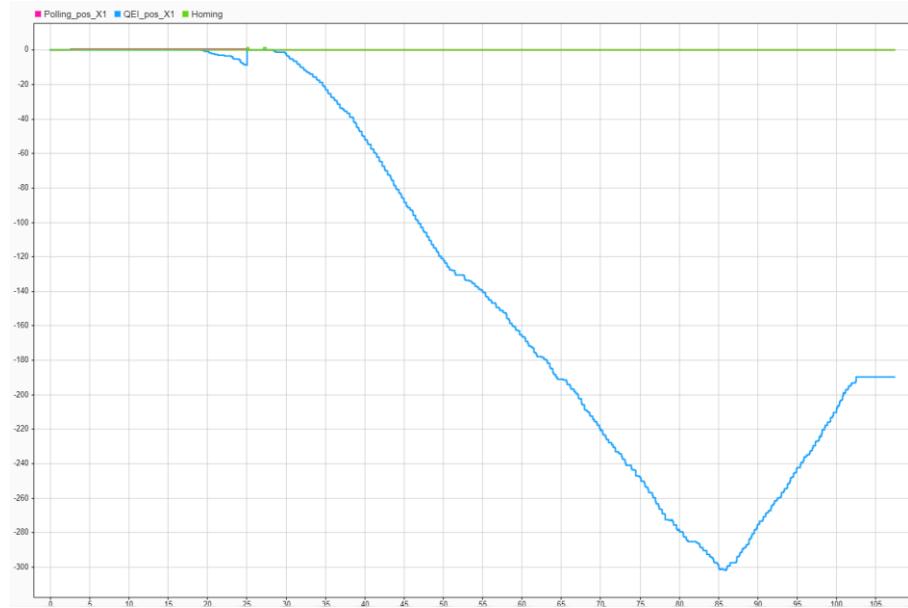
- Pulses x2



- Pulses x4



Homing



จากกราฟจะเห็นว่า ตำแหน่งมีการลดลงก่อนถึงจุด Homing และจากนั้น ค่าตำแหน่งจะเริ่มนับใหม่จากจุดที่ตั้งไว้ ทำให้ตำแหน่งเป็นบวกเมื่อเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

- กราฟภาพรวมของ Raw Signal, Angular Position, Angular Velocity ของการอ่านพอร์ต x1



สรุปผล

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเร็วและทิศทางของการหมุน Incremental Encoder มีผลต่อรูปแบบของสัญญาณที่เกิดขึ้นในการอ่านค่าแบบต่าง ๆ (x_1, x_2, x_4) อย่างชัดเจน

- QEI Method มีความแม่นยำและความต่อเนื่องสูงในการอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงของทิศทางและความเร็วของ Encoder โดย QEI สามารถเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของ pulse ได้อย่างละเอียดแม่นยำในช่วงที่ความเร็วเชิงมุมสูงขึ้น
- Polling Method นั้นสามารถอ่านค่าได้ในระดับหนึ่ง แต่เมื่อความเร็วเชิงมุมเพิ่มขึ้น ค่าที่อ่านได้จะผิดพลาดซึ่งเกิดจาก การพลาดในการนับ pulse ที่มากขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะในกรณีที่หมุนด้วยความเร็วสูง

จากการเปรียบเทียบพบว่าการใช้ QEI Method มีประสิทธิภาพในการอ่านค่าสัญญาณที่ดีกว่า Polling Method ทั้งในด้านของความแม่นยำและการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความเร็วและทิศทาง

อภิปรายผล

ผลการทดลองสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ กล่าวคือ การอ่านค่าสัญญาณด้วย QEI มีความแม่นยำและตอบสนองได้ดี เมื่อความเร็วและทิศทางการหมุนของ Encoder มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจาก QEI ใช้การตรวจจับที่เกิดขึ้นแบบเรียลไทม์ ทำให้การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณมีความต่อเนื่องและไม่พลาดในทุกสถานการณ์ ในขณะที่ Polling Method ซึ่งมีการตรวจเช็คสถานะเป็นช่วงเวลา ทำให้เกิดการพลาดในการนับ pulse โดยเฉพาะเมื่อความเร็วของ Encoder เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

ข้อเสนอแนะ

ควรเพิ่มก้านวัดองศาให้กับ Incremental Encoder ตัวบน เพื่อให้ง่ายต่อการสังเกตและตรวจสอบตำแหน่งที่หมุน เอกสารอ้างอิง

1. <https://www.primusthai.com/primus/Knowledge/info?ID=157>
2. https://www.dynapar.com/Technology/Encoder_Basics/Quadrature_Encoder/#:~:text=A%20quadrature%20encoder%20is%20an%20incremental%20encoder%20with,where%20sensing%20the%20direction%20of%20movement%20is%20required.
3. <https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-interrupt-and-polling/>
4. <https://www.dynapar.com/knowledge/how-to-calculate-encoder-resolution>
5. <https://www.mathworks.com/help/sldrt/ug/simulink-real-time-connected-io-mode.html>
6. <https://www.mathworks.com/help/ti-c2000/connected-io-simulation.html>
7. https://www.haydonkerkpitman.com/-/media/ametekhaydonkerk/downloads/white-papers/incremental_encoder_signals.pdf?la=en&revision=418fd29d-3607-46d6-9982-58ce4d5353f1&hash=4BB33E76E98D8256BCDCA9350932FFB8

8. <https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/el515x/9828674955.html&id=>
9. <https://www.bourns.com/docs/product-datasheets/pec11r.pdf>
10. https://cdn2.hubspot.net/hubfs/291699/uploadedFiles/_site_root/Service_and_Support/Danaher_Encoder_Handbook.pdf

Part 3 : Hall Effect Magnetic Sensor

Experiment 1 : การทดลองเพื่อหาค่าที่ได้จาก sensor DRV5055A2 ว่ามีลักษณะอย่างไร

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor (DRV5055A2)
2. เพื่อศึกษาสัญญาณ Output ที่ได้จาก Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor (DRV5055A2) เมื่อ Magnetic Flux Density เปลี่ยนแปลงไป

สมมติฐาน

ถ้าค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนไปตามระยะห่างของแม่เหล็กและ sensor DRV5055A2 จะส่งผลให้ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ sensor ตรวจจับได้ มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกัน เช่น เมื่อระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ sensor เพิ่มขึ้นแสดงว่าค่าแรงดัน Output จะลดลงอย่างสม่ำเสมอ เพราะ เมื่อระยะห่างจากแม่เหล็กและ sensor ยิ่งเพิ่มขึ้นมากสนามแม่เหล็กยิ่งมีค่าต่ำลง

ตัวแปร

- | | | |
|--------------|---|--|
| ตัวแปรต้น | : | ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ sensor DRV5055A2 |
| ตัวแปรตาม | : | แรงดัน Output ของ sensor DRV5055A2 |
| ตัวแปรควบคุม | : | อุณหภูมิขณะทดลองที่ 25 องศาเซลเซียส, แรงดัน Supply Voltage ที่ป้อนเข้าสู่ sensor คงที่ ที่ 3.3 โวลต์, ชนิดและขนาดของแม่เหล็กที่ใช้ในการทดลอง |

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. สนามแม่เหล็ก (Magnetic Field)

บริเวณรอบ ๆ วัตถุที่มีแรงแม่เหล็กส่งผ่าน ซึ่งสามารถตรวจจับได้โดย sensor เช่น sensor DRV5055A2 จะตรวจจับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่มีหน่วยเป็นเทสลา (T)

2. ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Strength)

ขนาดของแรงแม่เหล็กที่ทำงานในพื้นที่หนึ่ง ซึ่งตรวจจับได้ โดย sensor และแสดงผลเป็นแรงดัน Output มีหน่วย เป็นเทสลา (T)

3. ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density)

ปริมาณที่บ่งบอกถึงความเข้มของสนามแม่เหล็กใน หน่วยของเทสลา (T) ซึ่ง sensor Hall Effect ใช้ในการวัด และแปลผลสัญญาณ

4. แรงดัน Output (Output Voltage)

แรงดันไฟฟ้าที่ sensor ปล่อยออกมาเพื่อตอบสนองต่อความเข้มของ สนามแม่เหล็ก ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามขนาด ของสนามแม่เหล็กที่ตรวจจับได้ หน่วยของแรงดัน Output คือโวลต์ (V)

5. แรงดันอินพุต (Supply Voltage)

แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ sensor DRV5055 เพื่อให้ sensor ทำงาน

6. ระยะห่าง (Distance)

ระยะทางระหว่าง sensor กับแม่เหล็ก ซึ่งมีผลต่อความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ sensor ตรวจจับได้ หน่วยเป็น เซนติเมตร (cm)

7. Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

sensor ชนิดนี้ที่ใช้หลักการของ Hall Effect ซึ่งให้สัญญาณ Output เป็นแรงดันไฟฟ้าที่แปรผันตรงกับความเข้ม ของสนามแม่เหล็กที่ตรวจจับได้

8. Hall Effect

ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าถูกวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงดันไฟฟ้าในแนวตั้งจากกับ กระแสไฟฟ้าและทิศทางของสนามแม่เหล็ก

นิยามเชิงปฏิบัติการ

1. sensor DRV5055A2 ในการทดลองนี้ คือ DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Sensor ชนิด A2

ที่สามารถตรวจจับสนามแม่เหล็กโดยมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นระหว่างสนามแม่เหล็กและสัญญาณแรงดัน Output โดย sensor นี้ทำงานตามหลักการ Hall Effect ซึ่งเมื่อมีสนามแม่เหล็กผ่าน sensor DRV5055A2 แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณ Output ที่สามารถอ่านค่าได้

2. สัญญาณ Output ในการทดลองนี้ เป็นสัญญาณที่ได้จาก sensor DRV5055A2 ซึ่งบันทึกจากการวัด ADC ใน MATLAB

3. แรงดัน Output ในการทดลองนี้ เป็นแรงดันอ่านได้จาก sensor DRV5055A2 ซึ่งบันทึกจากการวัด ADC และแปลง เป็น หน่วยโวลต์ (V) เมื่อมีการปรับเปลี่ยนความเข้มของสนามแม่เหล็กหรือระยะห่างระหว่าง sensor กับแม่เหล็ก

4. ระยะห่าง (Distance) ในการทดลองนี้ ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ sensor ถูกกำหนดด้วยชิ้นส่วน 3D-Print ที่ สามารถปรับระยะห่างได้ โดยหน่วยการวัดเป็น เซนติเมตร (cm)

5. แรงดันอินพุต (Supply Voltage) แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ sensor จะถูกตั้งค่าให้คงที่ 3.3V

6. RMS (Root Mean Square) หรือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองราก ใช้ในการวัดค่าของสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงหรือการ สั่นสะเทือน ของ sensor DRV5055A2

