

LAB 1: Sensors

Name

- นาย ณัฐพงศ์ หวังจิ 67340500010
- นาย ชาราคิน ชอบทำกิจ 67340500021
- นางสาว วัชรนันท์ เจนพิพัฒน์ศิริกุล 67340500039

Objectives

- เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานของเซนเซอร์พื้นฐานและสามารถอธิบายการแปลงสัญญาณทางฟิสิกส์เป็นสัญญาณไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง
- เพื่อให้สามารถออกแบบและดำเนินการทดลองตามหลักวิทยาศาสตร์โดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์วัดได้อย่างเหมาะสมและปลอดภัย
- เพื่อให้ผู้เรียนสามารถใช้โปรแกรม MATLAB หรือ Simulink ในการเก็บ วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลจากเซนเซอร์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ
- เพื่อให้เข้าใจวิธีการกำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม รวมถึงการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในการทดลองเซนเซอร์
- เพื่อให้ผู้เรียนสามารถวิเคราะห์ เปรียบเทียบผลการทดลองกับข้อมูลเชิงทฤษฎีได้อย่างมีเหตุผล
- เพื่อให้สามารถสรุปผลการทดลองและนำเสนอข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ในรูปแบบรายงานได้อย่างถูกต้อง

1. Potentiometer

การทดลองที่ 1 การทดลองหาประเภทและศึกษาพฤติกรรมของ Potentiometer

จุดประสงค์

ระบุชนิดและสมบัติหลักของเซนเซอร์ Potentiometer ในชุดทดสอบ และตรวจสอบความเป็นเชิงเส้น (linearity) ของแต่ละชนิดเทียบกับมุมปรับ Knob Input ของ Potentiometer

1. วิเคราะห์ลักษณะการตอบสนองแรงดันเอาต์พุตของ Potentiometer ต่อการหมุน พร้อมอธิบายความต่างระหว่างเทเปอร์ต่าง ๆ (เชิงเส้น/ลอการิทึม ฯลฯ)
2. ออกแบบวงจร Schmitt Trigger ใน Simulink เพื่อแปลงสัญญาณ Analog จาก Potentiometer ให้เป็น Digital และตั้งค่า Upper/Lower Threshold ที่เหมาะสมสำหรับระบบ เพื่อลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน

สมมติฐาน

1. Potentiometer A series Taper นั้นมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นแบบ Linear, Potentiometer B series Taper นั้นมีแนวโน้มเป็นแบบ Logarithm และ Potentiometer C series Taper แนวโน้มเป็นแบบ Anti-Logarithm

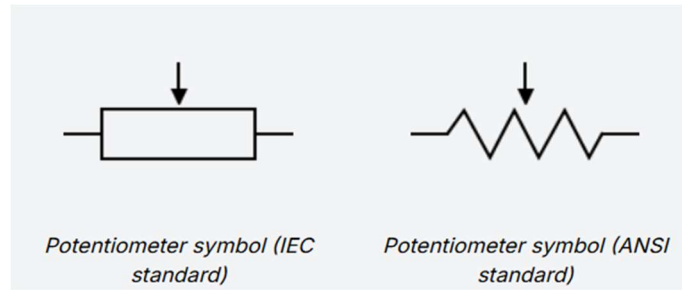
ตัวแปร

1. ตัวแปรต้น:
 - ช่วงมุม/ระยะที่ปรับ Knob Input ของ Potentiometer
 - ชนิดของ Potentiometer ที่ใช้ในการทดลอง
 - ค่ากำหนดวงจรดิจิทัล Upper Threshold และ Lower Threshold ของ Schmitt Trigger
2. ตัวแปรตาม:
 - ข้อมูล bit ค่าของการตอบสนองแรงดันเอาต์พุตของ Potentiometer ต่อการหมุน/เลื่อน
3. ตัวแปรควบคุม:
 - Input Voltage ที่ต่อเข้าบอร์ด
 - ทิศทางในการหมุน/เลื่อน
 - อัตราเก็บข้อมูล/การตั้งค่า Sampling ของระบบวัดใน Simulink

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลักการการทำงานของ Potentiometer

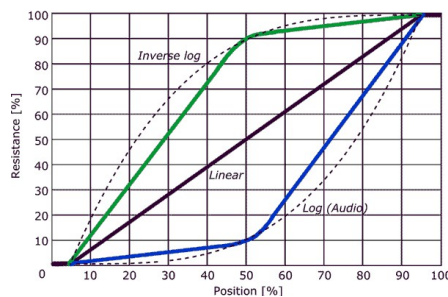
Potentiometer เป็นตัวต้านทานที่สามารถปรับค่าได้โดยใช้การหมุนหรือการเลื่อนกลไกทางกล ทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบที่ใช้ปรับค่าตัวต้านทานซึ่งมีกลไกการปรับเชิงกลที่ช่วยให้สามารถปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานได้ด้วยตนเอง Potentiometer ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานแบบแปรผัน โดยมีสัญลักษณ์ดังนี้



ภาพที่ 1 สัญลักษณ์ Potentiometer

โดย เทเปอร์ (Taper) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งทางกลกับอัตราส่วนความต้านทาน ซึ่งมี 3 ประเภทดังนี้

1. Linear Taper หรือ B Series Taper กราฟระหว่างตำแหน่งทางกลกับอัตราส่วนความต้านทานเป็นเส้นตรง มีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่คงที่
2. Log Taper หรือ Audio Taper หรือ A Series Taper กราฟระหว่างตำแหน่งทางกลกับอัตราส่วนความต้านทานไม่เป็นเส้นตรง มีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ อัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นแปรผันตามตำแหน่งทางกล
3. Anti-log Taper หรือ C Series Taper กราฟระหว่างตำแหน่งทางกลกับอัตราส่วนความต้านทานไม่เป็นเส้นตรง มีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ อัตราการเปลี่ยนแปลงลดลงแปรผกผันกับตำแหน่งทางกล



ภาพที่ 2 แนวโน้ม Potentiometer แต่ละเทเปอร์

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ต่อวงจร Potentiometer เข้ากับแหล่งจ่ายไฟ โดยต่อขากลางออกเป็น Output Voltage และป้อนเข้าช่อง ADC ของ Simulink ปรับ Sample Time = 0.2 วินาที
2. กำหนดให้ Rotary Potentiometer แต่ละตัวมีชื่อโดยเรียงจากบนลงล่าง ดังนี้ Rotary Potentiometer A , Rotary Potentiometer B , Rotary Potentiometer C และ กำหนดให้ Linear Potentiometer แต่ละตัวมีชื่อโดยเรียงจากบนลงล่างดังนี้ Linear Potentiometer A , Linear Potentiometer B ตามลำดับ ดังรูป



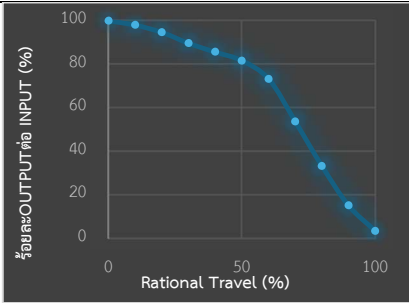
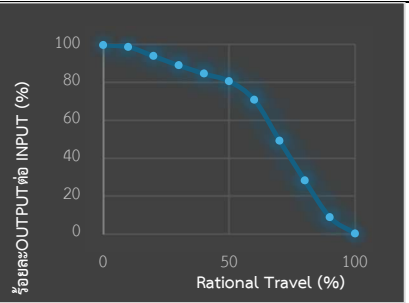
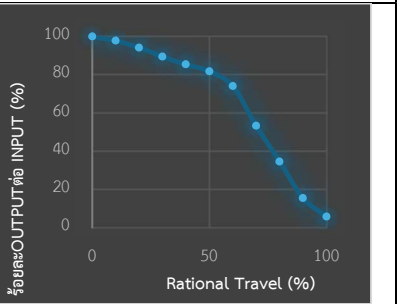
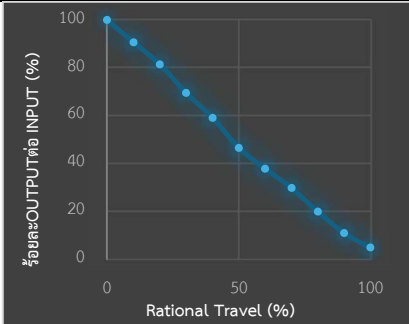
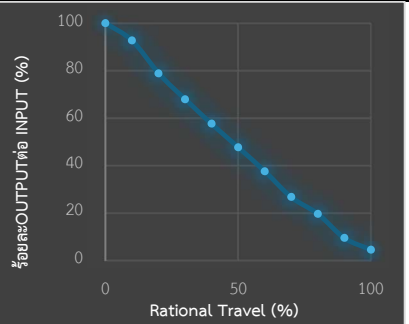
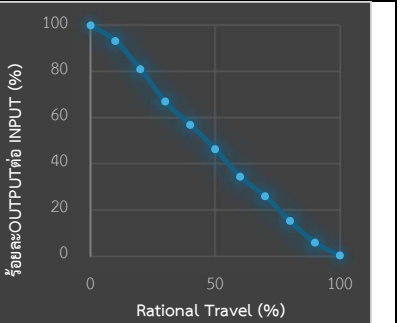
ภาพที่ 3 กำหนดชื่อเรียก Potentiometer

- หมุนปรับค่า Potentiometer เพิ่มขึ้นทีละ 10% ของระยะทั้งหมด (จาก 0% ถึง 100%) ในแต่ละช่วงการปรับ จะเก็บข้อมูลจำนวน 1000 ค่า (สัญญาณ ADC 1000 sample points)
- นำข้อมูลแรงดันที่ได้จาก ADC มาประมวลผลด้วย การหาค่าเฉลี่ย ทำซ้ำข้อ 3 – 4 จำนวน 3 ครั้ง
- หาค่าเฉลี่ยของแต่ละช่วงจากทั้ง 3 ครั้ง นำเขียนกราฟโดยให้แกน Y คือค่าร้อยละของ Output Voltage ต่อ Input Voltage และแกน X คือ ร้อยละของช่วงทั้งหมดที่หมุน/เลื่อน Potentiometer ไป
- นำกราฟค่าเฉลี่ยของ Potentiometer แต่ละตัวที่ได้มาเปรียบเทียบกับ Datasheet ของแต่ละ Type เพื่อจำแนกประเภทของ Sensors

ผลการทดลอง

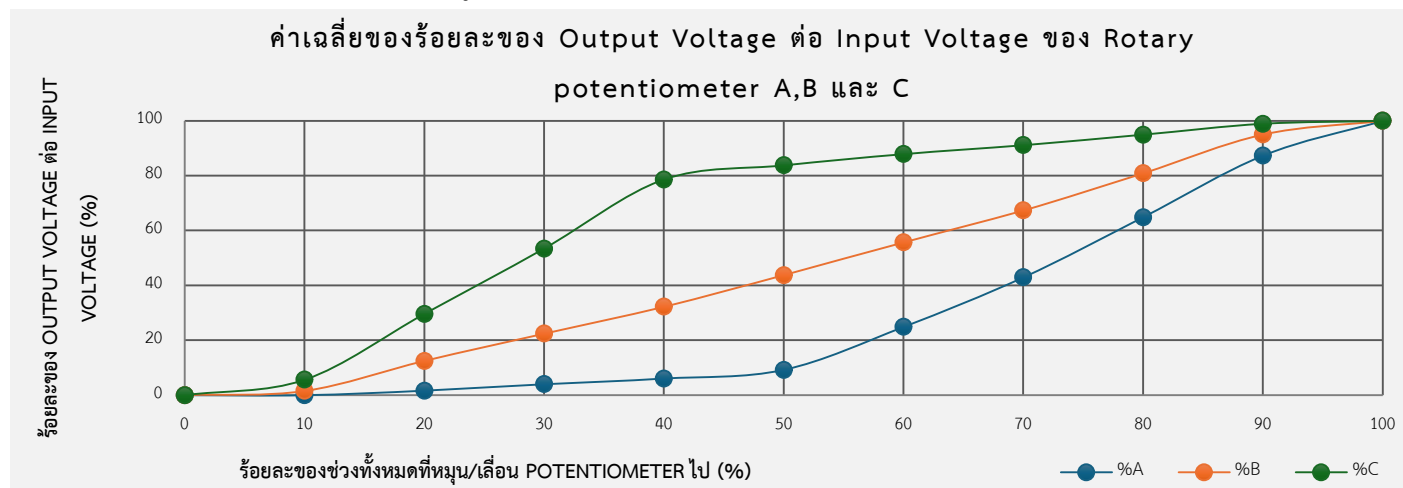
พบว่ากราฟระหว่างร้อยละของ Output Voltage ต่อ Input Voltage และร้อยละของช่วงทั้งหมดที่หมุน/เลื่อน จากการทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง ของ Rotary potentiometer A,B,C และ Linear Potentiometer A,B เป็นดังตาราง

potentiometer	เก็บค่าครั้งที่1	เก็บค่าครั้งที่2	เก็บค่าครั้งที่3
Rotary potentiometer A			
Rotary potentiometer B			
Rotary potentiometer C			

