

LAB1 : Sensor Report

Name

- นายกฤษณ์ ลีตระกูล 66340500002
- นายกิตติภณ หล้าพงษ์ 66340500004

จุดประสงค์

- สามารถออกแบบการทดลองโดยใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ในการ สืบเสาะพฤติกรรม ปรากฏการณ์ ทดลอง บันทึกผลการทดลอง สรุปผล และอภิปรายผลการทดลอง เข้าใจหลักการทำงานของเซ็นเซอร์ และอุปกรณ์ ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องได้ ตลอดจนใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ สถิติ และศาสตร์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรม MATLAB เพื่อเก็บผลการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง วิเคราะห์ความเที่ยงตรง ความแม่นยำ ได้อย่างถูกต้อง และมีเหตุผลรองรับ ตรวจสอบความถูกต้องเทียบกับทฤษฎีที่น่าเชื่อถือ
- สามารถอธิบายความสามารถในการรับรู้ปริมาณทางฟิสิกส์ของเซ็นเซอร์ทั้งหมดตั้งแต่ต้นจนจบกระบวนการได้ เช่น การอธิบายหลักการวัดความเร็วเชิงมุมของ Incremental Encoder และการอธิบายการวัดน้ำหนักของ Load Cell (จากแรงดันไฟฟ้าแปลงเป็นน้ำหนักได้อย่างไร)
- สามารถกำหนด ตัวแปรในการทดลองได้อย่างถูกต้องและสมเหตุสมผล ไม่ว่าจะเป็น ตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุม อธิบายจุดประสงค์การทดลอง อธิบายสมมติฐานให้สอดคล้องกับตัวแปรที่กำหนด นิยามเชิงปฏิบัติการ และมีทฤษฎีที่น่าเชื่อถือรองรับ เช่น ทฤษฎีทางฟิสิกส์ หรือข้อมูลจาก Datasheet
- สามารถออกแบบวิธีการทดลองเพื่อหาคำตอบ ให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ย่อยทั้งหมดได้ด้วยตนเองอย่างถูกต้อง ตามหลักวิทยาศาสตร์ รวมทั้ง บันทึกผล สรุปผล อภิปรายผล ตามข้อมูลที่บันทึกได้จริง มีกระบวนการทำซ้ำ อธิบายที่มาของผลการทดลองนั้นได้ โดยใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ ไฟล์ Simulink, mlx ฯลฯ และชุดการทดลองพร้อมบอร์ด Microcontroller ที่ TA จัดเตรียมให้เบื้องต้น
- สามารถเขียนรายงาน สัญลักษณ์ และสมการทางวิทยาศาสตร์ ได้อย่างถูกต้อง ทั้งขนาด และรูปแบบอักษร การเว้นช่องไฟ การเว้นขอบกระดาษ การเว้นระยะพิมพ์ ให้ได้ระยะที่เหมาะสมตามหลักสากล

นิยามศัพท์เฉพาะ

คำศัพท์

คำอธิบาย

Knob

ปุ่มหมุนขนาดเล็กที่ใช้ในการปรับค่าต่างๆ เช่น เสียง ความสว่าง หรือการตั้งค่าอื่นๆ บนอุปกรณ์ต่างๆ

ลอการิทึม

เป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการหาเลขชี้กำลังที่ฐานใดฐานหนึ่ง เพื่อให้ได้ค่าเท่ากับจำนวนที่กำหนด

Passive

อุปกรณ์ที่ไม่ต้องใช้พลังงานในการใช้งาน

Datasheet

เอกสารที่ให้รายละเอียดทางเทคนิคเกี่ยวกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

Magnetic Field Shielding

กระบวนการป้องกันสนามแม่เหล็กไม่ให้มีผลกระทบต่ออุปกรณ์หรือพื้นที่ที่ต้องการป้องกัน โดยใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับหรือเบี่ยงเบนสนามแม่เหล็ก

bit

หน่วยข้อมูลพื้นฐานที่สุดในคอมพิวเตอร์ มีค่าได้เพียง 0 หรือ 1 เท่านั้น ใช้ในการแทนค่าต่างๆ ภายในคอมพิวเตอร์

นิยามเชิงปฏิบัติการ

คำศัพท์

คำอธิบาย

สายจัมเปอร์

สายไฟที่ใช้ในการเชื่อมต่อวงจรขนาดเล็กที่สามารถถอดเปลี่ยนได้

ไมโครคอนโทรลเลอร์

ชิปอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็น "สมอง" ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

แรงดันไฟฟ้าขาออก

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ส่งออกจากอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์

แรงดันตกคร่อม

ค่าความต่างของแรงดันไฟฟ้าระหว่างสองจุดในวงจรไฟฟ้า มักใช้เพื่ออธิบายแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ หรืออุปกรณ์อื่นๆ

ค่าความต้านทาน

ค่าที่แสดงถึงความยากง่ายในการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า

เซ็นเซอร์

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสงสว่าง และแปลงสัญญาณนั้นให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถนำไปประมวลผลได้

Data Inspector

เครื่องมือในโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการตรวจสอบ วิเคราะห์ หรือสำรวจข้อมูล เพื่อหาข้อผิดพลาด ตรวจสอบความถูกต้อง หรือค้นหาข้อมูลที่ต้องการ

LAB1.1 Potentiometer

จุดประสงค์

- สามารถระบุชนิดของ Potentiometer ทั้งหมดในชุดการทดลองได้
- สามารถอธิบายหลักการทำงานของ Potentiometer ทั้งหมดในชุดการทดลองได้ ตลอดจนสามารถอธิบายการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อระยะทาง หรือ องศาการหมุนของ Potentiometer
- สามารถแปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital ตามรูปแบบวงจร Schmitt-trigger ได้ โดยประยุกต์ใช้ MATLAB และ Simulink ในการสั่งการหรือรับค่า ร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจากการหมุน Potentiometer ด้วยมือเป็น Input และ สัญญาณ Digital เป็น Output จากการ Log สัญญาณแสดงผลเป็นกราฟจาก Data Inspector ใน MATLAB Simulink แสดงให้เห็นว่าสัญญาณ Output แปรผันตามสัญญาณ Input แบบ Real Time
- สามารถแสดงค่าของตัวต้านทานปรับค่าว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้ออกมาจาก Datasheets

สมมติฐาน

1. เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลจาก Potentiometer ได้ใกล้เคียงกับใน Datasheets ของ Potentiometer และระบุได้ถึงประเภทของ Potentiometer ที่มีในชุดการทดลอง
2. ถ้าทำการทดลองเก็บค่าจาก Potentiometer จะพบว่า Potentiometer มีค่าตรงกันกับชนิด A, B, C, LA หรือ LB

ตัวแปรต้น องศาการหมุนที่หมุนแต่ละครั้ง

ตัวแปรตาม แรงดันตกคร่อม

ตัวแปรควบคุม ระยะการหมุน

 วิธีการหมุน

 แรงดันไฟ

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

STM32 Nucleo-64 G474RE

คือบอร์ดที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ผลิตโดย STMicroelectronics ซึ่งเป็นบอร์ดที่ใช้โปรเซสเซอร์ ARM Cortex-M4 ที่รองรับการประมวลผลที่ซับซ้อน และเหมาะกับงานที่ต้องการการคำนวณอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีหน่วยความทรงจำที่ประกอบไปด้วยแรมขนาด 128 KB และแฟลชเมมโมรีขนาด 512 KB รวมไปถึงพอร์ตต่าง ๆ อย่าง UART, I2C, SPI, CAN, USB และสามารถรองรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้ด้วยเช่นกัน



รูปที่ 1 แสดงภาพบอร์ด STM32 Nucleo-64 G474RE

แหล่งที่มา : <https://www.st.com/bin/ecommerce/api/image.PF267026.en.feature-description-include-personalized-no-cpn-medium.jpg>

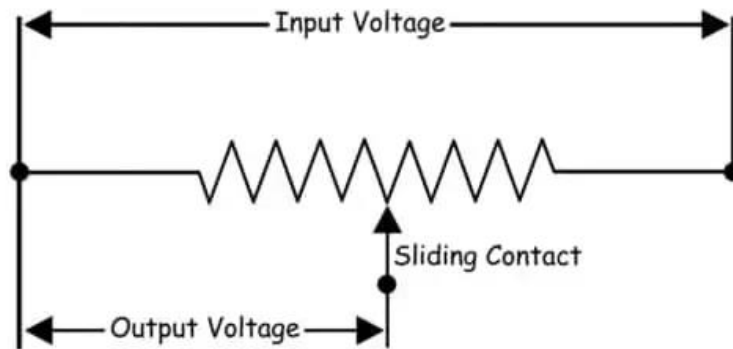
Electrical Taper

ประเภทลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานเมื่อ Potentiometer ถูกปรับระดับ มี 3 ประเภท ได้แก่

- 1) **แบบเชิงเส้น (Linear)** ใน Potentiometer แบบเชิงเส้น ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอตามการหมุนของตัวลูกบิด (Knob) ตัวอย่างเช่น หากผู้ทดลองหมุนลูกบิดไปครึ่งหนึ่ง ผู้ทดลองจะได้ค่าความต้านทานรวมประมาณครึ่งหนึ่ง

- 2) **แบบลอการิทึม (Audio)** ประเภทนี้ได้รับการออกแบบมาเพื่อให้เสียงตอบสนองต่อการควบคุมระดับเสียงได้เป็นธรรมชาติมากขึ้น ความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงตามลอการิทึม ซึ่งหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงจะเร็วขึ้นเมื่อตั้งค่าต่ำลงและจะช้าลงเมื่อถึงการตั้งค่าที่สูงขึ้น ซึ่งจะสอดคล้องกับการรับรู้การได้ยินของมนุษย์มากกว่า
- 3) **แบบลอการิทึมย้อนกลับ (Reverse Audio)** ตรงกันข้ามกับตัวเพอร์ลอการิทึม ซึ่งค่านี้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อตั้งค่าสูง และจะช้าลงเมื่อตั้งค่าต่ำลง

โพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer)



รูปที่ 2 แสดงภาพวงจรของ Potentiometer

แหล่งที่มา : [โพเทนชิโอมิเตอร์ – คู่มือฉบับสมบูรณ์ | DigiKey](#)

คือ หนึ่งในประเภทของตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยมีลักษณะการทำงานแบบ Passive หรือ อุปกรณ์ที่ไม่ต้องใช้พลังงานในการใช้งาน ผ่านการทำงานจากการรับค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า และควบคุมการไหลเข้าของแรงดันไฟฟ้า ผ่านตัวต้านทานปรับค่าได้ซึ่งผ่านกลไกการปรับเชิงกล เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าขาออกถูกปรับเปลี่ยนไปตามหน้าสัมผัสที่ถูกเลื่อนหรือหมุนไป โดยตัวต้านทานปรับค่าได้นั้น จะถูกแบ่งออกเป็น 5 ประเภทหลัก ๆ

1) ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเชิงเส้น (Linear Potentiometer)

คือ ตัวต้านทานที่ใช้วัดขนาดความยาวของแกนในแนวเชิงเส้น โดยจะแบ่งแรงดันไฟฟ้าตามสัดส่วนในช่วงของการทำงาน รวมไปถึงแรงดันไฟฟ้าขาออกตามสัดส่วนด้วยเช่นกัน



รูปที่ 3 แสดงภาพตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเชิงเส้น

แหล่งที่มา : <https://www.althensensors.com/sensors/linear-position-sensors/linear-potentiometers/>

2) ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเชิงมุม (Rotary Potentiometer)

คือ ตัวต้านทานที่ใช้ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออก โดยจะมีทั้งหมด 3 ขา โดยแต่ละขาจะมีหน้าที่และส่วนประกอบที่แตกต่างกัน โดยแรงดันไฟฟ้าขาเข้าจะถูกป้อนตลอดความยาวตัวต้านทาน ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าขาออกจะได้รับจากค่าต่างศักย์จากการลดลงระหว่างค่าต้านทานกับหน้าสัมผัสแบบเลื่อนหรือแบบหมุน ตำแหน่งของหน้าสัมผัสที่เคลื่อนที่ได้พร้อมองค์ประกอบตัวต้านทานจะกำหนดขอบเขตที่แรงดันไฟฟ้าขาเข้าถูกนำไปใช้กับวงจร



รูปที่ 4 แสดงภาพตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเชิงมุม

แหล่งที่มา : [5 PCS B10k Rotary Knob type / 10k Ohm Precision Potentiometer – Makerlab Electronics](#)

3) ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบสาย (String Potentiometer)

คือ ตัวต้านทานที่ใช้ในการวัดความยาวในแนวเชิงเส้น โดยจะใช้สายเคเบิลในการวัดตำแหน่งและความเร็ว โดยในการวัดตำแหน่งนั้น ตัวต้านทานจะติดตั้งกับพื้นผิวคงที่ และปลายสายจะเชื่อมต่อกับวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ เมื่อวัตถุเปลี่ยนตำแหน่งและเคลื่อนที่ออกไป สายเคเบิลจะคลายม้วนออก ซึ่งแกนจะหมุน และขับเคลื่อนเพลลาของอุปกรณ์เพื่อสร้างสัญญาณไฟฟ้า และการวัดความเร็วนั้น จำเป็นต้องใช้เครื่องวัดความเร็ว



รูปที่ 5 แสดงภาพตัวต้านทานปรับค่าได้แบบสาย

แหล่งที่มา : <https://th.mouser.com/new/te-connectivity/measurement-specialties-sm2-25-string-pot/>

4) ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบลอการิทึม (Logarithm Potentiometer)

คือ ตัวต้านทานที่มีการนำลอการิทึมเข้ามา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความเป็นเชิงเส้นที่เป็นธรรมชาติมากขึ้นของอุปกรณ์ ซึ่งปกติในการเปลี่ยนแปลงความเข้มของเสียงเมื่อปรับระดับเสียง เนื่องจากหูของมนุษย์มีความไวต่อความเข้มของเสียงต่อทั้งความเข้มของเสียงต่ำและสูง จึงนำลอการิทึมเข้ามาเพื่อขยายความเข้มของเสียง เพื่อให้สามารถเข้าใจพฤติกรรมของความเข้มของเสียงผ่านหูของมนุษย์



รูปที่ 6 แสดงภาพตัวต้านทานปรับค่าได้แบบลอการิทึม

แหล่งที่มา : [Tube-Town Store - CTS Potentiometer 3 MOhm log, reverse](#)

5) ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบรีโอสแตต (Rheostat Potentiometer)

คือ ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ใช้ในการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่มีปริมาณเยอะ เพราะทำจากการพันขดลวดเป็นหลัก



รูปที่ 7 แสดงภาพตัวต้านทานปรับค่าได้แบบรีโอสแตต

แหล่งที่มา : [Potentiometers - A Complete Guide](#)

6) ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเลื่อน (Slide Potentiometer)

คือ ตัวต้านทานที่ใช้ควบคุมแรงดันไฟขาออก ซึ่งมีหลักการทำงานประเภทเดียวกันกับตัวต้านทานแบบเซิงมุม แต่จะมีลักษณะในการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยตัวต้านทานชนิดนี้นั้นจะต้องเลื่อนและเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงแทนการหมุน

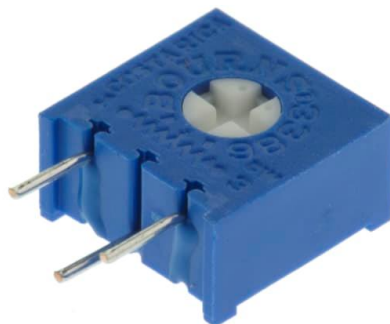


รูปที่ 8 แสดงภาพตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเลื่อน

แหล่งที่มา : [Potentiometers - A Complete Guide](#)

7) ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบทริมเมอร์ (Trimmer Potentiometer)

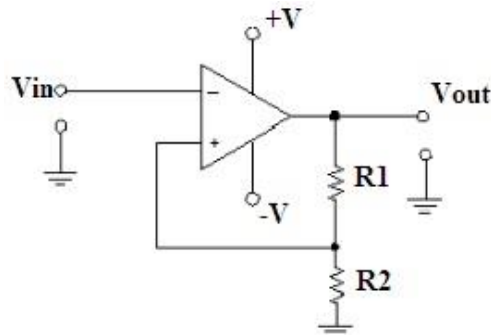
คือ ตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาดเล็กที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในงานที่ต้องการความละเอียด และไม่ต้องการปรับค่าต้านทานบ่อยครั้ง



รูปที่ 9 แสดงภาพตัวต้านทานปรับค่าได้แบบทริมเมอร์

แหล่งที่มา : [Potentiometers - A Complete Guide](#)

Schmitt trigger



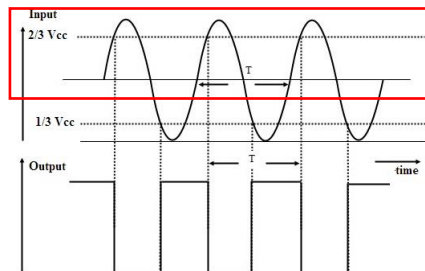
รูปที่ 10 แสดงภาพSchmitt trigger

แหล่งที่มา : [Schmitt Trigger คืออะไร: วงจรและการทำงาน -Electron-FMUSER FM / TV Broadcast ผู้ผลิตแบบครบวงจร](#)

คือ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งซึ่งช่วยในการกรองสัญญาณอนาล็อกจากสัญญาณรบกวนฝังเข้า ให้กลายเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีขอบเขตชัดเจน โดย Schmitt trigger นั้น จะมีระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเปลี่ยนสถานะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ดังนี้

1) เกณฑ์สูง (Upper Threshold)

คือ แรงดันที่อาจจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 2 ใน 3 ของแรงดันที่เข้ามา ซึ่งขอบเขตของขาขึ้นและแรงดันขาเข้านั้นจะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของแต่ละบุคคล