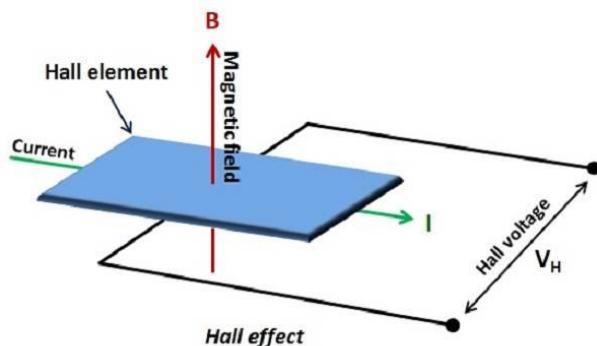
7. ความหนาแน่นของพลักซ์แม่เหล็ก ในการทดลองนี้ เป็นค่าที่เกิดจากการคำนวณ แรงดัน Output ของ DRV5055A2 ผ่านการใช้สูตรใน Datasheet

8. MFD หมายถึง ความหนาแน่นพลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density)

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

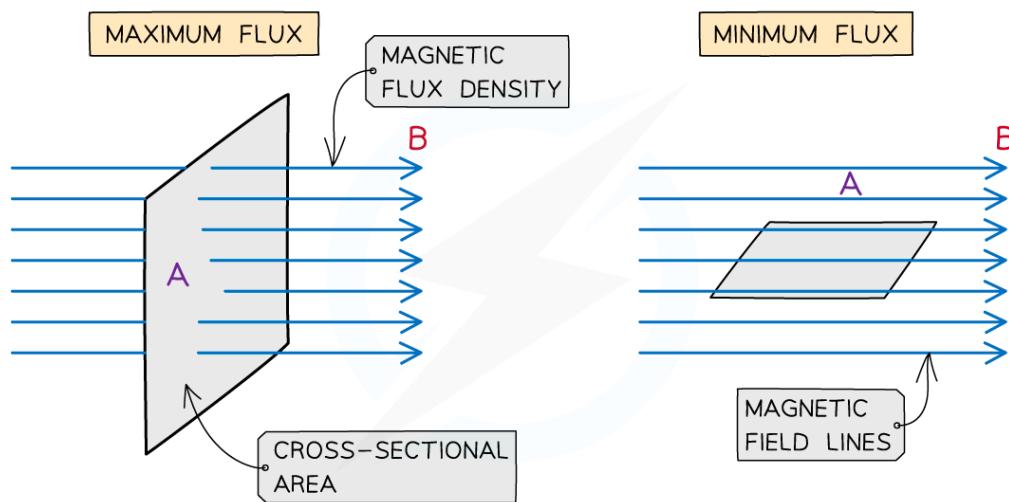
1. ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect)

เกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำที่มีสนามแม่เหล็ก โดยจะเกิดแรงในแนวขวางบนตัวนำที่มีประจุไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่เรียกว่า "แรงดันไฟฟ้าฮอลล์" ซึ่งใช้ในการตรวจจับความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก เช่นเซอร์ Hall Effect จะทำหน้าที่เป็นตัวแปลงเชิงเส้น โดยแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ที่เกิดขึ้นจะช่วยในการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กในวงจร



2. ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density)

จำนวนเส้นสนามแม่เหล็กที่ผ่านพื้นผิวปิดที่กำหนด ซึ่งใช้ในการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กทั้งหมดที่ผ่านพื้นที่นั้น พื้นที่ที่พิจารณาสามารถมีขนาดและทิศทางได้ตามที่ต้องของสนามแม่เหล็ก



3. DRV5055A2 Ratiometric Linear Hall Effect Sensor

sensor ที่ใช้原理การณ์ฮอลล์เพื่อวัดความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก และสัญญาณOutput จะเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นตามความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กที่ใช้ และมีความสามารถในการตรวจสอบ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Strength), ทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Direction) โดยเราสามารถคำนวณค่า ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) ได้จากสูตร Magnetic Response ใน Datasheet ของ DRV5055

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

โดย

V_Q	คือ	ครึ่งหนึ่งของแรงดันที่จ่ายให้ sensor DRV5055
V_{out}	คือ	ค่าแรงดัน Output ที่ได้จากการอ่านค่า sensor DRV5055
B	คือ	ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กที่ sensor ตรวจจับได้
S_{TC}	มีค่าอยู่ที่	0.12% / °C สำหรับ sensor DRV5055A1 - DRV5055A4
T_A	คือ	อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม

Sensitivity_(25°C) คือ ค่าที่ขึ้นอยู่กับชนิดและแรงดันที่จ่าย sensor DRV5055A2 สามารถตรวจสอบได้จาก Datasheet มีค่าอยู่ที่ 30 mV/mT เมื่อใช้แรงดันอินพุต ที่ 3.3 V

S	Sensitivity	$V_{CC} = 5 \text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	DRV5055A1/Z1	95	100	105	mV/mT
			DRV5055A2/Z2	47.5	50	52.5	
			DRV5055A3/Z3	23.8	25	26.2	
			DRV5055A4/Z4	11.9	12.5	13.2	
		$V_{CC} = 3.3 \text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	DRV5055A1/Z1	57	60	63	
			DRV5055A2/Z2	28.5	30	31.5	
			DRV5055A3/Z3	14.3	15	15.8	
			DRV5055A4/Z4	7.1	7.5	7.9	

4. Root Mean Square (RMS) เป็นวิธีการคำนวณค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลที่ใช้ในการวัดค่าที่แท้จริงของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เช่น สัญญาณไฟฟ้าหรือคลื่นเสียง ค่า RMS ใช้เพื่อให้ค่าที่แท้จริงของสัญญาณที่มีขนาดและทิศทางแตกต่างกัน โดยเฉพาะในกรณีที่มีสัญญาณที่เป็นลักษณะ *sin* วิธีการคำนวณค่า RMS

- 4.1 ยกกำลังสองของทุกค่าของชุดข้อมูล
- 4.2 คำนวณค่าเฉลี่ยของค่าที่ยกกำลังสอง
- 4.3 หาค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยที่ได้

โดยสมการทั่วไปสำหรับการคำนวณ RMS ของชุดข้อมูลตั้งแต่ X_1 ถึง X_n คือ

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}$$

โดยที่ RMS แทน Root Mean Square
 n แทน จำนวนสมาชิก
 x แทน สมาชิกแต่ละตัว

วิธีดำเนินการทดลอง

ทำการเก็บค่าแรงดัน Output ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อระยะห่างระหว่าง sensor DRV5055A2 และแม่เหล็ก ที่สามารถบันทึกได้จากการอ่านใน MATLAB และนำมาวัดกราฟเพื่อวิเคราะห์

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้

1. DRV5055A2 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

2. Nucleo STM32G474RE

3. บอร์ด MagneticXplorer (ที่มีการติดตั้งแม่เหล็กถาวรพร้อมอุปกรณ์ปรับระยะ 3D-printer)

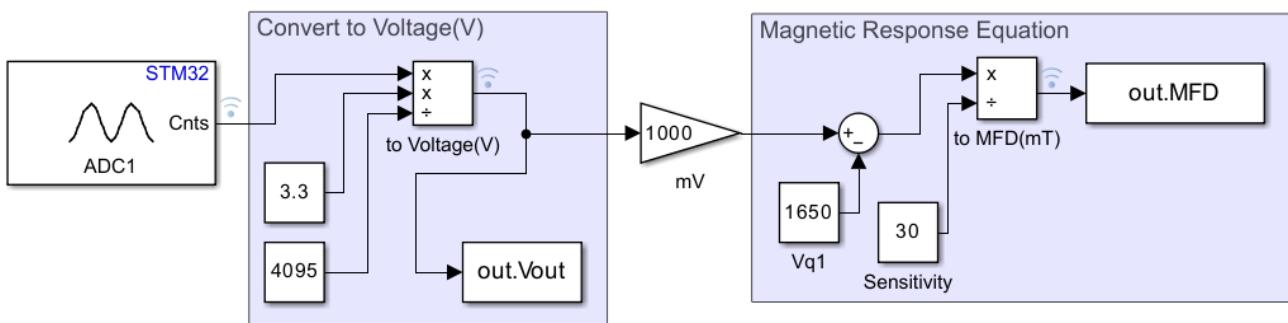
ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมอุปกรณ์

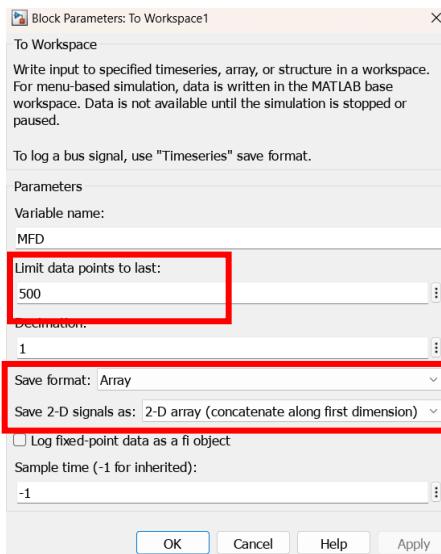
- 1.1 เชื่อมต่อ sensor DRV5055A2 กับแหล่งจ่ายไฟ 3.3v และเทียบกับ GND ของบอร์ด STM32
- 1.2 นำสัญญาณ OUT ของ sensor DRV5055A2 เข้าที่ pin A0 ของบอร์ด STM32
- 1.3 ตั้งค่าเวลาใน Simulink โดยปรับ Solver details ในหัวข้อ Fixed-step size เป็น 0.01

2. เก็บค่าจาก sensor DRV5055A2

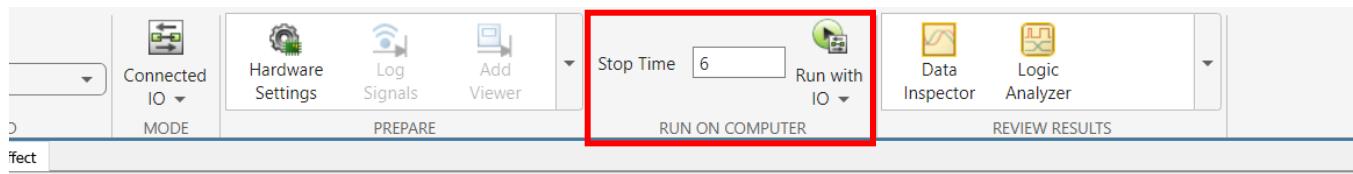
- 2.1 ปรับระยะระหว่างแม่เหล็กถาวรและ DRV5055A2 เริ่มต้นโดยอ้างอิงจาก scale บน 3D-printer ให้อยู่ห่างกันเป็นระยะ 1.00 เซนติเมตร (ระยะที่ทึ้งสองอยู่ใกล้กันมากที่สุด) แต่ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ sensor จริงๆ จะอยู่ที่ 0 เซนติเมตร โดยในการทดลองนี้จะเก็บค่าจากระยะห่างจริงระหว่างแม่เหล็กและ sensor
- 2.2 ปรับระยะห่างระหว่างแม่เหล็กถาวรและ DRV5055A2 ให้เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.50 เซนติเมตร พร้อมกับนำค่า ADC ที่ได้เป็นการแปลงหน่วยเป็น โวลต์(V) และแปลงค่าที่ได้ตามสมการ Magnetic Response เพื่อหาความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก ด้วยเครื่องมือของ Simulink และส่งค่าออกไปที่ Workspace ด้วยกล่องเครื่องมือ To Workspace ทำແທນ่ละ 500 ค่า จนถึงระยะ 4.00 เซนติเมตร



