

LAB 1: Sensors

LAB 1 ประกอบไปด้วย Sensors ทั้งหมด 4 ประเภท ได้แก่ Potentiometer, Incremental Encoder, Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor และ Single Point Load Cell

Name

- นายศุภวัตร จิตต์จำนงค์ 67340500041
- นายสมญ ทองเนื้อแปด 67340500044
- นายนันทวิวัฒน์ จันทรเทพ 67340500054

Objectives

- เพื่อเรียนรู้การออกแบบการทดลองตามหลักวิทยาศาสตร์ในการสำรวจพฤติกรรมและปรากฏการณ์ของ Sensor ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ Potentiometer, Incremental Encoder, Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor และ Single Load Cell
- เพื่อเรียนรู้และทำความเข้าใจหลักการทำงานของ Sensor โดยศึกษากระบวนการเปลี่ยนแปลงสัญญาณจากปริมาณทางฟิสิกส์เป็นสัญญาณไฟฟ้า
- เพื่อเรียนรู้การประยุกต์ใช้โปรแกรม MATLAB SIMULINK STM32CUBEMX และบอร์ดทดลอง ในการใช้บันทึกข้อมูล และนำมาวิเคราะห์ อธิบาย และสรุปผลการทดลอง
- เพื่อเรียนรู้การออกแบบการทดลอง โดยการตั้งตัวแปร สมมติฐาน และการอ้างอิงจากทฤษฎี ให้สอดคล้องกับการทดลอง
- เพื่อเรียนรู้การเขียนรายงานทางวิทยาศาสตร์

Lab 1.1 Potentiometer

การทดลองที่ 1 การศึกษาพฤติกรรมของ Potentiometer

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของ Potentiometer
2. เพื่อแยกแยะประเภทของ Potentiometer ตามความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานและตำแหน่งของ Potentiometer (Taper Type)
3. เพื่อศึกษาการออกแบบและใช้งานวงจร Schmitt Trigger ร่วมกับ Potentiometer

สมมติฐาน

จากบอร์ดทดลองพบว่ามี Potentiometer 2 ชนิด ได้แก่ Linear เป็นการเลื่อนคันโยกเป็นแนวตรงเพื่อปรับค่าความต้านทานของ Potentiometer และแบบ Rotary ที่เป็นการหมุน Knob เพื่อปรับค่าความต้านทาน ซึ่งเราสามารถแยกประเภทของ Potentiometer ตาม Taper Type ได้ 3 ประเภทได้แก่ A , B และ C ซึ่งแบ่งตามความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับตำแหน่งของ Potentiometer โดย A มีความสัมพันธ์แบบ Logarithm , B มีความสัมพันธ์แบบ Linear และ C มีสัมพันธ์แบบ Anti-Logarithm

คาดการณ์ว่า LINEAR_POTENTIOMETER_A เป็น Taper Type แบบ A และ LINEAR_POTENTIOMETER_B เป็น Taper Type แบบ B

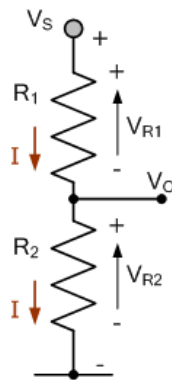
คาดการณ์ว่า ROTARY_POTENTIOMETER_A , ROTARY_POTENTIOMETER_B และ ROTARY_POTENTIOMETER_C เป็น Taper Type แบบ A , B และ C ตามลำดับ

ตัวแปร

- ตัวแปรต้น:
- ตำแหน่งของ *Potentiometer*
- ประเภทของ *Potentiometer Taper (A , B , C)*
- *Upper* และ *Lower* ของ *Threshold* ของวงจร *Schmitt Trigger*
- ตัวแปรตาม:
- สัญญาณที่อ่านได้จาก *Potentiometer*
- ตัวแปรควบคุม:
- ประเภทของ *Potentiometer (Linear , Rotary)*
- แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ *Potentiometer (3.3V)*
- *NUCLEO G474RE*

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Voltage Divider



รูปที่ 1 Voltage Divider Circuit

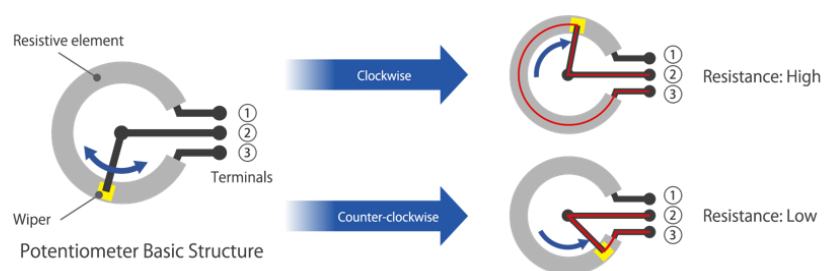
Voltage Divider เป็นหลักการที่ใช้ในการสร้างระดับแรงดันที่แตกต่างจากแรงดันของแหล่งจ่าย โดยใช้โหลดทางไฟฟ้าซึ่งมีความต้านทานในตัวเพื่อใช้ควบคุมระดับแรงดัน ซึ่งมีสมการดังนี้

$$V_O = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_S$$

โดยที่

V_O	คือ	แรงดันไฟฟ้าขาออก	[V]
V_S	คือ	แรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย	[V]
R_1	คือ	ตัวต้านทานตัวที่ 1	[Ω]
R_2	คือ	ตัวต้านทานตัวที่ 2	[Ω]

Electrical Characteristics of Potentiometer



รูปที่ 2 Potentiometer Principle

Potentiometer เป็น Sensor ชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่ในการแปลงตำแหน่งเชิงกล (Mechanical Position) ให้กลายเป็นสัญญาณไฟฟ้าในรูปของแรงดันหรือค่าความต้านทานไฟฟ้า โดยมีส่วนประกอบหลักคือ แผ่นวัสดุที่มีค่าความต้านทาน (Resistive Element) และ ตัวเลื่อน (Wiper)

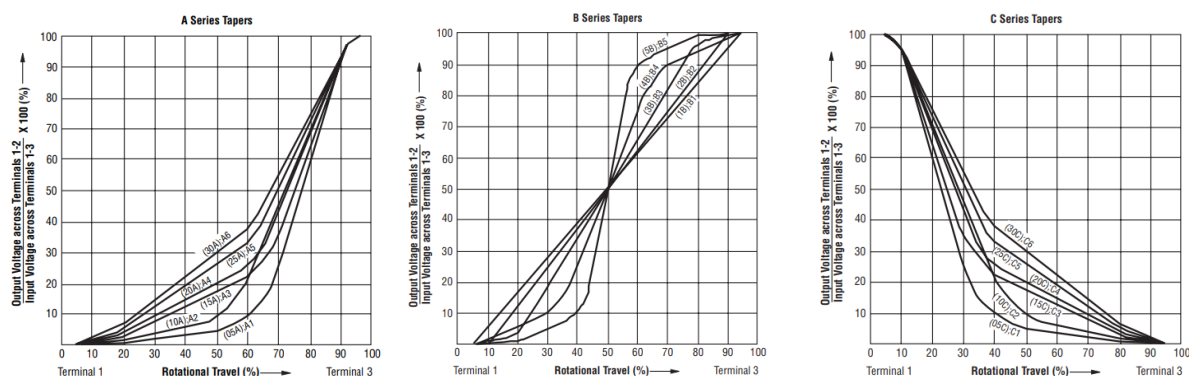
เมื่อมีการเลื่อนตำแหน่งของตัวเลื่อน ไปตามแผ่นความต้านทาน จะทำให้ความยาวของเส้นทางที่กระแสไฟฟ้าไหลเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ค่าความต้านทานระหว่างขั้วทั้งสองของอุปกรณ์เปลี่ยนตามไปด้วยดังสมการนี้

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

โดยที่

R	คือ	ค่าความต้านทานของวัตถุ	$[\Omega]$
ρ	คือ	สภาพต้านทานไฟฟ้า	$[\Omega \cdot m]$
l	คือ	ความยาวของวัตถุ	$[m]$
A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ	$[m^2]$

Potentiometer Taper Type



รูปที่ 3 Potentiometer Taper Type

เราสามารถจำแนกประเภทของ Potentiometer ตามความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานกับตำแหน่งเชิงกลได้เป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่ A Series (Logarithmic Taper) ซึ่งค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงในลักษณะของฟังก์ชันลอการิทึมเทียบกับตำแหน่งเชิงกล, B Series (Linear Taper) ซึ่งค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงในลักษณะเป็นเส้นตรงเทียบกับตำแหน่งเชิงกล และ C Series (Reverse Logarithmic Taper) ซึ่งมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงตรงข้ามกับแบบ A ซึ่งเป็นลักษณะของฟังก์ชันแอนติลอการิทึม

หลักการทํางานวงจร Schmitt Trigger

Schmitt Trigger เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกให้กลายเป็นสถานะดิจิทัล (High หรือ Low) โดยมีคุณสมบัติพิเศษคือมี Thresholds ที่ต่างกันสำหรับการขึ้น (rising) และลง (falling) ของแรงดันอินพุต ช่วยให้วงจรสามารถต้านทานเสียงรบกวน (noise) ได้

ขั้นตอนการดำเนินงาน

Linear Potentiometer:

1. เตรียมอุปกรณ์การทดลองให้พร้อมเก็บค่า
2. กำหนดระยะสำหรับการเก็บค่า (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 cm.)
3. บันทึกผลแต่ละระยะ ซ้ำระยะละ 3 ครั้ง
4. ทำซ้ำขั้นตอนทั้งหมด สำหรับ Linear Potentiometer B

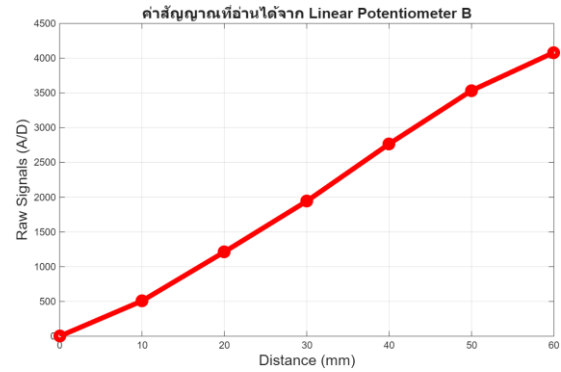
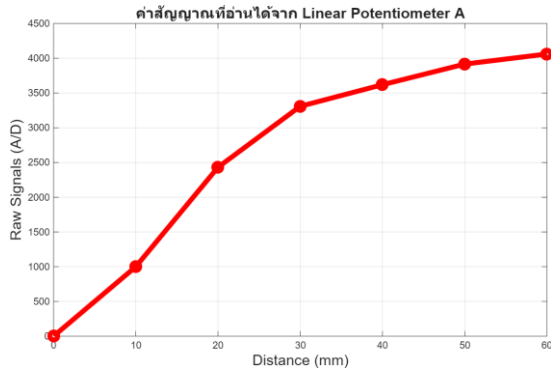
Rotary Potentiometer:

1. เตรียมอุปกรณ์การทดลองให้พร้อมเก็บค่า
2. กำหนดระยะสำหรับการเก็บค่าตามสเกล (0, 10, 20, ..., 100หน่วย)
3. บันทึกผลแต่ละระยะ ซ้ำระยะละ 3 ครั้ง
4. ทำซ้ำขั้นตอนทั้งหมด สำหรับ Rotary Potentiometer B, Rotary Potentiometer C

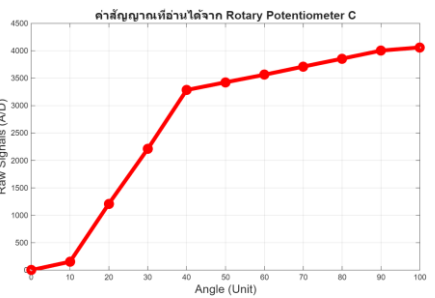
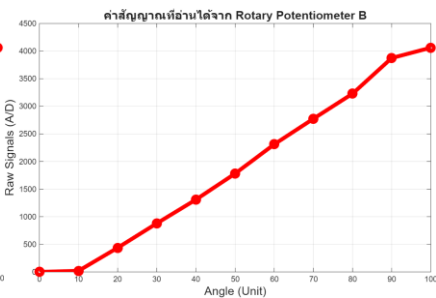
Schmitt trigger:

1. เตรียมอุปกรณ์การทดลองให้พร้อมเก็บค่า
2. กำหนด *Upper Threshold Voltage* และ *Lower Threshold Voltage* เป็น 62.5% และ 37.5% ตามลำดับ เพื่อป้องกันการเกิด *Noise* ที่สัญญาณอินพุต
3. บันทึกผล

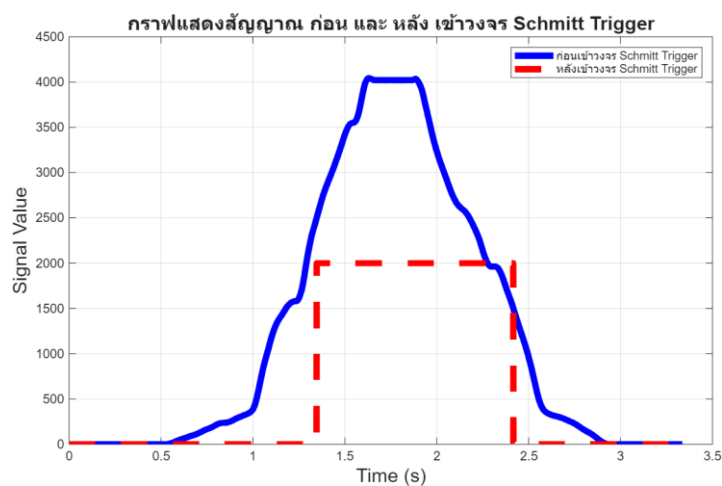
ผลการทดลอง



รูปที่ 4 และ 5 กราฟแสดงค่าสัญญาณเฉลี่ยที่อ่านได้จาก Linear Potentiometer A และ B



รูปที่ 6, 7 และ 8 กราฟแสดงค่าสัญญาณเฉลี่ยที่อ่านได้จาก Rotary Potentiometer A B และ C



รูปที่ 9 กราฟแสดงค่าสัญญาณ ก่อนเข้าวงจร Schmitt Trigger และ หลังเข้าวงจร Schmitt Trigger