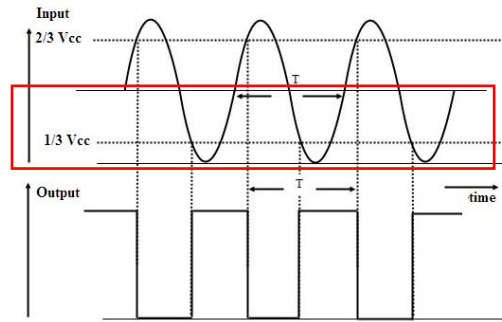


รูปที่ 11 แสดงภาพเกณฑ์สูง

แหล่งที่มา : [Schmitt Trigger คืออะไร: วงจรและการทำงาน -Electron-FMUSER FM / TV Broadcast ผู้ผลิตแบบครบวงจร](#)

2) เกณฑ์ต่ำ (Lower Threshold)

คือ แรงดันที่อาจจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1 ใน 3 ของแรงดันที่เข้ามา ซึ่งขอบเขตของขาสูงและแรงดันขาเข้านั้นจะขึ้นอยู่กับการกำหนดของแต่ละบุคคล



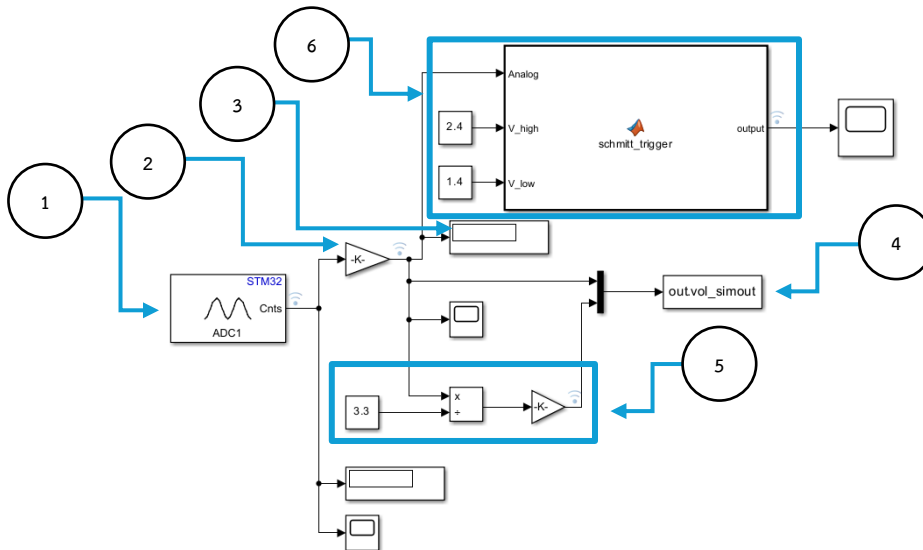
รูปที่ 12 แสดงภาพเกณฑ์ต่ำ

แหล่งที่มา : [Schmitt Trigger คืออะไร: วงจรและการทำงาน -Electron-FMUSER FM / TV Broadcast ผู้ผลิตแบบครบวงจร](#)

โดยหลักการทำงานของ Schmitt trigger นั้นคือ เมื่อแรงดันขาเข้าเพิ่มขึ้นจนถึงเกณฑ์สูง วงจรขาออกจะมีค่าออกมาเป็นสูงหรือค่าที่มากที่สุดของวงจรขาเข้า แต่เมื่อแรงดันขาออกลดลงจนถึงเกณฑ์ต่ำ วงจรขาออกจะมีค่าออกมาเป็นต่ำหรือค่าที่ต่ำที่สุดของวงจรขาเข้าหรือศูนย์

วิธีดำเนินการทดลอง

1. แปลงสัญญาณ Analog เป็นสัญญาณ Digital ตามรูปแบบวงจร Schmitt-trigger



- 1) อ่านสัญญาณตามขาที่กำหนดในรูปแบบของสัญญาณ Analog

- 2) แปลงสัญญาณ Analog ที่ได้ให้เป็นแรงดันไฟฟ้า ภายในได้ใช้ $3.3 \div 4095$ หรือเท่ากับ **0.00080586** ไปคูณกับสัญญาณ Analog ที่ได้
 โดย 3.3 คือ แรงดันที่ใช้สำหรับการใช้งานเซ็นเซอร์
 4095 คือ ค่าคงที่ bit ของไมโครคอนโทรลเลอร์
- 3) แสดงผลสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ได้
- 4) ส่งออกสัญญาณที่ได้
- 5) แปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขาออกให้เป็นตำแหน่งองศาการหมุนของ Potentiometer
- 6) วงจร Schmitt-trigger โดยภายในมีการเขียนโปรแกรมดังนี้

```
function output = schmitt_trigger(Analog, V_high, V_low)
    persistent state; % Local variables
    % Initialize the state on the first call
    if isempty(state)
        state = 0; % Initial state (0 = low, 1 = high)
    end
    % Check the input against the thresholds
    if Analog >= V_high
        state = 1; % Set state to high
    elseif Analog <= V_low
        state = 0; % Set state to low
    end
    % Output the current state
    output = state;
end
```

รูปที่ 13 แสดงโปรแกรมวงจร Schmitt-trigger

2. ทดลองการเลื่อน Potentiometer แบบ Slide โดยขยับด้วยระยะที่เท่ากันและคงที่ตลอดระยะของ Potentiometer โดยตัวต้านทานแบบ Slide ทั้ง 2 ตัว มีระยะการเลื่อนเท่ากับ 60 mm ปรับระดับเพิ่มทีละ 6 mm ดังนั้น จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าและระยะทางที่เลื่อนไปของตัวต้านทานอย่างละ 101 ค่า แล้วนำไปหาค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้า ณ จุดนั้น



รูปที่ 14 แสดงการทดลองและเก็บค่าของ Potentiometer LA1 และ LA2 ตามลำดับ

3. ทดลองหมุน Potentiometer แบบ Rotary โดยขยับด้วยระยะที่เท่ากันและคงที่ตลอดระยะการหมุน Potentiometer โดยตัวต้านทานแบบ Rotary ทั้ง 3 ตัว มีระยะการหมุนเท่าตั้งแต่ 0 – 100% ขององศา ทั้งหมด 300 องศา ปรับระดับเพิ่มทีละ 10% ตามตัวอักษรบน Potentiometer ดังนั้น จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกและระยะการหมุนตัวต้านทานอย่างละ 101 ค่า แล้วนำไปหาค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้า ณ จุดนั้น



รูปที่ 15 แสดงการทดลองและเก็บค่าของ Potentiometer A B และ C ตามลำดับ

4. เก็บค่าข้อมูลของการทดลองของ Potentiometer ทั้ง 5 แบบ และนำค่าที่เก็บได้มาหาค่าเฉลี่ย

```
savex_c10 = out.vol_simout(:,2) %รับค่า out.vol_simout จาก Simulink ลงในตัวแปรที่กำหนด  
savey_c10 = out.vol_simout(:,1) %รับค่า out.vol_simout จาก Simulink ลงในตัวแปรที่กำหนด  
save("TenPoint_B","savex_c10","savey_c10"); %บันทึกค่าลงในตัวแปรที่กำหนด
```

รูปที่ 16 แสดงโปรแกรมเก็บข้อมูลแรงดันไฟฟ้าขาออกจาก Simulink

```
Tendata = ["ZeroPoint_LA2.mat","OnePoint_LA2.mat","TwoPoint_LA2.mat"  
           ,"ThreePoint_LA2.mat","FourPoint_LA2.mat","FivePoint_LA2.mat"  
           ,"SixPoint_LA2.mat","SevenPoint_LA2.mat","EightPoint_LA2.mat"  
           ,"NinePoint_LA2.mat","TenPoint_LA2.mat","ElevenPoint_LA2.mat"];  
medium_rare_datax = [];  
medium_rare_datay = [];  
for i = 1:12  
    load(Tendata(i),"savex_c10","savey_c10");  
    %Get a raw data  
    sumx = 0;  
    sumy = 0;  
    for j = 1:101  
        sumx = sumx + savex_c10(i);  
        sumy = sumy + savey_c10(i);  
    end  
    %Sum a data  
    averx = sumx / 101;  
    avery = sumy / 101;  
    %Get an average  
    medium_rare_datax(i) = averx;  
    medium_rare_datay(i) = avery;  
    %Get the data in matrix  
end  
save("Welldone_LA2","medium_rare_datax","medium_rare_datay");
```

รูปที่ 17 แสดงโปรแกรมหาค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าขาออกของทั้ง 5 รูปแบบการทดลอง

5. หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟ

```
Welldone = {"Welldone_A.mat","Welldone_B.mat","Welldone_C.mat","Welldone_LA1.mat","Welldone_LA2.mat"};
figure;
hold on;
load(Welldone{1});
tiledlayout(3,1)
nexttile
plot(0:10:100,medium_rare_datay,'blue','LineWidth',2);
xlabel('Percentage (%)');
ylabel('Voltage (V)');
title('Voltages per Percentage of potentiometer A');
legend('Potentiometer A');
xlim([0 100])
ylim([0 3.3])
grid on;
load(Welldone{2});
nexttile
plot(0:10:100,medium_rare_datay,'green','LineWidth',2);
xlabel('Percentage (%)');
ylabel('Voltage (V)');
title('Voltages per Percentage of potentiometer B');
legend('Potentiometer B');
xlim([0 100])
ylim([0 3.3])
grid on;
load(Welldone{3});
A = fliplr(medium_rare_datay)
nexttile
plot(0:10:100,A,'red','LineWidth',2);
xlabel('Percentage (%)');
ylabel('Voltage (V)');
title('Voltages per Percentage of potentiometer C');
legend('Potentiometer C');
xlim([0 100])
ylim([0 3.3])
grid on;
```

รูปที่ 18 แสดงโปรแกรมสร้างกราฟแรงดันไฟฟ้าขาออกเทียบกับอัตราส่วนการองศาของ Potentiometer แบบ Rotary ทั้ง 3 แบบ


```

Welldone = {"Welldone_A.mat","Welldone_B.mat","Welldone_C.mat","Welldone_LA1.mat","Welldone_LA2.mat"};
figure;
hold on;
for m = 1:3
    load(Welldone{m});
    plot(medium_rare_datax,medium_rare_datay,'LineWidth',2);
end
xlabel('Degree (°)');
ylabel('Voltage (V)');
title('Voltages per Degree');
legend('Type A','Type B','Type C')
grid on;
xlim([0 300])
ylim([0 3.3])

```

รูปที่ 19 แสดงโปรแกรมสร้างกราฟแรงดันไฟฟ้าขาออกเทียบกับองศาที่หมุนจริงของ Potentiometer แบบ Rotary ทั้ง 3 แบบ

```

Welldone = {"Welldone_LA1.mat","Welldone_LA2.mat"};
figure;
hold on;
load(Welldone{2});
tiledlayout(2,1);
nexttile
plot(0:10:110,medium_rare_datay,'red','LineWidth',2);
xlabel('Percentage (%)');
ylabel('Voltage (V)');
title('Voltages per Percentage of slide potentiometer LB');
legend('Potentiometer LB')
xlim([0 100])
ylim([0 3.3])
grid on;
load(Welldone{1});
nexttile
plot(0:10:110,medium_rare_datay,'green','LineWidth',2);
xlabel('Percentage (%)');
ylabel('Voltage (V)');
title('Voltages per Percentage of slide potentiometer LA');
legend('Potentiometer LA')
xlim([0 100])
ylim([0 3.3])
grid on;

```

รูปที่ 20 แสดงโปรแกรมสร้างกราฟแรงดันไฟฟ้าขาออกเทียบกับอัตราส่วนระยะของ Potentiometer แบบ Slide ทั้ง 2 แบบ

```

Welldone = {"Welldone_LA1.mat","Welldone_LA2.mat"};
figure;
hold on;
for m = 1:2
    load(Welldone{m});
    plot([0 6 12 18 24 30 36 42 48 54 60 66],medium_rare_datay,'LineWidth',2);
end
xlabel('Range (mm)');
ylabel('Voltage (V)');
title('Voltages per Range');
legend('Type LA','Type LB')
grid on;
xlim([0 70])
ylim([0 3.3])

```

รูปที่ 21 แสดงโปรแกรมสร้างกราฟแรงดันไฟฟ้าขาออกเทียบกับระยะจริงของ Potentiometer แบบ Slide ทั้ง 2 แบบ

อุปกรณ์การทดลอง

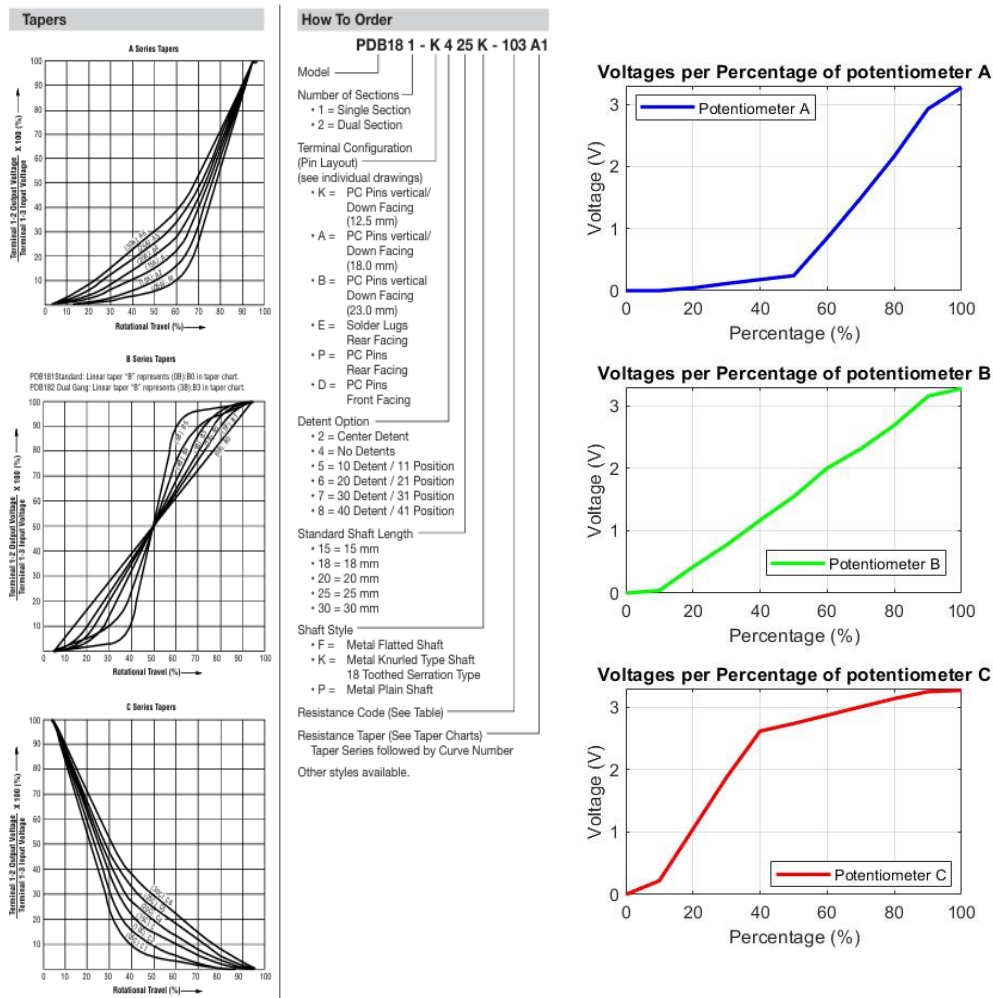
1. PTA6043-2015DPA103 จำนวน 1 อัน
2. PTA6043-2015DPB103 จำนวน 1 อัน
3. PDB181-K420K-103A2 จำนวน 1 อัน
4. PDB181-K420K-103B จำนวน 1 อัน
5. PDB181-K420K-103C จำนวน 1 อัน
6. Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด
7. PotenXplorer จำนวน 1 ชุด
8. สายจัมเปอร์

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

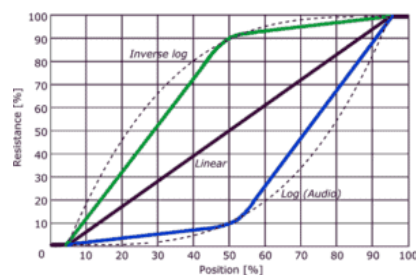
ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน			
	ตุลาคม			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
วางแผนและออกแบบการทดลอง				
ทดลองและเก็บผล				
สรุปผลและอภิปราย				
ทำรายงาน				

สรุปผลการทดลอง



รูปที่ 22 (ซ้าย) แสดงกราฟข้อมูลของ Potentiometer ซึ่งแยกตามรุ่นของ Potentiometer แบบ Rotary จาก Datasheet

รูปที่ 23 (ขวา) แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าเทียบกับอัตราส่วนการองศาของ Potentiometer แบบ Rotary ทั้ง 3 แบบ



รูปที่ 24 แสดงลักษณะกราฟที่บ่งบอกถึงประเภทของ Taper

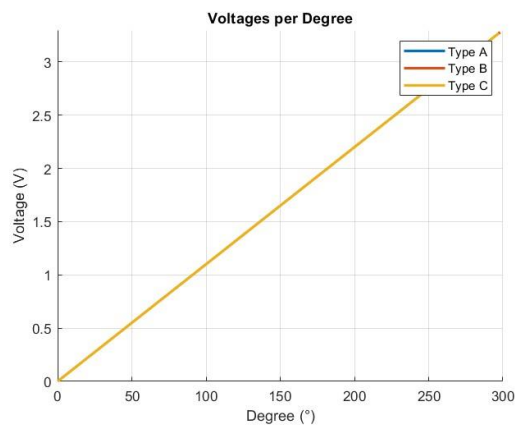
แหล่งที่มา : <https://islproducts.com/wp-content/uploads/potentiometer-taper-resistance-vs-position-graph.png>

จากรูปภาพที่ 22 23 และ 24 ทำให้สามารถวิเคราะห์กราฟเพื่อเปรียบเทียบ และได้ข้อสรุปการเปรียบดังตารางที่