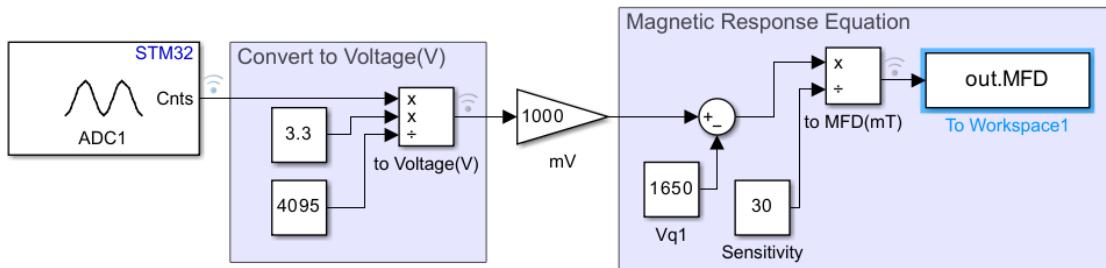
วิธีการเก็บค่า 500 ค่าจาก กล่องเครื่องมือ To Workspace ตั้งค่า Limit data point to last ที่ 500 และตั้งค่า Save format เป็น Array โดยเลือก Save 2-D signals as: เป็น 2-D array (concatenate along first dimension)



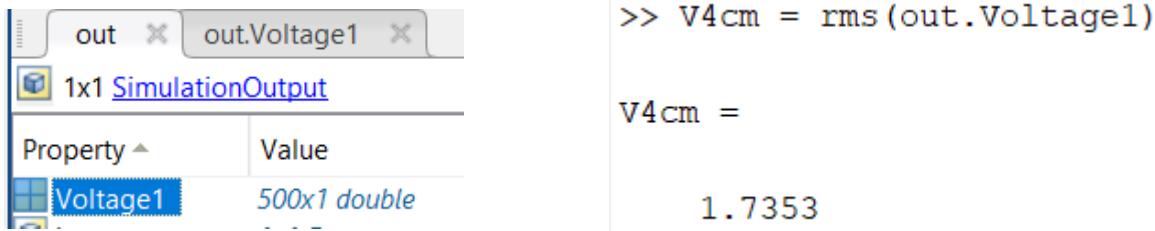
ปรับ Simulation time ให้ Start time: เท่ากับ 0 และ Stop time: มากกว่าหรือเท่ากับ 5 หลังจากนั้นกด run with IO เพื่อส่งค่าไปยัง Workspace



connection, click a port, terminator, or line segment, and then click a compatible, highlighted model element. [More information.](#) [Do not show again.](#)

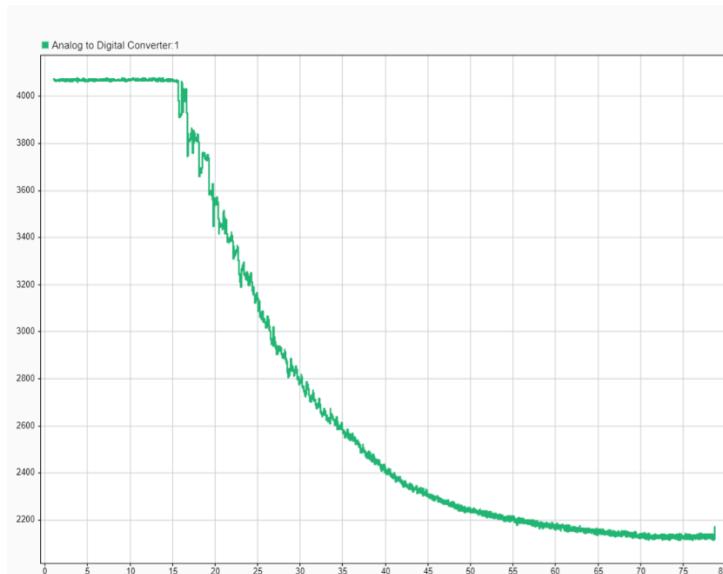


นำค่าที่บันทึกได้ (Voltage1) มาคำนวณผ่านการทำ Root Mean Square ด้วยคำสั่ง `rms()` ใน workspace ของ MATLAB และ plot เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและแรงดัน Output ของ DRV5055A2 (แรงดันขาออกของ DRV5055)

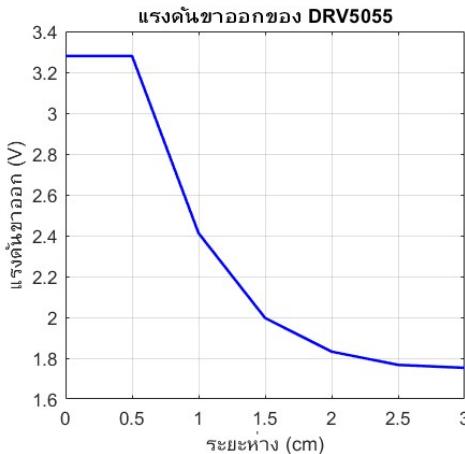


ผลการทดลอง

ค่าที่ได้จากการทดลอง Output ของ sensor DRV5055A2 โดยผ่านกล่องเครื่องมือ Analog to Digital Converter ใน Simulink โดยเมื่อปรับระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ sensor DRV5055A2 ตั้งแต่ 0 เซนติเมตร จนถึง 4 เซนติเมตร จะได้กราฟใน Data Inspector จากการ logging signals สัญญาณที่ออกมากจากกล่องเครื่องมือ Analog to Digital Converter ที่มีสัญญาณไม่คงที่ดังกราฟ



และหลังจากทำการทดลองที่ 2.3 ทำให้ได้กราฟใหม่ดังนี้



สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าลักษณะของแรงดัน Output ของ DRV5055A2 ที่อ่านด้วย Nucleo STM32G474RE โดยผ่านการหา RMS เพื่อให้สามารถอ่านค่าได้ง่าย มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกัน กล่าวคือเมื่อระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ sensor DRV5055A2 เพิ่มขึ้นค่าแรงดัน Output ของ DRV5055A2 จะลดลง ซึ่งเป็นไปตามหลักการของเซ็นเซอร์ Hall Effect ที่แรงดันขาออกจะเปลี่ยนไปตามความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ลดลงเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น

Experiment 2: การทดลอง เพื่อหาค่าที่ได้จาก sensor DRV5055A2 มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทิศของแม่เหล็ก

จุดประสงค์

เพื่อศึกษาสัญญาณ Output ที่ได้จาก Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor (DRV5055A2) เมื่อมีการเปลี่ยนทิศขั้วแม่เหล็ก หรือ ทิศทางฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Direction) ของแม่เหล็กที่ใช้ในการทดลอง สมมติฐาน

เมื่อเปลี่ยนทิศขั้วแม่เหล็กหรือทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็กที่ใช้กับเซ็นเซอร์ DRV5055A2 สัญญาณ Output ที่ได้จากเซ็นเซอร์จะเปลี่ยนแปลงตามทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็ก

ตัวแปร

- ตัวแปรต้น : ทิศทางหรือขั้วของแม่เหล็กที่หันเข้าหา sensor DRV5055A2
- ตัวแปรตาม : ลักษณะของแรงดัน Output ของ sensor DRV5055A2
- ตัวแปรควบคุม : อุณหภูมิขณะทดลองที่ 25 องศาเซลเซียส, แรงดัน Supply Voltage ที่ป้อนเข้าสู่ sensor คงที่, ชนิดและขนาดของแม่เหล็กที่ใช้ทดลอง, ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ sensor

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Direction) ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่แหล่งจากขั้วเหนือ (North

Pole) ไปยังข้าใต้ (South Pole) ภายนอกแม่เหล็ก และในทางกลับกันภายในตัวแม่เหล็ก นิยามเชิงปฏิบัติการ

1. ทิศทางของข้าแม่เหล็ก (Magnetic Pole Direction) ตำแหน่งและทิศทางของข้าเหนือและข้าใต้ของแม่เหล็กที่หันเข้าหาเซ็นเซอร์ DRV5055

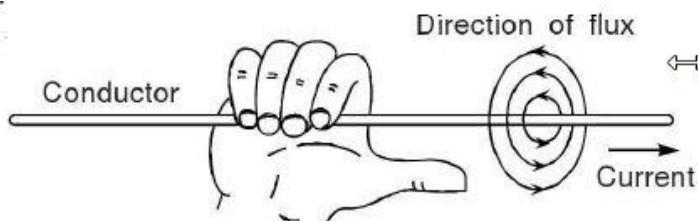
2. การเปลี่ยนข้าแม่เหล็ก (Magnetic Pole Reversal) การสลับข้าแม่เหล็กจากข้าเหนือไปยังข้าใต้ หรือตรงข้าม เพื่อศึกษาผลกระทบต่อแรงดันขาออก

3. MFD คือ หนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

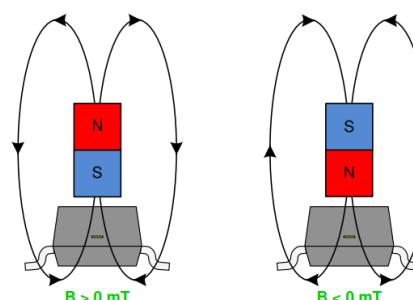
1. ทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Direction)

ทิศทางที่ฟลักซ์แม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ โดยปกติจะระบุทิศทางของเส้นสนามแม่เหล็กที่เข้าสู่หรือออกจากพื้นผิว ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยการใช้กฎมือขวาหรือการกำหนดทิศทางของสนามแม่เหล็กในกรณีต่าง ๆ

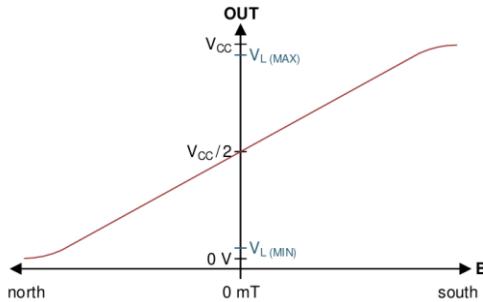


โดย ทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็ก คือ ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่ออกจากข้าเหนือ (North Pole) ไปยังข้าใต้ (South Pole) ของแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก โดยฟลักซ์แม่เหล็กจะเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่มีทั้งขนาดและทิศทาง ซึ่งจะถูกกำหนดให้สอดคล้องกับทิศของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น ภายใต้แม่เหล็ก ฟลักซ์แม่เหล็กจะออกจากข้าใต้ไปยังข้าเหนือ

2. sensor DRV5055A2 สามารถตรวจจับ ทิศทางของฟรากซ์แม่เหล็กได้เมื่อมีสนามแม่เหล็กตั้งฉากกับ ด้านบนของ sensor



และจากใน Datasheet เมื่อนำข้าใต้ของแม่เหล็กหันเข้าหา sensor จะทำให้แรงตัน Output ของ DRV5055A2 มี ค่าเป็นค่าบวก