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษาหลักการทำงานของ Potentiometer ทั้งแบบ Linear และ Rotary พบว่า Linear Potentiometer A ให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่อ่านได้ กับระยะทางเป็นลักษณะโค้งในช่วงต้น แล้วเริ่มมีแนวโน้มคงที่ในช่วงปลาย ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของ Taper Type A (Logarithmic Taper) ที่ค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นตามตำแหน่งเชิงกลแบบลอการิทึม และ Linear Potentiometer B ให้ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกับระยะทางในลักษณะเส้นตรง แสดงให้เห็นว่าเป็น Taper Type B (Linear Taper) ต่อมาในส่วนของ Rotary Potentiometer A มีลักษณะความชันของสัญญาณมากในช่วงปลาย ซึ่งตรงกับ Taper Type A (Logarithmic) Rotary Potentiometer B มีความสัมพันธ์ระหว่างมุมหมุนและสัญญาณในเชิงเส้น ซึ่งตรงกับ Taper Type B (Linear) และ Rotary Potentiometer C มีความชันมากในช่วงต้นของการหมุน แสดงถึง Taper Type C (Anti-Logarithmic)

นอกจากนี้ จากการทดลองกับวงจร Schmitt Trigger พบว่าสัญญาณที่ผ่านวงจรมีการแปลงจากสัญญาณอนาล็อก ที่มีความต่อเนื่อง เป็นสัญญาณดิจิทัล ที่มีเพียงสองสถานะ คือ High และ Low โดยมีความหน่วงช่วงเปลี่ยนสถานะระหว่างค่า Upper Threshold และ Lower Threshold ส่งผลให้สามารถลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน และให้เอาต์พุตที่เสถียรมากขึ้น

อภิปรายผล

1. ลักษณะการตอบสนองของ Potentiometer แต่ละชนิด

จากกราฟผลการทดลอง Linear และ Rotary ทั้งสองชนิด สามารถยืนยันสมมติฐานได้ว่าแต่ละชนิดของ Potentiometer มีความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับค่าความต้านทานตามลักษณะของ Taper Type ที่กำหนดไว้ โดย Linear B แสดงลักษณะเชิงเส้น ส่วน A และ C มีลักษณะโค้งในทิศทางตรงข้ามกันผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับทฤษฎีที่ว่า Taper Type A นิยมใช้ในงานควบคุมระดับเสียง เพื่อให้การปรับเสียงรู้สึกเป็นธรรมชาติ Type B นิยมใช้ในงานวัดระยะหรือตำแหน่งทั่วไป และ Type C เหมาะกับงานที่ต้องการการเปลี่ยนค่าแบบรวดเร็วในช่วงปลายของการหมุน

2. การทำงานของวงจร Schmitt Trigger

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวงจรสามารถเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกที่มี noise ให้กลายเป็นสัญญาณดิจิทัลที่คมชัดขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของ hysteresis ที่ทำให้สัญญาณเอาต์พุตไม่สั่นระหว่างสองสถานะเมื่ออินพุตอยู่ในช่วงค่ากลาง

3. ความคลาดเคลื่อนในการทดลอง

อาจเกิดจากการวัดค่า ADC ที่มีการสั่นเล็กน้อยจาก noise ภายในบอร์ดทดลอง หรือความคลาดเคลื่อนของระยะที่เลื่อน Potentiometer ในแต่ละครั้ง

อ้างอิง

<https://www.potentiometers.com/pdf/PTE.pdf>

<https://tech.alpsalpine.com/e/products/faq/potentiometer/features/>

<https://ww2.mathworks.cn/help/ecoder/stmicroelectronicsstm32f4discovery/ug/STM32F4XX-ADC-example.html>

<https://ww2.mathworks.cn/help/dsp/ref/movingaverage.html>

https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistance_and_conductance

<https://www.ti.com/lit/ab/scea046b/scea046b.pdf?ts=1761724084825>

Lab 1.2 Incremental Encoder

การทดลองที่ 1 การศึกษาพฤติกรรมของ Incremental Encoder

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์เชิงเฟส (Phase Relationship) ระหว่างสัญญาณ A และ B
2. เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์เชิงเฟสระหว่างสัญญาณ A และ B เมื่อหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (CW) และ ทวนเข็มนาฬิกา (CCW)
3. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการนับสัญญาณ (Counting) จาก Incremental Encoder ในโหมดการอ่านแบบ X1, X2 และ X4
4. เพื่อวัดและคำนวณค่า Pulse Per Revolution (PPR) และค่าความละเอียดเชิงมุม (Angular Resolution) ของ Encoder
5. เพื่อออกแบบและทดลองใช้งานฟังก์ชัน Anti Wrap-Around และ Homing Sequence
6. เพื่อนำค่า Count ที่อ่านได้จาก Encoder มาแปลงเป็นในรูปแบบของตำแหน่งและความเร็วเชิงมุม
7. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลคุณภาพของสัญญาณความเร็วเชิงมุมของ Encoder ทั้ง 2 รุ่น

สมมติฐาน

สัญญาณ A และ B จาก Incremental Encoder จะมีความต่างเฟสกัน 90 องศา โดยทิศทางการหมุนตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา (CW หรือ CCW) จะเป็นตัวกำหนดว่าสัญญาณใดนำหรือตาม หากการหมุนทิศทางหนึ่งทำให้สัญญาณ A นำสัญญาณ B การหมุนในทิศทางตรงกันข้ามจะทำให้สัญญาณ B นำสัญญาณ A

เมื่อหมุน Encoder ค่า Count ที่อ่านได้จากโหมด X4 จะมีค่าเป็น 4 เท่าของการอ่านในโหมด X1 และค่า Count ที่อ่านได้จากโหมด X2 จะมีค่าเป็น 2 เท่าของการอ่านในโหมด X1

คุณภาพสัญญาณของความเร็วเชิงมุมของ AMT-103V จะมีสัญญาณที่ละเอียดมากกว่าเนื่องจากมีค่า Angular Resolution ที่ละเอียดกว่า ส่วน BOURNS คุณภาพสัญญาณจะต่ำเนื่องจากมีค่า Angular Resolution ที่หยาบ

ตัวแปร

1. ตัวแปรต้น
 - ทิศทางการหมุนของ Encoder (ตามเข็มนาฬิกา - CW และ ทวนเข็มนาฬิกา - CCW)
 - โหมดการอ่านสัญญาณ X1, X2 และ X4
2. ตัวแปรตาม
 - ความสัมพันธ์เชิงเฟส (Phase Relationship) ระหว่างสัญญาณ A และ B ของ Encoder ค่า Count จาก Encoder

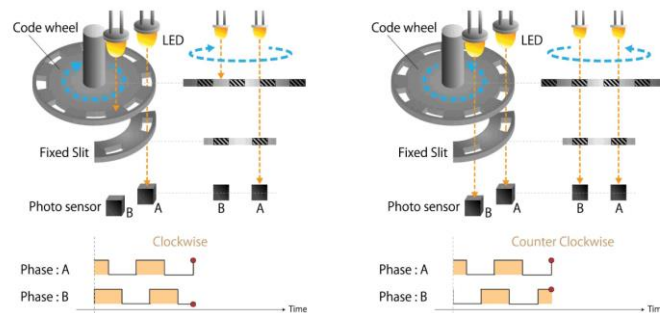
- ค่า PPR และ ความละเอียดเชิงมุม (Angular Resolution)
- ค่า Count ที่อ่านได้ผ่าน QEI
- ตำแหน่งเชิงมุม
- ความเร็วเชิงมุม

3. ตัวแปรควบคุม

- Encoder ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ AMT-103V และ BOURNS PEC11R-4220F-N0024
- แรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายที่ให้กับ Encoder
- จำนวนรอบที่ใช้ในการหมุนทดสอบ
- NUCLEO G474RE

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

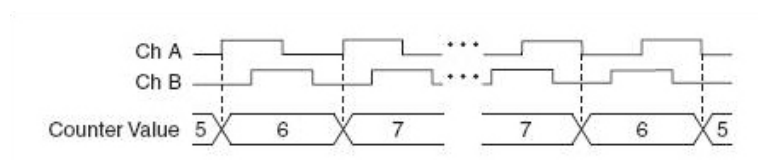
Incremental Encoder Principle



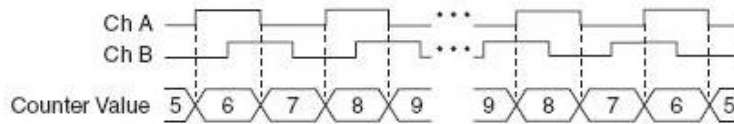
รูปที่ 10 Incremental Rotary Encoder

Incremental Encoder เป็น Sensor ที่มีหลักการทำงานคือการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง (Relative Position Change) อาศัยการตรวจจับแสงที่ลอดผ่านรูนบนจานหมุนที่เป็นแถบทึบและแถบโปร่ง เป็นการสร้างสัญญาณเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง โดยรูปแบบสัญญาณเป็น Square Wave Incremental Encoder ส่วนใหญ่จะมี Output ขา A และ B ซึ่งส่งสัญญาณไฟฟ้าที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา เรียกว่า สัญญาณ Quadrature ความสัมพันธ์ทางเฟสระหว่าง A และ B นี้ ทำให้สามารถบ่งชี้ทิศทางการเคลื่อนที่ได้

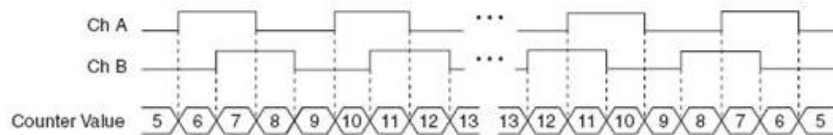
รูปแบบการอ่านสัญญาณ Encoder



รูปที่ 11 การอ่านสัญญาณแบบ X1



รูปที่ 12 การอ่านสัญญาณแบบ X2



รูปที่ 13 การอ่านสัญญาณแบบ X4

ในการอ่านสัญญาณ Encoder จะอ่านโดยใช้ Interrupt คือเป็นการนับสัญญาณเมื่อตรวจจบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณได้ โดยจะมีการอ่านสัญญาณทั้งหมด 4 รูปแบบ ได้แก่ X1 , X2 และ X4

- การอ่านสัญญาณแบบ X1 คือเป็นการอ่านเมื่อเป็นสัญญาณขาขึ้น (Rising Edge) ของขา A
- การอ่านสัญญาณแบบ X2 คือเป็นการอ่านเมื่อเป็นสัญญาณขาขึ้น (Rising Edge) ของขา A และ B
- การอ่านสัญญาณแบบ X4 คือเป็นการอ่านเมื่อเป็นสัญญาณขาขึ้นและขาลง (Rising Edge and Falling Edge) ของขา A และ B

Datasheet AMT-103V

date 11/2010
page 1 of 8

SERIES: AMT10X

DESCRIPTION: INCREMENTAL ENCODER

FEATURES

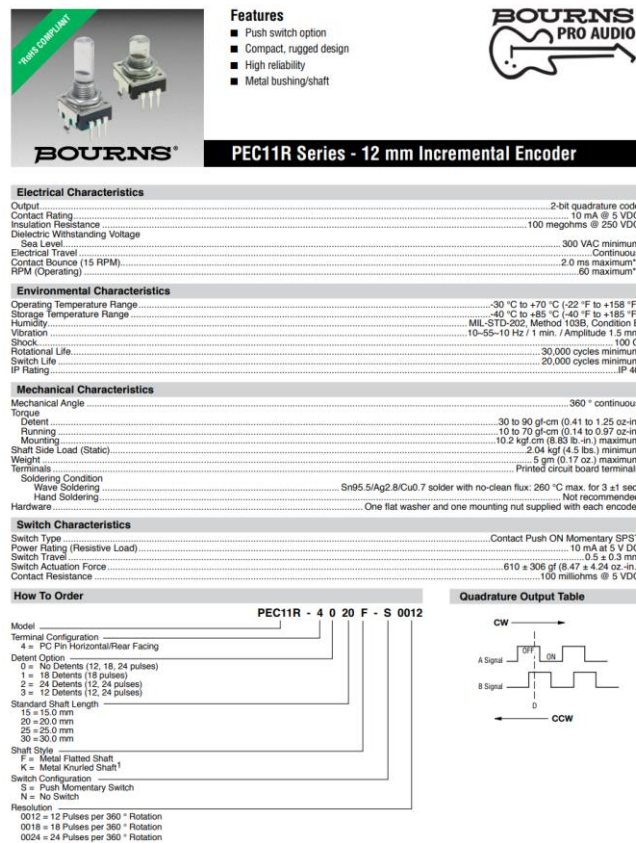
- patented capacitive technology
- 16 dip switch programmable resolutions
- straight (radial) and right-angle (axial) versions
- 9 different mounting hole options for AMT102
- 6 different mounting hole options for AMT103
- low power consumption
- line driver output available (CUI-10XE-10)
- 40°C to 100°C operating temperature
- TTL voltage output
- modular package

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

output phase difference	90° (A ch leads B ch in CW direction viewed from front)
output current	5 mA max.
output waveform	TTL voltage square wave
output signals	A, B, Z phase (A, B, C line driver available with CUI-10XE-10)
current consumption	6 mA typ., 10 mA max.
supply voltage	3.6 ~ 5.5 V dc
output resolution (ppr)	48, 96, 100, 125, 192, 200, 250, 256, 384, 400, 500, 512, 800, 1000, 1024, 2048
frequency response	250 kHz max.
accuracy	±15 arcmin (at 192, 384, 400, 500, 800, 1000, 1024, 2048 ppr) ±30 arcmin (at 96, 200, 250, 512 ppr) ±60 arcmin (at 48, 100, 125, 256 ppr)
max. rotational speed	7500 rpm (at 2048, 1000, 800, 384 ppr) 15000 rpm (at 1024, 500, 400, 192 ppr) 30000 rpm (at 48, 96, 100, 125, 200, 250, 256, 512 ppr)

รูปที่ 14 Datasheet ของ Encoder AMT-103V

Datasheet BOURNS PEC11R-4220F-N0024



รูปที่ 15 Datasheet ของ BOURNS PEC11R-4220F-N0024

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ส่วนที่ 1: การศึกษา Phase Relationship

1. ต่อแหล่งจ่ายไฟ (3.3V) และ GND ให้กับ Encoder รุ่น AMT-103V
2. ต่อช่องสัญญาณ A และ B จาก Encoder เข้ากับช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 ของออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
3. หมุน Encoder ในทิศทาง ตามเข็มนาฬิกา (CW) อย่างช้าๆ สังเกตและบันทึกผลความสัมพันธ์เชิงเฟสระหว่างสัญญาณ A และ B (สัญญาณใดนำ/ตาม)
4. หมุน Encoder ในทิศทาง ทวนเข็มนาฬิกา (CCW) อย่างช้าๆ สังเกตและบันทึกผลความสัมพันธ์เชิงเฟสที่เปลี่ยนแปลงไป