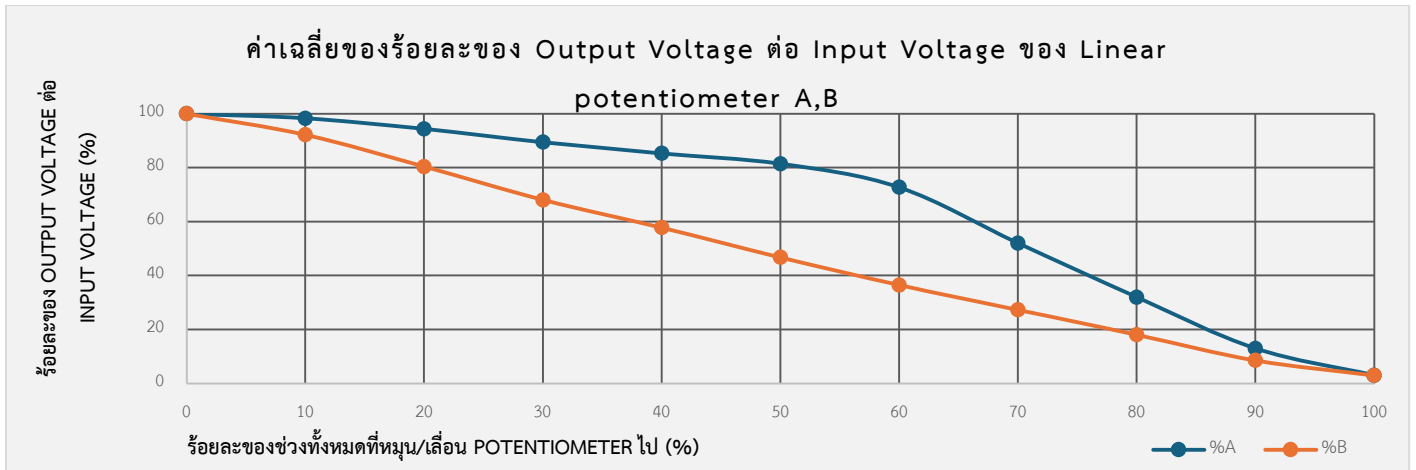
potentiometer	เก็บค่าครั้งที่1	เก็บค่าครั้งที่2	เก็บค่าครั้งที่3
Linear potentiometer A			
Linear potentiometer B			

ตารางที่ 1 ตารางผลการเก็บค่า Potentiometer แต่ละตัว

เมื่อนำค่าที่ได้จากเก็บค่าทั้งสามครั้งของ Potentiometer แต่ละตัวมาเฉลี่ย และนำค่าที่เฉลี่ยเหล่านั้นมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยของร้อยละของ Output Voltage ต่อ Input Voltage ของ Rotary potentiometer A,B และ C กับ ร้อยละของช่วงทั้งหมดที่หมุน/เลื่อน Potentiometer ไป (%) หรือ Rational Travel และสร้างกราฟความสัมพันธ์ Linear potentiometer A และ B ได้ดังรูปต่อไปนี้



ภาพที่ 4 กราฟ ค่าเฉลี่ยของร้อยละของ Output Voltage ต่อ Input Voltage ของ Rotary potentiometer A,B และ C



ภาพที่ 5 กราฟค่าเฉลี่ยของร้อยละของ Output Voltage ต่อ Input Voltage ของ Linear potentiometer A,B

สรุปผลการทดลอง

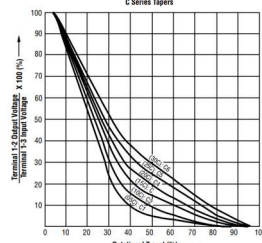
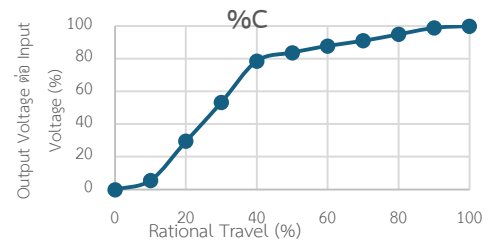
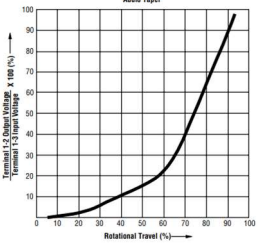
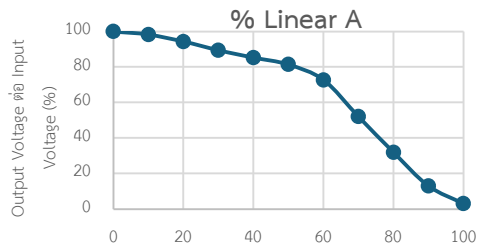
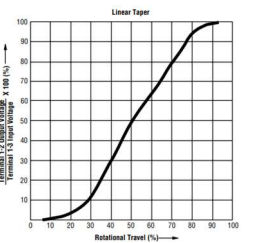
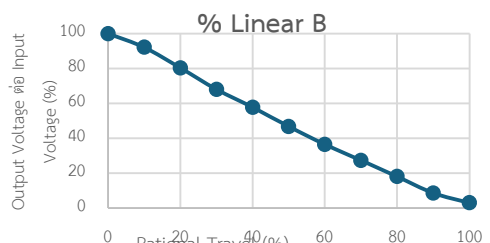
จากการทดลองพบว่า การจากเปรียบเทียบแนวโน้มของกราฟพบว่า Rotary Potentiometer A, Rotary Potentiometer B, Rotary Potentiometer C เป็นเทเปอร์ประเภท A, B, C ตามลำดับ และ Linear Potentiometer A, Linear Potentiometer B เป็นเทเปอร์ประเภท Audio และ Linear ตามลำดับ

และพบว่า Potentiometer A series Taper แนวโน้มมีลักษณะเป็นกราฟ Logarithm, Potentiometer B series Taper แนวโน้มมีลักษณะเป็นกราฟ Linear และ Potentiometer C series Taper แนวโน้มมีลักษณะเป็นกราฟ Anti-Logarithm

อภิปรายผล

จากการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับ Data sheet ได้ผลดังตาราง

เทเปอร์ของ Potentiometer	กราฟจาก Datasheet	กราฟจากการทดลอง	คำอธิบาย
Rotary Potentiometer A Series Tapers			อัตราการส่วนของ Output ต่อ Input ในช่วงแรกนั้นจะเพิ่มอย่างช้าๆ แต่เมื่อ Ration travel เพิ่มขึ้น อัตราส่วนก็จะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าในช่วงแรก ซึ่งเป็นแนวโน้มแบบ Logarithm
Rotary Potentiometer B Series Tapers			อัตราการเปลี่ยนแปลงของกราฟมีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ แนวโน้มของกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง

ประเภทของ Potentiometer	กราฟจาก Datasheet	กราฟจากการทดลอง	คำอธิบาย
Rotary Potentiometer C Series Tapers			อัตราการส่วนของ Output ต่อ Input ในช่วงแรกนั้นจะเพิ่มอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อ Ration travel เพิ่มขึ้น อัตราส่วนก็จะลดลงช้ากว่าในช่วงแรก ซึ่งเป็นแนวโน้มแบบ Anti-Logarithm
Linear Potentiometer Audio Tapers			อัตราการส่วนของ Output ต่อ Input ในช่วงแรกนั้นจะลดลงอย่างช้าๆ แต่เมื่อ Ration travel เพิ่มขึ้น อัตราส่วนก็จะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าในช่วงแรก ซึ่งเป็นแนวโน้มแบบ Logarithm
Linear Potentiometer Linear Tapers			อัตราการเปลี่ยนแปลงของกราฟมีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ แนวโน้มของกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับ Data sheet

ข้อเสนอแนะ

ควรเพิ่มรอบในการเก็บค่ามากขึ้นเพื่อให้ค่าที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้น

อ้างอิง

- <https://th.mouser.com/datasheet/3/40/1/PDB18.pdf>
- <https://th.mouser.com/datasheet/3/40/1/pta.pdf>
- <https://www.digikey.co.th/th/articles/the-complete-guide-to-potentiometers?srltid=AfmBOOpq466AmRoJnavDMtZLEb88f0c6CaxbJirj8Ubsvu2Qw2OBl1j>
- <https://eepower.com/resistor-guide/resistor-types/potentiometer/>
- <https://eepower.com/resistor-guide/resistor-types/potentiometer-taper/>

การทดลองที่ 2 ออกแบบวงจร Schmitt Trigger ใน Simulink

จุดประสงค์

1. ออกแบบวงจร Schmitt Trigger ใน Simulink เพื่อแปลงสัญญาณ Analog จาก Potentiometer ให้เป็น Digital และตั้งค่า Upper/Lower Threshold ที่เหมาะสมสำหรับระบบ เพื่อลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน

สมมติฐาน

1. วงจร Schmitt Trigger ที่ตั้งค่า Upper Threshold อยู่ที่ 75% ของแรงดันสูงสุด และ Lower Threshold อยู่ที่ 25% ของแรงดันสูงสุด สามารถนำมาใช้เพื่อแปลงสัญญาณ Analog ให้เป็น Digital ได้
2. วงจร Schmitt Trigger สามารถใช้ได้กับ Potentiometer ทุกเทเปอร์

ตัวแปร

1. ตัวแปรต้น:
 - ค่าสัญญาณ Input เข้าวงจร Schmitt Trigger จาก Potentiometer ชนิดต่างๆ
2. ตัวแปรตาม:
 - กราฟผลลัพธ์หลังผ่านวงจร Schmitt Trigger
3. ตัวแปรควบคุม:
 - ค่ากำหนด Upper Threshold และ Lower Threshold ของวงจร Schmitt Trigger

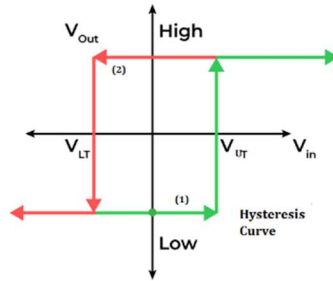
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วงจร Schmitt Trigger

วงจร Schmitt Trigger เป็นวงจรที่แปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital ซึ่งสามารถนำมาใช้เพื่อลด noise จาก สัญญาณ Input โดยใช้ hysteresis curve ซึ่งใช้ค่า threshold voltages สองค่าคือ upper threshold voltage (VUT) and lower threshold voltage (VLT) ซึ่งเป็นค่าที่จะใช้เพื่อเป็นเกณฑ์ในการ Trigger เปลี่ยนสถานะของ output

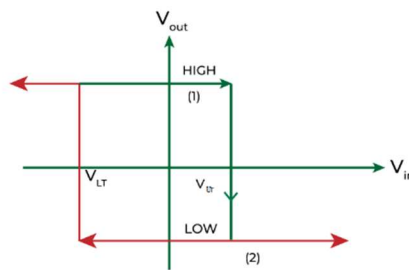
Transfer Characteristic ของ Schmitt Trigger

1. Non-Inverting Schmitt Trigger คือ เมื่อค่าสัญญาณ Input จะต่อเข้ากับ +ve terminal ของ Op-Amp และขา ground ต่อเข้ากับ -ve terminal ของ Op-Amp โดยหากความดันขาเข้านั้นมากกว่า upper threshold voltage (VUT) ความดันขาออกจะขึ้นเป็น HIGH และจะเป็น LOW ก็ต่อเมื่อความดันขาเข้านั้นน้อยกว่า lower threshold voltage (VLT)



ภาพที่ 6 Non-Inverting Schmitt Trigger

2. Inverting Schmitt Trigger เมื่อค่าสัญญาณ Input จะต่อเข้ากับ -ve terminal ของ Op-Amp และขา ground ต่อเข้ากับ +ve terminal ของ Op-Amp โดยหากความดันขาเข้านั้นน้อยกว่า upper threshold voltage (V_{UT}) ความดันขาออกจะขึ้นเป็น HIGH และจะเป็น LOW ก็ต่อเมื่อความดันขาเข้านั้นมากกว่า lower threshold voltage (V_{LT})



ภาพที่ 7 Inverting Schmitt Trigger

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ตั้งค่า Upper Threshold อยู่ที่ 75% ของแรงดันสูงสุด (มีค่า 2.475 V) และ Lower Threshold อยู่ที่ 25% ของแรงดันสูงสุด (มีค่า 0.825 V)
2. ต่อบอร์ดเข้ากับโปรแกรม และค่อยๆปรับ Potentiometer ให้เปลี่ยนแปลงค่า
3. บันทึกผล และทำซ้ำโดยเปลี่ยน Potentiometer

ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองกับ Potentiometer ทั้ง 5 แบบ ได้ผลดังตารางต่อไปนี้

เทเปอร์ Potentiometer	กราฟผลลัพธ์
Rotary Potentiometer A Series Tapers	<p>กราฟเปรียบเทียบก่อนและหลังเข้าวงจร Schmitt Trigger</p> <p>Value</p> <p>Sample Time</p> <p>สัญญาณก่อนเข้าวงจร Schmitt Trigger</p> <p>สัญญาณหลังเข้าวงจร Schmitt Trigger</p> <p>upper threshold</p> <p>lower threshold</p>
Rotary Potentiometer B Series Tapers	<p>กราฟเปรียบเทียบก่อนและหลังเข้าวงจร Schmitt Trigger</p> <p>Value</p> <p>Sample Time</p> <p>สัญญาณก่อนเข้าวงจร Schmitt Trigger</p> <p>สัญญาณหลังเข้าวงจร Schmitt Trigger</p> <p>upper threshold</p> <p>lower threshold</p>
Rotary Potentiometer C Series Tapers	<p>กราฟเปรียบเทียบก่อนและหลังเข้าวงจร Schmitt Trigger</p> <p>Value</p> <p>Sample Time</p> <p>สัญญาณก่อนเข้าวงจร Schmitt Trigger</p> <p>สัญญาณหลังเข้าวงจร Schmitt Trigger</p> <p>upper threshold</p> <p>lower threshold</p>
Linear Potentiometer Audio Tapers	<p>กราฟเปรียบเทียบก่อนและหลังเข้าวงจร Schmitt Trigger</p> <p>Value</p> <p>Sample Time</p> <p>สัญญาณก่อนเข้าวงจร Schmitt Trigger</p> <p>สัญญาณหลังเข้าวงจร Schmitt Trigger</p> <p>upper threshold</p> <p>lower threshold</p>
Linear Potentiometer Linear Tapers	<p>กราฟเปรียบเทียบก่อนและหลังเข้าวงจร Schmitt Trigger</p> <p>Value</p> <p>Sample Time</p> <p>สัญญาณก่อนเข้าวงจร Schmitt Trigger</p> <p>สัญญาณหลังเข้าวงจร Schmitt Trigger</p> <p>upper threshold</p> <p>lower threshold</p>