วิธีดำเนินการทดลอง

การเก็บค่าแรงดัน Output เมื่อเปลี่ยนแปลงทิศทั้งแม่เหล็ก โดยสามารถบันทึกได้จากการอ่านใน MATLAB และนำมากราฟเพื่อวิเคราะห์

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้

- DRV5055A2 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor
- Nucleo STM32G474RE
- บอร์ด MagneticXplorer (ที่มีการติดตั้งแม่เหล็กถาวรพาร์กอยู่ในบอร์ด 3D-printer)

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมอุปกรณ์

- เชื่อมต่อ DRV5055A2 กับแหล่งจ่ายไฟ 3.3v และเทียบกับ GND ของบอร์ด STM32
- นำสัญญา OUT ของ DRV5055A2 เข้าที่ pin A0 ของบอร์ด STM32

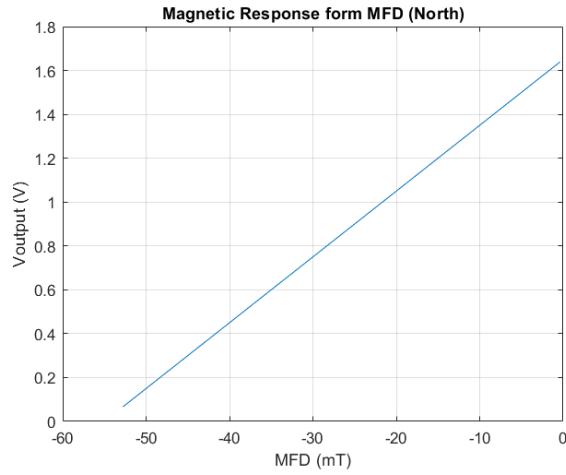
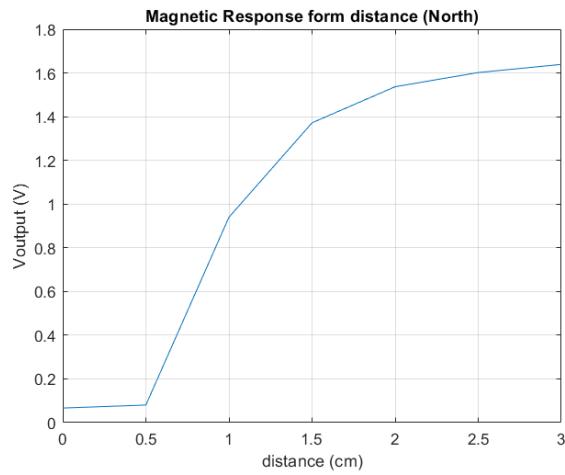
2. เก็บค่าแรงดันOutput เมื่อเปลี่ยนทิศแม่เหล็ก

- ทำตามวิธีการทดลองที่ 2. เก็บค่าจาก sensor DRV5055A2 จากการทดลองที่ 1 แต่เนื่องจากการทำการคำนวณ Root Mean Square เป็นการวัดค่าความแรงของสัญญาณโดยไม่คำนึงถึงทิศทาง เราจึงต้องนำสัญญาณออกทิศทางหรือลบที่อ่านได้จากค่า ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กก่อนเข้า RMS มาเติมหลังจากการคำนวณ RMS
- เปลี่ยนทิศของแม่เหล็กเป็นอีกด้านแล้วเก็บค่าใหม่อีกครั้งในข้อที่ 2.1.

ผลการทดลอง

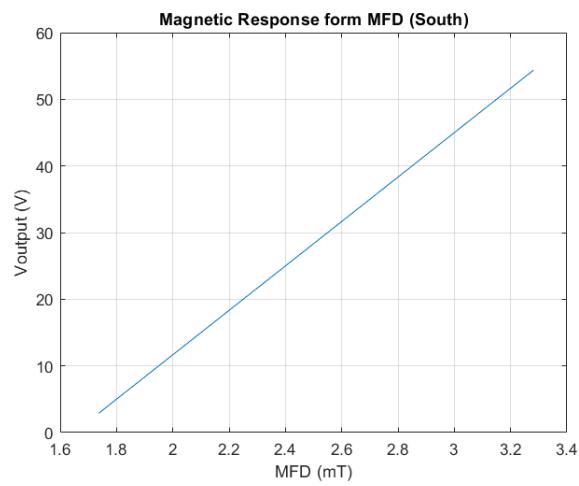
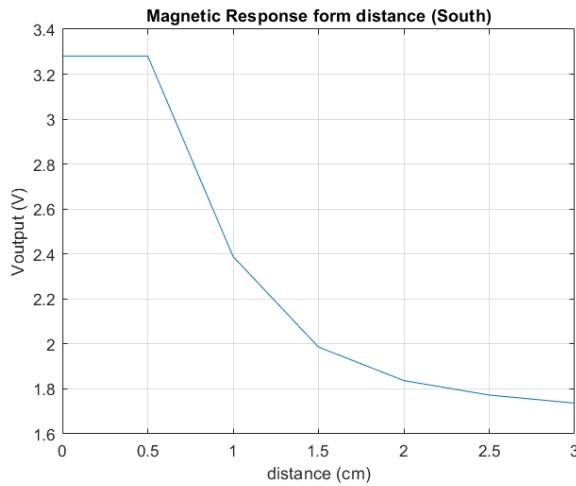
การเก็บค่าครั้งที่ 1 เป็นกราฟแสดงค่าระหว่าง แรงดัน Output ของ sensor DRV5055A2 และความหนาแน่นของ ฟลักซ์แม่เหล็กที่เปลี่ยนตามระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ sensor DRV5055A2 ตั้งแต่ 0 เซนติเมตรถึง 3 เซนติเมตร

- การเก็บค่าครั้งที่ 1 เป็นกราฟแสดงค่าระหว่าง แรงดัน Output ของ sensor DRV5055A2 ที่เปลี่ยนตามระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ sensor DRV5055A2 ตั้งแต่ 0 เซนติเมตรถึง 3 เซนติเมตร และนำค่าที่ได้มาคำนวณหา ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (MFD) ในหน่วย mT



Distance (cm)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3
Vout1 (V)	0.0667	0.0804	0.9399	1.3719	1.537	1.6019	1.6391
MFD1 (mT)	-52.7775	-52.3207	-23.669	-9.2688	-3.7655	-1.6048	-0.3628

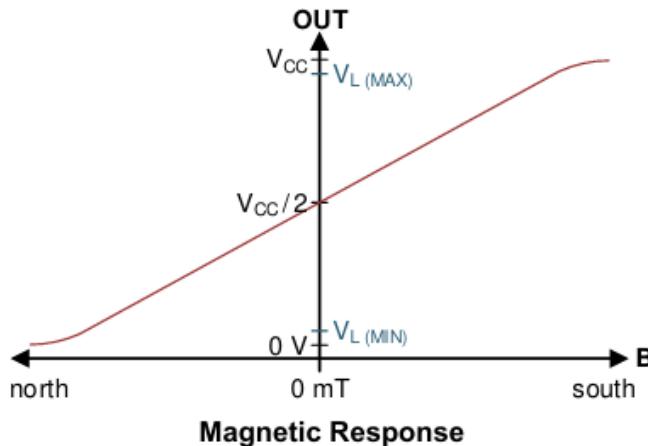
2. การเก็บค่าครั้งที่ 2 หลังจากเราทำการสลับขั้วของแม่เหล็กแล้ว จะได้เป็นกราฟแสดงค่าระหว่าง แรงดัน Output ของ sensor DRV5055A2 และความหนาแน่นของ พลักซ์แม่เหล็กที่เปลี่ยนตามระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ sensor DRV5055A2 ตั้งแต่ 0 เซนติเมตรถึง 3 เซนติเมตร



Distance (cm)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3
MFD2 (mT)	54.350	54.3627	24.6187	11.2068	6.2411	4.0860	2.8952
Vout2 (V)	3.2805	3.2809	2.3886	1.9862	1.8372	1.7726	1.7369

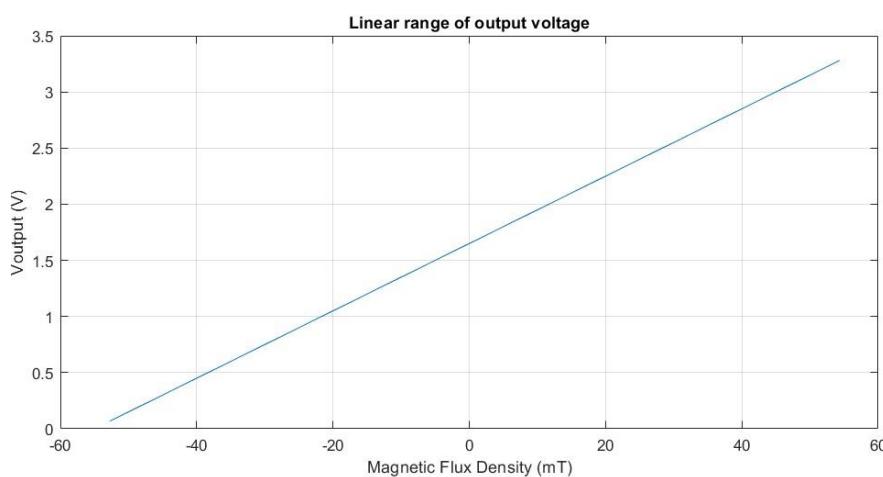
3. นำข้อมูลทั้งสองมารวมกันจะได้กราฟใหม่ที่แสดงความสัมพันธ์ ของค่าแรงดัน Output ของ sensor DRV5055A2 ตั้งแต่ 0 v ถึง 3.3v และความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กในหน่วย mT ที่เปลี่ยนตามระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ sensor DRV5055A2

4. จาก Datasheet sensor DRV5055A2 มีการบอกถึง Sensitivity Linearity ว่าค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กจะสามารถตรวจจับได้เป็นเส้นตรงเมื่อเทียบกับแรงดัน Output ที่อยู่ในช่วง V_L



V_L	Linear range of output voltage ⁽⁴⁾	0.2	$V_{CC} - 0.2$	V
-------	---	-----	----------------	-----

เมื่อเราลองวาดกราฟความสัมพันธ์ ของความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก และแรงดัน Output จะได้กราฟเส้นตรง ดังภาพด้านล่าง ซึ่งสอดคล้องกับใน Datasheet



สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองหาข้อแม่เหล็กของ sensor DRV5055A2 Linear Hall Effect Sensor สามารถทำได้โดยการนำข้อแม่เหล็กด้านหนึ่งของแม่เหล็กเข้ามาใกล้กับ sensor จากนั้นอ่านค่าสัญญาณ Output เพื่อตรวจสอบว่าฟลักซ์แม่เหล็กที่ตรวจวัดได้เป็นบวกหรือลบ ซึ่งจะช่วยบอกถึงข้อของแม่เหล็กที่ใช้วัด และจากใน Datasheet ได้บอกว่า หากค่าสัญญาณ Output