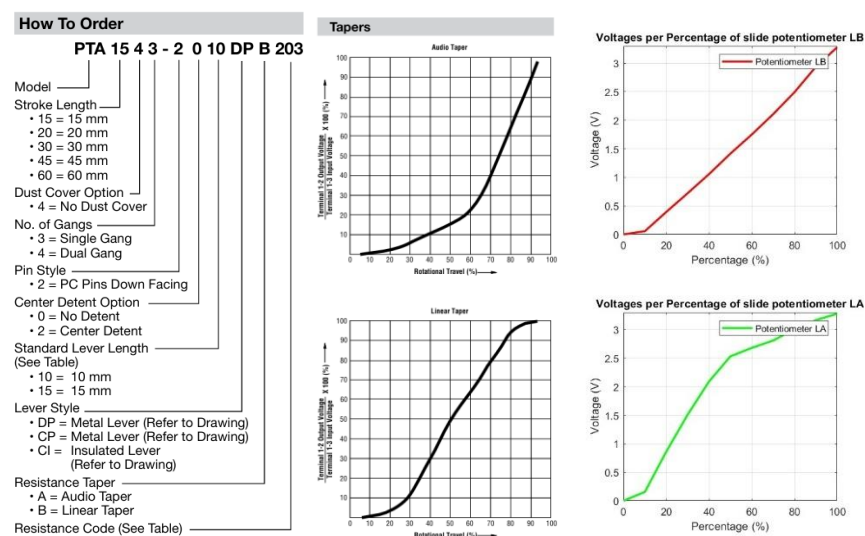
2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบความใกล้เคียงระหว่าง Datasheet และผลที่เก็บจากการทดลอง

กราฟจาก Datasheet	กราฟที่ได้จากการเก็บข้อมูล	ความใกล้เคียงของผลลัพธ์		ประเภท Taper		
		ใกล้เคียง	ไม่ใกล้เคียง	Linear	Audio	Reverse Audio
PDB181-K420K-103A2	Potentiometer A					
PDB181-K420K-103B	Potentiometer B					
PDB181-K420K-103C	Potentiometer C					



รูปที่ 25 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าขาออกเทียบกับองศาที่หมุนจริงของ Potentiometer แบบ Rotary ทั้ง 3 แบบ



รูปที่ 26 (ซ้าย) แสดงการจำแนกประเภทตามเบอร์ของ Potentiometer จาก Datasheet

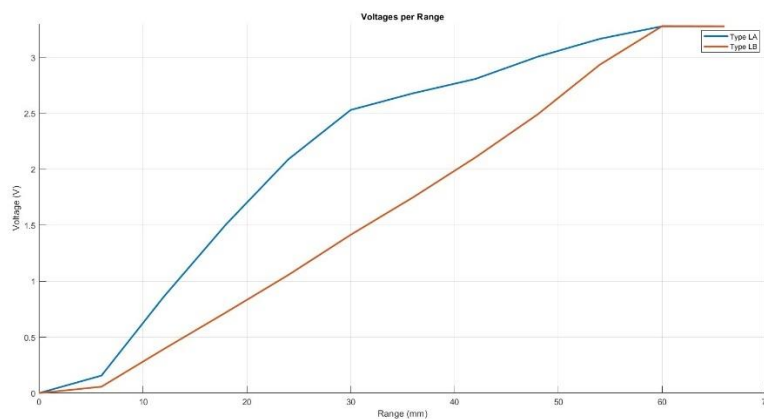
รูปที่ 27 (กลาง) แสดงกราฟข้อมูลของ Potentiometer ซึ่งแยกประเภท Taper จาก Datasheet

รูปที่ 28 (ขวา) แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าขาออกเทียบกับอัตราส่วนระยะของ Potentiometer แบบ Slide ทั้ง 2 แบบ

จากรูปภาพที่ 26 27 และ 28 ทำให้สามารถมองกราฟเพื่อเปรียบเทียบได้ และได้ข้อสรุปการเปรียบเทียบดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงการระบุประเภท Taper ของ Potentiometer

กราฟที่ได้จากการเก็บข้อมูล	ประเภท Taper		
	Linear	Audio	Reverse Audio
Potentiometer LA			
Potentiometer LB			



รูปที่ 29 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าขาออกเทียบกับระยะจริงของ Potentiometer แบบ Slide ทั้ง 2 แบบ

อภิปรายผล

1. สามารถเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลได้ใกล้เคียงกับ Datasheets ของ Potentiometer ได้จริง
2. สามารถระบุได้ถึงประเภทของ Potentiometer ที่มีในชุดการทดลองได้จริง จากการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลข้อมูลจาก Datasheet กับผลการทดลอง
3. สามารถระบุชื่อของ Potentiometer A, B, LA และ LB ได้ ยกเว้นประเภท C ที่ผลการทดลองนั้นไม่ตรงกับข้อมูลใน Datasheet เนื่องจากความผิดพลาดในการเก็บข้อมูลผู้ทำการทดลอง

ข้อเสนอแนะ

1. ปรับปรุงการเก็บผลข้อมูลให้ละเอียดมากยิ่งขึ้น เพื่อลดความผิดพลาดของข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- PDB18 Series - 17 mm Rotary Potentiometer Datasheet
[PDB18 Series 17 mm Rotary Potentiometer](#)
- PTA Series - Low Profile Slide Potentiometer Datasheet
[PTA Series Low Profile Slide Potentiometer](#)
- Potentiometer Taper
[Potentiometer Taper | ISL Products](#)

LAB1.2 Incremental Encoder

จุดประสงค์

- สามารถอธิบายหลักการทำงานของ Incremental Encoder
- สามารถอ่านค่าและอธิบายความแตกต่างจากการอ่านด้วย QEI และ Polling Method
- สามารถอธิบายหลักการทำงาน และความหมายของการ config parameter ใน IOC ได้
- สามารถอธิบายลักษณะสัญญาณ Output ของ Incremental Encoder ได้ เมื่อทิศทางและความเร็วการหมุนเปลี่ยนแปลงไป เจาะลึกไปที่รูปแบบเฟสของสัญญาณในแต่ละช่อง Output ของ Incremental Encoder
- สามารถหาค่า Pulses Per Revolution และ Resolution ของ Incremental Encoder ในชุดการทดลองได้
- สามารถเขียนโปรแกรม โดยประยุกต์ใช้ MATLAB และ Simulink ในการสั่งการหรือรับค่า ร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจากการหมุน Incremental Encoder ด้วยมือเป็น Input และ แสดงสัญญาณ Output จากการ Log สัญญาณ แสดงผลเป็นกราฟจาก Data Inspector ใน MATLAB Simulink แสดงให้เห็นว่าสัญญาณ Output แปรผันตามสัญญาณ Input แบบ Real Time โดยมี Output เป็น Raw Signal, Angular Position, Angular Velocity ในหน่วย SI
- สามารถวิเคราะห์ ข้อดี-เสีย ของการอ่านด้วย QEI และ Polling Method ได้
- สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อ Homing Incremental Encoder ได้
- สามารถอธิบายลักษณะของกราฟได้จากการที่มี Sample time ที่ต่างกัน

สมมติฐาน

1. การอ่านค่าสัญญาณแบบ QEI จะมีประสิทธิภาพและความแม่นยำมากกว่า Polling จริงหรือไม่
2. ค่า ณ จุดเริ่มต้นมีผลต่อลักษณะของกราฟที่แสดงออกมาตลอดทั้งเส้นจริงหรือไม่
3. Sample time ที่แตกต่างกันมีผลต่อลักษณะของกราฟที่แสดงออกมาจริงหรือไม่

ตัวแปรต้น	
ตัวแปรตาม	
ตัวแปรควบคุม	

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Encoder

คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดระยะทาง, ความเร็ว, ทิศทางของมอเตอร์ ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อทำให้การทำงานของมอเตอร์มีค่าที่เสถียรและละเอียดตามการหมุนของแกนเพลลา เพื่อสร้างสัญญาณอนาล็อกและดิจิทัล ให้ออกมาในลักษณะของพัลส์

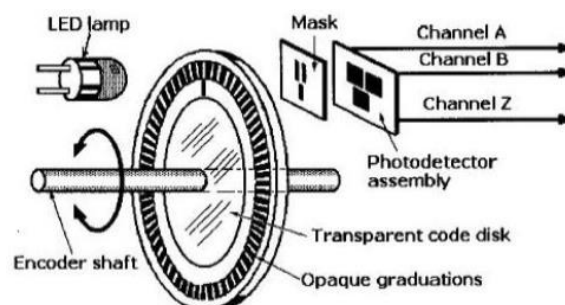


รูปที่ 30 แสดง Encoder

แหล่งอ้างอิง : [ออปติคัล Encoder 360 Ppr Lpd3806-360bm-g5-24c Ab สองเฟสที่เพิ่มขึ้นออปติคัลเพลลา 6 มิลลิเมตรเครื่องเข้ารหัสแบบโรตารี 360 พัลส์เส้น](#)
- [Buy Rotary Encoder 360 Ppr Product on Alibaba.com](#)

Incremental Encoder

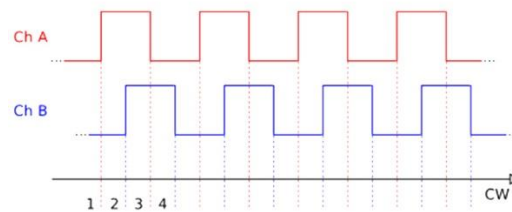
เป็น Encoder ที่จะสร้างสัญญาณพัลส์ทุกครั้งที่เกิดการหมุนของแกนเพลลา จึงทำให้สามารถหาจำนวนการหมุนและการเคลื่อนที่ใน 1 รอบได้



รูปที่ 31 แสดง Incremental Encoder

แหล่งอ้างอิง : [Increment Encoder ต่างกับ Absolute Encoder อย่างไร](#)

Quadrature encoding

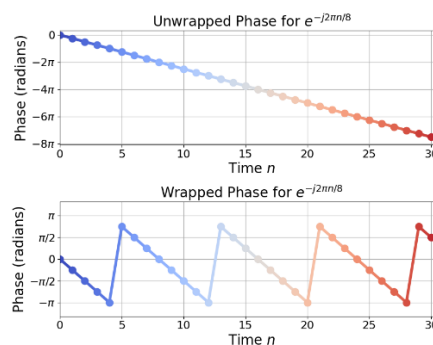


รูปที่ 32 แสดงการทำงานของ Quadrature encoding

แหล่งอ้างอิง : [Quadrature Encoding X1 X2 X4](#)

คือ รูปแบบของสัญญาณ Encoder ที่ใช้สัญญาณ 2 ช่องสัญญาณ ซึ่งประกอบไปด้วย ช่องสัญญาณ A และ B โดยสัญญาณทั้งสองจะมีเฟสที่ต่างกันที่ 90 องศา เพื่อใช้ในการตรวจสอบทิศทางและความเร็วของการหมุน หรือการเคลื่อนที่ โดยมีหลักการคือถ้าค่าของสัญญาณมีค่าเท่ากับศูนย์จริง ให้ทำการเทียบหาค่าของสัญญาณ ระหว่าง A และ B เพื่อหาค่าของสัญญาณตรงกันกับค่าที่กำหนดหรือไม่ ซึ่งในแต่ละช่วงนั้น จะถูกแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ x1, x2, x4 โดยจะพิจารณากันแตกต่างกันออกไป เริ่มจาก x1 คือการพิจารณาช่วงขาขึ้นของสัญญาณ A และ x2 คือการพิจารณาช่วงขาขึ้นและขาลงของสัญญาณ A และสุดท้ายนี้ x4 คือการพิจารณาช่วงขาขึ้นและขาลงของสัญญาณ A และ B

Unwrap graph



รูปที่ 33 แสดง Unwrap graph

แหล่งที่มา : [Phase, Frequency and Negative Frequency in Complex Sinusoids](#)

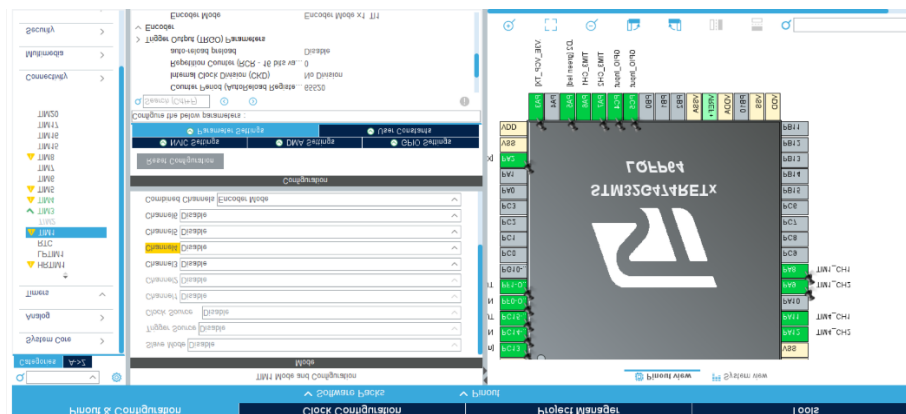
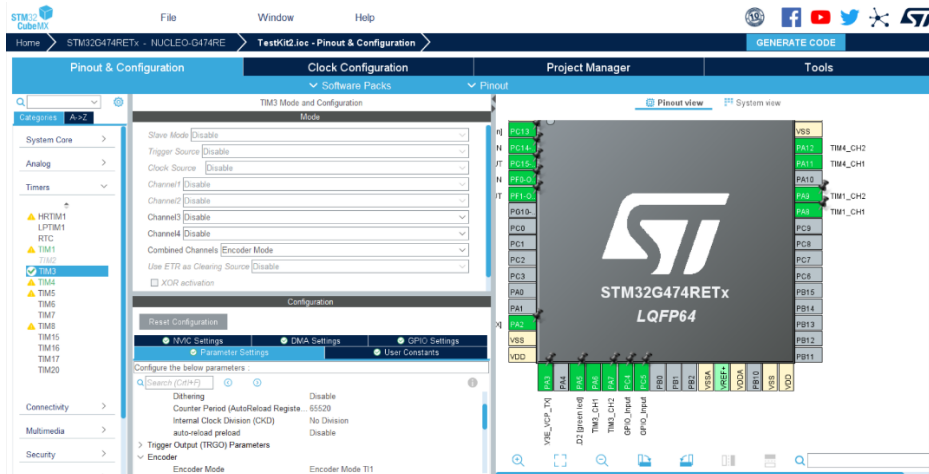
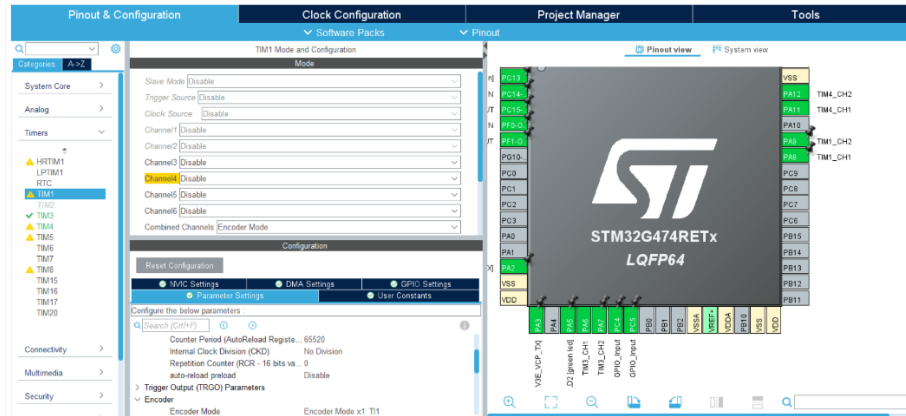
คือเทคนิคที่ใช้ในการรวมสัญญาณ เพื่อแก้ปัญหการเปลี่ยนแปลงค่าในกราฟที่มีลักษณะวนซ้ำ เพื่อให้การ แสดงข้อมูลต่อเนื่องผ่านการเพิ่มหรือลดค่า

ตารางที่ 4 แสดงชื่อ ข้อมูลจำเพาะ และหลักการทำงาน ของ Incremental Encoder แต่ละแบบ

ชื่อ	ข้อมูลจำเพาะ	
Incremental Encoder AMT103-V	power supply	3.6V to 5.5V
	operating temperature	-40 °C to 100 °C
	motor shaft tolerance	+0/-0.015 mm
	motor shaft length	9 mm
	quadrature resolutions	48, 96, 100, 125, 192, 200, 250, 256, 384, 400, 500, 512, 800, 1000, 1024, 2048
	waveform	CMOS voltage square wave
	channels	quadrature A, B, and X index
BOURNS PEC11R-4220F-N0024 Incremental Encoder	Mechanical Angle	360 ° Continuous
	Operating Temperature Range	-30 °C to +70 °C
	Output	2-bit quadrature code
	RPM (Operating)	60
	Power rating	10 mA at 5 V DC
	Resolution	0024 = 24 Pulses per 360 ° Rotation
	Standard shaft	20 mm