ส่วนที่ 2: การอ่านค่า PPR และ Angular Resolution

1. เชื่อมต่อ NUCLEO-G474RE กับคอมพิวเตอร์ และตั้งค่า Pin ให้อ่านสัญญาณขา A และ B แบบ Interrupt ทั้ง 3 รูปแบบ X1, X2 และ X4 โดย รูปแบบ X1 ให้ตั้งค่า Pin Encoder Mode x1_TI1 ส่วน X2 ให้เลือก Encoder Mode TI1 และ X4 ให้เลือก Encoder Mode TI1 and TI2 ในส่วนของ Counting Period สามารถเลือกได้ตั้งแต่ 1 ถึง 65535 ซึ่งเป็นการปรับค่าให้ค่าที่ออกมาจากQEI (Quadrature Encoder Interface) มีค่าได้สูงสุดเท่าไร โดยกำหนดให้มีค่า 65535

2. ต่อไฟเลี้ยง 3.3V และ GND เข้ากับ Encoder และต่อสัญญาณขา A B ไปยัง Pin Interrupt ทั้งหมด
3. ทดลองอ่าน Count ของ Encoder เมื่อมีการหมุนไป 1 รอบ เพื่อหาค่า PPR และนำไปคำนวณ Angular Resolution ของ AMT-103V และ BOURNS PEC11R-4220F-N0024 เป็นจำนวน 10 ครั้ง

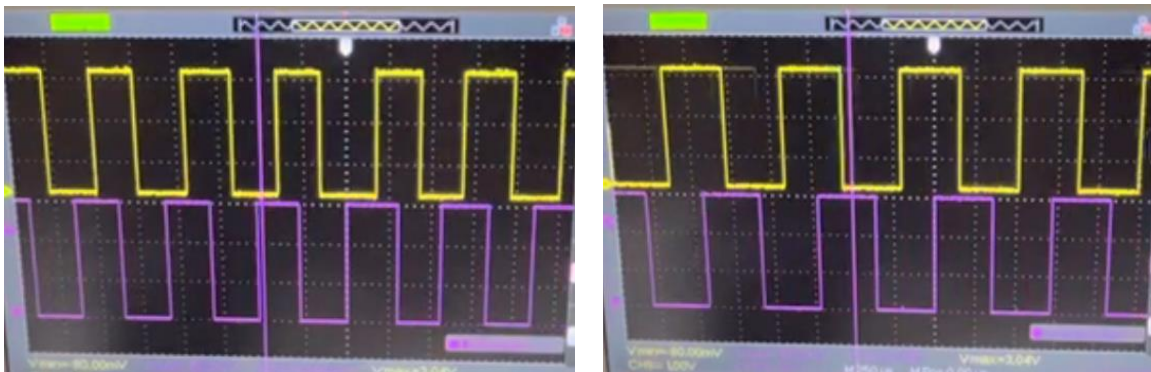
ส่วนที่ 3: การแปลงสัญญาณ Encoder

1. ออกแบบและทดลองสอบผลการใช้งาน ฟังก์ชัน Anti Wrap-Around
2. Homing Sequence ใน Simulink โดยอ่านค่าปุ่ม B1 จาก Block Digital Read
3. เขียน Simulink ในการแปลงค่า Count เป็นตำแหน่งเชิงมุมและวัดความเร็วเชิงมุมของ Encoder
4. ทดลองหมุน Encoder สังเกตและบันทึกผล เปรียบเทียบผลระหว่าง Encoder 2 ตัว

ผลการทดลอง

ผลการทดลองส่วนที่ 1 การศึกษา Phase Relationship

อ่านสัญญาณ A และ B ผ่าน Oscilloscope โดยกราฟสีเหลืองคือ สัญญาณ A และสีม่วงคือสัญญาณ B



รูปที่ 16 และ 17 สัญญาณ A B เมื่อหมุนแบบ CW (รูปด้านซ้าย) และ CCW (รูปด้านขวา)

ผลการทดลองส่วนที่ 2 การอ่านค่า PPR และ Angular Resolution

ครั้งที่	PPR	
	AMT-103V	BOURNS PEC11R-4220F-N0024
1	2047	24
2	2054	25
3	2035	24
4	2024	24
5	2051	25
6	2042	24
7	2021	23
8	2037	24
9	2056	24
10	2054	24
AVG	2042.1	24.1

ตารางที่ 1 แสดงผลค่า PPR ของ AMT-103V และ BOURNS PEC11R-4220F-N0024 จากการทดลอง 10 ครั้ง
คำนวณค่า Angular Resolution

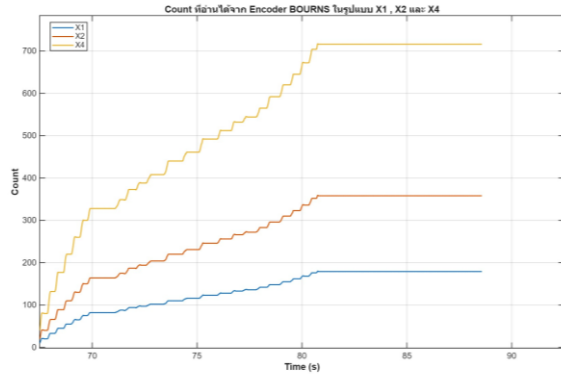
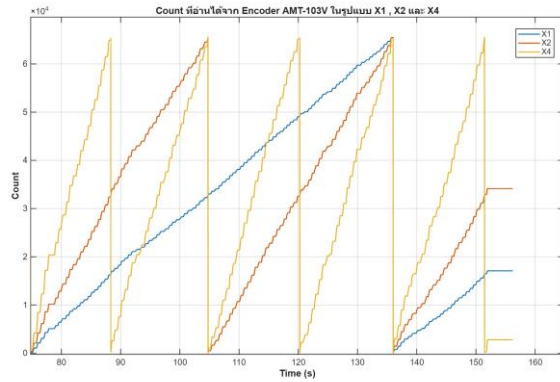
$$Res_{\theta} = \frac{2\pi}{PPR}$$

จากผลการทดลองวัดค่า PPR พบว่า AMT-103V มีค่า PPR เฉลี่ยอยู่ที่ 2042.1 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ 2048 PPR
จาก Datasheet ทางกลุ่มจึงเลือกใช้ค่าตาม Datasheet ในการหาค่า Angular Resolution

$$Res_{\theta_{AMT}} = \frac{2\pi}{PPR} = \frac{2\pi}{2048} \approx 0.18^{\circ} \approx 0.0031 \text{ rad}$$

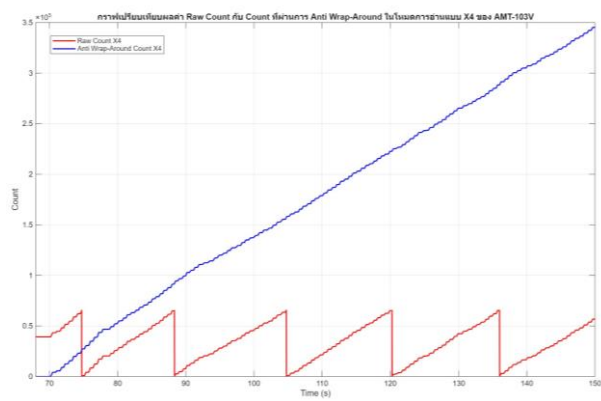
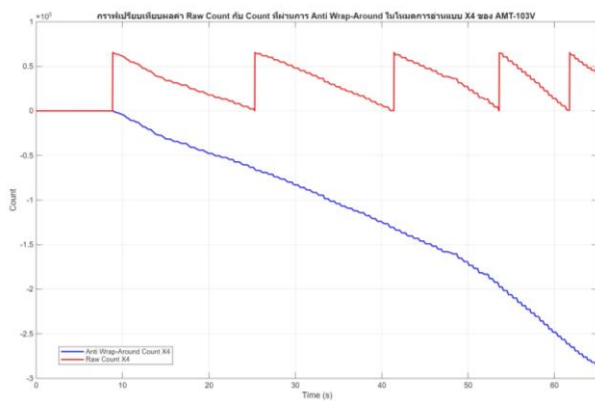
จากผลการทดลองวัดค่า PPR พบว่า BOURNS PEC11R-4220F-N0024 มีค่า PPR เฉลี่ยอยู่ที่ 24.1 ซึ่งมีค่า
ใกล้เคียงกับ 24 PPR จาก Datasheet ทางกลุ่มจึงเลือกใช้ค่าตาม Datasheet ในการหาค่า Angular Resolution

$$Res_{\theta_{BOURNS}} = \frac{2\pi}{PPR} = \frac{2\pi}{24} = 15^{\circ} \approx 0.2618 \text{ rad}$$

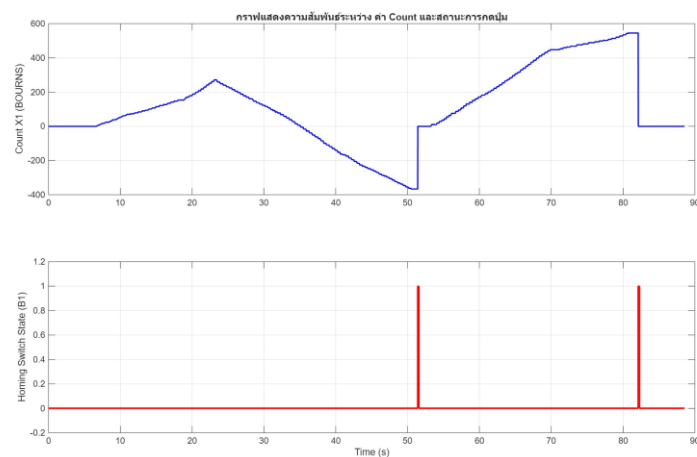


รูปที่ 18 และ 19 กราฟแสดงค่า Count ที่ได้จากการอ่าน Encoder AMT-103V และ BOURNS PEC11R-4220F-N0024 ทั้ง 3 โหมดการอ่าน X1 , X2 และ X4

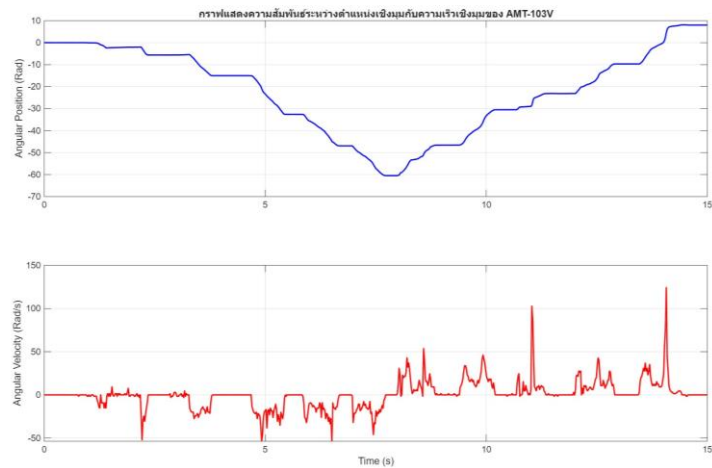
ผลการทดลองส่วนที่ 3 การแปลงสัญญาณ Encoder



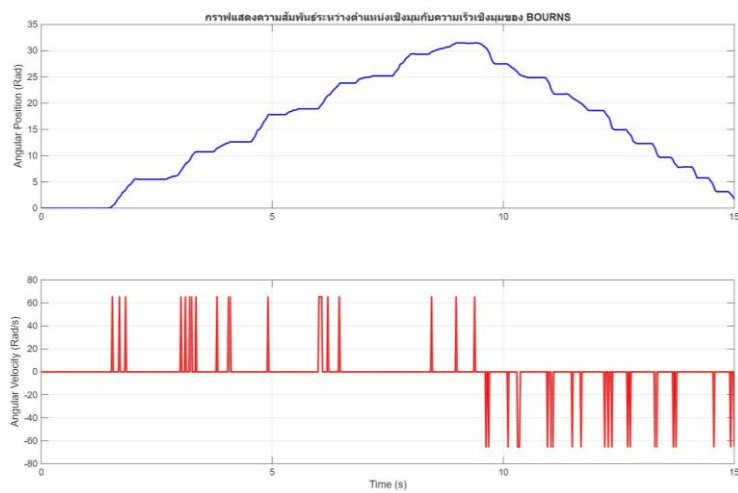
รูปที่ 20 กราฟผลการใช้ฟังก์ชัน Anti Wrap-Around



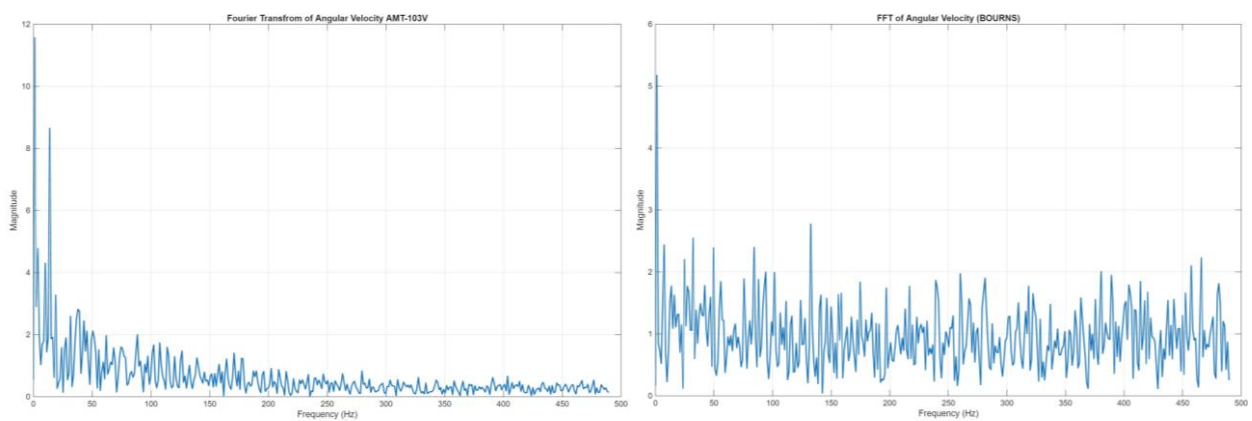
รูปที่ 21 การทดลองใช้ Homing Sequence กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Count และสถานะการกดปุ่ม B1



รูปที่ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งเชิงมุมกับความเร็วเชิงมุมของ AMT-103V



รูปที่ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งเชิงมุมกับความเร็วเชิงมุมของ BOURNS



รูปที่ 24 และ 25 กราฟแสดงผล Fourier Analysis ของความเร็วเชิงมุมใน Encoder ที่แตกต่างกัน