เป็นลบ แสดงว่าด้านที่ใช้วัดเป็นข้อหนึ่ง ส่วนอีกด้านที่ตรงข้ามจะเป็นข้อต่อ ซึ่งตรงกับข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 1 และหากค่าสัญญาณ Output เป็นบวก แสดงว่าด้านของแม่เหล็กที่ใช้ในการวัดเป็นข้อต่อและอีกด้านที่ไม่ได้วัดจะเป็นข้อหนึ่ง ซึ่งตรงกับข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 และความสัมพันธ์ของค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก และแรงดัน Output จะสัมพันธ์กันแบบเป็นเส้นตรงภายในแรงดันที่กำหนด

Experiment 3 : การทดลองหาค่าที่ได้จาก sensor DRV5055A2 เมื่อมี Shield และไม่มี Shield

จุดประสงค์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Magnetic Flux Density ที่ได้จาก sensor DRV5055A2 เมื่อมี Magnetic Field Shielding และ ไม่มี Magnetic Field Shielding

สมมติฐาน

เมื่อใช้ Magnetic Field Shielding ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) ที่วัดได้จาก sensor DRV5055A2 จะลดลง เนื่องจากการป้องกันของ Magnetic Shield จะช่วยลดความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เข้ามาถึง sensor และในกรณีที่ไม่มี Magnetic Field Shielding ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่วัดได้จาก sensor จะสูงกว่า เนื่องจากสนามแม่เหล็กสามารถเข้าถึง sensor ได้โดยตรง

ตัวแปร

ตัวแปรต้น	:	การติดตั้ง Magnetic Field Shielding ที่แม่เหล็ก
ตัวแปรตาม	:	ลักษณะของแรงดัน Output ของ sensor DRV5055A2
ตัวแปรควบคุม	:	อุณหภูมิขณะทดลองที่ 25 องศาเซลเซียส, แรงดัน Supply Voltage ที่ป้อนเข้าสู่ sensor คงที่, ชนิดและขนาดของแม่เหล็กที่ใช้ทดลอง, ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ sensor

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. Magnetic Field Shielding

เทคนิคหรือกระบวนการในการลดหรือป้องกันผลกระทบจากสนามแม่เหล็กภายนอกโดยใช้สิ่งที่มีความซึมซับแม่เหล็กสูง เพื่อให้สิ่งที่ไม่มีแม่เหล็กไม่สามารถส่งผ่านรัศมีแม่เหล็กที่จะเข้าสู่พื้นที่ที่ต้องการป้องกัน การป้องกันนี้มักใช้เพื่อปกป้องอุปกรณ์ที่มีความไวต่อสนามแม่เหล็ก เช่น sensor หรือวงจรไฟฟ้าที่อาจได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กภายนอก

นิยามเชิงปฏิบัติการ

1. การติดตั้ง Shield ในการทดลอง

การใช้วัสดุที่เป็นแผ่นโลหะบางๆ ติดกับแม่เหล็กด้านที่หันเข้าหา sensor DRV5055A2 เมื่อทำการทำ Magnetic Field Shielding จากนั้นทำการวัดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) เพื่อตรวจสอบผลกระทบของสนามแม่เหล็กภายนอกที่เหลืออยู่หลังการป้องกัน

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การป้องกันสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Shielding) คือการใช้วัสดุที่มีความสามารถในการซึมผ่านแม่เหล็กสูง และวัสดุที่มีความสามารถในการซึมผ่านต่ำ มาใช้ร่วมกันในสภาพที่มีสนามแม่เหล็ก เพื่อเปลี่ยนทิศทางและความเข้มของ เส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Flux) ที่เข้าสู่พื้นที่ป้องกัน โดยการป้องกันนี้ช่วยลดผลกระทบของสนามแม่เหล็กภายนอกที่ อาจส่งผลเสียต่อการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

2. หลักการของการป้องกันสนามแม่เหล็ก คือเมื่อตัวกลางสองชนิดที่มีความสามารถในการซึมผ่านแม่เหล็กต่างกัน (เช่น อากาศและเหล็ก) ถูกวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กจะถูกเบี่ยงเบนและเกิดการหักเหอย่างกะทันหันที่ขอบของ วัสดุ ทำให้ความเข้มและทิศทางของสนามแม่เหล็กเปลี่ยนไป การนำเส้นตรวจจับแม่เหล็กเข้าสู่เหล็กจากอากาศจะเกิดการ บรรจบกันของเส้นแรงแม่เหล็กอย่างรุนแรง ส่งผลให้เกิดกระแสป้องกันที่สามารถป้องกันผลกระทบของสนามแม่เหล็กได้ อย่างมีประสิทธิภาพ

3. ตัวอย่างการใช้งาน Magnetostatic Shielding ถูกใช้อย่างแพร่หลายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น หม้อแปลงและ ชุดวงจรที่อาจปล่อยฟลักซ์แม่เหล็กจากการบวนอุปกรณ์อื่นๆ การออกแบบโครงสร้างของวัสดุป้องกันที่เหมาะสมสมมิ ความสำคัญในการป้องกันการร้าวไฟลของฟลักซ์แม่เหล็ก เพื่อรักษาคุณภาพและประสิทธิภาพของเครื่องมือวัด เช่น օอสซิลโลสโคป และยังถูกนำมาใช้ในอุปกรณ์ที่ต้องการป้องกันสนามแม่เหล็กเป็นพิเศษ เช่น นาฬิกาเพื่อป้องกันการรับกวน จากสนามแม่เหล็กภายนอก

วิธีการดำเนินงาน

การเก็บค่าแรงดัน Output เมื่อมีการใช้ Magnetostatic Shielding และไม่ใช้ โดยสามารถบันทึกได้จากการอ่าน ใน MATLAB แล้วนำมาดกราฟเพื่อวิเคราะห์

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้

- DRV5055A2 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor
- Nucleo STM32G474RE
- บอร์ด MagneticXplorer (ที่มีการติดตั้งแม่เหล็กในการพิมพ์อุปกรณ์ปรับระยะ 3D-printer)
- แผ่นโลหะบาง

ขั้นตอนการทดลอง

1. เก็บข้อมูลชุดที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย แรงดัน Output (V_{out}) ของ DRV5055A2 และความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (B) ในตอนที่ยังไม่ได้ติดตั้ง Shield ที่แม่เหล็ก โดยเก็บข้อมูลตามวิธีการทดลองข้อที่ 1. ถึง 2. ในการทดลองที่ 3.1 และทำ การวัดกราฟ

2. นำ Shield มาติดไว้ที่แม่เหล็กแล้วทำการเก็บข้อมูลชุดที่ 2 ซึ่งประกอบด้วย แรงดัน Output ของ DRV5055A2 และความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก โดยเก็บข้อมูลตามวิธีการทดลองข้อที่ 1. ถึง 2. ใน การทดลองที่ 3.1 และทำการวัดกราฟผลการทดลอง

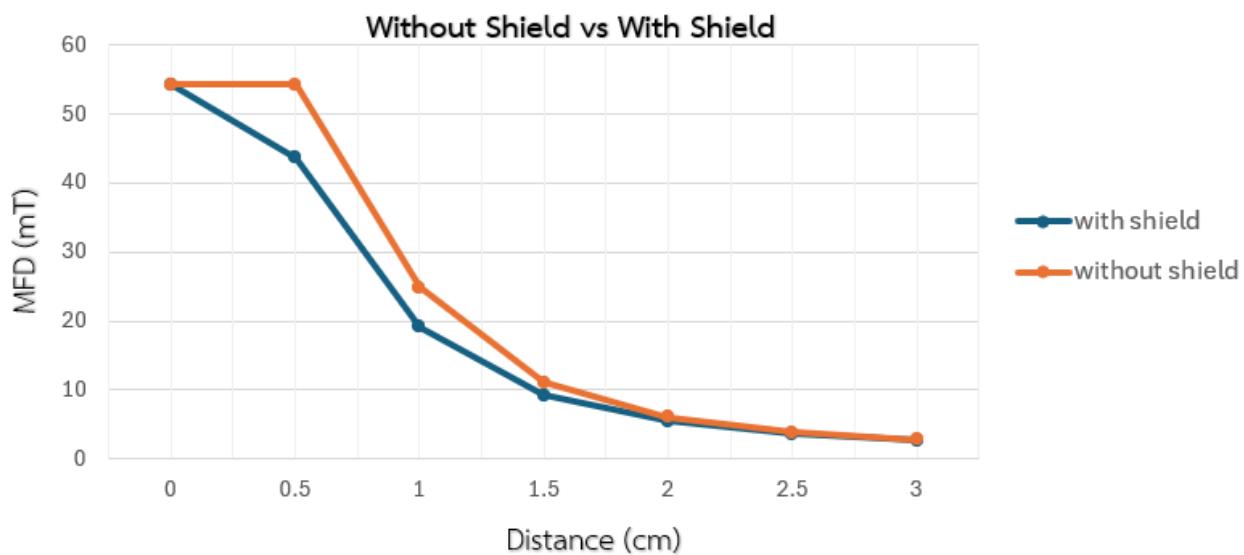
1. ข้อมูลชุดที่ 1 ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ sensor (Distance) และความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (MFD) ของ sensor DRV5055A2 ในตอนที่ยังไม่ได้ติดตั้ง Shield แม่เหล็ก (Without Shield)

MFD (mT)	54.3043	54.2775	23.568	10.1441	6.0008	4.0201	2.7582
Distance (cm)	3.2791	3.2783	2.357	1.9542	1.8299	1.77	1.7321

2. ข้อมูลชุดที่ 2 ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและ sensor (Distance) และความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (MFD) ของ sensor DRV5055A2 ในตอนที่ติดตั้ง Shield แม่เหล็กแล้ว (With Shield)

MFD (mT)	54.2899	43.717	19.1134	9.2266	5.4158	3.6171	2.607
Distance (cm)	3.2787	2.9615	2.2234	1.9267	1.8122	1.7581	1.7277

3. นำข้อมูลทั้ง 2 ชุดมาวัดกราฟร่วมกัน



สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้ Magnetic Shielding โดยติดตั้ง Shield ไว้ที่แม่เหล็ก ทำให้ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) ที่ sensor DRV5055A2 ตรวจจับได้ลดลง สอดคล้องกับทฤษฎี Magnetic Field Shielding ซึ่งอธิบายว่าการใช้สตุ๊ฟมีความสามารถในการซึมผ่านแม่เหล็กสูง เช่น เหล็กอ่อน สามารถดูดซับและเปลี่ยนทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็กบางส่วนได้ ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กจำนวนหนึ่งเบี่ยงเบนออกจากบริเวณถูกกันด้วย Shield ส่งผลให้ค่าฟลักซ์แม่เหล็กที่เซนเซอร์วัดได้ต่ำกว่าปกติเมื่อมี Shield โดยการลดลงนี้สามารถลดการรบกวนของสนามแม่เหล็กภายนอกได้ อย่างไรผลการทดลอง

จากการศึกษา sensor DRV5055A2 ในการตรวจจับความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) และทิศทางของสนามแม่เหล็ก (Magnetic Flux Direction) พบว่า sensor DRV5055A2 สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กในลักษณะ Ratio metric ซึ่งหมายถึงว่าค่าที่เซ็นเซอร์อ่านได้จะแปรผันตามความเข้มและทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็กที่เข้ามา ทำให้สามารถแยกขั้วแม่เหล็กเหนือ - ใต้ได้ และการใช้ Magnetic Shielding สามารถลดการรบกวนของสนามแม่เหล็กภายนอก ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำในการวัดได้มากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