ตารางที่ 3 กราฟเปรียบเทียบก่อนและหลังเข้าวงจร Schmitt Trigger

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าวงจร Schmitt Trigger ที่ตั้งค่า Upper Threshold อยู่ที่ 75% ของแรงดันสูงสุด และ Lower Threshold อยู่ที่ 25% ของแรงดันสูงสุด สามารถนำมาใช้เพื่อแปลงสัญญาณ Analog ให้เป็น Digital ได้ และการตั้งค่าวงจร Schmitt Trigger นี้สามารถใช้ได้กับ Potentiometer ทุกเทเปอร์

อภิปรายผล

เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้และผลลัพธ์ที่ได้นั้นตรงตามหลักการที่ได้สืบค้นมาข้างต้น

ข้อเสนอแนะ

เพิ่มการทดลองเปลี่ยนค่า Upper Threshold และ Lower Threshold เพื่อหาค่าที่มีความเหมาะสมในการใช้วงจร Schmitt Trigger

อ้างอิง

- <https://www.geeksforgeeks.org/electronics-engineering/schmitt-trigger/>
- <https://www.mathworks.com/help/sps/ref/schmitttrigger.html>

2. Incremental Encoder

การทดลองที่ 1 การทดลองเพื่อสังเกตพฤติกรรมของEncoder

จุดประสงค์

1. เพื่อวัดและคำนวณ Pulses Per Revolution (PPR) และคำนวณ Angular Resolution (Degrees/ Pulse)
2. เพื่อวิเคราะห์ความต่างของสัญญาณที่ได้รับจากการอ่าน X1, X2 และ X4
3. เพื่อวิเคราะห์ Phase Relationship ของสัญญาณ A, B
4. เพื่อวิเคราะห์สัญญาณเมื่อหมุนทิศทาง CW และ CCW
5. เพื่อวิเคราะห์ผลของความเร็วในการหมุนต่อคุณภาพสัญญาณที่ได้จากEncoder
6. เพื่อแปลง Raw Counts เป็น Relative Position (Pulses), Angular Position (Radians) และ Angular Velocity (rad/s)
7. เพื่อออกแบบและเขียนโปรแกรม Homing Sequence

สมมติฐาน

1. ค่า PPR ของ AMT103-V คือ 2048 PPR และ PEC11R-4220F-N0024 คือ 24 PPR
2. ค่า Pulse X2 จะอ่านค่า Pulse ได้มากกว่า X1 2เท่า และ X4 จะอ่านค่า Pulse ได้มากกว่า X1 4เท่า
3. Phase ของ A และ B มี Phase shift อยู่ที่ 90°
4. ทิศ CW ขอบขาขึ้นของ A B จะเป็น 0 และ ทิศ CCW ขอบขาขึ้นของ A B จะเป็น 1
5. สัญญาณที่ได้จาก Encoder คุณภาพของสัญญาณจะลดลงเมื่อความเร็ว input เพิ่มขึ้น

ตัวแปร

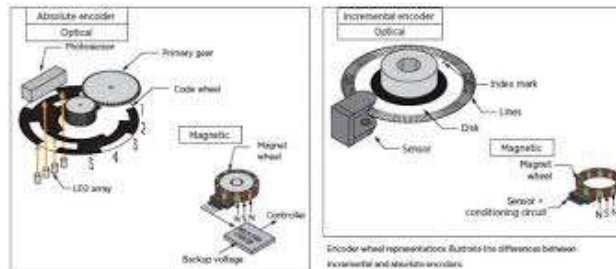
1. ตัวแปรต้น:
 - ทิศทางการหมุนKnob input
 - ความเร็วในการปรับKnob Input ของ Encoder
2. ตัวแปรตาม:
 - สัญญาณoutputของEncoder
3. ตัวแปรควบคุม:
 - สภาพแวดล้อมที่ใช้เก็บข้อมูล
 - ชนิดของEncoder
 - Input Voltage ที่ต่อเข้าบอร์ด

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. พื้นฐานความรู้เรื่อง Incremental Encoder

- หลักการทำงานของ Incremental Encoder

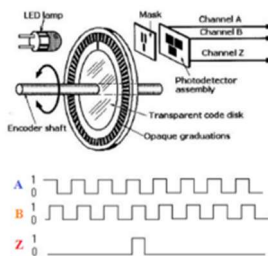
ใช้หลักการเมื่อมีการหมุนของแกนเพลลา จะทำให้มีสัญญาณเอาต์พุตที่เป็นสัญญาณลูกคลื่นพัลส์สี่เหลี่ยม (Square wave) มี 3 Tracks คือ A , B , Z โดยจะสัมพันธ์กับระยะการเคลื่อนที่และตำแหน่งสัญญาณเอาต์พุตของ Encoder A และ B มีมุมที่ห่างกัน 90 องศา ทางไฟฟ้า ส่วน Z จะมีสัญญาณ 1 พัลส์ ต่อ 1 รอบ เพื่อเช็คทิศทางการหมุนของมอเตอร์



ภาพที่ 8 Incremental Encoder

- ความแตกต่างระหว่าง Incremental และ Absolute Encoder

Incremental Encoder ให้สัญญาณเป็นพัลส์เพื่อนับการเคลื่อนที่ จึงต้องอ้างอิงจุดเริ่มต้นใหม่ทุกครั้งหลังปิดเครื่อง ส่วน Absolute Encoder ให้รหัสตำแหน่งเฉพาะสำหรับทุกองศาการหมุน ทำให้รู้ตำแหน่งได้ทันทีแม้หลังปิดเครื่อง เหมาะกับงานวัดตำแหน่งที่ต้องการความแม่นยำสูงและไม่ต้องการรีเซ็ตค่าใหม่



ภาพที่ 9 Absolute Encoder

- คุณลักษณะเฉพาะ : Pulses Per Revolution (PPR) และ Resolution

Pulses Per Revolution (PPR) คือจำนวนพัลส์ที่ Encoder สร้างได้ต่อการหมุนหนึ่งรอบ ขณะที่ Resolution คือจำนวนตำแหน่งย่อยที่ระบบสามารถแยกแยะได้ต่อรอบ ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการนับสัญญาณ (1X, 2X, หรือ 4X) ยิ่งค่า PPR และ Resolution สูง ความละเอียดของการวัดตำแหน่งยิ่งมาก

2. สัญญาณและการอ่านค่า

- ลักษณะสัญญาณ Quadrature (A, B)

สัญญาณ Quadrature (A, B) ของ Incremental Encoder เป็นสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมสองชุดที่มีเฟสต่างกัน 90° โดยสัญญาณ A นำหรือ B นำจะบอกทิศทางการหมุนของเพลา และจำนวนพัลส์ต่อรอบ (PPR) จะบอกความละเอียดในการตรวจนับ Encoder บางรุ่นยังมีสัญญาณ Z หนึ่งครั้งต่อรอบเพื่อใช้อ้างอิงตำแหน่งศูนย์

- Phase Relationship ระหว่างสัญญาณ A และ B

ใน Quadrature Encoder สัญญาณ A และ B จะมีเฟสต่างกัน 90° เรียกว่า Phase Relationship โดยเมื่อหมุนตามเข็มนาฬิกา (CW) สัญญาณ A จะนำ B อยู่ 90° ในทางกลับกันเมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกา (CCW) สัญญาณ B จะนำ A อยู่ 90° ความต่างเฟสนี้ใช้ระบุทิศทางการหมุนของเพลาและเพิ่มความละเอียดของการวัดตำแหน่งได้อย่างแม่นยำ

- การตรวจนับทิศทางการหมุนจาก Phase Shift

การตรวจนับทิศทางการหมุนของ Encoder อาศัยความต่างเฟส (Phase Shift) ระหว่างสัญญาณ A และ B ซึ่งต่างกัน 90° หากสัญญาณ A นำ B หมายถึงหมุนตามเข็มนาฬิกา (CW) แต่หาก B นำ A หมายถึงหมุนทวนเข็มนาฬิกา (CCW) ความสัมพันธ์ของเฟสนี้ช่วยให้ระบบสามารถระบุทิศทางและตำแหน่งการหมุนได้อย่างแม่นยำ

- รูปแบบการอ่าน Quadrature : X1, X2 และ X4

การอ่านสัญญาณ Quadrature มี 3 แบบคือ X1, X2 และ X4 โดยแตกต่างกันที่จำนวนขอบของสัญญาณ A และ B ที่ใช้ในการนับพัลส์ ในโหมด X1 จะนับเพียงขอบเดียวต่อคาบ ส่วน X2 จะนับสองขอบ และ X4 จะนับทุกขอบทั้งของ A และ B ทำให้ได้ความละเอียดสูงสุดถึง 4 เท่าของค่า Pulses Per Revolution (PPR)

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. เชื่อมบอร์ดเข้ากับโปรแกรม
2. หมุนknob inputของEncoderทั้ง2ชนิด 1รอบ และ บันทึกผล
3. ทำข้อ 2 ซ้ำ 5 ครั้ง
4. นำค่าPPRได้มาแทนสูตร $\text{Angular Resolution} = \frac{360}{ppr}$ เพื่อหาค่า Angular Resolution
5. หมุน knob inputของEncoderตามเข็มนาฬิกา และบันทึกผล
6. หมุน knob inputของEncoderทวนเข็มนาฬิกา และบันทึกผล
7. หมุนknob inputของEncoderด้วยความเร็วและบันทึกผล
8. หมุนknob inputของEncoderให้ช้าลงกว่าข้อที่1และบันทึกผล
9. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ได้มา

ผลการทดลอง

1. จากการทดลองจะสังเกตค่าPPRได้จากจำนวน Pulse ดังตารางต่อไปนี้

ครั้งที่	จำนวน Pulse	
	AMT103-V	PEC11R-4220F-N0024
1	2052	24
2	2047	24
3	2048	23
4	2048	24
5	2049	24

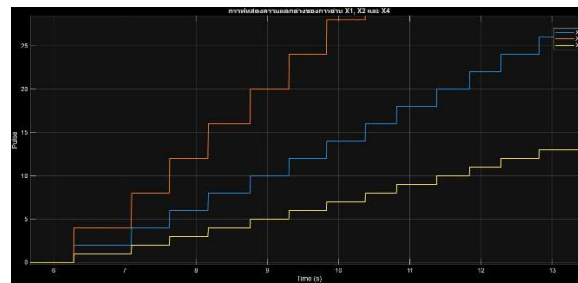
ตารางที่ 4 แสดงค่า Pulse/รอบของEncoder รุ่น AMT103-V และ PEC11R-4220F-N0024

จากการนำเข้าสู่สูตร $\text{Angular Resolution} = \frac{360}{ppr}$ จะได้ค่า Angular Resolution ดัง ตาราง

รุ่นของencoder	Angular Resolution (Degrees/ Pulse)		
	X1	X2	X4
AMT103-V	0.18	0.08	0.04
PEC11R-4220F-N0024	15	7.5	3.75

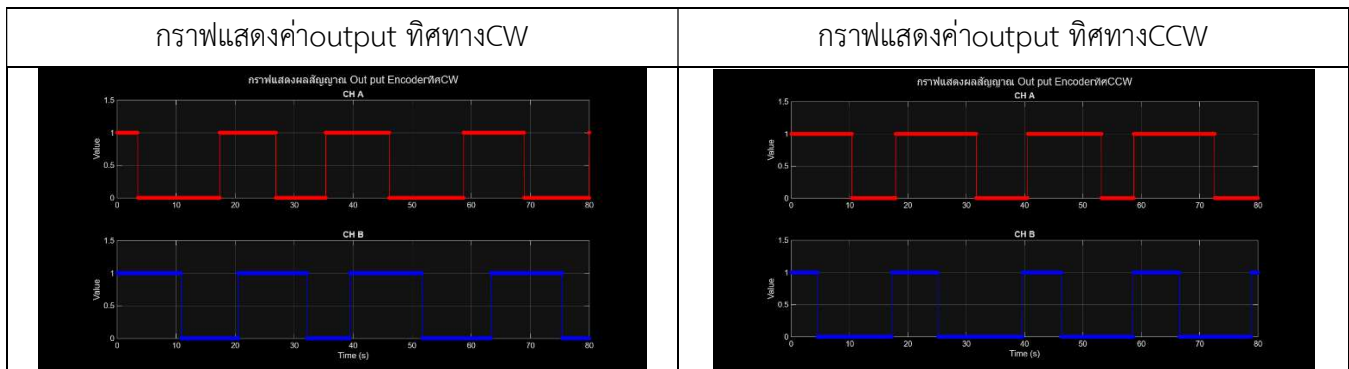
ตารางที่ 5 แสดงค่าประมาณ Angular ResolutionของEncoder รุ่น AMT103-V และ PEC11R-4220F-N0024

2. จากการอ่าน X1, X2 และ X4 จะได้output ออกมา นำมาplotกราฟได้ดังภาพต่อไปนี้



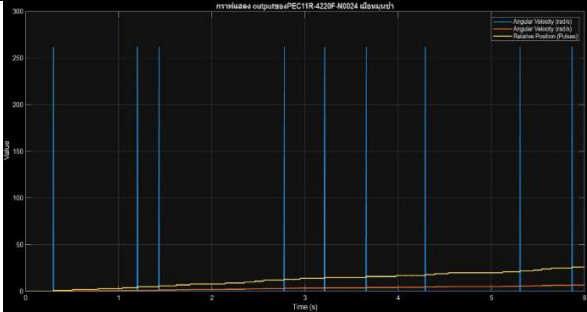
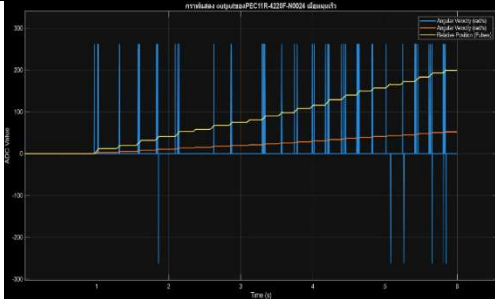
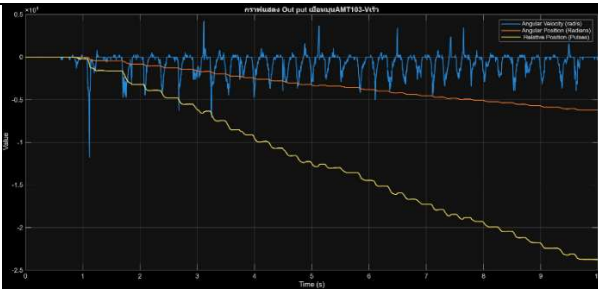
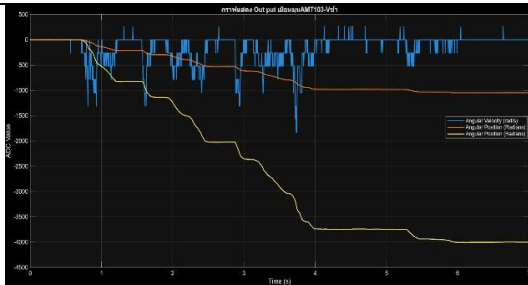
ภาพที่ 10 แสดงความแตกต่างของการอ่าน X1, X2 และ X4