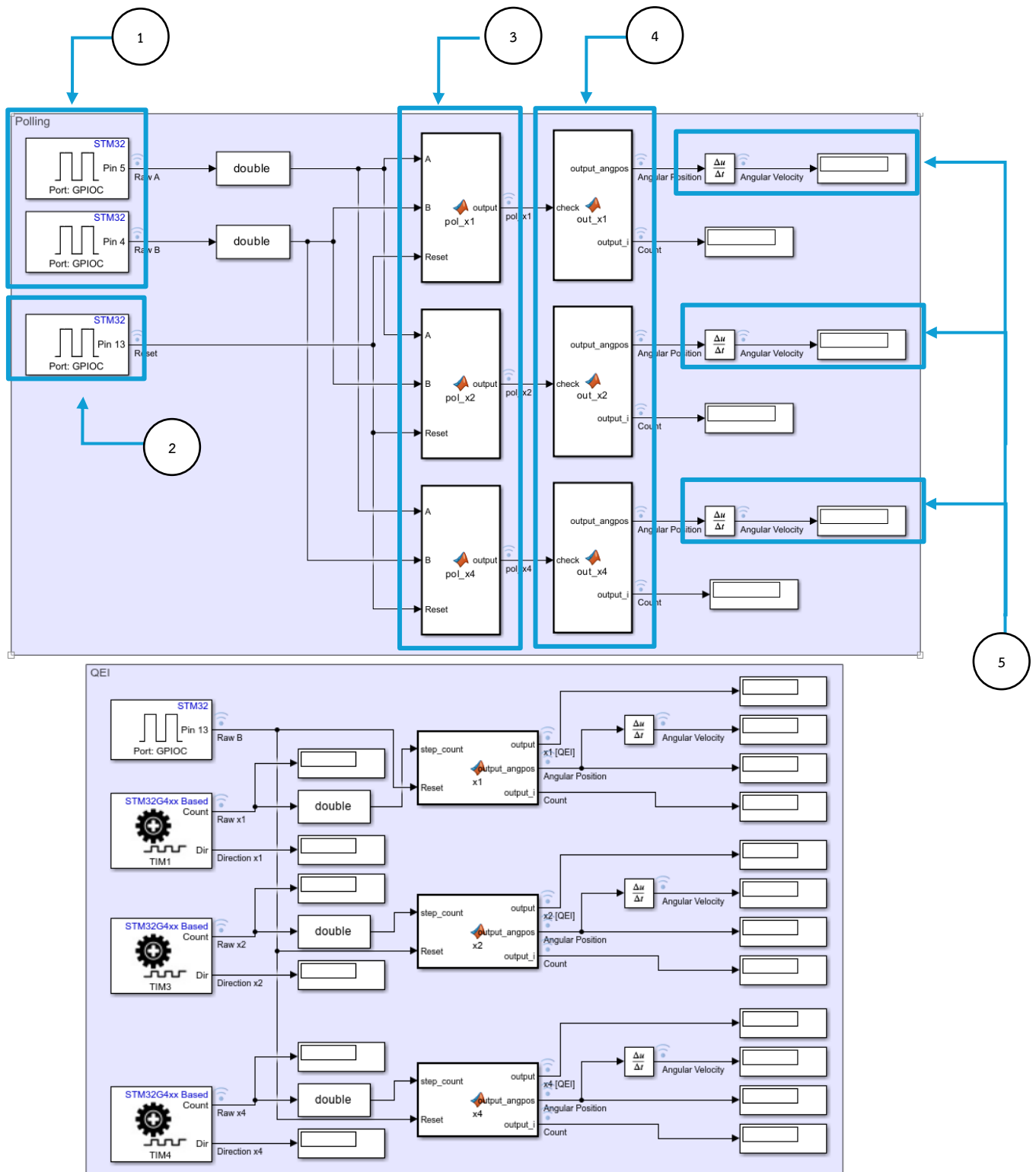
วิธีดำเนินการทดลอง

1. ตั้งค่าขาให้รับค่าตามที่ต้องการผ่าน STM32CubeMX หรือ ioc



รูปที่ 34 แสดงการตั้งค่าขาให้รับค่าตามที่ต้องการผ่าน STM32CubeMX

2. นำสัญญาณ Digital ของ Polling มาหาค่าต่าง ๆ ที่กำหนด



รูปที่ 35 แสดงโปรแกรมใน Simulink

3. อ่านสัญญาณตามขา Digital ที่กำหนด
4. ถ้าสัญญาณที่นับออกมาได้นั้นมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ให้ทำการรีเซ็ตค่าให้เท่ากับศูนย์
5. หลังจากที่ได้ค่าของสัญญาณมีค่าเท่ากับศูนย์จริง ให้ทำการเทียบค่าของสัญญาณระหว่าง A และ B เพื่อหาว่าค่าของสัญญาณตรงกันกับค่าที่กำหนดหรือไม่ ซึ่งในแต่ละช่วงนั้น จะถูกแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ x1, x2, x4 โดยจะพิจารณากันแตกต่างกันออกไป เริ่มจาก x1 คือการพิจารณาช่วงขาขึ้นของสัญญาณ A และ x2 คือการพิจารณาช่วงขาขึ้นและขาลงของสัญญาณ A และสุดท้ายนี้ x4 คือการพิจารณาช่วงขาขึ้นและขาลงของสัญญาณ A และ B โดยภายในมีการเขียนโปรแกรมดังนี้

```
function output = pol_x1(A,B,Reset)
% Identify a variable
persistent count;
persistent previous;

% Check the reset button
if Reset == 1
    count = 0;
end

% Initialize the state on the first call
if isempty(count)
    count = 0;
end
if isempty(previous)
    previous = 0;
end

% Condition for x1 [clockwise and counter-clockwise]
if A == 1 && previous == 0
    if A == 1 && B == 0
        count = count + 1;
    elseif A == 1 && B == 1
        count = count - 1;
    end
end

% Get a last data to print out
previous = A;

% Output
output = count;
```

รูปที่ 36 (ซ้าย) แสดงโปรแกรม x1

```
function output = pol_x2(A,B,Reset)
% Identify a variable
persistent count;
persistent previous;

% Check the reset button
if Reset == 1
    count = 0;
end

% Initialize the state on the first call
if isempty(count)
    count = 0;
end
if isempty(previous)
    previous = 0;
end

% Condition for x2 [clockwise and counter-clockwise]
if A == 1 && previous == 0
    if A == 1 && B == 0
        count = count + 1;
    elseif A == 0 && B == 1
        count = count + 1;
    elseif A == 1 && B == 1
        count = count - 1;
    elseif A == 0 && B == 0
        count = count - 1;
    end
elseif A == 0 && previous == 1
    if A == 1 && B == 0
        count = count + 1;
    elseif A == 0 && B == 1
        count = count + 1;
    elseif A == 1 && B == 1
        count = count - 1;
    elseif A == 0 && B == 0
        count = count - 1;
    end
end

% Get a last data to print out
previous = A;

% Output
output = count;
```

รูปที่ 37 (ขวา) แสดงโปรแกรม x2

```

function output = pol_x4(A,B,Reset)
% Identify a variable
persistent count;
persistent previous_A;
persistent previous_B;

% Check the reset button
if Reset == 1
    count = 0;
end

% Initialize the state on the first call
if isempty(count)
    count = 0;
end
if isempty(previous_A)
    previous_A = 0;
end
if isempty(previous_B)
    previous_B = 0;
end

% Condition for x4A & x4B [clockwise and counter-clockwise]
if A == 1 && previous_A == 0
    if B == 0
        count = count + 1;
    else
        count = count - 1;
    end
elseif A == 0 && previous_A == 1
    if B == 1
        count = count + 1;
    else
        count = count - 1;
    end
elseif B == 1 && previous_B == 0
    if A == 1
        count = count + 1;
    else
        count = count - 1;
    end
elseif B == 0 && previous_B == 1
    if A == 0
        count = count + 1;
    else
        count = count - 1;
    end
end

% Get a last data to print out
previous_A = A;
previous_B = B;

% Output
output = count;

```

รูปที่ 38 แสดงโปรแกรม x4

6. หลังจากนั้นนำค่าสัญญาณที่พิจารณาแล้วนั้น ไปหารรอบและองศา โดยวิธีในการหาค่านั้น จะขึ้นอยู่กับค่าของสัญญาณ A และ B ว่าตรงตามค่าของ x1, x2, x4 ที่กำหนดหรือไม่ และ output จะมีค่าเท่ากับ Angular Position และจำนวนรอบที่หมุน knob โดยภายในมีการเขียนโปรแกรมดังนี้

```
function [output_angpos,output_i] = out_x1(check)
% Identify a variable
persistent count;

% Initialize the state on the first call
if isempty(count)
    count = 0;
end

% Revolute & Degree
rev = check / 24;
degree = rev*360;
radian = degree*2*pi;

% Show a step time, velocity for encoder in rotate
output_angpos = radian;
output_i = rev;
```

รูปที่ 39 (ซ้าย) แสดงโปรแกรม X1

```
function [output_angpos,output_i] = out_x2(check)
% Identify a variable
persistent count;

% Initialize the state on the first call
if isempty(count)
    count = 0;
end

% Revolute & Degree
rev = check / 48;
degree = rev*360;
radian = degree*2*pi;

% Show a step time, velocity for encoder in rotate
output_angpos = radian;
output_i = rev;
```

รูปที่ 40 (ขวา) แสดงโปรแกรม X2

```
function [output_angpos,output_i] = out_x4(check)
% Identify a variable
persistent count;

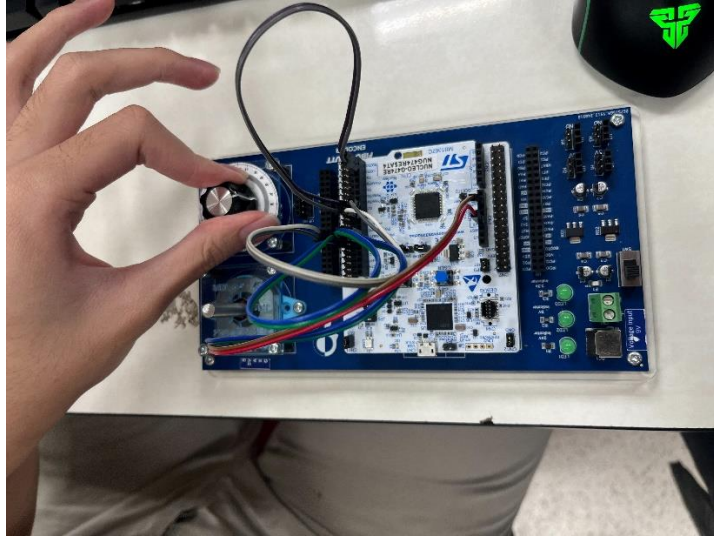
% Initialize the state on the first call
if isempty(count)
    count = 0;
end

% Revolute & Degree
rev = check / 96;
degree = rev*360;
radian = degree*2*pi;

% Show a step time, velocity for encoder in rotate
output_angpos = radian;
output_i = rev;
```

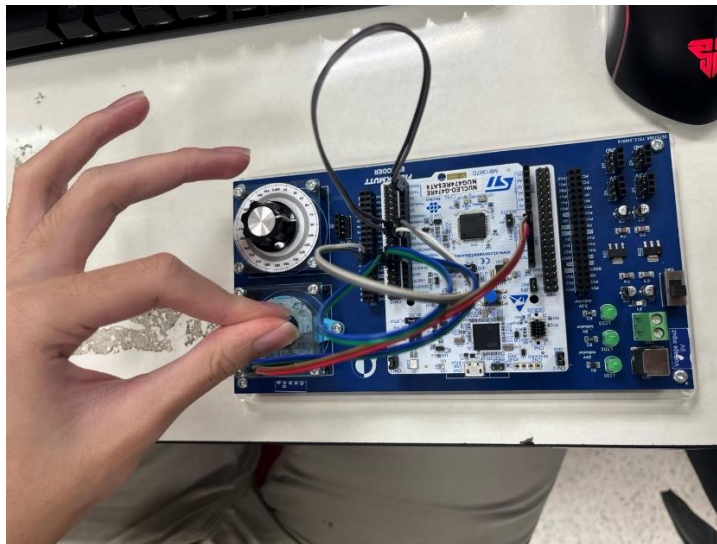
รูปที่ 41 แสดงโปรแกรม X4

7. ในขั้นตอนสุดท้ายนั้นจะนำค่า Angular Position ไปทำการหาอนุพันธ์เทียบเวลา เพื่อหา Angular Velocity
8. ทดลองหมุน Encoder ชนิด 24 Pulse โดยไปทางซ้ายสุดและขวาสุดเพื่อเก็บค่าการหมุน 1 รอบ



รูปที่ 42 แสดงการทดลองหมุน

9. ทดลองหมุน Encoder ชนิด 2048 Pulse โดยไปทางซ้ายสุดและขวาสุดเพื่อเก็บค่าการหมุน 1 รอบ



รูปที่ 43 แสดงการทดลองหมุน

10. แสดงค่าข้อมูลและเก็บผลต่าง ๆ

อุปกรณ์การทดลอง

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

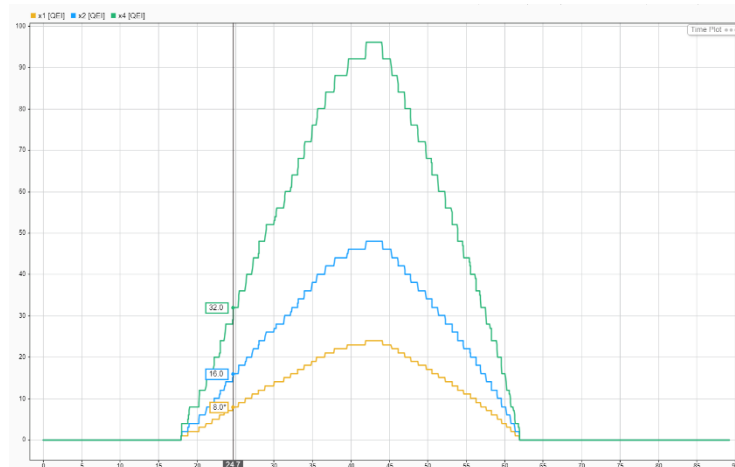
ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 5 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

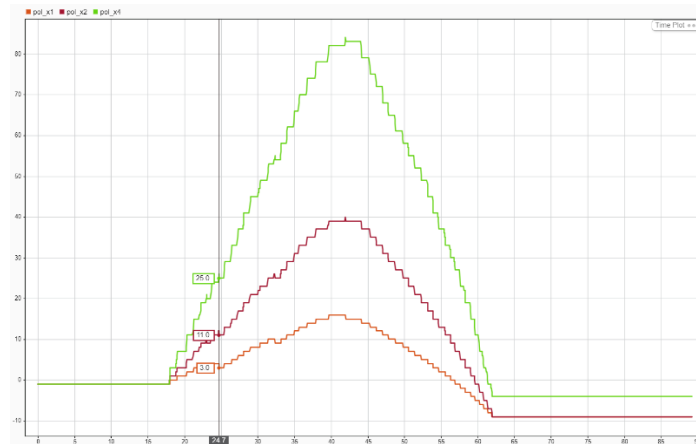
ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน			
	ตุลาคม			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
วางแผนและออกแบบการทดลอง				
ทดลองและเก็บผล				
สรุปผลและอภิปราย				
ทำรายงาน				

สรุปผลการทดลอง

1. การอ่านค่าสัญญาณแบบ QEI จะมีประสิทธิภาพและความแม่นยำมากกว่าวิธี Polling ด้วย PEC11R



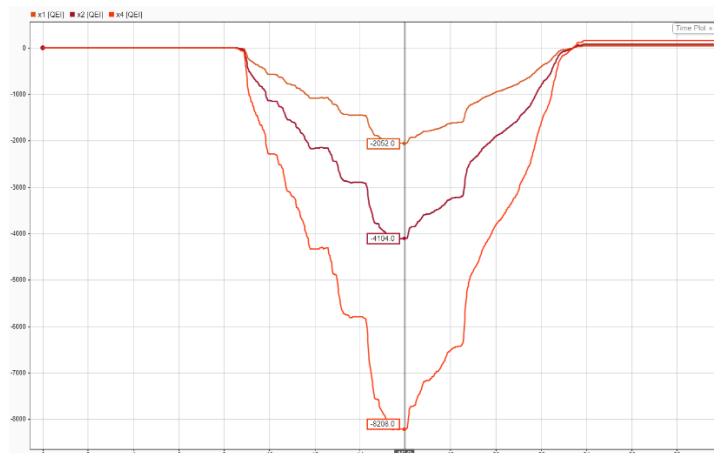
รูปที่ 44 แสดงกราฟระยะทางต่อเวลาของ Encoder ด้วยวิธี QEI



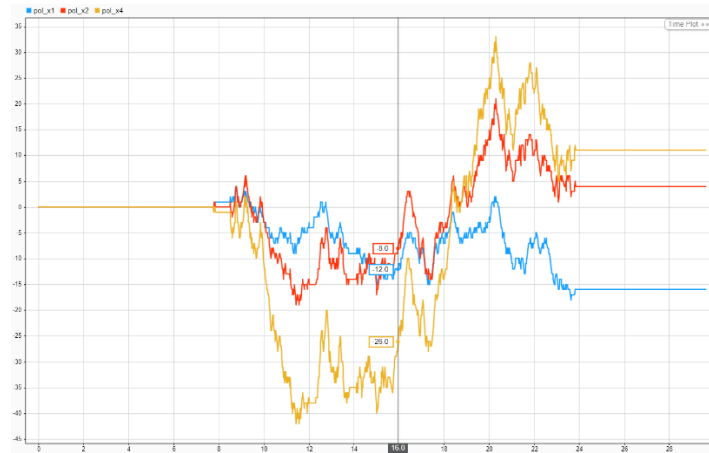
รูปที่ 45 แสดงกราฟระยะทางต่อเวลาของ Encoder ด้วยวิธี Polling

จากข้อมูลที่ได้จากกราฟตามรูปที่ ... แสดงให้เห็นถึงค่าความแม่นยำและเที่ยงตรงที่มากกว่าของ QEI ต่อ Polling ซึ่งมีค่าที่ห่างกัน $x1$, $x2$, $x4$ ตามลำดับ โดยมีลักษณะที่ตรงตาม Quadrature ของ Encoder และให้ผลลัพธ์ที่ตรงตามความเป็นจริง

2. การอ่านค่าสัญญาณแบบ QEI จะมีประสิทธิภาพและความแม่นยำมากกว่าวิธี Polling ด้วย AMT103-V