- ควรทำ scale ที่ใช้วัดระยะห่างระหว่าง sensor และ แม่เหล็กให้มีความมั่นคงและมีศูนย์ตรง

เอกสารอ้างอิง

1. DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Sensor datasheet (Rev. B)
2. การป้องกันแม่เหล็กคืออะไร - ความรู้ - Guangzhou Newlife Magnet Electricity Co. , Ltd
3. DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Sensor datasheet (Rev. B)
4. https://il.mahidol.ac.th/e-media/electromagnetism/sub_lesson/8_2.htm

part 4: Single Point Load Cell with INA125 Instrumentation Amplifier

จุดประสงค์

- ศึกษาหลักการทำงานของ Load Cell และ Strain Gauge
- ทำความเข้าใจวงจร Wheatstone Bridge
- ศึกษาหลักการทำงานของ Differential Amplifier แบบ 2 Op-Amps
- วิเคราะห์ค่า Gain และค่าความต้านทานของ Single External Resistor เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสองว่าส่งผลอย่างไรต่อสัญญาณแรงดัน Output ของ Load Cell
- ศึกษาและอธิบายขั้นตอนวิธีการจัดการข้อมูลที่ได้มาจากการ Calibrate สัญญาณที่อ่านได้จาก Load Cell และหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อ Load Cell กับแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจาก Load Cell ทั้งแบบที่ยังไม่ผ่าน INA125 และผ่าน INA152
- แปลงสัญญาณแรงดันที่ได้จาก INA125 Instrumentation Amplifier ที่ต่อเข้ากับ Single Point Load Cell แล้วนำมาแสดงผลแบบ Real-time เป็นค่าหน้างานในหน่วยกิโลกรัม(หน่วย SI) โดยพัฒนาในโปรแกรม MATLAB และ Simulink

สมมติฐาน

- ความสัมพันธ์ระหว่าง Load Cell และ Strain Gauge เมื่อส่งแรงหรือลงน้ำหนักบน Load Cell ค่าความต้านทานของ Strain Gauge จะเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นตามการยืดหรือหดตัวของวัสดุ ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการ Wheatstone Bridge แปรผันตามน้ำหนักที่กระทำโดยตรง
- เมื่อใช้ Differential Amplifier แบบ 2 Op-amps จะสามารถขยายสัญญาณแรงดันจากวงจร Wheatstone Bridge โดยไม่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนหรือการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบอื่นของสัญญาณ ซึ่งสัญญาณ Output จะยังคงแสดงถึงน้ำหนักที่ถูกต้อง
- ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Gain และ Single External Resistor การเปลี่ยนค่าของ Single External Resistor (R5) จะส่งผลต่อค่า Gain ของ INA125 อย่างชัดเจน โดยค่า R5 ที่ต่ำลงจะส่งผลให้ค่า Gain สูงขึ้น ซึ่งทำให้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่หากค่า Gain สูงเกินไปอาจส่งผลให้การวัดสัญญาณไม่เสถียรและมีความคลาดเคลื่อนมากขึ้น

ตัวแปร

- ตัวแปรต้น : ขนาดแรง (เป็นน้ำหนักของวัตถุ) ที่กระทำบน Load Cell, ความต้านทานของ Single External Resistor, ค่า Gain ของ Differential Amplifier
- ตัวแปรตาม : แรงดันไฟฟ้า Output ของ Load Cell ก่อนผ่านและหลังผ่าน INA125, ค่าที่ได้จากการแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ได้เป็นหน่วยน้ำหนัก โดยใช้ค่า Gain และการ Calibration

ตัวแปรควบคุม : อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส, แหล่งจ่ายไฟ

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. Load Cell เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานโดยมี sensor ขนาดเล็กอย่าง Strain Gauge ติดอยู่และเมื่อมีแรงหรือน้ำหนักมากระทำบน Load Cell ก็จะเกิดการบิดหรือยืดตัวตามแรงที่มากระทำ ส่งผลให้ Strain Gauge ที่ติดตั้งอยู่มีการยืดหรือหดตัวไปพร้อมกับวัสดุนั้น การยืดหรือหดตัวนี้จะทำให้ค่าความต้านทานของ Strain Gauge เปลี่ยนแปลงไป

2. วงจร Wheatstone Bridge คือ วงจรที่ใช้ในการวัดค่าความต้านทานที่มีความแม่นยำสูง และยังสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงเล็กๆ ในค่าความต้านทานได้ เช่น Strain Gauge บน Load Cell ที่เมื่อ Strain Gauge มีการยืดหรือหดตัวจะทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนไป และ Wheatstone Bridge จะตรวจจับการเปลี่ยนแปลงนี้ได้อย่างแม่นยำ โดยอาศัยความสมดุลของแรงดันไฟฟ้าที่ต่อกันร่วมตัวต้านทาน

3. Differential Amplifier แบบ 2 Op-Amps วงจรการขยายแรงดัน โดยสามารถนำเข้าขยายสัญญาณของ Load Cell ที่โดยปกติให้ค่าสัญญาณแรงดันน้อย แต่ให้มากขึ้นจนสามารถนำค่าแรงดันใหม่ไปประมวลผลเพื่อคำนวนหาค่าน้ำหนักหรือตัวแปรที่ต้องการวัด

นิยามเชิงปฏิบัติการ

1. ค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจาก หมายถึงแรงดันที่ได้จาก Load Cell และผ่านกระบวนการ Signal Conditioning ที่สามารถนำไปใช้ในการแสดงผลเป็นค่าน้ำหนัก

2. ค่าความต้านทานและค่า Gain หมายถึงค่าที่ปรับได้ใน Differential Amplifier และ Single External Resistor ของ INA125 เพื่อบรับแต่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจาก

3. การ calibration คือการทำให้ค่าหนึ่งถูกเปลี่ยนเป็นค่าที่ต้องใช้งานโดยผ่านวิธีการทางคณิตศาสตร์ เช่น การแก้สมการ

4. วัสดุที่รู้น้ำหนัก ในการทดลองนี้ มีการใช้ถุงทรายที่น้ำหนักถุงละ 0.5 กิโลกรัมเพื่อใช้ในการวัดค่าความถูกต้องที่ได้จาก sensor หรือการ calibration

5. sensor ในการทดลองนี้หมายถึง Load Cell YZC-131A ที่ต่อ กับ Amplifier INA125 โดยมี Output เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่ถูกขยายมาแล้ว

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Load Cell คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแรงหรือน้ำหนักที่กระทำลงบน Load Cell ให้กลายเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยภายใน Load Cell จะมี Strain Gauge ที่เป็น เชิงเรืองวัดการเปลี่ยนรูป เมื่อมีน้ำหนักมากระทำจนเกิดความเครียดกับวัสดุ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความต้านทานทางไฟฟ้าใน Strain Gauge โดยต่อเป็นแบบวงจร Wheatstone Bridge ที่จะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการวัดแรงดันไฟฟ้า

2. Op-amps Differential Amplifier เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้สามารถขยายสัญญาณที่มีความแตกต่างได้อย่างแม่นยำ โดยการใช้ Op-amp 2 ตัว ช่วยเพิ่มความสามารถในการลดสัญญาณรบกวนและเพิ่มความไวในการวัดสัญญาณ

3. การปรับแต่งและการคำนวณค่า Gain ใน Differential Amplifier

4. การใช้ Instrumentation Amplifier ในกระบวนการ Signal Conditioning

วิธีดำเนินการทดลอง

ในการทดลองนี้ อันดับแรกต้องทำความเข้าใจกับอุปกรณ์และ Datasheet ของอุปกรณ์ในการทดลองทั้งหมดก่อน จากนั้นเชื่อม Load Cell YZC-131A เข้ากับตัวขยายสัญญาณ Instrumentation Amplifier INA125 เมื่อทำเรียบร้อยแล้ว จากนั้นวิเคราะห์สัญญาณที่ออกมานะ โดยใช้ 2 Op-Amps Differential Amplifier ที่ทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณที่มีความแตกต่างกันระหว่างขาสองขาที่นำมาเก็บข้อมูล จากนั้นตรวจสอบว่าข้อมูลที่วัดได้มีลักษณะแบบใด และใน INA125 มีการต่อตัวต้านทาน R_G ช่วยในการปรับค่า Gain หรือช่วยปรับค่ากำลังขยายจาก INA125 ให้มีความสะดวกขึ้น ซึ่งการหาค่าที่เหมาะสมกับการใช้งาน จะพิจารณาจากสัญญาณ Output ที่ได้จาก Load Cell และสัญญาณ Input ของระบบที่วัดสัญญาณนั้น จากนั้นนำแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่ใช้ในการทดลองนี้มาเทียบกับข้อมูลที่มีอยู่ และหาค่าที่ Load Cell สามารถรับได้สูงที่สุด คือ 10 กิโลกรัม จากนั้นหาวัตถุที่มีน้ำหนักเท่าที่ต้องการมาวางบน Load Cell โดยใช้ multimeter หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาแทนในสมการหาค่า Gain หลังจากนั้น นำข้อมูลที่หาได้ไปหาค่า gain resistor และนำค่า gain resistor ที่คำนวณได้มาปรับค่า Potentiometer บน PCB ให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณไว้ ลำดับต่อมาคือการทำ Calibration Load Cell เพื่อทำให้ค่าที่แสดงออกมานั้น กลายเป็นค่าของวัสดุที่มีหน่วยเป็น กิโลกรัม การ Calibration นั้น คือการเปรียบเทียบค่าแรงดัน Output ที่ได้ เทียบกับค่าของวัตถุที่ทราบค่าของน้ำหนัก ที่วางอยู่บน Load Cell หลังจากนั้นข้อมูลเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก็นำข้อมูลออกมานะ โดยเก็บค่าแรงดัน Output จำนวน 500 ค่า และนำมาเทียบกับข้อมูลในการเพิ่มน้ำหนักทีละ 1 กิโลกรัม และนำข้อมูลมาทำการสร้างกราฟ จำนวนน้ำหนักที่ได้จากการเปรียบเทียบแรงดัน Output และค่าน้ำหนักมาหา Polynomial Fitting นำสมการที่ได้มาเปลี่ยนผั่งตัวแปรเพื่อให้สามารถแทนค่าแรงดัน Output ของ Load Cell และได้ค่าเป็นน้ำหนักจริงที่ทดลองบน Load Cell นำสมการใหม่ไปสร้างเป็น model ใน Simulink เพื่อให้อ่านค่าได้แบบ Real-time โดยสัญญาณ Output ที่ได้จากการแปลงแรงดันเป็นน้ำหนักในหน่วยกิโลกรัม แบบ Real-time เมื่อทำการเพิ่มน้ำหนักครั้งละ 1 กิโลกรัม ทุก ๆ 5 วินาที (ในทุก ๆ 2 กิโลกรัม มีการเปลี่ยนวัสดุที่ทราบน้ำหนัก ทำให้สัญญาณที่ได้ไม่คงที่) เราสามารถตรวจสอบสมการที่สร้างได้ โดยการนำวัตถุที่ทราบน้ำหนักที่มีน้ำหนักในทุกช่วงที่อยู่ภายใต้ความสามารถในการวัดน้ำหนักสูงสุดของ Load Cell 10 กิโลกรัม และทำการเก็บค่าที่ได้จากการนำ Output Weight ไปเข้าเครื่องมือ To Workspace และเก็บค่า rms 500 ค่า ทุกๆการวางวัตถุที่รู้น้ำหนัก 1 กิโลกรัม จนถึง 10 กิโลกรัม จะได้กราฟการเปรียบเทียบน้ำหนักที่ได้กับน้ำหนักของวัสดุที่รู้น้ำหนักที่ถูกวางบน Load Cell