3. จากการทดลองหมุน knob inputของEncoderตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาจะได้output ออกมา ดังตารางต่อไปนี้



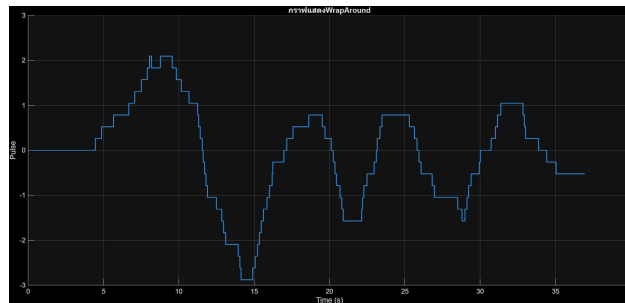
ตารางที่ 6 แสดงกราฟแสดงค่าoutput ทิศทางระหว่างCWและCCW

4. จากการทดลองหมุน knob inputของEncoder เร็วและช้า จะได้outputต่างกัน ดังตาราง ต่อไปนี้

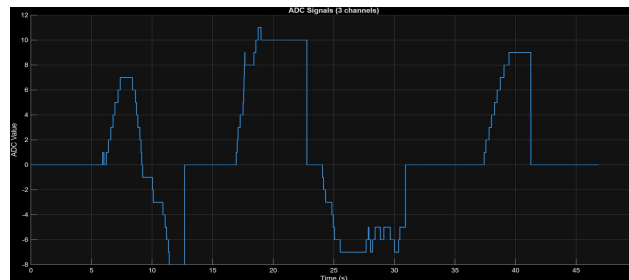
รุ่นEncoder	outputหมุนช้า	Outputหมุนเร็ว
PEC11R-4220F-N0024		
AMT103-V		

ตารางที่ 7 ตารางผลสัญญาณ Output เมื่อ knob inputของEncoder

5. การแสดง Wraparound และ Homing



ภาพที่ 11 Wraparound



ภาพที่ 12 Homing

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปผลได้ว่า

1. ค่า PPR ของ AMT103-V คือ 2048 PPR และ PEC11R-4220F-N0024 คือ 24 PPR
2. ค่า Pulse X2 จะอ่านค่า Pulse ได้มากกว่า X1 2เท่า และ X4 จะอ่านค่า Pulse ได้มากกว่า X1 4เท่า
3. Phase ของ A และ B มี Phase shift อยู่ที่ 90° ซึ่งตรงตามข้อมูลในเอกสารอ้างอิง
4. ทิศ CW ขอบขาขึ้นของ A B จะเป็น 0 และ ทิศ CCW ขอบขาขึ้นของ A B จะเป็น 1 เนื่องจาก Phase Shift
5. สัญญาณที่ได้จาก Encoder คุณภาพของสัญญาณจะลดลงเมื่อความเร็ว input เพิ่มขึ้น ตามค่าตารางที่ 7

อภิปรายผล

จากผลการทดลองในตารางที่4 พบว่าค่าPPR ของ AMT103-V ที่มีความใกล้เคียงกับค่าใน Datasheet มากที่สุดคือ 2048 PPR และ PEC11R-4220F-N0024 ที่มีความใกล้เคียงกับค่าใน Datasheet มากที่สุด คือ 24 PPR

จากการคำนวณค่า Pulse ที่ได้ในตารางที่ 5 พบว่าค่า Pulse X2 จะอ่านค่า Pulse ได้มากกว่า X1 2เท่า และ X4 จะอ่านค่า Pulse ได้มากกว่า X1 4เท่า

อ้างอิงจากเอกสารอ้างอิง Phase ของ A และ B มี Phase shift อยู่ที่ 90° ซึ่งเป็นอีกหนึ่งสมบัติของ Encoder ที่ Phase ของ A และ B จะแตกต่างกัน 90° และPhase shift ยังส่งผลให้ที่ทิศ CW ขอบขาขึ้นของ A B จะเป็น 0 และ ทิศ CCW ขอบขาขึ้นของ A B จะเป็น 1

จากตารางที่ 7 พบว่าสัญญาณที่ได้จาก Encoder คุณภาพของสัญญาณจะลดลงเมื่อความเร็ว input เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น บอร์ดจะไม่สามารถตรวจจับและแสดงผลได้ทัน ทำให้คุณภาพสัญญาณลดลง

ข้อเสนอแนะ

- นำ oscilloscope เข้ามาช่วยในการจับสัญญาณ เนื่องจาก oscilloscope สามารถจับสัญญาณที่มีความเร็วได้ดีกว่าบอร์ด ทำให้ได้สัญญาณที่คุณภาพไม่ตก

อ้างอิง

- https://www.pm.co.th/%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%AD%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%94/Increment_Und_Encoder_Und_%E0%B8%95%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%9A_Und_Absolute_Und_

Encoder_Und_%E0%B8%AD%E0%B8%A2%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B9%84%E0%B8%A3

- https://www.cncdrive.com/downloads/AMT103_datasheet.pdf
- <https://uk.rs-online.com/web/p/mechanical-rotary-encoders/1674655>

3. Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor

การทดลองที่ 1 สังเกตพฤติกรรมการตอบสนองของMagnetic Sensor

จุดประสงค์

1. ศึกษาหลักการของ Hall effect และพฤติกรรม Ratio metric Linear Hall Effect Magnetic Sensor (DRV5055)
2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Field Shielding และ Magnetic Flux Density
3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ Output ของ Magnetic Sensor และ Magnetic Flux Density
4. ศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองและความเป็น Linearity ของ Magnetic Sensor

สมมติฐาน

1. Magnetic Field Shielding จะส่งผลให้ Magnetic Flux Density และสัญญาณ Output มีค่าลดลง และเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน
2. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ Output และ Magnetic Flux Density มีแนวโน้มเป็นฟังก์ชัน Logarithm
3. เมื่อขั้วแม่เหล็กทั้งเหนือและใต้เข้าใกล้เซนเซอร์ค่าสัญญาณ Output จะลู่อเข้าที่ค่า ๆ หนึ่ง

ตัวแปร

1. ตัวแปรต้น:
 - ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กกับเซนเซอร์
 - ชนิดของขั้วแม่เหล็ก
2. ตัวแปรตาม:
 - ค่าความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
 - สัญญาณ Output ของเซนเซอร์
3. ตัวแปรควบคุม:
 - สภาพแวดล้อมที่ใช้เก็บข้อมูล
 - Input Voltage ที่ต่อเข้าบอร์ด
 - ชนิดแม่เหล็ก
 - แนวตำแหน่งเซนเซอร์กับแม่เหล็ก

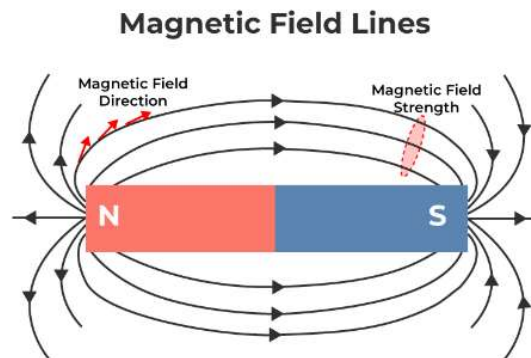
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Hall effect

- Hall effect คือ ปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ที่เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นคร่อมตัวนำ เมื่อตัวนำนั้นมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านและถูกวางไว้ในสนามแม่เหล็กในทิศตั้งฉาก ทำให้เกิดแรงแม่เหล็กกระทำกับอิเล็กตรอนผลักประจุไปสะสมที่ขอบด้านหนึ่งของตัวนำ ทำให้เกิดความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไป ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ความต่างศักย์ฮอลล์ (hall potential difference หรือ hall voltage) ปรากฏการณ์นี้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างเซ็นเซอร์

2. Magnetic Flux

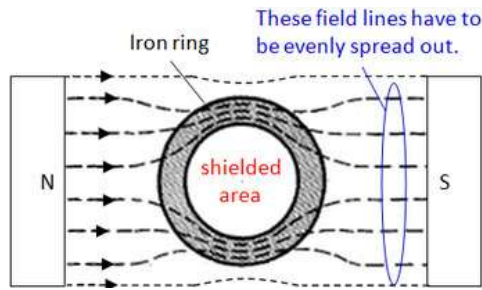
- Magnetic Flux คือ จำนวนเส้นของสนามแม่เหล็กที่ผ่านพื้นผิวปิดหนึ่งซึ่งสามารถวัดสนามแม่เหล็กที่ผ่านบริเวณนั้นได้ โดยภายนอกแท่งแม่เหล็กเส้นแรงแม่เหล็กจะมีทิศพุ่งออกจากขั้วเหนือและเข้าสู่ขั้วใต้เสมอแต่ภายในแท่งแม่เหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กจะมีทิศจากขั้วใต้เข้าสู่ขั้วเหนือ



ภาพที่ 13 Magnetic Flux Direction

ภาพที่ 13 Magnetic Flux Direction

- Magnetic Flux Density หรือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (B) คือ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วย พื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กตกตั้งฉากเป็นปริมาณเวกเตอร์
- Magnetic Field Shielding คือ การใช้วัสดุดึงดูดและเปลี่ยนทิศเส้นแรงแม่เหล็กไปยังเส้นทางอื่น เพื่อควบคุมทิศทางและลดความเข้มของสนามแม่เหล็กในพื้นที่ที่ต้องการป้องกัน ซึ่งส่งผลต่อ Magnetic Flux Density อย่างมาก และความหนาของ Shielding มีผลต่อประสิทธิภาพ