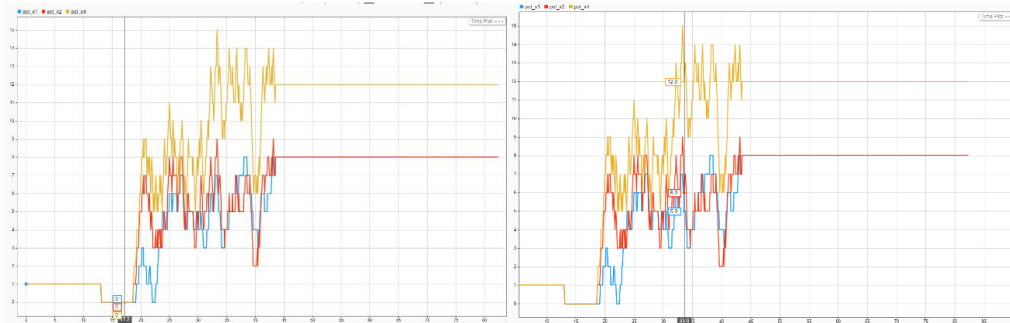
รูปที่ 46 แสดงกราฟระยะทางต่อเวลาของ Encoder ด้วยวิธี QEI



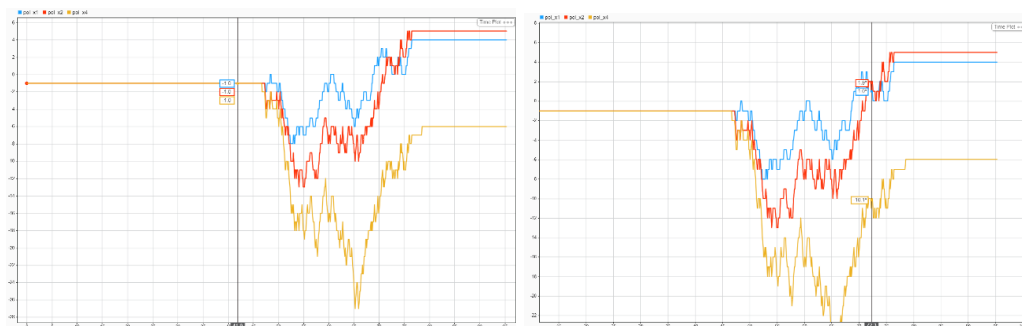
รูปที่ 47 แสดงกราฟระยะทางต่อเวลาของ Encoder ด้วยวิธี Polling

จากข้อมูลที่ได้จากกราฟตามรูปที่ 47 แสดงให้เห็นถึงค่าความแม่นยำและเที่ยงตรงที่มากกว่าของ QEI ต่อ Polling ซึ่งมีค่าที่ห่างกัน $x1$, $x2$, $x4$ ตามลำดับ โดยมีลักษณะที่ตรงตาม Quadrature ของ Encoder และให้ผลลัพธ์ที่ตรงตามความเป็นจริง

3. ค่า ณ จุดเริ่มต้นของ Polling มีผลต่อลักษณะของกราฟที่แสดงออกมาตลอดทั้งเส้นจริงหรือไม่



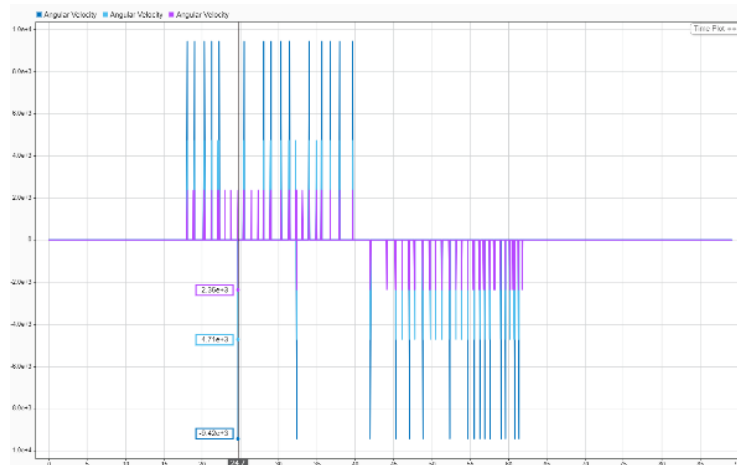
รูปที่ 48 แสดงกราฟ ณ จุดเริ่มต้นที่ 0 ของระยะทางต่อเวลาของ Encoder ด้วยวิธี Polling



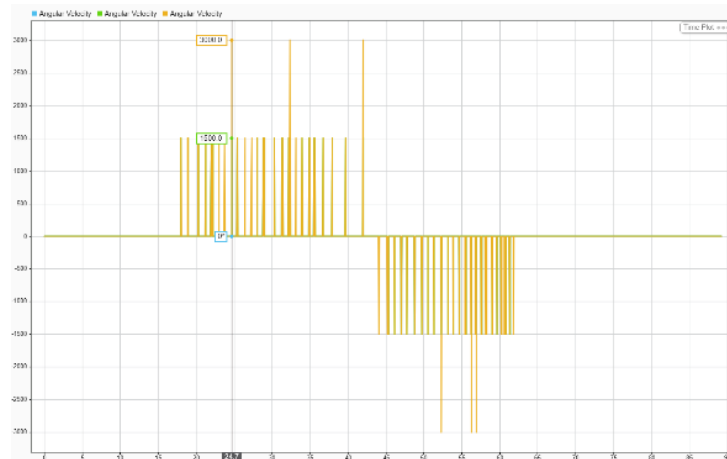
รูปที่ 49 แสดงกราฟ ณ จุดเริ่มต้นที่ 0 ของระยะทางต่อเวลาของ Encoder ด้วยวิธี Polling

จากข้อมูลที่ได้จากกราฟตามรูปที่ 49 แสดงให้เห็นว่า ณ จุดเริ่มต้นมีผลทำให้ทิศทางของกราฟเปลี่ยนแปลงไป ไม่ค่อยตามและไปในทิศทางเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าวิธีการ Polling ณ จุดเริ่มต้นที่ไม่เท่ากันมีผลทำให้ค่าของกราฟเปลี่ยนแปลงไป

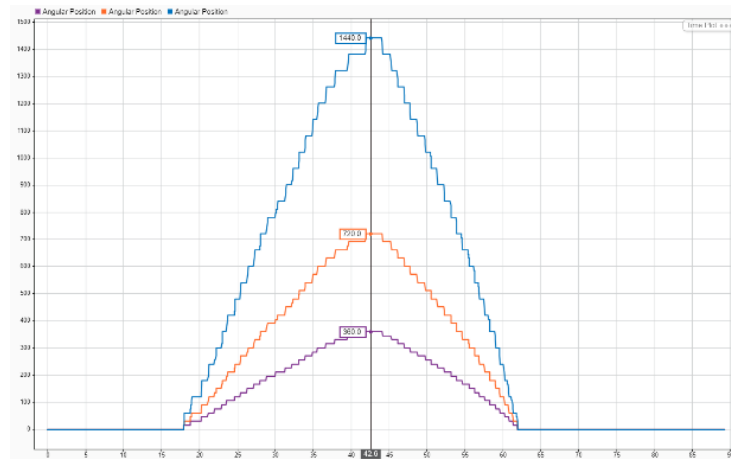
4. จากการทดลองทั้งหมดที่ผู้ทดลองได้ลงมือทำ ทำให้พบว่า
 - 4.1 ความเร็วเชิงมุม



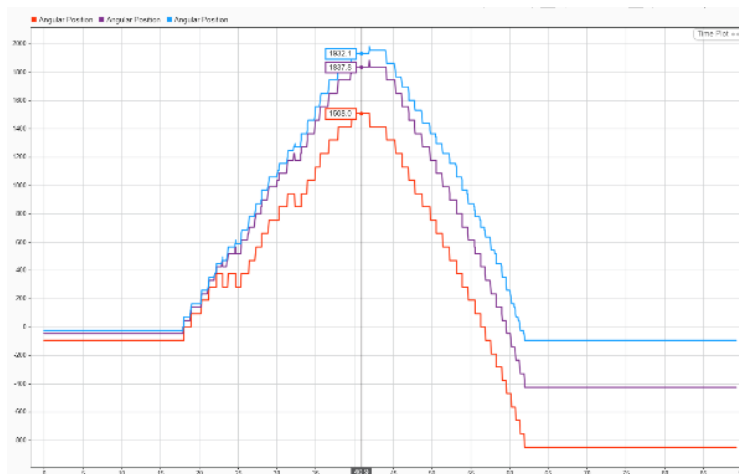
รูปที่ 50 แสดงกราฟความเร็วเชิงมุมต่อเวลาของ Encoder ด้วยวิธี QEI ของ PEC11R



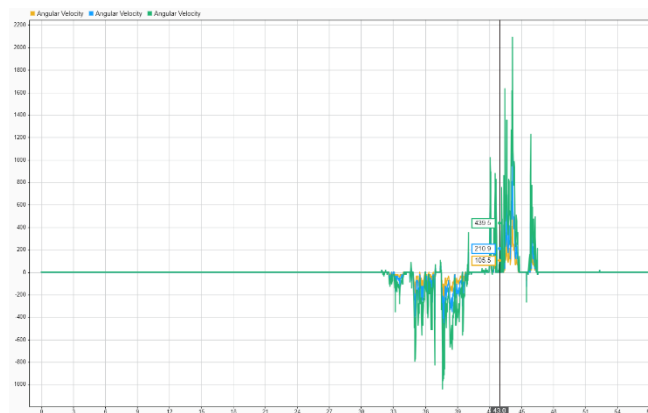
รูปที่ 51 แสดงกราฟความเร็วเชิงมุมต่อเวลาของ Encoder ด้วยวิธี Polling ของ PEC11R



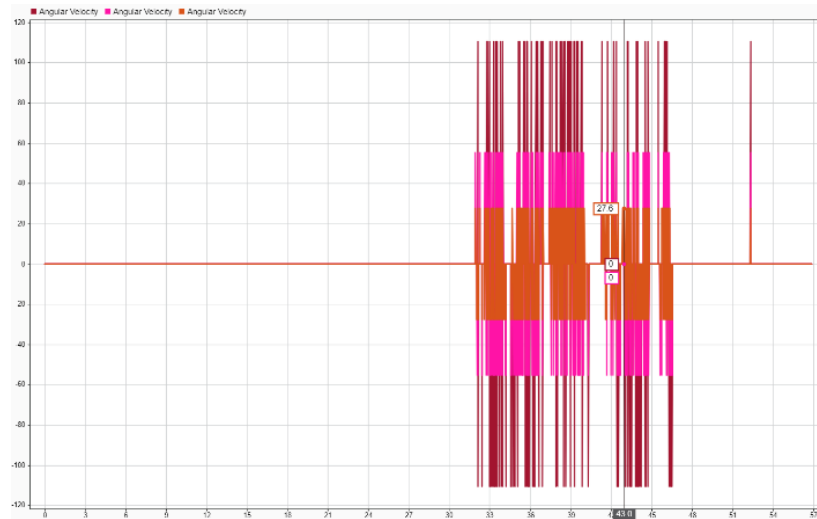
รูปที่ 52 แสดงกราฟองศาของต่อเวลาของ Encoder ด้วยวิธี QEI ของ PEC11R



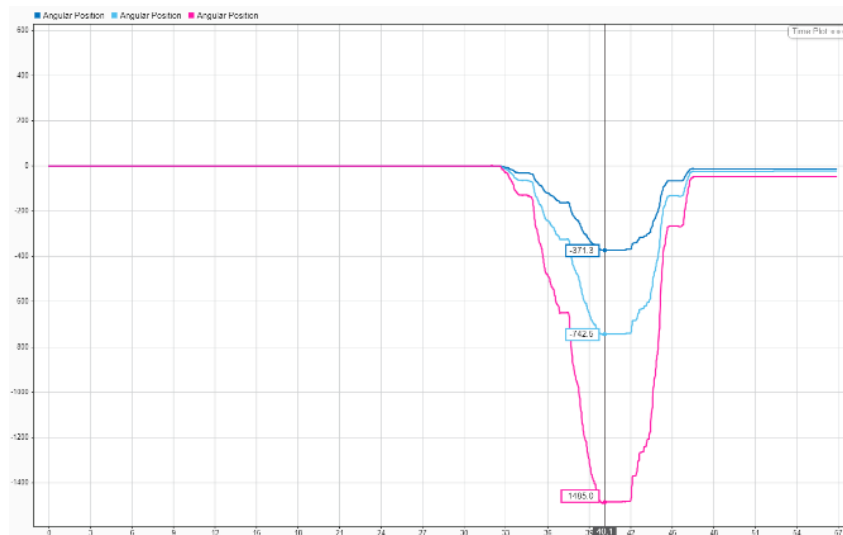
รูปที่ 53 แสดงกราฟองศาของต่อเวลาของ Encoder ด้วยวิธี Polling ของ PEC11R



รูปที่ 54 แสดงกราฟความเร็วเชิงมุมต่อเวลาของ Encoder ด้วยวิธี QEI ของ AMT103-V



รูปที่ 55 แสดงกราฟความเร็วเชิงมุมต่อเวลาของ Encoder ด้วยวิธี Polling ของ AMT103-V และ
กราฟความเร็วเชิงมุมต่อเวลาของ Encoder ด้วยวิธี QEI ของ AMT103-V



รูปที่ 56 แสดงกราฟองศาของต่อเวลาของ Encoder ด้วยวิธี QEI ของ AMT103-V และ
แสดงกราฟองศาของต่อเวลาของ Encoder ด้วยวิธี Polling ของ PEC11R



รูปที่ 57 แสดงกราฟของค่าของต่อเวลาของ Encoder ด้วยวิธี Polling ของ AMT103-V

อภิปรายผล

1. ค่าของ QEI มีลักษณะที่ตรงตามความเป็นจริง
2. การมีปุ่ม Reset ช่วยให้ค่าสามารถมีความคล้อยคลึงและไปในทิศทางเดียวกัน

ข้อเสนอแนะ

1. เพิ่มความละเอียดในการทดลองให้มากขึ้น
2. ออกแบบการต่อวงจรให้มีลักษณะที่น้อยแต่มีประสิทธิภาพมากกว่านี้
3. เพิ่มความละเอียดในการทดลองให้มากขึ้น
4. ระบุตัวแปรในการกำหนดค่าเริ่มต้น
5. จากการทดลองทั้งหมดที่ผู้ทดลองได้ลงมือทำ ทำให้พบว่า

เอกสารอ้างอิง

- PEC11R Datasheet
[PEC11R datasheet\(1/3 Pages\) BOURNS | 12 mm Incremental Encoder](#)
- Increment Encoder ต่างกับ Absolute Encoder อย่างไร
[Increment Encoder ต่างกับ Absolute Encoder อย่างไร](#)
- Quadrature Encoder Overview
[Quadrature Encoders - The Ultimate Guide](#)
- AMT103-V Datasheet
[AMT103-V datasheet\(1/8 Pages\) CUI | INCREMENTAL ENCODER](#)

LAB1.3 Magnetic Sensor

จุดประสงค์

- สามารถอธิบายหลักการทำงานของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor ได้
- สามารถอธิบายลักษณะสัญญาณ Output ของ Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor ได้ เมื่อ Magnetic Flux Density เปลี่ยนแปลงไป
- สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง Magnetic Field Shielding และ Magnetic Flux Density
- สามารถอธิบายผลการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละรูปแบบการทดลองได้
- สามารถระบุข้อผิดพลาดของแม่เหล็กได้จากการอ่านสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดลอง
- สามารถเขียนโปรแกรม โดยประยุกต์ใช้ MATLAB และ Simulink ในการสั่งการหรือรับค่า ร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจาก Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor เป็น Input และ แสดงสัญญาณ Output จากการ Log สัญญาณ แสดงผลเป็นกราฟจาก Data Inspector ใน MATLAB Simulink แสดงให้เห็นว่าสัญญาณ Output แปรผันตามสัญญาณ Input แบบ Real Time โดยมี Output เป็น Raw Signal, Magnetic Flux Density ในหน่วย SI derived

สมมติฐาน

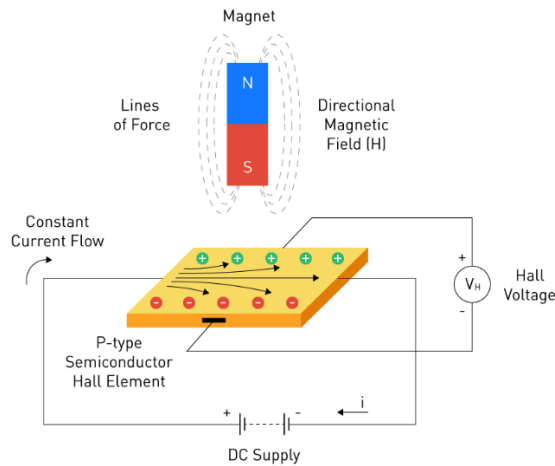
1. สัญญาณที่อ่านได้ที่เกิดจากการกลับด้านของขั้วแม่เหล็กสามารถระบุทิศทางของขั้วแม่เหล็กได้หรือไม่
2. การติดและไม่ติดแผ่นโลหะ มีผลต่อความหนาแน่นของแม่เหล็กหรือไม่

ตัวแปรต้น	ติดและไม่ติดแผ่นโลหะ การสลับขั้วแม่เหล็ก
ตัวแปรตาม	ค่าความหนาแน่นของแม่เหล็ก ขั้วของแม่เหล็ก
ตัวแปรควบคุม	ความสูงระหว่างเซ็นเซอร์และแม่เหล็ก

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปรากฏการณ์ฮอลล์

Hall effect sensor ทำงานโดยใช้ประโยชน์จากปรากฏการณ์ฮอลล์ ในการตรวจจับและวัดสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กนี้จะส่งผลให้ตัวนำประจุในเซ็นเซอร์รวมตัวกันที่ด้านใดด้านหนึ่ง ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เรียกว่าแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าฮอลล์จะแปรผันตามสัดส่วนความแรงของและทิศทางของ สนามแม่เหล็กที่ตั้งฉากกับพื้นผิวของเซ็นเซอร์ ดังรูปที่ 58



รูปที่ 58 แสดงปรากฏการณ์ฮอลล์

แหล่งที่มา : https://media.monolithicpower.cn/wysiwyg/Articles/_SEO-0011_Fig1-_960_x_765.png