วัสดุอุปกรณ์

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

3. Trimpot 100 K 25 Turns จำนวน 1 อัน
4. Resistor 4.7K Ohm จำนวน 1 อัน
5. Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด
6. LoadCellXplorer จำนวน 1 ชุด - ฐานสามารถบรรจุบอร์ดควบคุม, Breadboard, 3D-Print ใช้สำหรับการประกอบกับ Load Cell
7. สายจ้มเปอร์
8. วัสดุที่รู้น้ำหนัก 10 กิโลกรัม

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ต่อ Load Cell YZC-131A เข้ากับตัวขยายสัญญาณ Instrumentation Amplifier INA152
2. วัดค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จาก INA152

เนื่องจากค่าแรงดันไฟฟ้าของ Load Cell YZC-131A มีสัญญาณที่ต่ำเรージต้องมีการขยายสัญญาณนั้นก่อน เพื่อให้ง่ายต่อการนำข้อมูลไปอ่านและวิเคราะห์ได้ง่ายขึ้น โดยใช้ Op-amps แบบ 2 Op-Amps Differential Amplifier ที่ทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณที่มีความแตกต่างระหว่างขาสองขา ซึ่งหมายความว่าการวัดสัญญาณที่มีความแม่นยำสูงและไม่ต้องการสัญญาณรบกวน และ 2 Op-Amps Differential Amplifier ใน INA125 มีการต่อตัวต้านทาน R_G ที่ช่วยทำให้ การปรับค่า Gain หรือกำลังขยายจาก INA125 สะดวกขึ้น ซึ่งการหาค่า Gain ของ INA125 ที่เหมาะสมกับการใช้งาน ร่วมกับ Load Cell YZC-131A ซึ่งพิจารณาได้จากสัญญาณ Output ที่คาดหวังจาก Load Cell และช่วง Input ของ ระบบที่จะวัดสัญญาณนั้น จากสมการดังต่อไปนี้

$$G = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

โดยที่ V_{out} แทน แรงดันไฟฟ้า Output ที่ต้องการจาก INA125

V_{in} แทน แรงดันไฟฟ้า Input สูงสุดจาก Load Cell

โดย V_{out} สามารถคำนวณได้โดย $V_{out} = G \cdot V_{in}$ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่ใช้ในการทดลองนี้คือ 2.5 V เพราะแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟจะต้องสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่ต้องการ 1.25 V ตัวอย่างเช่น หากแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ คือหากเป็น ADC Full Scale Voltage คือ 3.3V จะใช้แรงดันอ้างอิง 2.5 V และจาก PCB ที่ต่อ INA125 ขา 14 (แรงดันอ้างอิง 2.5V) ที่ให้แรงดันอ้างอิงที่ใช้คือ 2.5 V

$$V_{out} = 2.5 \text{ V}$$

และ V_{in} หาได้จากการนำน้ำหนักสูงที่สุดที่ Load Cell รับได้ (10 กิโลกรัม) มาหารบน Load Cell หลังจากนั้น วัดแรงดัน Output สูงสุดที่ออกมายัง Load Cell โดยใช้ multimeter จะได้

$$V_{in} = 5.0 \text{ mV}$$

3. คำนวณค่าทั้งสองแทนในสมการหา Gain

$$G = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$G = \frac{2.5 V}{5.0 mV}$$

$$G = 500$$

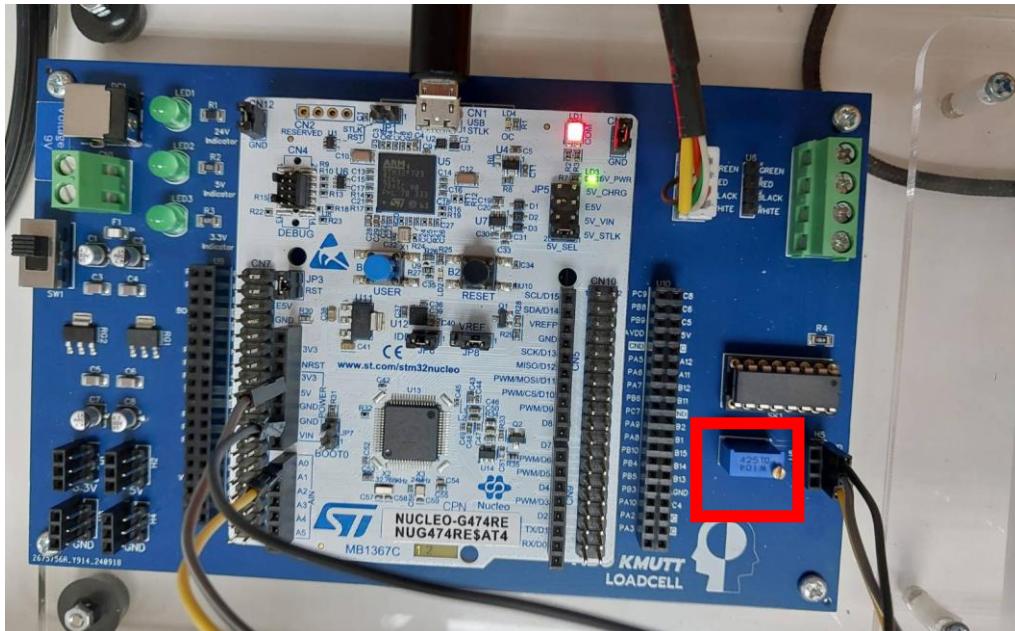
หลังจากนั้นเราจะคำนวณ Gain ที่ได้ไปหา gain resistor (R_G) จากสูตรความสัมพันธ์ระหว่างค่า Gain และ gain resistor (R_G) ที่ได้มาราจาก Datasheet

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

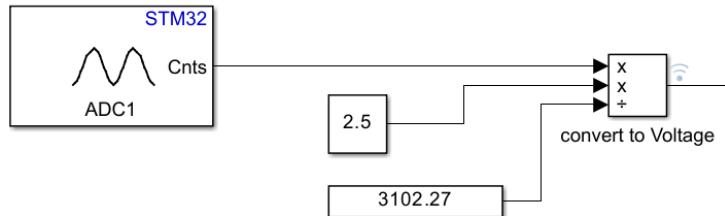
$$500 = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G}$$

$$R_G = 120.97 \Omega$$

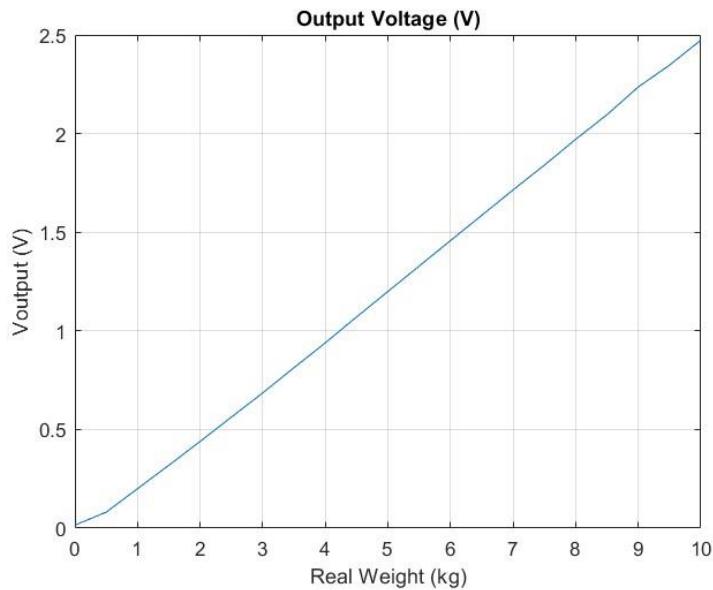
คำนวณ gain resistor (R_G) ที่คำนวณมาปรับค่า potentiometer บน PCB ให้มีค่าความต้านทานอยู่ที่ประมาณ 120.97Ω ตามที่ได้คำนวณไว้ในข้างต้น



เมื่อเราได้ค่า Gain และ gain resistor (R_G) ที่ถูกต้องแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการทำ Calibration Load Cell เพื่อทำให้ค่าที่แสดงออกมานั้นเป็นน้ำหนักจริง โดยในขั้นตอนแรกของการ Calibration คือการเปรียบเทียบค่าแรงดัน Output ที่ได้ เทียบได้กับค่าน้ำหนักของวัตถุที่เราทราบค่า ที่วางอยู่บน Load Cell โดยจะได้ค่าแรงดัน Output มาจากการสร้าง model Simulink ที่ทำการแปลงสัญญาณ ADC ที่มีค่าอยู่ที่ระหว่าง 0 – 4095 หรือ 12 bit (โดยใช้ไฟที่ 3.3 V) แต่เนื่องจาก INA125 มีแรงดัน Output สูงสุดอยู่ที่ 2.5 V ทำให้ค่าสัญญาณ ADC ที่อ่านได้อยู่ที่ระหว่าง 0 – 3102.27 จากการเทียบเทียบบัญชีติดรยางค์ โดยสัญญาณที่ได้ออกมานั้น คือ แรงดัน Output ของ Load Cell ที่ถูกขยายโดย INA125 ในหน่วย V



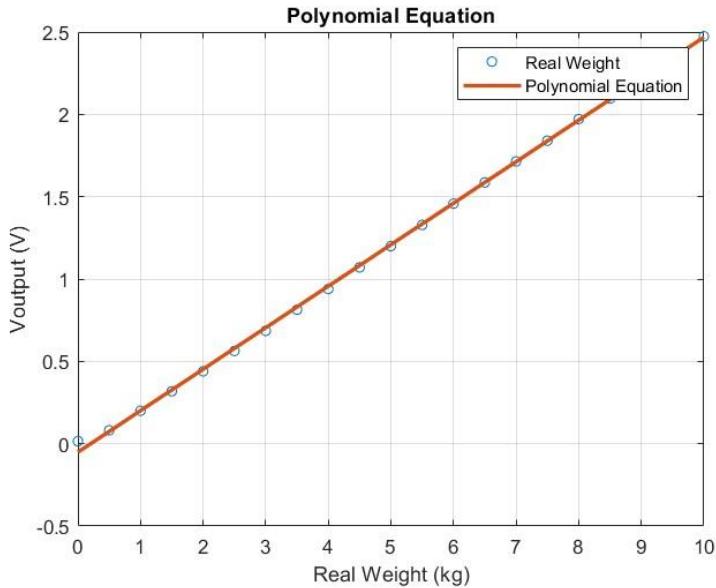
เก็บค่าสัญญาณที่อ่านได้จากเครื่องมือ To Workspace เมื่ອนในการทดลองที่ 3.1 โดยเก็บค่าแรงดัน Output จำนวน 500 ค่า และค่าอยุ่เพิ่มน้ำหนักที่วางบน Load Cell ที่ละ 1 กิโลกรัม แล้วนำข้อมูลทั้งสองมาสร้างกราฟด้านล่าง