ภาพที่ 14 Magnetic Field Shielding

3. Magnetic Sensor

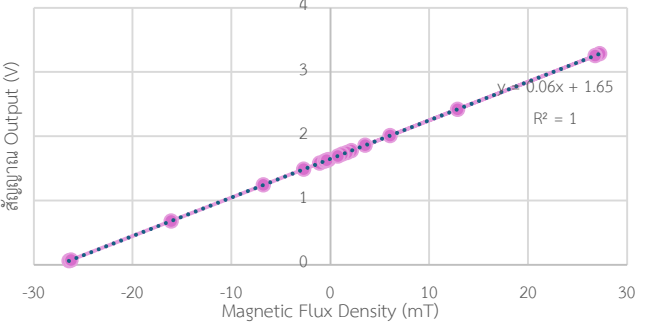
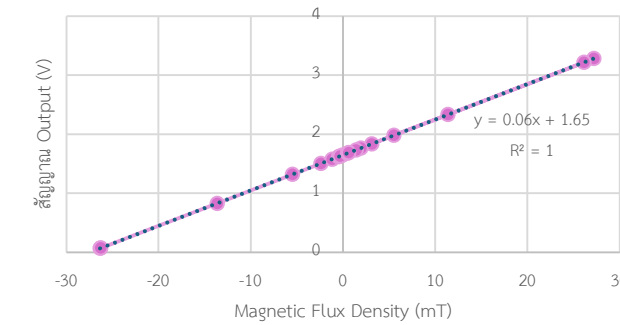
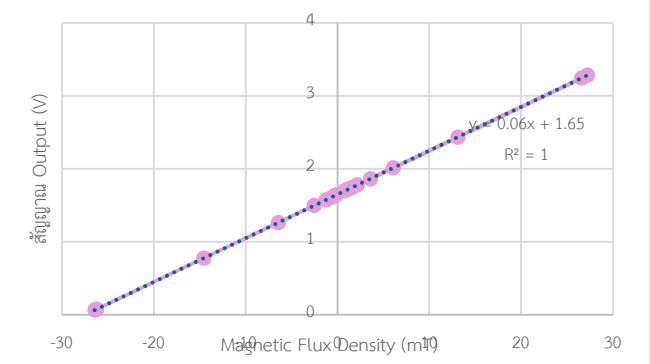
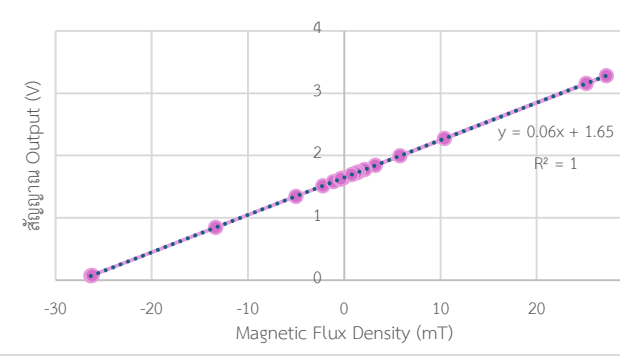
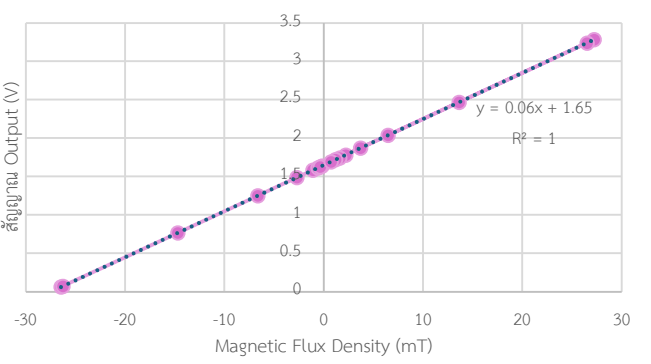
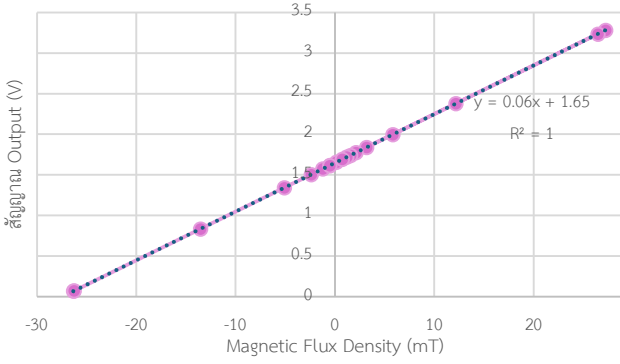
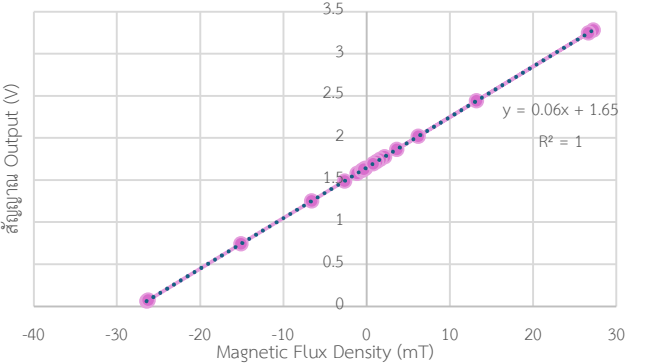
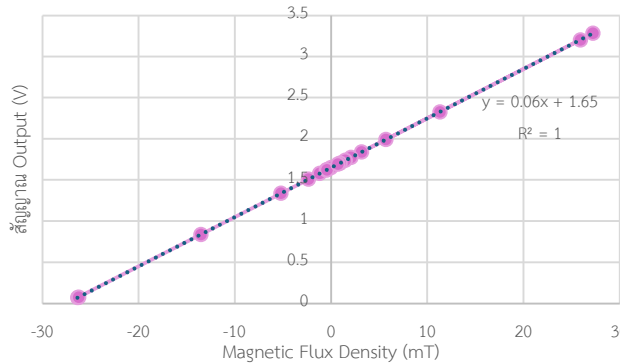
- ลักษณะสัญญาณ Output จากเซนเซอร์นั้นเป็นสัญญาณแบบ Analog โดยสามารถคำนวณหา Output Voltage V_{OUT} ได้จากสูตร $V_{OUT} = V_Q + B(\text{Sensitivity}_{25^\circ\text{C}} \times (1 + S_{TC} \times (T_A - 25^\circ\text{C})))$ โดย V_Q คือค่าครีงนิ่งของ V_{CC} B คือค่าของ Magnetic Flux Density S_{TC} คือค่าเฉพาะของอุปกรณ์ ใน DRV5055A1 จะมีค่า $0.12\% / ^\circ\text{C}$ T_A คือค่าอุณหภูมิรอบข้าง และ $\text{Sensitivity}_{25^\circ\text{C}}$ คือค่าความ Sensitivity ที่ 25°C ของอุปกรณ์ ใน DRV5055A1 จะมีค่า 60 mV/mT
- Sensitivity Linearity อุปกรณ์นี้สามารถสร้าง Output Voltage ที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงได้ภายในช่วงสัญญาณที่กำหนด โดยสามารถคำนวณ Magnetic Flux Density ได้จากสูตร $B = \frac{V_{max} - V_Q}{S}$

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. เชื่อมบอร์ดเข้ากับโปรแกรม และตั้งค่าบอร์ด ติดตั้งแม่เหล็กให้ขั้วเหนื่ออยู่ในตำแหน่งติดกับ DRV5055 ปรับอุณหภูมิห้องให้อยู่ที่ 25°C
2. ค่อยๆ หมุน screw ให้แม่เหล็กสูงจาก DRV5055 ครั้งละ 0.5 cm จนถึง 4 cm จะเก็บข้อมูลจำนวน 1000 ค่าต่อช่วง (สัญญาณ ADC 1000 sample points)
3. ทำซ้ำ 3 ครั้ง และใส่ Shield และทำซ้ำข้อที่ 2
4. กลับขั้วแม่เหล็กและติดตั้งให้อยู่ในตำแหน่งเดียวกับข้อที่ 2 และทำซ้ำข้อที่ 3
5. หาค่าสัญญาณ Output (V_{OUT}) และ Magnetic Flux Density (B) จากสูตรที่ให้ใน Datasheet
6. วิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าที่ได้

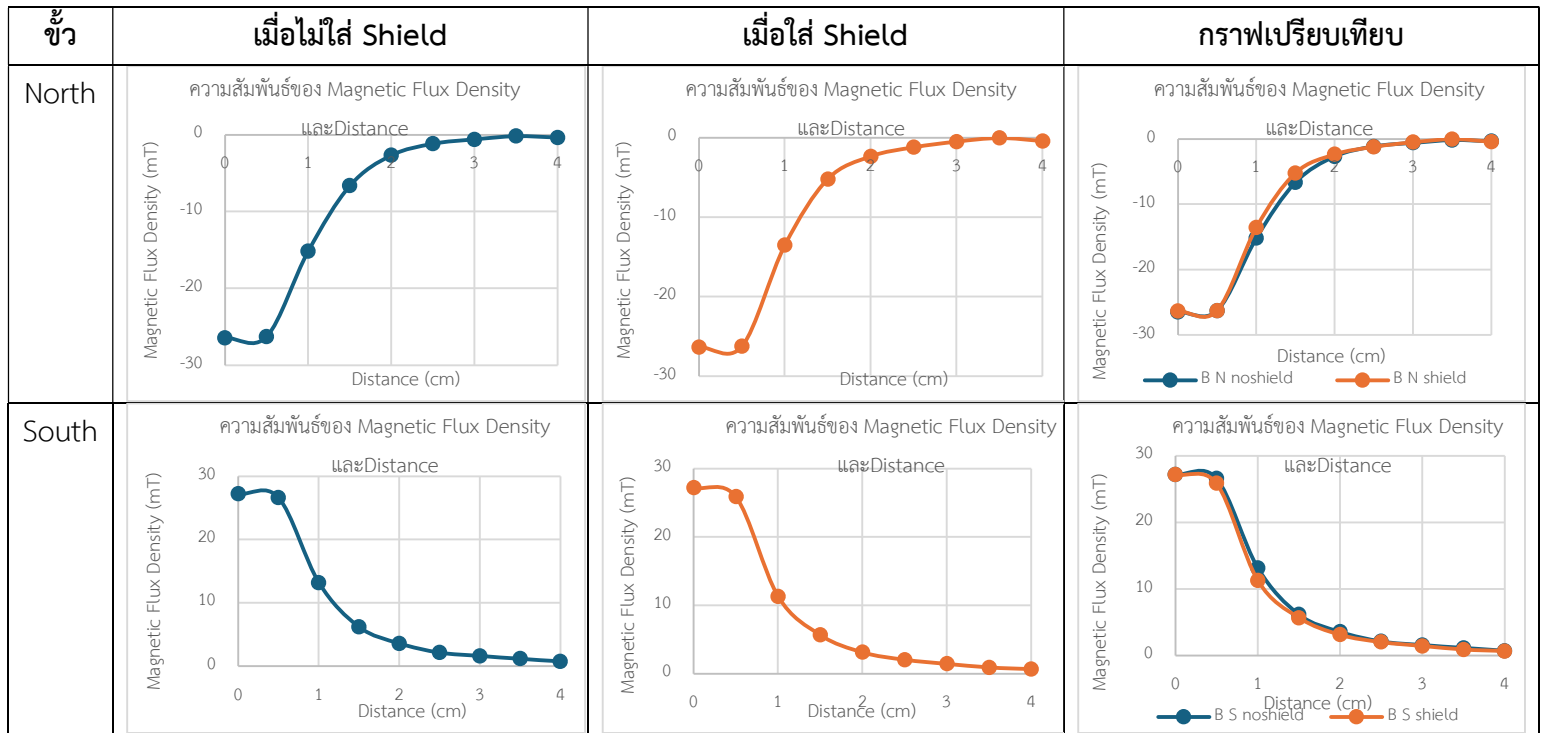
ผลการทดลอง

จากการทดลองได้ตารางเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density (แกน X) และ สัญญาณ Output (แกน Y) ของเซนเซอร์ เมื่อใส่ Shield และไม่ใส่ Shield ได้ดังตาราง

ครั้งที่	เมื่อไม่ใส่ Shield	เมื่อใส่ Shield
ครั้งที่ 1	<p>ความสัมพันธ์ของ Magnetic Flux Density และ สัญญาณ Output</p> 	<p>ความสัมพันธ์ของ Magnetic Flux Density และ สัญญาณ Output</p> 
ครั้งที่ 2	<p>ความสัมพันธ์ของ Magnetic Flux Density และ สัญญาณ Output</p> 	<p>ความสัมพันธ์ของ Magnetic Flux Density และ สัญญาณ Output</p> 
ครั้งที่ 3	<p>ความสัมพันธ์ของ Magnetic Flux Density และ สัญญาณ Output</p> 	<p>ความสัมพันธ์ของ Magnetic Flux Density และ สัญญาณ Output</p> 
ผลเฉลี่ย	<p>ความสัมพันธ์ของ Magnetic Flux Density และ สัญญาณ Output</p> 	<p>ความสัมพันธ์ของ Magnetic Flux Density และ สัญญาณ Output</p> 

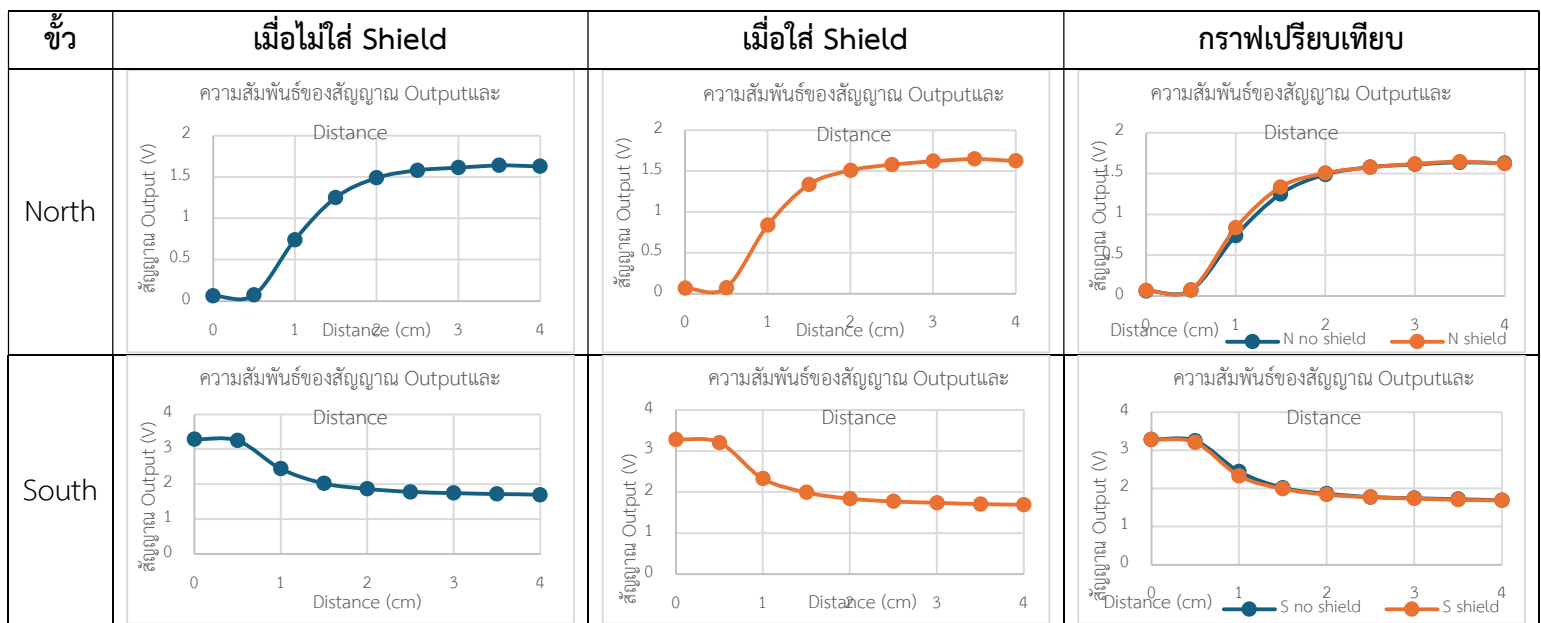
ตารางที่ 8 ตารางเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density และ สัญญาณ Output ของเซนเซอร์

จากการทดลองได้ตารางเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density (แกน Y) และ ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์และแม่เหล็ก หรือ Distance (แกน X) ของเซนเซอร์ เมื่อใส่ Shield และไม่ใส่ Shield ได้ดังตาราง



ตารางที่ 9 ตารางเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Flux Density และ ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์และแม่เหล็กของเซนเซอร์

จากการทดลองได้ตารางเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง สัญญาณ Output (แกน Y) และ ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์และแม่เหล็ก หรือ Distance (แกน X) ของเซนเซอร์ เมื่อใส่ Shield และไม่ใส่ Shield ได้ดังตาราง



ตารางที่ 10 ตารางเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง สัญญาณ Output และ ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์และแม่เหล็กของเซนเซอร์