DRV5055A2 Ratiometric Linear Hall Effect Sensor

คือเซ็นเซอร์ที่นำปรากฏการณ์ฮอลล์มาใช้ในการอ่านและส่งออกแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ โดยมีข้อมูลที่จำเป็นต่อการทดลองดังนี้

ตารางที่ 6 แสดงข้อมูลจำเพาะของเซ็นเซอร์ DRV5055A2

ชื่อ	ข้อมูลจำเพาะ	
DRV5055A2	Sensitivity _(25°C)	30 mV/mT
	S_{TC}	0.12 %/°C
	T_A	25°C
	V_{CC}	3.3 V

วิธีดำเนินการทดลอง

1. ทดลองอ่านค่าและเก็บข้อมูลสัญญาณที่แปลงมาเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าหน่วย โวลต์(V) โดยเก็บผลการทดลอง 4 รูปแบบ ได้แก่

แบบที่ 1 ใส่แม่เหล็กให้ด้าน A หันเข้าหาเซ็นเซอร์ แบบยังไม่ติดแผ่นโลหะ

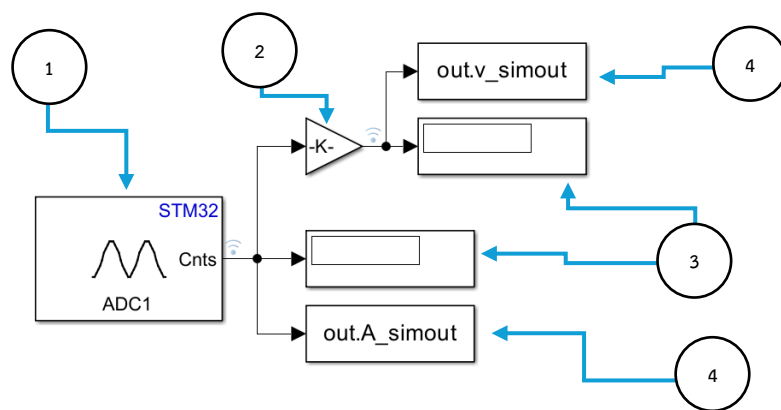
แบบที่ 2 ใส่แม่เหล็กให้ด้าน A หันเข้าหาเซ็นเซอร์ แบบติดแผ่นโลหะ

แบบที่ 3 ใส่แม่เหล็กให้ด้าน B หันเข้าหาเซ็นเซอร์ แบบยังไม่ติดแผ่นโลหะ

แบบที่ 4 ใส่แม่เหล็กให้ด้าน B หันเข้าหาเซ็นเซอร์ แบบติดแผ่นโลหะ



รูปที่ 59 แสดงภาพการทดลอง



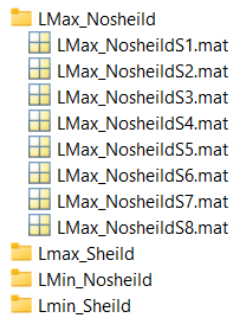
รูปที่ 60 แสดงการทำงานภายใน Simulink

- 1) อ่านสัญญาณตามขาที่กำหนดในรูปแบบของสัญญาณ Analog
- 2) แปลงสัญญาณ Analog ที่ได้ให้เป็นแรงดันไฟฟ้า ภายในได้ใช้ $3.3 \div 4095$ หรือเท่ากับ 0.00080586 ไปคูณกับสัญญาณ Analog ที่ได้
โดย 3.3 คือ แรงดันที่ใช้สำหรับการใช้งานเซ็นเซอร์
4095 คือ ค่าคงที่ bit ของไมโครคอนโทรลเลอร์
- 3) แสดงผลสัญญาณที่ได้
- 4) ส่งออกสัญญาณที่ได้

โดยเก็บข้อมูลในระยะห่าง 8 ระดับ ได้แก่ 0, 5, 10, ... , 35 mm ตามลำดับ ซึ่งแต่ละระดับจะเก็บผล 101 ค่า

```
saveV_LMin = out.v_simout(:,1) %รับค่า out.v_simout จาก Simulink ลงในตัวแปรที่กำหนด
saveA_LMin = out.A_simout(:,1) %รับค่า out.A_simout จาก Simulink ลงในตัวแปรที่กำหนด
save("LMin_NosheildS8","saveV_LMin","saveA_LMin"); %บันทึกค่าลงในตัวแปรที่กำหนด
```

รูปที่ 61 แสดงโปรแกรมเก็บข้อมูลแรงดันไฟฟ้าขาออกจาก Simulink



รูปที่ 62 แสดงข้อมูลแรงดันไฟฟ้าขาออกที่เก็บจากการทดลอง

2. หลังจากเก็บค่า 8 ระดับ ของทั้ง 4 รูปแบบการทดลองแล้ว จึงนำไปหาค่าเฉลี่ยของแต่ละระดับของทุกรูปแบบการทดลอง

```
alldata = ["LMin_NosheildS1.mat","LMin_NosheildS2.mat","LMin_NosheildS3.mat",
           ,"LMin_NosheildS4.mat","LMin_NosheildS5.mat","LMin_NosheildS6.mat",
           ,"LMin_NosheildS7.mat","LMin_NosheildS8.mat"];
dataA = [ ];
dataV = [ ];
for i = 1:8
    load(alldata(i),"saveA_LMin","saveV_LMin");
    %Get a raw data
    sumA = 0;
    sumV = 0;
    for j = 1:101
        sumA = sumA + saveA_LMin(j);
        sumV = sumV + saveV_LMin(j);
    end
    %Sum a data
    avgA = sumA / 101;
    avgV = sumV / 101;
    %Get an average
    dataA(i) = avgA;
    dataV(i) = avgV;
```

```
%Get the data in matrix
end
save("dataLMin_Nosheid","dataA","dataV");
```

รูปที่ 63 แสดงโปรแกรมหาค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าขาออกของทั้ง 4 รูปแบบการทดลอง

- หลังจากได้ข้อมูลที่แปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าแล้วผู้ทดลองจึงนำข้อมูลที่ได้นำใส่ในสมการ Magnetic Response จากใน Datasheet ของ DRV5055A2 เพื่อคำนวณหาความหนาแน่นของแม่เหล็ก

สมการ Magnetic Response

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

โดยที่

V_Q คือ แรงดันไฟฟ้าครึ่งหนึ่งของ V_{cc} (mV)

B คือ ความหนาแน่นของแม่เหล็ก (mT)

$Sensitivity_{(25^{\circ}C)}$ คือ ความไวต่ออุณหภูมิ ขึ้นอยู่กับโมดูลและ V_{cc} ที่ใช้ ($^{\circ}C$) (ค่าจากใน Datasheet)

S_{TC} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนต่ออุณหภูมิ (ค่าจากใน Datasheet)

T_A คือ อุณหภูมิรอบตัวของสถานที่ที่ทดลอง (อุณหภูมิห้อง)

V_{out} คือ แรงดันไฟฟ้าขาออก (mV)

- ใส่สมการและแทนค่าตัวแปรภายในโปรแกรม MATLAB เพื่อคำนวณหาความหนาแน่นของแม่เหล็ก

แทนค่า

V_Q คือ 1650 mV

B คือ ความหนาแน่นของแม่เหล็ก (mT)

$Sensitivity_{(25^{\circ}C)}$ คือ 30 mV/mT

S_{TC} คือ 0.12 $\%/^{\circ}C$

T_A คือ $25^{\circ}C$

V_{out} คือ แรงดันไฟฟ้าขาออก (mV)

```

alldata = {"dataLMax_Nosheild.mat","dataLMax_sheild.mat","dataLMin_Nosheild.mat","dataLMin_sheild.mat"}
flux_min_s = [];

B=0; %Magnetic flux density
TA=25; % Temp ambient
STC=0.0360; % 0.12%/C A2=30C So STC=3.6%,0.0360
Sensitivity = 30; %mv/mT
Vq=1650; % half of Vcc(3.3) mV
load(alldata{4});
for i=1:8
    Vout=(dataV(i)*1000);
    B=(Vout-Vq)/(Sensitivity*(1+STC*(TA-25))); % mT
    flux_min_s(i)=B;
end

```

รูปที่ 64 แสดงโปรแกรมคำนวณแรงดันไฟฟ้าขาออกให้เป็นค่าความหนาแน่นของแม่เหล็ก

5. นำผลลัพธ์ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณมาสร้างกราฟเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบได้ง่ายโดยเขียนโปรแกรมดังนี้

```

% Load the data
alldata = {"dataLMax_Nosheild.mat","dataLMax_sheild.mat","dataLMin_Nosheild.mat","dataLMin_sheild.mat"}
figure;
hold on;
for m = 1:4
    load(alldata{m});
    plot([0 5 10 15 20 25 30 35], dataV,'LineWidth',2);
end
% Set axis limits
xlim([0 35]);
ylim([0 3.3]);
% Add labels and title
xlabel('Height (mm)');
ylabel('Voltage (V)');
title('Voltages per Height');
legend('At max lowest without sheild','At max lowest with sheild','At min lowest without sheild','At min lowest with sheild')
% Turn on grid lines
grid on;

```

รูปที่ 65 แสดงโปรแกรมสร้างกราฟแรงดันไฟฟ้าเทียบกับความสูง

```

% Load the data
alldata = {"flux_max_ns.mat", "flux_max_s.mat", "flux_min_ns.mat", "flux_min_s.mat"}
% Create the figure and plot the data
figure;
hold on;
load(alldata{m});
plot([0 5 10 15 20 25 30 35], flux_min_ns, 'LineWidth', 2);
plot([0 5 10 15 20 25 30 35], flux_min_s, 'LineWidth', 2);
hold on;
plot([0 5 10 15 20 25 30 35], flux_max_ns, 'LineWidth', 2);
plot([0 5 10 15 20 25 30 35], flux_max_s, 'LineWidth', 2);
% Set axis limits
xlim([0 35]);
ylim([-55 55]);
% Add labels and title
xlabel('Height (mm)');
ylabel('Magnetic flux density (mT)');
title('Magnetic flux density per Height');
legend('South pole without sheild', 'South pole with sheild', 'North pole without sheild', 'North pole with sheild')
% Turn on grid lines
grid on;

```

รูปที่ 66 แสดงโปรแกรมสร้างกราฟความหนาแน่นของแม่เหล็กเทียบกับความสูง


```

% Load the data
alldata = {"dataLMax_Nosheild.mat","dataLMax_sheild.mat","dataLMin_Nosheild.mat","dataLMin_sheild.mat"}
% Create the figure and plot the data
figure;
hold on;
load(alldata{1});
tiledlayout(2,2)
nexttile
plot(flux_max_ns, dataV,'LineWidth',2);
% Set axis limits
xlim([0 60]);
ylim([1.5 3.5]);
% Add labels and title
xlabel('Magnetic flux density (mT)');
ylabel('Voltage (V)');
title('Voltage per Magnetic flux density of A side without shield');
%legend('At max lowest without sheild','At max lowest with sheild','At min lowest without sheild','At min lowest with
sheild')
% Turn on grid lines
grid on;
nexttile
load(alldata{2});
plot(flux_max_s, dataV,'LineWidth',2);
% Set axis limits
xlim([0 60]);
ylim([1.5 3.5]);
% Add labels and title
xlabel('Magnetic flux density (mT)');
ylabel('Voltage (V)');
title('Voltage per Magnetic flux density of A side with shield');
%legend('At max lowest without sheild','At max lowest with sheild','At min lowest without sheild','At min lowest with
sheild')
% Turn on grid lines
grid on;
nexttile
load(alldata{3});
plot(flux_min_ns, dataV,"red",'LineWidth',2);
% Set axis limits
xlim([-60 5]);
ylim([0 2]);

```

```

% Add labels and title
xlabel('Magnetic flux density (mT)');
ylabel('Voltage (V)');
title('Voltage per Magnetic flux density of B side without shield');
%legend('At max lowest without sheild','At max lowest with sheild','At min lowest without sheild','At min lowest with
sheild')

% Turn on grid lines
grid on;

nexttile

load(alldata{4});
plot(flux_min_s, dataV,'red','LineWidth',2)

% Set axis limits
xlim([-60 5]);
ylim([0 2]);

% Add labels and title
xlabel('Magnetic flux density (mT)');
ylabel('Voltage (V)');
title('Voltage per Magnetic flux density of B side with shield');
%legend('At max lowest without sheild','At max lowest with sheild','At min lowest without sheild','At min lowest with
sheild')

% Turn on grid lines
grid on;

```

รูปที่ 67 แสดงโปรแกรมสร้างกราฟแรงดันไฟฟ้าขาออกเทียบความหนาแน่นของแม่เหล็ก

อุปกรณ์การทดลอง

1. DRV5055A2 Ratiometric Linear Hall Effect Magnetic Sensor จำนวน 1 อัน
2. แม่เหล็กทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10mm x สูง 8mm จำนวน 1 อัน
3. แผ่นโลหะ ขนาด 15mm x 15mm จำนวน 1 อัน
4. Nucleo STM32G474RE จำนวน 1 อัน
5. MagneticXplorer จำนวน 1 ชุด
6. สายจัมเปอร์

ขั้นตอนการดำเนินงาน

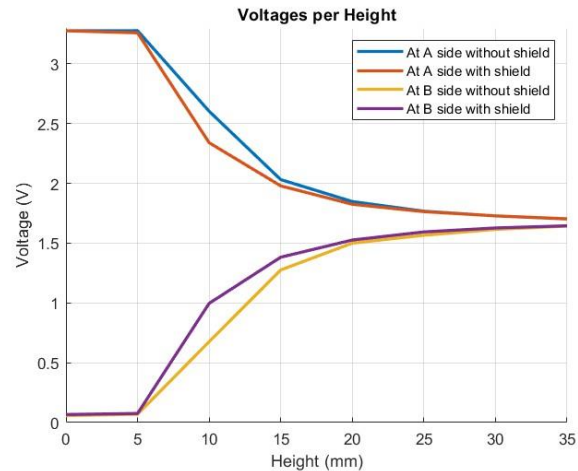
ตารางที่ 7 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน			
	ตุลาคม			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
วางแผนและออกแบบการทดลอง				
ทดลองและเก็บผล				
สรุปผลและอภิปราย				
ทำรายงาน				

สรุปผลการทดลอง

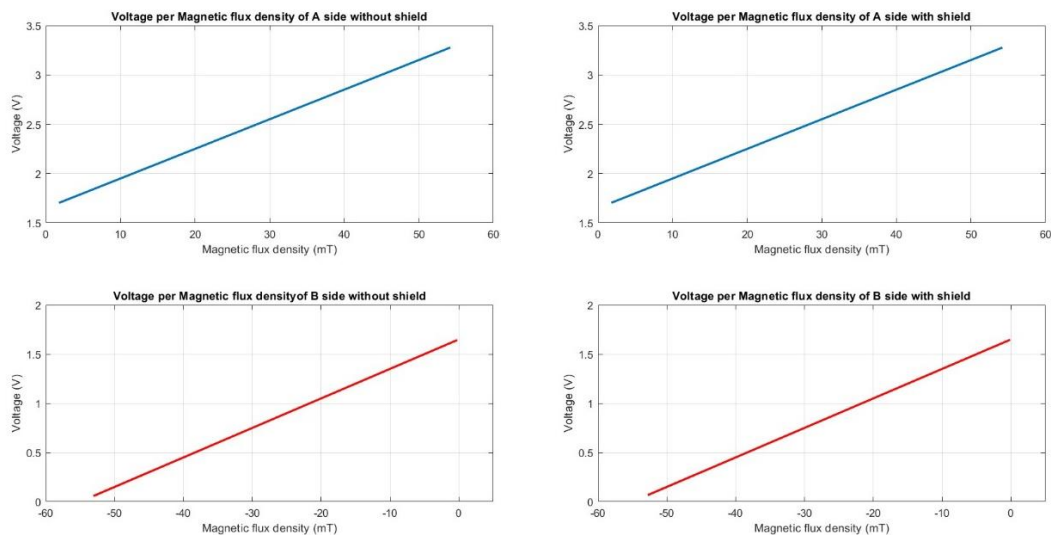
ตารางที่ 8 แสดงผลค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า (V) ของแต่ละระดับ

รูปแบบการทดลอง		ระดับที่ 1 (0 mm)	ระดับที่ 2 (5 mm)	ระดับที่ 3 (10 mm)	ระดับที่ 4 (15 mm)	ระดับที่ 5 (20 mm)	ระดับที่ 6 (25 mm)	ระดับที่ 7 (30 mm)	ระดับที่ 8 (35 mm)
A	แบบที่ 1	3.2760	3.2770	2.6031	2.0315	1.8481	1.7671	1.7279	1.7026
A	แบบที่ 2	3.2764	3.2592	2.3400	1.9791	1.8252	1.7636	1.7284	1.7038
B	แบบที่ 3	0.0578	0.0693	0.6764	1.2760	1.5003	1.5663	1.6153	1.6426
B	แบบที่ 4	0.0670	0.0757	0.9966	1.3826	1.5265	1.5939	1.6273	1.6454

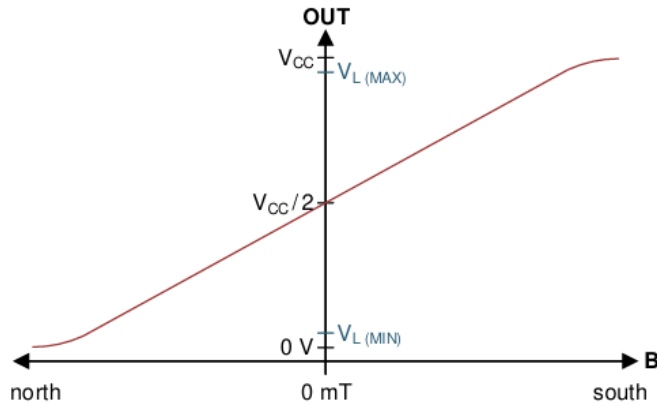


รูปที่ 68 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าเทียบกับความสูง

ผลจากการคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าแต่ละระดับตามตารางที่ 8 และกราฟตามรูปที่ 68 ผู้ทดลองได้นำไปใช้คำนวณหาความหนาแน่นของแม่เหล็กต่อและได้ผลลัพธ์ตามกราฟในรูปที่ 69 ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกราฟ Magnetic Response ตามรูปที่ 70 จากใน Datasheet ของ DRV5055 ซึ่งสามารถระบุขั้วของแม่เหล็กได้จากการเทียบแรงดันไฟฟ้าขาออกกับความหนาแน่นแม่เหล็ก ผู้ทดลองจึงสามารถสรุปได้ว่า แม่เหล็กด้าน A ที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกกับค่าความหนาแน่นของแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้นอย่างสอดคล้องกันนั่นคือ ขั้วใต้ และที่แม่เหล็กด้าน B นั้นมีค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกกับค่าความหนาแน่นของแม่เหล็กที่ลดลงอย่างสอดคล้องกันคือ ขั้วเหนือ