Voutput(V)	0.015	0.199	0.439	0.685	0.939	1.199	1.457	1.714	1.970	2.236	2.474
Real Weight (kg)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

นำข้อมูลที่ได้จากการ Fitting การเปรียบเทียบค่าแรงดัน Output ในหน่วย V และค่าน้ำหนักที่ทราบในหน่วย กิโลกรัม(kg) มาหา Polynomial Fitting หรือการประมาณค่าข้อมูลด้วยพหุนาม (polynomial) เมื่อเราใช้ polyfit() ในโปรแกรม MATLAB จะคืนค่าสัมประสิทธิ์ของสมการเส้นตรงที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีให้ โดยสมการเส้นตรงนี้จะอยู่ในรูปแบบสมการ $y = ax + b$ โดยจะได้ a เท่ากับ 0.2520 และค่า b เท่ากับ -0.0514

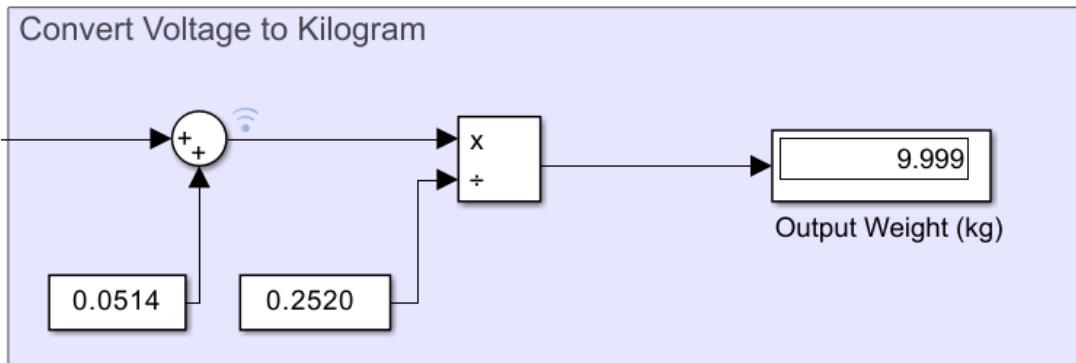
$$V_{Output} = 0.2520 \times weight_{real} - 0.0514$$



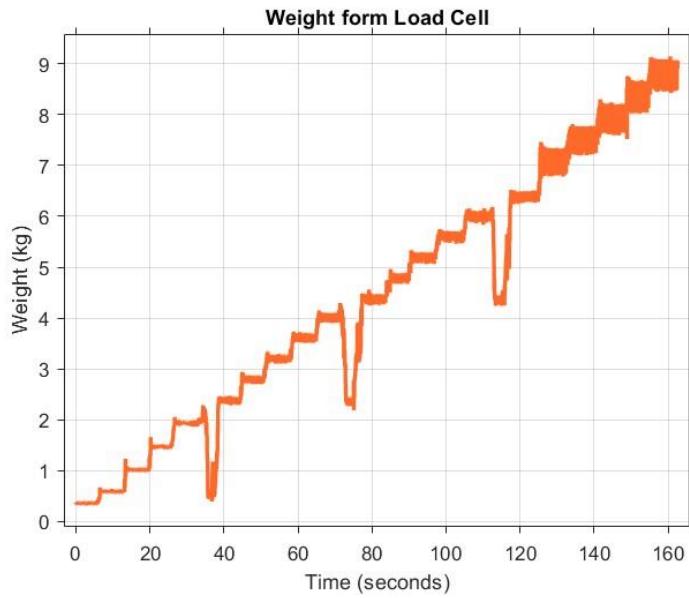
นำสมการที่ได้มาเปลี่ยนฝั่งตัวแปรเพื่อให้สามารถแทนค่าแรงดัน Output ในหน่วย (V) ของ Load Cell แล้วได้ค่าเป็นน้ำหนักจริงที่กดลงบน Load Cell ในหน่วยกิโลกรัม (kg)

$$Weight_{Output} = 0.2520 (V_{loadcell} + 0.0514)$$

นำสมการใหม่ไปสร้างเป็น model ใน Simulink เพื่อให้อ่านค่าได้แบบ Real-time



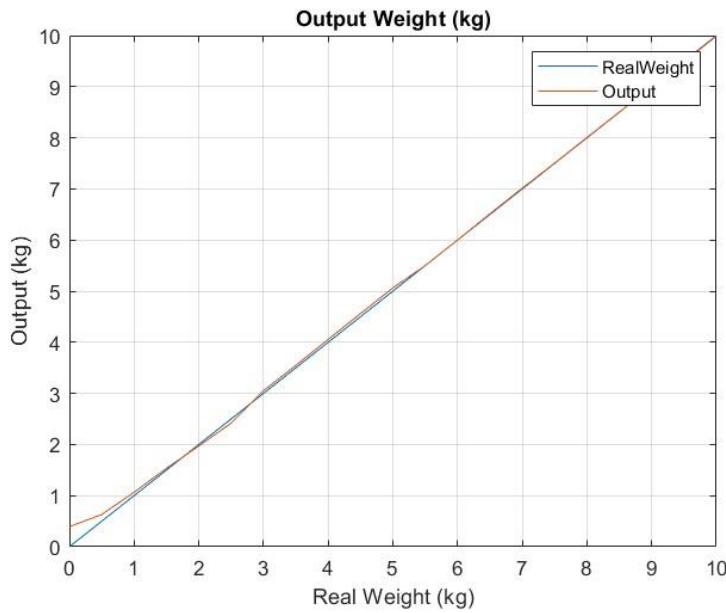
โดยสัญญาณ Output ที่ได้จากการแปลงแรงดันเป็นน้ำหนักในหน่วยกิโลกรัม แบบ Real-time เมื่อทำการเพิ่มน้ำหนักครั้งละ 1 กิโลกรัม ทุก ๆ 5 วินาที (ในทุก ๆ 2 กิโลกรัม มีการเปลี่ยนวัสดุที่ทราบน้ำหนัก ทำให้สัญญาณที่ได้ไม่คงที่ เป็นดังนี้



เราสามารถตรวจสอบสมการที่สร้างได้ โดยการนำวัตถุที่ทราบน้ำหนักที่มีน้ำหนักในทุกช่วงที่อยู่ภายในได้ความสามารถในการวัดน้ำหนักสูงสุดของ Load Cell 10 กิโลกรัม และทำการเก็บค่าที่ได้จากการนำ Output Weight ไปเข้าเครื่องมือ To Workspace และเก็บค่า rms 500 ค่า ทุกๆ การวางแผนที่รู้น้ำหนัก 1 กิโลกรัม จนถึง 10 กิโลกรัม จะได้กราฟการเปรียบเทียบน้ำหนักที่ได้กับน้ำหนักของวัสดุรู้น้ำหนักที่ถูกวางบน Load Cell

ผลการทดลอง

จากการบันทึกค่า Output ที่ได้จากการการคำนวณแรงดันไฟฟ้าของ Load Cell จะเห็นได้ว่า ในช่วง 0 - 1 กิโลกรัม กราฟยังมีความแปรปรวน หรือได้ค่าน้ำหนักไม่ตรงกับค่าน้ำหนักของวัตถุที่ทราบน้ำหนักที่ใช้ แต่ตั้งแต่ช่วง 5 กิโลกรัมเป็นต้นไป สามารถอ่านค่าน้ำหนักของวัตถุที่ทราบน้ำหนักได้อย่างแม่นยำ



ค่าที่ได้ช่วง 0 – 5 กิโลกรัม

Weight (kg)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
Output (kg)	0.392	0.630	1.065	1.533	1.971	2.418	3.051	3.547	4.056	4.562	5.063

ค่าที่ได้ช่วง 5 – 10 กิโลกรัม

Weight (kg)	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
Output (kg)	5.500	6.000	6.513	7.014	7.504	8.006	8.502	8.995	9.488	9.989

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ เราได้ศึกษาหลักการทำงานของ Load Cell, Strain Gauge รวมถึงวงจร Wheatstone Bridge และการขยายสัญญาณด้วยวงจร Differential Amplifier แบบ 2 Op-Amps โดยสามารถระบุค่า Gain และค่าความต้านทานที่เหมาะสมของตัวต้านทานภายนอกแบบเดียว ซึ่งมีผลต่อสัญญาณแรงดัน Output ของ Load Cell ได้ชัดเจน นอกจากนี้ยังได้ปรับปรุงการอ่านค่าจาก Load Cell โดยทำ Signal Conditioning ลดสัญญาณรบกวน และปรับค่า Calibration ให้สอดคล้องกับการวัดน้ำหนักจริง นอกจากนี้ ยังสามารถแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ขยายสัญญาณด้วย INA125 ให้แสดงผลแบบ Real-time ในหน่วยกิโลกรัมบน MATLAB และ Simulink ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อธิบายผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเลือกค่าตัวต้านทาน RG และ ค่า Gain มีความสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมความแม่นยำของสัญญาณจาก Load Cell โดยการเลือก Gain ที่สูงช่วยเพิ่มความไวในการวัด อย่างไรก็ตาม Gain ที่สูงเกินไปอาจเพิ่มสัญญาณรบกวนซึ่งจำเป็นต้องทำการปรับสัญญาณโดยการ Calibrate เพื่อให้ได้ค่าที่สอดคล้องกับแรงที่

กระทำกับ Load Cell นอกจกนี้ การใช้ MATLAB และ Simulink ในการอ่านค่าที่แปลงจากสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นน้ำหนักช่วยให้แสดงผลได้แบบ Real-time และแม่นยำ

ข้อเสนอแนะ

1. ออกรูปแบบอุปกรณ์รับน้ำหนักของ Load Cell ให้มีพื้นที่ใหญ่ขึ้น หรือทำเป็นตระกร้าที่ใส่ของได้มากกว่านี้ เพราะ Potentiometer ที่ใช้ในการปรับค่า Gain ของ INA125 ควรจะมีช่วงของค่าความต้านทานที่เหมาะสมมากกว่านี้ เพื่อให้สามารถปรับค่าความละเอียดได้อย่างเหมาะสม เพราค่าความต้านทานที่ INA125 ใช้ในการทดลองนี้ อยู่ในช่วงที่ไม่เกิน 200Ω แต่ Potentiometer ที่ถูกติดตั้งบน PCB มีช่วงความต้านทานตั้งแต่ 0 ถึง $100 k\Omega$

เอกสารอ้างอิง

1. Wheatstone Bridge Circuit and Theory of Operation
2. e0b89ae0b897e0b897e0b8b5e0b9884.pdf
3. Load cell YZC-131A
4. โหลดเซลล์ (Load Cell) คืออะไร ? มาทำความรู้กัน - Factomart Industrial Products Marketplace
5. Chapter 2_Op-Amp Circuits_01_ok