สรุปผลการทดลอง

1. จากผลการทดลอง สัญญาณ A และ B เป็นสัญญาณ ที่ได้จากการอ่าน Encoder ซึ่งเป็นสัญญาณ Square Wave ที่ต่างกันอยู่ที่ 90 องศาไฟฟ้า โดยเมื่อหมุนตามเข็มนาฬิกาพบว่า สัญญาณ B จะนำสัญญาณ A 90 องศาไฟฟ้า และเมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกาพบว่า สัญญาณ A จะนำสัญญาณ B 90 องศาไฟฟ้า
2. ค่า PPR (Pulse Per Revolute) ของ AMT-103V มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2042.1 ซึ่งมีความใกล้เคียงกับค่าใน Datasheet ที่มีค่า 2048 PPR และมี Angular Resolution อยู่ที่ 0.18 องศา ส่วนค่า PPR (Pulse Per Revolute) ของ BOURNS PEC11R-4220F-N0024 มีค่า 24.1 ซึ่งมีความใกล้เคียงกับค่าใน Datasheet ที่มีค่า 24 PPR และมี Angular Resolution อยู่ที่ 15 องศา
3. จากการอ่านค่า Encoder ทั้ง 3 รูปแบบพบว่า การอ่านค่า Count แบบ X4 พบว่ามีค่ามากกว่าอ่านแบบ X1 4 เท่า และการอ่านค่า Count แบบ X2 มีค่ามากกว่าการอ่านแบบ X1 2 เท่า
4. จากการทดลองใช้งาน Anti Wrap-Around สามารถทำให้สามารถสะสมค่า Count ได้นอกจากช่วง 0 – 65535 ได้ และสามารถ
5. จากการทดลองการใช้งาน Homing Sequence สามารถกำหนดจุดอ้างอิง (Set Zero) ของตำแหน่งสัมพัทธ์ได้ ผ่านจากการกดปุ่ม B1 จาก NUCLEO-G474RE
6. จากการทดลองเมื่อตำแหน่งเชิงมุมของ Encoder เกิดการเปลี่ยนแปลงจะทำให้วัดค่าความเร็วเชิงมุมของ Encoder ได้ โดย AMT-103V ค่าความเร็วเชิงมุมสามารถอ่านค่าได้อย่างละเอียด แต่ BOURNS สัญญาณความเร็วเชิงมุมจะเป็นลักษณะของ Triangle Wave หรือ Spike เมื่อวิเคราะห์สัญญาณผ่าน Fourier Analysis พบว่า AMT-103V มีสัญญาณในความถี่ต่ำเป็นส่วนใหญ่และลดหลั่นลงมาในความถี่ที่สูง ส่วน BOURNS พบสัญญาณในทุกความถี่

อภิปรายผล

1. Encoder ถูกออกแบบให้สัญญาณ A และ B ต่างกัน 90 องศาไฟฟ้าเพื่อให้สามารถระบุทิศทางการหมุนได้ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อหมุนตามเข็มนาฬิกาพบว่า สัญญาณ B จะนำสัญญาณ A 90 องศาไฟฟ้า และเมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกาพบว่า สัญญาณ A จะนำสัญญาณ B 90 องศาไฟฟ้า จากผลดังกล่าวจะทำให้สามารถตรวจจับว่าขอบของสัญญาณใดขึ้น-ลงก่อนกันทำให้สามารถแยกแยะทิศทางการหมุนได้
2. จากผลการทดลองที่วัดค่า PPR ของ Encoder ที่มีความคลาดเคลื่อนเป็นผลมาจากการกะด้วยระยะสายตาของผู้ทดลองทำให้ผลการวัดค่า PPR มีความคลาดเคลื่อนได้ โดย AMT-103V คลาดเคลื่อนไป 0.33% และ BOURNS PEC11R-4220F-N0024 คลาดเคลื่อนไป 0.42%
3. จากผลการทดลองพบว่า การอ่านค่า Count แบบ X4 พบว่ามีค่ามากกว่าอ่านแบบ X1 4 เท่า และการอ่านค่า Count แบบ X2 มีค่ามากกว่าการอ่านแบบ X1 2 เท่า เนื่องจากการอ่านแบบ X1 จะอ่านเพียง Rising Edge ของขา A ทำให้ใน 1 ลูกคลื่นจะนับ Count เพียงครั้งเดียว ส่วนการอ่านแบบ X2 จะอ่าน Rising Edge ของขา A และ

B ทำให้ใน 1 ลูกกลิ้งมีการนับ Count 2 ครั้ง และการอ่านแบบ X4 จะอ่านทั้ง Rising Edge และ Falling Edge ของขา A และ B ทำให้ใน 1 ลูกกลิ้งมีการนับ Count ถึง 4 ครั้ง

4. ปัญหา Wrap-Around เกิดจาก QEI (Quadrature Encoder Interface) ที่สามารถเก็บข้อมูลได้เพียงแค่ Unsigned Int 16 bits ซึ่งทำให้ Count ไม่สามารถเก็บค่าติดลบหรือมีค่ามากกว่า 65535 ได้ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าทางกลุ่มสามารถออกแบบฟังก์ชัน Anti Wrap-Around ที่แก้ไขปัญหาที่ค่ากระโดดไปมาระหว่าง 0 กับ 65535 ได้ โดยให้สามารถเก็บค่าสะสมไปได้เรื่อยผ่านการเขียนใน Simulink
5. ทางกลุ่มได้ออกแบบ Homing Sequence โดยรับค่าจากปุ่ม B1 จากบอร์ด NUCLEO G474RE เพื่อกำหนดค่า Count เริ่มต้นเป็น 0 เมื่อมีการกดปุ่ม
6. จากผลการทดลองพบว่าสัญญาณความเร็วเชิงมุมของ AMT-103V มีความละเอียดมากกว่า BOURNS เนื่องจากมีค่า Angle Resolution ที่ละเอียดมากกว่า ส่งผลให้สามารถอ่านการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งได้ละเอียดกว่าของ BOURNS ที่มี ความละเอียดของ Angle Resolution ที่ต่ำ

อ้างอิง

<https://www.akm.com/global/en/products/rotation-angle-sensor/tutorial/type-mechanism-2/>

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

<https://www.alldatasheet.com/html-pdf/432663/CUI/AMT103/53/1/AMT103.html>

<https://www.farnell.com/datasheets/2360546.pdf>

Lab 1.3 Magnetic Sensor

การทดลองที่ 1 การอ่านสัญญาณ Output ณ Magnetic Flux Density ใดๆ

จุดประสงค์

1. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density และแรงดันไฟฟ้า Output ของเซนเซอร์
2. เพื่อคำนวณค่า Magnetic Flux Density ที่ระยะต่างๆ จากแรงดัน Output ที่วัดได้
3. เพื่อเปรียบเทียบ Magnetic Flux Density ของขั้วแม่เหล็กที่ต่างกัน

สมมติฐาน

ความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density (หน่วย mT) และแรงดันไฟฟ้า Output (หน่วย mV) จะเป็นในรูปแบบของเชิงเส้น โดยเมื่อ Magnetic Flux Density มีค่าเพิ่มขึ้น แรงดัน Output ก็จะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนซึ่งสามารถคำนวณหาค่า Magnetic Flux Density จากแรงดันไฟฟ้า Output ได้ดังสมการนี้โดยอ้างอิงจาก Datasheet

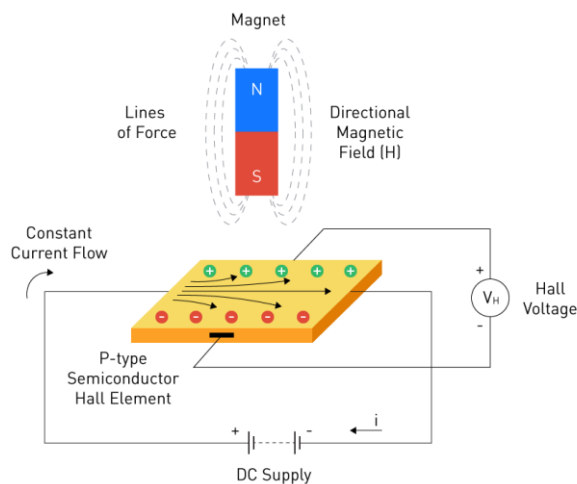
$$V_{out} = V_Q + B \times (\text{Sensitivity}_{25^\circ\text{C}} \times (1 + S_{TC} (T_A - 25^\circ\text{C})))$$

ตัวแปร

1. ตัวแปรต้น:
 - ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับ Hall Effect Sensor
 - ขั้วของแม่เหล็ก (เหนือ หรือ ใต้)
2. ตัวแปรตาม:
 - magnetic flux density
 - แรงดันไฟฟ้า *Output*
3. ตัวแปรควบคุม:
 - แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Hall Effect Sensor (3.3 V)
 - รุ่น Hall Effect Sensor
 - อุณหภูมิห้องขณะทดลอง 25 °C
 - แม่เหล็กที่ใช้ทำการทดลอง
 - NUCLEO G474RE

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hall Effect Sensor Principle



รูปที่ xx หลักการทำงานของ Hall Effect Sensor

Hall effect sensor มีหลักการทำงานโดยอาศัย ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ที่เกิดขึ้นเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ ไหลผ่านแผ่นวัสดุกึ่งตัวนำ หากมีสนามแม่เหล็กภายนอกกระทำในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของกระแส จะทำให้ประจุไฟฟ้าได้รับแรงลอเรนซ์ (Lorentz force) ทำให้เคลื่อนที่ไปสะสมตัวอยู่ที่ขอบด้านข้างของแผ่นกึ่งตัวนำ โดยการแยกตัวของประจุบวกและลบ ก่อให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าในทิศทางที่ตั้งฉากกับทั้งกระแสและสนามแม่เหล็กซึ่งเรียกว่าแรงดันฮอลล์ (Hall Voltage) โดยแรงดันไฟฟ้านี้จะแปรผันโดยตรงกับความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux density) ที่เซ็นเซอร์ตรวจจับได้

DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Sensor Datasheet

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾

		MIN	MAX	UNIT
Power supply voltage	V_{CC}	-0.3	7	V
Output voltage	OUT	-0.3	$V_{CC} + 0.3$	V
Magnetic flux density, B_{MAX}		Unlimited		T
Operating junction temperature, T_J		-40	170	°C
Storage temperature, T_{stg}		-65	150	°C

6.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

		MIN	MAX	UNIT
V _{CC}	Power-supply voltage ⁽¹⁾	3	3.63	V
		4.5	5.5	
I _O	Output continuous current	−1	1	mA
T _A	Operating ambient temperature ⁽²⁾	−40	125	°C

6.6 Magnetic Characteristics

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

PARAMETER		TEST CONDITIONS ⁽¹⁾		MIN	TYP	MAX	UNIT	
V _Q	Quiescent voltage	B = 0 mT, T _A = 25°C		V _{CC} = 5 V	2.43	2.5	2.57	V
				V _{CC} = 3.3 V	1.59	1.65	1.71	
V _{QΔT}	Quiescent voltage temperature drift	B = 0 mT, T _A = −40°C to 125°C versus 25°C			±1% × V _{CC}			V
V _{QRE}	Quiescent voltage ratiometry error ⁽²⁾				±0.2%			
V _{QΔL}	Quiescent voltage lifetime drift	High-temperature operating stress for 1000 hours			< 0.5%			
S	Sensitivity	V _{CC} = 5 V, T _A = 25°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 V, T _A = 25°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		
B _L	Linear magnetic sensing range ^{(3) (4)}	V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C	DRV5055A1/Z1	±21			mT	
			DRV5055A2/Z2	±42				
			DRV5055A3/Z3	±85				
			DRV5055A4/Z4	±169				
		V _{CC} = 3.3 V, T _A = 25°C	DRV5055A1/Z1	±22				
			DRV5055A2/Z2	±44				
			DRV5055A3/Z3	±88				
			DRV5055A4/Z4	±176				
V _L	Linear range of output voltage ⁽⁴⁾			0.2	V _{CC} − 0.2		V	
S _{TC}	Sensitivity temperature compensation for magnets ⁽⁵⁾	DRV5055A1, DRV5055A2, DRV5055A3, DRV5055A4			0.12		%/°C	

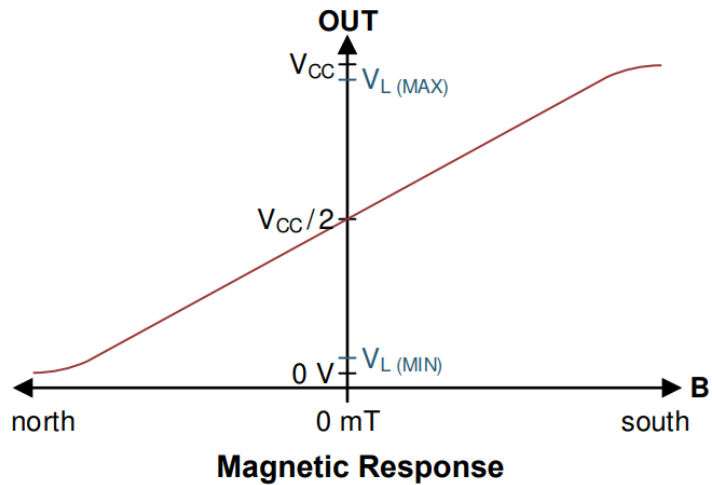
7.3.2 Magnetic Response

When the DRV5055 is powered, the DRV5055 outputs an analog voltage according to [Equation 1](#):

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

where

- V_Q is typically half of V_{CC}
- B is the applied magnetic flux density
- Sensitivity_(25°C) depends on the device option and V_{CC}
- S_{TC} is typically 0.12%/°C for device options DRV5055A1 - DRV5055A4 and is 0%/°C for DRV5055Z1 - DRV5055Z4 options
- T_A is the ambient temperature
- V_{OUT} is within the V_L range



รูปที่ 25 ข้อมูลจาก Datasheet ของ DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Sensor

สมการความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับแรงดันของออกของ DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Sensor

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

โดยที่

V_{out}	คือ	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต	[V]
V_Q	คือ	Quiescent voltage	[V]
B	คือ	Magnetic Flux Density	[mT]
$\text{Sensitivity}_{25^{\circ}\text{C}}$	คือ	ค่าความไวต่ออุณหภูมิที่ 25°C	[mV/mT]
S_{TC}	คือ	ค่าการชดเชยอุณหภูมิสำหรับแม่เหล็ก	[%/°C]
T_A	คือ	อุณหภูมิแวดล้อม	[°C]