รูปที่ 69 แสดงกราฟการเปรียบเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาออกกับความหนาแน่นของแม่เหล็กของทั้ง 4 รูปแบบการทดลอง

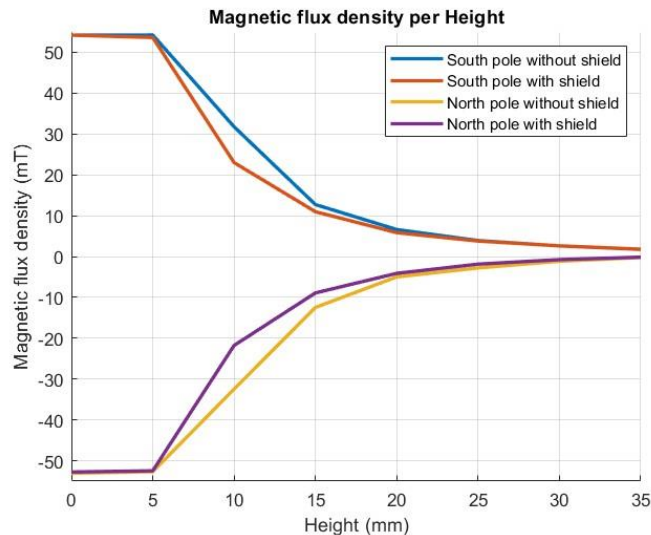


รูปที่ 70 แสดงกราฟ Magnetic Response

ต่อมาผู้ทดลองได้นำข้อมูลความหนาแน่นของแม่เหล็กของทั้ง 4 รูปแบบการทดลองมาเปรียบเทียบกับกราฟในรูปที่ 70 เพื่อวิเคราะห์ว่าการติดและไม่ติดแผ่นโลหะนั้นส่งผลต่อการอ่านค่าของเซ็นเซอร์หรือไม่

ตารางที่ 9 แสดงผลค่าความหนาแน่นของแม่เหล็ก (Wb) ของแต่ละระดับ

รูปแบบการทดลอง	ระดับที่ 1 (0 mm)	ระดับที่ 2 (5 mm)	ระดับที่ 3 (10 mm)	ระดับที่ 4 (15 mm)	ระดับที่ 5 (20 mm)	ระดับที่ 6 (25 mm)	ระดับที่ 7 (30 mm)	ระดับที่ 8 (35 mm)
ขั้วใต้ ติดแผ่นโลหะ	54.2148	53.6414	23.0006	10.9715	5.8407	3.7885	2.6154	1.7962
ขั้วใต้ ไม่ติดแผ่นโลหะ	54.2015	54.2358	31.7714	12.7176	6.6064	3.9037	2.5994	1.7555
ขั้วเหนือ ติดแผ่นโลหะ	-52.7662	-52.4733	-21.7780	-8.9109	-4.1151	-1.8673	-0.7540	-0.1524
ขั้วเหนือ ไม่ติดแผ่นโลหะ	-53.0702	-52.6885	-32.4520	-12.4662	-4.9872	-2.7883	-1.1556	-0.2462



รูปที่ 71 แสดงกราฟการเปรียบเทียบระหว่างความหนาแน่นของแม่เหล็กกับความสูงของทั้ง 4 รูปแบบการทดลอง

จะเห็นว่าเส้นกราฟของค่าความหนาแน่นของแม่เหล็กที่ไม่ได้ติดแผ่นโลหะมีค่าที่สูงกว่าในช่วง 5 – 15 มิลลิเมตร และเริ่มใกล้เคียงกันในช่วง 15 มิลลิเมตรขึ้นไป จึงสรุปได้ว่าการติดแผ่นโลหะนั้นมีผลต่อการอ่านค่าของ

เซ็นเซอร์ DRV5055A2 และสามารถอ่านหรือแยกสัญญาณของแม่เหล็กที่ติดและไม่ติดแผ่นโลหะได้ดีในช่วง 5 – 15 มิลลิเมตร

อภิปรายผล

1. การสลับขั้วของแม่เหล็กส่งผลต่อสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขาออกของเซ็นเซอร์จริงตามการสรุปผลการทดลอง ซึ่งเป็นไปตาม Datasheet ของ DRV5055
2. การติดและไม่ติดแผ่นโลหะมีผลต่อการอ่านค่าของเซ็นเซอร์จริงตามการสรุปผลการทดลอง

ข้อเสนอแนะ

1. เพิ่มขอบเขตระยะความสูงในการทดลองให้สูงขึ้น
2. เพิ่มความละเอียดในการทดลอง ให้ละเอียดมากขึ้น
3. ทดลองเปลี่ยนลักษณะของแม่เหล็กที่ใช้ในการทดลองให้หลากหลายมากยิ่งขึ้น เพื่อศึกษาว่าลักษณะของแม่เหล็กมีผลต่อสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขาออกหรือไม่
4. ทดลองเปลี่ยนลักษณะของแผ่นโลหะที่ใช้ในการทดลองให้หลากหลายมากยิ่งขึ้น เพื่อศึกษาว่าลักษณะของแผ่นโลหะมีผลต่อสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขาออกหรือไม่

เอกสารอ้างอิง

- Datasheet ของ DRV5055
[DRV5055 Ratiometric Linear Hall Effect Sensor datasheet \(Rev. B\)](#)
- Hall Effect Sensors: A Comprehensive Guide
[Hall Effect Sensors: A Comprehensive Guide | Article | MPS](#)
- การตรวจจับด้วยปรากฏการณ์ฮอลล์ HALL EFFECT SENSOR
[View of การตรวจจับด้วยปรากฏการณ์ฮอลล์ \(HALL EFFECT SENSORS\)](#)

LAB1.4 Single Point Load Cell with INA125 Instrumentation Amplifier

จุดประสงค์

- สามารถอธิบายหลักการทำงานของ Load cell, วงจร Wheatstone bridge, Strain Gauge, 2 Op-amps Differential Amplifier ได้
- สามารถอธิบายค่าสัญญาณ Output ของ Load Cell ได้ เมื่อแรงที่กระทำต่อ Load Cell เปลี่ยนแปลงไป
- สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Gain และ ค่าความต้านทานของ Single External Resistor และส่งผลอย่างไรกับการวัดค่าของ Load Cell
- สามารถอธิบายกระบวนการ Signal Conditioning ทั้งหมดได้ตั้งแต่ต้นจนจบกระบวนการ ว่าค่าที่อ่านได้จาก Load Cell มีที่มาอย่างไร อธิบายให้เห็นถึงวิธีคิดและขั้นตอนทั้งหมด ทั้งก่อนและ หลัง Calibrate Sensor หรือ วิธีจัดการข้อมูลที่ได้มา จัดการอย่างไร รวมถึงหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อ Load Cell แรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจาก Load Cell ทั้งแบบที่ยังไม่ผ่าน INA125 และผ่าน INA125
- สามารถเขียนโปรแกรม โดยประยุกต์ใช้ MATLAB และ Simulink ในการส่งการหรือรับค่า ร่วมกับบอร์ด Nucleo STM32G474RE โดยใช้สัญญาณจาก INA125 Instrumentation Amplifier ที่ต่อเข้ากับ Single Point Load Cell เป็น Input และ แสดงสัญญาณ Output จากการ Log สัญญาณ แสดงผลเป็นกราฟจาก Data Inspector ใน MATLAB Simulink แสดงให้เห็นว่าสัญญาณ Output แปรผันตามสัญญาณ Input แบบ Real Time โดยมี Output เป็นน้ำหนัก ในหน่วย SI derived

สมมติฐาน

1. การปรับค่าความต้านทานของ Trimmer Potentiometer ส่งผลต่อสัญญาณขาออกจริงหรือไม่
2. สามารถแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขาออกให้เป็นน้ำหนักในหน่วย SI ได้หรือไม่

ตัวแปรต้น

ค่าอัตราขยายของ Amplifier (G)

ค่าความต้านทานของ Trimmer Potentiometer (R_G)

ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกในกรณีที่ไม่ได้ถ่วงน้ำหนัก (V_{zero})

ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกที่น้ำหนักสูงสุดที่ Loadcell รับได้ (V_{max})

ตัวแปรตาม

ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก (V_{out})

ตัวแปรควบคุม

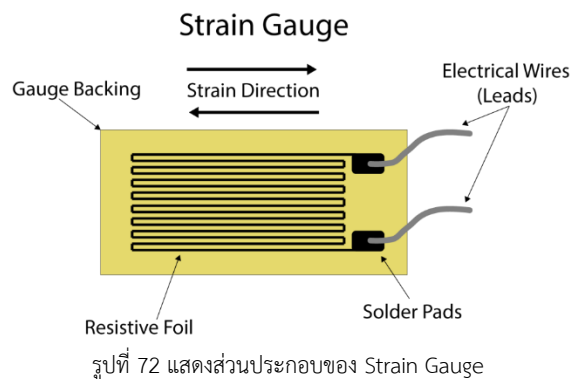
น้ำหนักถ่วงทรายที่ใช้ทดลอง (kg)

จำนวนถ่วงทรายที่ใช้ทดลอง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Load cell

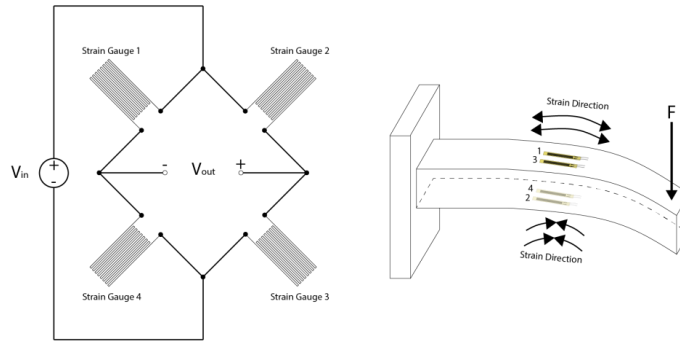
Load cell ถูกสร้างมาจาก Strain Gauge ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ที่วัดการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดจากการยืดหรือการบีบอัดของวัสดุ ซึ่งเกิดจากการใช้แรงหรือความเค้นกับวัสดุ Strain Gauge มักใช้ในโครงสร้างที่ออกแบบมาเพื่อรวมความเค้น ทำให้สามารถวัดแรง แรงดัน และแรงบิดแล้วแปลงเป็นให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้า



รูปที่ 72 แสดงส่วนประกอบของ Strain Gauge

แหล่งที่มา : <https://www.michsci.com/wp-content/gallery/illustrations/strain-gauge-diagram-example.png>

ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ Strain Gauge วัดได้นั้นมีค่าที่น้อยมากจึงจำเป็นต้องมีวงจรที่ช่วยขยายค่าเหล่านั้นให้สามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งเรียกววงจรนี้ว่า Wheatstone bridge โดยเป็นวงจรที่ใช้ Strain Gauge หลายตัวมาวัดความเครียด Wheatstone bridge มักใช้เพื่อขยายการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเหล่านั้น โดยเรียกค่าที่ใช้ขยายนั้นว่า Amplifier หรือ Gain (G) เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงค่าเล็กน้อยเหล่านั้นได้อย่างแม่นยำ จำเป็นต้องขยายสัญญาณเพื่อให้สัญญาณมีความชัดเจนและสามารถนำไปใช้งานต่อไปได้ โดยกระบวนการที่กล่าวมาเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการที่เรียกว่า Signal Conditioning อย่างไรก็ตาม กระบวนการขยายสัญญาณนี้สามารถขยายสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการได้เช่นกัน



รูปที่ 73 แสดงวงจร Wheatstone bridge และตัวอย่างวิธีการใช้ Loadcell

แหล่งที่มา : <https://www.michsci.com/wp-content/gallery/illustrations/wheatstone-bridge-diagram-01.PNG>

2 Op-amps Differential Amplifier

วงจรขยายสัญญาณแบบ Differential โดย Op-amps สองตัวเป็นวงจรอเนกประสงค์ที่ขยายสัญญาณ Differential ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาเข้าสองตัว (V_{in+} , V_{in-}) ในขณะที่ปฏิเสธสัญญาณปฏิสัมพันธ์หมดทั่วไป ซึ่งมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าการใช้ Op-amps ตัวเดียว เช่น มีอัตราส่วนการปฏิเสธปฏิสัมพันธ์หมดทั่วไป (CMRR) ที่ดีขึ้น และอัตราขยายที่เพิ่มขึ้น

ขั้นตอนการทำงานของ Op-amps ตัวแรก (Difference Amplifier)

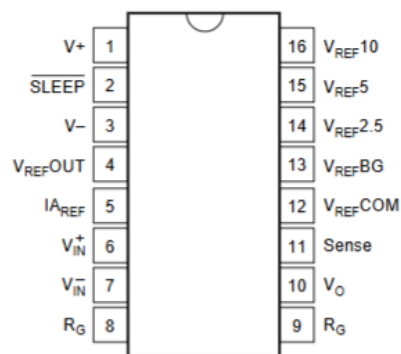
- Op-amps ตัวแรกถูกกำหนดค่าให้เป็นตัวขยายสัญญาณ (Difference Amplifier)
- ขยายความต่างระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาเข้าสองตัว V_{in+} และ V_{in-}
- ค่า Gain (G) ของขั้นตอนนี้ถูกกำหนดโดยอัตราส่วนของตัวต้านทาน R_2 และ R_1
- สัญญาณขาออกของขั้นตอนนี้ (V_{ref}) จะเป็นสัดส่วนกับความต่าง ($V_{in+} - V_{in-}$)

ขั้นตอนการทำงานของ Op-amps ตัวที่สอง (Non-Inverting Amplifier)

- Op-amps ตัวที่สองถูกกำหนดค่าให้เป็นตัวขยายสัญญาณแบบไม่กลับขั้ว (Non-Inverting Amplifier)
- ขยายสัญญาณขาออกของขั้นตอนแรก (V_{ref})
- ค่า Gain (G) ของขั้นตอนนี้ถูกกำหนดโดยอัตราส่วนของตัวต้านทาน R_4 และ R_3
- แรงดันไฟฟ้าขาออกสุดท้าย (V_{out}) คือผลลัพธ์จากการขยาย V_{ref}

ตารางที่ 10 แสดงชื่อและข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์การทดลอง

ชื่อ	ข้อมูลจำเพาะ	
Single Point Load Cell YZC-131A	Capacity	10 Kg
	Material	Stainless Steel
	Maximum Safe Overload	150% FS
	Operating Temperature Range	-20 to +70 °C
INA125 Instrumentation Amplifier	Gain Equation	$G = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G}$
	V_{out} Equation	$V_{out} = (V_{in+} - V_{in-})G$
	Operation Temperature	-55 to 125
	Operating Voltage	2.7 V to 36 V
Trimmer Potentiometer 100 K 25 Turns	Adjustment Type	Top Adjustment
	Number of Turns	25
	Power	0.5W
	Resistance	100 k Ω
	Tolerance	$\pm 10\%$



รูปที่ 74 แสดงขาของ INA125 Instrumentation Amplifier

แหล่งที่มา : [INA125 pdf](#), [INA125 Description](#), [INA125 Datasheet](#), [INA125 view :: ALLDATASHEET ::](#)

วิธีดำเนินการทดลอง

1. ก่อนการทดลองต้องหาค่าความต้านทาน (R_G) เพื่อนำไปปรับ Trimmer Potentiometer เพื่อที่จะให้อัตราการขยายต่อการนำไปขยายสัญญาณแรงดันขาออก โดยใช้สมการ V_{out} Equation เพื่อให้ได้ค่า Gain (G) ที่เหมาะสม

สมการ V_{out} Equation

$$V_{out} = (V_{in+} - V_{in-})G$$

โดยที่ V_{out} คือ แรงดันไฟฟ้าขาออก (mV)

V_{ref} คือ สัดส่วนความต่าง ($V_{in+} - V_{in-}$) หรือ
วัดค่าขา 6 เทียบกับขา 7 ($V_{in+} - V_{in-}$)

V_{in+} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขาที่ 6 ของ INA125

V_{in-} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขาที่ 7 ของ INA125

G คือ อัตราการขยาย

แทนค่าในสมการ V_{out} Equation โดยค่าที่ได้นั้นมาจากการวัดค่าจริงในการทดลอง

$$V_{out} = (V_{ref})G$$

โดยที่ V_{out} คือ 2160 mV

V_{ref} คือ 3.7 mV

V_{in+} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขาที่ 6 ของ INA125

V_{in-} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขาที่ 7 ของ INA125

G คือ อัตราการขยาย

$$2160 = (3.7)G$$

$$\frac{2160}{3.7} = G$$

$$G = 583.78$$

หลังจากแทนค่าแล้ว จะได้อัตราการขยาย หรือ Gain (G) = 583.78 แล้วนำไปเข้าสมการ Gain Equation เพื่อคำนวณหาความต้านทาน (R_G) ที่จะนำไปปรับ Trimmer Potentiometer ในการทดลอง
สมการ Gain Equation