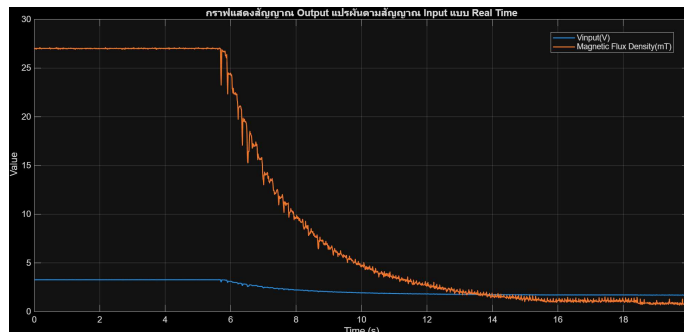
สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองข้างต้นสามารถสรุปผลได้ว่า

1. Magnetic Field Shielding จะส่งผลให้ Magnetic Flux Density และสัญญาณ Output มีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยมาก จนไม่เห็นความแตกต่างระหว่างสัญญาณทั้งสอง
2. จากค่า R^2 สามารถสรุปได้ว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ Output และ Magnetic Flux Density มีแนวโน้มเป็นฟังก์ชัน Linear
3. เมื่อขั้วแม่เหล็กทั้งเหนือและใต้ห่างจากเซนเซอร์ จะทำให้ค่าสัญญาณ Output จะลู่เข้าที่ค่า ๆ หนึ่ง ซึ่งคือครึ่งหนึ่งของค่า V_{max}

อภิปรายผล

สร้างวงจรในการแปลงข้อมูลสัญญาณ Input เป็น Magnetic Flux Density แบบ Realtime เพื่อนำวงจรดังกล่าวมาเพื่อช่วยใช้ในการเก็บค่าต่างๆภายในการทดลอง ได้ผลดังรูป

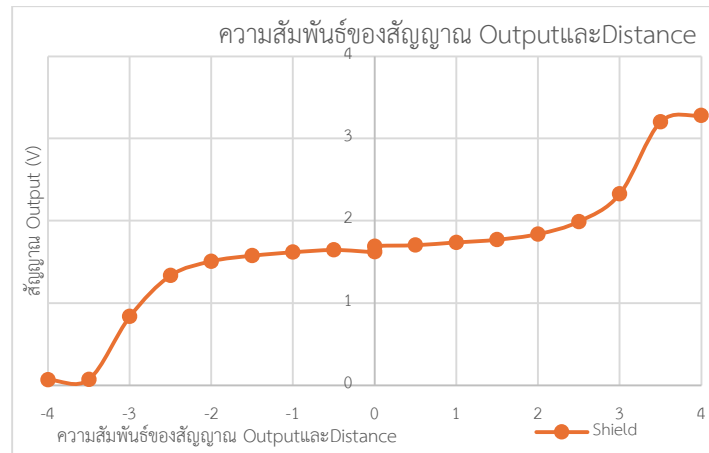


ภาพที่ 15 การแปลงข้อมูลสัญญาณ Input เป็น Magnetic Flux Density แบบ Realtime

จากตารางที่ 9 และ 10 ข้างต้นพบว่าในการทดลองนี้ การใส่Shieldไม่มีผลต่อค่าสัญญาณ Output และค่า Magnetic Flux Density ซึ่งขัดกับข้อมูลเอกสารอ้างอิงที่ได้หามาในข้างต้น ซึ่งอาจจะเกิดจากความหนาของโลหะที่ใช้เป็นแผ่น Shield ที่มีความบางทำให้ค่าที่ได้เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

จากตารางที่ 8 เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน (R^2) ของค่ากับเส้นแนวโน้มของกราฟที่เป็นเส้นตรง พบว่าค่า $R^2 = 1$ สามารถกล่าวได้ว่ากราฟนั้นเป็นเส้นตรงและมีคุณสมบัติการเป็น Linearity กล่าวคือเมื่อ Magnetic Flux Density เพิ่มขึ้นค่าสัญญาณ Output ก็เพิ่มขึ้นด้วย เพราะ ค่าสัญญาณ Output ของ Magnetic Sensor จะแปรผันตรงกับ Magnetic Flux Density โดยมีแนวโน้มของกราฟเป็นเส้นตรง

และจากตารางเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง สัญญาณ Output และ ระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์และแม่เหล็ก หรือ Distance จะพบว่ายิ่งแม่เหล็กออกห่างจากเซ็นเซอร์ค่าสัญญาณ Output จะลู่เข้าค่า ๆ หนึ่ง ซึ่งคือค่าครึ่งหนึ่งของค่า V_{max} ดังกราฟต่อไปนี้ โดยกำหนดให้ค่าระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์และขั้วเหนือ เป็น + และ ค่าระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์และขั้วใต้ เป็น -



ภาพที่ 16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง สัญญาณ Output และ ระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์และแม่เหล็ก

ข้อเสนอแนะ

- ควรเพิ่มรอบในการเก็บค่ามากขึ้นเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้น
- ควรใช้ Shield ที่หนามากกว่าเดิมในการเก็บค่า เนื่องจากแผ่นโลหะที่ใช้อยู่มีความหนาไม่มากเพียงพอที่จะทำให้ค่าสัญญาณ Output เปลี่ยนแปลงแบบชัดเจน

อ้างอิง

- <https://www.kjmagnetics.com/blog/magnetic-shielding-materials>
- <https://www.mecamagnetic.com/magnetic-shielding/>
- <https://byjus.com/physics/magnetic-flux/>
- <https://www.scimath.org/lesson-physics/item/7320-2017-06-14-16-05-39>
- <https://www.nectec.or.th/schoolnet/library/snet3/saowalak/hall/hall.html>
- <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv5055.pdf?ts=1753064339462>
- <https://advancemag.com/wp-content/uploads/2019/01/The-Need-For-Magnetic-Shielding.pdf>

4. Load cell

การทดลองที่ 1 ศึกษาพฤติกรรม ของ Load cell

จุดประสงค์

1. เพื่อหาค่า Gain ที่เหมาะสมสำหรับการขยายสัญญาณจาก Load Cell
2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Gain และค่าความต้านทาน (R_g)
3. เพื่อศึกษาพฤติกรรมและคุณสมบัติต่างๆของเซนเซอร์ และหลักการทำงานของ Load Cell, วงจร Wheatstone Bridge, Strain Gauge และ 2 Op-amps Differential Amplifier
4. เพื่อศึกษาภาวะ Saturation ของ Load Cell

สมมติฐาน

1. ค่า Gain ที่ได้จากการคำนวณมีความเหมาะสม ในการทำให้ Load cell เกิดภาวะ Saturation เมื่อมีน้ำหนัก 10kg มากระทำบนเซนเซอร์
2. ค่าสัญญาณ Output ของ Load Cell จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีแรงกระทำต่อ Load Cell

ตัวแปร

1. ตัวแปรต้น:
 - น้ำหนักที่ใส่เข้าไปบนเซนเซอร์
2. ตัวแปรตาม:
 - กราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักกับ V Output
3. ตัวแปรควบคุม:
 - อัตราเก็บข้อมูล/การตั้งค่า Sampling ของระบบวัดใน Simulink
 - Input Voltage ที่ต่อเข้าบอร์ด
 - สภาพแวดล้อมที่ทดลอง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. หลักการทำงานของ Strain Gauge

Strain Gauge เป็นอุปกรณ์ที่ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามแรงยืดหรือบีบอัดของวัสดุ โดยจะเป็นไปดังสมการ $\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \epsilon$ เมื่อ K คือค่า Gauge Factor และ (R_g) คือ Strain และเมื่อนำ Strain Gauge หลายตัวมาประกอบทำเป็น Load Cell ซึ่งสามารถแปลงแรงกลเป็นสัญญาณไฟฟ้าได้

2. Wheatstone Bridge

วงจร Wheatstone Bridge ทำหน้าที่แปลงการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของ Strain Gauge ให้เป็นแรงดันไฟฟ้า (Output Voltage) โดยทั่วไป Load Cell แบบ Full Bridge จะใช้ Strain Gauge จำนวน 4 ตัวต่อเป็นบริดจ์ เพื่อเพิ่มความไวและชดเชยอุณหภูมิ แรงดันเอาต์พุตของบริดจ์สัมพันธ์กับแรงดันเลี้ยง (Excitation Voltage: V_{EX}) ดังสมการ $V_{output} = \left(\frac{\Delta R}{R}\right) \frac{V_{EX}}{4}$ โดย V_{EX} (Excitation Voltage) = แรงดันไฟเลี้ยงที่จ่ายให้กับวงจร Wheatstone Bridge และวงจร Dummy Gauge จะถูกนำมาใช้เพื่อชดเชยอุณหภูมิ (Temperature Compensation) โดยติดตั้งใกล้กับเกจจริงแต่ไม่รับแรงกล แต่จะได้รับผลจากอุณหภูมิเท่ากับเกจจริง ทำให้การเปลี่ยนค่าความต้านทานจากอุณหภูมิของทั้งสองข้างหักล้างกัน เหลือเฉพาะค่าที่เกิดจากแรงเท่านั้นจึงช่วยให้การวัดมีความเที่ยงตรงและคงที่ในทุกสภาวะอุณหภูมิ

3. Instrumentation Amplifier (INA125)

สัญญาณที่ได้จากวงจรบริดจ์มีขนาดเล็กมาก (ระดับmV) จึงต้องใช้วงจรขยายสัญญาณแบบ Instrumentation Amplifier เช่น INA125 เป็นต้น เพื่อขยายแรงดันต่างศักย์ (Differential Voltage) ให้มีขนาดเหมาะสมกับการแปลงสัญญาณของ ADC หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ อัตราการขยายของ INA125 ถูกกำหนดโดยค่าตัวต้านทานภายนอก (R_g) ตามสมการ $Gain = 4 + \frac{60 k\Omega}{R_g}$ และแรงดันขาออกของ INA125 คือ $V_{out} = (V_{in}^+ - V_{in}^-)G$ ภายใน INA125 ยังมีแหล่งแรงดันอ้างอิง (Reference Voltage) 2.5 V หรือ 5 V สามารถใช้เป็นแหล่งจ่าย V_{EX} ให้กับบริดจ์ได้โดยตรง เมื่อใช้งานกับแรงดันเลี้ยง 3.3 V สัญญาณขาออกจะสวิงได้สูงสุดประมาณ 2.5 V (หรือประมาณ $0.8 \times V_{CC}$) ก่อนถึงจุดอิ่มตัวของแอมป์

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. เชื่อมบอร์ดเข้ากับโปรแกรม และตั้งค่าบอร์ด
2. กำหนดให้ Load cell เข้าสู่ภาวะ Saturation ที่ 10 kg (ถ่วงทรายจำนวน 20 ถัง) และมีOutput Voltage ของ INA125 2.5V ตาม Datasheet
3. นำน้ำหนัก 10 kg นั้นวางบนเซนเซอร์ และใช้ Multimeterวัดความต่างศักย์ระหว่าง V_{in}^+ และ V_{in}^- ได้ 4.8mV เพื่อที่จะนำไปคำนวณหาค่า Gain ตามสมการ $V_{out} = (V_{in}^+ - V_{in}^-)G$
4. เมื่อได้ค่า Gain มีค่า 520.83 เท่ามาแล้วจึงมาปรับตัวต้านทาน (R_g) ตามสูตรจาก Datasheet $Gain = 4 + \frac{60 k\Omega}{R_g}$ ได้ค่า R_g 116.09 Ω

- จากนั้นนำถุงทรายไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล และนำถุงทรายไปวางบนเซนเซอร์ ใส่ถุงทรายถุงละ 500 g ที่ละถุง จนครบ 10 kg หากกราฟที่ได้ยังไม่หยุดนิ่งให้ใส่ถุงทรายเรื่อย ๆ จนกราฟที่ได้หยุดนิ่งไม่มีการเพิ่มขึ้น ในแต่ละช่วงการปรับ จะเก็บข้อมูลจำนวน 2000 ค่า (สัญญาณ ADC 2000 sample points)
- นำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วง แล้วนำไปสร้างกราฟเพื่อศึกษาแนวโน้มของกราฟความสัมพันธ์ของจำนวนถุงทรายกับ V_{Output} เพื่อพิจารณาจุดที่เกิด Saturation ว่ามีความเหมาะสมหรือไม่
- ทำซ้ำ 3 ครั้ง และนำมาประมวลผล

ผลการทดลอง

จากการทดลอง ได้ตารางแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณ ADC (แกน Y) และจำนวนถุงทรายที่ใส่ (แกน X)

ครั้งที่	ผลการทดลอง
1	<p>กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณ ADC และ จำนวนถุงทรายที่ใส่</p>
2	<p>กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณ ADC และ จำนวนถุงทรายที่ใส่</p>
3	<p>กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณ ADC และ จำนวนถุงทรายที่ใส่</p>

ตารางที่ 11 ตารางแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณ ADC (แกน Y) และจำนวนถุงทรายที่ใส่ (แกน X)

สรุปผลการทดลอง

จากการคำนวณได้ค่า Gain เป็น 520.83 และ R_g มีค่าเท่ากับ 116.09Ω เมื่อนำไปใส่ในวงจรและทำการทดลองพบว่าเมื่อใส่ถุงทรายจนเมื่อมีจำนวน 20 ถุง น้ำหนัก 10 kg พบว่ากราฟจะมีแนวโน้มเป็นเชิงเส้น จนกระทั่งหลังจากถุงที่ 21 มีลักษณะเป็นค่าคงที่ แสดงว่าวงจรนี้จะเกิดภาวะ Saturation ที่หลังค่า 10 kg เล็กน้อย ทำให้สามารถเห็นค่าความละเอียดที่ 10 kg ได้ ดังนั้นค่า Gain ที่ได้จากการคำนวณมีความเหมาะสม ในการทำให้ Load cell เกิดภาวะ Saturation เมื่อมีน้ำหนัก 10kg มากกระทำได้บนเซนเซอร์

เนื่องจากค่าสัญญาณ Output จะแปรผันตรงกับแรงที่กระทำ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าค่าสัญญาณ Output ของ Load Cell จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีแรงกระทำต่อ Load Cell