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. เตรียมอุปกรณ์การทดลองให้พร้อมเก็บค่าและทำการทดลองในอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
2. กำหนดจุดวัดค่าตามระยะห่างต่าง ๆ จากเซนเซอร์ (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 mm.)
3. การทดลองแบบไม่มี Shield
4. ขั้วเหนือ: วางแม่เหล็กที่ระยะห่างต่าง ๆ และวัดค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก (V_{out}) ทำซ้ำจุดละ 5 ครั้ง
5. ขั้วใต้: วางแม่เหล็กที่ระยะห่างต่าง ๆ และวัดค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก (V_{out}) ทำซ้ำจุดละ 5 ครั้ง
6. ทำการทดลองซ้ำแบบนำ Shield มาติด
7. นำผลการทดลอง ไปคำนวณค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กจากสมการ

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

โดยกำหนดให้ตัวแปรมีค่าดังนี้

$$V_{out} = \frac{\text{Analog}}{4095} \times 3.3 \text{ V}$$

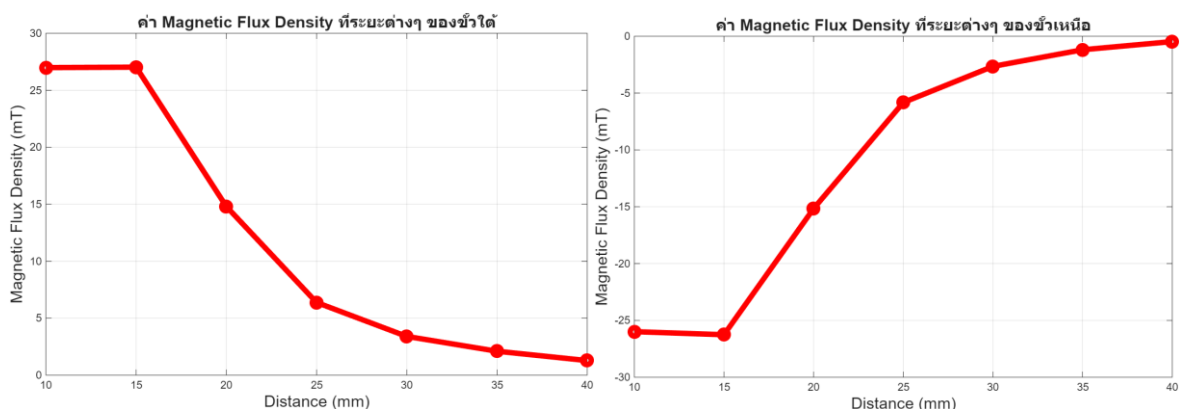
$$V_Q = 1650 \text{ mV}$$

$$\text{Sensitivity}_{25^{\circ}\text{C}} = 60 \text{ mV/mT}$$

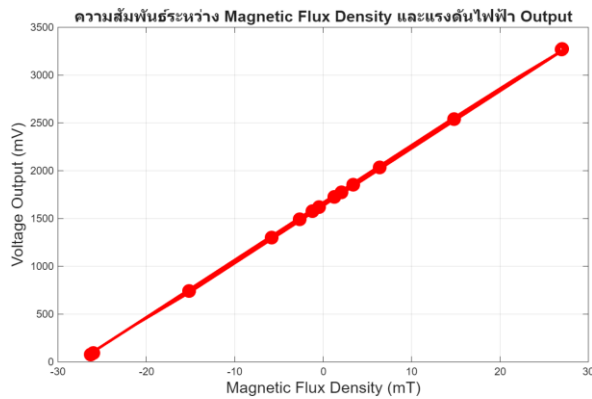
$$S_{TC} = 0.12\%/^{\circ}\text{C}$$

$$T_A = 25^{\circ}\text{C}$$

ผลการทดลอง



รูปที่ 26 และ 27 กราฟแสดงค่า Magnetic Flux Density ที่ระยะต่างๆ ของแม่เหล็กขั้วใต้ และแม่เหล็กขั้วเหนือ



รูปที่ 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density และแรงดันไฟฟ้า Output

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า เมื่อระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและเซนเซอร์เพิ่มขึ้น ค่า Magnetic Flux Density ที่วัดได้จะลดลงอย่างชัดเจน โดยในกรณีของขั้วใต้ ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กมีค่าเป็นบวก และลดลงตามระยะ ในขณะที่ขั้วเหนือมีค่าเป็นลบและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คือ เข้าใกล้ศูนย์ เมื่อระยะห่างมากขึ้นนอกจากนี้ พบว่าแรงดันไฟฟ้า Output ที่วัดได้จากเซนเซอร์มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่า Magnetic Flux Density โดยมีความชันคงที่ ซึ่งยืนยันสมมติฐานว่าเซนเซอร์ทำงานแบบเชิงเส้น ต่อสนามแม่เหล็กในช่วงที่วัดได้

อภิปรายผล

1. ผลของระยะทางต่อ Magnetic Flux Density: การที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กลดลงตามระยะ เป็นผลจากการกระจายของเส้นแรงแม่เหล็กในอากาศ เมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น สนามแม่เหล็กจะอ่อนตัวลงตามกฎ Inverse-square Law ทำให้ค่าที่เซนเซอร์วัดได้ลดลงอย่างต่อเนื่อง
2. ผลของขั้วแม่เหล็ก: ขั้วเหนือและขั้วใต้มีทิศทางของสนามแม่เหล็กตรงข้ามกัน ส่งผลให้ค่า Magnetic Flux Density มีเครื่องหมายต่างกัน ซึ่งแสดงถึงทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านเซนเซอร์
3. ความสัมพันธ์เชิงเส้นของแรงดัน Output: กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density และแรงดัน Output มีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของ Hall Effect Sensor ที่ให้แรงดันสัดส่วนกับฟลักซ์แม่เหล็กที่ตรวจจับได้ ยืนยันความถูกต้องของการทำงานของวงจรและสมมติฐานที่ตั้งไว้
4. ความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น: ความคลาดเคลื่อนอาจเกิดจากตำแหน่งวางแม่เหล็กไม่ตรงศูนย์ของเซนเซอร์, ความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิ, หรือสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์ภายนอก

อ้างอิง

<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv5055.pdf?ts=1753064339462>

<https://www.scimath.org/lesson-physics/item/7320-2017-06-14-16-05-39>

<https://www.electronics-tutorials.ws/electromagnetism/hall-effect.html>

การทดลองที่ 2 การอ่านการอ่านสัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดสนามแม่เหล็กแบบ Real-time และอ่านสัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดสนามแม่เหล็กแบบ Shielded และ Non-Shielded

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการเชื่อมต่อและอ่านค่าสัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดสนามแม่เหล็กแบบ Real-time
2. เพื่อเปรียบเทียบ Magnetic Flux Density ระหว่างแบบ Non-Shielded และ Shielded

สมมติฐาน

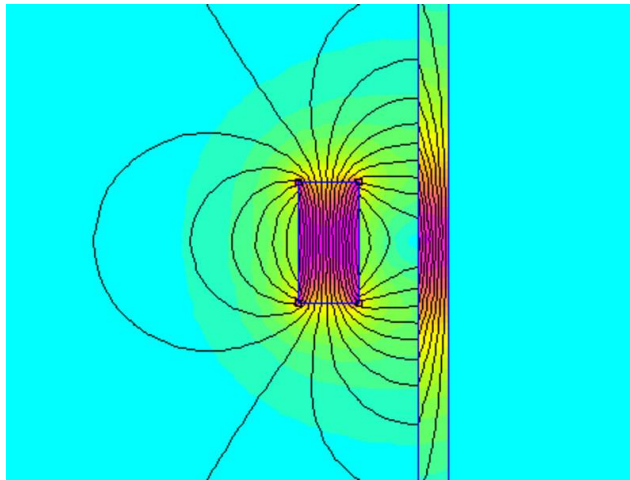
1. การใช้ Shield จะทำให้ Magnetic Flux Density ที่คำนวณได้ มีค่าน้อยกว่าแบบ Non-Shielded ณ ระยะห่างเดียวกัน
2. ค่า Magnetic Flux Density ที่คำนวณได้จะลดลงเมื่อระยะห่างจากแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น

ตัวแปร

1. ตัวแปรต้น:
 - การใช้ Shield และแบบ Non-Shielded
 - ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและเซ็นเซอร์
2. ตัวแปรตาม:
 - ค่า Magnetic Flux Density ที่คำนวณได้
3. ตัวแปรควบคุม:
 - แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Hall Effect Sensor (3.3 V)
 - รุ่น Hall Effect Sensor
 - อุณหภูมิห้องขณะทดลอง 25 °C
 - แม่เหล็กที่ใช้ทำการทดลอง
 - NUCLEO G474RE

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Magnetic Shield and Soft Iron Effect



รูปที่ 28 ปรากฏการณ์ Soft Iron Effect ของ Magnetic Shield

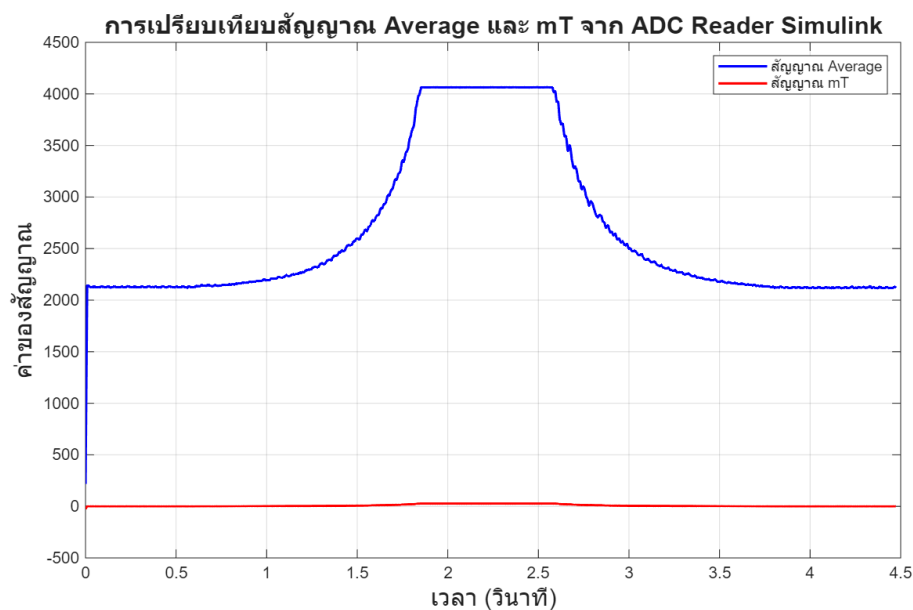
เมื่อมี flux แม่เหล็กผ่าน Magnetic Shield จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ Soft Iron effect ทำให้ทิศทางของ flux แม่เหล็กถูกเบี่ยงเบนไป Magnetic Shield จึงนำมาถูกใช้ในการป้องกันสนามแม่เหล็กรบกวนหรือทำให้อ่อนแรง

ขั้นตอนการดำเนินงาน

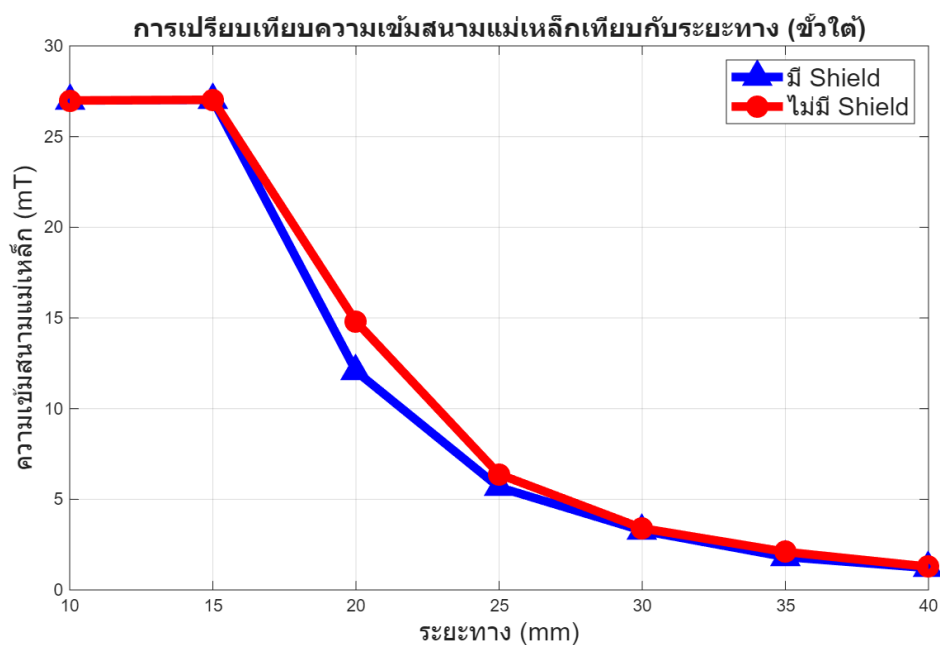
1. เตรียมอุปกรณ์การทดลองให้พร้อมเก็บค่า
2. กำหนดจุดวัดค่าตามระยะห่างต่าง ๆ จากเซนเซอร์ (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 mm.)
3. การทดลองแบบไม่มี *Shield*
 - a. ขั้วเหนือ: วางแม่เหล็กที่ระยะห่างต่าง ๆ และวัดค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก (V_{out}) ทำซ้ำจุดละ 5 ครั้ง
 - b. ขั้วใต้: วางแม่เหล็กที่ระยะห่างต่าง ๆ และวัดค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก (V_{out}) ทำซ้ำจุดละ 5 ครั้ง
4. ทำการทดลองซ้ำแบบนำ *Shield* มาติด

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

ผลการทดลอง



รูปที่ 29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (วินาที) กับ ความเข้มสนามแม่เหล็ก (mT)



รูปที่ 30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง (mm.) กับความเข้มสนามแม่เหล็ก (mT) แบบมีและไม่มี Shield

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสนามแม่เหล็กขั้วใต้พบว่าความเข้มข้นสนามแม่เหล็ก (mT) มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับระยะทาง (mm.) และการใส่ Shield มีผลต่อการลดทอนความเข้มสนามแม่เหล็กให้ลดลง

อภิปรายผล

1. จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Time (s) กับ Voltage Output (mV) แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสัญญาณไฟฟ้า (mV) ของเซนเซอร์ต่อเนื่องตามเวลาจริง โดยผืนระหว่างการบันทึกผลได้ปรับระยะห่างของ *Magnetic Sensor* ให้มากขึ้นและลดลงตามลำดับ
2. ความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก (mT) ของขั้วแม่เหล็กได้ความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างสนามแม่เหล็กกับระยะทาง โดยค่า mT ลดลงอย่างรวดเร็ว (Exponential Decay) เมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น การลดลงนี้เป็นไปตามทฤษฎีทางฟิสิกส์ที่ระบุว่าสนามแม่เหล็กจากแหล่งกำเนิดแบบขั้วคู่ (Dipole) จะลดลงตามกำลังสามของระยะทางซึ่งพิสูจน์ว่าเซนเซอร์มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กอย่างถูกต้อง
3. การใส่ Shield ทำให้ลดทอนความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กได้จริง โดยเห็นผลชัดเจนที่สุดช่วงระยะ 20 mm. ถึง 30 mm. ซึ่งค่า mT มีความแตกต่างระหว่างสภาวะมี *Shield* และไม่มี *Shield*