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

โดยที่ G คือ อัตราการขยาย

R_G คือ ค่าความต้านทานที่จะนำไปปรับ Trimmer Potentiometer

ต่อมาแทนค่าในสมการ Gain Equation โดยค่าที่ได้นั้นมาจากการคำนวณก่อนหน้านี้

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

แทนค่า G คือ 583.78

R_G คือ ค่าความต้านทานที่จะนำไปปรับ Trimmer Potentiometer

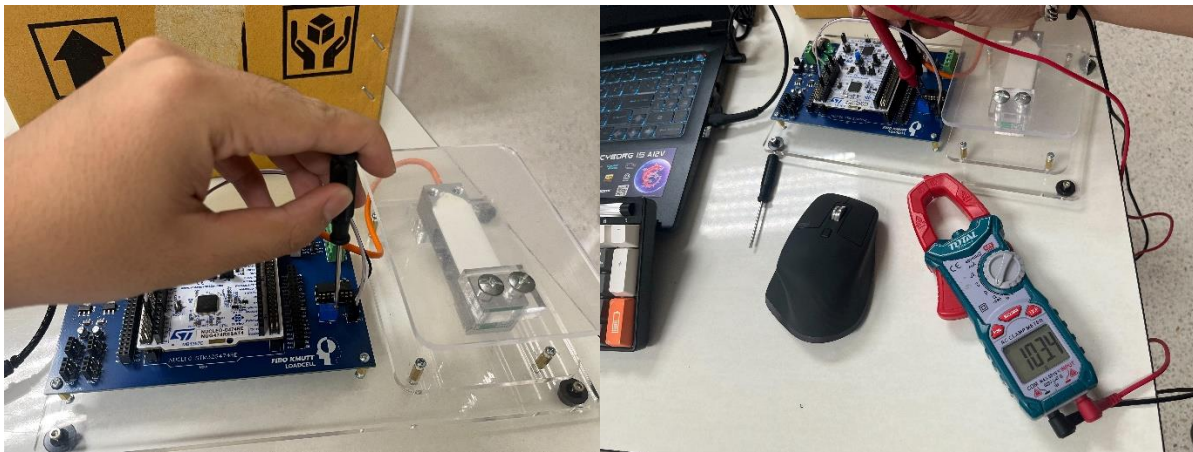
$$583.78 = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G}$$

$$579.78 = \frac{60k\Omega}{R_G}$$

$$R_G = \frac{60,000}{579.783}$$

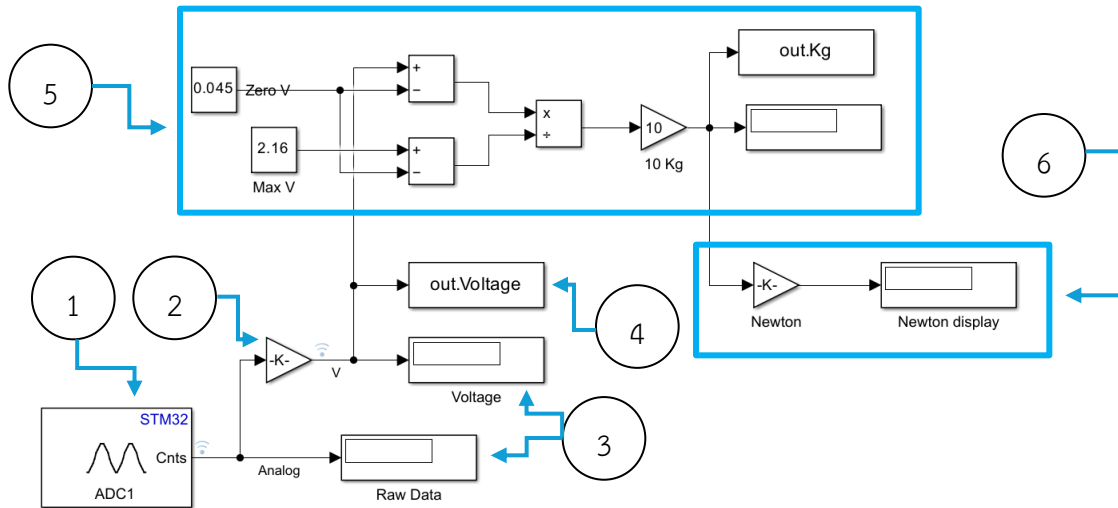
$$R_G = 103.48 \Omega$$

- หลังจากที่ได้ค่าความต้านทาน (R_G) แล้ว จึงนำไปปรับใช้กับ Trimmer Potentiometer ในบอร์ดทดลองให้ได้ค่าความต้านทานที่ใกล้เคียงกับที่คำนวณที่สุด



รูปที่ 75 แสดงการปรับค่าความต้านทานในบอร์ดทดลอง

- หลังการตั้งค่าความต้านทานแล้ว ผู้ทดลองได้เริ่มการอ่านค่าและเก็บผลการทดลอง ดังนี้



รูปที่ 76 แสดงการทำงานภายใน Simulink

- 1) อ่านสัญญาณตามค่าที่กำหนดในรูปแบบของ Analog
- 2) แปลงสัญญาณ Analog ที่ได้ให้เป็นแรงดันไฟฟ้า ภายในได้ใช้ $3.3 \div 4095$ หรือเท่ากับ 0.00080586 ไปคูณกับสัญญาณ Analog ที่ได้
โดย 3.3 คือ แรงดันที่ใช้สำหรับการใช้งานเซ็นเซอร์
 4095 คือ ค่าคงที่ bit ของไมโครคอนโทรลเลอร์
- 3) แสดงผลสัญญาณที่ได้
- 4) ส่งออกสัญญาณที่ได้
- 5) ชดค่าสิ่งในการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าให้เป็นน้ำหนัก (Kg) และส่งออกข้อมูลโดยภายในใช้สมการดังนี้

$$Weight_{out} = \frac{(V_{out} - V_{zero})}{(V_{max} - V_{zero})} \times Weight_{max}$$

โดยที่ $Weight_{out}$ คือ น้ำหนักที่ต้องการรู้ขณะที่ทดลองชั่ง (Kg)

$Weight_{max}$ คือ น้ำหนักมากที่สุดที่ต้องการชั่ง (Kg)

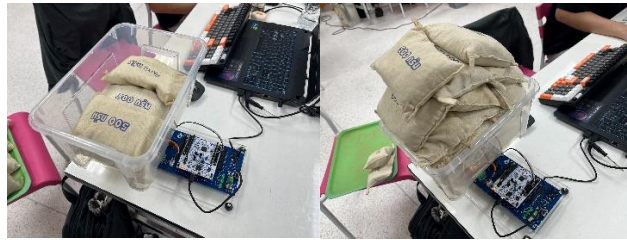
V_{out} คือ แรงดันไฟฟ้าขาออกในขณะที่ชั่ง (V)

V_{zero} คือ แรงดันไฟฟ้าขาออกที่วัดเมื่อไม่มีการชั่ง (V)

V_{max} คือ แรงดันไฟฟ้าขาออกที่วัดเมื่อชั่งน้ำหนักมากที่สุด (V)

- 6) ชดค่าสิ่งแปลงน้ำหนัก (Kg) ให้เป็นหน่วยนิวตัน (N) ด้วยการคูณ 9.81 m/s^2

4. ทดลองเก็บค่าน้ำหนักตั้งแต่ 0 g จนถึง 10,500 g โดยเพิ่มน้ำหนักขึ้นทีละ 500 g และเก็บค่าน้ำหนักในแต่ละช่วงช่วงละ 101 ค่า แล้วนำไปหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่ชั่งในแต่ละช่วง



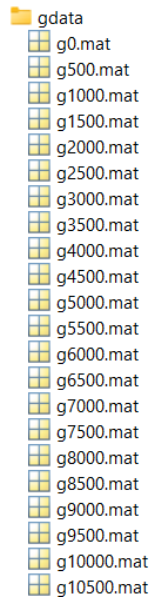
รูปที่ 77 แสดงภาพการทดลองโดยใช้ถุงทราย

```
saveW= out.Kg(:,1); %รับค่า out.Kg จาก Simulink ลงในตัวแปรที่กำหนด
saveV = out.Voltage(:,1); %รับค่า out.Voltage จาก Simulink ลงในตัวแปรที่กำหนด
save("g10500","saveV","saveW"); %บันทึกค่าลงในตัวแปรที่กำหนด

alldata = ["g0.mat","g500.mat","g1000.mat","g1500.mat","g2000.mat"
           ,"g2500.mat","g3000.mat","g3500.mat","g4000.mat","g4500.mat"
           ,"g5000.mat","g5500.mat","g6000.mat","g6500.mat","g7000.mat"
           ,"g7500.mat","g8000.mat","g8500.mat","g9000.mat","g9500.mat"
           ,"g10000.mat","g10500.mat"];

dataV = [];
dataW = [];
for i = 1:22
    load(alldata(i),"saveV","saveW");
    %Get a raw data
    sumW=0;
    sumV=0;
    for j = 1:101
        sumV = sumV + saveV(j);
        sumW = sumW + saveW(j);
    end
    %Sum a data
    avgV = sumV / 101;
    avgW = sumW / 101;
    %Get an average
    dataW(i) = avgW;
    dataV(i) = avgV;
    %Get the data in matrix
end
```

รูปที่ 78 แสดงโปรแกรมเก็บข้อมูลน้ำหนักในแต่ละช่วงและหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักแต่ละช่วง



รูปที่ 79 แสดงตัวอย่างข้อมูลน้ำหนักในแต่ละช่วง

```
% Load the data
alldata = {"dataV","dataW"}

% Create the figure and plot the data
figure;
hold on;
plot(dataW, dataV,'-o','MarkerSize',5,'MarkerFaceColor',[1 .0 .0],'LineWidth', 1);

% Set axis limits
xlim([0 11]);
ylim([0 3.3]);

% Add labels and title
xlabel('Weight (Kg)');
ylabel('Voltage (V)');
title('Voltage per Weight');

%legend('South pole without sheild','South pole with sheild','North pole without sheild','North pole with sheild')

% Turn on grid lines
grid on;
```

รูปที่ 80 แสดงโปรแกรมสร้างกราฟแรงดันไฟฟ้า (V) ขาออกเทียบกับน้ำหนัก (Kg)

5. หลังจากนั้นทดลองใหม่แบบเดิมอีกครั้งแต่ปรับค่าความต้านทาน (R_G) ให้เป็นค่าที่ไม่ได้มาจากการคำนวณ เพื่อนำมาเปรียบเทียบผลการทดลองก่อนหน้า

อุปกรณ์การทดลอง

1. Single Point Load Cell YZC-131A จำนวน 1 อัน
2. INA125 Instrumentation Amplifier จำนวน 1 อัน
3. Trimmer Potentiometer 100 K 25 Turns จำนวน 1 อัน
4. Resistor 4.7K Ohm จำนวน 1 อัน
5. Nucleo STM32G474RE พร้อมสายอัปโหลด จำนวน 1 ชุด
6. LoadCellXplorer จำนวน 1 ชุด

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 11 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน			
	ตุลาคม			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
วางแผนและออกแบบการทดลอง				
ทดลองและเก็บผล				
สรุปผลและอภิปราย				
ทำรายงาน				

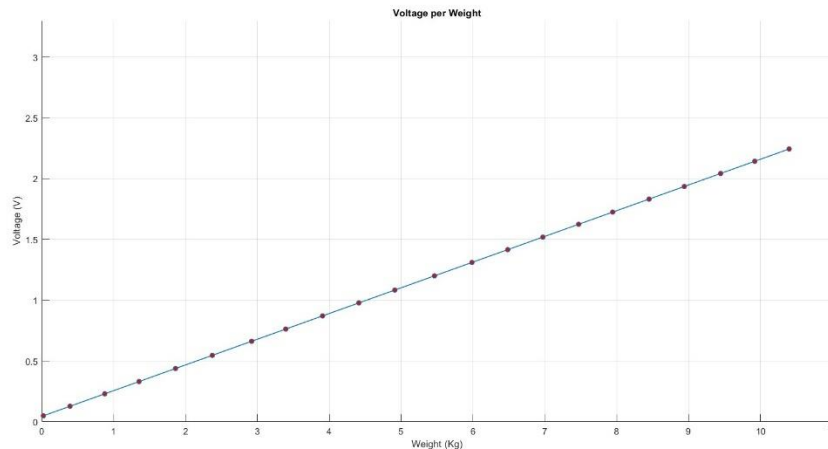
สรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 12 แสดงผลข้อมูลน้ำหนักที่โปรแกรมวัดได้เทียบกับแรงดันไฟฟ้าขาออก ช่วง 0 – 5 Kg ด้วยอัตราขยายที่ได้มาจากการคำนวณ

น้ำหนักจริง (Kg)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
น้ำหนักที่โปรแกรมวัดได้ (Kg)	0.0216	0.3915	0.8759	1.3535	1.8605	2.3725	2.9193	3.3942	3.9065	4.4114	4.9123
แรงดันไฟฟ้าขาออก (V)	0.0495	0.1278	0.2302	0.3312	0.4385	0.5467	0.6624	0.76288	0.8712	0.9780	1.0839

ตารางที่ 13 แสดงผลข้อมูลน้ำหนักที่โปรแกรมวัดได้เทียบกับแรงดันไฟฟ้าขาออก ช่วง 5.5 – 10.5 Kg ด้วยอัตราขยายที่ได้มาจากการคำนวณ

น้ำหนักจริง (Kg)	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5
น้ำหนักที่โปรแกรมวัดได้ (Kg)	5.4634	5.9853	6.4830	6.9720	7.4702	7.9439	8.4501	8.9400	9.4458	9.9211	10.3993
แรงดันไฟฟ้าขาออก (V)	1.2005	1.3108	1.4161	1.5195	1.6249	1.7251	1.8322	1.9358	2.0428	2.1433	2.2444



รูปที่ 81 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าขาออก (V) เทียบกับน้ำหนัก (Kg)

จากข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 12 13 และกราฟตามรูปที่ 81 จึงสามารถระบุได้ว่าการคำนวณหาอัตราขยาย (G) และค่าความต้านทาน (R_G) ให้มีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณมากที่สุดจะช่วยให้ค่าที่อ่านนั้นมีความเที่ยงตรงและตรงตามความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น แต่ถ้าหากไม่ได้คำนวณมาก่อนหรือใช้ค่าอัตราขยาย (G) และค่าความต้านทาน (R_G) ที่ผิดจะส่งผลให้ได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 14 และ 15 ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ไม่ตรงตามความเป็นจริง

ตารางที่ 14 แสดงผลข้อมูลน้ำหนักที่โปรแกรมวัดได้เทียบกับแรงดันไฟฟ้าขาออก ช่วง 0 – 5 Kg ด้วยอัตราขยายที่ไม่ได้มาจากการคำนวณ

น้ำหนักจริง (Kg)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
น้ำหนักที่โปรแกรมวัดได้ (Kg)	0.2880	0.2767	0.2686	0.3110	0.3734	0.4370	0.4831	0.5592	0.6322	0.7143	0.7855
แรงดันไฟฟ้าขาออก (V)	0.1059	0.1035	0.1018	0.1107	0.1239	0.1374	0.1471	0.1632	0.1787	0.1960	0.2111

ตารางที่ 15 แสดงผลข้อมูลน้ำหนักที่โปรแกรมวัดได้เทียบกับแรงดันไฟฟ้าขาออก ช่วง 5.5 – 10.5 Kg ด้วยอัตราขยายที่ไม่ได้มาจากการคำนวณ

น้ำหนักจริง (Kg)	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5
น้ำหนักที่โปรแกรมวัดได้ (Kg)	0.8641	0.9368	1.0166	1.0922	1.1692	1.2462	1.3196	1.3968	1.4764	1.5530	1.6328
แรงดันไฟฟ้าขาออก (V)	0.2277	0.2431	0.2600	0.2760	0.2923	0.3085	0.3241	0.3404	0.3572	0.3734	0.3903

อภิปรายผล

1. การปรับค่าความต้านทานของ Trimmer Potentiometer ส่งผลต่ออัตราขยายสัญญาณและค่าที่เซ็นเซอร์อ่านได้จริง และเป็นไปตามการสรุปผลการทดลอง
2. สามารถแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขาออกให้เป็นน้ำหนักในหน่วย SI ได้จริง ด้วยสมการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าให้เป็นน้ำหนัก (Kg) และเป็นหน่วยนิวตัน (N) ตามวิธีการทดลอง

ข้อเสนอแนะ

1. เปลี่ยน Loadcell ให้สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น เพื่อให้สามารถเก็บผลการทดลองได้มากขึ้น
2. เพิ่มขนาดพื้นที่ชั่งน้ำหนักให้มากขึ้นเพื่อให้สามารถวางถ่วงน้ำหนักได้มากขึ้น และดูว่าขนาดของพื้นที่ชั่งน้ำหนักมีผลต่อการทดลองหรือไม่
3. สามารถออกแบบให้ชุดการทดลองวางแนบกับพื้นเพื่อให้ไม่ให้ชุดการทดลองงอผิดรูปได้หรือไม่และจะมีผลต่อการทดลองหรือไม่

เอกสารอ้างอิง

- What is a Strain Gauge and How Does it Work?
[What is a Strain Gauge and How Does it Work? - Michigan Scientific Corporation](#)
- โหลดเซลล์ (Load Cell) คืออะไร ?
[โหลดเซลล์ \(Load Cell\) คืออะไร ? มาหาคำตอบกัน - Factomart Industrial Products Marketplace](#)
- Datasheet ของ INA125 INSTRUMENTATION AMPLIFIER
[INA125 pdf, INA125 Description, INA125 Datasheet, INA125 view ::: ALLDATASHEET :::](#)
- Datasheet ของ YZC-131A Single point Load Cell, 10 Kg
[YZC-131A Single point Load Cell, 10 Kg at Rs 150/piece in Mumbai | ID: 24351140462](#)
- Datasheet ของ Trimmer Potentiometer 100k
[Trimmer Potentiometer 100k ปรับหมุนได้ 25 รอบ 3296W 25 Turn 0.5w potentiometer adjustable resistance - Mikroelec จำหน่าย Arduino โมดูล เซ็นเซอร์ อะไหล่วงจร ใสใจบริการ : Inspired by LnwShop.com](#)