อภิปรายผล

จากข้อมูลในเอกสารที่เกี่ยวข้อง เมื่อมีแรงกระทำเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า Strain เพิ่มขึ้น และอ้างอิงจากสมการ $\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \epsilon$ พบว่าเมื่อค่า Strain เพิ่มขึ้น ทำให้ค่า $\frac{\Delta R}{R}$ จะเพิ่มขึ้น และจากสมการ $V_{output} = \left(\frac{\Delta R}{R}\right) \frac{V_{EX}}{4}$ พบว่า V_{output} จะแปรผันตรงกับ $\frac{\Delta R}{R}$ ทำให้เมื่อค่า $\frac{\Delta R}{R}$ เพิ่มขึ้น ค่า V_{output} จะเพิ่มขึ้น และจากสมการ $V_{output} = \frac{ADC}{4095} \times 3.3$ พบว่า V_{output} จะแปรผันตรงกับค่าสัญญาณ ADC และจากการทำการทดลองพบว่าค่าสัญญาณ ADC แปรผันตรงกับ จำนวนถุงทรายที่ใส่ซึ่งคือแรงที่กระทำต่อ Load Cell ดังนั้นจึงสรุปว่าค่าสัญญาณ Output จะแปรผันตรงกับแรงที่กระทำ

ข้อเสนอแนะ

- ใช้น้ำหนักที่มีค่าคงที่มากกว่านี้ เนื่องจากถุงทรายมักมีค่าน้ำหนักที่ไม่คงที่เนื่องจากทรายที่รั่วออกจากถุง

อ้างอิง

- https://www.omega.co.uk/techref/pdf/strain_gage_technical_data.pdf
- <https://www.hbm.com/en/2073/strain-gauge-pdf-catalog/>
- https://intertechnology.com/Vishay/pdfs/TechNotes_TechTips/TN-502.pdf
- <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina125.pdf>

การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากวงจรที่ใช้ Load Cell กับค่าที่ได้จากเครื่องชั่ง

จุดประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์และอธิบายสาเหตุของความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าที่วัดได้ไม่ตรงกับเครื่องชั่ง Digital ได้
2. เพื่อเปรียบเทียบและแสดงผลค่าที่ได้จากวงจรที่ใช้ Load Cell กับเครื่องชั่ง Digital
3. เพื่อสร้างวงจรแสดงผลสัญญาณ Output ที่แปรผันตาม Input แบบ Real Time
4. เพื่อศึกษากระบวนการ Signal Conditioning และ Calibration ทั้งหมดได้

สมมติฐาน

1. ค่า Output ที่นำมาเข้ากระบวนการ Calibration แล้วสามารถแสดงเป็นน้ำหนักมีค่าตรงกับค่าน้ำหนักจริงที่ได้จากเครื่องชั่งน้ำหนัก
2. แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของ Load cell เป็นแบบ Linear

ตัวแปร

1. ตัวแปรต้น:
 - ค่า output_ADC ที่ได้จากการทดลอง
2. ตัวแปรตาม:
 - น้ำหนักที่อ่านค่าได้จากวงจรที่ใช้ Load Cell
3. ตัวแปรควบคุม:
 - วงจรที่ใช้ Load Cell
 - เครื่องชั่งดิจิตอล
 - ถูทรายที่ใช้ในการทดลอง
 - Input Voltage ที่ต่อเข้าบอร์ด

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Load Cell

Load Cell ที่ใช้ Strain Gauge มีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างแรงที่กระทำและแรงดันขาออก โดยแรงที่มากขึ้นจะทำให้ strain และแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่แน่นอน ภายในช่วงการทำงาน (Working Range)

2. ความไม่เชิงเส้น (Non-Linearity)

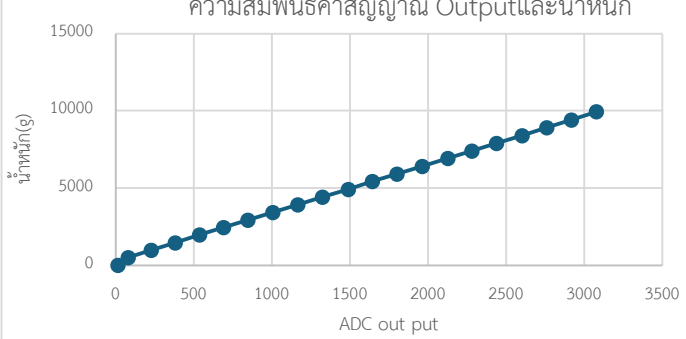
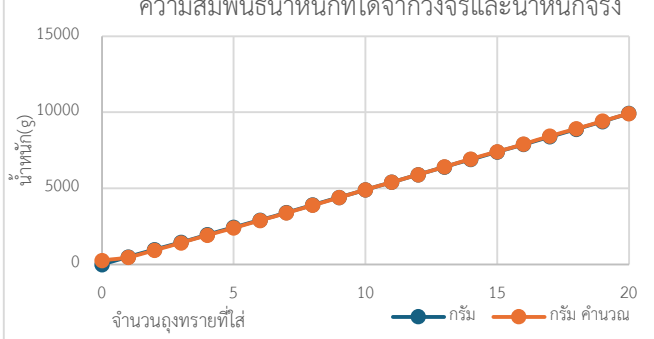
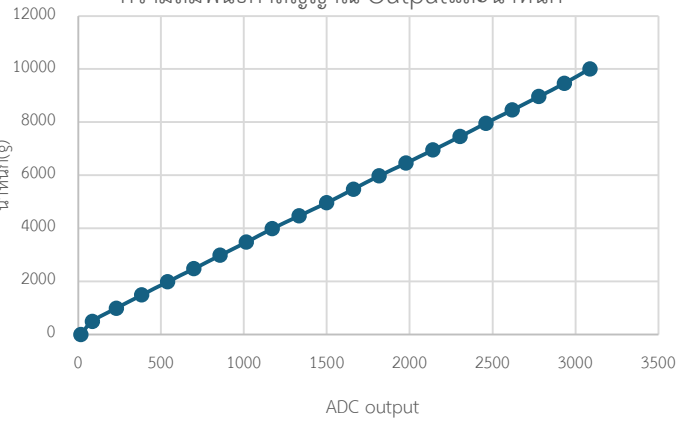
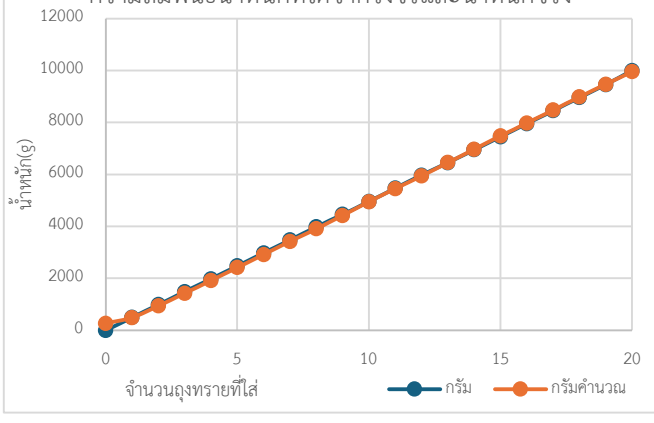
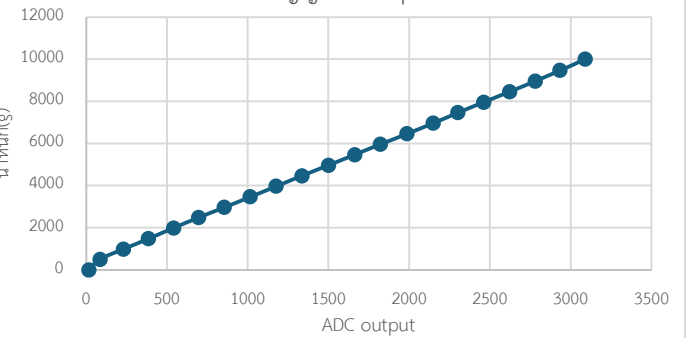
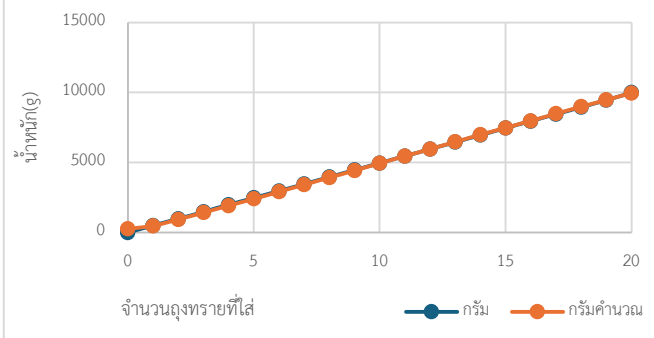
ความไม่เชิงเส้น (Non-Linearity) ของโหลดเซลล์เกิดจากคุณสมบัติทางกลของโครงสร้างที่เสียรูปไม่เป็นสัดส่วนกับแรง (elastic element nonlinearity) รวมถึงผลของ hysteresis จากแรงตกค้างเมื่อเพิ่มหรือลดน้ำหนัก, creep จากการเปลี่ยนแปลงของวัสดุเมื่อรับโหลดคงที่, และความไม่สมดุลของวงจร Wheatstone Bridge รวมถึงผลของอุณหภูมิที่ทำให้แรงดันศูนย์เคลื่อน (zero drift) ซึ่งเป็นสาเหตุให้ค่าที่วัดได้เบี่ยงเล็กน้อยจากเส้นตรง

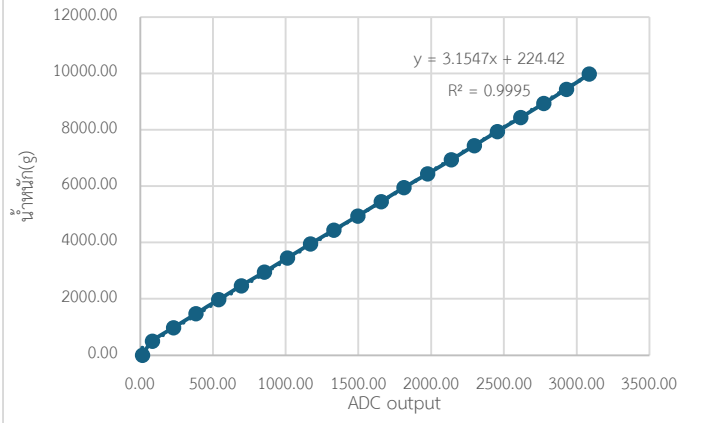
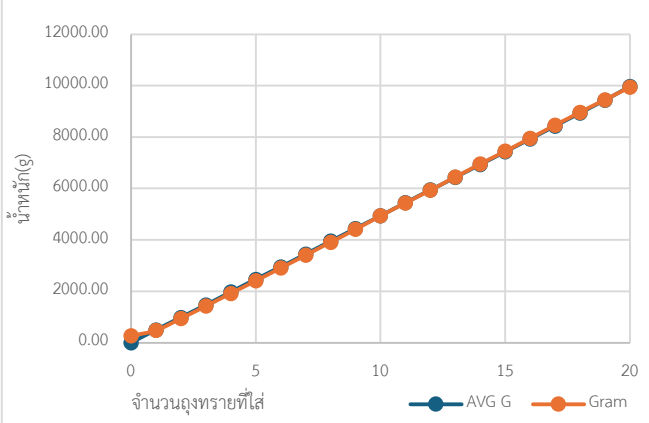
ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. เชื่อมบอร์ดเข้ากับโปรแกรม
2. นำถุงทราย 20 ถุง หยิบทีละถุงมาชั่งน้ำหนักที่เครื่องชั่งดิจิตอล จดบันทึกค่าที่ได้แล้วนำไปวางบนเซนเซอร์ ทำเรื่อย ๆ จนกระทั่งครบ
3. ในแต่ละช่วงการเพิ่มน้ำหนัก จะเก็บข้อมูลจำนวน 2000 ค่า (สัญญาณ ADC 2000 sample points) แล้วนำมาเฉลี่ยกันแต่ละช่วง ทำแบบนี้ครบ 3 ครั้ง เมื่อได้ค่าที่เป็นแรงดันมาแล้ว หลังจากนั้น นำไปสร้างกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน (แกน X) และ น้ำหนัก (แกน Y) แล้วสร้าง Trendline ในโปรแกรม Excel เพื่อหาสมการเชิงเส้นระหว่างแรงดันและน้ำหนัก

ผลการทดลอง

จากการทดลองจะได้ตารางเปรียบเทียบระหว่างกราฟความสัมพันธ์ค่าสัญญาณ Outputและน้ำหนัก กับ กราฟความสัมพันธ์น้ำหนักที่ได้จากวงจรและน้ำหนักจริง ในแต่ละครั้งที่ทำการทดลองได้ดังตาราง

ครั้งที่	ค่าสัญญาณ output	น้ำหนักจากวงจรเทียบกับน้ำหนักจริง
1	<p>ความสัมพันธ์ค่าสัญญาณ Outputและน้ำหนัก</p> 	<p>ความสัมพันธ์น้ำหนักที่ได้จากวงจรและน้ำหนักจริง</p> 
2	<p>ความสัมพันธ์ค่าสัญญาณ Outputและน้ำหนัก</p> 	<p>ความสัมพันธ์น้ำหนักที่ได้จากวงจรและน้ำหนักจริง</p> 
3	<p>ความสัมพันธ์ค่าสัญญาณ Outputและน้ำหนัก</p> 	<p>ความสัมพันธ์น้ำหนักที่ได้จากวงจรและน้ำหนักจริง</p> 

ครั้งที่	ค่าสัญญาณ output	น้ำหนักจากวงจรเทียบกับน้ำหนักจริง
ค่าเฉลี่ย	<p>ความสัมพันธ์ค่าสัญญาณ Outputและน้ำหนัก</p> 	<p>ความสัมพันธ์น้ำหนักที่ได้จากวงจรและน้ำหนักจริง</p> 

ตารางที่ 12 ตารางเปรียบเทียบระหว่างกราฟความสัมพันธ์ค่าสัญญาณ Outputและน้ำหนัก กับ กราฟความสัมพันธ์น้ำหนักที่ได้จากวงจร และน้ำหนักจริง