อ้างอิง

<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv5055.pdf?ts=1753064339462>

<https://www.mecamagnetic.com/magnetic-shielding/>

<https://www.kjmagnetics.com/blog/magnetic-shielding->

[materials?srsltid=AfmBOoqWg9jOTu2DitGNm0BO7ipl2qQwl_dzhywtmDMqc-THiSkkyj00](https://www.kjmagnetics.com/blog/magnetic-shielding-materials?srsltid=AfmBOoqWg9jOTu2DitGNm0BO7ipl2qQwl_dzhywtmDMqc-THiSkkyj00)

Lab 1.4 Load Cell

การทดลองที่ 1 การหาค่า Gain ที่เหมาะสมสำหรับการอ่านค่าน้ำหนัก สำหรับชั่งน้ำหนักมากที่สุด ที่ 10 กิโลกรัม

จุดประสงค์

1. เพื่อหาค่า Gain ที่เหมาะสมสำหรับนำไปคำนวณหาค่า R_G
2. เพื่อนำค่า R_G ที่ได้ ไปปรับใช้กับ Trimpot 100k Ω

สมมติฐาน

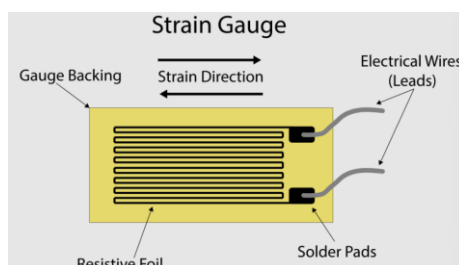
- เมื่อปรับค่า Gain ให้เหมาะสม จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตของ Load Cell มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับน้ำหนักที่ชั่งบนตาชั่ง
- ค่าของ R_G ที่คำนวณจาก Gain ที่เหมาะสม จะอยู่ในช่วงที่สามารถปรับได้ด้วย Trimpot 100k Ω

ตัวแปร

1. ตัวแปรต้น:
 - น้ำหนักที่วางบน Load Cell
2. ตัวแปรตาม:
 - แรงดันไฟที่วัดได้จาก Load Cell
3. ตัวแปรควบคุม:
 - AMPLIFIER INA125
 - แรงดันไฟเลี้ยง 3.3 V
 - YZC-131A Load Cell
 - NUCLEO G474RE

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Load Cell เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับแปลงแรง ให้กลายเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยทั่วไป Load Cell จะประกอบด้วยโครงสร้างโลหะที่สามารถเปลี่ยนรูปได้เล็กน้อยเมื่อมีแรงกระทำ และติดตั้ง Strain Gauge ไว้บนพื้นผิวของโครงสร้างดังกล่าว เมื่อแรงกระทำเพิ่มขึ้น วัสดุจะเกิดการยืดหรือบีบตัว ทำให้ Strain Gauge เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้า ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถนำไปแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าไปใช้งานได้



รูปที่ 31 องค์ประกอบของ Strain Gauge

หลักการทำงานของ Strain Gauge Strain Gauge คืออุปกรณ์ที่ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของรูปทรงของวัตถุ (Strain) โดยเมื่อวัสดุเกิดการยืดหรือบีบ ความยาวและพื้นที่หน้าตัดของลวดใน Strain Gauge จะเปลี่ยนไป ทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยนตาม ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

โดยที่

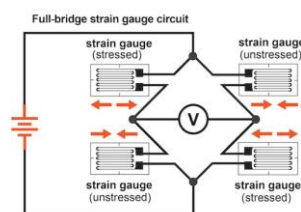
R	คือ	ค่าความต้านทานของวัตถุ	$[\Omega]$
ρ	คือ	สภาพต้านทานไฟฟ้า	$[\Omega \cdot m]$
l	คือ	ความยาวของวัตถุ	$[m]$
A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ	$[m^2]$

หลักการทำงานของวงจร Wheatstone Bridge วงจร Wheatstone Bridge ประกอบไปด้วย Stain Gauge 4 ตัว ต่อกันเป็น Bridge Circuit เพื่อแปลงแรงทางกลให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ โดย Stain Gauge แต่ละตัวทำหน้าที่ต่างกัน คือ 2 ตัวเป็น Active Gauge ติดตั้งบริเวณที่รับแรงโดยตรงเพื่อให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปตามแรง และอีก 2 ตัวเป็น Dummy Gauge ติดตั้งเพื่อชดเชยผลของอุณหภูมิ โดยแรงดัน เอาต์พุตสามารถแสดงได้โดยสมการ

$$V_{out} = \left(\frac{\Delta R}{R}\right) \frac{V_{EX}}{4}$$

โดยที่

V_{out}	คือ	แรงดันเอาต์พุต	$[V]$
ΔR	คือ	การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานใน Stain Gauge	$[\Omega \cdot m]$
R	คือ	ความต้านทาน	$[m]$
V_{EX}	คือ	แรงดันไฟฟ้าอินพุต	$[m^2]$

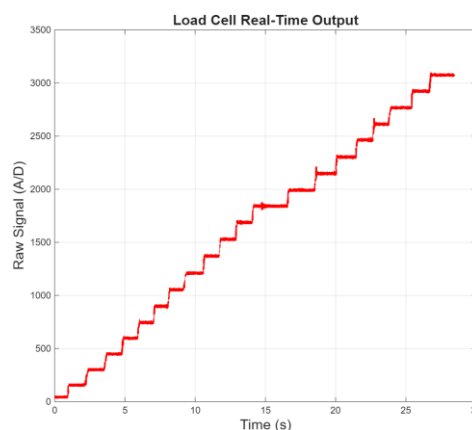


รูปที่ 32 วงจร Wheatstone Bridge

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. เริ่มจากการหาค่า Gain ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ซึ่งน้ำหนัก 10 กิโลกรัม
2. นำถ่วงทรายมาวางบน Load Cell จะเห็นว่าค่าที่อ่านได้จะยิ่งเพิ่มขึ้น และจะเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่ง จากนั้นค่าจะนิ่ง
3. หลังจากที่เราอ่านค่าที่นิ่งแล้วของ Load Cell หมายถึงค่ามากที่สุดที่ INA125 สามารถจ่ายไฟได้
4. ต่อมาเราจึงต้องหาค่า R_G ที่จะใช้สำหรับ INA125 จากการหาค่า Gain ก่อน โดยจะหาค่า Gain จากการวัดไฟที่ได้จาก Load Cell และนำไปคำนวณค่า Gain จากสูตร $V_O = (V_{IN}^+ - V_{IN}^-)G$ และนำค่า Gain ที่ได้ไปหาค่า R_G จากสูตร $G = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G}$ โดยขณะที่วัดไฟจาก Load Cell จะวางน้ำหนัก 10 กิโลกรัมไว้ เพื่อให้เป็นค่าสูงสุดที่จะชั่งได้
5. ปรับค่า Trimpot $100k\Omega$ ให้เท่ากับค่า R_G ที่คำนวณได้ เพื่อทำการทดลองชั่งน้ำหนักต่อ
6. ทดลองการชั่งน้ำหนัก โดยชั่งถ่วงทรายแต่ละถ่วงก่อนวางลงบน Load Cell
7. วางถ่วงทรายลงบน Load Cell รอให้สัญญาณนิ่งจากนั้นบันทึกค่าสัญญาณ Output
8. วางถ่วงทรายถัดไปบน Load Cell โดยไม่นำถ่วงเก่าออก รอให้สัญญาณนิ่งจากนั้นบันทึกค่าสัญญาณ Output ทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนถึง 20 ถ่วง
9. ทำซ้ำโดยนำถ่วงทรายทั้งหมดออก แล้วเริ่มวางถ่วงทรายใหม่ 3 ครั้ง

ผลการทดลอง



รูปที่ 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณดิบกับเวลา (s)

สรุปผลการทดลอง

1. จากกราฟเมื่อใส่ถ่วงทรายพบว่าค่าที่อ่านได้ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเป็นขั้น ๆ อย่างเท่า ๆ กัน
2. จากกราฟเมื่อใส่ถ่วงทรายครบ 20 ถ่วง สามารถอ่านค่าได้อยู่ประมาณ 3074 ซึ่งยังไม่ถึงค่า Saturation ที่ 3112 ทำให้สามารถนำไปคำนวณค่า Gain ของวงจร Signal Conditioning ได้อย่างเหมาะสม

อภิปรายผล

1. จากกราฟทำให้สามารถหาค่า Gain ที่เหมาะสมได้จากสูตร $V_O = (V_{IN}^+ - V_{IN}^-)Gain$ โดยสามารถวัดค่า $V_O = 2.544$, $V_{IN}^+ - V_{IN}^- = 0.004$ ทำให้คำนวณค่า Gain ได้ 637

2. จากค่า Gain ข้างต้นทำให้ สามารถคำนวณ ค่า R_G ที่เหมาะสมได้จากสูตร $Gain = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G}$ เมื่อแทนค่าตัวแปรทั้งหมดทำให้คำนวณค่า R_G ได้คือ 94.787

ข้อเสนอแนะ

- ควรใช้ Trimpot ที่มีค่าเหมาะสมมากกว่านี้เพื่อค่าที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น

อ้างอิง

https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina125.pdf?HQS=TI-null-null-alldatasheets-df-pf-SEP-ww&ts=1761643205239&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.alldatasheet.com%252F

<https://www.michsci.com/what-is-a-strain-gauge/>

<https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-9/strain-gauges/>

การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบค่าน้ำหนักที่ใช้ชั่งกับค่าน้ำหนักที่วัดได้

จุดประสงค์

1. เพื่อบอกค่าความผิดพลาดจากการชั่งน้ำหนักผ่าน Load Cell เมื่อเทียบกับค่าน้ำหนักจริง

สมมติฐาน

1. เมื่อปรับค่า Gain ให้เหมาะสม จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตของ Load Cell มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับน้ำหนักที่ชั่งบนตาชั่ง

ตัวแปร

1. ตัวแปรต้น:
 - น้ำหนักที่วางบน Load Cell
2. ตัวแปรตาม:
 - แรงดันไฟที่วัดได้จาก Load Cell
3. ตัวแปรควบคุม:
 - AMPLIFIER INA125
 - แรงดันไฟฟ้า Input 3.3 V
 - NUCLEO G474RE
 - YZC-131A Load Cell
 - Trim pot 100k Ω

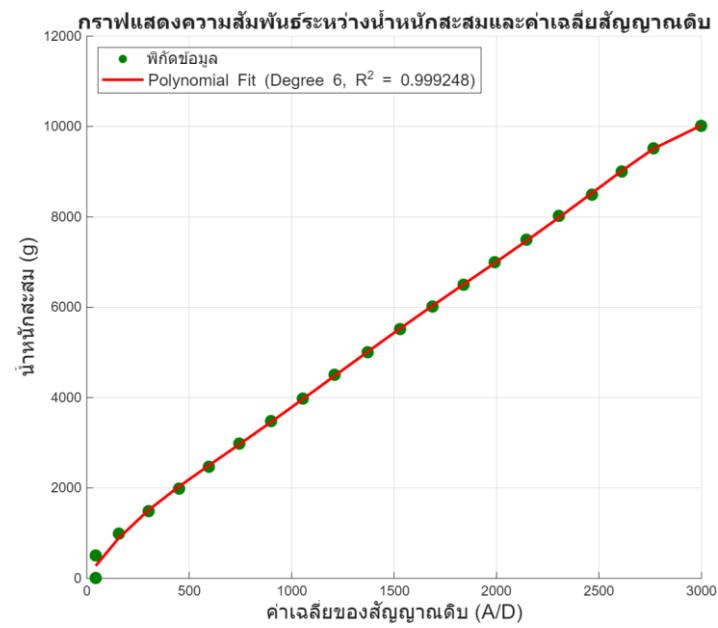
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทำ Linearization ของ Loadcell ต้องทำเนื่องจากว่าสัญญาณที่ได้ไม่ได้เป็นเชิงเส้น ทำให้การทำ Linearization ถูกนำเข้ามาเพื่อเปลี่ยนสัญญาณเอาต์พุตให้สัมพันธ์กับเชิงเส้นมากยิ่งขึ้น

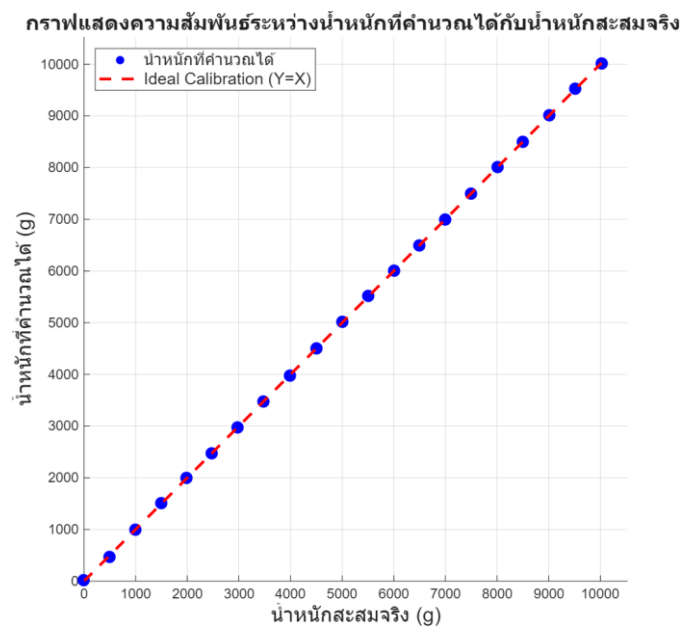
ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. บันทึกสัญญาณ Raw Signal จาก Load Cell
2. นำค่า Raw Signal ที่บันทึกได้มาคำนวณค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงที่สัญญาณนิ่ง จากนั้นคำนวณ V_0 ในช่วงนั้นๆ
3. สร้างกราฟเพื่อ Calibrate ค่า V_0 มาเทียบกับน้ำหนักสะสมจริงจากนั้นวิเคราะห์เส้นแนวโน้มเพื่อทำการ Linearization เพื่อสร้างสมการที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น
4. นำสมการ Polynomial ที่ได้ไปคำนวณย้อนกลับหาค่าน้ำหนักที่วัดได้จาก Raw Signal เพื่อยืนยันว่าค่าที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าที่ชั่งจริง

ผลการทดลอง



รูปที่ 34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสะสมและค่าเฉลี่ยข้อมูลดิบ



รูปที่ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่คำนวณได้กับน้ำหนักสะสมจริง

สรุปผลการทดลอง

1. จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสะสมและค่าเฉลี่ยข้อมูลดิบทำให้ได้สมการ Polynomial คือ

$$W = -96.349(A)^6 + 795.47(A)^5 - 2559(A)^4 + 4086.4(A)^3 - 3421.8(A)^2 + 5445.5(A) - 171.2$$

โดยที่

W	คือ	น้ำหนักที่คำนวณได้	[g]
A	คือ	สัญญาณ Analog	[bit]

จากการลองทำ Linear Fit แล้วพบว่าสมการที่ได้เมื่อแทนค่า A/D เข้าไปค่าที่ได้ไม่ใกล้เคียงกับค่าจริงทำให้ได้ลองทำ Polynomial Fit โดยพบว่าค่ามีความใกล้เคียงมากยิ่งขึ้น และยังเพิ่มอันดับให้มากยิ่งขึ้นเพื่อให้ค่าใกล้เคียงค่าจริงมากยิ่งขึ้น

2. จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสะสมและค่าเฉลี่ยข้อมูลดิบจะเห็นว่าเมื่อใส่น้ำหนักเพิ่มขึ้นทำให้ค่าที่อ่านเพิ่มขึ้น จากนั้นคำนวณหาค่า Voltage Output และนำค่าที่ได้คำนวณย้อนกลับหาค่าน้ำหนักที่วัดได้

Raw Signal (A/D)	Voltage Output(V)	น้ำหนักสะสมจริง(g)	น้ำหนักสะสมที่คำนวณได้(g)	ผลต่างของน้ำหนักสะสม(g)
44	0.035	0	20.59	+20.59
156	0.126	501	453.87	-47.13
301	0.243	994	1000.37	6.37
449	0.362	1492	1502.14	10.14
597	0.481	1985	2009.67	24.67
745	0.600	2473	2504.72	31.72
8999	0.724	2978	2977.79	-0.21
1054	0.849	3481	3475.59	-5.41
1210	0.975	3985	3982.43	-2.57
1371	1.105	4502	4505.38	3.38
1529	1.232	5007	5006.82	-0.18
1687	1.359	5511	5517.85	+6.85
1840	1.483	6010	6034.2	+24.2
1992	1.605	6492	6529.06	+37.06
2147	1.730	6990	7047.94	+57.94
2303	1.856	7495	7541.72	+46.72
2464	1.986	8016	8052.32	+36.32
2612	2.105	8496	8536.28	+40.28
2767	2.230	9007	9053.44	+46.44
2923	2.356	9518	9570.69	52.69
3074	2.477	10021	10069.84	+48.84

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยสัญญาณดิบ, Voltage Output (V), น้ำหนักสะสมจริง (g), น้ำหนักสะสมที่คำนวณได้ (g) และผลต่างน้ำหนักสะสม (g)

อภิปรายผล

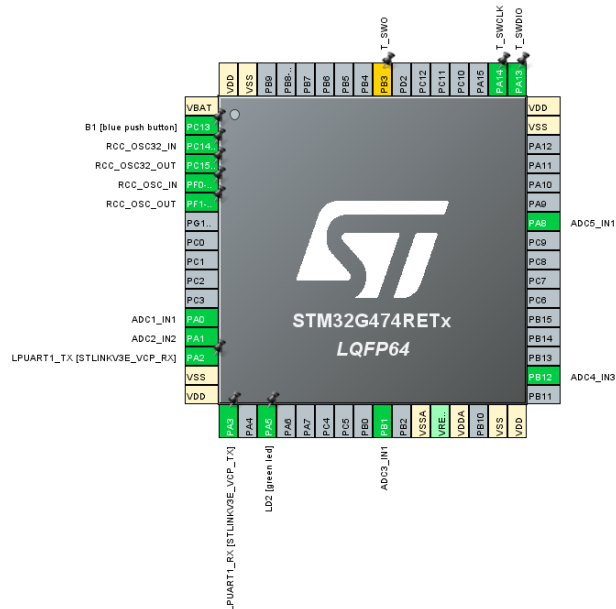
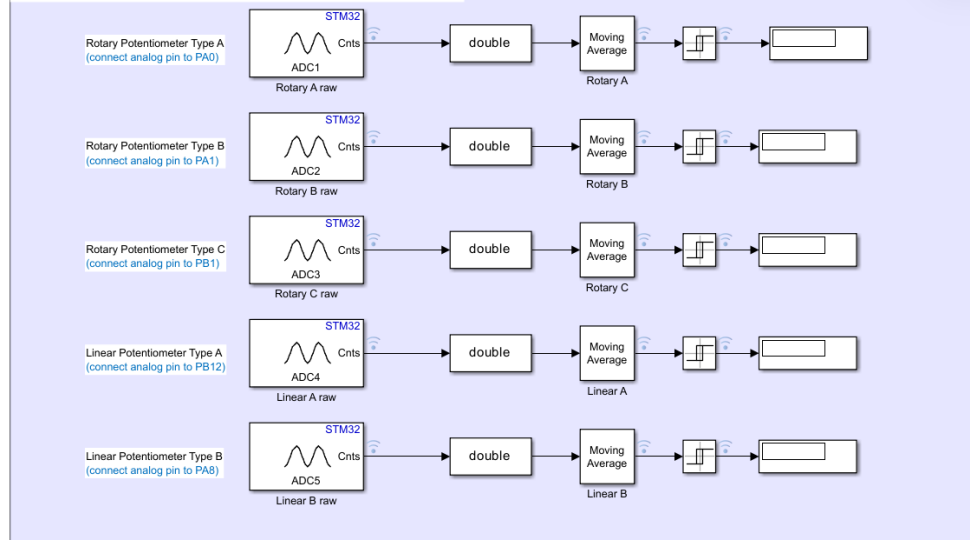
1. จากการอ่านค่าของสัญญาณเอาพุตทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของสัญญาณในแต่ละช่วงที่เพิ่มถูกรายจากนั้นได้นำค่าที่ได้มาคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต และนำมาวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสะสมและค่าเฉลี่ยข้อมูลดิบทำให้ได้สมการ 6th Order Polynomial คือ $W = -96.349(A)^6 + 795.47(A)^5 - 2559(A)^4 + 4086.4(A)^3 - 3421.8(A)^2 + 5445.5(A) - 171.2$ ทำให้ได้นำสมการที่ได้ไปวาดกราฟเพื่อแทนค่าสัญญาณดิบเข้าไปเพื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ซึ่งได้จริงกับน้ำหนักที่คำนวณได้ และเขียนสมการที่ควรจะเป็น $y = x$ และเมื่อเปรียบเทียบค่าตามตารางที่ 2 ทำให้สรุปค่าความผิดพลาดได้เฉลี่ยคือ +20.89 g

ข้อเสนอแนะ

อ้างอิง

https://www.electricaleasy.com/2014/01/losses-in-dc-machine.html#google_vignette (ตัวอย่าง)

Lab 1.1: Potentiometer



Block Parameters: Rotary A

Moving average

Compute moving average

[Source code](#)

Parameters

Method: Sliding window

☒ Specify window length

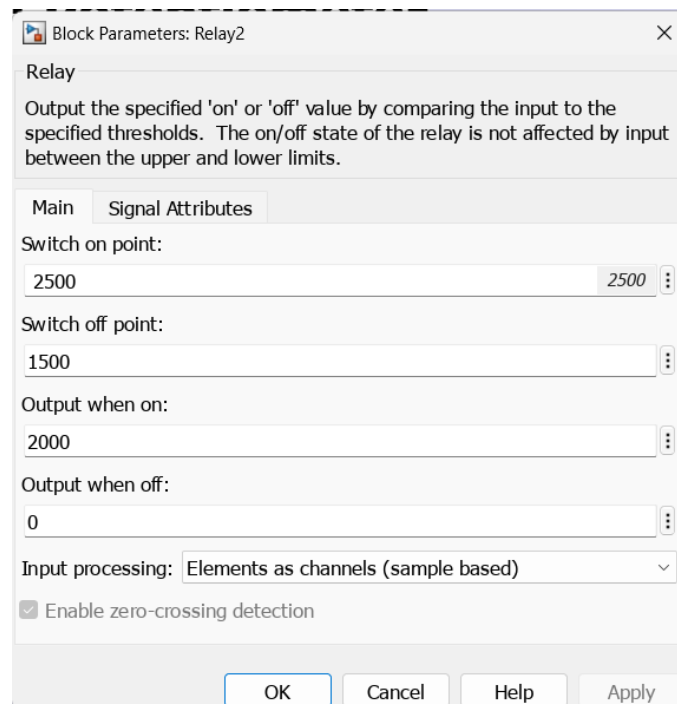
Window length: 50

Overlap length: 49

☐ Allow arbitrary frame length for fixed-size input signals

Simulate using: Interpreted execution

OK Cancel Help Apply



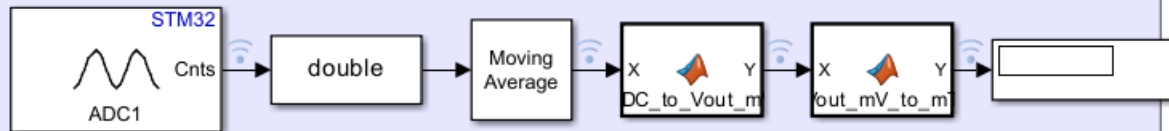
ทั้งหมดนี้เป็นการ Set up สำหรับการบันทึกค่าสัญญาณจาก Linear Potentiometer และ Rotary Potentiometer โดยหลังจากได้สัญญาณจากเซนเซอร์มาแล้ว ได้นำสัญญาณมาเข้าบล็อก Moving Average เพื่อให้สัญญาณที่ได้จาก Potentiometer มีความเสถียรมากยิ่งขึ้น หลังจากนั้นมีการต่อบล็อก Relay เพื่อทดลองการทำ Schmitt trigger ว่าเป็นอย่างไร

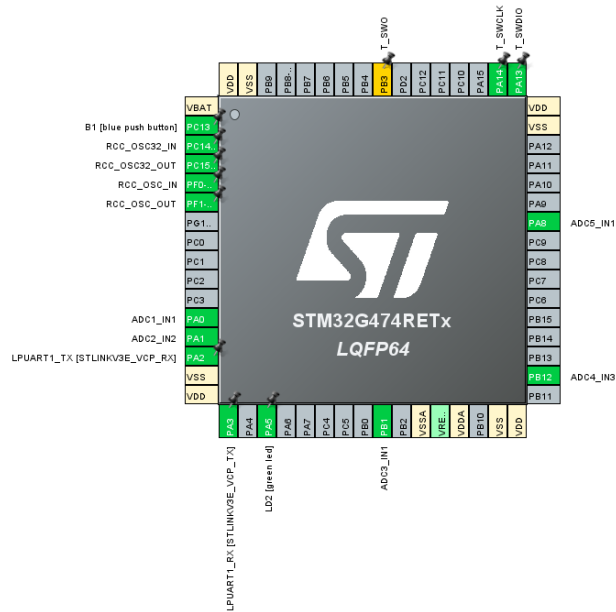
การ Set up STM32CubeMX ไม่ได้เปลี่ยนแปลงจากที่ได้รับมา

Lab 1.3: Magnetic Sensor

Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

(connect analog pin to PA0)





Block Parameters: Moving Average1

Moving average

Compute moving average

[Source code](#)

Parameters

Method: Sliding window

☒ Specify window length

Window length: 200

Overlap length: 199

☐ Allow arbitrary frame length for fixed-size input signals

Simulate using: Interpreted execution

OK Cancel Help Apply

```

function Y = ADC_to_Vout_mV(X)
% ADC_to_Vout_mV: Converts Raw ADC Count (X) to Output Voltage (Y) in millivolts (mV).
%
% X: Input Raw ADC Count (0 to 4095)
% Y: Output Voltage (Vout) in mV

%% Define ADC Constants
ADC_Max_Count = 4095;
V_Ref = 3.3; % Volts

%% 1. Convert Count to Voltage (V)
Vout_V = (X / ADC_Max_Count) * V_Ref;

%% 2. Convert Volts to Millivolts (Y)
Y = Vout_V * 1000; % Output in mV

end

```

```

function Y = Vout_mV_to_mT(X)
% Vout_mV_to_mT: Calculates Magnetic Flux Density (B) in mT.
%
% X: Input Vout in mV (Output from Function 1)
% Y: Output Magnetic Flux Density (B) in mT

%% Define Constants (All in mV and mV/mT)
VQ = 1650; % mV
Sensitivity = 60; % mV/mT

% Thermal Term (1 + STC*(TA - 25)) simplifies to 1 since TA = 25

%% 1. Calculate Magnetic Flux Density (B)
% Rearranged Equation: B = (Vout - VQ) / Sensitivity
% Units: (mV - mV) / (mV/mT) = mT

B = (X - VQ) / Sensitivity;

%% 2. Assign Output
Y = B;
end

```

ทั้งหมดนี้เป็นการ Set up สำหรับการบันทึกค่าสัญญาณจาก Magnetic Sensor โดยหลังจากได้สัญญาณจากเซนเซอร์มาแล้ว ได้นำสัญญาณมาเข้าบล็อก Moving Average เพื่อให้สัญญาณที่ได้จาก Magnetic Sensor มีความเสถียรมากยิ่งขึ้น หลังจากนั้นมีการต่อบล็อก Matlab Function1 เพื่อแปลงสัญญาณ Analog ที่ได้เป็น Voltage Output (mV) ดังโค้ดข้างต้นและนำ Voltage Output (mV) ที่ได้ไปเข้าบล็อก Matlab Function2 ดังโค้ดข้างต้นเพื่อนำค่า mV ที่ได้ไปคำนวณด้วยสูตร

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

เพื่อหาค่า Magnetic Flux Density(mT)