สรุปผลการทดลอง

1. ค่า Output ที่นำมาเข้ากระบวนการ Calibration แล้วสามารถแสดงเป็นน้ำหนักมีค่าความคลาดเคลื่อนส่วนที่มีความเป็น Linear (ถูที่ 1-20) เฉลี่ย 29 g ค่าน้ำหนักจริงที่ได้จากเครื่องชั่งน้ำหนัก
2. ถูที่ 0 – 1 มีแนวโน้มเป็นความไม่เชิงเส้น (Non-Linearity) ตั้งแต่ถูที่ 1 – 20 เป็นต้นไปแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของ Load cell เป็นแบบ Linear

อภิปรายผล

จากค่าที่ได้หลังจากการ Calibration ด้วยการ Linearization แล้วพบว่าค่าคลาดเคลื่อนของสมการแนวโน้มของกราฟค่าที่ได้มีค่า $R^2 = 0.9995$ ซึ่งใกล้เคียงกับ 1 หมายถึงแนวโน้มของกราฟนี้มีความใกล้เคียงกับเส้นตรงมาก จึงสามารถนับว่ามีความเป็น Linear โดยช่วงถูที่ 0 - 1 ถู มีแนวโน้มเป็น ความไม่เชิงเส้น (Non-Linearity) ซึ่งเกิดจากการผลของ hysteresis จากแรงตกค้างเมื่อเพิ่มหรือลดน้ำหนัก, creep จากการเปลี่ยนแปลงของวัสดุเมื่อรับโหลดคงที่, และความไม่สมดุลของวงจร Wheatstone Bridge รวมถึงผลของอุณหภูมิที่ทำให้แรงดันศูนย์เคลื่อน (zero drift) ซึ่งเป็นสาเหตุให้ค่าที่วัดได้เบี่ยงเล็กน้อยจากเส้นตรง จึงเอาช่วงที่เป็น Linear มา calibrate จึงสรุปได้ว่าโหลดเซลล์ ใช้ได้ที่ Error น้อย ช่วง 500g ถึง 1000g และจากการคำนวณพบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนส่วนที่มีความเป็น Linear (ถูที่ 1-20) เฉลี่ย 29 g ค่าน้ำหนักจริงที่ได้จากเครื่องชั่งน้ำหนัก

ข้อเสนอแนะ

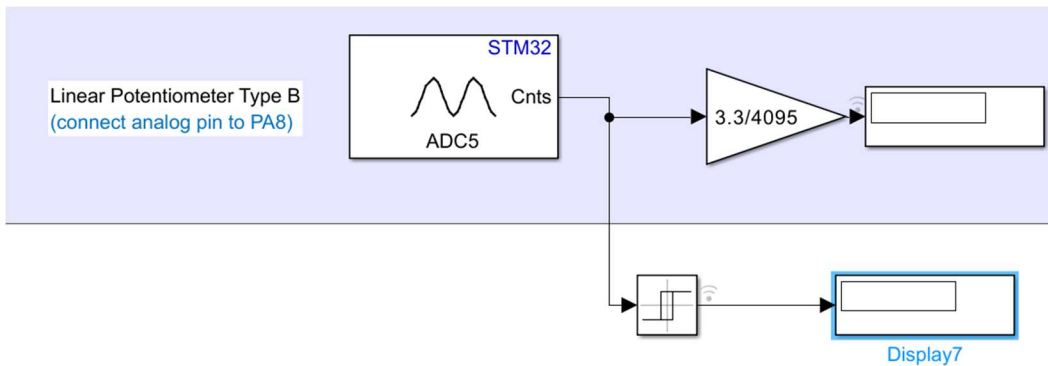
- ควรบอกชื่อชนิดของ Load Cell ให้ชัดเจนและมี Datasheet ที่มีมาตรฐาน

อ้างอิง

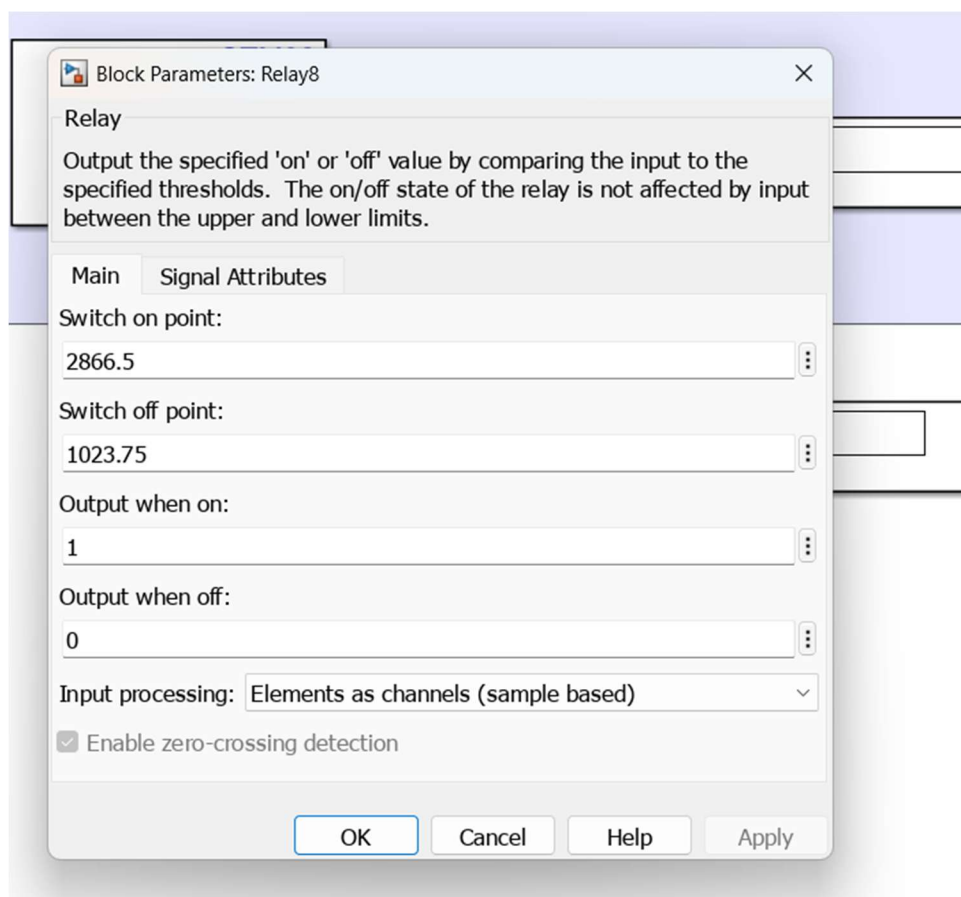
- <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/19/7508>
- <https://www.imeko.org/publications/tc3-2022/IMEKO-TC3-2022-017.pdf>

ภาคผนวก

Lab 1: Potentiometer

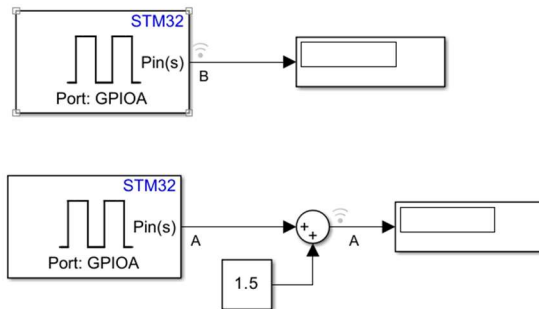


ภาพที่ 17 Block Simulink แปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital ตามรูปแบบวงจร Schmitt Trigger

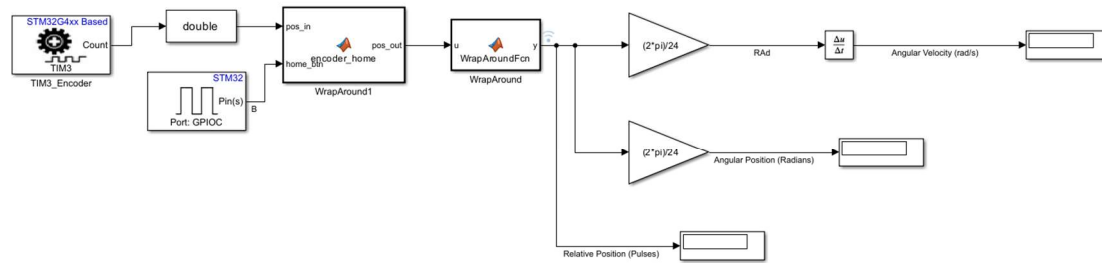


ภาพที่ 18 การกำหนดค่า Thresholds ใน Block Relay

Lab 2: Incremental Encoder



ภาพที่ 19 Block Simulink ดู Phase shift ของ CH A และ CH B



ภาพที่ 20 รูปที่ Block Simulink ดู Raw Counts เป็น Relative Position (Pulses), Angular Position (Radians) และ Angular Velocity (rad/s)

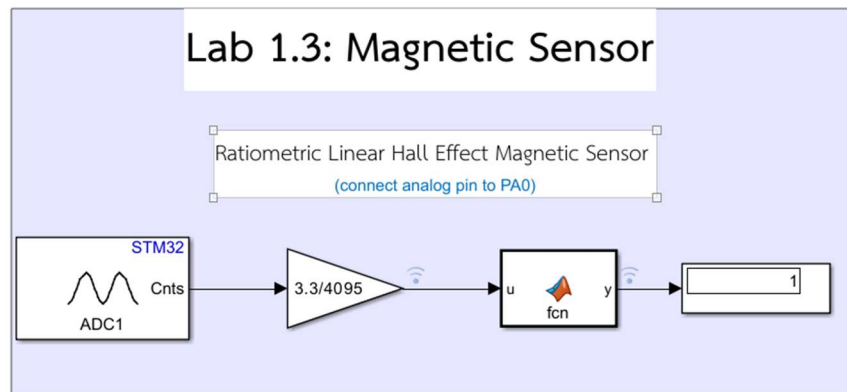
```
Encoder_reader_simulink ▶ WrapAround1
1  function pos_out = encoder_home(pos_in, home_btn)
2  %#codegen
3
4  persistent offset
5  if isempty(offset)
6      offset = 0; % ค่าเริ่มต้นของ offset
7  end
8
9  if home_btn == 1
10     % เมื่อกดปุ่ม home ให้จำค่าปัจจุบันเป็น offset
11     offset = pos_in;
12 end
13
14 % เอาค่าปัจจุบันลบด้วย offset → ให้ค่าเป็น 0 ที่ home
15 pos_out = pos_in - offset;
16
17 end
18
```

ภาพที่ 21 Code Set homing

```
WrapAround1 ▶ WrapAroundFcn
1  function y = WrapAroundFcn(u)
2
3  persistent prev acc
4  if isempty(prev)
5      prev = double(u);
6      acc = double(u);
7  end
8
9  wrapMax = 61440; % ค่า Period + 1 (61439 + 1)
10 halfWrap = wrapMax / 2;
11
12 % คำนวณความต่างระหว่างค่าปัจจุบันกับค่าก่อนหน้า
13 diff = double(u) - prev;
14
15 % ----- ปรับค่าเมื่อข้ามรอบ -----
16 if diff > halfWrap
17     % ข้ามจาก 61439 → 0 (CW)
18     diff = diff - wrapMax;
19 elseif diff < -halfWrap
20     % ข้ามจาก 0 → 61439 (CCW)
21     diff = diff + wrapMax;
22 end
23
24 % ----- สะสมค่าต่อเนื่อง -----
25 acc = acc + diff;
26
27 % ----- อัปเดตค่าและส่งออก -----
28 y = acc;
29 prev = double(u);
30 end
31
```

ภาพที่ 22 Code Wraparound

Lab 3: Magnetic Sensor



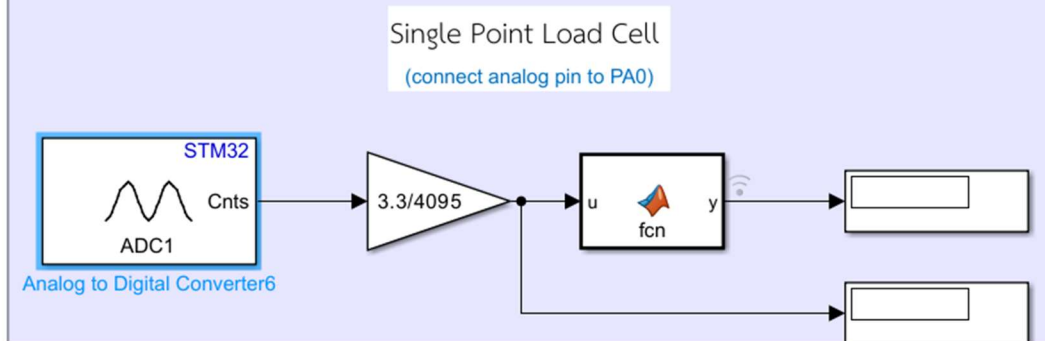
ภาพที่ 23 Block Simulink แสดงการคำนวณให้เห็นว่าสัญญาณ Output แปรผันตามสัญญาณ Input แบบ Real Time โดยมี Output เป็น Raw Signal, Magnetic Flux Density

```
ADC_reader_simulink MATLAB Function1
1 function y = fcn(u)
2
3 y = (u-1.65)/0.060;
4
```

ภาพที่ 24 code แสดงการคำนวณMagnetic Flux Density

Lab 4: Load cell

Lab 1.4: Single Point Load Cell with INA125 Instrumentation Amplifier



ภาพที่ 25 Block Simulink แสดงให้เห็นว่าสัญญาณ Output แปรผันตามสัญญาณ Input แบบ Real Time โดยมี Output เป็นน้ำหนัก

```
PREPARE | NAVIGATE | CODE | COMPILER | SIMULATE | DEBUG CODE | REPORT |
MATLAB Function
ADC_reader_simulink > MATLAB Function
1 function y = fcn(u)
2 |
3 y=224.42+(3.1547*u);
```

ภาพที่ 26 code แสดงการคำนวณค่า Input เป็น น้ำหนัก