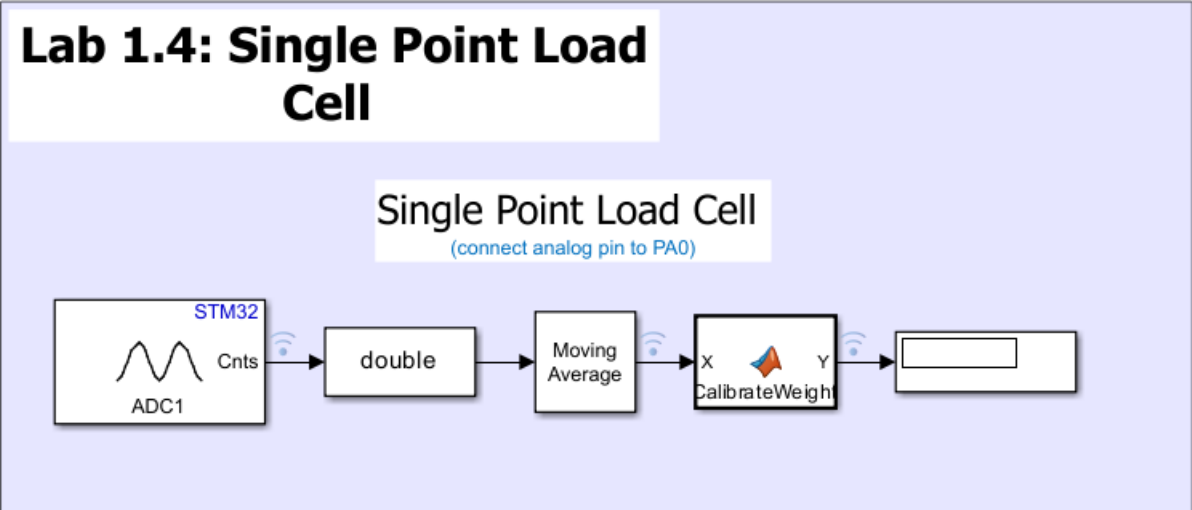
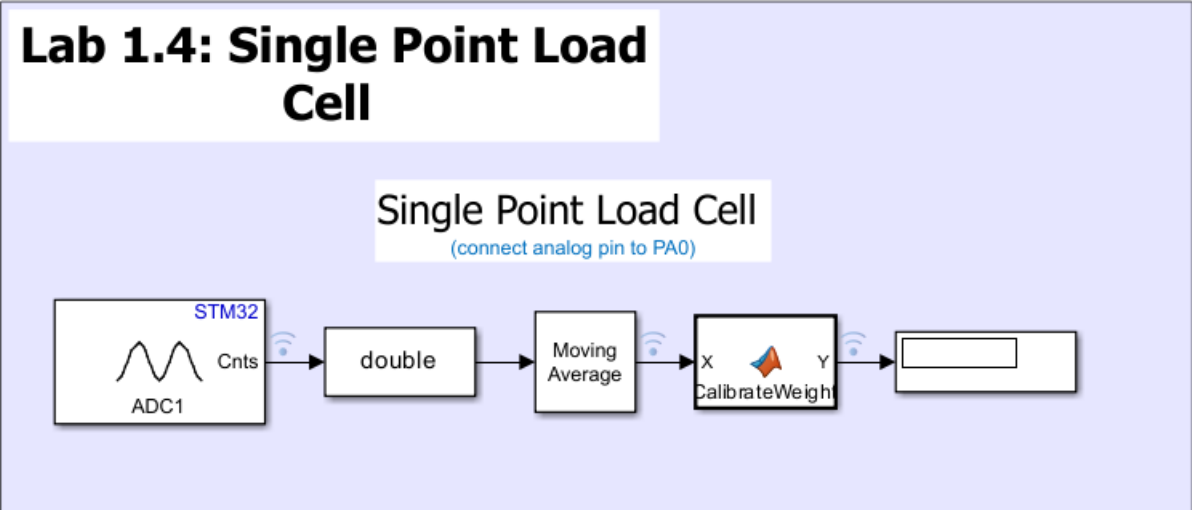
การ Set up STM32CubeMX ไม่ได้เปลี่ยนแปลงจากที่ได้รับมา

Lab 1.4: Single Point Load Cell

Single Point Load Cell
(connect analog pin to PA0)

```
graph LR; ADC1[STM32 ADC1] -- Cnts --> double[double]; double --> MA[Moving Average]; MA -- X --> CalibrateWeight[CalibrateWeight]; CalibrateWeight -- Y --> Display[Display];
```

The diagram illustrates a data processing pipeline for a single-point load cell measurement. It begins with an STM32 ADC1 block, which outputs a sine wave and a 'Cnts' signal. This signal is then processed by a 'double' block, followed by a 'Moving Average' block. The output of the moving average is an 'X' signal, which is fed into a 'CalibrateWeight' block. The 'CalibrateWeight' block also receives a 'Y' signal and outputs a 'Y' signal to a final display block.



Lab 1.4: Single Point Load Cell

Single Point Load Cell
(connect analog pin to PA0)

```
graph LR; ADC1[STM32 ADC1] -- Cnts --> double[double]; double --> MA[Moving Average]; MA -- X --> CalibrateWeight[CalibrateWeight]; CalibrateWeight -- Y --> Display[Display];
```

The diagram illustrates a signal processing pipeline for a single-point load cell measurement. It begins with an STM32 ADC1 block, which outputs a count value (Cnts). This value is then passed through a 'double' block, followed by a 'Moving Average' block. The output of the moving average is then processed by a 'CalibrateWeight' block, which also receives a reference weight (X) and outputs a final weight value (Y). The final output is displayed on a screen.

```

function Y = CalibrateWeight(X)
% CalibrateWeight: Converts Raw Digital Counts (X) to Calculated Weight (Y) in grams (g)
%
% Y = a6*X^6 + a5*X^5 + a4*X^4 + a3*X^3 + a2*X^2 + a1*X + a0
%
% X: Input Raw Digital Counts (A/D) - This is the Voltage Input (V)
% Y: Output Calculated Weight (g)

% =====
% COEFFICIENTS FROM POLYNOMIAL FIT (Degree 6) - (P_poly)
% Coefficients are set according to the equation provided:
% Y = -96.349*X^6 + 795.47*X^5 - 2559*X^4 + 4086.4*X^3 - 3421.8*X^2 + 5445.5*X - 171.2
% =====

a6 = -96.349;    % P_poly(1)
a5 = 795.47;    % P_poly(2)
a4 = -2559;     % P_poly(3)
a3 = 4086.4;    % P_poly(4)
a2 = -3421.8;   % P_poly(5)
a1 = 5445.5;    % P_poly(6)
a0 = -171.2;    % P_poly(7)

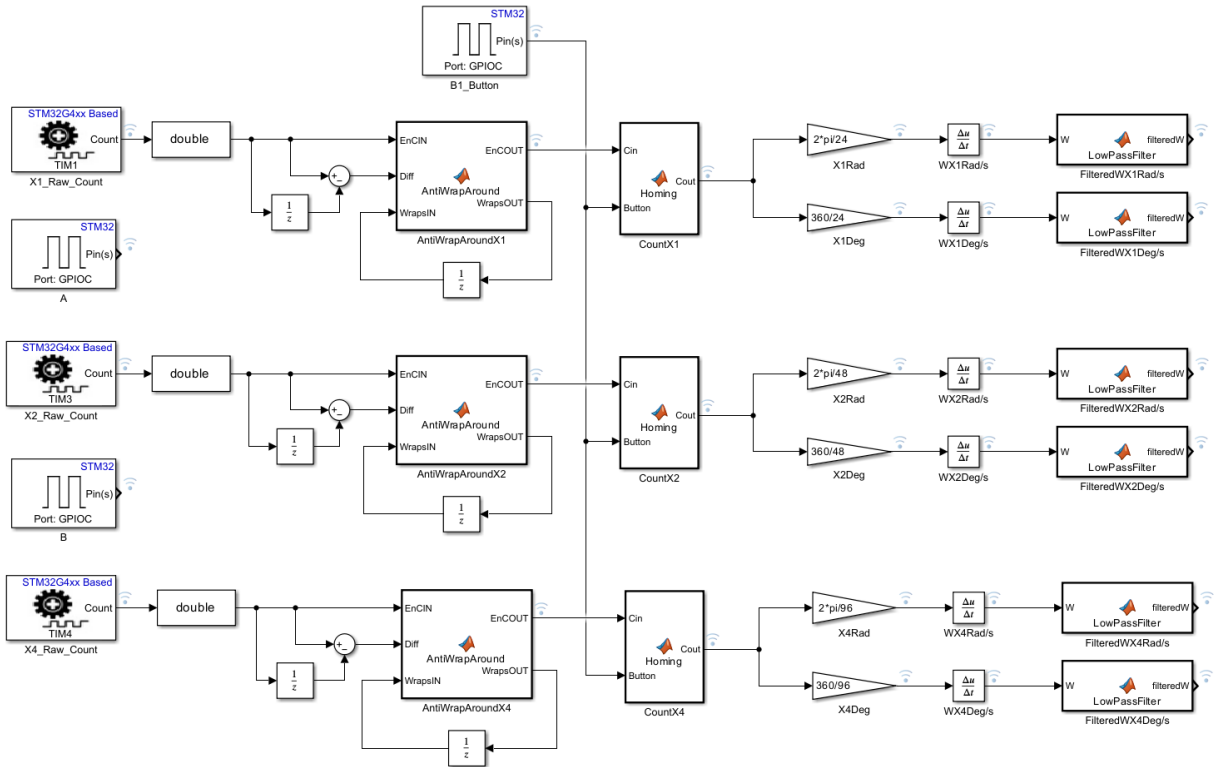
% =====

% Calculate the polynomial output (Weight in grams)
Y = a6*X.^6 + a5*X.^5 + a4*X.^4 + a3*X.^3 + a2*X.^2 + a1*X + a0;
end

```

ทั้งหมดนี้เป็นการ Set up สำหรับการบันทึกค่าสัญญาณจาก Single Point Loadcell โดยหลังจากได้สัญญาณจากเซนเซอร์มาแล้ว ได้นำสัญญาณมาเข้าบล็อก Moving Average เพื่อให้สัญญาณที่ได้จาก Loadcell มีความเสถียรมากยิ่งขึ้น หลังจากนั้นมีการต่อบล็อก Matlab Function เพื่อแปลงสัญญาณ Analog ที่ได้เป็นน้ำหนักที่วัดได้จาก Loadcell (g)

การ Set up STM32CubeMX ไม่ได้เปลี่ยนแปลงจากที่ได้รับมา



การหลักทำงาน Simulink สำหรับการอ่านค่าจาก Encoder

1. แปลงประเภทข้อมูลจาก QEI ที่เป็น 16 bit เป็นชนิดตัวแปรแบบ *double* แทน เพื่อให้สามารถนำค่าไปใช้งานต่อไปใน *Simulink* ได้
2. ผ่านฟังก์ชัน *Anti Wrap-Around* เพื่อไม่ให้เกิดการ *overflow* หรือ *Jump* ของข้อมูล
3. ผ่านฟังก์ชัน *Homing* เป็นการกำหนดจุดอ้างอิงสำหรับตำแหน่งเชิงมุมสัมผัส เมื่อมีการกดปุ่ม $B1$ ซึ่งอ่านค่ามาจากบล็อก *GPIO Digital Read*
4. นำแปลงเป็นตำแหน่งเชิงมุมในหน่วย *Rad* จากสูตร

$$\theta = \frac{Count}{CPR} \times 2\pi$$

หรือในหน่วยองศา

$$\theta = \frac{Count}{CPR} \times 360^\circ$$

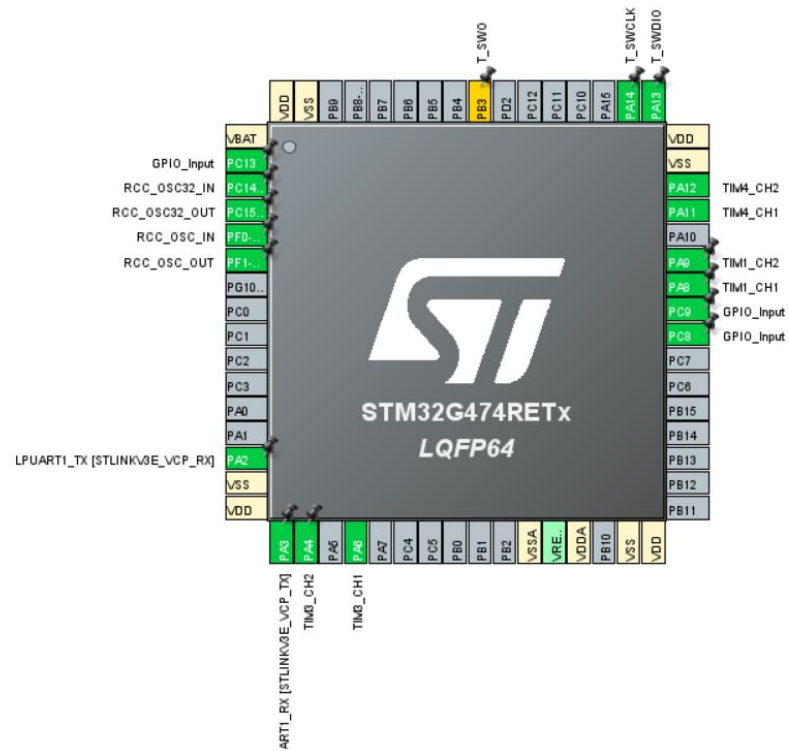
5. นำไปหาอนุพันธ์เพื่อหาตำแหน่งเชิงมุม

```
Encoder_reader_simulink ▶ AntiWrapAroundX1
1 function [EnCOUT, WrapsOUT] = AntiWrapAround(EnCIN, Diff, WrapsIN)
2
3 MAX_COUNT = 65536;
4 HALF_COUNT = MAX_COUNT / 2;
5
6 WrapsOUT = WrapsIN;
7
8 if Diff <= -HALF_COUNT
9     WrapsOUT = WrapsIN + 1;
10 elseif Diff >= HALF_COUNT
11     WrapsOUT = WrapsIN - 1;
12 end
13
14 EnCOUT = EnCIN + WrapsOUT * MAX_COUNT;
```

Anti Wrap-Around Function เป็นการนับว่าค่าเกิน 65535 หรือติดลบเป็นจำนวนกี่ครั้ง และนำจำนวนครั้งมาคูณกับ 65535 และบวกเพิ่มไป เพื่อแก้การ Overflow ข้อมูลของการ Wrap-Around

```
Encoder_reader_simulink ▶ CountX1
1 function Cout = Homing(Cin, Button)
2
3 persistent prevButton offset isHomed
4
5 if isempty(prevButton)
6     prevButton = false;
7     offset = 0.0;
8     isHomed = false;
9 end
10
11 buttonPressed = (Button ~= 0);
12
13 if buttonPressed && ~prevButton
14     offset = Cin;
15     isHomed = true;
16 end
17
18 if isHomed
19     Cout = Cin - offset;
20 else
21     Cout = Cin;
22 end
23
24 prevButton = buttonPressed;
```

Homing Function เป็นการเซ็ตค่าตำแหน่งสัมพัทธ์ให้มีค่าเป็น 0 เมื่อมีการกดปุ่มเข้ามา



การตั้งค่า Pin ในโปรแกรม STM32CUBEMX